

生産技術研究所 正員 田村重四郎

正員○韓國城

正員 加藤 勝行

正員 酒井 清武

1. 前書

フィルダムは古くからあるダムの形式であるが、その耐震性についてはまだ十分に明らかにされていない。特にロックフィルダムはその歴史が浅く、震災の例が少ないので従来の安定性の検討方法の妥当性を驗するにはまだ実際の十分な経験を持っておらず、研究方法に関しても材料の動的特性、計算モデル、模型実験方法等にいろいろな問題が残っている。ロックフィルダムは、コンクリートダムと異なって大きい粒子で積んだ構造物で微観的にみれば連続体ではない。このような構造物に対してはどのような概念に基づいて地震時の安定を評価するかが問題である。この為大型模型で実物の特性を再現し、破壊機構を調べるのは一つの有益な方法と思われる。著者等はこの立場で以前から大型ロックフィルダム模型の振動破壊実験を行なっている。本研究では模型の一次固有振動数を含めた広い範囲内で行なった模型実験の結果の一部について報告する。

2. 模型及び実験方法

模型の寸法及び測定計器の配置は図-1に示す。実験は粒径2~6cmの玉砂利で均一型ロックフィルダムを大型振動台上に築造して、締め固めない

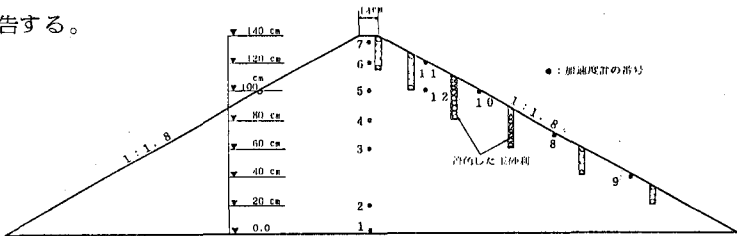


图-1

状態で振動実験を行なった。模型の特性と破壊状態を調べるため、抵抗線型加速度計を堤体内部と法面表面に設置した外、着色したロック材を堤体法面表面と内部に線状または棒状に設置した。実験は入力加速度の大きさを固定し振動数を変化させて模型の共振曲線を求め、正弦波又はランダム波を入力させて模型の破壊状態を調べた。実験結果より、模型の動的特性及び振動数と破壊状態、破壊加速度の関係を検討する。

3. 模型の動特性

A. 入力加速度と固有振動数

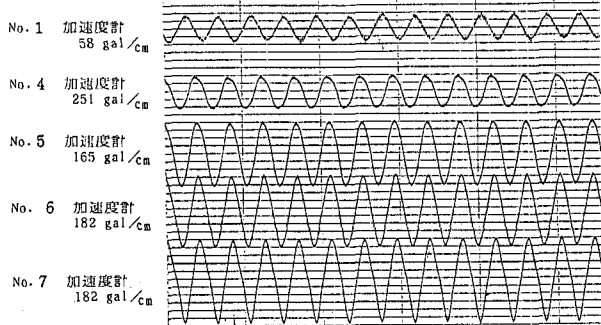


图-2

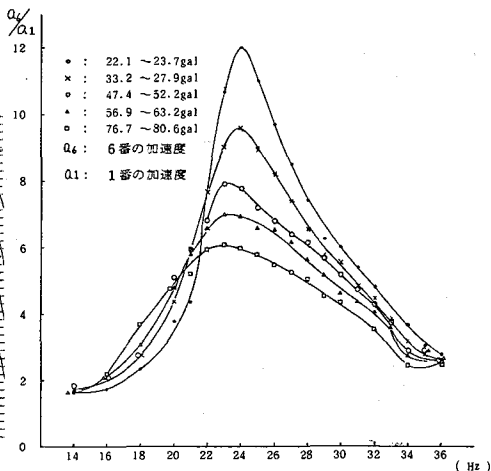


图-3

図-2は共振時の各位置の加速度計の波形の一例で、図-3は、得られた共振曲線である。図-3に示す通り、固有振動数が入力加速度の増加によって多少減少する傾向がある。即ち入力加速度が23.7ガルから96.5ガルに増加した場合、24 Hz から23 Hz に減少している。この場合入力加速度に対するダ

ム天端の加速度の増幅率は14.07から6.38に減じている。固有振動数の変化をこの増幅率の変化に対応して考えた場合、固有振動数の変化は可成り小さい値となっている。

