

1978年宮城県沖地震の被害調査

— 主としてフィルダム、溜池の堰堤、河川堤防等の被害について —

大根 義男・建部 英博・四俵 正俊・木村 勝行・奥村 哲夫

Outline of Damage, Especially on the Filltype Dams, Embankment of Small Reservoirs and River Dikes, Due to Miyagiken-Oki Earthquake, 1978.

Yoshio OHNE, Hidehiro TATEBE, Masatoshi SHIDAWARA
Katsuyuki KIMURA and Tetsuo OKUMURA

1978年宮城県沖地震は仙台市を中心に東北地方に多大な被害をもたらした。本報告は主として溜池の堰堤、フィルダムおよび河川堤防等の盛土構造物の被害状況について現地調査を行い、その結果を害の種類、程度についてまとめ、これに若干の検討を加えたものである。この結果軟かい堤体程被害も多く、又基礎地盤の硬さにより被害の型が異なる等が明らかになった。

1. はじめに

1978年6月12日17時14分、宮城県を中心に東北地方は大きな地震に見舞われた。この地震は東経142°14′北緯38°10′、深さ約25Kmの海底に震源を持ちその地震規模はマグニチュード7.4（東北大学理学部地震予知センター発表）で宮城県沖地震と命名された。この地震により仙台市を中心とした宮城県及びその近県において死者28名、負傷者10,247名、建物の全壊1,279軒、半壊5,719軒等の被害を出し、さらに土木構造物等にも多くの被害をもたらした。

本報告は現地調査により溜池の堰堤、フィルダム、河川堤防等の盛土構造物に着目し、その被害の有無、被害程度、被害内容等を調査、整理し、被害要因との関係についてまとめたものである。

2. 震度分布

宮城県沖地震による東北各地の震度は仙台管区気象台により震度分布図として図1の様に示されており、大船渡、石巻、新庄、仙台、福島で震度Vである。

工学的に振動の大きさを表わす場合、その単位として加速度等を用いるが一般的に震度Vは80～250ガル程度の加速度とされている。地震によるその地点での最大加速度は転倒した墓石等の寸法から推定出来るが、これによると仙台市付近においては300ガル以上の加速度を受けたと思われる箇所もかなり見受けられ、震度VI程度の振動を受けた場所もかなりあると考えられる。又墓石

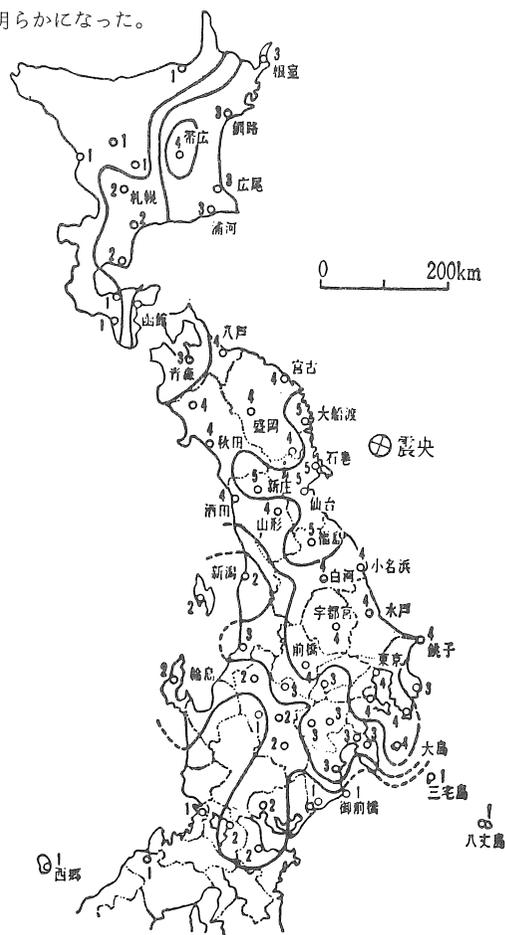


図1 震度分布図（仙台管区気象台）

の転倒は南北方向 (S,N) のものが多く見られる事から振動の大きさは東西方向 (E,W) より南北方向が大きかった様である。これ等の事は国鉄技術研究所が仙台駅付近にある仙台管理局地下1階で測定したN,S方向 440ガル, E,W方向 240ガルの加速度記録や, 建設省建築研究所の資料による東北大学工学部1階のN,S方向 260ガル, E,W方向 200ガルの加速度記録等からもうかがえる。

3. 溜池の堰堤調査

溜池の堰堤調査は地震による各種被害が特に多かった仙台市周辺に着目して行った。仙台市周辺の溜池はその多くが市の北部に位置しており, 南部には比較的少ない様である。従って今回の調査では仙台市の北部及び仙台市に隣接する泉市に着目し, この中から無作為に48個所の溜池を選び堰堤の諸元, 被害程度, 被害内容等の調査を行った。

溜池堰堤の諸元については堤高, 堤長, 堤頂巾, 斜面勾配, 堤軸方向, 盛土の固さ, 貯水位, 築堤年代等出来るだけ調べたが資料不足や立地条件等の為不明の箇所もかなりあった。

被害程度についてははっきりした決め方はないが一応A,B,C,Dの4段階とした。

- A : 視察による調査では被害の認められなかったもの
- B : 何等かの軽微な被害を受けているもの
- C : かなりの被害が認められ, 直ちに補修が望まれるもので, 例えば大きなクラックが発生していたりすべりが起きている様なもの
- D : 完全に破壊と認められたり, 貯水池の水が越流した様なもの

被害内容については次の6通りに大別した。

- ①: 堤頂部における縦及び横クラックの発生
- ②: 堤体 上, 下流斜面部のクラック発生
- ③: 地山と堤体左右岸の取付け部の縦クラック発生
- ④: 斜樋, 階段, 取水口等の被害
- ⑤: フェーシング, コンクリート張, 石積等の破壊
- ⑥: 堤体のすべり及び沈下

