

津波被災河川堤防の液状化強度とせん断後の変形・せん断特性

高知大学大学院 学生会員 ○上野 舞子

高知大学 正会員 原 忠

九州大学 正会員 ハザリカ ヘマンタ

徳島大学 正会員 大角 恒雄

香川大学 正会員 山中 稔

(株) 技研製作所 古市 秀雄

1. 実験目的

東北地方太平洋沖地震では、地震動や液状化、その後の津波により多くの河川堤防が被災し、堤内地の浸水被害を拡大させた¹⁾。

本報では、局所的に破堤した岩手県中南部の吉浜川左岸堤防(図1、三面張り構造、堤高約5m)²⁾より採取した堤体材料の液状化強度や、液状化後の変形・せん断特性を述べる。



図1 吉浜川左岸堤防の被害状況

2. 試験材料

図2に本研究で用いた試料の粒径加積曲線を示す。試料は花崗岩閃緑岩を起源とした細粒分まじり砂(以下、吉浜土と称する)で、 $I_p=4.7$ のほぼ非塑性な細粒分を20.5%含む。現場密度試験(JGS 1613)より得られた湿潤密度 ρ_t は 1.46g/cm^3 、乾燥密度 ρ_d は 1.28g/cm^3 で、含水比より計算した地表面付近での飽和度は34.8%である。砂の最小・最大密度試験(JIS A 1224)より得られた吉浜土の最小密度は 1.085g/cm^3 、最大密度は 1.454g/cm^3 であり、堤体は相対密度60%に相当する締固め度を有する。ちなみに、2011年5月の現地調査では、堤体天端より約2m下部に地下水位が確認された²⁾。

3. 試験方法

三軸試験は直径50mm、高さ100mmの小型供試体を

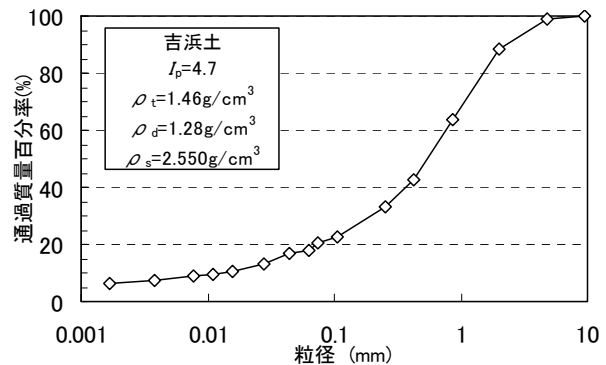


図2 試料の粒径加積曲線

用いた。供試体は粒子分級による影響を最小限に抑えるため、ウェットタンピング法により作成した。供試体の圧密後の乾燥密度は、現地の乾燥密度を目標値とした。試料は2mm以上の礫が含まれているが、供試体側面の平坦度は全体的に良いため、メンブレン貫入補正は行わないこととした。

間隙水圧係数 B が0.96以上であることを確認した後、各試料とも有効拘束圧 98kPa で等方圧密した。繰返し非排水せん断試験は 0.1Hz の正弦波軸応力を非排水条件に加え、両振幅軸ひずみ DA が10%に達するまで載荷した。

4. 試験結果

図3は、吉浜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、5、10%、 $\Delta u/\sigma'_c=0.95$ に対応する繰返し載荷回数 N_c と繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma'_c$ の関係で整理したものである。 $D_r=60\%$ の河床砂³⁾の同様な関係を示しているが、吉浜土は繰返し載荷回数の変化に対する繰返し応力比の増減が大きく、繰返し載荷回数の大きい範囲でのせん断強度が小さい。 $N_c=20$ に対する繰返し応力比(液状化強度) R_{L20} は U_c の小さい河床砂に比べ吉浜土がやや大きい。ストレスパスより求めた吉浜土の内部摩擦角 ϕ' は 36.6° で、既往の花崗岩の風化した

