固化効果を持つ地盤材料の液状化強度予測手法の検討

福岡大学工学部　学生会員　土山 貴子　王 経緯
福岡大学工学部　正会員　佐藤 研一　藤川 拓朗　古賀 千佳嗣

1. はじめに　地震国である日本は、多くの液状化被害を受けている。今後も南海トラフ地震・首都直下地震などの大規模地震が近い将来に発生する可能性があり、液状化による大きな被害を未然に防ぐために、地盤改良等の対策をする必要がある。この地盤改良工法では、セメント系の固化材を用いたものが一般的であり、経時的に固化をしていく改良土の液状化強度を推定する必要が生じる。しかしながら、繰返し三軸試験装置の載荷能力の関係上、低改良の処理土であっても養生固化が進むと液状化強度を求めることが難しくなる。そこで、本研究では、非排水繰返し三軸試験では液状化強度が測定できない固化改良土について、簡易に改良土の強度判定ができるコーン指数と一軸圧縮強度から液状化強度を予測する手法を検討する。本報告では、①砂の相対密度の影響と②固化材添加の影響について、コーン指数及び一軸圧縮強度と液状化強度の関係性の検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料　土質試料として、粒子に丸みがあり、均一な粒径を有する豊浦珪砂を用いた。また、花崗岩が風化作用を受け生成される残積土であり、粒径幅が広く、変形しやすいまさ土の 2 種類を用いた。固化材として、広く用いられる普通ポルトランドセメントを用いた。固化材添加の影響については、0.075mm ~2mm の粒径調整したまさ土を使用した。**図-1** に、土質試料の粒径加積曲線、**表-1** に土質試料の物理特性を示す。

2-2 実験方法　**①相対密度の影響**　検討は、地盤密度の影響を把握するために、豊浦珪砂を用い、相対密度 Dr=60, 65, 70, 75%の 4 種類（**表-2**）の条件で実施する。各実験の供試体の作製は、設定含水比 7%に調整し、モールド内にダンピング法（5 層）で突き固めて行った。これまでの研究 [1]により液状化強度とコーン指数試験から得られた貫入抵抗値が、相対密度 Dr や細粒分含有率 F_c にかかわらず、相関関係があることが分かっている。そこで、非排水繰返し三軸試験(JGS0541-2009)から得られる液状化強度とコーン指数試験(JGS1437-2014)から得られるコーン指数の関係性を把握し、試験精度の確認を行った。

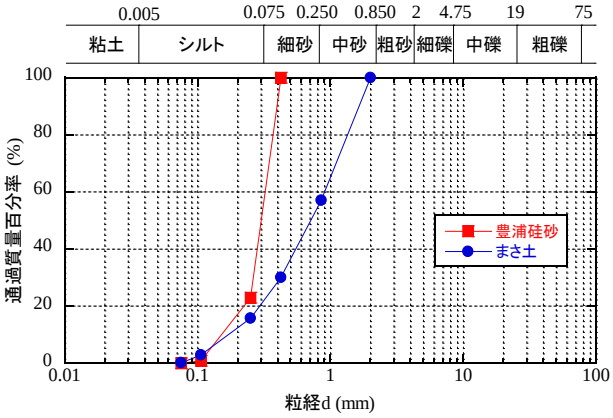

図-1　粒径加積曲線

表-1　土質材料の物理特性

土質試料	土粒子密度 ρ_s(g/cm^3)	最大間隙比 e_{max}	最小間隙比 e_{min}	塑性指数 I_p
豊浦珪砂	2.694	0.984	0.612	NP.
まさ土	2.637	0.974	0.583	NP.