調査を行った溜池の位置及び番号を図2に示す。又調査結果一覧を表1に示す。

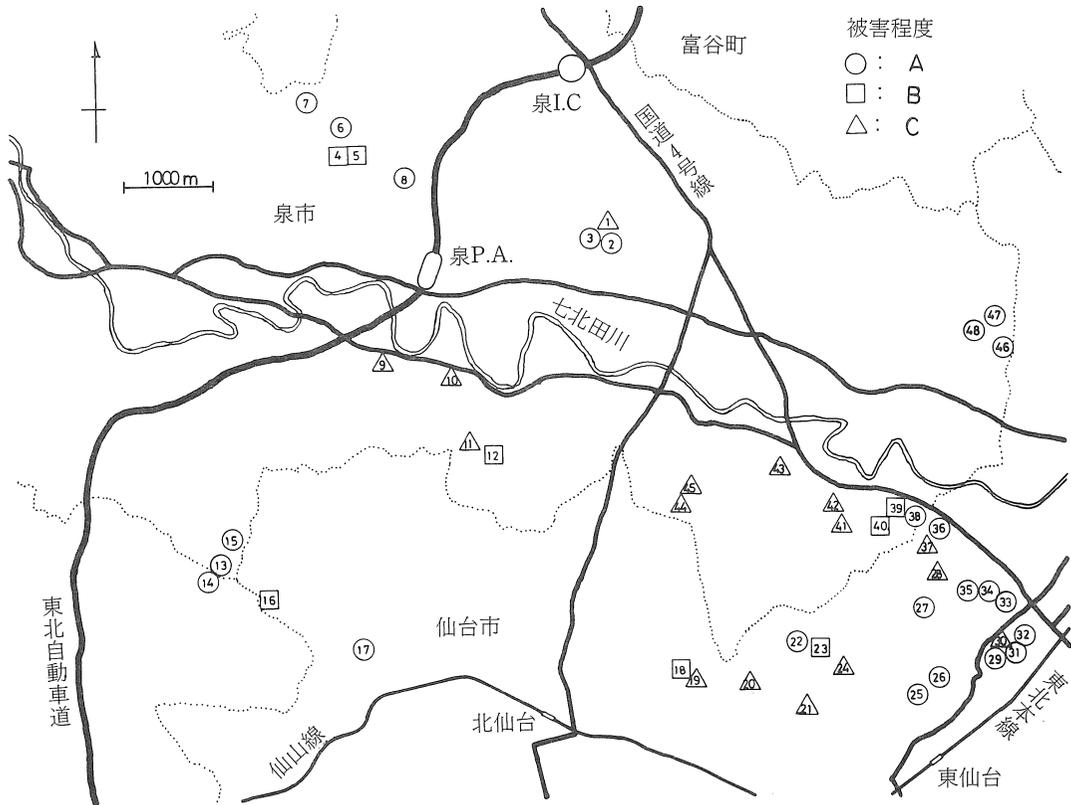


図2 溜池の位置

表 1 宮城県沖地震溜池調査 (仙台市付近)

() は推定値

ため池名	No	被害 A. B. C	堤高 H (m)	堤頂長 L (m)	堤頂巾 B (m)	斜面勾配		方 向	締固め P 値	堤頂より の水位m	年 代	B/H	被害の 種 数	備 考 上・下流ク ラック
						上流側	下流							
将監溜池	1	C	9.6	115	7.5	2.14	2~1.7			3.0		0.78	①②④⑤	
	2	A	3.3	75	6.6	3.2	3.2			1.6		2.00		
	3	A	(2.5)	(25)	(2.0)					1.0		0.80		
	4	B						80					① ②	上
	5	B						100					① ②	上
	6	A			50	3.0				4	古			
	7	A			50	2.0				5	古			
	8	A	3.0	80	10.0						古	3.3		
	9	C	10		4.0	3.1	2.6			12		0.40	①	
長命堤	10	C	15	70	13.0	3.1	2.5	180				0.86	②	上・下
	11	C	12	120	3	2.5	2.5	165		12		0.25	① ②	上
	12	B	12	120	2.5	1.4	2.6	290				0.21	②	上
	13	A	2	30	2			85				1.00		
	14	A	4	20	4			260				1.00		
	15	A	2	15	8			290				4.00		
うとう溜池	16	B	9	80	2	0.7	1.0	10				0.22	①	
	17	A	3	40	2			20				0.67		
小松島沼	18	B												
	19	C	3.4	(50)	6	0.3	2.7	155		1		1.76	① ③	
新堤沼 与兵衛沼 大堤沼	20	C	3	40	3		2.1	30	100	0.5	古	1.00	①②③	上・下
	21	C	5.2	90	7	2.4	1.9	20	軟			1.35	①②⑤	上・下
	22	A	7	90	4.5		(2.5)	50	軟	2.5		0.64		
	23	B	4	60	2.5		(3.0)	40		1.5		0.63	③	木の根
	24	C	(7)	70	8	(0.5)		50		(5)		1.14	① ⑤	
25	A		(50)						3					
中央公園前 〃	26	A	4	30	1.5	2	2.0	180		1.5		0.38		
	27	A	6	85	7.5	2.7		305		3.5	新	1.25		
	28	C	4.5	90	3.5	1.9	2.5	30				0.78	①③⑤	
燕 沢	29	A		25	2			145			古			
	30	A												
	31	C	3.4	80	12.5		2.1	305	軟		5~6 年前	3.68	①	
	32	A	4.5	45	2	1.7	2.1	310	固	1.5	古	0.44		
	33	A	3	(25)	2	2.0	2.5	25		2		0.07		
	34	A	2	(30)	2	2.0	2.5	25	固			1.00		
菖蒲沢堤 北堤 中堤	35	A	7以上	25	2			40	固	0.4	古	0.29		
	36	A	3.3	75	3.5	0.8	2.1	330	20	1.5	古	1.06		
	37	C	5	70	3	1.2	2.5	310	20	3	古	0.60	② ④	上
	38	A												
39	B	1.5	(80)	1.0		2.5		中	0.3		0.67	①		
40	B	3	74	2.5		1.7	355	15	1.0		0.83	②	上	
田子堤	41	C						265	軟				⑥	
	42	C	2.7	145	2.5	1.0	2.0	250	軟			0.93	①	
前ヶ沢沼 真美沢堤南	43	C	6.5	60	3	2.7	2.2	270	80	3.5	大正8年	0.46	②	上・下
	44	C	10	60	5	(2.0)	(2.0)	290	軟	(5)		0.50	①③⑥	
真美沢堤北	45	C	3.6	120	2.5		2.6	235	55	2		0.69	①②④	下
仏沢堤	46	A	6	(40)	(3)	1.5		210	固	5		0.50		
いぬり沢堤	47	A	8	60	11.5	2.5	3.1	340	60	7		1.44		
洞ヶ沢遊水池	48	A			3.5	1.7	0.2	140		(3)	新			

3-1 被害率

被害程度と溜池数との関係を表2に示すが全調査溜池数48個所のうち視察による被害なしAが24個所、B被害が8個所、C被害が16個所あったが幸いD被害を生じた溜池は1個所もなかった。しかしC被害は全調査溜池の33%、BとCを合わせ何等かの被害を受けたものは実に50%に達している事が判明した。

