

農業用ため池の地震動による被災要因に関する研究

－2011年東北地方太平洋沖地震を例として－

鈴木 尚登



## 学 位 論 文 要 旨

農業用ため池の地震動による被災要因に関する研究

－ 2011 年東北地方太平洋沖地震を例として －

Study on damage factors to earth dams for irrigation due to earthquake motions

－ In the Case of the 2011 Offshore Pacific Coast Tohoku Earthquake -

農業環境工学専攻 農業環境工学大講座

鈴木 尚登

我が国の農業用ため池は古墳時代から築造され、現在、約 21 万個が全国各地に点在している。2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震（以下、「東北地震」という）では、福島県内のため池が決壊・氾濫し、死者・行方不明者を出す惨事となった。農村地域の人口減少や高齢化のためにこの地域での防災力が脆弱化する中、頻発する大地震に対して決壊すれば甚大な被害をもたらすため池の被災危険度評価は必要不可欠となっている。

ため池は一般に小規模であるために地震計の設置がなく、震度規模など揺れの捕捉が困難であった。また、災害報告が調査・研究者個々の主観的判断に委ねられ、多様な被災要因が包括的に整理されていなかった。例えば、震央に対する堤軸方向と被災率の関係など研究事例毎に見解が異なり、総合的な評価手法開発に至っていない。一方、気象庁は最大震度 5 弱以上の地震時に 1km メッシュ推計震度を公表しており、被害想定や予測に既に利用されている。ため池でも実際の地震被災情報が入手できれば、推計震度によって実態を踏まえた被災危険度評価が可能となると推定される。

本研究では、ため池の危険度評価に向けての被災要因を多角的に客観的に評価することを目的とした。そのために、甚大なため池被害が生じた東北地震について、気象庁が発表した推計震度、ため池データベース（DB）及び国と被災県から入手した被災情報を基礎データとして用いた。これらのデータを用いて、ため池毎に推計震度を求め、地形・地質、堤軸方向や堤体形状の個体要件と組み合わせて、多角的に被害の検証を行った。被害の指標として、被災密度とため池被災率  $R_d$  を定義した。

本研究から得られた主な結果は次の通りである。①ため池被災率  $R_d$  は推計震度が 5 弱から発現し、推計震度の増加とともに増加する。しかし、 $R_d$  は必ずしも震央距離が近いほど増加するとは言えなかった。②被害の大きかった福島県中域では、堤軸の震央への方向を表す指標として、堤軸震央方向角度  $\omega_i$  を定義した。震度 6 弱までは  $\omega_i=270^\circ$  つまり、堤体下流面が震央と正対する場合に  $R_d$  が大きな値を示した。震度 6 強ではどの方向でも  $R_d$  は大きな値を示した。③被災レベルを 5 段階（レベル 5 が最も被災度が高い）に、ため池サイトの地形を 5 タイプに分類し、福島県を詳細に分析した。被災レベルはレベル 3（中程度の被災）が過半数を占めた。また、被災は地形の影響を強く受けることが明らかとなった。④堤体形状と  $R_d$  の関係を明らかにするために、堤高（ $H$ ）、堤頂長（ $L$ ）、堤頂幅（ $W$ ）、上下流法面勾配（ $1:U$  及び  $1:D$ ）を形状特性とした。 $H$  は  $R_d$  に影響を及ぼさず、どの堤高でも一定値を示した。 $L$  の増加にともなって、 $R_d$  は増加した。 $H$  が高く  $W$  が広く上下流勾配比 ( $D/U$ ) が小さい組合せにおいて、 $R_d$  は大きな値を示した。⑤以上の考察を基に、「ため池地震動被災要因の概念図」を提案した。この概念図は要因間で階層構造を有し、下部階層が大きく上部に行くほど小さくなる台形状をしている。つまり、底辺の幅が広い程被災リスクが大きくなることを示している。下部は環境要因であり、強震動地震、広域的地質及び推計震度の順で下から上へ構成される。上部は個体要因であり、それは外部と内部要因で構成されている。外部要因はサイト地形と堤軸方向が、内部要因は堤体形状が構成要素である。なお、本研究では言及していないが、堤体材料や構造は、内部要因として位値付けが可能である。この概念図によって、これまで震度との関連で曖昧になっていた被災要因について、要因毎の関係性を説明することができる。

以上の様に、「ため池地震動被災要因の概念図」によって被災要因相互の関係を明らかにすることができた。今後、(a)地震時緊急点検では、ため池毎の推計震度と堤体要件を踏まえて的確・効率的な点検実施に資する、(b)農村地域の防災・減災対策のための大規模地震発生時の災害想定的基础資料として貢献できると思われる。

# 目 次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景と目的	1
1.2 研究の構成	3
第2章 既往の研究レビュー	5
2.1 概説	5
2.2 農地・農業用施設等の災害被害研究	5
2.2.1 農業土木学会と自然災害	5
2.2.2 戦後の農業土木と自然災害研究	6
2.2.3 農土試の発足と災害研究	8
2.2.4 災害研究成果報告の現状	9
2.2.5 災害調査研究の課題	10
2.3 ため池研究の特色	11
2.3.1 ため池の定義	11
2.3.2 ため池の歴史的課題	12
2.4 ため池の地震動被害に関する研究	19
2.4.1 研究の概観	20
2.4.2 地震等の環境要因によるため池の地震動被害	22
2.4.3 堤体形状等を個体要因とするため池の地震動被害	24
2.4.4 多変量解析によるため池被害要因分析	27
2.5 まとめ	28
第3章 震度によるため池の被災分析	30
3.1 概説	30
3.1.1 震度と農地・農業用施設等の被害	30
3.1.2 震度とため池被災	31
3.1.3 東北地震の農地・農業用施設等被害	31
3.1.4 東北地震のため池被災	34

3.2	分析方法	36
3.2.1	データベース	36
3.2.2	分析手法	37
3.2.3	分析手順	41
3.3	結果と考察	41
3.3.1	震度と被災密度	41
3.3.2	震度と農地・施設別被災密度	45
3.3.3	震度とため池被災率	45
3.3.4	推計震度及び震央距離と被災率	48
3.4	まとめ	54
第4章	地形・地質とため池被災	55
4.1	概説	55
4.1.1	地震動被災と地形・地質	55
4.1.2	震央距離とため池地震動被災	56
4.1.3	堤軸震央方向角度と地震動被災	56
4.2	分析方法	57
4.2.1	地形と傾斜	57
4.2.2	ため池震央距離と緯度・経度	57
4.2.3	ため池堤軸震央方向角度	58
4.3	結果と考察	59
4.3.1	宮城県内の被災ため池分布	59
4.3.2	福島県内の被災ため池分布	63
4.3.3	福島県中域の被災ため池分析	65
4.4	まとめ	73
第5章	ため池被災集中域の分析	75
5.1	概説	75
5.1.1	ため池被災度	75
5.1.2	被災集中域内ため池サイトの地形・傾斜	75

5.2	分析手法	76
5.2.1	ため池被災レベル	76
5.2.2	傾斜・地形タイプ	77
5.3	結果と考察	79
5.3.1	福島県内のため池被災度	79
5.3.2	被災ため池集中域の設定	83
5.3.3	被災集中域内外の比較分析	86
5.3.4	被災集中域内の被災要因分析	93
5.4	まとめ	100
第6章	堤体形状とため池被災	102
6.1	概説	102
6.1.1	過去の堤体形状諸元と地震動被害	103
6.1.2	ため池堤体形状諸元と度数分布	103
6.2	分析方法	106
6.2.1	分析手法	106
6.2.2	分析手順	109
6.3	結果と考察	111
6.3.1	堤高と被災率	111
6.3.2	堤頂長と被災率	123
6.3.3	形状係数 (L/H)・体積係数 (L*H) 別区分と被災率	135
6.3.4	横断面形状と被災率	141
6.3.5	ため池堤体形状と被災度	153
6.4	まとめ	158
第7章	結論	162
参考文献		165
謝辞		170
Appendix		174

## 目次

3-1	東北地方太平洋沖地震の推計震度分布	32
3-2	過去 20 年間の自然災害による農地・農業用施設被害額の推移	34
3-3	計測震度の計算方法（気象庁資料）	38
3-4	計測震度と加速度の関係	38
3-5	推計震度分布の算出方法（気象庁資料）	39
3-6	東北地方太平洋沖地震における市町村別農地・農業用施設等 被災密度分布図	42
3-7	東北地方太平洋沖地震の被災市町村平均推計震度と被災形態別 農地・農業用施設等被災密度	44
3-8	東北地方太平洋沖地震の平均推計震度と農地・ため池・水路・頭首工 被災密度	45
3-9	東北地方太平洋沖地震におけるため池の被災分布	46
3-10	東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県内ため池の推計震度と被災率	47
3-11	東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県内市町村別被災ため池数 と災害査定総額	48
3-12	東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県の推計震度毎メッシュ数 とため池数	49
3-13	東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県の推計震度別メッシュ及び ため池の累積度数	49
3-14	東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県内観測所震央距離と 計測震度	50
3-15	東北地方太平洋沖地震のため池推計震度と被災率の関係	52
3-16	東北地方太平洋沖地震のため池震央距離と推計震度との関係	52
3-17	ため池の市町村別平均推計震度と被災率の関係	53
4-1	ため池堤軸の震央に対する角度	58
4-2	東北地方太平洋沖地震の宮城県内被災ため池の緯度・経度分布	59
4-3	東北地方太平洋沖地震の宮城県内推計震度と被災ため池分布	61



4-4	宮城北部の湿地変化(古図)	61
4-5	東北地方太平洋沖地震の宮城県内ため池の震央距離と緯度 ・経度位置	62
4-6	東北地方太平洋沖地震の福島県内被災ため池の緯度・経度 分布	63
4-7	東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池の震央距離と経度及び緯度	64
4-8	東北地方太平洋沖地震の福島県中域ため池の推計震度と被災率	65
4-9	東北地方太平洋沖地震の福島県中域ため池の被災分布	67
4-10	東北地方太平洋沖地震の福島県中域被災ため池の経度と堤軸方向	68
4-11	東北地方太平洋沖地震の福島県中域被災ため池の経度と推計震度	69
4-12	東北地方太平洋沖地震の福島県中域被災ため池の震度と堤軸方向	71
4-13	東北地方太平洋沖地震の福島県中域ため池の震度及び堤軸角度別 被災率	71
4-14	東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池被災集中域の地盤構造	72
4-15	東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池被災集中域の地形学図	72
5-1	ため池サイトに関する傾斜・地形タイプ分類	78
5-2	福島県中・南ため池被災集中域の傾斜・地形タイプ	78
5-3	福島県中・南ため池被災集中域立体傾斜図	79
5-4	東北地方太平洋沖地震の福島県内推計震度と被災度別ため池の分布	81
5-5	東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池震度と被災率	82
5-6	東北地方太平洋沖地震の福島県内被災ため池震度と被災度・被災率	82
5-7	東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池の被災度別震央距離・経度 分布	84
5-8	東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池の被災度別震央距離・緯度 分布	84
5-9	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南ため池被災集中域	85
5-10	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南ため池被災集中域の震度・被災度 別域内外比較	86
5-11	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池経度と堤軸方向	88

の被災集中域内外比較	
5-12 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の地形区分別被災率	88
5-13 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南ため池被災集中域内外地形区分別被災率比較	89
5-14 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の経度と震度の被災集中域内外比較	90
5-15 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の震度と堤軸方向の被災集中域内外比較	91
5-16 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の被災集中域外の震度別・堤軸方向別被災率比較	92
5-17 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域被災集中域内の震度・被災度別ため池分布	94
5-18 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南被災集中域内ため池の堤軸方向及び被災度と傾斜・地形タイプの関係	95
5-19 東北地方太平洋沖地震の福島県中南被災集中域内ため池の堤軸方向及び傾斜・地形タイプ別被災度	96
5-20 東北地方太平洋沖地震の福島県中南被災集中域内ため池の被災度及び傾斜・地形タイプ別分布	98
5-21 東北地方太平洋沖地震の福島県中南被災集中域内ため池の傾斜・地形タイプ別被災度・被災率	99
6-1 サイコロ回数と確率の関係	105
6-2 人口及び死亡者数の累積度数分布	107
6-3 度数分布と累積度数分布	107
6-4 ため池堤体形状諸元模式図	110
6-5 東北地方太平洋沖の地震福島県中・南域ため池の堤高別被災率	112
6-6 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高(1mピッチ)別被災率	113
6-7 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の被災別堤高累積度数分布	114

6-8	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高四分位区分 被災率	114
6-9	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高八分位区分 被災率	116
6-10	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高区分別 被災率比較	116
6-11	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の震度及び 堤高別被災度	117
6-12	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の震度及び 堤高区分別被災率	118
6-13	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤軸震央方向角度 及び堤高別被災度	119
6-14	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤軸震央方向角度 及び堤高区分別被災率	120
6-15	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の区分別 堤高と被災率	121
6-16	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高区分別 堤高相対度数と被災率	122
6-17	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤頂長別 (50m ピッチ) 被災率	123
6-18	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤頂長別 (形状係数ベース) 被災率	124
6-19	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤頂長別 (20m ピッチ) 被災率	124
6-20	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤頂長 累積度数分布	125
6-21	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の 四分位・八分位堤頂長別被災率	126
6-22	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の区分別 平均堤頂長の被災率比較	127

6-23	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の震度・堤頂長別 被災	128
6-24	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の震度及び 堤頂長区分別の被災率	129
6-25	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤軸震央方向角度 と堤頂長別被災	130
6-26	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤軸震央方向角度 及び堤頂長別被災率	131
6-27	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の区分別 平均堤頂長と被災率	132
6-28	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の区分別堤頂長 相対度数と被災率	134
6-29	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の四・八分位区分 堤高及び堤頂長被災率	135
6-30	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高及び 堤頂長と被災度	136
6-31	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の形状係数と被災率	137
6-32	日本海中部地震のため池形状係数と被災率	138
6-33	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の形状係数別 (10ピッチ) 被災率	139
6-34	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の四分位区分 形状係数 ( $L/H$ ) 別被災率	139
6-35	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の四分位区分 体積係数 ( $L*H$ ) 別被災率	140
6-36	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池堤体諸元及び 四分位別被災率の比較	141
6-37	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤頂幅 (1.0mピッチ) 別被災率	142
6-38	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の四分位区分 堤頂幅別被災率	143

6-39	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体上下流法勾配 ( $D/U$ ) の四分位別被災率	145
6-40	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体上下流法勾配比 ( $D/U$ ) 1.0 ピッチ別被災率	145
6-41	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体上下流法勾配比 ( $D/U$ ) 6 区分別被災率	146
6-42	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体上下流法勾配比 ( $D/U$ ) 四分位別被災率	147
6-43	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体横断面諸元と 堤頂長及び四分位別被災率比較	148
6-44	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高及び 堤頂幅と被災度	149
6-45	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高及び堤体 上下流法勾配比 ( $D/U$ ) と被災度	150
6-46	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体 上下流法勾配比 ( $D/U$ ) 及び堤頂幅と被災度	151
6-47	東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池堤体横断面形状別 被災率と被災リスク	152
6-48	堤体形状諸元四分位区分・被災度別ため池数	153
6-49	ため池堤高及び堤頂幅の規模区分別被災度・被災率	154
6-50	ため池堤高及び法勾配比率 ( $D/U$ ) の規模区分別の被災度・被災率	155
6-51	ため池堤頂幅及び法勾配比率 ( $D/U$ ) 規模区分別の被災度・被災率	156
6-52	高被災リスク横断形状ため池の震度別被災度	157
6-53	ため池個体要件と地震動による被災リスク	161
7-1	ため池地震動被災要因の概念図	164

## 表目次

2-1 農業土木と主な自然災害に係る歴史的経過	7
2-2 大正期の岐阜県内耕地整理地区関連ため池一覧	14
2-3 日本の主な地震のため池被害	19
2-4 ため池 DB 諸元データの充足率	20
2-5 ため池の地震被害に関する研究レビュー	21
3-1 東北地方太平洋沖地震の農地・農業用施設等被害額	33
3-2 東北地方太平洋沖地震のため池被災	35
3-3 東北地方太平洋沖地震における県別の被災形態別被害額	36
3-4 東北地方太平洋沖地震の被災形態別被災密度	44
3-5 東北地方太平洋沖地震の推計震度別ため池数	52
5-1 ため池の被災度分類	77
5-2 東北地方太平洋沖地震の福島県内地域ブロック被災度別ため池	80
6-1 ため池堤体形状諸元の平均値及び度数比較	104
6-2 ため池堤体諸元データの捕捉率	105
6-3 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域の被災度別ため池	109
6-4 堤高とため池被害（十勝沖、宮城県沖、日本海中部地震）	110
6-5 形状係数（堤頂長/堤高）とため池被害（十勝沖、日本海中部地震）	110
6-6 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高別被災数池	112
6-7 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体上下流法勾配 （ $D \cdot U$ ）別被災率	144
6-8 藤沼湖の被災要因別評価	161

## 記号一覧

$A_i$	市町村耕地面積 (ha)
$C_i$	市町村被害総額 (千円)
$D$	ため池堤体下流法勾配 (1 : $D$ )
DB	データベース
$D_i$	被害密度 (円/ha)
$D/U$	ため池堤体上下流法勾配比
$D/U_{大}$	ため池堤体上下流法勾配比上位 3 分の 1 群
$D/U_{中}$	ため池堤体上下流法勾配比中位 3 分の 1 群
$D/U_{小}$	ため池堤体上下流法勾配比下位 3 分の 1 群
$H$	ため池堤高 (m)
$H_{大}$	ため池堤高上位 3 分の 1 群
$H_{中}$	ため池堤高中位 3 分の 1 群
$H_{小}$	ため池堤高下位 3 分の 1 群
$I$	計測震度
$\bar{I}_i$	一定エリア毎の平均推計震度
$I_j$	1km メッシュ $j$ 内の推計震度
$L$	ため池堤頂長 (m)
$L/H$	ため池形状係数
$L*H$	ため池体積係数
$M$	地震の規模を示すマグニチュード
$N_d$	ある条件下での被災ため池数 (箇)
$N_i$	ある条件下でのため池数 (箇)
$R_d$	ため池被災率 (%)
$U$	ため池堤体上流法勾配 (1 : $U$ )
$W$	ため池堤頂幅 (m)
$W_{大}$	ため池堤頂幅上位 3 分の 1 群
$W_{中}$	ため池堤頂幅中位 3 分の 1 群
$W_{小}$	ため池堤頂幅下位 3 分の 1 群

- a 10 秒毎のフィルター処理 3 成分の積算時間 0.3 秒以上満たす最大加速度 (gal)
- n 箇數
- $\alpha_i$  ため池堤軸と東西方向線に対する角度 (°)
- $\theta$  東西方向線とため池左岸部への震央からの交角 (°)
- $\omega_i$  ため池堤軸の震央方向に対する角度 (°)
- $\cap$  和集合



# 第 1 章

## 序 論

### 1.1 研究の背景と目的

我が国のため池は、古墳時代から造営され、日本の水田農業を支える重要な生産資源である。少し大袈裟にいうならば、日本民族はため池によって扶持されてきた。ため池に頼らざるを得なかった理由は、日本の地形と気候に大いに関係がある。先ず、日本列島は四つのプレートが重なり合う地殻構造で、プレート活動に伴う褶曲と隆起によって山谷や無数の断層が形成され、その国土は複雑で急峻な地形を成している。一方、気候はアジアモンスーン型で年間降雨量は比較的多い割に、台風常襲など時季的に不安的な降雨量のため、適期、多量な用水を必要とする稲作農業にとっては、水を溜めおくポケット (=溜池) が不可欠となる。そのため、全国各地の起伏に富む国土で、時代毎・地域毎の農業土木技術を結集した土堰堤 (=ため池) 造営は、日本農業の歴史的必然であった。同じ灌漑でも、世界最長の大河・ナイル川ではエジプト古代文明繁栄の礎となり、今日も緩やかな地形勾配とエチオピア等の上流域国側の安定した雨季と乾季によって引き継がれている。

本研究は、国内観測史上最大となった 2011 年東北地方太平洋沖地震（以下、「東北地震」という）に伴い東日本に多数のため池被害が発生し、福島県内では藤沼湖の決壊・氾濫により 8 名の人命災害が起こったことを契機としている。即ち、農業土木関係者は、ため池も大きな地震動で決壊し、人命に危害をもたらす人工構造物であり、「工学的な安全性評価が社会通念上、最高レベルで要請されている」（高瀬（1967））ことを再認識したことにある。特に今回の震災を契機に、大規模地震に対する安全性評価については、世論の関心が急激に高まっている。

現在、農水省の通達により全国的に「ため池一斉点検」が実施され、一部で堤体材料をサンプルリングし、耐震性診断まで試みられている。明治以降、欧米的な造るた

めの土木工学的手法で、多様なサイト地形に古い時代から築造されているため池の安全性評価が本当に可能なのか、著者には疑問符がついたままである。その最大の理由は、ため池の歴史性に起因する 3 つ命題に集約できる。一つ目は、全国のため池箇数は約 21 万個で、千数百年の歴史的遺産としては今も膨大な数が現存している。二つ目は、その 90%以上が昭和期以前（年代不明を含む）の築造で、堤体の内部構造、築堤材料、施工方法等、土木工学的要素が殆ど不明である。三つ目は、ため池が時代（=人口増加）と共に開田可能な全国津々浦々に造られ、今日も複雑・急峻な地形上に点在していることである。これが戦後施工の国営農業用ダムの 200 個程度であれば、規模は大きい数量も限定的で記録も残り、工学的知見から適正なサイト選定がされている。一方、ため池は数の問題もあり、堤体毎にサンプリング数点だけでは、信頼面で雲泥の開きがある。さらに、農村地域の人口減少・高齢化等の今日的社會經濟情勢下で、対象数万カ所のため池に対して、数千億円から数兆円の費用捻出が国家財政的に可能になるとは考えにくい。

日本の建築分野では、大規模地震毎に建物被災データの収集・分析を行い、関連耐震技術の進歩に役立てている。都市部は狭い範囲に多数の建物が密集し、地震計設置間隔が狭く、全壊時の罹災証明申請等を集約することで、建物被災率が統計的に算定できる。その結果は、耐震設計に係わる技術全般の向上にも役立てられ、地震災害時対応上不可欠な被害想定の基本資料となっている。建物の倒壊率は、建築年代（建築基準の改正年等）、地盤、構造等の分類毎に統計的な確率として求めることができる。但し、データ量が過少では精度が低く、また無被災データがなくては、被災確率は求められない。

リスク評価・診断は医療の基本テーマであるが、漢方医や老内科医が行う診断方法は、患者の外見（身長、体重、年齢、表情、風貌等）と併せて、最近の日常生活や仕事環境等の問診によって病状が判断される。つまり、聴診器、脈拍及び血圧測定は診察第二段階で、血液検査等は過剰な診察行為とされる。昔から医者は人間を造らない替わりに健康面のリスクを患者個人の外見と環境要因で判断している。但し、この診断方式は、しっかりとした科学的又は統計的裏付けがなければ、占いと同じになり、医療行為にはならない。特に伝染病に係る疫学は、基礎的データを収集し、統計的分析を駆使して病因究明が最大に目的と考えられている（重松（1977））。因みに、この医療方式はリスクを患者の個体要因と発症に至らしめた環境要因とに分けて病因究明がな

されるもので、病因を地面の揺れ（地震）に置き換えれば、本研究にも応用可能な方法となる。

では何故、建築や医療の方式が、ため池地震働被災研究に応用可能されなかったのであろうか。まず、被災の誘因（村井（2011））となる地震規模は、ため池が一般に小規模で地震計は設置されず、各サイトが地震計の設置される中心市街地から離れて点在するため、これまでため池毎の震度捕捉が難しかった。次に地震災害時の人命救助最優先の緊急事態下で、壊滅的被害ため池は注目される中で無傷のものは注目されず、無被災分を含めた被災池全体の情報収集や蓄積がされなかった。加えてため池が多様な地形・地質上の立地や堤体形状を有するにも関わらず、災害報告が調査・研究者個々の主観的判断に委ねられ、その被災要因が多角的、包括的な統計的手法によって解明されてこなかった。

気象庁は、2004年から全国約4,300ヶ所観測点の計測震度網を活用して、1kmメッシュ推計震度分布の公表を開始した。また、農研機構農村工学研究所では長年の地震災害に係る調査研究成果を踏まえ、1995年から農水省等と共同で全国的なため池データベース（DB）化を行い、2010年度に農村地域の防災情報システムとして「ため池DBハザードマップ」を完成させた。これにより実際に地震被災情報が入手できれば、最大震度5弱以上地震時のため池毎の推定震度と堤体諸元で包括的な危険度評価が可能となっていた。

本研究では、ため池の地震時危険度評価に向けて、被災要因を多角的、客観的に評価することを目的とした。そのために、甚大なため池被害が生じた東北地震について、気象庁が発表した推計震度、ため池データベース（DB）及び国と被災県から入手した被災情報を基礎データとして用いた。これらのデータを用いて、ため池毎に推計震度を求め、地形・地質、堤軸方向や堤体形状の個体要件と組み合わせて、多角的に被害の検証を行った。被害の指標として、被災密度とため池被災率  $R_d$  を定義した。

## 1.2 研究の構成

本研究は、7章より構成される。第1章は序論であり、本研究の位置付けと目的について記述する。第2章では既往の研究のレビューを行う。すなわち、これまでの農業用ため池を含めた農地・農業用施設の地震動被害に関する研究経過と課題を概観した

後、震度、震央距離、地形・地質及び堤軸方向を環境要因に、堤体形状を個体要因として各被災要因別にレビューする。

第 3 章では、震度と震央距離について被災分析を行った。そのため、ため池を含む農地・農業用施設等の市町村単位の被害額に対して被害密度 ( $D_i$ ) を定義し、気象庁の 1km メッシュ推計震度を用いた平均推計震度 ( $\bar{I}_i$ ) によって、震度と被害の関係を明らかにする。また、ため池毎に推計震度を同定し、震度上昇と  $R_d$  の関係並びに震央距離と震度及びため池被災の関連について検証している。

第 4 章では、震度とため池被災の関係が明確になったことを踏まえ、堤軸震央方向角度 ( $\omega_i$ ) を定義し、広域的な地形・地質と推計震度及び  $\omega_i$  と  $R_d$  の関係を検証する。その結果、地震動被災は堤軸方向によって  $R_d$  に差があり、山地と平地の境で震度が大きく変動することを述べる。

第 5 章では、ため池被災が集中したエリアに着目し、無被災から決壊レベルに至るまで要因を検討する。そのため、福島県内で最も被災が集中したエリアを抽出し、集中域の内と外にエリアを分けた被災要因分析と共に、ため池サイトの地形タイプを 5 つに分類して集中域内でさらに詳細な被災分析を行った。その結果、集中域内では震度 6 以上がスポット的に生じる中で、ため池個々が立地する傾斜・地形（谷地や山陰等）条件によって  $R_d$  に大きな差があることを述べる。

第 6 章では、福島県中・南域内のため池堤体形状について、過去の研究と比較検証するために異なる区分方法を用い、地震動による  $R_d$  を検証した。具体的には、ため池 DB から堤高、堤頂長、堤頂幅、上下流法勾配等と  $R_d$  の関係を求める。この結果、ため池  $R_d$  は、堤頂長には明確な関係性が見られ、堤高・堤頂幅・法勾配比の組み合わせで高被災リスクの横断面形状となること等を述べる。

第 7 章の結論では、「環境要因と個体要因」、「誘因の震度」、「被災要因相互間の関係」が明確になったことを踏まえ、「ため池地震動被災要因の概念図」を提案し、ため池被災要因について総括する。

## 第 2 章

### 既往の研究レビュー

#### 2.1 概 説

既往の研究については、次の三点のから包括的なレビューを行う。一つ目は、これまで農業土木分野の自然災害及び防災・減災に関する研究経過と課題に関することである。ここでは地震災害に限らず、台風・豪雨等の自然災害全般に関する研究の流れを俯瞰した。この場合、農業用ため池が農業土木分野でどのように位置付けられてきたか、時代背景等も含めて時系列的にレビューすることで、何故、被災情報を集積するシステムが今日まで出来なかったか、その背景を考える。二つ目はため池の歴史性について、ため池 DB 等から地震被災研究の特性や技術的課題の抽出をを行った。三つ目がため池地震動被災に直接関係する研究レビューである。ここでは被災に関わる要因を環境要因（外的要因・誘因）と個体要因（内的要因・素因）に大別した。環境要因は震度、震央距離、地形・地質・堤軸方向等地震の揺れに関連するものである。個体要因は堤高・堤頂長、堤頂幅、上下流法勾配等堤体形状に関連するもので、過去の研究成果から被災要因因子毎にレビューを行った。

#### 2.2 農地・農業用施設等の災害被害研究

##### 2.2.1 農業土木学会と自然災害

農業土木分野の自然災害に関わる研究経過を見るために、農業農村工学会（旧・農業土木学会）発行の論文集と農村工学研究所（旧・農業土木試験場、以下、「農工研」という）発行の所報告及び所技報から、災害研究に関連性を有するものを **Appendix 1~2** に時系列で整理した。因みに、農業土木学会（以下、「農土学会」という）は明治 41 年発足の耕地整理研究会を引き継ぎ、1929 年（昭和 4 年）に改組、新たに学会として

発足し、同年に「農業土木研究」を発刊している。農工研は1961年に農業土木分野の国の試験研究機関として発足し、1963年に場報告（後の所報告）、1965年に場技報（後の所技報）を各々発刊している。なお、農業土木の学祖とされる上野英三郎博士は、1929年学会発足の四年前に逝去しており、上野博士が「農業土木学と耕地整理と明確に区別され・・・、更に深く研究する必要がある」との考えは、片岡（1929）が「農業土木研究の発刊」時に明らかにしている。この学会発足を機に、1900年に開始された耕地整理事業で土木学に属する研究がさらに深まることになった。Table 2-1に主な自然災害との関連した歴史的経過（森瀧ら（2006））を整理したが、明治期末にはため池工事等が耕地整理事業に追加され、大規模な土地改良工事が急務化し、土木学に属する研究進展が喫緊事となっていた。

自然災害に関する最初の研究は、雨森（1939）による耕地水害の全国規模分析である。同氏は農林省耕地課職員で、現在なら農村振興局防災課が担当する事項である。この研究目的を、「災害を未然に防止するため、全国各地方のため池余水吐の設計排水量の資料を集め、統計的に検討し将来の設計に反映させる」とし、翌年も淡路島の降雨によるため池決壊災害を報告している。

地震災害については、秋葉ら（1941）が秋田県男鹿地震で行った溜池被害調査研究を始まりとし、その後のため池地震被害研究のガイドラインになっている。ここで注目すべきは、東京大学農学部の学者である秋葉が、共著者で秋田県耕地課の役人である仙波と一緒に現地調査を行ったことにある。当時、上野博士の長年の尽力で全国の県庁耕地課内に農業土木学会員が相当数確保され、災害時被害調査は在京大学研究者と地方県庁行政官が一体で行う体制が既に形成されていたと考えることができる。

## 2.2.2 戦後の農業土木と自然災害研究

農土学会発行の農業土木研究は、終戦の2年前の1943年まで発行され、日本の植民地及び占領地の水利事業や災害に関する研究も増えていた。戦後は1948年に再開され、同年雨森は「ため池の洪水防止と発電利用の関する研究」、1949年に「河川の最大洪水量の低減方策」を発表しており、同氏が農林省技官として「災害水文」を長年研究していたことが分かる。同じ年に京都大学農学部の澤田敏男は、浸透流に関する論文を発表し、今日に至るフィルダム工学の長年の研究が浸透問題から始まっている。

Table 2-1 農業土木と主な自然災害に係る歴史的経過

1872年 (M4)	: 上野英三郎 (以下「上野又は上野博士」という) が三重県生誕
1894年 (M27)	: 日清戦争開戦
1895年 (M28)	: 上野が東京帝国大学農科大学農学科卒業
1899年 (M32)	: 「耕地整理法」制定 (2/3同意で施行可能になる)
1900年 (M33)	: 耕地整理事業が着工、上野が大学院満了農科大学講師
1904年 (M37)	: 日露戦争開戦
1905年 (M38)	: 耕地整理法改正 (区画整理にため池と灌漑排水工事を追加)
1908年 (M41)	: 「耕地整理研究会」発足、「耕地整理研究会報」の発刊
1909年 (M42)	: 耕地整理法改正 (開墾工事追加、2/3同意で耕地整理組合設立)
1911年 (M44)	: 上野博士が東大農科大学教授就任、農業工学講座の開設
1914年 (T3)	: 耕地整理法改正 (埋立と干拓工事追加)
1918年 (T7)	: 米騒動勃発
1919年 (T8)	: 「開墾助成法」制定 (自作能保護のため開墾資金の利子補給)
1921年 (T10)	: 「米穀法」制定 (政府の米穀買入が可能)
1923年 (T12)	: 関東大震災耕地整理学を準用した帝都復興計画策定
1924年 (T13)	: 上野が秋田犬「ハチ」を購入
1925年 (T14)	: 上野博士逝去 (53歳)
1926年 (T15)	: 東大農科大学農業工学講座から農業土木学専修へ
1929年 (S4)	: 「農業土木学会」が耕地整理研究会を改組発足
1931年 (S6)	: 農業土木ハンドブック編纂発行
1933年 (S8)	: 農林省が国営第1号巨椋池干拓事業着工 (初代所長: 可知貫一)
1937年 (S12)	: 可知貫一が京都帝国大学農学部教授就任
1941年 (S16)	: 太平洋戦争開戦
1945年 (S20)	: 第2次世界大戦 (太平洋戦争) の終戦
1949年 (S24)	: 土地改良法の制定
1957年 (S32)	: 八郎潟干拓事業着工
1959年 (S34)	: 伊勢湾台風災害
1961年 (S36)	: 農業基本法の制定
1961年 (S36)	: 農林省農業土木試験場の設置
1961年 (S36)	: 災害対策基本法の制定
1963年 (S38)	: 中海干拓事業着工
1989年 (H元)	: 「農業基盤整備事業費」から「農業農村整備事業費」に予算科目変更
1990年 (H2)	: 雲仙普賢岳の噴火
1995年 (H7)	: 阪神淡路大震災
2004年 (H16)	: 新潟県中越地震
2011年 (H23)	: 東日本大震災

これより前に戦後食糧難による大規模土地改良事業が既に始まっており、1949年に土地改良法、自然災害からの農地・農業用施設の復旧に関して「農林水産業施設災害復旧事業費国庫補助の暫定措置に関する法律」（以下、「暫定法」という）が1950年に制定されると共に、農工研発足の最も古い母体組織・農林省農業技術研究所農業土木部が発足した。農林省は1952年に「コンクリート堰堤」、翌年に「土堰堤」の設計基準を制定し、大ダム工事を伴う国営事業の本格的な推進を図った。

戦後初の災害調査研究報告は、昭和28年6月の九州水害に関するもので、1954年の農業土木研究で特集号が組まれた。当時の農土学会は秋葉が会長で、総括、農地、頭首工、ダムの4調査班が、7大学から11名、総理府1名、農林省農業技術研究所3名の計15名をメンバーとした。その後、1957年台風による塩害報告があり、1959年9月の伊勢湾台風（1961年「災害対策基本法」の契機災害）に関する調査報告書が、1960年会誌の報告・資料となった。これは、農林省からの委託で農土学会が災害対策特別委員会を設け、東京教育大学和田教授を委員長、大学関係者等の委員9名、農林省農地局等の幹事12名（九州農業試験場1名を含む）で構成された。この報告書は発災後2週間目に現地調査を行い、補足調査と3回の委員会開催で半年後に完成した。

### 2.2.3 農土試の発足と災害研究

災害対策基本法が制定された1961年は農業基本法も成立しており、農林省に農業土木試験場（以下、「農土試」）が設立した。また、1965年に農土学会の定期発行雑誌は、農業土木研究から「農業土木学会論文集」（以下、「農土論文集」）と「農業土木学会誌」（以下、「農土学会誌」）の2雑誌となった。農土試は、1963年に「場報告」を、2年後には「場技報」を発刊している。因みに、場技報は完成度が高い研究論文（主に学位論文）、場技報は中間的な研究成果で速報的な報告、論文、技術資料とされている。1966年以降も農土論文集で災害に関連する論文が多数掲載されているが、嘗て「官学」の大調査団による災害現地調査報告を掲載することは皆無となった。一方、農土試は1964年新潟地震で被災現地に10名の研究職員を派遣し、翌年に第1号場技報で特集・発刊した。農土試は発足当時から「防災及び災害対策」を重点研究課題に挙げており、農業土木分野が幅広い研究領域を有する中で、有機的な災害調査が可能な国の研究組織として大いに期待・歓迎されていた。なお、同地震では農林技官の高瀬が「アース



ダムの安全性評価」の観点から、農土試と共同で研究していた。

その後農土試は、1968年十勝沖地震、1978年新潟平野6.26豪雨、1983年日本海中部地震等、大規模な地震・豪雨災害時には研究職員を被災地へ派遣し、災害対策上の技術支援と共に、災害及び防災に関する研究論文を場技報で発行している。特に新潟平野6.26豪雨研究は、国営西蒲原排水地区農地防災事業の新規事業創設契機となる等、防災事業の制度化にも貢献している。

農土試は、2001年4月に国の研究機関から独立行政法人農業工学研究所になるに伴い、災害対策基本法の指定公共機関となった。2004年の台風・豪雨と新潟県中越地震等の度重なる災害、さらに2006年の農研機構農村工学研究所の改組・設立後には、2007年の能登半島地震と新潟県中越沖地震の災害対応を所技報の特集号とした。加えて歴史的大災害となった2011年東北地方太平洋地震では、全所全領域を動員して被災現地調査及び災害時技術支援を実施し、その研究成果を所技報・特集号として発行している。

#### 2.2.4 災害研究成果報告の現状

1983年日本海中部地震時に農業土木総合研究所（以下、「総研」という）が農水省の受託先となり、研究と行政が一体的に被災調査を行ったが、この方式ではその後実施されず、被災地は専ら農工研が調査した研究報告だけが残る形態となった。また、農土試が自然災害現地調査と技報発行による研究成果報告を組織として担い、且つ農業土木研究が農土論文集と農土学会誌に分離するに伴い、農業工学分野の大規模自然災害に関する研究論文を一般の農業土木学会員が目にする機会が少なくなった。

一方、これら論文の多くは、「土と基礎」（地盤工学会）に掲載されている。例えば、①1964年新潟地震のため池（アースダム）被害は、高瀬国雄（農林省農地局設計官）が筆頭著者で1966年10月の「土と基礎」に掲載され、その共同著者である山下進（農土試造構第1研究室）が場技報で報告、②1968年十勝沖地震では守谷正博（農土試造構第3研究室）が、筆頭著者で同年9月の「土と基礎」に、翌年1月に場技報に、同6月（単独著者、コンサルタントへ転出）に農土学会誌に掲載され、③1983年日本海中部地震で谷茂（農土試造構造部第3研究室）が筆頭著者で、1985年9月に「土と基礎」、同年11月に場技報に掲載された。

このようにため池地震災害研究の場合は、農土試設立以降、農林省の研究機関として専ら被災現地の調査研究報告を担うことことで、所技報と他学会論文集の投稿・掲載がパターン化し、嘗て大学研究者と行政官の合同による災害調査報告が農業土木研究に掲載された頃とは大きく様変わりした。加えて、論文集の災害研究に関するテーマも、被害調査結果の統計的研究よりも、被害探査手法、被災状況把握手法等、通信・情報に関する新技術導入を前提とした災害支援や防災・減災システム化の提唱等の研究報告がより多く見られる。

### 2.2.5 災害調査研究の課題

災害時被害推定や予測手法開発は、「防災及び災害対策研究」の目標であり、そのための災害時毎の被災情報は不可欠且つ唯一の検証データとなる。また、それら研究の正否は、統計的分析が可能なデータの質と量にも掛かっている。これを上記①~③と1939年男鹿地震の秋葉らのケースで検証する。まず、被災ため池は、4地震の最低が58個で、最高218個である。これに無被災分を含めた情報収集には、行政機関の全面的な協力が不可欠である。秋葉は秋田県庁が、①山下は農林省の高瀬技官が、③谷は、東北農政局（1984）が主体でデータ収集を担っていたが、②守谷には行政機関との共働体制が確保できてないようである。

その後、1990年噴火の雲仙普賢岳では調査派遣の要請実績が確認できず、1995年兵庫県南部地震では行政との災害現地調査実績が見られず、歴史的災害であったにも拘わらず農工研技報・特集号はない。2001年4月の「独立行政法人」化以降、さらに行政との一体的調査体制が稀薄化し、2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震及び新潟県中越沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震では、技報・特集号は発行したが、農水省及び被災県からの被災情報の共有関係は築けていない。1961年の農土試発足時に「防災及び災害対策」を重点研究課題に挙げていたにも拘わらず、誠に残念な状態である。

これは、高瀬（1967）が「災害報告書においても、その場その場の調査者の主観的判断に終始しており、被害の原因や核心を極め、より広い統計面からの客観的考察によって、その実態を正当に位置づける研究領域は、従来まったく未開発であった」と指摘した当時と変わらない状況である。今後、農業土木分野の災害時被災情報の統計

的分析の重要性に鑑み、IT 分野の進歩に適合した行政・研究の相互連携及び情報共有体制の整備と時代の変化に応じた災害に対する問題認識の醸成が研究・行政双方に必要と思われる。

## 2.3 ため池研究の特色

### 2.3.1 ため池の定義

我が国のため池は古墳時代から築造され、現在、全国に約 21 万個と言われ、灌漑農業を象徴する歴史的施設である。最新の農業農村工学ハンドブックでは「ため池に対する厳密な定義はないが、・・古来より造られてきた土質材料・岩質材料（フィル材）を主材料として築堤される比較的小規模な貯水池を、一般に、ため池という（規模の大小にかかわらず、フィル材で築造される農業用貯水池を広くため池とよぶこともある）。」と記述されている。

定義がないとされる理由は、昭和 41 年初版の農業土木標準用語事典では、「溜池（ためいけ）」は古語・方言（農土学会が定める標準用語でない）に分類され、平成 4 年の改訂四版では古語・方言のほかに貯水工（ダムおよびその付帯施設等の計画・設計・施工に関する用語を収録）に分類され、「灌漑目的のため歴史時代に築造されたアースフィル堰堤による貯水池。わが国の多くのは西暦 700 年前後に築造されたものと推定され、その数は約 30 万個といわれる」とされている。さらに、平成 15 年の改訂五版では古語・方言からは外され、貯水工の分類中で「灌漑目的のため築造されたアースフィル堰堤による貯水池（以下、改訂四版同じ）」とされ、「歴史時代に」が削除されている。一方、農水省の土地改良事業設計指針「ため池整備」（2000 年制定）では、「堤高 15m 未満のフィルダムタイプのため池の改修に適用する」とされ、堤高 15m 以上の農業用ダムと区別された。即ち、「ため池」は農業土木用語からは一旦外れ、今日に至って専門用語に復活した希有な名称である。

本研究の「ため池」は、地震被災が堤体に起こることから、「土質材料・岩質材料を主材料として築堤される土堰堤」と定義し、高さ規模等の要件はない。

## 2.3.2 ため池の歴史的課題

松尾（1937）は、農土木学設立期に「2000年以上前の崇神天皇の頃にため池が出来たことが日本書紀の記述にある」として、当時、ため池は農業土木関係者にとって先駆的な土木構造物のシンボルであった。古代からのため池築造の歴史に係る最初の問題は、今も①膨大な数が存在していることである。さらに、歴史的な数に関連した問題として、②立地の分散性と、③工学的な不統一・不透明性がある。

ため池の数に関して、**Appendix 3**は平成9年度に農水省構造改善局地域計画課（現・農村振興局土地改良企画課）が行った長期要防災事業量調査で集計された「ため池台帳」と農水省防災課が総研及び農工研の協力の下で整理した「ため池DB」都道府県別全国集計の比較表である。現在、ため池総数は210,769個所であるが、上記用語集の約30万個は、高瀬（1967）の1955年時点の農林省農地局「溜池台帳」では27万個超とあり、過去には現在よりもさらに多くのため池が存在していた。

以下では、ため池の歴史的観点から、築造の歴史、老朽化問題、ため池DBの3テーマを取り上げ、防災・災害対策に係る問題を論じる。

### 2.3.2.1 ため池築造の歴史

ため池築造数の歴史的推移は、高瀬（1967）によると、受益面積5ha以上のため池数は江戸時代前に2万個弱だったが、泰平が続く300年間の人口増加に伴い約2倍の4万個に達した。20世紀には維持維新を契機に人口増加が更に加速し、ため池数も急増している。明治期以降のため池築造は、昭和9年農業土木学会編の「本邦高土堰堤誌」に221個の高堤高ため池（高土堰堤；堤高50尺（ $\times 0.303=15.15\text{m}$ ）以上、かつ貯水容量5,000立坪（ $\times 6=30,000\text{m}^3$ ）以上、且つ灌漑受益面積10ha以上、但し、植民地の朝鮮分41箇所は除く）が掲載され、その内の86%は明治期以降の築造である。1895年（明治38年）に始まった耕地整理事業付帯のため池工事によって、今日、農業用ダムと呼ばれる高土堰堤が、食糧増産に不可欠な基盤施設として、如何に急ピッチで全国的に展開されたか理解できる。

明治期末から大正期のため池築造状況が分かる記事が、「耕地整理研究会」（1908年（明治41年）発足）の「耕地整理研究会報 第20号」（大正4年3月）に「溜池一覧」と「溜池直営工事概況」が掲載されていた。著者は農林省国営巨椋池干拓事業初代所

長（鈴木ら（2006））の可知貫一（1915）で、当時、岐阜県庁技師として自ら設計した耕地整理事業附帯ため池 31 個所の設計諸元と現地の工事進捗状況を投稿し、研究会員に向けての技術的発信を行っていた。Table 2-2 には、当該記事から可知が設計した 31 個所のため池諸元一覧表（尺間法からメートル法に変更表示）を示した。31 ため池の平均堤高は 10.6m（中間値 9.1m）で、全般に規模が大きく、表中の No.28 と 29 の石堰堤を除き、堤体形状は堤高が高くなるに従って堤頂幅が広く、上下流法勾配が緩くなる傾向が見られる。また、31 個中 6 個が 15m 以上の高土堰堤であり、その全てが「本邦高土堰堤誌」にもリストアップされ、工期も概ね大正 3~5 年着工で記事内容と符合していた。工事概況の記事には、500 名内外の作業員を駆使し、如何に工事施工を司ったか等が詳細に記述されているが、築堤に使った土質材料や突き固め方法等の技術的な事項には全く触れられていない。会報を発行していた耕地整理研究会には、1915 年（大正 4 年）時点の会員数が約 1,300 名で、在京の大学・農務局関係者と地方の県庁等の関係者で構成されていた。この頃築造のため池堤体断面図が「本邦高土堰堤誌」に掲載され、かなり設計の標準化が図られているように見受けられる。このような事情から類推すると、当時の県庁研究会員が主体となって、ため池の設計・施工に関わっていたと考えられる。

因みに、山崎（1935）に拠ると、農業造構の研究は、明治 44 年（1911 年）以降に農業工学の一部として行われ、大正 15 年農業土木学専修となった際に、農業造構学として講義が行われた。堰堤誌の中で、江戸期以前で築堤年代が判り、且つ堤体断面図が付いていたものが 8 個あった。これらの堤体構造から、明治期に入る 10~20 年前には既に「前法刃金」と「中心刃金」タイプは、明治期以降の様式に類似していた。

Table 2-2 大正期の岐阜県内耕地整理地区関連ため池一覧

No.	受益面積 (ha)	H(堤高)m	L(堤頂長)m	W(堤頂幅)m	勾配		備考
					U(内)	D(外)	
1	1.14	6.7	40.0	2.7	1.5	1.5	No.1-2で1地区
2		6.7	30.9	2.7	1.5	1.5	
3	1.15	7.3	90.9	3.6	1.5	2.0	
4	3.00	9.1	72.7	3.6	2.0	2.5	
5	3.00	7.6	65.4	3.6	2.0	1.8	
6	7.00	10.9	83.6	2.7	1.8	1.8	
7	1.51	7.6	125.4	2.7	1.5	1.5	
8:南宮池	4.70	19.7	61.8	7.3	1.8	1.8	
9	2.47	8.8	83.6	3.6	2.0	2.0	
10	0.88	8.2	60.0	2.7	2.0	2.0	
11	1.18	10.3	43.6	3.6	2.0	2.0	
12	0.32	7.3	34.0	2.7	2.0	2.0	
13	2.98	11.2	33.8	3.6	2.0	2.0	
14	0.35	5.5	21.8	1.8	1.8	1.5	
15	6.00	8.8	29.5	3.6	1.8	1.8	No.15-17で1地区
16		3.9	23.6	2.7	1.8	1.5	
17		8.5	50.0	3.6	2.0	2.0	
18	1.76	10.6	118.2	3.6	2.0	2.0	
19	1.50	11.5	150.9	3.6	2.0	2.0	
20	0.27	7.0	56.4	1.8	2.0	1.5	
21	0.92	7.6	202.7	2.7	2.0	2.0	
22:小泉第一号溜池	7.00	17.3	216.2	5.5	2.2	2.0	
23:小泉第二号溜池	1.20	15.2	110.9	4.5	2.0	2.0	
24	1.56	10.6	86.4	4.5	2.2	2.0	
25	1.05	7.9	83.6	3.6	2.2	2.0	
26:北部総合第一号池	14.00	18.5	69.1	3.9	2.2	2.0	No.26-27で1地区
27:北部総合第二号池		21.2	83.6	5.5	2.2	2.0	
28	2.50	12.7	34.5	2.4	0.5	1.2	石堰堤, No. 28-29で1地区
29		13.9	26.4	2.4	0.5	1.2	
30:坂本池	5.90	15.2	79.3	4.5	2.2	2.0	☆図面有り
31	4	12.7	69.8	4.5	2.2	2.0	
平均	2.5	10.6	75.4	3.5	1.9	1.8	
中間値	1.56	9.1	69.1	3.6	2.0	2.0	

出典: 可知貫一, 耕地整理研究会報第20号p32-36, 大正4年3月発行

ため池の歴史性から生ずる工学的問題は、70%以上のため池が江戸時代以前と築造年代不明で、明治期以降も岐阜県の例のように設計者が確認できるケースは極めて稀で、堤体断面図さえ不明なため池が大部分で、築堤材料や施工様式に至っては岐阜県の例でも明かなように想像の域を出ない。つまり、ため池は、設計、施工、材料等の土木工学的要素の不明度性が極めて高く、現存する大部分が、外見的形状以外は決壊

か全面改修しない限り堤体内部を知ることはできない。

近年施工された堤高 15m 以上のダムは、決壊時に下流域への影響度が甚大なため、特に構造的に高い耐震性が要求される。一方、ため池は今日的耐震基準以前にその殆どが築造され、国内で頻発する地震・豪雨災害経験を踏まえた「伝承工法」に拠ったものと考えられる。そもそも農業土木では、2 千年に亘る灌漑用ため池築造に係る伝承技術を有していたが、20 世紀に入ってからの大規模な耕地（水田）拡大に伴い、より高堤高の土堰堤築造技術の導入が必要となってきた。1929 年（昭和 4 年）に耕地整理研究会を改組し、農業土木学会を発足させた背景には、近代的な土木工学を農業・耕地整理分野に取り入れ、国内での大規模土地改良事業による食糧増産の国家的要請があったものと考えられる。その後、1931 年の「農業土木ハンドブック」発行を皮切りに、1933 年に「国営巨椋池干拓事業」の着工を始め、全国各地に大規模な土地改良事業が展開された。因みに、福島県の藤沼ため池着工は 1937 年であった。

終戦前後の数年間、人員と物資不足で全国の土地改良事業は休止を余儀なくされたが、戦後の危機的食糧難のために土地改良事業が全国で劇的に推進されたのは言うまでも無い。この時期、投資効果の面から大きな受益面積を有する地区が優先され、新規用水源に大ダム建設の需要急増は必然であった。そこに京都大学名誉教授沢田敏男は、農業土木分野のフィルダム工学に関する学術的レベルを短期間で圧倒的に向上させた。これは終戦 3 年目以降、農業土木研究に目白押しに掲載された論文数から容易に理解される。この間、ため池、土堰堤、アースダムと本研究雑誌に論文が掲載されることが稀となり、フィルダム工学に関する論文が 70 年代末まで立て続きに発表された。丁度その頃、東北農政局管内では 100 級のフィルダムが複数着工していた。

### 2.3.2.2 老朽ため池問題と安全性評価

戦後復興により農村から人口流失が顕在化する頃、老朽ため池が社会問題となり、1953 年に農林省は老朽ため池補強事業を創設した。元来、ため池築造は可知氏の報告のように大型重機のない時代は、農村地域で豊富な労働力である農民を集め、地区内で採れる盛土材料を使った土方作業によっていた。多量な用水を必要とする稲作農業にとって、ため池は極めて大切な地域の命脈的農業資源であり、台風や大地震等の自然災害時には「村」全体で必死に守られ、仮に一部損壊しても自ら地域全体造った「土」構造物だから、村総出で復旧を行い得た。村の命脈施設に対する「草刈り」、「泥上げ」

等の保守管理は、村内では堆肥ともなり、問題なく万全に行い得た。即ち、農村地域が人口（＝農家・農民）過密な時代には、ため池老朽化問題の発生はあり得ない現象であった。つまり、ため池が土構造物である限り、一旦築造すれば長い年月を掛けて土が締まることで構造的に安定化し、人手さえあれば保守管理に専門家は不要である。土堰堤であるため池は、過密気味の農村地域で最も合理的な農業土木施設であり、この合理性こそが我が国に最大 30 万個のため池がストックされた理由ではないかと考えられる。言い換えれば、ため池老朽化問題の発端は、農村人口が過密から過疎へのシフトにあり、戦後日本の高度経済成長と深く関連した社会現象であった。

このことは、1967 年に高瀬氏が「アースダムの安全性に関する統計的研究」を学位論文とした年代、さらに前にの昭和 30 年（1955 年）に農林省が「ため池台帳」をまとめた時代とも関連している。戦後の日本の経済的復興が本格化した契機は、1950 年の朝鮮戦争に伴う特需からで、昭和 30 年代には過剰な農村人口は急激な経済成長によって都会への流失が始まっていた。これまでは造ってさえあれば、農家や村社会において有り難く維持管理されるため池は、国や県の関与が殆どない施設であったが、農村人口の流失、出稼ぎ、農家の兼業化が増加することで保守管理の粗放化が進み、草刈りや泥上げ等も化学肥料の普及によって経済行為としての価値が急落した。そのため保守管理に手抜きが始まった土構造ため池は、全国的に老朽化問題が顕在化した。加えて、都市近郊農村地域では混住化が進み、農業的には命脈的地域資源が、非農家側からは人命に危害を加える「危険施設」と見なされるようになった。

決壊する恐れのあるため池改修については、1937 年に農業土木研究に掲載された「水害防止協議会決定事項（抄録）」の中で、次のことが書かれていた。「溜池堰堤の築造及其の維持に関しては特に其の取締を完全ならしむるは勿論現存溜池堰堤にして決壊の虞ありと認められるものは之が改築を促進するため助成の途を拡充すること」とある。これは内務省内の同協議会で決定されたもので、農業土木にも相当関連するとして載せてあった。即ち、昭和 10 年代の戦争から始まる農村からの人口流出は、溜池が水害の元凶として、適切な維持管理と改修が社会的にも求められる施設となった。それが昭和 30 年代後半に農林技官・高瀬の学位論文テーマ「ため池・アースダム安全性」は、全国 27 万個を超える膨大な農業インフラストックの老朽化問題がベースとなり、当時、国の担当行政官が採るべき至極当然の研究テーマ設定であった。

ため池のストック管理に国や県等の行政関与の度合を高めたもう一つの背景には、



その施工法の変化が考えられる。従来、ため池築造には農民を多数集めた人海戦術による土方工事が基本であった。戦後復興の本格化に伴い、農業用ダム建設やため池改修・改築に大型機械施工が一般化し、一方で農家側は出稼ぎや兼業収入で農業機械を購入し、農作業から肉体労働が解消された。さらに農家人口の減少や機械化農業が進行する中で、ため池の築造・改修も大型機械を有する土建業者の工事請負が一般化する。地震や豪雨によるため池は決壊・破損しても、嘗てのように農家自らが総出して補修や復旧する光景は見られなくなった。地元行政が主体となってため池を改修することで、さらに行政的関与度は年を追う毎に上昇した。今現在に至っては、災害リスクがあるため池に対して、平成 25 年の国土強靱化法の制定過程の中で国や自治体の行政責任はさらに高まって来ている。

### 2.3.2.3 ため池 DB の防災・災害対策上の課題

国関与の初歩行為となった全国版「ため池台帳」作成は昭和 30 年に始まり、その後数度に亘って再整理された。Appendix 3 の最新版・平成 9 年の「ため池台帳」では、約 21 万個のため池が都道府県別に集計されているが、目的が長期の要防災事業量調査であるため、受益面積、ため池形式、事業主体、築造年代、管理の現状や課題に関する結果が集計されているだけで、ため池個々施設の安全性に関する評価に利用する前提にない。ため池台帳のあり方が問題化する切っ掛けになったのが、1995 年兵庫県南部地震で国内初の震度 7 が適用され、ため池被害数も 1,200 個以上に及んだ。元々兵庫県は奈良・大阪に近く、気候柄も古くからため池造営が行われ、県内ため池数約 4 万 8 千個は、全国ため池数の 23% にあたり、日本一のため池保有県であった。そこで結果的に決壊数 9 箇所を含め千個以上のため池に被害が生じたのであるが、発災当初、何処でどれだけのため池に被害が発生したのか皆目分からず、地元市町村から県、農政局、農水本省までの災害対策関係者は、大変なパニックに陥った。この教訓を下に農水省は総研に委託、農工研は依頼を受けて、検索機能付きため池台帳として「ため池 DB」の開発を行い、同時期、都道府県はため池毎に所在地、施設諸元、管理者、管理状況等のデータ収集・整理・入力を実施した。データ入力及び検索システムの開発は(株)G&S が行い、その後も農工研は GIS を活用した検索・表示機能、地震・降雨等の気象情報の取り込み、簡易氾濫解析等機能充実を平成 21 年度まで順次進め、ため池 DB の登録数も約 12 万個まで拡大させた。

この期間、地震災害では農工研技報で特集号化した大規模地震が3つ、2004年には台風豪雨災害により淡路島で多数のため池被害が生じたが、農水省も農工研もため池DB使って本格的な被害調査や研究報告を行っておらず、農水省の災害対策行政からも忘れ去られた存在となっていた。そして2011年3月の東北地震では「藤沼ため池決壊」の報道情報に対し、農水本省は被害箇所確認が取れなかった。「天災は忘れた頃にやってくる」は、寺田寅彦の有名な言葉であるが、備えの道具は持っていたのに使えなかったのである。

前節では、戦後、大型施設造営を社会要請してきた農業土木分野において、防災・災害対策に関わる脆弱な体制と研究・行政間の連携希薄性の問題を指摘した。結局、高瀬（1967）の「災害報告書において、その場その場の調査者の主観的判断に終始しており、被害の原因や核心を極め、より広い統計面からの客観的考察によって、その実態を正当に位置づける研究領域は、従来まったく未開発であった」ことも、阪神・淡路大災害時の「農業土木分野の行政と研究が協力し、災害経験を踏まえた防災・災害対策研究の継続的蓄積」教訓もその後、実質的に活かされることはなかった。

農村地域の人口減少・農家の高齢化や担い手不足の深刻化は、地方の存続すら危うい情勢である。60年前に始まるため池の維持管理・老朽化問題は、地域の防災問題とも関連し、既に農家と地域住民だけでは背負いきれない状況下にある。また東日本大震災を契機に「行政側に対する責任論」が急速に高まりを見せ、平成25年の災害対策基本法の改正及び国土強靱化法の制定に伴って、警戒すべきため池についてはハザードマップを作成することが義務付けられた。今後は緊急的に地震・豪雨時のため池災害リスク評価が求められるが、全国に5~6万個といわれる2ha以上のため池について、築堤材料の採取から解析評価までの対応は、必要性は認めても、工学的、時間的及び財政的な面から、適切かつ現実的な方法とは考えられない。ここで最優先すべき事は、「被害の原因や核心を極め、より広い統計面からの客観的考察によって、その実態を正当に位置づける」ため、過去の災害調査結果をレビューし、ため池DBを駆使した被害研究によって、現実に適合した防災・減災対策に繋げて行くことであると考えられる。

## 2.4 ため池の地震動被害に関する研究

**Tabel 2-3** には，我が国における大規模地震動によるため池被害を示した．

Tabel 2-3 日本の主な地震のため池被害

地震名	発生年月日	マグニチュード	ため池被害数
北丹後	Mar. 7,1927	7.3	90
男鹿	May 1,1939	6.8	74
新潟	Jun. 16,1964	7.5	146
十勝沖	May 16,1968	7.9	202
宮城県沖	Jun. 12,1978	7.4	83
日本海中部	May 26,1983	7.7	238
北海道南西沖	July 12,1993	7.8	18
兵庫県南部	Jan. 17,1995	7.3	1,222
鳥取県西部	Oct. 6,2000	7.3	71
芸予	Mar. 24,2001	6.7	205
宮城県北部	July 26,2003	6.4	33
新潟県中越	Oct. 23,2004	6.8	561
能登半島	Mar. 25,2007	7.2	175
新潟県中越沖	July 16,2007	6.9	90
岩手・宮城内陸	Jun. 14,2008	6.8	102
東北地方太平洋沖	Mar. 11,2011	9.0	1,990

ため池地震被害について，統計的に研究するために，先人達は被害ため池と一緒に無被害池のデータ収集も必要としたが，それには災害緊急時特有の制約があった．また，ため池の歴史性と地域性から派生する問題として，①膨大な数量，②立地の分散性，③工学的の不統一・不明性が有ることを前提条件としておく必要がある．一方，ため池の地震被害を統計面から分析検討するためには，やはり得られるデータが充分でな

ければ客観的な考察には役立てられない。上記 3 条件に関連して平時に長い年月を要して全国的に集積された「ため池 DB」ではあるが、諸元データの全てを捕捉していくことのは簡単なことではなかった。Table 2-4 は、Appendix 3 を基に各都道府県のため池 DB に登録された項目別データの充足率を整理したものである。堤高，堤頂長に関するデータ登録充足率は全体でも 95% 超で府県別のバラツキも少ない。これに比較して堤頂幅，勾配，地形では，充足率 8 割~7 割と低下し，築堤材料に関しては半分にも満たない状況である。このような充足率になる理由は，外見的に確認できるものは現在でも捕捉できるが，築堤年代や材料に関するものは過去の記録がなければ捕捉困難だからである。そのために本研究では，現状でデータ充足率の低い築堤年代，材料，ため池型式等堤体内面構造に関する項目は参考程度に止める。

Table 2-4 ため池 DB 諸元データの充足率

単位:千個

	①ため池台帳	②ため池DB	③堤高	④堤頂長	⑤堤頂幅	⑥勾配U	⑦勾配D	⑧地形	⑨堤体材料
総数	210.8	116.8	111.4	111.1	97.4	86.0	85.9	93.4	49.0
指数	100	0.55	0.95	0.95	0.83	0.74	0.74	0.80	0.42
平均値	—	—	5.08	62.53	2.89	1.45	1.77	—	—

注)U上流, D下流

#### 2.4.1 研究の概観

本研究でレビューするため池地震働被害に関する研究は，耕地整理技術から土木工学的な技術研究・振興に舵を切った 1929 年の農業土木学会発足以降とする。また，同学会が発行した「農業土木研究」の研究論文をベースとし，1965 年以降に農工研が発行した「所報告」及び「所技報」を含めた。さらに，関連する内容が地盤工学会の「土と基礎」等、他学会で掲載された研究論文等も包含した。なお，本研究がため池 DB を用いて統計面から地震動被災の要因研究を趣旨するため，ため池形状諸元に関する研究の有無もレビューの必要条件にした。Table 2-5 では，それら研究結果を主要な地震災害毎に時系列的に整理した。

Table 2-5 ため池の地震被害に関する研究レビュー

○:関係有り ●:関係有り(結果反対)△:無関係

地震名(年)	論文等・著者名(年)・雑誌等	環境要因				内的要因						備考
		震度	震央距離	地形等	堤軸角	堤高	堤頂長	堤頂幅	法勾配	横断形状	マルチ	
男鹿(1939)	秋葉(1941)農業土木研究	△	-	○	△	○	-	○	○	○	-	
男鹿(1939)	谷・長谷川(1987)学会誌,谷所報	○	○	○	-	-	-	-	○	-	-	レビュー
新潟(1964)	高瀬・山下ら(1966)土と基礎 技報	○	○	○	○	○	△	-	●?	○	-	
新潟(1964)	谷・長谷川(1987)学会誌,谷ら(1998)所報	○	○	○	-	-	-	○	○	-	-	レビュー
十勝沖(1968)	守谷ら(1968-9)技報,土と基礎学会誌	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	
十勝沖(1968)	谷・長谷川(1987)学会誌,谷	○	○	-	-	○	△	○	○	-	-	レビュー
宮城県沖(1978)	東北農政局(1979)他,中島(1979)学会誌	○	○	○	△	●	-	-	-	-	-	土質Rd(不明)
日本海中部(1983)	谷ら(1985)技報,東北農政局(1984)	○	○	○	○	○	△	○	○	-	-	
日本海中部(1983)	谷・長谷川(1987)学会誌,谷所報	○	○	○	-	○	△	-	-	-	-	レビュー
日本海中部(1983)	山崎ら(1989),土木学会	-	○	○?	●	○	○	○	○		◎	多変量解析
北海道南西沖(1993)	谷(1995)技報	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	レビュー,土質
兵庫県南部(1995)	谷(1997)大ダム	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	土質被害
兵庫県南部(1995)	谷他(1998)所報	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	レビュー
兵庫県南部(1995)	藤井(2005)	-	○	○	○	○	○	-	-	-	◎	多変量解析
宮城県北部(1996)	谷(1998)技報	○	◎	-	-	-	-	-	-	-	-	
芸予(2001)愛媛	小林ら(2002)学会論文	-	○	○	-	○	○	○	○	-	◎	多変量解析
芸予(2001)広島	山本ら(2002)土と基礎	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	被害,土質
宮城県北部・鳥取西部・芸予(1996)	谷(2005)学会誌	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ため池DB
新潟県中越(2004)	毛利ら(2006)技報	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	土質被害形態
能登半島(2007)	毛利ら(2008)技報	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	土質被害形態
新潟県中越沖(2007)	毛利ら(2008)技報	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	土質被害形態
東北地方太平洋沖(2011)	堀ら(2012)技報	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	土質被害形態

農業土木分野のため池地震動被害研究は、秋葉ら（1941）が1939年秋田県男鹿地震で行ったのが最初で、その調査研究は統計的手法を駆使し複合的に分析を行っている。その背景には、1934年に農業土木学会編の「本邦高土堰堤誌」が発行され、その前後にため池に関連して、和久井（1932）が地質学的考察、井上（1937）が天端率と内外法率の関係、和田（1937）が堤体断面決定、石橋（1939）が堤高と堤頂幅の関係につ

いて研究発表し、秋葉らも高堤高アースダム時代に向けて、従来のため池形状と地震被害の関連を検証する意図があったと推察できる。その結果、秋葉は「従来 of 農業用溜池の土堰堤及び其の附属構造物の計画・築造・管理には、震力の考慮が非常に欠けていて、経験にのみ依頼した結果、遺憾ながら被害の度を激しくしたかの感があったことである」とし、さらに「一地方に大地震が襲うのは・・・稀ではあるが、其の災害の戦慄すべきを思えば、あらゆる部門から、これが調査研究をなし、対策を講じなくてはならぬ。地震については専門家に任せて置けと云うが如き無責任極まる態度を排すべき」と総括した。

本節では、その後のため池地震動研究に大きな影響を与えた、秋葉らの被害調査研究項目をベースとし、**Table 2-5** の研究レビュー総括表に示すように、地震動に関連する三つ（①震度、②震央距離、③地形・地質）の環境要因と、ため池堤体形状が有する五つ（①堤高、②堤頂長、③堤頂幅、④堤体上下流法勾配、⑤堤体横断面形状）の個体要因に区分した。但し、ため池堤軸方向は、ため池サイトの地形と深く関わるため、③地形・地質の環境要因に含めた。最後に、被災要因を多変量解析で求めた事例を紹介する。

## 2.4.2 地震等の環境要因によるため池の地震動被害

### 2.4.2.1 震度とため池被害

現在の農業用ため池の地震後緊急点検要領では、震度 5 弱以上で全ての対象ため池が、震度 4 では対象ため池のうち堤高 15m 以上のもので実施することになっている(対象ため池：①堤高 10m 以上、②貯水量 10 万 m<sup>3</sup> 以上、③決壊した場合、人的被害を及ぼす恐れがある、④地域防災計画等に定められている、但し、①~④のいずれかに該当する)。この点検要領で規定されている震度は、以下、研究成果要旨がベースとなっている考えられる。

高瀬ら（1966）は、新潟地震の震度と被害ため池分布で、「震度 3 程度では全く被害がない、被害ため池は震度 4 と震度 5 の地域で、多くは震度 5 に含まれる」、「震度 5 で堤体破壊（決壊）がないので、決壊は震度 6 以上で起こる」と結論した。さらに「震度は市街地で観測され、ため池付近でないの、概略の値しか示していない点に注意すべき」としている。谷ら（1985）は、1968 年十勝沖地震と日本海中部地震の震度コ

ンタを，市町村別ため池被災率を 6 区分し震度分布に重ね，両地震で「震度 5 の範囲に被害ため池はほぼ入る」とした．さらに，谷（2005）は，2000 年鳥取県西部，2001 年芸予地震，2003 年宮城県北部地震の計測震度とため池被災率の関係から，「被災率は計測震度 5.7 付近から急激に大きくなる傾向が見られる」とした．

震度とため池被害の関係は，全ての研究でその関連性を前提に検討されているが，高瀬らの指摘のようにため池毎の震度特定に十分な精度がなく，谷らが市町村毎にため池被災率として示すことが，当時，唯一可能な方法であった．

#### 2.4.2.2 震央距離とため池被害

谷ら（1998）は震央距離と被災率に着目し，各地震の震央距離別に被災率を並べて，地震被害が生じる最大震央距離と最短震央距離の被災率を推定し，地震マグニチュードと被害発生の限界震央距離関係を明らかにした．但し，マグニチュード 8.0 以上でため池被害の記録がないことや特定の震央距離に高い被災率が生じるなど，被害傾向を表す意図は理解できるが，推定式には地形・地質要因を考慮しておらず，問題がないとは言えない．

#### 2.4.2.3 地形・地質とため池被害

地形・地質と地震被害の関係は，秋葉ら（1941）が最初に着目したテーマであり，地層や土壌分布等も比較考察し，被災池は地形的に「平地と山地の境で最も顕著だった」とした．なお，秋葉らは地形と地震被害の関係考察のため，地勢図上にため池位置表示した図面を作成していたが，時節柄（論文が発表された昭和 16 年は，太平洋戦争開戦年であり，国防上の配慮からか）省略されている．その他，重ね池では単一池よりも被害が甚だしく，特に上流池に被害が大きいことにも着目している．

高瀬ら（1966）と谷ら（1985）では，地形の境界に着目し，秋葉らと同様な結果であった．山崎ら（1989）は同じ日本海中部地震で地形分類から，台地が最も被災率が高くなった．また，藤井ら（2005）は兵庫県南部地震で標高を地形分類に代用し，高位標高で被災度が大きくなっており，地形に関しては秋葉らの結論と矛盾する結果はその後もなかった．

#### 2.4.2.4 堤軸方向とため池被害

堤軸震央方向角度について、秋葉ら（1941）は男鹿地震で「堤体の方向と最大震動の方向及び震源地の方向には特別な因果関係は発見されない」と結論したが、この問題に対する関心は極めて高く、「堤体も一つの構造物なる以上震動の方向と無関係であり得ない」と考え、当時、相当綿密な現地調査を行っていた。その後、高瀬ら（1966）、守谷（1969）、中島（1979）、東北農政局（1984）、山崎ら（1989）、藤井ら（2005）、山本ら（2002）がこのテーマで検討したが、中島以外は全て因果関係ありと報告され、うち山崎ら以外は、「震央」－「堤体」－「貯水池」の位置関係で、さらに直角付近の被災率が大きい傾向があったとした。但し、複数の地震事例で研究レビューを行っているが、このテーマに関する統一的整理は行われていない。

#### 2.4.3 堤体形状等を個体要因とするため池の地震動被害

過去のため池地震動被害研究では、①堤高、②堤頂長、③堤頂幅、④上下流法勾配の4つを堤体形状に関する諸元とし、②/①（形状係数）、①と③、①と③及び④等を堤体横断面形状諸元の組み合わせで検討されている。以下、ため池地震動被害に関して、①から④までを諸元毎（但し、形状係数は②に含める）に、さらに堤体横断面形状諸元、多変量解析と順次レビューする。

##### 2.4.3.1 堤高とため池被害

昭和9年発刊の「本邦高土堰堤誌」では、高堤高ため池（高土堰堤）を堤高50尺（ $\times 0.303=15.15\text{m}$ ）以上、貯水容量5,000立坪（ $\times 6=30,000\text{m}^3$ ）以上、灌漑受益面積10ha以上で定義とされ、堤高は構造物として重要諸元であり、「地震時ため池緊急点検」でも、堤高によって点検対象が異なっている。秋葉ら（1941）の研究でも最初の堤体諸元として堤高を挙げ、これを5分割して被害との関係をみている。因みに、戦前は尺間法で、 $\sim 5$ 尺（1.5m）、 $\sim 10$ 尺（3.0m）、 $\sim 20$ 尺（6.1m）、 $\sim 30$ 尺（9.1m）、30 $\sim$ 54尺（9.1 $\sim$ 16.4m）である。

次の高瀬ら（1966）は、新潟地震で堤高を5m毎に分割し、無被災ため池数との対比で被災率としている。東北農政局（1984）は、堤高0 $\sim$ 1.5mまでを第一区分とし、1.5 $\sim$ 7.5mまでを1.0mピッチで6分割、7.5m以上を1区分の計8分割で被災ため池数を



整理し、堤高区分毎に被災率の変化を見ている。谷ら（1987）は、堤高と被害の関係を十勝沖・宮城県沖・日本海中部の3地震の被害事例を並べて比較した。堤高区分は、高瀬ら（1966）と同じ5.0mピッチで、いずれの場合も「堤高が大きいほど被害が大きくなる」と結論した。因みに、著者毎に堤高分割に違いがあるのは、一応区分毎の個数のバラツキを極力少なくする工夫と考えられる。その後も、地震被害研究の報告はされているが、単一の堤体形状諸元による被害分析研究は見当たらない。例えば、山崎ら（1989a, 1989b）、藤井ら（2005）、小林ら（2002）は、多変量解析に併せて被災率を算定し、堤高と被害に因果関係があると報告した。

#### 2.4.3.2 堤頂長とため池被害

通常、ため池形状を代表する諸元として堤高に次ぐものは通常、堤頂長である。しかし、地震被害の関係で堤頂長を単独で論じた部分は、秋葉ら（1941）にはなく、高瀬ら（1966）が行った、被害との関係では、「明確な傾向は見られない」であった。唯一、東北農政局（1984）が堤頂長25mピッチ毎の被災池度数分布を示し、「被害池は堤頂長25-50mのものが多く、100m以下が大多数」とだけ結論した。谷ら（1987）は、「堤頂長と被害の関係は特に見られない」とし、十勝沖と日本海中部地震の被害例について、「堤頂長/堤高を形状係数として、2.5以下では被災がなく、5.0以下では被災率は小さく、5.0超では被災率は一定レベルで大きくなる」とした。因みに、ため池形状係数と地震被害の関係性については、畑中（1952）は、「堤頂長が堤高の3~4倍以上であれば、自由振動周期として共振現象を起こし得る」とした研究結果による。その後、山崎ら（1989a, b）、藤井ら（2005）、小林ら（2002）は多変量解析と併せて被災率を算定し、堤頂長規模と被災率には因果関係があると報告した。

#### 2.4.3.3 堤頂幅とため池被害

一般に堤頂幅は高堤高ため池では広くなるため、堤頂幅単独で地震被害との関係を論じられることは少ない。過去の研究事例では東北農政局（1984）が唯一のもので、「被害ため池は堤頂幅2-4mが一番多い」としている。秋葉ら（1941）は、堤高と堤頂幅を関連付けて分析し、天端幅の大小は被害に殆ど影響がないとした。谷ら（1987）は、日本海中部地震を事例に「堤頂幅が広くなると被害が多くなる」とし、「堤高が大になるにつれて堤頂幅が大きくなり、堤高の大きいものほど被害率が高くなることを反映した

もの」と理由付けした。山崎ら（1989b）と小林ら（2002）が示した被災率では、堤頂幅が大きいほど大きくなっている。

なお、堤頂幅決定の研究では、①井上（1937）が天幅率と内外法率の関係から、②石橋（1939）は高土堰堤の堤高と堤頂幅の関係を、昭和 9 年の「本邦高土堰堤誌」の 263 箇のため池から統計的に研究し、関係方程式を提案した。因みに、①及び②は異なる手法であるが、結論の「堤高（①は水深）が大きいほど堤頂幅は広くする」は、基本的に同じである。

#### 2.4.3.4 上下流法勾配とため池被害

堤体上下流法勾配は、秋葉ら（1941）が最も多くの図表を用い徹底して地震被害との関係を検討しており、「法勾配が緩くとも被害は免れず、被害、無被害何れに関しても一概に論じられない」としたが、秋葉らが提示した図表から、上流法勾配が緩やかなほど被災率や被害程度が大きくなっていた。高瀬ら（1966）の法勾配と被害関係は、「上下流とも勾配が緩いほど被災率が上がっている」。また、上下流法勾配比では、「上流緩・下流急」の場合に「被害池が一番多いが、無被害池数も多いため被災率は最低」となった。また、「上流急・下流緩」では、「被害池数は最も少ないが、無被害池数も少ないため被害率」（被害池数/無被害池数）が最大である。

東北農政局（1984）は、上下流法勾配で 0~1.5 割を最初の区分とし、それ以上 2.5 割までを 0.1 刻みで計 12 区分し、各々の被害池数を集計した。その結果、「上下流とも 2.0 割の被害池が一番多く、急な 1.5 割以下、緩い 3.0 割以上でも被害が生じていた」。さらに上下流法勾配比の比較では、「上流緩・下流急」の場合に「被害池が一番多く」、「上流急・下流緩」で「被害池数は最も少なく、決壊池も無かった」。日本海中部地震の場合、無被害池数がなく被害率で比較できないが、高瀬らの新潟地震被害パターンと大きな違いはない。

谷ら（1987）は「上下流の法面勾配と被害の関係」は、男鹿、新潟、十勝沖、日本海中部地震で「上下流ともおおむね緩くなるほど被害率が高くなる」ことを認めている。また、日本海中部地震で、堤高別に法面勾配と被害の関係を上下流で調べても、「堤高区分に関係なく、勾配が緩くなると被害率が大きくなる」傾向にあるとした。

さらに①山崎ら（1989a, 1989b）の日本海中部地震、②小林ら（2002）の芸予地震でも上下流法勾配が緩いほど被害率が高くなっていた。①と②は共に多変量解析を行

い、緩い勾配の被害リスク上昇を確認しているが、①は「従来の工学的知見とは逆の結果」であることを認め、「勾配が緩いものほど、堤体の材質等の施工条件が悪かった」と考察し、②は「一般に、盛土斜面は緩勾配の方が安定するが、堤体材料や基礎地盤の強度が小さい場合に法面勾配を緩にすることから、土質材料の特性が顕著に現れたもの」と考察している。

なお、堤高と上下流法勾配との関係は、石橋（1942）が「本邦高土堰堤誌」のため池 263 箇で統計的研究を行い、堤高の大きさに従い勾配が緩くなり、堤高 15 以上では「上流勾配が下流勾配より相対的に緩くする」ように勧めていた。

#### 2.4.3.5 横断面形状とため池被害

秋葉ら（1941）は、堤高と堤頂幅を組合せ、2 図 1 表を用いた被害分析から、「堤高/堤頂幅が 2.5 以上に決壊がない等、一定の高さに対して天端幅が狭くなれば決壊の患がないという矛盾を感じる結果が表れた」とした。また、堤高と法勾配及び被害の関係では、2 割 5 分以上では堤高の高低に関係なく被害があった。高瀬ら（1966）は、堤頂幅/堤高比と被害の関係から、堤高に対して極端に堤頂幅が大きいのは危険であるとした。

#### 2.4.4 多変量解析によるため池被害分析

ため池諸元に関わる多変量解析としては、1983 年日本海中部地震で山崎ら（1989）、1995 年兵庫県南部地震で藤井ら（2005 年）、2001 年芸予地震の愛媛県内で小林ら（2002）によって各々が異なるに分析手法で研究されている。山崎らは震央距離、堤頂幅、堤頂幅/堤高及び上流法面勾配が、藤井らは震央距離、堤軸角度、堤体積（堤高×堤頂長）、標高及び地質、小林らは震央距離、地形、堤高、堤頂長及び上下流法勾配が被害率に関連性が強いとした。

## 2.5 まとめ

**Table 2-5** の中で、2004 年新潟県中越地震、2007 年能登半島地震、同年新潟県中越沖地震及び 2011 年東北地方太平洋沖地震のため池被害研究については、農工研技報の特集号に掲載されている。しかしながら、堤体諸元に基づく検討が含まれておらず、専らため池個々の被害形態と土質面から考察であり、上記のレビューでは全く触れることができなかつた。ここでは、2 章のまとめとして、本研究の目的であるため池の地震動被災要因について、要因毎の検証テーマを以下の通り整理した。但し、被災の検証に当たっては、ため池被災率 ( $R_d$ ) を定義し、危険度評価の指標とした。

