

(53) 震害からみたフィルダムの耐震性について

東京大学生産技術研究所 田村 重四郎

1 緒言 フィルダム特にアースダムの震害については、今までに幾つかの報告と検討が行われて来た。ここでは設計の諸規定が適用される高さ15m以上のアースダムについて、変状又は被害の記録が比較的明らかなに残っている昭和20年頃より以後発生した大きな地震で、震度Ⅴ又はそれ前後以上の震度の地域にあり、アースダムの震害を検討したので報告する。ダムの資料はダム総覧などの文献、(財)ダム技術センター、農林省構造改善局、大分県、長野県、新潟県等の諸機関から、又地震の震度分布については気象庁から資料の提供を受けた。誤謬は全て著者の不明によるものであり、御海容を願いたい。

2 震害 以下の地震毎にアースダムの震害を記述する。

イ. 福井地震 ($M=7.3$, 震源深さ20km—以下 $h=20$ と記す, 1948年)

震央距離28kmで震度Ⅴの領域にあり、大武周湖ダム(堤高20.3m, 大正9年竣工)には被害はなかった。被害が狭い地域に限られているので、1978年伊豆大島近海地震の記録により最大加速度を推定すれば、岩盤上で150ガル以上あり、大もののみみられる。本ダムは越前沖地震($M=6.9$, $h=0$, 1963年)の際震央距離37kmで無被害であった。

ロ. 吉野地震 ($M=7.0$, $h=70$, 1952年)

図-1には震央より半径約25km以内のダムの位置を示してある。震央距離14km以内の大谷下池(堤高15m, 約150年前完成)、新池(堤高15m, 約150年前完成)、平田池(堤高18m, 江戸時代)、タキノ谷池(堤高15.5m, 約150年前完成)、本郷溜池(堤高22.3m, 昭和10年竣工)、瓦堂池(堤高15.3m, 約150年前完成)、大池(堤高17.1m, 約300年前完成)の7つのダムがある。地震の深さは70kmと深く、被害は奈良、大阪、京都、滋賀、兵庫等の各府県に亘って発生した。奈良市では、石灯籠の倒壊したものが多かったので、当該地域では震度Ⅴの地震動があり、大ものと推測される。被害は報告されていない。

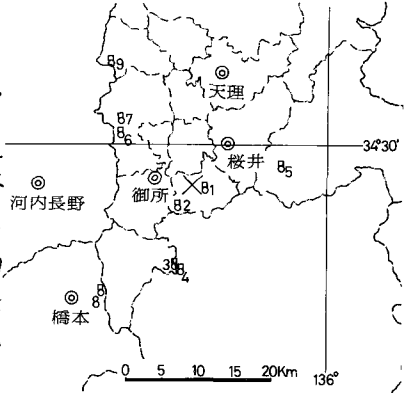


図-1 ダム位置図(吉野地震、 $M=7.0$, 1952)

ハ. 北美濃地震 ($M=7.0$, $h=0$ km, 1961年)

震央距離19kmに高真ダム(堤高23.0m, 大正9年竣工)があり、被害は報告されていない。御母衣ダム(ロックフィルダム)は略同じ震央距離にあり、無被害であった。

ニ. 新潟地震 ($M=7.5$, $h=40$ km, 1964年)

図-4は、佐渡に建設されているアースダムも含めて震央距離120km以内にある51つのダムの震央距離と堤高を示し、図中●印は変状又は被害のあるダムである。高いダムは、新穂ダム(堤高31.5m, 昭和34年竣工)、関柴ダム(堤高30.0m, 昭和34年竣工)で、他はほとんど15~20mの高さである。この地震では全部で51個のアースダムに変状又は被害が発生しているが、この範囲では51つのダムの内9つに変状又は被害の報告がある。

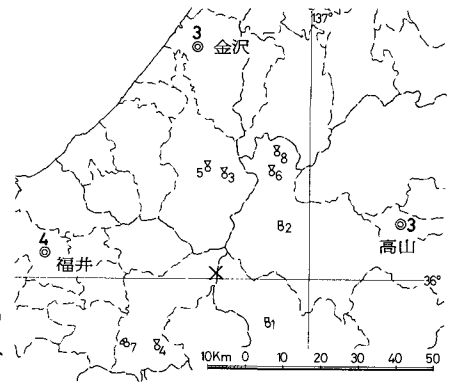


図-2 ダム位置図(北美濃地震、 $M=7.0$, 1961)

