

# 兵庫県南部地震によるため池を例とした 土構造物の被害特性の分析

建設省土木研究所 岩下友也\*  
建設省土木研究所 中村 昭\*  
(財)ダム技術センター 松本徳久\*\*  
(株)建設技術研究所 横山真至\*\*\*

兵庫県南部地震による土構造物の被害特性についてため池を指標にして巨視的に調査検討した。震度5以上で被害の特に大きかった地域を重点的に、各地域ごとの調査ヶ所数を設定し被害程度が大きいため池を優先的に選定し、淡路島および本州の計267ヶ所について震災調査を行った。

被害程度は、法面張りブロック、余水吐きおよび樋管等の付帯構造物のみの軽微な変状のものから、大規模なすべりや沈下により堤体崩壊したものまで広範囲であった。また、被害形態も堤体の縦亀裂、横亀裂、沈下変形等さまざまであった。

調査結果から、被害の程度および形態を分類し、各影響要因(断層からの距離、地形・地質、断層と堤軸の方向関係、築造年代、堤高等)との関係を分析した。

## 1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震により盛土、ため池、河川堤防等の土構造物には多大な被害が生じた。今回の地震による土構造物の被害特性について、被災地域に面的に広く分布しているため池を指標にして巨視的に調査検討した。

阪神・淡路地域のため池の所在分布としては、淡路島全域(約24,000ヶ所)、神戸市以西の加古川流域および神戸市より東側の武庫川、猪名川流域に多数分布している。阪神地域の建物の倒壊状況等より決められた気象庁震度7の地域は、市街地であることより、ため池は少なかった。ただし、震度7地域近傍では堤体が一部崩壊するような被害を受けたため池もあった。

ため池の被害として特徴的なことの1つは、他の構造物の被害に比べ、被害範囲が広域であったことである。特に、加古川流域においては、建物や土木

構造物の被害は大きくなかったのに対し、ため池には多大な被害が生じた。

被害の地域的分布としては、淡路島では北淡町を中心に野島断層付近で被害をうけたため池が多く存在し、また、断層の延長方向である一宮町でも被害が大きかった。一方、震度6の洲本付近では比較的被害は小さかった。

阪神地域では、伊丹市・宝塚市・西宮市地域と明石市・加古川市・神戸市西部の沖積平野部に被害が集中していた。また、三木市・小野市においても被害がみられたが、六甲山地をはさみ北側の三田市では比較的被害は小さかった。

## 2. 調査概要

調査の対象地域は、被災地域を考慮し震度5以上でかつ震源断層(野島断層および地震発生当日の余震域)からの距離が40~50km以内の地域とした。調査ため池の選定にあたっては、地域のかたよりが生じないように、対象地域内の大部分の市町はカバーした。また、町役場や市役所の被害調査報告をもとに、被害の著しいため池を優先的に抽出したため、被害のなかったため池や、被害が軽微であったため

キーワード：兵庫県南部地震、ため池、地震被害

\* 建設省土木研究所フィルダム研究室0298-64-2211

\*\* (財)ダム技術センター技術第一部03-3433-7811

\*\*\* (株)建設技術研究所大阪支社 06-944-7799

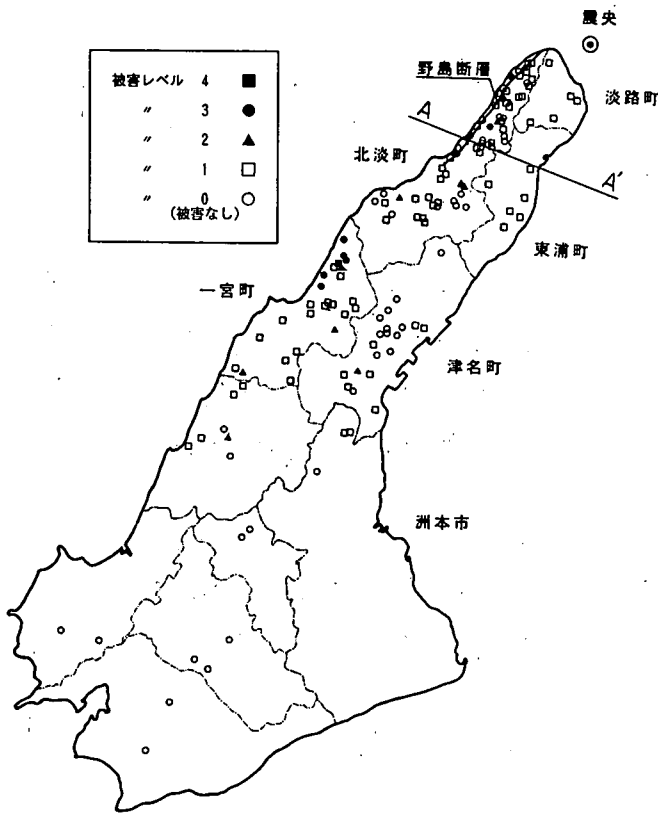


図-1(1) 調査ため池位置図(淡路島)

池の調査数は比率として少ない結果となった。

調査数は、淡路島内144，本州側123の計267ヶ所である。図-1に調査ため池の位置を示す。なお図-1のプロットは、後述する各ため池の被害レベルごとに分けている。