### (1) 環境要因 (誘因・外的要因)

- 1) 震度はため池被災率と関連性があることは明白であるが、これまでため池毎の震度が曖昧であった。そのため、ため池毎の推計震度を同定し、同一震度グループ毎に被災率を求めて関係を検証する。
- 2) 震央距離が近いほど被災率は増加傾向にあるが、遠い距離でも局所的に震度及び被災率は高い場合が見られる。そのため震央距離と被災率の関係を、震度と地形・地質の関連性から検証する。
- 3) 地形・地質については、「山地と平地の境」で被災率が高い傾向が一般的に見られることから、地形・地質と震度及び被災率の関係を検証する。但し、推計震度にも地形・地質要素が含まれるため、県ブロック等の広域的な観点とため池サイトの狭域的観点に分けて被災要因の解明を行う。
- 4) 堤軸方向が震央との関係で被災率が高いとする事例が多数を示されているが、未だ一致した見解となっていない。そのため、ため池毎に堤軸の震央方向角度 ( $\omega_i$ ) を定義し、被災率でその関係性を検証する。

### (2) 個体要因 (素因・内的要因)

- 1) 堤高が高いほど被災率が高いとする研究結果が一般的であるが、統計的確率から再検証すると共に、震度と堤軸方向の関係と併せて確認する。
- 2) 堤頂長は被災率との関連性の有無について定まった見解が得られていない。そのため、堤高と同じ手法で検証及び確認を行う。
- 3) 堤頂幅は広いほど被災率が高いとする研究結果になっているが、統計的確率から再検証する。

4) 理由は未明であるが、堤体上下流法勾配が緩いほど、また上流勾配が緩いほど被災率は高いとする研究結果である。そのため、上下流の勾配別に検証する他、上下流勾配比を定義して統計的確率から再検証する。

5) 横断形状について、堤高と堤頂幅、堤高と上下流法勾配比及び堤頂幅と上下流法勾配比の関係について統計的確率から検証する。

### (3) 被災度と要因間の整序化

地震動によるため池被災は、多様な要因が複雑に絡み合っており、その被災レベルも軽微なクラックから堤体崩壊まで幅が広い。そのため、被災要因究明に当たっては、ため池被災率 ( $R_d$ ) と併せて被災度による検証と共に、要因間の相互性・階層性を念頭に置いて要因の整序化を行う。

## 第3章

### 震度によるため池の被災分析

#### 3.1 概説

どれくらいの震度から農地やため池を始めとした農業用施設に被災が生じるか、統計的に研究されたものがない。その理由は農地・農業用施設が日本全国各地に広く分布し、農家個々から県・国まで多様なレベルで所有・管理され、大地震災害時の混乱下において無数の被災箇所情報の収集・整理は容易な作業ではなかった。また、地盤揺れの尺度である震度は、これまでは気象庁観測所が府県毎に 2~3 箇所しかなく、人口粗密な農村地域に広く分布する各農地や農業用施設と整合するものではなかった。さらに震度階には地震加速度で大きな幅があるため、被災度を測る尺度としては不十分であった。そのため農業土木分野では、建築分野のように建物被災について震度を用いて推定する研究方向へ進んで行かなかった。

今日、大きな地震発生時には推計震度分布と一緒に震央が発表され、その距離に応じて被災影響が大きくなると考えられている。そのため震央距離から地域の被災レベルを想定する研究や提案もあるが、災害緊急時に震度と震央距離のどちらを判断基準とすべきか、事前に明確にしておくことも大切である。特にため池は地震時に決壊・氾濫の危険性があり、被災度を大地震発生時毎に判断し、緊急時点検や住民避難等の防災・減災対応が必要不可欠となっている。

##### 3.1.1 震度と農地・農業用施設等の被害

高岡ら（1984）は 1983 年日本海中部地震の被災 2 県で農業用施設の個所当たり被害額を市町村別に求めていたが、これは「農林水産業施設災害復旧事業費国庫補助の暫定措置に関する法律」（昭和 25 年制定）に基づき市町村単位で農水省に被災報告されたデータに基づいている。但し、この方法では、1 件だけの大きい被害額によって、当

該市町村全体の被災程度が大きくなってしまふ。

また当時の震度分布は、県内数点の観測震度がコンタ表示され、地形・地質は考慮されず、場所毎の震度は目安程度でしかなかった。今日の推計震度分布は、地震時の地表地盤の揺れ方を考慮し、1km メッシュ毎に小数点一位まで公表されている。

本章では、農地・農業用施設等の地震動被災に関して、公的な被害額を用いて説明が可能かを検証した。そのため、被災市町村毎の平均推計震度と被災レベルの新しい指標を提案し、震度を尺度とする農地・農業用施設等の地震動被災分析を行った。

### 3.1.2 震度とため池被災

高瀬ら（1966）は 1964 年新潟地震で「震度は、市街地で観測されたもので、ため池付近でないので、概略の値しか示していない点に注意すべき」としていた。また、谷ら（1985）は、震度コンタ図に市町村別のため池被災率を重ねて関係を検討した。さらに 1996 年に気象庁が計測震度を正式導入後、谷（2005）は、2000 年鳥取県西部、2001 年芸予地震、2003 年宮城県北部地震のため池被災市町村の計測震度とため池被災率の関係を報告した。

本章では、気象庁の 1km メッシュ推計震度から、ため池毎の震度を同定し、震度増加とため池被災の関係を検証した。加えて、震度と震央距離及びため池被災分布から、被災要因としての震央距離の扱いを考察した。

### 3.1.3 東北地震の農地・農業用施設等被害

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分 01 秒、三陸沖、牡鹿半島の東南東 130km 付近、深さ 24km を震源とするモーメント・マグニチュード（M）9.0 の地震（本震）が発生し、同日気象庁は、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」と命名した。本地震は、太平洋プレートと陸プレートの境界で発生した海溝型地震で、その規模は国内観測史上最大、世界でもスマトラ島沖地震（2004 年）以来で、1900 年以降では 4 番目に大きな巨大地震であり、宮城県北部で最大震度 7、東北・関東 8 県で震度 6 以上など、東日本を中心に日本列島全体が大きく揺れた（Fig. 3-1）。

また、地震により津波遡上高は国内観測史上最大の 40.5m に上る大津波が発生し、

震源域に近い東北地方と関東地方の太平洋沿岸部で約 56,000ha が浸水し，そのうち農地では約 23,000ha が冠水し深刻な塩害と排水機能麻痺を引き起こした．大津波以外でも地震の揺れや液状化現象，地盤沈下などによって，東北及び関東の広大な範囲で各種ライフラインの寸断や建物，港湾，漁港等の施設に大きな被災が発生した．政府はこの震災の名称を「東日本大震災」とした．

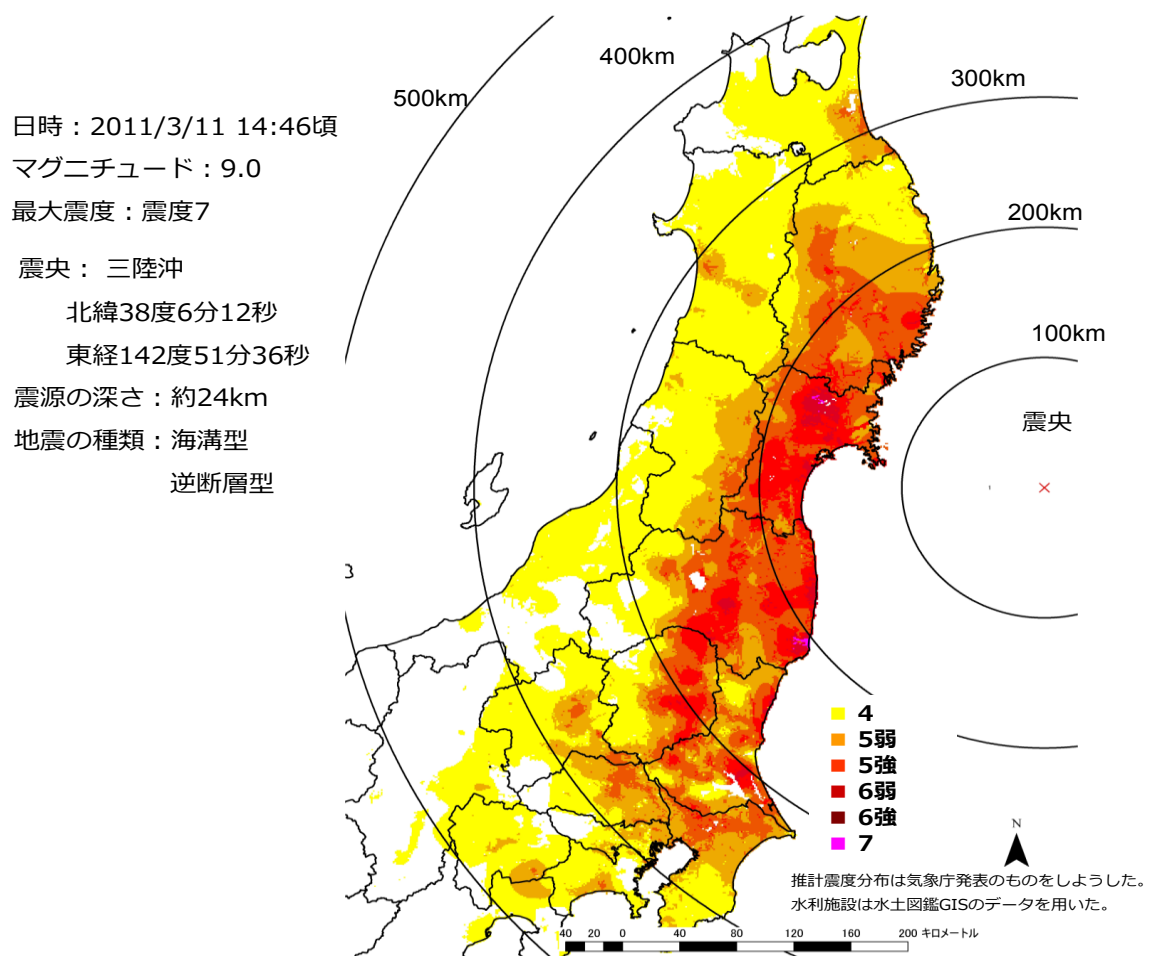


Fig. 3-1 東北地方太平洋沖地震の推計震度分布

未曾有の津波被災に加えて，内陸部でも強震動によって農業用施設等へ甚大な被災が生じた．特に農業用ため池，ダム，パイプラインなど基幹施設の被災が大きく，福島県須賀川市の藤沼湖では決壊・氾濫により 8 名の死者・行方不明者を出す人命災害



となった。Table3-1 には、平成 23 年 11 月時点の東日本大震災農地・農業用施設等被害額を示した。被害は全国 15 県、被害額は約 8,300 億円に及び、うち宮城県が全体の 55%を占め、福島県 29%、岩手県 7%、茨城県 6%と続き、被害額上位 4 県が全体の 96%と震源に近い太平洋沿岸に面した地域に被害が集中していた。

東日本大震災の農地・農業用施設被害を過去 20 年間と比較したのが、Fig.3-2 である。各年の被害額は平成 24 年版災害統計等により整理したが、豪雨・台風被災も含めた年間平均的被害額が 1,000 億円程度に対し、今回は震災被害額だけで 7 倍近い被害額となった。また、過去に最大震度 7 を記録した 2004 年新潟県中越地震や 1995 年兵庫県南部地震と比べても、それぞれ約 10 倍と約 26 倍であり、いかに甚大な被災が生じていたかが分かる。

Table 3-1 東北地方太平洋沖地震の農地・農業用施設等被害額

平成23年11月7日現在(単位:億円)

県名	農地		農業用施設等		農村生活関連施設		合計	
	箇所	被害額	箇所	被害額	箇所	被害額	箇所	被害額
青森県	20	1	23	5	2	0.2	45	6
岩手県	13,321	226	3,644	309	41	10	17,006	546
宮城県	317	2,769	2,994	1,489	102	267	3,413	4,535
秋田県	0	0	7	0.1	11	0.2	18	0.4
山形県	102	0.4	134	3	2	0.2	238	3
福島県	1,794	943	3,731	1,246	111	226	5,635	2,415
茨城県	640	40	7,597	342	100	93	8,337	475
栃木県	238	6	510	90	23	6	771	102
群馬県	0	0	32	3	0	0	32	3
埼玉県	0	0	67	4	0	0	67	4
千葉県	113	11	2,225	142	6	17	2,344	170
神奈川県	0	0	1	0.01	0	0	1	0.01
長野県	746	8.6	239	14	4	4	989	27
静岡県	0	0	2	0.1	0	0	2	0.1
新潟県	165	6	252	12	7	9	424	26
合計	17,456	4,012	21,457	3,658	409	633	39,322	8,302

注1) 農業用施設等の被害は、主に、ため池、水路、揚水機、農地海岸保全施設の被害である。

注2) 農村生活関連施設の被害は、主に、集落排水施設の被害である。

注3) 茨城県及び千葉県の農業用施設等には、(独)水資源機構から報告のあった、水資源開発施設の被害額を含んでいる。

出典:農林水産省(H23.11.11プレリリース)

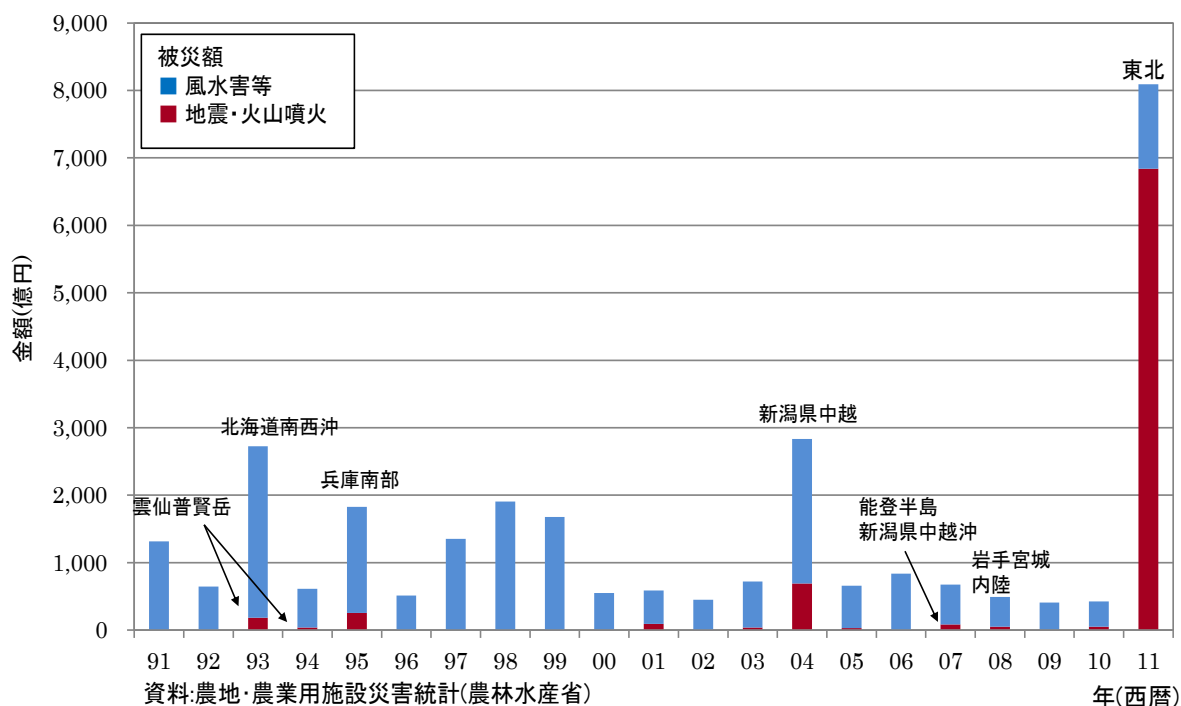


Fig. 3-2 過去20年間の自然災害による農地・農業用施設被害額の推移

### 3.1.4 東北地震のため池被災

ため池の被災箇所数及び被害額は、暫定法に基づき被災市町村毎に農水省に報告される。Table 2-3 の東北地方太平洋沖地震に伴う被災ため池数 1990 箇所は、2012 年 4 月までに農村振興局防災課において集計されたものである。これには東北地震の翌日未明に最大震度 6 強の長野県北部地震で被災した長野県と新潟県内のため池も含まれている。但し、本被災報告のため池数は、その後に農水省が行う災害査定前のもので、被災規模や被災場所等公式の確認が行われていない状態にある。

Table3-2 では、東北地震でため池が被災した東北 3 県と関東 4 県の計 7 県について、被災ため池数及びその被災総額と災害査定ため池数とその査定総額を示した。被災 7 県の被災ため池は 1,961 箇所、被災総額は 315 億円であるが、査定ため池では 564 箇所（被災池数の 29%）、査定総額 76 億円（同 24%）である。査定池が被災池の個数と総額で各々 30%以下になっているが、その理由を現地で関係者に聞き取ったところ、被災が比較的軽度で地元農家レベルで補修・復旧対応可能、堤体天端の道路舗装破損等で他

公共災害復旧工事対応等が見解であった。被災池数と査定数の差の大きさや大震災時の混乱から推測すると、発災当初に確認されたクラックも、後日、再調査では消滅していたケースも多数あったものと考えられる。

また、ため池被災7県の内、最大は福島県で査定池257箇所（全数の46%）、査定総額53億円（総額の69%）で数量及び金額とも他県を圧倒している。但し、これには2012年3月時点で福島第一原発事故により災害査定が実施できなかった池は入っておらず、今後、さらに他県との格差が広がることを見込まれている。宮城県2位、岩手県が3位と続き、東北上位3県で査定池数の90%、査定額の92%を占めている。通常、地震動被災は震央に近いほどその被災も大きいと想定されるが、今回の事例では、震央に最も近い宮城県よりも福島県内の方が被災ため池数が多く、さらに震央から距離の離れた群馬県内でも被災が生じていることである。

また本震災は、午後の早い時間帯に発災したため、自衛隊ヘリからの津波映像を始め様々な動画記録や地震及び津波に関する各種観測データが迅速に公表された。気象庁は地震の規模を示すマグニチュードを3度に亘って改訂したが、揺れを示す震度（計測震度及び推定震度分布）については、発震後30分以内に発表されている。現在、計測震度は全国で約4,300箇所観測点が設置され、地震動被災想定に直結するものとして、各方面の災害対応態勢始動やこれをベースとした防災・減災対策の体制作りに重要な役割を果たしている。

Table 3-2 東北地方太平洋沖地震のため池被災

県名	ため池数	被害ため池数	左記被害総額 (百万円)	災害査定 ため池数	左記査定総額 (百万円)
岩手県	1,218	401	1,387	121	548
宮城県	2,535	630	3,492	127	1,188
福島県	3,299	803	23,689	257	5,260
茨城県	1,123	78	1,234	45	367
栃木県	142	37	1,394	8	116
群馬県	587	5	250	5	91
千葉県	1,291	7	63	1	17
合計	10,195	1,961	31,508	564	7,587

資料：農林水産省農村振興局防災課調べ(2012年6月)

注)ため池数はため池DB登録数

## 3.2 分析方法

### 3.2.1 データベース

#### 3.2.1.1 東日本大震災の被害額

農地・農業用施設の自然災害からの復旧に関しては、昭和25年に制定された「農林水産業施設災害復旧事業費国庫補助の暫定措置に関する法律」（以下、「暫定法」という）に基づき、災害事件毎に各被災市町村から都道府県を經由して農水省へ被害額が報告されている。Table 3-3 は、農水省農村振興局防災課が発災後3ヶ月経過した6月16日時点で市町村からの報告をベースに集計したものを、被災県毎に津波と地震動のみの被災形態別に被害額を整理したものである。被災県11県の内、津波被災市町村数が47体、地震動被災数（震災被災市町村数－津波被災市町村数）239体、合計286市町村（被災県全市町村の61%）から農地・農業用施設等被害が報告されていた。なお、本章で検討する市町村毎の農地・農業用施設等被害額は、Appendix 4 の集計表をベースとしたものである。

Table 3-3 東日本大震災における県別の被災形態別被害額

(単位:百万円)

県名	市町村数	震災被害		津波被災		地震被災	
		市町村数 ①+③	総額 ②+④	市町村数 ①	被害総額 ②	市町村数 ③	被害総額 ④
青森県	40	7	443	2	135	5	308
岩手県	35	25	54,366	11	50,048	14	4,318
宮城県	36	31	379,283	13	375,208	18	4,075
秋田県	25	5	38	0	0	5	38
山形県	35	17	328	0	0	17	328
福島県	59	47	230,258	10	190,838	37	39,420
茨城県	44	44	38,824	6	4,893	38	33,931
栃木県	30	19	7,167	0	0	19	7,167
群馬県	38	8	262	0	0	8	262
千葉県	56	33	15,138	5	3,837	28	11,301
埼玉県	70	3	115	0	0	3	115
合計	468	239	726,221	47	624,959	192	101,263

データ:農林水産省農村振興局防災課2011年6月16日集計より

### 3.2.1.2 ため池 DB

ため池に関するデータベースは、平成7年1月の阪神・淡路大震災を契機とし、紙ベースの「ため池台帳」を電子データ化された「ため池データベース(DB)」として、現在、全国約12万個のため池が登録されている。データ項目は、名称、所在地、位置座標、施設諸元等であり、各都道府県でため池台帳代わりに使用される他、リアルタイム気象情報による警報システムや簡易氾濫解析によってため池決壊時の洪水氾濫域予想（ハザードマップ作成）等の機能を有している（谷（2005））。

ため池 DB 中、東北地震で暫定法に基づく災害査定が行われたため池を「被災ため池」、無被災（=災害査定のない）ため池を「無被災ため池」と定義した。また、ため池 DB 中の各ため池は、東北地震時の1kmメッシュ内推計震度で同定した。但し、ため池 DB の位置座標等の必要情報は、福島県及び関係農政局に依頼して収集・確認・訂正を行っている。

## 3.2.2 分析手法

### 3.2.2.1 計測震度

現在、気象庁が日本国内で地震時に発表している震度は、器械で計測された震度によるもので、嘗て専門の観測官が体感し、当時の建物被害の目安となった震度に調合するものである。そのため、人が揺れを感じやすい周波数帯や構造物に影響しやすい周波数帯に着目し、実際に強震計（周波数0.01～100Hzの範囲）で観測された地震波に **Fig. 3-3** で示すフィルター処理を行い、計測震度算定に用いる加速度を求めている。フィルター処理された3成分加速度は、**Fig. 3-4 (a)** でベクトル合成され、10秒毎に区分された合計時間0.3秒以上を満たす加速度をもって、以下の計測震度の算定式(3-1)の加速度と  $a$  なっている（気象庁 HP）。

$$I=2\log a+0.94 \quad (3-1)$$

また、**Fig. 3-4 (b)** は計測震度と加速度の関係を示したが、同 (c) では、同じ加速度  $a$  数値から求まる計測震度でも、 $a$  が含む地震波の周波数で大きく異なり、周波数0.6～0.7Hz（周期1.67秒）周波数帯を多く含む地震波ほど計測震度は大きくなる。

### 計測震度の計算(フィルター処理)方法

人体感覚(体感)や構造物への影響に関する周波数以外は小さくなるよう補正  
 <周期の効果を表すフィルター(加速度と速度の中間波形)、ハイカットフィルター、ローカットフィルターの3種類>

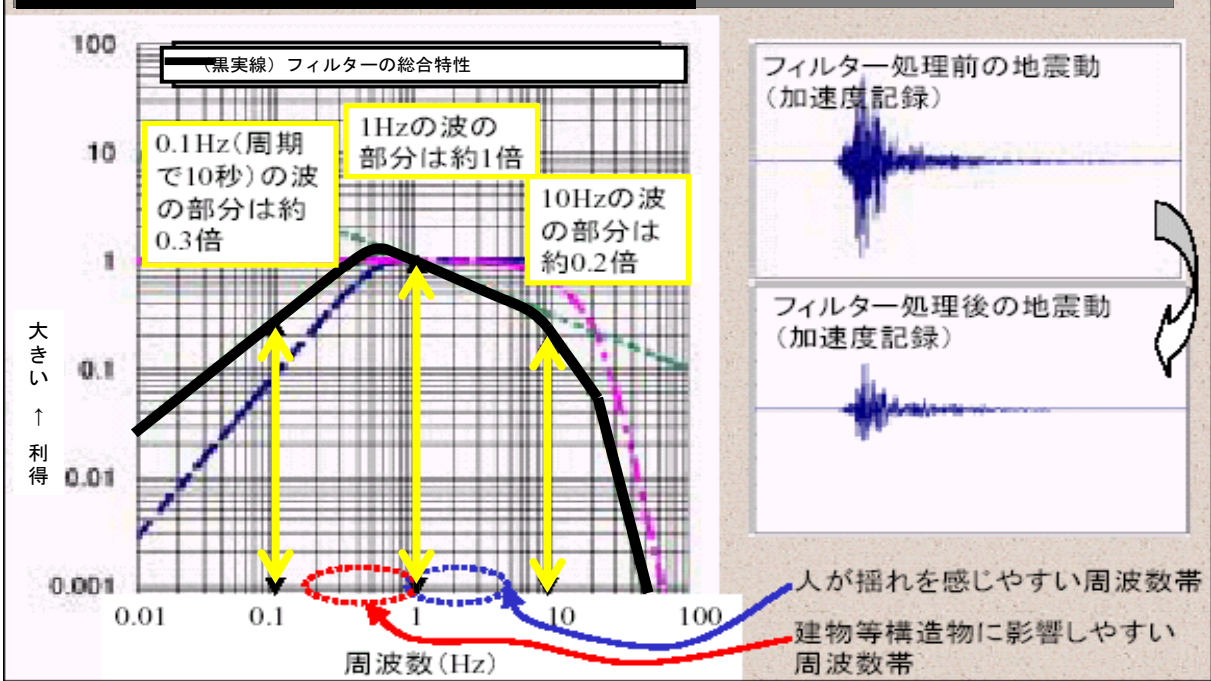


Fig. 3-3 計測震度の計算方法(気象庁資料)

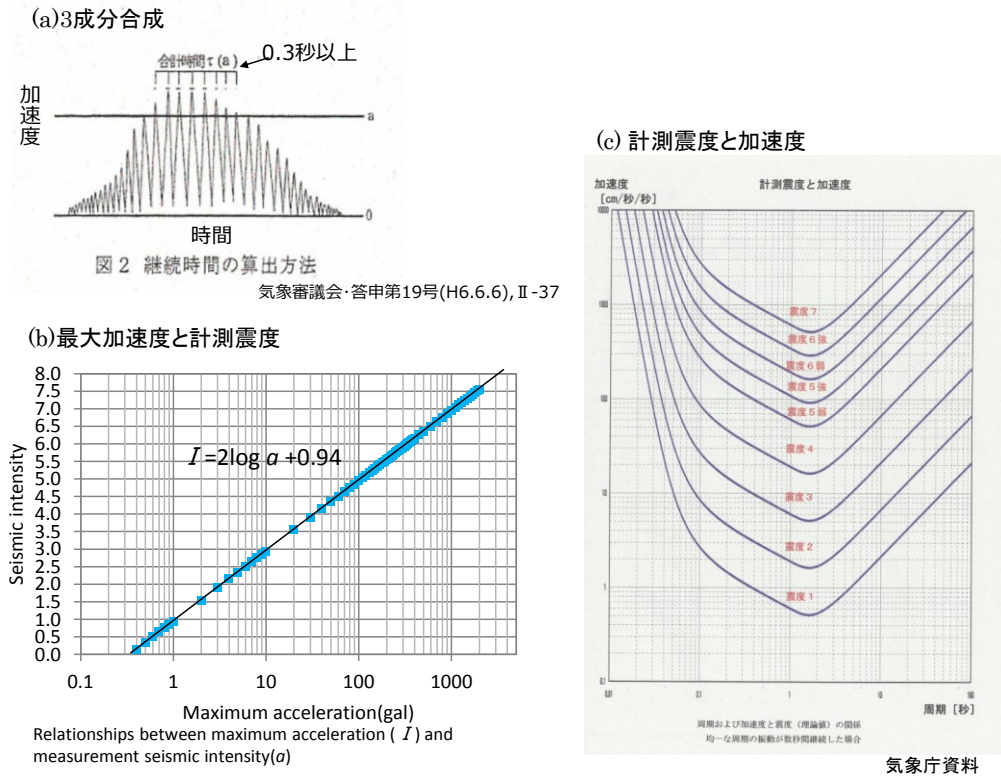


Fig. 3-4 計測震度と加速度の関係

### 3.2.2.2 推計震度と平均推計震度

1995年の阪神・淡路大震災を契機に全国的な震度計観測網の整備が進み、気象庁は2004年から国内で最大震度5弱以上の地震が発生した場合に推計震度分布を公表することとなった。また、2006年以降、全国各地の1kmメッシュ推計震度データが30分以内に得られるようになったことで、ほぼリアルタイムに人口疎密な農村地域でも震度情報が入手可能となった。Fig.3-5には推計震度の算出方法の概要を示したが、全国4,300箇所余りの観測点で計測された震度に基づき、それを工学的基盤面と表層地盤の特性で既定された増幅度との関係で周辺を補間する方法で震度が推計されている（気象庁（2004））。因みに、国土数値情報では微地形区分と表層地質から13区分され、統計処理によって割り当てられた係数を算出、表層地盤の増幅度が求められている。

本研究では気象庁が震度4以上で公表している1kmメッシュデータを使用し、当該1kmメッシュ内の小数点一位の推計震度をエリア内の代表震度とし、各ため池推計震度は、所在する1kmメッシュ震度で同定した。また、一定エリア毎の平均震度（ $\bar{I}_i$ ）は式（3-2）より算出した。なお、同一1kmメッシュ内に複数の市町村エリアが含まれる場合は、メッシュ中心を含む市町村の該当エリアとした。

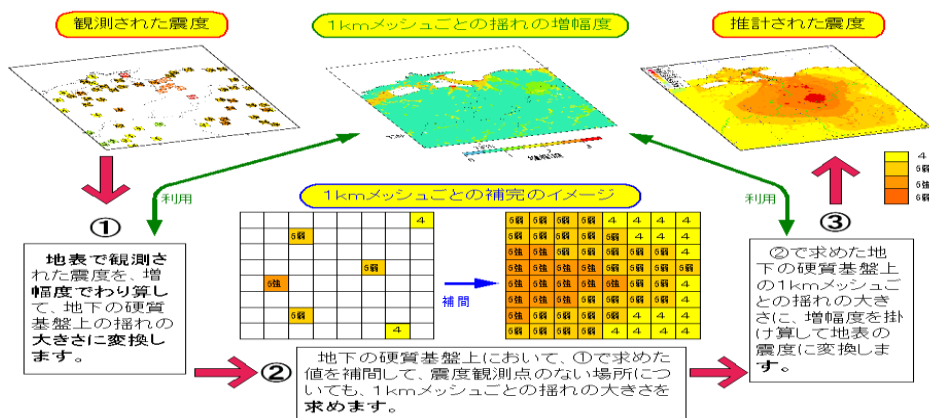


Fig. 3-5 推計震度分布の算出方法（気象庁資料）

$$\bar{I}_i = \frac{\sum_{j=1}^n I_j}{n} \quad (3-2)$$

但し、 $I_j$ : 1kmメッシュj内の推計震度、 $n$ : 一定エリアのメッシュ数。

### 3.2.2.3 被災密度

暫定法に基づき異常な自然災害により一箇所当たり 40 万円以上の被災を受けた農地・農業用施設等について、被災市町村はその被害額報告を農水省に行う必要がある。ここで農業用施設等とは、農業用ダム・ため池、頭首工、用・排水路、揚水機などのかんがい排水施設や農道等の農業用施設と農地保全施設、農地海岸施設である。これとは別に、主に集落排水施設等の農村地域の生活関連施設も関連して報告される。なお、自然災害被害を表現する際に被害額を用いて市町村単位の被災状況比較は可能であるが、被災総額が市町村の行政区域規模に応じて大きくなるため、市町村毎の被災レベルの比較にはならない。

通常、土地改良事業を実施する際は、どれだけの農地が裨益するかを「受益面積」で表し、事業規模を計る指標とされる。また、農地と農業用ダム・ため池、頭首工、揚水機、用排水路、農道等の農業用施設は、一体的な農業生産システムとして地域内に存在している。このことから、各市町村の農地・農業用施設等の被災（ダメージ）レベルを指標化するために、市町村毎の総被害額を当該耕地面積で割り戻し、単位耕地面積（ha）当たり被害金額を見ることで、どの程度の被災水準となるかを比較検討できるようにした。因みに、各市町村の被災水準の数量化は、式(3-3)を定義することで被災密度（ $D_i$ ）としている。

$$D_i = \frac{C_i}{A_i} \quad (3-3)$$

但し、 $C_i$ ：市町村  $i$  の被害総額（円）、 $A_i$ ：市町村  $i$  の耕地面積（ha）。

### 3.2.2.4 ため池被災率

ため池の被災率（ $R_d$ ）は、式(3-4)により算定するものとし、分母と分子には **Table 3-3** のため池 DB の池数と被災(=災害査定)池数から求める。

$$R_d = \frac{N_d}{N_t} \times 100 \quad (3-4)$$

但し、 $N_d$ ：ある条件下での被災ため池数、 $N_t$ ：左記と同一条件下の（被災及び無被災）ため池数。



### 3.2.3 分析手順

#### 3.2.3.1 被災密度と平均推計震度

農地・農業用施設等被災に関しては、まず被災市町村毎の被災密度を区分して日本地図上に表示し、震度分布との関係で「見える化」した。さらに津波と地震動で被災形態別に区分し、平均推計震度との関係で被災分析を行った。

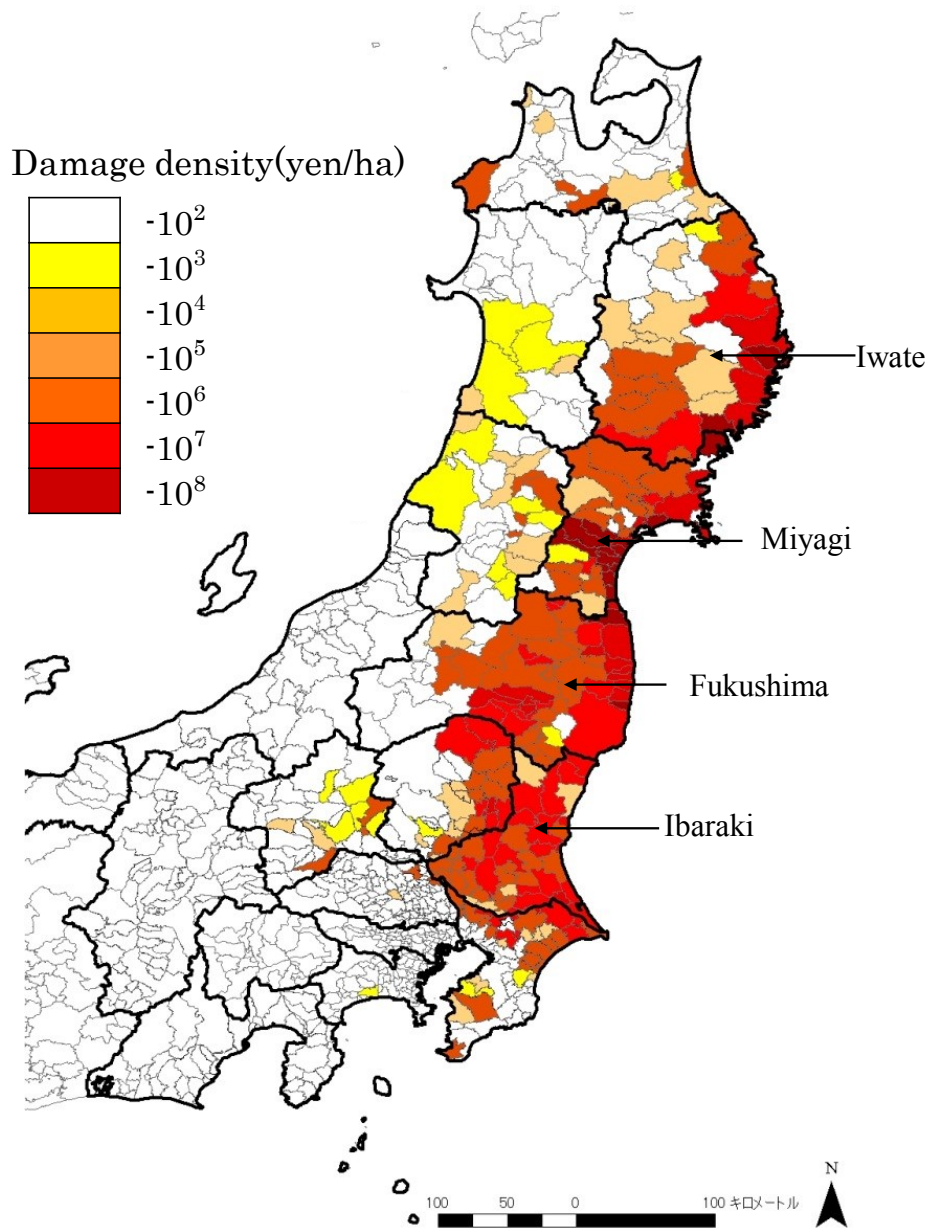
#### 3.2.3.2 推計震度とため池被災率

ため池被災に関しては、まず推計震度分布上に被災池と無被災池を色分け表示し、震度と被災状況を俯瞰した。また、ため池被災の大きかった宮城県と福島県で、ため池の推計震度毎に被災率を求めて比較した。さらに、ため池位置座標が確認できた震度5強以上7県分のため池について、推計震度別に被災率を求め、過去のため池被災率と比較すると共に、震度及び震央距離とため池被災の関係と比較検討した。

### 3.3 結果と考察

#### 3.3.1 震度と被災密度

大きな地震動が発生した場合、その震度に応じて施設に対する被災（ダメージ）が大きくなると言われている。Fig.3-6では、式(3-3)により被災市町村毎の農地・農業用施設等被災密度を算出し、7段階に区分してその分布を表示した。高い被災密度エリアは岩手県、宮城県、福島県、茨城県に集中するなど、Fig.3-1の東北地震の推計震度分布とかなり似かよっていることが分かる。また、被災密度は震央・震源に近い太平洋沿岸域で最も高く、一部、内陸側にも被災密度が高いエリアが見られる。



Source: Disaster Prevention Division, Rural Development Bureau, MAFF (June 16, 2011)

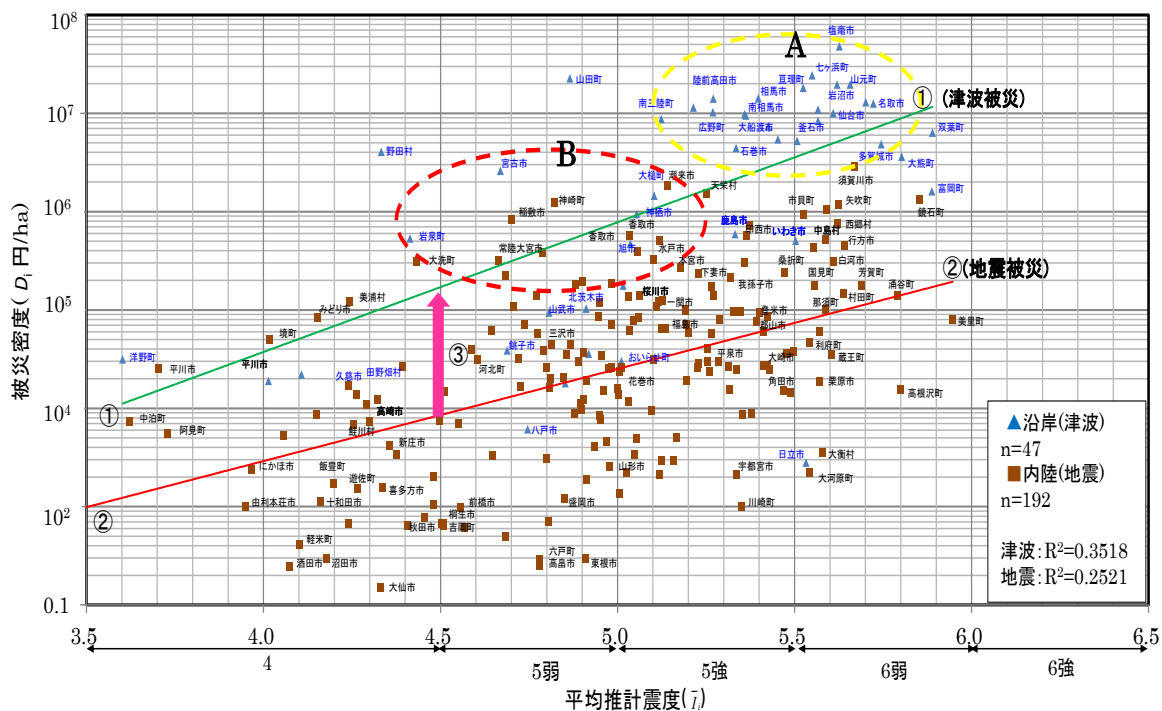
Fig. 3-6 東北地方太平洋沖地震における市町村別農地・農業用施設等被災密度分布図

Fig.3-7 には、被災市町村毎に、縦軸に被災密度 ( $D_i$ ) として横軸に平均推計震度 ( $\bar{I}_i$ ) をプロットした。この際、沿岸域津波被災市町村を青色三角に、内陸側で地震動被災市町村を茶色四角に被災形態別に表示した。図中では主立った被災市町村名を示しているが、これにより以下のことが明らかになった。

- ・青三角の津波被災密度を緑色線①、茶四角の地震動被災密度を赤色線②で近似線を示したが、全体的に大きな震度の市町村ほど、その  $D_i$  が指数関数的に大きくなる傾向がある。これは、推計震度の元となる計測震度が、地震加速度の対数式から求められ、 $D_i$  はこの加速度と相関関係があることを意味する。
- ・同じ震度でも津波被災の  $D_i$  が著しく高く（赤色矢線③では約 30 倍）、震度が大きくなる程その格差が広がる傾向にある。
- ・津波被災は震央半径 200km 圏内の市町村（A の黄色破線）の  $D_i$  が著しく大きい。
- ・茨城県稲敷市や千葉県神崎町など（B のオレンジ破線）では、小さい  $\bar{I}_i$  にも拘わらず液状化等によって比較的大きな  $D_i$  となっている。

このことから農地・農業用施設等に関する被災は、地震動の大きさ（≒震度規模）に応じてそのダメージ（被災）が増加すると共に、津波被災の場合は、その震度によって地震動よりも 20～50 倍に被災レベルが上がる。また、津波被災は震央距離に近く大きな震度であった市町村ほど  $D_i$  が指数関数的に増大したことが分かる。

Table 3-4 は、東北地震で被災した 11 県について、被災形態別に農地とそれ以外（施設関係）に分けてその被害額を区分した。津波被災 47 市町村だけで被災総額全体の約 86% を占め、大震災被害額の大半が津波によるものと推定された。また、農地被災の約 98% が津波被災市町村によるもので、津波被災がなかった市町村の施設関係被災は施設被災全体の 3 割近くを占めている。津波被災地は、地震動のみの市町村と比較して平均で約 43 倍の  $D_i$  で、津波被災地も事前に地震動による被災があったと想定され、その割合は  $D_i$  全体の概ね 2～4%（被災倍数の逆数（1/50～1/25）程度と推定される。



注)対象は東北地方太平洋沖地震で揺れの大きかった東北6県(宮城, 岩手, 福島, 青森, 秋田, 山形), 関東5県(茨城, 栃木, 千葉, 埼玉, 群馬)の平均推計震度3.5以上, ha被害額100円以上の市町村。

Fig. 3-7 東北地方太平洋沖地震の被災市町村平均推計震度と被災形態別農地・農業用施設等被災密度

Table 3-4 東北地方太平洋沖地震の被災形態別被災密度

(単位: 億円, ha, 千円/ha)

被害総額 ①	津波被害市町村				単位被災額 ④(③/②)	地震被害市町村				単位被災額 ⑦(⑥/⑤)	倍率 ④/⑦	
	個数	耕地面積	被害額	割合(%)		個数	耕地面積	被害額	割合(%)			
												②
被害全体	7,262	47	120,546	6,250	86.1	5,185	192	844,383	1,013	13.9	120	43.2
内農地	3,964	42	103,772	3,887	98.1	3,746	106	472,138	77	1.9	16	234.1
内農地以外	3,298	46	120,178	2,364	71.7	1,967	191	818,368	941	28.5	114	17.3

注)四捨五入の関係で合計が合致しない場合がある

### 3.3.2 震度と農地・施設別被災密度

**Fig.3-8** は、**Fig.3-7** で地震動被災密度が上位 20 市町村の平均震度 ( $\bar{I}_i$ ) と該当各市町村の農地，ため池，水路，頭首工の被災密度 ( $D_i$ ) の関係をグラフにした。20 市町村の平均震度の範囲は 4.4~5.7 で全体的に高い震度レベルにある。工種別に見ると，農地では平均震度が小さい市町村でも液状化によって，平均震度が大きい所より被災密度が大きく，頭首工では通常，基礎部が河床に岩着し，近代の建造でその多くが耐震構造であるなど，20 の内，半数の市町村内は被災密度ゼロで，全体的な被災密度も低い。また，水路は震度の大きさに関わりなく被災密度が全般的に大きい。これら 3 工種と比較して，ため池は平均震度と被災密度に関係が見られる。

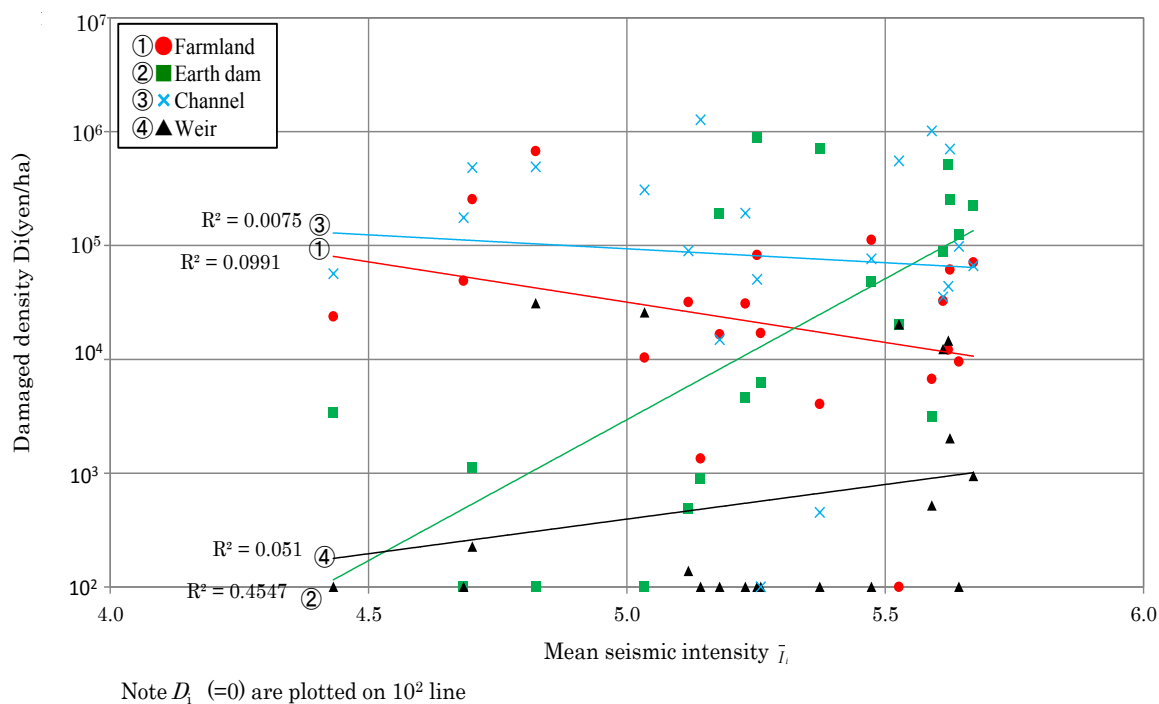


Fig. 3-8 東北地方太平洋沖地震の平均推計震度と農地・ため池・水路・頭首工の被災密度

### 3.3.3 震度とため池被災率

ため池被災 7 県でため池 DB で位置情報を確認できた池の場所を **Fig.3-9** の推計震度分布上に緑色でプロット（無被災）し，さらに **Table 3-2** の災害査定額を大小 6 区分の

紫色（被災）で示した。因みに、東京電力福島第一原子力発電所周辺は、原発事故により平成 24 年 4 月時点で災害査定が未実施のため、関連地域内のため池は被災池表示がない。通常、震央に近いほど地震動被災が増大するが、東北地震被災では必ずしもその形態がなく、震央から 400km 以上離れた群馬県下でも複数のため池が被災し、震央半径 200km 圏内で無被災のため池が数多く存在している。さらに被災ため池は、比較的強震度の特定エリアに集中しており、宮城北部、仙台平野南部の海岸部から福島県相双域へ延びる区域や福島県中域エリアで被災池が顕著である。なお、第 4 章では、福島県中域の被災集中エリアに絞って被災分析を行う。

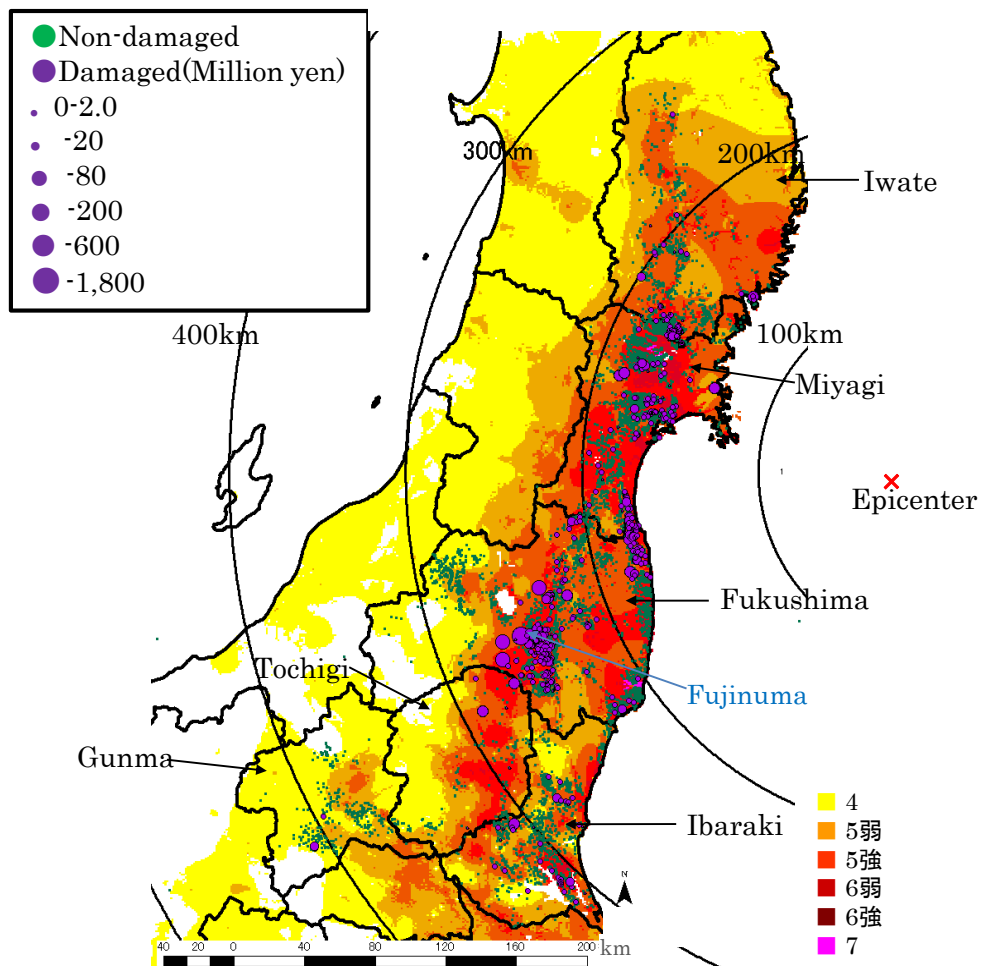


Fig. 3-9 東北地方太平洋沖地震におけるため池の被災分布

被災数が多かった宮城・福島両県のため池について、ため池サイトと1kmメッシュ推計震度を照合し、小数点一位推計震度毎に被災（災害査定有り）をピンクと無被災（災害査定なし）を宮城県緑色、福島県を青色に分けてため池数を集計（但し、原発事故関連で被災調査が実施されていない市町村域分のため池は除外）し、棒グラフにため池震度毎の被災率（ $R_d$ ）をオレンジ折線にしたのが Fig.3-10 である。この図から同じ地震に対し両県は異なる被災レベルであったと見る事が出来る。即ち、震央に近い宮城県側は福島県よりも震度が全般的に大きく、その大部分が震度5.4から5.7の範囲にあり、最多数は震度5.5であった。一方、震央から離れて東西に広がる福島県では、震度別ため池数は全体的に大きなピークもなく、震度は概ね5.0から6.1の範囲にある。

宮城県内被災ため池は震度4.8から、福島県では震度4.9から始まり、宮城県の震度別  $R_d$  曲線は全体的にフラットで明確なピークが見られず、福島県は震度5.7と6.0にピークが見られ、最高  $R_d$  は震度6.0で20%である。全体的なため池震度は宮城県側が大きいですが、福島県内平均  $R_d$  は10%超と宮城県5%よりも高率である。

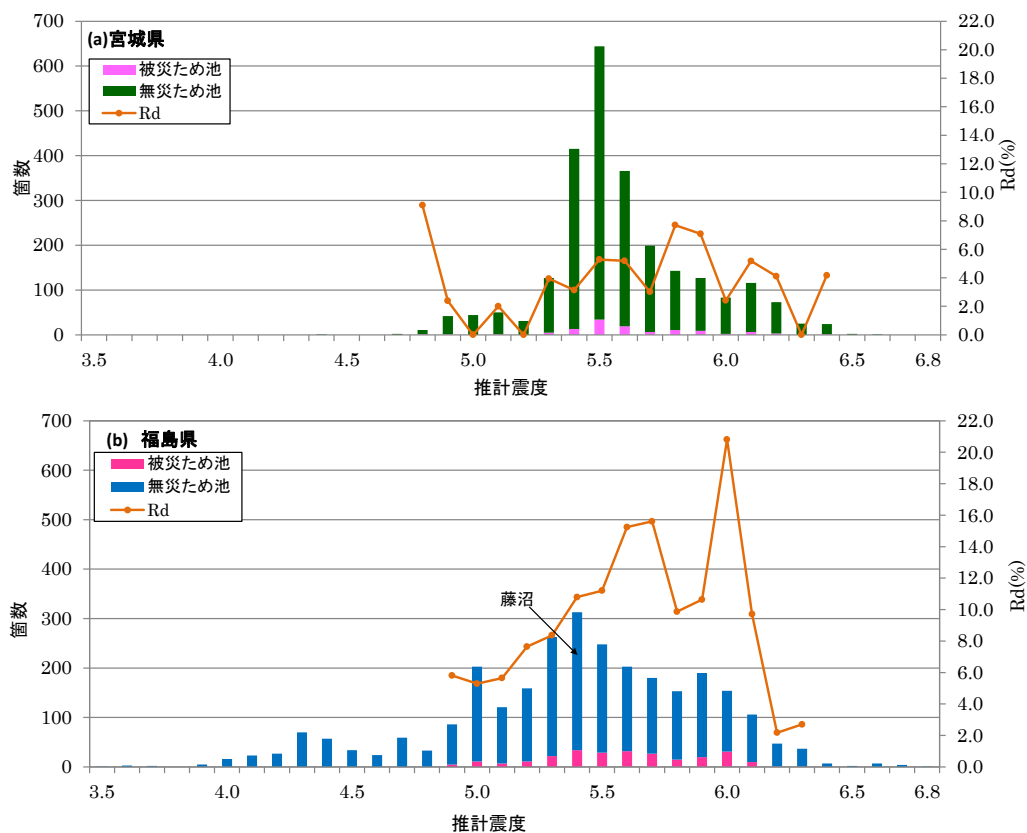


Fig. 3-10 東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県内ため池の推計震度と被災率

**Fig.3-11** は宮城・福島両県のため池被災市町村毎に被災ため池総数を横軸に被害総額（災害査定総額）を縦軸にして関係を見たものである。ため池一箇所当たりの被害額は、近似線の傾きから被災ため池数が多いところほど大きくなる傾向が見られ、被災ため池一箇所当たり被害額で見ても、福島県内の方が宮城県よりも全体的に大きなダメージを受けていたことが理解出来る。

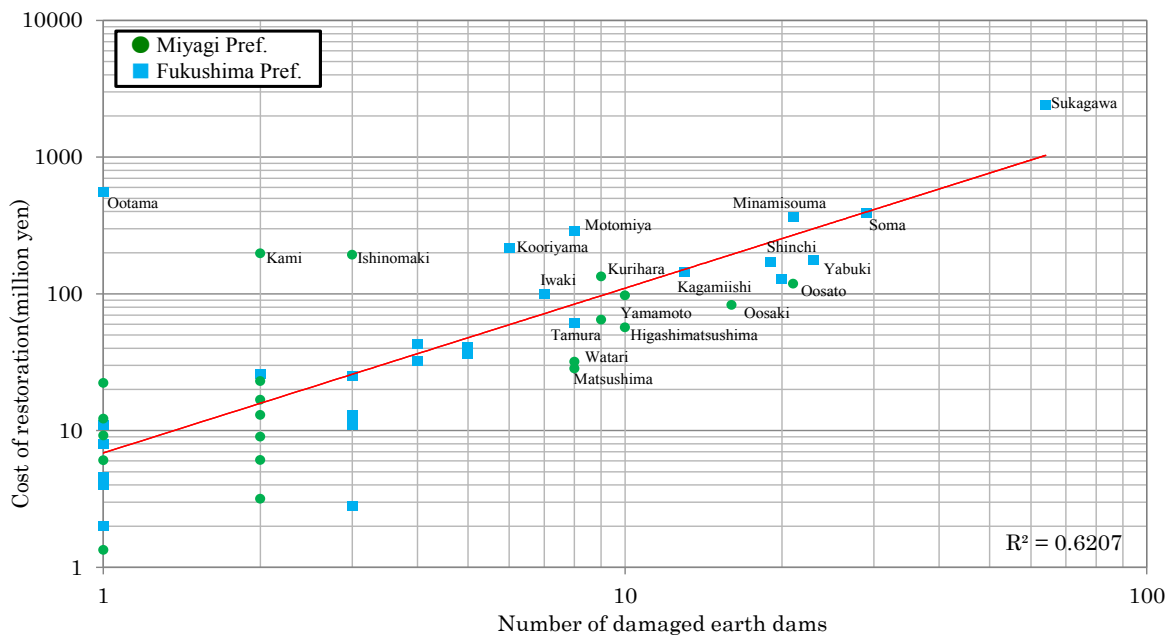


Fig. 3-11 東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県内市町村別被災ため池数と災害査定総額

### 3.3.4 推計震度及び震央距離と被災率

ため池毎の推定震度同定に使った 1km メッシュについて、東北地震発生時の両県の震度別メッシュ数及びため池数を各々 **Fig.3-12** の棒グラフに、また **Fig.3-13** には、県毎の累積度数で比較した。西寄りの会津地方を含む福島県域は震央距離の範囲が広く、震度毎のメッシュ数やため池数は宮城県側よりも均等化されたものとなる。但し、震度 6 弱（震度 5.5 以上）を超える範囲では、福島県内ため池数が宮城県よりも多い場合が増えてくる。これを **Fig.3-13** の累積度数で見ると、福島県は震度メッシュ 5.0 以下が 4 割に対し、宮城県は 2 割未満、震度 5.5 以上では福島県内が 2 割未満に対し、宮城県は 4 割未満で、宮城県全域では大きな強震度だったことが確認で



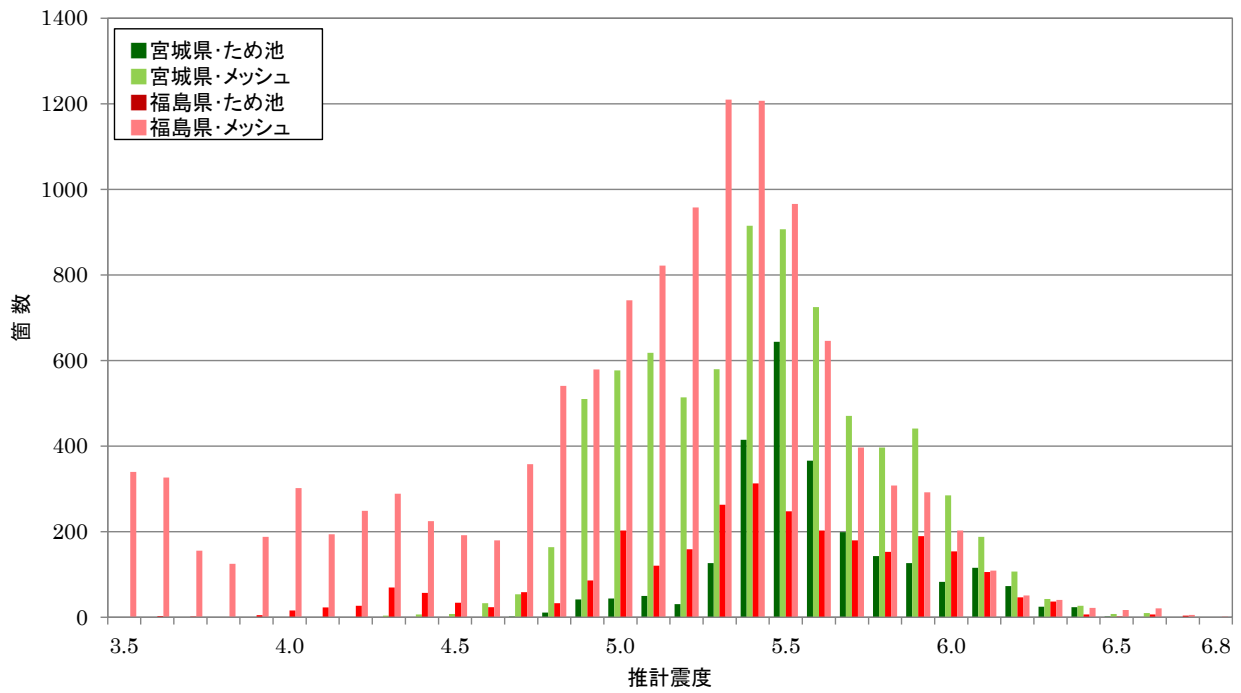


Fig. 3-12 東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県の推計震度毎メッシュ数とため池数

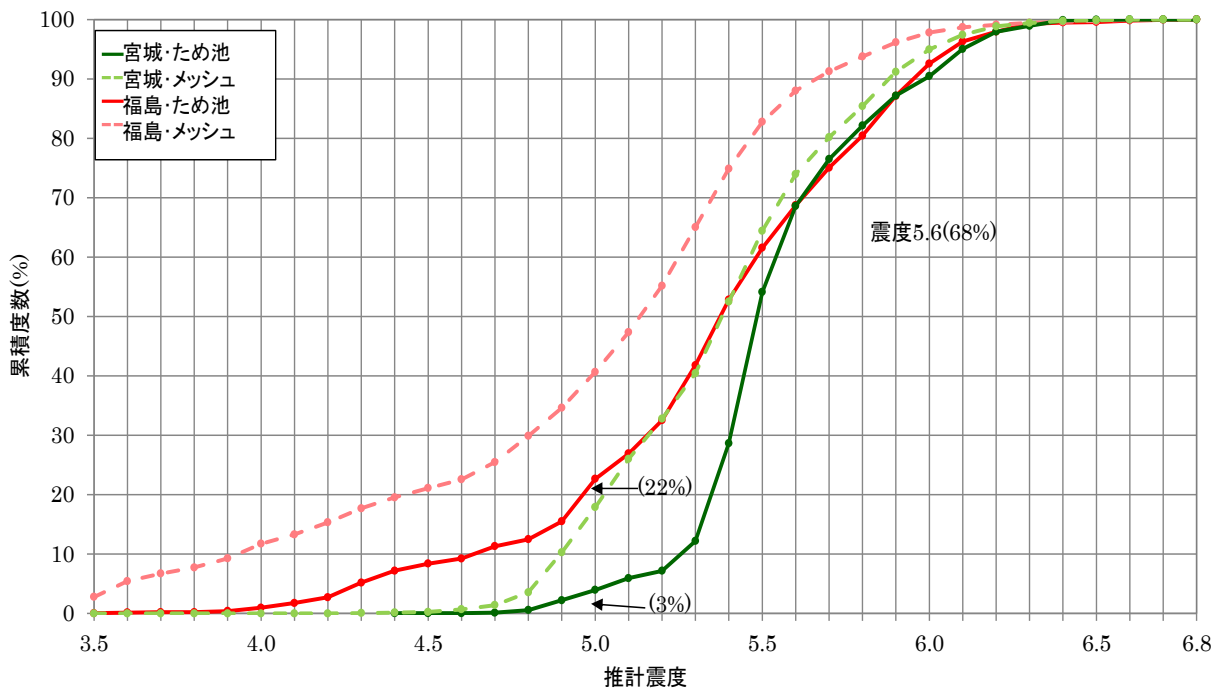


Fig. 3-13 東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県の推計震度別メッシュ及びため池の累積度数

きる。一方、宮城県内のため池は震度 5.0 以下が 3% に対し福島県は 22% で、震度上昇に伴って双方の累積度数は急速に縮まり、震度 5.6 の累積度数 68% で交わっている。即ち、両県間に震度 5.0 以下で 20% 近くあった累積度数の差が、震度 5.0 から急速に縮まり、震度 5.6 以上ではほぼ同程度となった。その結果、震度 6.0 以上の強震度ため池の相対度数は両県間に差がなく、数的には寧ろ福島県内が多かったことになる。

推計震度メッシュとため池震度の比較から、両県のため池は共により大きな強震度メッシュに属し、例えば、福島県の累積度数 75% のメッシュ震度が 5.4 に対し、ため池震度は 5.7 でため池が比較的高い震度エリアに分布していたことが分かる。その理由は、ため池がより揺れ易いとされる水田地帯に分布することによると考えられる。

通常、震央に近い程、震度が大きくなると言われるが、前 2 図から、震央から遠いため池でも大きな震度であったことが分かる。Fig.3-14 では、宮城・福島両県観測所の計測震度を縦軸と震央距離を横軸にして関係を見た。宮城県内では震央距離 120km から 210km の範囲にあり、1 観測点を除く全ての観測点が震度 5.0 以上で、全体的に近い震央距離で大きな震度であった。一方、福島県は最短距離 170km から 330km まで広範囲に跨がり、震度と震央距離の関係は緩やかな負の相関が見られと共に、震央距離 250km 前後の福島県中・南域観測所の計測震度でスポット的上昇が見られる。また、当該エリア計測震度は、宮城県内最大級の震度水準までに達していたことが分かる。

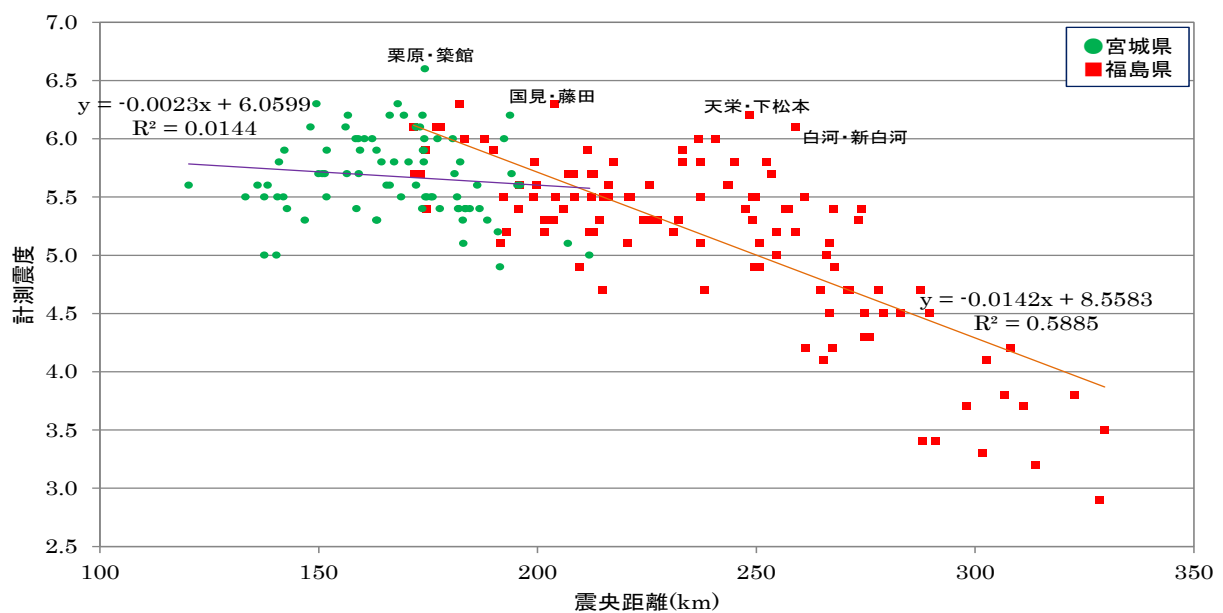


Fig. 3-14 東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県内観測所震央距離と計測震度

**Table 3-5** では、東北地震のため池被災 6 県（岩手県を除く）に埼玉県を入れた 7 県内のため池について、推計震度毎に被災と無被災に分けてその  $R_d$  を整理した。これを推計震度の棒グラフと  $R_d$  の折線で図示したのが **Fig. 3-15** である。因みに、推計震度分布では震度 3.5 以上のメッシュデータが公表されるため、図表中のため池推計震度も 3.5 から始まっている。ため池数は推計震度 5.5 をピークに最大推計震度 6.8 まで分布していた。 $R_d$  は震度 4.1 まではゼロのままであるが、震度 4.2 で被災が始まり、震度 4.8 までは被災率が 1% 未満であった。震度 4.9 から  $R_d$  は 3% を超え、震度 5.5 までは一桁台であった。また、震度 5.6~6.0 は  $R_d$  が二桁台に上昇・推移し、震度 6.0 で  $R_d=17%$  でピークとなった。震度 6.1 超では  $R_d$  が減少傾向となり、震度 6.5 超は  $R_d=0%$  である。つまり、推計震度は概ね震度 5 弱以上から安定的に  $R_d$  が発現し、震度上昇に伴って  $R_d$  は一定の確率で上昇する。

また、本来は震度 6.1 以上でさらに  $R_d$  は上昇するはずが、震度 6.0 から 6.1 に上がった段階で  $R_d$  が半分以下になったように、震度が大きいだけで  $R_d$  が必ず高くなるとは限らないことを示している。但し、仮に震度 6.5 の  $R_d$  が統計的確率で 30% と仮定した場合、**Table 3-5** から 4 個のため池が全て無被災で  $R_d=0%$  となるには、式 (3-5) から 24% の確率で発生し得る現象であり、有意水準として棄却できるレベルでない。なお、震度 6.1 以上でなぜため池  $R_d$  が低下傾向になるかは、第 4 章以降で検討する。

$$(1 - 0.3)^{\times 4} = (0.7)^{\times 4} = 0.2401 \quad (3-5)$$

**Fig. 3-16** では、東北地震の 7 県内ため池の推計震度と震央距離の関係を被災・無被災池に区別してプロットした。2 つの右下がり補助線は、マグニチュードと震央距離から震度を求める河角の推定式（大崎（1983））で、 $M=8.5$  と  $M=8.0$  で比較した。ため池推計震度は、震央距離の関係で概ね  $M=8.5$  推定ライン上側にあるが、福島県内で震央距離 250km 前後と茨城県内 300km 超では、 $M=8.5$  ラインよりかなり上方で被災池が見られた。また、震央から離れたため池ほど、推計ラインより上方にある傾向がある。即ち、東北地震のような数百 km にも及ぶ広大な震源域を有する巨大地震では、複数の  $M7$  クラスの強震動生成域によって震央から離れた場所でも大きな震度が生ずる場合がある（Asano（2012））。そのため、 $M8$  クラス以上の巨大地震の場合、震央距離から被災ため池を想定するよりも、推計震度から  $R_d$  を想定する方が合理的である考える。

Table 3-5 東北地方太平洋沖地震の推計震度別ため池数

震度	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	計
被災ため池	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	1	1	1	1	9	15	10	19	29	51	63	55	34	30	34	35	16	4	1	1	0	0	0	0	414
無災ため池	30	31	92	57	104	186	178	248	486	450	303	242	280	283	300	400	271	294	438	753	817	531	347	265	266	172	172	107	55	30	4	8	4	1	8,205
合計	30	31	92	57	104	186	178	250	486	452	304	243	281	284	309	415	281	313	467	804	880	586	381	295	300	207	188	111	56	31	4	8	4	1	8,619
Rd(%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	1.2	0.7	0.8	0.5	0.5	3.2	3.8	3.4	6.3	6.2	6.3	7.2	9.4	8.9	10.2	11.3	16.9	8.5	3.6	1.8	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8

注)ため池波、宮城、福島、茨城、群馬、栃木、千葉、埼玉県の7県分を集計

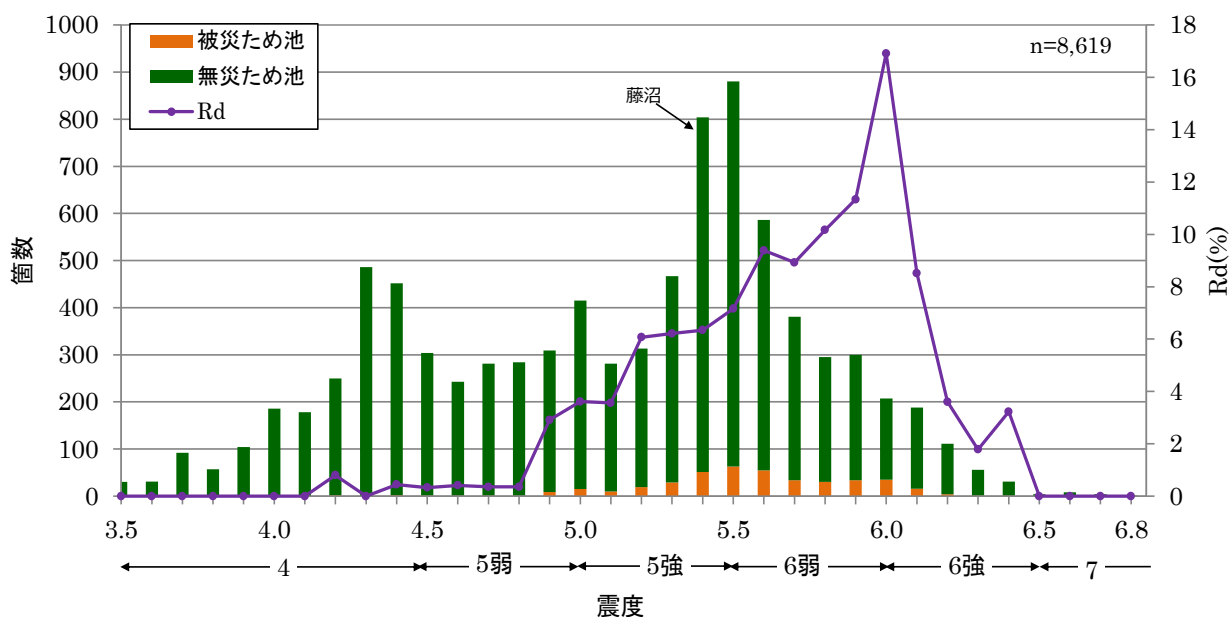


Fig. 3-15 東北地方太平洋沖地震のため池推計震度と被災率の関係

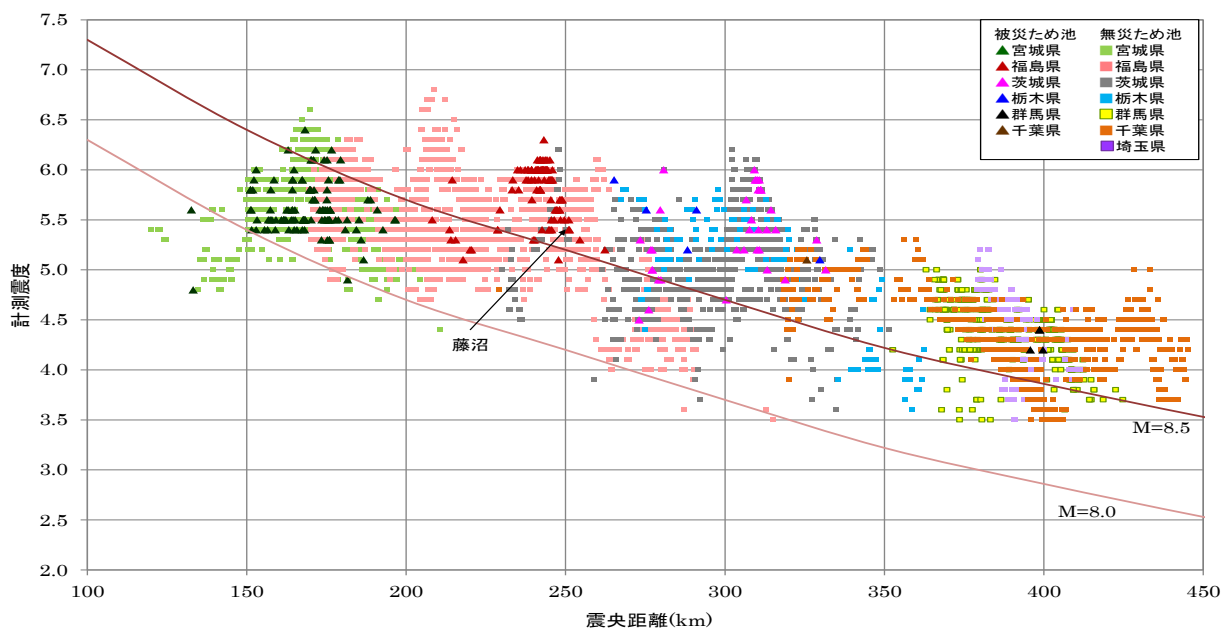


Fig. 3-16 東北地方太平洋沖地震のため池震央距離と推計震度の関係

Fig.3-17 は、Fig.3-10 の宮城・福島両県の推計震度の  $R_d$  を水色と赤ラインで、Fig. 3-15 の被災 7 県の震度の  $R_d$  を黒ラインで、宮城・福島両県の被災 45 市町村（但し、域内のため池数が最低 10 個以上）毎のため池平均推定震度と  $R_d$  及び谷（2005）の 3 地震の市町村計測震度と  $R_d$ （但し、宮城県北部の一部データは削除）を合わせてプロットしたものである。一瞥して分かるように、市町村単位の方が  $R_d$  のバラツキは大きく、全国の方が県単位よりも  $R_d$  が平均化され、カーブが滑らかである。このことから、 $R_d$  は震度によって上昇するが、母数となるため池個数の大小が  $R_d$  のバラツキ要因に影響すると考えられる。

また同図で東北地震とは異なる 3 地震との関係で見ても、地震マグニチュードの違いによる震度と  $R_d$  の間の傾向の違いは確認されず、基本的に推計震度でため池  $R_d$  を確率的に評価することは可能であると考えられる。

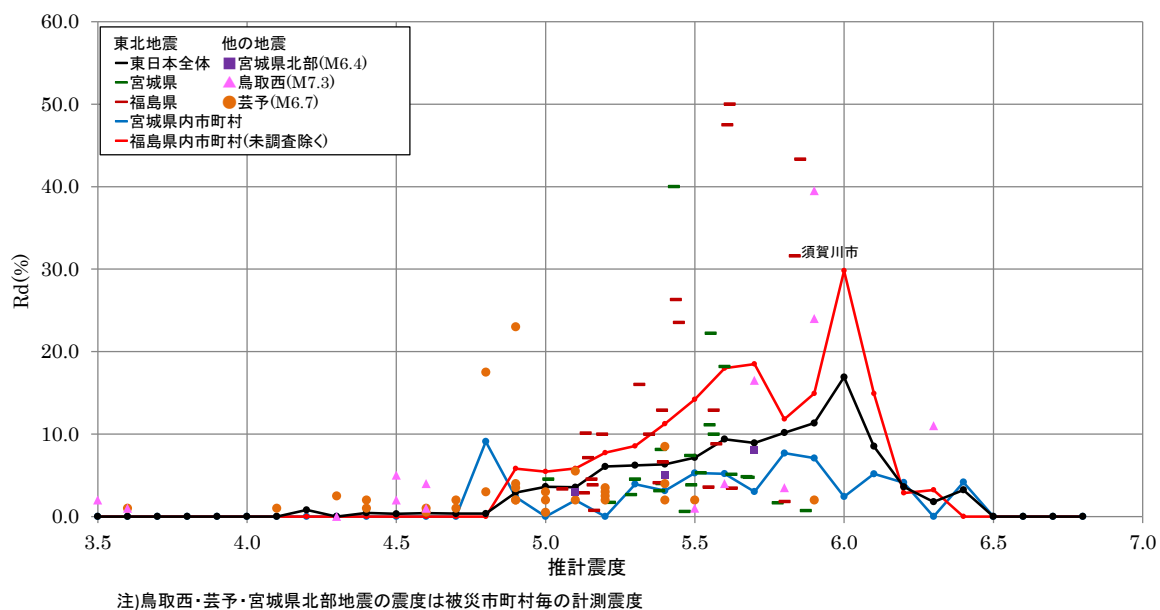


Fig. 3-17 ため池の市町村別平均推計震度と被災率の関係

### 3.4 まとめ

第3章では、まず農地・農業用施設等の地震動被災について、新指標として市町村単位に被災密度 ( $D_i$ ) と平均推定震度 ( $\bar{I}_i$ ) を定義し、震度と被災の関係を考察した。次にため池の被災率 ( $R_d$ ) を定義し、宮城・福島県内ため池について推計震度を同定し、その震度毎に  $R_d$  を求め、震央距離との関係を含めて考察した。最後に過去の地震動被災ため池  $R_d$  と東北地震の  $R_d$  を比較して、以下のことが明らかになった。

