

低拘束圧での礫の動的変形・強度特性の研究

鉄道総合技術研究所 正 O 蔭 関魯・館山 勝  
日本鉄道建設公団 正 青木 一二三・米澤 豊司  
東京大学 正 龍岡 文夫・古関 潤一

1. まえがき： 鉄道・道路などの土構造物の耐震性能を評価するために、土の動的な変形・強度特性を把握する必要がある。そこで本研究は、これらの研究の一環として良配合の礫材を用いて、特に大地震時（レベル2）に着目した三軸圧縮試験と三軸繰返し試験を系統的に実施し、土構造物の地震時安定解析並びに変形解析に必要な諸特性について検討した。

2. 試料・実験方法： 試験に用いた試料は、M30 粒度調整碎石 ( $D_{max} = 38 \text{ mm}$ ,  $D_{50} = 3.5 \text{ mm}$ ,  $U_c = 12.75$ ,  $F_c = 8.5 \%$ ,  $w = 3.73\%$ ) である。大型三軸試験装置を用い、軸変位を局所変形測定装置(LDTs)、側方向変位を左右各三個のギャップセンサーによって測定した(図1)。供試体の寸法は直径 300 mm, 高さ 600 mm であり、12~19層に分けて円形モールド内で各層毎に振動バイブレイタによって10分間、振動締め固めを行い、その後、場合によって直径 285 mm の鉄板を供試体上面に設置し、その上から木製のランマーを用いて所定密度まで突き固めた。さらに、均一性を高めるために5分間振動締め固めを行った。全ての三軸圧縮試験は、ひずみ速度 0.01%/min にて排気条件で実施した。繰返し載荷試験は、載荷周波数  $f = 0.1 \text{ Hz}$  の正弦波を用いて、排気条件で6回の繰返し載荷を行った。等価ヤング率  $E$  と等価ポ

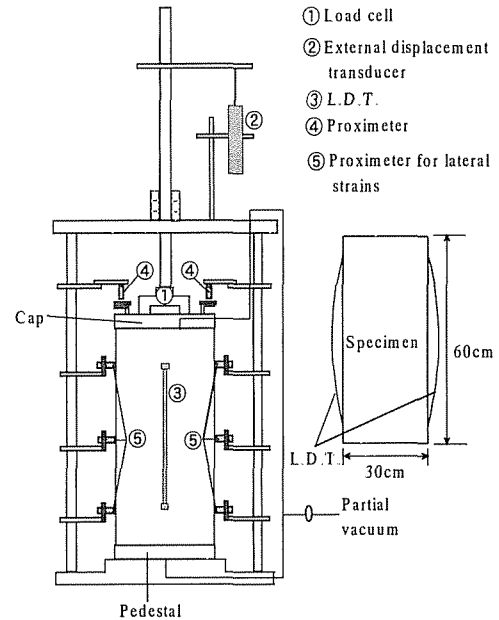


図1 大型三軸試験機の概要図

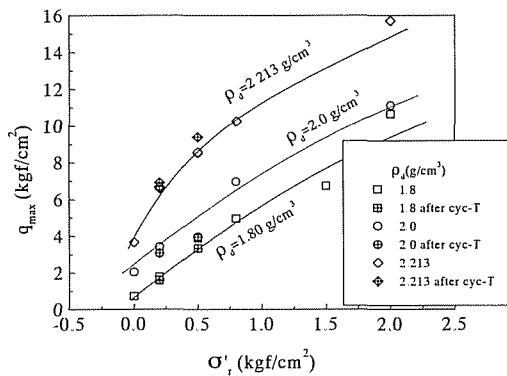


図2 ピーク応力と拘束圧の関係

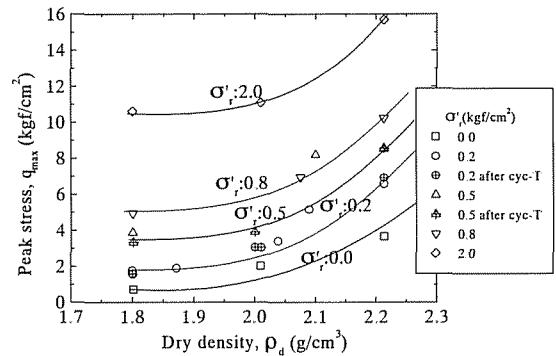


図3 ピーク応力と乾燥密度の関係

アソン比 $\nu$ は、履歴ループの上下端を結ぶ直線の傾きによって求めた。等価せん断剛性  $G$  は、 $G = E/(2(1+\nu))$  によって求めた。ここで用いた変形係数は、繰返し載荷の2~5回目の平均値である。

