

報 文

日本海中部地震を中心とした
溜池の地震被害谷 茂*
長谷川 高 士**

I. ま え が き

わが国には、溜池は現在およそ25万個あるといわれている。これらの溜池は経験的な方法によって造られ、多くは小規模なもので、その約93%は堤高15m以下である¹⁾。

溜池が造られて以来多くの地震が発生し、そのたびに被害を受けていたと考えられるが、被害の記録があるのは男鹿地震(1939)から以降である。秋葉・仙波は男鹿地震での溜池被害の詳細な調査を行い、築堤材料が砂質土

* 農業土木試験場造構部(たにしげる)

** 京都大学農学部(はせがわ たかし)

キーワード

均一型ダム, 地震力, 土質試験, 三角座標, 塑性指数, 日本海中部地震

表-1 地震による農地・農業施設災害

地震名	発生日月	地震規模 (マグニ チュード)	農地・農業用 施設被害額 (単位百万円)	溜池被害額 (単位百万円)	溜池 被害数
男鹿地震	1939. 5. 1	7.0	356 (4,475)	—	74
新潟地震	1964. 6. 16	7.5	12,254 (44,237)	223 (805)	146
松代群発地震	1965. 8 1970. 12	最大 5.4	730 (2,146)	329 (967)	57
十勝沖地震	1968. 5. 16	7.9	3,882 (11,413)	—	202
宮城県沖地震	1978. 6. 12	7.4	5,876 (7,227)	430 (529)	83
1983 日本海中部地震	1983. 5. 26	7.7	19,749	3,224	238

※()は、1983年の物価を基準にして1983年の被害額に換算したものである。

であったものは被害が大きいなどの土構造物の耐震性を考える上での重要な指摘を行った²⁾。その後も新潟³⁾⁴⁾、松代群発⁵⁾、十勝沖⁶⁾、宮城県沖⁷⁾、日本海中部地震⁸⁾でも被害の調査が行われてきた。

表-1は、これらの地震による農地・農業用施設の被害の概要をまとめたものである。地震規模に比例して溜池被害の数が多くなることがわかる。

このような農業施設構造物に被害を及ぼすような地震といったまれな現象については、被害に関する資料の蓄積が重要で、蓄積されたデータに基づいた検討・考慮が必要である。また、溜池被害の調査・研究は溜池に限らず、類似した土構造物である大規模なフィルダム・干拓堤防・河川堤防・鉄道盛土などの耐震性を考える上でも有利となる。

本報告は、記録に残っている5回の地震(男鹿, 新潟, 十勝沖, 宮城県沖, 日本海中部)における溜池の被害状況, および被害要因について考察したものである。日本海中部地震については、現地調査による被害状況の聞き取り, 現位置での土質調査および採取試料による物理試験を行った。他の4回の地震については、既往の文献および資料の再調査を行い、これらを同一基盤に立つように再整理を行い、考察を加えたものである。

II. 被害の概況とその特徴

1. 被害の概況

日本海中部地震で生じた溜池の被害について、震央距離ごとに生じた被害率(被害数/全数)を調べてみると図-1のようになる。

この被害率は震央距離を20kmごとに区切り、この範囲にある無被害溜池と被害溜池を合わせたものを全数として求めたものである。その他の地震についても同様の整理をして、溜池に被害が生じ始める時(被害率1%)の震央距離(以後限界震央距離と称する)を求めてみた。

図-2は、マグニチュード(M_j)と限界震央距離 Δd

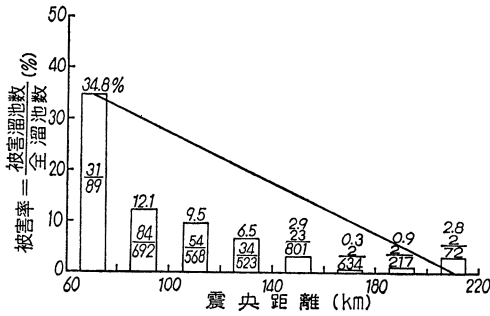


図-1 震央距離と被害率 (日本海中部地震)

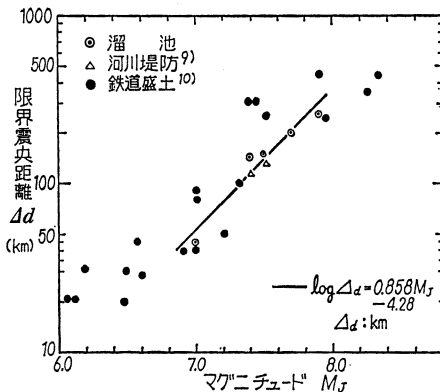


図-2 マグニチュードと限界震央距離

の関係である。図中には類似構造物である河川堤防・鉄道盛土の例も示してある。河川盛土の場合と溜池の場合と同様な関係にあるようである。溜池の被害データから M_J と Δd の関係を求めると次の式が得られる。

$$\log \Delta d = 0.858 \cdot M_J - 4.28 \quad (\Delta d : \text{km})$$

もちろん、地震動の性質、地盤条件、堤体の状況によって一概には言えないが、上式によって M_J が与えられれば被害の発生するおよその限界震央距離を求めることができる。