B. 入力加速度と堤頂倍率

共振時の模型堤頂の

倍率は入力加速度の増加と共に減少している。

(図-3参照) 入力
が23.7ガルから
96.5ガルに増える
と、その倍率は23.7
ガル時の約半分になる。

図-4は共振時の入
力加速度と各測定点に
おける倍率の関係を示
している。今までロッ

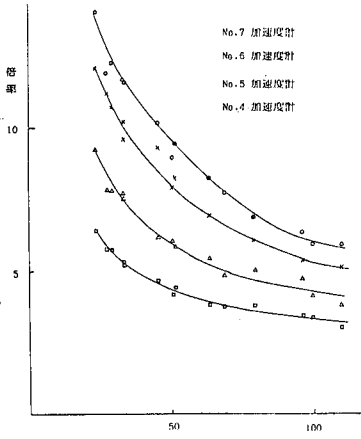


図-4

クフィルダム地震観測で得られた岩盤最大加速度と堤頂最大加速度の関係を図-5に示してある。ここでAダムについては同じ入力に対する複数の倍率の平均値をとってある。図-4と図-5を直接比べることは出来ないが、入力加速度の増加に伴って堤頂の増幅率が低下する傾向が両者で定性的に一致しているのが認められる。

図-4は模型内部各点の共振時の加速度応答であるが、それぞれの曲線の形は良く似ている。入力が小さい範囲では入力加速度の増加に従って比較的急激に倍率が減少するが、入力が大きくなるとともに減少の割合は次第に小さくなってくる。入力加速度が100ガル以上になると増幅率の入力による変化はほとんどなくなっている。

このことについても実物ダムの強震観測によって得られている結果と定性的によく合っていると言うことが出来る。

C. 入力加速度と減衰係数

実験で得られた共振曲線から粘性減衰を想定して求めた模型の減衰定数と入力加速度の関係を図-6に示してある。図-6を概観すれば模型の減衰定数は入力の増加と共に増加し、実験の加速度の範囲においては入力加速度と減衰定数とはほぼ線形の関係にあることが分かる。しかし詳細にみた場合、これらの数値の分布は入力加速度の値によってある規

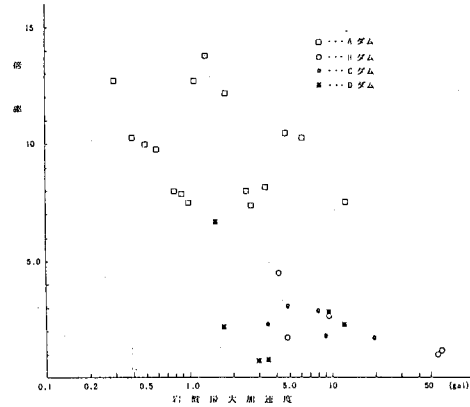


図-5

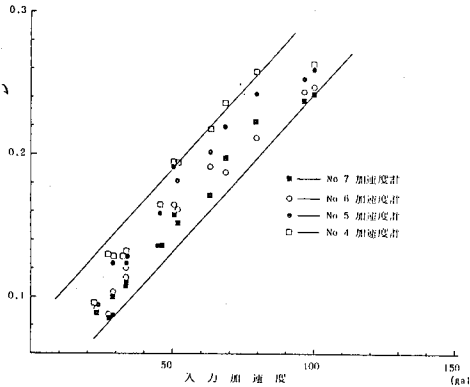


図-6

則性をもっていることが認められる。入力加速度が20~30ガルの範囲では減衰定数(h)は二本の直線の間で下側の直線の近くにあり、しかも測点の位置によりそれ程変らないが、加速度が60~90ガルになると一定の規則性をもって変化し、しかもその変化の度合が大きくなり、100ガルに達するとすべ

