

テーパー形状を有する貫入体の地盤抵抗特性（その2）

03A3722 谷村 昌平

03A3736 元岡 達宏

指導教員 前田 良刀

1. はじめに

コーン貫入試験のコーン指数 q_c や摩擦強度 f_s に代表されるようにテーパー形状を有する貫入体により地盤抵抗の諸定数を求める原位置試験法が実務に用いられつつある。しかしながら、これらの試験法は試験時の力学的境界条件が不明確で試験から得られる地盤定数は曖昧である。

本研究では、小さなテーパー角度を有する貫入体を地盤中に押込み、貫入体と地盤の境界面で滑りが発生するような状況下で室内載荷試験を行い、形状寸法が明確である貫入体の幾何学的効果により地盤の抵抗特性がどのように変化するかを検討する。前年度は岡垣砂について検討したが今年度は新たにしらす地盤を対象にした試験結果を示す。さらに、この研究成果を反映した新しい MST コーンについても触れる。

2. コーン貫入試験による地盤調査法と問題点¹⁾

テーパー形状を有する貫入体を用いて原地盤の強度特性を調査する代表的なものにコーン貫入試験がある。図-1 は代表的なコーン形状を示したものであるがテーパー角は $\theta = 15^\circ \sim 45^\circ$ が用いられている。先端コーンの形状はコーン指数 q_c に大きく影響を与えることが知られており、これまでの経験では $\theta = 15^\circ$ のときほぼ同じコーン指数 q_c となるとみなされている。このことは、図-2 に示すようなコーン先端地盤の支持力破壊に伴う抵抗が先端支持力度 q_c として評価されていることになる。

これまでのほとんどの研究では、このコーン指数 q_c をもとに図-2 に示すような破壊メカニズムが実際に生じると仮定して地盤の強度特性を評価している。²⁾ すなわち、地盤支持力度とみなせる q_c から支持力理論を援用して図-2 のような仮定するすべりを生じるための地盤強度 c 、 ϕ を逆算する方法である。

したがって、現行のような地盤調査法と強度評価法は力学的境界条件が不明確であるため得られる地盤特性はあくまでも経験的なものに留まることは明らかである。



図-1 コーンの形状の一例（コーン貫入試験）

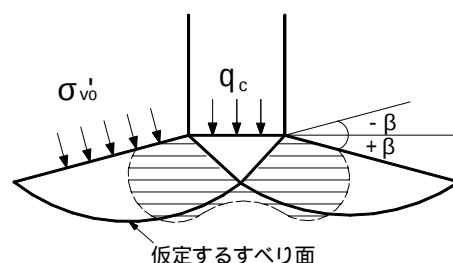


図-2 コーン貫入と仮定する破壊メカニズム²⁾

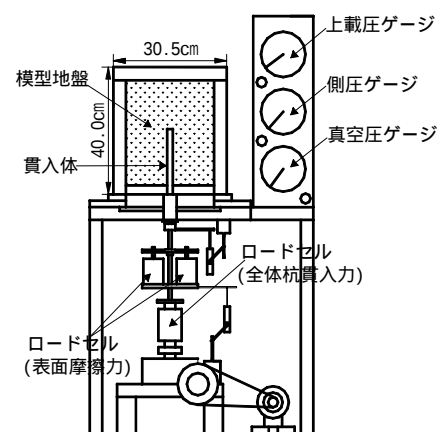


図-3 室内模型載荷試験装置模式図

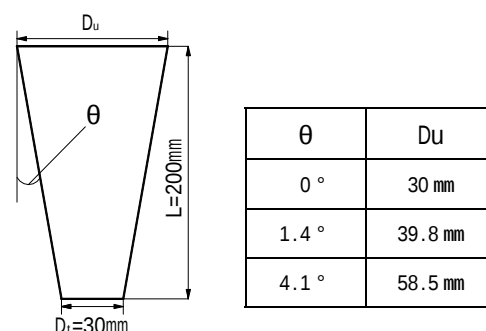


図-4 貫入体模式図

3. 試験装置と試験地盤

(1) 試験装置

本研究で用いる試験装置は、図-3 に示すように直径 30.5cm、高さ 40cm の円筒型の模型地盤を側方で厚さ 1mm のメンブレンを用いて空気圧で拘束する模型地盤と貫入体の組合せからなる。装置の特徴は以下のとおりである。

