礫を含む中間土の液状化特性

和歌山工業高等専門学校　正 会 員○原　　忠
学生会員　上野舞子，土井健資
長岡技術科学大学　正 会 員　豊田浩史，高田晋
鳥取大学　正 会 員　中村公一

１．はじめに

兵庫県南部地震（1995 年）[1]では，礫分や細粒分を含む広範囲な粒度分布を有する地盤の液状化が確認され，それにより多くの構造物に甚大な被害を与えた．実際の埋立地盤は均等係数の小さい砂のみで構成されていることはまれで，礫やシルトなどの細粒分を含んでいるケースが多い[2),3)]．このような背景から，従来主に砂質土を対象としてきた地震時の動的問題が，礫質土や細粒分を含む土質にまで広まりつつある．

本研究では，相対密度の異なる礫を含む中間土に対して，直径 100mm，高さ 200mm の中型供試体により行った繰返し非排水三軸試験から，得られた液状化強度やせん断試験後の圧密特性について述べる．さらに，それらを類似の相対密度や非塑性な細粒分を含む砂礫の結果と比較し，礫を含む中間土の液状化特性を考察する．

２．試料の物理特性

図-1 に試料の粒径加積曲線を示す．試料は和歌山県広川町の埋立材料として用いられた最大粒径が 26.5mm の礫を含む中間土（以下，広川土と称する）で，現地の埋立土の粒度分布にはある程度の幅が見られる．三軸試験は，**図-1** の現地土のほぼ中間の粒度組成を示すよう室内調整した均等係数 230，細粒分含有率 18%，礫分含有率 35%の試料について行う．液性限界・塑性限界試験より求めた I_p は 17 で，道路橋示方書[4)]で示された「液状化の判定を行う必要のある土質条件」の範囲外の試料と判断される．供試体の相対密度の計算に必要な広川土の最小・最大密度は，礫の最小密度・最大密度試験[5)]より求めた[6)]．

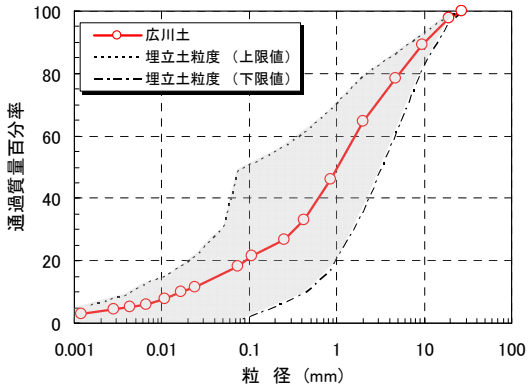

図-1　試料の粒径加積曲線

３．試験方法

供試体は粒子分級による影響を最小限に抑えるため，別途用意した容器内において試料を 5%程度の含水比になるよう調整した後，直径 49mm のランマにてモールド内で一定に締固めるウエットタンピング法により作成した．各試料とも相対密度の違いが液状化強度に与える影響を検討するため，圧密後供試体の相対密度が D_r≒40%，50%，60%になるよう作成時の試料投入量を調整した．各供試体とも背圧は 98kPa とし，間隙圧係数 B が 0.96 以上であることを確認した後に有効拘束圧 σ_c'=49kPa で等方圧密した．圧密時間は 1 時間程度としたが，この時間内で排水量が完全に落ち着くことを確認した．

液状化試験は 0.1Hz の正弦波軸応力を非排水条件で加え，両振幅軸ひずみ DA が 10%に到達するまで繰返し載荷した．なお，供試体側面の平坦度は全体的によく，メンブレン貫入補正の影響は小さいと判断した．

４．実験結果

図-2 に相対密度を変化させた広川土の繰返し非排水三軸試験結果を，両振幅軸ひずみ DA が 2%に達するまでの繰返し載荷回数 N_c と繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma_c'$ の関係でまとめたものである．広川土の液状化強度曲線は相対密度にある程度のばらつきが見られるが，全体的には D_r の違いによらずほぼ等しく，繰返し載荷回数に対する繰返し応力比の変化傾向も類似している．繰返し載荷回数 N_c=20 で定義された液状化強度 R_{L20} は 0.17 程度である．同図中

キーワード：液状化，中間土，相対密度，粒子破砕
連絡先：〒644-0023　和歌山県御坊市名田町野島 77　和歌山工業高等専門学校環境都市工学科　TEL.0738-23-8461

