

地震被害を受けたため池の悉皆調査に基づく被害率<sup>†</sup>SEISMIC DAMAGE RATIO BASED ON QUESTIONNAIRES OF  
SMALL EARTH DAMS FOR IRRIGATION

山崎 晃\*・三宅克之\*\*・中村正博\*\*\*・池見 拓\*\*\*\*

By Akira YAMAZAKI, Katsuyuki MIYAKE, Masahiro NAKAMURA and Hiroshi IKEMI

The survey of earthquake-undamaged structures is regarded as important for the progress of earthquake engineering as that of earthquake-damaged structures. Actually however, there are few survey of undamaged structures due to earthquakes. Through the investigation of the complete survey which contains both damaged and undamaged data, it could be understood which case is susceptible to damage for a structure and also which case is not. From this point of view, the complete survey of damaged and undamaged small earth dams for irrigation in Aomori and Akita prefectures due to Nihonkai-Chubu Earthquake in 1983 were carried out by distributing relevant questionnaires, from which a total of 1 129 data on the irrigation dams were used for a series of analysis. On the basis of the data of this survey, two different damage ratios were compared in this study. One is the ratio of the number of damaged dams which could be obtained even from the survey of damaged dams, the other is, so to speak, "the damage ratio" which was obtained only from this complete survey. Two ratios were investigated in detail and the significance of such a complete survey was discussed.

*Keywords*: seismic damage ratio, complete survey, small earth dams for irrigation

## 1. はじめに

土木構造物の耐震性向上を目的とした研究に携わる者にとって、その研究の方法には種々あるが、実際の地震被害を調査することによって得られるのが大きいことは衆目的一致するところであろう。一般に、地震被害を調査する場合、その被害状況をはじめ、被害に影響を及ぼしたであろう要因について調査し、被害と要因との関係を把握し、土木構造物の耐震性向上のための対策に反映させることになる。

一方、地震被害が発生した地域内にあるにもかかわらず被害を免れた土木構造物に関して、その無被害要因を調査することからも多くの教訓が得られよう。このような無被害要因を把握することは地震工学上、被害要因の

把握と同じくらい価値のあるものと考えられる。したがって、被害・無被害を合わせた悉皆調査は重要な意味をもつことになる。すなわち、悉皆調査によれば、どのような場合に被害を受けやすいかを把握できるとともに、どのような場合には無被害かを説明できることになり、従来の地震被害の調査結果を補完する役目を果たすことになるからである。しかしながら実際には、地震直後の被災地は異常な状態にあり、調査する者の数や時間など種々の制約を受けることになるため、その時点で得られた限られた情報をもとに、地震被害を受けた土木構造物についてできるだけ詳細な調査を実施することになる。したがって、地震被害に関する調査報告では、無被害のものの調査を実施する機会が少ないというのが現状であろう。

無被害のものも含んだ悉皆調査では、特に次の点に注意する必要がある。すなわち、その調査がどの範囲までを調査の対象としているかということである。一般に震央からある程度離れたところでは、土木構造物に被害の全く発生しなくなることが考えられるため、この点については明確にしておく必要がある。仮に、地震動の影響が全くなかった範囲をも悉皆調査の対象とした場合、この範囲で得られた調査データは、地震被害と要因との

<sup>†</sup> 本論文は、参考文献3)~12)に著者らが発表した報告をもとに、図表の取捨選択および新たな観点による検討結果の追加を行ってまとめ直したものである。

\* 正会員 農修 水資源開発公団房総導水路建設所調査設計課長 (〒299-32 千葉県山武郡大網白里町大字池田 445)

\*\* (財)日本農業土木総合研究所研究員  
(〒105 港区虎ノ門 1-21-17)

\*\*\* 正会員 工博 フジタ工業(株)技術研究所土質基礎研究室長 (〒223 横浜市港北区大瀬町 74)

\*\*\*\* 正会員 フジタ工業(株)技術研究所土質基礎研究室主任 (同上)

相関関係にとっていわゆるノイズとなるおそれがあり、被害予測の観点からは全く無意味であるにとどまらず、かえって誤った予測結果を導きかねない。したがって、悉皆調査には震央距離もしくは地震動の強さを要因として考慮することが不可欠になる。

ところで、地震被害は多くの要因が複雑にからみ合って発生するため、悉皆調査で得られる種々の調査項目について個々に解析しても地震被害との関係を把握することは難しい場合がある。また、悉皆調査の内容には定量的なデータのみならず、定性的なデータも含まれる場合もあり、このような場合の要因解析には、多変量解析の手法のうち、数量化理論が有効である。

