

兵庫県南部地震による淡路島のため池被害の要因分析

藤井 弘章¹・国政香菜²・難波明代³・島田 清⁴・西村 伸一⁵

¹正会員 農博 岡山大学教授 環境理工学部環境管理工学科 (〒700岡山市津島中2-1-1)

²岡山大学農学部平成7年度卒業生 現兵庫県 (〒700岡山市津島中1-1-1)

³岡山大学農学部平成8年度卒業生 現岡山県 (〒700岡山市津島中1-1-1)

⁴農博 岡山大学助教授 環境理工学部環境管理工学科 (〒700岡山市津島中2-1-1)

⁵正会員 農博 岡山大学講師 環境理工学部環境管理工学科 (〒700岡山市津島中2-1-1)

兵庫県南部地震により、淡路島のため池（小規模なフィルダム）は1000個近くが被害を受けた。本研究は北淡町の633個（内被害ため池165個）および淡路島北部5町の2071個（内被害ため池425個）を選び、数量化2類で被害ため池と無被害ため池の要因を分析した。被害を受ける要因は北淡町の場合、震源から10km以内にあり、水越・推定・志筑断層に近くでその距離が250～500mのもの、標高100m以上にあるもの、貯水量6万m³以上、震源への堤軸法線の角度が0～20、40～50、70～90度のもの、表層地質が泥・粘土、砂礫の土質地盤のもの、堤長が40m以上、最も近い断層への堤軸法線の角度が90度以上、40～50、60～70、10～20、堤高4～6m、8m以上の他複雑な堤軸、漏水、100年以上経過のもの等であった。

Key words: small earth dam, earthquake damage, multivariate analysis, factors on damage

1. はじめに

本報告は、兵庫県南部地震により被災した淡路島北部のため池（小アースダム）と、それに対比して無被害のため池について、現地調査ならびに資料分析を行い、被害・無被害の要因を調べようとしたものである。

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、多数の尊い人命を奪い、神戸市を中心に都市部で土木構造物に壊滅的な被害を与えたが、農村部における被害も少なからぬものがあった。中でも重要な水源施設であり、土構造物であるため池は大きな被害を蒙った。

兵庫県内には、本土側で約27,000個、淡路島で約24,000個のため池があるといわれる。そのうち淡路島の被害を受けたため池は1000個近くに及び、堤体の決壊・斜面崩壊・亀裂、付属構造物の破損等多岐にわたっている。

筆者らは、淡路島北部の被災ため池および無被害ため池の現地調査、土質試料の採取、その室内試験、これらに基づいて地盤工学的な手法で解析を行なった。

同時に、各ため池の被害・無被害の要因を探るために、主に公共機関のため池資料を利用して、統計的手法でその被害・無被害の要因を分析した。平成7年度には、北淡町を中心に、平成8年度には北淡町他、淡路・東浦・一宮・五色町の北部5町について行った。本論ではこれらの結果について報告する。

2. 解析方法

(1) 解析資料

解析資料として、下記のものを用いた。

①ため池台帳（調査表）。昭和52～54年に作成されたもので、受益面積が5000m²以上のため池が記載されている。②同ため池位置図。資料①に記載されているため池の位置図。縮尺1/10,000。③被害ため池台帳。これには資料①に記載されてないため池も含まれる。震災以降に作成されたもので、被害を受けたすべてのため池が記載されている。④被害ため池位置図。資料③の被害ため池位置図。

縮尺 1/50,000。⑤被害ため池被害状況図。被害ため池の平面図、断面図、クラック等被害図示。縮尺 1/500 か 1/1,000。⑥空中写真：平成 7 年 1 月 18 日撮影。縮尺 1/10,000。撮影高度は 1,700m。⑦地質図。通産省地質調査所発行。縮尺 1/50,000。⑧活断層図^{2) 3)} ⑨ 1891 年作成の北淡町土地台帳。当時の土地分類（ため池、田、畑、山林等）が記載。北淡町のみ調査。⑩地形図 1/25,000。⑪著者らの現地調査結果他。

（2）被害に関わる要因

a) 説明変数

ため池の被害に関わる様々な要因が考えられる。地震加速度が直接の原因であることは言うまでもないが、これを同定することは不可能である。そこで、各ため池の間接的な要因、素因、すなわち多変量解析でいう「説明変数」あるいは「アイテム」として、次の様に定義し、前項の各資料より選んだ。