新潟地震の際の農業用ダムの震害については、可成り詳細な統計的研究がある。ここでは9つの被害について検討を加えてみる。表-1は震央距離及び竣工年代でダムを分類したものである。表中A-Iは変状又は被害のあるダムを示し、()内の数字はその個数で内数である。★印は施工期間が10年以上にわたっているダムの個数を示す。

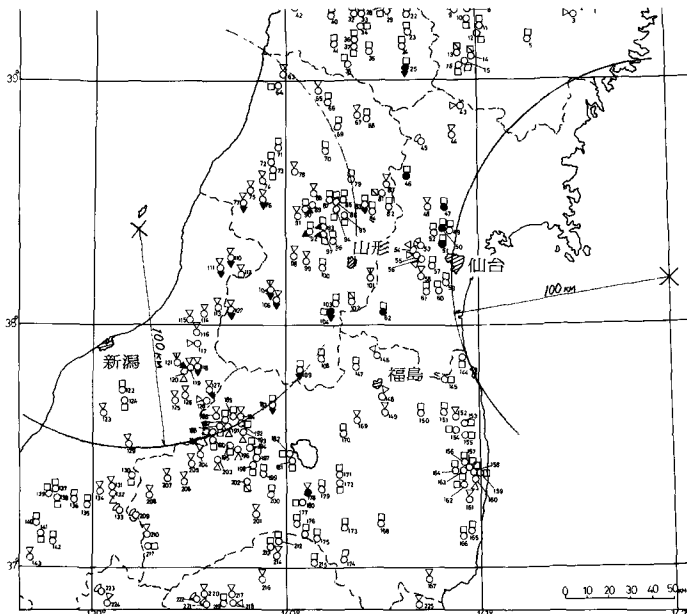


図-3 ダム位置図 (新潟地震、M=7.5、1964)
(宮城県沖地震、M=7.4、1978)

す。ただし明治またはそれ以前については明らかではない。

A-Iの内、堤体に縦亀裂(最大幅10cm以下)が発生したのはA,B,C,E,F,Iの6個であり、この内Eを除く5個は竣工年代が昭和21~30年であり、更にA,F,Iが昭和10年又は昭和18年に着工し、10~14年間にわたり、可能な限りで戦中、戦後を通し施工を完成したダムである。D,F,Gは余水吐の亀裂、下流のり尾のパンピングの発生、下流面での洪水等であり、前記の6ヶ所は性状が異なり、異なる。

より詳細な検討を要するが、この表は新潟地震ではダムの耐震性が完成年代(施工年代)に強くかかわり、異なることを示すものと考えられる。

ホ. 松代群発地震

昭和40年から2年余続いた松代地震では、長野市街の中心より南5kmの点を中心、半径約5kmの範囲が震度Ⅳとなり、異なる。中心より半径約25kmの範囲に、小山田(堤高15.0m、竣工年不明)、三念沢池(堤高15m、昭和9年竣工)、塩之入(堤高18.0m、昭和14年竣工)、大池(堤高16.0m、昭和2年竣工)の15m級のダムがそれぞれ中心より9km、15km、23km、29kmの所にある。余水吐の変状、漏水量の僅かな増水等の変状の他、被害は報告されてない。

ヘ. 1968年十勝沖地震(M=7.9、L=20km)

青森県下の小川原沼、下北半島から陸奥湾に沿う地域に農業用のダムが多数被災した。堤高15m以上では小金沢(堤高20m、昭和13年竣工)および田の沢(堤高20.3m、大正15年竣工)の2つのダムである。前者は上、下流のり面勾配はそれぞれ1:3.0、1:2.6、後者は上流のり面の勾配は1:2.0であり下流のり面勾配は1:2.5であり、いずれも中央コア型であり、いずれも震度Ⅳの領域内にある。小金沢ダムは縦亀裂が堤頂および上流のり面に発生し、上流面での規模は滑動があり、田の沢ダムでは堤頂が約1m沈下し、堤頂に縦亀裂が発生し、上流のり面の上半部分が滑動し