表-2 は過去5回の地震によって生じた溜池の被害の概況をまとめたものである。被害は堤体と付属構造物(樋管、洪水吐)の被害に分けることができる。さらに堤体の被害は機能障害(クラック、すべり、はらみ、沈下)と貯水が不可能になる決壊とに分類できる。これらの被害は、すべりによって沈下が起こるといように同時複合的に起きる場合と、沈下やクラックのみが単独に起こる場合がある。表-2 では一つの溜池で複数の被害が生じた場合にも、それらをすべて挙げている。

クラックについて見ると、堤軸に平行な縦クラックがほとんどである。堤軸と直角な方向の横クラックは、堤体の漏水の可能性から防災上とくに重要であるが、比率は少ない。次にクラックの発生方向を新潟地震、日本海中部地震についてみると、縦クラックでは上流側斜面と堤頂部に発生したものの比率が高い。貯水による上・下流斜面の安定性の相違と考えられる。横クラックについては堤体を上下流に横切ってしまうものが大部分である。日本海中部地震の例では表-3で示すように、発生位置は地山と堤体の境、取水施設付近が50%近くある。男鹿地震の調査結果でも、同様のことが指摘されている²⁾。地震時における地山と堤体、堤体と取水施設の挙動の違いによるものと考えられる。

すべり・はらみはどの地震においても上流側が下流側に比べて倍程度の発生を示している。日本海中部地震の例では、発生位置は上・下流合せて堤体の中央付近で発生している例が38.1%、斜面全体がすべり・はらみを生じているものが31.8%となっている。斜面全体に発生している中には、明らかに半円形をした三次元的な斜面すべりが認められる例がある。

沈下の主たる原因について分類したものが表-4である。日本海中部地震の場合には、すべり・はらみなどが現れず、堤体の形状をほぼ保ちながら沈下のみが生じたものを基礎地盤、堤体の沈下というように同じ項目に分

表-2 溜池地震被害の概況

地震名	被害総数	調査数	堤体の被害								付属構造物		
			機能障害									種管	洪水吐
			クラック			すべり・はらみ			沈下	決壊			
			縦のみ	横のみ	両方	上流のみ	下流のみ	両方					
男鹿地震 ²⁾	74	58*(6)	43	0	5	17	6	8	42	12(0)	9	6	
新潟地震 ³⁾	146	123(37)	87	3	8	34	16	1	30	7(0)	38	7	
十勝沖地震 ¹⁷⁾	202	93(8)		24		25	10	4	8	10(1)		24	
**宮城県沖地震 ⁷⁾	83	83(5)		49			17		7	0		6	
日本海中部地震 ¹⁸⁾	238	218(15)	138	3	16	32	21	10	79	10(0)	50	28	

* () 内は堤高10m以上, **ここでは一つの溜池で代表的な事例を一つだけあげて集計している。

表-3 横方向クラックの発生位置(日本海中部地震)

	地山との境	地山との境でかつ取水施設付近	取水施設付近	全体	その他の場所	不明	計
発生数	1	5	2	3	4	3	18
率(%)	44.4			38.9		16.7	100

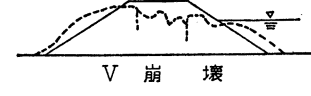
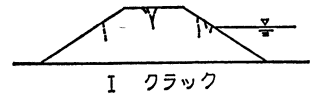


図-3 溜池の被害形態

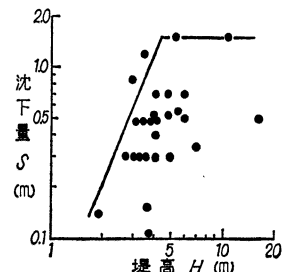


図-4 II型の沈下量(日本海中部地震)

表-4 沈下の原因(男鹿, 新潟, 日本海中部地震)

地震名	男鹿	新潟	日本海中部
区分			
(1)基礎破壊による沈下	3	7	45
(2)堤体自身の沈下	3	2	
(3)上下流のすべり・はらみによる沈下	19	21	27
(4)その他(1)~(3)の原因が合った場合	17	0	7
計	42	30	79

表-5 付属構造物の被害(男鹿, 新潟, 日本海中部地震)

地震名	男鹿	新潟	日本海中部
区分			
洪水吐	6	3	25
斜樋	5	13	10
底樋	1	10	8
斜樋と底樋の結合部	3	4	10
斜樋と底樋の両方	0	7	19
斜樋・底樋・洪水吐	0	4	3
その他	0	0	6
計	15	41	81

表-6 被害形態の分類と堤体土の種類(日本海中部地震)

被害数	被害形態					その他	計
	I クラック	II 沈下	III 斜面崩壊(はらみ)	IV 斜面すべり	V 崩壊		
被害数	69	47	62	13	4	23	218
堤体材料	砂質土	4	11	8	2	3	33
	粘性土・砂礫質・粘土	57	30	48	11	1	164
	その他	8	6	6	0	0	21
百分率	31.6	21.6	28.4	6.0	1.8	10.6	100
その他の内訳						13	
取水施設等(斜樋, 底樋, 洪水吐)						3	
地山崩壊						7	
張ブロック, コンクリート破損							

