

FWD 試験から得られる地盤剛性に関する検討

鉄道総合技術研究所 正会員 関根悦夫 正会員 桃谷尚嗣
中央大学 学生会員 久保寺貴彦 正会員 姫野賢治

1. はじめに

平板載荷試験により行ってきた地盤の剛性評価をより簡便かつ迅速に行うために、FWD を用いた地盤の剛性評価方法の検討を行ってきた。その結果、FWD を用いた剛性評価方法は、平板載荷試験に比べばらつきが少なく、地盤の状態を良く表せる方法であることが確認されている。しかし、衝撃荷重での載荷である FWD 試験によって得られた地盤の剛性を表す K 値は、静的に載荷を行う平板載荷試験と比較して、地盤の種類によっては 2 倍程度剛性が大きく評価されることがある。衝撃荷重によって地盤の剛性が大きく評価される場合、その要因として、載荷速度と載荷時間が考えられる。そこで、地盤の剛性が大きく評価される原因を検討するために、載荷軸ひずみ速度を変化させた静的三軸圧縮試験、粘弾性による FEM 解析を行った。本稿では、これら検討について報告する。

2. 試験・解析概要

静的三軸圧縮試験 用いた供試体は、直径 5cm、高さ 10cm の大きさに、礫質砂の場合は締固め度 95%（乾燥密度 1.84g/cm^3 ）となるよう攪乱試料をモールドで突固めて作成した。火山灰質粘性土の場合は、自然地盤から採取した不攪乱試料を用いた（湿潤密度 1.353g/cm^3 ）。図 1 に試験に用いた土の粒度分布を示す。

試験での有効拘束圧は、礫質砂では 100kN/m^2 、火山灰質粘性土では 50kN/m^2 である。載荷は単調載荷で、載荷時の軸ひずみ速度は、礫質砂では 0.01, 0.1, 1, $10\%/min$ の 4 種、火山灰質粘性土では 0.1, 1.0, $10.0\%/min$ の 3 種を設定した。

FEM 解析 解析は、載荷板直径 9cm の小型 FWD を念頭に置いて、図 2 に示す軸対象モデルを用い、LS-DYNA による粘弾性解析を行った。なお、粘弾性には、次の構成式を用いた。

$$G(t) = G_{\infty} + (G_0 - G_{\infty})e^{-\beta t}$$

（ G_0 ：初期せん断弾性係数， G_{∞} ：後期せん断弾性係数， β ：粘性項を含む定数）

解析に用いた地盤の物性値を表 1 に示す。載荷板については弾性体とし、密度、弾性係数、ポアソン比は、 7.85g/cm^3 、 $2.1 \times 10^5\text{MN/m}^2$ 、0.3 とした。

解析は荷重波形を載荷板上に入力して行った。荷重波形は、実測の荷重波形に近似させたもので、最大荷重を 4kN とし、載荷時間は 2.5, 5.0, 10.0, 15.0, 50, 1500, 5000ms の 7 種設定した。

3. 試験・解析結果

静的三軸圧縮試験 図 3 に軸差応力と軸ひずみとの関係を示す。礫質砂、火山灰質粘性土とも軸ひずみ速度が大きいケースでは、軸差応力がやや大きくなる傾向となるが、軸ひずみが 1% 以下では、軸ひずみ速度による違いは明確でない。

図 4 に接線変形係数のひずみレベル依存性を整理した軸ひずみと接線変形係数との関係を示す。火山灰質粘性土の場合、軸ひずみが 10^{-4} 程度以下で、軸ひずみ速度が大きいほうがやや接線変形係数が大きい傾向が見られるが、礫質砂の場合、その傾向は、軸ひずみが 10^{-3} 程度以下で見られる。また、礫質砂では、軸ひずみの増加とともに接線変形係数が低下