- 1) 被災密度  $D_i$  と平均推定震度  $\bar{I}_i$  の関係は、 $\bar{I}_i$  の増加によって  $D_i$  が級数的に増加していた。また、 $D_i$  は津波と地震動の被災形態毎に異なる関係を有し、津波  $D_i$  は、地震動  $D_i$  の概ね 40 倍になると推定された。なお、推定震度の基となる計測震度は地震加速度の対数式から求められ、 $D_i$  はこの加速度との相関関係を意味していた。
- 2) 地震動の  $D_i$  上位 20 市町村の農地、水路、ため池、頭首工で各々  $D_i$  を求め、当該  $\bar{I}_i$  と比較したところ、両者の関係は職種間に相違が見られ、特にため池は震度と被災に関係が見られた。
- 3) 東北地震のため池  $R_d$  は推計震度 5 弱から発現し、震度の増加に伴って増加する。また、地域毎に  $R_d$  発現上の相違が見られる。例えば、
  - ・震度は宮城県内が全般的に大きい、福島県内のため池  $R_d$  は宮城県の約 2 倍である。
  - ・被災レベルは、被災ため池数が多い市町村ほど池個々の被災レベルが高い。
  - ・震度とため池  $R_d$  の関係は、宮城県内では明確な上昇傾向は見られないが、福島県内では震度に伴い  $R_d$  が大きくなり、震度 6.0 で概ね 20% に達した。
  - ・東北地震に関係した約 8,600 個のため池では、 $R_d$  は概ね震度 5 弱から発現し、5 強に近づくに伴い顕著な  $R_d$  の上昇が見られ、震度 6.0 で  $R_d = 17\%$  となった。
- 4) 東北地震でも震央から離れるに従って推計震度は小さくなる傾向であるが、 $R_d$  は必ずしも震央距離が近いほど増加するとは限らない。また、福島県中域等震央から多少離れた特定エリアに強震度が発現し、ため池被災が激甚化した。

以上から、ため池毎の地震時危険度は推計震度によって評価が可能で、震央距離を用いなくとも被災想定は可能である。

## 第4章

### 地形・地質とため池被災

#### 4.1 概説

第3章では、ため池地震動被災が、推計震度によって危険度評価が可能であることを明らかにした。しかし、同じ東北地震でも宮城・福島両県内のため池推計震度が同程度であるのに、両県の $R_d$ には大きな差があり、推計震度だけで地震動被災は説明できないことも分かった。また、過去のため池地震動被害研究では、震央に近いほど $R_d$ が大きくなる傾向であったが、東北地震では震央に近い宮城県よりも福島県内の $R_d$ が大きく、距離400kmの震度4.2でも被災事例が生じている。そのため、ため池 $R_d$ を増加させる震度は、震央に近いだけで大きくはならない。

この章では、震度増減の要因となる地形・地質に着目して、 $R_d$ との関係を検討する。この場合、震央距離が地形・地質との関係で震度にどのように影響するか、また、震央方向と地形（特に堤軸方向、傾斜方向等）の関係が $R_d$ にどう影響するかについて分析する。

##### 4.1.1 地震動被災と地形・地質

地震動による被災は通常、地面の揺れによって引き起こされる。これを伯野（1992）は、地盤構造や地形が地震動に影響を及ぼすとして、硬地盤に近い軟弱地盤、盆地、崖っふち、傾斜地などがよく揺れるとした。我が国のため池は水田用水に築造されるため、その大多数が揺れ易い地盤条件下にある。過去のため池地震動被害研究では、秋葉ら（1940）が、「山地と平地の境で被害が多い」と報告以降、後の研究でも地形変化に着目した被災現地調査が行われ、ほぼ同様な結果であった。これは1995年兵庫県南部地震の「震災の帯」で「硬軟の地盤が錯綜する地層では地盤の揺れが増幅する」（気象庁）とした結論と符合するもので、ため池被災要因としても検証が必要である。

近年、ため池 DB から位置と地形・地質情報を重ね合わせ、地震動被災との関係を見る研究が行われているが、ため池サイトの地盤評価が相対関係（地盤が岩盤上であれば岩盤と同定すること）では、地形境界（硬軟地盤の変化等）部のため池被災は説明できない。つまり、ため池の属する地盤メッシュと隣接地盤メッシュ間で硬軟の質的变化を見れば地震揺れ増幅（=震度の増加）との関連を見ることができる。仮に、硬地盤メッシュ（推計震度は低めに評価される）内のため池でも、実際のサイト震度が境界部で大きくなれば、 $R_d$ も増大すると考えることができる。

本章では、広域的な地形・地質による震度の変化について、ため池の推計震度、震央距離、堤軸方向及び  $R_d$  の関係から考察する。

#### 4.1.2 震央距離とため池地震動被災

第 2 章のレビュー通り、過去のため池地震動被害研究では、震央距離を遠近区分して統計的に  $R_d$  を求める場合と震央距離を説明変数にして  $R_d$  の関係を見るものがあった。何れの場合も、震央に近いほど  $R_d$  が上がる傾向でほぼ一致した結果であった。しかしこれは、「震央に近いほど、震度が大きく  $R_d$  は上昇する」を言い換えただけで、地震発生後に震央位置が地図上に明示される理由が、「震央距離が近いほど震度が大きい」ことを、単に前提としているからである。嘗ては震度に関する十分な情報が無い中では、大概の揺れの大きさが想定できて良かったが、実際は震央から離れた場所でも大きなため池被災が見られ、現在は推計震度分布の有効性が認知されてきている。つまり震央距離とため池被災については、推計震度をベースに検証・整理を行う環境が既にできてきたと考えるべきである。

本章では、3 章で比較した宮城・福島両県内のため池位置を震央距離との関係で検討すると共に、ため池が 2 ヶ所で決壊する等、甚大な被災が生じた福島県中域を対象に震央距離と震度の関係を検証する。

#### 4.1.3 堤軸震央方向角度と地震動被災

ため池堤軸の震央方向角度と地震動被災について、秋葉ら（1941）は男鹿地震を事例に「無関係」としたが、その後の研究では、「何らかの関係を有する」が大勢を占め



ている。どちらの信憑性が高いかの検証は、震央位置に対してどの方角の堤軸が高被災リスクとなるかで、ため池地震動被災においては重要な危険評価要素である。特に有意な関係があれば、堤軸方向を被災リスク要因として評価し、それに応じた災害時緊急対応が可能となる等、ため池緊急点検の合理化が図れることになる。

本章では、福島県中域内ため池を対象に、堤軸震央方向角度を定義・データベース化し、位置情報を重ね合わせた地形図や推計震度及び  $R_d$  によって、複合的・総合的に検討する。

## 4.2 分析方法

### 4.2.1 地形と傾斜

ため池 DB 上には、地形、地質に関して山麓、台地、平地等で区分される「地形」、岩類、砂類などの「地表地質」及び硬岩、砂質土、粘土などの「基礎地盤」の 3 項目のデータが登録されている。入力データは地形・地質区分図からため池毎に照合可能であり、現地踏査を前提としたデータではない。例えば、ため池サイトが山麓の分類でも、平地に近い麓（ふもと）なのか、或いは山奥なのか、傾斜の向きや勾配大きさ等、搭載データだけでは判断できない。あくまでもため池が位置する場所の分類図上の属性を示すだけで、隣接地との関係性や地形情報は得られない。つまり過去の地震動被害研究で、「山地と平地の境」が揺れやすい場所であったとしても、周辺との関係性を有しない点的な地形・地質属性だけではそれを判断できない。

そのため、ため池 DB で位置座標データ（地球測地系）を各種地図情報と重ね合わせて複合的に観察することで、山地と盆地間の震度分布、地形と堤軸方向、地形と被災ため池の分布などの関係性分析が可能となる。因みに、地図情報は、衛星画像（Arc.GIS Base Map）、シームレス地質図（防災科研）、推計震度分布（気象庁）、10DEM（国土地理院）等を分析に使用した。

### 4.2.2 ため池震央距離と緯度・経度

震央距離とマグニチュードから被害発生範囲の予測・想定が防災・災害関係で一般

的に行われることから，谷ら（1998）はため池被害事例から被害範囲を限界震央距離で推定した．今日，全国何処でも瞬時に震度分布が判るようになると，震央距離と震度分布が必ずしも整合した関係にないことは明かで，特に M9.0 東北地震では強震度域が震央からの同心円というより真鱈模様であり，ため池被災集中箇所も震央距離と連動してはいなかった．

前章の被災ため池分布図では，緯度・経度の位置を図示したが，東西方向或いは南北方向に震央距離何 km で被災池が集中しているか，必ずしも明確ではない．本章では，各ため池の緯度・経度座標と震央距離を使って，被災と無被災を色分けして地図情報上に図化することで，地形・地質，推計震度，ため池被災率（ $R_d$ ）等の関連性を分析する．

#### 4.2.3 ため池堤軸震央方向角度

福島県内各ため池位置座標（世界測地系）は，グーグルアースの衛星画像を用いて確認し，**Fig.4-1** から堤軸左右両岸の緯度経度を求め，左岸部から震央までを各ため池の震央距離とした．

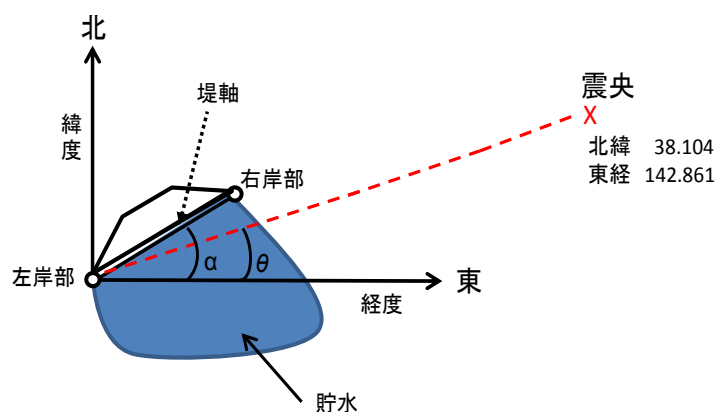


Fig. 4-1 ため池堤軸の震央に対する角度

また，ため池  $i$  堤軸の震央方向に対する角度  $\omega_i$  は，式 (4-1) 及び (4-2) より求めることができる．

$$\omega_i = \alpha_i - \theta_i \quad \alpha_i \geq \theta_i \text{ の時,} \quad (4-1)$$

$$\omega_i = 360^\circ + (\alpha_i - \theta_i) \quad \alpha_i < \theta_i \text{ の時.} \quad (4-2)$$

ここに、 $\alpha_i$  : ため池  $i$  の堤軸と東西方向軸に対する交角、 $\theta_i$  : ため池  $i$  の東西方向軸と左岸部への震央からの交角である。

### 4.3 結果と考察

先ず、震央に近い宮城県内の被災ため池分布を緯度・経度、震央距離、地形、推計震度等を使って複合的に検討し、被災発生エリアの特徴を考察する。次に福島県内の被災ため池分布を宮城県と比較検討し、最後に東北地震で被災ため池が最も集中した福島県中域を対象に詳細な被災分析を行う。

#### 4.3.1 宮城県内の被災ため池分布

宮城県内ため池の緯度・経度分布を、東北地震の被災池と無被災池を地域ブロック毎に色分けして **Fig.4-2** に示した。県北域の被災池の大多数が北緯 38.40~38.50 及び 38.60~38.70 付近で東西に並んでおり、県南域は北緯 37.90~38.00 の範囲で福島県相双域まで連なっていた。宮城県域に対する震央位置は、概ね仙台南部（山元町付近）と同じ緯度であり、県北域のため池にとっては東南東方向にある。

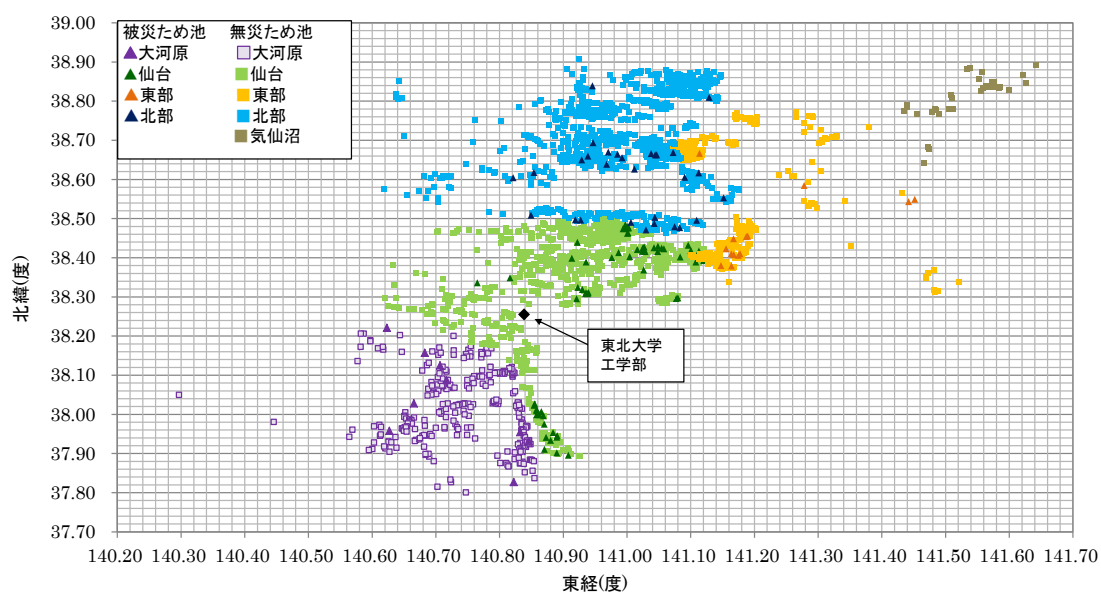


Fig. 4-2 東北地方太平洋沖地震の宮城県内被災ため池の緯度・経度分布

**Fig. 4-3** には、宮城県内の推計震度分布及び地形図（衛星写真）上に被災黒●と無被災白○に分けてため池位置をプロットした。左図でより赤く見える部分が震度 6 強のエリアで、最大震度 7 を記録した栗原市築館はほぼこの中心にある。震度 6 強エリアは震央距離 160~180km の範囲にあり、震央距離が 130km 前後の牡鹿半島よりも震度がかかなり大きい。また、震央距離半径 150km 以内で震度 5 弱~5 強と震度が低めのエリアは、右の画像より山地であることが確認できる。ため池の被災分布では、必ずしも震度 6 強エリアに被災池が集中している状況ではなく、仙台市内北部及び亶理・山本地区の震度 6 弱エリアに多数の被災池が確認できる。

**Fig. 4-4** には、震度 6 強エリアのシームレス地質図 (a) と 古図 (b) を示したが、嘗てこのエリアは大きな沼地で、元来揺れ易い軟弱な地盤からなり、そのため推計震度が周辺よりも高くなっている。ここから推計震度 6 強以上でも、ため池  $R_d$  が必ず大きくなるとは限らないことが分かる。

宮城県内ため池の震央距離と経度及び緯度関係について、横軸に東経、縦軸に震央距離として **Fig.4-5 (a)** にプロットした。また、同図**(b)**では緯度を横軸に震央距離を縦軸とした。被災池が震央距離 150~180km の範囲で分布し、特定経度に偏った形跡は見られず、単純に西側へ続いている。右図**(b)**では **Fig.4-2** の分布図と類似し、大きな震度が有った県北部域の被災ため池は、震央の緯度位置に対して南北に分かれて平行に分布している。因みに、ため池プロットがない空白部分は、仙台市街地であるが、地形の傾斜は、震央に向いていないことが分かる。

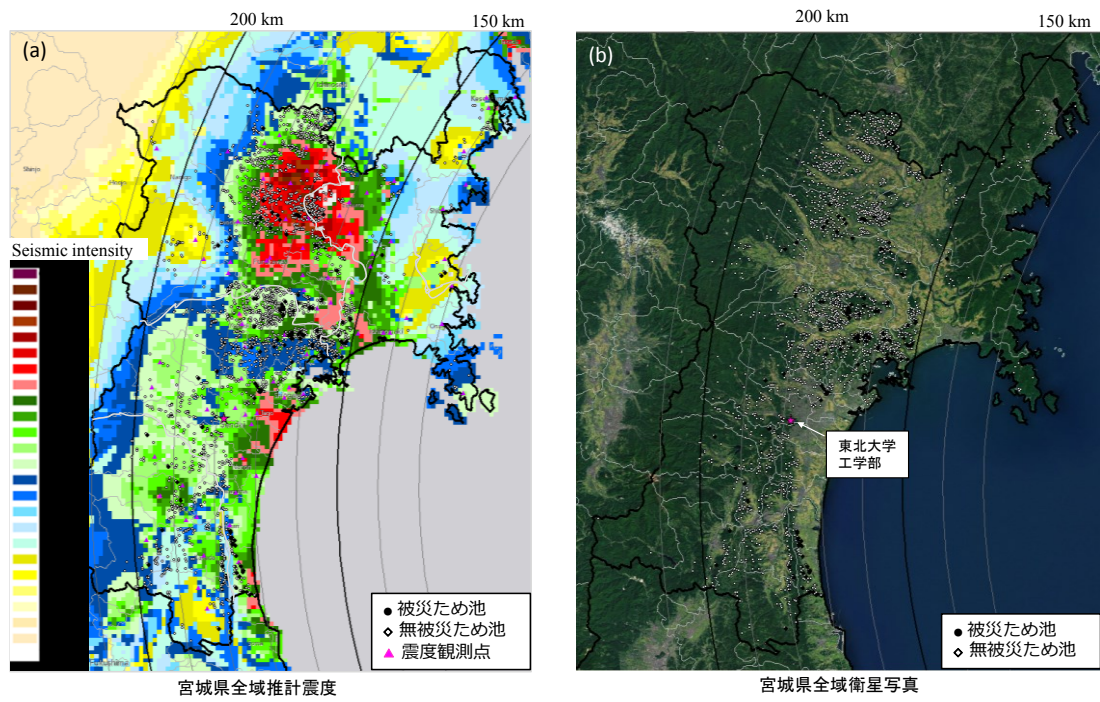


Fig. 4-3 東北地方太平洋沖地震の宮城県内推計震度と被災ため池分布

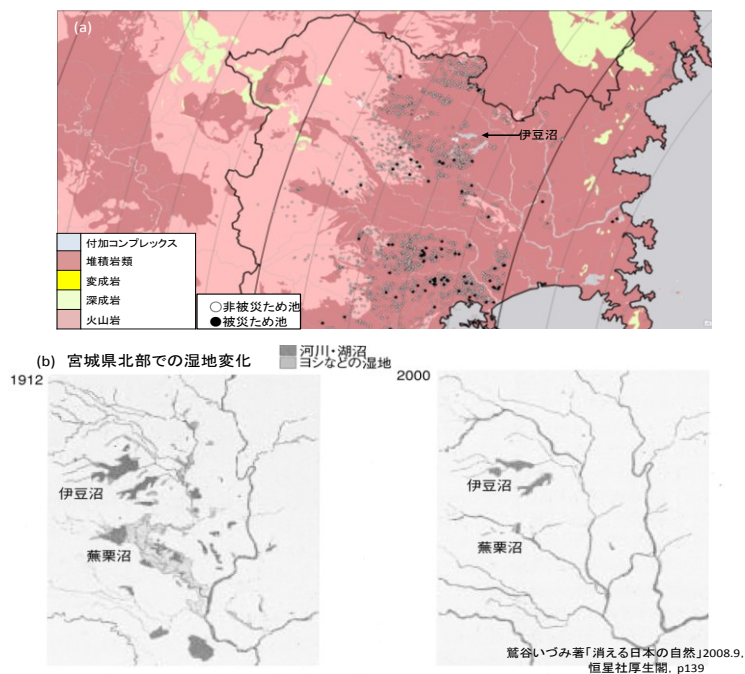


Fig. 4-4 宮城県北部の湿地変化（古図）

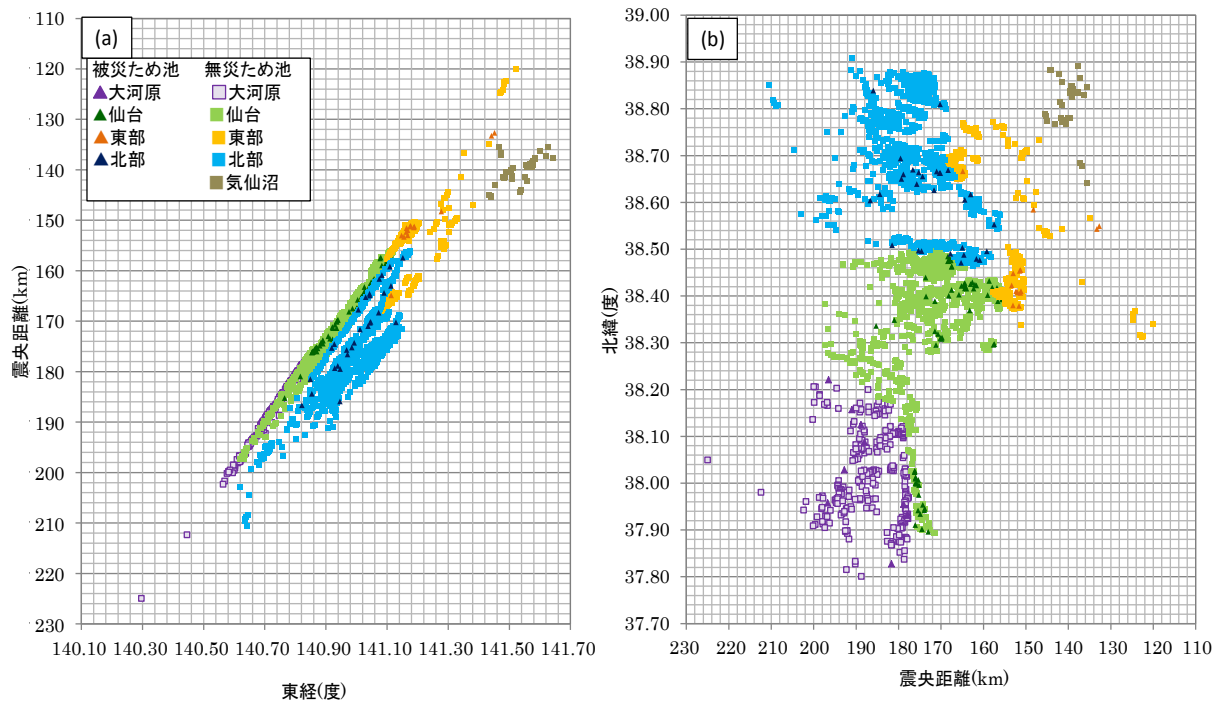


Fig. 4-5 東北地方太平洋沖地震の宮城県内ため池の震央距離と緯度・経度位置

### 4.3.2 福島県内の被災ため池分布

Fig. 4-6 では、福島県内ため池の緯度・経度分布を、被災池と無被災池を地域ブロック毎に色分けして示した。但し、被災池のない南会津域は含んでおらず、被災池が殆ど無い会津域は、県中域に隣接した関連部分のみを表示した。なお、相双南域は原発事故で災害査定未了ため、被災池表示がない。

図から県内被災ため池集中域は、県北東部の相双域と県中・南域に見られ、特に被災池数の半分以上が県中域に集まっていた。県南域の被災池は、県中域で被災池が集中したエリアに隣接して分布しており、被災集中エリアとしてはほぼ一体を成していた。同図に決壊3ため池の位置を示したが、県北域の青田新池は県中域に隣接し、被災集中域にも比較的近い場所にあった。

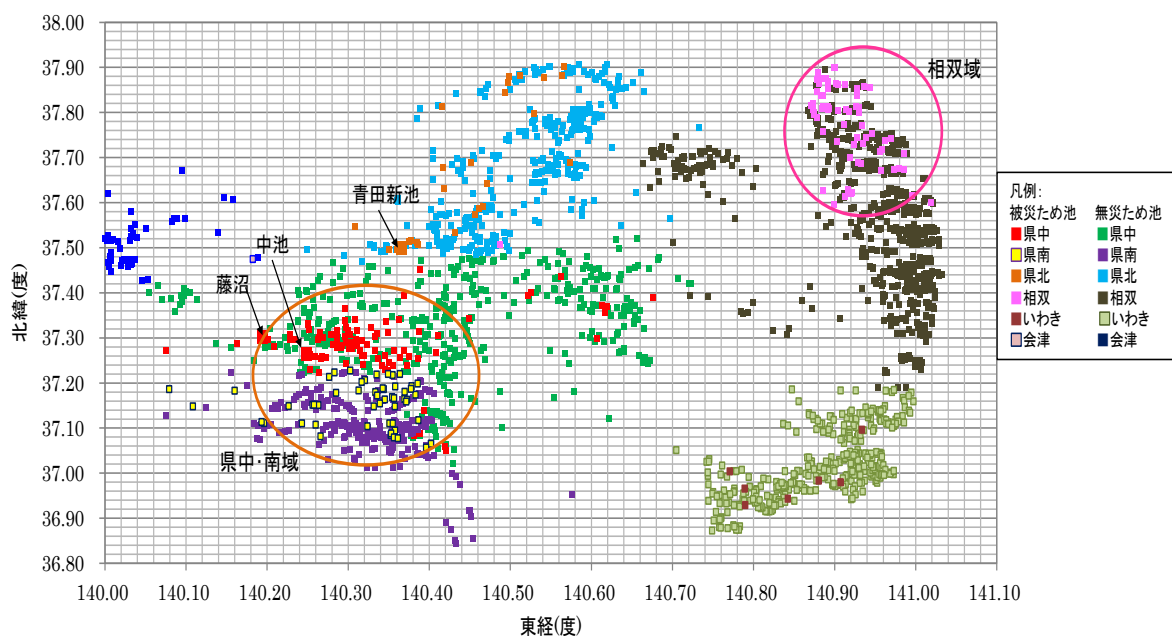


Fig. 4-6 東北地方太平洋沖地震の福島県内被災ため池の緯度・経度分布

Fig. 4-7 では、福島県内のため池について Fig.4-5 の宮城県と同様に、震央距離と経度及び緯度の関係を示した。図(a)では、被災池が縦軸の震央距離 170km から 230km のピンク線で囲った範囲に、相双域北部と県北域が経度上で並んでおり、同様に 200km から 270km の範囲でいわき域から県中域, 県南域, 会津域へ被災池が並んでいる。また、県中及び県南域では震央距離 240km から 250km の範囲(オレンジ線)で被災池の集中が際立つようになった。

右図(b)は Fig. 4-6 と多少似た分布模様であるが、宮城県の Fig.4-5(b)が震央と緯度的に並んでいたことに比較し、県域全体の緯度が低いため、震央距離と連動した傾きを持った分布になっている。また、北緯 37.10°から 37.30°の範囲(オレンジ線)に県中・南域の被災池が集中し、相双域では震央距離が 10km 前後の範囲に北緯 37.65~38.90°で被災集中が見られ、低緯度(相双南)部分は震央からさらに 10km 距離があった。

Fig. 4-7 の2つの被災集中域を Fig. 4-6 と比較すると、両域とも圧倒的に分布の凝集度が上がっている。このことから、震央から一定距離の場所には、震度と共にため池被災を増加させる何らかの地形・地質的要因を想起できる。

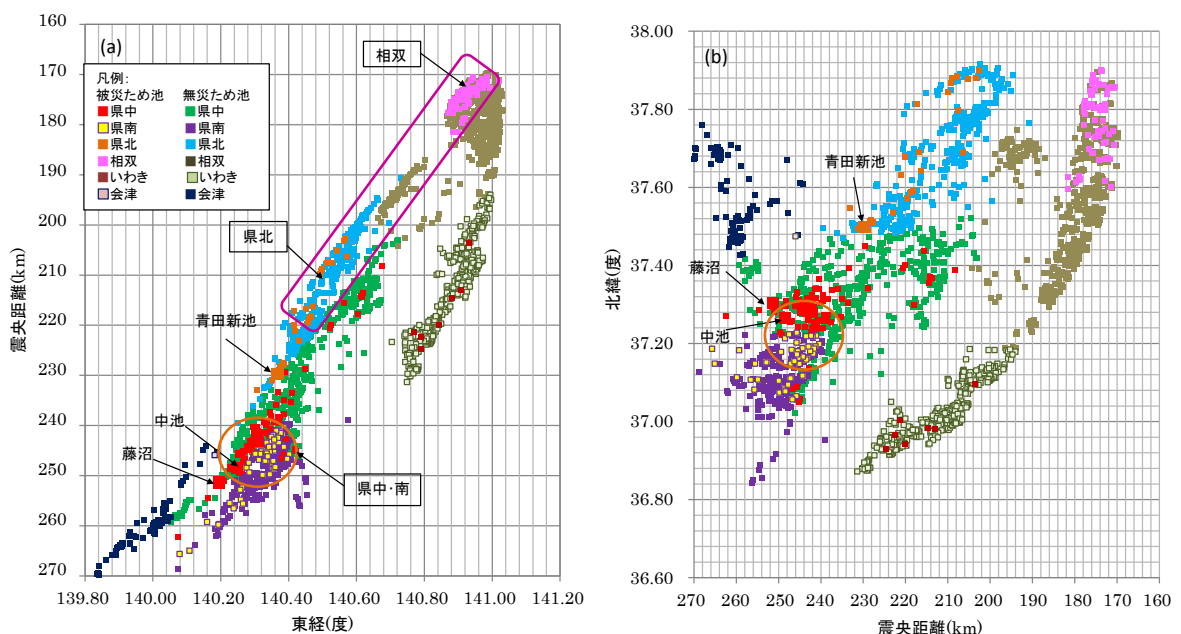


Fig. 4-7 東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池の震央距離と経度及び緯度



### 4.3.3 福島県中域の被災ため池分析

被災ため池数が最も多かった福島県中域を見るために、東経 140.00 から 140.80 度までの東西 70.9km、北緯 37.00 から 37.50 度までの南北 55.7km の範囲に区切ってため池の被災状況整理をした。まず、**Fig.4-8** は **Fig.3-10(b)** の福島県内から県中域分だけを抜き出したものである。推計震度 5.4 と 5.9 にため池数のピークが見られ、震度は大きく二つに分けることができる。一つは、山地で比較的低い震度、もう一方は盆地内で高い震度である。被災池数は震度増大に伴って増加し、 $R_d$  は震度 6.0 で 40% 近くに達していた。また、震度 5.8~5.9 で  $R_d$  が一旦低下しているが、これは **Fig.3-10(b)** の  $R_d$  低下と同じ震度であり、県中域の当該状況が反映したものと考えられる。

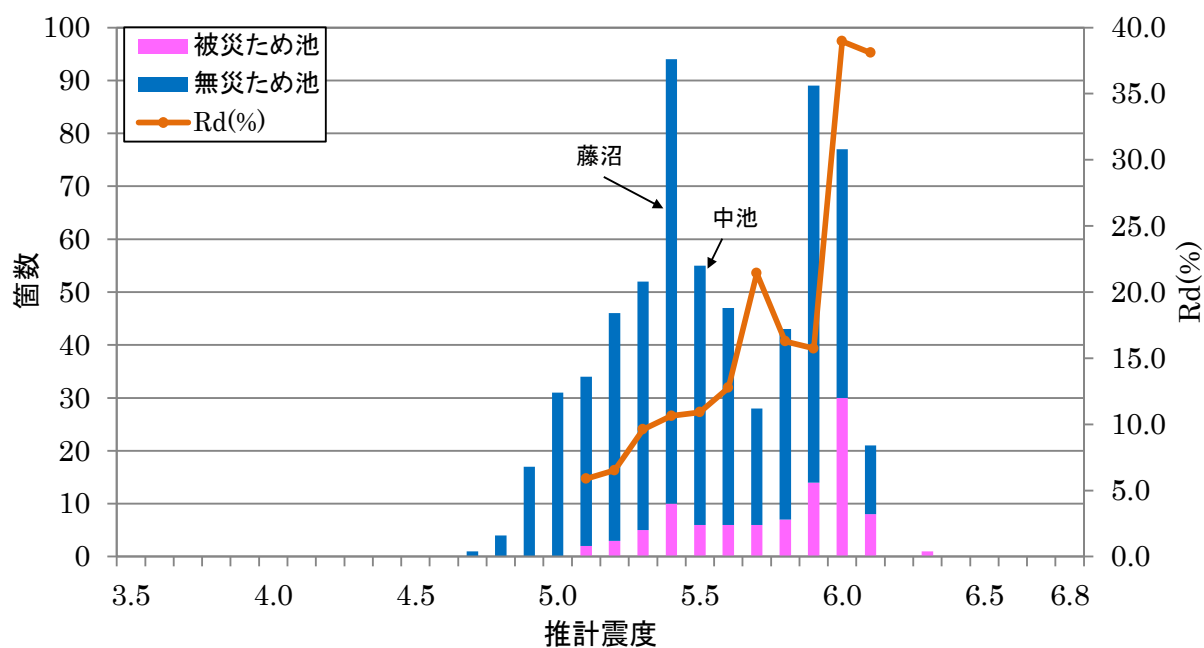


Fig. 4-8 東北地方太平洋沖地震の福島県中域ため池の推計震度と被災率

**Fig.4-9** は、福島県中域の被災ため池分布である。まず、真ん中の図**(b)**には衛星画像上に被災池を黒●、無被災池を白○でプロットし、藤沼湖を含めた A-A 断面を国土地理院の 10mDEM から地形標高を図**(a)**に示した。また図 **(c)** では被災池を災害査定額区分別に、○印の大きさで査定額を区分（但し、小さな口は無被災池）し、さらに○の中を推計震度毎に色分けした。赤色系は震度 6 強で、大きな○印が集まる北緯 37.3 度、東経 140.30 度のエリアに被災池が集中していた。多数のため池が深刻なダメージを受けたエリアは、狭い範囲に集中しており、特に震度の高いエリアは、その大半が水田に隣接する傾斜地形となっている。

**Fig.4-9** 全体を見比べると、東側の阿武隈山地内では震度 5 強レベルで被災池も少なく、標高が下がって郡山盆地に入り阿武隈川を越えた所から地形は東に面して傾斜している。震度は 6 弱から 6 強に上昇するに伴い、被災池の数も急激に増え、藤沼湖も中池も赤い部分の周辺にある。

**Fig.4-10(b)**は、ため池経度位置を横軸に、縦軸に震央に対する堤軸角度  $\omega_i$  を、赤色を被災池、緑色を無被災でプロットして地形図と見比べた。山地と盆地の境にオレンジの破線を引くと、①部分の堤軸方向は下流面西向きが大半で、反対に②の青色点線は盆地内で東向き ( $\omega_i$  は 240–360°の範囲が大半（全体 3 分の 1 角度範囲に 6 割を占める）) であり、多数のため池堤体下流斜面が震央に向き) で、かつ被災池の大半が東経 140.30 度付近に集中し、地形的には山地と盆地に挟まれたエリアであった。

**Fig.4-11(b)**は、横軸の経度位置に対し縦軸を推計震度にしたものである。東経 140.45 度の境界ラインの東側で山地から境界に向かって震度が減退(①)し、境界を越えたところで震度の跳ね上がり(②)が見られる。これは、山地内の震度は震源域から離れるに従って減衰し、平地（盆地）では震度が増大したためである。但し、境界の西側で比較的大きな推計震度にも関わらず被災池が少ないのは、推計震度評価が盆地内の震度 6 強の影響(③)を受けて多少過大気味になったため、**Fig.4-8** のため池数の 2 つのピークと  $R_d$  の落ち込みの原因になった。

ため池堤軸方向  $\omega_i$  を縦軸に、推計震度を横軸にして **Fig.4-12** に示した。震度が 5.4 以下の時、 $\omega_i$  が 30~180°では被災池は皆無で、震度 6 弱までは殆ど被災池が見られない。一方、堤軸下流が震央方向にある  $\omega_i=270^\circ$ 付近では、震度 5 強でも被災池が見られ、藤沼湖や中池はこの領域に含まれている。

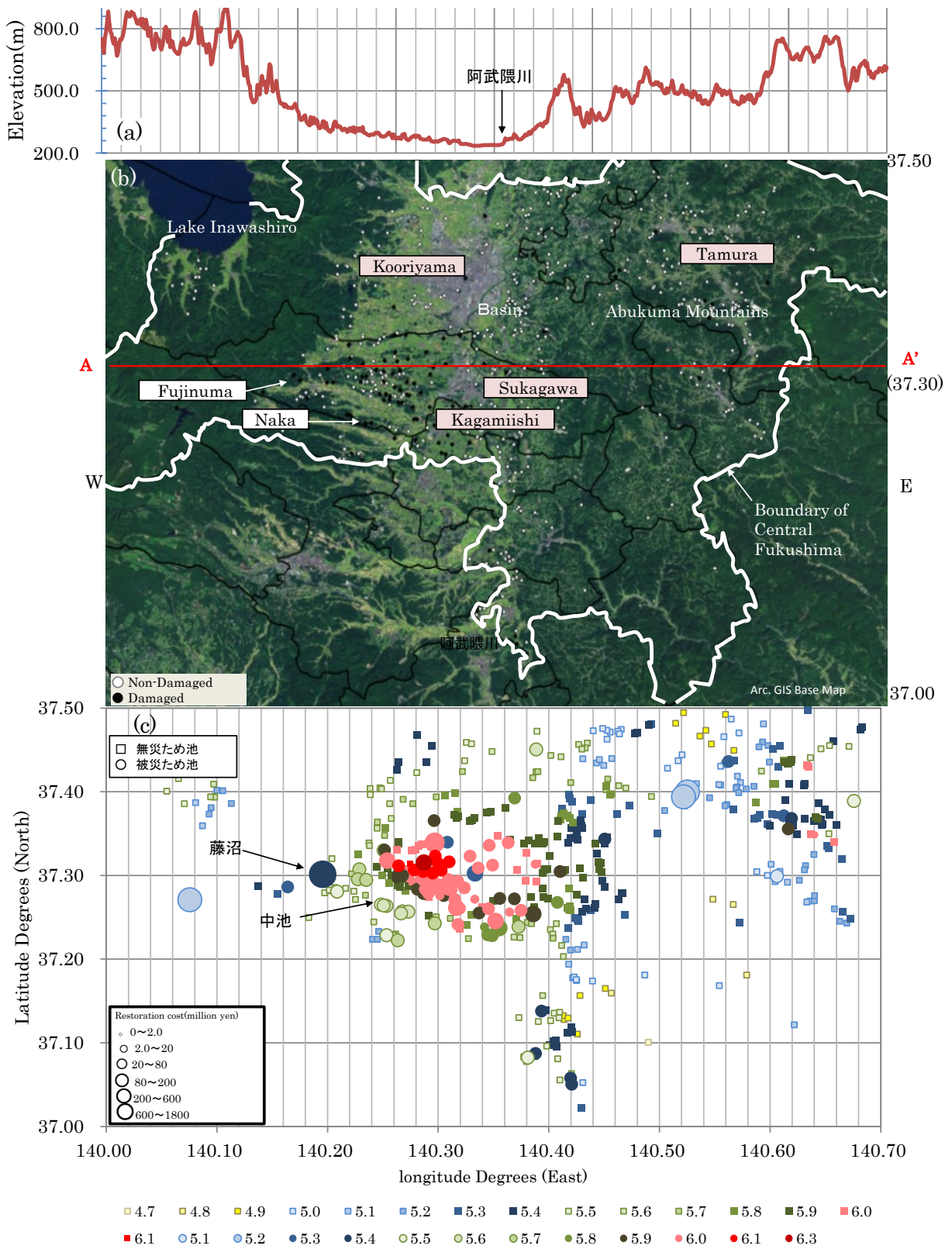


Fig. 4-9 東北地方太平洋沖地震の福島県中域ため池の被災分布

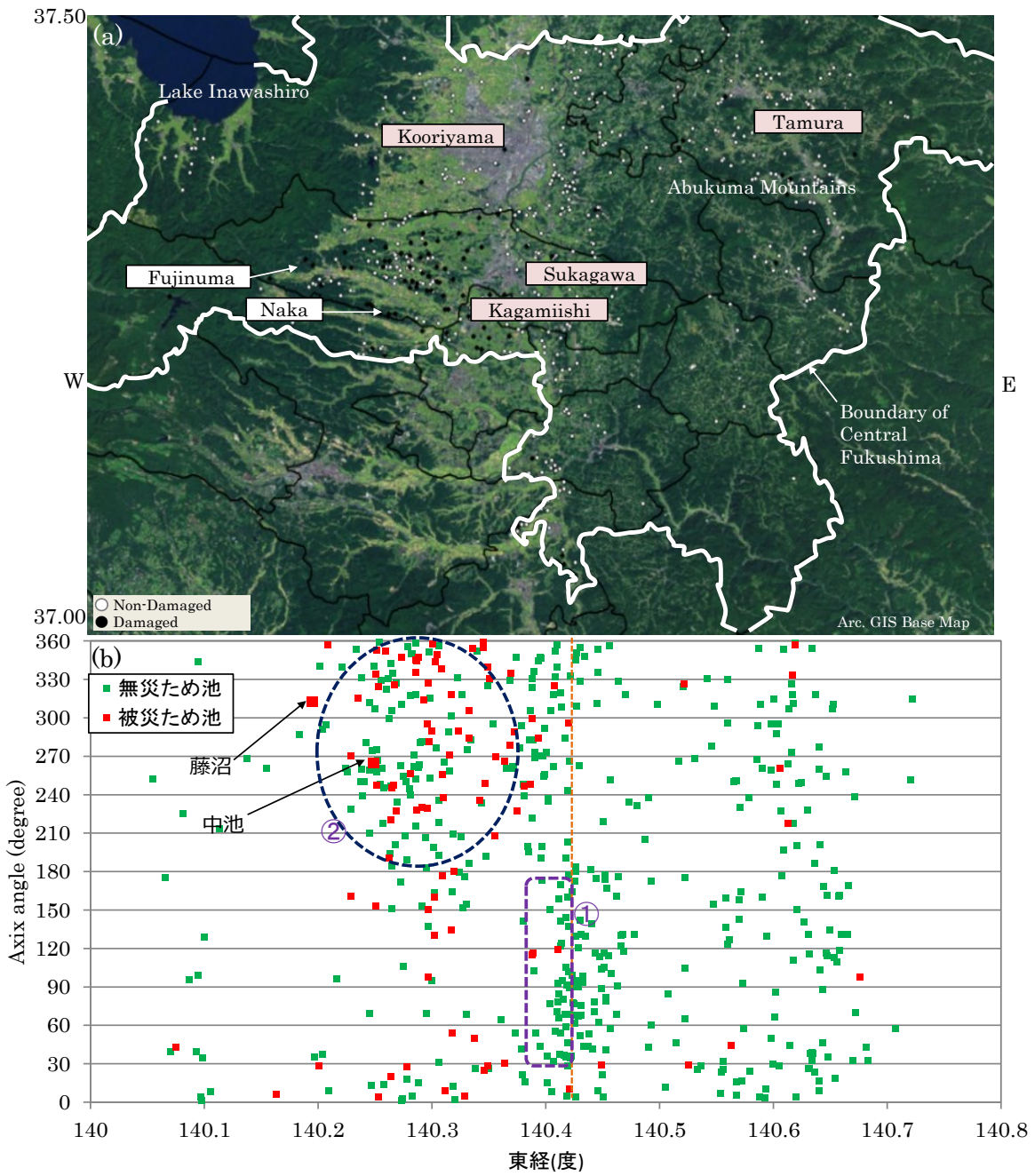


Fig. 4-10 東北地方太平洋沖地震の福島県中域被災ため池の経度と堤軸方向

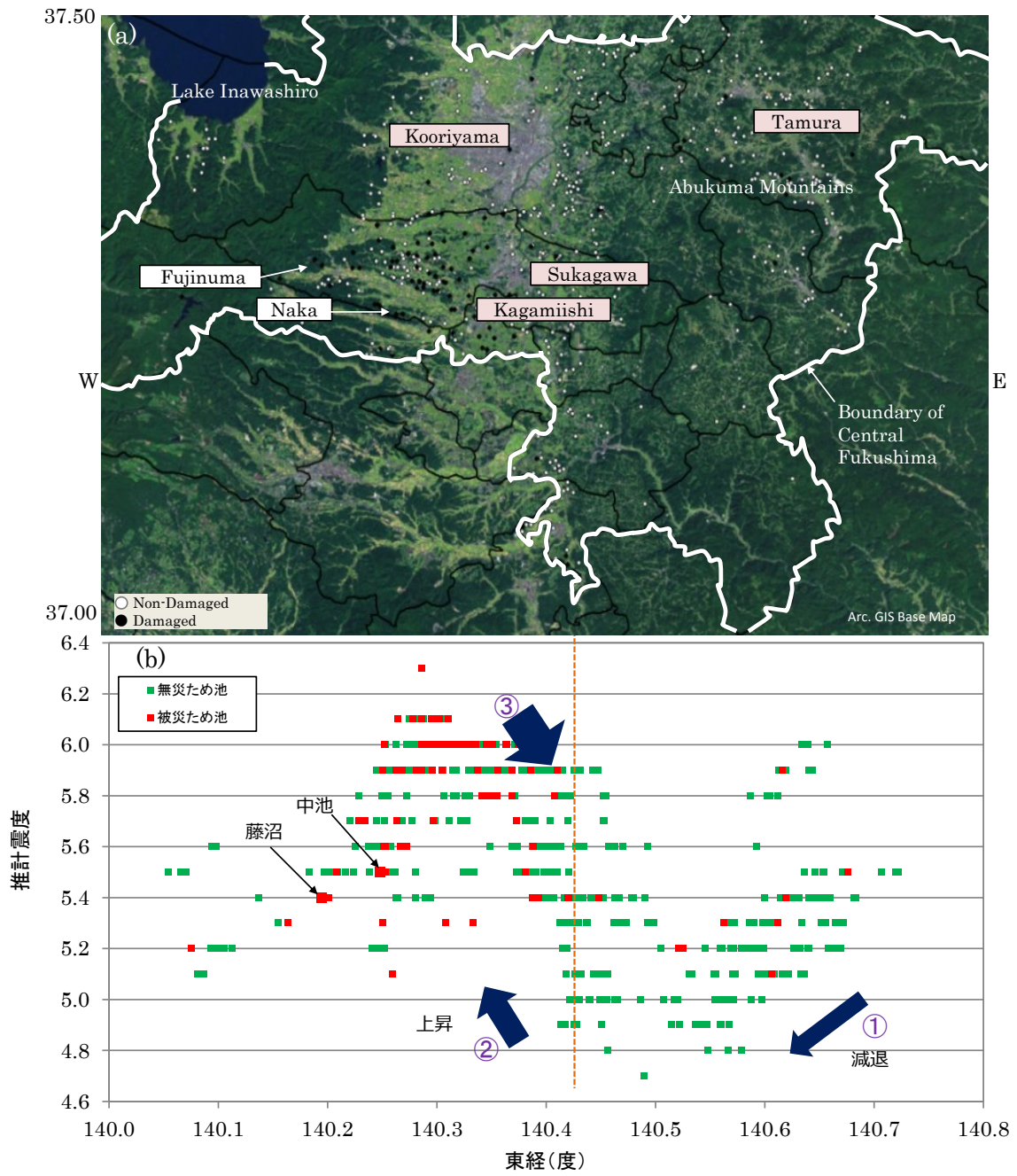


Fig. 4-11 東北地方太平洋沖地震の福島県中域被災ため池の経度と推計震度

**Fig. 4-13** は、福島県中域のため池  $R_d$  と堤軸  $\omega_i$  の関係図である。  $R_d$  の値は、震度 5 強（震度 5.0–5.4）、震度 6 弱（震度 5.5–5.9）、震度 6 強（震度 6.0 以上）の 3 震度階に区分し、  $\omega_i$  の値を以下の 6 等分にしてレーザチャートに整理した。 先ず、グループ a は  $\omega_i$  が  $0^\circ$  を中心として  $0^\circ\sim 30^\circ$  及び  $330^\circ\sim 360^\circ$  の範囲で、同様にグループ b~f まで全体を各  $60^\circ$  毎に 6 区分してグルーピングを行い、グループ毎に震度階毎の  $R_d$  を計算した。 全般に震度の増大に伴って  $R_d$  は大きくなる中で、震度 5 強では b 及び c グループで  $R_d$  がゼロであった。 また、同じ震度 5 強でも堤体下流面が震央と正対する a, e 及び f の  $R_d$  は比較的高く（10% 以上）、他の 3 グループでは 5% 以下の低い  $R_d$  であった。 また、震度 6 弱ではグループ c 及び f は  $R_d$  が 20% を超え、グループ a, d 及び e でもそれらに次ぐ 15% 程度であった。 反対にグループ b では、震度 6 弱でも  $R_d$  は 5% 程度であった（**Fig.4-12** のオレンジ破線①の部分が **Fig. 4-13** の①で示すところである）。 さらに、震度が 6 強に上がると、全般に  $R_d$  は 30% から 40% を超える状況になり、  $\omega_i$  による  $R_d$  に大きな差は見られなくなっている。 即ち、堤体下流斜面が震央方向の場合は全般に  $R_d$  が高くなり、ため池上流（貯水面）が震央に向かっている場合は、被災リスクは小さくなると考えられる。

**Fig.4-14** は、シームレス地質図（防災科研 HP）上に **Fig.4-7** の県中・南域のため池被災集中域を概ね囲った範囲を重ね合わせた図である。 県中・南域のため池集中域の東端は阿武隈山地西縁に接し、南西部分には棚倉構造線が通過する等、囲った領域は東西から中生代の硬い地盤に挟まれる共に、内部は火山岩からなる丘陵・台地と堆積層から成る平地が混在している。 このような地盤構造エリアでは、地震波の多重反射等によって揺れが増幅し易い傾向があり（伯野（1992））、集中域内は周辺と比較して顕著な強震度になったと推測できる。 因みに、本エリア内の棚倉構造線は地形的に明確な起伏形態がないため、増幅の要因となり得る硬い地盤としては見落とされ易い。

**Fig.4-15** の地形学的な形成過程（小池（1965））が示す通り、 **Fig.4-14** で囲った被災集中域は「古郡山湖」の南半分と重なっており、大小起伏山地、丘陵、台地に沖積層等、低平部と傾斜部が入り組んだ複雑な地形を呈している。 即ち、この集中的なため池被災要因には、東側に硬い地層の阿武隈山地があり、嘗て湖底にあった揺れやすい軟弱な地盤を挟んで、西側に硬い構造線が貫通する等、地震波の反復反射が起こりやすい広域的な地形・地質条件が関係したものと考えられる。

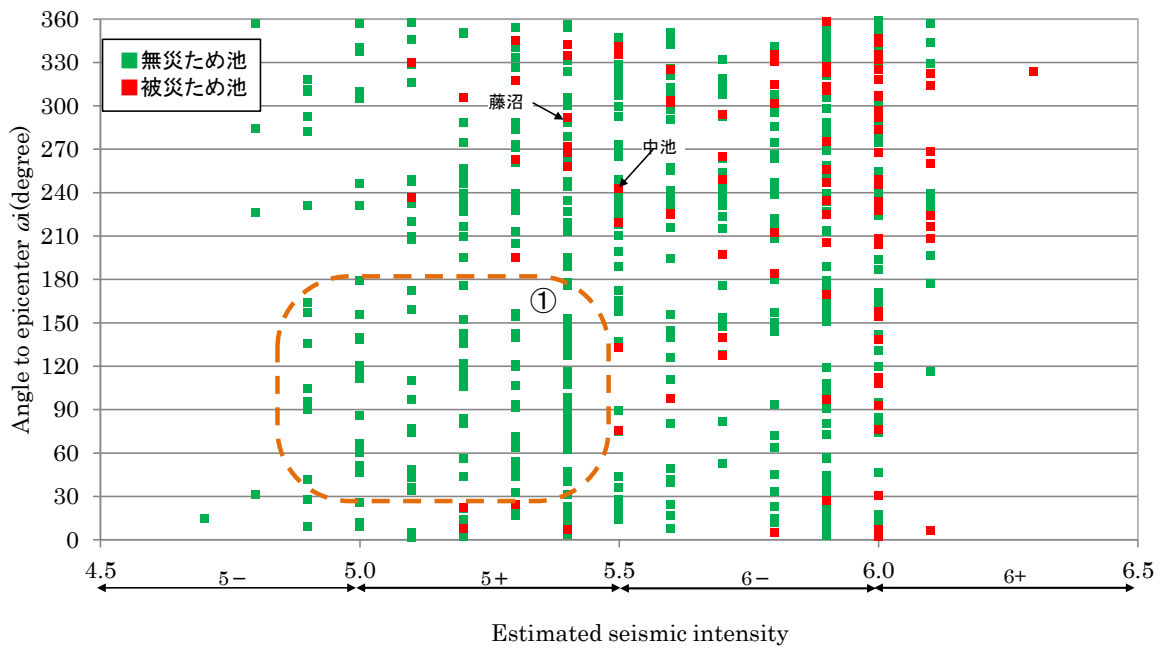


Fig. 4-12 東北地方太平洋沖地震の福島県中域被災ため池の震度と堤軸方向

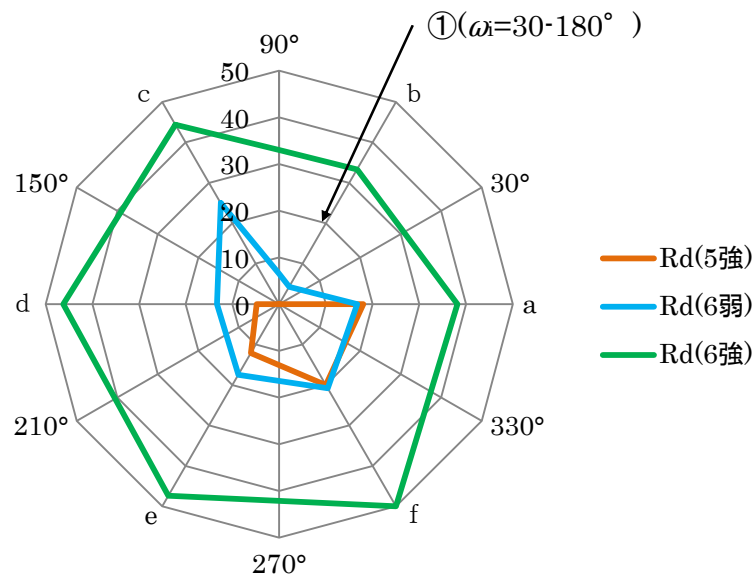


Fig. 4-13 東北地方太平洋沖地震の福島県中域ため池の震度及び堤軸角度別被災率

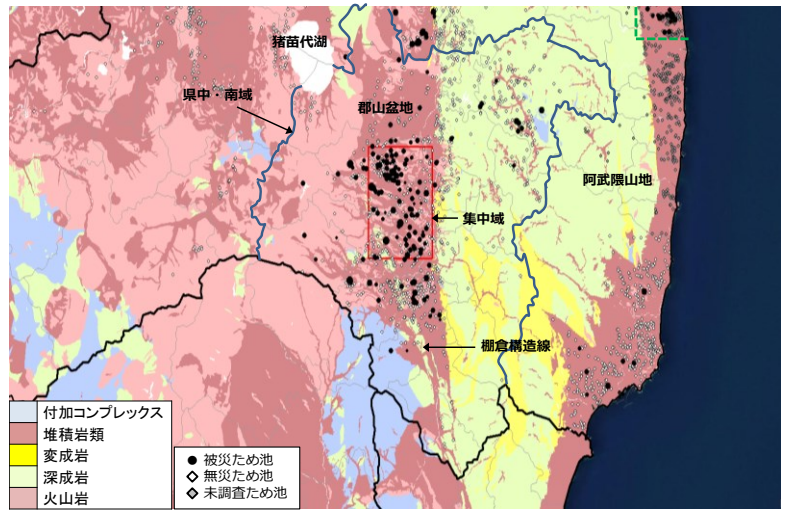


Fig. 4-14 東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池被災集中域の地盤構造

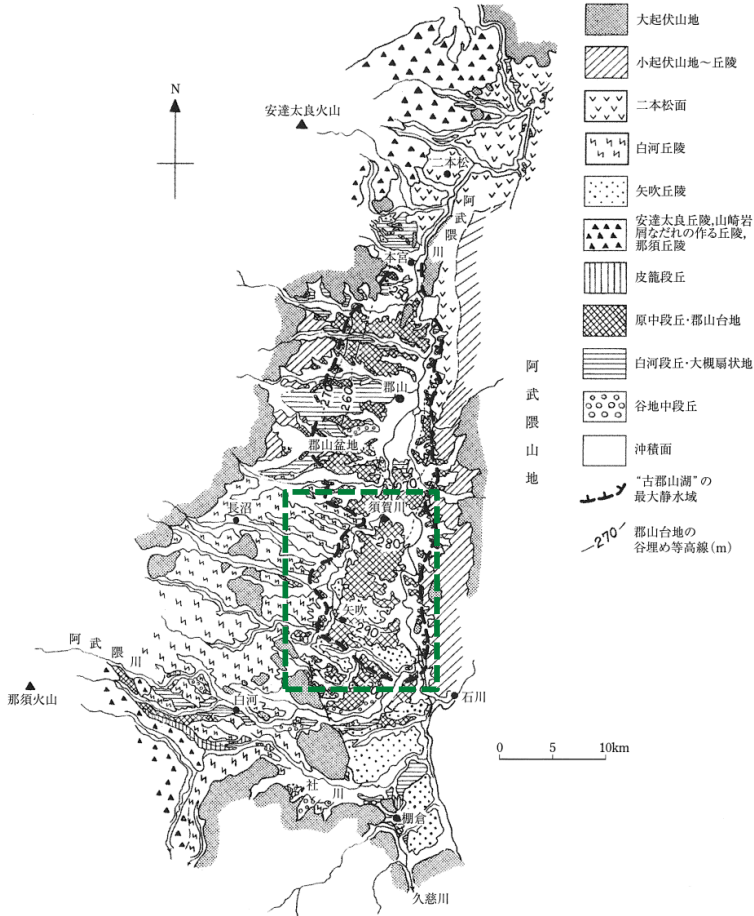


図 3.5.2 郡山盆地の地形学図 [小池, 1965b を他の報告や新知見を加えて改変]

Fig. 4-15 東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池被災集中域の地形学図



## 4.4 まとめ

第4章では、ため池地震動被災要因解明のために、緯度・経度分布、震央距離、推計震度分布、広域的な地形・地質、堤軸震央方向角度等で関係要素について複合的な検討を行った。そのため、先ず、被災ため池数が多かった宮城県と福島県を比較し、特に被災が集中した福島県中域を対象域に詳細な検討を行った。以下、本章のまとめでは、両県の被災分布比較、広域的な地形・地質及び堤軸震央方向に分けて要因分析結果の総括を行う。

### (1) 両県の被災比較

- ・福島県内は震度6強エリア周辺に被災ため池が集中したが、宮城県では震度6強域内でも顕著な被災集中は見られなかった。
- ・両県の被災ため池集中エリアは、宮城県北部、亘理町・山元町から南相馬市（同市南部は原発事故後、立ち入り制限区域で未調査）までの県境を跨ぐ沿岸市町エリア及び福島県中から県南域であった。

### (2) 地形・地質条件と震度及び被災率

- ・ため池の被災は、地盤の揺れ（震度）が小さくなる硬い岩盤（山地・丘陵等）と震度が大きくなる軟弱な堆積層（平地）の両方が混在した場所（山地と平地の境）に多く発生していた。
- ・福島県中域では、山地から盆地に向う地形・地質構造変化に伴い震度の減退・上昇現象が見られた。
- ・福島県中域では盆地内の特定の緯度・経度域に強震度がスポット的に生じると共に、当エリア内の $R_d$ は震度6.0では40%であった。
- ・推計震度は間詰め方式で求められるために、地形の変わり目等で震度誤差が生じる場合がある。

### (3) 堤軸方向と被災率

- ・福島県中域の被災ため池は地形条件（例えば、水田との位置関係等）から、堤体下流面が震央に向いている場合が過半である。
- ・震度5強～6弱までは堤体下流が震央向きの場合に $R_d$ が高い傾向にあり、震度6強ではその傾向が不明瞭となった。

以上から、地震動には広域的な地形・地質において震央・震源からの方向性が見られ、

それが推計震度に反映すること。また、ため池堤軸方向は下流面が震央に正対する場合に、 $R_d$ （被災リスク）が大きくなることが明らかになった。

## 第 5 章

### ため池被災集中域の分析

#### 5.1 概説

第 4 章では、東北地震に伴いため池被災が集中した福島県中内の事例から、 $R_d$ を増加させる推計震度と広域的な地形・地質には深い関わりがあることを考察した。特に東西に硬い地盤の阿武隈山地と棚倉構造線があり、その間に軟弱な地盤の盆地が挟まっていたことが、震度上昇と被災集中の要因となっていた。また、堤軸と震央方向の関係は、堤体下流が震央方向に正対することで被災率が高くなっていた。しかしながら被災現地を細かく見ると、同じ震度や堤軸方向であっても、決壊に至る場合と無傷の池が隣接する等、ため池サイト条件の違いで結果が大きく異なっていた。

第 5 章では、福島県内で最も被災が集中したエリアを震央距離と緯度経度から特定し、被災レベルを導入して被災度別に分布形態を詳細に観察する。さらに集中域内のサイト地形を分類し、被災率と被災度で要因分析を行う。

##### 5.1.1 ため池被災度

第 3～第 4 章ではため池被災を災害査定の有無によって、被災池、無被災池の 2 区分で評価してきた。実際のため池被災は、ため池被覆工のクラックや堤体天端に起こる軽微なクラックから、堤体自体が滑りによって崩壊・決壊する等、被災の形態は大きく異なる。第 5 章では、東北地震の福島県内の被災ため池について、過去の被害研究事例を踏まえて被災ため池毎に被災度評価を行い、被災リスク要因を分析する。

##### 5.1.2 被災集中域内ため池サイトの地形・傾斜

第 4 章では、宮城・福島両県の地域ブロック別に比較的広範な地形・地質から、被

災ため池の集中状況を見てきた。被災集中域内では、同じ強震度エリア内にありながら、ダメージの大きい被災池と全く無傷の池が隣接する場合が見られる。そのため第5章では、福島県内で最もため池被災が集中したエリアを特定し、個々の立地サイトの地形・傾斜を細かく見るために、グーグル・アース画像と立体地形傾斜図を用いて、サイト周辺の地形（傾斜・勾配や谷地形等）を分類し、震度及び堤軸方向等と共に被災要因の検討を行った。

## 5.2 分析手法

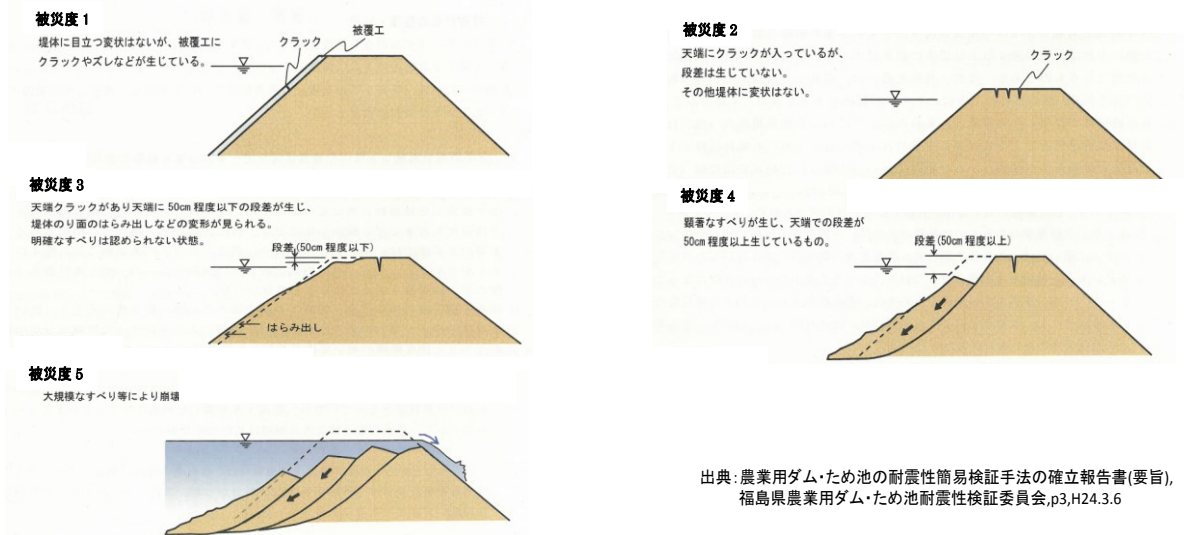
基本的な分析手法は第4章と同じであるが、集中域内部の被災状況を詳細に観察するために、被災ため池毎に被災レベルに応じた「被災度」を設定した。これにより被災と無被災の2段階評価から、無被災の被災度0から堤体崩壊の被災度5までの6段階評価とした。第4章では福島県中域のみを観察したが、福島県全域からため池被災集中域を抜き出し、集中域内外で被災要因別比較検討を行った。さらに集中域内ため池毎に地形・傾斜別にタイプ分類し、被災度別の分布状況を詳細に観察し、隣接ため池間での被災・無災を分けた要因を究明する。

### 5.2.1 ため池被災レベル

第4章までは、「暫定法」（昭和25年法律第169号）に基づき東北地震で災害査定されたため池を「被災ため池」と定義したが、第5章からは各ため池に対し、無被災をレベル0（ゼロ）とし、災害査定ため池で被災レベルが上がる毎にレベル1～5まで被災度を設定した。具体的なため池被災度分類基準は、谷ら（1998）と福島県（2012）の **Table 5-1** に基づき、福島県から提供された「ため池災害査定地区別整理カード」（2013年3月末時点）に拠って被災ため池毎に分類した。

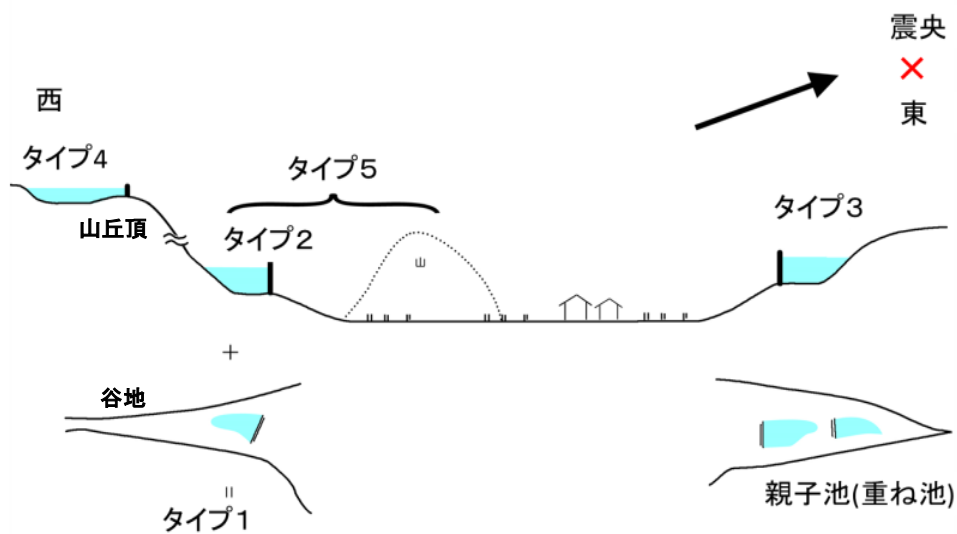
Table 5-1 ため池の被災度分類

被災度	状態
0	無被害
1	堤体に目立つ変状はないが、被覆工にクラックやずれなどが生じている。
2	天端にクラックが入っているが、段差は生じていない。その他堤体に変状はない。
3	堤体クラックがあり、天端に50cm程度以下の段差が生じ、堤体のり面のはらみ出しなどの変形が見られる。明確なすべりは認められない状態。
4	顕著なすべりが生じ、天端での段差が50cm程度以上生じているもの。
5	大規模なすべり等により崩壊・破堤したものの。



### 5.2.2 傾斜・地形タイプ

Fig.5-1 により被災集中域内のため池サイト地形を、5タイプに分類した。まず、タイプ1は、東に面して傾斜し（但し、東面に山丘がない）、さらに谷地内にあるため池を「傾斜・谷地タイプ」とした。タイプ2は、東に面して傾斜し東面に山丘はないため池で、谷地内にないものを「傾斜・非谷地タイプ」とした。タイプ3の「逆傾斜タイプ」は、西に面した傾斜地にあるため池、タイプ4はため池サイトが山丘の頂き等の比較的緩い勾配にある「緩傾斜タイプ」である。タイプ5は、タイプ1又は2で東面に山丘があるため池で「東山タイプ」とした。各ため池の傾斜・地形タイプ照合は、第4章で堤軸方向 $\omega_i$ を求める際に使用したグーグル・アースの画像（Fig.5-2）及び立体傾斜図（Fig.5-3）に拠った。上記では地形・傾斜が判定しにくい場合には、国土地理院5mDEMを使ってため池周辺の傾斜勾配を確認した。因みに、Fig.5-3のため池被災集中域内立体傾斜図は、(株)横山空間情報研究所に依頼し、国土地理院5mDEMを基にため池位置座標と重ね合せたものである。



### 分類タイプ

- ・タイプ1(傾斜・谷地): 東に面して傾斜し谷地内で東面に山がないため池
- ・タイプ2(傾斜・非谷地): 東に面して傾斜し非谷地内で東面に山がないため池
- ・タイプ3(逆傾斜): 西に面した傾斜ため池
- ・タイプ4(緩傾斜): 山等緩い勾配のため池
- ・タイプ5(東山): タイプ丘1と2の内の頂にあって東面に山丘があるため池

Fig. 5-1 ため池サイトに関する傾斜・地形タイプ分類



Fig. 5-2 福島県中・南ため池被災集中域の傾斜・地形タイプ

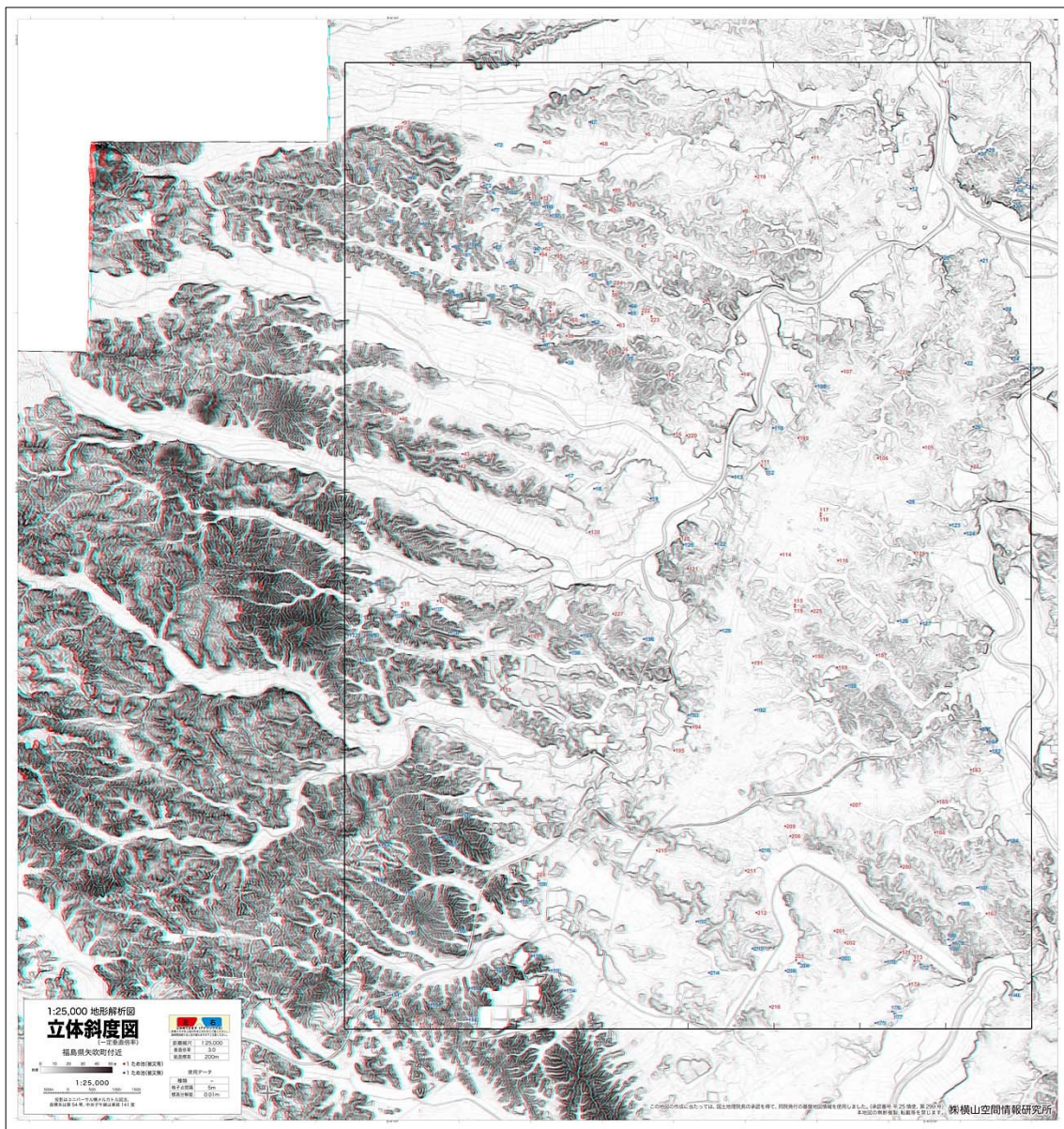


Fig. 5-3 福島県中・南ため池被災集中域立体傾斜図

## 5.3 結果と考察

### 5.3.1 福島県内のため池被災度

Table 5-2 には、福島県内ため池を Table 5-1 の被災度分類に基づき評価した結果を示す。同県内では南会津域を除く 6 域で合計 283 箇の被災ため池が確認された。これは同県内のため池総数 2,400 個の約 1 割強に当たる。また、被災数最多が県中域の 98 箇

で全体の 35%，被災率では相双域が 22.6%で最も高く，県南，県中域がそれに続き，当該 3 ブロックで被災池全体の 87%を占めていた．さらに被災度では，レベル 3 が 152 個で被災池全体の過半を占め，被災数が少ないブロックでも被災度 3 の割合が最も大きい．堤体崩壊の被災度 5 は全県で 9 個で，被災池全体の 3%であった．

Table 5-2 東北地方太平洋沖地震の福島県内地域ブロック被災度別ため池

ブロック別	ため池 総数※	被災レベル							被災数 合計	被災率 (%)	備考
		0(無被災)	1	2	3	4	5	不明			
県北	371	342	7	8	7	6	1	29	7.8		
県中	550	452	12	15	56	9	3	98	17.8	羽鳥ダム含む	
県南	298	243	8	8	29	7	3	55	18.5	西郷ダム含む	
相双	411	318	8	18	56	9	2	93	22.6		
いわき	367	361	0	2	3	2	0	7	1.9		
会津	414	419	0	0	1	0	0	1	0.2		
合計	2,411	2,128	35	51	152	33	9	283	11.7		

※原発事故等による災害査定等未実施地区及び無被災の南会津域のため池は対象から除く，不明池は被災池で被災度判定不能

Fig.5-4 では，福島県全域のため池位置を被災度 0（無被災）の白○と被災池の黒●に分け，1~5 まで段階毎に黒丸のサイズを大きくし（被災度別のサイズ表示は以下同じ），震央距離等高線を付けた推計震度マップ上に表示した．被災池は，震央距離 170-180km の相双域と 240-250km の県中及び県南域の両エリア内に集中し，いずれも震度 6 弱（計測震度 5.5）以上のエリアに集っていた．また，ため池被災度分布は全体的に分散的であり，集中域内でも全てが高被災度池で構成されている訳ではなかった．例えば，3 決壊池（青田新池，中池，藤沼湖）近辺で無災池が多数存在し，被災池数の少ない県北，県中域東部，いわき域でも高被災度池が散見された．因みに，相双域南部沿岸部の震度 6 強エリアは，東京電力福島第一原子力発電所事故関係で災害査定が 2013 年 4 月時点までに未実施であった．また，いわき域の震度 7（計測震度 6.5 以上）エリアでは被災池が少ないことが分かる．



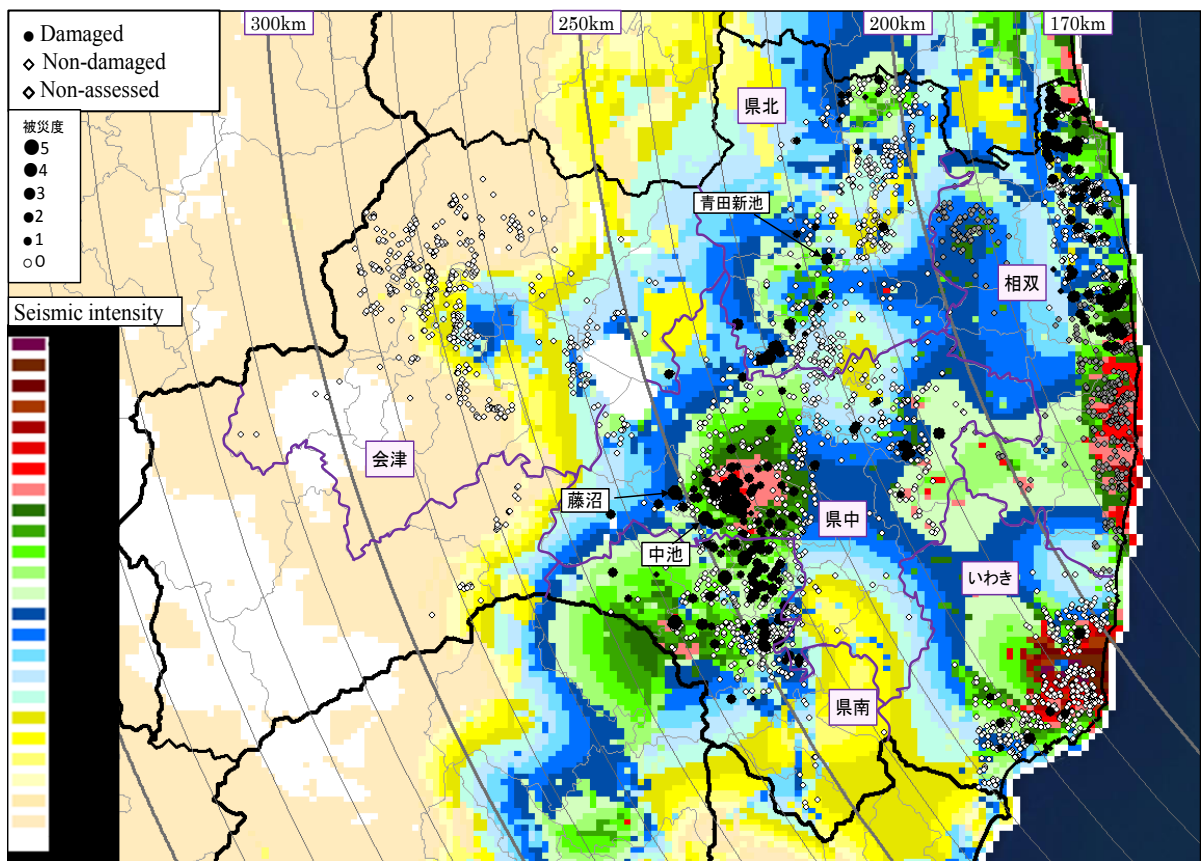


Fig. 5-4 東北地方太平洋沖地震の福島県内推計震度と被災度別ため池の分布

Fig.5-5 (a) は、東北地震時の福島県内ため池について推計震度を横軸にして青色を無災池、ピンクを被災池数として、震度毎の被災率 ( $R_d$ ) をオレンジ折線で表示している。県全体の  $R_d$  は 12% で、震度 4.8 から被災が見られ、 $R_d$  は震度上昇に伴って増加傾向で、震度 5.6 と震度 6.0 で 20% と 30% の 2 つのピークがあり、推計震度 6.1 から  $R_d$  が低下していた。因みに、Fig.3-10 (b) での、2 つのピーク 16% より増加しているのは、相双域内で 1 年後に災害査定を行なった 26 個の被災池が追加されたためである。

右図 (b) は、地域別に県北は水色、県中は緑色、県南はオレンジ色、相双は紫色、いわきはピンク色、会津は黄土色に各々の池数を推計震度別に棒グラフにし、被災率の青色折線と一緒に示した。震度 6.1 以上ため池の 85% が、Fig.5-1 で最も強震度が分布するいわき域内のもので、県中、県南、相双域がこれに続いていた。但し、いわき域内の被災池自体が少ないため、青  $R_d$  ラインは震度 6.1 以降で無災池数のみの増加によって急激に低下していた。

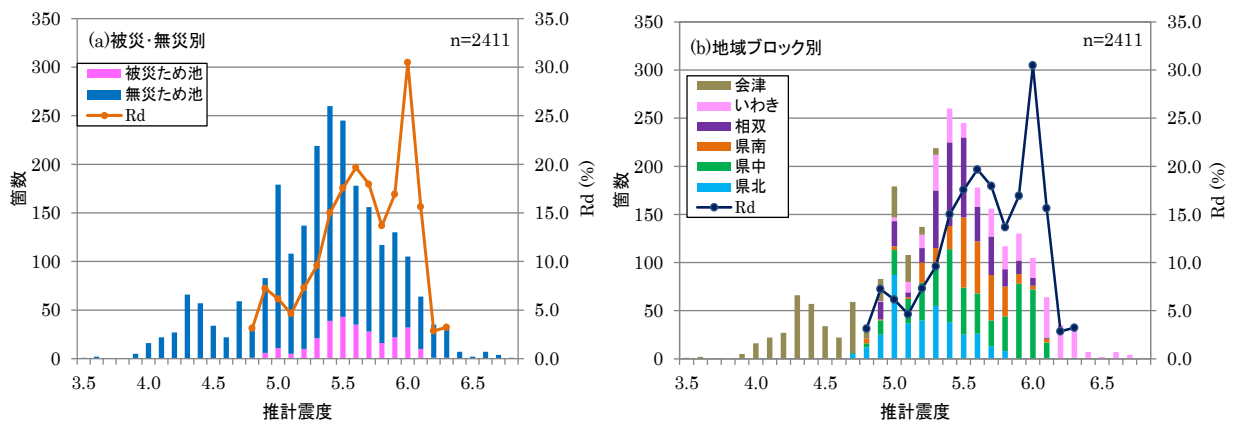


Fig. 5-5 東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池震度と被災率

Fig.5-6 (a) は、福島県内全域の被災ため池だけを推計震度毎に被災度別を示し、Fig.5-5 と同じ震度別  $R_d$  を折線で表示した。ため池被災数は震度と共に増加し、 $R_d$  も増加傾向にあるが、被災度は震度によってレベルが上がる傾向は見られず、いずれの震度でもレベル3が過半を占めていた。