類した。

これによると日本海中部地震以外では、すべり・はらみによるものが多い。

表-5 は付属構造物の被害を分類したものである。日本海中部地震の調査では、こういった付属構造物の被害が堤体の直接の被災原因と考えられるのは1例だけであった。また、男鹿地震、日本海中部地震の場合も、決壊したあとの残存した底樋で破損しているものは少ないことから、底樋の破損が決壊の直接原因となったものは少ないと考えられる。しかし、男鹿地震の調査では地山に設置したものの方が安全性が高かったと指摘されている²⁾。底樋あるいは斜樋と底樋の結合部の破損は、斜樋からの取水において堤体土の吸出しにより堤体の陥没を起こすことや、底樋回りが「水みち」になりパイピングを起こす可能性につながる。このようなことから、決壊などの大きな被害の誘因となることも考えられるので、できるだけ地山に設置することが望ましい。

2. 被害形態の分類

ここでは日本海中部地震の被害形態を大きく分類する

ために、被害の主因となったものを中心にして、河川堤防⁹⁾、鉄道盛土¹¹⁾における分類を参照して 図-3 に示すようにI ~V型に分類した。

表-6 は、被害形態の分類である。I, III型が約30%ずつ、II, IV型、その他がこれに続き、V型は1.8%に過ぎない。I型は堤体の形状をほぼ保ちながら沈下もほとんど生じないで、クラックのみ生じたものである。この型的特徴は堤体土が粘土のものが多く基礎地盤も良好と思われる。また、過去にグラウトした線に沿って生じた例も3例あった。II型は堤体の形状をほぼ保ち、クラックなどを伴いながら、堤体の沈下を生じたものである。

図-4 は、堤高に対して沈下量を示したものである。図中の実線は堤高に対して沈下量の限界を示したもの

で、1.5 m を超えるものはない。したがって、地震時に水位余裕高が 1.5 m 程度以上あれば II 型の場合、貯水が堤体を越流することは少ないと思われる。設計上は地震による波浪高もあるので、これらの値も考慮した余裕高が必要である。この型は軟弱な基礎地盤に生じることが多く、基礎地盤の沈下が主たる原因と考えられる。III 型と IV 型は基本的には同じ被害形態であるが、III 型は IV 型の軽微なものと考えることができる。この被害形態では堤体の大部分が残存するため、大きな被害には至らない。IV 型は明らかなすべり面が認められるもので被害数としては少ない。しかし、すべりによって堤体の大部分が沈下するため、決壊などの大きな被害に結びつきやすい。また上・下流両方向にすべりを生じることもある。

日本海中部地震では決壊した 2 個の溜池「鶉の木 (1 号)」(若美町)、「一の沢」(能代市)の堤体部には明瞭なすべり面が認められている。ただし、このすべり面は地盤内になると不明確になる。図-5 は「鶉の木 (1 号)」で確認されたすべり面を示したものである。下部になるとすべり線ははっきりしなくなるが、堤体直下のシルト質粘土層の浅い部分を通っていることが推定できる。

「一の沢」の場合も同様にすべり線は堤体直下の浅い部分を通っている。

V 型は堤体および基礎地盤の崩壊が生じるもので、被害数は非常に少ないが直ちに決壊に結びつくものである。堤体および基礎地盤、あるいは一方の液状化によるものと推定される。この他にも取水施設・洪水吐・地山の崩壊・張りブロックなどの被害だけのものも 10% 程度発生している。

これらの被害形態他に決壊がある。決壊は主に IV、V 型の被害の結果生じることが多いと考えられる。決壊位置は堤体中央付近が多い。いくつかの溜池でのボーリング調査によると、この部分が旧みお筋に当たり、多くの場合、軟弱な層が最も厚く堆積していて、他の個所に比べ圧密などにより大きな沈下を生じている場合がある。また、この位置には底樋のあることが多く、この老朽化により堤体土との間に漏水を生じ、弱部となっているこ

表-7 決壊の時間 (日本海中部地震)

決壊時間	地震直後 ~20分以内	30分以内	60分以内	1日後	不明
溜池数	3	2	2	1 (パイピングによる)	2

とも考えられる。このような複合作用により、堤体中央付近で決壊が多いと考えられる。

次に男鹿地震²⁾、新潟地震³⁾の調査報告では「決壊の大部分は地震後数時間または 1 日以上たって発生する」としている。これは「間隙水圧の再配分、あるいはパイピング¹²⁾」によるものと考えられている。

表-7 は、日本海中部地震で溜池が、地震後決壊までの時間を示したものである。地震直後~30分以内の事例は、溜池に調査に行き、その結果を市町村役場に電話連絡するまでの時間を示しており、実際にはもっと早く決壊したものである。60分以内の内 1 例は、30分以内に堤体の越流が始まっていることが確認されており、残り 1 例は発見が 60分以内ということであるので、もっと早く決壊したことも考えられる。不明については、人里離れた所に溜池があったため、決壊の確認が翌日になったもので、決壊時期についてはまったく不明である。このように日本海中部地震の調査結果では、男鹿地震、新潟地震の結論に当てはまるものは青森県の 1 例しかなく、大部分が直後~短時間の内に決壊している。