以上の観点に立ち、昭和58年日本海中部地震<sup>1),2)</sup>で被害を受けたため池および無被害ため池の地震前の状況について悉皆調査を行った<sup>3)-12)</sup>。本論文では、数量化理論で要因解析することを前提として、ため池の悉皆調査データを取りまとめた結果をもとに、地震による被害を受けたもののみの調査から得られる被害数の比率と、無被害のものをも含めた悉皆調査から得られるいわゆる「被害率」とを比較し、悉皆調査の意義について考察する。なお、悉皆調査データに基づく数量化理論Ⅱ類によるため池の地震時被害の分析については、文献12)を参照されたい。また、ここでは、堤体における被害のみを取り扱い、取水施設、余水吐などの付帯構造物の被害を対象としていないことを付記しておく。

## 2. 昭和58年日本海中部地震にかかわるため池の悉皆調査

農業用ため池は全国で約25万か所に分布しており、受益面積1ha以上のため池10万か所に限ってもその有効貯水量は約34億m<sup>3</sup>であり、それにより灌漑されている農地面積は約134万haである(昭和53年度調査による)<sup>13)</sup>。これらのため池が豪雨や地震などにより被害を受けた場合には周辺に及ぼす危険度または影響度は大きく、昭和53年6月に「大規模地震対策特別措置法」が制定されるとともに、ため池の地震防災対策についても早急に検討することが要請されている。

日本海中部地震における河川堤防や道路盛土などの被害範囲は、そのほとんどが震央から150km以内であり<sup>14),15)</sup>、ため池の場合でも同様の結果が得られている<sup>16)</sup>。したがって本悉皆調査では、日本海中部地震の震央から150km以内にある青森県と秋田県の市町村のため池について、被害・無被害を問わず地震前の状況の調査を実施した。また、震央から150kmを越える市町村でも、その市町村内に被害ため池がある場合には無被害ため池も含めて同様の調査を行った。調査は、被害ため池を対象とした「農業用ダム・溜池被災実態調査表」と無被害

ため池を対象とした「農業用ダム・溜池実態調査表」の2種類の調査表を用い、現地をよく把握した当該市町村の担当者または地元コンサルタントの職員が現地で記入し、必要に応じてため池の管理者から聴き取るという方法で行った。以下に、悉皆調査に基づくため池の地震被害とその分類ならびに調査データの整理について述べる。

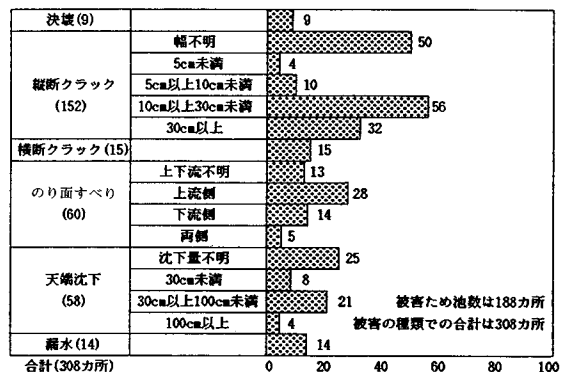
### (1) ため池の地震被害とその分類

表一に堤体が被害を受けたため池と無被害のものとの調査件数を示す。ただし、この表には貯水深が浅くて堤体積の割には貯水量が少ないいわゆる皿池404か所は計上していない。日本海中部地震で堤体に何らかの被害を受けたため池の数は188か所であるが、それらを被害の種類ごとに整理したものを図一に示す。なお、1か所のため池に2種類以上の被害を受けたため池もあるので、被害の種類で合計すると308か所となる。また、同地震で決壊したため池は9か所で、それらの特徴を列記すると、次のとおりである。

- a) 「ダム型式」はすべて「均一型」。
- b) 「上下流のり面形状」では、「上下流のり面勾配が同じ」ものが2か所で、「上流の勾配が下流のそれより緩やか」なものが7か所。
- c) 「基礎地盤の地質年代」が「洪積世」のものが7か所。
- d) 「基礎地盤の土質」が「砂質土」のものが6か所。
- e) 「堤体主体材料」が「砂質土」のものが5か所、「粘性土」のものが4か所。
- f) 「地形」が「台地」のものが7か所、「山地」のもの

表一 悉皆調査によるため池の被害および無被害件数

	被害	無被害	合計
青森県	98	730	828
秋田県	92	906	998
合計	188	1636	1824



図一 ため池の被害の種類と程度

のが1か所、「扇状地性低地」のものが1か所。

g) 「下流のり面の乾燥度」はすべて「普通」。

h) 「地すべり等地山崩壊の有無」はすべて「なし」。

i) 「危険を及ぼすおそれのある施設の有無」はすべて「なし」。

ここで、被害程度に影響を与えている要因をアイテムとよび、アイテム内の分類をカテゴリーという。たとえば、調査項目の1つであるダム型式はアイテムであり、均一型というダム型式はカテゴリーである。