地盤の三軸圧縮試験の機構を取り入れ地盤の初期応力状態として鉛直応力 σ_v および水平応力 σ_h の組合せにより任意の応力状態が表現できるようになっている。本文では初期応力状態としての試料圧密時の応力の組合せを K_0 ($K_0 = \sigma_h / \sigma_v$) として表現している。

貫入体の外管と载荷軸部を分離した 2 重管構造とすることにより、周面抵抗と先端抵抗をそれぞれ分離して測定できるのが特徴である。試験に用いる鋼製の貫入体は、図-4 に示すように、先端部は直径 $D_t = 30\text{mm}$ で一定とし長さ $L = 200\text{mm}$ 、の間でテーパ角度 $\theta = 0, 1.4, 4.1 (^\circ)$ により円錐形の大きさを变化させている。また貫入体の粗さは、 $R_{\max} = 150\mu\text{m}$ であり十分に粗いため境界面では地盤の摩擦角と同程度のせん断抵抗が期待できる。

貫入体への载荷が下方から上方へ行われる構造となっているため予めセットされた貫入体を含むセル中に地盤試料を敷設して行うことから貫入体の偏心や地盤の乱れを防ぐことができ均質な試験地盤の作成が可能である。

(2) 試験地盤

試験地盤として砂から粘土まで殆どの地盤が試験可能であるが、今年度は、鹿児島県内の東九州自動車道大隈地区で採取された、しらす地盤で行った。試験に用いた不攪乱のしらす試料 4 個の物理特性(平均値)は以下のとおりである。

- ・土粒子密度 $\rho_s = 2.445\text{ g/cm}^3$ ・含水比 $W = 33.9\%$
- ・乾燥密度 $\rho_t = 1.141\text{ g/cm}^3$ ・間隙比 $e = 1.142$

図-5 に不攪乱しらすの三軸圧縮試験結果を示す。この結果から、粘着力 $c = 12.7\text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi = 41^\circ$ が得られる。

今回の試験では、このしらすを乾燥させた後、不攪乱試料の地盤の乾燥密度と同様になるように 5cm 毎の層厚で密度管理を行いながら地盤を作成した。また、貫入体への载荷は変位制御方式(貫入 $0.1\%/min$)で行

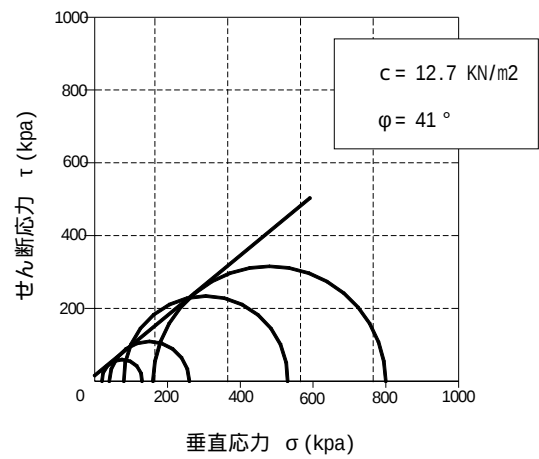


図-5 不攪乱しらすの三軸圧縮試験結果

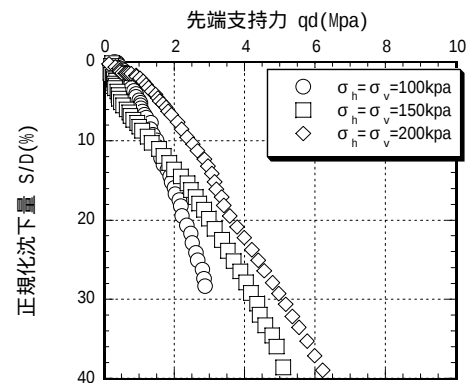


図-6(a) 先端支持力の発現特性 ($\theta = 0^\circ$ 、 $k_0 = 1.0$) (しらす)