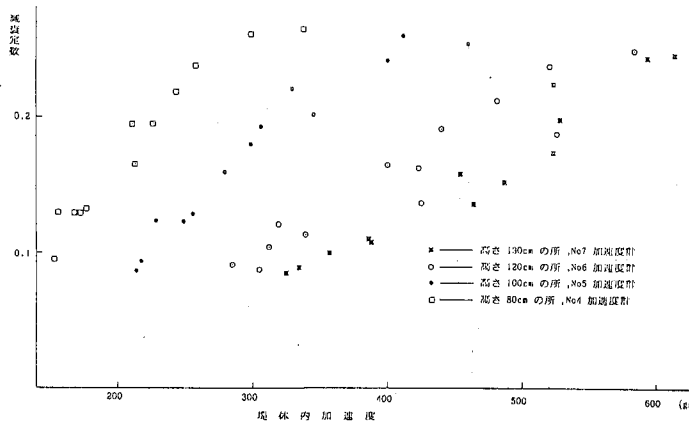


図-7

ての測点の h がほとんど同じ値をとり、下側の直線にはりつく様になっている。又すべての実験でNO. 4測定における h が他の測点に比べて大きい値を示しており、この傾向は60～90ガルにおいて最も強くあらわれている。換言すれば入力加速度レベルが低い場合は堤体全体が一定の小さい h をもっている様に挙動し、60～90ガルでは堤体中の中位の高さで最も大きな h を又天端に近づくに従って h が減少していること、100ガル程度のレベルでは堤体全体が一定の大きい h をもつ様になっている。又減衰定数と各点の加速度の関係は図-7に示したように応答加速度の値が一定でも減衰定数は測点によって顕著な差がある。図-6と図-7に示された h の分布上の特性を併せ考えた場合、堤体内各点の加速度レベルとその分布が堤体の減衰に重要な役割を果していることが推定される。このことより実験では模型内部の減衰に影響をあたえる主なパラメーターとして入力加速度レベルを挙げる事が出来ると考えられる。

以上減衰の関係を考察すると、前に述べたように共振時の増幅率は入力加速度によって低下するが、減衰定数はこれと逆に入力加速度の増加によって大きくなる。すなわち増幅率の減少は減衰定数の増加が原因の一つと考えられる。

4. 模型の破壊特性

A. 破壊過程

実験は5 HZ、8 HZ、14 HZ、20 HZの加振振動数で行ない、破壊過程を記録・視察の結果、すべての振動数で振動台の加速度の増加と共に、イ) 不安定な状態にあった法面表面の玉砂利が転落して安定な位置におさまる、ロ) 表面の石が数個づつ回転しながら法面をすべり出し堤頂の沈下が始まる、ハ) 法面表面特に堤頂近辺が雪崩状に崩壊する。これらの現象は著者らがさきに振動数2 HZで行なった実験にも認められたものであり、この範囲の加振振動数の実験では破壊過程に差異がほとんどないことがわかる。

B. 振動数と破壊状態

図-8、9は実験後の破壊状態を示している。破線は変状の発生した境界線である。図-8は5 HZの振動

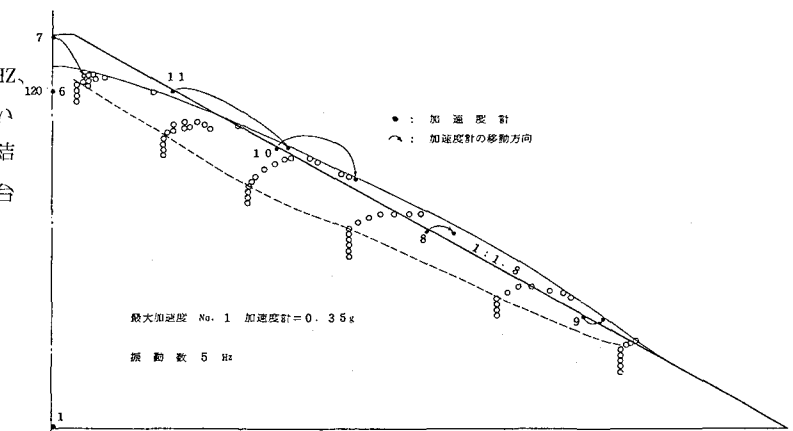


図-8

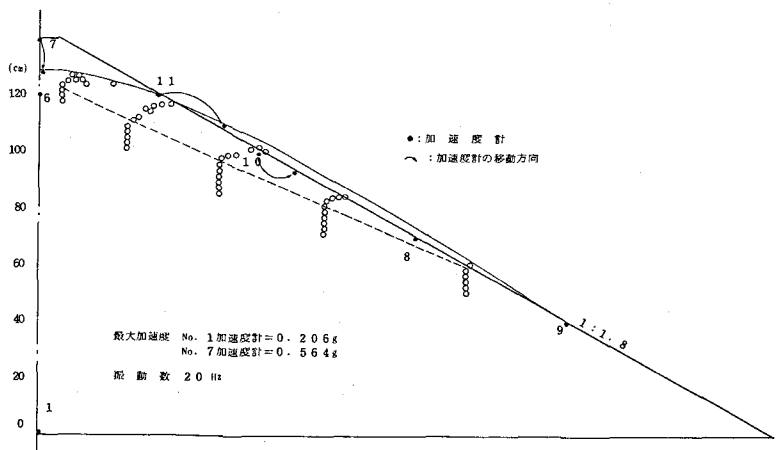


図-9

破壊状態で、さきに行なった振動数2 HZの時と類似している。図-9は20 HZの振動破壊状態で5 HZの時と異なった形をしている。5 HZの場合破線はほぼ円弧に近い型をして、法面こう配全体にわたって玉砂利が移動しているが、固有振動数に近い20 HZの場合は堤頂およびその近くの法面だけ沈下・移動し、法尻近傍はあまり変形しない。この場合の破線は傾斜角度のゆるい直線に近い形をとっている。

