

ロックフィルダムの模型振動破壊実験について

埼玉大学 理工学部 岡本 舜三
東京大学生産技術研究所 ○田村 重四郎
加藤 勝行

1. 緒言

ロックフィルダムは天然の土石で築造されるため、地震力に対する抵抗の考へ方がコンクリートダムの場合と異っている。堤体と構成する個々の岩石塊の強度とは別に斜面の安定と云う立場から耐震性が評価される。

近年幾つかのロックフィルダムで地震観測が実施されたり、振動実験が行われ、又一方では数値解析が進められ、次第に地震時の挙動が明かになって来た。しかしながら、ダムの地震時の強度、破壊現象については未だ殆んど究明されていない様に思われる。ロックフィルダムの耐震性を正しく評価し、耐震性を増加させる合理的な方策を見出すためにこのことは重要である。

著者等は此の様な見地から、東京大学生産技術研究所の大型振動台を用いて、ロックフィルダムの大型模型の振動破壊実験を行つて来た。得られた成果の内、イ) 材料の粒径の増加は斜面破壊時の加速度を増加させる、ロ) コア部とリエル部の剛性の相互関係はダムの破壊状況に影響を与えることについては既に発表した。ここでは次の項目について実験結果を報告する。

斜面勾配と斜面崩落時の加速度との関係

斜面崩落状態と斜面勾配並びに粒径との関係

斜面に作られる小段の効果

斜面の崩落に及ぼす湛水の効果

2. 相似則

本実験の目的は振動による破壊状況の調査にあるので、相似則の対応とダムの剪断による破壊にあつて、又解形領域における振動特性も考慮した。

自重によつて剪断抵抗又は摩擦抵抗が生ずるから次式が成立する。

$$\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_p}\right)_{weight} = \frac{P_m}{P_p} \cdot \frac{g}{g} \cdot \lambda = \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_p}\right)_{inertia} = \frac{P_m}{P_p} \cdot \frac{\alpha_m}{\alpha_p} \cdot \lambda \quad \therefore \frac{\alpha_m}{\alpha_p} = 1$$

又堤体材料の粘着力は剪断破壊時には無視できるものとみられる。剪断強さは直応力に比例するものとする。材料の強さは応力と同一次元をもつから次の関係が成り立つ。

$$\frac{\delta_m}{\delta_p} = \frac{\sigma_m \tan \varphi_m}{\sigma_p \tan \varphi_p} = \frac{\sigma_m}{\sigma_p} \quad \therefore \frac{\tan \varphi_m}{\tan \varphi_p} = 1$$

更に直線性の範囲では次式が成り立つ。

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_p} = \frac{E_m}{E_p} = \frac{P_m}{P_p} \cdot \lambda, \quad \frac{T_m}{T_p} = \frac{L_m}{L_p} \sqrt{\frac{P_m}{P_p} \cdot \frac{E_p}{E_m}} = \sqrt{\lambda} \quad \text{但し } \lambda = \frac{L_m}{L_p}$$

σ : 応力, P : 単位体積重量, g : 重力加速度, δ : 剪断強度
 E : 弾性係数, L : 長さ, φ : 内部摩擦角,

suffix m, p は夫々 model 及び prototype を示す。

此處で入は単体構造物としてダムの長さの次元に關する比であつて、ダムの材料の粒徑とは特に關連しないことに注意する必要がある。

3. 模型及び材料

模型の高さは 1.4^m 、堤頂中 0.14^m 、長さ 2.0^m の二次元模型で大型振動台砂箱中に單一材料で築造された。模型は一形状について3個以上作られ試験された。模型材料は主に $\phi 2 \sim 6^{mm}$ の利根川産の砂利で、岩質は珪岩、砂岩、石灰岩が主で平均比重 2.56、單位体積重量は 1.60 t/m^3 、安息角は 40.4° である。この実験には $\phi 10 \sim 30^{mm}$ の玉石、 $\phi 5 \sim 10^{mm}$ の碎石、 $\phi 2 \sim 10^{mm}$ の河床堆積砂利等が使用された。