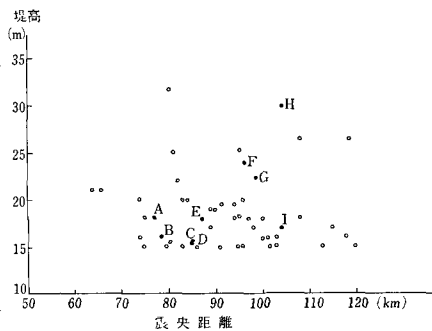


図-4 新潟地震におけるアースダムの震央距離と堤高

表-1

竣工年代	余震域中心からの距離 (km)			小計
	64~80	81~100	101~120	
明治またはそれ以前	4	7	2	13
大正	1	1	1	3
昭和 ~10	2	(1:E)	5	14 (1)
昭和 11~20	1	(4 G)	0	5 (1)
昭和 21~30	(2:A,B)	(8* C,D,F)	(1*I)	11*** (6)
昭和 31~39	1	—	(4 H)	5 (1)
合計	11* (2)	27* (5)	13* (2)	51*** (9)

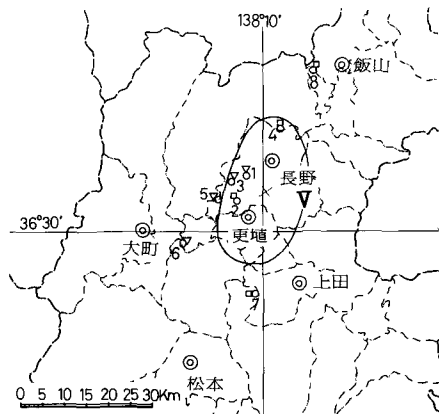


図-5 ダム位置図 (松代群発地震、1965-1967)

ク。地震直前の4日以内は青森県東部を主体に100~211mmの記録的豪雨があり、ダムはほぼ満水の状態にあった。堤体盛土材料は火山灰質の砂質ロームで粘着性が低く高含水比の構造を有している。

ト。岐阜県中部の地震(M=6.6, $\ell=0$ km, 1969年)

本地震では震央距離21kmの篠真ダム(堤高23.0m, 大正9年竣工)があり、被害は報告されていない。ダムサイトは、震度IVの地域にある。

チ。秋田県東南部の地震(M=6.2, $\ell=0$, 1970年)

この地震では、震央より12~13kmの相野ダム(堤高40.8m, 昭和36年竣工)が建設されている。このダムは円弧可なり面法で耐震設計されている。設計震度は0.15である。ダムサイトでは、岩盤上で200~250ガル程度の最大加速度があり、そのとみられる。地震により、堤頂でパラペットに沿って長さ約30mの軽微な亀裂が発生した。この亀裂には、上流面の頂部でほぼ鉛直に作られた高さ約4mの石積みの波返し部分の挙動が関連しているものと推測される。

震央距離がそれぞれ12km, 14km, 18km, 20km, 20km, 23kmの倉狩沢(堤高16.0m, 昭和26年竣工), 馬鞍(堤高24.0m, 昭和7年竣工), 熊ノ堂(堤高17.0m, 昭和24年竣工), 衣川1号(堤高35.5m, 昭和39年竣工), 明永(堤高21.8m, 昭和11年竣工)の各ダムがあり、被害は報告されていない。

リ。1975年大分県中部地震(M=6.4, $\ell=0$)

この地震では山地下部ダム(堤高18.2m, 大正7年竣工)が本震より3~4kmの所にあり、(震度VI)激しい地震動を受け被災した。このダムは安山岩角礫凝灰岩の風化土で築造された中央壁型アースダムで、上流のり面勾配は頂部約2mが1:1.2、その下は1:3とあり、下流は1:2とあり、この地震により上流側のり面頂部の1:1の急傾斜部が破壊し、コンクリートフェーシングに亀裂が生じ、堤頂の中央部から左岸にかけて縦亀裂、右岸取付部近くに横断亀裂がそれぞれ発生し、下流のり面及びり尻の道路と左岸地山内に亀裂が生じた。亀裂幅は数mmから20mmで深さは20~30cmかほとんど、深いものでは1mのものもある。地震後調査の結果、亀裂はダム内部では達していないことがわかった。地震前日30~40mmの降雨があり、ダムは満水状態にあり、このため、震度4.5以上の範囲には苜川(堤高15m, 昭和28年竣工), 尾土(堤高18m, 江戸時代)の各ダムがあり、被害は報告されていない。