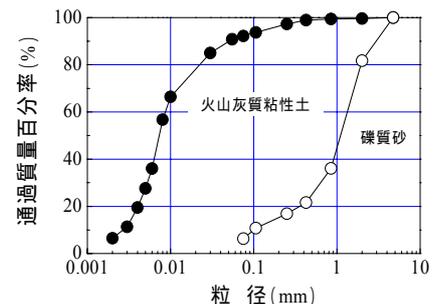


図 1 試験に用いた土の粒度分布

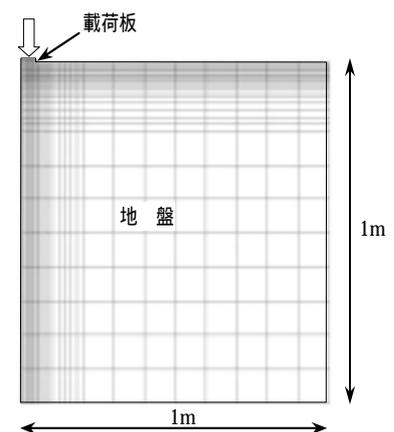


図 2 FEM モデル

表 1 粘弾性体の物性値

	密度 (g/cm^3)	G_0 (MN/m^2)	G_{∞} (MN/m^2)	ポアソン比	β ($1/\text{ms}$)
地盤	2.03	76.9	9.0	0.3	3.8

キーワード : FWD, 三軸試験, 粘弾性, FEM, 載荷速度, 載荷時間,

連絡先 : 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

Tel 042-573-7276 Fax 042-573-7413

した後あるひずみレベルになると再び大きくなるという十分に締固めた土の傾向を示している。

これらより、実際の FWD での載荷速度に比べるとかなり小さい載荷速度ではあるが、粘性土より砂質土のほうが、接線変形係数に対する載荷速度の影響があることがわかる。

FEM 解析 図 5, 6 に入力荷重波形、応答変位波形を示す。荷重の最大値が同じでも載荷時間が長くなるに従って、変位のピークは大きくなり、ある載荷時間以降はほぼ一定の値に収束する傾向を示している。

そこで、載荷時間と変位のピーク値との関係を整理した(図 7)。載荷時間 20ms 程度までは、載荷時間の増加とともに最大変位は比較的線形的に増加し、50ms 以降ではほぼ収束している。収束値は静的載荷時の値と考えられ、剛性の高い地盤では載荷時間が短くなることから¹⁾、静的載荷と同じ荷重の衝撃載荷の場合、静的載荷に比べて変位が小さくなり、静的載荷から得られた剛性より大きな剛性が得られることになる。また、剛性の低い地盤では、剛性の高い地盤に比べて載荷時間が長くなることから¹⁾、変位が大きくなり、静的載荷から得られた剛性に近づく傾向になると考えられる。

4. おわりに

今回の検討により、FWD 試験から得られる地盤の剛性が平板載荷試験による剛性より大きくなる要因の一つとして、載荷速度と載荷時間の影響があることがわかった。今後、さらなる検討を進めていきたい。

【参考文献】

- 1) 久保寺貴彦, 関根悦夫, 桃谷尚嗣, 姫野賢治: 小型 FWD に関する衝撃解析 - 衝撃緩和材の剛性の影響 -, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集, 第 部門, pp.114~115, 2001.10
- 2) 久保寺貴彦, 関根悦夫, 桃谷尚嗣, 姫野賢治: 地盤剛性が小型 FWD 測定値に及ぼす影響の解析的検討, 土木学会第 58 回年次学術講演会, 第 部門, 2003.9 (投稿中)

