

ロックフィルダム模型の動特性に関する実験的研究 —堤体内の弾性波伝播速度の分布について—

On Distribution of Propagation Velocity of Wave Motion in Models of Rockfill Dam

韓 国 城*・田 村 重四郎*・加 藤 勝 行*
Guo cheng HAN, Choshiro TAMURA and Katsuyuki KATO

1. 前 言

構造物の耐震性を種々の角度から研究する場合、まず構造物の動特性を適確に把握することが基本であろう。フィルダムの場合、堤体材料が土石であるため、フィルダムの動特性を知ることは、一般の場合に比べて、はるかに困難なものがある。このことは非線形領域はいうに及ばず、線形領域と考えてもよい範囲においてさえも同様である。その一つに堤体内部の剛性の分布の問題がある。これは堤体の地震時の安定性を評価する上で重要な要素の一つであると考えられる。著者等は実在するアースダムの地震観測結果から、剛性が不均一に分布することを推測し¹⁾、また、いくつかの実際のロックフィルダムでは弾性波試験の結果から、剛性分布は、深さによって異なるというデータが得られている²⁾この結果によるとロックフィルダムの深さ方向に弾性波伝播速度が増加するし、その特性は載荷重による有効垂直応力と関係があることを示唆している。

著者等は大型模型を築造して、多数の振動破壊実験を実施してきたが、模型堤体内の剛性分布もまた実験結果の解析の基本的要素であることは言をまたない。ここでは、今まで使用してきた大型ロックフィルダム模型で弾性波の伝播速度を測定し、模型内部の剛性分布について

検討した結果、模型ダム堤体内部においても、実ダムの場合と同様に、剛性の不均一性が認められたので報告する。

2. 弾性波伝播速度測定方法

(1) 実験装置

実験に使用した模型は、大型振動台(千葉実験所)上に $\phi=2-6$ cmの玉砂利で築造した高さ1.4m、法面勾配1:1.8、堤頂幅0.14m、厚さ2.0mの2次元模型で、寸法および測定計器の配置は図-1に示してある。模型内部に埋め込んだ加速度型ピックアップはリオン(株)製PV-09A型、増幅器は同社製の振動計VM-20で、測定範囲は、加速度で1-30,000ガル、周波数の範囲5-8,000Hzである。記録装置としてはアナログデータレコーダ、デジタルデータレコーダおよび電磁オシログラフを使用した。測定システムは図-2のようである。

(2) 実験方法

縦波(P波)の測定では模型の堤頂と底部(振動台)からそれぞれ上下方向へショックを入れて波形を記録し、測線上の複数点の記録波形の立ち上がり時間差から伝播速度を算出した。横波(S波)の場合は、模型の底部(振動台)と堤頂から模型の軸直交水平方向にショックを加えて、波形を記録したが、S波の判定が容易でなかった。