調査は、ため池の位置，諸元，地形，地質，被災状況等を現地において簡易測量と外観の観察・記録により行った。

被害の特徴としては、上下流面のすべりに起因する縦亀裂や、堤体の沈下・変形に起因する横亀裂、あるいは液状化によると推定される沈下変形等があった。特に、多くのため池でみられた特徴的な被害としては、上流面張ブロック工や余水吐工、底樋等のコンクリート付帯構造物の破損であった。また、漏水に対する被害は、堤体あるいは基礎からのパイピングによると考えられるため池も一部にみられたが多くは老朽化した底樋の破損に伴う漏水が多かった。堤敷あるいは貯水池極近傍を野島断層が通って

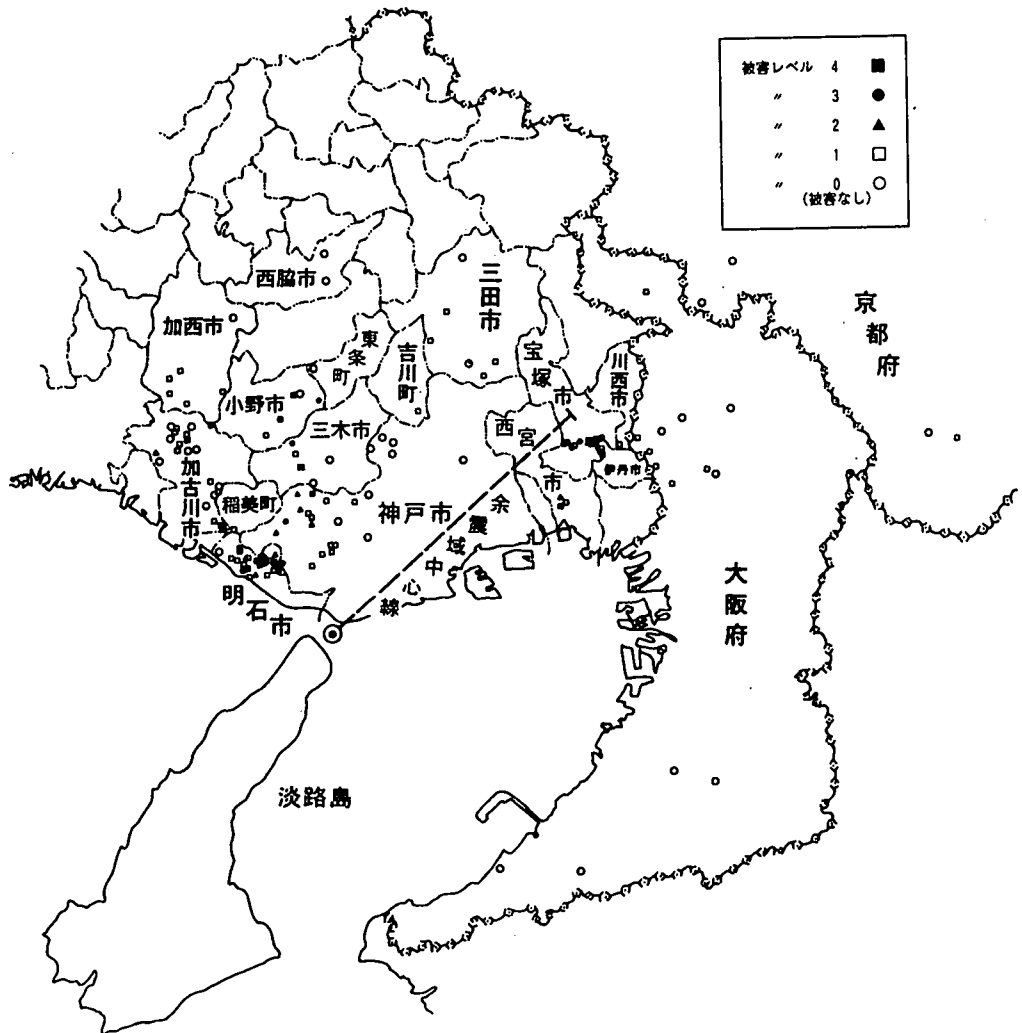


図-1(2) 調査ため池位置図(本州側)