日本海中部地震で無作為に 27カ所について被害後の応急復旧の有無を調査した。その結果、1 日以内 6 例、2 日以内 2 例が、クラックにシートで被覆や土の積み、あるいは貯水位を下げるなどの応急処置が講じられており、これらは 27カ所全体の約 30% に及ぶ。全被害溜池についても多くの被害溜池が応急処置を行っていることをうかがわせる。秋田県の 2カ所の溜池では地震後底樋回りから漏水現象が生じ、堤体が危険との判断で貯水位を 1~2 日間で下げた例がある。青森県でも地震後に堤体からの漏水がかなり大きかったため、当日土のう積みを行ってそれ以上の被害を防いだ。また、遅れて決壊した例は青森県のものであり、地震の 1 日後にパイピングにより決壊したものである。これについては応急処置はとられていなかった。これらの例は土のう積み、貯水位の低下といった応急的な復旧が、パイピングによる“遅れ決壊”に対して有効な防止策となった例である。

被害を受けたすべての溜池に対してこのような調査を行っているわけではないが、およそ上記のことから“遅れ決壊 (delayed failure)¹²⁾”は現象的にあり得るとしても、被災後の適切な応急処置が 2 次的な被害を防止する可能性に対する高瀬³⁾の指摘を裏付けている。

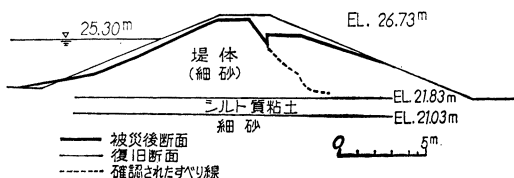


図-5 「鶉の木 1号」(若美町)のすべりの形状

表-8 地形と溜池被害（男鹿，新潟，日本海中部地震）

地震名 地形区分	男 鹿				新 潟				日 本 海 中 部							
	被害数	*率 (%)	決壊数	*率 (%)	全 数	被害数	*率 (%)	**被害率 (%)	全 数	被害数	*率 (%)	**被害率 (%)	決壊数	*率 (%)	**決壊率 (%)	
山 地	11	19.0	0	0.0	543	73	59.3	13.4	372	35	16.1	9.4	1	10.0	0.27	
山地と平地の境	43	74.1	12	100.0	197	34	27.6	17.3	891	124	56.9	13.9	8	80.0	0.90	
平 地	4	6.9	0	0.0	189	16	13.1	8.5	571	59	27.0	10.4	1	10.0	0.18	
計	58	100.0	12	100.0	929	123	100.0	13.2	1834	218	100.0	11.9	10	100.0	0.55	

* 被害総数に対する各区分の被害数の割合。

** 各区分ごとの全数に対する被害数の割合，以後表中に出てくる率，被害率とも同じ意味である。

III. 被害の要因

ここでは過去の地震被害についての文献，資料および日本海中部地震での調査結果から被害の要因について考察したものである。過去の文献においてはすべての項目についてはデータがそろっていないので，おのおのの項目について述べる場合には，それらのデータの得られる地震のみについて比較した。

1. 地形・地質

溜池の被害と周辺の地形がどのような関係があるかについて，男鹿地震，新潟地震のデータと日本海中部地震の調査結果を整理してみたものが表-8である。

なお，日本海中部地震で全数と書いてあるのは被害溜池，無被害溜池*を合せたもので，その基本データは文献13)によるものである。以後全数とあるのはすべて同じである。地形学的には多少厳密さを欠くが，ここでは地形を地勢という意味で文献2),3)に従って山地，山地と平地の境，および平地に分類した。山地と平地の境が被害率が一番大きく，山地・平地の被害率の関係は地震によって異なる。決壊の事例ではこの傾向がより明確になる。大局的にみて山地では第三紀層，山地と平地の境界が第三紀層と洪積層の接合点，平地では洪積層および沖積層から成っている。平地の地盤条件は他に比べて悪

表-9 基礎地盤の土質と溜池被害（宮城県沖，日本海中部地震）

地震名 土質名	宮城県沖	日本海中部地震				
	被害数	全数	被害数	決壊数	被害率 (%)	決壊率 (%)
岩	13	412	22	2	5.3	0.49
砂 質 土	12	229	65	5	28.4	2.2
粘性土・砂礫質・粘土	58	1,112	128	3	11.5	0.27
不 明	0	81	3	0	0	0
計	83	1,834	218	10	11.9	0.55

* 青森・秋田県で震央距離150km以内のすべての市町村および150kmを超えても，溜池被害が1つでもある場合はその市町村も含めた溜池すべてが対象。

表-10 基礎地盤の地質と溜池被害（新潟，日本海中部地震）

地震名 地質区分	新 潟 地 震			日本海中部地震		
	全 数	被害数	被害率 (%)	全 数	被害数	被害率 (%)
第4紀層	187	31	16.6	406	52	13.1
				831	124	14.9
第3紀層	766	91	11.9	597	41	6.9
計	953	122	12.8	1834	218	11.9

