

29

地盤材料のせん断剛性、減衰定数のひずみ依存性

複合技術研究所 正 ○蔭 関魯
 鉄道総合技術研究所 正 館山 勝
 日本鉄道建設公団 正 梅原 俊夫・青木 一二三
 東京大学 正 龍岡 文夫

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、土の動的な変形特性、即ちせん断剛性と減衰定数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粒度調整碎石、豊浦砂、稲城砂、ローム、神戸礫の5種類土質材に対して、その結果、特に大地震時(レベル2)に着目し、大ひずみ領域(1%程度)における三軸圧縮試験と三軸繰返し試験を系統的に実施した。諸特性について整理した。

2. 試料・実験方法： 試験に用いた試料は、M30 粒度調整碎石 ($D_{max}=38\text{ mm}$, $D_{50}=3.5\text{ mm}$, $U_c=12.75$, $G_s=2.71$, $e_{min}=0.178$, $F_c=8.5\%$)、標準豊浦砂 ($D_{50}=0.162\text{ mm}$, $U_c=1.46$, $G_s=2.64$, $e_{max}=0.973$, $e_{min}=0.612$)、稲城砂 ($D_{50}=0.168\text{ mm}$, $U_c=13.5$, $e_{mix}=0.521$, $w_{opt}=14.6\%$)、ローム ($G_s=2.81$, $PI=20.4$)、神戸礫 ($D_{max}=37.5\text{ mm}$, $D_{50}=7.30\text{ mm}$, $U_c=44.2$, $F_c=8.5\%$) である。粒度調整碎石と神戸礫の場合には、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)。豊浦砂や稲城砂、ロームの場合には、小型三軸試験装置を用い、大型三軸試験と同様な測定方法で試験を行った。表1に示すのは、各試料の試験条件と試験方法である。等価ヤング率 E と等価ポアソン比 ν 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、繰返し载荷の2~5回目の平均値である。

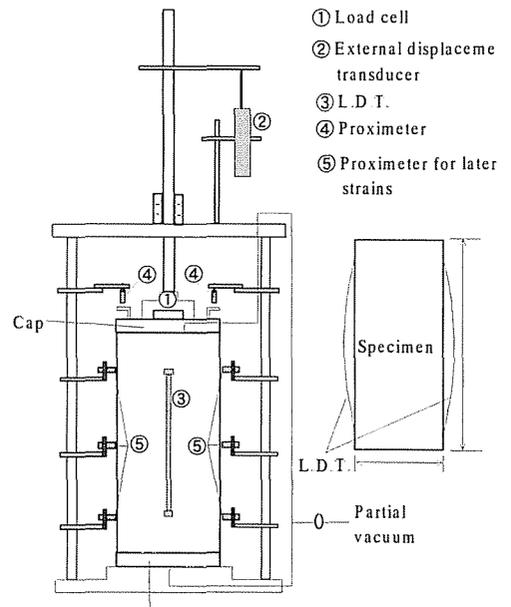


図1 三軸試験機の概要図

表1 実験で使用した試料の作成方法と载荷方法

試料	含水比 (w %)	作成方法	乾燥密度 (g/cm ³)	载荷方式	寸法 D×H (mm)
粒調碎石	3.73	突き固め	1.80	正弦波 0.1 Hz	300×600
神戸礫	5.12	ブロックサンプリング	1.80	正弦波 0.1 Hz	300×600
標準豊浦砂	0.3	空中落下	1.55	正弦波 0.1 Hz	70×140
稲城砂	21.00	突き固め	1.65	正弦波 0.1 Hz	70×140
ローム	98.24	ブロックサンプリング	0.676	正弦波 0.1 Hz	70×140

3. 実験結果及びその考察： 図2(a),(b)に示すのは、それぞれ微小ひずみレベル($\gamma = 10^{-5}$)での等価せん断剛性 G_0 、減衰係数 h と拘束圧 σ'_r の関係である。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、 $G_0 \propto \sigma_r^m$ である。パワー指数 m は、試料によって異なるが、概ね 0.35~0.55 の範囲であることが分かった。なお、詳しくは参考文献 1), 2), 3) を参照とする。一方、減衰係数は、バラツキが見られるものの、拘束圧に関係せずほぼ一定である。図3(a), (b)は、 G_{eq}/G_0 , h_0 と γ