表-1 被害程度の評価基準

項目	程度	被害レベル	備考	
縦断亀裂	亀裂の深さが天端および法面の一部にとどまる場合。	幅10cm以上、段差15cm以上	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小規模なすべりに起因する、天端に傾斜を有するクラックや法面の中・高標高部にハラミなどがみられるもの。</li> <li>・表層すべりに起因するクラックやハラミが認められるもの。</li> </ul>
		幅10cm未満、段差15cm未満	1	
	亀裂の深さが堤体の中央部にまで及ぶ場合	幅20cm以上、段差30cm以上	3、4	
		幅10cm以上、段差20cm以上～20cm未満、段差15cm未満	2	
横断亀裂	明らかに上・下流に連続し漏水経路になると考えられる場合。	(幅20cm以上、段差30cm以上)	3、4	<ul style="list-style-type: none"> <li>・パイピング等による漏水の有無からも総合的に判断を行なう。</li> <li>・堤体の一部が崩壊しているものはレベル4。</li> </ul>
	常時満水位より低標高の法面に亀裂が上・下流方向に発達し、漏水の可能性がある場合。	(幅10cm以上20cm未満、段差15cm以上30cm未満)	2	
	上・下流には連続しておらず、漏水の可能性がない場合。	(幅10cm未満、段差15cm未満)	1	
沈下・変形	堤体あるいは基礎の様な沈下によって堤体形状をある程度保ちつつ沈下・変形した場合。	沈下量 100cm以上	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堤体の沈下の場合には法面中腹部にハラミが、沈下が基礎を含む場合は堤体法先部に僅かな膨れ上がりが生じる。</li> <li>・液状化による場合が多い。</li> <li>・堤体の一部が崩壊しているものはレベル4。</li> </ul>
		沈下量 50cm以上、100cm未満	2	
		沈下量 50cm未満	1	
	地盤または堤体の大規模な沈下・変形	—————	3、4	
付帯構造物 の 他	付帯構造物 余水吐・底 箱(等) の 損傷	大規模な損傷	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構造物の老朽化に伴う管段からの損傷が考えられる場合は、これを考慮して判断する。</li> </ul>
		中規模な損傷	2	
		小規模な損傷	1	
パイピングの発生	地震直後にパイピングによる漏水を生じた場合。	—————	他の要因と総合的に判断する	

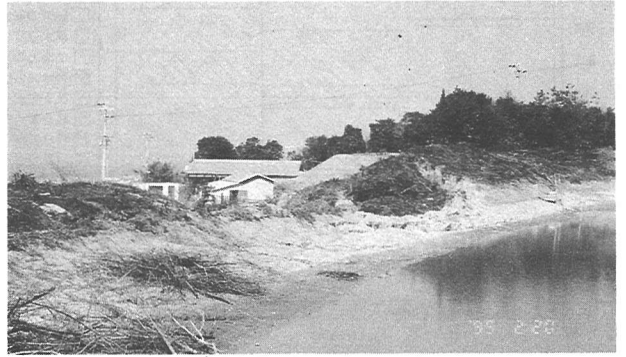


写真-1 レベル4の被害例(一宮町)

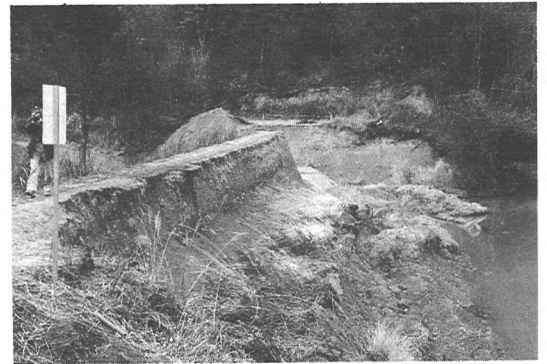


写真-2 レベル4の被害例(小野市)

いるため池は10数ヶ所あった。大部分は、後述するレベル1～3程度の被害であり、堤体には全く被害を生じなかったため池もあった。

淡路島の野島断層東側付近のため池では、地下水位の変動のためか、地震直後に急激に流入量が増加したと報告されたため池がみられた。一方、津名町の山腹にあるため池では、堤体自体には何ら被害がないが、池底に地割れが生じ、貯水池が空になっているため池がみられた。現地での聞き込みでは、南海地震(1946年12月21日発生)のときも同様な現象が生じたとのことであった。

### 3. 被害要因の分析

本調査では、ため池の被害程度を「土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案)」<sup>1)</sup>による河川堤防の場合を参考に、表-1に示すように亀裂の幅や段差、天端の沈下量あるいは漏水状況等から、被害程度の評価基準を作成し、被害なし(レベル0)から堤体の崩壊に至った被害(レベル4)の5レベルに分類した。被害レベル4、3、2の被害例を写真-1、2、3、4に示す。

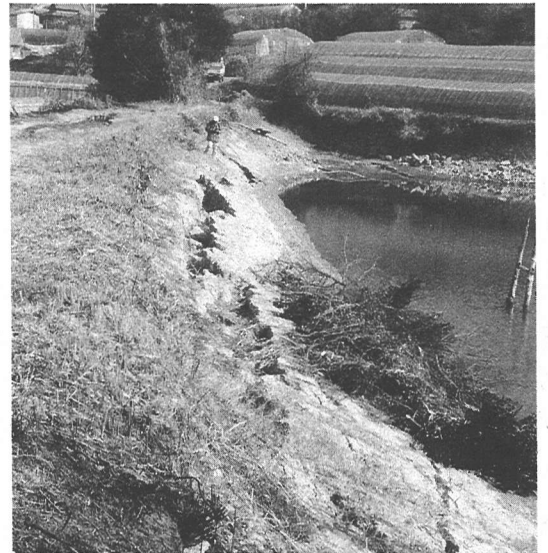


写真-3 レベル3の被害例(一宮町)



写真-4 レベル2の被害例(明石市)

