

原位置試験によって計測される 地盤の変形特性

田中洋行¹・田中政典²

¹正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 土質部 (〒239 横須賀市長瀬 3-1-1)

²正会員 運輸省港湾技術研究所 土質部 (〒239 横須賀市長瀬 3-1-1)

この論文は、電気式静的コーン貫入試験 (CPT) とダイラトメーター試験 (DMT) から、どのように地盤の変形特性を求めるかについて記述したものである。我が国の粘性土および砂地盤 8 地点を対象とし、室内試験およびサイスミックコーンから得られた変形係数と、CPT および DMT から得られる値との相関を求めた。粘土地盤に対しては、サイスミックコーンから得られたせん断剛性率 G_{sc} と CPT および DMT から求められた値との間には比較的良好な相関関係が得られた。しかし、砂地盤に対しては、相対密度によって G_{sc} とこれらの値との比が大きく変化することがわかった。

Key Words : *in-situ test, deformation, penetration test, sounding, cohesive soil, sandy soil*

1. はじめに

近接施工の増大、あるいは上部構造物の大型化に伴い、以前にも増して地盤の変形に対して高い精度が要求されている。これまでの研究によって、土の変形係数はひずみレベルによって著しく異なることがわかってきた。また、通常の荷重レベルでは地盤に発生するひずみは、0.01 から 0.1% と非常に小さく (Jardine¹⁾)、現行の設計で多く用いられている一軸圧縮試験から求められる正割係数 E_{50} を用いると、地盤の変形をかなり過大評価することが知られている。しかし、三軸試験機などを用いた室内試験から、微小ひずみ下での変形係数を求める作業は、従来の試験と比べてはるかに高い技術を必要とする。また、室内試験から地盤定数を求める場合に、いつも議論になる課題がサンプリングによる試料の乱れである。室内試験から求められる変形係数は、試料の乱れの影響から逃れることはできない。

この室内試験に代わる方法として、原位置試験から変形係数を求める方法がある。地盤の変形係数を求める代表的な試験方法としてプレシオメーターがある。この試験は他の原位置試験と比べて境界条件が簡単かつ明確であるので、理論的に変形係数を求めることができる。プレシオメーターには大きく分けて 2 種類あるが、我が国では、予め設けられた

ボーリング孔にプローブを挿入するプレボーリングタイプが一般に用いられている。この試験では、室内試験と同様にボーリングによる孔壁の乱れが大きな問題となる。一方、ボーリング孔を必要としないセルフボーリングタイプが欧米において実際の地盤調査に用いられている²⁾が、プローブを地盤に挿入する際に、地盤に乱れが本当に生じていないかという議論はさておき、非常に操作が煩雑であることが実用上の最大の問題となっている。したがって試験コストも高く、近い将来この試験方法が通常的地盤調査、例えば標準貫入試験と同様に扱われるとは考え難い。

本論文で取り上げる原位置試験は、電気式静的コーン貫入試験 (CPT) と、ダイラトメーター (DMT) である。これらの試験は、試験操作が簡単な反面、理論的な方法で地盤の変形特性を導くには境界条件が非常に複雑であり、実用上は不可能といってよい。このため、これらの試験から変形係数を始めとする地盤に関する定数を求めるためには、どうしても多くのデータを基にした経験的な手法に頼らざるをえない。本論文の目的は、我が国の粘性土と砂地盤のせん断剛性率 G と、CPT あるいは DMT から得られた値がどのような関係にあるかを明らかにすることである。しかし、すでに述べたように G はひずみレベルによって変化する値なので、本論文

では物理探査手法によるせん断波速度から求められたせん断剛性率を基準として議論する。

2. 調査地点と試験方法

(1) 調査地点

今回調査を行ったのは我が国の8地点であり、以下に調査地点の概要を述べる。詳細については文献3),4)を参照されたい。

a) 久里浜

この場所は、港湾技術研究所が土質調査に関する研究フィールドとしている所で、深さ3mから25mに渡って地質学的には正規圧密粘性土(過去に現在の有効土被り圧より大きな荷重を受けていない)が堆積している。この地点の原位置試験および室内試験の結果については文献5)にも記載されている。

b) 東扇島B

この調査地点は川崎市に位置し、1972年から1973年にかけて山砂で埋め立てられた地盤である。旧海底面は地表から10m下にあり、その下に砂と粘土の互層が8mほど続く。さらにその下(深さ18m)から粘土層がある。埋立による圧密が未だ進行中であることも考えられるので、この粘土層に対してCPTを用いた間隙水圧の消散試験を行ったが、消散後の間隙水圧は静水圧と一致した。また、圧密試験から求められた圧密降伏応力 p_v は原位置の有効土被り圧 p'_{v0} より大きいことから、埋立による粘土層の圧密は完全に終了しているものと考えられる。今回調査の対象となったのは、埋立層(以下扇島砂層)と18m下の粘性土(以下扇島粘土層)である。扇島砂層に対して、凍結サンプリングによる試料の採取を行った⁶⁾。なお、この地点を東扇島Bとしたのは、文献4)でも東扇島の調査地点があり、これと区別するためである。

