

薄い玉砂利層における波動の伝播に関する実験的研究

An Experimental Study on Propagation of Wave Motion in a Thin Gravel Layer

韓 国 城*・田 村 重四郎*・加 藤 勝 行*

Gou cheng HAN, Choshiro TAMURA and Katsuyuki KATO

1. 緒 言

著者等はフィルダム模型の振動破壊実験を行ってきたが、それによれば、いずれの実験においても、通常の上流面の勾配を持つ模型では振動数が低い場合、模型ダムの斜面表層の全体のすべりが最終的な破壊状態として考えられ、加振振動数が高く、ダムの固有振動数に近い場合はダム頂部に近い斜面のすべりと頂部に破壊が生ずることが認められた。この現象を力学的に検討するためには、堤体の力学的特性を明らかにしておかなければならない。従来の解析では模型寸法が小さいこともあって、模型堤体の力学特性は堤体全体に一樣であるとして行ってきた。ところが、実ダムにおける実測の結果は、堤体内部の剛性が一樣でないことを示している。模型振動実験を行う場合、実ダムのこのような動的性質とどのように結びつくのが問題になる。これを明らかにするためには、模型ダムの力学特性をあらためて見直すことが必要になる。著者らはこのような観点に立って模型ダム堤体内の弾性波伝播速度の分布を測定して、すでに報告した。¹⁾ところが、模型の複雑な境界条件の下で、縦波(P波)と横波(S波)を明瞭に分離することは“容易でなかった”と前回述べた。模型堤体内の伝播速度分布の測定結果を確かめるため、室外で、半地中における玉砂利の弾性波伝播速度の測定を行い、予想した結果を得たので、これについて報告する。

2. 測定方法

(1) 実験装置

実験は図1に示したように、室外で3 m 平方、深さ1 mの穴を掘り、この穴の底の真中に図-1に示すような形状の厚み1 cmの鋼板を置き、玉砂利で埋め戻した状態で測定を行った。ダム模型堤体内の測定の経験から模型の底部からショックを加える方が、堤頂から打撃を加える場合よりS波の伝播状況を得やすいことが分かった

ので、今回は模型の底部からショックを入れるため、このような実験装置を用いたものである。また、打撃を加えた場合、高い周波数の波が出にくいように鋼板の打撃位置に5 cm×5 cmの角材(梅)を取り付けた。測定計器の配置は図-2に示してある。加速度型ピックアップはリオン(株)製pv-09 A型、増幅器は同社製の振動計VM-20で、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-3に示す。実験に使用した玉砂利は径2~6 cmの利根川筋で採取されたものである。

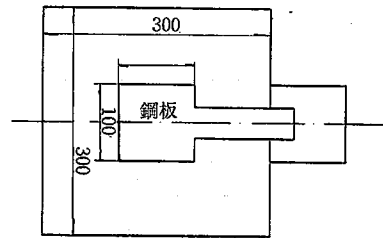


図-1 実験装置

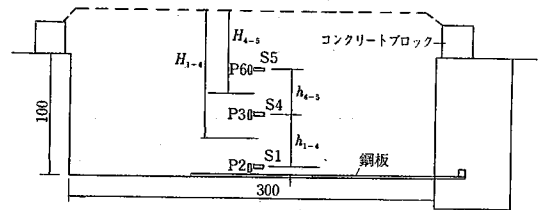


図-2 測定計器の配置

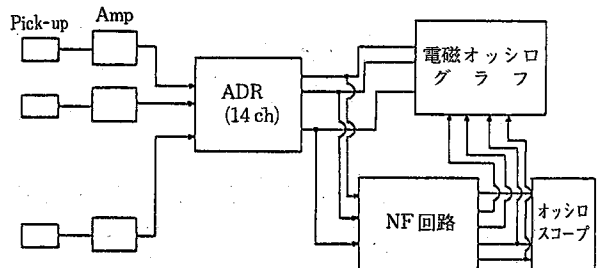


図-3 測定システム

* 東京大学生産技術研究所 第1部

研 究 速 報

2. 実 験 方 法

実験を行ったのは表-1に示した6ケースであって、表中の H_{1-3} , H_{4-5} , h_{1-4} , h_{4-5} は図-2中の記号にそれぞれ対応している。実験は順次、玉砂利を所定の高さまで積み上げた後行った。加速度計 S1, S4, S5の測定方向は水平で、中心線方向であり、加速度計 P2, P3, P6の測定方向は鉛直方向である木槌で打撃を加えたが、鉛直方向打撃の場合は下向きに、水平中心線方向の場合は正または逆の方向に打撃を加えた。加速度波形はアナログデータレコーダとデジタルデータレコーダで記録したが、その後デジタルレコーダから測定時の時間を100倍にして出力し、電磁オシログラフに記録させた。比較のため速

