

中国地方の粘性土の統計的性質

Statistical Characteristics of Cohesive Soil in Chugoku District

土田章仁* (Akito Tsuchida)
 筆安貴司** (Takashi Fudeyasu)
 西田宣一*** (Nobukazu Nishida)

中国地方の海成沖積粘性土と有機質粘性土について、圧密沈下、安定問題に関連する単位体積重量、圧縮比 ($C_c/1+e_0$)、圧密係数、一軸圧縮強度の統計的性質を検討した。その結果、圧密係数は対数正規分布、有機質粘性土の一軸圧縮強度以外は正規分布とみなせることが確認された。さらに、次の知見が得られた。

①圧密沈下量については、圧縮比の平均値を用いた設計最終沈下量 (S_d) が実測最終沈下量 (S_m) とおおむね一致し、 S_d と S_m との間には±10%程度の違いが生じることが明かとなった。②圧密速度については、沈下観測結果から求められた圧密係数 c_v は、室内試験結果から求められた c_v の平均値より若干低めの値となる傾向があった。③瀬戸内海の沖積粘性土の qu 深度分布は、松尾らの提案するⅡ、Ⅲ型に分類できた。④有機質粘性土の qu 深度分布は、ばらつきが大きすぎて分類は困難であった。⑤一般に技術者が決める設計値は、最小二乗法で求めたものとほとんど一致した。

キーワード：圧密、一軸圧縮試験、沈下、統計的解析、軟弱地盤、有機質土

B 1 1

1. まえがき

土構造物を設計する際にはほとんどの場合、安全率が用いられている。例えば、円弧すべりでは1.2~1.3、支持力の問題では2~3といったようにである。この安全率という数字は安全性を示す指標のひとつではあるが、必ずしも安全性を定量的に示したものではない。つまり、円弧すべりの安全率1.3で設計された土構造物と支持力の安全率3で設計された土構造物の安全性を比較した時、後者が2倍以上安全ではないと言うことである。そこで近年、安全性を定量的に評価する方法として信頼度（破壊確率）の概念を導入した信頼性設計が地盤工学の分野にも登場してきており、多くの研究報告¹⁾がある。この信頼性設計で必要不可欠なのが地盤物性値の統計的性質である。

軟弱地盤上の盛土や埋立等の工事においては通常、安定と圧密沈下が問題となる。これらの問題に対して、地盤の強度特性や圧密特性を把握するため、一軸圧縮強度試験や標準圧密試験などを行なう場合が多い。これらの試験結果には、地盤固有のばらつきの他に、調査技術者の熟練度や試験者の違いなどに起因するばらつきも含まれている。このような状況下で各技術者が最適と考える地盤定数を設定するが、中には後者の人為的ばらつきの要因を考慮し、平均値よりやや小さい値あるいは大きい値を設定する場合もあるだろう。

そこで筆者らは、中国地方のいくつかの粘性土地盤について、圧密沈下に関する地盤定数の統計的性質を整理し、土質試験結果の単純平均値 (\bar{x}) とそれから標準偏差 (s) だけずれを考慮した値 ($\bar{x}-s$ と $\bar{x}+s$) を用いた沈下量の計算結果と実測データを比較検討した。また、安定問題については、一軸圧縮試験結果の統計処理例を示し、一軸圧縮強度の平均値と標準偏差の深度分布が松尾らが提案する²⁾分布型のどのタイプに適合するか検討した。さらに、一般的に技術者が日頃どのような設計値を設定しているか調査したのでそれらの結果を報告する。

2. 圧密定数の統計的性質と設計値

2.1 各現場の工事概要及び地盤条件

対象とする現場は、図-2.1~2.3に示す中国地方で施工された3つの現場である。

(1) 現場A (埋立造成工事)