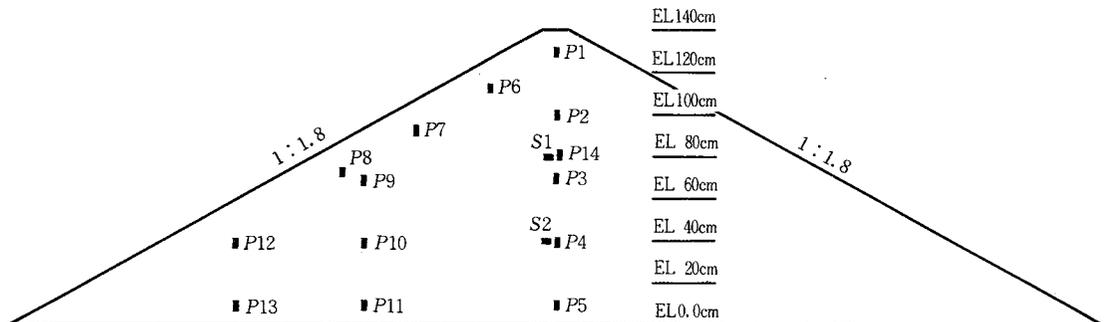


図-1 計器配置

*東京大学生産技術研究所 第1部

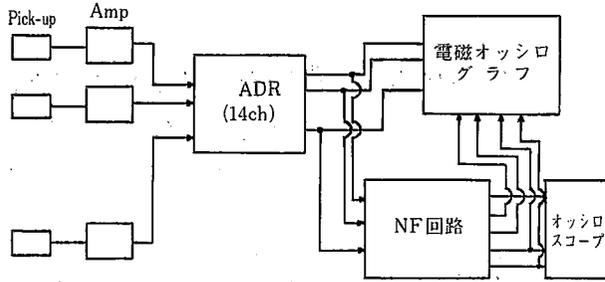


図-2 測定システム図

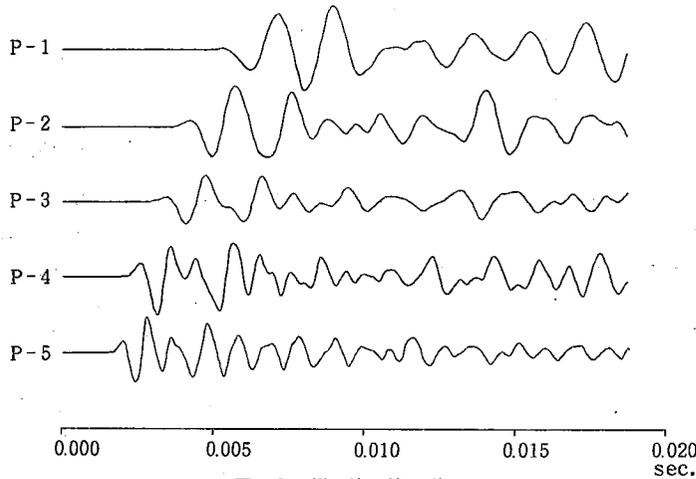


図-3 縦波波形

これは模型の寸法が比較的小さいためと考えられる。

堤体では木材・鋼材を木槌で打撃することで衝撃を発生させた。また、材料の締め固めによる影響を調べるため、模型を築造したままの状態と共振実験を行った後の二つの状態でそれぞれP波伝播速度の測定を行った。

3. 測定結果

(1) 縦波伝播速度

図-3は模型の底部(振動台のテーブル)からショックを入力して記録した波形の一例である。これらの波の立ち上がりの時間の差から計算して得られたP波速度を図-4と図-5に示してある。図-4は模型断面中心部における伝播速度と深さの関係を示している。図-5は模型全体における伝播速度分布を表している。

図-4に示してあるP波速度(V_p)と模型の深さとの関係を式で表すとほぼ次式のようなになる。

$$V_p = 250 + 176 z^{1.7} \quad \text{共振実験前(締め固められていない場合)} \dots\dots\dots \text{①}$$

$$V_p' = 275 + 195 z^{1.7} \quad \text{共振実験後(締め固められた場合)} \dots\dots\dots \text{②}$$

ここで、 z は堤頂からの深さ(m)、 V_p, V_p' は縦波伝播速度(m/s)

①式と②式を整理すると、次式で表すことができる。

$$\frac{V_p}{V_0} \cong 1 + 1.25 \left(\frac{z}{H}\right)^{1.7} \dots\dots\dots \text{③}$$

ここで、 V_0 は堤頂近辺のP波速度で、 V_p は堤頂より深さZ点のP波速度、 H は模型の高さ(m)。

これらの結果から、本模型ではP波速度は模型堤頂からの深さと共に増加していることが分かる。また、図-5より、基礎から同じ高さのレベルにあっても模型断面の中心部から法面に近づくに従い、伝播速度が減少しているのが認められる。また図-5からよく分かるように、法面表面の近辺の伝播速度は位置に無関係にはほぼ同じレベルの値となっている。これらのことは、振動実験の実施の有無には関わっていない。

