

二つの大震災時の地震波形による液状化試験

東京電機大学	フェロー会員	安田 進
東京電機大学	正会員	石川 敬祐
東京電機大学	学生会員	○垂水 秀樹

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は $M_w = 9.0$ という我が国における観測史上最大規模の地震であり、岩手県沖から茨城県沖まで非常に長い区間のプレート破壊が生じたプレート境界型地震で、地震動の継続時間は非常に長かった。一方1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は淡路島北部を震源とした内陸直下型地震で、継続時間は短かった。両地震とも広い範囲で液状化が発生したが、この継続時間の違いが液状化の発生にどのように影響したかを定量的に評価しておくことが大切と考えられた。そこで本研究では、東日本大震災時に K-NET 原町¹⁾で観測された地震波形と、阪神・淡路大震災時に神戸海洋気象台と東神戸大橋で観測された地震波形を用いて液状化試験を行い、継続時間つまりせん断応力の繰返し回数が液状化強度に与える影響を調べた。

2. 試験方法

試料は粒径が均一できれいな砂の豊浦砂である。試験には、繰返し中空ねじりせん断試験機を用いた。供試体の寸法は、外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空円筒型である。供試体作製方法は、空中落下法を用いた。供試体の密度は、相対密度が 50%、70%になるように設定した。供試体を作製した後、負圧をかけて供試体を自立させ、負圧を側圧に置換した後に2時間以上二酸化炭素を通した後、12時間以上かけて通水を行い、土粒子間を脱気水で満たした。その後、間隙水圧係数 B 値にて飽和度を確認し、軸方向変位を固定し、有効拘束圧を 50kPa として等方圧密を行った。その後非排水条件で所定の地震波形の繰返しせん断力を与えた。ただし、載荷装置の都合上波形の時間軸を 10 倍に伸ばしたものを使用した。地震波形としては、上述したように阪神・淡路大震災時に神戸海洋気象台と東神戸大橋で観測された地震波形と、東日本大震災時に K-NET 原町と浦安(これは既往の研究でのデータ²⁾を使用)で観測された波形とした。そして、それぞれの波形でせん断応力比の振幅を変えて実験を行った。

3. 液状化強度比の算定方法

本研究における液状化強度比は、石原・安田の考え方³⁾に準じて整理した。地震波荷重の載荷が終了した段階の過剰間隙水圧比に着目するとある程度上昇した状態となっており、この過剰間隙水圧比を残留過剰間隙水圧比 (U_r / σ'_c) とする。また、この時に加えた荷重振幅の継続変化中での最大せん断応力比 (τ_{max} / σ'_c) で代表することとし、この値を縦軸に、そして先ほど求めた残留過剰間隙水圧比の値を横軸にとり図1の模式図の通りに整理する。応力レベルを相対的に変化した複数の試験結果から整理した最大せん断応力比と残留過剰間隙水圧比の関係より、 $U_r / \sigma'_c = 0.95$ となる点を残留過剰間隙水圧比で評価した場合の液状化強度比 ($\tau_{max, l, u} / \sigma'_c$) と定義した。

4. 液状化試験結果

図2、3に、繰返し回数の多い原町波と繰返し回数の少ない東神戸大橋波を用いた試験結果のうち、丁度液状化した供試体におけるせん断応力比と残留過剰間隙水圧比の時刻

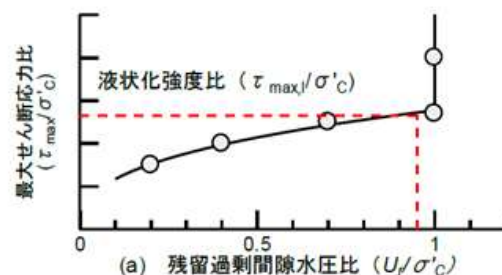


図1 液状化強度算定方法

キーワード 液状化, 地震波, 室内試験

連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学理工学部 TEL 049-296-0042

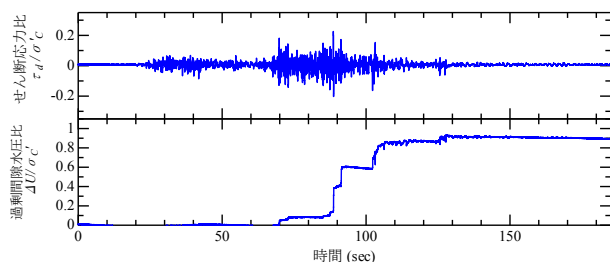


図2 原町波の試験結果

歴図を示す。原町波の試験結果では徐々に間隙水圧が上昇していくのに対し、東神戸大橋波の試験結果ではせん断応力比のピーク付近で急激に間隙水圧が上昇する結果となった。

図4、5に設定相対密度50%と70%の液状化試験結果を示す。二つの図より、東日本大震災時に観測された地震波形よりも、阪神・淡路大震災時に観測された地震波形での試験結果の方が上部に位置する結果となった。また、繰返し回数の特に多い原町波での試験結果が一番下に位置する結果となった。