* 中電技術コンサルタント(株) 土木第一本部 ** 不動建設(株) 特殊工法事業本部
 *** 復建調査設計(株) 第二事業部

現場Aは、浄化センター用地造成に伴い、沈下対策及び載荷盛土の安定対策として地盤改良工事（SD工法、SCP工法）が施工されたものである。当地区の地盤は、急激な海進に伴い形成されたため、上層には粒径がやや粗くシルト主体である沖積シルト（ A_{c1} ）層（9.5m～10.0m程度）が堆積し、以下、N値数回～10数回程度の比較的安定した沖積粘土（ A_{c2} ）層、洪積粘土（ D_{c1} ）層、砂礫（ D_s ）層と続いている。

土質試験結果からの圧密降伏応力（ p_c ）と土被り圧（ $p_{\gamma z}$ ）との比較より、 A_{c1} 層は若干過圧密状態であるのに対し、 A_{c2} 層、 D_{c1} 層はかなりの過圧密状態であるため、 A_{c2} 層以下における沈下量はほとんどないものと考えられた。また、図-2.1からわかる様に、 A_{c1} 層の自然含水比 w_n は60%～120%、圧縮比 $m_c = C_c / (1 + e_0)$ はおおむね0.3～0.5の範囲に分布し、圧密係数 c_v は、深さ方向には関係なく $30\text{cm}^2/\text{day} \sim 100\text{cm}^2/\text{day}$ とかなりばらつきがあった。なお、図-2.1に示す計測地点は、いずれもSD工法で改良された地盤である。

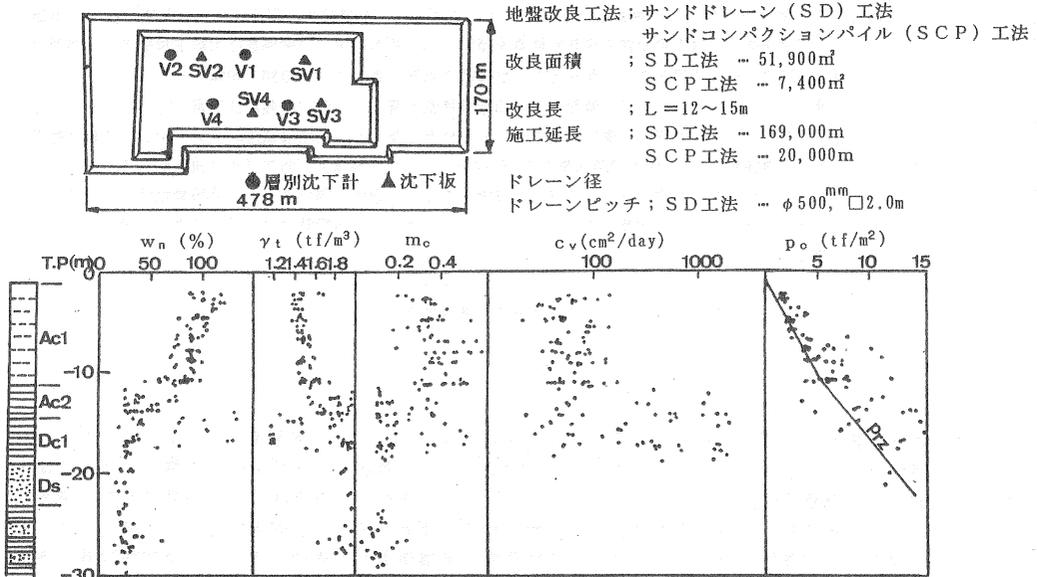


図-2.1 計測位置図及び土質試験結果（現場A）

（2）現場B（道路盛土工事）

現場Bは、道路計画高を確保するための盛土施工（厚さ17m程度）に伴う、沈下対策及び載荷盛土の安定対策として地盤改良工事（バックドレーン工法）が施工されたものである。当地区の地盤は、厚さ20m程度の有機質土、有機質粘土、有機質シルト及びシルトが堆積している。