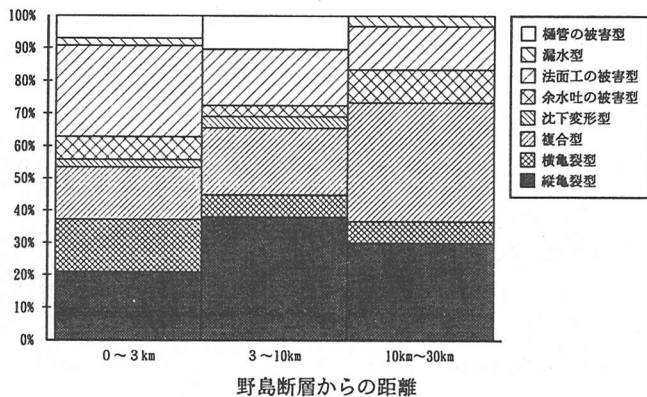


図-2(1) 被害形態と断層距離の関係 (淡路島)

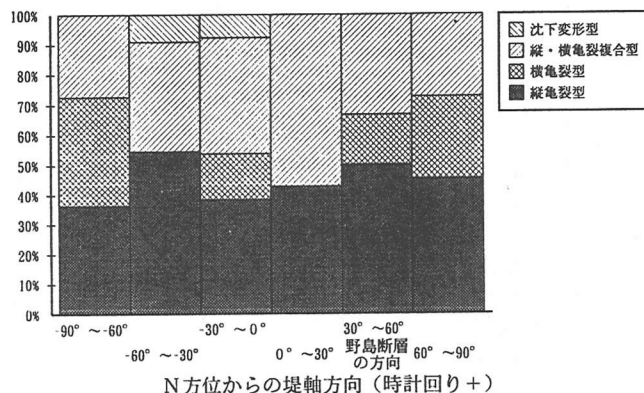


図-3(1) 被害形態と堤軸方向の関係 (淡路島)

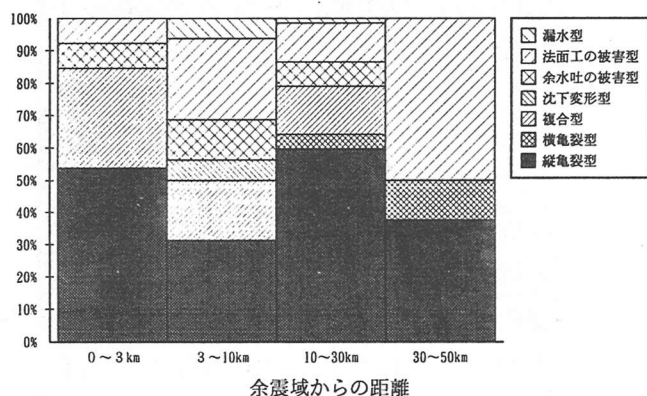


図-2(2) 被害形態と余震域からの距離の関係 (本州側)

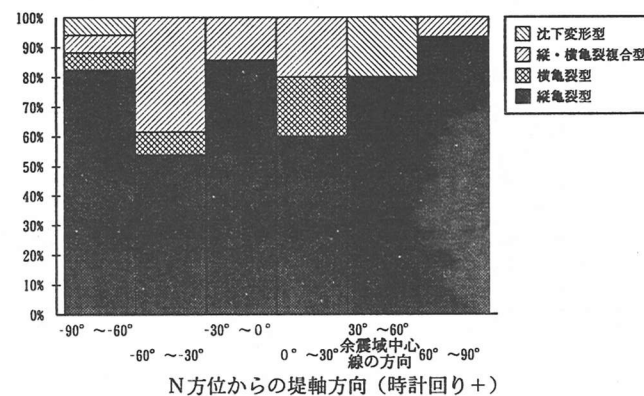


図-3(2) 被害形態と堤軸方向の関係 (本州側)

### (1) 被害形態の分析

ため池の被害形態を、主要な被害に着目して8種に分類した。ただし、主要なものが複数の場合は複合型（ほとんどが縦亀裂と横亀裂の複合型）とした。各被害形態のため池数の割合を断層（または地震当日の余震域中心線）からの距離を指標として表したのが図-2である。

被害形態で、最も多いのは縦亀裂型であり、横亀裂との複合型とも合わせると全被害ため池の半数以上となる。またそれらは、被害レベルが大きいものも多く、レベル3以上の被害形態の大部分は縦亀裂型および複合型である。図-2(2)の本州側で余震域から30km以上離れた地域では、法面工の被害型が約半数を占めているが、これらの被害はレベル1で軽微なものである。

代表的な被害形態（縦亀裂型、横亀裂型、沈下変形型、縦・横亀裂複合型）ごとに、被害レベルと堤軸方向（方位）との関係を示したものを図-3に示す。堤軸方向と被害形態の関係は明確ではない。

### (2) 断層からの距離の影響

淡路島内のため池に対しては野島断層からの距離を、本州側のため池については地震発生当日（1月17日）の余震域の中心線（図-1(2)）からの最短距離を横軸にとり、縦軸に被害レベルをとったものを図-4に示す。なお、各ため池の基礎地盤の地質ごとにプロットを分類している。

#### 【淡路島】

同じ地質区分に着目すると、領家花崗岩類や断層距離10km以上遠の大阪層群にみられるように、断層からの距離が大きくなると被害レベルが小さくなる傾向がみられる。

#### 【本州側】

調査対象の抽出を被害の大きなため池を優先的に対象としたことと、本州側では広域な範囲を調査したことから、淡路島での調査結果に比べ、沖積層、段丘堆積層、大阪層群を基礎とするため池の被害が遠方まで及び、余震域からの距離による被害低減は顕著には見られない。