表 1

ケース	H_{1-3} (cm)	H_{4-5} (cm)	測定点の間隔 (cm)	
			h_{1-4}	h_{4-5}
1	30	0	40	0
2	70	30	40	40
3	80	42.5	40	35
4	110	72.5	40	35
5	150	112.5	40	35
6	180	142.5	40	35

度の波形も記録した。得られた加速度波形の立ち上がりに着目すると、P波の場合明瞭に判別できるが、S波についてはP波の影響を受けて明瞭でない場合が多い。第1ピックに着目するとS波の場合にも明瞭に波形の対応が認められる場合が多い。速度波形でもS波の第1ピックはかなりはっきりと判別することができる。そこで、P波については加速度波形の立ち上がりを、S波については加速度波形の第1ピックを対象にして、波動の到達時間差を求め、伝播速度を算出した。

3. 実 験 結 果

(1) 波形の性状

図-4は鉛直方向へ打撃を加えた際、得られた加速度波形の一例で、図-5は水平中心線方向へ打撃して得られた波形の一例である。図-5(a)は加速度波形、図-5(b)は速度波形である。これら波動の波形から以下のようなことが判明できる。1) P2, P3, P6の波形は幾何学的によく類似しており、S1, S5もまた同様に類似している。2) 同じ位置において記録された2つの加速度波形を対照すると到着時間に差があることが認められる。以上のことから、ピックアップの向きに対応して、性質が異なる2つの波が伝播していることが分かり、早く伝播する波が縦波(P波)、他の波が横波(S波)と判断される。