決壊ため池以外の179か所の被害ため池の中には、決壊と同等の被害を受けたものも含まれている。そこで、堤体が決壊したものおよび決壊と同等の被害を受けたものをランクA(大被害)、被害を受けたがその程度はランクAに至っていないものをランクB(小被害)、無被害のものをランクC(無被害)の3分類とした。なお、決壊ため池と同等の被害を受けたため池とは、下記のため池を意味する。

a) のり面すべりが起こったもの

老朽ため池整備便覧<sup>17)</sup>によれば、ため池の改修の判定基準の1つに、堤体の断面不足を挙げている。のり面すべりが生じたため池は、必要断面が不足し、貯水すれば危険な状態になり、ため池の機能を果たさなくなるものと判断した。

b) 幅5cm以上の縦断クラックの入ったもの

クラックにはいろいろな幅のものがあるが、たいていは3~5cm程度のものが多い。ここでは、縦断クラックの幅が5cm以上になった場合には、何らかの外力により容易にのり面すべりが発生しやすくなると判断した。

c) 横断クラックの入ったもの

横断クラックが発生していればパイピングが生じやすくなり、またそれが原因で決壊しやすくなると判断した。

d) 30cm以上の天端沈下の起こったもの

天端の沈下量がどの程度生じれば、そのため池の機能が損なわれるかを決定することは難しいが、満水状態では耐震設計上最も危険な状態であるという従来の考え<sup>18)</sup>も考慮して、ここでは30cm以上の天端沈下の起こったため池も決壊ため池と同等に取り扱うこととした。

e) 漏水の発生したもの

調査表には、漏水の有無は記載されているが、その量については言及されていない。また、その漏水もクラックや天端沈下またはその両方を伴うものもあるが、それらを伴わない漏水だけの場合もある。ここでは、それらのため池すべてが地震力によりパイピング現象を生じ、漏水したものと判断し、漏水が発生したため池も決壊ため池と同等に取り扱うこととした。

ため池の被害程度を分類する尺度には上記のもの以外

にも考えられるが、以後は上記の被害分類を1つの尺度として悉皆調査データを整理していることに留意された。

## (2) ため池の悉皆調査データの整理

著者らが実施した日本海中部地震にかかわる農業用ため池の悉皆調査における調査項目は36項目であった。その調査項目のうち、1つは「被害程度」の項目であり、以下に示す9項目についてはアイテムから削除し、残る26項目と前述のように悉皆調査に不可欠と考えた「震央距離」の項目についてとりまとめた一覧表が表-2である。削除した理由とそれに該当する調査項目は次のとおりである。

a) 不明のデータ数が多い項目: 「改修年代」(調査ため池数の84%が不明)。

b) 他の調査項目で代表できる項目: 「上下流のり面形状」(「上流のり面勾配」および「下流のり面勾配」で代表できると考えた)。

c) 調査者の主観が入る項目: 「対策の緊急度」, 「余水吐の管理状況の良否」・「取水施設の管理状況の良否」・「底樋の管理状況の良否」, 「危険を及ぼすおそれのある施設の有無」。

d) 地震前の状況において調査が困難な項目: 「堤体におけるクラックの有無」。

e) 被害に直接無関係な項目: 「管理主体」。

調査表における各調査項目は細かく区分(カテゴリー化)されており、その各カテゴリーに属するサンプルの個数に大きな偏りがみられた。統計的に処理する場合、各カテゴリーに属するサンプル数は偏らない方がよいとの判断から、各カテゴリーに属するサンプル数ができるだけ均一になるように、再度カテゴリー化した。表-2のうち、堤体にかかわるアイテムについては、「不明」に属するデータを取り除き、「不明」のカテゴリーを削除している。これは、本論文におけるデータのとりまとめが数量化理論Ⅱ類による堤体の地震被害の予測を前提として実施され、この予測の観点からは「不明」のカテゴリーは不適當であることによる。一方、付帯施設にかかわるアイテムは堤体の地震被害の予測に用いないものとし、貴重なデータの削除はできるだけ少なくしたいとの観点から、表-2の付帯施設のアイテムにおける「不明」はそのまま残している。表-2の「均一型」には「農業用ダム・ため池被災実態調査表」における「前刃金型(傾斜遮水ゾーン型)」が含まれている。「前刃金型」として回答された24か所のため池の「堤体主体材料」は、すべて「粘性土・砂質粘土」であり、もともと「均一型」として築造されたため池が改修で「前刃金型」になったものと推察されるため、「前刃金型」のデータを「均一型」の中にも含めることとした。なお、被害程度A, B, Cの