また、共振実験の実施後、堤頂は6-8cm沈下した。この際の縦波の伝播速度は共振実験前に比べて、やや大きく、平均して約10%増加している。

(2) 横波伝播速度

横波伝播速度は板叩きと模型の底部(振動台テーブル)

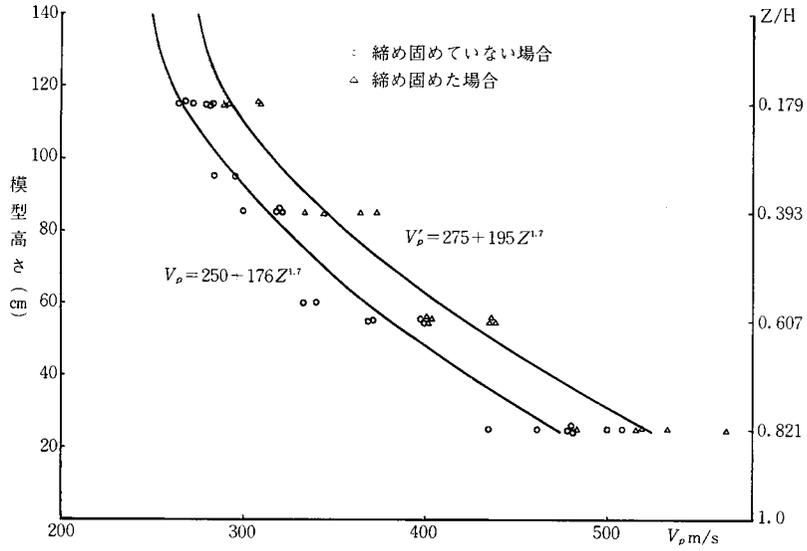


図-4 伝播速度と深さの関係

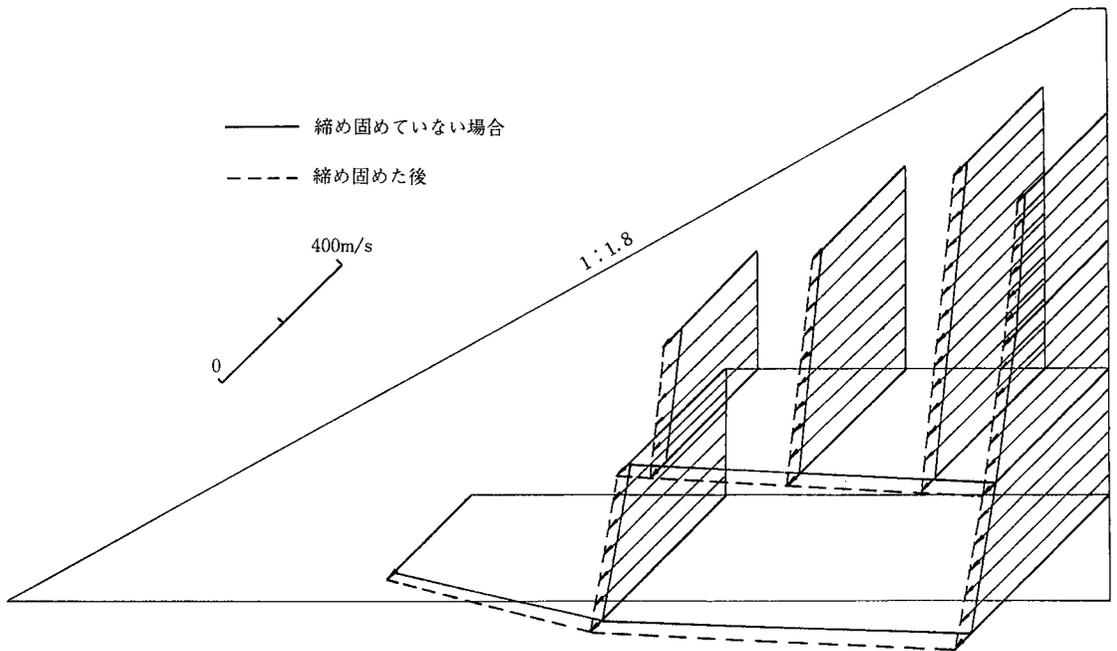


図-5 縦波速度分布

からダム軸直交水平方向にショックを入れて測定した。それから得られた波形の一例を図-6に示してある。ここで S_1 と P_{14} 、 S_2 と P_4 はそれぞれ同じ場所に置いてある加速度計の番号である。ただし、 S_1 、 S_2 の測定方向はダム軸直交水平方向であり、 P_4 、 P_{14} は鉛直方向である。図中 S_2 と P_4 はテーブルより40cmの位置に、 S_1 と P_{14} は80cmの位置にそれぞれ埋設されている。図より同一

測定位置にあるにもかかわらず、 P_4 と S_2 、 P_{14} と S_1 のそれぞれの波形の立ち上がりに時差があることが明瞭に認められる。 P_4 、 P_{14} については、前述のP波の伝播を示しているが S_1 、 S_2 の記録はP波より伝播速度の小さい波が伝播していることをあらわしている。すべての実験において必ずしもこのことが認められたわけではないが、このような性質を示す加速度波形がしばしば記録されて

研究速報

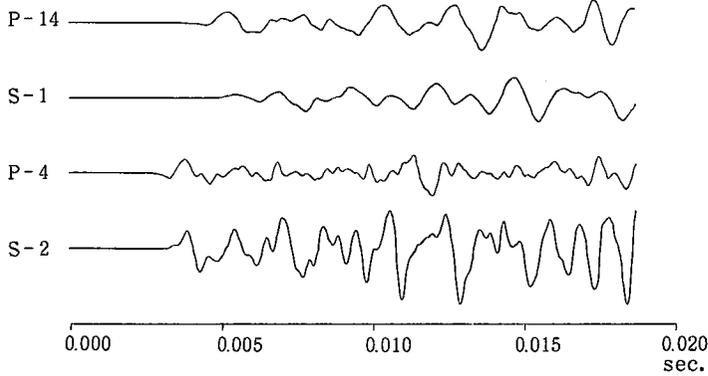


図-6 横波波形と縦波波形の対比