亀裂の追跡調査を行う為、No42溜池の堤頂に発生した亀裂部を約50cm程度掘削してみた。その結果、堤体表面部に現れている亀裂巾(0.5~1cm)より堤体内部のクラック巾(1~2cm程度)が大きくなっている事が判明した。この事実より推定すると被害なし(A)とした堰堤についても堤体内部に亀裂がある事も考えられ、より厳密な調査を行えばこの被害率はさらに増加する可能性を示している。

表-2 被害程度

A	24
B	8
C	16
D	0
TOTAL	48

3-2 被害内容

被害を受けた溜池堰堤の被害程度と被害内容との関係を示すと表3の様になる。ここで被害の合計数が被害堰堤の数より多くなっているが、これは1つの堰堤に2つ以上の被害内容を含んでいるためである。

被害内容で一番多いものは堤頂に亀裂が入ったもので被害溜池24個所中16個所(67%)を占めている。(写真1) この亀裂は殆んどが堤頂巾のほぼ中央に堤軸に平行して入っており堤軸直交方向には少ない。この事は堤体が両側の地山によりある程度拘束されている為、ダム軸方向の振動が制御される為と考えられる。

次いで被害の多かったものは堤体斜面部分(法面)に入った亀裂であり、被害溜池24個所中12個所(50%)にこの被害が見られた。(写真2) この種の亀裂は堤頂から1m~4m下った付近に堤軸にほぼ平行に発生している事が多い。これ等12個所の斜面クラックのうち上流側斜面だけに発生した堤体5個所、上、下流両側の斜面に見られる堤体5個所、下流側だけにみられる堤体は2個所であり、下流側より上流側にクラックは入り易い様である。一方、堤頂部と斜面部における亀裂の関係をみると、堤頂、上流側、下流側のすべてに亀裂が発生している堤体は8個所、堤頂に亀裂が発生していて斜面に見られない堤体9個所又、堤頂に亀裂がなくとも斜面に亀裂が見受けられた堤体は4個所であった。

以上の事から推察すると亀裂の入り方はまず第1に堤頂に発生する事が多く、次いで斜面上流側、さらに下流側の順序で入る様に思われ、堤頂あるいは斜面付近での応答

加速度が堤体中腹部以下の加速度よりかなり大きい事を示している。

左、右岸側の地山と堤体取付け部における地山沿いの亀裂は5個所で見受けられた。(写真3) これは地山と堤体との剛性の違いによって発生したものと考えられる。この種の被害を受けた堤体はNo23溜池を除いてすべて堤体に亀裂を生じたC被害の堰堤でかなり大きな振動を起こしたものと考えられる。しかしNo23溜池については地山との取付け部に亀裂が発生しているにも拘らず又すぐ近くに隣接してあるNo24溜池の堰堤がC被害にも拘らず堤体に何等異常も見られなかった。この原因としてNo23の堤体上には直径10~15cm程度の樹木が最近まで数多く植えられていた様であり、木の根が堤体内にかなり張っておりこれが補強材の役目を成し、堤頂や斜面亀裂の発生を防げたものと考えられる。通常木の根等は漏水等の原因になると考えられるが、これ等の結果を考えると何等かの方法で堤体を補強すると云う考え方が耐震設計に役立つものと考えられる。

フェーシング、コンクリート張り、石積等の被害は4ヶ所において見られた。(写真4) これ等はいずれも堤頂に亀裂の入っている堤体である。このうち1個所はコンクリートフェーシングが破壊しているものであり、他の3個所は斜面表面を保護しているコンクリートブロック張り及び石張り部分の破壊であった。又このうちNo24溜池を除き3個所には斜面中腹部に凹凸が見られすべりを起こしかけている様であった。又堤体のすべりや沈下はかなりはっきりしている堰堤は2個所で見られた。(写真5)

階段部分、斜樋等のクラックは3個所の堰堤で見受けられたが(写真6) これは周囲との剛性が異なる材料である為、その振動性状が他の部分と異り、応力集中等が起こり亀裂が発生したと思われる。

表-3 被害内容と被害程度

被害内容	①	②	③	④	⑤	⑥
被害程度 B	4	4	1	0	0	0
被害程度 C	12	8	4	3	4	2
合計	16	12	5	3	4	2

3-3 堰堤諸元と被害程度との相関性

地震による堤体の振動挙動はその地震波の大きさや波形によって大きく左右される。この地震波の大きさや波形は地震の規模、震源からの距離、あるいは地震波が伝わってくる地質構造等によって大きく異なる。一方堤体の振動挙動は同一地震波であっても基礎地盤や堤体材料の性質、あるいは堤体の寸法、形状等により大きく左右さ

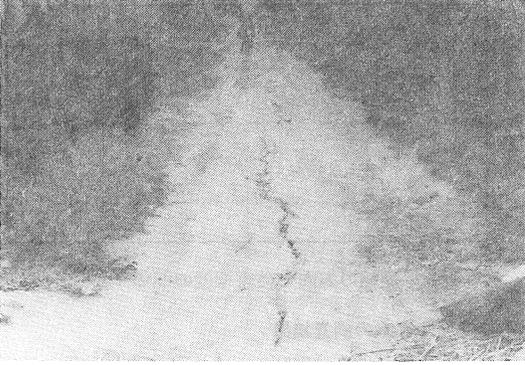


写真1 堤頂に発生した亀裂



写真4 コンクリートフェーシングの破壊

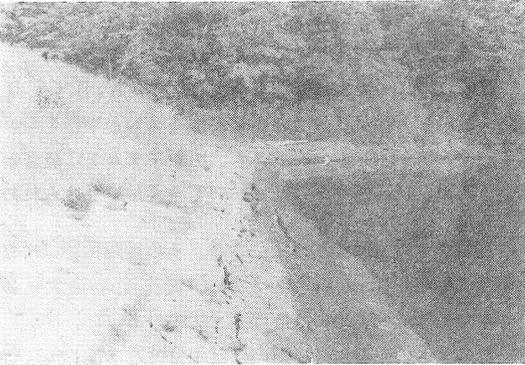


写真2 のり面に発生した亀裂

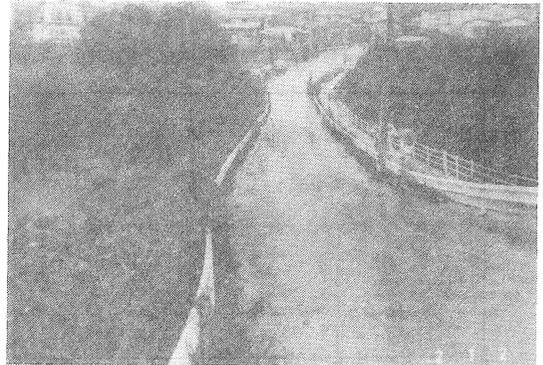


写真5 (沈下とすべり)