いが，地形の関係から堤高の高いものは極めて少なく，“皿池”が多い。このようなことから山地と平地の境界の溜池被害率が高い傾向になったものと考えられる。

堤体基礎地盤の土質について調べたものが表-9で，土質名の分類で，粘性土と砂礫質粘土は性質的にほぼ同様なものと見て，一つの区分に入れてある。被害率・決壊率とも，砂質土が大きく，粘性土・砂礫質粘土，岩の順に小さくなっている。砂質土地盤が地震に弱いことがわかる。

基礎地盤について，さらに巨視的に見るために基礎地盤の地質区分と被害との関係を表-10に示す。

第三紀層に比べ第四紀層に属するものの被害率が新潟地震，日本海中部地震とも高く，さらに日本海中部地震では洪積層が沖積層に比べ若干高い。日本海中部地震についてのこの特徴は，男鹿地震のものと同様である²⁾。沖積層が洪積層に比べ，砂質土が多いにもかかわらず被害率が低いのは，前にも述べたように沖積層地帯では，堤高の低い“皿池”が多いためであると考えられる。

2. 堤体諸元

ここでは，被害に対し堤体の諸元と被害の関係について過去の被害調査で挙げられている項目別に，大略まとめたものであり，統計的な処理は行っていない。

(1) 堤高 堤高の違いによって被害率がどのようになるかを十勝沖，宮城県沖，日本海中部地震の例で示したものが表-11である。

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 (15 m以上のものについては1969年以降のものは除く)

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

全体的にみて堤高 20 m (30 m)* 以下は, おおむね堤高が大きくなるにつれて被害率も大きくなっていて, 堤高が 30 m を超えると対象個数は少ないが, 被害は発生していない。表には示していないが, 男鹿, 新潟地震の場合についても, 同様なことがいえる。

また, 防災的な面からとくに重要である決壊は 5~10 m のものが圧倒的に多く, 10 m 以上で決壊した例は十勝沖地震の早掛ダム (堤高 12.0 m) のみである。

地震動の堤体自身における地震増幅度は, 一般的に堤高が高くなるほど大きくなる。したがって, 被害にもそのような傾向が反映されたものと考えられる。

(2) 堤頂長 堤頂長と被害の関係はとくに見られなかった。日本海中部地震の例で形状係数 (堤頂長/堤高) と被害の関係を調べてみると, 表-12 のように形状係数が 5 を超えるとほぼ同じになるのに対し, 5 以下では被害率は小さくなり, とくに 2.5 以下では被害は発生していない。

これは堤頂長が堤高の 5 倍程度以下であれば, アバウトメントの拘束効果が認められるとの従来の研究成果¹⁴⁾ と対応づけて考えられる。ちなみに十勝沖地震の例では全数のデータがないが, やはり形状係数が 2.5 以下では

* 十勝沖, 宮城県沖ではデータが 15.0~29.9m で区分してある。

表-13 堤体土の種類と溜池被害 (日本海中部地震)

土質名	①全数	②被害数	③被害の大きかった溜池数	④被害率 A(②/①) (%)	⑤被害率 B(③/①) (%)
砂質土	215	43	10	20.0	4.7
粘性土	1258	130	5	10.3	0.4
砂礫質粘土	287	40	1	13.9	1.4
その他 (不明も含む)	74	5	0	6.8	0
計	1834	218	16	11.9	0.9

* 決壊または天端沈下が 1.0 m 以上のもの。

被害は発生していない。

(3) 堤頂幅 堤頂幅に対し被害の関係を新潟地震, 日本海中部地震の例について整理してみた。日本海中部地震では堤頂幅 6.0 m 以下では堤頂幅が大きくなるにつれて被害率が高くなっている。堤頂幅が広くなると被害が多くなるということは, 一見矛盾したように思えるが, 堤高が大きくなるにつれて堤頂幅が大きくなることから, 堤高の大きいものほど被害率が高くなることを反映しているものと考えられる。新潟地震の場合も母集団の分布が日本海中部地震のものと同様であるとすれば, 各堤高区分での被害数の率から, 同じことがいえる。したがって, 堤高が同じ場合には, 堤頂幅の大小は被害にはあまり関係がない。男鹿地震の調査でも同様な結論を得ている²⁾。

(4) 斜面傾度 男鹿, 新潟, 十勝沖, 日本海中部地震について上・下流の斜面傾度と被害の関係を整理してみると, 上・下流ともおおむね緩くなるほど被害率が高くなっている。そこで, 日本海中部地震について, 堤高別に, 斜面傾度と被害の関係を上・下流で調べてみた。どの堤高区分においても斜面傾度が緩くなると被害率が大きくなる傾向にあった。したがって, この特性は堤体断面形状以外の条件により強く支配されているものと考えられ, ここで対象となっているような小規模な堤体における地震被害の特徴ともいえる。