図 (b) では被災池を震度毎・地域別で見たが、震度 6.1 以上  $R_d$  の顕著な落ち込み理由は、震度 6.0 で県中域の被災池は全数 72 箇中 31 箇、いわき域は 21 箇中 1 箇、震度 6.1 では同じく県中の 17 箇中 8 箇、いわきは 42 箇中 0 箇で、いわき域では強震度池が増える割に被災池が殆どないことが分かる。また震度 6.0 の被災池は殆どが県中域であるが、被災度ではレベル3が過半を占めており、震度が大きくとも被災レベルが上がるとは限らないことが分かる。

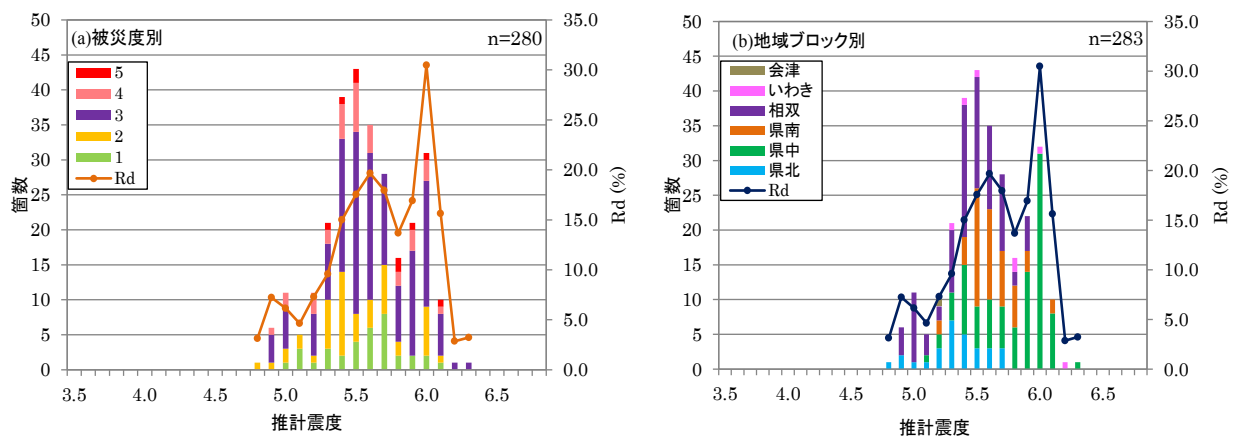


Fig. 5-6 東北地方太平洋沖地震の福島県内被災ため池震度と被災度・被災率

### 5.3.2 被災ため池集中域の設定

**Fig.5-7** は福島県内ため池について、縦軸に震央距離を横軸に経度（東経）を取り、各池の位置毎に被災度別のサイズと地域別に色を変えてプロットした。震央から近い順に、相双域で距離 170-180km，東経 140.88-141.02 度（経度差：0.14 度），県中・南域では距離 240-250km，東経 140.24-140.40 度（経度差：0.16 度）の範囲に各々被災集中が見られた。他域では特定の震央距離範囲に同様な被災集中は確認できない。

**Fig.5-8** は縦軸に緯度（北緯）を横軸に震央距離を取って前図と同様にため池位置をプロットした。相双域では前図と同距離間に北緯 37.50-37.90 度（緯度差：0.40 度），県中・南域で同距離間に北緯 37.15-37.33 度（緯度差：0.18 度）に被災池集中域があり，県中・南域の方が緯度差は小さく南北間 22km で被災密集度が高い。

両域の比較から県内で被災池が最も集中しエリアは，県中・南域の震央距離 10km 範囲で東西距離は 14km であった。因みに，県中・南の被災集中域の面積約 300km<sup>2</sup> の範囲内には，郡山市，須賀川市，白河市の 3 市を始めとした，9 つの市町村が関連していた。

**Fig.5-7** と **Fig.5-8** の両図から，県北域は震央距離 200～235km で東経 140.30-140.56 度，北緯 37.50-37.90 度，いわき域は 205～225km で東経 140.78-140.94 度，北緯 37.10-36.90 度の範囲に各々分布し，両域の震央距離範囲は丁度，相双と県中・南の両被災集中域の中間に位置していたが，特段の被災集中域は見られない。

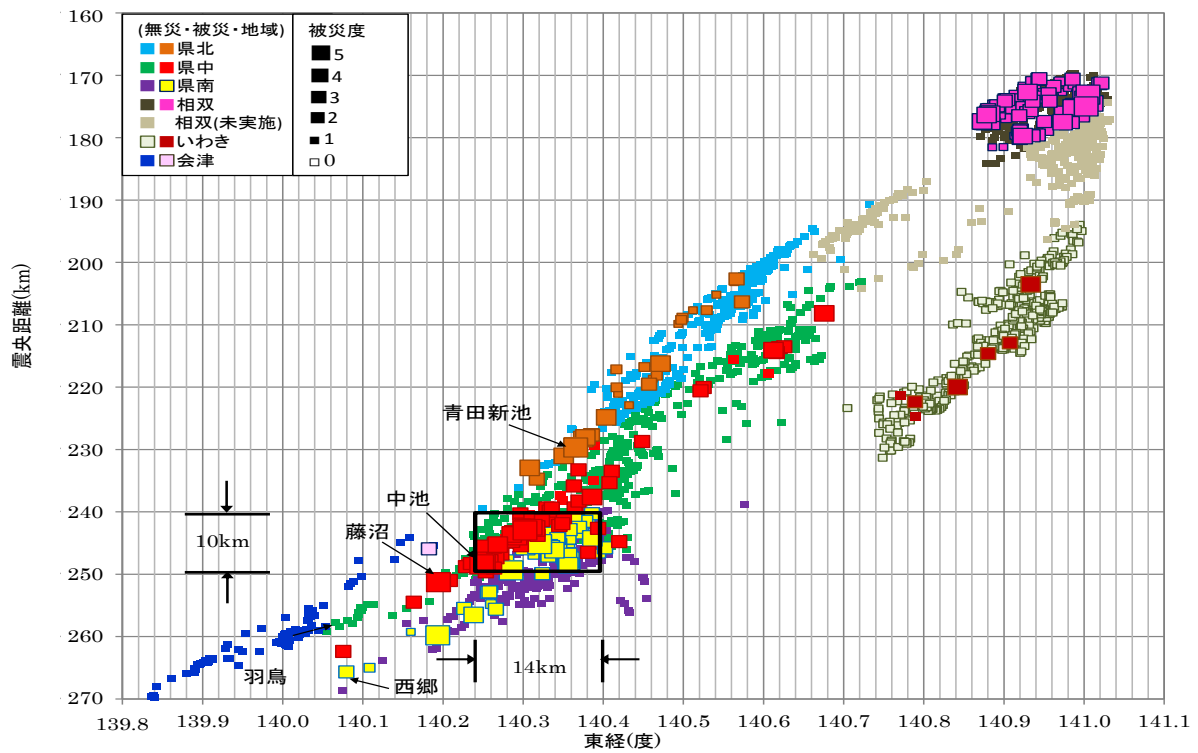


Fig. 5-7 東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池の被災度別震央距離・経度分布

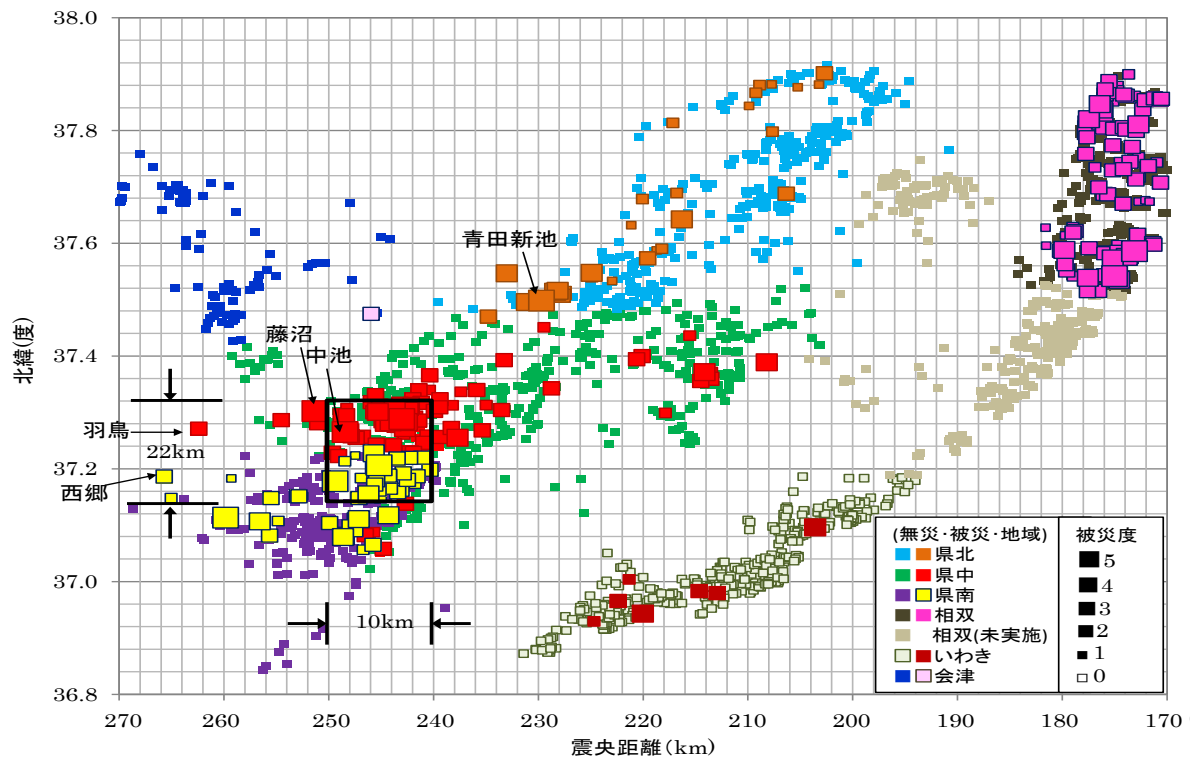


Fig. 5-8 東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池の被災度別震央距離・緯度分布

**Fig.5-9 (c)** は、**Fig.5-7** と **Fig.5-8** で県中・南域内に設定した被災集中域の範囲を衛星画像に赤枠で囲い、さらに集中域内外の地形・勾配を見るために域内で最も被災が集中した箇所を通過する A-A 線を、国土地理院 10DEM によって同図 (a) に横断面で示した。加えて相双最南部に B-B 線を設け、同図 (b) で比較した。赤枠内は郡山盆地の南部から矢吹丘陵に跨がる範囲にある。(a) 図の集中域東端は阿武隈山地が盆地まで下がりきった地点から始まり、西端が奥羽山脈に向けた急傾斜面手前までの平均勾配 6.4% で東に面して傾斜している。被災池は阿武隈川の西側の東傾斜面に多く見られ、阿武隈山地から川に向かって盆地に下る西向き斜面では殆ど無災池であった。相双域の地形傾斜を比較のために (b) 図に示したが、平均勾配が 7.1% であり、両域とも震央方向に面して同程度傾斜をしていた。

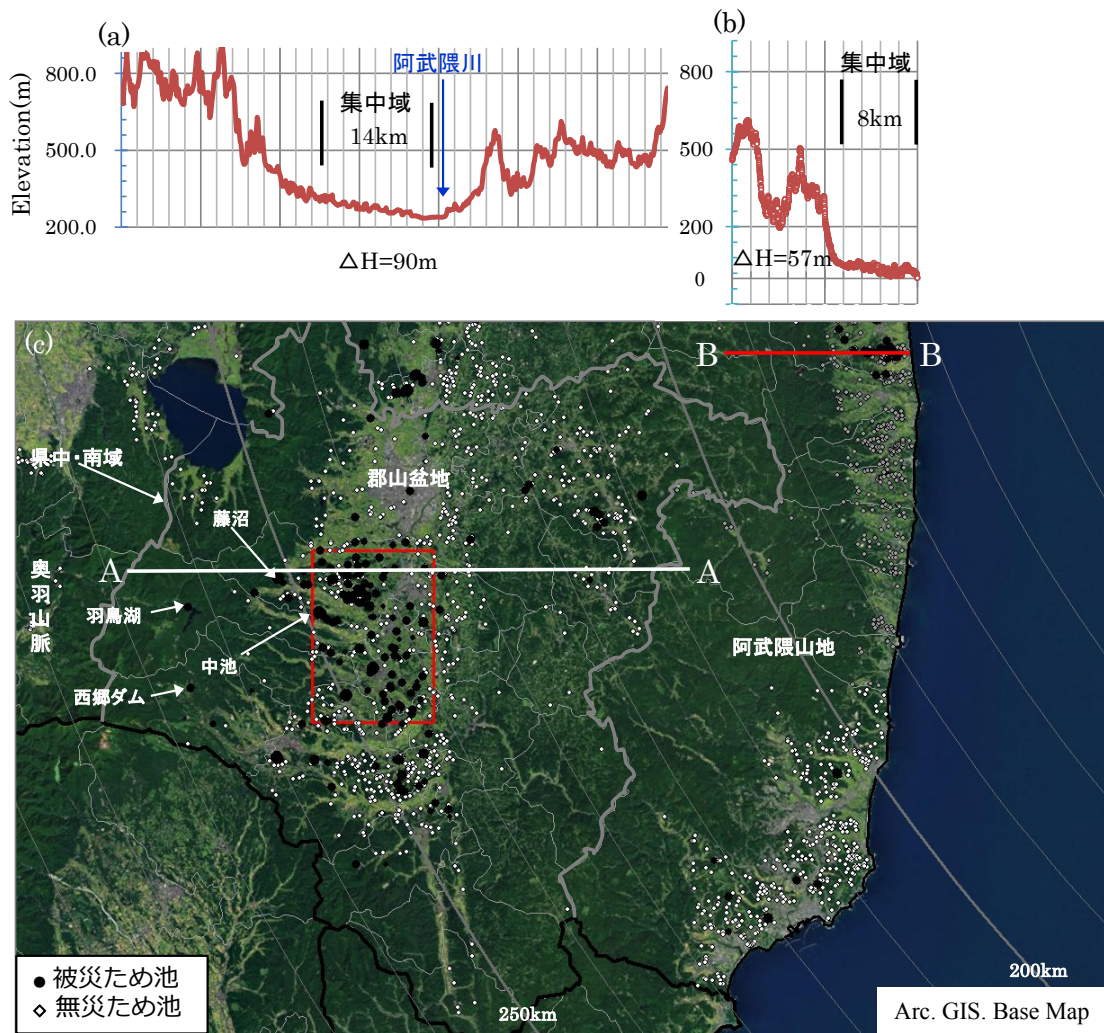


Fig. 5-9 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南ため池被災集中域

### 5.3.3 被災集中域内外の比較分析

福島県中・南域内 848 箇のため池の内，集中域 300km<sup>2</sup>内に被災及び無災池が 228 箇確認できた．**Fig.5-10 (a)** では，県中・南域の全ため池を推計震度毎に被災池をピンクで，無災池を青色で， $R_d$  をオレンジ折線で示した．被災池は震度 5.1 からで，震度 5.5 超の  $R_d$  は 20% 前後で，震度 6.0 から  $R_d$  は 40% を超え，震度 6.1 で  $R_d$  は 50% であった．

**Fig.5-10 (b)** は，集中域内ため池をピンクで，域外を青色にして，震度毎に集中域分の占有率を赤色の折線で示した．集中域内は震度 5.2 から始まり，震度 5.5 超から 3～4 割に，震度 6.0 超では 8 割前後となる等，強震度のため池が集中域内に多く集まっていることが分かる．

**Fig.5-10 (c)** は，県中・南域内 150 箇の被災池を震度毎，被災度別に色分け表示し，オレンジ色の  $R_d$  折線と比較した．集中域内には県中・南域全体の 27% のため池があるが，被災池では全体の 63% が集中域内にある．全般に震度増大に伴って被災池数と  $R_d$  は上昇傾向にあるが，震度 5.7-5.9 で被災数は減少した．被災度はレベル 3 が過半を占め，震度によって被災レベルが上がる傾向は見られなかった．

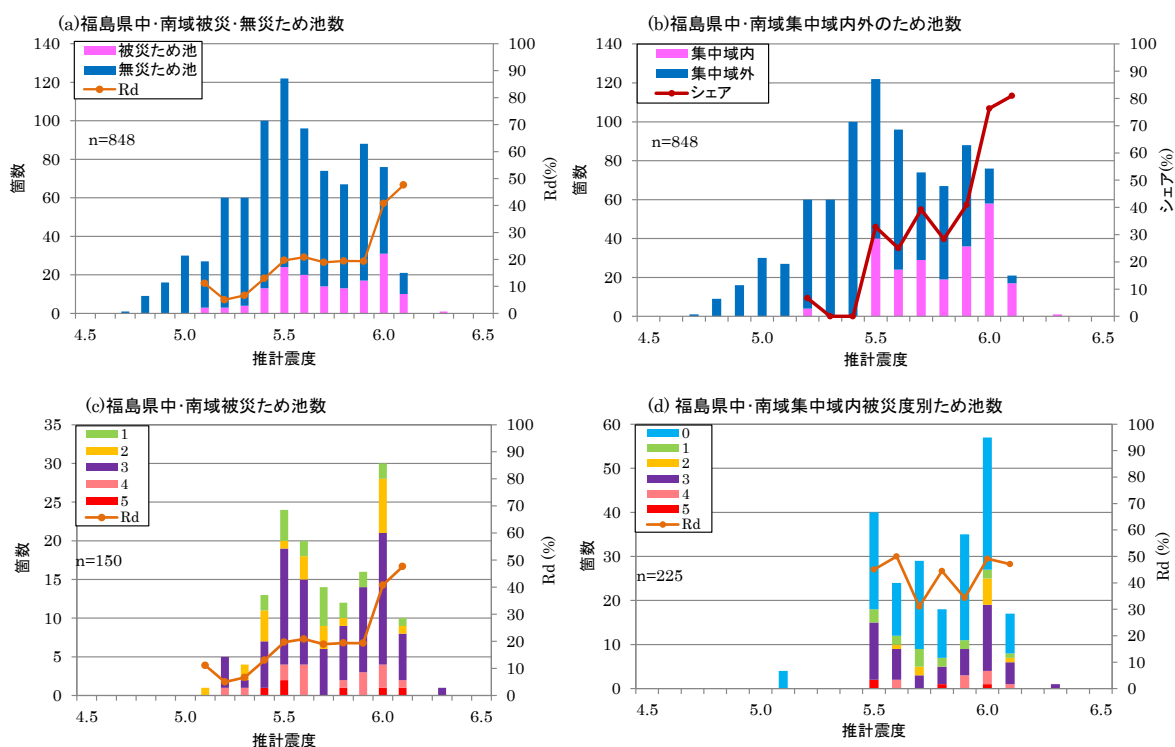


Fig. 5-10 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南ため池被災集中域の震度・被災度別域内外比較

**Fig.5-10 (d)** は、集中域内ため池を無災分も含めて推計震度毎に被災度別で色分けし、 $R_d$ をオレンジ折線で示した。集中域内は震度 5.5-6.1 ため池が 98%を占め、うち最多は震度 6.0 であった。集中域内の  $R_d$  は、30 から 50%の間で上下しており、この範囲内の震度によって  $R_d$  の上昇傾向は見られず、被災度はどの震度でもレベル 3 が過半を占め、特定の被災レベルに偏る傾向は見られなかった。

**Fig.5-11** は県中・南域ため池について、経度を横軸に、堤軸震央方向角度 ( $\omega_i$ ) を縦軸として、上図 (a) は集中域外だけを、下図 (b) は集中域内だけを被災度別に色分けして示した。なお、図 (a) では藤沼湖、羽鳥ダム、西郷ダムを、図 (b) は中池を参考に明示した(以下も同様)。先ず図 (a) では集中域の少し東側(東経 140.40-140.45°)に  $\omega_i=0-180^\circ$  のため池が卓越している場所が一部あるが、全体としては  $\omega_i=180^\circ-360^\circ$  のため池が多数を占めている。 $\omega_i$  を 4 等分して被災池の割合と  $R_d$  を比較すると、 $\omega_i=0-90^\circ$  が 19%と  $R_d=8\%$ 、 $\omega_i=90-180^\circ$  が 11%と  $R_d=5\%$ 、 $\omega_i=180-270^\circ$  が 30%と  $R_d=11\%$ 、 $\omega_i=270-360^\circ$  が 40%と 11%となり、集中域外の  $R_d$  は全体的に南東向き池ほど大きくなっている。同様に図 (b) の集中域内では  $\omega_i=0-90^\circ$  が 10%と  $R_d=48\%$ 、 $\omega_i=90-180^\circ$  が 14%と  $R_d=33\%$ 、 $\omega_i=180-270^\circ$  が 40%と  $R_d=45\%$ 、 $\omega_i=270-360^\circ$  が 35%と  $R_d=42\%$ と大部分の  $\omega_i$  が  $180^\circ$  以上であるが、 $R_d$  は  $180^\circ$  以下の池数自体が少なく、 $R_d$  には大きな差が見られない。

**Fig.5-12** には、県中・南域ため池について、ため池 DB から地形区分別の被災池と無災池数及びその被災率をグラフにしたものである。当域内のため池は、地形的に台地のため池が 3 分の 1 以上あるが、 $R_d$  では丘陵地が 29%で最も高い。因みに、通常、地形区分だけで揺れ方を判断する場合には、低地の地盤が揺れ易く、被災率が最大と考えられるが、実際の  $R_d$  では丘陵地と台地の率が高くなっている。山麓地と低地のため池数は各々 2 割合程度で、山地に囲まれている割に山麓地のため池は少ない。なお、本地域の地形に関する「ため池 DB」捕捉率は 76%であった。

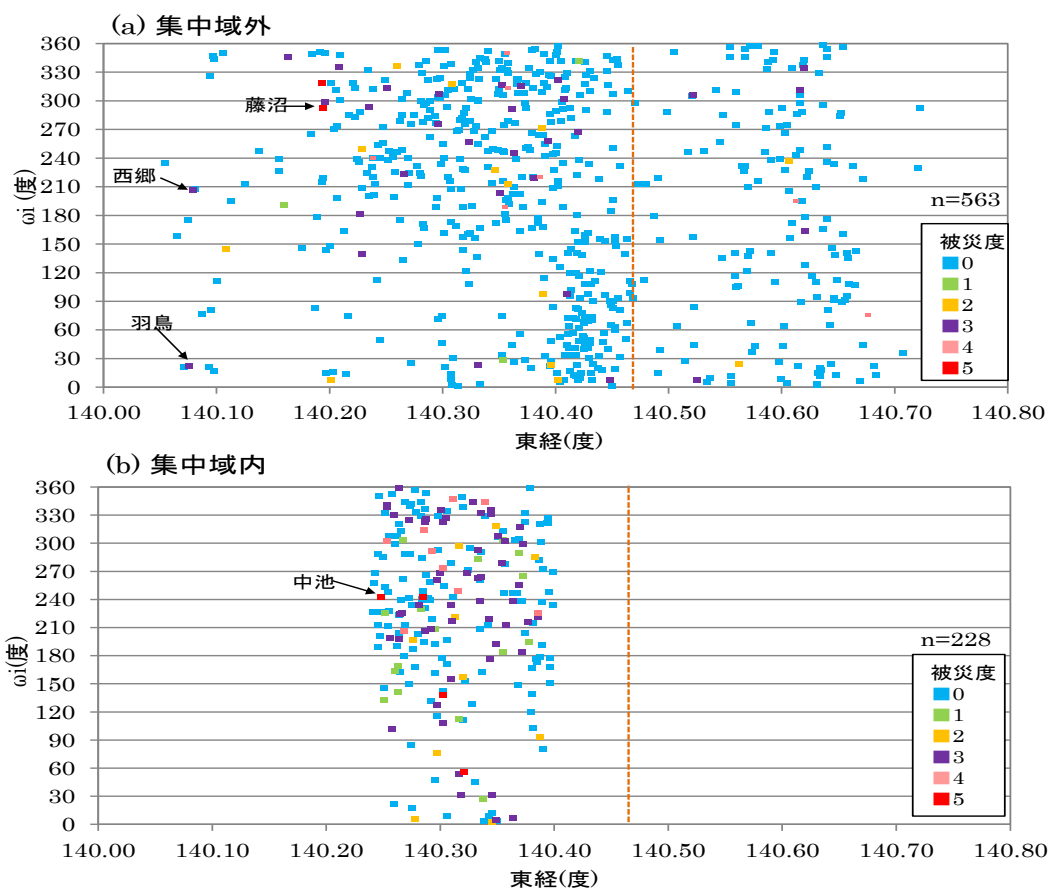


Fig. 5-11 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池経度と堤軸方向の被災集中域内外比較

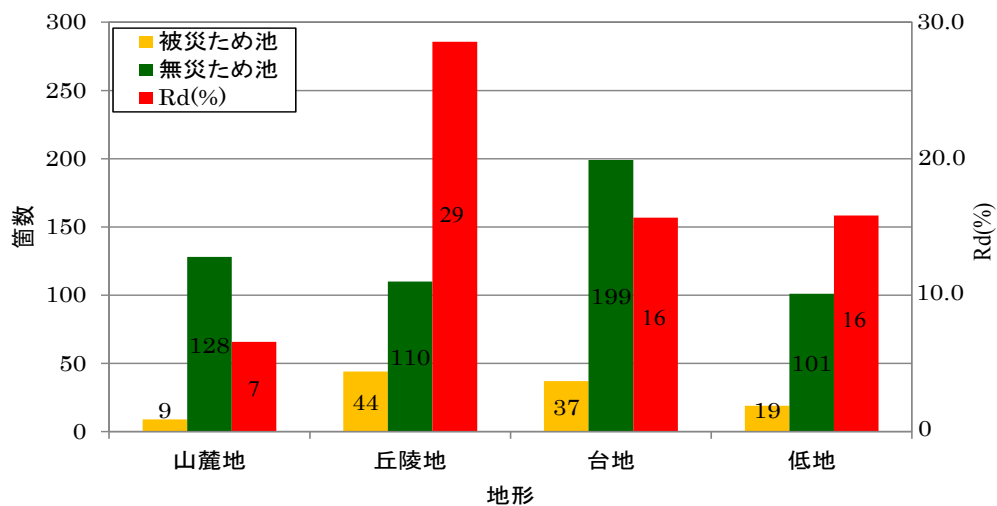


Fig. 5-12 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の地形区分別被災率



Fig.5-13 は、Fig.5-12 を被災集中域内外に分けて  $R_d$  を比較したものである。集中域内外とも、丘陵地の  $R_d$  が最も大きい。左図(a) 集中域では台地及び低地とも  $R_d$  に差が余りなく、地形区分による差はあまり確認できない。因みに、集中域内は地形が錯綜していて、丘陵地や台地に隣接して低地が存在しており、ため池が「山地と平地の境」で被災率高いとも関連して、高い  $R_d$  も説明可能である。また、右図 (b) では、硬地盤の山麓地と低地の  $R_d$  が同程度で、台地よりも高くなっており、地盤が錯綜する「山地と平地の境」の  $R_d$  が高くなるのを支持する形になっている。

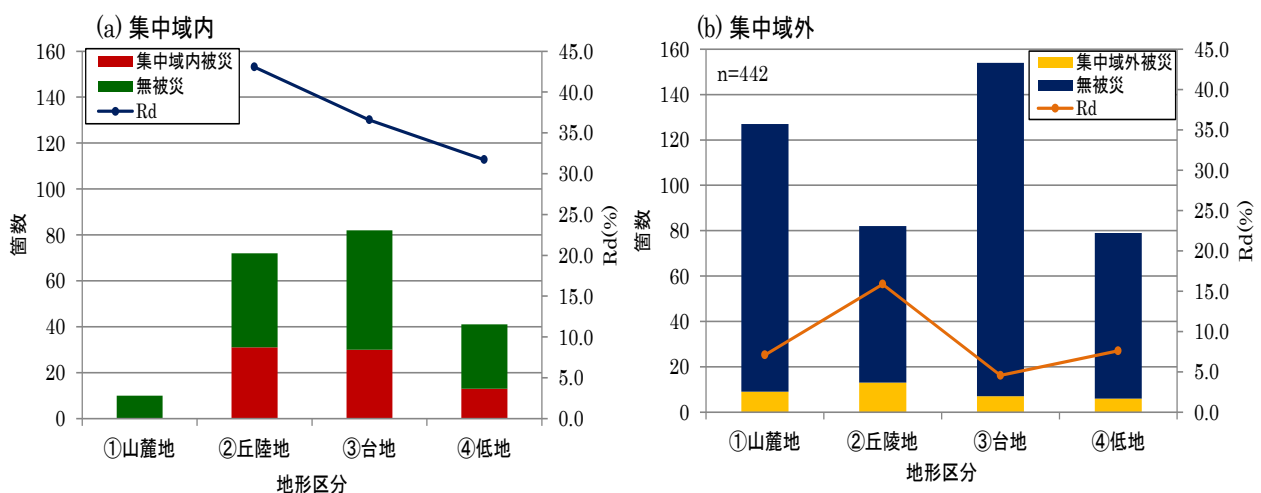


Fig. 5-13 東北地方太平洋沖地震福島県中・南ため池被災集中域内外地形区分別被災率比較

Fig.5-14 では、被災集中域を内と外に分けて、横軸に経度を、縦軸に震度を取って被災度別に色分けプロットして、東西方向でため池震度推移が分かるようにした。上図 (a) の集中域外では、オレンジ点線の阿武隈山地のピークから下がり始める東経 140.50 度より東側のため池は、西へ行くほど震度が低下する傾向にあり、この経度を底にして今後は西に向かって震度は上昇傾向にある。さらに西側に向かっては、集中域が始まる東経 140.40 から 140.20 度までは上昇傾向にあり、集中域西端の 140.20 度を境に再び減少している。下図 (b) の集中域内では、震度 5.5 を最低レベルにして東経 140.30 度付近で震度 6.3 をピークに、強震度が塊状になっていた。

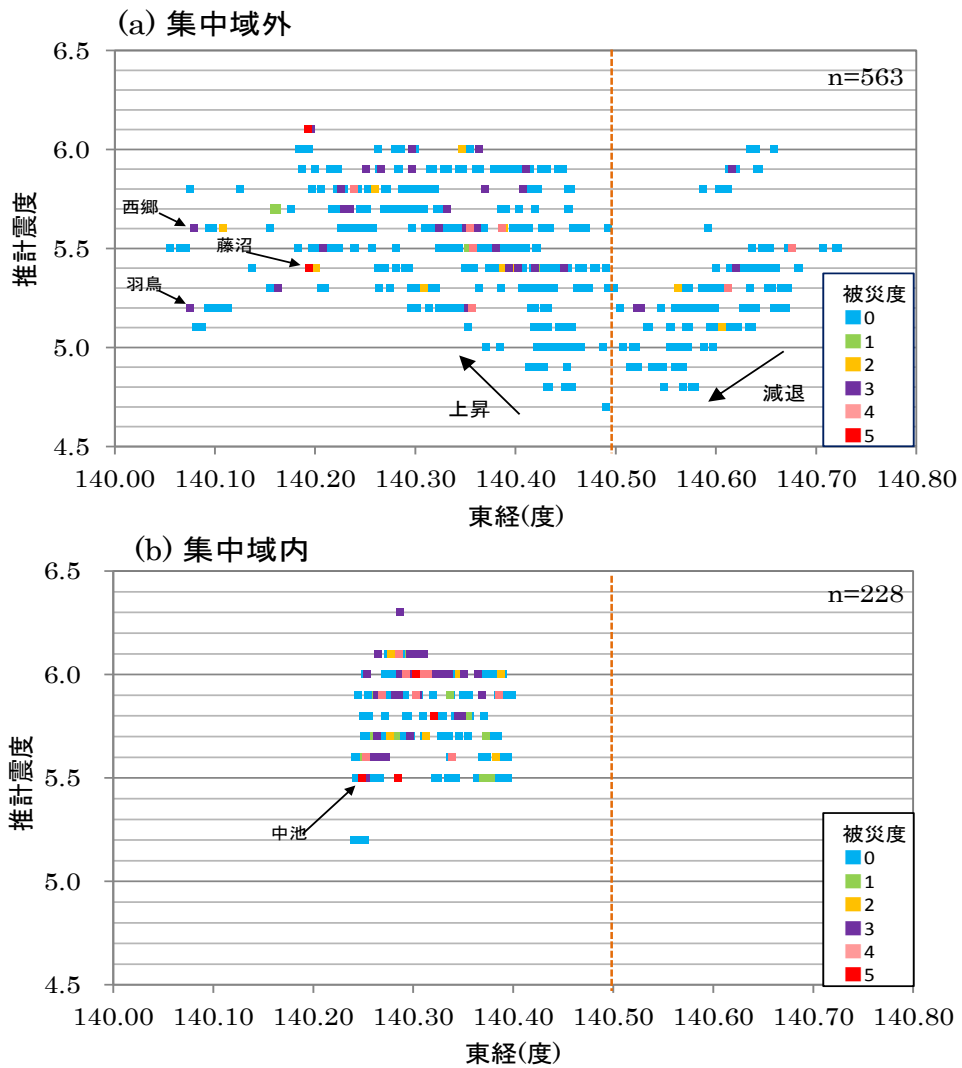


Fig. 5-14 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の経度と震度の被災集中域内外比較

Fig.5-15 は、横軸に推計震度を、縦軸に  $\omega_i$  を取って被災度別にため池を色分けし、集中域外の上図 (a) と集中域内の下図 (b) で比較した。図 (a) で  $\omega_i=30-180^\circ$  で被災池が 6 箇 ( $R_d=3.1\%$ ) で、それ以外の  $\omega_i$  区間の 51 箇 ( $R_d=12.0\%$ ) と比較して被災池数が極めて少なく、特に震度 5.3 まで(オレンジ破線の範囲)は全く被災池がなかった。図 (b) では、 $\omega_i=0-180^\circ$  のため池数が 60 箇 (全体の 26%) と少なく、震度 6.0 に 19 箇が集中する等、震度階毎に  $\omega_i$  区間別の  $R_d$  を算定するには母数が過少で偏り過ぎていた。一方、 $\omega_i=180-360^\circ$  では池数が相対的に多く、震度階毎の数も適度に分散している。被災集中域内ため池を  $\omega_i$  区分して震度上昇と  $R_d$  を比較するには、箇数の確保が難しいことを覚悟しなければならない。

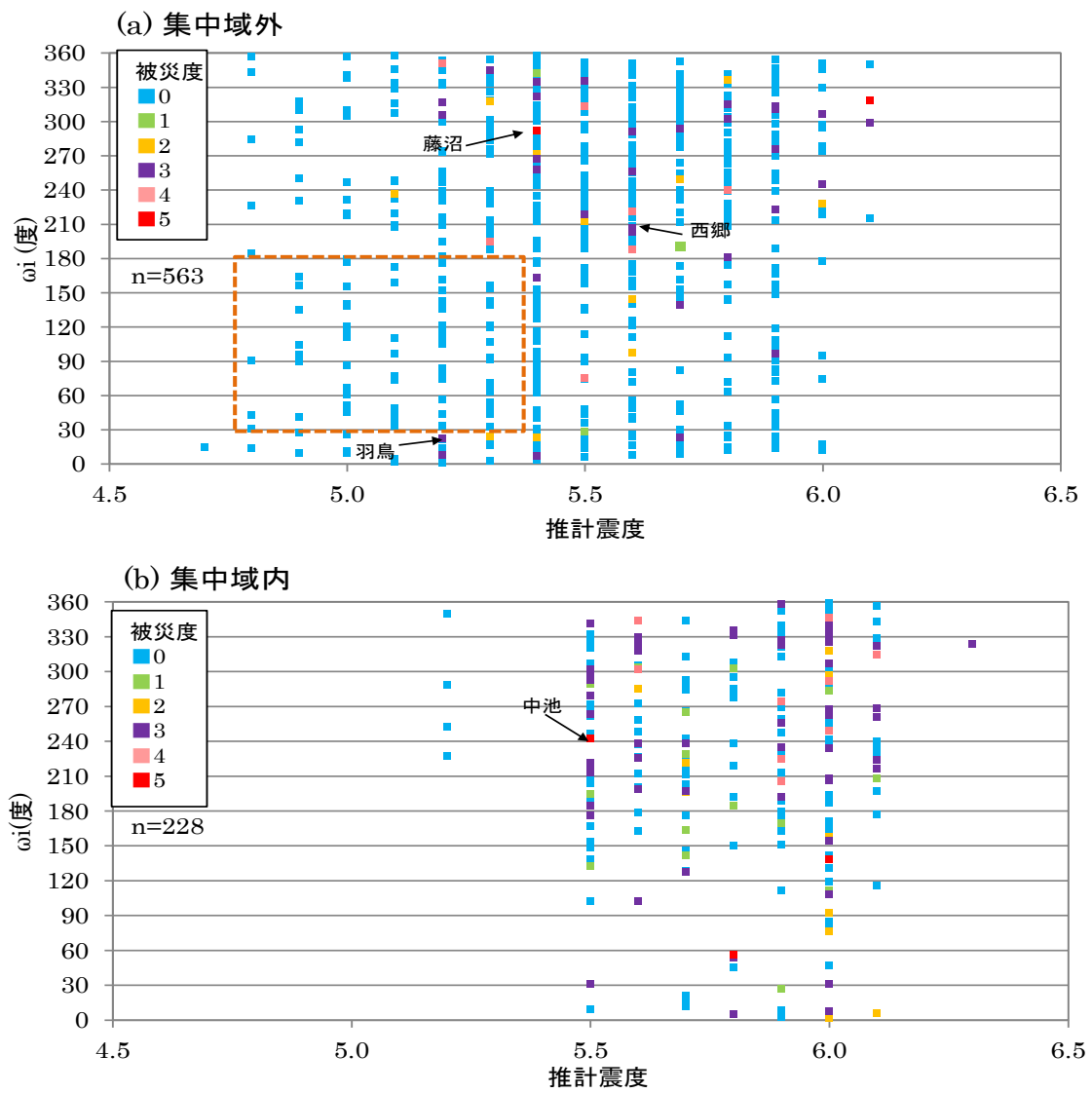


Fig. 5-15 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の震度と堤軸方向の被災集中域内外比較

Fig.5-16 は、Fig.5-15 (a) の被災集中域外ため池について、震度を 4.7-5.0, 5.1-5.4, 5.5-5.8, 5.9-6.3 の 4 等分、 $\omega_i$  を  $0^\circ$  から  $90^\circ$  間隔で 4 等分の 16 区分とし、その区分毎に被災度別に色分けした池数の棒グラフと  $R_d$  を示した。また、 $R_d$  は  $\omega_i$  の区間毎に  $\omega_i=0-90^\circ$  を黒、 $\omega_i=90-180^\circ$  を緑、 $\omega_i=180-270^\circ$  を青、 $\omega_i=270-360^\circ$  を赤の折線で示した。なお、図中右上の 4 本の点線は、集中域内の同じ  $\omega_i$  と震度区分毎の  $R_d$  を同色の点線で示して比較した。ここでは  $\omega_i=180-360^\circ$  のため池は概ね全ての震度区分で被災数が多く、震度増大に伴う  $R_d$  の増加傾向も明かであった。右上集中域 4 点線は、集中域外より常に  $R_d$  が高いレベルにあり、震度による増加傾向も  $\omega_i=90-180^\circ$  で逆転する以外は、概ね増加傾向にあった。被災度では、レベル 3 が何れの区分でも多数を占めるが、被災度 4 以上の大部分は  $\omega_i$  が  $180-360^\circ$  範囲に多く集っていた。

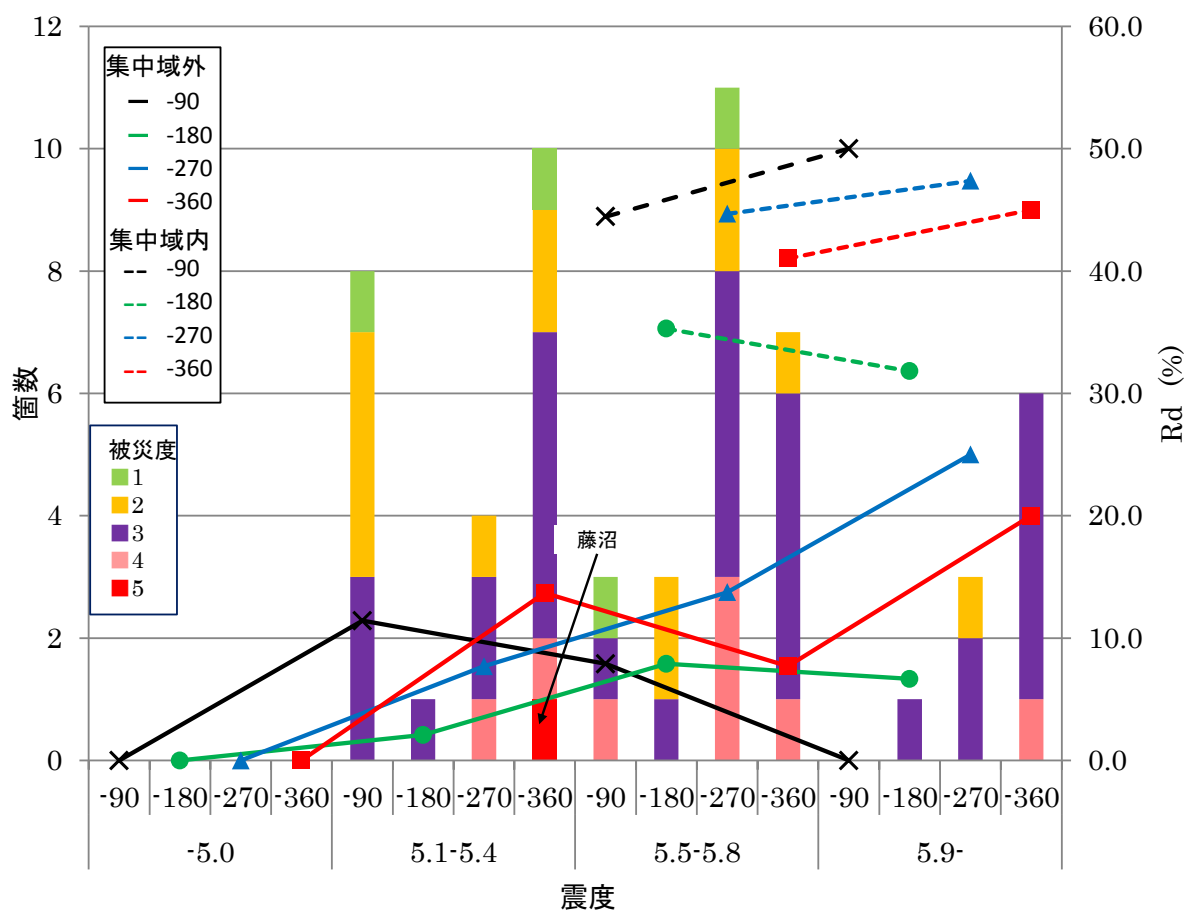


Fig. 5-16 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の被災集中域外の震度別・堤軸方向別被災率比較

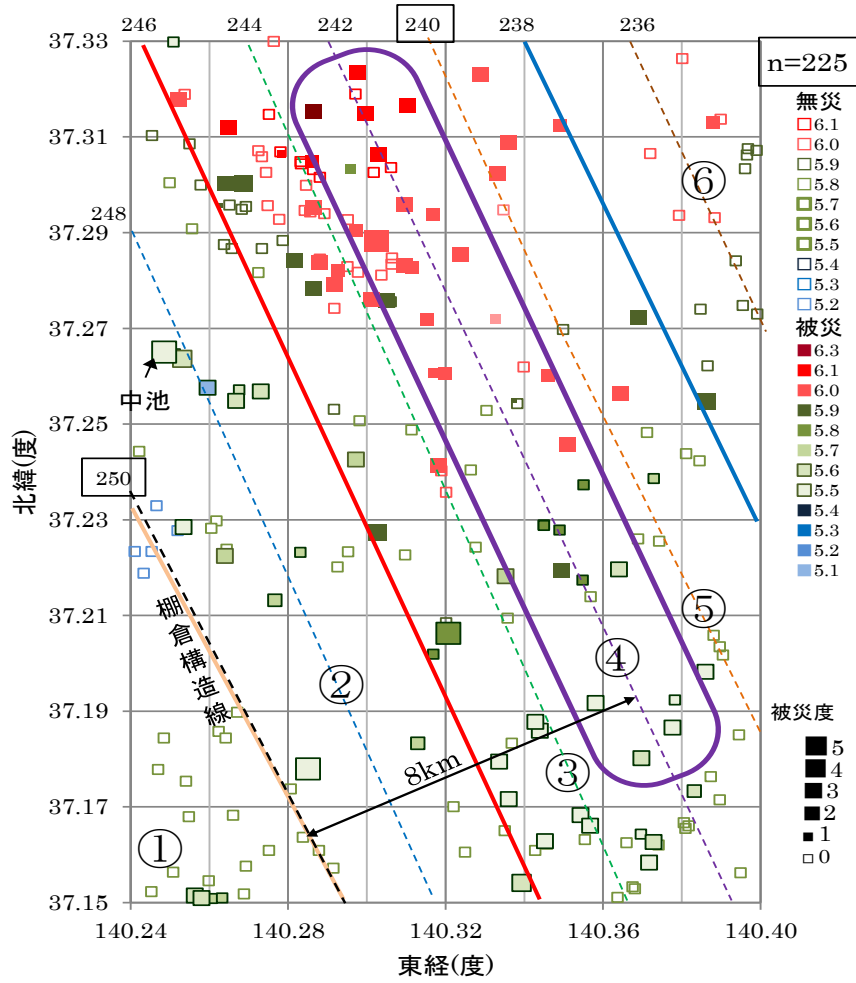
### 5.3.4 被災集中域内の被災要因分析

**Fig.5-17 (a)** では、福島県中・南域で被災池が集中した東西 14km、南北 22km の約 300km<sup>2</sup> エリア内だけをクローズアップして、推計震度と被災度別ため池の分布図を示した。斜め線は震央距離 2km ピッチのコンタ線で、枠外で数字の 240 と 250 を囲った斜線の範囲が震央距離 240-250km 区間である。四角の赤色は震度 6 強で、サイズが大きいくほど被災度が大きくなっている。当域約 300km<sup>2</sup> 内には 225 箇のため池が含まれ、その内 93 個が被災池で、集中域内全体の  $R_d$  は 41% である。被災池分布は一様ではなく、高被災度池は震度 6.0 以上のエリアだけでなく、震度 5.5 前後でも多数確認できた。四角で囲った 250km コンタ線と重なる所に棚倉構造線があり、震央方向と直角となっていた。

集中域内の被災率を比較するために震央距離コンタ間隔 4km で、遠い震度距離から順にブロック分けした。但し、池数が距離 240~246km 区間で過密なため、被災池が著しい部分を目視で括り出し、最南西をブロック①から北東（震央）方向へ順に⑥ブロックに区分した。因みに、高い被災率として括り出したブロック④は、震央距離 242km を挟んで両側に 1.6km の範囲内にあり、棚倉構造線から約 8km の場所で平行するブロックとなった。

**Fig.5-17 (b)** はブロック毎に被災度別池数の棒グラフと、被災率  $R_d$  の折線グラフで示した。 $R_d$  が最も高いブロック④は、集中域全体平均の  $R_d=41%$  に対して 70% の鋭いピークとなった。両脇の②、③及び⑤ブロックの  $R_d$  は、平均と同レベルの 40% 前後で、両端①及び⑥の  $R_d$  は 10% 台と大きな開きがあった。 $R_d$  と被災度の関係は、ブロック③と④で被災池が 30 箇前後あるが、被災度 3 の池が大半を占め、 $R_d$  が低いブロックが必ずしも被災度が低いと限らない。但し、被災度 4 以上のため池は、高  $R_d$  の②から④ブロックに集まっていた。また東経 140.29 度・北緯 37.29 度周辺（中池の直ぐ東北側区域）では、震度 6.0 超エリアで多数の高被災度池に接近して無災池が多数入り交じっているのが観察される。

(a)ため池の推計震度と被災度



(b)ブロック別被災率・被災度

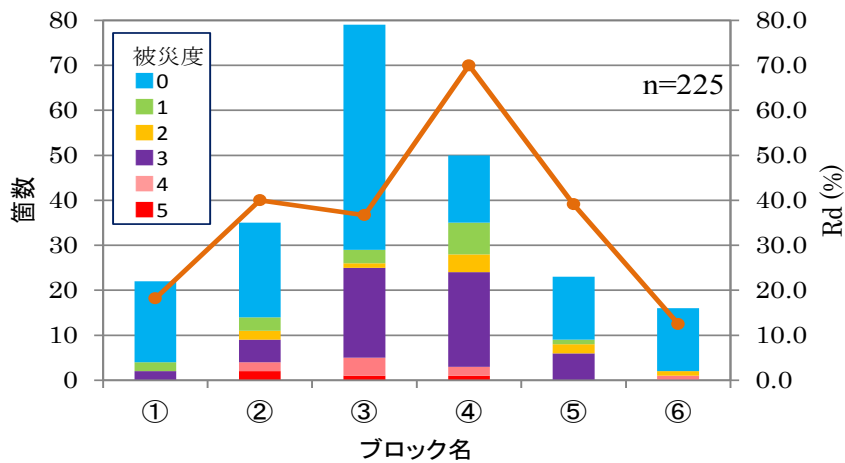
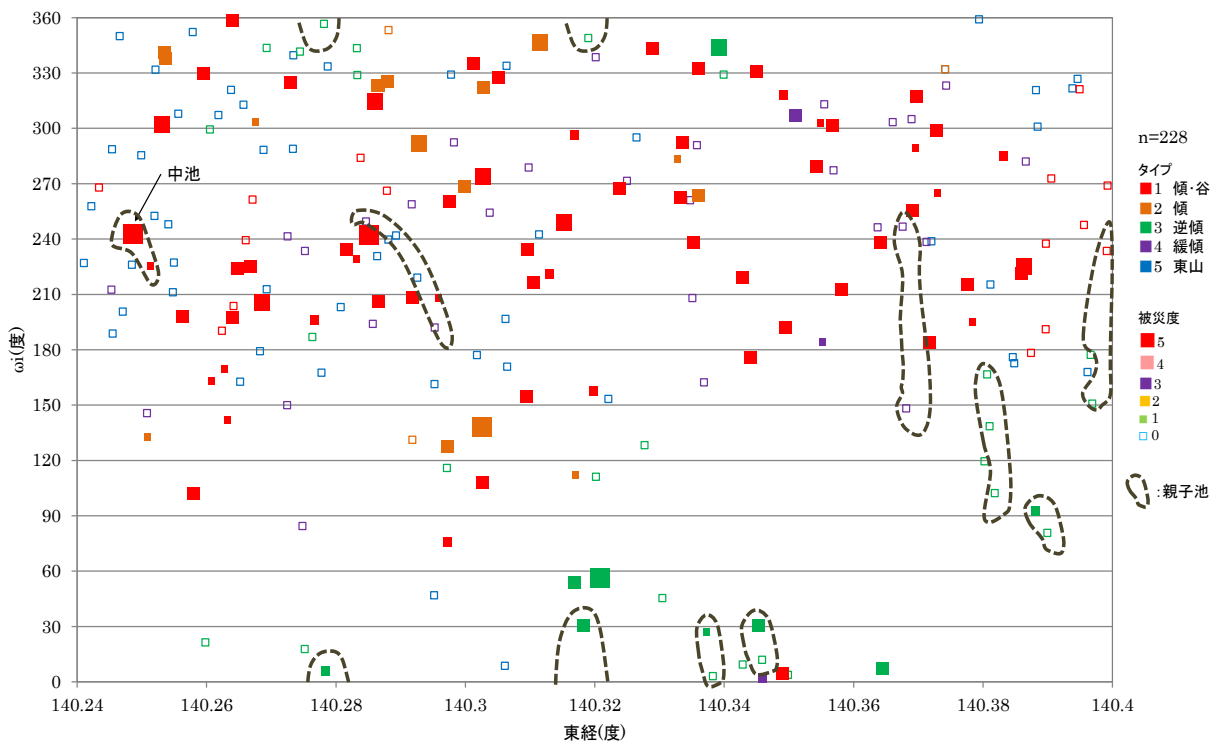


Fig. 5-17 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域被災集中域内の震度・被災度別ため池分布

福島県中・南域の被災集中域内では、同一の強震度区域内で近接するため池が、高被災度池と無災池に分かれる事例が多数見られた。そのため集中域内の全ため池を **Fig.5-1** に基づき 5 タイプに分類して被災度との関係を分析した。タイプ分けはため池サイトの傾斜・地形を基本とし、タイプ 1：傾斜・谷地型，タイプ 2：傾斜・非谷地型，タイプ 3：逆傾斜型，タイプ 4：緩傾斜型，タイプ 5：東山型としていた。

**Fig.5-18** は、**Fig.5-11 (b)** 内のため池を東経と  $\omega_i$  は同じ縦横軸として、サイト傾斜・地形タイプ毎に 1 を赤色，2 をオレンジ色，3 を緑色，4 を紫色，5 を青色で色別し、被災度別にサイズを大きくしてプロットしたものである。**Fig.5-11 (b)** で  $\omega_i=180-360^\circ$  で被災した池の大多数が傾斜・谷地型で、特に堤軸下流が震央に直角方向となる  $\omega_i=210-330^\circ$  に比較的多くの被災池が集まっていた。また緑色の逆傾斜型は、西に面した傾斜で  $\omega_i=0-180^\circ$  になるが、被災池の多くが点線で囲った親子池（重ね池）であった。さらに緩傾斜型や東山型では  $\omega_i$  に関係なく被災事例が殆ど見られない。



**Fig. 5-18** 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南被災集中域内ため池の堤軸方向及び被災度と傾斜・地形タイプの関係

Fig.5-19 は  $\omega_i$  の区間を, a で 0-90°, b で 90-180°, c で 180-270°, d で 270-360° の 4 つに区分し, サイト傾斜・地形タイプ毎に被災度別ため池数を棒グラフに,  $\omega_i$  区分毎の  $R_d$  を青の折線にしたものである. これまでは堤軸  $\omega_i$  が 180-360° のときに  $R_d$  が大きくなっていたが, c では被災池の 39% が集中し, 無災池数も 47 個と全体の 37% が集まり, その結果  $R_d=43\%$  と平均的な被災率で, a 区分よりも低い. その理由は多数の無被災池サイトが緩傾斜と東山タイプであり, d も同様に緩傾斜と東山タイプの池数が多く,  $R_d$  は区分 a よりも低い. 一方, 区分 a 内はタイプ 3 の逆傾斜型が 7 割以上で,  $R_d=48\%$  と被災池数が最低で  $R_d$  は最大となった.

集中域内のサイト傾斜・地形タイプと  $\omega_i$  の関係は,  $\omega_i$  区分で c 及び d で池数全体の 73% であるなど堤軸下流が東に面した  $\omega_i=180-360^\circ$  が圧倒的で, 丘陵地, 台地等が介在する地形の中で, 緩傾斜勾配や東山タイプでは被害緩和となり, 平地から谷地に向かう傾斜・谷地タイプでは被害が促進されたと考えることができる. 即ち, 集中域外で見られた  $\omega_i$  と  $R_d$  の関係が, 震度 6 強の集中域で曖昧になった理由は, 地形・傾斜タイプ 4 及び 5 に属する多数の無災池が, 区分 c 及び d に多数含まれていたこと. さらに区分 a と b に属する池数が極端に少ない中で, 親子池等の特殊なパターンの被災池の存在が  $R_d$  を押し上げたことによると考えられる.

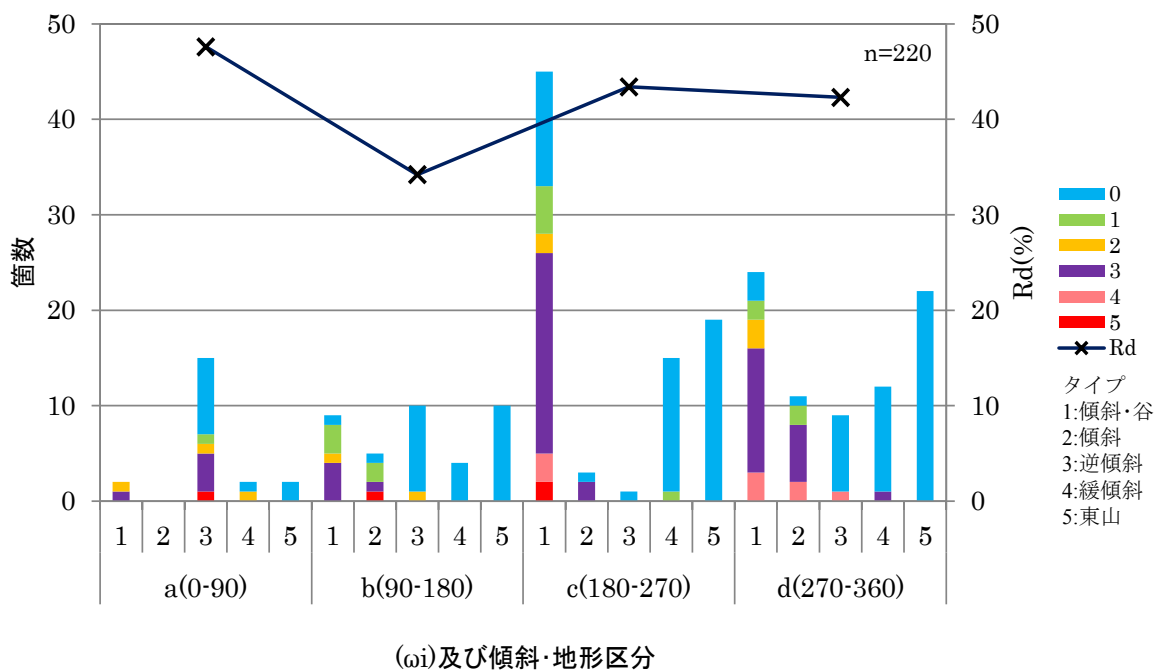


Fig. 5-19 東北地方太平洋沖地震の福島県中南被災集中域内ため池の堤軸方向及び傾斜・地形タイプ別被災度



**Fig.5-20** は、**Fig.5-17 (a)** と同じ被災集中域エリア内を被災度別とサイト傾斜・地形タイプに置き換えた分布図である。ピンクの破線で囲った震度 6 強の範囲は、傾斜・地形タイプ 1 (傾斜・谷地) 及び 2 (傾斜) で被災度が大きく、タイプ 4 (緩傾斜) と 5 (東山) は被災を免れている。全般的に堤軸が東に面して傾斜のある谷地内に立地するため池は、被災度が大きくなる傾向が見られる。一方で、高被災度池から僅か 200-300m しか離れていない場所でも、山丘の頂きや平地で勾配が余りない場所のにあるため池や東側の山丘が堤体を隠す (地盤揺れを緩和する) 形となり、大多数が被災を免れている。言い換えると、谷地内にあるため池は、低平地から谷筋を通過して山頂に向う傾斜で、地盤の揺れが直接的に堤体下流面にぶつかり、被災を促進させた格好である。これら 5 タイプは何れもが地表面上の地形と深い関係にあるものばかりであった。

但し、タイプ 1 (傾斜・谷地型) であっても、青色実線で囲った部分は無災池であった。この理由は、A は集中域の東端、B は棚倉構造線上に位置し、何れもが④ブロックに含まれず、地震動の増幅が地形的に抑えられた場所と考えられる。なお、B の構造線の南西部で無災池が広がる南側 (c で囲った部分) の 4 つの被災池は、堤軸が全て南に面した傾斜・谷地型である。また西に向かって傾斜する緑色の逆傾斜タイプ 3 では被災度が全体に低い。青色破線で囲った親子池の場合は、被災度が上がる事例が確認された。

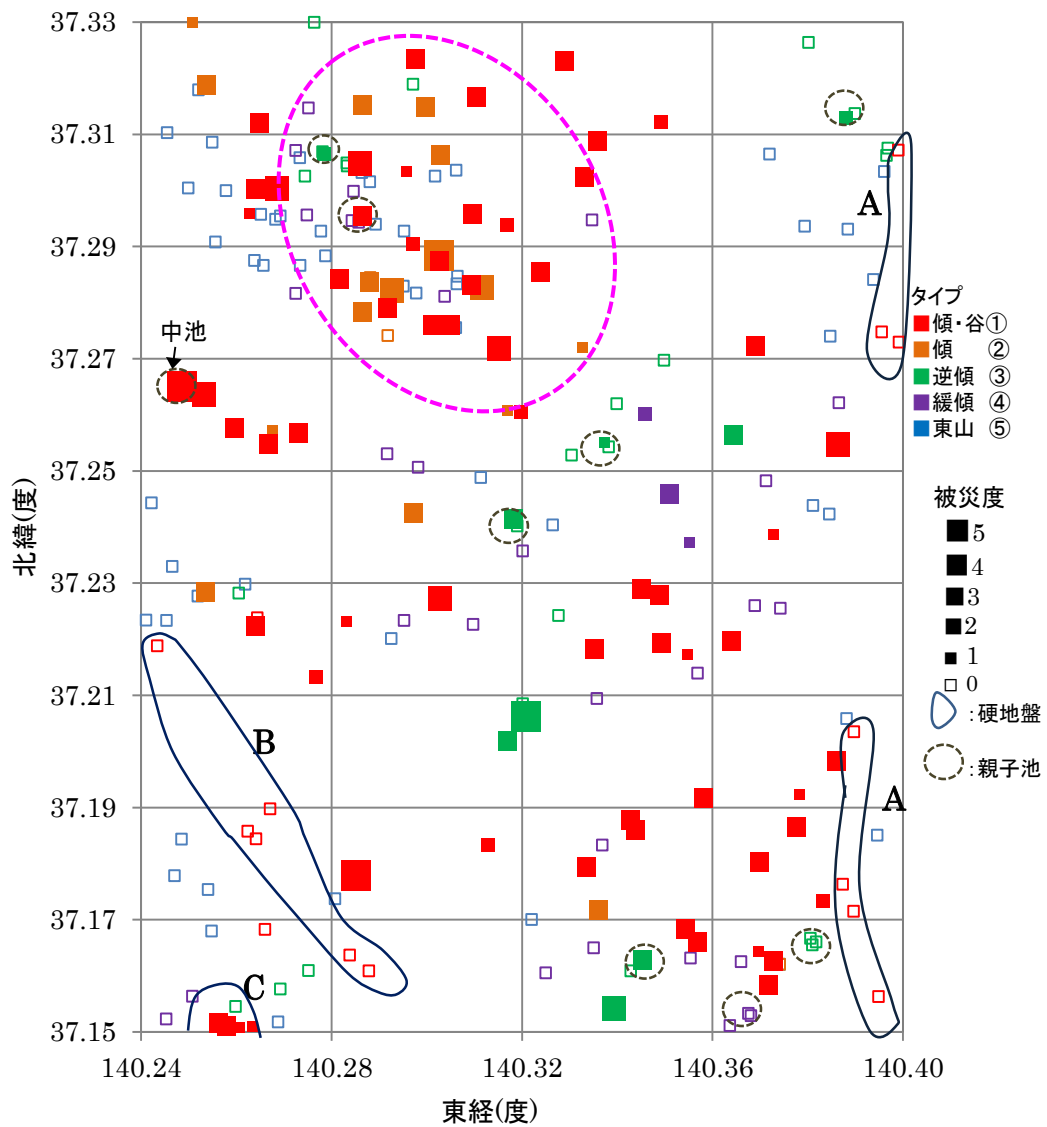


Fig. 5-20 東北地方太平洋沖地震の福島県中南被災集中域内ため池の被災度及び傾斜・地形タイプ別分布

Fig.5-21 は、サイト傾斜・地形タイプ毎に被災度別池数を棒グラフと  $R_d$  を折線にしたものである。因みに、タイプ 1（傾斜・谷地）の中で、Fig.5-20 で東端と棚倉構造線上の 14 池は揺れ方の状況が明らかに異なるため、除外扱いとした。タイプ 1 のため池数は、集中域内の 32% しかないが、被災池全体の 70% と最大割合を占め、次いでタイプ 2, 3, 4 の順で被災池数が少なくなり、タイプ 5（東山）では被災池が 0 であった。無被災池数は被災池とは反対にタイプ 5 から順に数が増えており、タイプ別  $R_d$  はタイプ 1 が 97% と極めて高いほか、タイプ 2 が 84%、タイプ 3 が 20% 台、タイプ 4 では 9% となる等、ため池サイトの地表面の傾斜・地形条件が被災率に深く関係していることが明らかになった。

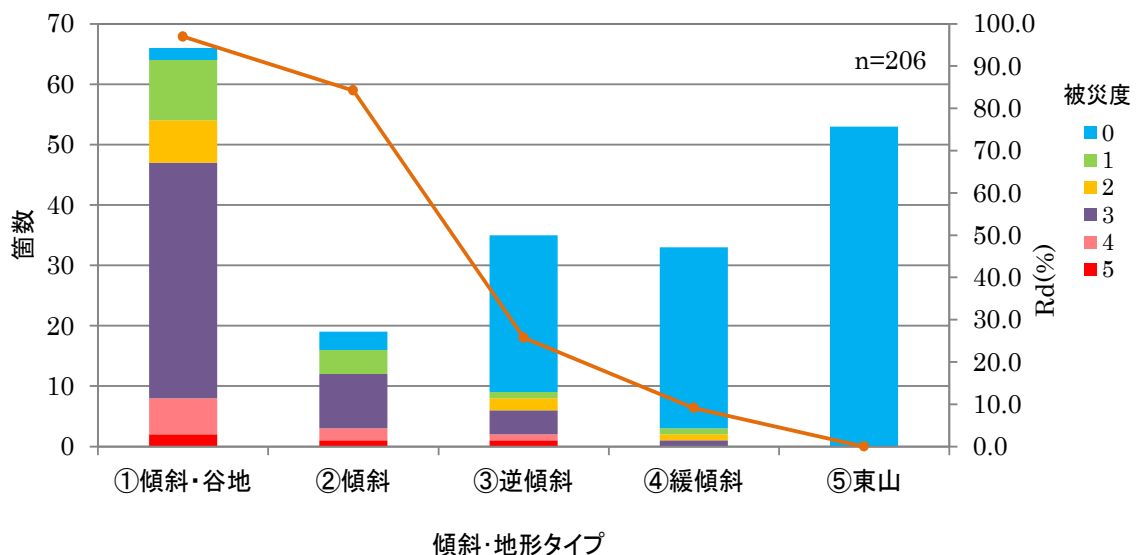


Fig. 5-21 東北地方太平洋沖地震の福島県中南被災集中域内ため池の傾斜・地形タイプ別被災度・被災率

## 5.4 まとめ

東北地震に伴う福島県内ため池について、被災が最も集中したエリアを特定し、その内外域の比較及び集中域内部の詳細な被災状況分析を行った。その際、ため池被災度及びサイト地形分類を新たな分析指標として導入し、狭域的な地形・地質要因と被災の関係性から総括を行った。

### (1) 被災ため池集中域

#### 1) 福島県内の被災集中域

- ・相双域の震央距離 170-180km と県中・南域の同 240-250km に被災集中域が 2 箇所形成され、遠距離集中域の方が狭いエリアで被災密度が高い。
- ・県内集中域は、地形が全体的に震央方向（東方）に面して概ね 6-7% 勾配の傾斜地で、平坦部から山地に跨がる領域で被災池が顕著であった。

#### 2) 福島県中・南域の被災集中域

- ・郡山盆地南部で阿武隈山地と棚倉構造線に挟まれた約 300km<sup>2</sup> の範囲
- ・集中域外より強震度が集中し、そのバラツキが極めて少ない。

#### 3) 被災集中域内

- ・震央距離等高線は棚倉構造線に平行（震央方向に直角）で、被災池の分布はこれに沿っていた。
- ・震央距離 241-243km の  $R_d=70\%$  のピークゾーンは、棚倉構造線から平行する約 8km であった。
- ・被災最大のエリア内に各 200-300m 範囲で被災池と無災池が混在していた。

### (2) 震度とため池被災

- ・最大の推定震度いわき域で被災池が少ないため、震度 6.1 以上で県内の  $R_d$  が低下した。
- ・震度 6 強域内でも、 $\omega_i$  及びサイト地形によって  $R_d$  差が極めて大きい。

### (3) 集中域内の地表面に係る被災要因

#### 1) 堤軸震央方向角度( $\omega_i$ )

- ・ $\omega_i=90-180^\circ$  では逆傾斜が多く、被害が緩和される。
- ・ $\omega_i=180-360^\circ$  では東面の傾斜が多く、被害が促進される。

#### 2) 傾斜・地形タイプ

- ・  $\omega_i=180-360^\circ$ の傾斜・谷地タイプでは，被害が促進される．
- ・ 東山の存在で被災事例が無く，被害が緩和される．
- ・ 平坦地と山・丘陵の頂き等，緩傾斜勾配，西に面した逆傾斜面，非谷地形の順で被害緩和の度合いが大きい．

### 3) 親子（重ね）池

- ・ 傾斜の親子池は，高標高の上池側の被害傾向がある．
- ・ 逆傾斜で親子池は，低標高の下池側の被害傾向がある．

### 4) その他

- ・ 集中域東端と棚倉構造線上のため池では例外的に被災がない．

以上，サイト地形の傾斜・地形タイプによって， $R_d$ は90%を越える傾斜・谷地タイプから緩傾斜や東山タイプでは $R_d$ が10%以下など大きな開きがある．即ち，地震動には広域的な地形・地質だけでなく，狭域のサイト地形にも方向性が見られる．

## 第 6 章

### 堤体形状とため池被災

#### 6.1 概説

地震動被災は地面の揺れによって引き起こされるが、ため池の場合は、第 5 章で検討したようにサイトの狭域的地形条件や堤軸の震央方向とも関係があることが分かった。つまり、秋葉ら（1941）が「堤体も一つの構造物なる以上震動の方向と無関係であり得ない」と考えた通り、堤体の有り様が被災に影響を及ぼすことの確証が得られた格好となった。同様に地表面上で一定の高さ（堤高）や長さ（堤頂長）を持った形状も地震動被災の重要な個体要因であり得る。そのため、秋葉らの被害研究以降もため池堤体形状と地震動被災を関連付ける研究が数多く行われた。しかしながらこれら被災研究が各自各様のやり方で分析整理がなされるため、現時点も被災率（ $R_d$ ）等で被災リスク評価として統一の見解を出すに至っていない状況である。

その最大理由は、被災データに対する確率・統計上の「不確実性」（小島（2006））の問題がある。ため池の地震動被災の有無には様々な要因が関係し、その背後には何らかの「不確実性」が働いている。これは「確率現象」（涌井ら（2010））と言い換えられ、一定の被災リスクとして評価するためには、「大数の法則」に基づく必要がある。即ち、「1つの母集団から、 $n$ 個のデータを観察しその標本平均  $x$  を作る。このとき、 $n$  が大きければ大きいほど、標本平均は母集団  $\mu$  に近い数値をとる可能性が高くなる」（小島（2006））である。一方、ため池堤体諸元は小規模が大多数を占める「正の非対称分布」であり、過去の研究では該当ため池が数個しかない中で、 $R_d$  を求める事例も見受けられている。加えて、地震規模でため池被災数が少ない場合等も、要因別に被災リスクを確率的に求めるためには母数が過少となり、信頼性が乏しくなってしまう。

本章では、第 5 章で検討した福島県中・南域のため池を事例にして、過去の分析方法と比較検証すると共に、大数の法則を考慮し、複合的に  $R_d$  算定を行うことで、堤体形状の統一的な検証を行った。併せて、第 3～第 5 章のため池推計震度と  $R_d$  の関係及

び堤軸  $\omega_i$  と  $R_d$  の関係を踏まえて、堤体形状区分毎に  $R_d$  及び被災度を指標として被災要因分析を行った。

### 6.1.1 過去の堤体形状諸元と地震動被害

過去のため池形状に関する地震被害研究では、第2章のレビューの通り、①堤高 ( $H$ )、②堤頂長 ( $L$ )、③堤頂幅 ( $W$ )、④上下流法勾配 ( $1:U$  及び  $1:D$ )、⑤横断面形状等の堤体形状が被災率に影響を及ぼすとされてきた。諸元別には、①  $H$  が高いほど  $R_d$  は高い、②  $L$  は  $R_d$  との関連性が明確でない、③  $W$  は広いほど  $R_d$  が高い傾向がある、④  $U$  と  $D$  が緩いほど  $R_d$  が高く、特に  $U$  が緩い場合に  $R_d$  が高い、⑤横断面形状は、 $H$  と  $W$ 、 $H$  と  $D/U$  及び  $W$  と  $D/U$  等の関係があるが、統一的な被災傾向は見いだされてない。但し、 $H$  が高いほど、一般に  $U$  と  $D$  は緩く、 $W$  も広くなる傾向があり、この傾向が  $R_d$  を高める方向にあると考える向きもある。なお、ため池被災に関する多変量解析は、堤体形状諸元相互の関連を見ているが、諸元個々の  $R_d$  を求める手法にはなっていない。

過去の地震被害研究でも「大数の法則」は考慮され、ため池被災が多数発生する大規模地震時が事例とされている。つまり少数の被災事例では堤体諸元別に  $R_d$  を求められないと理解されていた。但し、 $R_d$  算定時の分母となる無被災池もデータベース化され、大数の法則を満足出来る状態かは別の問題である。本章では、堤高及び堤頂長について、先ず「大数の法則」の観点から過去の研究事例を検証し、統一見解に至らなかった背景も検証する。

### 6.1.2 ため池堤体形状諸元と度数分布

堤高や堤頂長等ため池形状諸元は、母数の平均が真ん中にある正規分布でなく、小規模なものが圧倒的多数を占める「正の非対称分布」である。また本研究で事例としたため池群が、全国或いは福島県内で特異的か、平均的かを確認しておくことは重要である。Table 6-1 は、Appendix 2-3 を基に対象域の堤体形状諸元 ( $H$ ,  $L$ ,  $W$ , 法面勾配 ( $U$ ,  $D$ )) 4項目の比較表である。対象地域は盆地や低い丘陵地形を反映して堤高の平均が若干低く、平均的な  $L$  は少し長めで、 $L=50\text{m}$  以下の割合が少ない等の特徴が見られるが、県内、被災7県内及び全国的に見ても概ね一般的なため池形状であると考えられる。

Table 6-2 には、地形と堤体材料に関するデータの捕捉率を含めて示した。全体的に堤体内部に関するデータの捕捉率は特段に低く、県毎に大きなバラツキが見られ、堤体材料の福島県内捕捉率は 0% である。そのため、堤体材料を用いた地震動と  $R_d$  の関係の検証は行えなかった。

堤体諸元の被災リスクを検討するには、極端な「正の非対称分布」を前提に考える必要がある。例えば、全国の堤高 15m 以上は、「ため池 DB」から 1,318 箇所ですべての 1.2% しかない。仮にある高さ以上の唯一のため池が被災した場合、その区分の  $R_d$  は 100% となる。Fig.6-1 のサイコロ回数による確率のバラツキ（小林（2012））からも、妥当な  $R_d$  算定法と言えるか大いに疑問である。また、過去の被害調査事例では、どうしても甚大な被災ため池に関心が集中し、災害時には無被災ため池のデータ収集が充分できない等、諸元区分毎の被災率が実態を反映していないことが考えられる。反対に母数を一定以上確保するために対象を複数被災県に跨がらせたことで、地形・地質や堤体材料等、各県特性のローカル性も一緒に包含して、大きなバイアスとなることも考慮すべきである。

以上のことから、本章では福島県中・南域を対象地域として、過去の被害研究事例とも比較検討し、統計的確率を求める際の問題点を明らかにすると共に、清水（1996）の統計分析手法を参考に堤体形状諸元別に  $R_d$  の検討を行った。

Table 6-1 ため池堤体形状諸元の平均値及び度数比較

			堤高	堤頂長	堤頂幅	勾配 U	勾配 D	備考
県中南域	1,035	平均	4.1	68.2	3.33	1.6	1.7	
		度数	67.5	41.6	50.0	40.7	38.0	
福島県	3,299	平均	4.9	64.8	3.45	1.7	1.7	
		度数	68.8	53.6	57.5	47.1	42.9	
被災県	10,193	平均	4.6	68	3.4	1.6	1.9	
		度数	73.1	54.1	59.4	56.5	50.3	
全国	116,781	平均	5.1	62.5	2.9	1.5	1.8	
		度数	5m以下 67.3	50m以下 64.8	3m以下 68.4	1.5以下 62.5	1.5以下 64.6	



Table 6-2 ため池堤体諸元データの捕捉率

	ため池DB	堤高	堤頂長	堤頂幅	勾配 U	勾配 D	地形	堤体材料
県中南域	1,035	1.00	1.00	0.94	0.94	0.94	0.63	0.0
福島県	3,299	0.99	0.99	0.86	0.86	0.86	0.82	0.0
被災県	10,193	0.97	0.95	0.84	0.71	0.69	0.6	0.33
全国	116,781	0.95	0.95	0.83	0.74	0.74	0.8	0.42

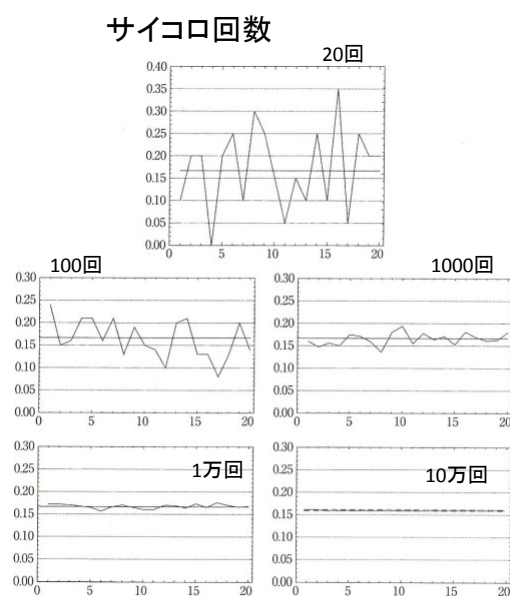


図 4.1 20人がサイコロを20回(上), 100回(中左), 1000回(中右), 1万回(下左), 10万回(下右)投げて  
 □の目が出た相対頻度

小林道正: でたためにひそむ確立法則, 岩波書店, p50

Fig. 6-1 サイコロ回数と確率の関係

## 6.2 分析方法

過去のため池被害研究では、 $H$  及び  $L$  が「正の非対称分布」の関係で、区分方法が不統一で、規模の大きなため池は、被災及び無被災池とも極端に数が少ない中で被害率（被災率・ $R_d$ ）の算定を行っていた。過去の区分方法に則り東北地震の対象地域を事例に比較検証するのに続いて、以下の統計的分析手法を用いて検討した。

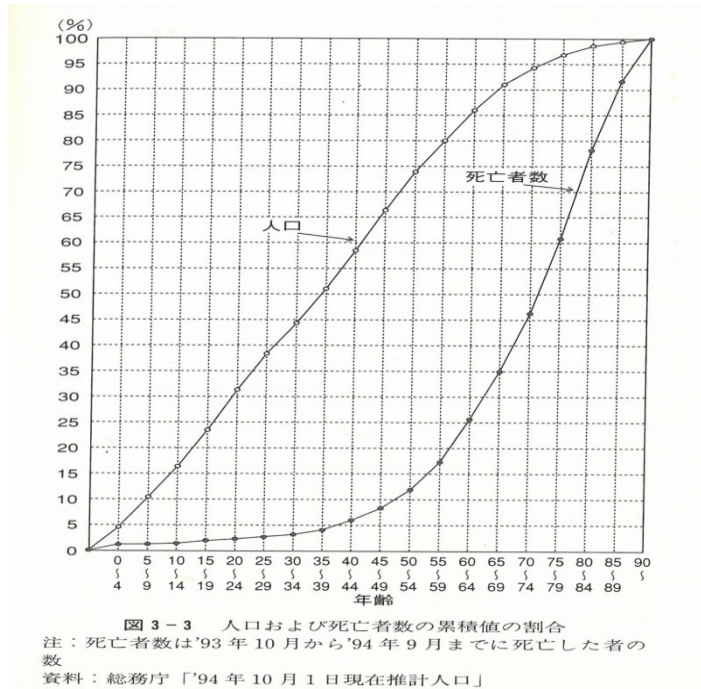
### 6.2.1 分析手法

地震災害時のため池被災は、有る程度限定されたエリアで発生し、その数は最大でも数百個程度である。 $R_d$  算定では、該当区分内の被災と無災池数の合計を分母とするが、母数が極端に少なくなると、**Fig.6-1** のサイコロのように確率現象の  $R_d$  が大きく乱高下し、実態を反映しなくなる。そのため、本章の検討では分母の数を一定数確保できるよう、以下の分析手法を用いた。

#### 6.2.1.1 累積度数分布と四分位区分

**Fig. 6-2** には、「人口および死亡者数の累積値の割合」をその一例として示した（清水（1996））。横軸は年齢区分であるが、人口（左線）と死亡者数（右線）のカーブがかなり離れ、右線は30代の年齢層まで傾きが緩く、60歳超の年代から傾きが急になるなど、自然の摂理として年齢が増すことで死亡確率が上がることが分かる。この手法を応用して、「正の非対称分布」の  $H$  と  $L$  の  $R_d$  を算定する時は、以下の点に留意する必要がある。

当該度数分布では、平均値や中間値から離れるに従って、数（度数）少なくなり、分母数が過少となり、確率現象の確率値が安定しない。これを回避するため、度数を均等化し、一定数以上の母数を確保できる区分値が必要である。そのため **Fig. 6-3** は「度数分布と累積度数分布」を重ね合わせ、度数を4等分する四分位（清水（1996））区分を適用した。さらに堤高（ $H$ ）や堤頂長（ $L$ ）は分布幅が広いことから、必要に応じて母数全体を8等分する八分位区分によっても  $R_d$  算定を行った。