c) 有明

ここは九州の有明海に面する肥前鹿島市に位置しており、地表から均一な粘性土が堆積している。筆者らが種々のサンプラーを用いて試料の品質の比較実験を行った地点がこの場所である。ここの地盤で特徴的なのは、かなりの深度まで自然含水比 w_n が液性限界 w_l より大きい、すなわち液性指数 L_i が1.0より大きく、非常に鋭敏な粘性土であることである。この粘土層の下(-19m)から砂層が表れる。冬季に海苔の養殖のために、この砂層からの地下水を汲み上げており、このために-15mから下の粘性土は、過圧密となっている。

d) 山下公園

ここは、観光で有名な横浜の山下公園に位置して

いる。関東大震災後、地表面から-5mまで瓦礫によって埋め立てられ、その下は砂分を多く含む層が-14mまで堆積している。今回の調査対象となった粘性土は-14mから-40mまでの深さにある。この粘土層は、原因がよくわからないが、過圧密比OCRは2.0程度もある。このため、今回の粘性土の調査地点の中では、最も非排水せん断強度が大きい。

e) 新潟

この調査地点は新潟港の信濃川の河口に位置する。この地点の地層は砂が卓越するが、-6mから-10mにはシルトが多い層がある。今回データとして用いるのは、このシルト層を除いた地表面から-14mまでの砂層である。

f) 検見川

この地点は千葉市に位置し、深さ-10mから-19mまでの沖積砂層を今回の研究対象とした。この砂層は第4紀に堆積した自然地盤で、新潟および東扇島Bより N 値が大きい。この地点は鹿島建設(株)技術研究所(鹿島技研)が中心となって調査を行った所である。

g) 出雲

この地点は島根県の斐伊川下流で、今回の対象となった粘土層は深さ-10mから-35mの地点にある。その下は砂層であり、この層にはかなりの被圧水がある。このため、深さ方向に対する粘土層の強度増加率は小さい。

h) 八郎潟

この地点は干拓する前の八郎潟中央にあり、最も粘性土が厚く堆積している所である。この地点の大きな特徴は、 w_L が地表面付近で200%を越す高塑性土であることである。このため自然含水比も大きく、したがって単位体積質量も小さいため、出雲と同様に深さ方向に対する強度増加率が小さい。

(2) 試験方法

a) CPT

今回対象となった地盤調査には、機種による測定値の違いを避けるため、検見川を除いて同じ種類のCPTを用いた。このCPTは、地盤工学会が定めた電気式静的コーン貫入試験方法に従って、コーンの先端角度 60° 、断面積 10cm^2 、間隙水圧を測定するフィルターはコーンの背後にある。また、コーンの有効断面積比 α は0.75、先端抵抗の容量は20MPa、また間隙水圧の容量は1MPaである。コーン貫入速度は約 $1\text{m}/\text{min}$ である。

b) DMT

Marchettiが考案したDMTをそのまま用いている。DMTの試験装置の詳細は文献7)を参考され

たいが、メンブレンが膨らむ時の圧力 p_0 、メンブレンが 1.1mm 膨らんだ時の圧力 p_1 はブレード挿入後、Marchetti が提唱しているように 15 秒以内に行った。DMT から、 p_0 、 p_1 の値を用いて以下のインデックスが定義される。

材料インデックス

$$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 \cdot u_0) \quad (1)$$

水平応力インデックス

$$K_D = (p_0 - u_0) / p'_{v0} \quad (2)$$

ダイラトメーター係数

$$E_D = 34.7(p_1 - p_0) \quad (3)$$

ここに、 u_0 は静水圧、 p'_{v0} は有効土被り圧である。

(3) サイスマミックコーン

せん断波速度 v_s から求めたせん断剛性率はサイスマミックコーンによった。今回用いたサイスマミックコーンはダウン法の一で、地表面から板たたき法によって発生したせん断波をコーンの先端に取り付けられた加速度計によって受信するものである。 v_s を求める場合には、どのようにしてせん断波の到達時間を決めるかが問題となる。今回開発したサイスマミックコーン⁹⁾には、コーン先端とこれから 1m 離れた上部に x y 方向にそれぞれ 2カ所、合計 4つの加速度計が取り付けられている。計測された加速度の例を図-1 に示す。レーザー A はレーザー B より 1m 深い地点で計測されたものである。最初の大きな波形に着目し、2つのピークの時間差 Δt から v_s を求めた。剛性率 G_{sc} は次式から計算される。