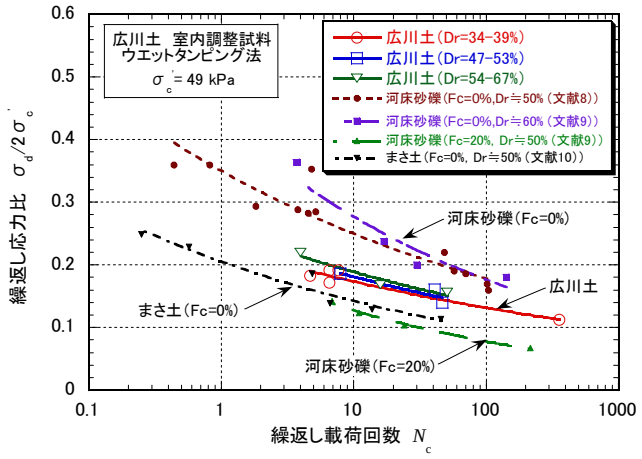

図-2　液状化強度曲線（DA=2%）

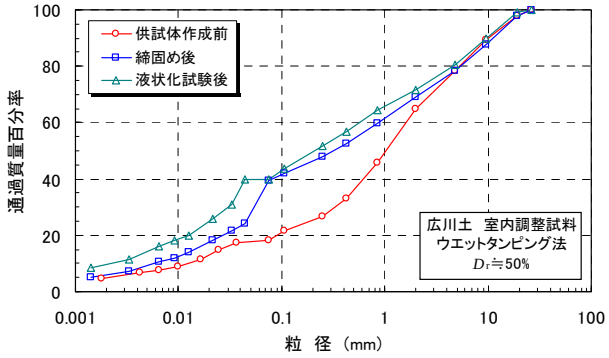

図-3　液状化試験前後の粒径加積曲線の比較

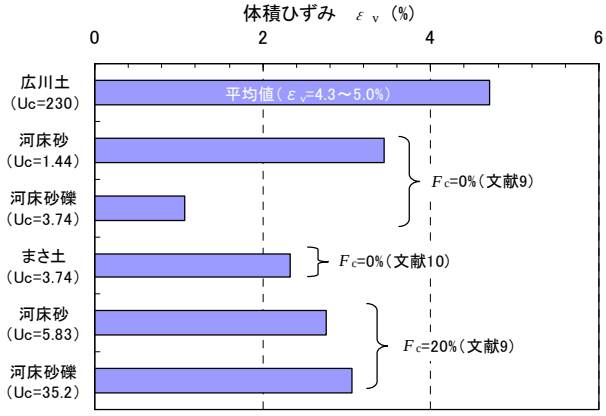

図-4　液状化試験後の再圧密試験結果

には河床砂礫やまさ土室内調整試料より得られた同様な関係[8),9),10)]を併せて示す．相対密度のほぼ等しい供試体同士で比較した場合，広川土の液状化強度は堅硬な粒子を有する河床砂礫に比べて小さいが，同程度の非塑性な細粒分を含む砂礫や粒子破砕性の大きいまさ土に比べてやや大きい．

図-3 は D_r≒50%供試体の繰返し非排水三軸試験前後の粒径加積曲線をまとめたものである．締固め後や液状化試験後の粒度分布は，供試体作成前に比べ左に大きくシフトしている．試料の粒子破砕率 B_M[11)]は，締固め直後に 25%，圧密･繰返しせん断過程で 20%と計算され，各実験過程で大きな粒子破砕が生じている．

図-4 は広川土の D_r≒50%供試体の液状化試験後の再圧密試験結果の平均値を，有効拘束圧 σ_c'が 49kPa に達した時点での体積ひずみ ε_vで示したものである．ここでの体積ひずみは，両振幅軸ひずみ DA が 10%に到達した時点で直ちに載荷を停止し，再び排水状態に戻した時点でのビューレットの排水量を液状化試験前の初期圧密完了時を原点として整理している．供試体毎の体積ひずみ発生量のばらつきは ε_v=4.3%～5.0%と小さい．同図中には D_r≒50%の河床砂，河床砂礫[9)]，まさ土[10)]の同様な関係を合わせて示す．ほぼ同程度の相対密度を有する供試体同士で比較した場合，広川土は他の試料に比べ均等係数が大きいが，再圧密過程での過剰間隙水圧の消散に伴う体積変化の平均値は 4.7%と大きく，均等係数の小さい河床砂や，液状化後の体積圧縮性の大きいまさ土，ほぼ同程度の非塑性な細粒分を含む河床砂・河床砂礫のいずれも上回る値を示している．

５．結　論

(1) 広川土の液状化強度は，相対密度の違いによらずほぼ同程度の値を示す．(2) 広川土の液状化強度は，同程度の相対密度を有する供試体の結果と比較した場合，河床砂礫より小さく，非塑性な細粒分を含む砂礫やまさ土に比べやや大きい．(3) 広川土は，供試体作成時や圧密・繰返しせん断過程で粒子破砕が生じる．(4) 広川土の液状化試験前後の体積ひずみ変化量は，砂質土やまさ土，細粒分含有率の等しい室内調整試料に比べて大きい．

【参考文献】1) 例えば，Ishihara, K.: Geotechnical aspect of the 1995 Kobe earthquake, *14 th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Terzagi Oration, 1997.　2) 沼田淳紀ら，土木学会論文集, No.722/Ⅲ-61, pp129-147, 2002.　3) Kokusho, T. et al.: Case study of rock debris avalanche gravel liquefied during 1993 Hokkaido-Nansei-Oki earthquake, *Soils and Foundations*, Vol.35, No.3, pp.83-95, 1995.　4) 日本道路協会編：道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説, 2002.　5) 地盤工学会編：礫の最小密度・最大密度試験方法（JGS 0612-2006），新規制定地盤工学会基準・同解説（2006 年度版），2006.　6) 原忠ら：礫を含む中間土の液状化強度に及ぼす相対密度の影響，第 44 回地盤工学研究発表会発表講演集（印刷中），2009.　7) Kokusho, T. and Yoshida, Y. : SPT N-value and S-wave velocity for gravelly soils with different grain size distribution, Soils and Foundations, Vol.37, No.4, pp.105-113, 1997.　8) 原忠，國生剛治：砂礫の液状化強度および液状化後の非排水せん断強度に及ぼす粒度分布の影響，土木学会論文集, No.645/Ⅲ-50, pp.245-253, 2000.　9) 原忠ら：非塑性細粒分を含む砂礫の非排水せん断特性，土木学会論文集, No.785/Ⅲ-70, pp.123-132, 2005.　10) Hara, T. et al.: Undrained Strength of Gravelly Soils with Different Particle Gradations, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No.144, 2004.　11) Marsal, R.J.: Large Scale Triaxial Test of Rockfill Materials, *Proc. ASCE*, Vol.93, SM 2, pp.27-43, 1967.