

# ため池の地震被害の分析<sup>†</sup>

## A STATISTICAL ANALYSIS OF SEISMIC DAMAGE 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

A study on damaged or undamaged small earth dams for irrigation in Aomori and Akita prefectures by Nihonkai-Chubu Earthquake in 1983 was carried out by distributing relevant questionnaires. A total of 1 129 data on the irrigation dams were used for analysis. The irrigation dams were classified into three groups, such as heavy-damaged dams (A), light-damaged dams (B) and undamaged dams (C). The ranks of seismic damage in the dams were investigated by the Type II Quantification Analysis based on the available data, which has been frequently used in Japan for statistical analyses including not only quantitative data but also qualitative data. As the results of analysis, 8 items were selected from 27 items as the factors greatly affecting the earthquake damage of a small earth dam. Weighting factors were given to items so as to discriminate the heavy-damaged group from the undamaged group including light-damaged dams as clearly as possible.

*Keywords: seismic damage, quantification analysis, small earth dams for irrigation*

### 1. はじめに

農業用水の補給を目的とした農業用ため池は、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>1)</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。

ため池の地震防災対策を工学的根拠に基づき、円滑に実施するためには、まず、どのようなため池が被害を受けやすいかを究明しなければならない。従来は、被害た

め池を詳細に調査することにより、その被害要因を解明しようとする手法が取られてきた。しかし、この手法では、無被害ため池の要因、すなわちどのようなため池であれば地震被害を受けないかを説明できない。また、ため池は千差万別な構造および寸法のために、個別に静的または動的な解析による耐震検討が行われてきた。しかし、この検討方法では、数多くのため池を対象として地震による被害予測を行う場合には時間と経費がかかりすぎる難点がある。したがって、より合理的に、より簡便・経済的に、ため池が被害を受けるかどうかを予測する手法が必要となる。そこで、ある大規模な地震に見舞われた地域内における被害および無被害ため池を、地震被害の要因と考えられる項目ごとに地震前の状況について悉皆調査を行い、双方の調査内容で有意な差があるかを確認し、被害要因を解析することは有効な手法と考えられる。以上のような目的で、昭和58年日本海中部地震<sup>2),3)</sup>の震央から150km以内にある被害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>4)-13)</sup>。なお、被害ため池についての被害状況は別件により調査済みである<sup>14)</sup>。

一般に、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、それらの要因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。また、悉皆

<sup>†</sup>本論文は、参考文献4)~13)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455)

\*\* (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)

調査の内容は定量的なデータのみならず、定性的なデータも含んでいる。このような場合には、多変量解析の手法のうち、数量化理論Ⅱ類<sup>13)</sup>が有効である。

文献13)では悉皆調査の重要性について論じたが、本論文では、それらのデータに基づく数量化理論Ⅱ類による地震被害の要因解析の方法、手順、解析結果について述べる。なお、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については別の機会に譲ることとする。

## 2. 数量化理論Ⅱ類のための被害分類と要因

本論文では、地震による農業用ため池の被害の有無や被害の程度などの定性的データを外的基準としているので、解析手法としては数量化理論Ⅱ類を用いている。なお、外的基準である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つである基礎地盤の地質年代はアイテムであり、そのうち沖積世という年代が1つのカテゴリーである。

本論文における解析では、被害の有無や被害程度を最もよく推測するという基準のもとに、被害程度を規定する重み係数としてのカテゴリースコアや、被害程度とそれぞれのアイテムとの相関を示す尺度としての偏相関係数が求められ、当該ため池に対応するカテゴリースコアの和の大小からその被害予測が可能となる。なお、数量化理論Ⅱ類における外的基準は、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、被害は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、無被害のものをランクC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、①のり面すべりが起こったもの、②幅5cm以上の縦断クラックの入ったもの、③横断クラックの入ったもの、④30cm以上の天端沈下の起こったもの、⑤漏水の発生したものを意味する<sup>7),13)</sup>。

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調査項目は36項目であったが、その調査項目のうち、被害程度の項目を外的基準とし、26項目をアイテムとして選択しており、次の9項目についてはアイテムから削除している。すなわち、①不明のデータ数が多い項目：改修年代、②他の調査項目で代表できる項目：上下流のり面形状、③調査者の主観が入る項目：対策の緊急度、余水吐・取水施設・底植の管理状況の良否、危険を及ぼすおそれのある施設の有無、④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、⑤被害に直接無関係な項目：管理主体<sup>7),13)</sup>。