1)堤長。2)堤高。3) 堤体量：(堤高)×(堤長)。堤長・堤高については資料間や当方の実測値と異なるものがあるが、概ね一致したので、一つの指標として台帳の値を用いた。4)堤軸：堤体の平面形状を次の 4 種に分類。①一軸；谷に直交する一軸の堤体で、最も一般的なもの。②二軸；「く」の字型の堤体。③三軸；「コ」の字型の堤体。④四軸；「ロ」の字型あるいは皿池型の堤体。5)連続池：堤体法尻に下流側の池の池敷つまり水に浸かっているもの。6)地質：北淡町についてのみ。地質図に記載されている地質は 21 種であったが、大きくの次の 5 種に分類。①花崗岩系（花崗斑岩・粗粒黒雲母花崗岩・花崗閃緑岩等）、②砂岩・礫岩系（このほか角セン石ひん岩等）、③泥岩を含む岩（泥岩及び砂岩・角礫岩等）、④泥・粘土を含む土、⑤砂・礫。7)震源距離：各ため池（堤体中央）より震源までの直線距離。8)震源角度：各ため池の堤軸の法線（堤体中央における下流側への法線）と、震源との交角。9)最近断層名：北淡町についてのみ。当該ため池から最も近い断層の名称。北淡町およびその近傍にある断層で、野島・推定・浅野・育波・志筑断層、水越撓曲の各断層。10)断層距離：北淡町についてのみ。各ため池から各断層までの最短距離。11)最近断層距離：「断層距離」のうち、最も近い断層までの距離。12)最近断層角度：各断層のうち最も近い断層への堤軸の法線の交角。13)築堤年代：北淡町についてのみ、1981 年以前に築造されたため池を資料⑨から求めた。14)改修の有無：資料①から求めた。15)標高：北淡町についてのみ。資料②から求めた。16)漏水：資料①に記載の漏水状況。17)貯水量：資料①に記載。

北淡町の場合、これらすべての項目を、北部 5 町の場合は資料①③を中心に解析した。

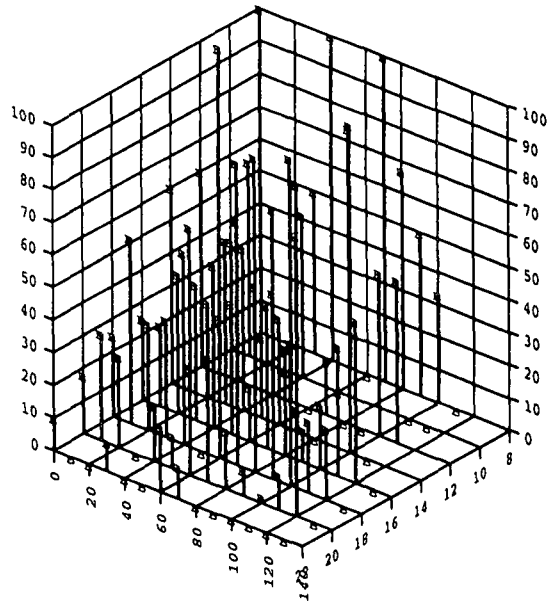


図1. 震源からの距離と角度と被害率

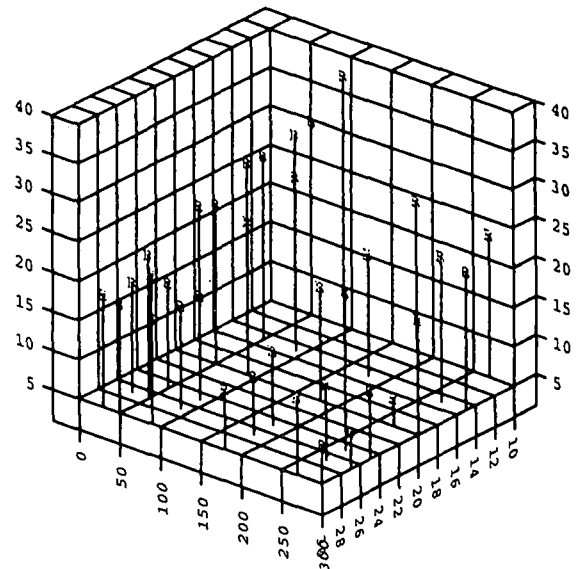


図2 震源距離・震源角度と被害率（北部5町）

b) 目的変数

被害を表す指標つまり多変量解析でいう「外的規準」、つまり「目的変数」として、次の様に定義し、各資料より選んだ。1)被害の有無：質的変量。被害のあり、なしを資料①、③から求めた。2)被害率：量的変量。各アイテムのカテゴリーの（被害ため池個数）／（無被害ため池個数）の百分率。説明変数により中身が変わる。例えば、震源距離、震源角度、最近断層距離などに対するものである。3)被害状況：資料⑤より、各ため池の被害について①斜面崩壊②クラックの有無、③腰石垣・④法面保護工・⑤付帯構造物の被害の有無について調べた。