表—2 各アイテムのカテゴリに属するデータ数と被害程度および被害率・無被害率

「アイテム」 カテゴリ	被害程度 計(カ所) A+B+C	大被害 A(カ所)	小被害 B(カ所)	無被害 C(カ所)	A (%)	B+C (%)	A (%)	B+C (%)
					A+B+C	A+B+C	ΣA	Σ(B+C)
「築造年代」(年)								
明治以前(不明含む)	841	99	28	714	11.8	88.2	68.3	75.4
1913-1952	231	36	4	191	15.6	84.4	24.8	19.8
1953-1984	57	10	0	47	17.5	82.5	6.9	4.8
「ダム型式」								
均一型	1090	136	24	930	12.5	87.5	93.8	97.0
ソーン表面遮水・コア型	39	9	8	22	23.1	76.9	6.2	3.0
「堤高」(m)								
0.0-5.0未満	664	75	18	571	11.3	88.7	51.7	59.9
5.0-10.0未満	360	57	10	293	15.8	84.2	39.3	30.8
10.0-15.0未満	67	9	1	57	13.4	86.6	6.2	5.9
15.0以上	38	4	3	31	10.5	89.5	2.8	3.4
「堤頂長」(m)								
0-50未満	407	32	6	369	7.9	92.1	22.1	38.1
50-100未満	442	60	11	371	13.6	86.4	41.4	38.8
100以上	280	53	15	212	18.9	81.1	36.5	23.1
「堤頂幅」(m)								
0-3未満	412	26	4	382	6.3	93.7	17.9	39.2
3-4未満	363	58	14	291	16.0	84.0	40.0	31.0
4以上	354	61	14	279	17.2	82.8	42.1	29.8
「堤頂幅/堤高」								
0.0-0.6未満	388	34	8	346	8.8	91.2	23.4	36.0
0.6-1.0未満	403	71	12	320	17.6	82.4	49.0	33.7
1.0以上	338	40	12	286	11.8	88.2	27.6	30.3
「上流のり面勾配」(割)								
0.0-1.5未満	390	17	5	368	4.4	95.6	11.7	37.9
1.5-2.0未満	346	35	7	304	10.1	89.9	24.2	31.6
2.0以上	393	93	20	280	23.7	76.3	64.1	30.5
「下流のり面勾配」(割)								
0.0-1.5未満	296	18	1	277	6.1	93.9	12.4	28.3
1.5-2.0未満	492	64	11	417	13.0	87.0	44.1	43.5
2.0以上	341	63	20	258	18.5	81.5	43.5	28.2
「基礎地盤の地質年代」								
第三紀	461	29	5	427	6.3	93.7	20.0	43.9
洪積世	349	76	14	259	21.8	78.2	52.4	27.7
沖積世	319	40	13	266	12.5	87.5	27.6	28.4
「基礎地盤の土質」								
硬岩・軟岩	385	15	3	367	3.9	96.1	10.4	37.6
砂・砂質土	129	35	15	79	27.1	72.9	24.1	9.6
粘土・砂礫質粘土	615	95	14	506	15.4	84.6	65.5	52.8
「堤体主体材料」								
砂質土	87	25	6	56	28.7	71.3	17.2	6.3
粘性土・砂質粘土	1042	120	26	896	11.5	88.5	82.8	93.7
「地形」								
山地	316	31	3	282	9.8	90.2	21.4	29.0
丘陵地	243	21	2	220	8.6	91.4	14.5	22.6
台地	269	55	18	196	20.4	79.6	37.9	21.7
扇状地・干拓地・ 三角洲性低地	301	38	9	254	12.6	87.4	26.2	26.7
「堤体の沈下の有無」								
有	108	37	8	63	34.3	65.7	25.5	7.2
無	1021	108	24	889	10.6	89.4	74.5	92.8
「堤体の漏水の有無」								
有	245	35	8	202	14.3	85.7	24.1	21.3
無	884	110	24	750	12.4	87.6	75.9	78.7
計	1129	145	32	952	12.8	87.2	100.0	100.0

データ数はそれぞれ145, 32, 952であり、表—2には各アイテムのカテゴリに属するデータ数と被害程度A・B・Cの内訳ならびにそれらの割合を示している。また、「震災距離」のアイテムは悉皆調査の項目にはないが、ため池の所在地と震央の緯度、経度から求めたも

のである。

### 3. 被害ため池の調査データに基づく「被害数の比率」

日本海中部地震にかかわる農業用ため池の悉皆調査に

表-2 各アイテムのカテゴリーに属するデータ数と被害程度および被害率・無被害率 (Continued)

