

まさ土の液状化強度推定式の検討

(社)電力土木技術協会 正会員 須田 嘉彦 飛 島 建 設 (株) 正会員 沼田 淳紀
中 央 大 学 正会員 國生 剛治 東 電 設 計 (株) 正会員 瀬下 雄一
中 央 大 学 学生員 平岡 良介 (株)シー・アール・エス 吉田 保夫

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震では、まさ土を主体に埋め立てられた神戸ポートアイランドや六甲アイランド¹⁾などの海岸埋立地のいたるところで液状化が生じた。地震以前、まさ土は粒度配合が良く礫を多く含むことから液状化しにくいと考えられていた。地盤の液状化強度を推定する方法のひとつとして標準貫入試験（以下、SPT と呼ぶ）より求められた N 値を用いる方法が²⁾³⁾があげられる。しかしながら、これらは主に砂地盤を対象としているため、まさ土地盤への適用性は不明な点が多い。そこで、土槽を用いた室内実験結果と原位置不攪乱試料のデータを用いてまさ土の液状化強度推定式の検討を行った。

2. 既往の研究結果

図-1 に、既に求められている砂質土、礫質土、まさ土における換算 N 値と液状化強度の関係を示す（紙面の都合上引用文献名は割愛させて戴く）。液状化強度は、繰返し非排水三軸試験（以下、液状化試験と呼ぶ）より求められた繰返し回数 20 回で両振幅軸ひずみ DA が 5% にいたときの繰返しせん断応力比 $\sigma_d/(2\sigma'_c)$ である。換算 N 値 N_1 は、基準上載圧 ($\sigma'_v=98\text{kPa}$) に換算したときの N 値であり、ここでは、 $N_1=2.5N/(\sigma'_v/98+1.5)$ とした。液状化試験には、原位置から凍結サンプリング法によって採取された供試体、または、室内模型実験より得られた供試体を用いている。また、図中には、原子力発電所耐震設計技術指針²⁾（以下、技術指針と呼ぶ）の基となった國生ら⁴⁾が示した N_1 と液状化強度の関係を併記した。

砂質土に比較して礫質土は、同じ液状化強度に対して N_1 が大きいことがわかる。地盤の相対密度と N 値の関係は、一般に、同じ相対密度であれば礫率が多いほど N 値が大きいので、礫質土の N_1 が大きいのはこれを反映した結果と考えられる。一方、まさ土は礫を含んでいるにもかかわらず、大きな液状化強度および N_1 となっているデータはほとんどなく、むしろ砂質土の関係に近く、礫質土とは性質が大きく異なることが明らかである。これは、礫質土の地盤では SPT のサンプラーが礫に当たり大きな N 値となるが、まさ土は粒子破砕性が高いために、 N 値が礫地盤のように大きくならないためと考えられる。したがって、まさ土の N 値と液状化強度の関係は、礫質土とは分けて考えることとした。

3. 実験方法

実験に用いた試料は、神戸市東灘区の海岸埋立地から採取されたまさ土であり、粒径 50.8mm 以上は取り除いている。図-2 に、実験に用いたまさ土の粒度組成を示す。均等係数が 46 と大きく、礫分を 39%、細粒分を 12% 含んだ粒度配合の良い材料であり、コンシステンシーは NP である。最大最小間隙比は、直径 20cm の中型モールドを用いて求めた⁵⁾⁶⁾。 N 値は、内径 80cm、高さ 70cm の上載圧載荷可能な円筒形の土槽に模型地盤を作成し SPT（トンビ法）を行い求めた。作成した地盤は、目標相対密度が 20, 40, 60, 80%、目標上載圧が 49, 98, 196, 294kPa の 16 ケースである。地盤の液状化強度は、SPT 実施後模型地盤を凍結し、これより直径 10cm、高さ 20cm の不攪乱供試体採取し、土槽地盤の上載圧を三軸試験の拘束圧として求めた。試料および実験方法の詳細は、文献⁶⁾⁷⁾を参照されたい。