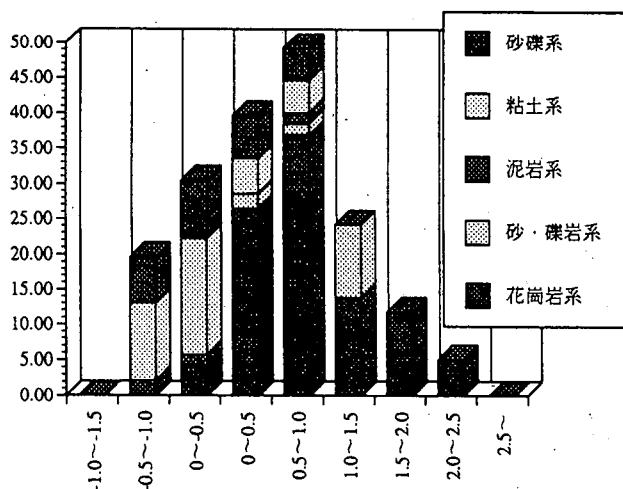


図3 地質・断層距離と被害率の関係

(3) 調査対象のため池数

前項の資料①③より、北淡町のため池数は633個、被害ため池数は277個である。このうち前項の全てのアイテムが同定できた被害ため池数は187個、無被害ため池数は381個計566個である。さらにアイテムの選び方によっては535個、615個の場合がある。また5町全体としては、資料①記載の2071個の内、被害ため池340個、無被害ため池1448個、計1788個であった。これもアイテムの選び方によって1522個、1527個の場合がある。

