

ベンダーエレメントを用いた遠心重力場での地盤の S 波速度・P 波速度の測定

(株)大林組技術研究所 正会員 佐藤 清

1. はじめに

遠心模型実験では相似率に応じた縮小模型に遠心力を作用させ、対象とする実地盤の応力状態を再現している。このとき、拘束圧依存性を有する地盤の S 波速度も対象地盤に対応した値を示すと考えられるが、遠心重力場では微小加振などによって平均的な S 波速度を評価しているのが現状であり、模型地盤の詳細な S 波速度分布を求めた例はほとんどない。そこで、要素試験や 1g 場での振動実験で利用されているベンダーエレメント¹⁾²⁾によって、遠心重力場での模型地盤の S 波速度 (V_s)・P 波速度 (V_p) の測定を試みた。今回は 8 号珪砂による乾燥地盤を対象として、遠心力の変化による V_s ・ V_p の変化を調査した。

2. 実験方法

図-1 に実験模型の断面図および計器配置を示す。深さ 0.57m、長さ 2m、奥行き 0.8m のせん断土槽内に 8 号珪砂を用いて乾燥地盤を作製した。地盤は 10cm 毎に型枠バイブレーターによって十分に締固め、地盤完成時には相対密度 87.5% (密度 1.48g/cm^3) が得られた。8 号珪砂および模型地盤の諸元を表-1 に示す。地盤内には 5 個のベンダーエレメントを 10cm 間隔で配置し、隣り合う計器間 (全 4 区間) で V_s 、 V_p を測定した。ベンダーエレメントは直径 38mm、厚さ 5mm のアクリル板に、S 波および P 波それぞれの送受信の圧電素子を埋込んでいる。S 波は圧電素子が水平方向に振動することで発信・受信され (図-2) P 波は圧電素子が鉛直方向に振動することで発信・受信される (図-3)。

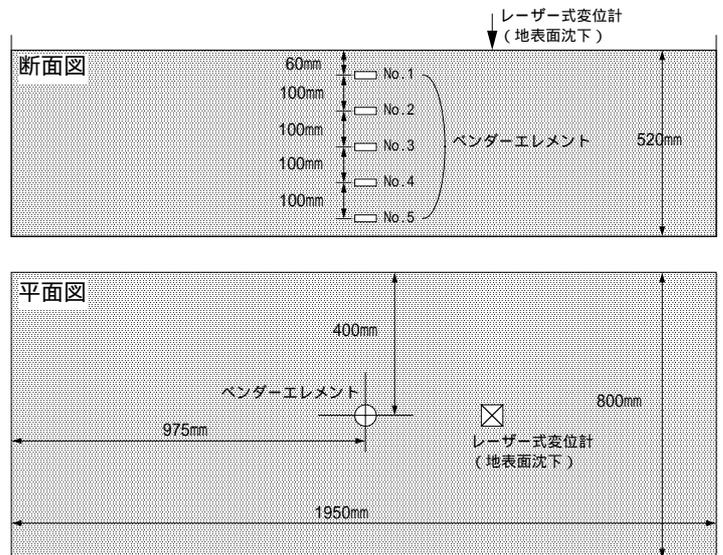


図-1 模型地盤と計器配置

S 波の伝達距離は既往の研究³⁾を参考にセンサーの先端間の距離とした (図-2)。P 波の伝達距離はセンサーの振動面の距離とした (図-3)。伝達時間はクロスコリレーション解析による評価方法³⁾などが提案されているが、今回は目視によって初動位置を判定し、伝達時間を求めた。

測定は遠心重力を作用させる前 (1g) と、遠心重力場 5g、10g、20g、30g、40g、50g で実施した。レーザー式変位計によって測定中の地表面沈下を計測した結果、最大沈下量が 1mm 未満であったので、伝達距離の補正は行っていない。

3. 実験結果

図-4 に S 波および P 波の測定結果を示す。発信信号は 2.5 ~ 10kHz の正弦波とした。受信波形には誘導信号が見られるが、測定結果には影響していない。受信信号の初動位置の確認は、S 波・P 波ともに受信信号は正負が逆転する、発信信号の周波数を変化させて発信・受信を繰り返しても同じ位置に初動が現れる、ことを条件とした。