いる。このことはP波以外の実体波が存在することを示すものと考えられる。このことより、 S_1 、 S_2 であらわされる波動を横波とした。今回の測定結果によれば S_2 から S_1 (横波)の波の到着時間の差は P_4 から P_{14} (縦波)の波の到着時間の差と比べたら約2倍になり、これより算定される伝播速度は約半分になることがわかる。この結果からポアソン比を計算すると約0.33になる。

4. ま と め

- (1) 高さ1.4 mのロックフィルダム模型の堤体内の実体波の伝播速度を測定することが可能である。
- (2) 高さ1.4 mの玉砂利で築造されたロックフィルダム模型においても、堤体内の剛性は一様でない。
- (3) 剛性は表面からの深さと関連があることが推測される。この模型は築造に際し特に締め固めを行っていない。

(4) 本模型では堤体内部の剛性は、振動実験後、一般的に増加しているが、分布の性状の変化は特に認められていない。

おわりに、本実験にあたっては第5部佐藤暢彦助手にお世話になったので、ここに記して謝意を表します。

(1981年8月5日受理)

参 考 文 献

- 1) S. OKAMOTO, C. TAMURA, K. KATO, M. OTAWA: Dynamic Behavior of the Earth Dam During Earthquakes. Report of the Institute of Industrial Science, the University of Tokyo. Vol.16, No.4 (Serial No. 107)
- 2) 渡辺啓行: フィルダム材料の動的変形特性とその動的解析への適用例
大ダム. 1975年9月

