

砂の粒子構造が及ぼすコーン貫入抵抗値と液状化強度の関係についての三軸試験

中央大学理工学部 正会員 國生 剛治
中央大学理工学部 学生会員 ○俊成 優太
中央大学理工学部 学生会員 井上 広基

1. はじめに

最近、緩い砂地盤に対して標準貫入試験の N 値に比べて信頼度の高く地盤構造を連続的に測定できるコーン貫入試験(CPT)が用いられる機会が増えている。しかし、コーン貫入抵抗値から液状化強度比を予測するための実測データが N 値に比べ少なく、各種土質パラメータが与える影響が不明な点も多々ある。そこで、当研究室では同一供試体で小型コーン貫入試験と繰り返し载荷液状化試験ができる装置を開発し¹⁾、貫入抵抗と液状化強度比の関係性を調べてきた²⁾³⁾。それによると、室内調整供試体による試験では相対密度 D_r や細粒分含有率 F_c の違いや砂の種類に関わらず、貫入抵抗値 q_t と液状化強度比 R_L は一本の直線関係となることが示された。

一方室内調整した供試体でもその液状化強度比は D_r , F_c 、砂の種類だけによらず供試体作成時に導入される粒子骨格の微視的構造の違いにより大きな違いが現れることがわかっている。今回は供試体作成法がコーン貫入抵抗と液状化強度比の関係性に及ぼす影響を調べるために三軸試験機を用いてSV法(微小振動载荷法)、AP法(空中落下法)、WT法(湿潤突き固め法)についての比較試験を行った。

2. 試験試料・試験条件

試験試料には、千葉県浦安市で2011年の地震で噴出した砂($D_{50}=0.170\text{mm}$, $U_c=1.97$)を用いた。表-1に試験条件、表-2に試料の物理特性を示すが、全ての試験で細粒分含有率 $F_c=0\%$ である。

3. 試験機と試験方法

試験機は供試体直径 100mm、高さ 200mm の中型三軸試験機を用いた。図-2に示すように、下部ペダスタルには貫入ロッドが付いており、下部ペダスタル内部の空間を満たした水を排水することにより、セル圧の作用で供試体内に25mm自動的に貫入される。コーンの先端角は 60° 、貫入ロッドの寸法は長さ115.2mm、直径6mmであり、実務で用いられる実物CPTコーンの1/6サイズである。

貫入は非排水条件で行い、抵抗値はコーン先端部に内蔵されたひずみゲージにより測定する。試料はWT法とSV法では供試体を5層にわけ突き固めながら作製する。AP法では供試体の上面とロートの高さが常に200mmになるよう乾燥試料を落下させることにより供試体を作製する。ロートは最小密度試験の際に用いるものを使用している。(口径:直径13mm)。二重負圧の状態脱気水を通水し、背圧196kPaを加え、間隙水圧係数(B値)が0.95以上であることを確認した後有効拘束圧 $\sigma'_c=98\text{kPa}$ 、背圧196kPaで等方圧密する。等方圧密終了後SV法のみ微小ひずみを振動数2Hzで約6000回、両振幅ひずみ $\varepsilon_{DA}=0.005\%$ になるようにかけてから再圧密を行う。その後非排水条件のもと貫入速度約2mm/sでコーン貫入試験を行う。コーン貫入試験後に再圧密し液状化試験を行う。液状化試験では応力制御にて両振幅軸ひずみ ε_{DA} が10%発生するまで、非排水条件で载荷周波数0.1Hzの正弦波を加える

表-1 試験条件

	SV法	AP法	WT法
σ'_c [kPa]	98	98	98
F_c [%]	0	0	0
D_r [%]	30,50,70	50	30,50,70,80,90

表-2 試料の物理特性

	F_c [%]	U_c	ρ_s (g/cm ³)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	ρ_{dmin} (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}
浦安砂	0	1.97	2.687	1.507	1.165	1.304	0.783