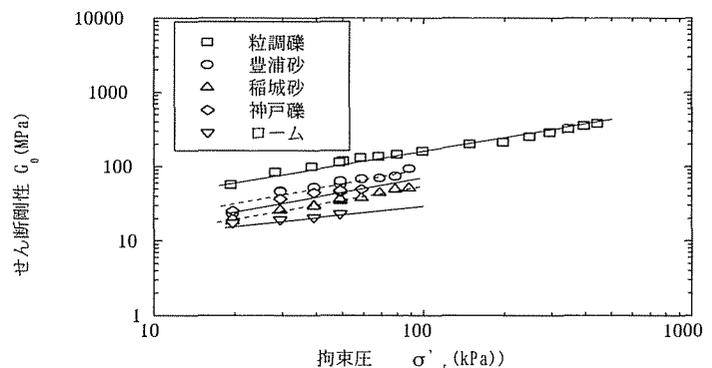


図2(a) せん断剛性と拘束圧の関係

Relations of shear modulus and damping ratio versus strain amplitudes for ground materials: JIANG, G.L. (Integrated Geotechnology Institute), TATEYAMA, M. (Japan Railway Technical Institute), UMEHARA, T. and AOKI, H. (Japan Railway Construction Public Corporation), TATSUOKA, F. (University of Tokyo)

の関係を示す。粗粒材（粒度調整碎石、豊浦砂、稲城砂、神戸礫）の場合には、せん断ひずみの増加につれ、 G_{eq}/G_0 は低下するが、その低下率がほぼ同程度であるのに対して、ロームだけは別な傾向を示す。減衰係数 h は γ に対して増加傾向を示すが、その増加率は神戸礫、豊浦砂、稲城砂、粒調碎石、ロームの順に小さくなり、その原因は、粗粒材に対して、細粒分の含有率や粒度組成が、かなり影響を与えるようである。

4. あとがき： 多種地盤材の動的な変形特性に関して、以下のことが判明した。

- 1) 初期変形係数 E_0 は、拘束圧の増大に伴って増加するが、減衰係数は拘束圧に依存せずほぼ一定である。
- 2) 粗粒材（粒度調整碎石、豊浦砂、稲城砂、神戸礫）の場合には、せん断ひずみ γ の増加につれ G_{eq}/G_0 は低下するが、その低下率がほぼ同じである。一方、ロームの低下率は粗粒材のそれらに比べて小さい。
- 3) 粗粒材（粒度調整碎石、豊浦砂、稲城砂、神戸礫）の場合には、せん断ひずみ γ の増加につれ、減衰係数 h は増加するが、その増加率が神戸礫、豊浦砂、稲城砂、粒調碎石、ロームの順に小さくなる。

今後はさらに検討を加え、各種地盤材に対する動的変形特性について定式化を行う。

参考文献：

- 1) F., TATSUOKA, G., MODONI, G.L., JIANG, L.Q., ANH DAN, A., FLORA, M., MATSUSHITA, and J., KOSEKI, (1999), "Stress-strain behavior at small strains of unbound granular materials and its laboratory tests." Proceedings of an international Workshop on MODELLING AND ADVANCED TESTING FOR UNBOUND GRANULAR MATERILAS, January 21 and 22, 1999, Lisboa, Portugal. Balkema, 17 ~ 61.
- 2) G.L., JIANG, Y., KOHATA and F., TATSUOKA. (1999). "Small deformation characteristics at low pressure of dense gravel", Proc. of Second Int. Symposium on Prefailure Deformation Characteristics of Geomaterials, IS Torino'99, Balkema, Vol.I, 291 ~ 298.
- 3) Y., KOHATA, G.L., JIANG, O., MURATA, and F., TATSUOKA. (1999). "Elastic-properties-based modeling of non-linear deformation characteristics of gravels", Proc. of Second Int. Symposium on Prefailure Deformation Characteristics of Geomaterials, IS Torino' 99, Balkema, Vol.I, 533 ~ 539.
- 4) 青木 一二三・松室 哲彦・蔭 関魯・館山 勝・龍岡 文夫・古関 潤一, (1999), 「低拘束圧下での砂質土の動的変形・強度特性の研究」, 第34回地盤地盤研究発表会論文集, pp. 1049 ~ 1050.
- 5) 蔭 関魯・館山 勝・青木一二三・米澤 豊司・龍岡 文夫・古関 潤一, (1999), 「低拘束圧での礫の動的変形・強度特性の研究」, 第34回地盤地盤研究発表会論文集, pp. 1051 ~ 1052.