4. 実験結果

図-3 に、液状化試験時の三軸供試体の圧密後相対密度と液状化強度の関係を示す。相対密度が大きな範囲では、上載圧が小さいほど液状化強度が大きく、相対密度が 70% 以下になるとその差は少なくなり、30% 以下でもある程度の液状化強度をもっていることがわかる。図中には、図-1 に示した関係式を変換して示す。この関係式は、密な砂を主な対象として作成されているが、密な砂から緩い砂まで連続的な関係になっている。実験結果は、上載圧によるばらつきはあるものの、98kPa 程度の平均的な実験結果が図中の砂で得られた関係式とほぼ一

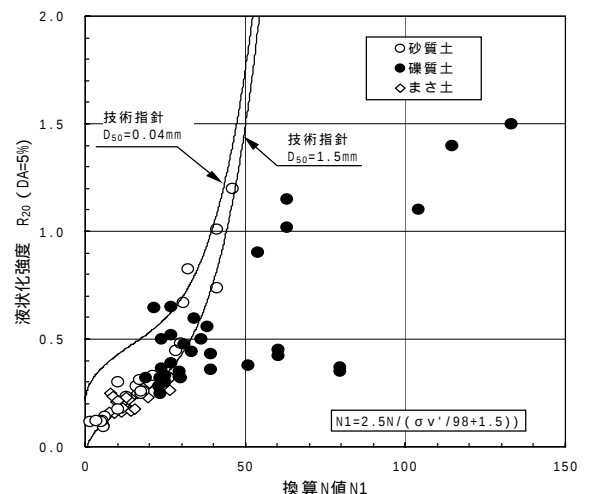


図-1 砂質土、礫質土、まさ土における換算 N 値と液状化強度の関係

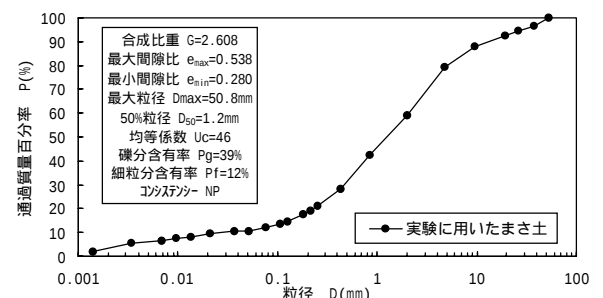


図-2 実験に用いたまさ土の粒度組成

埋立地盤、液状化、 N 値、まさ土、相対密度

〒105-0003 東京都港区西新橋 2-19-4 西新橋 K-1 ビル 7F (社)電力土木技術協会, TEL 03-3432-8905, FAX 03-3435-1778
〒270-0222 千葉県東葛飾区堀田町木間ヶ瀬 5472 飛島建設技術研究所, TEL 0471-98-7553, FAX 0471-98-7586
〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科, TEL 03-3817-1798, FAX 03-3817-1803
〒270-1176 千葉県我孫子市柴崎台 2-11-23 川村第 3 ビル (株)シー・アール・エス, TEL 0471-83-5711, FAX 0471-83-5691
〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 東電設計上野センター 6F, TEL 03-4464-5575, FAX 03-4464-5595