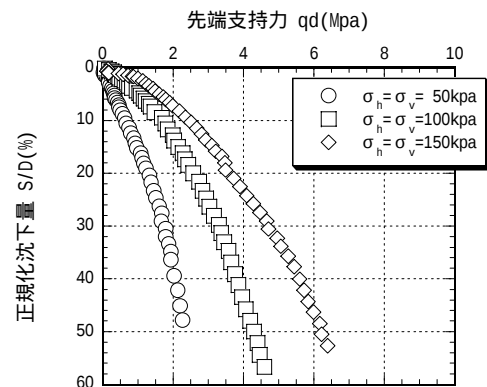


図-6(b) 先端支持力の発現特性 ($\theta = 1.4^\circ$ 、 $k_0 = 1.0$) (しらす)

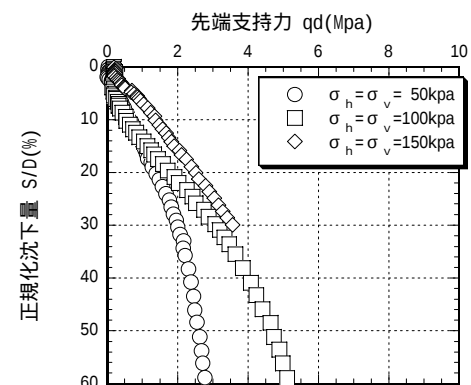


図-6(c) 先端支持力の発現特性 ($\theta = 4.1^\circ$ 、 $k_0 = 1.0$) (しらす)

いほぼ摩擦強度のピークが測定される変位量よりも大きいところまで貫入させた。

4. 試験結果とその考察

(1) 先端支持力の発現特性

図-6(a)(b)(c)に等方圧密試料 ($K_0 = \sigma_h / \sigma_v = 1.0$) での先端支持力の発現特性を示す。一般に先端支持力の発現は先端地盤の強度と変形特性の影響を大きく受けるため明確な極限抵抗値が生じることは少ない。本試験結果においても貫入体の沈下に伴い先端支持力は順次増大するものの極限支持力を特定する結果は得られていない。一般に杭の先端支持力評価において実務的には正規化沈下量 $S/D=10\%$ 付近の抵抗力を先端支持力とすることが多いが、図-6(a)(b)(c)の結果を比較するとテーパ角 θ の有無は先端抵抗力に影響を及ぼしていないことが分かる。この結果は前年度の岡垣砂でも同様であった。

(2) 周面摩擦力の発現特性

図-7(a)にテーパ角 $\theta = 0^\circ$ で等方圧密条件下での貫入体の変位に対する正規化変位量と周面摩擦力関係を示す。ダイレイタンシーの効果によりいずれの拘束圧下でもピーク強度が発現した後、次第に摩擦強度が低下していくことが分かる。図-7(b)はこの条件下での拘束圧と周面摩擦力ピーク値をプロットしたものである。図中には不攪乱しらすの室内三軸圧縮試験から得られた内部摩擦角 $\phi = 41^\circ$ の線を併せて図示している。なお、今回の室内試験では密度は調整してあるが試料を攪乱し、また乾燥させているので不攪乱時に発現する粘着力は無視している。図から、地盤の周面摩擦力の粗さ角は地盤の内部摩擦角とほぼ同じであり貫入体の表面を十分粗にすることにより地盤の内部摩擦角 ϕ と同程度の粗さ角を測定できることが分かる。

図-8(a)および図-9(a)はテーパ角 $\theta = 1.4^\circ$, $\theta = 4.1^\circ$ と変化させた場合での周面摩擦力の発現特性である。テーパのない $\theta = 0^\circ$ の場合に比べて周面摩擦力が増大することが分かる。また、テーパ角 θ の増大により地盤のダイレイタンシー後の強度低下が緩和されている。図-8(b), 図-9(b)は試験時の初期拘束圧と周面摩擦力の関係をそれぞれ示したものである。 $\theta = 1.4^\circ$, $\theta = 4.1^\circ$ とともに周面摩擦力の測定値はテーパの無い $\theta = 0^\circ$ よりも大きくなっているが、測定値間の平均的な勾配は概ね同じである。ここで、摩擦面における拘束圧とせん断抵抗の関係はテーパ角に関