図-5 に計測された V_s 、 V_p を示す。図は両対数表示である。縦軸はセンサー間の中央深度に

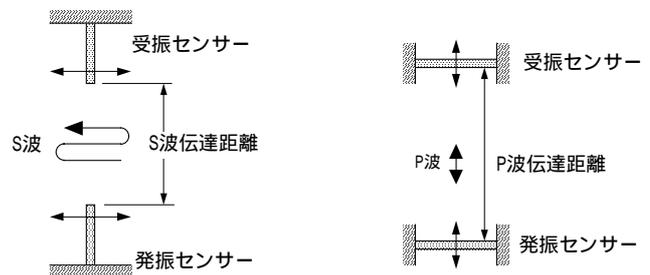


図-2 S 波の発信・受信 図-3 P 波の発信・受信

表-1 8 号珪砂および模型地盤の諸元

8 号珪砂諸元		模型地盤諸元	
土粒子密度	2.65 (g/cm ³)	乾燥密度	1.48 (g/cm ³)
最大粒径	0.25 (mm)	間隙比	0.792
最大間隙比	1.403	相対密度	87.5 (%)
最小間隙比	0.705		

キーワード：遠心模型実験、S 波速度、P 波速度、ポアソン比、ベンダーエレメント、乾燥砂
 連絡先：204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 大林組技術研究所 土木耐震構造研究室
 TEL:0424-95-0950 FAX:0424-95-0909

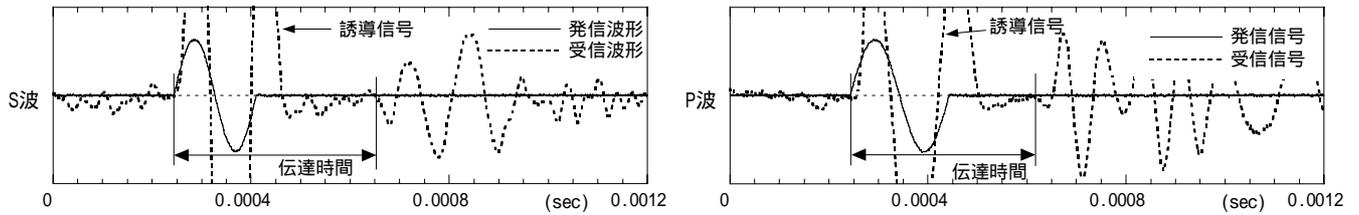


図-4 S波およびP波速度の測定例（30g場）

遠心重力を乗じてプロトタイプ換算した値（換算深度）である。遠心重力は回転半径に応じて補正した。Vs、Vpともばらつきが少なく、明瞭な拘束圧依存性が見られる。図中の線は換算深度 2.17m での測定値を基準として、以下の式より算定した Vs および Vp の分布である。

$$Vs = Vs_0 \times \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^{0.2} \dots (1)$$

$$Vp = Vp_0 \times \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^{0.2} \dots (2)$$

$$Vs_0 = 165\text{m/s}, Vp_0 = 276\text{m/s}, \sigma_0 = 20.96\text{kPa}$$

計測結果と式(1)(2)による分布はよく一致しており、計測結果が拘束圧の 0.2 乗に比例していることがわかる。拘束圧の何乗に比例するかは測定時のひずみの大きさに依存し、きれいな砂のせん断剛性率 $G (= Vs^2)$ は、 $1 \times 10^{-5} \sim 10^{-4}$ 程度のひずみでは拘束圧の 0.5 乗に比例し、 10^{-6} 以下のひずみでは 0.4 乗に比例することが示されている⁴⁾。式(1)はせん断剛性率 G が拘束圧の 0.4 乗に比例することと同義であり、測定結果が妥当であると同時に、ベンダーエレメントにより地盤内に発生するひずみが 1×10^{-6} 程度以下であることがわかる。ただし、比較的低い拘束圧の下では傾向が異なり、1g 場での計測結果は拘束圧の 0.4 乗に比例している。また、同じ換算深度で比較すると、遠心重力が大きいほど S 波・P 波速度が小さくなる傾向が見られる。これらの理由については、今後の検討課題である。