清水 誠：データ分析はじめの一步，講談社p59

Fig. 6-2 人口及び死亡者数の累積度数分布

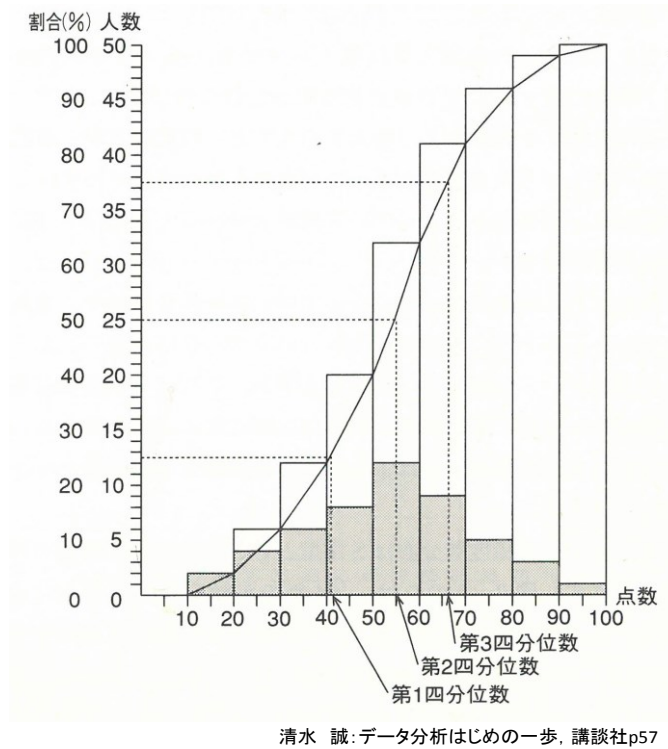


Fig. 6-3 度数分布と累積度数分布

#### 6.2.1.2 推計震度の重ね合わせ

第3章から第5章までにため池推計震度と  $R_d$  の関係を明らかにした。仮に  $H$  が高いほど地震動（震度）に応じて  $R_d$  が増大するならば，第3四分位以上の高  $H$  区分の  $R_d$  の方が，第1四分位の低  $H$  区分の  $R_d$  よりも高率になる筈であり，かつその震度が大きくなるほど，その両者の差は拡大傾向になると想定できる。そこで四分位区分したため池  $H$  毎に，推計震度を①5.0以下，②5.1-5.4，③5.5-5.8，④5.9以上の4区分でクロス集計し，16 (=4×4) ロッドで  $R_d$  を比較した。

#### 6.2.1.3 堤軸 $\omega_i$ の重ね合わせ

推計震度で比較する考え方は，堤軸  $\omega_i$  でも適用可能である。ここでは，①  $\omega_i = 0-90^\circ$  ，②  $\omega_i = 90-180^\circ$  ，③  $\omega_i = 180-270^\circ$  ，④  $\omega_i = 270-360^\circ$  の4区分をクロス集計し，震度と同じ16ロッドで  $R_d$  を比較した。

#### 6.2.1.4 諸元データの重ね合わせ

堤体横断形状を検討する際は，諸元データの組合せが必要となる。例えば，上下流法勾配の場合は，上流を  $1:U$ ，下流を  $1:D$  として上下流勾配比 ( $D/U$ ) を設定し，他の  $H$  及び  $W$  の諸元データと組み合わせた。但し，組み合わせた諸元データは，累積度数分布で4分位数設定ができないので，2種類のデータを  $X$ - $Y$  座標にプロットし，各両軸のロッド数が上中下で概ね3等分できる値で，9 (=3×3) ロッドに分割した各  $R_d$  で比較を行った。

## 6.2.2 分析手順

### 6.2.2.1 被災分析エリアと分析データ

事例とした福島県中・南域のため池諸元は、「ため池 DB」に登録されたデータをベースに、第5章と同じく福島県からの被災情報収集及び照合確認したものである。また、Table 6-3の被災度別ため池数は、第5章の分析で使用したものと同一である。因みに、対象域内のため池数は848箇で、その内、位置情報が不明、重複登録、被災度不明等のデータ欠損があり、実際のため池母数は840箇（歩留まり99.1%）となる。また、ため池DB中の諸元データ欠損により、さらにデータ数が少なくなる場合もある。なお、築堤材料に関しては、Table 6-1のため池DB中で盛土材が確認できるのは6（全て粘性土）池であり、平成25年度に実施された170箇所の一斉点検結果では、158箇所が粘性土であった。

Table 6-3 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域の被災度別ため池

県中・南域の被災無災ため池数(集中域内外内訳)

ブロック	全数		内集中域内		被災レベル							内集中域外		被災レベル						
					0	1	2	3	4	5	不明			0	1	2	3	4	5	不明
県中	被災	98	被災	64	0	10	7	35	7	2	3	被災	34	0	2	8	21	2	1	0
	無災	452	無災	85	85							無災	367	367						
合計	550	合計	149	85	10	7	35	7	2	3	合計	401	367	2	8	21	2	1	0	
県南	被災	55	被災	32	0	6	3	19	2	0	被災	23	0	2	5	10	5	1	0	
	無災	243	無災	47	47						無災	196	196							
合計	298	合計	79	47	6	3	19	2	2	0	合計	219	196	2	5	10	5	1	0	
中・南	被災	153	被災	96	0	16	10	54	9	4	3	被災	57	0	4	13	31	7	2	0
	無災	695	無災	132	132						無災	563	563							
合計	848	合計	228	132	16	10	54	9	4	3	合計	620	563	4	13	31	7	2	0	

### 6.2.2.2 過去の被害ため池との比較

複数の事例を比較した谷ら（1997）の研究を踏まえ、 $H$ はTable 6-4、 $L$ に関連した形状係数（ $L/H$ ）ではTable 6-5を使って、本研究の分析対象ため池と比較を行う。堤体諸元に係る分析順序は、堤高（ $H$ ）及び堤頂長（ $L$ ）では、統計的手法や震度・ $\omega_i$ などの他要因を考慮した分析を行い、その後、形状係数（ $L/H$ ）、体積係数（ $H*L$ ）と比較検討を行う。また、堤体横断形状に関しては、堤頂幅（ $W$ ）、上下流法勾配（ $D, U$ ）及び同勾配比（ $D/U$ ）の順で検討し、 $H$ と $W$ 、 $H$ と $D/U$ 、 $W$ と $D/U$ を各々組み合わせた三等分で $R_d$ 比較を行った。Fig. 6-4には、ため池堤体形状諸元の模式図を示す。

Table 6-4 堤高とため池被害（十勝沖，宮城県沖，日本海中部地震）

**表-11 堤高と溜池被害（十勝沖，宮城県沖，日本海中部地震）**

地震名 堤高	十勝沖地震				宮城県沖地震				日本海中部地震			
	全数	被害数	率 (%)	被害率 (%)	*全数	被害数	率 (%)	被害率 (%)	全数	被害数	率 (%)	被害率 (%)
0~4.9	932	138	68.3	14.8	3990	27	32.5	0.6	1235	123	56.4	10.0
5.0~9.9	241	55	27.2	22.8	2645	45	54.3	1.7	481	81	36.5	16.8
10.0~14.9	25	5	2.5	20.0	255	6	7.2	2.4	79	9	4.0	11.4
15.0~19.9	9	2	1.0	44.4	88	5	6.0	5.7	28	5	2.8	17.9
20.0~29.9		2	1.0						9	0	0	0
30以上	1	0	0	0	29	0	0	0	2	0	0	0
計	1208	202	100.0	16.7	7007	83	100.0	1.2	1834	218	100.0	12.1

\* 農林水産省地域計画課（1981），溜池台帳（15m以上のものについては1969年以降のものは除く）

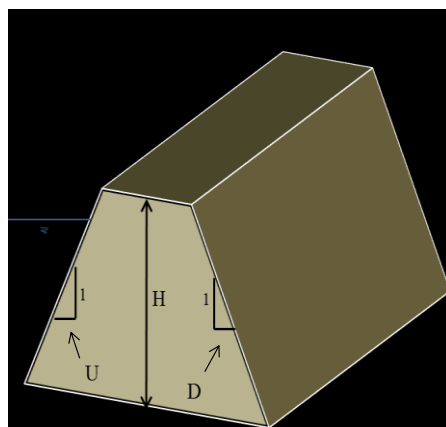
谷 茂、長谷川高士：日本海中部地震を中心とした溜池の地震被害、農業土木学会誌、第55巻第10号,p939-947

Table 6-5 形状係数(堤頂長/堤高)とため池被害(十勝沖，日本海中部地震)

**表-12 形状係数(堤頂長/堤高)と溜池被害  
(十勝沖，日本海中部地震)**

地震名 堤頂長/堤高	十勝沖地震		日本海中部地震			
	被害数	率 (%)	全数	被害数	率 (%)	被害率 (%)
0~2.49	0	0.0	8	0	0.0	0.0
2.5~4.99	7	3.4	72	2	0.9	2.8
5~7.49	16	7.9	193	26	11.9	13.5
7.5~9.9	22	10.9	182	19	8.7	10.4
10~19.9	81	40.1	639	77	35.4	12.1
20~29.9	27	13.4	316	35	16.0	11.1
30以上	49	24.3	403	59	27.1	14.6
計	202	100.0	1834	218	100.0	11.9

谷 茂、長谷川高士：日本海中部地震を中心とした溜池の地震被害、農業土木学会誌、第55巻第10号,p939-947



H : 堤高  
L : 堤頂長  
W : 堤頂幅  
U : 上流側 } 法面勾配  
D : 下流側 }

Fig. 6-4 ため池堤体形状諸元模式図

## 6.3 結果と考察

### 6.3.1 堤高と被災率

$H$  区分の仕方で  $R_d$  がどう変化するか、また、ため池被災要因とした震度及び堤軸  $\omega_i$  を加味した場合に  $R_d$  に差が生じるか等、 $H$  と  $R_d$  の関係を検証した。

#### 6.3.1.1 堤高の定尺区分と被災率

Table 6-6 では、福島県中・南域（以下、「対象全域」という）内ため池の堤高  $H$  について、対象全域（ $n=840$ ）と対象被災集中域（以下「集中域」という、 $n=220$ ）に分けて、谷ら（1987）の Table 6-4 の区分でロッド分けして表示した。最大度数のロッドは、堤高 5m 未満が 4 分の 3 以上で、過去 3 地震の事例と同じである。 $H$  区分毎の  $R_d$  の傾向は、 $H$  が高くなるに従い  $R_d$  の率が上がっており、4 つの地震動被災傾向には大きな相違は見られない。

Fig. 6-5 は、Table 6-4 の区分により  $H=20\text{m}$  未満までを 5.0m ピッチで、20m 以上を 30m 未満と 30m 以上の計 6 区分し、対象全域の被災及び無災ため池個数をピンクと青色で区別した棒グラフで、また、当該  $R_d$  をオレンジ折線で示した。さらに集中域の  $R_d$  を赤色線で図示した。加えて、Table 6-4 から十勝沖（水色破線）、宮城県沖（緑破線）、日本海中部（紫破線）の各  $R_d$  を重ね合わせた。対象全域の堤高区分毎の  $R_d$ （オレンジ線）は、 $H=15\text{m}$  未満までは  $R_d=20\%$  未満で安定していたが、 $H=5\text{m}$  以上で一旦、 $R_d=50\%$  まで上昇し、次の区分で  $R_d=0\%$ 、その次で  $R_d=57\%$  と大きく上下した。ため池個数が少なくなるに伴って  $R_d$  の増減振れ幅が拡大し、30m 以上では 7 箇中に被災池が 4 箇だった。集中域  $R_d$ （赤線）では、 $H=15\text{m}$  未満までの範囲で  $R_d=40\%$  から  $R_d=50\%$  まで上昇するなど、対象全域と比べ震度が大きいエリア内の  $R_d$  は 2 倍以上になっていた。

過去 3 地震との比較では、緑破線の宮城県沖は全数が対象全域の 8 倍以上で  $R_d=1\%$  未満から 6% の低いレベルで上昇が見られ、紫破線の日本海中部では全数が 2.2 倍で  $R_d$  は 10~20% の範囲で変動し、青破線の十勝沖では全数が 1.4 倍で  $R_d$  は  $H$  が 20m 未満までは、対象全域とほぼ同様な傾向であった。以上 5 事例をグラフ表示からは、 $H$  が大きいほど  $R_d$  が大きくなるとの判定は元来から問題があったと考えられる。

Table 6-6 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高別被災数

堤高	福島県(中・南域)					同被災集中域					比率(%)	
	①全数	率(%)	②被災数	率(%)	被災率(%)	③全数	率(%)	④被災数	率(%)	被災率(%)	③/①	④/②
0-4.9	633	75.4	111	74.5	17.5	185	84.1	74	80.4	40.0	29.2	66.7
5-9.9	184	21.9	30	20.1	16.3	33	15.0	17	18.5	51.5	17.9	56.7
10-14.9	11	1.3	2	1.3	18.2	2	0.9	1	1.1	50.0	18.2	50.0
15-19.9	4	0.5	2	1.3	50.0	0	0	0	0	0	0	0
20-29.9	1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30以上	7	0.8	4	2.7	57.1	0	0	0	0	0	0	0
計	840	100.0	149	100.0	17.7	220	100.0	92	100.0	41.8	26.2	61.7

\* 全域の4つの被災池には、二つ調整池、羽鳥ダム及び西郷ダムが含まれている。

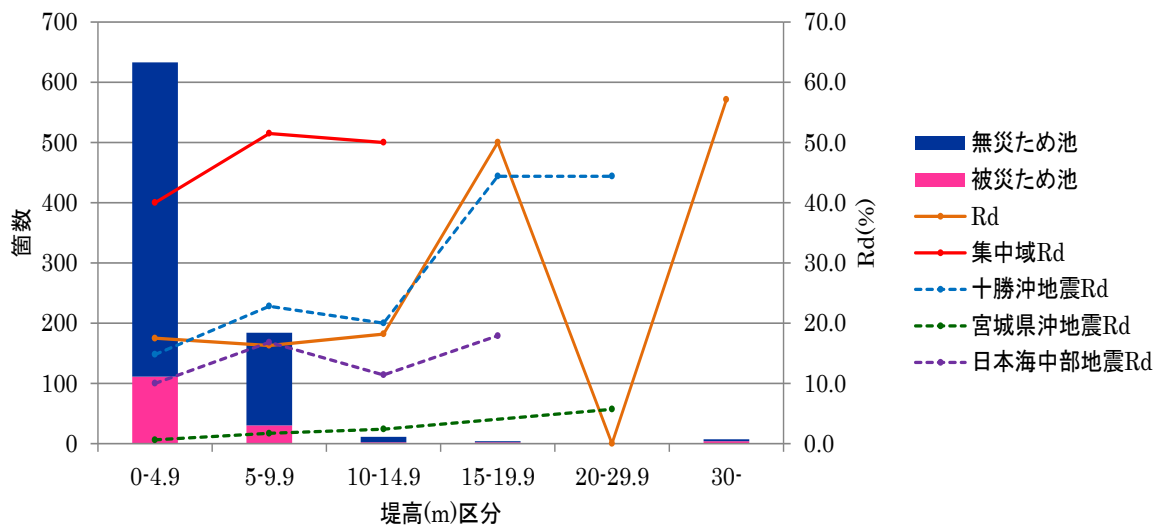


Fig. 6-5 東北地方太平洋沖の地震福島県中・南域ため池の堤高別被災率

Fig. 6-6 は、対象全域を 1m ピッチで区分した個数と  $R_d$  を図示した。  $H=3\text{m}$  以上  $4\text{m}$  未満の 28% が最大で、  $R_d$  は  $H=1\text{m}$  以上から  $H=6\text{m}$  未満までの 6 区分が 16~18% の範囲内にあり、  $H$  高に伴う  $R_d$  増加は見られない。さらに  $H=6\text{m} \sim 7\text{m}$  未満で  $R_d$  は一端 8% まで下がり、  $H=8\text{m}$  以上から増加傾向になり、  $H=10\text{m}$  以上で  $R_d=35\%$  まで上昇するが、区分個数は全体の 2~3% に縮小していた。



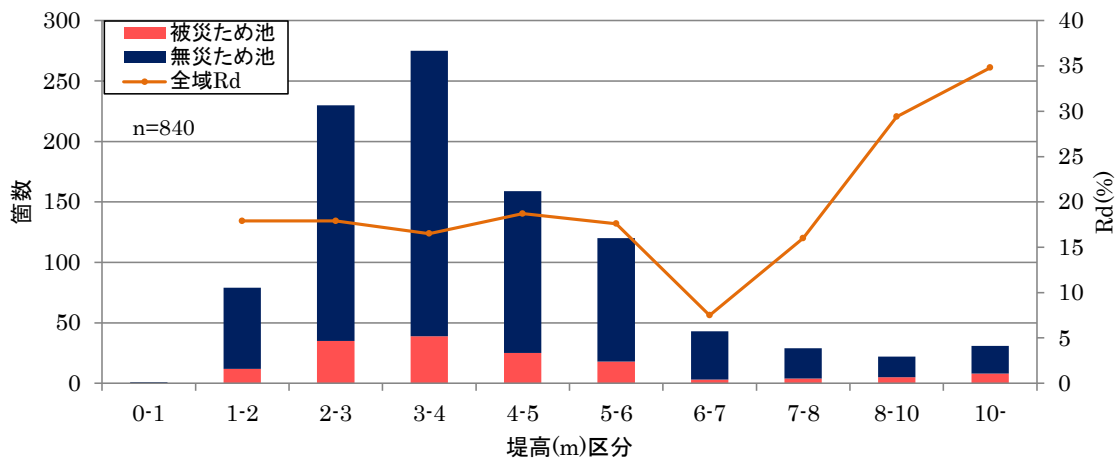


Fig. 6-6 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高(1m ピッチ)別被災率

### 6.3.1.2 堤高の統計的区分と被災率

Fig. 6-7 では、対象全域と集中域のため池を  $H=0.5\text{m}$  毎に最大 20m まで累積度数を图示した。集中域内全ため池（青線）は、累積度数 25%（第 1 四分位）が  $H=2.0\text{m}$  に対し、全域内全池（緑線）が 2.5m となり、それ以上でも累積度数で両方の線が交わらない。また、全池を全域と集中域の堤高 5m で比べると、累積度数は全域 83%と集中域 90%で、全域の  $H=5\text{m}$  以上ため池の割合が多い。このことから、集中域は盆地内において堤高が全般に低めである。被災池は全域  $H=5\text{m}$  までの被災池度数（赤線）と全池度数（緑線）の線はほぼ同じ所にあり、集中域でも  $H=5\text{m}$  までの被災池度数が幾分高い程度であり、高い堤高ほど被災が高まる傾向は見られない。さらに、 $H=10\text{m}$  の全域全池の緑線は、累積度数 97%の  $2\sigma$ （標準偏差）以上にあり、堤高 10m 以上がため池が如何に例外的な高さか理解できる。このことを Fig. 6-5 及び Fig. 6-6 と見比べると、集中域は 5m 未満堤高で若干  $R_d$  が低めであり、全域では  $H=6\text{m}$  までは  $R_d$  の変化は少なく、7m 付近で  $R_d$  が一旦低下し、8m 以上で上昇と同じになっていることが理解できる。

Fig. 6-8 は Fig. 6-7 の堤高累積度数から、対象全域ため池を四分位毎に、第 1 四分位区間を  $H=0-2.5\text{m}$ 、第 2 を  $H=2.6-3.5\text{m}$ 、第 3 を  $H=3.6-4.9\text{m}$ 、第 4 を  $H=5.0\text{m}$  以上で区分し、被災（ピンク）と無災（青色）池個数の棒グラフと  $R_d$  の折線である。堤高別  $R_d$  は 4 区間で 16-18%とほぼ均等となり、Fig. 6-6 の高堤高で高い  $R_d$  も第 4 四分位数の  $H=5.0\text{m}$  以上ため池が 1 ロッドとなって、平均化した形になった。この図からも、「堤高の大きさで地震動に伴う被災率  $R_d$  上昇」は説明できない。

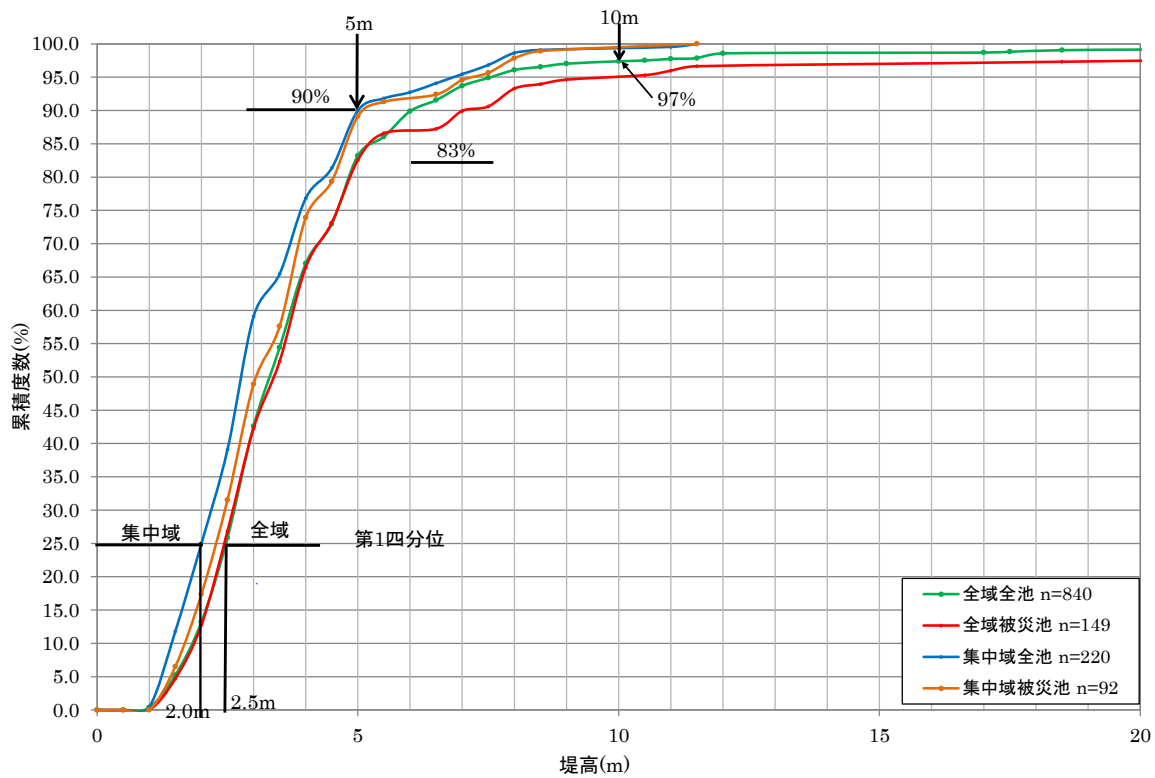


Fig. 6-7 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の被災別堤高累積度数分布

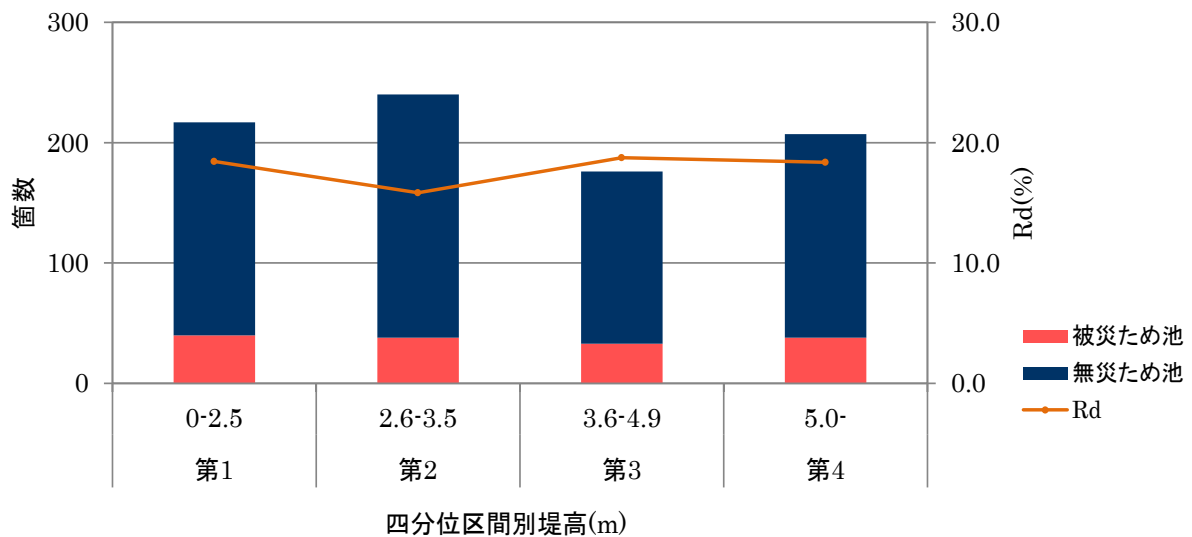


Fig. 6-8 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高四分位区分被災率

Fig. 6-9 では、対象全域の堤高  $H$  を八分位で分割し、Fig. 6-8 と同様に区分毎に集計

し、区分毎に  $R_d$  を図示した。八分位の  $R_d$  も全区分で 15-20% の範囲内にあり、 $H$  による大きな変化は見られない。また、Fig. 6-6 では  $H=10\text{m}$  以上で  $R_d=36\%$  だったものが、母数  $H=6\text{m}$  以上では  $R_d=20\%$  以下に低減しており、母数が少ない  $H$  の大きいため池では  $R_d$  は大きくなることが分かる。

Fig. 6-10 では、横軸を対象全域の堤高として、堤高 0.5m ピッチと Fig. 6-5, Fig. 6-6, Fig. 6-8 及び Fig. 6-9 の各ロッド内平均堤高と当該ロッドの  $R_d$  を縦軸にプロットし、区分毎に結んで重ね合わせた。なお、全域には  $H=30\text{m}$  以上の池が 7 箇所有るが、スケールの関係で 25m まで表示した。先ず 0.5m ピッチ（青線）では、堤高  $H=6\text{m}$  を超える付近から  $R_d$  の振れ幅が大きくなり、 $H$  の増加に伴いさらに増幅する。1m ピッチ（紫線）では振れ幅は全般的に縮小し、9m 付近から  $R_d$  は概ね 30% で安定化する。Fig. 6-5 の 6 区分（緑線）は  $H=11\text{m}$  付近まで  $R_d$  の変化は少ないが、12m 以上で  $R_d$  は最も大きく振れている。これに比較し四分位（オレンジ線）及び八分位区分（赤線）では、全堤高区間で変動の少ない  $R_d$  となっている。このような高い堤高の  $R_d$  上昇と振れ幅増大は、母数となる池個数が少ないことと関係がある。

### 6.3.1.3 堤高の四分位・震度・堤軸角度別区分と被災率

対象全域のため池は、第 4 と第 5 章で震度増加に伴う  $R_d$  の増加を確認しており、堤高による  $R_d$  の変化を震度レベル別に比較可能である。Fig. 6-11 では、横軸にため池推計震度を①5.0 以下、②5.1-5.4、③5.5-5.8、④5.9 以上に 4 区分し、縦軸を堤高に被災度別に 5 章と同じ色分けで表示した。ここでは無災池（□）の堤高を下側（0 の下）領域に表示することで、被災傾向を対比し易くしたが、震度が大きくなるに伴い被災池数は増加するが、特に高い堤高に被災数が増える傾向は見られない。

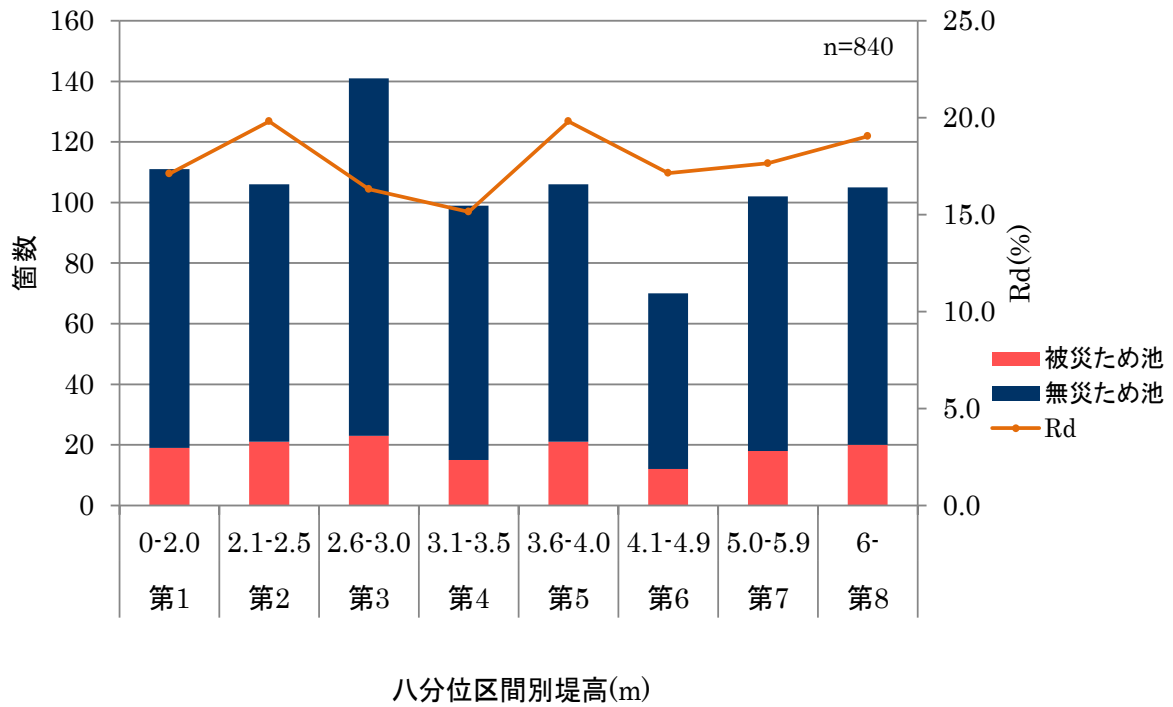


Fig. 6-9 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池堤高八分位区分被災率

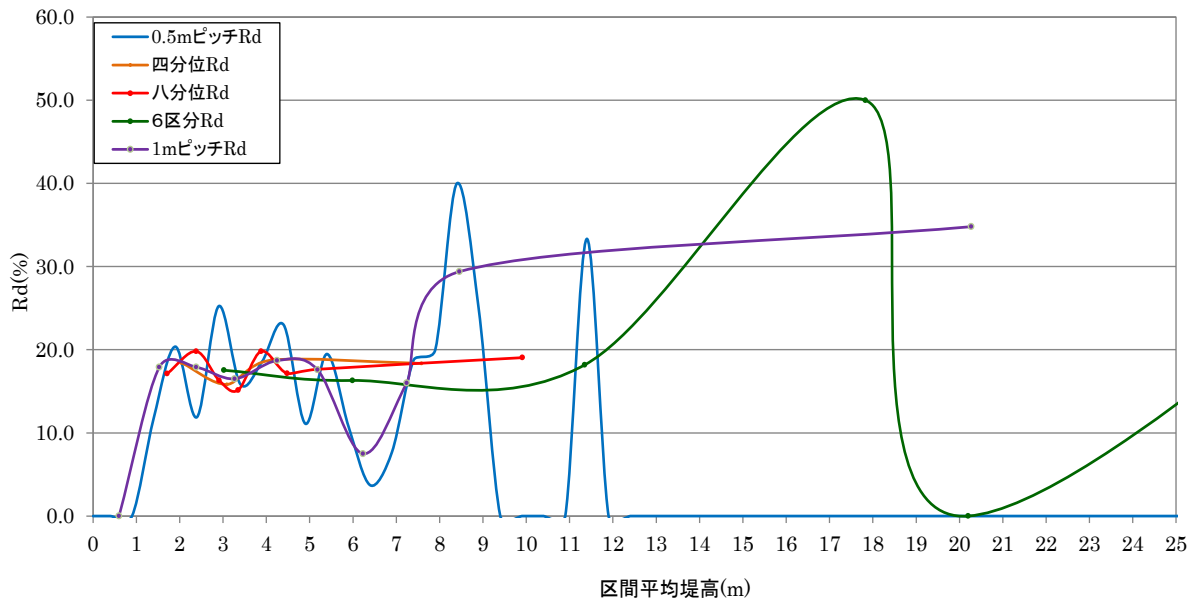


Fig. 6-10 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池堤高区分別被災率比較

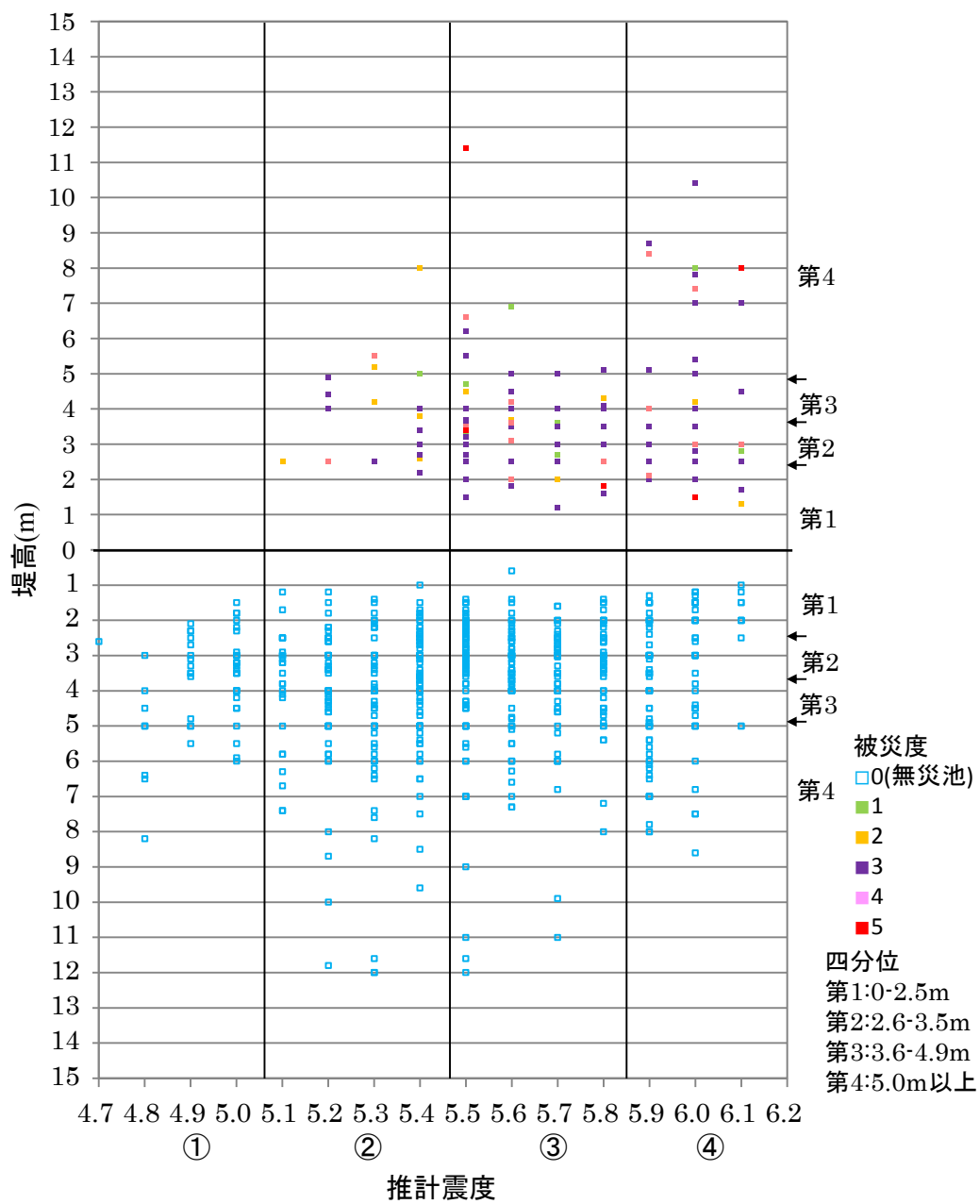


Fig. 6-11 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の震度及び堤高別被災度

Fig. 6-12 は、横軸に Fig. 6-11 の 4 震度区分と縦軸に Fig. 6-8 の堤高四分位を合成した 16 ロッド毎の  $R_d$  を図示し、堤高区分毎に第 1 を赤線、第 2 を青線、第 3 を紫線、第 4 を緑線で結んだ。どの堤高区分も震度の上昇によって、①の 0% から④の  $R_d=30\%$  前後まで確実に  $R_d$  が増加するが、第 1 から第 4 分位まで  $H$  の高低による  $R_d$  差は殆ど見られない。

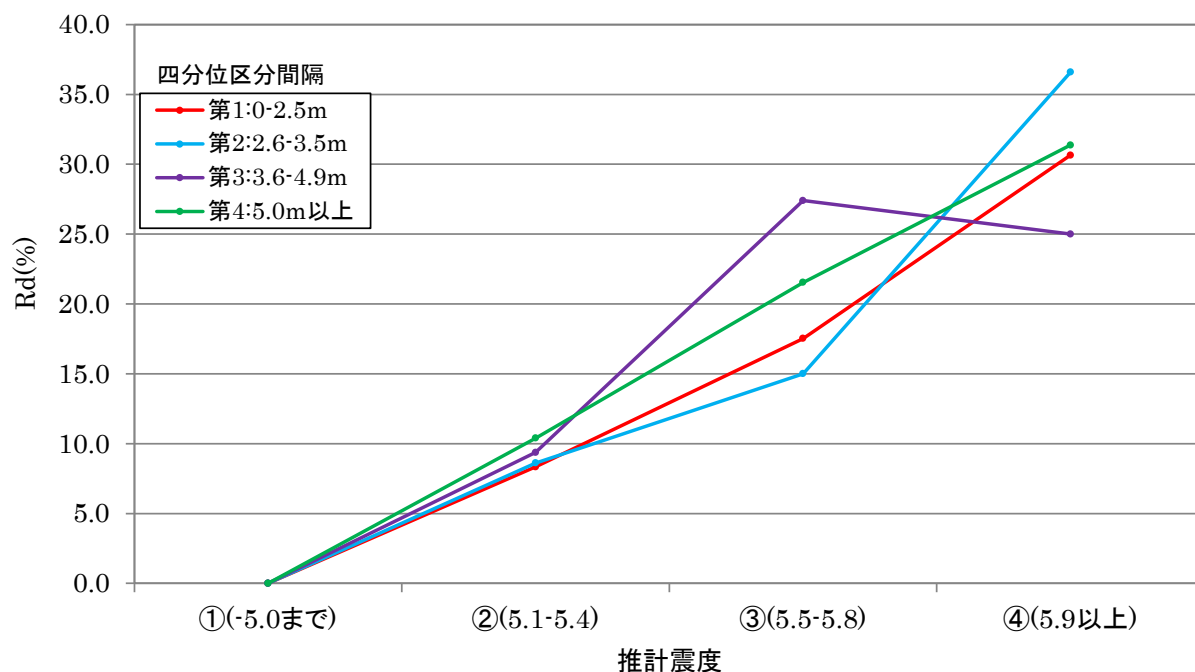


Fig. 6-12 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の震度及び堤高区分別被災率

Fig. 6-13 では、横軸はため池堤軸震央方向角度 ( $\omega_i$ ) を各  $90^\circ$  で区分し、Fig. 6-11 の震度と同様の方法で整理し、5 章で見たように対象全域  $\omega_i=0-180^\circ$  の区間の被災池は少なく、 $\omega_i=180-360^\circ$  で被災池数が増えるのは確認できるが、堤高によって被災池が増える傾向は見られない。

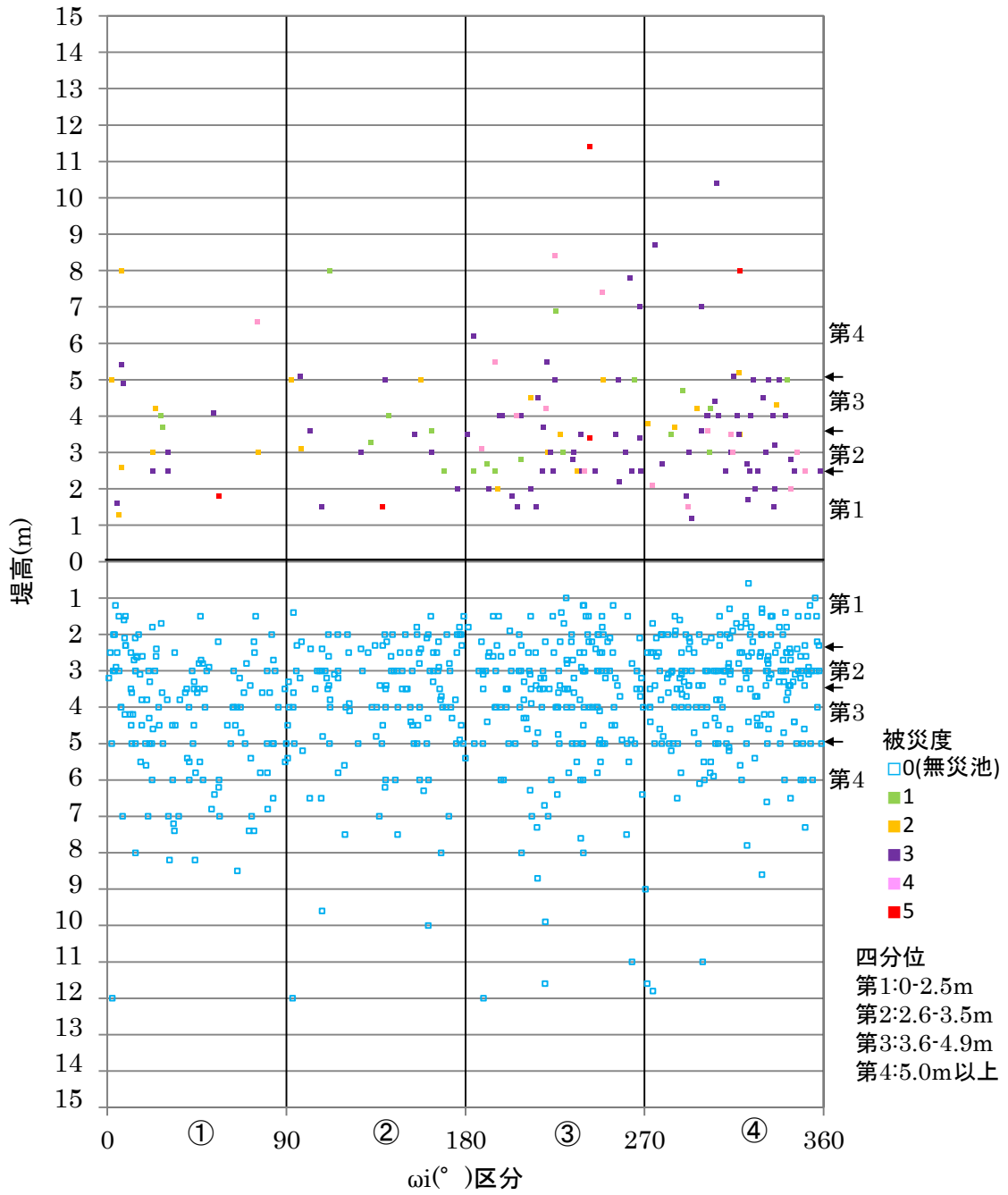


Fig. 6-13 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤軸震央方向角度及び堤高別被災度

Fig. 6-14 では、Fig. 6-12 と同様の方法で Fig. 6-13 の 4  $\omega_i$  区分を横軸に、Fig. 6-8 の 4 堤高区分を合成した 16 ロッド毎の  $R_d$  を縦軸に図示し、堤高区分毎に色分けして線で結んだ。Fig. 6-12 の震度ほどではないが、 $\omega_i$  区分では  $R_d$  が  $\omega_i=180-270^\circ$  で最も大きくなるが、 $H$  による  $R_d$  の変化は不規則で、第 1 から第 4 分位まで  $H$  の高低による  $R_d$  差は殆ど見られないことが分かる。

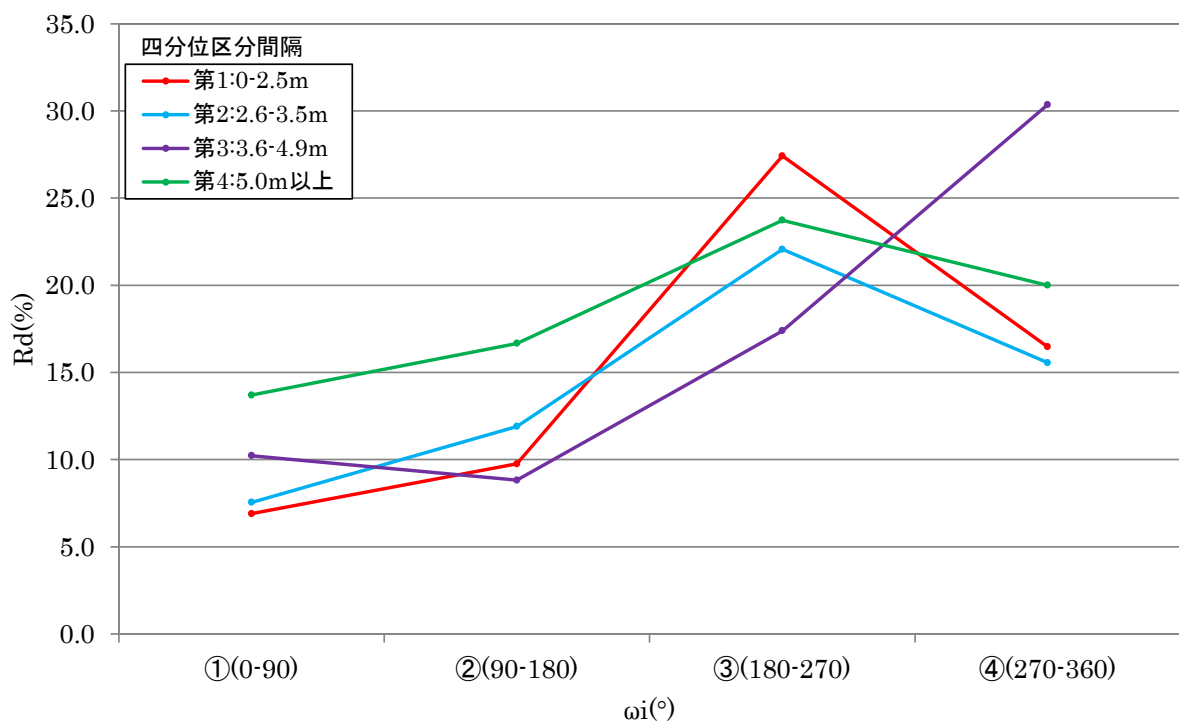


Fig. 6-14 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤軸震央方向角度及び堤高区分別被災率



### 6.3.1.4 堤高と被災率のまとめ

Fig. 6-15 では、Fig. 6-10 の内で  $H=0.5\text{m}$  ピッチ以外の  $R_d$  を縦軸に、横軸を各区間の当該平均堤高をプロットし、その回帰式を図示した。回帰線は一見して堤高の増大に伴い  $R_d$  も増加し、決定係数が  $R^2=0.425$  で正の相関が見えるが、実際は四分位黄●と八分位区分緑◆では  $R_d=15\sim 20\%$  の幅で平均  $H$  が  $1\sim 10\text{m}$  範囲で変動が殆どない。図中で最も  $R_d$  の振れ幅の大きい 6 区分の紫▲の平均  $H$  が小さい順に①～⑥の番号を付けたが、③までは  $R_d=15\sim 20\%$  の幅の中にあるが、④では  $R_d=50\%$  と③までの範囲から大きく逸脱し、⑤では  $R_d=0\%$ 、⑥で  $R_d=57\%$  とさらに大きく振れた。さらに  $1\text{m}$  ピッチの赤■も同様に、平均  $H$  が  $6\text{m}$  以上で低い順に a, b, c, d を付けて観察すると、確かに a～d に  $H$  が高くなる従って  $R_d$  は大きくなるが、上昇パターンは a～c と c～d は大分異なる。

以上から、一定規模の度数 (=母数) が確保された四分位及び八分位区分では、 $H$  の大きさに関係なく  $R_d$  は一定範囲内にあり、母数にバラツキのある 6 区分及び  $1\text{m}$  ピッチ区分では、堤高が小さい時に  $R_d$  は  $20\%$  以下で、堤高が大きい場合に  $R_d$  は大きく変動している。

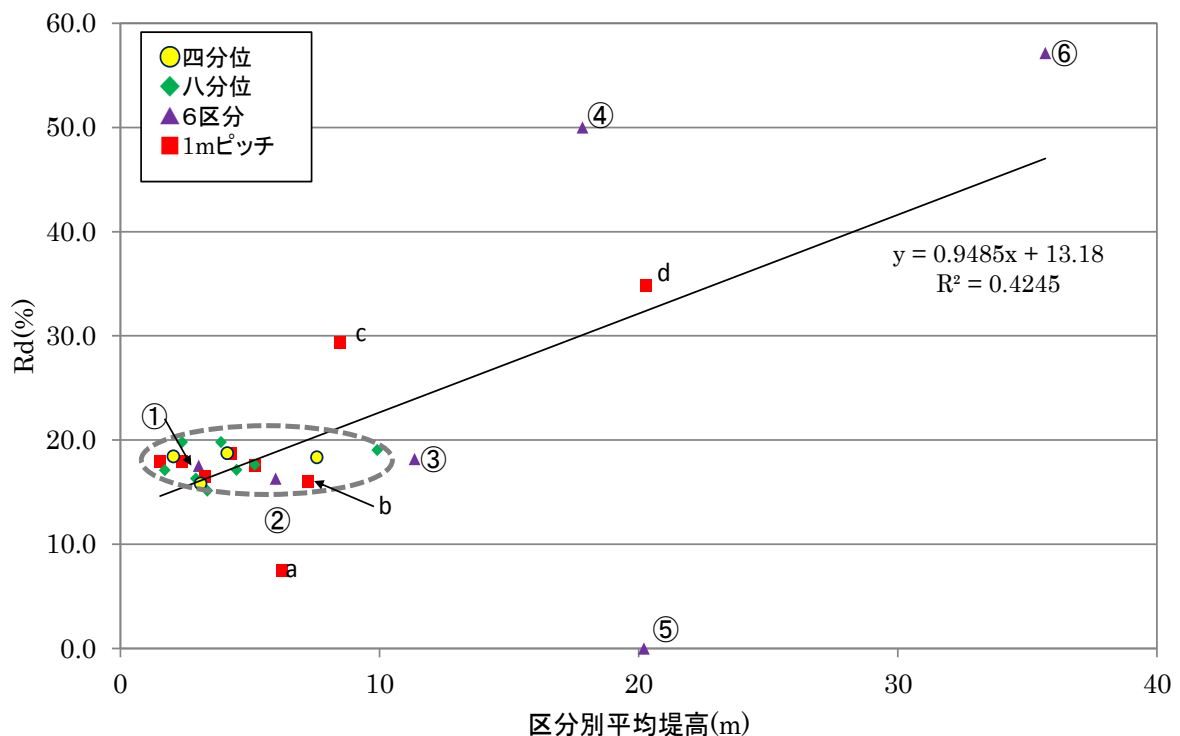


Fig. 6-15 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の区分別平均堤高と被災率

Fig. 6-16 は、堤高区分毎の相対度数と  $R_d$  の変化を見るために、横軸に各  $H$  区間別の相対度数と縦軸に区分毎の  $R_d$  を色分け図示した。相対度数が 10%以上の灰色破線で囲ったところは、 $R_d$  が 15~20%のほぼ一定範囲内にあり、相対度数が小さくなるほど  $R_d$  の増減が大きくなっている。因みに、Fig. 6-15 で 6 区分の紫▲に①~⑥まで番号付けのものと同じ番号を Fig. 6-16 の同じ 6 区分の紫▲プロットにつけたが、相対度数 1%以下では平均  $H$  が 17m 以上の④~⑥で  $R_d$  が大きく変動していた。これより、 $H$  の大きさを  $R_d$  が安定的に上昇する傾向は見出せない。さらに 1m ピッチの赤■にも  $H$  が小さい順に a~d を付けたものでは、■は相対度数が 5%を下回るところから一定幅を逸脱し、相対度数がさらに小さくなると  $R_d$  の増幅の度合いが益々大きくなる。加えて 0.5m ピッチの黒×で見ると、さらに相対度数と  $R_d$  の関係がよく分かる。即ち、 $R_d$  は  $H$  の高さで増加するものではなく、 $R_d$  算定の分母になる母数が少なくなることで、十分な度数が確保できず、統計的確率がバラついたと考えられる。そのため、 $R_d$  を算定する時は、当該区分内の相対度数を 10%程度は確保しなければ、信頼できる  $R_d$  は確保できないことになる。因みに、対象地域内 800 箇のため池で、 $R_d$  を求めるには、母数が 100 箇程度必要となる。

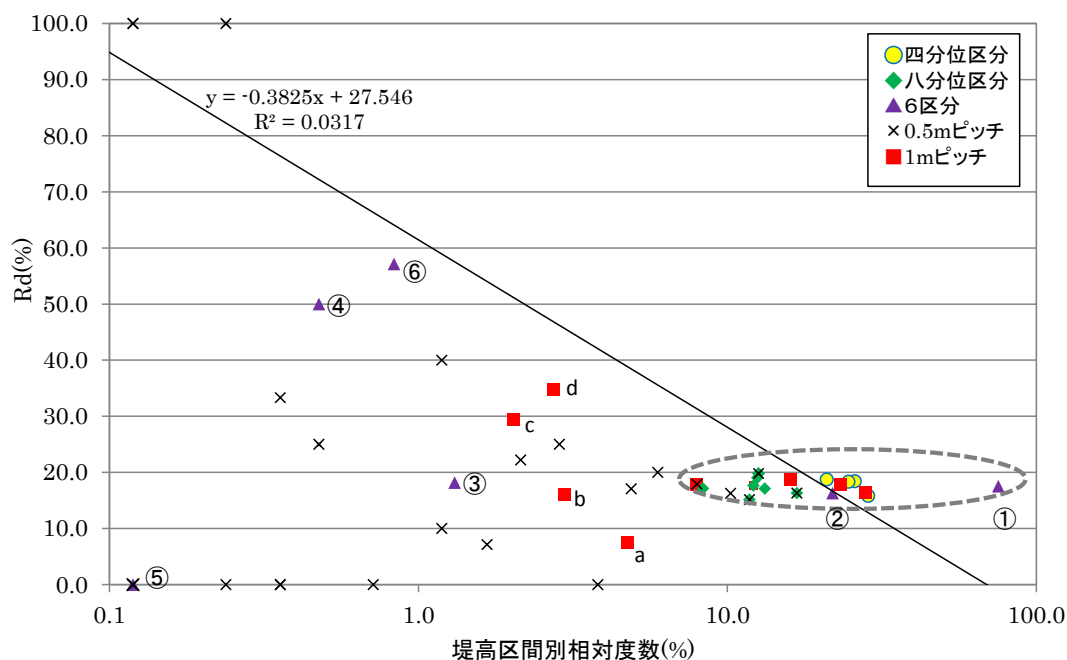


Fig. 6-16 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の区分別堤高相対度数と被災率

### 6.3.2 堤頂長と被災率

ここでは、前節の堤高 ( $H$ ) と同様な方法で、堤頂長 ( $L$ ) と被災率 ( $R_d$ ) の関係を検証する。

#### 6.3.2.1 堤頂長の定尺区分と被災率

ため池の  $L$  と地震動被災の関係进行分析した研究が殆どなく、谷ら (1998) も「特に関係は見られない」として、関連図表が全く提示されていない。そのため、オーソドックスな  $L=50\text{m}$  区分、Table 6-5 の形状係数 ( $L/H$ ) 区分を踏まえた  $L$  の定尺区分とし、四分位及び八分位区分で、 $R_d$  の関係を比較検討した。

先ず Fig. 6-17 は、対象全域のため池  $L$  を  $50\text{m}$  ピッチで、① $L=0-50\text{m}$  未満、② $L=50-100\text{m}$  未満、③ $L=100-150\text{m}$  未満、④ $L=150-200\text{m}$  未満、その後を⑤ $L=200-300\text{m}$  未満、⑥ $L=300\text{m}$  以上の 6 分割し、前節と同様に区分毎の池数の棒グラフと  $R_d$  の折線グラフである。対象全域の①と②区分の合計度数は 84% で、 $R_d$  は①の 10% 台から順次上昇し、⑤の  $L=200-300\text{m}$  未満でピーク  $R_d$  が 50% となった。

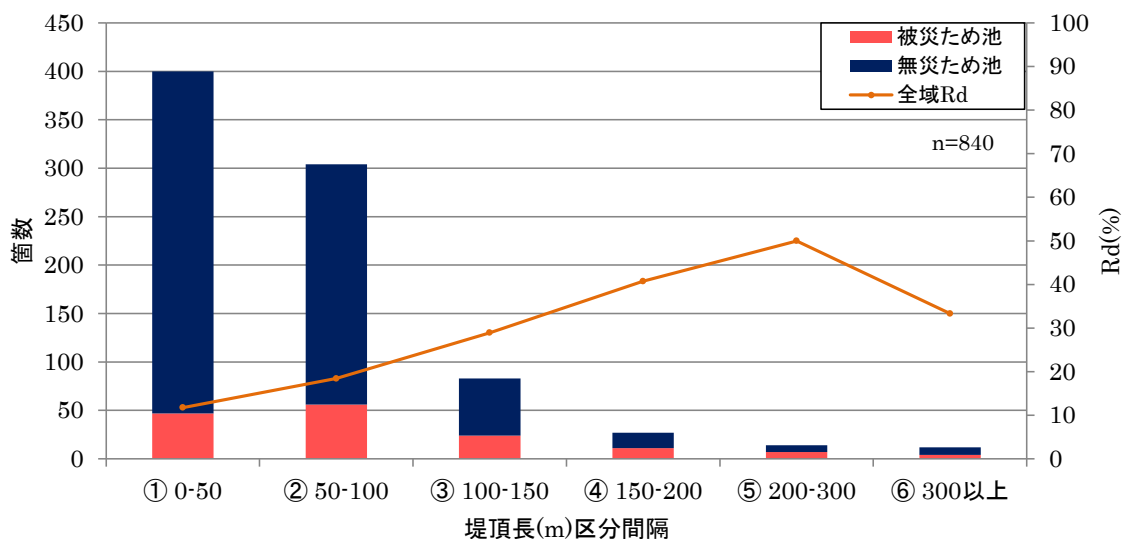


Fig. 6-17 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤頂長別 (50m ピッチ) 被災率

Fig. 6-18 は、Table 6-5 から  $L$  の区分間隔を逆算して、① $L=12.5$ m 未満、② $L=12.5-50.0$ m 未満、③ $L=50.0-112.5$ m 未満、④ $L=112.5-200$ m 未満、⑤ $L=200-600$ m 未満、⑥ $L=600-900$ m、⑦ $L=900$ m 以上の 7 分割し、対象全域ため池を①～⑦の区分毎に池個数の棒グラフと  $R_d$  の折線グラフである。①から③の合計度数は 89% であるが、 $R_d$  は①の 20% 台から②で 10% 台に一端低下し、その後、⑤で緩いピーク  $R_d=41\%$ （区間度数 8%）となり、さらに⑦で  $R_d=100\%$  に跳ね上がっており、全体的には  $L$  が長くなるに伴って  $R_d$  は上昇傾向であった。

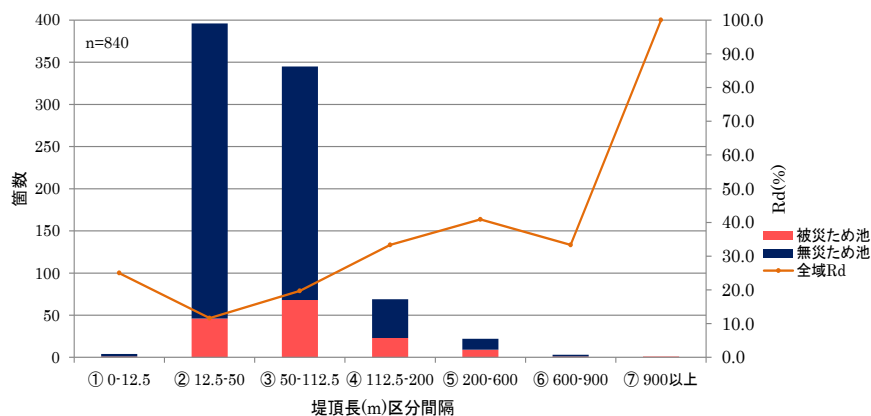


Fig. 6-18 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤頂長別(形状係数ベース)被災率

Fig. 6-19 は、正の非対称分布の初期区間を細分化し、 $L=100$ m までを 20m ピッチで①～⑤に 5 分割し、 $L=200$ m までを 50m ピッチで⑥と⑦の 2 区間に、さらに  $L=200$  以上の⑧で区分し、池個数の棒グラフと  $R_d$  の折線グラフである。全域の①～③までの合計度数は幾分低下し、 $R_d$  は最長区間⑧まで一貫して上昇して  $R_d=40\%$  を超えていた。

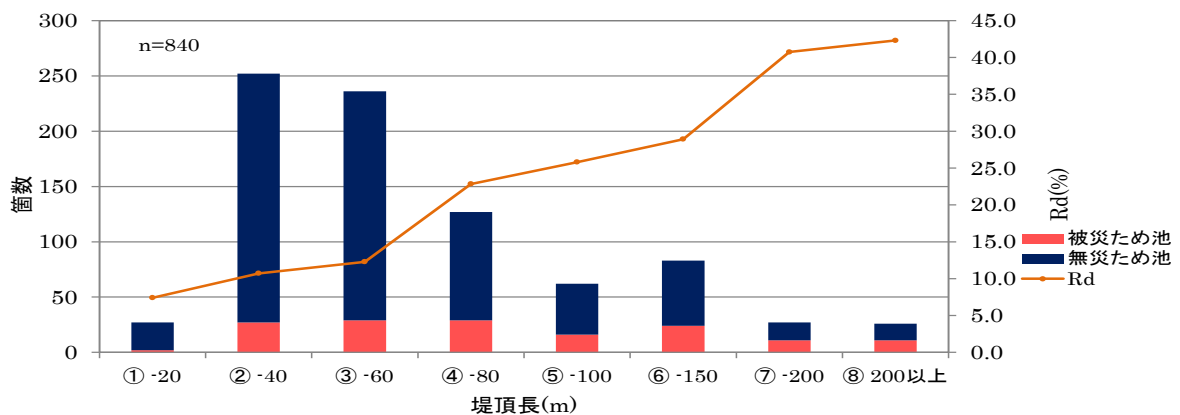


Fig. 6-19 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤頂長別 (20m ピッチ) 被災率

### 6.3.2.2 堤頂長の統計的区分と被災率

Fig. 6-20は、対象全域及び集中域のため池 $L$ を10mピッチの累積度数分布で最大200mまでの図である。図中の累積度数25%（第1四分位） $L$ の長さは、全域と集中域共に $L=35\text{m}$ であるが、同50%では集中域の方が4m長くなっている。即ち、盆地内の集中域内の $H$ は低めでも、 $L$ は若干長めの割合が多かった。また、被災池は第1四分位値が両域共に42mで、全池35mよりも7mも長く、さらに被災池の第2四分位値で $L=68\text{m}$ と全域全池より20m長くなっており、 $L$ が大きいほど $R_d$ が大きくなる傾向である。

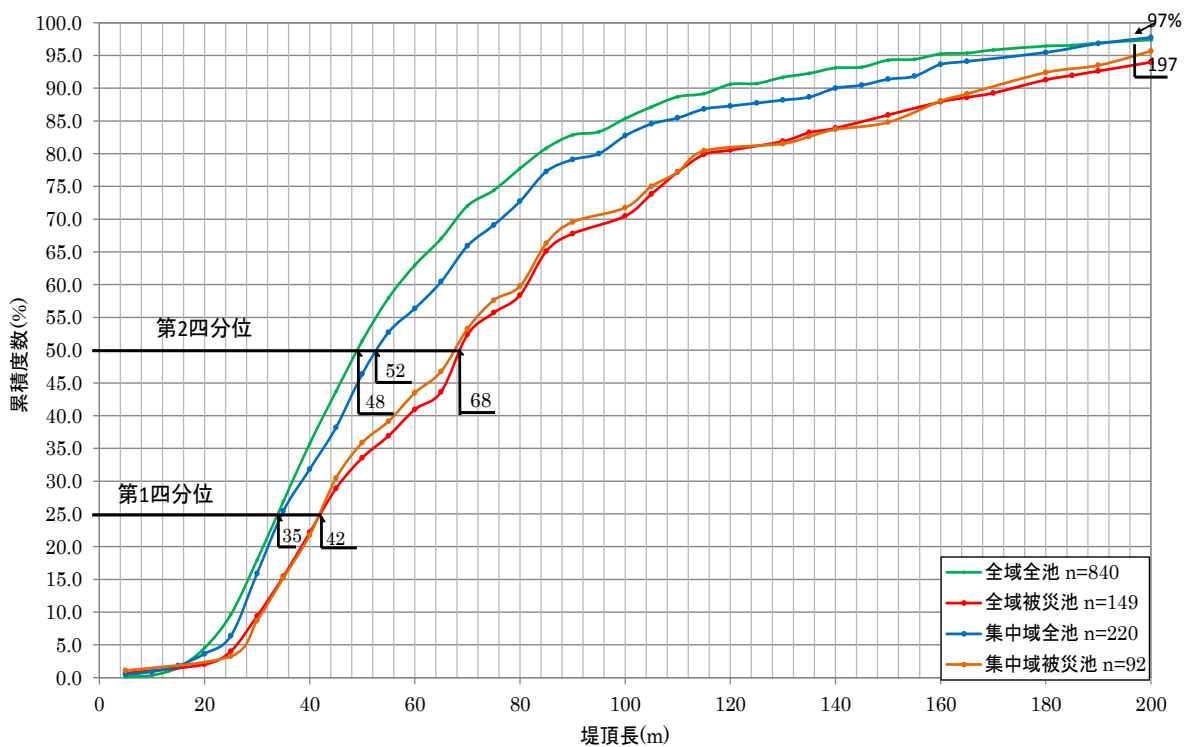


Fig. 6-20 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤頂長累積度数分布

Fig. 6-21 では、対象全域の  $L$  について四分位と八分位区分し、各分位区間の被災と無被災で分けた池数の棒グラフと  $R_d$  の折線グラフを図示した。因みに、四分位は被災池を黄、無被災（無災）池を紫色に、八分位では被災池を赤、無被災（無災）を青色に、各々の池数分だけを棒グラフにした。両分位とも  $L$  が大きくなるに伴い下側の被災池数が徐々に増加した。被災率  $R_d$  では、四分位の黒線は堅調な右肩上がりで、八分位のオレンジ線は第3から第5にかけて若干の浮沈はあるが概ね順調な上昇傾向を示している。特に第3から第4四分位間及び第5から第6以上の八分位で被災池数が大きく増加しており、八分位  $L$  の最長区間  $R_d=35\%$  超と最短区間  $R_d=8\%$  では、 $R_d$  が 4~5 倍大きい。

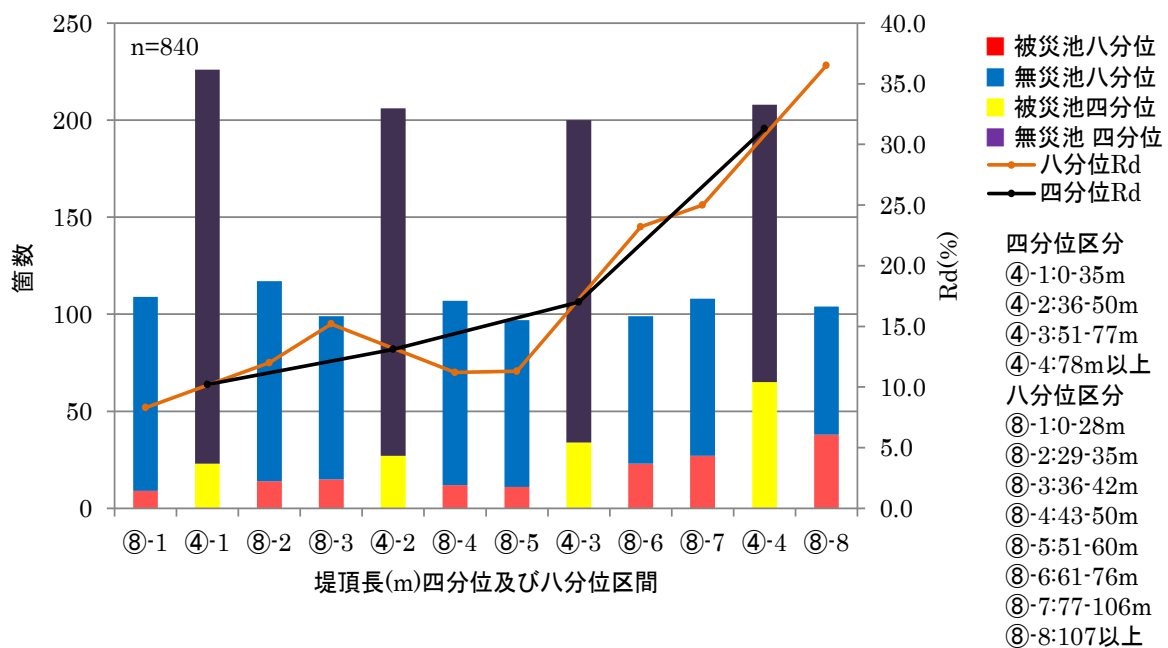


Fig. 6-21 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の四分位・八分位堤頂長別被災率

Fig. 6-22 は、横軸を対象全域の堤頂長 ( $L$ ) として、 $L$  が 10m ピッチ、Fig17~Fig19 及び Fig. 6-21 の各ロッド内平均堤頂長と  $R_d$  を縦軸にプロットし、区分毎に結んで重ね合わせたものである。但し、スケールは  $L=360m$  までとした。先ず、 $L=10m$  ピッチ(青線)では、 $L=15m$  以上 80m までは比較的  $R_d$  の振れ幅は大きくなかったが、それ以上は  $R_d=0 \sim 100\%$  で大きく振れ、母数が少ない状態で  $R_d$  は安定しないことが再確認できた。 $L=20m$  ピッチ (緑線) は安定的であるが、 $L=100m$  以上は Fig. 18 の 50m ピッチと 100m ピッチの  $R_d$  で、 $L=400m$  を超える範囲はスケール外にある。Fig. 6-17 の 50m ピッチ 6 区分 (紫線) では、母数が少ない  $L=200$  以上で  $R_d$  が 50% と最も高くなっている。Fig. 6-18 の形状係数区分 (ピンク線) では、 $L=400m$  以上が含まれず、 $R_d$  の初期区間以外は安定している。Fig. 6-21 の四分位 (オレンジ線) と八分位 (赤線) は、共に他の全ての曲線の間を通過し、 $R_d$  線全体の代表的な線と見なすことができる。

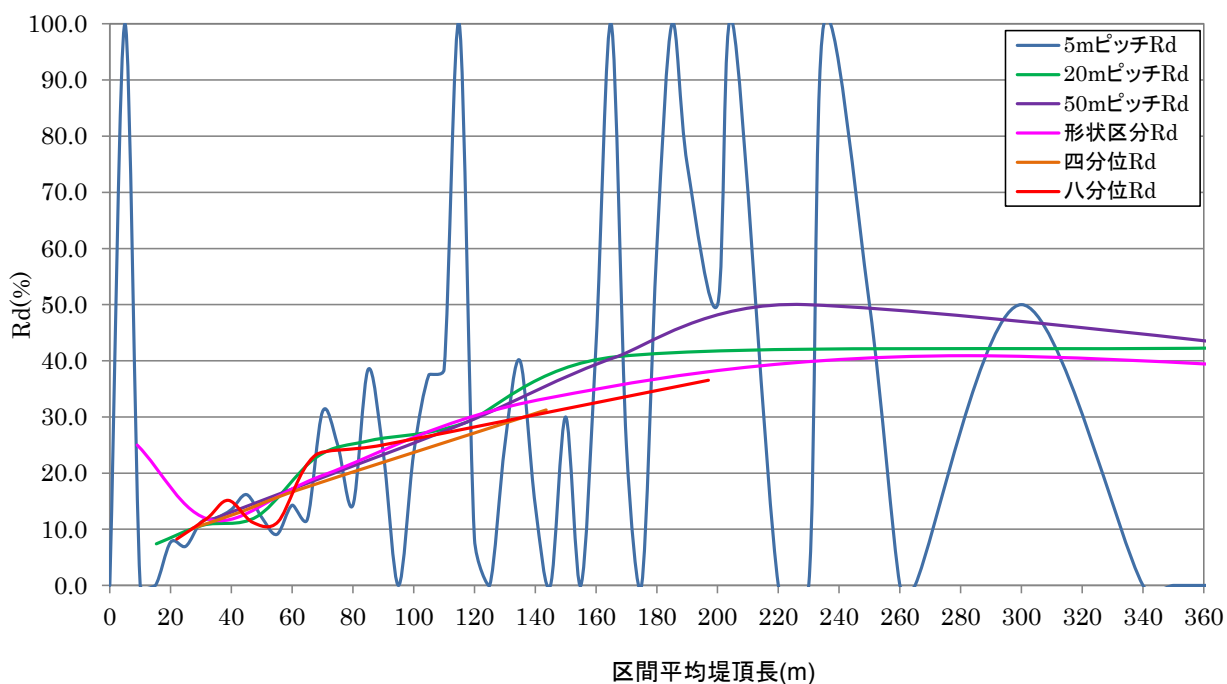


Fig. 6-22 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の区分別平均堤頂長の被災率比較

### 6.3.2.3 堤頂長の四分位・震度・堤軸角度別区分と被災率

Fig. 6-23 では、Fig. 6-11 と同様に横軸にため池推計震度を 4 区分し、縦軸に推計震度別に堤頂長  $L$  と被災度を色分けプロットした。無災池の堤頂長は Fig. 6-11 と同様に下方領域に表示し全体の被災傾向を見たが、震度が大きくなるに伴い被災池数が増えると共に、特に  $L$  が長い方にその傾向が強く見られる。

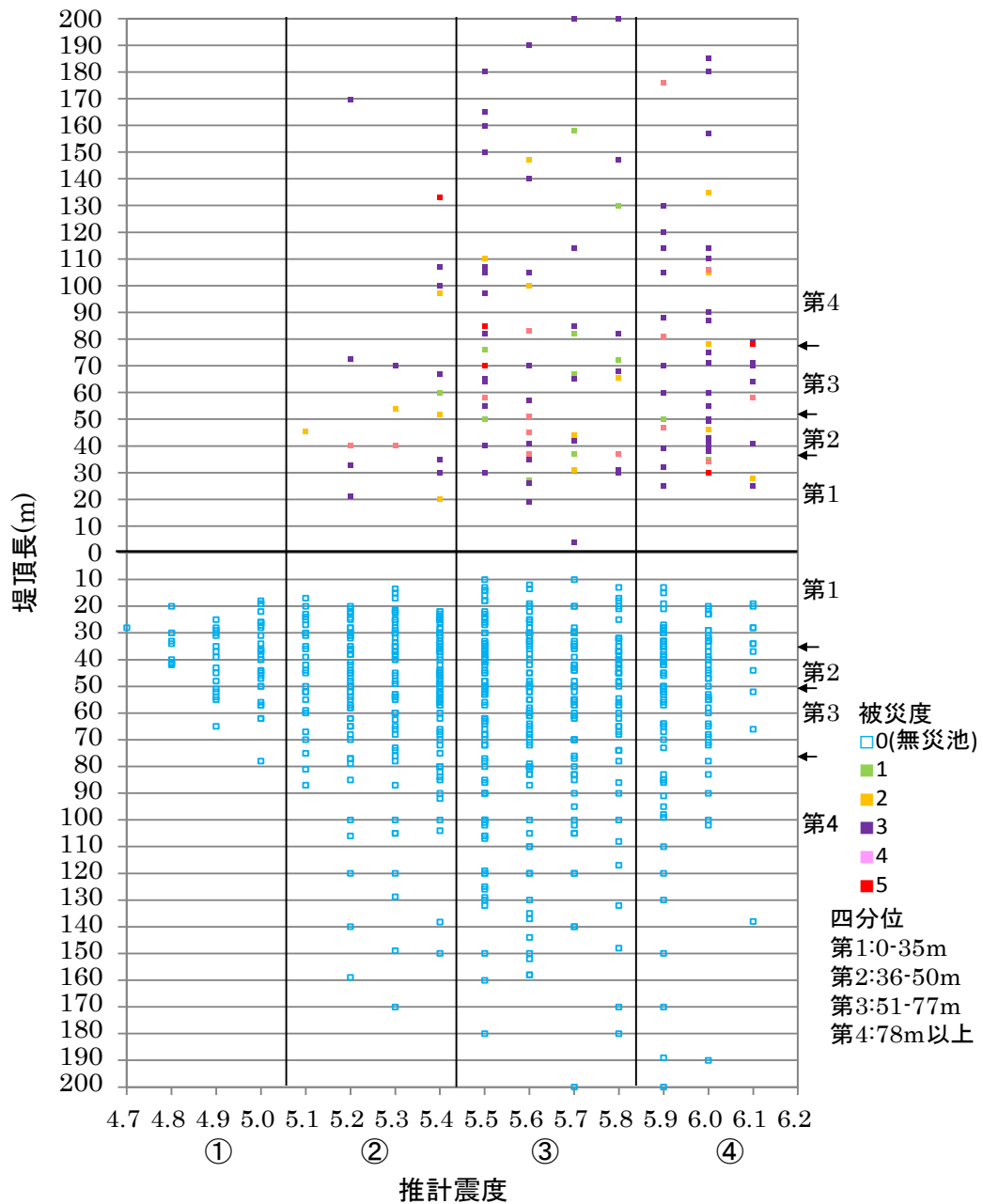


Fig. 6-23 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の震度と堤頂長別被災



Fig. 6-24 は、Fig. 6-12 と同様に横軸に Fig. 6-23 の 4 震度区分と縦軸に  $L$  の四分位を合成した 16 ロッド毎の  $R_d$  を図示した。全ての  $L$  区分で①震度区分（震度 5.0 以下）は  $R_d=0\%$  であり、震度が大きくなるに伴って各  $L$  区分とも確実に  $R_d$  の増加は見られるが、 $L$  が最長の第四分位（緑線）では、常に  $R_d$  の値が他の区分より常に大きく、概ね第 1 区分（赤線）の 3 倍、第 3 区分（紫線）の 2 倍になっている。

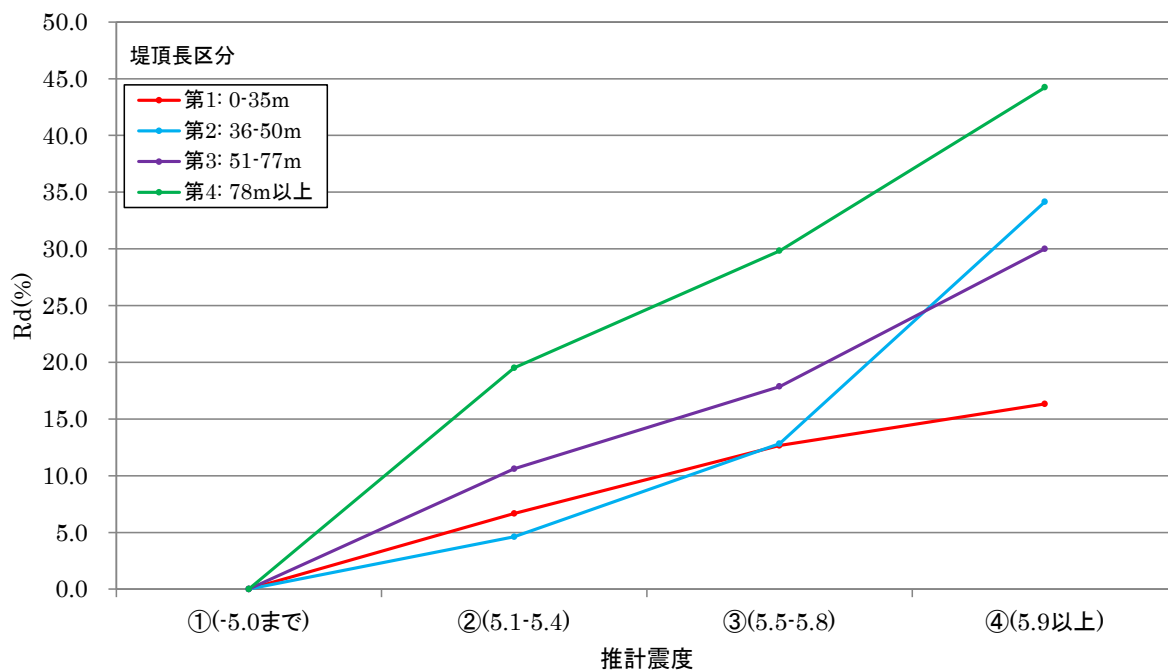


Fig. 6-24 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の震度及び堤頂長区分別の被災率

Fig. 6-25 では, Fig. 6-13 と同様の方法で対象全域ため池を  $\omega_i$  と  $L$  及び被災度別に色分けプロットした.  $\omega_i$  が①及び②の  $0-180^\circ$  区間の時と比較し, ③及び④の  $180-360^\circ$  区間の方が被災池は多くなり, また  $L$  の長い池の被災が多いことが分かる.