地震被害を受けたため池はもちろんのこと、無被害のものも含めた悉皆調査では、その調査範囲を明確にする

とともに、当該ため池がどの程度の強さの地震動を受けたのか、それが明らかでない場合には少なくとも震央距離を考慮しておく必要がある。したがって、前述の26項目に震央距離を加えた27のアイテムにより数量化理論Ⅱ類による解析を実施した。なお、解析の対象としたデータ数は1129であり、被害程度A、B、Cのデータ数はそれぞれ145、32、952である。ここに、被害程度Bのデータ数がAやCのそれに比べて少ないため、外的基準としては大被害Aと小被害・無被害(B+C)の2分類として解析した。

要因解析はNo.1～No.4の4段階を踏んでいる。

① 解析ステップNo.1：27アイテムを用いて外的基準である被害程度との相関を求める。

② 解析ステップNo.2：要因解析に際して、相互に相関の高いアイテムをともに用いるのは好ましくないため、解析ステップNo.1においてアイテム間の相関係数が0.500以上のアイテムのうち、調査がより難しいと考えられるアイテムを削除し、被害程度との相関を求める。

③ 解析ステップNo.3：解析ステップNo.2において、偏相関係数の小さいアイテムは被害程度に寄与の小さいものと考えられることから、偏相関係数が平均値以下のアイテムを削除し、被害程度との相関を求める。

④ 解析ステップNo.4：解析ステップNo.3のアイテムのうち、付帯構造物にかかわるものを削除し、堤体のみアイテムで被害程度との相関を求める。

表一の相関比と判別の中率の値は、アイテムの数が少なくなるほど小さくなっている。これは、ため池の被害程度を予測する場合、多数のアイテムを対象とする解析が望ましいことを意味している。しかしながら、解析ステップNo.4においても、判別の中率の値は75%と比較的高い値を得ている。したがって、解析結果とその考察は解析ステップNo.4で行うこととした。なお、このステップにおけるアイテム数は8個である。

## 3. ため池の地震被害の要因解析結果

解析ステップNo.4の要因解析結果に基づいて、ため池の被害判定表を作成したものを表一に示す。また、表二の解析で対象としたデータを表三に示す。

数量化理論Ⅱ類では、外的基準の各グループ（ここでは被害と無被害）をできるだけ明瞭に分離するという条件のもとに、各アイテムの各カテゴリーに数量（カテゴリースコア）を与える。このとき各グループの判別の境界となる値を判別区分点とよぶ。

ため池の被害程度は種々のアイテムに影響されることになるが、各アイテムがそれぞれ独自にどの程度のかかわり合いをもって、被害程度が決まるのかを示す尺度として、偏相関係数がある。また、アイテムの重要度すな

表-1 数量化理論Ⅱ類による要因解析の流れ

(A, B+Cの判別)		サンプル数 1129 ( A=145 B=32 C=952 )					
解析ステップ	No. 1	アイテム間の 相関大	No. 2	偏相関係数が 平均値以下	No. 3	付帯構造物に 関するもの	No. 4
相 関 比	0.2865		0.2827		0.2619		0.2243
判別的中率(%)	78.5		78.0		77.0		75.0
1 築造年代	0.0840		0.0791	●			
2 ダム形式	0.0461		0.0439	●			
3 堤 高	0.0581		0.0562	●			
4 堤頂長	0.0688		0.0667	●			
5 堤頂幅	0.1148		0.1157		0.1332		0.1159
6 堤頂幅 / 堤 高	0.1107		0.1132		0.1202		0.1103
7 上流のり面勾配	0.1868		0.1862		0.1968		0.2066
8 下流のり面勾配	0.0414		0.0395	●			
9 基礎地盤の 地質年代	0.1224		0.1268		0.1206		0.1230
10 基礎地盤の土質	0.1616		0.1660		0.1650		0.1735
11 堤体主体材料	0.0276		0.0416	●			
12 地 形	0.0451		0.0475	●			
13 堤体における 沈下の有無	0.1123	① 0.511	0.1501		0.1653		0.1642
14 堤体における 漏水の有無	0.0125		0.0171	●			
15 堤体における のり面損傷の有無	0.0654	① 0.511 ●					
16 堤体における はらみだしの有無	0.0043		0.0098	●			
17 下流のり面の 乾燥度	0.0271		0.0262	●			
18 下流のり面の好湿 植物の有無	0.0725		0.0683	●			
19 地すべり等 地山崩壊の有無	0.0423		0.0421	●			
20 底樋の型式	0.1255		0.1238		0.1160	●	
21 余水吐の クラックの有無	0.0306		0.0340	●			
22 取水施設の クラックの有無	0.1186	②-0.840	0.1451		0.1596	●	
23 底樋の クラックの有無	0.0428	②-0.840 ●					
24 取水施設の 使用状況	0.0507		0.0502	●			
25 震央距離	0.1663		0.1721		0.1868		0.1957
26 地震時の貯水率	0.1763		0.1741		0.1867		0.1824
27 震央との堤軸交角	0.0383		0.0362	●			
偏相関係数の 平均値	0.0797		0.0853		0.1550		0.1590