②固化材添加の影響　まさ土に、セメントを固化材とし、添加率 C=0.5%（まさ土の乾燥質量に対し）の低改良率にて実施する。実験条件を**表-3** に示す。供試体の作製は、設定含水比 7%に調整したまさ土をモールド内に相対密度 Dr=60%になるようにダンピング法（5 層）で突き固めて行った。また、供試体の養生は、温度 20℃一定の気中にて 1, 3, 7 日とした。実験は、非排水繰返し三軸試験(JGS 0541-2009)から得られる液状化強度をコーン指数試験(JGS 1437-2014)から得られるコーン指数及び一軸圧縮試験（JGS 0511-2009）から得られる一軸圧縮強度から関係性の把握を行った。

表-2　実験条件

土質材料	相対密度 Dr(%)	設定含水比 w(%)	目標乾燥密度 ρ_d(g/cm^3)
豊浦珪砂	60	7	1.50
	65		1.52
	70		1.53
	75		1.55

表-3　実験条件

土質試料	相対密度 Dr(%)	目標乾燥密度 ρ_d(g/cm^3)	設定含水比 w(%)	セメント添加率 C(%)	養生日数 t(日)
まさ土	60	1.513	7	0.5	1
					3
					7

3. 実験結果及び考察

3-1 相対密度の影響　**図-2** に豊浦珪砂の液状化強度曲線を示す。ここで、液状化の判定は両振幅軸ひずみ DA=5%に達した時としている。相対密度の増加にともない、液状化強度も増加していることが確認できる。**表-4** に、コーン指数試験結果を示す。豊浦珪砂の相対密度の増加にともない、コーン指数も増加していることが分かる。そこで、**図-3** に、実験から得られたコーン指数

と液状化強度の関係を示す。ここで、液状化強度は、液状化強度曲線の繰返し回数が 20 回となる時の繰返し応力比とする。また、既往の研究[1),2),3)]得られたコーン指数と液状化強度の関係も併せて示す。ここで、既往の研究結果はコーン指数試験と非排水繰返し三軸試験を同一供試体で行ったものであり、三軸試験装置内 σ_c=98kPa の拘束圧下の結果である。液状化強度は、コーン指数の増加に伴い増加傾向を示しており、両者は強い相関関係にあることがわかる。したがって、この関係を利用することにより、相対密度 Dr が異なる地盤材料に対して、液状化強度の推定に既往の研究同様、コーン指数が利用できることが分かる。

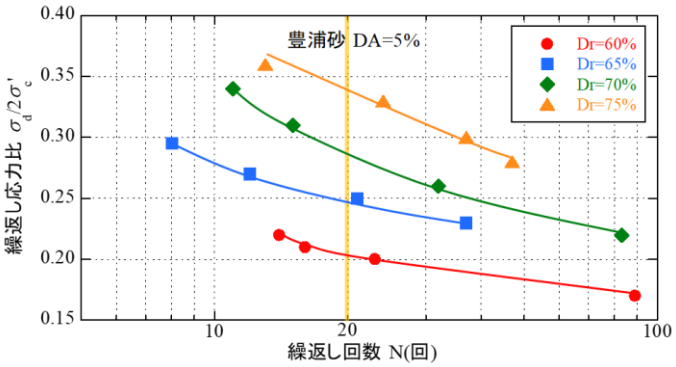

図-2　液状化強度曲線（豊浦珪砂）

表-4　コーン指数試験結果

土質試料	相対密度 Dr(%)	目標乾燥密度 ρd(g/cm³)	乾燥密度 ρd(g/cm³)	コーン指数 qc(MPa)
豊浦珪砂	60	1.50	1.494	1.067
	65	1.52	1.518	1.259
	70	1.53	1.534	1.605
	75	1.55	1.551	1.938