$$G_{sc} = \rho \cdot v_s^2 \quad (4)$$

湿潤密度 ρ はサンプリングされた試料から求めた。また、サイスマミックコーンから求められた G を他の G と区別するために、 G_{sc} とする。

3. 粘性土地盤から得られた結果

(1) G_{sc} と種々の試験から得られた G の比較

久里浜の試験フィールドで種々の試験方法によって得られた G を比較した。図-2 にその結果を

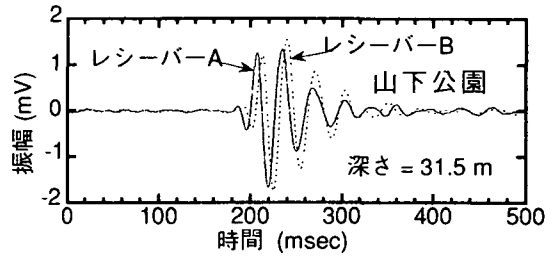


図-1 サイスマミックコーンで受信されたせん断波の例

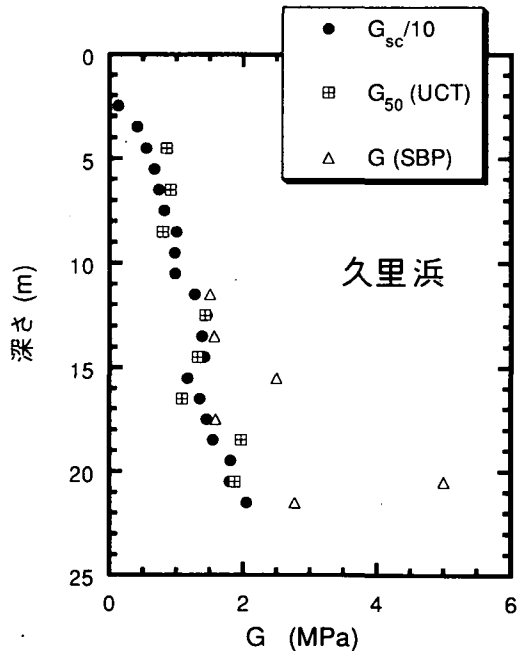


図-2 種々の方法で求められた剛性率 (久里浜)

示す。図の G_{50} は一軸圧縮試験から求められた E_{50} をポアソン比 ν を 0.5 としてせん断剛性率 ($G_{50} = E_{50}/3$) に計算した値である。図中 Δ 印は、カムコメータ (Camkometer) と呼ばれているケンブリッジ大学で開発されたセルフポーリングタイプのプレシオメーター (SBP) から得られた G である。プレシオメーターから得られる応力～ひずみ関係は非線形であり、注目するひずみレベルによって G が異なる。図には、ひずみレベルが 1% 以下で求められた G を載せている。ここで興味深いのは、カムコメータから得られた G が、最も単純な試験である一軸圧

縮試験から得られた G_{50} と同じオーダーにあることである。これから、少なくとも軟弱粘性土地盤に対しては、わざわざ高価なセルフボーリング型プレシオメーターを用いても、一軸圧縮試験から求められた E_{50} 程度の値しか得られないことがわかる。サイスミックコーンから得られた G_{sc} は、これらの試験から得られた G よりはるかに大きいため、図には $1/10$ の値として載せている。図に示すように G_{sc} はプレシオメーターあるいは一軸圧縮試験から求められた値の $1/10$ となっている。

他の場所から得られた粘性土地盤における G_{50} と G_{sc} の比較を図-3に示す。久里浜と同様におおよそ $G_{sc} = 10G_{50}$ の関係が認められる。一軸圧縮試験は乱れの影響を強く受け、土質工学的に見ると精度の低い試験であるとの認識が強い。しかしながら、今回の調査から、強度よりも乱れに敏感であると言われている変形係数は、 G_{sc} との間にかかなり高い相関が認められる。

(2) DMT から得られた E_D と G_{sc} の関係

DMT から求められるインデックスの中で、 E_D は地盤を半無限弾性体と仮定して求められたヤング率に相当する値である。したがって、 E_D と G_{sc} との間には特定の関係にあると想像される。DMT から求められた E_D と G_{sc} との関係を図-4に示す。両者の関係には式(5)の関係が認められる。

$$G_{sc} = 7.5 E_D \quad (5)$$

式(5)がもつ意味を考えてみる。 E_D と地盤のヤング率 E との関係は式(6)で理論的に関連づけられる (Marchetti⁸⁾)。

$$E_D = E / (1 - \nu^2) \quad (6)$$

粘性土なので ν を 0.5 として、 E を G に置き換え、さらに E_D に相当する地盤の G を G_D とすると、 G_{sc} と G_D の関係は式(7)で表せられる。

$$G_{sc} = 7.5 E_D = 30 G_D \quad (7)$$

すなわち、DMT から求められる変形係数はサイスミックコーンから得られた変形係数の $1/30$ も小さな値であることがわかる。この比率は、一軸圧縮試験から求めた G_{50} が G_{sc} の $1/10$ であったことを考えると、かなり小さい。すなわち DMT におけるひずみレベルはかなり大きいことになる。