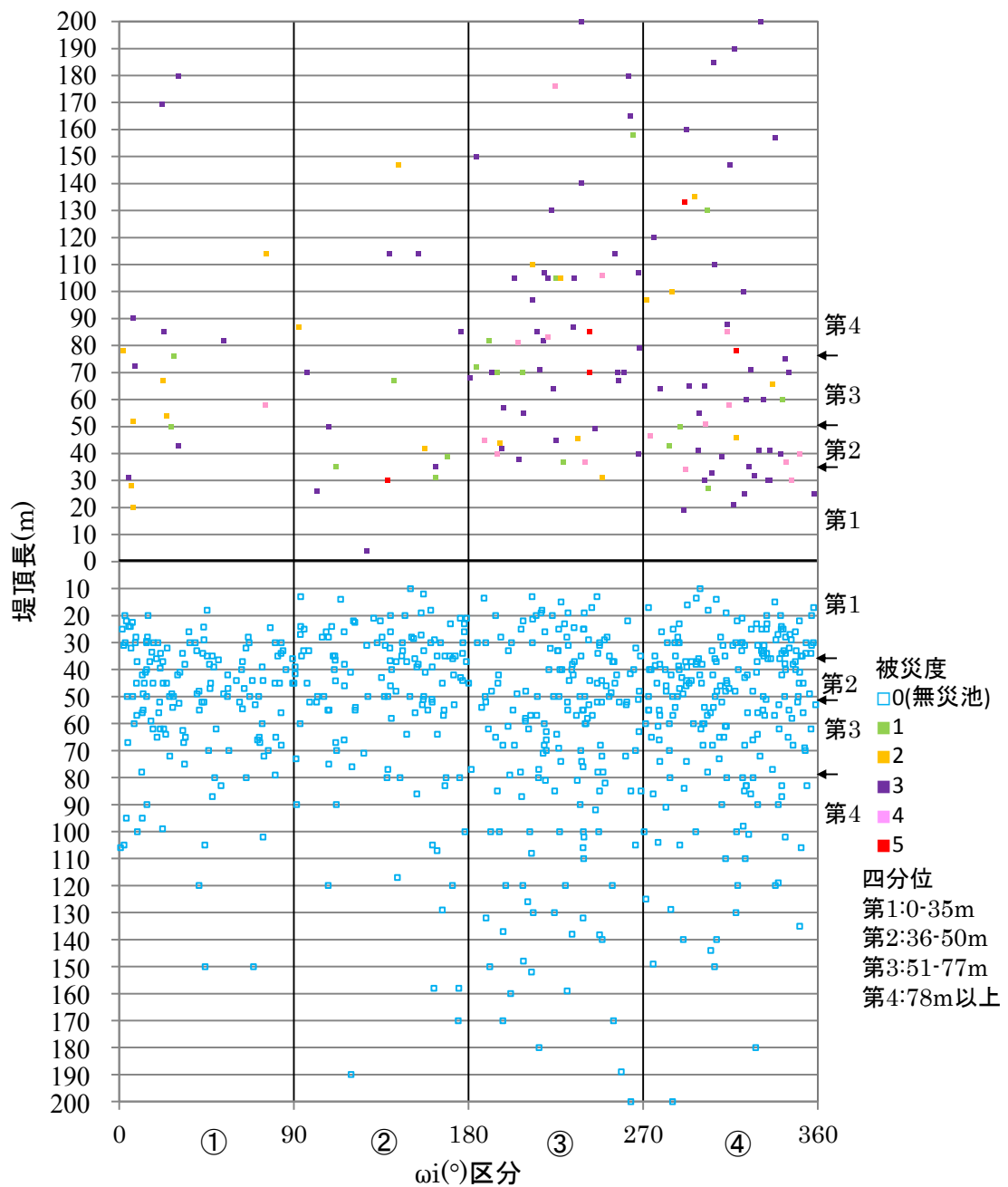


Fig. 6-25 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤軸震央方向角度と堤頂長別被災

Fig. 6-26 では、Fig. 6-13 と同様に横軸に Fig. 6-25 の 4  $\omega_i$  区分と縦軸に  $L$  の四分位を合成した 16 ロッド毎の  $R_d$  を図示した。  $L$  が最長（第 4）区分（緑線）では、全ての  $\omega_i$  区分で  $R_d$  が常に高いレベルにあり、  $L$  が長い方が  $R_d$  は大きくなるのがここでも明らかになった。一方、  $L$  が短い区分では堤体上流が震央方向側（ $\omega_i=0-180^\circ$ ）にある場合は、ピンクの破線で囲ったように  $R_d$  は全般に低い。また、堤体下流が震央方向側（ $\omega_i=180-360^\circ$ ）では、黄色破線で囲ったように  $R_d$  が一段高くなっていた。これは Fig. 6-24 の震度との関係ほど明確ではないが、  $L$  が長いほど堤軸向き（ $\omega_i$ ）の影響を受けて  $R_d$  が大きくなり、  $L$  が長い（緑線）場合の  $R_d$  は、他より概ね 1.5~2 倍となっていた。

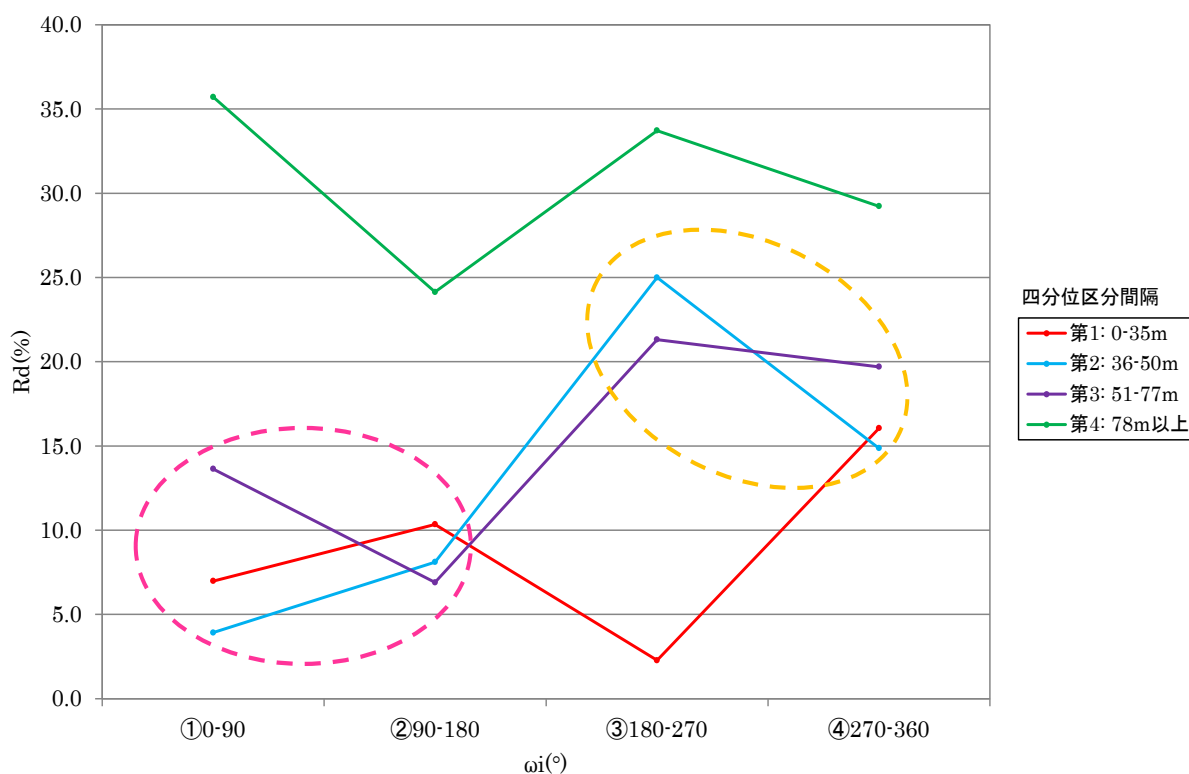


Fig. 6-26 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤軸震央方向角度及び堤頂長別被災率

### 6.3.2.4 堤頂長と被災率のまとめ

Fig. 6-27 では、 $L$  について Fig. 6-15 と同様、区分ロッド毎の  $L$  の平均と  $R_d$  の関係の色分けプロットし、その回帰式を図示した。回帰線自体は  $L$  の増大に伴い  $R_d$  も増加して見えるが、傾き 0.06、 $R^2=0.290$  で Fig. 6-15 と比較して正の相関は低く、傾きも緩くなっている。図中、灰色破線で囲った四分位と八分位区分の  $R_d$  は、回帰線の傾きより急で、相関も高いことが分かる。因みに、破線の範囲は  $L=200\text{m}$  未満で、第 8 八分位区間の平均  $L=197\text{m}$  は、Fig. 6-20 の累積度数 97%（標準偏差的には  $2\sigma$  と  $3\sigma$  の間）に当たり、大部分の堤頂長を包含している。図中に Fig. 6-15 と同様、最も  $R_d$  の振れ幅の大きい形状区分の黄土 ▲ を平均  $L$  の小さい方から順に①～⑦の番号を付けたが、④までは灰色破線の中にあり、⑤の平均  $L=280\text{m}$  で  $R_d=41\%$  と距離が④の倍近く長くなった割に  $R_d$  は余り上ってない。また⑥では平均  $L=810\text{m}$  で⑤の約 3 倍の長さになったが、 $R_d$  は④と同じレベルまで下がった。さらに⑦では、平均  $L=930\text{m}$  で⑥より少しだけ長くなっただけで、 $R_d=100\%$  まで跳ね上がった。20m ピッチの赤 ■ も同様に、 $L$  が大きくなるに従って  $R_d$  が上下に大きく振れていることが分かる。さらに 50m ピッチ紫 ▲ について、同様に平均  $L$  が短い順に a～f を付けて観察すると確かに a から e までは  $L$  が長くなるに従って  $R_d$  は大きくなるが、この上昇パターンは f で降下している。

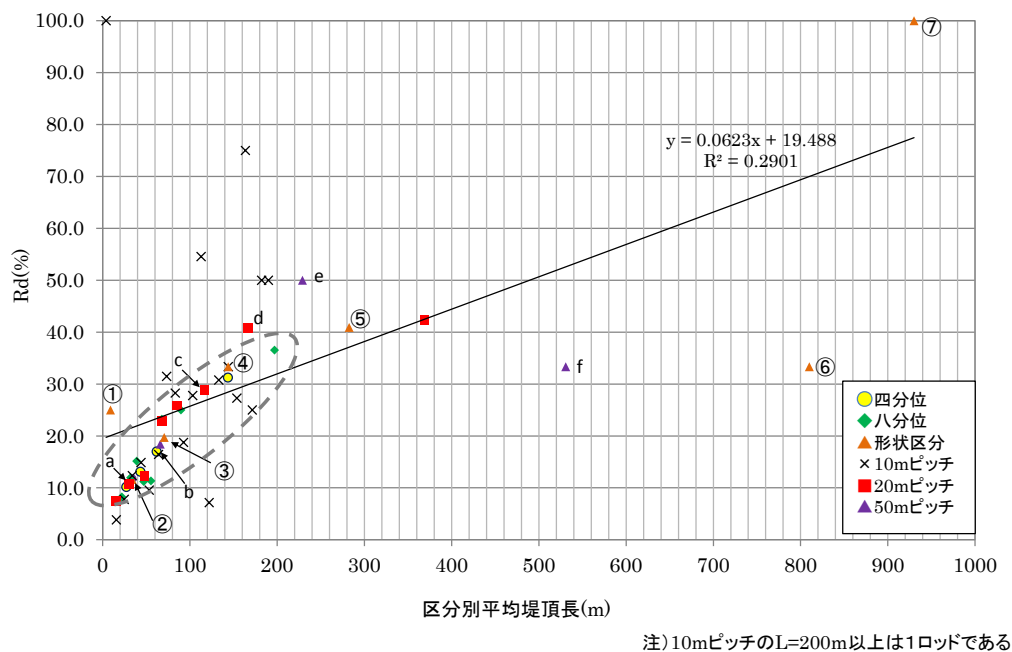


Fig. 6-27 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の区分別平均堤頂長と被災率

Fig. 6-28 では Fig. 6-16 と同様に  $L$  の区分別相対度数と  $R_d$  の関係を図示した。堤高  $H$  の時とは違って、灰色点線で囲った八分位緑◆の相対度数 10%以上で  $R_d=8\sim 37\%$  と 4~5 倍の差があった。これは最短の平均  $L=22\text{m}$  及び最長の平均  $L=197\text{m}$  であり、 $L$  が 10m 長くなる毎に  $R_d$  は 1.62% 上昇する傾きになる。また、灰色破線の四分位黄●の相対度数 20%以上では、 $R_d=10\sim 32\%$  と長短間に 3~4 倍の差があった。

Fig. 6-16 においては、 $R_d$  は  $H$  に関係なく 15~20% の範囲でほぼ一定であり、全般的に相対度数が小さくなるほど  $R_d$  の増減幅が大きくなることを確認したが、Fig. 6-28 では、 $R_d$  が  $L$  の長さに応じて大きくなる中で、 $L$  の区間別相対度数と  $R_d$  の変動を観察する必要がある。そのため、Fig. 6-27 では、先ず八分位区分のプロットを囲った灰色点線の上下限に  $L=200\text{m}$  相当の  $R_d=38\%$  線と  $L=20\text{m}$  相当の  $R_d=8\%$  の所にピンク色一点破線で平行線を引いた。また、振れ幅が最も大きい形状区分黄土▲を平均  $L$  が小さい順に①~⑦の番号を付けた。因みに、これと同じ番号が Fig. 6-27 にも付けてある。先ず、①は  $L$  が最も短く、度数が 1% を下回っており平行線のほぼ中間にあり、②~③は灰色破線の右側（相対度数が大きい）にあって、四分位の同じ平均  $L$  とほぼ同じ  $R_d$  水準にある。④は平均  $L=144\text{m}$  であるが、灰色点線の左側（相対度数は 10% 以下）にあり、八分位の同じ平均  $L$  とほぼ同じ  $R_d$  水準にある。⑤は平均  $L=282\text{m}$  の相対度数 3% でほぼピンク線上にあるが、同じ平均  $L$  とほぼ同じ  $R_d$  水準にある。⑥は平均  $L=810\text{m}$  の相対度数 0.4% でピンクの延長線の下側にあり、低い  $R_d$  水準になっていた。⑦には  $L=930\text{m}$  の被災池 1 箇だけで  $R_d=100\%$  で過大である。同様に 50m ピッチ・6 区分紫▲で a~f を付けて検討したが、結果は形状区分と殆ど同じであった。

これは Fig. 6-16 の考察結果と同じで、相対度数 10% では安定的であった  $R_d$  が、度数 5% を切ると本来あるべき水準から逸脱が始まり、さらにその度数が小さくなると  $R_d$  の増幅の度合いが益々大きくなる。即ち、 $R_d$  は相対度数 10% が確保される場合は  $L$  の高さで増加するが、相対度数（母数）が 10% より低下すると統計的確率としてバラツキが大きくなる。 $R_d$  を被災池と無被災池から算定する時は、当該区分内の相対度数を 10% 程度（母数で 100 個程度）、最低でも 5% 以上確保しなければ、的確な被災率評価はできないことになる。

以上の考察結果から何故過去の被害研究では真逆の結果となったかである。正の非対称分布のため池では、大多数の  $L$  や  $H$  は小さいものばかりであり、 $R_d$  算定時の小規模池の相対度数（母数）は必然的に大きく、その分  $R_d$  はバラツキが少なく、かつ値が低くなる可能性が高い。逆にサイズの大きいため池は、計算時の母数が極めて少なく、 $R_d$  は極端に高くなるか又は低くなる可能性が高い。一般に堤高が大きいほど危険性が高いとされる中で、 $R_d$  が高い結果は説明が付き易く、特に疑う必要もない。一方、堤頂長  $L$  に関しては、少ない母数で  $R_d$  は大きく増減する中で、規模サイズは意識的に堤高に代表され、特に長い堤頂長と  $R_d$  の関係を深く考察するまでもなかったと考えられる。

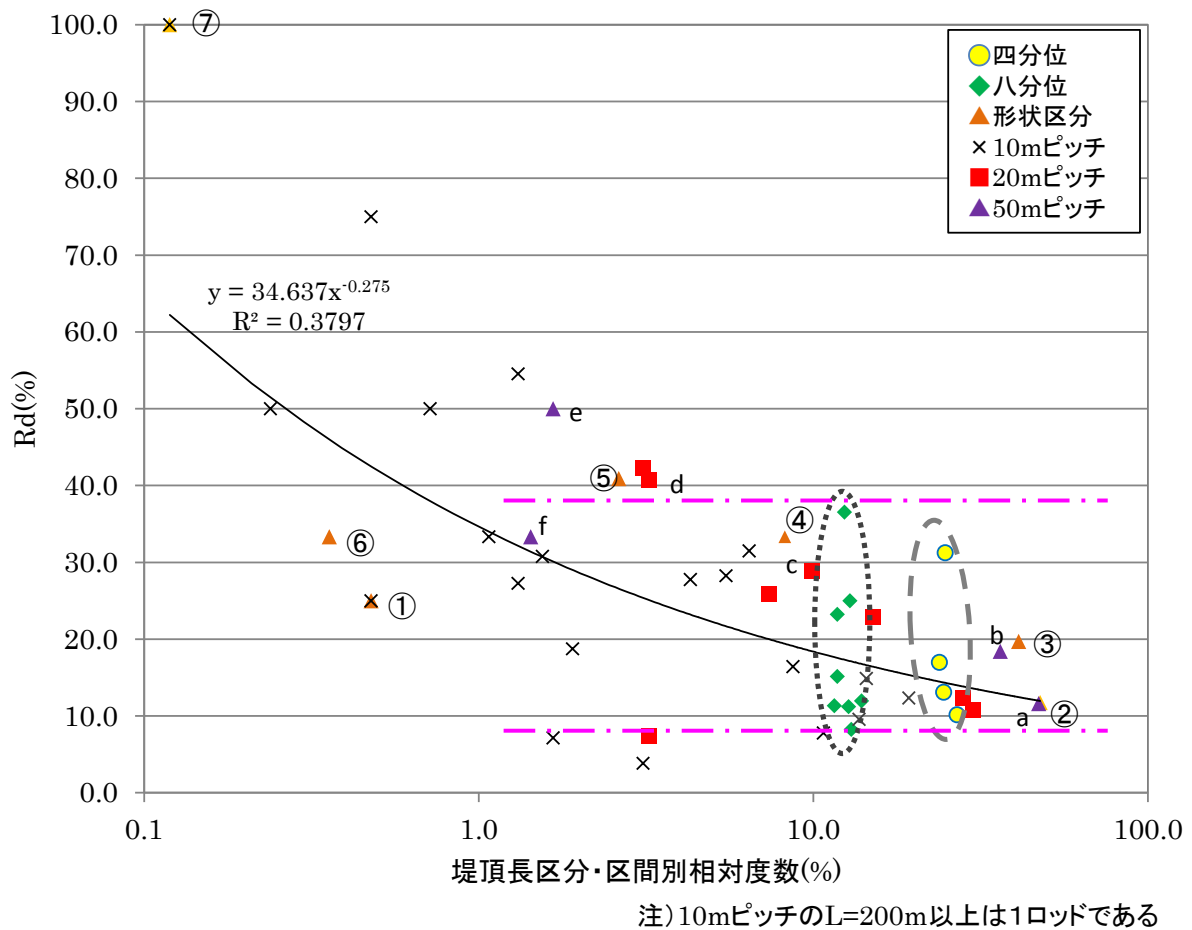


Fig. 6-28 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の区分別堤頂長相対度数と被災率

### 6.3.3 形状係数 ( $L/H$ )・体積係数 ( $L*H$ ) 別区分と被災率

谷ら (1987) は, Table 6-5 でため池を形状係数 ( $L/H$ ) で被害率 ( $R_d$ ) との関係を検証していた. 本節では, 先ず堤高 ( $H$ ) 及び堤頂長 ( $L$ ) と被災率 ( $R_d$ ) の関係を比較検討し, ( $L/H$ ), 体積係数 ( $L*H$ ) と順にその関係を検討する.

#### 6.3.3.1 堤高 ( $H$ ) 及び堤頂長 ( $L$ ) と被災率の関係

Fig. 6-29 は, Fig. 6-8 と Fig. 6-10 から  $H$  の四分位区分及び八分位区分別の  $R_d$  を, Fig. 6-22 からは,  $L$  の四分位及び八分位区分別の  $R_d$  を重ね合わせたグラフである. 前節の考察結果「 $H$  は  $R_d$  に関係なく,  $L$  は長いほど  $R_d$  は上昇」は, 過去の研究結果「 $L$  と被害率 ( $R_d$ ) は関係があり,  $L$  は  $R_d$  と無関係」と正反対の結果となっている. Fig. 6-29 からも前節の考察結果が明らかで,  $H$  の  $R_d$  は, 統計的確率は 15~20% の狭い変動範囲にあり,  $L$  では, 最短の 7% から最長の 35% と 5 倍以上の開きがある.

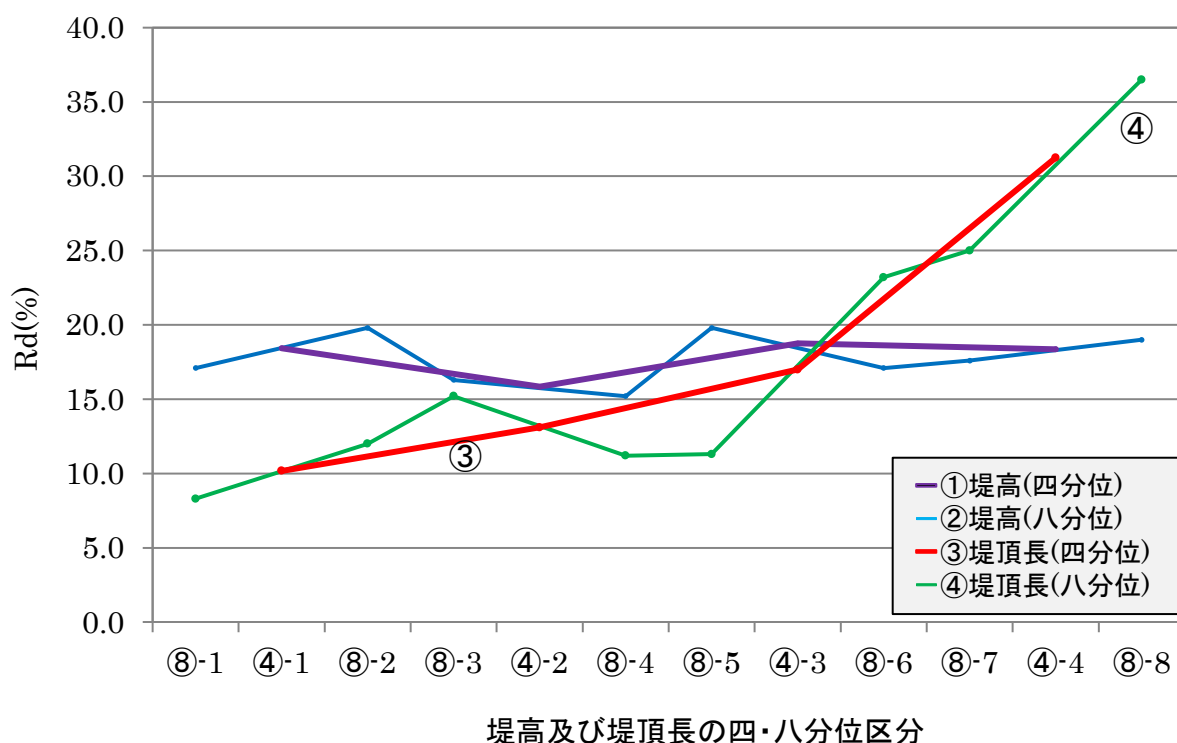


Fig. 6-29 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の四・八分位区分堤高及び堤頂長被災率

$H$  及び  $L$  と  $R_d$  の関係を比較するため、Fig. 6-30 には  $L$  を横軸に  $H$  を縦軸として被災度別に色分けでプロットした。ため池の規模を考慮した判読のためにスケールを  $L=200\text{m}$  以下、 $H=20\text{m}$  以下に制限した。被災ため池は比較的高い  $H$  と長い  $L$  にもランダムに見られ、敢えて言えば長い堤頂長側に被災池が多めの傾向である。因みに、Table 6-5 でのため池の  $L/H$  と被害率 ( $R_d$ ) の関係分析を踏まえ、形状係数 ( $L/H$ ) 10 のラインを真中斜め線に引いたが、 $L/H=5$  以下では該当ため池が極めて少なく、 $L/H=10$  以上ライン付近に被災池がより集中している感がある。

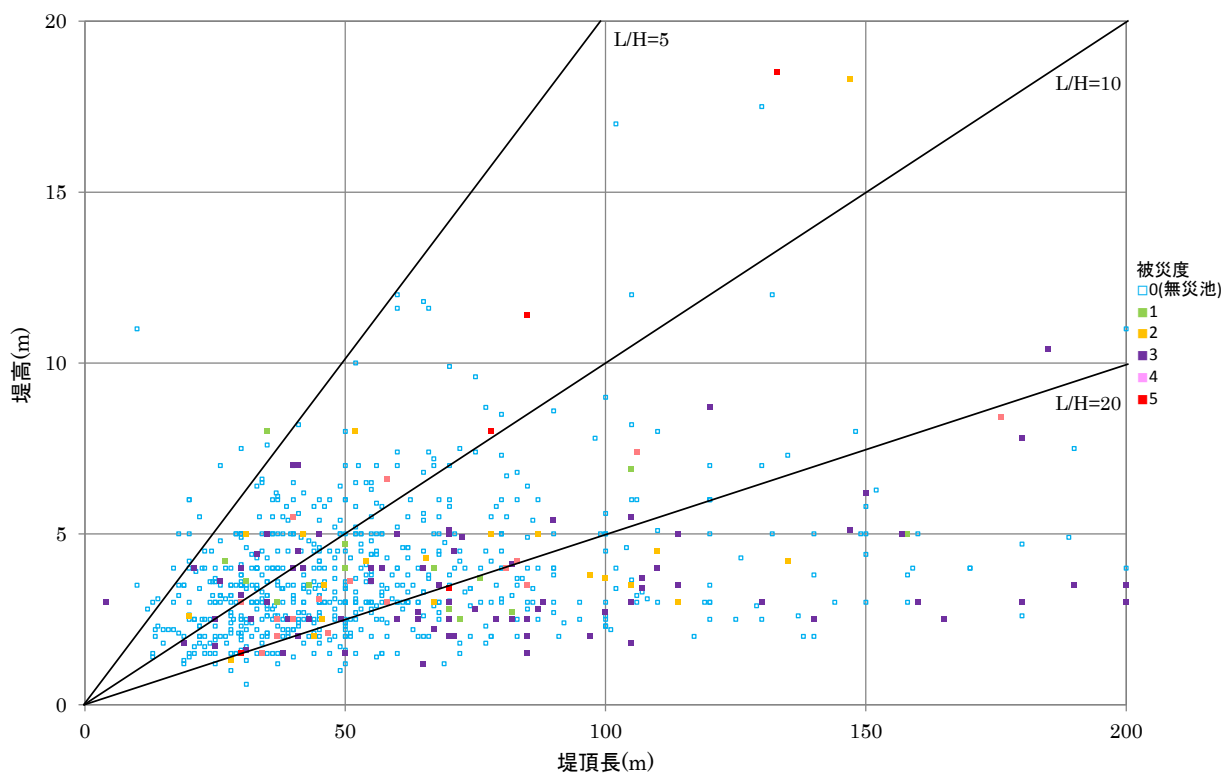


Fig. 6-30 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高及び堤頂長と被災度



### 6.3.3.2 形状係数と被災率

Fig. 6-31 は、Table 6-5 と同じ区分間隔で対象全域を  $L/H$  で区分して被災池を赤、無被災を青色の棒グラフと各ロット別に  $R_d$  を計算してオレンジ折線で結んだ。また、Table 6-5 の日本海中部地震の紫色  $R_d$  線を重ね合わせて比較した。谷らが「 $L/H=5$  を超えると被害率はほぼ同じで、5 以下では率は小さくなり、2.5 以下では被害は発生していない」とした結果が紫線に反映されている。両  $R_d$  線は  $L/H$  が 20 未満までは概ね類似した傾向を示しているが、係数 20 以上では対象全域の  $R_d$  が 2 倍以上になっている。この背景には、日本海中部地震の被災エリアの  $L/H = 20$  以上の全池数が相対的に大きいことで、 $R_d$  が上昇しなかったことが考えられる。また、 $L/H=2.5\sim 5$  未満では、池母数が少ないため、 $R_d$  が小さくなることが考えられる。

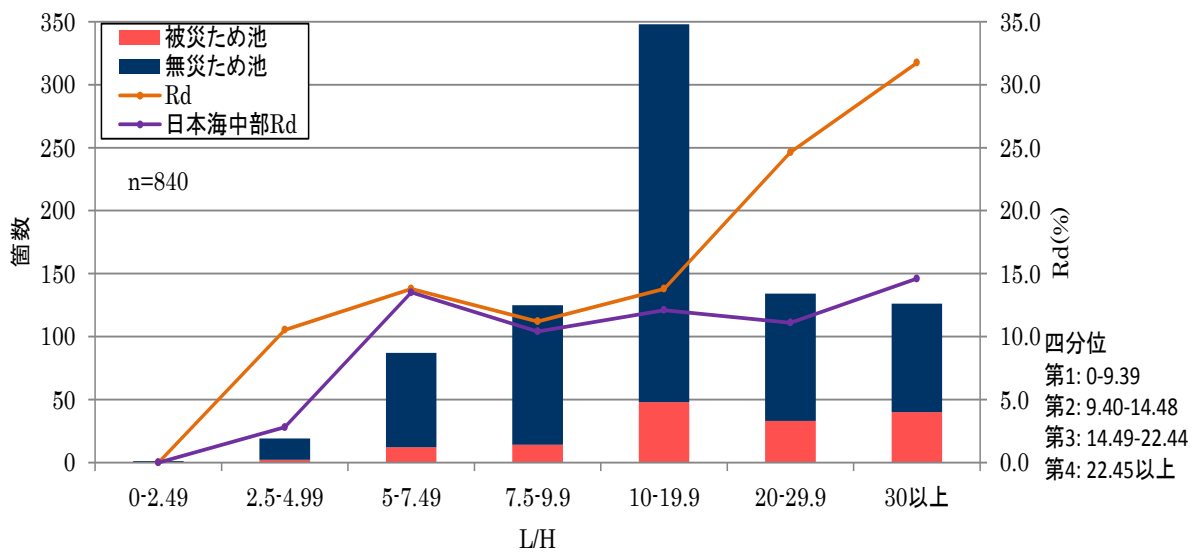


Fig. 6-31 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の形状係数と被災率

Fig. 6-32 (a) では、Table 6-5 から日本海中部地震の被害池数と無被害池数をピンクと青の棒グラフで、区分毎の  $R_d$  を折線グラフで図示した。また、Fig. 6-32 (b) は当該地震で被災した青森・秋田両県のため池 DB を分母とした場合の池数とその  $R_d$  である。Fig. 6-32 (a) の無災ため池に関するサンプル資料は、被災関係市町村から聞き取ったと有り、それ以上詳しくは分からない。Fig. 6-31 の対象全域のため池  $L/H$  別の度数分布と Fig. 6-32 (a) の分布形態では微妙に異なっているが、Fig. 6-32 (b) の度数分布の棒グラフでは、両方はかなり似かよっており、 $R_d$  の傾向も分母が対象域の 4 倍であるために全体として被災率は低下するが、区分毎の上昇傾向はかなり類似したものになった。さらに Fig. 6-32 (a) で  $R_d$  が  $L/H=5$  以上で増加しないのは、 $L/H=10$  以上無災ため池の個数が相対的に過大であったとも推定できる。因みに、 $L/H$  が大きくなるほど、通常、ため池規模も大きくなるため、数量として捕捉する確実性も高くなることが考えらる。何れにしても、ため池  $R_d$  を統計的確率で求める際には、如何に無災池数を的確に捕捉できるかが重要である。

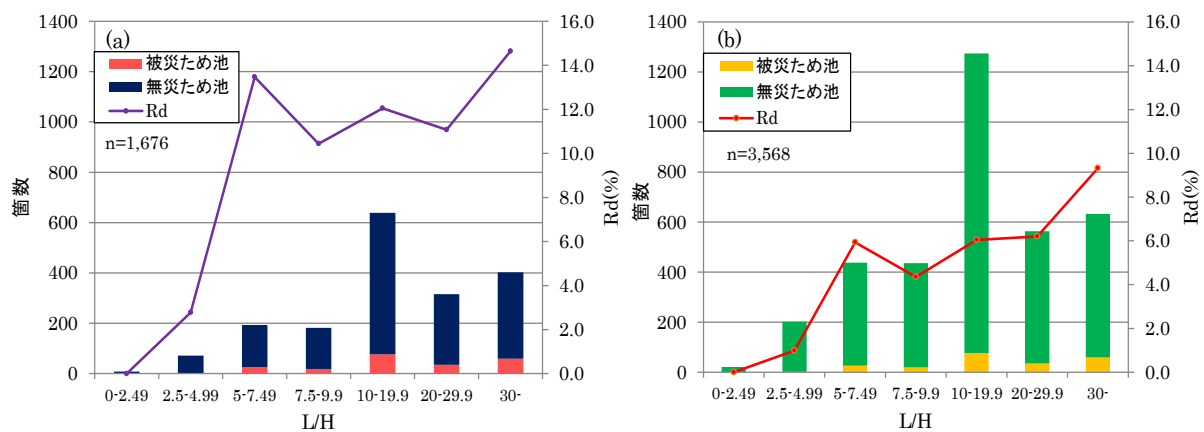


Fig. 6-32 日本海中部地震のため池形状係数と被災率

Fig. 6-33 は, Fig. 6-31 の  $L/H$  を 1.0 ピッチで区分した被災及び無災池のヒストグラムと  $R_d$  の折線グラフである. Fig. 6-31 でも  $L/H$  の増加に伴う  $R_d$  の顕著な上昇が見られたが, ここでは  $L/H$  が 20 までは  $R_d$  が幅 10~20% で上下し, 20 以上では上下振れ幅はさらに大きくなるが,  $R_d$  は概ね上昇傾向であった.

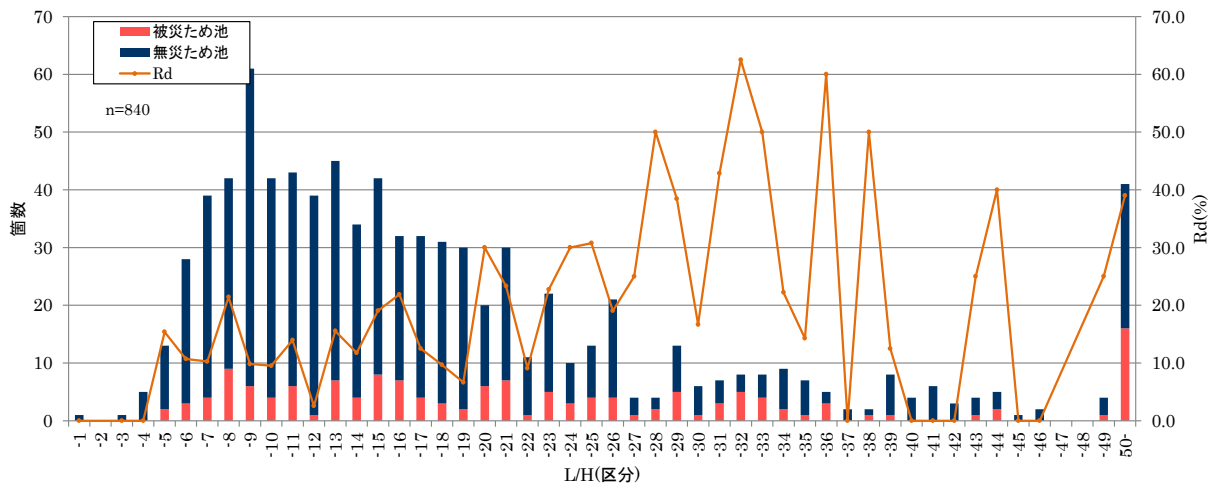


Fig. 6-33 東北地方太平洋沖地震福島県中・南域ため池の形状係数別 (1.0 ピッチ) 被災率

Fig. 6-34 では, Fig. 6-8 と同様に①第 1 の  $L/H=0-9.39$ , ②第 2 の  $L/H=9.40-14.48$ , ③第 3 の  $L/H=14.49-22.44$ , ④第 4 の  $L/H=22.45$  以上に四分位区分し, 区分ロッド毎の  $R_d$  をオレンジ折線で図示した. ①と②は  $R_d=11-13\%$  が, ③で  $R_d=18\%$  が上昇し, ④で  $R_d=30\%$  と急上昇している. ここから  $H$  に対して  $L$  の比率が大きい方が,  $R_d$  を押し上げると考えられる.

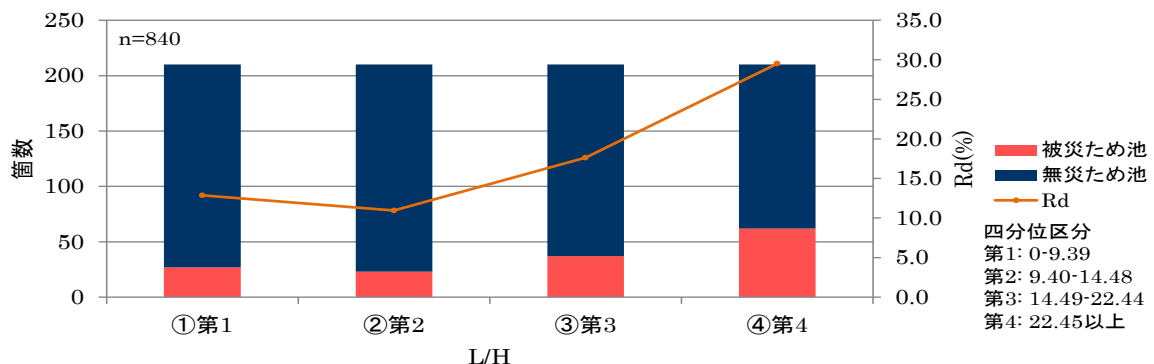


Fig. 6-34 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の四分位区分形状係数 ( $L/H$ ) 別被災率

### 6.3.3.3 体積係数と被災率

Fig. 6-35 は、対象域内ため池の  $L*H$  を①第 1 の  $L*H=0-101.5$ 、②第 2 の  $L*H=102.0-180.0$ 、③第 3 の  $L*H=181.0-312.5$ 、④第 4 の  $L*H=313.0$  以上の四分位に区分し、区分ロット毎の  $R_d$  をオレンジ折線で図示した。ここでは  $L$  と同様に段階的に  $R_d$  が上昇する形態となっている。

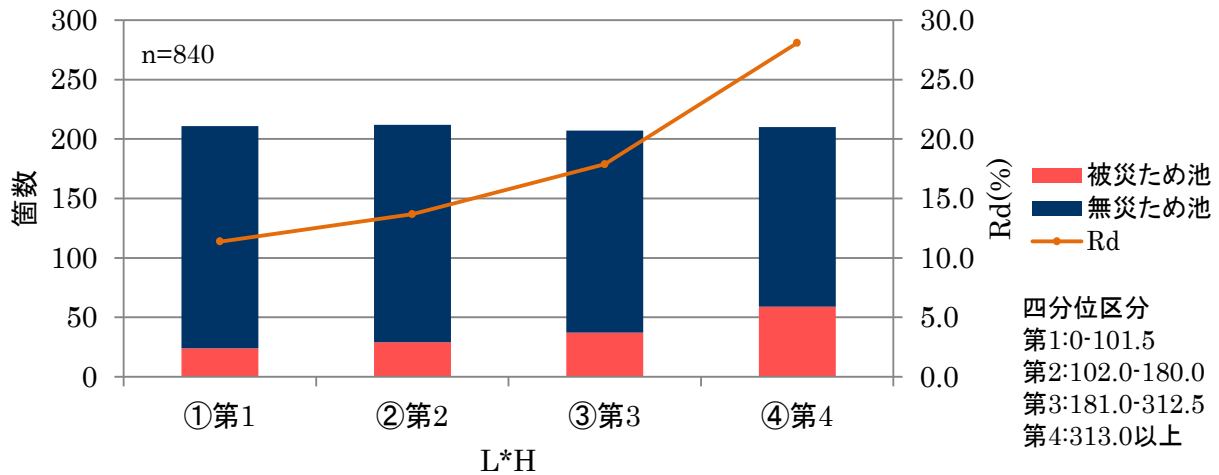
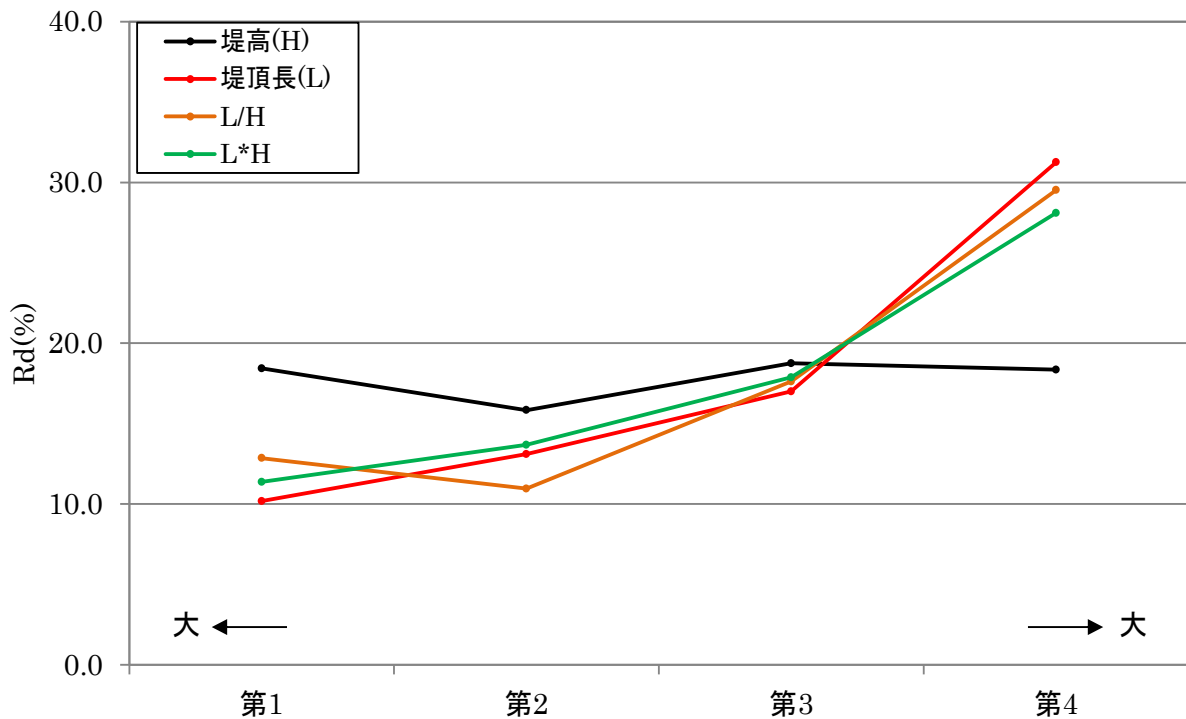


Fig. 6-35 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の四分位区分体積係数 ( $L*H$ ) 別被災率

### 6.3.3.4 堤体係数及び体積係数の被災率まとめ

Fig. 6-36 では  $L/H$  (オレンジ) と  $L*H$  (緑) の四分位  $R_d$  と  $H$  (黒) 及び  $L$  (赤) の 4 つを並べて比較した。  $H$  はほぼ一定で、  $L$  は右方上がりで  $L/H$  と  $L*H$  の  $R_d$  の変化に反映している。詳細に見ると、  $L$  は第 1 で最低、第 4 で最高と上下差が最も大きく、  $L/H$  は第 2 で  $H$  と一緒に  $R_d$  が低下している。一方、  $L*H$  の場合は  $L$  が  $H$  の標準で 10 倍以上のために、  $H$  の影響を  $L/H$  ほど受けないため、  $L*H$  が最低レベルの時の  $R_d$  は  $L$  と  $L/H$  の間になり、反対に  $L*H$  が最高レベルの時は、  $L/H$  よりも  $R_d$  が小さくなる。即ち、 Fig. 6-36 の結果は、「  $H$  の  $R_d$  はほぼ一定で、  $L$  の  $R_d$  は  $L$  が大きいほど上昇する」から推定可能であり、  $H$  と  $L$  の  $R_d$  における特性がさらに確認できた。



	第1四分位	第2四分位	第3四分位	第4四分位
H(m)	0-2.5	2.6-3.5	3.6-4.9	5.0-
L(m)	0-35	36-50	51-77	78-
L/H	0-9.39	9.4-14.48	14.5-22.44	22.5-
L*H	0-101.5	102-180	181-312.5	313-

Fig. 6-36 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体諸元及び四分位別被災率の比較

### 6.3.4 横断面形状と被災率

ため池の横断面形状に関する過去の被害研究には、「堤頂幅が大きくなるにつれて被災率が高くなる」、「堤高が同じ場合には、堤頂幅の大小は被害にあまり関係ない」、「どの堤高区分においても斜面傾度が緩くなると被災率が大きくなる」などの報告がある。ここでは、堤頂幅 ( $W$ ) と上下流法勾配 ( $1:U$  及び  $1:D$ ) 及び勾配比 ( $D/U$ ) に関して、前節までと同様の手法で各々検証すると共に、横断面形状の構成要素である  $H$  を組み合わせさせた  $R_d$  のクロス集計で比較検討する。

### 6.3.4.1 ため池堤頂幅（ $W$ ）と被災率

Fig. 6-37 には、対象域の堤頂幅（ $W$ ）を 1.0m ピッチで①～⑨に区分し、その区間毎池数のヒストグラムと各  $R_d$  オレンジ折線を図示した。 $W$  は③3m 未満までは  $R_d = 10\%$  余であるが、④3-4m 区間の度数 38% で  $R_d = 19\%$  となった後、⑤4-5m 区間で  $R_d = 13\%$  と一端下がり、⑥5-6m 区間からは  $R_d = 20\%$  台を超え、⑧7-8m 区間の  $R_d = 27\%$  でピークとなった。即ち、⑤4-5m 区間以降の度数は 12% から 5% になり、⑦6-7m 以降は度数 1-3% である。総じて  $R_d$  の大きなピークはないが、 $W$  が広いほど  $R_d$  は高くなる傾向である。

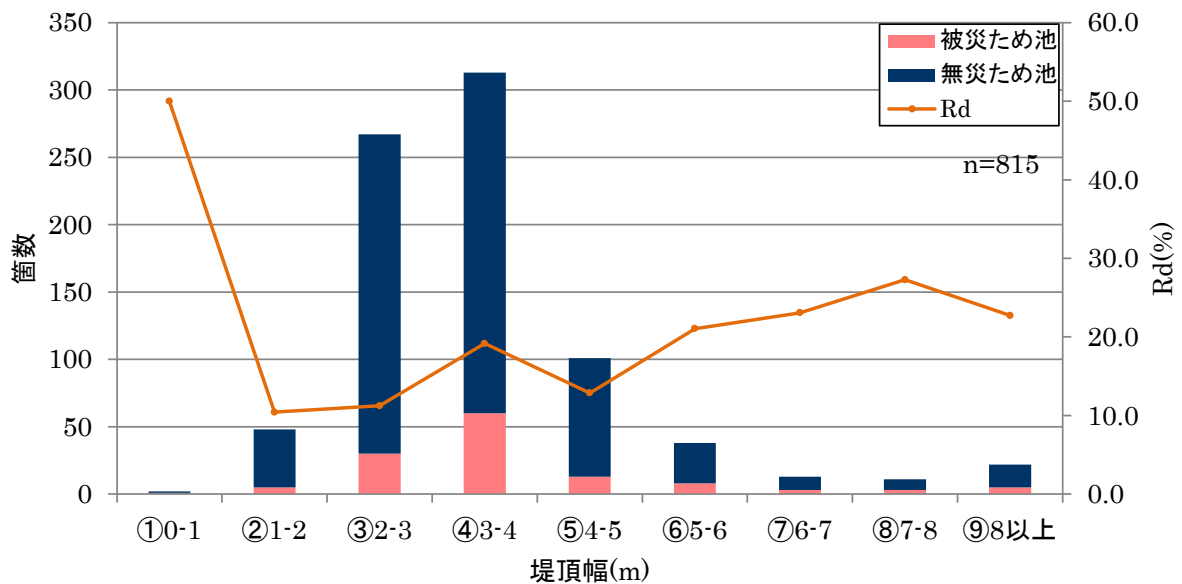


Fig. 6-37 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤頂幅（1.0m ピッチ）別被災率

Fig. 6-38 は, Fig. 6-8 と同様に,  $W$  を四分位毎に第 1 を① $W=0-2.5\text{m}$ , 第 2 を② $W=2.6-3.0\text{m}$ , 第 3 を③ $W=3.1-3.8\text{m}$ , 第 4 を④ $W=3.9\text{m}$  以上で区分した個数と  $R_d$  の折線グラフである. ③の度数が小さいのは, ②の  $W=3.0\text{m}$  の個数が集中し, ③の区間度数が減少した.  $R_d$  がピーク区間は, ③の  $R_d=20\%$  で, ①の  $R_d=11\%$  から② $R_d=17\%$  と順に増加し, ④では②と同じ  $R_d$  になっている. Fig. 6-37 では大きな  $W$  ほど  $R_d$  が大きくなる傾向であったが, ④ $W=3-4\text{m}$  の最初のピークが第 3 四分位区分のピークは照合していた. なお, 第 3 四分位の度数は約 110 個であるが, 相対度数は 10%以上確保され,  $R_d$  的には信頼できると思われる.

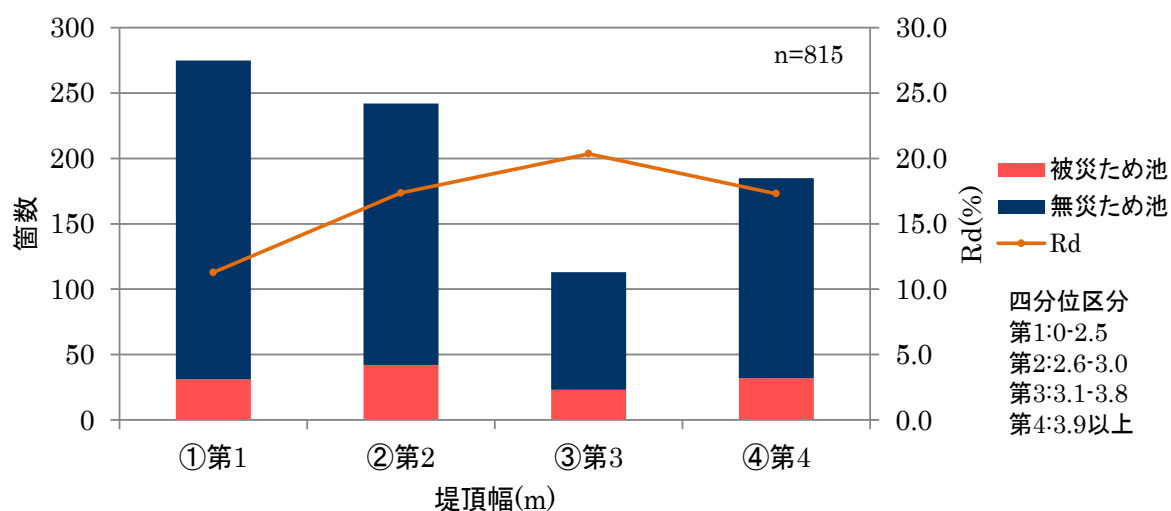


Fig. 6-38 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の四分位区分堤頂幅別被災率

### 6.3.4.2 堤体上下流法勾配と被災率

Table 6-7 は、対象全域ため池の堤体上下流法勾配別の被災率 ( $R_d$ ) を、過去の研究事例にならって整理した。法面勾配区分は、0.5割ピッチを原則として、最大を2.5以上で一括りにした。これまでも勾配が緩いほど、被災率 ( $R_d$ ) が大きくなるとの指摘があるが、本表からも同様な傾向が見られる。上下流別では、上流勾配 ( $U$ ) が緩くなるに従って  $R_d$  が大きくなるの対し、下流は勾配 ( $D$ ) が1.5-2.0の時に最大であるが、特に大きなピークはない。

Table 6-7 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体上下流法勾配 ( $D \cdot U$ ) 別被災率

斜面傾度(割)	全域(A)		被災池(B)		B/A×100(%)	
	上流	下流	上流	下流	上流	下流
0.5-1.0	69	25	6	4	8.7	16
1.0-1.5	182	146	18	20	9.9	13.7
1.5-2.0	252	370	43	65	17.1	17.6
2.0-2.5	255	224	50	32	19.6	14.3
2.5-5.0	45	38	10	6	22.2	15.8
計	803	803	127	127	15.8	15.8

Fig. 6-39 では Fig. 6-7 と同様に、 $U$  及び  $D$  を四分位毎 (以下、 $U$  を代表的に述べる) に、第1四分位区間を① $U=0-1.2$ 、第2を② $U=1.3-1.5$ 、第3を③ $U=1.6-1.9$ 、第4を④ $U=2.0$  以上で区分した池個数と各  $R_d$  の折線を図示した。なお、四分位は上流側  $U$  で区分したため、下流  $D$  に①と③で度数が少なくバラツキが生じたが、1つのロットで最低130箇・度数16%は確保していた。下流  $D$  の  $R_d$  は概ね15~20%の範囲で比較的安定しているが、上流  $U$  の場合は①と③で最低の  $R_d=7\%$  で、勾配が最も緩いロットの④で最大  $R_d=33\%$  となる等、上下の変化が大きい。



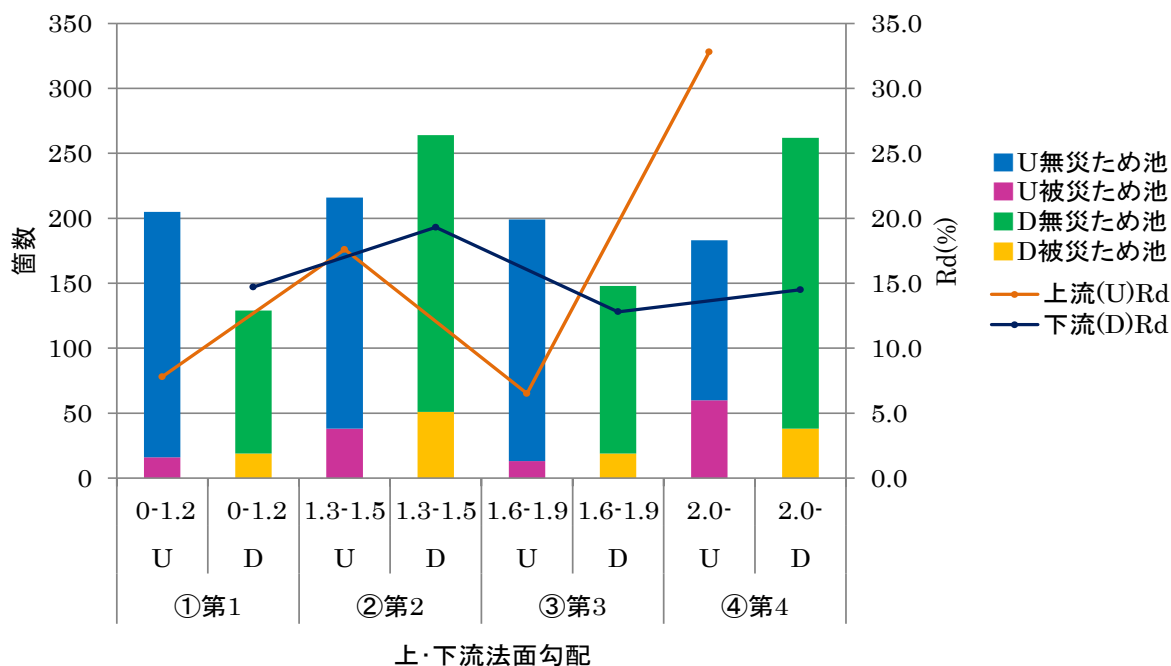


Fig. 6-39 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体上下流法勾配 (D・U) の四分位別被災率

Fig. 6-40 では、堤体の上下流法勾配比 (D/U) を 1.0 ピッチで、①0-1.0 未満、②1-2.0 未満と順に⑪まで区分し、各々ロード毎の  $R_d$  を求めて図示した。①は相対度数 31%で  $R_d=22\%$ で最大となり、②は 60%の相対度数で  $R_d=13\%$ に低下し、③では相対度数 5%に急落するが  $R_d$  は余り変わらず、④以降は相対度数が 1%以下で、⑤からは  $R_d=0\%$ である。即ち、下流勾配が相対的に緩いほど  $R_d$  が小さくなっていった。

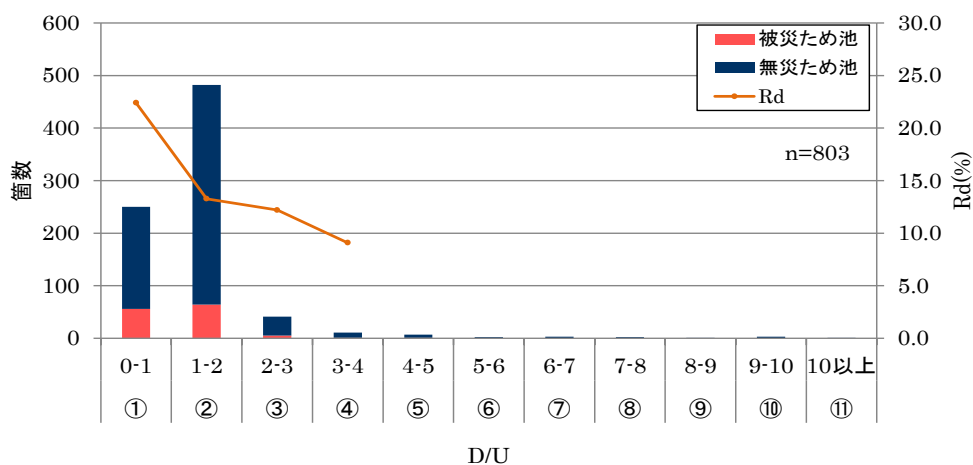


Fig. 6-40 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体上下流法勾配比 (D/U) 1.0 ピッチ別被災率

Fig. 6-40 では、対象全域のため池は上下流法勾配がバランスする  $D/U=1.0$  付近で多数あることがわかった。Fig. 6-41 では、① $D/U=1/3$  未満、② $D/U=1/3-1/2$  未満、③ $D/U=1/2-1/1$  未満、④ $D/U=1/1-4/3$  未満、⑤ $D/U=4/3-2/1$  未満、⑥ $D/U=2/1$  以上に 6 区分し、区分ロード毎に  $R_d$  を折線グラフにした。因みに、①～③は上流勾配が下流よりも緩い区分に入り、上流勾配が相対的に緩い①の  $R_d=50\%$ 、②の  $R_d=38\%$ 、③の  $R_d=22\%$  が大きい。但し、相対度数は①と②は 0.2%と 1%で、③の 30%より前は度数が極めて僅かである。

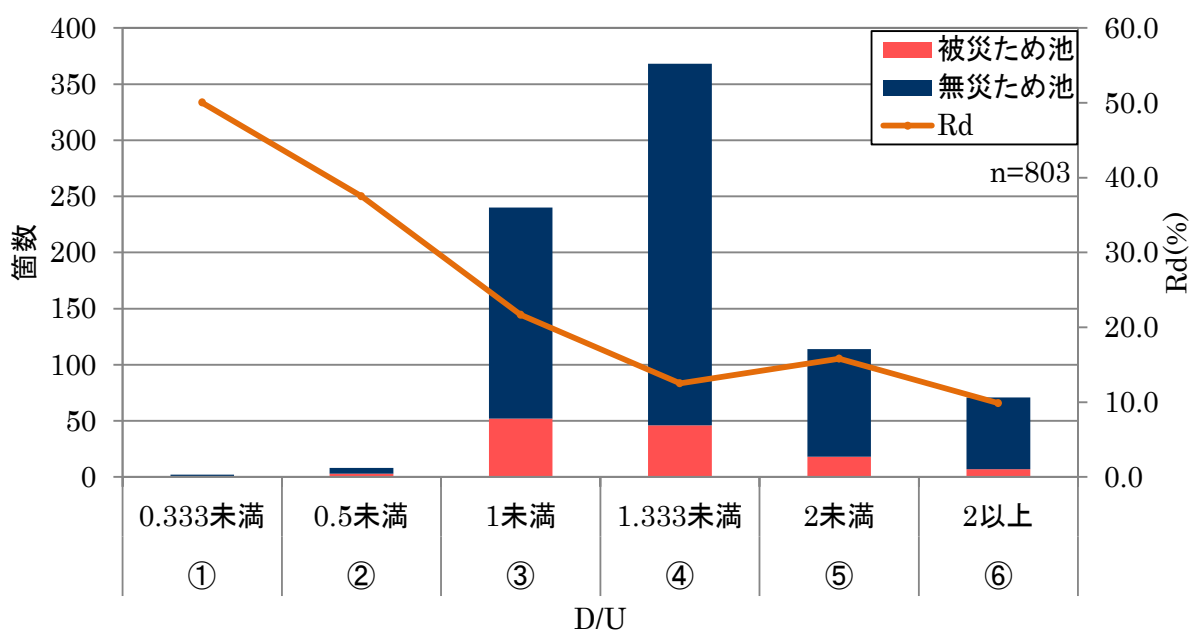


Fig. 6-41 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体上下流法勾配比 ( $D/U$ ) 6 区分別被災率

Fig. 6-42 は、 $D/U$ を四分位区分し、区間毎に  $R_d$ をグラフにした。第3の相対度数が14%と低いのは、 $D/U=1.0$ のため池が252箇と多数が集中し、第2の区分にそれを全て含めたためである。区分別  $R_d$ では下流勾配  $D$ が相対的に若干緩い第3区分で  $R_d=6\%$ と最低になり、下流勾配が相対的に緩くなる第4では  $R_d=13\%$ と、被災率が倍以上跳ね上がった。

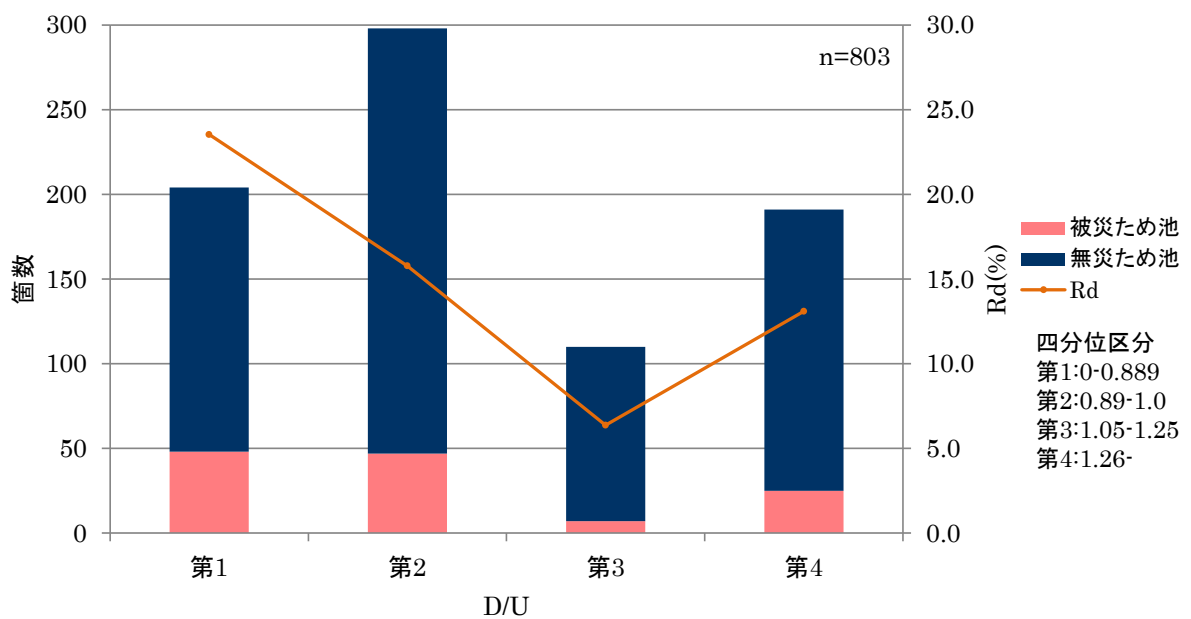
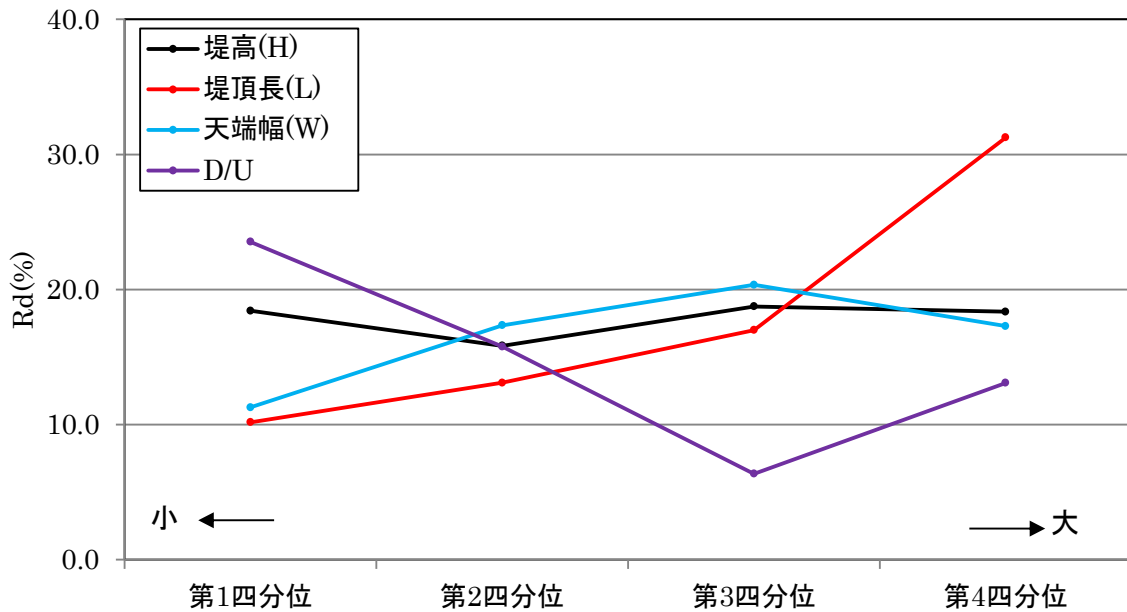


Fig. 6-42 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体上下流法勾配比 ( $D/U$ ) 四分位別被災率

### 6.3.4.3 横断面形状諸元の比較と組み合わせ検証

Fig. 6-43 では、Fig. 6-36 から  $H$  と  $L$ 、Fig. 6-38 から  $W$ 、Fig. 6-42 から  $D/U$  の四分位区間別被災率を各々抜き出して比較したものである。ここで対象全域の  $R_d$  は約 17% であり、各形状諸元  $R_d$  も無制限に上下変動することはない。例えば、ある区間の  $R_d$  が大きい時は、他の区間の  $R_d$  は小さくなる。そのため、 $H$  は平均  $R_d$  付近を変動する「安定型」、 $L$  は第 3 で平均  $R_d$  を超える「一途上昇型」、 $W$  は第 1 の  $R_d$  が低く第 3 でピークとなる「中位ピーク型」、 $D/U$  は第 1 の  $R_d$  が高く、第 3 で底となる「中位ボトム型」に分類できる。即ち、 $W$  と  $D/U$  の  $R_d$  は正反対に動き、その間で  $H$  が安定した  $R_d$  にあり、堤体の横断面形状 3 諸元間には  $R_d$  増減との関連が想定される。一方、 $L$  はこれら 3 諸元と比べ独立性が高い  $R_d$  の動きをしているように見受けられる。



	第1四分位	第2四分位	第3四分位	第4四分位
H(m)	0-2.5	2.6-3.5	3.6-4.9	5.0-
L(m)	0-35	36-50	51-77	78-
W(m)	0-2.5	2.6-3.0	3.1-3.8	3.9-
D/U	0-0.889	0.89-1.0	1.05-1.25	1.26-

Fig. 6-43 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体横断面諸元と堤頂長及び四分位別被災率比較

Fig. 6-44 には、対象域内ため池の  $H$  を横軸、 $W$  を縦軸にして、被災度別（但し、無被災池は被災度 0）にプロットし、 $H$  及び  $W$  の池数がほぼ均等になるように各々を大、中、小に 3 分割して、9 ヶ所のロッド毎に  $R_d$  を求めた。但し、 $H$  はプロットの様子が分かるようにスケールを  $H=12\text{m}$  までとし、図中の数字（分母は全池数、分子は被災池数）には対象池全てが含まれている。ここでは、 $W$  が広い領域ほど  $R_d$  が高く、 $H$  の高い領域ほど  $R_d$  が低くなるが、両方の重なり方（ $\cap$ ：和集合、 $H_{大}$  の下付添え文字は所属する規模グループ）では、 $H_{大} \cap W_{大}$ （ $H$  が高く  $W$  が広い断面）領域の  $R_d=20.6\%$  が最も高くなっていた。また、 $R_d=5.5\%$  で最低となった  $H_{大} \cap W_{小}$  領域は、 $H$  が高く  $W$  が小さい場合の組合せであるが、最大  $R_d$  の 4 分の 1 であった。

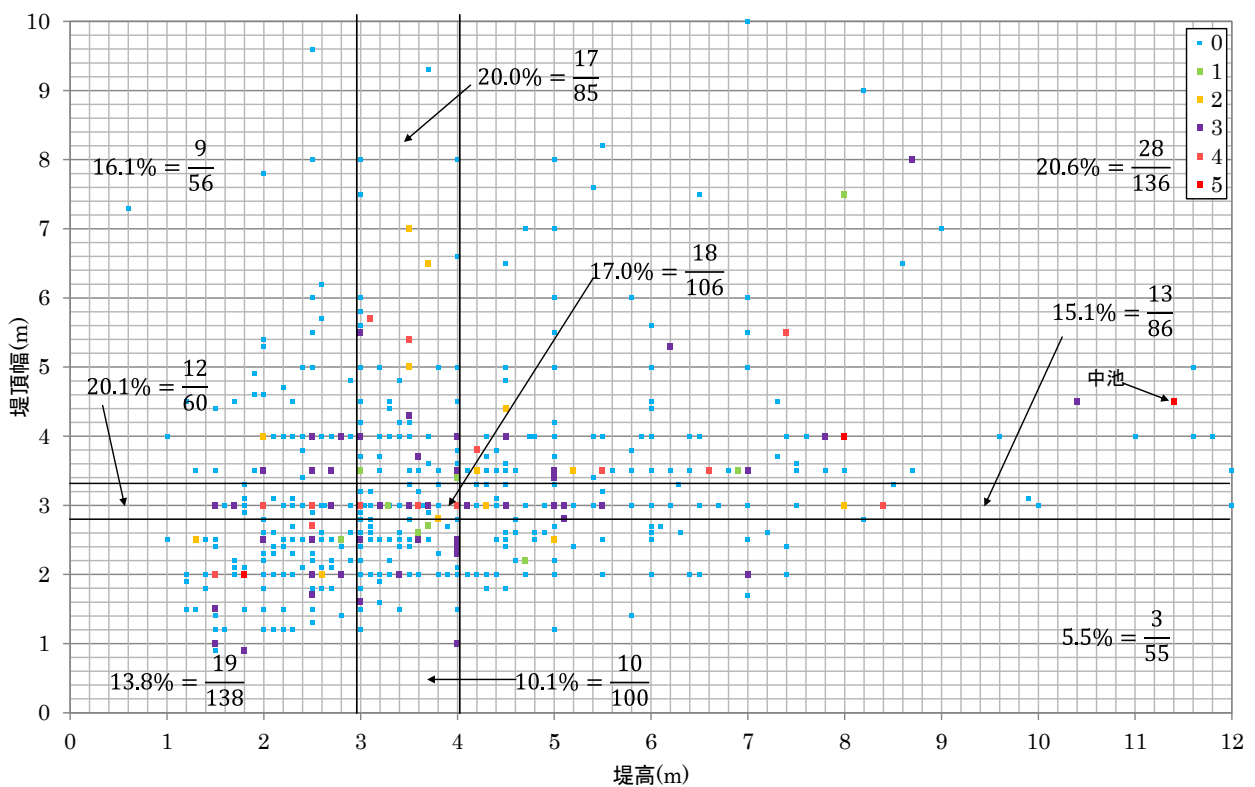


Fig. 6-44 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高及び堤頂幅と被災度

Fig. 6-45 は、Fig. 6-44 と同様に  $H$  を横軸に、 $D/U$  を縦軸にし、9つの領域毎に  $R_d$  を求めた。ここでの最高  $R_d=26.3\%$  は、 $H_{大} \cap D/U_{小}$  領域 ( $H$  が高く上流側法勾配が緩い断面) であり、 $H_{大} \cap D/U_{大}$  ( $H$  が高く下流側法勾配が緩い断面) では、最低  $R_d=4.9\%$  の領域となっていた。因みに、 $D/U_{中}$  の領域は、 $H$  の高さが変わっても、 $R_d=13-16\%$  で殆ど差が無い。その理由は、Fig. 6-42 で第3四分位の  $D/U (=1.05-1.25)$  区分の大半がこの  $D/U_{大}$  領域に入っており、この範囲では被災池が極めて少ない。

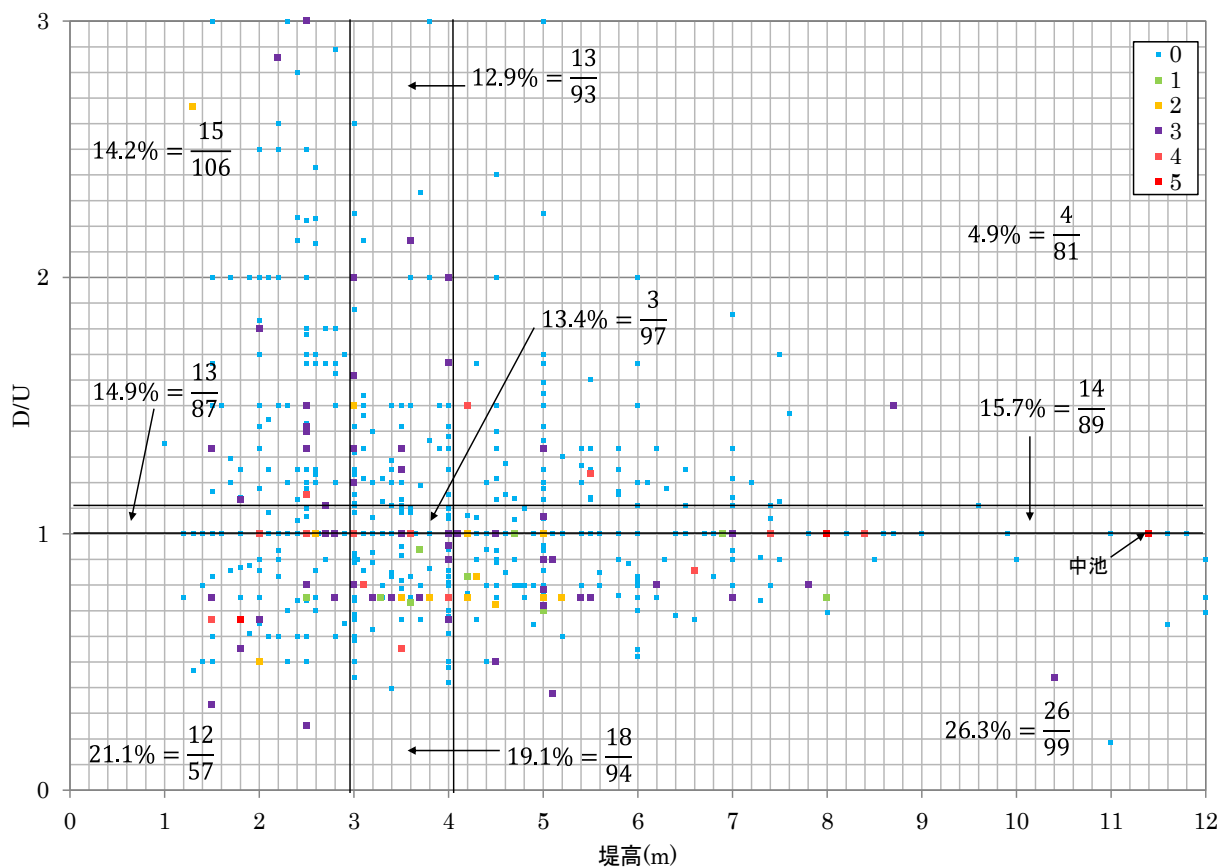


Fig. 6-45 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤高及び堤体上下流法勾配比 ( $D/U$ ) と被災度

Fig. 6-46 は、 $D/U$ を横軸、 $W$ を縦軸にして Fig. 6-44 及び Fig. 6-45 のように被災度別にプロットした。最大  $R_d$  は  $D/U_{小} \cap W_{大}$  (上流側法勾配が緩く堤頂幅が広い断面) の領域で  $R_d=30.1\%$  と最も大きな  $R_d$  値であった。最小  $R_d$  は、 $D/U_{中} \cap W_{小}$  と  $D/U_{大} \cap W_{大}$  で  $R_d=9.1\%$  と  $R_d=9.4\%$  で特に小さな値ではなかった。なお、Fig. 6-42 で第3四分位  $D/U$  ( $=1.05-1.25$ ) 区分のため池がこれら領域の一部に入り、 $R_d$  を低下させていた。

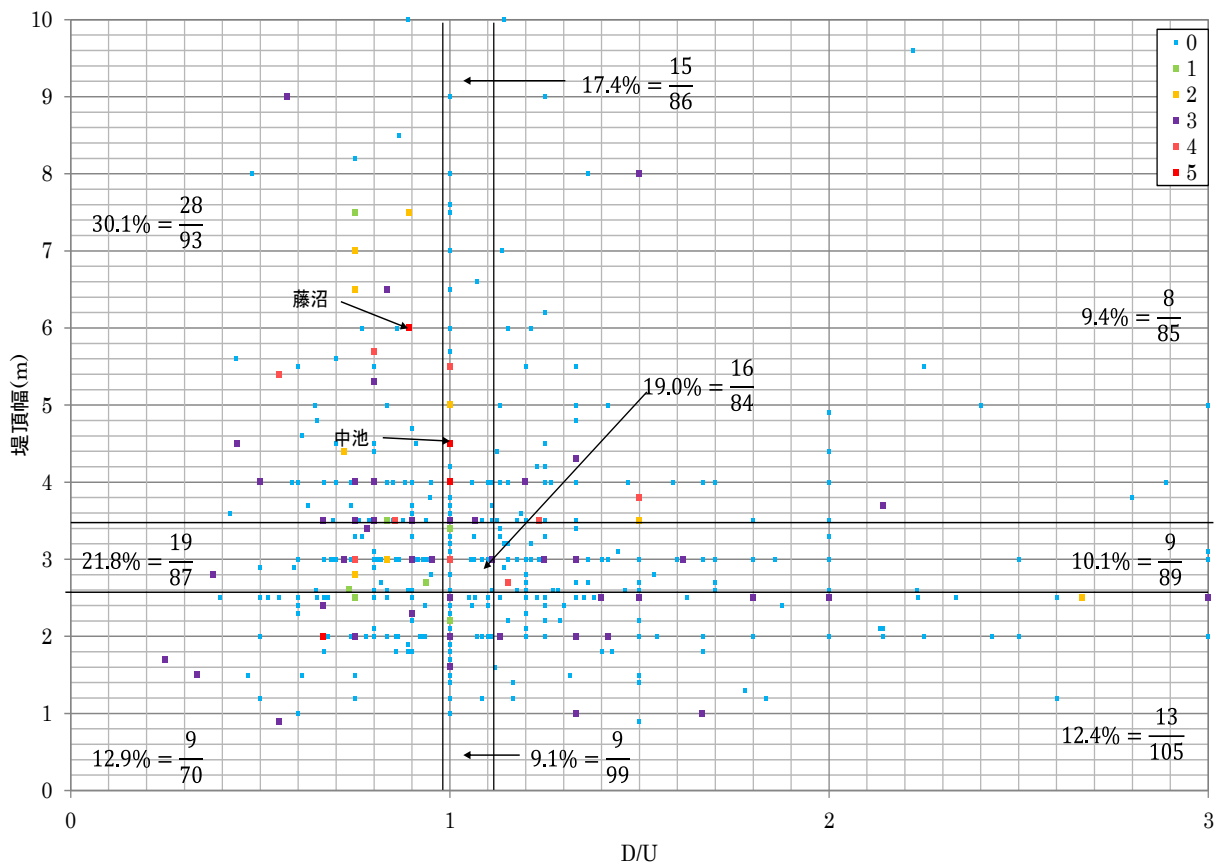


Fig. 6-46 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池の堤体上下流法勾配比 ( $D/U$ ) 及び堤頂幅と被災度

Fig. 6-47 は、Fig. 6-44～Fig. 6-46 の結果から、ため池堤体横断面に関して地震動被災リスクを整理したものである。本図左側は、 $H$ 、 $W$  及び  $D/U$  の大中小毎にクロス集計したロッド毎の  $R_d$  について、クロス毎の最大  $R_d$  をピンクで、最小  $R_d$  を水色に着色し、それに関わる形状を同色でマークした。先ず、堤高では  $H_{大}$  で  $W_{大}$  又は  $D/U_{小}$  の時（以上、ピンク着色で赤下線）に  $R_d$  が最大になり、同じ  $H_{大}$  でも  $W_{小}$  又は  $D/U_{大}$  の時（青着色の赤下線）に被災率は最小であった。即ち、 $H$  が高い時は、 $W$  と  $D/U$  の状態によって被災リスクが上がる場合と、その反対にリスクが下がる場合がある。例えば、 $W_{大}$  の場合は  $R_d$  が上がり、 $W_{小}$  の時  $R_d$  は下がる。 $D/U$  では  $D/U_{小}$ （上流法勾配が緩い）の時に  $R_d$  が上がり、 $D/U_{大}$ （下流法勾配が緩い）の時に  $R_d$  が下がる。