次に図4、5から残留過剰間隙水圧比が95%の時の最大せん断応力比を読み取って液状化強度比としてその値を縦軸に、供試体ごとの圧密後の相対密度を各シリーズで平均化した値を横軸にプロットすると図6となった。この図より、繰返し回数が多い原町波、浦安波に比べて、繰返し回数の少ない神戸海洋気象台波、東神戸大橋波の液状化強度比は大きくなった。また、供試体の密度が密になるにつれて各地震波形での液状化強度比の差は開く傾向を示した。

5. まとめ

東日本大震災時に観測された継続時間の長い地震波形と、阪神・淡路大震災時に観測された継続時間の短い地震波形を用いて液状化試験を行った結果、液状化強度比は繰返し回数に影響することが確認された。また、密なほどその影響は大きい傾向を示した。ただし、密度をさらに変えた実験が必要であり、今後継続して実験を行っていきたいと考えている。本研究にはJSPS 科研費基盤研究(C)26420487の補助を受けている。ここに記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所：強震観測網 K-NET
- 2) 石川敬祐・安田進・青柳貴是：海溝型巨大地震時の合理的な簡易液状化判定手法に関する研究, 地盤工学ジャーナル 9(2), 169-183, 2014.
- 3) 石原研而・安田進：液状化に及ぼす地震波の不規則性と初期拘束圧の影響, 土と基礎, Vol.23, No.6, pp29-35, 1975

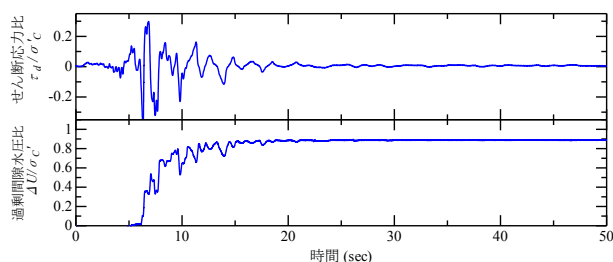


図3 東神戸大橋波の試験結果

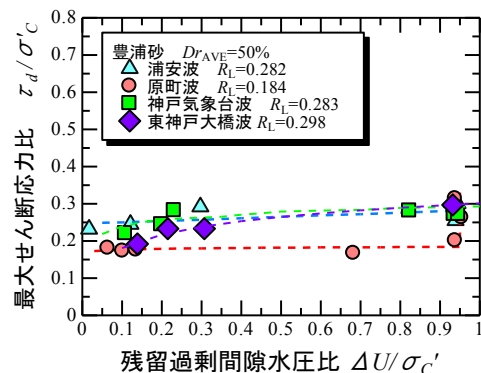


図4 設定相対密度50%における試験結果

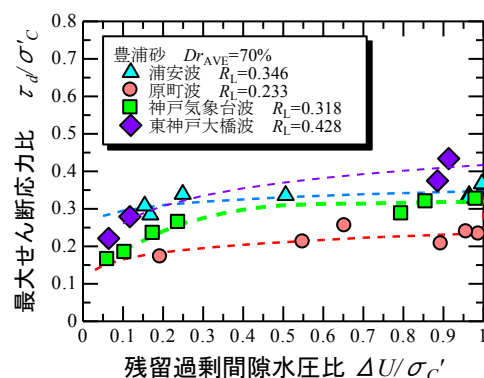


図5 設定相対密度70%における試験結果

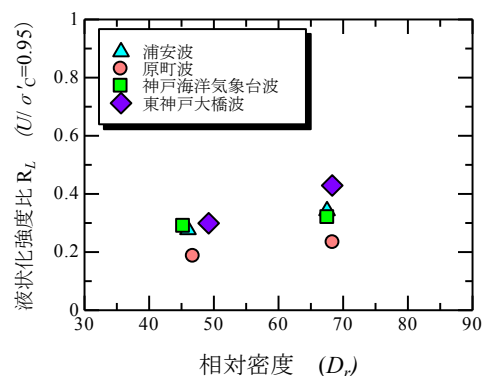


図6 相対密度と液状化強度比の関係