3. 実験結果及びその考察： 図2は、異なる乾燥密度でのピーク応力  $q_{max}$  と拘束圧  $\sigma'_r$  の関係である。この図から、次のことが分かる。①良配合礫材の場合には、少し湿潤であれば、拘束圧がゼロ ( $\sigma'_r = 0$ ) であっても、内部粘着力がある。なお、この内部粘着力は、乾燥密度が大きくなるにつれ、大きくなる。②低拘束圧範囲 ( $\sigma'_r = 0 \sim 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ ) において、乾燥密度が大きくなるにつれ、 $q_{max} \sim \sigma'_r$  の関係の非線形性が激しくなる。図3は、ピーク応力  $q_{max}$  と密度  $\rho_d$  の関係である。この図から、次のことが分かる。 $q_{max}$  は、 $\rho_d$  の増加に従って、大きくなる。 $q_{max}$  の増加率は、密度の小さい範囲 ( $\rho_d < 1.95$

Evaluation of dynamic properties of a well-graded gravel under cyclic triaxial tests : JIANG, G.L. and TATEYAMA, M. (Japan Railway Technical Institute), AOKI, H. and YONEZAWA, T. (Japan Railway Construction Public Corporation), TATSUOKA, F. and KOSEKI, J. (Tokyo University)

g/cm<sup>3</sup>)では小さいが、 $\rho_d$ が1.95 g/cm<sup>3</sup>を超えると大きくなる。この特性は、盛土の構築に対して重要な意味を持つ。すなわち、構築される盛土の $\rho_d$ は2.05 g/cm<sup>3</sup> ( $\rho_d > 90\%(\rho_d)_{max}$ )程度である場合が多いが、この密度領域の盛土の強度は、わずかな $\rho_d$ の変化で大きく変わり得ることを示唆している。また、十分に締固められた礫であれば、列車荷重レベル(0.3 ~ 0.9 kgf/cm<sup>2</sup>)での繰返し載荷履歴は盛土の強度にほとんど影響がないことも推察できる。

図4は、軸ひずみが0.001%程度での三軸圧縮試験での初期変形係数  $E_{initial}$  と初期間隙比  $e_0$  の関係および  $E_{initial}/f(e)$  と  $e_0$  の関係を示す。ここで、密度補正係数は、 $f(e)=(2.17-e)^2/(1+e)$  で表された。この図から分かるように、初期変形係数  $E_{initial}$  は初期間隙比  $e_0$  の増大に伴って小さくなるが、 $E_{initial}/f(e)$  は  $e_0$  に関係なくほぼ一定値である。

図5(a), (b)は、それぞれ軸ひずみが0.001%程度での等価ポアソン比 $\nu_0$ 、等価ヤング率 $E_0$ 、等価せん断ヤング率 $G_0$ と拘束圧 $\sigma'_r$ の関係を示す。これらの図から、次のことが分かる。等方応力状態において、等価ポアソン比 $\nu_0$ は、拘束圧に関係せずほぼ一定値である。一方、等価ヤング率 $E_0$ 、等価せん断剛性 $G_0$ は、拘束圧の増加とともに大きくなり、その関係は、 $E_0 \propto \sigma_r^{0.52}$  である。なお、詳しくは参考文献1, 2を参照とする。

図6は、 $G_{eq}/G_0$ 、 $h$  と  $\gamma$  の関係を示す。 $G_{eq}/G_0$ は、せん断ひずみ $\gamma$ が $10^{-4}$ 程度までの低下程度は文献3の砂質土に比べて小さい。また、減衰定数 $h$ も砂質土に比べて小さいが、大きなひずみレベルにおける減衰定数の低下傾向も見られる。