例えば、断層からの距離が20~30kmの大阪層群を

表-2 調査対象地域の地質区分

時代	地層・岩体名	岩質	露出地域	記号
第四紀	宗新世	沖積層	兵庫・大阪・淡路島	a
	更新世	段丘堆積物	兵庫・大阪・淡路島	t
	更新世～鮮新世	大阪層群	兵庫・大阪・淡路島	Og
第三紀	中新世	神戸層群	神戸	K
		凝灰質泥岩・凝灰質砂岩・凝灰質礫岩	神戸・淡路島	
白堊紀	六甲花崗岩	黒盤花崗岩	神戸	Ng
	領家花崗岩	花崗岩・花崗閃緑岩	淡路島	Nrg
	和泉層群	砂岩・頁岩・互層	淡路島	lal
	有馬層群	流紋岩・同質火砕岩	兵庫県	A
ジュラ～紀～石炭紀	丹波層群	砂岩・粘板岩・頁岩	兵庫県	T

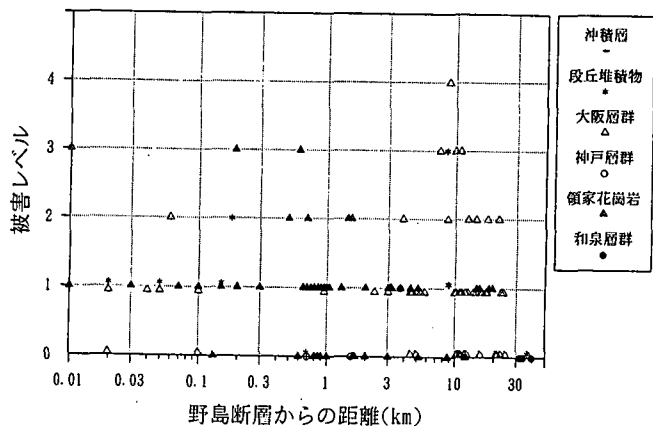


図-4(1) 被害レベルと断層距離の関係 (淡路島)

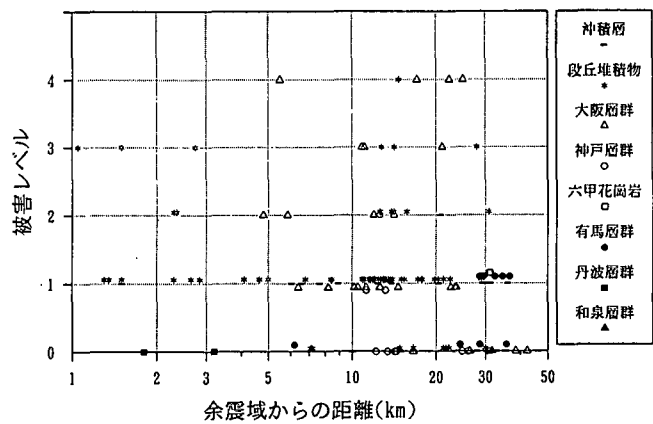


図-4(2) 被害レベルと余震域中心線からの距離の関係 (本州側)

基礎としているが、築造が大正時代以前の古いため池では、堤体の一部が滑落する被害を生じた。

(3) 地盤地質の影響

調査対象地域の地質区分を表-2 および図-5 に示す。また、図-5 (および図-1(1)) のA-A' 断面の地質断面図を図-6 に示す。なお図-6 には断面沿い近傍に位置するため池の被害レベルもあわせて示している。

ため池の基礎には、被覆層が存在する場合もあるが、層厚は比較的薄い(せいぜい2~5m程度)ため、被覆層による地震動の増幅は小さく、入力地震動の大きさは基盤の地質に左右されるものと考えられる。図-4より以下のことが言える。

【淡路島】

・沖積層の分布域は狭いが、大阪層群および領家花崗岩類等をみると、同じ断層距離であれば、新しい地質年代の地盤を基礎とするため池ほど被害が大きい。また、同じ被害レベルであれば、新しい年代の