写真3 地山との取付部の亀裂

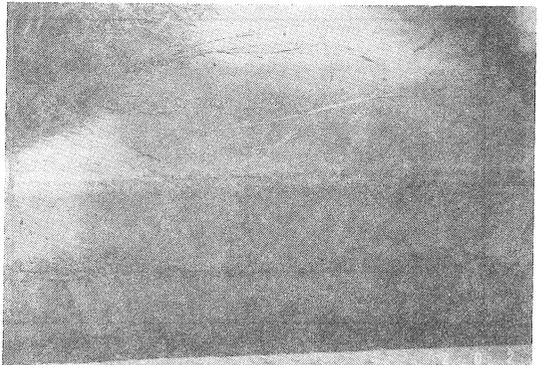


写真6 階段部分のクラック

れる。

今回の調査では個々の堤体に対する地震波及び堤体材料の性質等を知る事が出来なかった。ここでは測定可能であった堤体の諸元と被害程度との関係についておおまかな整理を行った。

図3に堰堤の堤高と被害程度との関係を示すが、堤高の低いものについては堤高と被害程度の関係は認められない。しかし堤高9m以上の堤体についてみればC被害6箇所、B被害2箇所、被害のないもの0で堤高の高い堰堤は多く被害を受けている様である。

図4は下流側斜面勾配と被害程度との関係を示すが、多少急勾配の方が被害が多い様にも見られるがはっきりした相関は得られなかった。

図5は堤体表層部の固さと被害程度との関係を示す。ここで堤体の固さとは測量用ピン(長さ1m, 径10mm)を堤体表面からほぼ一定の力(約20kg)で堤体内に貫入させ、その時の貫入深さから決めたもので相対的な値で堤体表面から1m程度迄の固さしか推定出来ない。ここで50cm以上貫入するものを「軟」、21~49cm迄の堤体を「中」、20cm以下の貫入量のことを「固」とした。調査

は19箇所についてのみであるが、「軟」の堤体が11箇所ありこのうち9箇所(約8割)はC被害を受けている。又「固」の堤体は7箇所ありこのうち5箇所は被害のないAである。この事から推察すると締固め不十分な堤体ほど地震による被害が多かった事を示している。

図6は堤軸の方向と被害程度との関係を示している。ここで堤軸の方向とは堤体中央部から左岸側を規準に反時計方向に北の方向までの角度を示している。尚震源の方向はこの角度から約100度差ついた角度である。墓石の転倒方向や加速度記録等から仙台付近では南北方向の振動が大きかった。この事を考慮すれば90度、270度付近方向の堤体に被害が多くあらわれる事が予想出来る。しかし270度付近にC被害が多少多く見られる他は、堤軸方向と被害程度の間には相関関係は見られなかった。

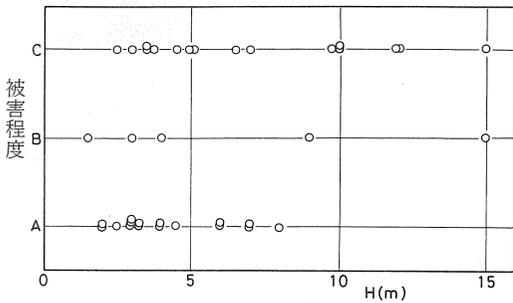


図3 堤高と被害程度の関係

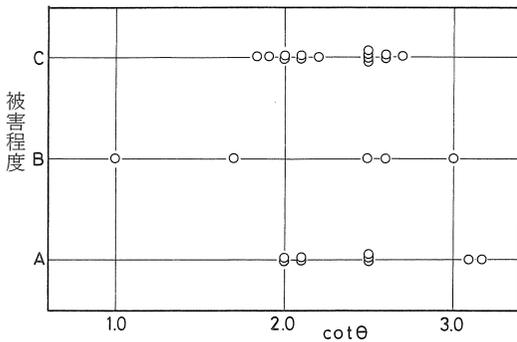


図4 下流斜面勾配と被害程度の関係

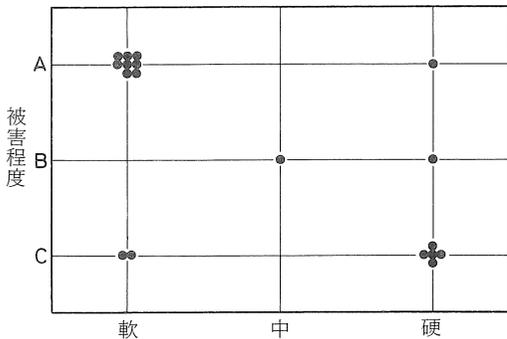


図5 盛土の固さ(貫入抵抗)

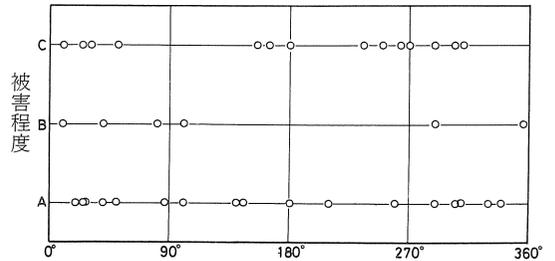


図6 堤軸の方向と被害程度の関係

4. フィルダムの調査結果

フィルダムの調査は震源地から西又は西北西方向(140~200 km)に位置する12ヶ所(宮城県9ヶ所, 山形県3ヶ所)について行なった。調査ダムの位置は図-7に示す通りであり又各ダムの諸元を表-4に示す。

被害程度については溜池の堰堤と同様, A, B, C, Dの4段階に分類した。その結果, 銅谷ダムと牛野ダムがB被害, 籾但木ダム, 蛭沢ダム, 川原子ダムがC被害と考えられ, 12ヶ所中5ヶ所において被害が見受けられた。

○銅谷ダムは享保年間に築造され, その後昭和30年に改造された堤高17m, 堤頂幅3.5m, 堤長110mのアースダムである。地震時にはほぼ満水状態であった。

このダムの被害は, 堤頂のほぼ中央付近に幅1~2 cm程度の亀裂が堤軸に平行して約17mの長さになわって入っていた。(写真7)



図7 調査ダムの位置

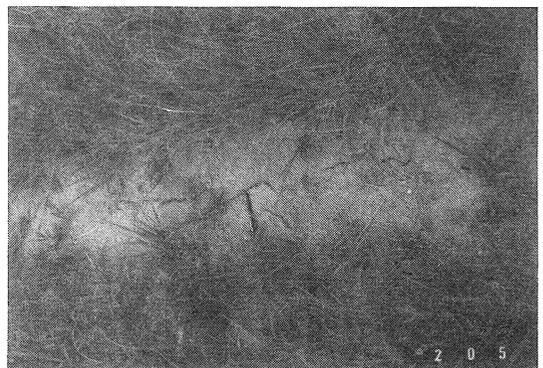


写真7 (銅谷ダム)