4. あとがき： 密に締め固めた良配合礫の動的変形・強度特性に関して、以下のことが判明した。

- 1) 良配合礫材の場合には、少し湿潤であれば、拘束圧がゼロ( $\sigma'_r = 0$ )であっても、内部粘着力がある。
  - 2) 初期変形係数  $E_{initial}$  は、初期間隙比  $e_0$  の増大に伴って小さくなるが、 $E_{initial}/f(e)$  は  $e_0$  に関係なくほぼ一定値である。
  - 2) 履歴減衰定数  $h$  は、砂質土に比べて小さいが、大きなひずみレベルにおける減衰定数の低下傾向は同様に確認された。
- 今後はさらに検討を加え、動的解析に用いる標準的な盛土材の動的強度・変形特性を提案する予定である。

参考文献：

- 1) Tatsuoka, F., Modoni, G., Jiang, G.L., Anh Dan, L.Q., Flora, A., Matsushita, M., and Koseki, J. (1999), "Stress-strain behaviour at small strains of unbound granular materials and its laboratory tests." Workshop on MODELLING AND ADVANCED TESTING FOR UNBOUND GRANULAR MATERIALS, January 21 and 22, 1999, Lisboa, Portugal.
- 2) Jiang, G.L., Kohata Y., Tateyama, M., and Tatsuoka, F. (1999), "Small deformation characteristics at low pressure of dense gravel", Proc. Second Int. Symp. on Prefailure Deformation Characteristics of Geomaterials, IS Torino' 99
- 3) 青木 一二三・松室 哲彦・蔣 関魯・館山 勝・龍岡 文夫・古関 潤一, (1999), "低拘束圧での砂質土の動的変形・強度特性の研究", 第34回地盤工学研究発表会

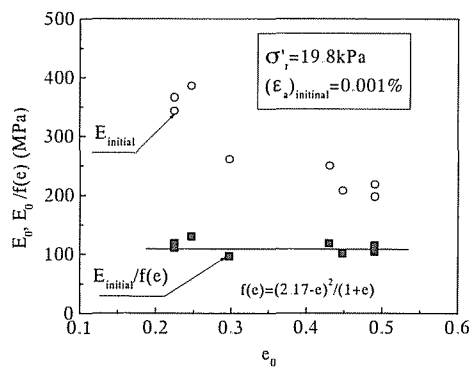


図4 初期ヤング率と初期間隙比の関係

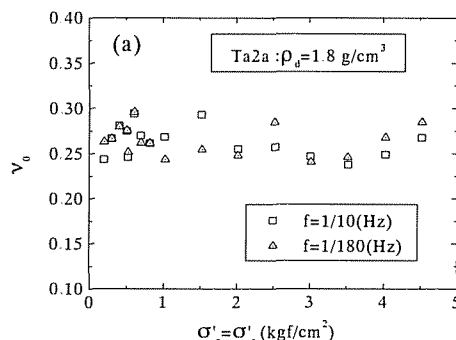


図5(a) 等価ポアソン比と拘束圧の関係

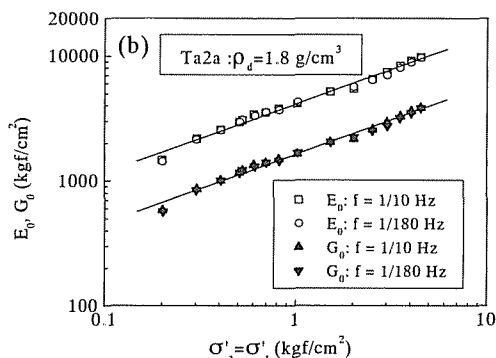


図5(b) 等価ヤング率と拘束圧の関係

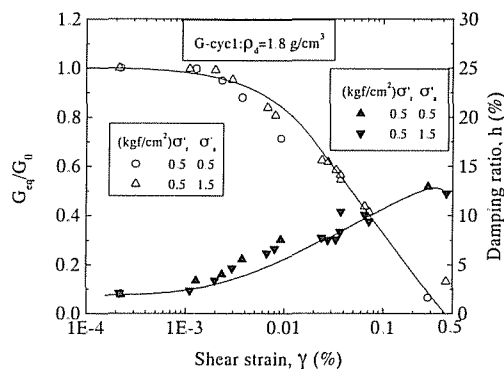


図6 礫の  $G_{eq}$ ,  $h$  と  $\gamma$  の関係