「アイテム」 カテゴリー	被害程度 A+B+C	計(加所) A+B+C	大被害 A(加所)	小被害 B(加所)	無被害 C(加所)	被害率		無被害率	
						A (%) A/(A+B+C)	B+C (%) (B+C)/(A+B+C)	A (%) A/ΣA	B+C (%) Σ(B+C)
「のり面損傷の有無」	有	187	49	2	136	26.2	73.8	33.8	14.0
	無	942	96	30	816	10.2	89.8	66.2	86.0
「はらみ出しの有無」	有	47	13	2	32	27.7	72.3	9.0	3.5
	無	1082	132	30	920	12.2	87.8	91.0	96.5
「下流のり面の乾燥度」	湿潤	109	19	5	85	17.4	82.6	13.1	9.1
	普通	965	118	23	824	12.2	87.8	81.4	86.1
	乾燥	55	8	4	43	14.5	85.5	5.5	4.8
「下流のり面における 好湿性植物の有無」	有	496	67	8	421	13.5	86.5	46.2	43.6
	無	633	78	24	531	12.3	87.7	53.8	56.4
「地すべり等 地山崩壊の有無」	有	9	0	0	9	0.0	100.0	0.0	0.9
	無	1120	145	32	943	12.9	87.1	100.0	99.1
「底樋の型式」	木樋	126	6	0	120	4.8	95.2	4.1	12.2
	コンクリート	262	27	4	231	10.3	89.7	18.6	23.9
	ヒューム管	633	82	22	529	13.0	87.0	56.6	56.0
	その他	46	5	4	37	10.9	89.1	3.5	4.2
	不明	62	25	2	35	40.3	59.7	17.2	3.7
「余水吐のクワクワの有無」	有	117	20	6	91	17.1	82.9	13.8	9.9
	無	1012	125	26	861	12.4	87.6	86.2	90.1
「取水施設のクワクワの 有無」	有	123	15	2	106	12.2	87.8	10.4	11.0
	無	972	114	28	830	11.7	88.3	78.6	87.2
	不明	34	16	2	16	47.1	52.9	11.0	1.8
「底樋のクワクワの有無」	有	97	13	1	83	13.4	86.6	9.0	8.5
	無	990	116	28	846	11.7	88.3	80.0	88.8
	不明	42	16	3	23	38.1	61.9	11.0	2.7
「取水施設の使用状況」	使用している	1049	121	32	896	11.5	88.5	83.4	94.3
	廃止している	80	24	0	56	30.0	70.0	16.6	5.7
「震央距離」	100km未満	257	52	15	190	20.2	79.8	35.9	20.8
	100~120km未満	351	63	2	286	17.9	82.1	43.4	29.3
	120~140km未満	356	14	15	327	3.9	96.1	9.7	34.8
	140km以上	165	16	0	149	9.7	90.3	11.0	15.1
「地震時の貯水率」	0.0~0.4未満	83	27	8	48	32.5	67.5	18.6	5.7
	0.4~0.7未満	480	79	20	381	16.5	83.5	54.5	40.7
	0.7以上	566	39	4	523	6.9	93.1	26.9	53.6
「震央との堤輪交角」	315~ 45° 未満	258	25	12	221	9.7	90.3	17.2	23.7
	45~135° 未満	414	53	10	351	12.8	87.2	36.6	36.7
	135~225° 未満	294	38	6	250	12.9	87.1	26.2	26.0
	225~315° 未満	163	29	4	130	17.8	82.2	20.0	13.6
計		1129	145	32	952	12.8	87.2	100.0	100.0

注) A/(A+B+C): 悉皆調査に基づく被害率  
 (B+C)/(A+B+C): 悉皆調査に基づく無被害率  
 A/ΣA: 各カテゴリーの被害数の比率  
 (B+C)/Σ(B+C): 各カテゴリーの無被害数の比率

おける調査項目のうち、「築造年代」を例にとり、被害総数に対する当該カテゴリーの被害数の比率「A/ΣA」を示したものが図-2である。図-2によれば、「明治以前(不明を含む)」の被害数の比率が最も高く、次に

「1913-1952」, 「1953-1984」の順となり、築造年代が古いものほど「危険」と解釈される。これに対して、無被害総数に対する当該カテゴリーの無被害数の比率「(B+C)/Σ(B+C)」を示したものが図-3である。ここに、