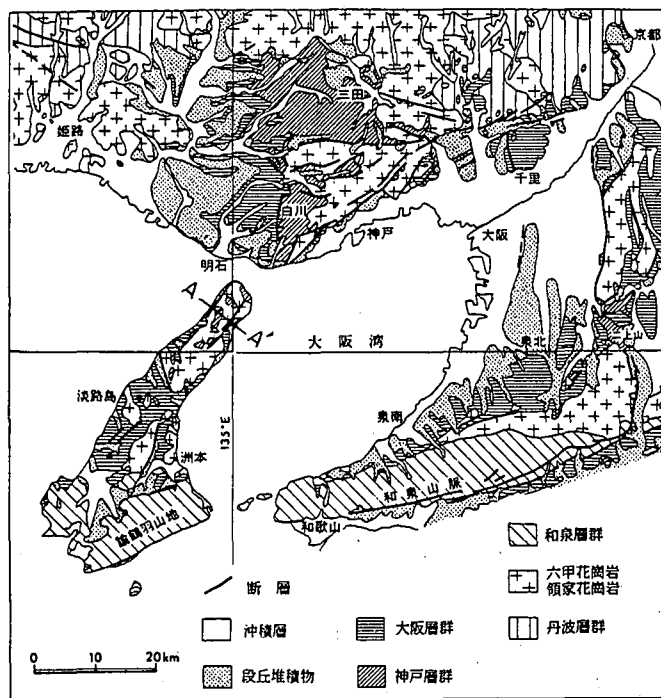


図-5 調査対象地域の地質区分図<sup>2)</sup>

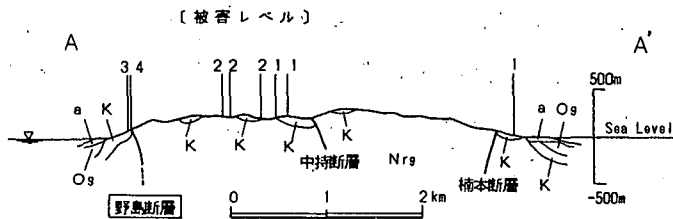


図-6 A-A' 地質断面とため池の被害レベル (2)に加筆)

地質を基礎とするため池ほど遠方まで被害が及んでいる。

・図-4より、領家花崗岩類を基礎とするため池は断層から2km以上離れば、レベル1以下の軽微な被害しか生じていない。

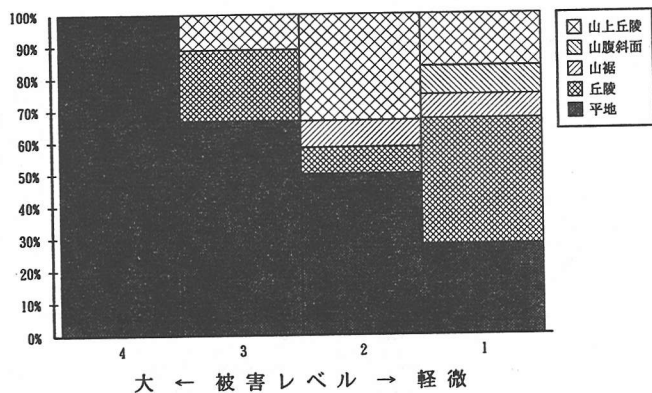


図-7(1) 被害レベルと周辺地形の関係 (淡路島)

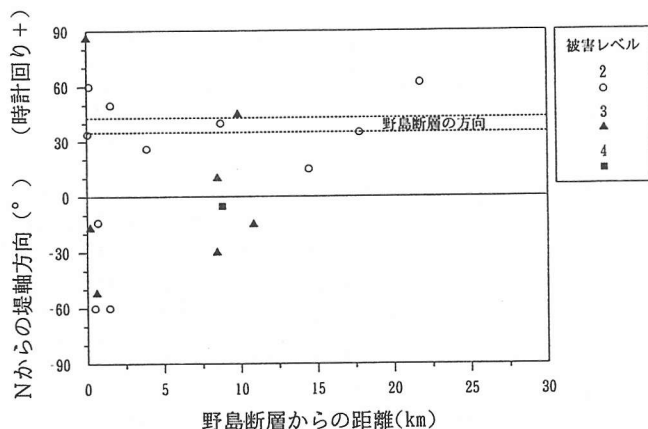


図-8(1) 被害ため池の堤軸方向分布 (淡路島)

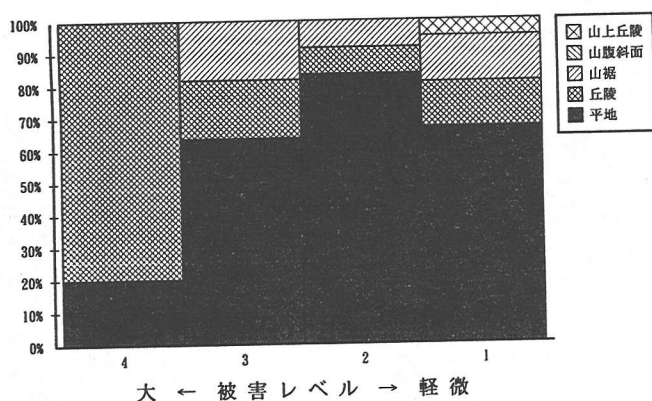


図-7(2) 被害レベルと周辺地形の関係 (本州側)

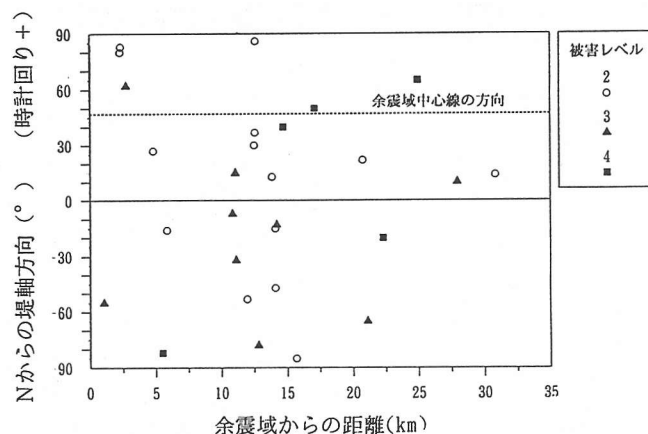


図-8(2) 被害ため池の堤軸方向分布 (本州側)