3. 解析結果および考察

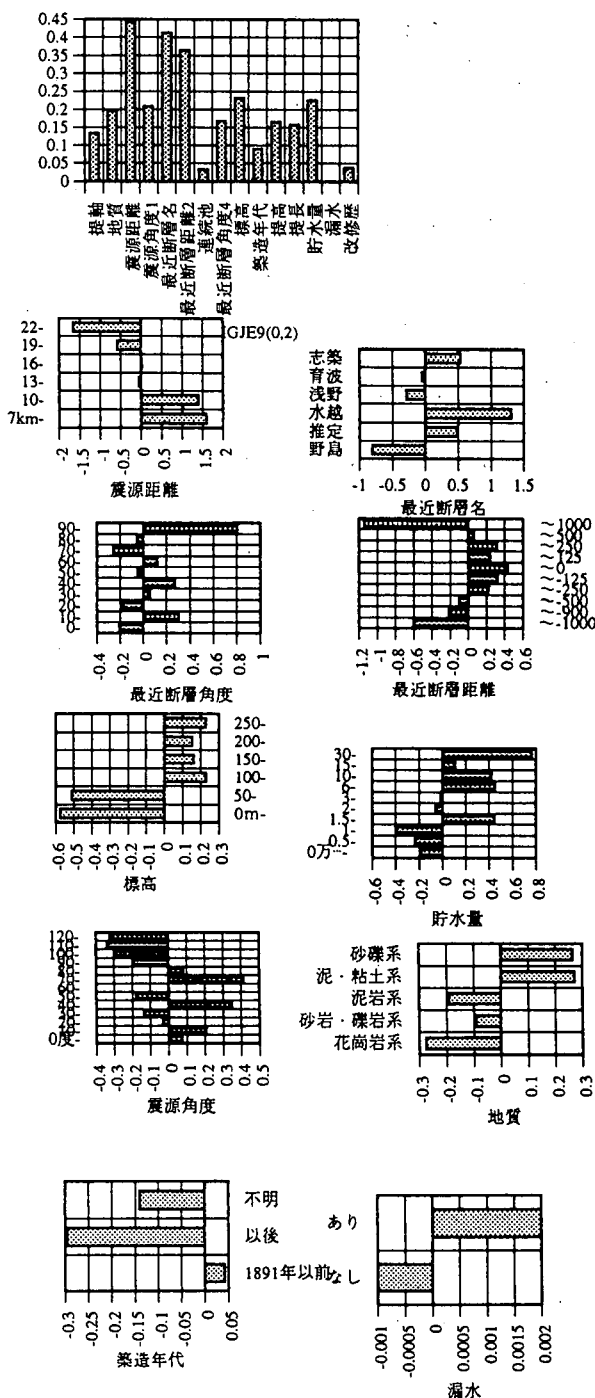
(1) 一般的な統計例

上記の要因について一般的な統計手法で種々分析したが、そのうち数例を示す。震源距離と震源角度と被害率との関係を3次元的に表したものを図1(北淡町の場合)と図2(北部5町の場合)に示す。母数は異なるが、北淡町のみ場合も5町全体の場合も同様な傾向を示す。被害率は当然のことながら震源距離が近い程大きく、また震源角度にも関係している事がわかる。図3は、地質をパラメーターにした北淡町のため池の最近断層までの距離(山側を+)と被害率との関係である。被害率は断層から離れるに従って急激に減少する。また地質の関与についてみると、花崗岩系上のため池の被害率は断層からの距離と共に減少するが、粘土・泥系、砂・礫系の土はあまり減少していない。つまり土砂系の地盤上では被害を受けやすいといえる。

(2) 数量化理論2類による解析例

各要因をさらに明確にするために多変量解析を行った。そのうち数量化理論2類による結果を示す。

北淡町のみの場合の結果を図4および表1aに示す。それぞれ「被害状況」、「被害の有無」に関する各



アイテムの偏相関係数とカテゴリースコアを示した。偏相関係数は、各アイテムの寄与率を表す。この両者は各アイテム、カテゴリーは全く同じだが、各アイテムの偏相関係数の大きさの順序つまり寄与率は異なる部分がある。

各偏相関係数の内、最大の値を示すのは「震源距離」で、次が「最近断層名」で0.4以上を示す。そして「最近断層距離」(0.36)と続き、0.2以上示すのが「堤軸」「標高」「震源角度」「貯水量」で、「標高」「堤軸」「最近断層角度」「地質」などが0.1~0.2代で、「被害状況」「被害の有無」共順位は同じである。「堤軸」「築造年代」は0.1前後、「連続池」「漏水の有無」「改修の有無」は、0.05以下で他のアイテムに比べれば、影

響は少ないといえる。またそのカテゴリースコアをみる。図4ではカテゴリースコアが大きい程、被害に関わることを示し、(-)の絶対値が大きいほど被害が起き難いことを示す。表1aは目的変数の中身が変わるので、逆に(-)の絶対値が大きいほど被害が起りやすいことを示している。これらの図表から、被害を受ける要因となるのは、①震源距離が10km内、②最近断層が水越撓曲・推定断層・志筑断屈、③最近断層距離が-250～500m、④標高100m以上、⑤貯水量6万m³以上、⑥震源角度が0～20度、40～50度、70～90度、⑦表層地質が泥・粘土、砂礫の土質地盤、⑧堤長が40m以上、⑨最近断層角度が90度以上・40～50度・60～70度・10～20度、⑩堤高8m以上、⑪堤軸が4軸または3軸ものといえ、さらに寄与率は非常に小さいが、⑫明治24年(1891年)以前に築堤されたものとなる。このように、偏相関係数は小さくても、各カテゴリースコアを見るとより危険側の要因が明確になる。

5町の場合、偏相関係数は小さいが、被害を蒙りやすいのは、①震源距離から20km以内、②堤長が40以上、③堤高が4～8・15m以上、④震源角度が0～80・180～210・340～360度のものであるといえる。④のことは背後に池を抱えた堤体が震源に正対ないから直交している場合、および正反対に向いている場合起きやすいといえる。

4. おわりに

被害の多変量解析の結果、解析手法・説明変数の選び方によって被害へのやや寄与率は異なる。震源距離、最近断層距離、堤長、堤高、堤体量、最近断層角度、震源角度、最も近い断層名、地質の種類、堤軸の形状のアイテムが被害に関わることは予想されることであるが、数量的に捉えられた。特に、震源角度が直交するものは被害を受けやすく、斜交するものは、貯水池が背面の場合と前面の場合の被害率の差は興味深い。

また、本報告では触れなかったが、堤体の土質特性が、砂質土か粘質土かなどは大きく影響してくる。

最後に、種々の貴重な資料提供を賜った兵庫県の関係各位、その他ご助力ご助言頂いた関係各位に心から謝意を表する。また現地調査、整理に協力してくれた平成7・8年度岡山大学農学部農業造構学研究室の卒業生諸君に謝意を表す。

この研究には、文部省科学研究費およびウエスコ土木技術振興基金の援助も受けた。謝意を表する。なお、多変量解析の計算は、岡山大学総合情報処理センターのACOSを利用した。