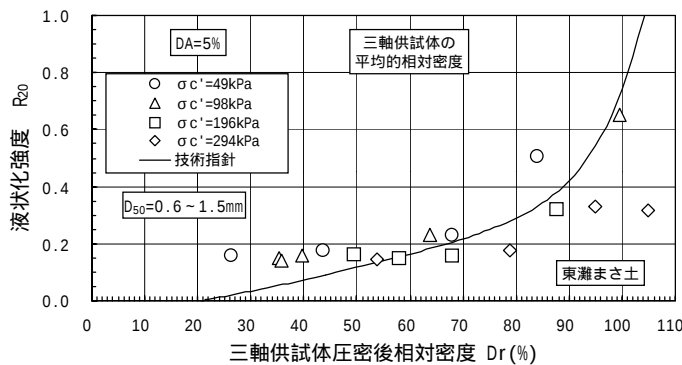


図-3 三軸供試体圧密後の相対密度と液状化強度の関係

致していることがわかる。

図-4 に、土槽地盤の相対密度と $N1$ との関係を示す。図中には、國生ら⁴⁾が示した $N1$ と相対密度の関係を併記した($Dr=25.64N1^{0.37}$)。拘束圧による換算を行った $N1$ を用いても、ばらつきが特に相対密度の大きな範囲で大きい。換算方法についてはこの他にも検討を行ったが、ばらつきを少なくすることはできなかったため、基準上載圧への換算方法は既往の方法をそのまま用いることとした。

図-5 と図-6 に、 $N1$ と液状化強度の関係を示す。図-5 は、換算 N 値を技術指針²⁾に倣って換算したものであり、図-6 は道路橋示方書³⁾に倣って換算したものである。図中には、それぞれで示されている $N1$ と液状化強度の関係を併記したが、技術指針では 50% 粒径を最も大きい 0.6 ~ 1.5mm とし、道路橋示方書では 2mm 以下として求めた。さらに図中には、試料採取を行った地点とほぼ同地点で実施された SPT より求められた $N1$ と、原位置で採取された不攪乱の供試体を用いて求められた液状化強度との関係に加え、その他の地点⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾で実施されたまさ土における $N1$ と液状化強度の関係も併記した。これらの不攪乱試料はいずれも凍結サンプリング法によって採取されている。

土槽貫入実験から求められた関係と原位置の N 値と不攪乱試料から求められた関係は、土槽貫入実験の液状化強度が僅かに大きな部分もあるが両者はほぼ同一の関係にあると判断される。また、技術指針も道路橋示方書の関係も主には砂を対象としているが、技術指針が全体のばらつきの下限値付近にあるのに対して、道路橋示方書の関係は平均的な位置にあり、これらの関係式と良く一致していることがわかる。なお、特に $N1$ が 25 以上の範囲で既往の両者の関係は大きく異なるが、本検討においてはこの部分を補完するデータは得られなかった。この点については今後の課題でもあるが、土槽貫入実験で相対密度が 100% 近い密に締固められた状態を再現しても大きな N 値が得られていないことから、これらの現象はまさ土の特徴とも考えられる。

5. まとめ

まさ土の換算 N 値 $N1$ と液状化強度の関係は、主に砂を対象に得られている既往の関係式とほぼ一致していることから、これらの既往式で評価可能と考えられる。また、まさ土は、礫質土で得られている関係とは異なった傾向を示すことが判明した。