キーワード：河川堤防、礫質土、繰返しせん断

連絡先：〒783-8502 高知県南国市乙200 高知大学大学院総合人間自然科学研究科

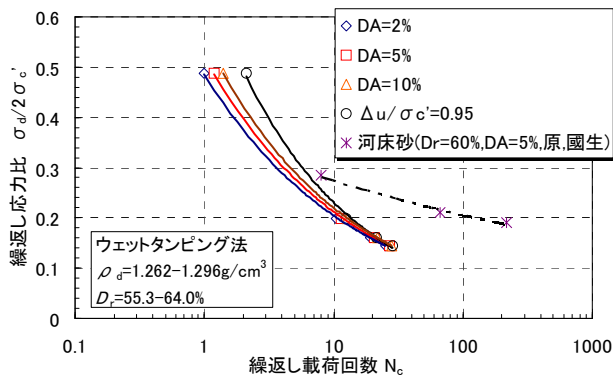


図3 繰返し応力比と繰返し载荷回数の関係

まさ土⁴⁾にほぼ等しい値を示している。

図4に、供試体の一部について繰返し非排水せん断試験後に行った圧密試験結果を、体積ひずみと有効拘束圧の関係で示す。圧密試験は、両振幅軸ひずみを10%まで繰返し载荷し、間隙水圧がほぼ100%上昇した液状化後の供試体に対して行っている。せん断後の供試体毎の圧密曲線のばらつきは小さい。各試料とも、特に圧密の初期段階において体積ひずみの変化量が大きく、 $\sigma'_c=98\text{kPa}$ に達した時点での体積変化量 ε_v は6%程度と大きい。図中に示す $D_r=50\%$ の緩い河床砂、河床砂礫のせん断後の体積変化量^{3),5)}は、それぞれ4%、1.5%、粒子破碎性を有するまさ土が4%程度であることからすれば、吉浜土の液状化後の体積変化は、 $D_r=60\%$ の中密な供試体であるにもかかわらず極めて大きいといえる。このような大きな変形が生じた理由として、圧密やせん断過程で生じた粒子破碎や、細粒分含有率の影響が考えられる。

図5に、供試体の一部について繰返し非排水せん断試験後に行った非排水単調载荷試験結果を示す。単調载荷試験は $DA=10\%$ まで载荷した供試体について、非排水状態に保ったまま $0.1\%/min$ のひずみ速度で静的载荷している。吉浜土の主応力差は、軸ひずみが増加とともに回復傾向を示すが、ピーク値は河床砂に比べ小さい。過剰間隙水圧の減少傾向も、河床砂に比べ緩やかである。

5. まとめ

破堤した河川堤防より採取した試料(吉浜土)を対象とした一連の実験結果から、以下の主要な知見が得られた。

- 1) 吉浜土の液状化強度は、同程度の相対密度を有する砂質土より小さく、繰返し载荷回数の大きい範

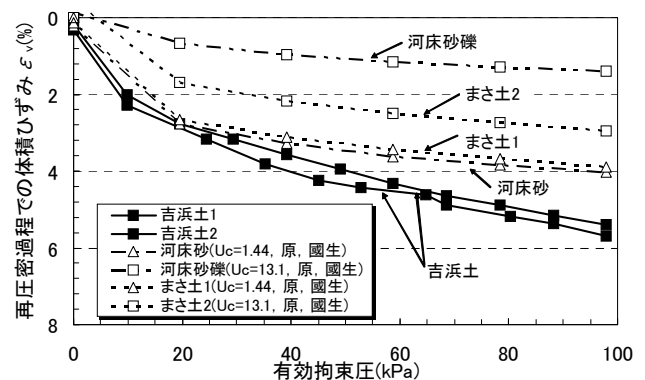


図4 液状化後の圧密特性

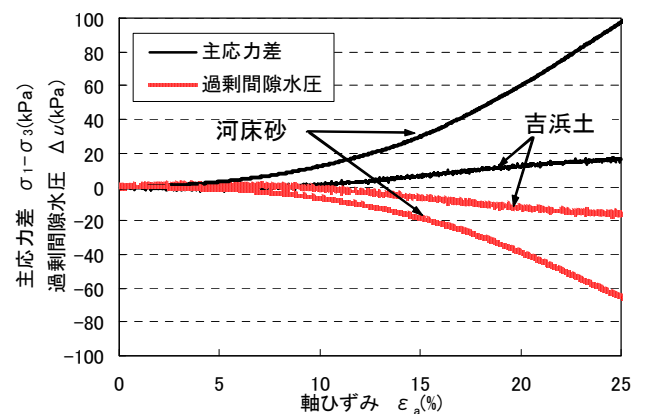


図5 液状化後の非排水単調载荷試験結果

囲での強度の低下が大きい。

- 2) 吉浜土は、均等係数の小さい砂や粒子破碎性を有するまさ土に比べ、液状化後の体積変化が大きい。
- 3) 吉浜土は、液状化後のせん断強度回復が小さい。

謝辞

本研究を行うにあたり、(株) 技研製作所中山知大氏、日本基礎技術(株) 山崎友治氏、箕輪英中氏、香川大学池田淳氏、九州大学新屋文男氏、岡田博之氏には多大なご協力を得ました。深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、原ら：2011年東北地方太平洋沖地震における岩手県沿岸中南部の河川堤防の津波による被害の特徴、地盤工学ジャーナル、7(1)、pp.25-36、2012。
- 2) 山中ら：大船渡市三陸町吉浜地区の津波越流河川堤防の決壊要因に関する一考察、第47回地盤工学研究発表会発表講演集(投稿中)、2012。
- 3) 原・國生：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、645(50)、pp.245-253、2000。
- 4) 西田・青山：物理強度特性からみた乱さないまさ土の分類、土木学会論文集、352(2)、pp.159-168、1984。
- 5) Hara, et al.: Undrained Strength of Gravelly Soils with Different Particle Gradations, the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.144, pp.1-9, 2004。