表1 被害の有無に関する数量化2類解析結果

a. 北淡町のみ

堤軸		最近断層		標高	
0.128		0.42		0.232	
1軸	0.004	野島	0.885	0m-	0.555
2軸	0.165	推定	-0.476	50-	0.524
3軸	-0.644	水越	-1.335	100-	-0.257
4軸	-1.132	浅野	0.283	150-	-0.153
地質		育波		0.041	200-
0.1867		志築		-0.621	250-
花崗岩		0.261	最近断層距離		築造 (1891年)
砂礫岩		0.122	0.36		0.096
泥岩系		0.158	～1000	0.635	以前
粘土系		-0.266	～900	0.228	以後
砂礫系		-0.24	～500	0.101	不明
震源距離		～250		-0.201	堤高
0.456		～125		-0.272	0.159
7km-		-1.728		～0	-0.449
10-		-1.444		～125	-0.273
13-		0.073		～250	-0.375
16-		-0.008		～500	-0.106
19-		0.608		～1000	1.112
22-		1.727		連続池	15-
震源角度		0.036		堤長	
0.216		なし		-0.013	
0度-		-0.062		あり	0.135
10-		-0.194		最近断層角度	20-
20-		0.039		0.161	30-
30-		0.121		0-	0.234
40-		-0.38		10-	-0.293
50-		0.171		20-	0.16
60-		0.035		30-	-0.037
70-		-0.437		40-	-0.234
80-		-0.086		50-	0.039
90-		0.221		60-	-0.149
100-		0.326		70-	0.246
110-		0.335		80-	0.04
120-		0.304		90-	-0.745
漏水				2-	
0.001		改修		3-	
なし		-0.001		0.04	
あり		0.002		なし	
		あり		-0.013	

b. 北部5町

堤軸		堤高	
0.0684		0.0623	
1軸	-0.017	0m-	0.17
2軸	-0.099	4-	-0.14
3軸	1.05	6-	-0.18
4軸	2.526	8-	0.19
震源距離		10-	0.23
0.122		15-	-0.16
0km-	-0.084	堤長	
5-	-0.392	0.1624	
10-	-0.33	0m-	0.458
15-	0.339	20-	0.341
20-	0.583	30-	0.292
25-	0.089	40-	-0.262
震源角度	50-	-0.677	
0.2024	80-	-0.851	
0-	-0.626	貯水量	
20-	-0.408	0.1245	
40-	-0.617	0万-	0.195
60-	-0.995	0.5-	-0.013
80-	0.19	1-	0.427
100-	0.053	1.5-	-0.061
120-	0.767	2-	0.313
140-	1.147	3-	0.069
160-	0.81	6-	-0.156
180-	-0.417	10-	-0.419
200-	0.107	15-	0.691
220-	0.764	30-	-0.761
240-	0.14	漏水	
260-	0.587	0.0741	
280-	0.754	なし	-0.138
300-	0.401	あり	0.317
320-	0.219	改修	
340-	-0.173	0.0304	
		なし	0.26
		あり	-0.029

参考文献

- 1) 通産省工業技術院地質調査所編(1992):明石地域の地質。
- 2) 通産省工業技術院地質調査所編(1992):洲本地域の地質。
- 3) 活断層研究会編(1991):新編日本の活断層—分布図と資料、東京大学出版会。
- 4) 日本地図センター発行(1996)「都市圏活断層図」(縮尺1/25,000)。
- 5) 藤原梯三(1996):平成7年兵庫県南部地震とその被害に関する調査研究、平成6年度文部省科学研究費(総合研究A)研究成果報告書。
- 6) 建設省国土地理院編(1994):日本の市区町村位置情報要覧(平成6年度版)。
- 7) 三宅一郎・山本嘉一郎他(1995):新版SPSSX Ⅲ 解析編 2、東洋新報社。
- 8) 篠和夫・藤井弘章他(1996):阪神・淡路大震災による水利施設の被害、農業土木学会誌、63-11、pp.39-44。
- 9) 兵庫県農林水産部農地整備課(1996):「兵庫県南部地震 農地農業用施設 震災記録誌」。
- 10) 藤原梯三(1996):平成7年兵庫県南部地震の被害調査に基づいた実証的分析による被害の検証。
- 11) 藤井弘章他(1997):兵庫県南部地震による淡路島のため池被害の要因分析、農業土木構造物の耐震信頼性設計に関する研究(平成8年度科学研究費補助金基盤研究(B)(2)研究成果報告書:代表 藤井弘章)、pp.1-61。