表4 宮城県沖地震フェイダムダム調査

番号	ダム				諸元				ダム所在地	被害状況		備考	
	ダム名	水系名	河川名	型式	目的	完成年	堤高(m)	天端幅(m)		堤長(m)	被害程度 A・B・C類		被害の種類 クラックの箇所
1	銅谷	七北田川	七北田川	アース	かんがい	享保年間 (昭30改造)	17.0	3.5	110.0	宮城県泉市根白石字銅谷 荒砥	B ①	中央付近 約17m	震源から の距離 145km
2	松沢	最上川	須川	アース	かんがい	大・9	18.2		234.0	山形県上市市大字細谷	A		190km
3	愛子	名取川	斎勝川	アース	かんがい	昭・24	16.7		114.2	宮城県宮城郡宮城町 上愛女	A		150km
4	孫沢	鳴瀬川	田川	アース (表面アスファルト フレッシュ ーシング)	かんがい	昭・35	16.5		202.4	宮城県加美郡宮崎町字 加美石孫沢	A		155km
5	加太神	鳴瀬川	吉田川	アース	かんがい 防災	昭・31	27.0		101.0	宮城県黒川郡大和町吉田 字中見山	A		155km
6	牛野	鳴瀬川	善川	ロック	かんがい	昭・41	21.4	8.0	160.1	宮城県黒川郡大衡村大瓜 字牛野	B	⑤上流法 面中腹部	150km
7	藤但木	七北田川	七北田川	アース	かんがい	昭・22	21.6	7.0	76	宮城県泉市福岡字上藤但 木	C	①………中央～左岸 ⑦………左、右	150km
8	蛭沢	最上川	屋代川	アース	かんがい	昭・23	24.0	7.0	240.0	山形県東置賜郡高島町 蛭沢	C ①	全長	195km
9	水窪	最上川	刈安川	ロック	かんがい	昭・49	62.0	10.0	205.0	山形県米沢市大字関根	A		200km
10	川原子	阿武隈川	白石川 川原子沢	アース	かんがい	昭・43	20.0	5.4	121.0	宮城県白石市福岡字八宮	C	⑤下流法 面全域	165km
11	樽水	名取川	益田川	ロック	防災 水道	昭・52	43.0	10.0	124.0	宮城県名取市高館川上字 長畑	A		185km
12	村田	阿武隈川	荒川	アース	かんがい	建設中	37.0		182.0	宮城県柴田郡村田町足立	A		150km

○牛野ダムは昭和35年に着工し昭和48年に竣工した堤高21.4m, 堤長160m, 堤頂幅8m, 上流側, 下流側斜面勾配それぞれ3割, 2割の傾斜コア型ロックフィルダムである。このダムから震源までの距離は約145kmであり, 地震時の貯水位は堤頂から7m下った所であった。このダムは, 上流側のコア一部の上に切込み砂利を敷き, その上に約45cm×45cm程度の石で厚さ約50cmの張石を施してある。

地震によるこのダムの被害は, 上流側の堤頂から約6m下った付近でこの張石部が長さ約70mにわたって下方へ移動したことである。(写真-8)。このすべりの深さを調べる為, 張石下の砂部分を観察したところこの表面部分では比較的やわらかく, 深い所では比較的硬い感触を得た。又堤頂部に張ってあるフェンスの移動も全く見られず, 下流側においても何の異常も認められなかった。これらの事から推察するとこのすべりは表層部分のすべり出しと考えられる。

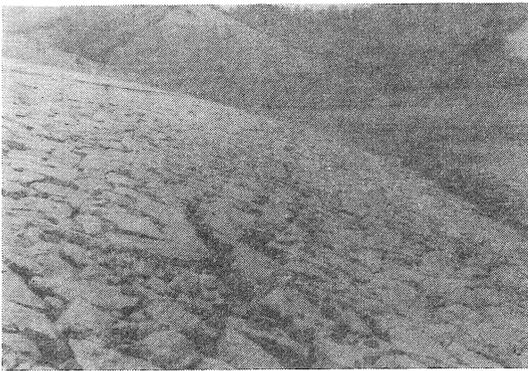


写真8 牛野ダム

○蒜但木ダムは昭和22年に竣工した堤高21.6m, 堤長76m, 堤頂幅7m, 上流, 下流側斜面勾配はそれぞれ3割2.5割の中心コア型アースダムである。このダムは現在そのすぐ下流側に建設中の七北田ダム(H=73m, L=420m)の仮締切りとしても用いており, 完成後は水没予定のダムである。このダムの震源までの距離は約150kmで, 地震時の貯水位は堤頂から4.5m程度下った所であった。又このダムの基礎部分は凝灰角礫岩である。

このダムの被害は, 図-8に示す様に, 堤頂の中央部において堤頂幅の中央部に長さ25mにわたって幅1~5cm程度の亀裂が数本見られた。さらに右岸, 左岸との取付け部においてそれぞれ4~5本ずつの亀裂(長さ1~5m, 幅0.5~1.5cm)が見受けられた。又下流側の左岸中腹部の地山との取付け部においても亀裂が見られかなり大きな被害を受けているものと思われる。

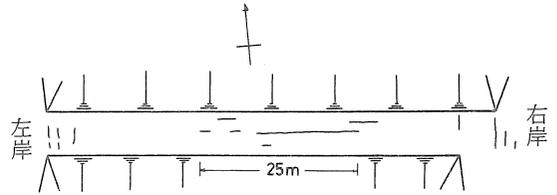


図8 蒜但木ダム天頂部クラック

○蛭沢ダムは昭和23年に竣工した堤高24m, 堤長240m 堤頂幅7mの中心コア型アースダムで, その斜面勾配は上流側2割~3割, 下流側2割~2.5割で上流側に波返しが作られている。この付近の両岸の地質は凝灰岩であり地震時の貯水はほんの僅かであった。このダムは昭和39年の新潟地震の際, 堤頂部のほぼ中心線上に巾10~15cmの亀裂が全長にわたって入り, その時にセメントミルク(50kg袋で約12,000袋)を用い注入し, 補修してある。

このダムの被害は堤頂部に上流側法肩から1.5m~3m付近にダム軸に平行してほぼ全長に亘り巾1~8mmのヘアークラックが入っていた。又右岸側, 左岸側の地山との取付け部においても地山沿いにヘアークラックが見られた。(図9)

このダム軸上の亀裂調査の為掘削した深さ約2mのピット(2ヶ所)によれば堤体内部はセメントミルクで固結しており, この部分に大きな鉛直方向の亀裂が続いていた。(写真10)

