

III - 179

碎石の弾性波速度に及ぼす密度の影響

清水建設（株）技術研究所 正会員 西尾伸也
同 上 馬場幸吉

1.はじめに 粗粒材料の現場締固め密度を推定する方法の一つとして弾性波速度を用いた手法が考えられている。本研究では、安山岩碎石を試験土槽に詰めて作成した模型地盤において、屈折法による弾性波速度測定を行い、碎石の密度と弾性波速度の関係について考察を加えた。

2.試料および模型地盤の作成 使用した碎石試料は、中硬岩から硬岩に分類される安山岩を母岩とするもので、切羽部を発破して採取した。試験時の試料の粒度分布を図-1に示す。図中に併記した原粒度分布（発破後の粒度分布）を参考に相似粒度（ただし、 $420\mu\text{m}$ 以下の細粒分は除外）として設定した。なお、直径150mm、高さ150mmのモールドを用いた最大・最小密度試験に依れば、 $\rho_{\text{max}}=1.710\text{Mg/m}^3$ 、 $\rho_{\text{min}}=1.395\text{Mg/m}^3$ となった。

試験土槽（幅500mm、高さ700mm、長さ2000mm）に気乾試料を詰め、模型地盤を作成した。小型バイブレーターで試料を締固めながら作成した場合および落下高さゼロで試料をまきながら作成した場合の2ケースの模型地盤について測定を行った。また、密度は、土槽に詰めた試料の重量および模型地盤の厚さを測定して求めた。

3.弾性波速度の測定 各模型地盤において、地盤の厚さ300mm、400mmおよび500mmの各段階で、屈折法により弾性波速度を測定した。測定の概要を図-2に示す。弾性波は地盤表面に設置した鉄板（幅50mm、長さ200mm、厚さ3mm）を水平方向に打撃することにより発生させ、それを地盤表面の直線上に300mmの間隔で配置した6個の

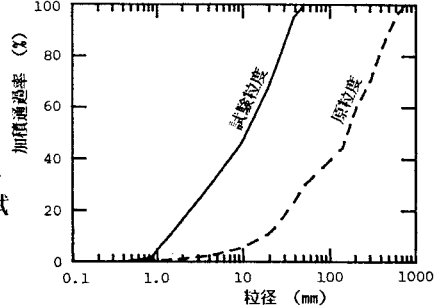


図-1 試料の粒度分布

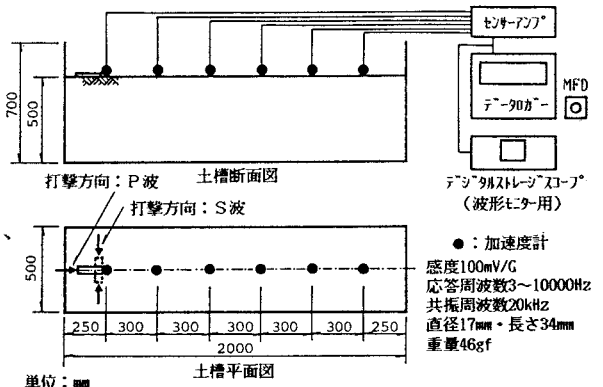


図-2 弾性波速度測定の概要

加速度計で受信した。土槽内側側面には厚さ2mmのゴムを貼り、側面からの反射波を防いだ。また、測定した加速度データは、データロガーでマイクロフロッピーディスクに保存した。

4.測定結果と考察 図-3に測定した弾性波波形の代表例を示す。なお、図中の数字は振源からの距離を表している。また、波形の振幅は各々の最大値で正規化して示した。

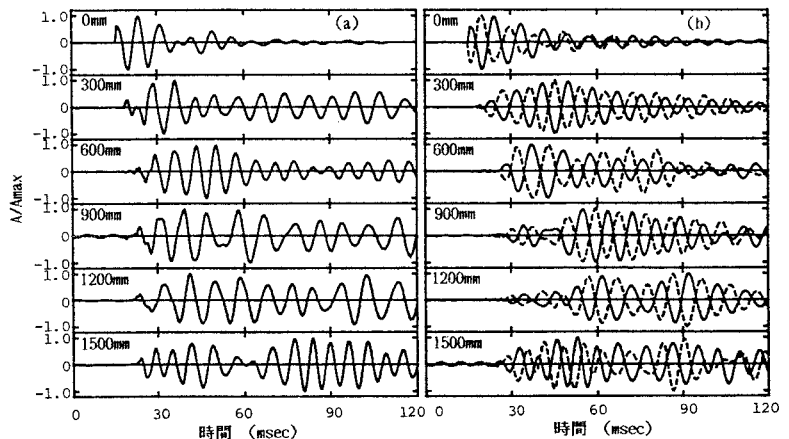


図-3 測定波形の代表例（地盤厚さ300mm）：（a）P波 （b）S波

屈折波が初動となる距離は地盤の厚さにより異なるが、図に示した例においては、P波・S波共に振源からの距離が600mmを越えた点から屈折波が観察される。また、S波の例には、打撃の方向を180°回転させた場合の波形を破線で示したが、位相の反転が確認