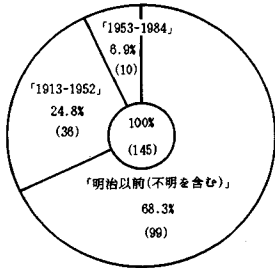


図-2 「築造年代」における被害総数に対する当該カテゴリーの被害数の比率  $[A/\Sigma A]$

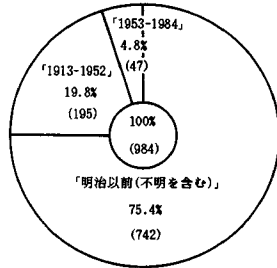


図-3 「築造年代」における被害総数に対する当該カテゴリーの無被害数の比率  $[(B+C)/\Sigma(B+C)]$

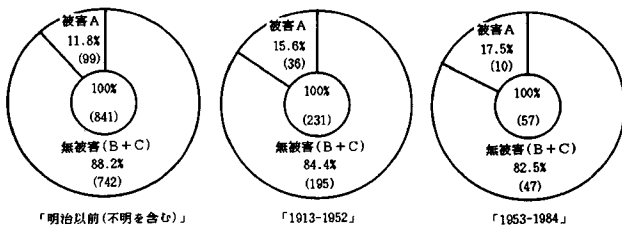


図-4 「築造年代」ごとの被害率  $[A/(A+B+C)]$  と無被害率  $[(B+C)/(A+B+C)]$

小被害Bのデータ数は大被害Aや無被害Cのそれと比べて少ないとの観点から、ひとまとめにし無被害として取り扱っている。図-3によれば、「明治以前(不明を含む)」の無被害数の比率が最も高く、次に「1913-1952」, 「1953-1984」の順となり、築造年代が古いものほど「安全」と解釈されることになる。したがって、図-2から得られる解釈と図-3からのそれとは矛盾している。 $[A/\Sigma A]$ と $[(B+C)/\Sigma(B+C)]$ ではその分母がそれぞれ145と984と一定であり、分子の値すなわち当該カテゴリーのデータ数がそのまま反映される。したがって、上述の被害数の比率や無被害数の比率はどのため池が「危険」または「安全」かの目安となるいわゆる「被害率」や「無被害率」という概念とは異なる。すなわち、 $[A/\Sigma A]$ と $[(B+C)/\Sigma(B+C)]$ の比率はともに「築造年代」が古いものほど高くなり、「築造年代」のうち、どのカテゴリーのため池が被害を受けやすいか否かを判断する根拠にはならないことに、注意しなければならない。 $[A/\Sigma A]$ は無被害のものを含む悉皆調査を必要とせず、従来の地震被害の調査から得られるものであるため、特にその解釈に際してはいわゆる「被害率」と混同しないように注意する必要がある。

#### 4. 悉皆調査データに基づく「被害率」と「無被害率」

本節では、アイテムの中でどのカテゴリーのため池が

被害を受けやすいか否かを判断する根拠となる、悉皆調査に基づく被害率  $[A/(A+B+C)]$  (該当するカテゴリーの被害・無被害の総数に対する被害を受けたものの数の比率) と無被害率  $[(B+C)/(A+B+C)]$  (該当するカテゴリーの被害・無被害の総数に対する無被害のものの数の比率) について述べる。「築造年代」を例にとり、「明治以前(不明を含む)」, 「1913-1952」, 「1953-1984」の3つのカテゴリーの被害率と無被害率をそれぞれ示したものが、図-4である。図-4によれば、被害率は「1953-1984」で最も高く、築造年代が新しいものほど「危険」と解釈される。また、無被害率は「明治以前(不明を含む)」で最も高く、築造年代が古いものほど「安全」と解釈される。したがって、被害率の解釈と無被害率のそれとで矛盾はない。被害率と無被害率は、両者の和が100%となる関係にあるため、いずれか一方から他方が確定できる。また、これらは、カテゴリーごとの被害と無被害の割合をそれぞれ意味している。当然のことながら、被害率  $[A/(A+B+C)]$  と無被害率  $[(B+C)/(A+B+C)]$  のいずれの場合にも、被害と無被害の双方の調査データが必要となり、いわゆる悉皆調査が不可欠となる。

#### 5. 昭和58年日本海中部地震におけるため池の被害率

上述までのように、どのカテゴリーでため池が地震被害を受けやすいかを判断する根拠としては、 $[A/(A+B+C)]$  が最も妥当である。したがって、 $[A/(A+B+C)]$  をもとに、表-2のアイテム・カテゴリーについて、どのカテゴリーでため池が地震被害を受けやすいかを推察し、以下にまとめる。

- ① 「築造年代」が新しいものほど、被害を受けやすい。
- ② 「ダム型式」がゾーン・表面遮水・コア型のものは、均一型に比べて被害を受けやすい。
- ③ 「堤高」が「5.0~10.0m未満」のものが最も被害を受けやすく、「15.0m以上」のもの被害率は低い。
- ④ 「堤頂長」が長く、「堤頂幅」が広いものほど、被害を受けやすい。これは、物理的長さが大きいほど、壊れ得る箇所が多くなることを反映している。
- ⑤ 「堤頂幅/堤高」は「0.6~1.0未満」のものが最も被害を受けやすい。
- ⑥ 「上流のり面勾配」や「下流のり面勾配」が緩いものほど、被害を受けやすい。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も考えられるが、この点について考慮していないところは、今後の課題と考

えられる。

⑦ 「基礎地盤の地質年代」では「洪積世」のものが最も被害を受けやすく、次に「沖積世」, 「第三紀」の順となる。本研究で対象としたデータの地域的特性とも考えられる。

⑧ 「基礎地盤の土質」が「砂・砂質土」のものが最も被害を受けやすい。

⑨ 「堤体主体材料」が「砂質土」のものが, 「粘性土・砂質粘土」のものより被害を受けやすい。

⑩ 「地形」が「台地」のものが最も被害を受けやすく, 次に「扇状地・三角洲性低地・干拓地」, 「山地」, 「丘陵地」の順となる。

⑪ 「堤体の沈下の有無」, 「堤体の漏水の有無」, 「のり面損傷の有無」, 「はらみ出しの有無」, 「下流のり面における好湿性植物の有無」, 「余水吐のクラックの有無」では, 「有」の方が被害を受けやすい。