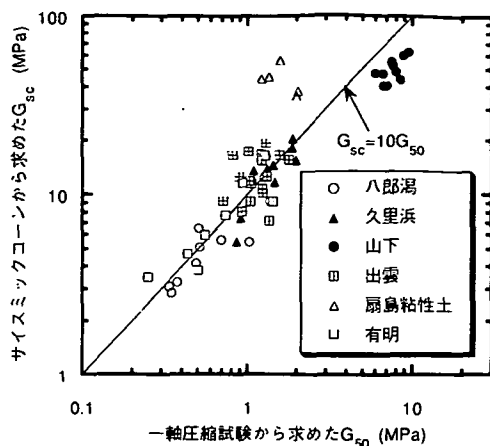


図-3 一軸圧縮試験から得られた G_{50} とサイスミックコーンから得られた G_{sc} の比較 (粘土地盤)

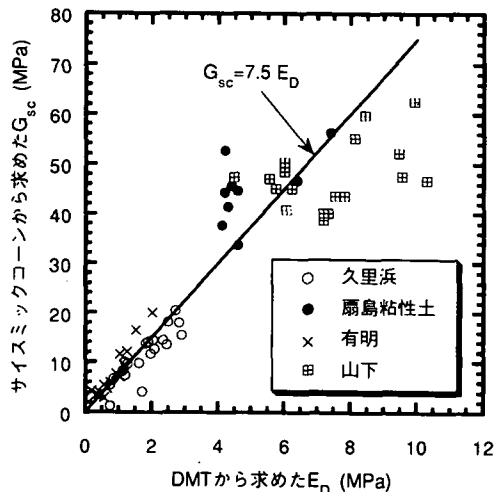


図-4 DMT から求められた E_D とサイスミックコーンから求められた G_{sc} との比較 (粘土地盤)

(3) CPT から得られる q_t と G_{sc} の関係

今回の粘性土に対して行った一連の調査結果から、CPT から求められる $(q_t - p_{vo})$ (ここに q_t は CPT から求められる先端抵抗、 p_{vo} は全応力による土被り圧) と G_{sc} との間には、図-5に示すように、式(8)の関係が認められる。

$$G_{sc} = 50(q_t - p_{vo}) \quad (8)$$

CPT から、コーン係数 N_{kt} によって非排水せん断

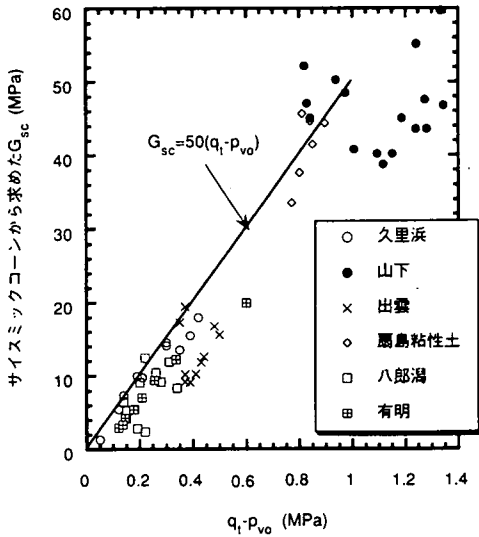


図-5 CPTから求められた $(q_t - p_{vo})$ とサイスマック
コンから得られた G_{sc} との関係 (粘土地盤)