わち、各アイテムはため池の被害程度をどの程度変化させることができるのかを示す指標として、レンジがある。このレンジは、各アイテム内のカテゴリースコアの最大値と最小値の差であり、この絶対値が大きいほど外的基準である被害程度に直接影響する。また、カテゴリースコアは、その値が小さいほど被害の大きくなる方に寄与

する。

一方、カテゴリースコアとデータ数の積をアイテムごとに足し合わせれば、その和は零となる。したがって、データ数に大きな偏りをもつアイテムでは大きなカテゴリースコアをもつ場合があり、その結果、偏相関係数が小さいにもかかわらず、レンジが大きくなることがある。表一2によれば、偏相関係数とレンジの順位が大きく異なるアイテムがみられる。特に、「堤体における沈下の有無」ではレンジが2位であるのに対して、偏相関係数では5位である。表一3によれば、「堤体における沈下の有無」で「有」のデータ数が少なく、前述のように、データに偏りがみられる。

大被害の発生の有無を判別する解析結果は、以下のとおりである。

(1) 堤頂幅

表一2のレンジと偏相関係数によれば、「堤頂幅」は地震被害との相関が他のアイテムに比べて低い。そのカテゴリーに着目すれば、幅の広いものほど被害を受けやすい結果となっている。しかし、実際には堤頂幅の広い方が決壊などの大被害が発生する可能性は少ないものと考えられる。

(2) 堤頂幅/堤高

表一2の8アイテムの中では、「堤頂幅/堤高」が地震被害との相関が最も低い。そのカテゴリースコアの順位に着目すれば、「0.6~1.0未満」のそれが最小であり、このカテゴリーに該当するため池が最も被害を受けやすい結果となっている。

(3) 上流のり面勾配

表一2によれば、「上流のり面勾配」のレンジと偏相関係数の順位はそれぞれ第3位と第1位となっており、ため池の地震被害の有無に最も大きく影響する要因となっている。しかし、勾配の緩いものほどカテゴリースコアが低くなっており、従来の工学的知見とは逆の結果となっている。表一3の調査データに基づく被害率A/(A+B+C)にもこのような傾向がみられる。その原因については明らかでないが、緩い勾配で築造されるため池ではその地盤や堤体材料の強度などの諸条件が悪いことも考えられ、実質的には勾配の緩いため池ほど耐震強度に乏しかったのではないかと推察される。

(4) 基礎地盤の地質年代

表一2によれば、「基礎地盤の地質年代」の地質被害との相関は、他のアイテムに比べて低い。一方、そのカテゴリースコアの順位に着目すれば、「洪積世」の基礎地盤上のため池で被害が最も発生しやすい結果となっており、「沖積世」の基礎地盤が危険との従来の知見とは矛盾する。表一3の調査データに基づく被害率A/(A+B+C)にもこの傾向がみられる。

表一2 ため池の地震被害の判定表

アイテム	カテゴリー	カテゴリースコア	レンジ 順位	偏相関係数 順位
堤頂幅	0-3m未満	0.2833	0.5547	6
	3-4m未満	-0.0569		
	4m以上	-0.2714		
堤頂幅/堤高	0.0-0.6未満	-0.0277	0.5324	8
	0.6-1.0未満	-0.2284		
	1.0以上	0.3041		
上流のり面勾配(割)	0.0-1.5未満	0.4540	0.9718	3
	1.5-2.0未満	0.0785		
	2.0以上	-0.5179		
基礎地盤の地質年代	第三紀	0.1898	0.5420	7
	洪積世	-0.3522		
	沖積世	0.1110		
基礎地盤の土質	硬岩・軟岩	0.4506	0.9361	4
	砂・砂質土	-0.4855		
	粘土・砂礫質粘土	-0.1802		
堤体における沈下の有無	有	-0.9718	1.0746	2
	無	0.1028		
震央距離	0-100km未満	-0.2483	0.8348	5
	100-120km未満	-0.2825		
	120-140km未満	0.5523		
	140km以上	-0.2039		
地震時の貯水率	0.0-0.4未満	-0.8666	1.1774	1
	0.4-0.7未満	-0.2165		
	0.7以上	0.3107		
判定	判別区分点 $x = -0.78$ 合成変数 $f$	$f \leq x \dots A$ $f > x \dots B+C$		