この亀裂は大きな所で巾10cmにも達しさらに下方深くまで続いている。又この亀裂はダム全長に亘って入っていると思われる。

この付近の振動状況について, ダム下流直下にある民家では余り大きな地震とは思っておらず, 家の中では物品等の倒れはなく, タンスの引出しがずれた事と掛時計が止った程度であり家屋等の被害はまったくなかったとの事である。又ダム頂左岸側にある売店ではかなり大きな振動を感じ, 特に縦振動が大きく空ビンが転がり出したとの事である。又ダムの左岸側近くにある蛭沢大橋(三径間連続合成桁)の可動支承が約2cm動いた形跡も見られた。一方このダムから約10km離れた場所に水窪ダム(堤高62m, 堤長205m, 堤頂巾10mのロックフィルダム, 昭和49年竣工)があり地震計が設置されている。この記録によればダム基盤で約10ガル, ダム頂で約70ガルの加速度記録が得られている。

これ等の事から推察すると蛭沢ダムに対する入力加速度はさほど大きなものではないがダム頂付近での応答加速度はかなり増巾されたものと考えられる。又この様な大規模な亀裂が入った他の要因として, 固結したセメント

ミルクの剛性が周囲の土の剛性よりはるかに大きく、その為固結部に応力集中が起きた事が考えられる。

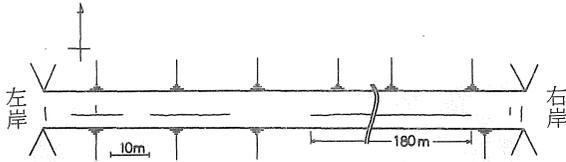


図9 蛭沢ダム堤頂部クラック

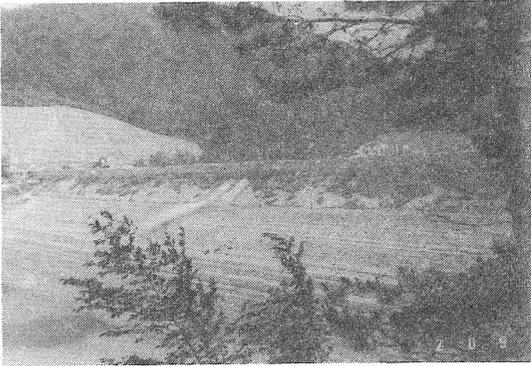


写真9 (蛭沢ダム)

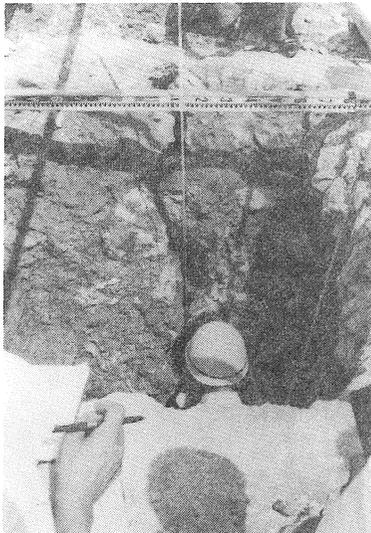


写真10 蛭沢ダム (堤体内の亀裂)

○川原子ダムは昭和43年に竣工した堤高20m、堤長121m、堤頂巾 5.4mのアースダムである。このダムの被害は下流側だけであり上流側に異常は見られなかった。すなわち下流側のり面が上から第1段目の小段迄 (高さ約8m) 一面に亘り下方へ3~40cm程度すべり出し、小段に設けられている排水路を押し出しており(写真11)、のり面全体にかなりの凹凸が発生していた。このすべりは右岸側の方が大きいがすべりは比較的浅い様である。

又左岸側にある余水吐け側面の上部にかなり高い(7~8m)石積みが施こされているがこの石がかなりずれていた。(写真12)

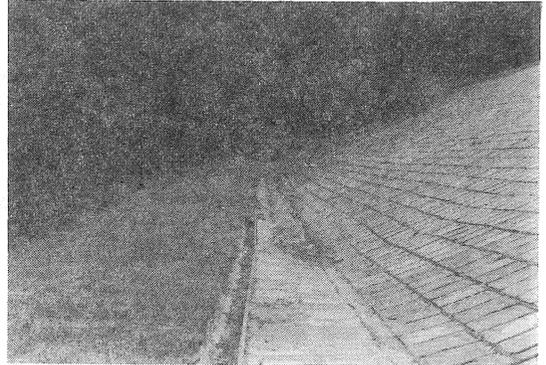


写真11 (川原子ダム)



写真12 (川原子ダム)

5. 河川堤防などの被害

北上川下流および名取川河口においては堤体の縦断方向のクラック、沈下、すべり出し、はらみ出しなどの被害が発生した。また、仙台市南東部の沿岸では地盤、水路などが液状化現象によって被害を受けた。

● 北上川下流河川堤防の被害

調査は河口約4km地点から15kmの左右両岸について行なったが、特に左岸側の被害が多く、橋浦地区から牧野巣地区に至る約4kmの範囲において被害を受けた。写真13および写真14はこの地区において見られた堤体の被害状況を示したものである。この堤防の被害は、軟弱な堤体基礎が何らかの原因で沈下しそれに伴って堤体全体が沈下したもの、堤体自体がすべり破壊を起したものの、およびその両者が同時に発生したもの、の3種類の型式によるものが大半であった。このうち、基礎の沈下と斜面すべりが同時に発生した型式による被害が一番多く見られた。また、堤体の沈下量も大きい個所では1~1.5

mにも及んでいた。なお、斜面のはらみ出し、斜面付近のふくらみ、堤頂部の縦断方向のクラックもかなり見られた。

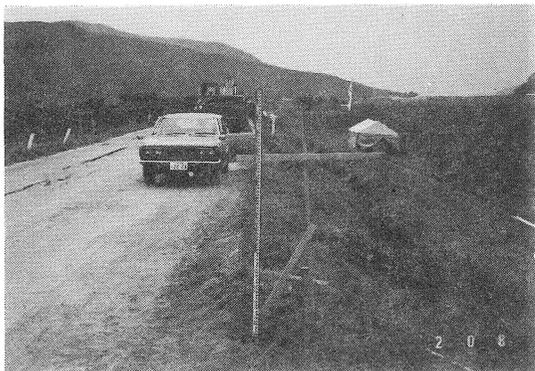


写真13 堤体の沈下 (北上川下流左岸)



写真14 堤体斜面のはらみ出し、クラック (北上川下流左岸)