参考文献

- 1) 木下 正明, 田中 泰雄: 土質工学的諸問題とその対応臨海埋立地 - 埋立造成, 土と基礎, Vol. 36, No. 11, pp. 85-90, 1988. 11.
- 2) 日本電気協会: 原子力発電所耐震設計技術指針, pp. 132-136, 1987. 8.
- 3) 日本道路協会: 7.5 砂質地盤の液状化の判定, 道路橋示方書・同解説 耐震設計編, pp. 91-95, 1996. 12.
- 4) 國生 剛治, 吉田 保夫, 長崎 清: 密な砂地盤の N 値による液状化判定法, 第 19 回土質工学研究発表会, pp. 559-562, 1984. 6.
- 5) 池見 元宣, 工藤 康二, 國生 剛治: 砂礫材料の相対密度試験について, 第 19 回土質工学研究発表会, pp. 127-128, 1984. 6.
- 6) 國生 剛治, 吉田 保夫, 諏訪 正博, 桑原 弘昌, 佐藤 正行: 土槽貫入実験によるまさ土の液状化強度の評価(その 1) - 土槽実験による各種土質定数の関係 -, 第 34 回地盤工学研究発表会, pp. 125-126, 1999. 7.
- 7) 國生 剛治, 吉田 保夫, 岡岡 良介, 桑原 弘昌, 瀬下 雄一: 土槽貫入実験によるまさ土の液状化強度の評価(その 2) - 土槽からの不攪乱試料の三軸試験による検討 -, 第 34 回地盤工学研究発表会, pp. 127-128, 1999. 7.
- 8) 阪神淡路大震災・地盤調査研究会(座長: 石原研而): 平成 9 年度報告書, 347pp., 1998. 3.
- 9) 内田 明彦, 畑中 宗憲, 鈴木 善雄: 神戸ポートランドの埋込マサ土地盤の静的及び動的強度特性, 第 2 回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp. 135-142, 1997. 1.
- 10) 阪神高速道路公社: 阪神高速道路地質資料 3 号神戸線 5 号湾岸線震災復旧編, 224pp., 1998. 3.
- 11) 運輸省港湾技術研究所: 1995 年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告, 港湾技術資料, No. 857, pp. 49-219, 1997. 3.
- 12) 善 功企, 山崎 浩之, 南 兼一郎, 中島 由貴: 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察(その 4)埋込地盤の特性, 港湾技術資料, No. 813, pp. 147-166, 1995. 9.

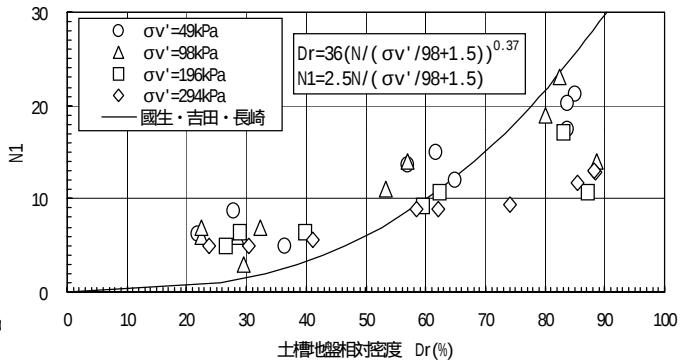


図-4 土槽地盤の相対密度と換算 N 値の関係

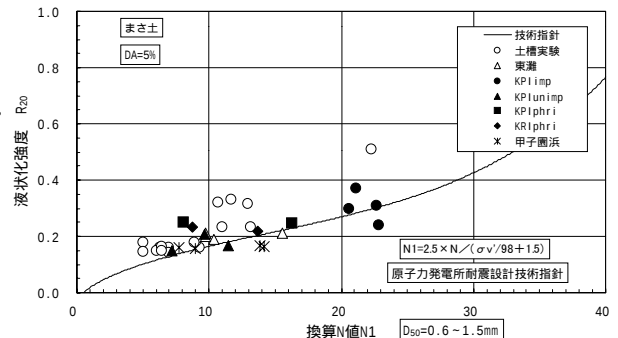


図-5 換算 N 値 $N1$ と液状化強度の関係 (原子力発電所耐震設計技術指針)

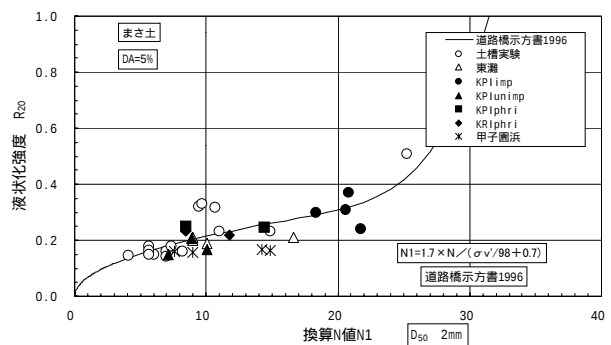


図-6 換算 N 値 $N1$ と液状化強度の関係 (道路橋示方書 1996)