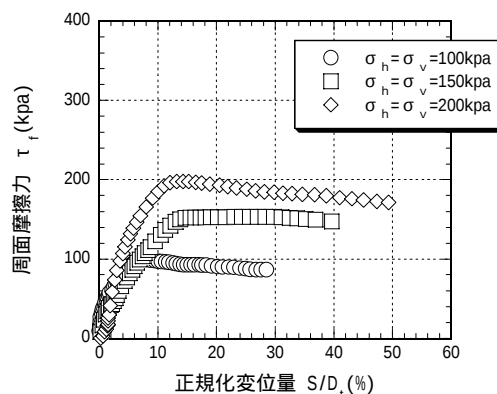


図-7(a) 周面摩擦力の発現特性 ($\theta = 0^\circ$, $k_0 = 1.0$) (しらす)

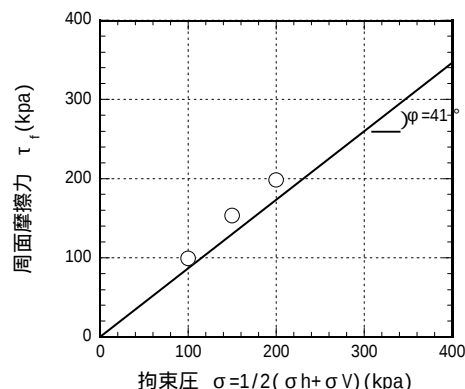


図-7(b) 拘束圧と周面摩擦力の関係 ($\theta = 0^\circ$, $k_0 = 1.0$) (しらす)

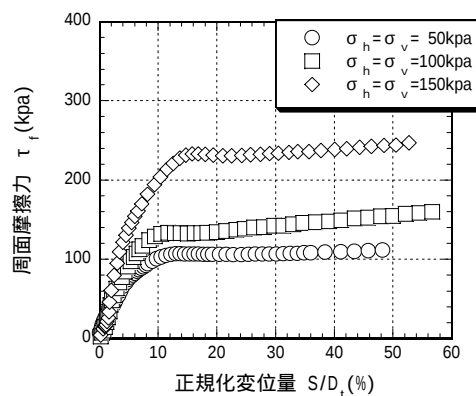


図-8(a) 周面摩擦力の発現特性 ($\theta = 1.4^\circ$, $k_0 = 1.0$) (しらす)

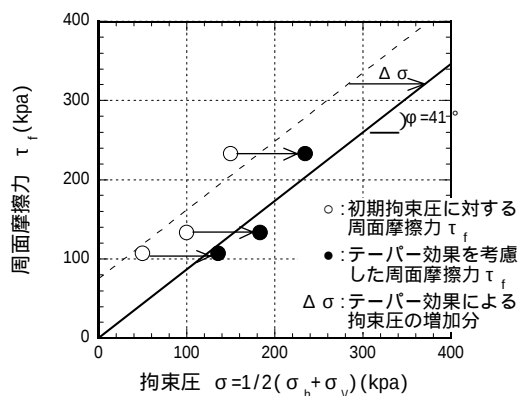


図-8(b) 拘束圧と周面摩擦力の関係 ($\theta = 1.4^\circ$, $k_0 = 1.0$) (しらす)

係なく一定でなければならないので、この平均的な測定線と $\theta=0^\circ$ での測定線の離れがテーパ角 θ の存在による拘束圧の増加と考えることができる。図-10は等方圧密試料 $K_0=1.0$ に関して、測定された周面摩擦力 τ_f と初期拘束圧の関係(白抜き部記号)に対してテーパの存在による拘束圧増加に対する計算上の幾何学的効果(塗り潰し部記号)を併せて示したものである。 σ_h 、 σ_v をそれぞれ主応力とすると、 $K_0=1.0$ の条件下ではテーパ角 θ の違いによらず任意の面で垂直応力 σ が同じであるので、初期拘束圧は、 $\sigma_m=(\sigma_h+\sigma_v)/2$ で評価している。多少のばらつきはあるものの、移動後(塗り潰し部記号)の各点を結ぶ線も $\theta=0^\circ$ の場合の破壊包絡線とほぼ同様の勾配となっている。これから、接触面での周面摩擦力は地盤の内部摩擦角 $\phi=41^\circ$ が十分に発揮されていることが分かる。このことから、今回の試験では破壊面が貫入体と地盤の接触面で生じていると考えてよい。したがって今回の試験のようにかなり小さなテーパでも拘束圧を効果的に増大させ得ることが分かる。このことから、もし今後実際の拘束圧を測定する技術が開発されるならば小さなテーパを有する貫入体を地盤に挿入して明確な力学条件の下で原位置の地盤抵抗を測定できる可能性がある。これから得られる地盤強度特性はテーパ角 θ の大きい現在のコーン貫入試験に比較して信頼性が向上していることは明らかである。