● 名取川下流河川堤防の被害

調査は河口より約6kmの区間において行なった。この付近の堤防は昭和25～27年にかけて改修されたものである。

大きな被害を受けたのは河口より約4kmの区間であり尺丈島、中村地区では特に堤体の被害が大きかった。写真15は尺丈島地区(左岸)の堤体の天端に発生した縦断方向のクラックを示したものである。このクラックは天端のほぼ中央部に発生し、非常に長い区間(長い個所で約1km)にわたって見られた。写真16はこのクラック発生個所を掘削した状況を示しており、このクラックの幅は5～20cm、深さは2m以上であり鉛直に入っていることが確認された。

写真17および図10は中村地区(左岸側)における堤体の被害状況を示しており、基礎部分が沈下しそれに伴ない堤体が沈下を起したようである。この堤体の沈下量は1.5m程度であり、また堤内外地に噴砂現象が見られた。(写真18)



写真15 堤体頂部の縦断クラック (名取川右岸)

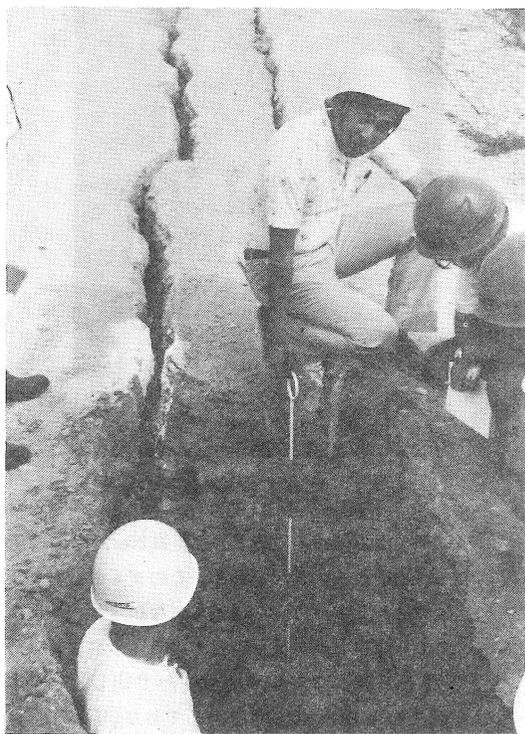


写真16 堤体内のクラックの状況 (名取川右岸)

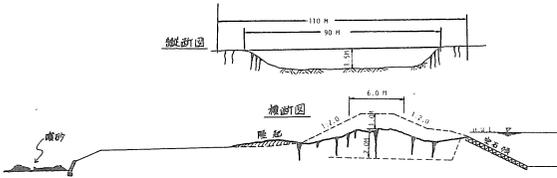


図10 堤体被害の断面図 (名取川中村地区)

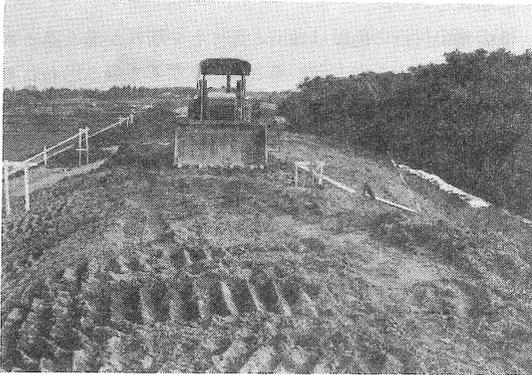


写真17 堤体の沈下及び復旧状況 (名取川河口左岸)

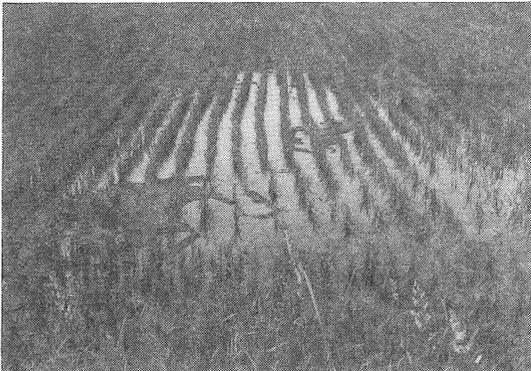


写真18 写真の地点の堤内地の填砂

上記の両河川の調査から、今回の地震における堤体の被害型式は次の4種類に分類されるようである。

- (1) 堤体天端付近に縦クラックのみ発生するもの
- (2) 基礎部分が何らかの原因によって破壊し、それに伴ない堤体が沈下したもの
- (3) 堤体自体がすべり破壊を起したのもの
- (4) (2)と(3)が組合わさって破壊したもの

● 海岸付近の被害

調査は亶理郡亶理町から宮城郡七ツ浜に至る沿岸について行なった。

名取川河口ではコンクリート製防波堤のクラック、はらみ出し、岸壁(閑上港)の著しい変形などが見られた。

阿武隈川河口にある新浜水門では堤体およびコンクリート製護岸の沈下、クラックなどが見られた(特に、水門との接合部)。

田原、川前上地区および閑上大橋基礎付近、亶理町荒浜、鳥の海、貞土堀幹線水路などでは液状化現象が観察された。特に、荒浜、鳥の海では、浄化槽、コンクリート製便所の浮上、沈下、プールの底の浮上(約15cm、およびグラウンドのきれつ、噴砂などが見られた(写真19および写真20、写真20は地震が終ってから数分後に撮影した民家の庭に発生した噴水の様子である)。

これらの地域の地質は第4紀沖積世に属し、軟弱な粘土層、砂層からなっており、N値もほとんど10以下であることから(文献2)、今回の地震においては液状化の可能性が十分考えられる。図11および図12は上記の地点から採取した砂の粒度分布および振動三軸試験より求めたこれらの砂の液状化試験の結果である。これらの砂は比較的均等な中砂であり、相対密度が20~25%の範囲にあるという報告(文献3)等を総合すると液状化に対する低抗力は比較的小さく、小さな規模の地震においても液状化するものと考えられる。