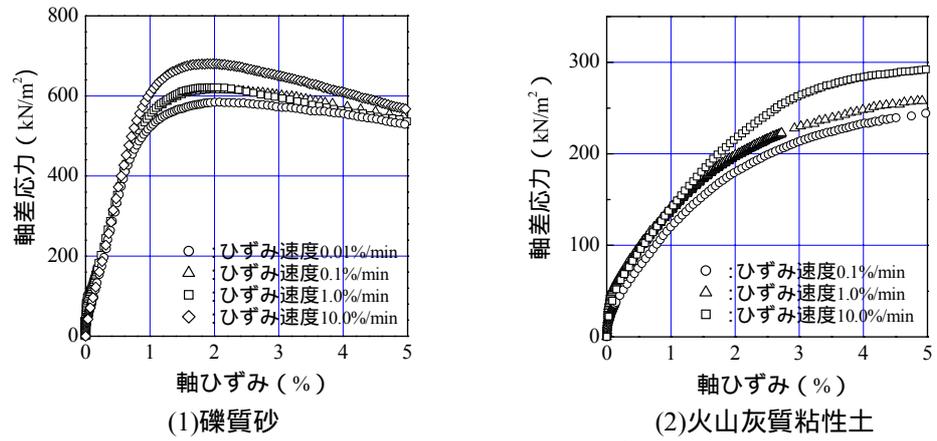


図 3 三軸試験による応力・ひずみ関係

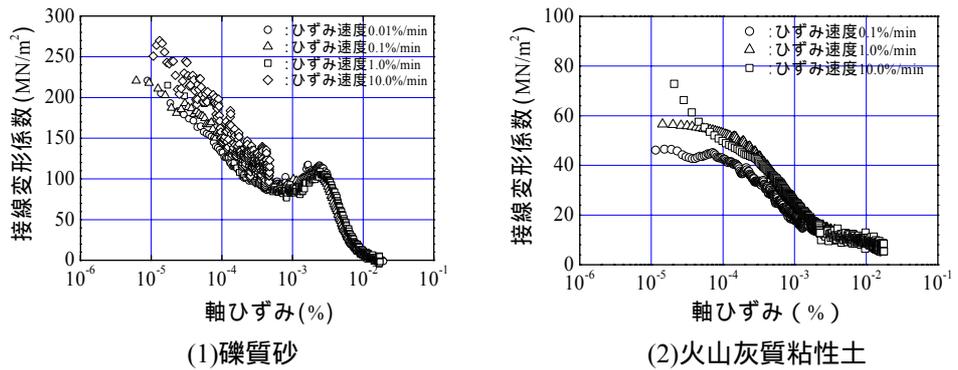


図 4 軸ひずみと接線変形係数

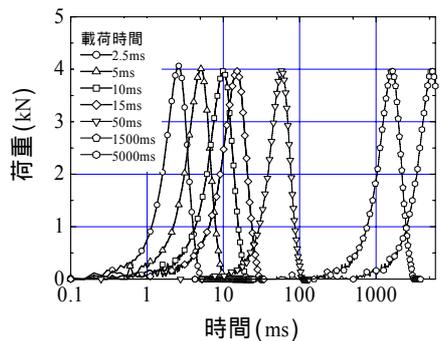


図 5 入力荷重波形

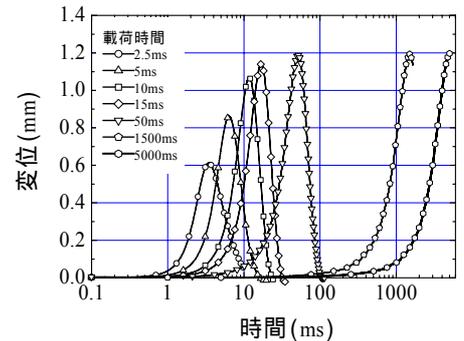


図 6 応答変位波形

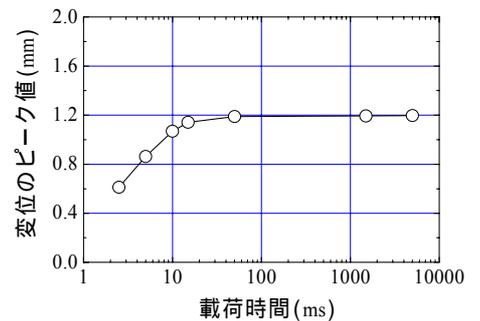


図 7 載荷時間と変位のピーク値