5. 新しい試験装置 MST コーンの開発

これまでの、研究の成果を反映して現場での実務に適用できる新しい試験装置を開発し、現在原位置での検証試験を実施中である。写真はこの装置の一部を示しているが特許出願中につき細部事項については省略する。

6. まとめ

本研究での成果を要約すると以下のようなものである。

小さな角度のテーパ形状を有する貫入体においては破壊面が貫入体と地盤の接触面で生じるため力学的な条件が明確となる。

テーパ形状の幾何学的効果により境界面での拘束圧を効果的に増加させ得る。

このコーンにより岡垣砂、しらす地盤の内部摩擦角 ϕ を測定できた。

これまでの研究成果を反映した MST コーン試験装置を開発した。

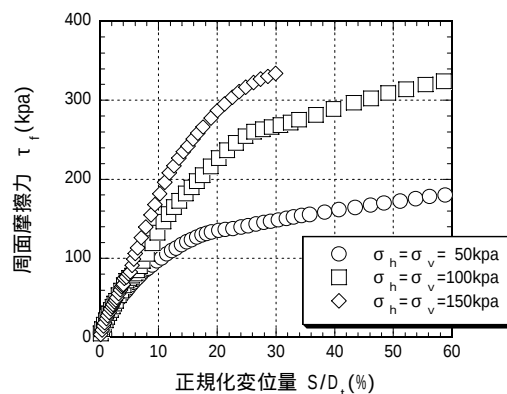


図-9(a) 周面摩擦力の発現特性($\theta=4.1^\circ$, $k_0=1.0$)(しらす)

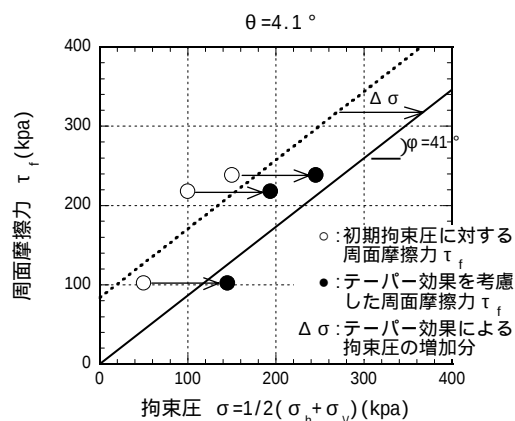


図-9(b) 拘束圧と周面摩擦力の関係($\theta=4.1^\circ$, $k_0=1.0$)(しらす)

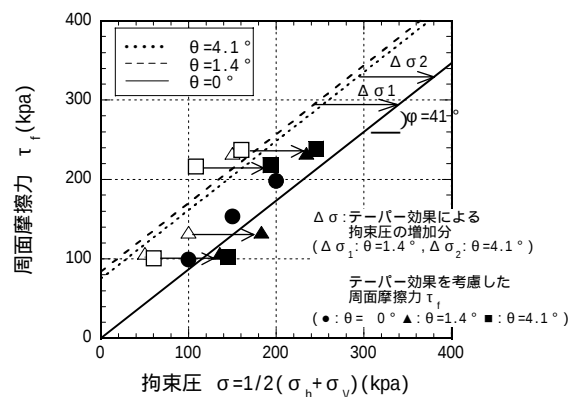


図-10 テーパ角の存在による拘束圧増加の検討(しらす)



写真-1 新しく開発した MST コーン

参考文献

- 1) 中里、花田、松田：テーパ形状を有する貫入体の地盤抵抗特性、九州共立大学卒業論文、2006.3
- 2) 例えば、地盤工学会：地盤調査法 1995.7