【本州側】

- ・レベル2以上の被害は、沖積層、段丘堆積層および大阪層群を基礎とするため池に限られる。
- ・神戸層群 (K) 以前の地質を基礎とするため池では、被害はないか、または軽微な変状に限られている。

(4) 地形の影響

ため池周辺の地形を平野部、丘陵、山裾、山腹斜面、山上丘陵 (山上における緩やかな斜面) に区分して、各被害レベルごとにその割合を示したものが図-7である。

【淡路島】

- ・各地形ごとの抽出サンプル数に偏りはあるが、概ね平地>丘陵>山上丘陵>山裾>山腹斜面の順に被害レベルが大きい。
- ・被害レベル3以上のため池は、地質条件も反映し平地または丘陵地に集中している。

【本州側】

- ・調査地域のほとんどが平野あるいは丘陵地形であることにもよるが、被害ため池は平地または丘陵地

に集中している。

- ・サンプルは少ないが山腹斜面、山上丘陵では、ほとんど被害が生じていない。

(5) 堤軸方向の影響

最大断面における堤軸の方位をN方向から±90° (時計回りを+、反時計回りを-) の範囲で表し、被害レベル2以上のため池について被害レベルごとにプロットしたものを図-8に示す。

【淡路島】

- ・断層近傍を除いたプロットをみると、堤軸方向はN軸から約30°~40°付近を中心に分布している傾向がある。また、この方向は、野島断層の方向とほぼ一致している。野島断層の地震変動に伴う地表面の震動方向は、局所的には異なるが、概ね断層に直角方向である<sup>3)・4)</sup> と考えると、図-8(1)から堤体の上下流方向に卓越した地震動に対して被害が生じやすいことがわかる。

【本州側】

- ・堤軸方向と被害との関係はあまり明確でない。

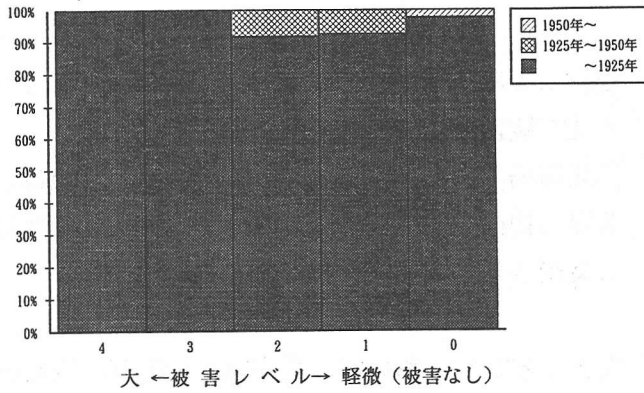


図-9(1) 被害レベルと築造年代の関係 (淡路島)

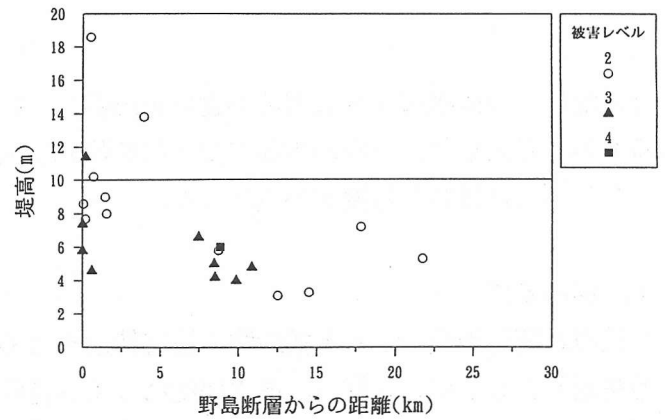


図-10(1) 被害レベルと堤高の関係 (淡路島)

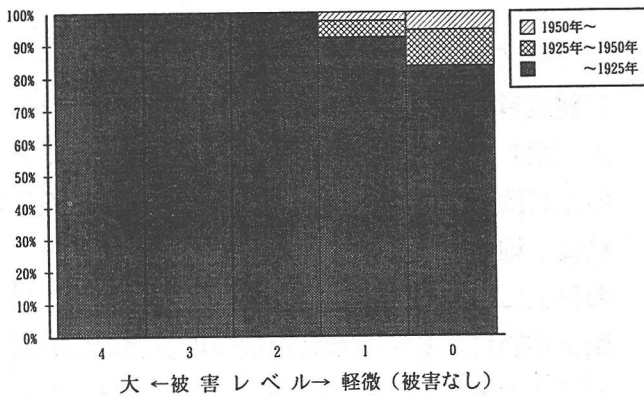


図-9(2) 被害レベルと築造年代の関係 (本州側)

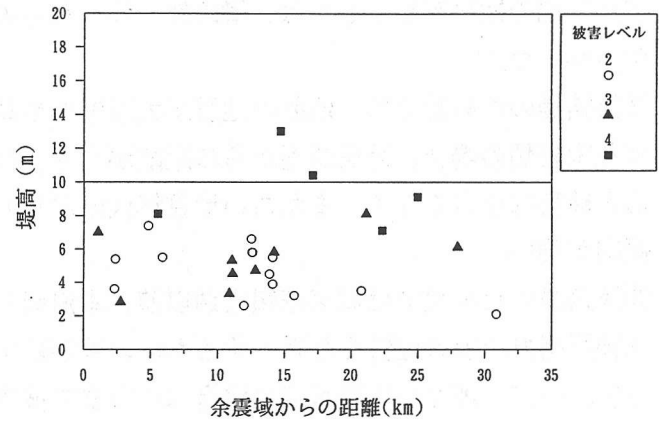


図-10(2) 被害レベルと堤高の関係 (本州側)