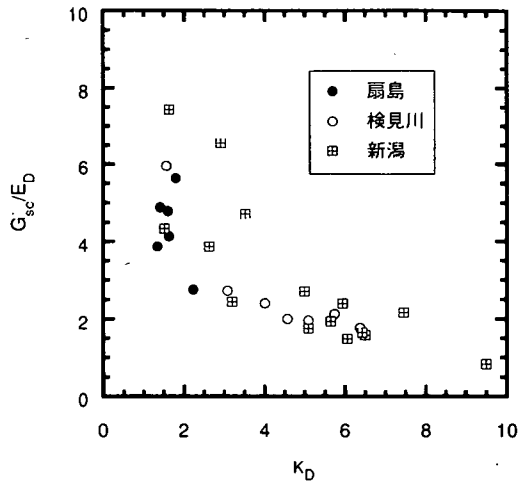


図-7 砂地盤から求められた G_{sc}/E_D と K_D との
関係

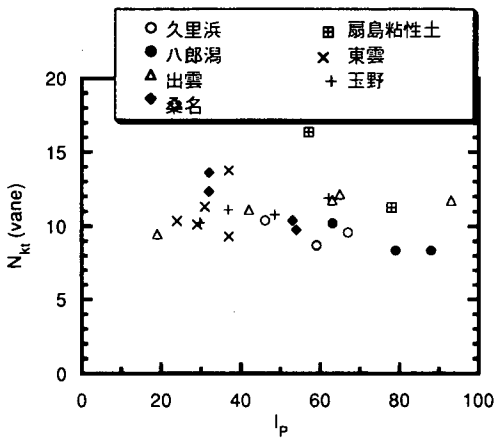


図-6 我が国の粘性土に対するベーン試験から求め
られた s_u を基準にしたコーン係数 N_{kt} ¹⁰⁾

強度 s_u と $(q_t - p_{vo})$ との関係が式(9)によって関連
付けられる。

$$(q_t - p_{vo}) = N_{kt} s_u \quad (9)$$

N_{kt} は、地盤の種々の要因によって変化する値とさ
れているが、Tanaka¹⁰⁾は図-6に示すように我が
国の原位置のベーンせん断試験から測定される s_u
を基準とすると、塑性指数 I_p によらず9から14の
範囲にあるとしている。この関係と G_{sc} との関係

を結びつけた式(8)の関係を用いると、 G_{sc} と s_u との
関係には $G_{sc} = (450 \sim 700) s_u$ が得られる。

4. 砂地盤から得られた結果

(1) DMT から得られた結果

粘性土地盤に対しては、DMT から求められる
 E_D と G_{sc} との間には、 $G_{sc} = 7.5 E_D$ との一定の関係
が認められたが、砂地盤ではこのような一定の関係
は認められない。しかし、図-7に示すように、
同じDMTから求められる K_D に対して G_{sc}/E_D 比
を整理すると、 G_{sc}/E_D 比は K_D が増加するにした
がい、減少するのがわかる。また、我が国の正規圧
密粘性土の K_D は2前後であり³⁾、図-7を用いて
この値に対応する G_{sc}/E_D を求めるとおおよそ6
の値が得られる。すでに述べた粘性土に対する値
7.5 と比べると多少小さいが、 K_D で整理すると、
土の種類にかかわらず G_{sc}/E_D と K_D は特定の関
係にあることがわかる。

(2) CPT から得られた結果

Baldi, 他¹¹⁾は多くのチャンバー試験から、 G_{sc}
 $/q_t$ と $q_t / (p'_{vo})^{0.5}$ との間には、OCRによって多
少変化するが、図-8に示すようなユニークな関
係があることを見いだしている。今回の調査を行っ
た3地点の砂地盤の結果を同じ図に示す。値そのも
のは多少異なるが、彼らの得られた結果と同様に

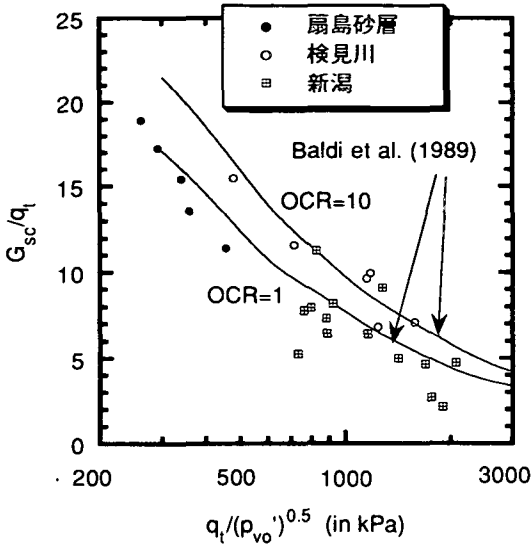


図-8 CPTによる q_t と G_{sc} との関係

$q_t / (p'_{vo})^{0.5}$ の増加にともない G_{sc} / q_t の減少が認められる。これから、CPTにおいても、DMTの場合と同様に粘性土地盤に対しては G_{sc} と q_t との関係は一定であるが、砂地盤ではその関係は $q_t / (p'_{vo})^{0.5}$ によって変化することがわかる。

(3) DMT と CPT から得られた結果の意味

(1)と(2)で得られた実験結果の意味を考えてみる。Robertson と Campanella¹²⁾は、図-9に示すような D_r と K_D の関係を求めている。東扇島と検見川では凍結サンプリングをおこなっているので、 D_r が得られている。この値を用いて K_D との関係調べると、これらの地点においても彼らの提案している関係と同様な傾向が得られる。すなわち、今回行った調査地点では、 K_D によって D_r を予測することが可能であることがわかり、 G_{sc} / E_D 比は D_r によって変化すると言い換えることができる。事実、Sully と Campanella¹³⁾は、圧力チャンパー試験から、図-10に示すように、微小ひずみ下における G_{max} と E_D の比、 G_{max} / E_D は D_r によって変化することを示している。今回の調査地点で得られた結果も同じ図にのせるが(ただし、新潟の D_r はDMTから求めた)、彼らが示した結果と同様な傾向が認められる。