⑫ 「下流のり面の乾燥度」が「湿潤」のものが最も被害を受けやすく, 次に「乾燥」, 「普通」の順となる。

⑬ 「地すべり等地山崩壊の有無」では, 「有」のデータがすべて無被害であるため, 「有」の方が安全との結果になっている。

⑭ 「底樋の型式」, 「取水施設のクラックの有無」, 「底樋のクラックの有無」では, 「不明」で被害を受けやすい結果となっている。

⑮ 「取水施設の使用状況」では「廃止している」ものが被害を受けやすい。

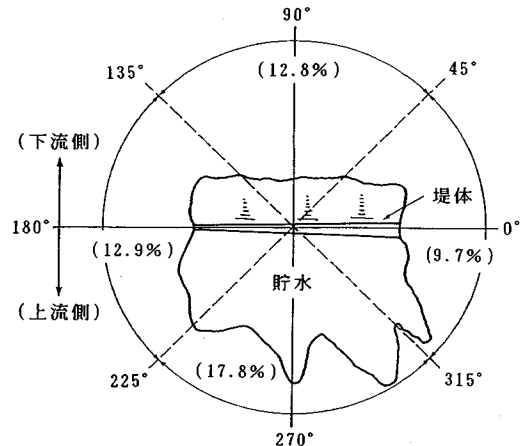
⑯ 「震央距離」が短いほど被害を受けやすいが, 120 km 以上では必ずしもこの傾向は認められない。本研究で対象としたデータの地域的特性と考えられる。この結果を他に適用する場合には十分な注意が必要であろう。

⑰ 堤高に対する地震時の水深を意味する「地震時の貯水率」が低いものほど, 被害を受けやすい。今後のデータの蓄積と従来の知見を十分に反映した解釈が必要と考えられる。

⑱ 「震央との堤軸交角」(図-5)については, 震源が堤体の上流側に位置する場合に被害を受けやすい。

## 6. 結 論

本論文は, 著者らが実施した昭和 58 年日本海中部地震にかかわるため池の悉皆調査データに基づき, 無被害総数に対する当該カテゴリーの無被害数の比率  $[(B+C)/\Sigma(B+C)]$  と無被害率  $[(B+C)/(A+B+C)]$  の概念を導入することにより, 被害ため池のみを対象とした調査から得られる被害数の比率  $[A/\Sigma A]$  と, 無被害ため池を含む悉皆調査から得られるいわゆる被害率  $[A/(A+B+C)]$  の両者の相違を明確にし, 悉皆調査の重要性について述べるとともに, 「被害率」から, ど



注) ( )内は被害率  $A/(A+B+C)$  を表わす。

図-5 震央との堤軸交角

のため池が被害を受けやすいかについて, 詳述したものである。本研究で得られた主な結論は以下のとおりである。

(1) 「被害率」は, 従来実施されてきた被害を受けたものだけを対象とした震害調査では把握できず, これを求めるためには被害・無被害を問わない悉皆調査が不可欠である。

(2) どの構造物が被害を受けやすいかの目安となる, いわゆる「被害率」は, 当該カテゴリーに属する被害と無被害のデータ数の和に対する被害データ数の割合で示される。

(3) 地震被害のみの調査で得られる被害数の比率  $[A/\Sigma A]$  は, 全被害データ数に対する当該カテゴリーの被害データ数の割合であり, どの構造物が被害を受けやすいかの目安とはならない。

(4) カテゴリーごとのデータ数に大きな偏りがみられる場合には, 地震被害のみの調査で得られる被害数の比率  $[A/\Sigma A]$  の解釈に際して, 被害率  $[A/(A+B+C)]$  と混同しないように特に留意する必要がある。

(5) 「被害率」の高いため池は, 「築造年代」の新しいもの, 「ダム型式」がゾーン・表面遮水・コア型のもの, 「堤高」が 15 m 未満のもの, 「堤頂長」が長く「堤頂幅」が広いもの, 「堤頂幅/堤高」の比率が高いもの, 「上流のり面勾配」や「下流のり面勾配」が緩いもの, 「基礎地盤の地質年代」が洪積世のもの, 「基礎地盤の土質」が砂・砂質土のもの, 「堤体主体材料」が砂質土のもの, 「地形」が台地のもの, 堤体に沈下・漏水・のり面損傷・はらみ出しの異常があるものや余水吐にクラックのあるもの, 下流のり面が湿潤で好湿性植物のあるもの, 地すべり等地山崩壊のないもの, 取水施設の使用を止めているもの, 「震央距離」の短いもの, 「地震時の貯水率」が

低いもの、「震央との堤軸交角」では震央が堤体の上流側に位置する場合である。

ただし、本研究の結論の解釈に際しては、以下の点に留意する必要がある。

(1) 対象としたデータが昭和58年日本海中部地震における震度階Ⅴ程度の規模に対するものであることに注意しなければならない。したがって、本研究で被害率の高いとされたため池は震度階ⅥやⅦの地震で被害を受ける可能性は高いものの、本研究における被害率が震度階ⅥやⅦの地震にかかわる悉皆調査による被害率と一致するという保証はない。