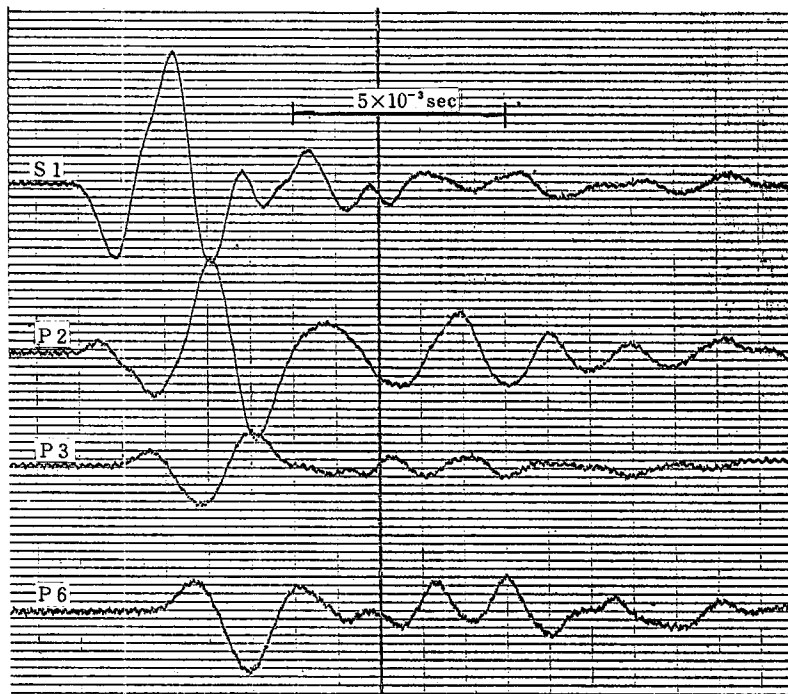


図-4 鉛直方向へ打撃を加えたときの加速度波形

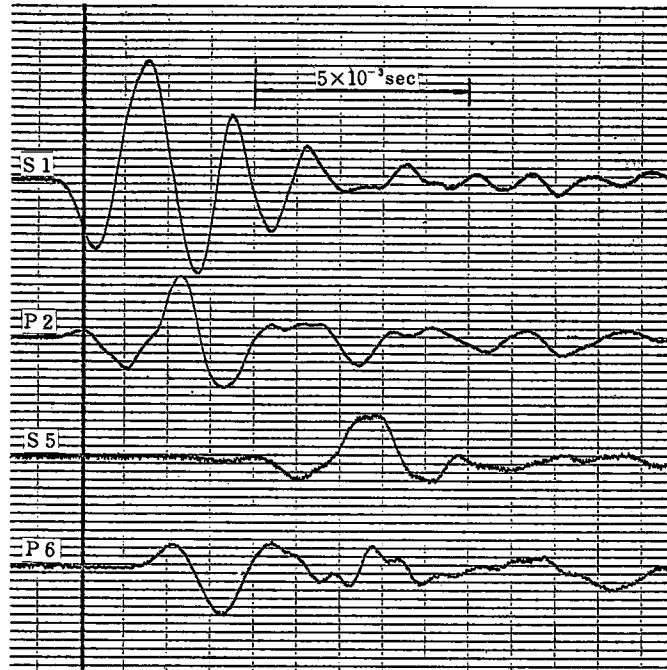


図-5 (a) 水平方向へ打撃を加えたときの加速度波形

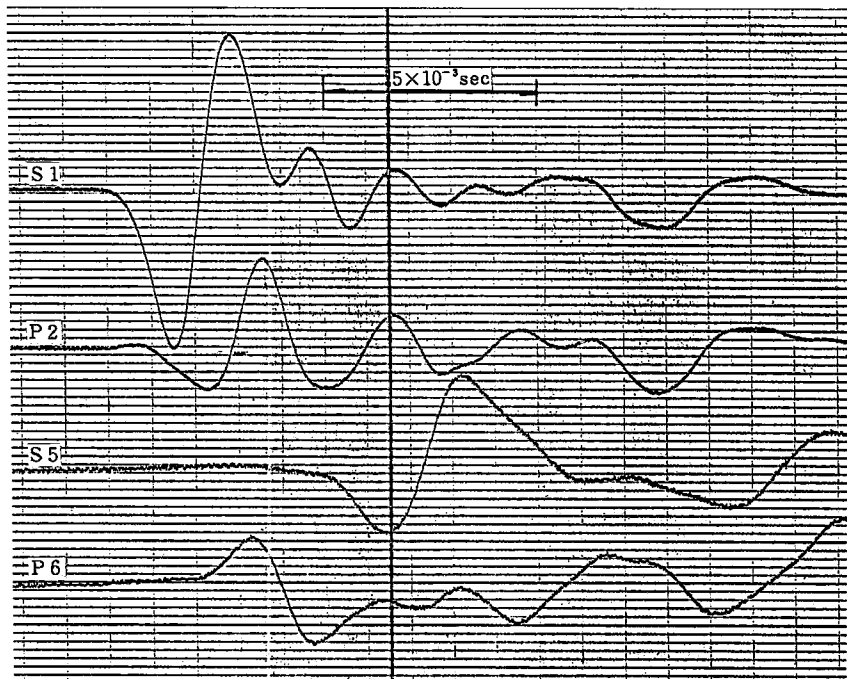


図-5 (b) 水平方向へ打撃を加えたときの速度波形

(2) 縦波伝播速度 (V_p)