CPT から得られた結果(図-8)もDMTと同様に解釈することができる。CPTの計測結果から D_r を求める方法は、他の地盤定数に関する研究と同様に、チャンパー試験から提案されている。この中で、多くの研究者によって評価されているものに、

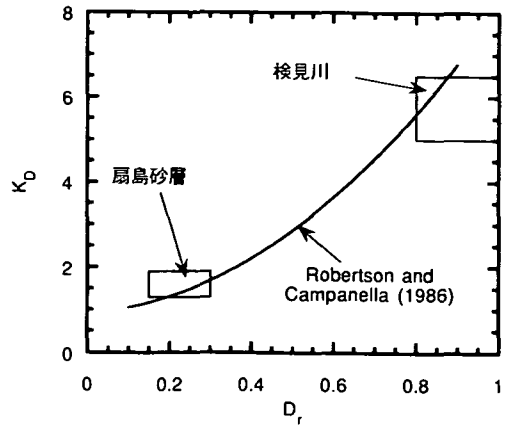


図-9 DMTから求められた K_D と D_r の関係

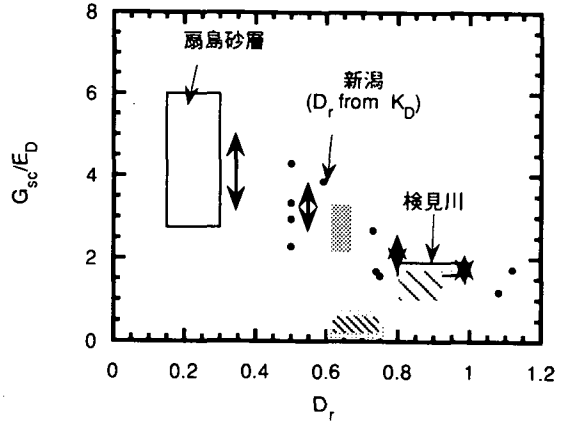


図-10 G_{sc} / E_D 比と D_r の関係

(注釈のないものについては文献13)から引用)

Lancellotta (引用文献は14)の提案式(10)がある。

Lancellottaの提案式

$$D_r = -98 + 66 \log_{10} (q_t / (p'_{vo})^{0.5}) \quad (10)$$

ただし、 D_r は%、 q_t と p'_{vo} は tf/m^2 の次元を有する。

これらの式では D_r はいずれも $q_t / (p'_{vo})^{0.5}$ と関連づけられていることに注意されたい。検見川と東扇島の凍結サンプリングから得られた D_r から、Lancellottaの提案式(10)の妥当性を図-1.1で検討した。結果は図に示すように、Lancellottaの式を用いたCPTから、扇島砂層は実測値より大きめ

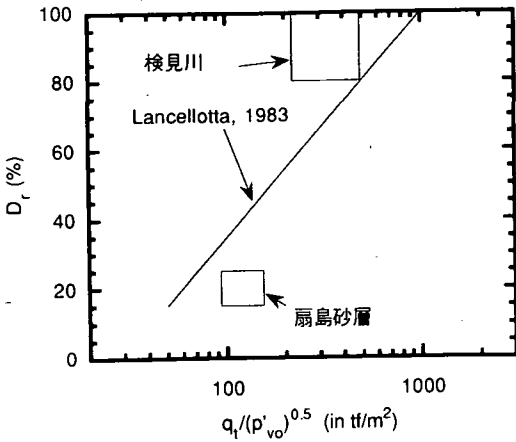


図-11 凍結サンプリングから求められた D_r と CPT から求められた D_r との比較

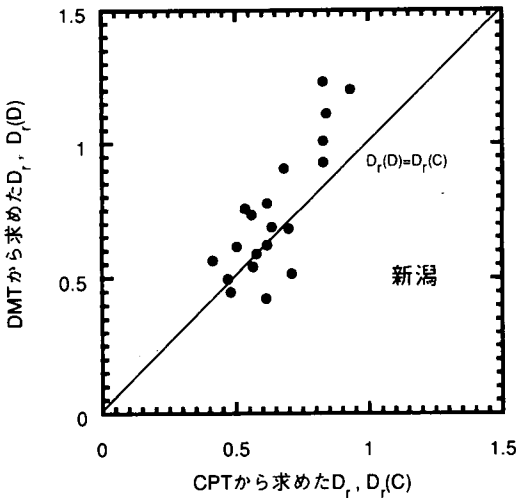


図-12 DMT から求められた D_r と CPT から求められた D_r の比較 (新潟)