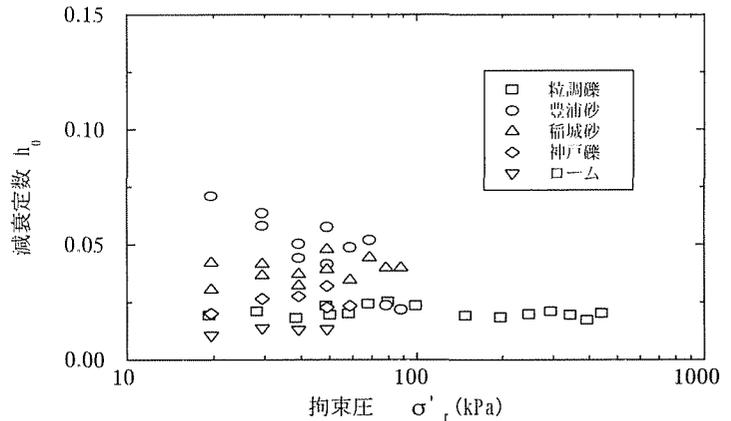


図2 (b) 減衰定数と拘束圧の関係

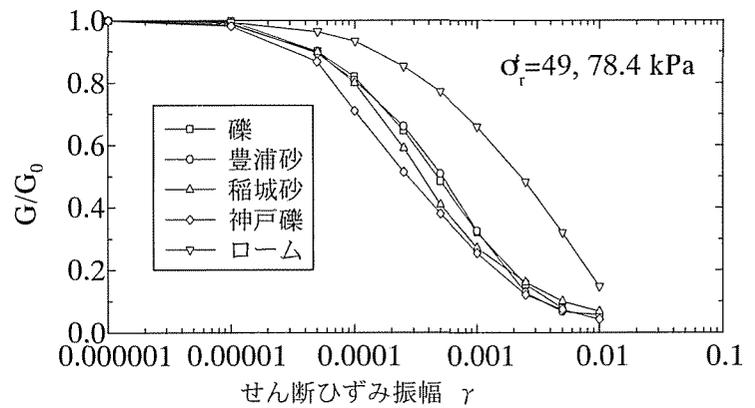


図3 (a) G/G_0 と γ の関係

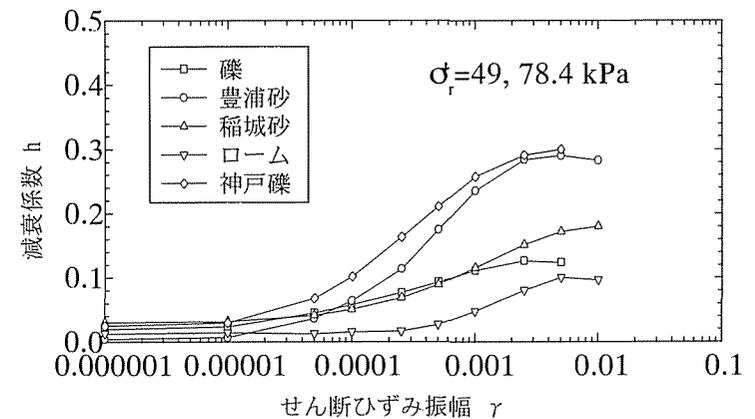


図3 (b) 減衰係数とせん断ひずみの関係