上記のことを堤体横断面の高リスクと低リスク形状イメージを右図で示した。つまり、堤体横断形状で地震動被災リスクの高い組合せは、 $H_{大} \cap W_{大}$  ( $H$  が高く  $W$  が広い)、 $H_{大} \cap D/U_{小}$  ( $H$  が高く上流法勾配が緩い) 及び  $D/U_{小} \cap W_{大}$  (上流法勾配が緩く堤頂幅が広い) の 3 つであった。因みに、決壊した藤沼湖は 3 つ全ての組合せに入っていた。逆に、リスクの低い組合せは、 $H_{大} \cap W_{小}$  ( $H$  が高く  $W$  が狭い) 及び  $H_{大} \cap D/U_{大}$  ( $H$  が高く下流法勾配が緩い) があった。また、 $D/U$  と  $W$  の組合せで特にリスクが低いものはない。さらに Fig. 6-45 と Fig. 6-46 から、 $D/U$  (=1.05-1.25) で被災池が極めて少なく、下流側が若干緩めで上下流法面がバランスした勾配の形状は被災リスクが低かった。

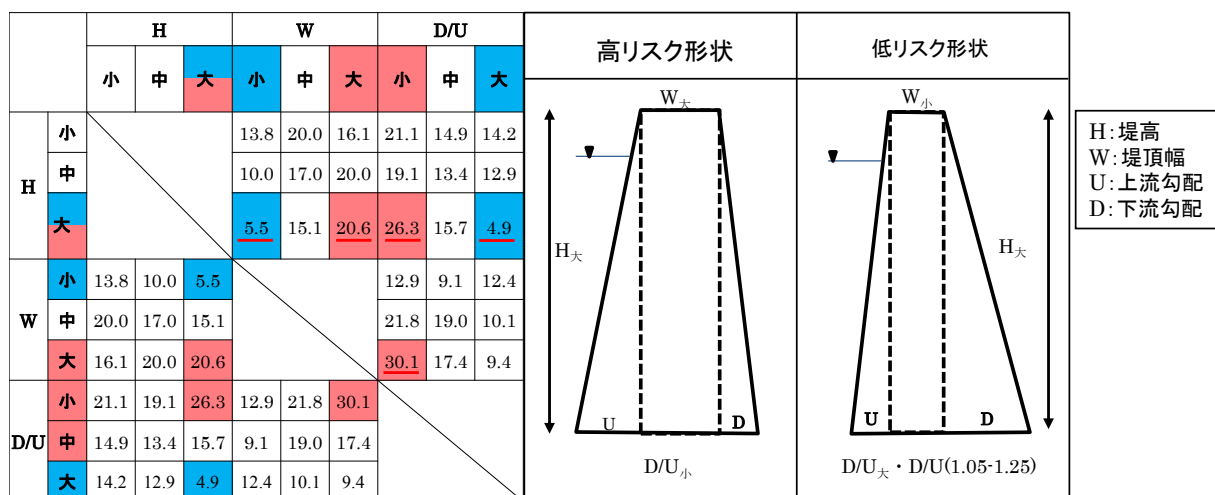


Fig. 6-47 東北地方太平洋沖地震の福島県中・南域ため池堤体横断面形状別被災率と被災リスク



### 6.3.5 ため池堤体形状と被災度

第6章では被災度で被災レベルを示しながらも、ここまで全て被災率  $R_d$  だけで堤体形状との関係を説明してきた。本節では、堤体形状が地震動被災度にどのように影響していたか検討する。

#### 6.3.5.1 堤体形状諸元とため池被災度

Fig. 6-48 には、対象域内ため池の被災度 1~5 を  $H$ ,  $L$ ,  $W$  及び  $D/U$  の堤体形状の四分位区別に色分した棒グラフで図示した。被災度別色分けは、Fig. 6-30 と同じである。各形状諸元の四分位区分での相対度数は、Fig. 6-38 の  $D/U$  第三区分での度数 14% 以外、各区分とも原則 25~20% 程度の相対度数が確保され、被災池数の棒グラフの高低は、ほぼ  $R_d$  の大きさに連動している。最低被災池数は  $D/U$ ③第三区分の 7 個 ( $R_d=6\%$ ) で、最高数の  $L$  第 4 区分の 64 個の 9 分の 1 であったが、その被災度 3 と 4 だけで、1~2 の低レベル被災はなかった。反対に  $R_d$  が高い（多数の被災池がある）場合でも、低被災度池がかなりの割合で含まれている。これは、第 5 章でも考察したように  $R_d$  が高い場合であっても、被災度も必ず高くなる訳ではないことを物語っている。

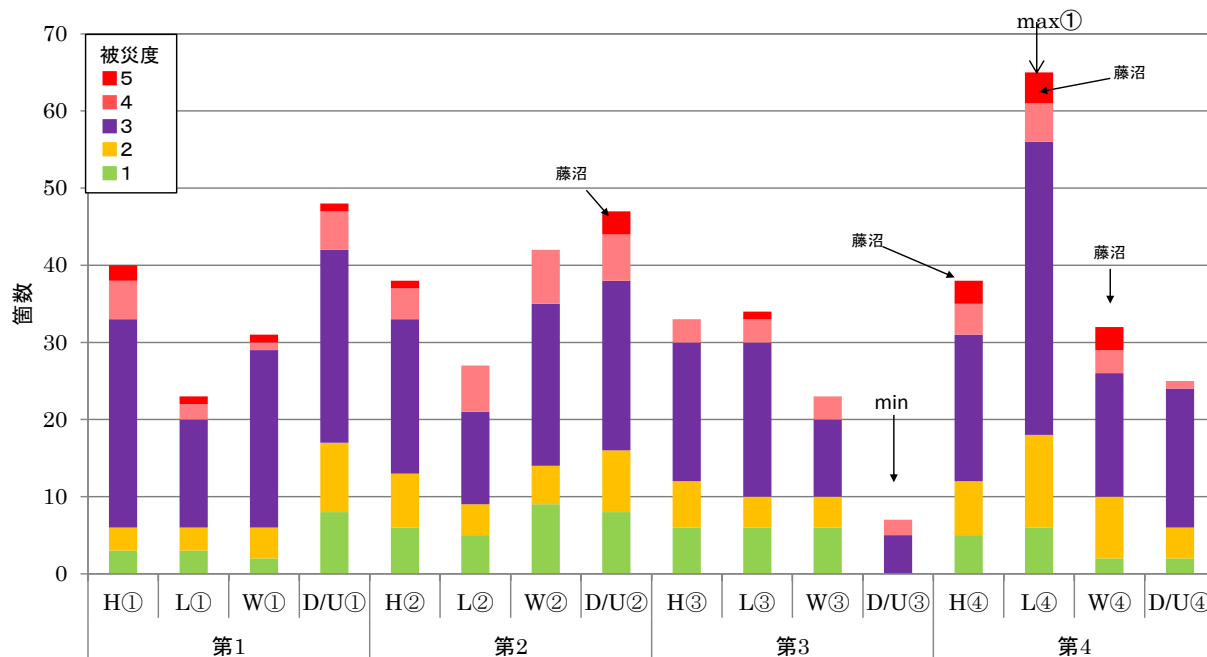


Fig. 6-48 堤体形状諸元四分位区分・被災度別ため池数

### 6.3.5.2 堤体横断面形状とため池被災度

Fig. 6-49 は、Fig. 6-44 から横断面形状に係る  $H$  と  $W$  の大中小組合せ 9 グループ毎の被災度別池数を色分けした棒グラフと  $R_d$  の折線で図示した。組合形状③の  $H_{大} \cap W_{小}$  では被災数 3 箇が最低で、被災度 1~3 が各 1 つで  $R_d$  の低さが際立っている。反対に被災数最大は、⑨  $H_{大} \cap W_{大}$  の形状で 27 箇であるが、被災度は 1~5 まで含まれていた。ここで Fig. 6-48 の堤体諸元と比較すると、Fig. 6-49 は全体的に被災池数が多いほど被災度の高い池（4 及び 5）が多く含まれているように見える。但し、被災数が多くても被災度 1~3 もかなり含まれており、 $H$  と  $W$  の形状要因だけで、被災度まで決まるとは考え難い。因みに、決壊した藤沼湖と中池は⑨のグループに入っている。

なお、①~③では  $W_{小}$  の時  $H$  が大きいほど被災リスクが下がり（灰色点線）、⑦~⑨では反対に  $W_{大}$  の時に  $H$  が大きいほどリスクは上がっている（灰色破線）。

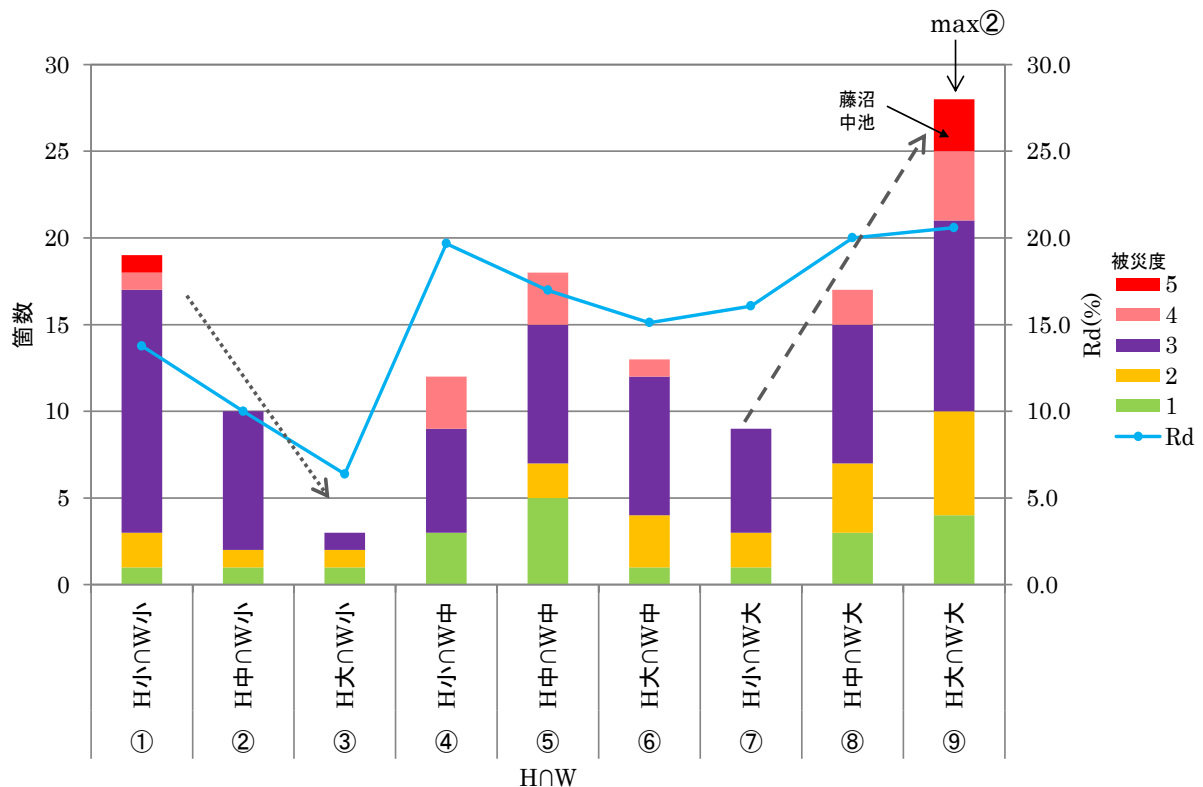


Fig. 6-49 ため池堤高及び堤頂幅の規模区分別被災度・被災率

Fig. 6-50 では、Fig. 6-45 から横断面形状に係る  $H$  と  $D/U$  の大中小組合せを、Fig. 6-49 と同様に図示した。最小被災数は⑨の  $H_{大} \cap D/U_{大}$  の 4 個で、他の形状区分は被災池数が 10 個以上ある中で顕著に少ない。最大被災数は③の  $H_{大} \cap D/U_{小}$  が 26 個で、最低区分⑨の 6 倍強であるが、被災度は 1~3 が多数含まれている。それ以外の 7 つのグループは、被災池数が  $15 \pm 3$  の範囲内にあり、この分類では最低最高の差が際立っている。但し、被災度に関しては、前 2 グループと同様に特定のレベルに偏ったものはなかった。因みに、藤沼湖は③に、中池は⑥に入っている。

なお①~③では  $D/U_{小}$ （上流勾配が緩い）の時、 $H$  が大きいほど被災リスクは上がり（灰色破線）、⑦~⑨では反対に  $D/U_{大}$ （下流勾配が緩い）の時、 $H$  が大きいほどリスクが低くなっている（灰色点線）。

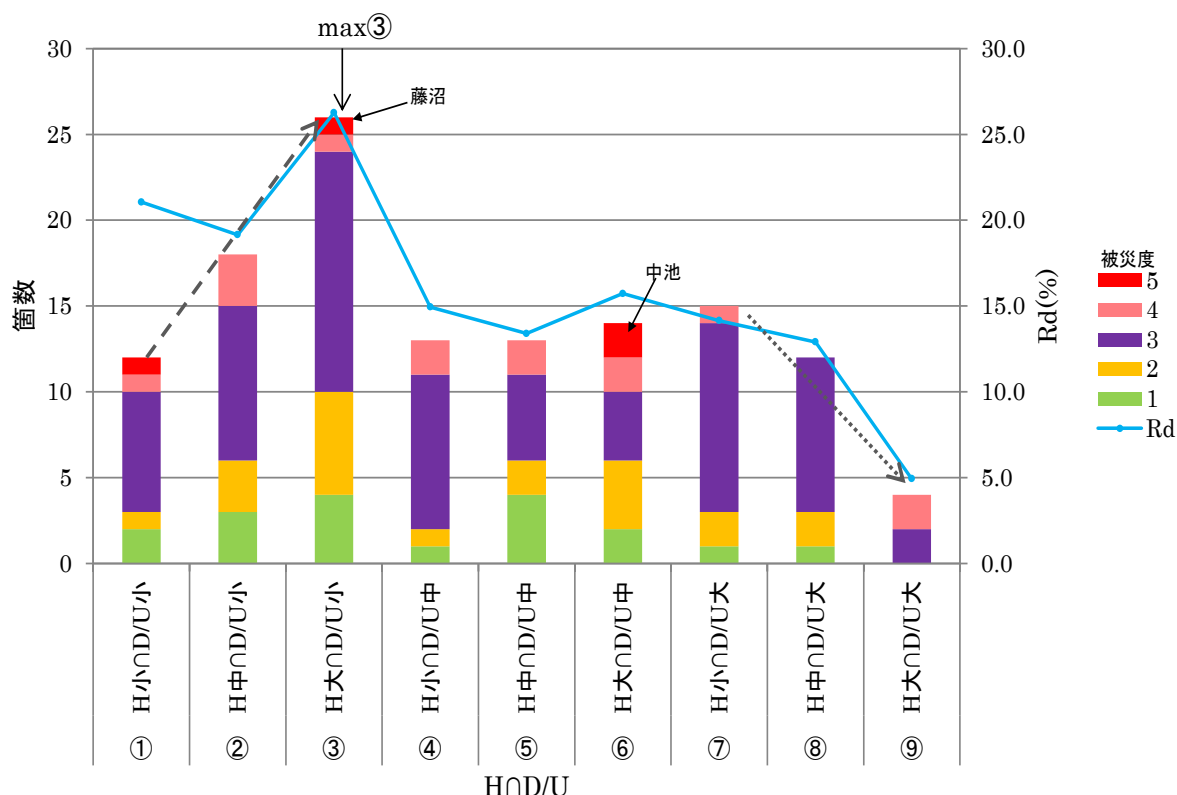


Fig. 6-50 ため池堤高及び法勾配比率 ( $D/U$ ) の規模区分別被災度・被災率

Fig. 6-51 には, Fig. 6-46 から横断面形状に係る  $W$  と  $D/U$  の組合せを, Fig. 6-49 と同様に図示した. ここでは前 2 図と異なり, 被災数 5 以下で著しく被災池が少ない区分は見られず, 被災池数 7~8 箇が 4 グループで,  $W$  が狭い 2 グループ (①及び②),  $D/U$  が大きい 2 グループ (⑥及び⑨) である. また, 断トツに被災池数が多い形状は, ⑦の  $D/U_{小} \cap W_{大}$  で 28 箇で, 残り 4 グループ (③, ④, ⑤及び⑧) の被災池数は 15±3 箇の範囲にある. 被災数最大の⑦区分も Fig. 6-49 と Fig. 6-50 での最大形状区分と同様な被災度構成となっている. 因みに, 藤沼湖は⑦に, 中池は⑧に入っている.

なお⑦~⑨では反対に  $W_{大}$  の時に,  $D/U$  が大きくなる (下流が緩い) ほど被災リスクは小さくなっている (灰色点線).

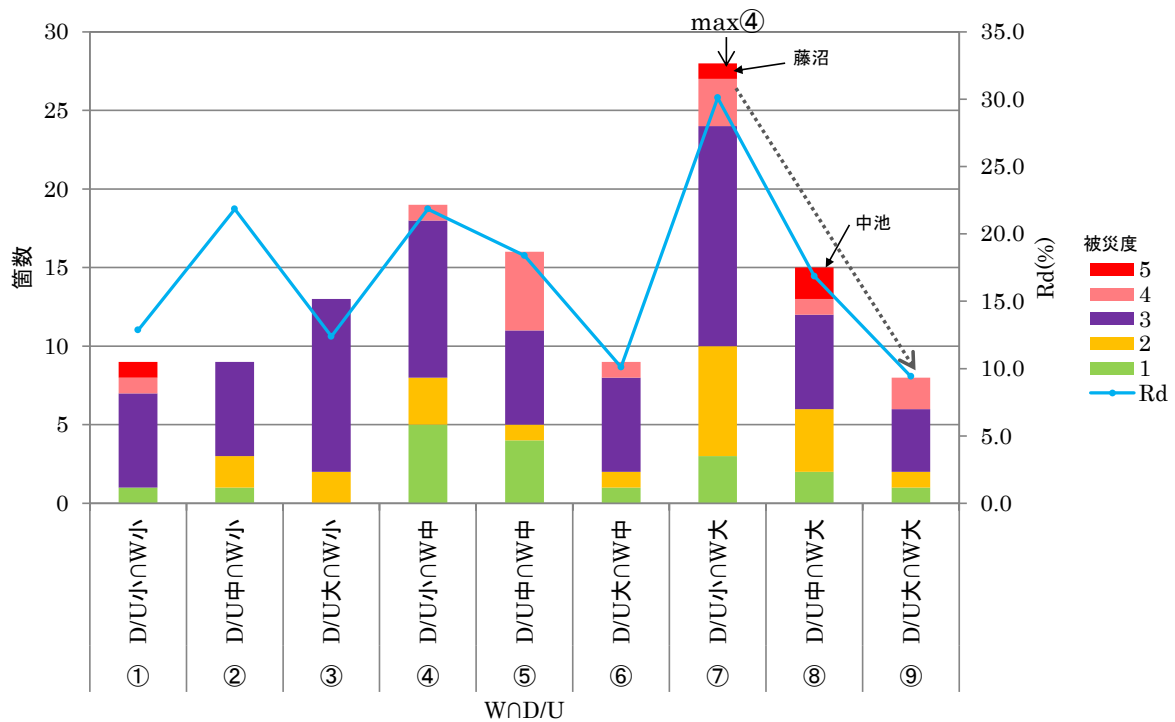


Fig. 6-51 ため池堤頂幅及び法勾配比率 ( $D/U$ ) の規模別区分別被災度・被災率

Fig. 6-52 には, Fig. 6-49~Fig. 6-51 で被災池数が最高だった 3 区分について, 推計震度毎の被災度別池数を棒グラフにした. 図 (a) ~ (c) とともに震度によって被災池が増える傾向は見受けられるが, 各形状グループとも震度の大きさだけで被災度が上がる状況は見受けられず, ため池被災度は強震度下であっても一つだけの高被災リスク堤体形状要因だけでは甚大な被災レベルに至るようには見受けられない.

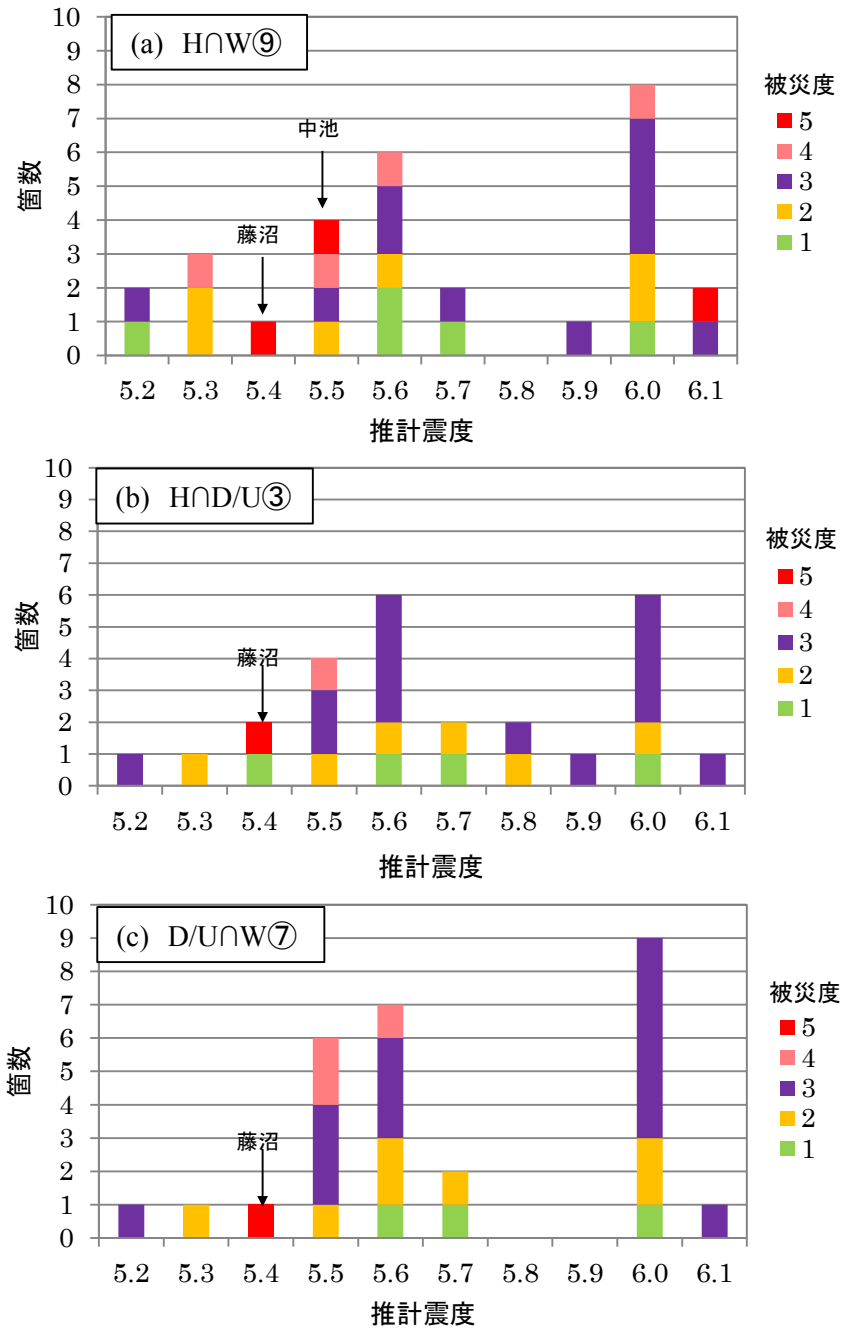


Fig. 6-52 高被災リスク横断形状ため池の震度別被災度

## 6.4 まとめ

東北地震により最もため池被災が集中した、福島県中・南域のため池総数 848 箇所（被災池 153 箇所と無被災池 695 箇所）を対象に、堤高 ( $H$ )、堤頂長 ( $L$ )、堤頂幅 ( $W$ )、上下流法勾配 ( $U$  及び  $D$ ) の堤体諸元毎に、震度や堤軸震央方向角度 ( $\omega_i$ ) を踏まえ、統計的な手法を用いて被災率 ( $R_d$ ) 等の分析を行った。いわば、対象エリア内にある 840 余の規模や形状の異なるため池群を、一つの大きな揺れ（地震動）によって、その諸元や形状毎に被災数や被災レベルがどうなるか、現地実験の結果を考察したのと同じ感覚である。その結果は以下の通りで、ため池堤体形状諸元の関するこれまでの地震動被害研究結果と相反する部分を含むと共に、新たな知見も見出すことができた。以下では、諸元毎及び横断面形状と地震動の関連性について、総括を行った。

### (1) 堤体形状諸元に係る被災リスクまとめ

#### 1) 堤高 ( $H$ )・堤頂長 ( $L$ ) と被災率 ( $R_d$ )

堤体形状諸元の  $H$  と  $L$  については、バッチ毎に多様な区分度数でロッドを設けて  $R_d$  を算定して比較検討を行うと共に、 $R_d$  との関係が明らかになった推定震度と堤軸震央方向角度 ( $\omega_i$ ) と組み合わせて  $R_d$  の比較を行った。さらに、 $H$  と  $L$  に関連し、形状係数 ( $L/H$ ) 及び体積係数 ( $L*H$ ) と  $R_d$  の関係を検討し、以下のことが明らかになった。

#### ① 区分度数と被災率 ( $R_d$ )

- ・いずれの形状諸元も  $R_d$  の算定母数によって、その率は同じにならないが、相対度数が大きいほど、 $R_d$  のバラツキは小さくなる。
- ・ $R_d$  は相対度数が少ない程バラツキが大きくなり、その被災率は全体的に高めになる傾向がある。
- ・区分  $R_d$  は、相対度数が 10%以上で安定し、相対度数 5%以下ではバラツキが大きくなる。因みに、対象域ため池数は約 840 箇所、 $R_d$  算定の分母としては 100 箇所以上、或いは最低でも 50 箇所以上が必要となる。

#### ② 堤高 ( $H$ ) と被災率 ( $R_d$ )

- ・ $H$  は高さの関係で  $R_d$  が大きくなる傾向にない「安定型」である。
- ・震度が大きくなると、 $H$  に関係なく  $R_d$  は高くなる。
- ・ $\omega_i$  が 270-330° の範囲近いほど、 $H$  に関係なく  $R_d$  は高くなる。

### ③ 堤頂長 ( $L$ ) と被災率 ( $R_d$ )

- ・  $L$  は長くなるほど  $R_d$  が大きくなる「一途上昇型」である。
- ・ 震度が大きさと  $L$  の長さに応じて  $R_d$  はさらに大きくなる。
- ・  $\omega_i$  が  $270-330^\circ$  の範囲に近いほど、 $L$  の長さに応じて  $R_d$  は大きくなる。

### ④ 形状係数 ( $L/H$ ) 及び体積係数 ( $L*H$ ) と被災率 ( $R_d$ )

- ・  $L/H$  は  $L$  の長さで  $R_d$  が大きくなる傾向を反映し、大きい程  $R_d$  は大きくなる。
- ・  $L*H$  は  $L/H$  と同様の傾向を持つが、 $L/H$  の方が  $H$  の影響を受けやすい。

## 2) 堤体横断面形状と被災率 ( $R_d$ )

横断面形状については、堤頂幅 ( $W$ )、上下流法勾配 ( $U \cdot D$ ) 及び勾配比 ( $D/U$ ) の順で複数の区分ロッド毎の被災率 ( $R_d$ ) を比較検討と共に、堤高 ( $H$ ) と堤頂幅 ( $W$ )、堤高 ( $H$ ) と勾配比 ( $D/U$ ) 及び勾配比 ( $D/U$ ) と堤頂幅 ( $W$ ) で各々クロス集計した 9 等分ロッドで  $R_d$  を求めて比較検討し、以下のことが明らかになった。

### ① 堤頂幅 ( $W$ ) と被災率 ( $R_d$ )

- ・ 1.0m ピッチ区分の  $R_d$  は、 $W$  が大きくなるに従って段々と大きくなる。
- ・ 四分位区分の  $R_d$  は、第 3 区分の「中位ピーク型」となる。

### ② 上下流法勾配 ( $U$ 及び $D$ ) 及び勾配比 ( $D/U$ ) と被災率 ( $R_d$ )

- ・  $U$  が緩くなるに従って  $R_d$  が大きくなり、第 4 四分位で  $R_d$  が 30% を超える。
- ・  $D$  は緩急による  $R_d$  の大きな変化はない。
- ・  $D/U$  四分位の  $R_d$  は、第 3 (1.05-1.25) が最低となる「中位ボトム型」である。

### ③ 横断面形状と被災率 ( $R_d$ )

- ・  $H$ 、 $L$ 、 $W$  及び  $D/U$  の  $R_d$  から、 $L$  の被災リスクは独立的である。
- ・ 横断面形状に係る  $H$ 、 $W$  及び  $D/U$  は、相互に関連したリスク要因を有する。
- ・  $H$ 、 $W$  及び  $D/U$  の組合せリスクは、 $R_d=5\%$  から  $R_d=30\%$  まで 6 倍の差がある。
- ・  $R_d$  (=被災リスク) の大きい横断面形状は、 $H_{大} \cap W_{大}$ 、 $H_{大} \cap D/U_{小}$  及び  $W_{大} \cap D/U_{小}$  で、藤沼湖は 3 つ全てに入っている。
- ・  $R_d$  (=被災リスク) の小さい横断面形状は、 $H_{大} \cap W_{小}$  及び  $H_{大} \cap D/U_{大}$  で、 $D/U=1.05-1.25$  では特にリスクが低い。

## 3) 堤体及び横断面形状と被災度

堤体諸元及び横断面形状の四分位区分毎に被災度別ため池数を整理し、比較検証を行った結果、以下のことが明らかになった。

### ① 堤体形状諸元と被災度

- ・  $H$ ,  $L$ ,  $W$  及び  $D/U$  の被災数では，最高（第 4 四分位  $L$ ）と最低（第 3 四分位  $D/U$ ）で概ね 6~7 位の差があった．
- ・ 形状毎の被災リスクの差はあっても，被災度のバラツキが少ないことから，特定の堤体形状要因だけで被災度を大幅に引き上げることはない．

### ② 横断面形状と被災度

- ・  $H$ ,  $W$  及び  $D/U$  被災数の格差は大きいですが，各断面形状とも被災度は均質的で，特定の形状だけで被災度が上がる要因にならない．
- ・ 被災リスクが大きい断面形状グループだけで推計震度と被災度を比較したが，震度の大小に関わらず被災度はバラついており，単独の要因では高い被災度に至る状況を説明できないことが分かった．

以上第 6 章のため池堤体形状要因分析結果から，過去の研究成果と矛盾した内容が一部確認されたが，概ね過去の研究結果の理由や背景を裏付け，体系的説明が可能な内容となった．特に堤頂長の大きさに伴う被災リスクの上昇，堤高と堤頂幅及び上下流勾配と被災リスクの関係など，特筆すべきものとする．

## （2）個体要因に係る被災リスクのまとめ

第 4 章及び第 5 章では，「地震動の方向性」について，堤軸が「下流面が震央に直角方向」が，サイト地形では「震央方向に傾斜・谷地タイプ」が高リスクであった．これに第 6 章の堤体形状に関しては，縦断面で「堤頂が長く」，横断面で「堤高が高く，天端が広く，上下流勾配が緩くアンバランス」な場合が高リスクであった．これらの要因は，個々のため池に密接に関係する個体要因であると共に，「地震動の方向性」は，堤体形状に対して外的要因にもなっている．以上を図化すると Fig. 6-53 の通りである．



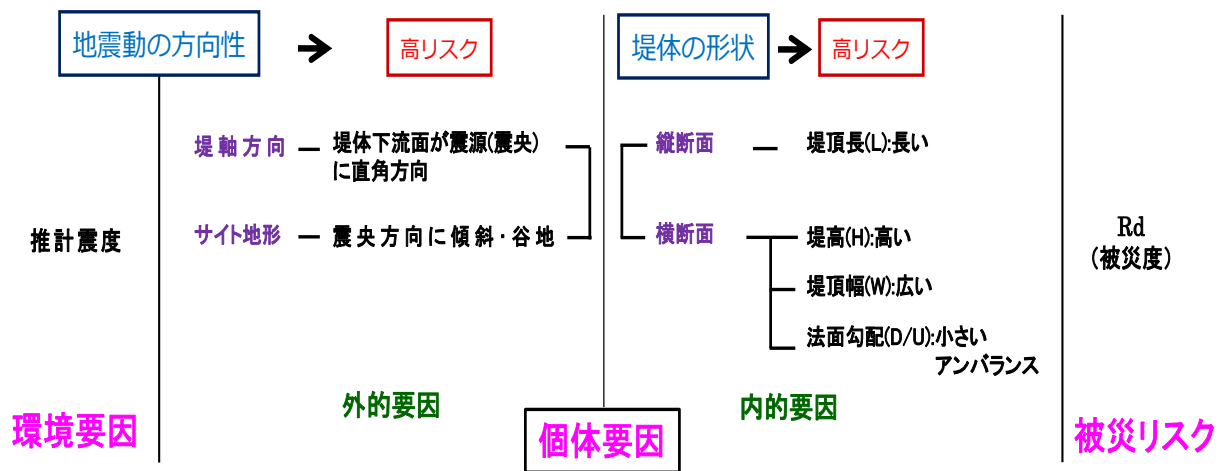


Fig. 6-53 ため池個体要件と地震動による被災リスク

個体要因を被災度5「藤沼湖」を例に評価すると、Table 6-8 の要因別評価表の通り、推計震度は5.4の「中リスク」であるが、外部要因及び内部要因の全てが高リスク要素に属していた。つまり、ため池は震度5強程度の中位震度でも、地震動の方向性や堤体形状の組合せによって被災度が大きくなる可能性があるかと推察できる。

Table 6-8 藤沼湖の被災要因別評価

区分	環境要因	個体要因 (外的要因)		個体要因 (内的要因・堤体形状)			
要因名	推計震度	堤軸方向	サイト地形	L	H・W	H・D/U	W・D/U
状況	5.4	$\omega_i=310^\circ$	タイプ1 (傾斜谷地)	長大	高・広	高・小	広・小
評価	中リスク	高リスク	高リスク	高リスク	高リスク	高リスク	高リスク

以上のことから、「環境要因」は推計震度によって「個体要因」と区切ることが可能である。また、「個体要因」は、堤体自体の「内部要因」と堤軸やサイト地形の「外部要因」に区分することができる。

## 第7章 結論

本論文は、地震動による藤沼湖の決壊・氾濫災害を契機に、ため池の危険度評価に向けての被災要因を多角的に客観的に評価することを目的とした。そのために、甚大なため池被害が生じた東北地震について、気象庁が発表した推計震度、ため池データベース(DB)及び国と被災県から入手した被災情報を基礎データとして用いた。また、多様な被災要因については、第2章で既往研究をレビューし、震度、震央距離、地形・地質、堤軸方向を環境要因に、ため池堤体形状を個体要因として、分析の枠組みを整理した。

第3章では、震度及び震央距離とため池被災の関係を分析するため、ため池被災率( $R_d$ )を定義し、推計震度毎に $R_d$ を求めた。その結果、ため池 $R_d$ は推計震度が5弱から発現し、推計震度の増加とともに上昇することを確認した。但し、宮城・福島両県の比較では、同程度の推計震度でも $R_d$ の出現傾向には大きな違いが確認できた。また、推計震度は必ずしも震央距離に近いほど大きくなり、 $R_d$ も近いほど増加するとは言えなかった。

第4章では地形・地質及び堤軸方向とため池被災の関係を分析するため、被災池が多数あった福島県中域で堤軸の震央への方向を表す指標として、堤軸震央方向角度 $\omega_i$ を定義した。山地と盆地の地形境界で震度が上昇、堤体上流が震央方向にある $\omega_i=30\sim 180^\circ$ で $R_d$ が小さいなど、地震動は広域的な地形・地質や堤体に対して方向性が見られ、 $R_d$ の出現傾向に影響することが分かった。因みに、震度では6弱までは $\omega_i=270^\circ$ つまり、①「堤体下流面が震央と正対する」場合に $R_d$ が大きな値を示したが、震度6強ではどの方向でも $R_d$ は大きな値を示した。

5章では、福島県中・南域の被災集中エリア内の詳細な被災分析のために、被災レベルを5段階(レベル5が最も被災度が高い)にした。被災度は福島県全域でレベル3が過半を占め、被災集中エリアでも同様であった。また、集中エリア内のため池サイトの地形を5タイプに分類したところ、②「サイト地形が傾斜・谷地」の場合は $R_d$ が極めて高く、反対に震度6強エリア内でも、東面に山丘があるサイト地形では被災を免れるなど、地震動は狭域的にも方向性を有し、ため池被災では地形の影響を強く受けることが明らかとなった。

第6章では、福島県中・南を対象域とし、堤体形状と $R_d$ の関係を明らかにするために、堤高( $H$ )、堤頂長( $L$ )、堤頂幅( $W$ )、上下流法面勾配(1: $U$ 及び1: $D$ )を形状特性とし、

既往研究の被災分析結果と比較するために、諸元毎の相対度数（母数）を考慮して  $R_d$  を求めた。  $H$  は  $R_d$  に影響を及ぼさず、どの堤高でも一定値を示したが、③「 $L$  が長い」方が  $R_d$  は増加した。ため池横断面形状では、④「 $H$  が高く  $W$  が広く上下流勾配比( $D/U$ )が小さい（上流勾配が緩い）組合せ」において、 $R_d$  は大きな値を示した。これまでの地震動被災は、「 $H$  が大きいほど  $R_d$  は増加し、 $L$  は  $R_d$  に関係ない」とされてきたが、今回は正反対の結果となった。さらに、横断面形状に関する被災リスクは、新しい知見となった。因みに、震度 5 強で決壊した藤沼湖は、①～④の高被災リスク特性を全て含んでいた。

前章までの考察を基に、**Fig.7-1** に「ため池地震動被災要因の概念図」を提案することで第 7 章の結論とした。この概念図は、要因間で階層構造を有し、下部階層が大きく上部に行くほど小さくなる台形状をしている。つまり、底辺の幅が広い程被災リスクが大きくなることを示している。下部は環境要因であり、強震動地震、広域的地質及び推計震度の順で下から上へ構成される。上部は個体要因であり、それは外部と内部要因で構成されている。外部要因はサイト地形と堤軸方向が、内部要因は堤体形状が構成要素である。なお、本研究では言及していないが、堤体材料や構造は、内部要因として位値付けが可能である。この概念図によって、これまで震度との関連で曖昧になっていた被災要因について、要因毎の関係性を説明することができる。

因みに、地震に関して誘因①と誘因②に分けた。その理由は、小規模な農業用ため池にとって唯一の地震情報である「推計震度」が、危険度評価に向けた重要指標と成る得ることを強調するため。また、誘因①と②の関係から、「推計震度」では、危険度評価時に強震動の揺れ時間及び推計上の精度等にも留意すべきである。

以上の様に、「ため池地震動被災要因の概念図」によって被災要因相互の関係を明らかにすることができたことから、今後、(a) 地震時緊急点検では、ため池毎の推計震度と堤体要件を踏まえて的確・効率的な点検実施に資する、(b) 農村地域の防災・減災対策のための大規模地震発生時の災害想定的基础資料として貢献できると思われる。但し、そうなるためには、全国のため池防災関係者は、ため池 DB の精度向上に努めると共に、個体要因となった堤軸方向及びサイト地形に関するデータベース化に新たに取り組む必要がある。

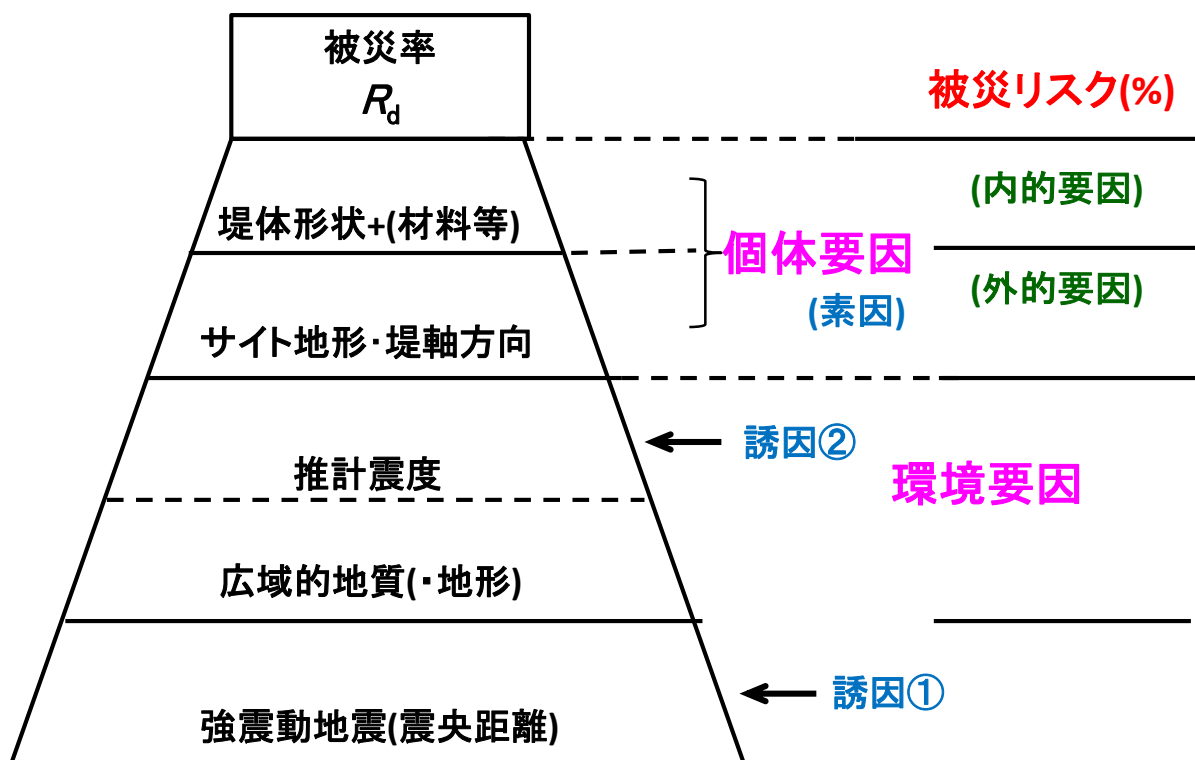


Fig. 7-1 ため池地震動被災要因の概念図

## 参考文献

- Asano, K. and T. Iwata (2012), Source model for strong ground motion generation in the frequency range 0.1-10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planets Space*, 64, pp.1111-1123.
- Suzuki H, Kohgo Y (2014) ,Relationships between Seismic Intensities and Damages to Earth Dams for Irrigation during the 2011 Offshore Pacific Coast Tohoku Earthquake, *PWE*
- 秋葉満寿次・仙葉秀(1941):秋田県男鹿地震と溜池被害, *農業土木研究*, 13(1), pp.31-59.
- 秋葉満寿次(1994):昭和28年6月の豪雨による九州災害調査報告, *農業土木研究*, 22(3), pp.1-177.
- 雨森常夫(1939):雨量の分布と耕地災害, *農業土木研究*, 11(2), pp.157-162.
- 雨森常夫(1940):淡路の溜池缺壊が農業経営に及ぼす影響並に之が復舊対策に就て, *農業土木研究*, 12(1)pp.1-9.
- 雨森常夫・山下源彦(1948-1949):溜池による洪水防止並に其の灌漑發電用水源としての利用性に關する調査研究(豫報), *農業土木研究*, 16(3-4), pp.111-112.
- 有田博之(2009):新潟県中越地震における災害査定の特徴と課題, *農業農村工学会論文集*, 77(1)(通号259), pp.93-98.
- 有田博之・湯澤頭太(2009):2004年新潟県中越地震における農業生産基盤の小規模被害と復旧対策, *農業農村工学会論文集*, 77(4)(通号262), pp.417-422.
- 五十嵐太郎編(2013):見えない震災 建築・都市の強度とデザイン, みすず書房, 9月.
- 石橋 豊(1939):本邦高土堰堤に於ける堤高と堤頂幅との關係に就ての統計的研究, *農業土木研究*, 11(4), pp.341-347.
- 石橋 豊(1942):本邦高土堰堤に於ける堤高と内法並に外法勾配との關係に就ての統計的研究, *農業土木研究*, 14(3), pp.141-147.
- 井上 勇(1937):土堰堤断面決定に際し天幅率と内外法率との關係に就て, *農業土木研究*, 9(2), pp.17-24.
- 大崎順彦(1983):「地震と建築」, 岩波新書(黄版)240
- 片岡 謙(1929):農業土木研究の發刊に際して, *農業土木研究*, 1(1), pp.1-6
- 可知貫一(1915):岐阜県下耕地整理地区溜池一覽表に就て, *耕地整理研究会報*, 20号, pp.60-68.

- 可知貫一(1915)：岐阜県可児郡小泉村耕地整理地区溜池直営工事概況，耕地整理研究会報，20号，pp.32-36.
- 可知貫一(1932)：京都府巨椋池干拓と其の浩岸耕地改良事業，農業土木研究，4(4)341-358
- 可知貫一(1937)：追憶 上野博士と将来の農業土木，東京大学農学部農業工学科八十周年記念誌、東京大学農業工学同窓会，昭和59年，pp.54-56.
- 功刀 卓・青井 真・鈴木 亘・中村洋光・森川信之・藤原広行(2012)：2011年東北地方太平洋地震の強震動，防災科学技術研究所，主要災害調査，48，pp.67.
- 小池一之(1965)：阿武隈川中流域の地形(短報)，地理学評論，38，519-525
- 小島寛之(2006)：完全独習 統計学入門，ダイヤモンド社，9月.
- 小林範之・吉武美孝・勝山邦久・岡林千江子(2002)：ため池地震危険度評価システムの構築，農業土木学会論文集，70(6)222，pp.69-75.
- 小林宏康(2008)：平成19年(2007年)能登半島地震及び新潟県中越沖地震における農村工学研究所の対応と技術支援力の強化，農村工学研究所技報，Mar-08(208)pp.1-13.
- 小林道正(2012)：でたらめにひそむ確立法則 地震発生確率87%の意味するもの，岩波書店，7月.
- 澤田敏男(1949-1950)：滲透水の流動に関する研究，農業土木研究，17(2-3)，pp.57-68.
- 重松逸造(1997)：疫学とはなにか 原因追究の科学，講談社，6月.
- 清水 誠(1996)：データ分析 はじめの一步，講談社，10月.
- 白石英彦・岩崎和巳・大西亮一・伊藤喜一(1980)：新潟平野における6.26豪雨について，農業土木試験場技報，B，水理，48号，pp.1-26.
- 鈴木尚登，中里裕臣(2012)：平成23年(2011年)東日本大震災における農村工学研究所の対応と農地・農業用施設等の被害実態，農村工学研究所技報，213号，pp.1-21.
- 鈴木尚登・花岡茂樹・森瀧亮介・柳浦良行(2007)：巨椋池干拓の「作業日誌」に見る可知氏の設計思想，農業土木学会誌，75(2)，pp.97-100.
- 高岡恭三(1984)：1983年日本海中部地震調査報告，農業土木試験場技報，Nov-84(3)，1-42.
- 高瀬国雄・天野 充・山下 進(1966)：地震によるアースダムの被害，土と基礎，(14)10，pp.3-9.

- 高瀬国雄(1967)：アースダムの安全性に関する統計的研究，京都大学学位論文
- 高月豊一・南 勳(1955)：アースダム法面安定に関する一考察，農業土木研究，23(4)，pp.199-206.
- 高月豊一・南 勳(1956)：アースダム滑動安定に対する静力学的考察，農業土木研究，24(4)，pp.187-192.
- 谷 茂(1985)：1983年日本海中部地震によるため池の被害調査報告，農業土木試験場技報，Nov-85(4)，pp.1-92.
- 谷 茂・長谷川高士(1987)：日本海中部地震を中心とした溜池の地震被害，農業土木学会誌，(55)10，pp.17-25.
- 谷 茂・堀 俊和(1998)：日本におけるため池を含めた農業用フィルダムの地震被害に関する研究，農業工学研究所報告，37，pp.51-90.
- 谷 茂・堀俊和(1998)：日本におけるため池を含めた農業用フィルダムの地震災害に関する研究，農業工学研究所報告，37号，pp.51-90.
- 谷 茂(1985)：1983年日本海中部地震によるため池の被害調査報告，農業土木試験場技報，CE，造構，4号，pp.1-92.
- 谷 茂(1998)：宮城県北部地震による農業施設の地震被害調査報告，農業工学研究所技報，196号，pp.29-43.
- 谷 茂(2005)：ため池リアルタイム防災データベースの開発，農業土木学会誌，73(9)，pp.817-820.
- 谷 茂・長谷川高士(1990)：溜池堤体材および基礎地盤の土質工学的性質，農業土木学会論文集，150，pp.57-65.
- 谷 茂・長谷川高士(1991)：溜池の地震時安全性の評価法，農業土木研究，152，pp.55-64.
- 谷 茂(1995)：北海道に被害をもたらした地震におけるフィルダムの挙動について，農業工学研究所技報，Mar-95(192)，pp.17-39.
- 谷 茂(1998)：宮城県北部地震による農業施設の地震被害調査報告，農業工学研究所技報，Mar-98(196)，pp.29-43.
- 谷 茂(2006)：農地・農業用施設被害の概要について，農業工学研究所技報，Mar-06(205)，pp.1-4.
- 東北農政局(1984)：「日本海中部地震」－土地改良施設の災害と復旧－
- 中里裕臣・井上敬資・海野寿康(2007)：GIS を利用した農地地すべり予測システムの

- 開発，農業農村工学会誌，75(11)pp.979-982.
- 中島淳一郎(1979)：宮城県沖地震による土地改良施設災害の実態と一考察，農業土木学会誌，47(6)，pp.409-418.
- 新潟地震調査報告(1965)，Oct-65(1).
- 農業土木学会編(1934)：本邦高土堰堤誌，農業土木研究臨時刊行，1934年6月.
- 農業土木学会編(1937)：水害防止協議會決定事項(抄録)，農業土木研究，9(1)，pp.89-95.
- 農業土木学会伊勢湾台風災害対策特別委員会(1960)：伊勢湾台風災害対策調査報告書，農業土木研究，28(2)，pp.59-81.
- 伯野元彦(1992)：「被害から学ぶ地震工学」－現象を素直に見つめて－，鹿島出版会
- 畑中元弘(1952)：土堰堤の振動に関する三次元的考察－自由振動について－，土木学会誌，37(10)，pp.423-428.
- 福島県農業用ダム・ため池耐震性検討委員会(2012)：農業用ダム・ため池の耐震性簡易検証手法の確立報告書(要旨)平成24年3月6日，3
- 藤井弘章・難波明代・西村伸一・島田 清・西山竜朗(2005)：兵庫県南部地震による淡路島北部 5 町のため池被害・無被害要因の多変量解析，自然災害科学 24-1，pp.59-78.
- 堀 俊和，上野和広，松島健一(2012)：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による福島県のため池被災の特徴と応急対策，農村工学研究所技報，213号 pp.175-199.
- 松尾欣二(1937)：技術的に見たる往古の農業土木事業，農業土木研究，9(4)，pp.15-17.
- 村井俊治(2011)：東日本大震災の教訓－津波から助かった人の話－，古今書院，8月.
- 毛利栄征(1985)：1983年日本海中部地震によるパイプラインの被災調査報告，農業土木試験場技報，Nov-85(4)，pp.93-147.
- 毛利栄征，堀 俊和，松島健一，有吉 充(2006)：平成16年(2004年)新潟県中越地震によるため池と集落排水施設の被災，農業工学研究所技報，205号，pp.61-76.
- 毛利栄征・堀 俊和・有吉 充・林田洋一・谷 茂(2008)：平成19年(2007年)能登半島地震によるため池の被害，農村工学研究所技報，208号，pp.15-23.
- 毛利栄征・谷 茂・堀 俊和・有吉 充・増川 晋・田頭秀和・林田洋一(2008)：平成19年(2007年)新潟県中越沖地震によるため池の被害，農村工学研究所技報，208号，pp.75-88.
- 南 勲(1960)：アースダム耐震性に関する一実験，農業土木研究，28(1)，pp.51-52.



- 森瀧亮介・鈴木尚登(2007): 食料安全保障と第1号国営巨椋池干拓事業の成立背景, . 農業土木学会誌, 75(2), pp.93-96.
- 守屋正博・高岡恭三・山下 進(1968): 十勝沖地震によるアースダムの被害調査とその考察, 土と基礎, 541, pp.39-45.
- 守屋正博・高岡恭三・山下進(1969): アースダムの被害, 1968年十勝沖地震調査報告, 農業土木試験場技報, F, 総合, 3号, pp.1-10.
- 山崎 晃・三宅克之・中村正博・池見 拓(1989a): ため池の地震被害の分析, 土木学会論文集, 404/I-2, pp.361-366.
- 山崎 晃・三宅克之・中村正博・池見 拓(1989b): 地震被害を受けたため池の悉皆調査に基づく被災率, 土木学会論文集, 404/I-2, pp.367-374.
- 山崎不二夫(1935): 農業造構學の概念, 研究對象, 研究範圍及び研究方法, 農業土木研究, 7(2), pp.29-40.
- 山下 進(1965): アースダムの被害, 農業土木試験場技報, F, 総合, 1号, pp.59-86.
- 和久井清次(1932): 高堰堤の地質學的考察, 農業土木研究 4(3), pp.299-314
- 涌井良幸・涌井貞美(2010): 史上最強凶鑑これならわかる! 統計学, ナツメ社, 10月
- 和田 保(1937): 土堰堤の断面決定に就て, 農業土木研究, 9(4), pp.105-111.
- 和田 保(1965): 農業土木の現状と将来, 農業土木研究, 32(6), pp.36-39.
- 和田 保(1965): 農業土木の現状と将来, 農業土木学会論文集, 32(6), pp.36-39.
- [http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/kaisetsu/calc\\_sindo.htm](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/kaisetsu/calc_sindo.htm)
- <http://www.j-shis.bousai.go.jp/map/JSHIS2/download.htm>

## 謝 辞

本研究は筆者の35年に及ぶ国家公務員としての成果をまとめたものであり、取り分け、京都府下在職中、平成17年秋に文化勲章を受章された沢田敏男京都大学名誉教授から「坂の上の雲を目指した農業土木の歴史」について直々に講義賜ったことが、今日に至る重要な原動力になっております。さらには、多くの方々のご縁、ご助力と励ましなしにはとうてい成し遂げることができませんでした。東京農工大学農学部向後雄二教授には、本論文の構成から内容に至るまで適切な指導、助言並びに励ましを頂きました。深甚より感謝致します。茨城大学農学部中石克也教授、東京農工大学農学部斎藤広隆准教授、同加藤亮准教授並びに宇都宮大学農学部飯山一平准教授には、本論文をまとめるに当たり貴重な助言と指導を頂きました。心よりお礼申し上げます。

文部科学省研究開発局地震・防災研究課の歴代の地震調査官で小屋政裕様、飯野英樹様、岩切一宏様には、毎月定例で行われる地震調査研究本部説明会において、地震に関する様々な疑問や質問に懇切・丁寧に御教授賜ると共に、貴重な資料提供及び関係者をご紹介頂きました。このご縁で、気象庁地震火山部地震津波監視課強震解析係長浦谷純平様には、計測震度、推計震度について懇切丁寧に御教授頂くと共に、東北地震時の震度観測について貴重な資料を提供及び紹介頂きました。また、京都大学防災研究所地震災害研究部門強震動研究分野助教の浅野公之博士には、強震動生成域に関するご自身の研究成果を長時間亘り丁寧に御教授頂きました。これらの方々のお教えなくしては、地震学に対して門外漢であった著者が学位論文としてまとめることは出来ませんでした。衷心より感謝申し上げます。

震災県の関係各位には、災害対応で超多忙な最中にも拘わらず本研究にとって不可欠な被災情報の提供を頂いた。取り分け、震災翌年4月に福島県農林水産部で災害復旧事業を担当する農村基盤整備課長に就任された小島重紀様(現相双農林事務所長)は、東京農工大時代からの学友・親友であり、本研究の目的を的確に理解し、本論文の肝となった福島県内ため池DBの整理・照合について陣頭指揮を取って頂いた。特に、同課水利防災担当主任主査の鈴木秀一郎様(現県中農林事務所農村整備課長)には、県内各ため池の位置情報の再確認と共に、手間の掛かる被災データの収集・整理の実務を司り、筆者らの被災ため池現地調査時のご案内・ご手配を頂いた。また、同県前農地管理課長菊池和明様(現農村基盤整備課長)には、著者の被害実態分析結果報告に対して、適宜・適切なコメントと震災後に見

直された福島県内の防災・減災対策に関して貴重な情報を頂いた。これらのご理解・ご支援・ご協力がなければ、本論文を防災に関わる研究論文として成就させることができませんでした。深甚より感謝申し上げます。

宮城県内の農業基盤施設復旧事業対応では、宮城大学食産業学部教授郷古雅春博士(前宮城県農林水産部農地復興推進室長)に発災当時の対応状況を伺い、また、ため池被害に関する各種データの提供及び確認調整をお願いした。さらに、京都府から福島県へ災害支援のために先遣調査された、元農林水産部農村振興課副課長池垣明彦様(現同部水産課長)からは、震災直後のため池被害形態から、震央・震源方向との関連性が有る旨のエンジニアとしての見解を伺うことができた。この4年振りの奇遇な再会は、本論文を成し遂げる重要な研究要素と動機であり続けた。

農林水産省の防災・災害対策の関係同僚各位からは、震災時の貴重な体験談と共に、本研究に関係する各種資料及び情報の提供を頂きました。中でも農村振興局防災課佐々木聡ため池防災係長は、前職の東北農政局防災課時代に東北地震を体験され、ため池地震被害及び復旧の取りまとめ、翌年4月から全国的な立場でため池地震時危険度評価等のため池防災・減災施策を担当され、謂わば著者の同志的存在として本研究の重要性の議論を深め、問題認識を常に共有させて頂きました。また、同じく震災翌年4月に着任された前防災班担当課長補佐北田裕道様(現設計課付課長補佐)は、ため池の一斉点検の実施、ため池データベース更新等を全国都道府県に指導通達すると共に、関係府県ため池防災担当者を構成員とする「ため池防災・減災に関する検討会」を立ち上げ、本研究内容を当会で報告する機会を何度も与えて頂き、ため池研究の社会的意義を広く共有できました。さらに、同課海岸・防災事業調整官遠藤知庸様とは、前職の日本水土総合研究所調査研究部長からため池防災関連で一緒に頂き、その工学的不透明性に問題提起を行い、農業土木工学との歴史的関わりを掘り下げる契機を与えて頂いた。これら同僚の真摯な行政的取組・対応が、著者の研究モチベーションを維持できた最大の要因であり、深甚よりお礼申し上げます。

加えて、著者の職務柄のカウンターパートとなる農村振興局防災課災害対策室各位には、震災後の着任直後から諸々の情報提供・交換をして頂き、特に歴代災害班担当課長補佐石橋正之様、平山和徳様、伊藤光弘様及び現課長補佐東崇史様とは、災害対応課題を共有すると共に、本研究に対する貴重なコメントを沢山頂きました。その他、同室前災害査定官木村充様(現モロッコ国派遣専門家)には、東北地震発災直後の災害対応体験を共有頂く共に、災害査定制度や被害報告データもご提供頂いた。現在も続く大震災の対応で多忙な最

中，各種データ整理や提供にご協力頂いたことに対し，心からお礼を申し上げます．

さらに被災局となった東北及び関東両農政局防災課各位には超多忙な中で，被害データ整理や復旧工事の進捗状況等の情報提供頂く等，この上なくお世話になりました．特に東北農政局防災課防災係長佐藤幸太郎様と関東農政局元防災課長古木信也様(平成25年3月定年退職)には，関係県からの被害データを入手頂くと共に，著者の研究に対しても適宜，被災地の現況を踏まえた貴重な助言を頂き，さらに元資源課地質官大塚文哉様(現農村振興局農村環境課課長補佐)には，群馬県内被災ため池に関する数々の資料をご提供賜りました，本当に有り難うございました

本研究は，独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所において実施したものであり，研究を遂行するに当たって，前所長高橋順二博士(現秋田県立大学教授)，理事・所長小泉健博士及び企画管理部長山本徳司博士には，有形無形の御助力を頂きました．また，前施設工学研究領域長毛利栄征博士(現茨城大学農学部教授)には，ため池全般及び耐震研究に関して，また現領域長増川晋博士には地震動被害に関して貴重なご助言を頂いた．本研究のベースとなった「ため池DB」は，元来，施設工学研究領域広域防災担当の研究成果として引き継がれており，前担当上席研究員川本治博士(現日本大学農学部教授)，現担当統括吉迫宏主任研究員、同担当井上敬資主任研究員、同担当主任研究員正田大輔博士の各位からは，本研究始動当初から全面的な協力を頂き、取りまとめに当たっても重要な助言を頂いた．さらに施設工学領域土質担当上席研究員堀俊和博士及び同研究員上野和広博士からは，福島県内の被災ため池調査研究資料の提供と現地の被害実態に関する重要な示唆を頂いた．加えて，同領域施設機能担当上席研究員中嶋勇博士には，地震時の水利施設被害に関して，構造担当統括田頭秀和上席研究員，同主任研究員黒田清一郎博士，同林田洋一主任研究員には，土質構造物の動的挙動特性に関して，農村基盤研究領域安中誠司上席研究員には，ため池防災技術の社会的適用に関して，示唆に富む助言を賜った．さらには水利工学研究領域前沿岸域水理担当上席研究員丹治肇博士(現北里大学教授)及び現担当上席研究員桐博英博士からは，所内課題の共同研究者として研究手法やデータ精度・整理の重要性について，ご助言頂きました．これら所内各位からの示唆に富むご鞭撻がなければ，本論文の成就是あり得なかったと心底より感謝申し上げます．

著者とは防災研究棟でご一緒頂いている情報広報課各位には，これまでの研究期間，本当に色々とお世話を頂きました．特に，農工研内の研究報告書の整理に関しては，同課長補佐澤田明美様に文献リストの作成に，同課笹倉亜希子様にはため池位置データのグーグ

ルアース上マッピング化に、同課鈴木昭子様には参考文献検索に各々ご助力頂いたこと、心から感謝しております。防災研究調整役着任よりご同室賜っている上席研究員中里裕臣博士からは、本研究の地形・地質に関する基礎的な研究情報から資料検索方法まで御教授頂くと共に、久保田佐和子様からは、データ・資料整理について全面的なサポートを頂きました。ご両名に4年前からご同室賜ったことは、筆者にとってこの上ない幸運であり、この期間、お二人に色々親切に支えて頂いたことに対して、どのような感謝の言葉が相応しいか今もって見つかりません。

東京農工大学博士課程小嶋創様には、修士課程時代から本研究に協力頂き、現地調査やデータ整理を手伝って頂きました。本研究は、これらの方々を含む多くの諸氏とのご縁と、ご指導、ご援助の賜と存じます。ここに記して深謝の意を表します。

最後に、研究活動中、常に筆者の健康を気遣ってくれた妻・恵美と、論文取りまとめの最終盤に絶大なる元気を与えてくれた長女・待望の胎児にも心から有り難うと言いたい。

## Appendix

- 1 農地・農業用施設と自然災害に関する研究文献（農業農村工学会）
- 2 農地・農業用施設と自然災害に関する研究文献（農工研所報・技報）
- 3 ため池台帳(H9年)とため池DBの登録データ比較
- 4 福島県中・南被災集中エリアため池リスト
- 5 提供被災・地震情報リスト

Appendix -1 農地・農業用施設と自然災害に関する研究文献（農業農村工学会）

年	タイトル	著者	巻号・年	ページ
<b>農業土木研究(1929-1965)</b>				
1929	☆ 農業土木研究の發刊に際して	片岡 謙	1(1)1929	1-6
1930	△ 鐵筋コンクリート設計資料一	大淵 貞榮	2(1) 1930	73-92
	△ 溜池水利計畫例	君塚 貢	2(2)1930	159-179
	△ 中空式鐵筋混凝土堰堤の理論と設計	木村 久満	2(3)1930	249-268
<b>1931 ☆ 農業土木ハンドブック発行(農業土木学会編)</b>				
1931	△ 轉動堰堤(ローリング・ダム)の理論と設計例	木村 久満	3(2)1931	237-280
1932	△ 廣頂堰に就て	古市 與一	4(2)1932	139-149
	○ 高堰堤の地質學的考察	和久井 清次	4(3)1932	299-314
	☆ 京都府巨椋池干拓と其の沿岸耕地改良事業	可知 貫一	4(4)1932	341-358
1934	☆ 本邦高土堰堤誌	農業土木学会編	1934.6月	1-94
1935	△ 堰底に作用する揚壓力の分布	狩野 徳太郎	7(1)1935	1-4
	△ 農業造構學の概念,研究對象,研究範圍及び研究方法	山崎 不二夫	7(2)1935	29-40
	△ 彈性基礎上の函渠の受くる應力計算	柴田 道生	7(2)1935	51-57
	○ 災害河川の流量と搬出砂礫との關係に就て	雨森 常夫	7(2)1935	59-78
	○ 軟弱地盤に施工せる築堤沈下の力學的解析	柴田 道生	7(3)1935	51-64
1936	☆ 何故我が農業移民は北滿に送るか	加藤 久男	8(1)1936	1-15
1936	△ 大阪府泉北郡光明池支配地域用水改良事業	青木 勝治	8(2)1936	17-40
1936	△ 宮崎縣杉安堰用水改良工事報告	柳原 鹿松	8(2)1936	41-52
	○ 「セメントグラウチング」に関する報告	前川 純三	8(3)1936	61-70
	○ 鋼土の粘着力に及ぼす石灰の影響	山崎 不二夫	8(4)1936	31-40
1937	△ 群馬縣勢多郡新里村外五箇村用水改良事業として施行せる土堰堤工事及其の歩掛りの一部に就て	齋藤 美千司	9(1)1937	39-48
	△ 滋賀縣淡海溜池の設計とその完成後の概況		9(1)1937	71-86
	○ 水害防止協議會決定事項(抄録)		9(1)1937	89-95
	○ 粘質土の剪斷抵抗	山崎 不二夫	9(2)1937	7-16
	○ 土堰堤断面決定に際し天幅率と内外法率との關係に就て	井上 勇	9(2)1937	17-24
	☆ 技術的に見たる往古の農業土木事業	松尾欣二	9(4)1937	15-17
	○ 二和土の締固め	山崎 不二夫	9(4)1937	19-26
	○ 土堰堤基礎調査とグラウチングの實例に就て	柴田 道生	9(4)1937	91-94
	○ 土堰堤の断面決定に就て	和田 保	9(4)1937	105-111
	△ 犬走の効果及其位置に就て	緒方 末松	9(4)1937	119-123
1938	△ 福島縣本宮町外一ヶ村農業水利事業三森溜池取水塔と分水装置	澁川 幸雄	10(3)1938	363-372
1939	○ 土堰堤堤體の透水調査法として簡便なるパイプ試験	後藤 與治, 下川 善之	11(1)1939	12-17
	○ 雨量の分布と耕地災害	雨森 常夫	11(2)1939	157-162
	○ 本邦高土堰堤に於ける堤高と堤頂幅との關係に就ての統計的研究	石橋 豊	11(4)1939	341-347
1940	○ 淡路の溜池缺壊が農業經營に及ぼす影響並に之が復舊對策に就て	雨森 常夫	12(1)1940	1-9
	☆ 蒙疆の土地改良と水利問題	師岡 政夫	12(2)1940	113-114
	☆ 北支那に於ける水害と其の對策	藤井 順治	12(3)1940	157-171

	☆ 國土計畫に就いて	溝口三郎	12(3)1940	178-204
	△ 本邦高土堰堤の工事費に就ての統計的研究	石橋 豊	12(4)1940	228-246
1941	◎ 秋田縣男鹿地震と溜池被害	秋葉 満壽次, 仙波 秀男	13(1)1941	31-59
	☆ 混泥土重力堰堤内應力の計算例	立山 一徳	13(2)1941	112-126
	△ 溜池の池敷係數に就て	石橋 豊	13(3)1941	204-222
	☆ 佛印に於ける水利事業(譯)	和田 保, 戸塚 正夫	13(3)1941	223-251
	☆ 佛印に於ける水利事業(譯)(續)	和田 保, 戸塚 正夫	13(4)1941	283-308
	○ 土堰堤築堤材料の締固に就て(抄譯)	菊岡 武男	13(4)1941	309-315
1942	☆ 朝鮮の洪水	中村 總七郎	14(1)1942	37-44
	☆ 農業土木事業に於ける學生々徒集團勤勞作業に關する調査研究(序報)	石橋 豊	14(2)1942	104-109
	○ 本邦高土堰堤に於ける堤高と内法並に外法勾配との關係に就ての統計的研究	石橋 豊	14(3)1942	141-147
1943	△ ポートランドセメント混和劑としての粃穀利用	松田 俊正	15(1)1943	1-8
	☆ 共榮圏各地農業水利開發に對する基礎的考察の差異	可知 貫一	15(2-3)1943	103-116
	△ 溜池に於ける最大水深と平均水深との相關關係に就て	石橋 豊	15(2-3)1943	311-317
<b>1945</b>	<b>☆ 第二次世界大戰終戦</b>			
1948	△ 溜池による洪水防止並に其の灌溉發電用水源としての利用性に關する調査研究(豫報)	雨森 常夫, 山下 源彦	16(3-4)1948-1949	111-112
1949	△ 河川の最大洪水量を低減する方策について	雨森 常夫	17(1)1949-1950	23-24
	○ 堰堤下の水流	田中 宏平	17(1)1949-1950	35
	☆ アメリカに於けるOVERHEAD IRRIGATIONに就て	吉良 八郎	17(1)1949-1950	41-43
	△ 洪水調節について	廣松 直人	17(1)1949-1950	46-47
	○ 滲透水の流動に關する研究	澤田 敏男	17(2-3)1949-1950	57-68
	△ 洪水対策資料としての農作物浸水被害の實驗(第1報)	高月 豊一, 吉田 茂三郎	17(2-3)1949-1950	95-97
	△ 防水溜池設計計畫の基本的概念	出口 利祐	17(2-3)1949-1950	135-142
<b>1949</b>	<b>☆ 土地改良法の制定</b>			
1950	△ 小阪部川農業水利事業の計畫概要及び堰堤築造コンクリートの二三の調査	上瀧 要美	18(3)1950-1951	224-233
	○ 滲透水の流動に關する研究(3)	澤田 敏男	18(3)1950-1951	270-280
<b>1950</b>	<b>☆ 昭和25年に農林水産業施設災害復旧事業費国庫補助の暫定措置に關する法律(暫定法)に基づき制定</b>			
<b>1950</b>	<b>☆ 農林省農業技術研究所農業土木部、九州農業試験場干拓部発足</b>			
<b>1952</b>	<b>☆ 土地改良事業計畫設計基準「コンクリート堰堤」編 制定</b>			
1953	△ 統計的に見た温水溜池に關する考察	秋葉 満壽次他.	21(3) 1953.09	151-159
	△ 計畫洪水量に關する順序統計学的考察	角屋 睦.	21(3) 1953.09	188-195
<b>1953</b>	<b>☆ 土地改良事業計畫設計基準「土堰堤」編 制定</b>			
1954	△ 滲透水の流動に關する研究-5-	沢田 敏男.	21(5) 1954.01	273-283
	△ 低堰堤の揚圧について	田中 宏平.	21(5) 1954.01	307-310
	○ アースダムに關する研究(抄録)		21(5) 1954.01	323-329
	△ 可児川石塊堰堤の設計および施行について	林 桂, 荒井 正義.	22(2) 1954.07	148-160
	○ 昭和28年6月の豪雨による九州災害調査報告	秋葉 満壽次	22(3) 1954.08	1-177
	○ 水路および貯水池の漏水防止のための疎水性土壤の研究	山崎 不二夫.	22(4) 1954.10	413-414
1955	△ 堰堤溢流面の合理的曲線の一試案	山本 茂.	22(6) 1955.03	495-500
	△ 潮受堤防の災害復旧に關する研究	松尾 欣二.	22(6) 1955.03	518-525



	△ 伊勢湾の異常潮位に関する一考察	川原 琢磨.	23(2) 1955.07	81-85
	○ アースダム法面安定に関する一考察	高月 豊一, 南 勳	23(4) 1955.11	199-206
1956	△ 土堰堤の締固め過程における間隙圧について-1-	和田 保他.	24(1) 1956.05	9-12
	○ 豪雨時アースダムに発生した地這り面の形の解析法	高月 豊一他.	24(1) 1956.05	18-23
	△ 浸透水運動の基礎理論	中村 充.	24(1) 1956.05	40-44
	○ 前刃金を有する堤防の浸透	田町 正誉.	24(3) 1956.08	125-129
	○ 土の応力と変形についての基礎的考察	山田 伴次郎他.	24(3) 1956.08	130-133
	△ 特殊地盤を基礎としたコンクリートダムの設計	遠藤 虎松, 山崎 順作, 宮本 国雄	24(3) 1956.08	139-144
	△ 帯状構造物に及ぼす地盤反力の静力学的影響-6-	山田 伴次郎.	24(3) 1956.08	158-166
	○ アースダム滑動安定に対する静力学的考察	高月 豊一, 南 勳	24(4) 1956.10	187-192
	△ 浸透水運動の基礎理論 (II)	中村 充.	24(4) 1956.10	218-222
<b>1956</b>	<b>★ 土地改良事業計画設計基準「アースダム」編 改定案</b>			
1957	△ 帯状構造物に及ぼす地盤反力の静力学的影響-7-	山田 伴次郎.	24(6) 1957.02	329-335
	△ 山口県営温見ダムにおける堤体内部温度について	田中 真, 森 正義, 光田 照秀, 木村 一郎, 山口 重雄	24(7) 1957.04	383-386
	○ 災害復旧における浸透抑制について	清水 義雄他.	24(8) 1957.05	417-419
	△ 地層の電気比抵抗と透水係数	桂山 幸典.	24(8) 1957.05	421-422
	○ 第12号台風による南児島塩害について	小林 清.	24(8) 1957.05	439-440
1958	△ 紀の川新六箇頭首工災害復旧工事におけるイントリユージョン工法とガンクリート	高橋 三夫.	25(5) 1958.02	325-328
	△ 豊沢川ダムにおけるコンクリートの品質管理について	秋篠 憲作	25(8) 1958.05	462-464
	△ 地スベリに対する一考察	吉原 公男.	25(8) 1958.05	506-507
1959	△ 破碎帯地スベリについての考察-1-	高橋 真吉他.	26(7) 1959.03	438-440
	△ Vega ダムの施工とその管理について	中原 通夫	27(1) 1959.05	29-33
<b>1959</b>	<b>★ 農林省農地局建設部実験研修室発足</b>			
1960	△ 榭沢ダムのクラッシングプラントの設計とその実績について	北山 定一, 朝倉 愿, 荒ヶ田 国和, 北村 純一, 矢上 光男	27(7) 1960.03	440-442
	△ 土えん堤かさ上げの設計一例	滝口 賢三, 近藤 庄平, 泉川 利雄	27(8) 1960.04	494-496
	△ 大夕張ダムのコンクリート打設について	榊原 高男, 橋本 吉夫	27(8) 1960.04	518-521
	○ アースダム耐震性に関する一実験	南 勳.	28(1) 1960.06	51-52
	○ 伊勢湾台風災害対策調査報告書	農業土木学会伊勢湾台風災害対策特別委員会	28(2) 1960.08	59-81
	△ 高潮について	宮崎 正衛.	28(2) 1960.08	82-86
<b>1961</b>	<b>★ 農業基本法の制定</b>			
<b>1961</b>	<b>★ 3機関を母体に農林省農業土木試験場設立</b>			
<b>1961</b>	<b>★ 災害対策基本法の制定</b>			
1961	☆ 新農村建設とは何か	小倉 武一.	29(6) 1961.12	241-243
	☆ 農業基本法と農業土木の将来	堀 真治.	29(6) 1961.12	261-262
	☆ 農業基本法と農業土木の将来	和田 保.	29(6) 1961.12	269-274
	☆ 農業土木の技術学・工学および基礎学	山崎 不二夫他.	29(6) 1961.12	50-52

1963	△ 関東ロームの粒度分析 火山灰土の物理性の研究	多田 敦他.	別冊(通号 5) 1963.01	17-23
	△ 堤防の津波対策に関する水理学的研究-1-3-	福井 芳朗他.	別冊(通号 5) 1963.01	31-48
1964	△ 刀利アーチダムの設計について	久徳 茂雄, 八木 直樹	31(5)1964.01	251-257
1965	☆ 農業土木の現状と将来	和田 保.	32(6) 1965.02	36-39

### 農業土木会論文集('66-'07)

1966	○ 建設中のアースダム堤体内間ゲキ水圧の解析について	沢田 敏男他.	15) 1966.03	16-20
------	----------------------------	---------	-------------	-------

### 1966 ☆ 土地改良事業計画設計基準「フィルダム」編 改定案

1968	△ 積雪災害度の気候学的表示	中峠 哲朗.	23) 1968.03	9-18
	△ 複合ダム接合部に関する研究 (I) 複合ダム接合部の応力解析と形状設計	沢田 敏男, 辻 誠一	23) 1968.03	25-28
1969	○ アースダムの振動性状に関する一解析法	沢田 敏男他.	28) 1969.06	17-21
	△ 岩盤内を伝バする弾性波の特性について	沢田 敏男他.	28) 1969.06	22-28
	△ ホローダムの振動性状に関する解析的研究	沢田 敏男他.	30) 1969.12	12-20
	△ 内の倉ホローダムの設計に関する研究	沢田 敏男他.	30) 1969.12	21-26

### 1971 「河川管理設計等構造令」の施行

1972	○ 締固め土のクリープについて 締固め土の力学的性質について (II)	鳥山 昶司.	40) 1972.04	67-72
	△ 表面沈下量による締固め度の判定 フィルダムの締固めに関する実験的研究(I)	藤井 弘章他.	41) 1972.07	49-55
	△ 貫入抵抗による締固め効果の判定 フィルダムの締固めに関する実験的研究(II)	藤井 弘章他.	41) 1972.07	56-61
	△ 土圧計の検定ならびにその埋設における問題点について フィルダムの締固めに関する実験的研究(III)	藤井 弘章他.	41) 1972.07	62-69
	△ 締固め機械によって生ずる力について フィルダムの締固めに関する実験的研究(IV)	藤井 弘章他.	41) 1972.07	70-77
	△ タイヤローラーによって生ずる地中応力 フィルダムの締固めに関する実験的研究(V)	藤井 弘章他.	42) 1972.10	35-41
	△ 振動ローラーによって生ずる地中応力 フィルダムの締固めに関する実験的研究(VI)	藤井 弘章他.	42) 1972.10	42-46
	△ 振動ローラーによる締固め地盤の動的性質の推定 フィルダムの締固めに関する実験的研究(VII)	藤井 弘章他.	42) 1972.10	47-53
1973	○ フィルダムの地震時応力解析-1-フィルダムの固有モードについて	青山 咸康他.	46) 1973.08	49-55
	○ 有限要素法による堤体および基礎における浸透流解析	沢田 敏男他.	47) 1973.10	16-21
	○ フィルダムの地震時応力解析-2-フィルダムの地震応答解析について	青山 咸康他.	47) 1973.10	22-34
	△ コンクリートダム施工計画の最適化に関する研究-1-ダムコンクリート打設に関する最適な順序付け	浅井 喜代治.	47) 1973.10	35-43
1974	△ コンクリートダム施工計画の最適化に関する研究-3-型ワク入夫数の制限を考慮した修正PERT計算の適用例とその考察	浅井 喜代治.	49) 1974.02	35-40
	○ 締固め土の力学的性質について-4-締固め土のクリープへの含水比の影響	鳥山 昶司.	52) 1974.08	35-40
	○ 締固め土の力学的性質について-5-含水比によるクリープ後の締固め土のせん断特性の変化	鳥山 昶司.	53) 1974.10	33-38
1975	△ 破壊面の応力解析による残留強度の決定	藤川 武信, 宜保 清一.	57) 1975.06	33-38
	○ 特殊外力条件に対するフィルダムの設計-1-自動車走行によって発生するアースダム堤体挙動の特性	沢田 敏男, 長谷川 高士, 内田 一徳.	58) 1975.08	27-32
	○ 土の締固めにおける水分の役割に対する一考察	近藤 武.	58) 1975.08	21-26
	△ 構造物最適設計に対するFEMの適用	長谷川 高士.	59) 1975.10	35-45
	○ 特殊外力条件に対するフィルダムの設計-3-堤頂に自動車道路をもつフィルダムの安定解析と結果の設計への適用	沢田 敏男, 長谷川 高士, 内田 一徳.	59) 1975.10	53-61
	△ 特殊外力条件に対するフィルダムの設計-2-自動車走行外力のシミュレーションと非線形応力解析	沢田 敏男, 長谷川 高士, 内田 一徳.	59) 1975.10	45-52
	○ アースダムの三次元浸透流解析	沢田 敏男, 渡辺 忠, 吉武 美孝.	60) 1975.12	49-54
1976	△ 締固め土の力学的性質について-6-締固め土のクリープへの側圧の影響	鳥山 昶司.	61) 1976.02	31-36
	△ 締固め土の力学的性質について-7-クリープを受けた締固め土のせん断特性への側圧の影響	鳥山 昶司.	62) 1976.04	28-33
	△ 擬似地震動下 アースダムの応力挙動[英文]	青山 咸康.	65) 1976.10	65-72
1977	○ アースダムの三次元浸透流解析-流量および浸出点について	沢田 敏男, 渡辺 忠, 吉武 美孝.	70) 1977.08	46-51