に、逆に検見川は小さめに予測されることがわかる。これが、堆積状況の違い(扇島砂層は人工的な埋立地盤、検見川は自然堆積地盤)によるものか、 D_r の大小によるものかについては、今後事例を増やす必要がある。しかし、全体として言えることは、式(10)を用いて CPT からかなり精度よく D_r が予測できることである。新潟では凍結サンプリングを行っていないが、図-12 に図-9 を用いて DMT から求めた D_r と Lancellotta の提案式による CPT から求めた D_r との比較を行ってみる。両者の方法によって求められた D_r は良く一致しているのがわか

る。したがって、以上の結果からも $q_t / (p'_{vo})^{0.5}$ 値は D_r と密接な関係にあり、図-8 の横軸は D_r に置き換えることができることになる。すなわち、CPT から得られた G_{sc} / q_t 比もまた、DMT と同様に D_r によって変化することがわかる。

次に、CPT および DMT から得られる q_t や E_D と、微小ひずみ下での G との比 (G / q_t または G / E_D) が D_r によって変化する理由を考えてみよう。これまでの室内試験による研究から、微小ひずみ下での疑似弾性剛性率 G は式(11)によって表すことができる(15)。

$$G = g(e)p_1^{n_1}p_2^{n_2}p_3^{n_3} \quad (11)$$

ここで、 $g(e)$ は間隙比によって決まる関数、 p_1 はせん断波が伝わって行く方向に作用する応力、 p_2 はせん断波が振動する方向に作用する応力、 p_3 は p_1 および p_2 が作用している面にいずれも直交する面に作用する応力である。これまでの多くの実験から、おおよそ $n_1 = n_2 = 0.25$ 、 $n_3 = 0$ との値が得られている。今回用いたサイズミックコーンでは、 p_1 は p'_{vo} 、 p_2 および p_3 は p'_{ho} 、すなわち原位置の水平有効応力となる。これらのことを考慮すると、サイズミックコーンから求められる G_{sc} は式(12)で表すことができる。

$$G_{sc} = g(e)p'_{vo}{}^{0.25}p'_{ho}{}^{0.25} = g(e)Ko^{0.25}p'_{vo}{}^{0.5} \quad (12)$$

この式で注目して欲しいのは、静止土圧係数 Ko にかかっている指数が 0.25 であることである。

DMT から求められる K_D はブレードを地盤に挿入する影響を受けるために、 K_D の値自体が静止土圧 Ko とはならないが、多くの研究者が指摘しているように Ko と深い関係にある。すなわち、図-9 が意味するのは、 D_r の増加によって地盤の Ko 値が大きくなることである。 E_D は水平方向の地盤反力係数なので、もちろん Ko が大きくなると、 E_D も増加する。

一方、CPT について考えてみると、キャリブレーションチャンパー試験の結果によれば、先端抵抗 q_t は、 p'_{vo} よりむしろ p'_{ho} によって支配されることがわかっている(16)。すなわち、CPT では D_r の増大によって間隙比が減少する効果と、 Ko すなわち p'_{ho} の増加による効果によって、 q_t が増大すると解釈される。これらのことを整理すると、① D_r の増加によって Ko は増加する、② Ko の増大によって E_D 、 q_t は著しく増大する、③ 一方、 G_{sc} は式(12)からもわかるように、 Ko の増加による影響は小さく、

q_t や E_D ほど K_D の増加によって G_{sc} は増加しない、
④このため、 D_r が大きくなると、 G_{sc}/q_t あるいは
 G_{sc}/E_D は減少する。このように考えると、今回得
られた図-7および図-8に示す関係を説明する
ことができる。

5. まとめ

我が国の軟弱な粘性土地盤および砂地盤に対し
て、電気式静的コーン貫入試験(CPT)、ダイヤト
メーター(DMT)およびサイズミックコーンを用
いた地盤調査を行った。これらの試験結果を用いて、
CPTあるいはDMTから地盤のせん断剛性率を求
める方法について検討を行った。得られた結果は以
下の通りである。

粘性土地盤に対して

- ①今回実施したように地質的に正規圧密地盤のよ
うな軟弱地盤では、一軸圧縮試験から得られる
 G_{50} はサイズミックコーンから得られる G_{sc} の約
1/10となる。
- ②CPTから得られる $(q_t - p_{vo})$ と G_{sc} の間には
 $G_{sc} = 50 (q_t - p_{vo})$ の関係が認められた。ただし、
 q_t は先端抵抗、 p_{vo} は全応力による土被り圧であ
る。
- ③DMTから求められる E_D と G_{sc} の間には、
 $G_{sc} = 7.5 E_D$ の関係が認められた。

砂地盤に対して

- ④ G_{sc} とCPTから得られる q_t との比、 G_{sc}/q_t は一
定ではなく、 $q_t/(p'_{vo})^{0.5}$ の増大にともない減
少する。ただし、 p'_{vo} は有効土被り圧である。
- ⑤ G_{sc} とDMTから得られる E_D との比、 G_{sc}/E_D
は、 K_D の増大によって減少する。
- ⑥ $q_t/(p'_{vo})^{0.5}$ および K_D は相対密度 D_r と密接な
関係にある。したがって、 G_{sc}/q_t および $G_{sc}/$
 E_D は D_r によって変化すると言い換えることが
できる。