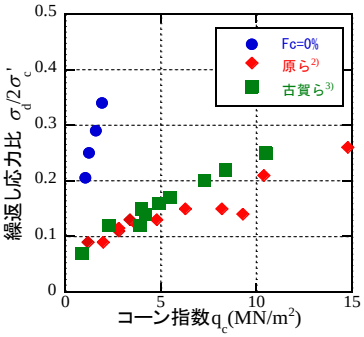

図-3　コーン指数と液状化強度

3-2 固化材添加の影響　図-4 に、セメント C=0.5%で改良したまさ土における液状化強度曲線を示す。養生日数の増加とともに、セメントによる固化効果が発現し、液状化強度も増加していることが分かる。表-5 にコーン指数および一軸試験結果を取りまとめている。セメント添加率 C=0.5%の条件において、養生日数の経過にともない、いずれの結果も強度発現していることが分かる。そこで、コーン指数および一軸圧縮強度と液状化強度の関係を図-5 と図-6 にそれぞれ示す。ここでの、液状化強度は、繰返し回数 N=20 回の繰返し応力比としている。セメント固化改良(C=0.5%)を施したまさ土の養生 7 日までの液状化強度は、コーン指数および一軸圧縮強度の増加とともに増加し、両者とも強い相関関係にあることが分かる。したがって、この関係を利用することにより、養生 7 日までの若齢材であれば、セメント固化処理土のように経時的に固化強度が増加する材料の液状化強度の推定にコーン指数、一軸圧縮強度が利用できることが明らかとなった。今後は、固化材添加率を増加させ、一軸圧縮強度と液状化強度の関係性を把握し、より精度の高い予測手法の検討を行う。

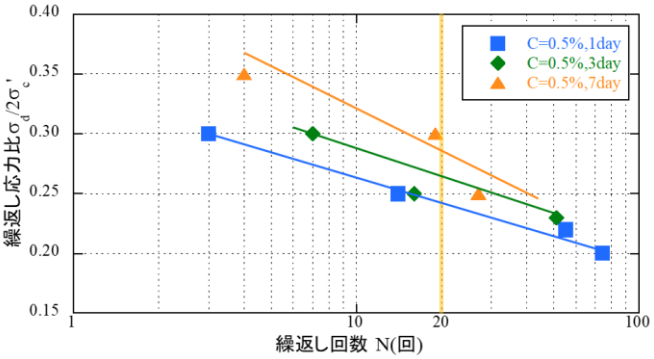

図-4　液状化強度曲線（まさ土、C=0.5%）

表-5　コーン指数・一軸圧縮試験結果

土質試料	相対密度 Dr(%)	目標乾燥密度 ρd(g/cm³)	乾燥密度 ρd(g/cm³)	セメント添加率 C(%)	養生日数 t(日)	コーン指数 qc(MPa)	一軸圧縮強度 qu(kN/m²)
まさ土	60	1.513	1.508	0.5	1	1.69	9.9
			1.508		3	2.39	22.1
			1.508		7	3.05	24.5

4. まとめ　1) 相対密度 Dr の違いにより変化する液状化強度とコーン指数は、強い相関性があり、コーン指数から液状化強度が予測可能であることが示された。

2) 固化材添加したまさ土の液状化強度は、養生 7 日までの若齢材であればコーン指数及び一軸圧縮強度に相関性があり、予測可能であることが明らかになった。

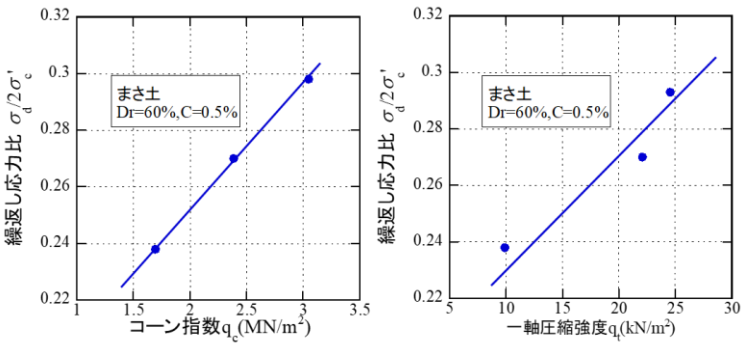

図-5　コーン指数と液状化強度　図-6　一軸圧縮強度と液状化強度

【参考文献】1)國生 剛治:砂の液状化強度とコーン貫入抵抗の関係における有効拘束圧の影響、第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会、Ⅲ-24、2013. 2)原 忠：三軸コーン貫入試験による非塑性細粒分を含む砂質土の液状化強度の評価、土木学会論文集 A1（構造・地震工学)、Vol.65、No,1(地震工学論文集第 30 巻)、172-179、2009. 3)古賀 洋平：細粒分を含む砂の液状化強度とコーン貫入抵抗の関係における有効拘束圧の関係、中央大学大学院修士論文概要集、1-4、2013