表-14 堤体土の種類（土質統一分類）と溜池被害（日本海中部地震）

土質名	統一土質分類名*	無被害数	被害数	
粗粒土（全体の50%以上が74μを通過するもの）	礫	GW GP GM GC	2 3 1	
	砂	SW	3 1 1 1	1 8 11 2
		SP		
		SM		
SC				
SP-SM				
細粒土（全体の50%以上が74μを通過するもの）	シルトおよび粘土（ w_L が50%以下）	ML CL OL		
	シルトおよび粘土（ w_L が50%以上）	MH CH OH	3 5 1	
			8 2 1	
計			18 39	

* アメリカ開拓局の統一土質分類による名称。

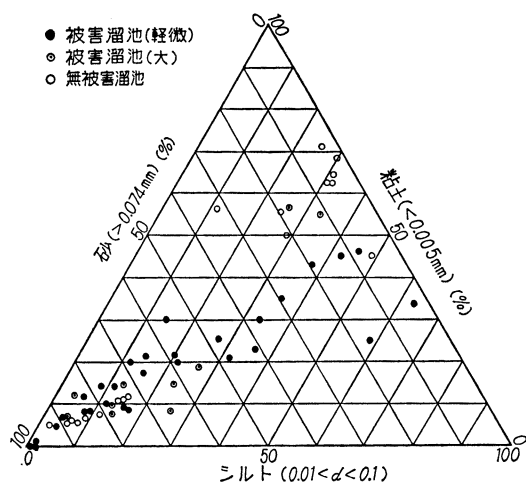


図-6 堤体土の粒度（日本海中部地震）

3. 堤体土の物理的性質

表-13 は、日本海中部地震での被害溜池 218 カ所、および無被害溜池 1,834 カ所のアンケート調査から得られた、堤体土別の被害数および被害率を示したものである。

被害数では粘性土・砂礫質粘土が約 80% と砂質土に比べて多い。ところが無被害溜池を含めた全溜池に対して被害率を求めると、砂質土が約 20% と、粘性土・砂礫質粘土に比べ倍近い値を示している。すなわち、砂質土の方が被害を受けやすいことを示している。この傾向

表-15 堤体土の種類と溜池被害（日本海中部地震）

土質区分	無被害	被害
粗粒土(74μ以上が50%以上)	10	25(8*)
細粒土(74μ以下が50%以下)	8	14(2*)

* () は被害程度の大きかったもの。

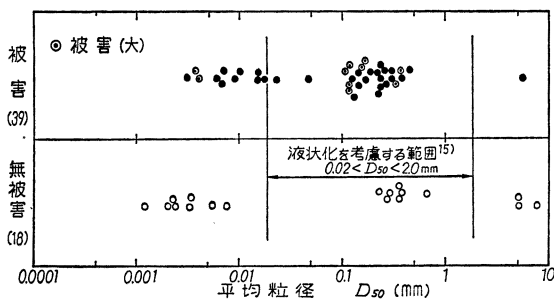


図-7 堤体土の平均粒径 D_{50} （日本海中部地震）

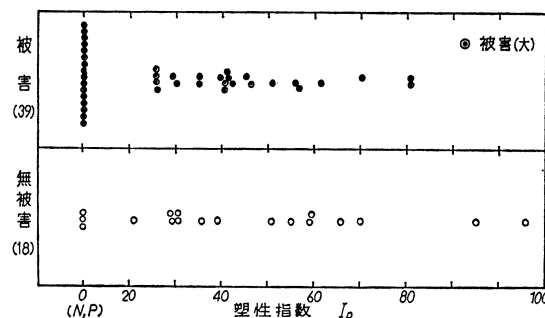


図-8 堤体土の塑性指数 I_p

は被害の大きかった溜池*についての被害率でみると、より明確になる。

被害を受けた溜池の内、秋田県若美町、能代市、青森県では車力村、深浦町を中心に15市町村、39カ所および無被害溜池18カ所の堤体土の採取を行い物理試験を行った。無被害のものについてはできるだけ被害を受けた溜池と同じ地域・地形・堤高のものを選んだ。表-14 にその結果を示す。被害溜池の堤体土は砂のものが多いことがわかる。

図-6 は、三角座標分類で無被害、軽微な被害、大きな被害のあった溜池**の粒度のデータをおのおの、○、●、◎で示したものである。

無被害のデータが少ないにしても、三角座標分類の左下に被害溜池が多い。このことを土質統一分類の粗粒土、細粒土に大別したものが表-15 である。

被害溜池は粗粒土の多い傾向がわかる。とくに被害の

* 決壊または天端沈下が1.0m以上。

** 表-13中の定義と同じである。

表-16 築造年代と溜池被害
(日本海中部地震)

築造年代	全 数	被 害		
		被害数	率 (%)	被害率 (%)
1973~1983 (1981~1983) (1973~1980)	11 (4) (7)	4 (2) (2)	1.8 (28.6)	36.4 (50.0) (28.6)
1963~1972	2	3	1.4	13.6
1943~1962	112	23	10.6	20.5
1923~1942	127	20	9.2	15.7
1923年以前	342	36	16.5	10.5
不 明	1220	132	60.5	10.8
合 計	1834	218	100.0	11.9

表-17 地震時の貯水率と溜池被害
(日本海中部地震)