(2) ため池が地震被害を受ける要因の解釈に際して、従来の工学的知見と矛盾するものが一部みられた。したがって、調査データの見直しとより詳細な検討をもとに、調査データの意味するところを的確に把握する必要がある。

(3) 地震被害は多くの要因が複雑にからみ合って発生するため、悉皆調査で得られた種々の調査項目を個々に眺めるだけでは、地震被害に大きく影響する要因を把握できず、地震被害とそれらとの関係を定量的に求められない。そこで、著者らは、数量化理論Ⅱ類による地震被害の要因解析を実施し、その一部については、すでに報告している。この点に関しては、文献12)を参照されたい。

最後に、全国約25万か所にも及ぶ農業用のため池を限られた財源の中で順次改修していくためには、改修の優先順位が最も大きな問題の1つとなる。改修の要否は事前の詳細な調査に基づき判断されるが、詳細調査の前の1次のふるい分けとして比較的被害を受けやすいと考えられるため池を簡単な調査項目から選び出すことは、今回のように対象の数がきわめて多い場合には、一連の改修計画を円滑に進めるうえで大きな一助となろう。以上の観点から、今回のような悉皆調査と調査データに基づく一連の要因分析、さらには分析結果に基づく被害の簡便な予測は有効であると考えられる。今後このような悉皆調査が実施され、有益なデータがより多く蓄積されることを期待する。

謝 辞：本論文は、関東農政局防災課からの委託事業を(財)日本農業土木総合研究所が受託し、そこに設置された東京農工大学 白滝山二教授を委員長とする「大規模地震対策調査検討委員会」で行われた検討内容を踏まえて、著者らの責任において取りまとめたものである。被害および無被害の農業用ため池の悉皆調査では、青森県および秋田県の関係各位に多大のご協力を賜わった。

ここに、記して深謝する次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) 土木学会日本海中部地震震害調査委員会：1983年日本海中部地震震害調査報告書，土木学会，1986.10.
- 2) 1983年日本海中部地震調査委員会：1983年日本海中部地震被害調査報告書，土質工学会東北支部，1986.5.
- 3) 松本 勇・深沢喜勇・山崎 晃・川崎照太郎：日本海中部地震に係わる農業用ため池の悉皆調査，第21回土質工学研究発表会，1986.6.
- 4) 山崎 晃・川崎照太郎・中村正博・秩父顕美：農業用ため池の地震被害の要因解析（Ⅰ），第21回土質工学研究発表会，1986.6.
- 5) 山崎 晃・川崎照太郎・秩父顕美・中村正博：農業用ため池の地震被害の要因解析（Ⅱ），第21回土質工学研究発表会，1986.6.
- 6) 山崎 晃・三宅克之・中村正博・池見 拓：農業用ため池の地震時における被害予測，農業土木学会誌，第55巻，第6号，1987.6.
- 7) 山崎 晃・三宅克之・中村正博・池見 拓：均一型ため池の地震被害の要因解析，第22回土質工学研究発表会，1987.6.
- 8) 山崎 晃・三宅克之・中村正博・池見 拓：地震動の強さを考慮したため池の地震被害の要因解析，第22回土質工学研究発表会，1987.6.
- 9) 山崎 晃・三宅克之・中村正博・池見 拓：ため池の地震被害の悉皆調査に基づく被害率と無被害率，土木学会第19回地震工学研究発表会，1987.7.
- 10) 山崎 晃・三宅克之・中村正博・池見 拓：震害調査に基づく被害率に関する一考察，土木学会第42回年次学術講演会，1987.9.
- 11) 山崎 晃・三宅克之・中村正博・池見 拓：ため池の地震被害の要因解析における震央距離に関する一考察，土木学会第42回年次学術講演会，1987.9.
- 12) 山崎 晃・三宅克之・中村正博・池見 拓：ため池の地震被害の分析，土木学会論文集，第404号，1989.4.
- 13) 森田昌史：ため池整備の現状と課題，水と土，第50号，1982.
- 14) 佐々木康・谷口栄一・松尾 修・伊藤良弘：日本海中部地震による土構造物の沈下，土と基礎，Vol.32，No.9，pp.7~13，1984.
- 15) 佐々木康・川島一彦・宇多高明：日本海中部地震被害調査速報，土木技術資料，Vol.25，No.7，pp.55~60，1983.
- 16) (財)日本農業土木総合研究所：昭和58年日本海中部地震における溜池の被害実態調査，1984.
- 17) 構造改善局建設部防災課・老朽ため池研究会：老朽ため池整備便覧，公共事業通信社，1982.
- 18) 長谷川高士・菊沢正裕：フィルダムの動的挙動に及ぼす貯水の影響～フィルダムの動的特性に関する研究（Ⅲ），農業土木学会論文集，第97号，1982.2.

(1987.11.6・受付)