4. 測定用杆器及び配置

模型の破壊過程及び状況を調べるためには模型の表面及び内部の変化、運動と連續的に知る必要がある。そのために模型の内部と表面に加速度計、土圧計、歪計を設置した。又模型の変状を知るために堤体材料を着色して、模型表面並びに内部に埋設した。計測諸量はオシロ紙に記録し、一方向代表的な破壊状況は映画で撮影記録した。

歪計は厚さ 0.4^{mm} 中 16^{mm} の薄青銅版で極めて可塑性に富み、この表面に約 10^{mm} 間隔で貼付された抵抗線歪ゲージによって、堤体内に発生する僅かな動きも捉えた。

土圧計の内、高感度のものは豊田工機 KK 製の半導体圧力変換器 PCS-25 である。

5. 実験

振動台上に築造された模型は $1.8 \sim 2.3 \text{ Hz}$ の一定の振動の正弦波形で加振され、振中を徐々に増加させて破壊させた。模型の共振動数は十数ヘルツとみられ、本実験では加振動数が低いため、堤体内の加速度の分布は、破壊近くまで堤頂より差盤（振動台）まで略一定値を保っている。

破壊の意味は現象面のみならず構造物の機能重要性によっても変ってくるが、本実験では、材料の種類によって相違はあるとしても、略共通した破壊過程として振動台の加速度を増（て行くに従い）
i) 表面の不安定な状態にあった石塊が転動して安定な位置につき、ii) 表面で数個の石塊がまとまって転動する様になり、iii) 法面が片状又は雪崩状に滑動し、iv) 全体的に変形することが認められた。そこで iii) の段階をもつて崩壊又は破壊と定義することとし、この時の振動台の加速度をもつて崩壊時の加速度と（ α_f で示すことにした）。

6. 実験結果

1) α_f と皮面勾配との関係（空座時）

比較的粒徑の揃った $\phi 2 \sim 6^{mm}$ （平均 3^{mm} ）の川砂利で、締め固めることなく築き上げた数十個の模型を 2.1 Hz で加振（破壊させ、破壊状況及びに破壊條件について調査した）。

図-1 は破壊状況の一例で、実験後内部の状態を調べたものである。この場合、埋込まれている着色材料（図では粉石埋込）の位置と散らばり具合は、堤体内部及び表面の動きについて、安定した情報を与えてくれる。

図-2 はこれ等の実験で得られた α_f と皮面勾配との関係を示している。実験模型では上下流面の勾配が等しい場合もあり、異なる場合もある。図-2 の○印は上下流面で勾配が異なるとき、急な勾配の

面の崩落に対する α_f を木し●印は緩勾配の面に対するものである。本実験では上下流面の勾配の差は最大4分であつて、この程度の差異は α_f には殆んど影響を及ぼさず、又々の勾配によつて異なる α_f で各面が崩壊していることが分かる。

勾配が2割5分程度まで緩くなるまでは法面の勾配の変化は α_f に著しい影響を与え、 α_f は勾配の緩くなるに従つて略、直線的に増加している。(しかし、2割5分以上緩くなると α_f は次第に増加する割合が小さくなり一定値に近づいて行く傾向を木している。この傾向は傾斜した面と物体が滑動するとする傾向とよく一致する。即ち図-2の着色領域の中心を通る線は斜面と物体との間の摩擦係数を1.18とし、法面勾配を斜面の傾斜角とし、水平に α_f の加速度が働いたとする物体の滑動を木す線とよく合うのである。

2) 法面の崩壊状態と勾配並びに粒径との関係
斜面が一平面である場合の模型では、滑動が始まる斜面上の位置は略、まとつていて、ダムの高エの上半部分に集中している。法止めがない場合又は不完全な場合には、法止め部分(下端)で、より小さい α_f で法面が崩落する。このことは法止めの重要性を木すものである。

法面の崩壊に先立つて、小さい加速度で、表面はリ深い部分(特にダムの高エの半分程度の位置で)で振動する不安定な動きのある事が歪計で認められた。

滑動した法面表面の厚さは α_f と関係がある。勾配が1割8分の場合にはこの厚さは9~14cm又はそれ以下である場合が多いが、2割5分になると20~30cmの厚さの部分で滑動するようになる。