鉛直方向へ打撃を加えて得られた P2, P3, P6 の波形の立上りの時間差から得られた P 波伝播速度 V_p を

図-6 に示している。これらのデータから、P 波伝播速度は僅かな深さの差によっても確かに変化があることが分かった。実験結果を対数グラフにプロットし、表面から

研究速報

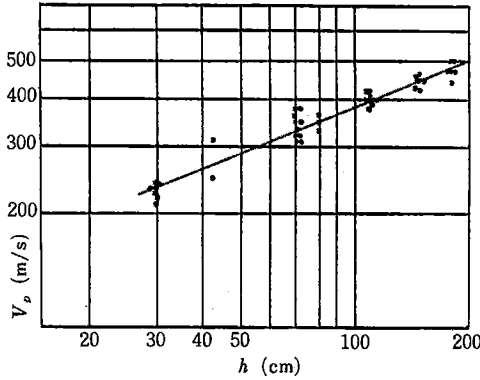


図-6 V_p と深さの関係

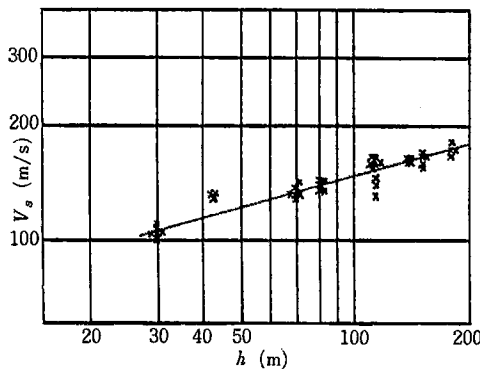


図-7 V_s と深さの関係

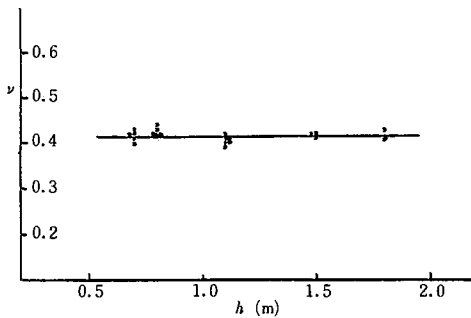


図-8 ポアソン比と深さの関係

の深さ (h : m) と V_p (m/s) との関係直線であらわすと、次の経験式が得られる。

$$V_p = C \cdot h^m \quad C=380, \quad m=0.4$$

(3) 横波伝播速度 (V_s)

水平中心線方向へ打撃して得られた S1, S4, S5 の加速度波形の第 1 ピークの時間差から得た V_s を図-7 に示してある。 V_s も V_p と同じく深さによって変化するが、深さによる変化率は V_p より小さいようである。また、 V_p と同じようにして次の経験式を得た。

$$V_s = C \cdot h^m \quad C=150, \quad m=0.28$$

(4) ポアソン比 (ν)

V_p と V_s とから算定したポアソン比 (ν) を測定位置の深さ h と対応してプロットしたのが図-8 である。 V_p と V_s は深さによって異なるが、ポアソン比は実験の範囲では、ほぼ一定の値 0.42 を示していることが分かる。

(5) 伝播速度に対する打撃の強さの影響

上述の 1 から 4 は相対的に弱い打撃 (P2 の波形の第 1 ピーク加速度が 0.03 g—0.04 g 程度になっている。以下これを弱い打撃と呼ぶ) を加えた場合の性状であるが、ここでは、これにくらべて約 10~20 倍の加速度の打撃 (0.49 g—0.95 g, 以下強い打撃と呼ぶ) を加えた場合の現象について述べらる。

1) 波形

強い打撃を加えた場合の加速度波形は弱い打撃の場合の波形に比較すると、後者がほぼ一定の振動数の振動成分が卓越するのに対し、前者には、より長い周期の振動成分まで、広い範囲の振動数の成分が含まれ、したがって滑かさが失われた波形となっていることが認められた。

2) 伝播速度

P 波に着目して、強い打撃の場合の伝播速度を測定した結果、 $H_{1-4} = 180$ cm に対し 400~421 m/s の値を得た。弱い打撃の場合の 440~500 m/s に比して伝播速度がかなり低下していることが分かる。

なお検討する必要があるが 1), 2) は強い打撃の場合の動的性状が非線形の領域に入っていることを示すものと考えられる。

4. ま と め

本研究は参考文献 1) の研究結果を確認するために実施したものである。参考文献 1) の実験では模型の寸法に基づく境界条件、打撃の加え方の制限等による影響が考えられたため、この研究では、これらの影響を除くよう、模型の形状、加振方法に配慮した。本研究では前回のものとおおむね類似の結果が得られたが、表面で加振して表面に近い位置で測定を行う際には、加振点位置の吟味、粒径、加振板の寸法等を考慮して、なるべく深い位置で測定することが必要であることが判明した。

おわりに、本実験にあたっては第 5 部佐藤藤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。

(1982 年 5 月 10 日受理)

参 考 文 献

- 1) 韓国城, 田村重四郎, 加藤勝行: ロックフィルダム模型の動特性に関する実験的研究, 生産研究, 33, 10(1981)
- 2) 田村重四郎, 韓国城, 加藤勝行, 酒井清武: ロックフィルダムの模型の振動破壊について, 第 16 回地震工学研究発表会講演概要, 1981.7