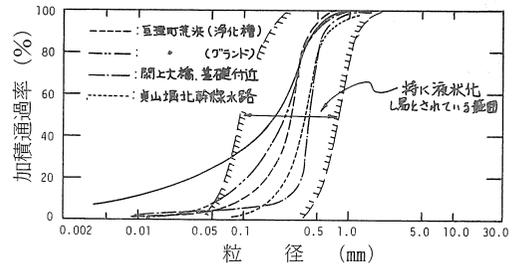


図11 液状化した砂の粒度曲線

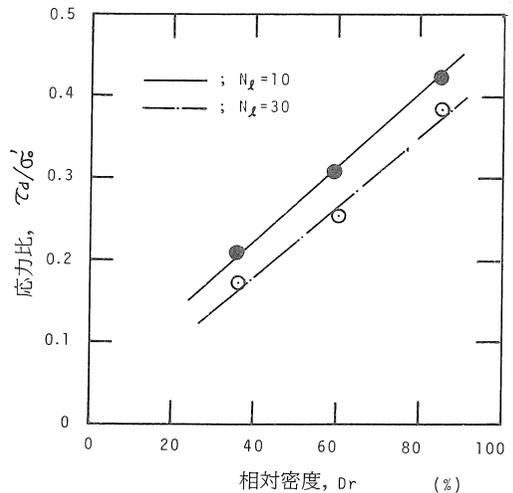


図12 液状化した砂の応力比と密度の関係

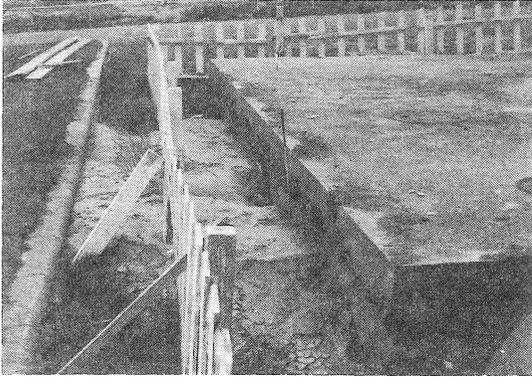


写真19 浄化槽の浮上および下層からの填砂
(亙理町荒浜)



写真20 民家の庭に発生した填砂、噴水
(荒浜字隔崎, 菊地氏提供)

6 被害の分類と検討

○溜池の堰堤、フィルダム、河川堤防等の調査結果を総合してみるとこの種の盛土構造物の被害形式は概ね以下の6種類に分類する事が出来る。(図13)

- (1) 堤頂部のみに亀裂が発生しているもの
- (2) 堤頂及び堤頂付近の斜面部に亀裂が発生しているもの
- (3) 斜面中腹部あるいはこれより下部に亀裂が発生しているもの
- (4) 斜面全体に亀裂が発生し、堤体全体が沈下を起こしているもの
- (5) 堤体と地山との取り付け部付近に横断方向の亀裂が発生しているもの
- (6) 斜面保護工(石張り、コンクリートブロック張り等)がずれ落ちているもの

これ等(1)~(6)までの被害形式を基礎地盤および築堤材料の面から以下のように考える事が出来る。

(1), (2)の形は基礎地盤の支持力が比較的大きい場合(N

≥20と推定)であり、又盛土部の締固めは(2)より(1)の方が良好の様である。

(3), (4)の形は基礎地盤が比較的軟弱な場合に見られる様であり、(3)の形は堤体中央部とのり先付近では載荷荷重が異なり、この為剛性の相違が生じこれにより位相差が生じるものと考えられる。又(4)の形は解析結果からも見られる様に地震時に間隙水圧が上昇し剛性が低下する為と考えられる。

(5)の地山付近の亀裂は地山と堤体とで剛性が違う為とさらに地震波の入力方向が異なる為に生ずるものと思われる。

(6)の斜面保護工のずれは拘束圧の低い盛土表面のせん断強度の低下によるものと考えられる。

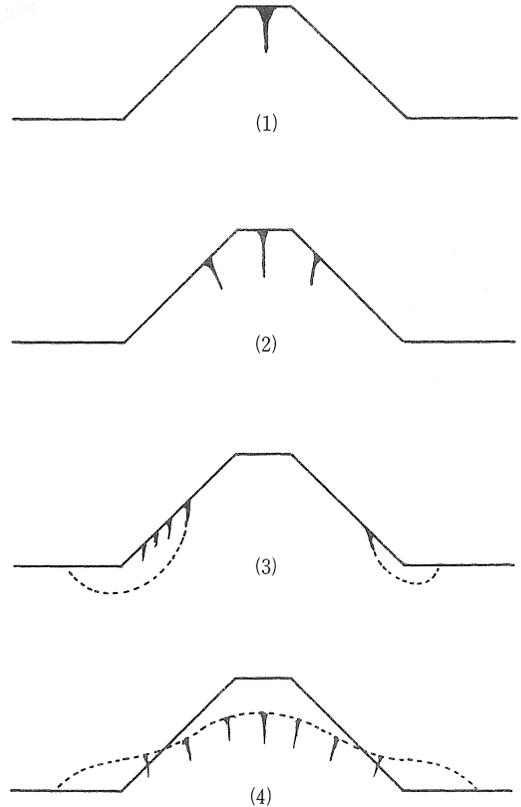


図13 盛土の被害形式

○亀裂とすべりとの関係

溜池の堰堤、道路、河川堤防が比較的軟弱な基礎地盤上にある場合に見られる上記(3), (4)の亀裂は堤体のせん断破壊に直接関係がある様である。しかし、(1), (2)についてはこれがせん断破壊につながるのか、あるいは単に亀裂だけなのか明瞭ではない。静的条件下におけるこの種の形の亀裂(鉛直方向)は土の粘着力の発揮によって生ずる。しかしこの場合の亀裂は粘着力の発揮によるも

のと云うよりむしろ他の外力的な条件を考えた方が妥当であろう。例えば

- (1) 地震時に堤体内に引張りとは圧縮現象が生じた。
- (2) 堤体が軸方向に圧縮力を受けた。

等である。(2)についてはその可能性は極めて少ない様であるが、(1)に関しては、伊坂ダム、山村ダムあるいは大型模型実験等で圧縮、引張り現象が生じている事が確認されている。そして模型実験によれば粘性土の場合、圧縮、引張りひずみが 10^{-3} 、砂質上の場合には 10^{-2} になると破壊するが確かめられている。しかしこの種の圧縮、引張りの繰返し現象は現在行っている解析方法では明瞭に現れてこないで、さらにこの種の検討を行なう必要があると考えられる。

7 謝 辞

今回、宮城県沖地震の被害調査を実施するに当たり、地震直後で大変な御多忙にもかかわらず貴重な時間を割き種々の御便宜を計って頂いた建設省東北地方建設局並びに各工事事務所の方々、農林省東北農政局並びに各事業所の方々、宮城県、山形県の各工事事務所の方々、仙台市を初めとする各市町村の方々等多くの関係機関各部署の方々に心より御礼申し上げます。又小川喜信（愛知工大研究生）小嶋寿磨（愛知工大大学院生）両君の全面的な協力で感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 仙台管区気象台；1978年宮城県沖地震に関する地震津波速報
- (2) 土木学会東北支部1978年宮城県沖地震調査委員会；1978年宮城県沖地震報告，土木学会誌12月号，56—70，1978，
- (3) 河上房義，浅田秋江，柳沢栄司；宮城県沖地震における盛土の被害，土質工学会誌，土と基礎，Vol.26，No.12，25—31，1978，