ヌ。1978年宮城県沖地震(M=7.4, $\ell=40$)

余震域中心を東経142°00', 北緯38°15'とすると、これより100km以内には堤高15m以上のダムが建設されていない。アースダムについては、101~125kmの堤高15~37.0mのダムが14個、126~150kmの堤高15~35.5mのダムが21個建設されているが、これらの範囲ではそれぞれ2個のダムで堤体に変状が生じたのみであり、被害は発生した

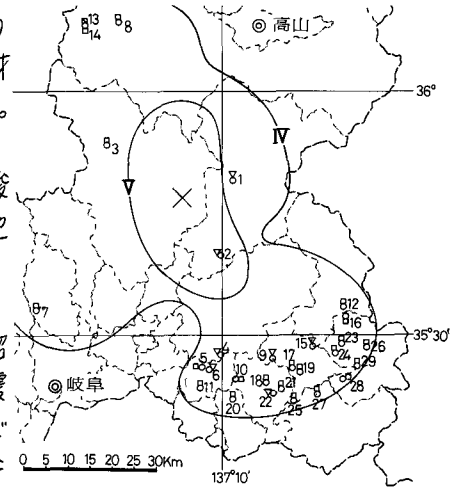


図-6 ダム位置図(岐阜県中部の地震、M=6.6, 1969)

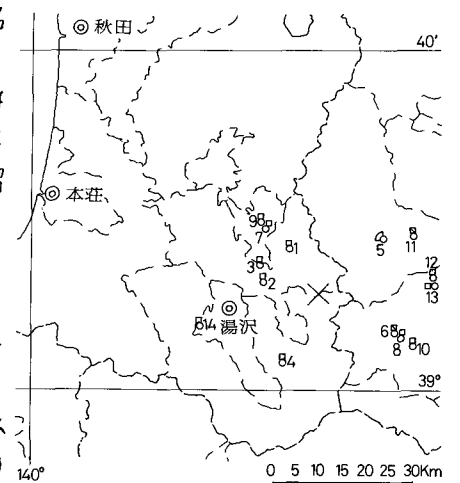


図-7 ダム位置図(秋田県東南部の地震、M=6.2, 1970)

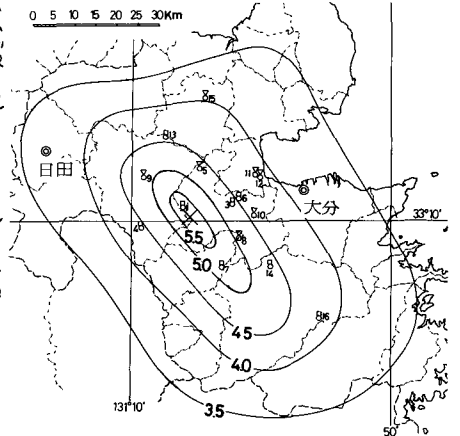


図-8 ダム位置図(大分県中部地震、M=6.4, 1975)

のは、156kmの位置にある陸沢ダム(堤高24.2m,昭和23年竣工)の1個だけである。このダムは堤頂長のほぼ全長にわたり縦亀裂を生じた。ちなみに新潟地震においても被災している。

ル. 海外の震害例

サンフェルナド地震(アメリカ, $M=6.6$, $L=13km$, 1971年)の際、3個のダムが余震域中心より10km足らずのところにあり、内2つのダムが被害を受けたのほく知られている。San Fernando-Lowerダムは堤高43m, 1912年に着工、水締め工法で高さ約29mまで築造し、1915年から使用を開始している。1929年から1930年に高さ43mまで通常の盛立2によりかさ上げし、1940年に下流側に盛土・転圧施工を実施して補強している。基礎は河成堆積層で10mで岩盤に達している。地震により下流のり面の上部より上流側へ滑動した。1930年にも地震によ