図-6 は測定した Vs、Vp から求めたポアソン比を示している。換算深度が 1m 未満でばらつきが大きいのが、概ね 0.18~0.26 程度である。これらの値は乾燥地盤であることと、高密度であることなどが影響していると考えられる。

4. まとめ

遠心模型実験にベンダーエレメントを導入し、50g までの遠心重力場で S 波速度・P 波速度の測定を行った。その結果、どちらも拘束圧の 0.2 乗に比例することが示された。また、ポアソン比を算定したところ 0.1~0.2 であった。今後は測定精度の向上とともに、6kPa 程度以下の低拘束圧における S 波・P 波速度分布の調査や、不飽和、飽和地盤での測定を実施する予定である。

参考文献 1) 田中洋行, 田中政典, 横山裕司: ベンダーエレメントによるせん断剛性率の測定, 第 29 回土質工学研究発表会講演集, pp. 889-890, 1994. 2) 液状化土層実験における飽和度評価のための P 波測定と液状化時の地盤変位測定: 第 2 回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, pp. 89-94, 2001. 3) 三上武子, 中山栄樹, 古田一郎, 太田賢治: ベンダーエレメントを用いた S 波速度の測定と加減速度解析による伝達時間の評価, 第 32 回土質工学研究発表会講演集, pp. 805-806, 1997. 4) 足立紀尚, 龍岡文夫: 新体系土木工学 18-土の力学(), pp. 211-223, 1998.

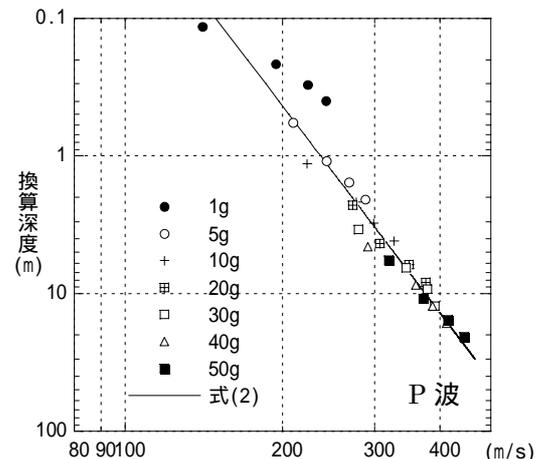
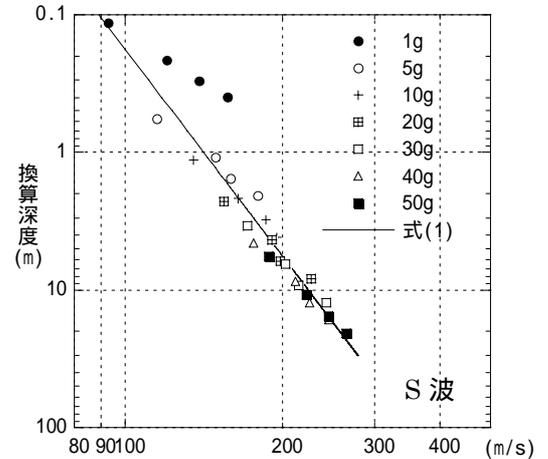


図-5 S波速度・P波速度

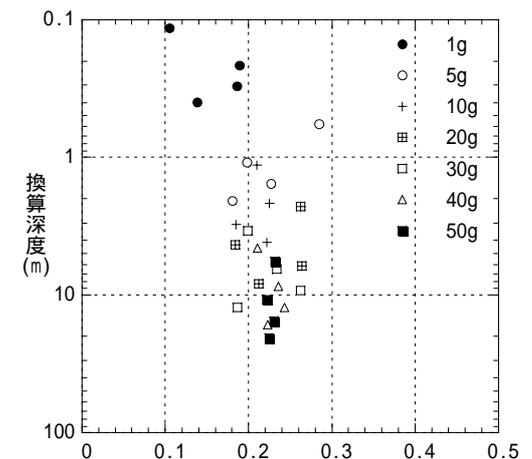


図-6 ポアソン比