貯水率 = $\frac{\text{堤高一貯水位}^*}{\text{堤高}}$	全 数	被害数	率 (%)	被害率 (%)
0~0.19	41	1	0.5	2.4
0.2~0.39	89	30	16.1	15.9
0.4~0.59	363	68	36.4	18.7
0.6~0.79	730	69	36.9	9.5
0.8~1.0	296	19	10.2	6.4
合 計	1519	187	100.0	12.3

* 貯水位：堤頂部から水位までの距離。

表-18 地震時の貯水率と溜池被害
(日本海中部地震)

No.	堤高	貯水位*	貯水率 = $\frac{\text{堤高一貯水位}^*}{\text{堤高}}$
1	6.0	1.3	0.78
2	5.5	1.0	0.82
3	3.0	1.0	0.67
4	5.0	2.0	0.60
5	2.5	1.2	0.52
6	3.5	0.5	0.86
7	6.0	1.0	0.83
8	4.0	1.0	0.75
9	5.0	0.7	0.86
10	2.0	0.5	0.75

* 貯水位：堤頂部から水位までの距離。

大きかった溜池は大部分が粗粒土に入る。男鹿地震の調査でも、同様に粗粒土に被害溜池が多く、とくに決壊した溜池はその傾向が強いことが指摘できる。

以上のことから、被害溜池は堤体が粗粒土のものが多く、とくに被害の大きいものはその傾向が強いことがわかる。

次に、土の粒度特性を表す指標である、平均粒径 (D_{50})、均等係数 (U_c)、塑性指数 (I_p) の被害に与える影響を考えてみる。図-7 は無被害・被害溜池堤体土の D_{50} をプロットしたものである。

道路橋示方書¹⁵⁾(1979)で示している液状化を考慮すべき D_{50} の範囲 ($0.02 \leq D_{50} \leq 2 \text{ mm}$) を図中に示してあるが、これをみると無被害溜池は18カ所の内、この範囲に7カ所(38.9%)しかないのに対し、被害溜池は39カ所の内27カ所(69.2%)がこの範囲に入り、とくに被害の大きかったものはその傾向が強い。

堤体土の塑性指数 I_p を図-8 に示す。被害溜池では砂質土が多かったため、NP (非塑性) と判定されるものが多い。被害では41%、無被害では17%がNPとなり、塑性のない土で築造された堤体に被害が多いことがわかる。

4. その他の被害要因

1. においては堤体諸元と被害の関係について述べてきたが、ここではその他の要因と被害の関係について考察する。

(1) 築造年代 表-16 は、日本海中部地震時の築造年代別の被害であるが、築造後10年位までのものの被害率が大きいことがわかる。さらにこの区分を過去3年以内に築造されたものと、それ以外に分けて見ると、データ数が少ないにしても過去3年以内に築造されたものの被害率がとくに高いことが指摘できる。これは、築造後の自然圧密による堤体の安定性の向上が考えられる。また、堤体の植生根が表層土を緊縛する効果¹⁶⁾も関係して

いると考えられる。

男鹿、新潟、十勝沖、宮城県沖地震でも同様に、築造後10年位までの堤体の被害率が大きいことが認められた。このように、どの地震においても築造後10年位までの堤体に被害が大きい傾向があるといえる。また、鉄道盛土の十勝沖地震の被害事例の調査¹⁷⁾では、新設盛土(建設後3年以内)の被害率が在来盛土の約6倍程度あったことが指摘されており、溜池以外の土構造物でも新しいものは地震に対しては弱い傾向が認められる。

(2) その他 男鹿、新潟、宮城県沖、日本海中部地震で震源方向と被害の関係を調べてみたが、明確な傾向はない。

地震時の水位については、新潟地震の調査結果³⁾では、おおむね、貯水率 = (堤高 - 貯水位) / 堤高、が高くなるほど被害率は高くなるとしている。男鹿地震の調査例²⁾では地震時水位と被害の関係については明確な傾向は見られなかった。日本海中部地震では表-17 のようになった。貯水率と被害の関係ははっきりしない。しかし、決壊事例10カ所についてだけ見ると、表-18 のようにその70%の貯水率が0.75以上であり、貯水率の高いものが大きな被害に結びつきやすいことがわかる。

日本海中部地震では、過去にグラウトによる改修を行ったものにつき、グラウトした近傍でクラックが発生している。グラウトが堤体と十分なじまず、これらの剛性の相違が大きいために、この部分にクラックが発生したと思われる。グラウトを行う際は、堤体に十分なじむようなグラウト材料を選ぶ必要があることを示している。

この他にも被害と関係のあると考えられる要因もいくつかあるが、十分なデータもないのでここでは触れない。

IV. ま と め

以上の調査結果から次のことがいえる。

① 5回の地震の例に基づいた、溜池被害の発生する震央距離はマグニチュードを用いて、 $\log M_d = 0.858 M_j - 4.28$ (M_d : km) で表せた。

② 堤体に発生するクラックでは、堤体に平行な縦クラックがほとんどである。防災上とくに注意を要する堤体に直角な横クラックは数少ないが、発生位置は地山との境、取水施設付近が多い。