謝辞:本論文では、検見川の凍結サンプリングによ
る単位体積重量、CPTおよびサイズミックコーン
のデータは鹿島建設株式会社技術研究所が、また相
対密度は京都大学防災研究所が行った結果を使わ
せて戴いた。笹尾 光室長(鹿島技研)、三村 衛
助教授(京大防災研)に感謝の意を表します。また、
澁谷 啓助教授(アジア工科大学)、西尾 伸也博

士(清水建設技術研究所)からは、貴重なご意見を
戴いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Jardine, R.J.: One perspective of the pre-failure
deformation characteristics of some geomaterials,
Proc. of the first International Conference on
Pre-failure deformation characterisitcs of
geomaterials, Vol. 2, pp.855-886, 1994.
- 2) Clarke, B.G.: Pressuremeters in Geotechnical
design, Blackie Academic & Professional, 1995.
- 3) 田中洋行, 田中政典: 電気式静的コーン貫入および
ダイヤトメーター試験を用いた地盤調査方法, 港研
資料, No.837, 1996.
- 4) 田中洋行, 榊原基生, 後藤健二, 鈴木耕司, 深沢建:
我が国の正規圧密された海成粘性土の静的コーン
貫入試験から得られる特性, 港研報告, Vol.31,
No.4, pp.61-92, 1994.
- 5) 田中洋行, 田中政典, 土田孝, 水上純一: 久里浜試
験フィールドの土質特性, 土と基礎, Vol.42, No.8,
pp.11-16, 1994.
- 6) 田中洋行, 澁谷啓, 山下聡, 三村衛: 緩い砂で埋め
立てられた地盤の工学的特性, 土と基礎, Vol.45,
No.5, pp.13-16, 1996.
- 7) Tanaka, H., Sharma, P., Tsuchida, T. and
Tanaka, M.: Comperative study on sample
quality using several types of samplers, *Soils and
Foundations*, Vol.36, No.2, pp.57-6, 1996.
- 8) Marchetti, S.: In situ tests by flat dilatometer,
ASCE, Vol.106, No.GT3, pp.299-321, 1980.
- 9) 田中洋行, 田中政典, 井口弘, 西田薫, 韓光: サイ
ズミックコーンで計測された軟弱粘性土のせん断
剛性率, 「地盤および土構造物の動的問題における
地盤材料の変形特性-試験法・調査方法および結果
の適用-」に関する発表論文集, 土質工学会,
pp.235-240, 1994.
- 10) Tanaka, H.: National Report - The current state
of CPT in Japan, Proc. of International
Symposium on Cone Penetration Testing, Vol. 1,
pp.115-124, 1995.
- 11) Baldi, G., Bellotti, R., Ghionna, V. N.,
Jamiolkowski, M. and Lo Presti, D.C.F.:
Modulus of sand from CPT's and DMT's, Proc. of
12th *ICSMFE*, Vol.1, pp.165-170, 1989.
- 12) Robertson, P.K. and Campanella, R.G.:
Estimating liquefaction potential of sands using
flat plate dilatometer, *Geotechnical Testing
Journal*, Vol.9, No.1, pp.38-40, 1986.

- 13) Sully, J.P. and Campanella, R.G.: Correlation of maximum shear modulus with DMT test results in sand, Proc. of 12th *ICSMFE*, Vol.1, pp.339-343, 1989.
- 14) Jamiolkowski, M., Ladd, C.C., Germaine, J.T. and Lancellotta, R.: New developments in field and laboratory testing of soils, Proc. of 11th *ICSMFE*, Vol.1, pp.57-153, 1985.
- 15) Viggiani, G. and Atkinson, H.: Stiffness of fine-grained soil at very small strains, *Geotechnique*, Vol. 45, No.2, pp.249-265, 1995.
- 16) Houlsby, G.T. and Hitchman, R.: Calibration chamber tests of a cone penetrometer in sand, *Geotechnique*, Vol. 38, No.1, pp.39-44, 1988.

(1996. 8. 6 受付)

DEFORMATION CHARACTERISTICS OF GROUND MEASURED BY IN SITU TESTS

Hiroyuki TANAKA and Masanori TANAKA

This paper describes a method for evaluating deformation characteristics of the ground using Cone penetration test (CPT) and Dilatometer (DMT). Correlation between shear modulus measured by Seismic cone, G_{sc} and values from CPT and DMT was studied for 8 different sites in Japan. It was found that for clayey ground, G_{sc} value can be well related with that from CPT and DMT. For sandy ground, however, these relations vary with relative density.