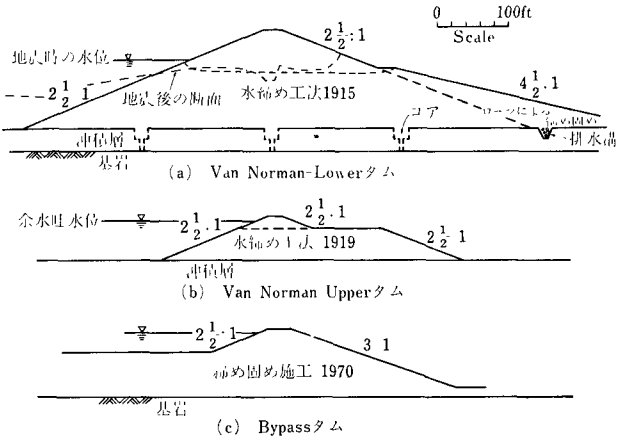


図-9 サンフェルナドダム

って軽微な被害を受けているといわれる。San Fernando-Upperダムは1919~1921年にかけて築造された高さ18mのダムである。下部33mは水締め工法で築造され、頂部5mは通常の盛立2施工とした。Lowerダムと酷似しているが、図-9に示すような断面形状がかなり異なり、異なる。基礎は前者と同様に河成堆積層である。この地震により堤体は0.9m沈下し、上部は下流側へ約1.5m移動した。亀裂が入った段状を呈した上流のり面は地震後削り取られ、貯水水位を下げた使用された。これらのダムのほぼ中間にBypassダムが建設されている。このダムは高さ約27m, 上下流のり面ともアスファルトセーキングされた均一型のアースダムで、岩盤(砂岩, 頁岩)上に最近のcompaction工法により1970年に築造されている。この地震で、ダムの中央部で約12cm沈下し、アスファルトセーキングに横断亀裂が1本発生したのみで堤体内には異状はなかった。Lowerダムに設置されたSeismoscopeはステールアウトした。また地盤で最大加速度は350~400ガルに達したとの推定があり、この地域で非常に強い地震動があったとわかる。

Lowerダムの被害の調査・解析の結果では、堤体材料の液状化によるもの見解が出されているが、通常の円弧可べり面の方法によるもの説明もできるという報告もある。1910年代はまだ耐震性が特にとり上げられてはいない時代であり、被災した2つのダムは耐震設計はされておらず、後の耐震性が検討されたといわれている。最新の設計と工法で建設されたBypassダムが「高い耐震性を示したことは重要である。これらのダムの地震震央距離25km以内にある、堤高22~37mで1923~1953年の間に竣工した4個のRolled Fill2施工したダムは大きな被害はなかった。被害を受けたのは水締め工法によるダムのみであった。

その他中国唐山地震 ($M=7.8$, $L=12\sim16$, 1976年) は震央距離約20kmの陸河ダム(堤高22m, 1956年竣工)が著しい震害を受けた。これは砂質粘土で築造された均一型ダムで、基礎は8~10mの砂質粘土、10~12mの細砂層、その下は砂礫層と続き地表より約200mで岩盤に達している。建設当時一般には単なる車輛の走行、人カによる締め固めが行われていた。最も深い亀裂は細砂層にまで達していることが分っている。基礎地盤の液状化、堤体の液状化が震害の主な原因であるという解析の報告がある。

まとめ 震央近くにある、強い地震動を受けた、サンフェルナドの3つのダム、相野々ダム、山下ダム、陸河ダムなどの中には最近の技術により築造されたダムが含まれていて、ダムの耐震性の評価の上にも重要な資料を与えている。現状の堤高の範囲では、現在のダム技術に基いて、基礎の地震時の安定、堤体材料、耐震設計施工方法に充分な留意が払われるならば高い耐震性が得られるものと考えられる。この報告で、「1975年大分県中部地震による被害」(土木学会誌)など多くの文献を引用。参考にさせて頂いた。記して謝意を表します。