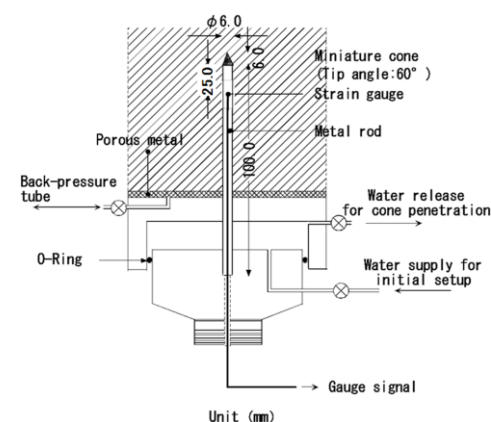


図-2 貫入ロッドつきペダスタル概略図

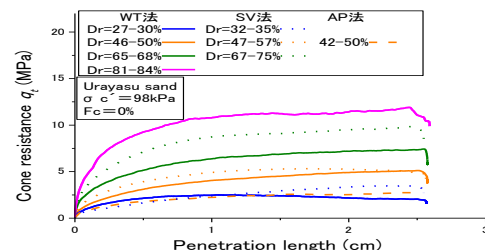


図-3 貫入抵抗 q_t と貫入長の関係

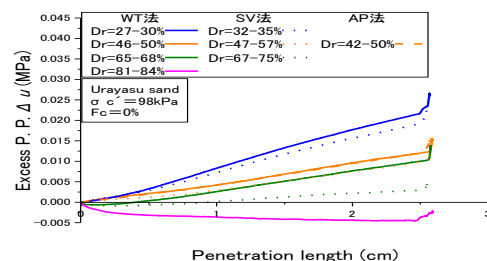


図-4 過剰間隙水圧 Δu と貫入長の関係

キーワード コーン貫入抵抗、液状化強度比、粒子構造、供試体作製方法

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科土質研究室 Tel 03-3817-1799

4. 試験結果と考察

図-3, 図-4 は, 小型コーン貫入試験によって得られた貫入長に対するコーン貫入抵抗値 q_t および過剰間隙水圧 Δu の関係を供試体の作成方法の違いと D_r について比較したグラフである。図-3 の WT 法(実線)と SV 法(点線)を比べると, SV 法の方が WT 法よりも, 同じ D_r に対して q_t が大きくなっていることがわかる。またいずれの方法でも, D_r が大きくなるにつれて q_t が大きく上昇していることもわかる。そして AP 法(破線)と WT 法(実線)を比べると AP 法の方が q_t が小さくなっている。図-4 は同じ一連の試験での貫入長に対する Δu の関係を示している。WT 法よりも SV 法の方が同じ D_r でも Δu が小さくなっていることがわかる。

図-5 は貫入試験後に行った液状化試験の繰返し载荷回数 N_c と液状化強度比 R_L の関係を表した曲線である。図中のカーブは各条件のプロットを式(1)のベキ関数により近似したもので, a , b は図中に示した通りである。

$$R_L = aN_c^b \quad (1)$$

破線が SV 法, 実線が WT 法, 点線が AP 法である。AP 法と WT 法を比較すると曲線はほぼ同じような傾向を取り R_L に差異がないという結果になった。一方 WT 法と SV 法を比べると SV 法の方が R_L が大きくなっている。ただし, SV 供試体では $R_L \sim N_c$ カーブの勾配がゆるく, N_c が小さい範囲で WT 法との R_L の差が小さくなる傾向がある。

図-6 は D_r と q_t の関係を表したグラフである。十字の入ったプロットが WT 法, 塗りつぶされたプロットが SV 法, 白抜きプロットが AP 法である。図中のカーブで示すように, WT 法と SV 法の D_r と q_t の関係はほぼ重なることがわかる。それに対して AP 法はこのカーブからは下方にずれ WT 法と SV 法と比べて, 同じ D_r に対して q_t が小さいことがわかる。

図-7 は q_t と R_L の直接的関係を表したグラフである。SV 法は密な砂ほど粒子構造の変化による q_t と R_L の上昇量が大きくなっていることがわかる。また AP 法に関しては同じ D_r で作製方法が異なるものとは R_L はほぼ変化がなくコーン貫入抵抗値だけ大幅に低くなるというプロットが得られた。

図中のラインは以前の研究³⁾で富津砂について得られた D_r や F_c の違いによらない一意的関係である。今回得られたプロットはこの一意的ラインより q_t の大きな側で多少上方にずれる傾向はあるもののほぼ一致している。SV 法は WT 法に比べて, 粒子の微視的骨格構造の変化を反映し, q_t と R_L の両者共にわずかに増加する傾向が見られる。その結果, WT 法よりも多少上方にずれる傾向が見られるが, データのばらつきが大きいので判断をせず, さらに実験を重ねる必要がある。