### (6) 築造年代の影響

築造年代は、堤体構造や築堤方法、締固め度合いを評価する一つの指標となる。築造年代は、国土地理院の1886年以降の地形図(1886年頃は1/2万、それ以降は1/2.5万)の各年代のものに対して、個別のため池が存在したかどうかで推定した。ただし、全ての地域で各年代の地形図がそろっているとは限らず、築造年代を特定の年代範囲として確認できない場合もあったため、最終的には大まかに1925年以前(大正時代以前)、1925～1950年(昭和初期～戦後期)、1950年以降(戦後期以降)の3期間に区分した。図-9に各被害レベルに占める築造年代区分の割合を示す。

#### 【淡路島】

・レベル3以上の大きな被害を生じたため池は、1925年以前に築造されたものである。

#### 【本州側】

・レベル2以上の大きな被害を受けたため池は、1925年以前に築造されたものである。

以上のように、大正時代以前に築造された古いた

め池は、人力施工で施工管理も不十分であり、断面形状も急勾配のものが多く被害が大きかった。それに対し、機械化施工されたと考えられる昭和30年代以降のため池については、サンプル数は少ないが被害なしか被害レベル1程度であった。

### (7) 堤高の影響

レベル2以上の被害ため池の堤高と被害レベルの関係を断層距離を指標にして図-10に示す。

#### 【淡路島】

・断層極近傍を除くと、被害レベル3以上のため池は堤高10m以下のため池である。

#### 【本州側】

・被害レベル2以上のため池の大部分は、堤高10m以下のため池である。堤高10m以上でレベル3以上の被害ため池は、2ヶ所存在したが、いずれも滑落した上流側法面の勾配は1:1.4～1:1.7程度と極端に急勾配であった。また、内1ヶ所は堤体の上に道路盛土として余盛をしていたものであった。

以上のように、被害の大きなため池の大部分は、堤高10m程度以下である。これに対し、堤高の高い

ため池は、堤体構造、築造方法の違いが影響しているものと考えられ、今回の地震では一部を除いて被害なしかまたは被害程度が小さかった。

#### 4. おわりに

兵庫県南部地震による土構造物の被害特性をため池を対象として調査を行い、被害程度に与える各要因の影響を検討した。本調査結果を要約すると以下のとおりである。

①ため池の被害形態としては、縦亀裂を伴ったものが多かった。

②淡路島のため池では、地盤の地質が大阪層群や領家花崗岩類の場合、野島断層からの距離が大きくなると被害は小さくなる。また古い地質年代ほどその傾向が強い。

③淡路島のため池では領家花崗岩類以前、本州側では神戸層群以前の地質を基礎とするものの被害は小さい。一方、地盤が大阪層群の場合は遠方まで被害が及んでいる。

④平野部あるいは丘陵などの低平地部でのため池の被害は大きく、山地部では被害は小さい。

⑤淡路島では、被害が大きかったため池の堤軸方向は、野島断層の方向とほぼ一致した。つまり、断層

変位による震動方向が、堤体上下流方向であったため池で被害が大きい傾向にあった。

⑥淡路島・本州とも被害が大きかったため池は、ほぼ堤高10m程度以下の低堤高で、かつ大正時代以前に築造された古いものである。

謝辞：本調査において、兵庫県、大阪府、京都府、各市町の関係各位には多大な御協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1)建設省監修：土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案)，pp96-113，1986年3月
- 2)水野清秀，服部仁，寒川旭，高橋浩：明石地域の地質，地域地質研究報告第83号，1990年
- 3)村上広史，星野実，田中耕平，上杉晃平：兵庫県南部地震による野島断層周辺の地表面変位計測，日本写真測量学会秋期学術講演会，pp13-14，1995年10月
- 4)岩下友也，中村昭，松本徳久，横山真至：兵庫県南部地震における墓石転倒調査による断層近傍の地震動特性，阪神・淡路大震災に関する学術講演会講演論文集，土木学会，1996年1月

## DAMAGE CHARACTERISTICS OF EARTH STRUCTURES —IRRIGATION DIKES— DURING THE 1995 HYOGOKEN-NAMBU EARTHQUAKE

Tomoya IWASHITA, Akira NAKAMURA,  
Nori-hisa MATSUMOTO and Shinji YOKOYAMA

On a study of damage characteristics of earth structures by the 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake, damage to irrigation dikes were surveyed macroscopically.

144 dikes on Awaji island and 123 dikes on Honshu island was surveyed in detail, primarily in areas where the intensity of the earthquake was 5 or more and the damage was particularly severe. The damage of irrigation dikes was categorized in five degrees of severity. The degree was related to several factors such as distance to the fault, topography and geology, direction of the dam axis to the fault, completion age, and height of the dam. The damage characteristics of the irrigation dikes were clarified from these relationships.