1978	△	三軸圧縮試験における土の応力と変形について	井上 宗治.	74)	1978.04	75-81
	○	FEMによる斜面安定解析の一手法--最適設計過程としての斜面安定解析-1-	長谷川 高士.	74)	1978.04	67-74
	○	最適設計過程としての斜面安定解析-2-設計過程の構成	長谷川 高士.	75)	1978.06	76-80
	△	締固め粘性土のせん断特性へのヒズミ速度の影響	鳥山 昶司.	78)	1978.12	45-50
	△	正規圧密粘土の体積変化特性について	沢田 敏男.長谷川 高士.島田 清.	78)	1978.12	31-39
	△	日本における貯水池の捕ソク率と土砂収支	吉良 八郎.	78)	1978.12	16-23
1979	○	Three dimensional free vibrations of embankment dams	Shigeyasu Aoyama.	79)	1979.02	47-54
	△	貫入深さを考慮に入れたコーン貫入抵抗の三次元的解析	藤川 武信.甲本 達也.	79)	1979.02	33-38
	△	シラスの直接せん断強さに及ぼす粒子分布の影響	藤川 武信.三輪 晃一.	79)	1979.02	39-46
	△	最適設計過程としての斜面安定解析-3-動的状態に対する斜面安定性の解析	長谷川 高士.	80)	1979.04	50-56
	△	貯水池における滞砂分布の経験的予測	吉良 八郎.広瀬 哲夫.大田 恵司.	80)	1979.04	32-41
	△	ダイレタンシー特性と有効応力変化 発生間ゲキ水圧との関係	吉田 昭治.	80)	1979.04	42-49
	△	フィルダムの震動解析-1-内部減衰力の評価と減衰モデルに関する一つの提案	沢田 敏男.長谷川 高士.菊沢 正裕.	81)	1979.06	76-86
	△	フィルダムの締固めに関する実験的研究-9-ブルドーザーによる締固め地盤内の地中応力	藤井 弘章.沢田 敏男.渡辺 忠.	81)	1979.06	94-103
	△	集中豪雨による改良山成畑の崩壊について	福岡 喜弘.宮崎 毅.井上 久義.	81)	1979.06	9-16
	○	フィルダムの震動解析-2-複合減衰モデルの実ダム動的解析への適用	沢田 敏男.長谷川 高士.菊沢 正裕.	82)	1979.08	58-64
	△	正規圧密粘土のCU・CD試験時におけるせん断ヒズミについて	島田 清.	83)	1979.10	30-37
	△	フィルダムの締固めに関する実験的研究-10-ブルドーザーの地中応力波形モデルの設定と実測波形	藤井 弘章.沢田 敏男.渡辺 忠.	83)	1979.10	44-55
1980	○	締固め粘性土のせん断特性の水浸および締固め含水比による変化	鳥山 昶司.	85)	1980.02	56-62
	○	Hardin型復元力を有する振動系の応答性状	青山 咸康.	86)	1980.04	51-56
	△	不連続面へのジョイント要素の導入について--有限要素法による盛土斜面の解析-1-	永井 啓一.中谷 三男.	86)	1980.04	57-63
	△	表面流出を伴う豪雨時の出水解析について	武上 成比古.	86)	1980.04	36-41
	○	一次元上昇浸透流による砂柱の破壊に関する理論的研究-2-一次元二層系砂柱の浸透破壊問題	沢田 敏男.長谷川 高士.田中 勉.	89)	1980.10	48-54
	○	一次元三層系砂柱の浸透破壊問題--一次元上昇浸透流による砂柱の破壊に関する理論的研究-3-	沢田 敏男.長谷川 高士.田中 勉.	90)	1980.12	63-73
	△	土性と飛散侵食について--土の初期水食に関する土質理工学的研究-1-	藤川 武信.内田 勝利.	90)	1980.12	1-8
1981	△	傾斜地盤上の盛土斜面の安定解析に関する一考察--有限要素法による盛土斜面の解析-2-	永井 啓一.中谷 三男.	94)	1981.08	55-60
	○	初期剪断応力を受けた土の動的強度	長谷川 高士.内田 一徳.立石 卓彦.	94)	1981.08	61-71
	○	アースフィルダム築堤材料の動的変形特性の定量化--初期剪断応力を受けた土の動的特性-3-	内田 一徳.長谷川 高士.	94)	1981.08	72-81
	○	振動台模型実験におけるフィルダムの動的挙動--フィルダムの動的特性に関する研究-1-	長谷川 高士.菊沢 正裕.	95)	1981.10	57-64
	△	一次元上昇浸透流による砂柱の破壊に関する理論的研究-5-限界時の残留有効応力と砂層の安定性	田中 勉.長谷川 高士.	96)	1981.12	36-40
	△	三軸圧縮供試体内の間隙水圧分布について	井上 宗治.	96)	1981.12	49-57
	△	材料及び幾何学的非線形性をとり入れた地盤・土構造物の静的解析	田中 忠次.	96)	1981.12	64-71
	△	ローラーによる砂質ロームの締固め効果に関する実験的研究	吉田 勲.河野 洋.	96)	1981.12	41-48
	○	フィルダムの動的特性に関する研究-2-フィルダムの動的解析及び動的変形特性の同定	長谷川 高士.菊沢 正裕.	96)	1981.12	20-29
1981	☆	土地改良事業計画設計基準「ダム」編 制定（「コンクリートダム」及び「フィルダム」を統合）				
1982	☆	老朽ため池整備便覧を作成				
1983	△	境界要素法によるフィルダム浸透流量に関する一考察	近藤 武.河端 俊典.	104)	1983.04	81-87
	△	飽和-不飽和浸透流解析法とその適用上の問題点について--フィルダムの飽和-不飽和浸透特性-1-	長谷川 高士.森井 俊広.	105)	1983.06	69-75
	△	フィルダムの定常および非定常浸透特性--フィルダムの飽和-不飽和浸透特性-2-	長谷川 高士.森井 俊広.	107)	1983.10	1-8
	△	フィルダム監査廊の応力変形解析	長谷川 高士.内田 一徳.	108)	1983.12	33-44

	△ 深山ダムの静的計測データの解析—表面アスファルト遮水壁型ロックフィルダムの挙動-1-	長谷川 高士他.	108) 1983.12	45-54
	○ 深山ダムの地震応答データの分析と動的挙動の予測—表面アスファルト遮水壁ロックフィルダムの挙動	長谷川 高士他.	108) 1983.12	55-63
1984	△ フィルダム監査廊の応力特性—鉄筋コンクリート断面の解析-1-	石黒 覚.中谷 三男. 長谷川 高士.	110) 1984.04	19-28
	△ フィルダム監査廊の断面設計—鉄筋コンクリート断面の解析-2-	石黒 覚.中谷 三男. 長谷川 高士.	110) 1984.04	29-38
<b>1984 ☆ 1983年日本海中部地震・土地改良施設の災害と復旧</b>				
1985	△ 浪岡ロックフィルダムの常時微動解析	長谷川 高士.菊沢 正裕. 松本 伸介.	115) 1985.02	41-47
	△ 実地震波観測記録に基づくフィルダムの動的物性値の推定	長谷川 高士.菊沢 正裕. 松本 伸介.	115) 1985.02	49-54
	△ 有限要素法による材料非線形性を考慮したBiot圧密方程式の解析	向後 雄二.	115) 1985.02	25-32
	△ 監査廊コンクリート打設時温度分布の境界要素解析	青山 咸康.白滝 山二.	116) 1985.04	67-77
	○ 日本海中部地震津波による熊石漁港内の水理現象と漁船避難への影響に関する研究	早瀬 吉雄.	117) 1985.06	53-60
	△ 締固め方法の違いから見た土の充填特性	吉田 力.	120) 1985.12	47-53
	△ 自然降雨の雨滴径分布と降雨エネルギーの理論的考察[英文]	南 信弘.小椋 正澄. 藤原 輝男.	120) 1985.12	29-35
1986	△ 加古川西部地区溜池群の貯水量変動特性—溜池地域の水管理に関する研究-1-	藤井 秀人.南 勲.	122) 1986.04	19-28
	○ アースダムの動弾性模型実験と3次元固有値解析	安中 正実.	124) 1986.08	19-25
	△ Kalmanフィルタによるダム漏水量の予測—ダムの安全管理	長谷川 高士.村上 章.	126) 1986.12	1-8
	△ Characteristics of soil erosion caused by rain water flow-5-A Method of Estimating Soil Loss in Inclined Fields	Tatsuro Kusaka.	126) 1986.12	41-49
	△ 雨裂からの土砂流出に関する解析	高木 東.中野 政詩.	126) 1986.12	51-58
1987	△ 溜池水量に対する満足度規定要因の分析—溜池地域の水管理に関する研究-3-	藤井 秀人.南 勲.	129) 1987.06	39-47
	○ 地盤・斜面崩壊の3次元有限要素解析—動的緩和法の適用	田中 忠次.川本 治.	131) 1987.10	79-86
	○ Endochronic理論に基づく砂の繰返し3軸試験の液状化解析	田中 忠次.谷 茂.	132) 1987.12	50-61
	△ 締固め不飽和土の2,3の圧縮特性について	鳥山 暁司.	132) 1987.12	63-70
<b>1988 ☆ 農林水産省農業工学研究所へ改組・設立</b>				
1989	△ 粘性土の圧縮指数と物理特性の相関関係について	内田 一徳.長谷川 高士.	141) 1989.06	115-119
	○ 深田ダムの3方向地震入力3次元動的解析	安中 正実.	141) 1989.06	79-87
	○ モード重畳法を用いたフィルダムの3次元動的有限要素解析法	安中 正実.	141) 1989.06	71-78
1990	○ 「モード重畳法を用いたフィルダムの3次元動的有限要素解析法」について(安中正実「農土論集」141号71-78,1989掲載)	安中 正実回答.	145) 1990.02	99-101
	○ 土石流災害記録のある小流域における流入土砂量の推定	中島 賢二郎.渡辺 敏.	149) 1990.10	11-18
	○ 溜池堤体材および基礎地盤の土質工学的性質	谷 茂.長谷川 高士.	150) 1990.12	57-65
1991	○ 溜池の地震時安全性の評価法	谷 茂.長谷川 高士.	152) 1991.04	55-64
	○ フィルダムの耐震性診断に関する2つの試み—年確率地震加速度スペクトル推定と耐震性の簡易診断システム	青山 咸康.庄野 和隆.	152) 1991.04	91-99
	△ 砂地盤におけるトラップドア問題の研究-2-有限要素解析による進行性破壊とスケール効果の検討	田中 忠次.酒井 俊典.	153) 1991.06	1-10
	△ 堤体内間隙圧分布に関する一解析法	井上 宗治.	153) 1991.06	55-61
	△ 有限要素法によるモデル斜面滑り面上の応力と安全率	国武 昌人.	153) 1991.06	11-21
	△ 剪断帯を伴うひずみ軟化構成モデルと有限要素法による地盤の支持力解析	田中 忠次.	154) 1991.08	83-88
1992	○ 変動水圧による液状化を防止するための地表面載荷について	桑原 久実.玉井 佐一.	159) 1992.06	1-7
1993	○ 年最大加速度分布の推定と設計問題への適用—中部地方西部の2地点における地震危険度解析	清水 英良.仲野 良紀. 西村 真一.	164) 1993.04	73-79
	△ 豪雨の波形特性と最大雨量の分布—京都における事例研究	増本 隆夫.	164) 1993.04	105-113
	△ 複峰型豪雨波形の一表現法	角屋 睦.増本 隆夫. 田中丸 治哉.	164) 1993.04	115-123
	△ 積雪層中の融雪水降下過程を考慮した山岳地流域の時間融雪流出解析	秀島 好昭.星 清.	164) 1993.04	65-71
1995	○ フィルダムの地震時挙動に土質基礎の及ぼす影響	増川 晋.安中 正実. 田頭 秀和.	176) 1995.04	207-213

☆	戦後干拓事業の変遷について—わが国の戦後干拓事業の実態に関する研究	吉武 美孝,松本 伸 介,篠 和夫.	177) 1995.06	383-393
△	The Effect on Seepage through Embankment Dams by the Nonlinear and Anisotropic Characteristics of Permeability	Watcharin Gasaluck,Takeshi Kondo.Ken Ohno.	178) 1995.08	449-459
△	The Estimation of the permeability in the Embankment Dam	Watcharin Gasaluck,Takeshi Kondo.Ken Ohno.	178) 1995.08	437-447
○	火山灰粘土質ロームの圧縮および引張の力学的特性に関する実験的研究—農業用溜池の漏水に関する研究-2-	西村 真一,清水 英 良,仲野 良紀.	179) 1995.10	649-657
○	Stability of Earth Dams Subjected to Storms with Changing External Water Levels	森井 俊広,服部 九二 雄,長谷川 高士他.	180) 1995.12	777-784
1996 ○	フィルダムにおける地震時安全率算定の新提案に関する考察	青山 威康,稲田 克 彦.	183) 1996.06	515-520
△	コンクリート重カダムの地震挙動—兵庫県南部地震による吞吐ダムの事例	沢田 敏男,福川 和 彦,平野 重久.	183) 1996.06	529-540
△	フィルダム基礎の漏水のメカニズムに関する解析的研究—農業用溜池の漏水に関する研究(3)	西村 真一,清水 英 良,仲野 良紀.	184) 1996.08	563-569
△	A Comprehensive Comparison Study on Estimation of Time to Ponding under Rainfall	Dunyao Zhu,Masashi Nakano.Tsuyoshi Miyazaki.	185) 1996.10	785-795
△	干拓地の地震危険度解析	吉武 美孝,桜井 雄 二,森下 一男他.	186) 1996.12	1027-1036
1997 △	Cause of Leakage along the Outlet Conduit underneath a Low Fill Dam with Special Reference to Hydraulic Fracturing	Samson Ngambi,Ryoki Nakano.Hideyoshi Shimizu他.	65(2) 1997.04	263-272
△	石川県能登地域における中山間ため池地帯の水管理	北村 邦彦,喜多 威知 郎.	65(2) 1997.04	315-322
△	フィルダム取水塔の地震加速度観測と応答解析	青山 威康,石田 昇一 郎.	65(4) 1997.08	491-497
△	降雨の時間集中度を利用した年最大1時間雨量の推定法	松田 誠祐,大年 邦 雄.George D. Uligan 他.	65(5) 1997.10	639-645
△	不飽和土の三軸応力条件下での力学的挙動に対する弾塑性論的解釈	向後 雄二,森山 英 樹.	65(6) 1997.12	771-781
1998 △	不飽和シルトおよび砂・粘土混合土の三軸応力条件下での体積変化およびせん断挙動	向後 雄二,森山 英 樹.	66(1) 1998.02	35-49
△	Fast Solution for Implicit Flood Routing in Channel Networks of General Configuration (一般的なネットワーク河川の洪水解析)	Quang Kim Nguyen. 河野 広.	66(1) 1998.02	51-59
△	A Simulation Model for Quantification of Retention Characteristics of Watershed(流域保水特性の定量化のためのシミュレーションモデル)	Syahrul,後藤 章,水 谷 正一他.	66(1) 1998.02	61-67
△	The Regional Characteristics of the Parameters for Estimating the Annual Maximum 1-hour Rainfall (年最大1時間雨量を推定するために用いるパラメータの地域特性)	G.D. Uligan,松田 誠 祐,大年 邦雄他.	66(1) 1998.02	147-158
○	北海道南西沖地震における農地造成盛土の被害	谷 茂,中島 正憲,谷 忠.	66(1) 1998.02	169-176
△	A Fracture Mechanics Approach to the Mechanism of Hydraulic Fracturing in Fill Dams (フィルダムにおける水理破碎のメカニズムへの破壊力学の適用)	Samson Ngambi,清 水 英良,西村 真一他.	66(3) 1998.06	411-422
1999 △	Slope Stability Analysis Considering Reduction of Shear Strength of Unsaturated Soil Due to Rain Infiltration(降雨浸潤による不飽和土のせん断強度低下を考慮した斜面安定解析)	島田 清,森井 俊広, 藤井 弘章他.	67(6) (通号 204) 1999.12	
△	Change of Shear Strength of Unsaturated Decomposed Granite Soils with Matric Suction (マトリックサクシジョンの変化にともなう不飽和まさ土のせん断強度の変化)	島田 清,藤井 弘章, 西村 伸一他.	67(3) (通号 201) 1999.06	395-400
2000 △	低平地における洪水時排水の実時間予測モデルについて	曹 豊,豊田 勝,三沢 真一.	68(2) (通号 206) 2000.04	253-128
△	地すべり土の残留強度と物理的・鉱物学的性質との関係	宜保 清一,中村 真 也,江頭 和彦.	68(6) (通号 210) 2000.12	785-790

## 2000 ☆ 土地改良事業設計指針「ため池整備」制定

## 2001 ☆ 独立行政法人農業工学研究所設立

2001 △	第三紀泥質岩(富山県西部地すべり丘陵地)の物理的風化特性に関する基礎的実験研究—エアスレーキングの影響について	荒井 涼.	69(3) (通号 213) 2001.6	259-271
2002 △	二つのサクシジョン効果を考慮した修正弾塑性モデル	向後 雄二,浅野 勇, 林田 洋一.	70(1) (通号 217) 2002.2	9-18
△	Pore Pressure Behavior on Embankment Dams during Construction (建設中のフィルダムの間隙水圧挙動)	Shemsu Kemal,青山 威康.	70(1) (通号 217) 2002.2	25-33
△	ため池の雨水貯留可能量の評価—香川県及び大阪府のため池の空き容量と水田の雨水貯留可能量との比較から	中西 憲雄,加藤 敬, 小林 宏康他.	70(1) (通号 217) 2002.2	101-107
△	ロックフィルを通る流れの非線形水頭損失式に関する室内実験検証	森井 俊広.	70(1) (通号 217) 2002.2	119-124
△	ロックフィルを通る非線形流れのパラメータ推定	森井 俊広.	70(2) (通号 218) 2002.4	215-221
△	地中レーダによるため池の漏水経路の調査手法	堀 俊和,森 充広,毛 利 栄征他.	70(2) (通号 218) 2002.4	241-251
○	豪雨による農業用ため池の破壊原因と被災の特徴	堀 俊和,毛利 栄征, 青山 威康.	70(2) (通号 218) 2002.4	253-263
△	ハイドロリックフラクチャリングによって発生する亀裂進展の特徴—農業用ため池の浸透破壊に関する実験的研究	堀 俊和,毛利 栄征, 松島 健一他.	70(3) (通号 219) 2002.6	383-392

	△ 大阪府松沢池における洪水低減機能とその確率評価—ため池の洪水低減機能の評価	加藤 敬, 佐藤 政良.	70(6) (通号 222) 2002.12	637-644
	△ 実降雨のパターンを考慮したため池の洪水調節機能評価	加藤 敬, 佐藤 政良, 太田 高志.	70(6) (通号 222) 2002.12	645-651
	◎ ため池地震危険度評価システムの構築—芸予地震による愛媛県のため池被害を事例として	小林 範之, 吉武 美 孝, 勝山 邦久.	70(6) (通号 222) 2002.12	697-703
	○ 地震時の斜面安定問題を対象とした準静的弾塑性有限要素解析と円弧すべり計算	森 洋, 田中 忠次.	70(6) (通号 222) 2002.12	713-720
<b>2003</b>	<b>☆ 土地改良事業設計指針「ダム」制定 基準及び運用の解説、技術書の作成、「共通編」、「コンクリートダム編」、「フィルダム編」作成</b>			
2004	△ 残留係数を導入した地すべりの三次元安定解析—沖繩、仲順地すべりについて	中村 真也, 宜保 清 一, 林 義隆.	72(1) (通号 229) 2004.2	47-53
	△ 三次元変位観測手法による斜面崩壊計測	小林 晃, 近藤 修一, 青野 智則他.	72(4) (通号 232) 2004.8	371-378
	△ 空中写真判読とGISによる三宅島農地復興のための噴火被害状況把握	横山 雄介, 吉野 邦 彦.	72(5) (通号 233) 2004.10	515-521
2005	△ 洪水吐ゲートを有する農業用ダムの洪水緩和機能の評価—安濃ダムを事例として	浪平 篤, 小林 宏康, 高木 強治他.	73(2) (通号 236) 2005.4	193-200
	△ 砂斜面崩壊実験の弾塑性有限要素解析	田中 忠次, 阿部 剛 士.	73(3) (通号 237) 2005.6	221-230
	△ 抑止壁を伴う地震時斜面安定問題に関する準静的弾塑性有限要素解析	森 洋, 田中 忠次.	73(3) (通号 237) 2005.6	267-273
	△ Laboratory Study on Shear Behavior of Unsaturated Granular Soil During Cyclic Suction Loading (繰返しサクシヨン負荷過程での不飽和粒状土のせん断挙動に関する実験的研究)	Shemsu Kemal, 木山 正一, 青山 咸康他.	73(4) (通号 238) 2005.8	
	△ Systematic Approach Evaluating Flood Mitigation Effect of an Irrigation Tank (システム論的アプローチによる溜池の洪水緩和機能評価)	吉本 周平, 宇波 耕 一, 河地 利彦.	73(5) (通号 239) 2005.10	491-496
	△ 表面流出に及ぼす法面被覆植物の影響	永井 明博, 足立 忠 司, 沖 陽子他.	73(5) (通号 239) 2005.10	513-520
	△ 繰返し単純せん断を受ける埋設管の浮上メカニズム	河端 俊典, 大石 順 司, 中瀬 仁他.	73(5) (通号 239) 2005.10	521-528
<b>2006</b>	<b>☆ 土地改良事業設計指針「ため池整備」改定</b>			
<b>2006</b>	<b>☆ 独立行政法人農研機構農村工学研究所改組・設立</b>			
2006	△ 農村地域における水田を利用した震災時の避難労力低減効果	左村 公, 岡澤 宏, 島 田 沢彦他.	74(2) (通号 242) 2006.4	265-272
	△ 遅延率を用いたため池洪水緩和量推定法	竹下 伸一, 別枝 宏 平, 三野 徹他.	74(3) (通号 243) 2006.6	291-300
	△ 固化処理底泥土による老朽ため池堤体改修の新設計法の提案	谷 茂, 福島 伸二.	74(3) (通号 243) 2006.6	301-308
	△ セル・オートマトンによる堤体のパイピングシミュレーション	小林 範之, 吉武 美 孝, 安藤 光.	74(3) (通号 243) 2006.6	323-331
	△ 小型貯水池における水・物質収支—農業用ため池と洪水調整池の事例研究	多田 明夫, 百濟 昌 人, 田中丸 治哉他.	74(6) (通号 246) 2006.12	891-902
2007	△ 弾性波を用いたため池堤体内の水分状況推定	小林 晃, 丹羽 亮太, 柳本 智也, 山本 清 仁, 青山 咸康	75(6) (通号 249) 2007.6	231-238
	△ 河川堤防を対象とした粒状体個別要素法による液状化解析	森 洋, 小川 好	75(6) (通号 249) 2007.6	239-246
<b>農業農村工学会論文集('07-'13)</b>				
	△ GPS可降水量を用いた大雨予測指標の検討	森 牧人, 田中 宏延, 平松 和昭, 原田 昌佳	75 (通号 250) 2007.8	363-371
	○ 老朽ため池における漏水領域の特定と比抵抗電気探査による改修効果の評価	小林 範之, 吉武 美 孝, 松本 伸介, 宇佐 美 幸大	75 (通号 252) 2007.12	727-736
2009	○ 新潟県中越地震における災害査定の特徴と課題	有田 博之	77 (通号 259) 2009.2	93-98
	△ 地すべり崩土の力学特性と変形の局所化	川本 治, 宮崎 毅, 中 野 政詩	77 (通号 262) 2009.8	385-393
	○ 2004年新潟県中越地震における農業生産基盤の小規模被害と復旧対策	有田 博之, 湯澤 顕太	77 (通号 262) 2009.8	417-422
	△ 新潟県中越沖地震における現場打ちコンクリート水路の目地部損傷メカニズム	森 丈久, 森 充広, 渡 嘉敷 勝, 中矢 哲郎	77 (通号 264) 2009.12	631-636
2010	○ Mechanism of Failure and Damage Probability of Irrigation Tank at Mid Niigata Prefecture Earthquake	Akira KOBAYASHI, Takuma HAYASHI, Kiyohito YAMAMOTO, Shoichi KIYAMA	78(2)2010	75-82
	○ 2004年12月の巨大津波によるインドタミルナドゥ州の農地における塩性化被害と回復評価	久米 崇, 梅津 千恵 子, K. Palanisami	78(2)2010	83-88
	△ 地域確率雨量の経年変化	工藤 亮治, 永井 明 博, 近森 秀高	78(2)2010	127-133

	○ Seismic Risk Management of Irrigation System in an Earthquake— Based on data from the Mid Niigata prefecture earthquake —	Akira KOBAYASHI, Takuma HAYASHI, Kiyohito YAMAMOTO, Shoichi KIYAMA	78(5)2010	305-315
	○ 豪雨リスクを考慮したため池のライフサイクルコスト算定手法と最適な豪雨対策の選定手法	堀 俊和, 毛利 栄征, 松島 健一, 有吉 充	78(6)2010	493-503
	△ 地すべり土の強度図を用いたすべり面平均強度定数の推定— 沖縄, 島尻層群泥岩地すべりを事例として —	木村 匠, 宜保 清一, 中村 真也	78(6)2010	445-453
2011	△ 堰基礎地盤浸透破壊問題での浸透路長の有効性の再検討と弾塑性有限要素解析の適用	岡島 賢治, 田中 忠次, 小 松 宜紘, 飯田 俊彰	79 (2)(通号 272) 2011.4	65-73
	○ 新潟県中越地震後の時間経過と農業生産基盤の被害発現	有田 博之, 宮澤 紗文	79 (3)(通号 273) 2011.6	187-194
	△ 砂・粘土混合材料の侵食速度測定と室内越流破壊実験	藤澤 和謙, 村上 章, 西村 伸一	79 (3)(通号 273) 2011.6	195-205
	○ 中越地震後の養鯉池における復旧事業の利用特性	坂田 寧代	79 (6)(通号 276) 2011.12	387-392
2012	○ 中越地震後の養鯉池における復旧実態と未復旧地の立地特性	坂田 寧代, 吉川 夏 樹, 三沢 真一	80(1)(通号 277) 2012.2	59-64
	△ Peak Over Threshold 理論による確率日雨量の推定	近森 秀高, 永井 明博	80(2)(通号 278) 2012.4	167-175
	△ 大規模地震災害における農地・農業施設の地域形成的復旧	有田 博之, 橋本 禪	80(2)(通号 278) 2012.4	187-194
	△ A Simple Model for Estimating Phreatic Surface Location and Seepage Discharge through a Small Homogeneous Earth Dam on Inclined Foundation	Yoshitaka YOSHITAKE, Masayuki FUJIHARA, Noriyuki KOBAYASHI, Tatsuro NISHIYAMA, Tomoki IZUMI	80(3)(通号 279) 2012.6	261-266
	△ 流域水循環のモデル化における低平河川からの氾濫過程の導入方法	吉田 武郎, 増本 隆夫, 堀 川 直紀, 鮎津 博史, Vinliam BOUNLOM, Boulaythong KOUMPHONH	80(5)(通号 281) 2012.10	401-408
	△ 上向き浸透流による浸透破壊時の砂粒子の移動速度	藤澤 和謙, 西村 伸 一, 中谷 亜友美, 村 上 章	80(5)(通号 281) 2012.10	409-416
2013	○ ため池コア材への旧堤体土・底泥土再利用に関する一考察—兵庫県下における老朽化ため池を事例として—	鈴木 麻里子, 河端 俊 典, 内田 一徳	81(2)(通号 284) 2013.4	171-176
	○ 堤体表面被覆によるため池の豪雨対策と波浪侵食対策	堀 俊和, 毛利 栄征, 土橋 和敬, 高橋 浩, 前田 和亨	81(3)(通号 285) 2013.6	245-256

## Appendix-2 農地・農業用施設と自然災害に関する研究文献（農工研所報）

	タイトル	著者	発行年月	号	開始 ページ	終了 ページ
<b>1961 ☆ 3機関を母体に農林省農業土木試験場設立</b>						
<b>農業土木試験場報告(1963-1994)</b>						
1970	○ フィルダムの耐震設計に関する新安定計算法(2)	中島保治;山下進; 上原健一	Mar-70	8号	231	246
1971	△ 数理モデルによる非正常現象の解析	中村充;白石英彦	Mar-71	9号	137	158
	△ 粗粒材料のせん断抵抗角に関する研究	村尾重信;三品直 樹	Mar-71	9号	159	194
	△ 三軸ネジリ装置を用いた飽和砂のせん断特性	川口徳忠	Mar-71	9号	195	206
1976	△ 直立透過堤による港内水位の上昇及び港内水位の振動特性に関する研究	菅原輝男;長野章	Mar-76	14号	137	144
	△ 碎波による港内水位の上昇及び港内水位の振動特性に関する研究	菅原輝男;神瀬哲	Mar-76	14号	145	182
1983	△ 一面せん断試験を中心とした地すべり粘土の強度測定	古谷保	Jan-83	23号	31	54
<b>1988 ☆ 農林水産省農業工学研究所へ改組・設立</b>						
<b>農業工学研究所報告(1995-2006)</b>						
1995	△ 不飽和土の力学的特性と土質構造物の安定性の解析について	向後雄二	Mar-95	34号	39	162
1996	○ 平成5年(1993年)北海道南西沖地震による農地・農業用施設の被害調査報告	安中正実;谷茂;毛 利栄征	Mar-96	35号	111	142
1998	◎ 日本におけるため池を含めた農業用フィルダムの地震災害に関する研究	谷茂;堀俊和	Mar-98	37号	51	90
2000	△ 耐風性向上のためのプラスチックハウス等の簡易基礎構造および立地配置を考慮した耐風設計に関する研究	豊田裕道	Mar-00	39号	121	160
2002	△ 地震観測による複数のフィルダムの地震時挙動	増川晋;向後雄二; 浅野勇;ほか1名	Mar-02	41号	19	59
2005	○ 農業用ため池の豪雨災害に関する研究	堀俊和	Mar-05	44号	139	247
	△ 宮城県沖の地震(2003年5月26日)における農業用大ダムの地震時挙動	増川晋;中西憲雄	Mar-05	44号	105	138
2006	△ 老朽化フィルダムにおける固化処理した底泥土を用いた堤体改修の設計法	谷茂;福島伸二;北 島明;西本浩司	Mar-06	45号	1	19
	△ ダムの築造および管理過程における非破壊調査技術の応用に関する研究	森充広	Mar-06	45号	21	109
<b>2006 ☆ 独立行政法人農村工学研究所改組・設立</b>						
<b>農村工学研究所報告(2007-2014)</b>						
2014	△ ジオシンセティックスを用いた土質材料の補強メカニズムの解明と水利構造物への適用性に関する研究	松島健一	Feb-14	49号	49	199
	△ 河口低平農地における高潮氾濫モデルに関する研究	桐博英;Kiri, H.	Apr-14	51号	109	164



# 農地・農業用施設と自然災害に関する研究文献（農工研技報）

	タイトル	著者	発行年月	号	開始 ページ	終了 ページ
<b>1961 ☆ 3機関を母体に農林省農業土木試験場設立 農業土木試験場技報(1965-1994)</b>						
<b>1965 ●</b>	<b>新潟地震調査報告</b>		#####	1号		
	○ 農地災害の特質	金子良	Oct-65	1号	1	16
	△ 用排水機能障害の事例	中川昭一郎	Oct-65	1号	43	46
	○ 農地施設の被害とその復旧	田地野直哉	Oct-65	1号	47	50
	○ 農業土木建造物の震害と地盤性状	三品直樹,佐藤瑞夫	Oct-65	1号	51	58
	◎ アースダムの被害	山下進	Oct-65	1号	59	86
	△ 農地地スベリに及ぼした影響	大平成人	Oct-65	1号	87	88
1966	○ 長野県地スベリ対策調査報告(1)	大平成人,岸本良治郎,仲野良紀,萱野勇新	Jan-66	1号	67	118
	△ 島根県地スベリ対策調査報告(1)	大平成人,岸本良治郎	Mar-66	2号	1	29
	○ 長野県地スベリ対策調査報告(2)	大平成人,岸本良治郎,萱野勇新	Mar-66	3号	1	27
	△ 防波体の消波効果に関する水理模型実験報告	前田清康,桜井喜十郎,鈴木博	Jan-66	4号	1	10
1967	○ 高潮および洪水流発生機構について	山口英太郎,満田雅男,大西亮一	Mar-67	3号	1	31
	△ 東富士アースダム耐震設計に関する実験	中島保治,山下進,高瀬国雄	Feb-67	4号	1	28
	△ 耐流力に関する研究	中村充,臼谷央彦,佐々木泰雄,伊藤三田	Mar-67	13号	37	45
1968	△ 均一型アースダムの安定計算	村尾重信	Mar-68	2号	125	134
	△ 須山タメ池斜面アスコン舗装材料についての研究	海老名芳郎,岩崎和巳,竹内正一	Mar-68	5号	15	35
	△ 永源寺ダム接続部振動模型実験報告	中島保治,山下進,上原健一	Mar-68	6号	15	43
	△ 深山ダム振動模型実験報告	中島保治,山下進,上原健一,川口徳中	Mar-68	6号	1	14
<b>1969 ●</b>	<b>1968年十勝沖地震調査報告</b>		Jan-69	3号		
	◎ アースダムの被害	守屋正博,高岡恭三,山下進	Jan-69	3号	1	10
	○ 十勝沖縄地震津波と津波対策	中村充,白石英彦,佐々木泰雄	Jan-69	3号	11	35
	△ 盛土斜面の安定計算法	川口徳忠	Mar-69	4号	57	74
	○ 稲取海岸波浪調査報告書	佐藤稔夫,西尾重男	Mar-69	6号	1	34
	△ 神代地区地スベリ調査報告	仲野良紀,大平成人,萱野勇新	Mar-69	7号	31	50
	△ 内の倉ダム用コンクリートに関する研究	海老名芳郎,竹内正一,岩崎和巳	Mar-69	7号	51	68
1970	○ 長野県地スベリ調査報告(3)	岸本良治郎	Mar-70	8号	53	64
	○ 長野県地スベリ調査報告(4)	岸本良治郎	Mar-70	8号	65	68
	△ 双葉ロックフィルダムの振動模型実験報告	中島保治,山下進,田中忠次	Nov-70	10号	1	31

	△	深山ロックフィルダムの振動模型実験報告	中島保治,山下進	Nov-70 10号	33	46
	△	フィルタイプダム限界コウ配形状と震度円安定解析法の解説	中島保治,山下進	Nov-70 10号	47	58
1971	△	種々の形態の異形ブロックの安定と消波に関する研究	桜井喜十郎,鈴木博	Mar-71 26号	1	18
1972	△	深山アスファルトフェイスングの実験報告と構造設計	中島保治,田中忠次	Mar-72 13号	1	38
	△	双葉アスファルトフェイスングの振動模型実験報告	中島保治,菅ノ又仁治	Mar-72 13号	39	46
	△	孫沢ダム浸透および振動模型実験報告	菅ノ又仁治,中野博視	Mar-72 13号	47	76
	△	アスファルトフェイスングダムのギャラリー接続部にアスファルトパネルを使用した場合の模型実験	中島保治,田中忠次	Mar-72 13号	77	92
1974	△	構造解析・浸透解析における有限要素法の応用	仲野良紀,田中忠次	Mar-74 9号	35	94
1975	△	有限要素法による二次元・三次元連続体の応力解析	田中忠次,仲野良紀	Mar-75 16号	1	22
1976	△	降雨による地すべり地の地下水位変動予測	古谷保	Mar-76 17号	55	79
1977	△	ダムの老朽度と漏水機構の簡便な実証的解析法	木村重彦,小前隆美	Mar-77 14号	17	26
	△	地すべり地における地表面応力分布について	中山康	Mar-77 18号	33	36
	△	水窪ダムの堆砂量の推定と洪水時のセキ上げによる影響範囲の解析	白石英彦,岩崎和巳,大西亮一	Mar-77 39号	55	66
1980	○	新潟平野における6.26豪雨について	白石英彦,石阿和巳,大西亮一,伊藤青一	Mar-80 48号	1	26
1981	△	一志・大倉川・深田ダムの地震観測結果とフィルダムの動特性	田中忠次	Mar-81 21号	1	57
	△	繰返し三軸試験による大柿ダム・コア用土の動的性質	川口徳忠,谷茂	Mar-81 22号	1	11
	△	共振法三軸試験機による土の動的性質の研究	谷茂	Mar-81 22号	13	39
	△	奈良尾地すべり地区の第三紀層泥岩及び粘土のせん断強度と安定解析による強度常数の検討	古谷保	Mar-81 22号	41	52
1982	○	園芸施設の豪雪による被害について	山下進,佐藤義和	Mar-82 28号	35	60
	○	園芸施設の台風による被害について	山下進,小倉力	Mar-82 28号	61	84
	△	干拓農地潮風害の実態解析	植田昌明,端憲二	Mar-82 51号	33	47
1983	△	ダム用コンクリートに及ぼす碎石・砕砂の影響	毛利栄征,海老名芳郎,野村栄作	Mar-83 1号	13	33
	○	豪雨による農地・農業用施設災害と地域性との関連	矢野均	Mar-83 1号	69	82
1984	△	深田ダムの動弾性模型実験によるフィルダムの三次元的動特性	安中正実	Mar-84 2号	1	8
	△	日中ダム洪水吐水理模型実験報告	松本良男,川合亨	Mar-84 2号	1	15
	△	中小洪水時における護岸工の浮上り現象の解明と対策	山本徳司	Mar-84 2号	89	98
	△	海岸堤防前小段上の共振波動と越波量	木ノ瀬紘一	Mar-84 2号	99	107
	△	干拓農地潮風害の実態解析(2)	端憲二	Mar-84 2号	109	120
	○	1983年日本海中部地震調査報告	高岡恭三	Nov-84 3号	1	42
	△	葛丸ダム洪水吐水理模型実験報告	加藤敬,石野捷治	Nov-84 3号	1	19

	△	二庄内ダム洪水吐水理模型実験報告	石野捷治	Nov-84	3号	21	32
1985	◎	1983年日本海中部地震によるため池の被害調査報告	谷茂	Nov-85	4号	1	92
	○	1983年日本海中部地震によるパイプラインの被災調査報告	毛利栄征	Nov-85	4号	93	147
1986	△	日中ダム洪水吐水理模型実験報告(2)	松本良男	Mar-86	5号	15	22

## 1988 ☆ 農林水産省農業工学研究所へ改組・設立

### 農業工学研究所技報(1995-2006)

1995	△	土質基礎上のフィルダムの地震時挙動	増川晋,安中正実,田頭秀和	Mar-95	192号	1	15
	○	北海道に被害をもたらした地震におけるフィルダムの挙動について	谷茂	Mar-95	192号	17	39
1997	○	農業用ダムと活断層の位置関係に関する調査	初川栄治,安中正実,増川晋	Mar-97	194号	1	150
1998	○	宮城県北部地震による農業施設の地震被害調査報告	谷茂	Mar-98	196号	29	43
	△	フィルダムの貯水後の長期挙動特性	初川栄治,安中正実,浅野勇	Mar-98	196号	45	70
1999	△	御前山ダム洪水吐の水理模型実験	中西憲雄,加藤敬,常住直人	Mar-99	197号	39	60
	△	新宮川ダムコンクリートの熱及び力学的特性値について	浅野勇,長束勇	Mar-99	197号	61	72
	◎	ため池災害と底樋設計の検討	中島正憲,毛利栄征	Mar-99	197号	73	81
2000	△	ダムの地形・地質三次元解析支援システムの開発	谷茂,安中正実,福原正斗	Mar-00	198号	101	111
2001	○	1998年台風7号による奈良・和歌山県下の果樹用ハウスに関する被災調査	林山天樹,松島健一,豊田裕道,藤本吉山	Feb-01	199号	149	163
	○	豪雨被災ため池の土質について	田頭秀和	Feb-01	199号	165	182
2002	△	トレーサー試験による岩盤地すべり斜面の地下水流動状況の解明	石田聡,二平聡,今泉眞之,藤田裕一,榎並信行	Mar-02	200号	33	42
2003	○	農地法面の崩壊・侵食事例と圃場の造形成態の特徴	古谷保,小倉力,中尾誠司,加藤敬	Mar-03	201号	1	12
	△	地すべりブロック内におけるため池の浸透防止工による地下水流動の変化	奥山武彦,黒田清一郎,中里裕臣,長束勇	Mar-03	201号	165	172
2004	△	排水トンネル施工による地すべり地の地下水の挙動	石田聡,原郁男,土原健雄,今泉眞之	Mar-04	202号	91	100
	△	地すべり危険度区分における空中電磁法の適用性	中里裕臣,黒田清一郎,奥山武彦,伊藤吾一,佐々木裕	Mar-04	202号	197	204
2005	△	中山間地域の自治防災組織を支援する防災情報通信システムの開発	山本徳司,安中誠司	Mar-05	203号	9	19
	△	地すべり対策地下水排除工による自然電位の変化	奥山武彦,中里裕臣,黒田清一郎,竹内睦雄	Mar-05	203号	231	237
	△	GPS測位による地すべり対策事業概成後の安定性確認	黒田清一郎,奥山武彦,中里裕臣,有吉充	Mar-05	203号	239	244
2006	△	ため池周辺の地下水流入・流出量の評価	今泉眞之,石田聡,土原健雄,吉迫宏	Mar-06	204号	157	174
	△	地すべり地における地下水流動調査のための比抵抗モニタリング	井上敬資,中里裕臣,中西憲雄,菊池茂史,大塚文哉	Mar-06	204号	287	294

## 2006 ● 平成16年(2004年)新潟県中越地震対応

○	農地・農業用施設被害の概要について	谷茂	Mar-06 205号	1	4
○	平成16年(2004年)新潟県中越地震	増川晋	Mar-06 205号	5	15
○	平成16年(2004年)新潟県中越地震による水田の被害	藤森新作,若杉晃介,谷本岳	Mar-06 205号	17	24
○	平成16年(2004年)新潟県中越地震による信濃川左岸地区の水理機能被害および施設復旧に関する調査	中達雄,後藤真宏,樽屋啓之,田中良和,吉永育生,端憲	Mar-06 205号	25	36
○	平成16年(2004年)新潟県中越地震による農業用フィルダムの被害	向後雄二	Mar-06 205号	37	45
○	平成16年(2004年)新潟県中越地震による農業用水路の被害	浅野勇,向後雄二,林田洋一,井上敬資	Mar-06 205号	47	59
◎	平成16年(2004年)新潟県中越地震によるため池と集落排水施設の被災	毛利栄征,堀俊和,松島健一,有吉充	Mar-06 205号	61	76
△	大規模崩壊地の遠隔画像モニタリング	奥山武彦,黒田清一郎,有吉充,林田洋一	Mar-06 205号	77	83
○	平成16年(2004年)新潟県中越地震における農地地すべりとその調査観測手法について	黒田清一郎,奥山武彦,有吉充	Mar-06 205号	85	93
○	空中電磁探査法による広域斜面災害調査	中里裕臣,井上敬資,中西憲雄	Mar-06 205号	95	101
○	新潟県釜塚地すべりにおける中越地震前後のGPS移動観測事例	中里裕臣,奥山武彦,荒川隆嗣	Mar-06 205号	103	107
○	大規模地震における農地・農業用施設の液状化被害の早期予測システム	井上敬資,増川晋,中里裕臣,中西憲雄	Mar-06 205号	109	112

## 2006 ☆ 独立行政法人農村工学研究所改組・設立

### 農村工学研究所技報(2007-2014)

2007	△	老朽化フィルダムの堤体改修の事例調査	谷茂,福島伸二	Mar-07 206号	1	24
	△	ため池群の持つ洪水軽減効果シミュレータの開発	吉迫宏,小川潤,小川茂男,ほか3名	Mar-07 206号	209	217
	△	洪水流入防止のための無動力止水ゲート	向井章恵,川井明,村上文明,ほか3名	Mar-07 206号	267	274

## 2008 ● 平成19年(2007年)能登半島地震対応及び新潟県中越沖地震対応

○	平成19年(2007年)能登半島地震及び新潟県中越沖地震における農村工学研究所の対応と技術支援力の強化	小林宏康	Mar-08 208号	1	13
◎	平成19年(2007年)能登半島地震によるため池の被害	毛利栄征,堀俊和,有吉充,林田洋一,谷茂	Mar-08 208号	15	23
○	平成19年(2007年)能登半島地震による海岸施設の被害	毛利栄征,堀俊和,有吉充,林田洋一	Mar-08 208号	25	31
○	平成19年(2007年)能登半島地震による地すべり災害と災害調査法	中里裕臣,井上敬資,海野寿康	Mar-08 208号	33	42
○	平成19年(2007年)能登半島地震による水路等コンクリート構造物の被害調査	林田洋一,増川晋,有吉充	Mar-08 208号	43	59

	○	平成19年(2007年)能登半島地震による地すべり地水田の被災と営農状況	小倉力,若杉晃介,藤森新作	Mar-08	208号	61	66
	○	平成19年(2007年)能登半島地震による農地被害調査	若杉晃介,藤森新作	Mar-08	208号	67	74
	◎	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震によるため池の被害	毛利栄征,谷茂,堀俊和,有吉充,増川晋,田頭秀和,林田森丈久,森充広,渡嘉敷勝,中矢哲郎,増川晋,田頭秀和	Mar-08	208号	75	88
	○	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震による農業用水路被害と災害調査	有吉充,毛利栄征	Mar-08	208号	89	101
	○	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震による農業集落排水施設の被害	有吉充,毛利栄征	Mar-08	208号	103	110
2009	○	平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震による震源近傍の老朽水利施設被災状況に関する調査	常住直人,森丈久,田中良和,高木強治	Mar-09	209号	139	152
2010	○	氾濫解析を用いたため池決壊に伴う下流域の被害算定法	谷茂,井上敬資	Mar-10	210号	137	144
	○	老朽化フィルダムの地震リスクを考慮した安全性評価法	谷茂,堀俊和	Mar-10	210号	145	152
	△	ワイヤレス間隙水圧計の長期計測性能の検証	林田洋一,遠目塚良一,浅野勇,増川晋,田頭秀和	Mar-10	210号	243	254
2011	△	GISを活用した傾斜地水田における指標のマッピング	正田大輔,川本治	Mar-11	211号	1	7
	△	ジオテキスタイル工法による石川県宮ノ本池の強化復旧事例	林田洋一,七村不征,堀俊和,有吉充,上野和広,原口美,原口暢朗,塩野隆弘,若杉晃介,知佳,北川巖,原口端慶,若杉晃介,北川巖,若杉晃介,原口端慶	Mar-11	211号	205	214
	○	け地区における地すべり災害対策への農工研の参画と技術	正田大輔,石田聡,吉田武郎, T, 増本隆夫,堀川直紀	Mar-11	211号	215	221
2012	△	農村工学研究所内における総合気象観測システムの構築とそのデータ品質管理	吉田武郎, T, 増本隆夫,堀川直紀	Mar-12	212号	43	52
<b>2012</b>	<b>●</b>	<b>平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震対応</b>					
	○	平成23年(2011年)東日本大震災における農村工学研究所の対応と農地・農業用施設等の被害実態	鈴木尚登,中里裕臣	May-12	213号	1	21
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震によるため池堤体亀裂に対する緊急的な電気探査	中里裕臣, 井上敬資,吉迫宏,堀俊和	May-12	213号	23	28
	△	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による地域復興計画支援における景観シミュレーションの活用と役割	山本徳司, 福与徳文	May-12	213号	29	38
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による津波被災農地の堆積物・土壌の理化学的特徴	北川巖, 及止理美, 原口暢朗, 塩野隆弘, 若杉晃介, 知佳, 北川巖, 原口端慶, 若杉晃介, 北川巖, 若杉晃介, 原口端慶	May-12	213号	39	51
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による水田面の起伏(不陸)亀裂液状化に関する復旧対策技術	知佳, 北川巖, 原口端慶, 若杉晃介, 北川巖, 若杉晃介, 原口端慶	May-12	213号	53	62
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による利根川沿いにおける液状化を起因とする塩害が営農にもたらした影響	端慶, 若杉晃介, 北川巖, 若杉晃介, 原口端慶	May-12	213号	63	71
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による津波で冠水被害を受けた砂質畑の土壌塩分モニタリング	宮本輝仁, 亀山幸司, 塩野隆弘	May-12	213号	73	78
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による津波被災農地における平成23年春期除塩作業の実施状況と今後の課題	友正達美, 坂田賢, 内村求	May-12	213号	79	87
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による宮城県沿岸部の園芸施設の被害状況	口井雅久, 奥島圭美, 森山英樹, 相澤正樹	May-12	213号	89	103
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震における海岸堤防の後背農地による津波減勢	毛利栄征, 丹治肇	May-12	213号	105	116
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による宮城県内の頭首工および水門の被害	渡嘉敷勝, 浅野勇, 森充広, 西原正彦	May-12	213号	117	143
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による利根川下流沿岸域の用排水路等の被害と特徴	浅野勇, 渡嘉敷勝, 森充広, 西原正彦	May-12	213号	145	173
	◎	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による福島県のため池被災の特徴と応急対策	堀俊和, 上野和広, 松島健一	May-12	213号	175	199
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による国営戸川農業水利事業における農業用パイプラインの被災と復旧	有吉充, 毛利栄征, 浅野勇, 上野和広, 増川晋, 田頭秀和, 黒田清一郎, 林田洋一	May-12	213号	201	215
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による国営農業用フィルダムの被害	黒田清一郎, 林田洋一	May-12	213号	217	242
	○	平成23年(2011年)長野県北部地震による農地・農業用施設の被害	國枝正, 高木強治, 中田達, 森丈久, 丹石津, 桐博英, 中良和, 人見忠良, 桐博英, 若杉晃介, 松島健一, 中矢哲郎, 桐博英, 若杉晃介, 福与徳文, 毛利栄征, 山本徳司	May-12	213号	243	254
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う津波による水門・樋門と排水機場の被災状況	丹石津, 桐博英, 中良和, 人見忠良, 桐博英, 若杉晃介, 松島健一, 中矢哲郎, 桐博英, 若杉晃介, 福与徳文, 毛利栄征, 山本徳司	May-12	213号	255	268
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震津波による岩手県沿岸部の被災状況	桐博英, 若杉晃介, 松島健一, 中矢哲郎, 桐博英, 若杉晃介, 福与徳文, 毛利栄征, 山本徳司	May-12	213号	269	277
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震を対象にした減災農地の津波減勢効果の検証	桐博英, 若杉晃介, 福与徳文, 毛利栄征, 山本徳司	May-12	213号	279	286
	△	岩手県大船渡市吉浜地区における農地復興計画作成支援	福与徳文, 山本徳司, 桐博英	May-12	213号	287	295

- 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による津波被災農地の植生管理の必要性 嶺田拓也,友正達美 May-12 213号 297 304

Appendix-3 ため池台帳(H9年)とため池DBの登録データ比較

DBコード	県名	H9.3.31			堤高			堤頂長					堤頂幅				勾配U				勾配D					
		①ため池台帳	②DV総数	②/①	③総数	③/②	5m以下	5.1-15m以下	15m以上	④総数	④/②	50m以下	51-100m以下	100m以上	⑤総数	⑤/②	3m以下	3m以上	⑥総数	⑥/②	1.5m以下	1.5m以上	⑦総数	⑦/②	1.5m以下	1.5m以上
01	北海道	770	129	0.17	129	1.00	3	74	52	125	0.97	8	29	88	121	0.94	23	98	124	0.96	8	116	122	0.95	7	115
02	青森県	1,393	1,868	1.34	1,686	0.90	1,460	225	1	1,680	0.90	920	505	255	1,661	0.89	869	792	1,684	0.91	1,079	615	1,638	0.88	955	683
03	岩手県	3,160	1,218	0.39	1,040	0.85	719	315	6	1,040	0.85	497	404	139	1,036	0.85	596	440	1,034	0.85	403	631	1,035	0.85	321	714
04	宮城県	6,074	2,533	0.42	2,504	0.99	1,976	514	14	2,521	1.00	1,476	836	209	2,512	0.99	1,725	787	2,474	0.98	1,552	922	2,469	0.97	1,157	1,312
05	秋田県	2,892	1,943	0.67	1,892	0.97	1,225	625	42	1,891	0.97	925	644	322	1,880	0.97	1,199	681	1,860	0.96	967	893	1,866	0.96	993	873
06	山形県	1,187	1,097	0.92	1,096	1.00	639	422	35	1,095	1.00	610	344	141	1,090	0.99	604	486	1,042	0.95	625	417	1,021	0.93	562	459
07	福島県	3,287	3,299	1.00	3,279	0.99	2,255	976	48	3,275	0.99	1,755	1,080	440	2,834	0.86	1,629	1,205	2,848	0.86	1,340	1,508	2,847	0.86	1,222	1,625
08	茨城県	1,731	1,123	0.65	1,109	0.99	1,069	38	2	1,067	0.95	577	321	169	1,095	0.98	585	510	906	0.81	758	148	933	0.83	781	152
09	栃木県	527	142	0.27	138	0.97	120	14	4	138	0.97	66	52	20	131	0.92	44	87	108	0.76	51	57	124	0.87	67	57
10	群馬県	585	587	1.00	584	0.99	465	110	9	563	0.96	307	129	127	456	0.78	281	175	305	0.52	242	63	318	0.54	198	120
11	埼玉県	677	536	0.79	535	1.00	450	78	7	530	0.99	323	167	40	471	0.88	286	185	486	0.91	322	164	501	0.93	272	229
12	千葉県	1,230	1,291	1.05	1,278	0.99	922	330	26	1,276	0.99	710	418	148	1,223	0.95	607	616	1,157	0.90	648	509	1,185	0.92	612	573
13	東京都	11	6	0.55	6	1.00	2	3	1	6	1.00	4	0	2	3	0.50	0	3	3	0.50	0	3	3	0.50	1	2
14	神奈川県	34	6	0.18	6	1.00	4	2	0	6	1.00	5	0	1	6	1.00	3	3	6	1.00	1	5	6	1.00	1	5
15	新潟県	5,822	774	0.13	721	0.93	421	275	25	737	0.95	356	252	129	721	0.93	374	347	445	0.57	248	197	441	0.57	265	176
16	富山県	2,545	908	0.36	898	0.99	476	406	16	774	0.85	498	197	79	468	0.52	240	228	315	0.35	140	175	315	0.35	168	147
17	石川県	3,145	3,160	1.00	2,667	0.84	1,704	927	36	2,661	0.84	2,004	489	168	2,643	0.84	1,686	957	2,623	0.83	1,708	915	2,599	0.82	1,706	893
18	福井県	730	1,027	1.41	898	0.87	608	286	4	1,003	0.98	789	154	60	883	0.86	493	390	857	0.83	598	259	831	0.81	599	232
19	山梨県	131	129	0.98	127	0.98	60	61	6	126	0.98	26	46	54	106	0.82	65	41	116	0.90	46	70	115	0.89	66	49
20	長野県	1,943	1,970	1.01	1,966	1.00	1,360	594	12	1,891	0.96	961	587	343	1,875	0.95	1,247	628	1,792	0.91	1,199	593	1,798	0.91	1,346	452
21	岐阜県	2,395	2,504	1.05	2,495	1.00	1,902	553	40	2,490	0.99	1,830	492	168	1,640	0.65	1,179	461	1,221	0.49	585	636	1,205	0.48	641	564
22	静岡県	762	694	0.91	688	0.99	293	386	9	684	0.99	409	213	62	627	0.90	348	279	613	0.88	211	142	599	0.86	234	365
23	愛知県	3,364	3,193	0.95	3,179	1.00	2,327	829	23	3,176	0.99	1,867	798	511	275	0.09	140	135	270	0.08	106	164	253	0.08	66	187
24	三重県	3,506	3,517	1.00	3,279	0.93	2,181	1,080	18	3,247	0.92	2,125	803	319	3,352	0.95	2,368	984	1,106	0.31	532	574	1,163	0.33	341	822
25	滋賀県	1,985	805	0.41	788	0.98	512	259	17	788	0.98	288	274	226	785	0.98	382	403	767	0.95	506	261	770	0.96	451	319
26	京都府	1,758	1,693	0.96	1,664	0.98	930	713	21	1,666	0.98	1,028	445	193	1,471	0.87	1,015	456	1,223	0.72	613	610	1,234	0.73	656	578
27	大阪府	11,308	1,068	0.09	1,063	1.00	585	461	17	1,033	0.97	239	335	459	927	0.87	429	498	899	0.84	499	400	915	0.86	555	360
28	兵庫県	47,596	11,810	0.25	11,045	0.94	6,327	4,567	151	11,044	0.94	5,932	3,296	1,816	10,839	0.92	6,387	4,452	10,700	0.91	6,465	4,235	10,588	0.90	7,260	3,328
29	奈良県	5,757	1,761	0.31	1,750	0.99	1,273	464	13	1,712	0.97	648	456	608	1,592	0.90	962	630	1,571	0.89	1,062	509	1,557	0.88	1,076	481
30	和歌山県	5,925	5,041	0.85	4,961	0.98	3,366	1,547	48	4,982	0.99	4,082	693	207	4,850	0.96	4,068	782	1,266	0.25	811	455	1,401	0.28	926	475
31	鳥取県	1,212	683	0.56	598	0.88	370	212	16	602	0.88	305	240	57	602	0.88	215	387	595	0.87	336	259	592	0.87	345	247
32	島根県	5,782	5,379	0.93	5,269	0.98	4,275	975	19	5,269	0.98	4,679	526	64	5,271	0.98	4,694	577	5,196	0.97	4,493	703	5,185	0.96	4,410	775
33	岡山県	10,304	4,831	0.47	4,815	1.00	2,223	2,520	72	4,819	1.00	2,311	1,900	608	4,827	1.00	2,684	2,143	4,805	0.99	2,352	2,453	4,773	0.99	2,828	1,945
34	広島県	20,910	20,648	0.99	18,814	0.91	16,161	2,586	67	18,832	0.91	16,454	1,983	395	18,552	0.90	15,841	2,711	17,836	0.86	14,488	3,348	17,782	0.86	15,045	2,737
35	山口県	11,785	2,569	0.22	2,520	0.98	1,602	891	27	2,520	0.98	1,611	711	198	2,518	0.98	1,717	801	2,502	0.97	1,441	1,061	2,491	0.97	1,601	890
36	徳島県	794	409	0.52	400	0.98	168	219	13	397	0.97	221	130	46	397	0.97	224	173	385	0.94	147	238	379	0.93	212	167
37	香川県	15,990	7,268	0.45	7,186	0.99	4,747	2,389	50	7,227	0.99	4,589	1,702	936	1,638	0.23	857	781	954	0.13	165	789	952	0.13	513	439
38	愛媛県	3,274	3,353	1.02	3,346	1.00	1,715	1,576	55	3,346	1.00	2,138	759	449	2,175	0.65	1,567	608	1,342	0.40	464	878	1,331	0.40	575	756
39	高知県	425	422	0.99	421	1.00	259	142	20	366	0.87	297	60	9	328	0.78	228	100	352	0.83	232	120	343	0.81	259	84
40	福岡県	5,264	5,270	1.00	5,091	0.97	2,729	2,283	79	4,999	0.95	2,553	1,608	838	4,422	0.84	3,210	1,212	3,719	0.71	1,236	2,483	3,655	0.69	1,307	2,348
41	佐賀県	2,906	2,820	0.97	2,815	1.00	1,615	1,169	31	2,815	1.00	1,759	718	338	2,813	1.00	2,141	672	2,792	0.99	1,389	1,403	2,792	0.99	1,378	1,414
42	長崎県	3,766	1,258	0.33	1,257	1.00	568	660	29	1,258	1.00	577	521	160	1,246	0.99	647	599	1,045	0.83	684	361	1,038	0.83	546	492
43	熊本県	2,320	2,345	1.01	1,733	0.74	1,391	331	11	1,731	0.74	1,316	246	169	1,360	0.58	948	412	996	0.42	650	346	976	0.42	626	350
44	大分県	2,339	2,366	1.01	2,366	1.00	807	1,462	97	2,365	1.00	1,278	858	229	2,366	1.00	1,113	1,253	2,358	1.00	1,704	654	2,344	0.99	1,671	673
45	宮崎県	752	701	0.93	701	1.00	330	366	5	699	1.00	338	270	91	688	0.98	432	256	657	0.94	325	332	648	0.92	265	383
46	鹿児島県	648	627	0.97	622	0.99	359	239	24	607	0.97	288	207	112	606	0.97	256	350	597	0.95	319	278	552	0.88	283	269
47	沖縄県	68	0	0.00	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0
	計	210,769	116,781	0.55	111,425	0.95	74,953	35,154	1,318	111,079	0.95	71,979	26,898	12,202	97,382	0.83	66,608	30,774	85,962	1.29	53,750	32,212	85,685	0.73	55,369	30,316

Appendix-4 福島県中・南被災集中エリアため池リスト

No.	被災有無	施設名	座標	被災度	震度	堤高	堤頂長	L/H	ゾーン	ブロック	ω	地盤	タイプ	傾斜	地形	形状	地域	親	親子	
県中	220	IdNo	Name	左岸経度	左岸緯度															
1	無	072021122	原池	140.3802	37.32634	1	6	7.5	190	25.3	6	R1	119.4	190	3	3	2	0	0	
2	有	072021202	上の池	140.2509	37.32978	1	5	3.28	930	283.5	3	L1	132.5	160	2	1	2	0	0	
3	有	072021203	藤原池	140.2976	37.32336	3	6	3.1	70	23.3	4	L1	260.3	160	1	1	1	0	0	
4	有	072021205	山田池	140.3229	37.32307	3	6	2.8	75	26.8	5	C1	343.4	160	1	1	1	0	0	
5	有	072021208	北の内池	140.3105	37.31663	3	6	1.1	45	71	15.8	4	C1	216.6	160	1	1	1	0	
6	有	072021204	大池	140.2958	37.30333	1	6	2.8	70	25.0	4	L2	208.0	160	1	1	1	0	0	
7	有	072021205	ねぎ田池	140.3096	37.29582	3	6	2.0	87	31.1	4	C2	234.0	160	1	1	1	0	0	
8	有	072021206	楢根沢池	140.3171	37.29377	2	6	4.2	135	32.1	4	C2	296.4	160	1	1	1	0	0	
9	有	072021207	笹平池	140.3332	37.30234	3	6	7.8	180	23.1	5	C2	262.6	160	1	1	1	0	0	
10	無	072021208	十貫田池	140.3348	37.29469	6	7	5	72	9.6	5	C2	260.9	160	4	2	1	0	0	
11	無	072021201	清水田池	140.3492	37.31226	2	6	3.5	46	13.1	5	R1	318.0	160	1	1	1	0	0	
12	無	072021204	上人池(第1)	140.3721	37.30645	6	5	5	55	11.0	6	R2	238.7	160	5	2	2	1	0	
13	有	072021205	稲大池	140.3238	37.2854	3	6	7	40	5.7	4	C3	267.5	100	1	1	1	0	0	
14	有	072021206	田染池	140.3328	37.2719	4	6	3.5	43	12.3	4	C3	283.3	190	2	1	2	0	0	
15	有	072021207	芳池	140.3153	37.2718	4	6	7.4	106	14.3	4	C3	248.8	190	1	1	1	0	0	
16	有	072021208	蓮台池	140.317	37.26077	1	6	8	35	4.4	4	C4	111.8	100	2	1	2	0	0	
17	無	072021209	古戸大池	140.2918	37.25302	5.9	4.9	189	38.6	3	L4	258.7	140	4	2	2	0	0		
18	無	0720212030	寺作田池	140.2983	37.25061	5.7	2.4	44	18.3	3	L4	292.3	140	4	2	2	1	0		
19	無	0720212031	前山池	140.3114	37.24875	5.7	4	44	11.0	3	C5	242.5	190	5	2	1	1	0		
20	無	0720212032	馬場池	140.3794	37.29358	6	5	53	10.6	6	R2	358.9	160	5	2	1	1	0		
21	無	0720212033	合羽池	140.3863	37.29307	6	4.5	68	15.1	6	R2	300.8	160	5	2	1	1	0		
22	無	0720212034	金池	140.3848	37.27384	5.9	7.8	98	12.6	6	R3	172.6	160	5	2	1	1	0		
23	無	0720212036	栢崎池	140.3938	37.28403	5.9	7.8	98	12.6	6	R3	321.6	160	5	1	1	1	0		
24	無	0720212037	仁井池	140.3956	37.27475	5.9	4.9	85	17.3	6	R3	247.5	160	1	1	1	0	1		
25	無	0720212038	新長池	140.3993	37.27293	5.9	6.4	85	13.3	6	R3	268.8	190	1	1	1	0	1		
26	無	0720212039	富士池	140.3866	37.26209	5.9	3.6	46	12.8	6	R4	281.9	160	4	2	1	0	0		
27	有	0720212040	二池	140.3863	37.25469	4	5.9	8.4	176	21.0	6	R4	224.8	160	1	1	1	0	0	
28	無	0720212041	葦池	140.3713	37.24817	5.8	2.9	74	25.5	5	R5	238.3	140	4	2	1	0	0		
29	無	0720212042	三ツ池(第1)	140.39	37.31865	6	6.8	65	9.6	6	R1	80.6	160	3	3	1	0	0	1	
30	無	0720212043	羽黒池	140.3962	37.30333	5.9	8	35	4.4	6	R2	167.8	160	5	2	2	1	0	0	
31	有	0720212094	三ツ池(第2)	140.3881	37.31296	2	6	5	87	17.4	6	R1	92.6	160	3	3	1	0	0	1
32	無	0720212095	昭和池	140.3966	37.30618	5.9	4.9	30	6.1	6	R2	177.1	160	3	3	1	0	1	33.34親子	
33	無	0720212096	曲池	140.3969	37.30749	5.9	3.5	28	8.0	6	R2	150.7	160	3	3	1	0	1	32.34親子	
34	無	0720212097	新池	140.3991	37.30714	5.9	4	38	9.5	6	R2	233.4	160	1	1	1	0	1	横 32.33親子	
35	無	072022001	追橋池	140.3061	37.27551	5.9	2.1	28	13.3	4	C3	8.6	100	5	1	2	1	0	0	
36	有	072022002	鎌取沢池	140.3051	37.27588	3	5.9	2.5	32	12.8	4	C3	327.2	100	1	1	1	0	0	
37	有	072022003	横山池	140.3013	37.27599	3	6	2	41	20.5	4	C3	335.3	100	1	1	1	0	0	
38	無	072022004	平内池	140.2918	37.27411	6	2.5	21	8.4	3	L3	131.1	100	2	1	2	0	0	0	
39	有	072022005	大池	140.2919	37.27909	3	6	4	55	13.8	3	L3	208.1	190	1	1	1	0	0	
40	有	072022007	安塚池	140.2731	37.25679	3	5.6	5	35	7.0	2	L4	324.8	100	1	1	1	0	0	
41	有	072022008	上新田坊池	140.2668	37.25479	3	5.6	5	45	9.0	2	L4	225.0	100	1	1	1	0	0	
42	有	072022009	雁ノ内池	140.2876	37.25709	1	5.8	4.2	27	6.4	2	L4	303.3	100	2	1	2	0	0	
43	無	072022010	滝ノ入池	140.2896	37.25782	3	5.8	4.5	41	9.1	2	L4	329.5	100	1	1	1	0	0	
44	無	072022011	大々久保下池	140.2725	37.28157	5.9	3.6	50	25.0	3	L3	149.8	100	4	2	2	0	0		
45	無	072022012	山森池	140.2532	37.26382	4	5.8	3.2	51	14.2	2	L4	302.0	190	1	1	1	0	0	
46	有	072022013	女鹿池	140.2513	37.26462	1	5.6	6.9	105	15.2	2	L4	225.3	190	1	1	1	0	0	
47	有	072022014	中池	140.2486	37.26489	5	5.5	11.4	85	7.5	2	L4	242.5	190	1	1	1	0	0	
48	有	072023204	安布坂池	140.2764	37.32889	6	3	54	18.0	3	L1	186.8	100	3	3	2	1	0	0	
49	無	072023208	不動池	140.2521	37.31719	6	5	261	51	52.2	3	L1	331.7	160	5	1	2	1	0	
50	無	072023201	新池(五百池)	140.2847	37.29982	6	2	78	39.0	3	L2	249.4	100	4	2	2	0	0		
51	有	072023212	新池①	140.2866	37.29532	3	6	1.5	38	25.3	3	L2	206.0	100	1	1	1	0	0	
52	無	072023214	後田池	140.2778	37.29271	6	3.8	55	14.5	3	L2	167.4	100	5	1	2	1	0		
53	無	072023215	原田池	140.2953	37.29269	6	2	39	19.5	4	L2	161.3	100	5	1	2	1	0		
54	有	072023216	梨ノ木平池	140.2972	37.29039	2	6	3	114	38.0	4	L2	75.9	100	1	1	1	0	0	
55	有	072023218	刈又池	140.3027	37.28739	3	6	1.5	50	33.3	4	C3	107.9	100	1	1	1	0	0	
56	無	072023219	明池	140.2787	37.28883	5.9	2	51	25.5	3	L3	333.5	100	5	1	2	1	0		
57	有	072023220	鯉田入池	140.2817	37.28412	3	5.9	3	105	35.0	3	L3	234.4	100	1	1	1	0	0	
58	有	072023201	鍛冶之入池	140.2881	37.2844	6	1.2	69	57.5	3	L3	353.2	190	2	1	2	0	0		
59	有	072023222	寺池	140.2928	37.28205	4	6	1.5	34	22.7	3	L3	291.7	190	2	1	2	0	0	
60	無	072023223	太池	140.2952	37.28288	6	1.5	47	31.3	3	L3	46.8	190	5	2	2	1	0		
61	無	072023224	熊之池	140.2978	37.28166	6	1.3	31	23.8	3	L3	329.1	190	5	2	2	1	0		
62	無	072023225	油久保池	140.3038	37.28107	6	1.2	37	30.8	4	C3	254.2	190	4	2	2	0	0		
63	無	072023226	蓮池	140.3065	37.28464	6	2	23	11.5	4	C3	170.7	190	5	1	2	1	0		
64	無	072023227	向池	140.3064	37.28332	6	1.5	23	15.3	4	C3	333.8	190	5	1	2	1	0		
65	有	072023228	白山池	140.2866	37.31517	3	6.3	4	235	58.8	4	L1	323.5	100	2	1	2	0	0	
66	有	072023229	西川池	140.2972	37.3189	6.1	2	66	33.0	4	L1	115.8	100	3	3					



122	無	0734212022	海ノ窪池	140.3265	37.24034	5.8	2.5	37	14.8	4	C5	294.9	140	5	1	1	1	0	0		
123	無	0734212023	後山池	140.3812	37.24379	5.7	2.5	57	22.8	5	R5	215.2	140	5	2	1	1	0	0		
124	無	0734212024	七ツ池	140.3846	37.24224	5.7	2	43	21.5	5	R5	175.9	190	5	1	2	1	0	0		
125	有	0734212025	諏訪池	140.373	37.23855	1	5.7	5	158	31.6	5	R5	265.0	140	1	1	1	0	0		
126	無	0734212026	高野池	140.369	37.22594	5.6	3	144	48.0	5	R6	304.8	140	4	2	2	0	0	0		
127	無	0734212027	新池	140.3743	37.22547	5.6	2	83	41.5	5	R6	323.1	140	4	2	2	0	0	0		
128	有	0734212028	太良坊池1	140.3182	37.24134	3	6	2.5	43	17.2	3	C5	30.5	190	3	3	1	0	1	129親子	
129	無	0734212029	太良坊池2	140.319	37.24016	6	3	33	11.0	3	C5	348.9	190	3	3	1	0	0	1	128親子	
130	有	0734412002	北小屋池	140.2973	37.24255	3	5.7	3	4	1.3	3	L5	127.6	140	2	1	2	0	0	0	
131	無	0734412006	長春池	140.2422	37.24423	5.6	3.7	52	14.1	2	L5	257.7	140	5	1	1	1	3	0	0	
132	無	0734412008	狸入池	140.2466	37.2329	5.2	6	50	8.3	2	L5	349.9	140	5	2	2	1	3	0	0	
133	無	0734412009	地蔵池	140.2411	37.22333	5.2	3	100	33.3	1	L6	226.9	040	5	1	2	1	3	0	0	
134	無	0734412010	龍旗池	140.252	37.22785	5.2	3	50	16.7	2	L6	252.4	100	5	1	2	1	3	0	0	
135	有	0734412011	茨沢池	140.2935	37.22948	3	5.5	4	40	10.0	2	L6	340.9	140	2	1	2	0	0	0	
136	無	0734412012	榊入池	140.2619	37.22973	5.5	4.5	50	11.1	2	L6	307.1	140	5	2	2	1	0	0	0	
137	無	0734412013	三ノ輪池	140.2606	37.22815	5.5	1.7	10	0.9	2	L6	299.3	100	3	1	2	0	2	0	0	
138	無	0734412015	上小井田輪池	140.2644	37.22377	5.7	6	20	3.3	2	L6	223.2	100	1	1	1	1	0	2	0	
139	無	0734412016	関ノ入	140.2454	37.22329	5.2	2.5	30	12.0	1	L6	288.6	040	5	1	1	1	2	0	0	
140	無	0750112002	雀池	140.3949	37.15626	5.6	3.2	30	9.4	5	R9	321.1	190	1	1	1	0	1	0	0	
■ 南																					
141	無	720513001	塩田池	140.2548	37.16792	5.7	4.6	62	13.5	1	L9	211.0	190	5	1	1	1	2	0	0	
142	無	720513004	山田池	140.2688	37.15174	5.7	3.5	30	8.6	1	L9	288.2	100	5	1	1	1	2	0	0	
143	有	720513009	荒田ノ入池	140.2607	37.15081	1	5.7	3.6	31	8.6	1	L9	163.1	1	1	1	0	3	南	0	
144	有	720513010	河張田池 No	140.2633	37.1509	1	5.7	4	67	16.8	1	L9	141.6	1	1	1	0	3	南	0	
145	有	720513012	雁沢池 No.1	140.2563	37.15146	3	5.6	4	57	14.3	1	L9	198.3	100	1	1	1	0	3	南	0
146	無	720513013	大久保池	140.2453	37.15226	5.6	6.28	152	24.2	1	L9	212.5	040	4	2	1	0	0	0	0	
147	無	720513054	七曲り池	140.2508	37.15633	5.7	3	35	11.7	1	L9	145.5	190	4	2	1	0	0	0	0	
148	無	720513055	蟹ヶ作池	140.2752	37.16085	5.7	2.6	30	11.5	1	L9	17.6	100	3	3	1	0	3	北	0	
149	無	720513056	呑内池	140.2693	37.15757	5.7	2.7	28	10.4	1	L9	343.4	190	3	3	1	0	3	北	0	
150	無	720513057	大山池	140.2599	37.15449	5.7	3.3	34	10.3	1	L9	21.3	190	3	3	1	0	3	北	0	
151	有	720513058	雁沢池 No.2	140.258	37.15095	3	5.6	3.6	26	7.2	1	L9	101.9	100	1	1	1	0	3	南	0
152	無	720543003	金山	140.2434	37.21877	5.5	3.5	63	18.0	1	L6	267.8	040	1	1	1	0	3	0	0	
153	無	720543006	芹沢	140.2766	37.21318	2	5.7	2	44	22.0	2	L6	196.2	100	1	1	1	0	0	0	0
154	無	746413012	山ヶ入池	140.2916	37.15715	5.7	3	76	25.3	2	L9	239.1	160	2	1	2	0	2	0	0	
155	無	746413016	八ヶ代池	140.2879	37.16085	5.7	3	105	35.0	2	L9	266.1	190	1	1	1	0	2	0	0	
156	無	746413017	藍古池	140.2838	37.16362	5.7	3	80	26.7	1	L9	283.9	190	1	1	1	0	2	0	0	
157	無	746413018	日向池	140.3221	37.16989	5.5	3	86	28.7	2	C9	153.3	140	5	1	2	1	0	2	0	
158	無	746413019	坂ノ合池	140.2808	37.17371	5.7	3	55	18.3	2	L8	203.0	190	5	1	2	1	0	2	0	
159																					
160	無	746413021	一の沢池	140.2861	37.16823	5.7	3	55	18.3	1	L9	239.2	160	1	1	1	0	3	0	0	
161	無	746413022	新池	140.2541	37.17534	5.6	5.5	68	12.4	1	L8	247.9	040	5	1	1	1	3	0	0	
162	無	746413023	大久保池	140.2471	37.17777	5.6	4	33	8.3	1	L8	200.5	040	5	1	1	1	3	0	0	
163	無	746413024	博愛久保池	140.2485	37.18433	5.6	4	33	8.3	1	L8	226.0	040	5	1	1	1	3	0	0	
164	無	746413026	梅ヶ入池	140.2624	37.18571	5.5	3	62	20.7	1	L8	190.2	040	1	1	1	0	3	0	0	
165	無	746413027	梅ヶ入下池	140.2642	37.18436	5.5	2.5	68	27.2	1	L8	203.6	040	1	1	1	0	3	0	0	
166	無	746413028	石倉池	140.2671	37.18972	5.5	5	53	10.6	1	L8	261.2	040	1	1	1	0	3	0	0	
167	無	746513001	松崎大池	140.3897	37.17143	5.5	4.4	150	34.1	5	R8	191.0	100	1	1	1	0	3	0	0	
168	無	746513002	跡池	140.3874	37.17625	5.6	2.3	100	43.5	5	R8	178.2	100	1	2	1	0	1	0	0	
169	有	746513003	横池	140.3832	37.17331	2	5.6	3.7	100	27.0	5	R8	285.0	100	1	2	1	0	0	0	0
170	無	746513004	雁俣池	140.3661	37.16246	5.5	5.5	78	14.2	3	R9	303.3	140	4	2	1	0	0	0	0	
171	有	746513005	岩ヶ作池	140.3697	37.16425	1	5.5	4.7	50	10.6	3	R9	289.1	100	1	1	1	0	0	0	0
172	無	746513006	中池	140.3742	37.162	5.5	3	50	16.7	3	R9	331.9	140	5	1	2	1	0	0	0	
173	有	746513007	高瀬釜池	140.3729	37.16263	3	5.5	3.6	55	15.3	3	R9	298.7	100	1	1	1	0	0	0	0
174	有	746513008	茂六池	140.3717	37.15832	3	5.5	6.2	150	24.2	3	R9	184.1	100	1	1	1	0	0	0	0
175	無	746513009	本法寺池	140.3637	37.15107	5.5	3	13	4.3	3	R9	246.3	140	4	2	1	0	0	0	0	
176	無	746513012	蟹沢上池	140.3676	37.15325	5.5	2	34	17.0	3	R9	246.7	140	4	2	2	0	0	1	177親子	
177	無	746513013	蟹沢下池	140.3681	37.15283	5.5	3.5	37	10.6	3	R9	148.1	140	4	2	2	0	0	1	176親子	
178	無	746513022	美師池	140.3831	37.16548	5.5	4.5	77	17.1	3	R9	138.4	100	3	3	2	0	0	1	179-180親子	
179	無	746513023	泥船池	140.3819	37.166	5.5	2.4	50	20.8	3	R9	102.2	100	3	3	2	0	0	1	178-180親子	
180	無	746513024	真龍池	140.3806	37.16864	5.5	2.2	45	20.5	3	R9	169.5	140	3	3	2	0	0	1	178-179親子	
181	無	746613001	吉作池	140.3968	37.20944	5.6	2.5	50	20.0	5	R7	237.4	140	1	1	1	0	1	0	0	
182	無	746613002	吉作前池	140.3968	37.20171	5.6	4	55	13.8	5	R7	272.7	140	5	1	1	0	1	0	0	
183	有	746613003	赤池	140.398	37.19822	3	5.5	105	19.1	5	R7	221.1	140	5	1	1	0	1	0	0	
184	有	746613005	坂ノ池	140.3946	37.185	5.5	4.5	80	17.8	5	R8	326.7	100	5	1	2	1	0	0	0	
185	有	746613009	原池	140.3784	37.19228	1	5.5	2.5	70	28.0	4	R7	194.8	140	1	1	1	0	0	0	0
186	有	746613010	神ノ内池	140.3777	37.18656	3	5.5	1.5	85	56.7	4	R8	215.5	140	1	1	1	0	0	0	0
187	有	746613012	波瀬池	140.3641	37.2196	3	5.6	2.5	140	56.0	4	R6	238.3	140	1	1	1	0	0	0	0
188	無	746613013	行人田池	140.3569	37.21389	5.8	2.5	45	18.0	4	R6	277.1	100	4	2	1	0	0	0	0	
189	有	746613014	牡丹池	140.3549	37.21732	1	5.8	3	130	43.3	4	R6	302.9	100	1	1	1	0	0	0	0
190	有	746613015	仲間池	140.3494	37.21938	3	5.9	2	70	35.0	4	R6	191.9	100	1	1	1	0	0	0	0
191	有	746613016	大池	140.3352	37.21817	3	5.7	3.5	200	57.1	4	C6	238.2	140	1	1	1	0	0	0	0
192	無	746613017	小池	140.3358	37.2094	5.7	2	140	70.0	3	C7	290.8	140	4	2	2	0	0	0	0	
193	無	746613019	龍池	140.3202	37.20845	5.9	2	35	17.5	3	C7	111.1	190	3	3	1	0	0	0	0	
194	有	746613020	柳池	140.3208	37.20623	5	5.8	1.8	830	461.1	3	C7	56.2	190	3	3	1				

## Appendix 5 提供被災・地震情報リスト

年月日	情報名	対象	出所
110616	東日本大震災にかかる市町村別被害額と基礎指標	全国	農村振興局防災課
111012	NN事業と災害	全国	農村振興局防災課
120330	被災ため池・ダム一覧	東北局	東北農政局 防災課
120411	ため池被害報告データ	全国	農村振興局防災課災害対策室
120517	東日本大震災被害報告(確定)	東北局	東北農政局 防災課
120531	ため池工事調書	福島県	福島県 農村基盤整備課
120724	東日本大震災の被災ため池復旧工事について	関東局	関東農政局 防災課
120731	被災ため池・査定後ため池比較	関東局	関東農政局 防災課
120813	平成23年ため池被災状況調書	宮城県	東北農政局 防災課
120814	平成23年ため池被災状況調書(事業費)	宮城県	東北農政局 防災課
120822	ため池工事調書	宮城県	宮城県北部地方振興事務所・栗原地域事務所
120905	ため池工事調書	岩手県	東北農政局 防災課
121211	ため池の被害箇所数と被害額、	全国	農村振興局 防災課
130731	ため池災害査定地区別整理カード	福島県	福島県 農村基盤整備課
130801	福島県震度観測点データ	福島県	気象庁 地震津波監視課
130804	宮城県震度観測データ	宮城県	気象庁 地震津波監視課
130906	加速度データ	岩手県、埼玉県、千葉県	気象庁 地震津波監視課
140414	最大加速度発現時刻	全国	気象庁 地震津波監視課
140717	福島県ため池DB(一斉点検)	福島県	農村振興局 防災課