又1割5分~8分の勾配の法面では法面表面が一様の流動状態となり滑落するが、2割5分の勾配の法面では滑動する表面全体が一様に移動する傾向がある。粒径の大きい場合は移動しにくいことが観察される。

堤体と弾性体と仮定して解析した場合の引張応力の発生する部分と、崩落する表面の部分とがよく

斜面の破壊状況 (玉砂利 粒径 3mm)

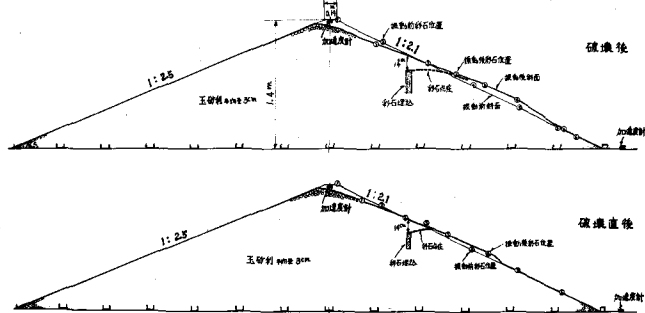


図-1

斜面勾配と崩落時加速度

材料 玉砂利 中 2~8mm
20振動数 2.118

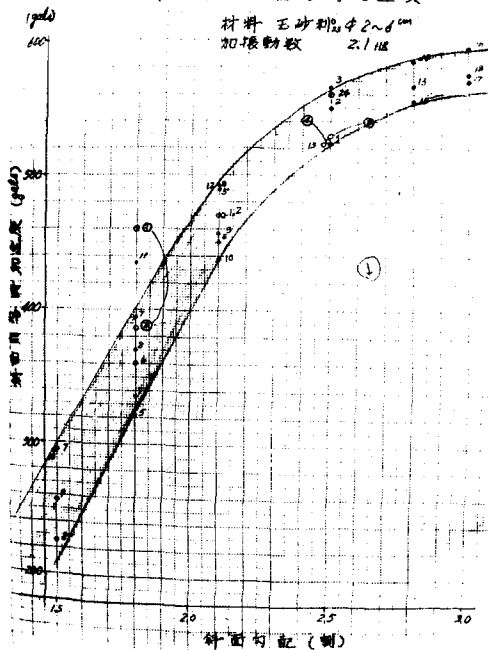


図-2

一致するのは堤体内に発生するゆるみの効果が滑動の1つの要因になっていることと示すものとと思われる。

3) 法面に作られた小段の効果(空座時)

図-3は小段のある模型の場合で、小段のある法面の勾配は1割8分、小段の中は50cm、設置高さは70cm及び90cmの2種である。此等の模型では小段のある斜面では全体的な崩壊が起りにくいため、他の模型の場合と崩壊の様子が異なるが、ここでは部分的にも滑動した場合も崩壊とすることにした。

図-4は図-3で①と示されている模型の試験後の崩壊状況であって、小段の存在によって法面の崩壊が一種の切断された様子を呈していることについて注目する必要がある。価値計算によればこの部分に応力分布の変化がみられる。この実験では他の様な実験が特色である。

- A) 法面勾配と同じとすれば小段のある斜面は大きい α_f を示す。
- B) 小段は斜面の全体的な崩壊の発生を防げる効果をもっている。

4) 斜面の崩落に及ぼす湛水の効果

法面の安定に及ぼす湛水の効果を調べるため図-5に示す様な高さ1.4m、上下法面勾配2割5分の模型と砂箱中に作り、上流側に1.2mの水位で湛水し、1.8Hzの振動および振動(破壊)させた。測定方法については空座時の場合と同様である。

試験結果をまとめれば次のようである。

- A) α_f は空座時のそれの60~65%である。即ち α_f は0.27~0.344しか示さない。
- B) 湛水側法面に略平行に 湛水側法面表面は全体的な崩壊が起っている。
- C) 滑動した層の厚みは空座時の場合のそれに比して同じか又は多少厚い様である。
- D) 下流側法面は振動台加速度が0.4g近くに達しても全く変状せず安定である。

おわりに本研究に際して東京電カKK水試連堆氏から終始協力と戴いたことを記して謝意に充てたい。

1) フィルダムの耐震性 ; 昭和45年土木学会関東支部講習会