できる。以下、直接波の走時から求めた碎石の弾性波速度について考察する。図-4(a)に弾性波速度と密度の関係を示す。設定した密度範囲においてP波速度の場合は約50%、S波速度の場合は約40%の速度増加が認められた。Hardin and Richart¹⁾は、S波速度の密度および拘束圧依存性を次式で示した。

$$V_s = C \cdot (2.17 - e) \cdot (p')^{0.25} \quad (1)$$

ここに、 V_s ：S波速度、 C ：土の種類で決まる定数、 e ：間隙比、 p' ：平均有効拘束圧である。測定した弾性波速度と式(1)の相関を調べるため、弾性波速度測定時の拘束圧を一定と考え、横軸に(2.17-e)を取って、弾性波速度の変化を調べたのが図-4(b)である。S波速度の場合は原点を通る直線で近似でき、S波速度の変化傾向は式(1)と良い相関があるのに対し、P波速度は式(1)よりも間隙比依存性が大きくなっていることがわかる。図-5は、測定した弾性波速度からポアソン比を求め間隙比との関係を示したものであるが、上述したP波速度・S波速度の間隙比依存性の相違のため、ポアソン比は間隙比の増加に伴い低下することがわかる。また、乾燥状態のポアソン比としては、三軸状態での測定値(0.25~0.35)²⁾と比べ若干高い値を示している。

本測定においては、弾性波が伝播する経路および土粒子の振動方向は地盤表面の水平方向が卓越する。そこで、得られた弾性波速度を $p'=0$ における値として、同じ試料を用いた動的三軸試験³⁾（供試体：直径300mm、高さ600mm）の結果と比較した（図-6）。動的三軸試験結果は G （せん断ひずみ： 10^{-5} ）をS波速度に換算して示し、図中の実線は、S波速度に換算した近似式（下式）を表している。

$$V_s = 59 \cdot (2.17 - e) \cdot (p')^{0.22} \quad (2)$$

地盤表面においてもわずかな側方拘束があることを考えると、 $p'=0$ の仮定は必ずしも妥当ではないが、かなり低い拘束圧においても式(2)でS波速度を評価できる可能性が示唆された。

5. 結論 碎石試料で作成した模型地盤において、地盤表面を伝播する弾性波の速度を測定した。その結果、S波速度と密度の関係はHardin and Richartの式で評価できるが、P波速度は密度依存性が大きく、弾性波速度から求めたポアソン比は、間隙比の増加に伴い低下する傾向を示した。

参考文献

- 1) Hardin, B.O. and Richart, F.E., Jr. (1963): Elastic wave velocities in granular soils, Proc., ASCE, Vol. 89, No. SM1, pp. 33-65
- 2) 西尾(1987): 砂及び砂礫の弾性波速度に与える飽和度の影響: 不飽和土シンポジウム発表論文集（土質工学会）、pp. 221~224
- 3) 西尾、玉置、町田(1985): 大型三軸試験装置による碎石の動的変形特性、第20回土質工学研究発表会講演集、pp. 603~604

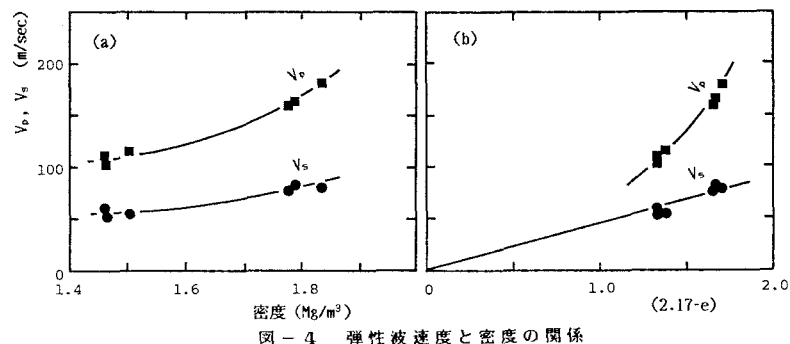


図-4 弾性波速度と密度の関係

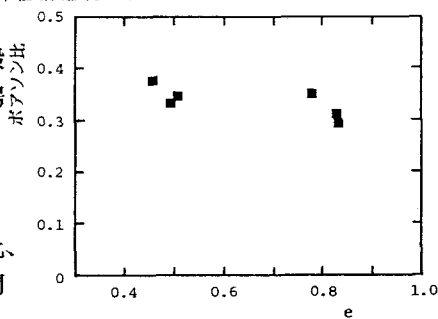


図-5 ポアソン比と間隙比の関係

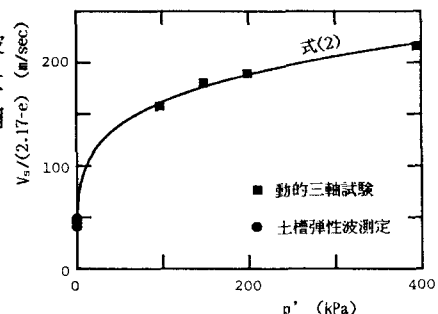


図-6 S波速度の拘束圧依存性