5. まとめ

- (1) データのばらつきはあるが, WT 法の $q_t \sim R_L$ 関係は既往の研究から得られた一意的な直線にはほぼ沿い, q_t が大きい側で多少上方の線上にプロットされる。
- (2) WT 法と SV 法の比較により, 供試体に微振動载荷を行うと粒子構造の変化によりコーン貫入抵抗値 q_t と液状化強度比 R_L は大きくなり, $q_t \sim R_L$ グラフ上でほぼ同一あるいは多少上方の線上にプロットされることが分かった。
- (3) 今後既往の一意的 $q_t \sim R_L$ ラインと今回のプロットの一致度または不一致度を確認するためデータを追加する必要がある。また, AP 法と WT 法との比較についてはさらに検討が必要である。

[参考文献] 1) 國生剛治, 村端敬太, 伏木田達朗, 伊藤菜穂子: 三軸試験機を用いた小型コーン貫入試験法の開発と液状化強度との相関, 土木学会第 58 回年次学術講演集 III-96, pp191-192, 2003. 2) Kokusho, T. Hara, T. and Murahata, K.: Liquefaction strength of fines-containing sands compared with cone-penetration resistance in triaxial specimens, Proc. 2nd Japan-US Workshop on Geomechanics, ASCE Geo-Institute Publication No.156, pp356-373, 2005. 3) 伊藤 文樹, 國生 剛治, 長尾 洋太: 非塑性細粒分を含む砂の液状化強度～コーン貫入抵抗関係～の年代効果の影響, 土木学会論文集 C (地圏工学) Vol. 67, No. 1, p 26-35, 2011.

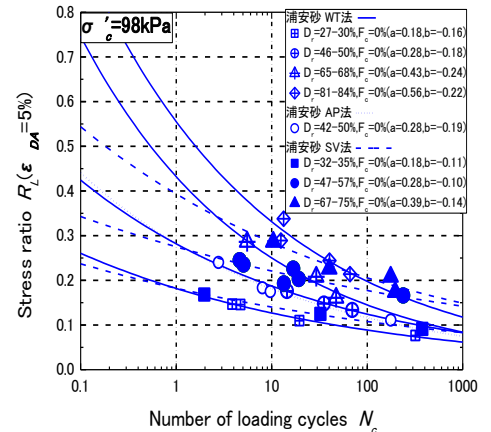


図-5 液状化強度比 R_L と繰返し载荷回数 N_c の関係

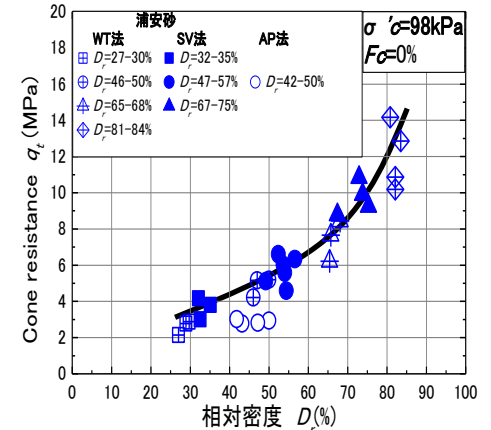


図-6 相対密度 D_r とコーン貫入抵抗 q_t の関係

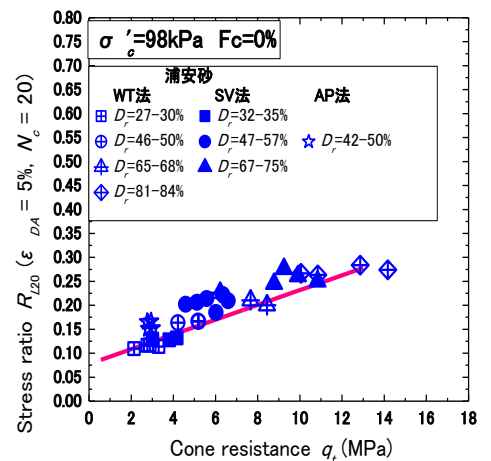


図-7 コーン貫入抵抗 q_t と液状化強度比 R_{L20} の関係