表一3 ため池の地震被害の判定表に用いたアイテムのデータ内訳

アイテム	被害程度	計(所) A+B+C	大被害 A(所)	小被害 B(所)	無被害 C(所)	A(X) A+B+C
「堤頂幅」(m)	0-3未満	412	26	4	382	6.3
	3-4未満	363	58	14	291	16.0
	4以上	354	61	14	279	17.2
「堤頂幅/堤高」	0.0-0.6未満	388	34	8	346	8.8
	0.6-1.0未満	403	71	12	320	17.6
	1.0以上	338	40	12	286	11.8
「上流のり面勾配」(割)	0.0-1.5未満	390	17	5	368	4.4
	1.5-2.0未満	346	35	7	304	10.1
	2.0以上	393	93	20	280	23.7
「基礎地盤の地質年代」	第三紀	461	29	5	427	6.3
	洪積世	349	76	14	259	21.8
	沖積世	319	40	13	266	12.5
「基礎地盤の土質」	硬岩・軟岩	385	15	3	367	3.9
	砂・砂質土	129	35	15	79	27.1
	粘土・砂礫質粘土	615	95	14	506	15.4
「堤体の沈下の有無」	有	108	37	8	63	34.3
	無	1021	108	24	889	10.6
「震央距離」	100km未満	257	52	15	190	20.2
	100-120km未満	351	63	2	286	17.9
	120-140km未満	356	14	15	327	3.9
	140km以上	165	16	0	149	9.7
「地震時の貯水率」	0.0-0.4未満	83	27	8	48	32.5
	0.4-0.7未満	480	79	20	381	16.5
	0.7以上	566	39	4	523	6.9
	計	1129	145	32	952	12.8

### (5) 基礎地盤の土質

「基礎地盤の土質」のカテゴリースコアに着目すれば、「砂・砂質土」が最も被害を発生しやすく、次に「粘土・砂礫質粘土」が危険であり、「硬岩・軟岩」の順となっている。これは、表—3の被害率  $A/(A+B+C)$  の順位と一致している。

### (6) 堤体における沈下の有無

表—3によれば、「堤体における沈下の有無」におけるデータ数に大きな偏りがみられる。したがって、前述のように、表—2における偏相関係数の順位が第5位であるにもかかわらず、レンジのそれが第2位となっている。

### (7) 震央距離

表—2の偏相関係数の順位によれば、「震央距離」は「上流のり面勾配」に次いで第2位であり、ため池の地震被害に及ぼす影響が大きい。そのカテゴリースコアの順位に着目すれば、「100~120 km 未満」にあるため池が最も被害を受けやすく、次に「0~100 km 未満」、「140 km 以上」、「120~140 km 未満」となり、必ずしも震央に近いものほど被害を受けやすい結果にはなっていない。表—2の順位は、表—3の被害率  $A/(A+B+C)$  のそれと一致している。昭和58年日本海中部地震の震央は文字どおり日本海の中部に位置し、震央からの距離によって、海岸近くの砂層であったり、台地や山地であるなど、その条件が特定されることによるものと推察される。

### (8) 地震時の貯水率

「地震時の貯水率」は、表—2の8つのアイテムの中でも、ため池の地震被害に大きな影響を及ぼすアイテムである。そのカテゴリースコアの順位に着目すれば、水位の低いため池ほど、被害を受けやすい結果になっている。これは、表—3の被害率  $A/(A+B+C)$  の順位がそのまま反映されたものと考えられる。一般に、水位が高いため池ほど、地震被害を受けやすいものと考えられ<sup>16)</sup>、表—2や表—3の傾向はこの工学的知見と矛盾する。この原因は明らかではないが、「地震時の貯水率」が低い場合には、仮にため池堤体が被害を受けてもいわゆる決壊にはつながらない。したがって、ため池堤体の地震被害とそれが及ぼす2次災害も含めた被害では、当然のことながら「地震時の貯水率」が高いため池の方が危険といえよう。