5 Hzの場合、加振振動数が模型の固有振動数に比べて、かなり低いため模型内部の加速度はほとんど同じである。しかし固有振動数に近い20 Hzの場合、堤体内部の加速度分布は図-10に示したように堤頂に近づくほど大きくなっていて、これが振動数によって破壊状態が異なる主な原因であろう。

C. 振動数と破壊加速度

破壊加速度については特に定義されていないが、ここでは前述のハ)の状態を破壊とみなし、この状態が発生した時の振動台加速度および堤体天端近傍で観測された加速度を夫々破壊時振動台加速度、破壊時天端加速度とした。振動数と破壊加速度の関係は図-11に示す。振動数が2~5 Hzの時、破壊加速度は堤体内部各点についてほぼ同じであるが、8 Hz以上になると破壊時の堤体内部の加速度は次第にばらつきが大きくなる。破壊時振動台加速度は振動数の増加と共に低下し、320ガル(5 Hz)位から196ガル(20 Hz)位に減少してくる。但し、天端部分は振動数の増加と共に破壊加速

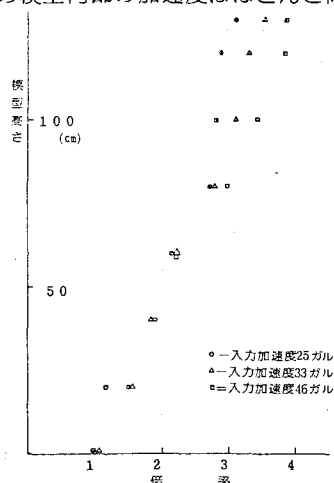


図-10 20 Hz時の加速度分布

度の高くなる。この様な傾向が顕著な点は図-11に示したようにNO. 7、NO. 6、NO. 5、NO. 11である。またNO. 8の加速度計の値は振動数によってほとんど変

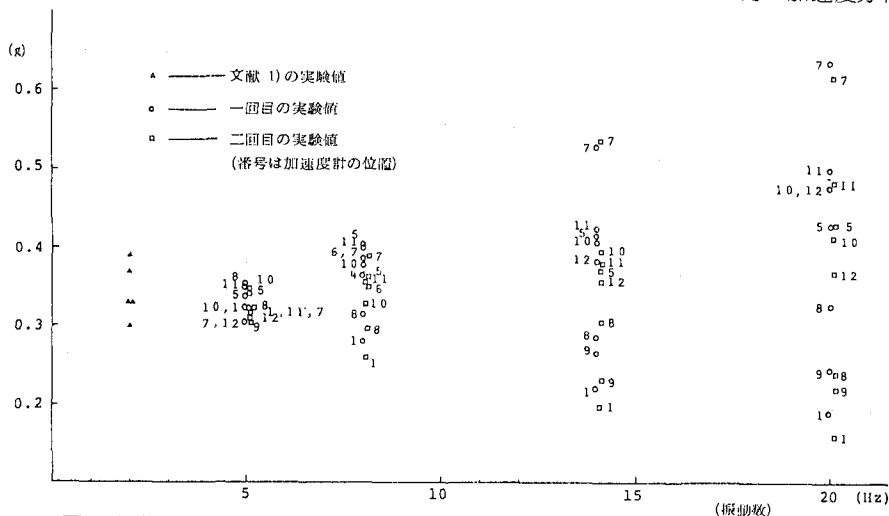


図-11

らない、すなわち5 Hz以下の振動数では、天端近傍の測点加速度値が320ガル以上になるとハ)の状態になり、玉砂利がすべり出すが、20 Hzの場合は同じ天端近辺の測定点ではこの加速度では破壊しないし、それぞれ500~600ガル以上にならないとハ)の状態にはならない。

以上は共振状態を含めた振動破壊実験結果を減衰性を主眼に検討した成果をのべたものであり、現在更に研究を進めている。模型の振動モード等については別に報告する予定である。

参考文献

1. 田村重四郎、岡本瞬三等：ロックフィルダムの模型の振動破壊実験による動的破壊機構の研究 第四回日本地震工学シンポジウム(1975年)講演会
2. 田村重四郎：ロックフィルダム模型の振動破壊実験について、大ダム・1975年9月
3. 馬場恭平：ロックフィルダムの地震観測、大ダム NO. 72 / 1975
4. 丹羽武彦：喜撰山ダムの動的挙動について、大ダム NO. 72 / 1975年
5. 岡本瞬三：耐震工学 昭和46年オーム社
6. 畑野 正、渡辺啓行：アースダムの震動解析 土木学会論文報告集 NO. 164 / 1964年