③ 斜面すべりでは上流側に発生するものが多く、下流側の倍程度になっている。

④ 取水施設等の付属構造物が直接決壊などの大きな被害に結びついたと断定できる例は、日本海中部地震の場合にはまれであったが、従来の経験または他の地震の場合からすると損傷の程度が小さくともパイピングなどを誘発して大きな被害に結びつきやすい。地山に設置したものは被害が少ないので、できるだけ地山に取付けることが望ましい。

⑤ 被害の形態を被害の主原因に基づいてI～V型に分類した。大きな被害に結びつくのは、IV型ないしV型となる。

⑥ 男鹿地震の調査から決壊のほとんどは“delayed failure”であると指摘されているが^{2),12)}、日本海中部地震では男鹿地震の場合と異なり、短時間(直後～1時間)に決壊しているものが多く、1日後に決壊したのは1例のみである。この原因としては、被害後の適切な応急処置が行われたためパイピングなどによる2次被害が少なかったことも考えられる。

被害の要因については次のことがいえる。

① 地形的には山地と平地の境界にあるもの、地質的には第四紀層の洪積層地帯の溜池被害率が高い。基礎地盤の土質は砂質土のものの被害率が高い。

② 堤高が20(30)m以下については高いほど被害率がおおむね高い傾向にある。これは一般に堤高が高いほど堤体自身による地震動の増幅が大きいためと考えられる。ただし、決壊などの大きな被害については10m以下のものが圧倒的に多い。形状係数(堤頂長/堤高)は5以下では小さく、それ以上ではあまり変わらない。アバットメントの拘束による二次元的効果であると考えられる。斜面傾度、堤頂幅については被害とのはっきりした関係は見出せなかった。

③ 堤体の物理的性質については、三角座標分類で砂質土のものの被害数が多く、とくに決壊についてはその傾向は強い。平均粒径 D_{50} で見ると被害溜池の多くが液状化の可能性のある範囲¹⁵⁾に入る。無被害ではこの逆になり、液状化が被害原因であるものが多かったと推定される。塑性指数によっても、被害・無被害でははっきり

と差があり、被害溜池はNPのものが多い。

④ 築造年代では築造後10年以内の堤体の被害率が大きい。さらに、日本海中部地震および鉄道盛土の被害例から、過去3年以内に築造された土構造物の被害率ととくに高いことが指摘できる。これは自然圧密による強度増加の発現との関係をうかがわせる。震源方向と被害との関係はとくに認められない。

V. あとがき

以上、既往の文献・資料・現地調査を中心に、地震による溜池被害についてまとめた。ただし、これら被害を受けた溜池は設計基準が適用されていない小規模な溜池がほとんどであり、設計基準が適用されて築造された溜池の被害数は少なく、ごく軽微な被害にとどまっている。今後、これらの結果から得た結論につき、力学試験、すべり安定解析、動的応答解析によって、より深く検討を行う予定である。

最後に、本調査にご協力いただいた、農林水産省構造改善局、青森県、秋田県、(財)日本農業土木総合研究所、農業土木試験場の関係各位に厚く謝意を表す。

引用文献

- 1) 老朽ため池研究会：老朽ため池整備便覧，昭和57年度版（1982）
- 2) 秋葉満寿次・仙波秀男：秋田県男鹿地震とため池被害，農土研究，13(1)，pp.31～59（1941）
- 3) 高瀬国雄：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（1967）
- 4) 山下 進：アースダムの被害，農土試技報，F.No.1，pp.51～85（1965）
- 5) 長野県：松代群発地震記録（1969）
- 6) 守谷正博・高岡恭三・山下 進：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，16(9)，pp.39～45（1978）
- 7) 東北農政局：1978年度宮城県沖地震，土地改良施設の災害と復旧，（1978）
- 8) 谷 茂・安中正実・川口徳忠・釜田豊也：1983年日本海中部地震によるため池の被害調査報告，農土試技報，169，(CE-4)，pp.1～92（1985）
- 9) 佐々木康：河川堤防の地震被害，土と基礎，28(8)，pp.25～30（1980）
- 10) 大橋勝弘・那須 誠：鉄道盛土の耐震補強対策，土と基礎，28(8)，pp.37～44（1980）
- 11) 武井昌博：十勝沖地震による災害盛土のり面の統計解析，鉄道技術研究資料，28-10，pp.471～474（1971）
- 12) H. B. Seed：Consideration in the earthquake-resistant design of earth and rockfill dams，geotechnique Vol. 29, No. 3，pp. 215～263（1979）
- 13) 日本農業土木総合研究所：昭和59年度大規模地震対策調査報告書（1985）
- 14) 畑中元弘：土堰堤の振動に関する3次元の考察—自由振動について，土木誌，37(10)pp.1～6（1952）
- 15) 日本道路協会：道路橋示方書同解説（V耐震設計編），pp.16～20
- 16) 小橋澄治：斜面安定に及ぼす根系の影響についての最近の知見，緑化工技術，10(10)，pp.14～19（1983）
- 17) 土質工学会編：土質基礎工学のための地震・耐震入門，116p（1985）
- 18) 青森県土地改良一課（防災係）：1968十勝沖地震被災ため池調査表（1968）

[1986. 11. 17. 受稿]