## 4. 結 論

昭和58年日本海中部地震の震央から150 km以内で震度階V程度の青森県と秋田県にある農業用ため池の悉皆調査の方法と結果、ならびにこれらのデータに基づく数量化理論Ⅱ類による要因解析の方法、手順、解析結果について述べた。

本研究で得られた結果をまとめれば、以下のとおりである。

(1) ため池が地震により大被害を受けるか受けないかを予測するための要因を解析するためには、数量化理論Ⅱ類は有効な方法であり、調査データをもとにため池の被害と個々の要因を眺めるだけでは得られない関係を把握することができる。

(2) ため池の地震被害に大きく影響する要因は、「堤頂幅」、「堤頂幅/堤高」、「上流のり面勾配」、「基礎地盤の地質年代」、「基礎地盤の土質」、「堤体における沈下の有無」、「震央距離」、「地震時の貯水率」である。

(3) ため池の地震被害に対する各カテゴリースコアの寄与の割合を表わすカテゴリースコアには、悉皆調査データにおける被害率  $A/(A+B+C)$  が反映されている。

ただし、今回の要因解析を行ううえで、いくつかの問題点も明らかにされた。それらと今後の課題を列挙すると次のとおりである。

(1) 調査データには「不明」と記述されているものもあり、要因解析の結果で「不明」が最大の寄与を果たすものもあった。震害予測という観点からは、「不明」の項目は無意味となるので、調査項目と内容は調査者にかかわらず、調査可能なものを選ぶ必要がある。

(2) 付帯構造物における寄与度の最大が「不明」となった例も多かったため、最終的な要因のしぼり込みでは、付帯構造物にかかわるものを削除した。しかしながら、付帯構造物が堤体に何らかの影響を及ぼすことも考えられるので、付帯構造物の調査項目、内容も取り入れて分析することが望ましい。

(3) 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。これは、調査データの結果がそのまま反映されたものとも考えられ、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。

(4) 本研究の結果の解釈にあたっては、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。

(5) カテゴリースコアとそのサンプル数の積をアイテムごとに足し合わせれば、各アイテムの和は零となる。言い換えれば、あるアイテムにおけるカテゴリースコアは極端な値になることがあり、その結果レンジが大きくなることに留意しなければならない。したがって、極端にデータ数の少ないカテゴリースコアを再配分するか、またはアイテムから削除した後、解析することが望ましい。

(6) ため池の地震被害の要因解析という観点からは、大被害 A と小被害または無被害 (B+C) の 2 分類を外的基準とした数量化理論Ⅱ類による判別分析が重要となるが、ため池を盛土や堤防などの土構造物の 1 つと考える場合には、クラック幅や天端の沈下量などの主観の混入しない定量的なものを外的基準とした数量化理論Ⅰ類による回帰分析も有意義であろう。

最後に、悉皆調査は地震被害の原因を調べる方法の 1 つで、すべてを説明し得るものではない。にもかかわらず、ここであえてこのような悉皆調査から地震被害の要因を分析し、その結果を将来の被害の予測に役立てようと試みたのは次の点に立脚しているからである。すなわち、全国に約 25 万か所も存在している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 つである。また、年々老朽化が進んでいるこれらのため池すべてについて、1 か所ずつ詳細な調査を実施してから改修を行ったのでは間に合わないのが現状である。したがって、改修前の詳細な調査の前に 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出すことは、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数量化理論Ⅱ類による一連の要因解析、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。しかしながら、今回の要因解析は昭和 58 年日本海中部地震の悉皆調査から得られたデータをもとにしており、その地域特有の諸条件が結果に反映されているとも考えられるため、この分析結果をそのまま汎用的に他の地域のため池の被害予測に適用するのは、現状では無理があると思われる。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によって、従来の工学的な知見に対する今回の分析結果の矛盾も解決され、1 次の選別としての汎用的な被害の予測が可能となることを期待する。

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。また、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) 森田昌史：ため池整備の現状と課題，水と土，第 50 号，pp. 5~10, 1982.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 山崎 晃・三宅克之・中村正博・池見 拓：地震を受けたため池の悉皆調査に基づく被害率，土木学会論文集，第 404 号 / I-11, 1989. 4.
- 14) (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.
- 15) マーケティング・サイエンス研究会編：マーケティング調査—数量化理論の解説と応用—，有斐閣双書，pp. 246~247, 1974.
- 16) 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)