図-2.2に示す土質試験結果より、有機質土及び有機質粘土層の含水比は、-3m以浅で $w_n=50\sim400\%$ 、-3m～-10mで $w_n=60\sim250\%$ の範囲で分布しており、また有機質シルト及びシルト層は、 $w_n=50\sim100\%$ の範囲で分布している。圧縮特性は、圧縮比 m_c がおおむね0.2～0.5の範囲に分布し、圧密係数 c_v は、深さ方向には関係なく $30\text{cm}^2/\text{day} \sim 200\text{cm}^2/\text{day}$ とかなりばらつきがあった。また、圧密降伏応力（ p_c ）と土被り圧（ $p_{\gamma z}$ ）との比較より、若干過圧密状態であると判断できた。

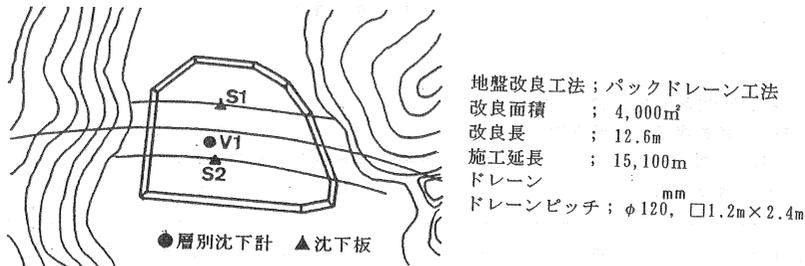


図-2.2 (a) 計測位置図（現場B）

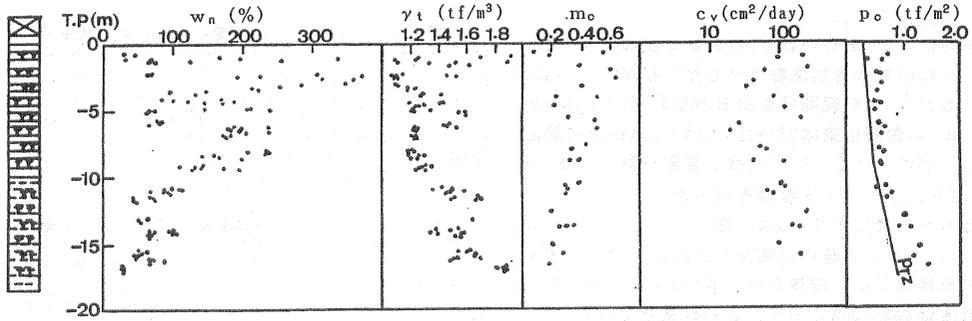


図-2.2 (b) 土質試験結果 (現場B)

(3) 現場C (土地造成工事)

現場Cは、運動施設の建設に先立ち、建設予定地の圧密沈下対策及び護岸部の安定対策を目的として地盤改良工事 (GCP工法, SCP工法, SD工法) が施工されたものである。当地区の地盤は、洪積層の上に軟弱な粘性土を主体とした沖積層 (A_c) が、厚さ2m~14mで海岸に向かって厚く分布している。この沖積層 (A_c) の上位には、外周堤防施工 (S.40~S.50年代) 後に、ヘドロが投入された記録があるが、土質調査結果では在来の粘性土との境界は不明である。また、現在の埋立地は、S55年以降数回にわたり埋土が施工されており、表層には山土よりなる盛土が厚さ2m~4mで分布し、その下位には部分的に砂や不純物 (腐食物等) を若干混入する山土などが埋立てられており、表層盛土と合わせると、厚さ10mに達する箇所が存在している。図-2.3に示す土質試験結果より、圧縮比m_oはおおむね0.2~0.4の範囲に分布している。また、圧密降伏応力 (p_c) と土被り圧 (p_{γz}) の関係から、埋立土の湿潤単位体積重量γ_tにばらつきがあり断定はできないが、表層盛土による圧密が進行中で、未圧密状態であると判断できた。なお、図-2.3に示す計測地点は、いずれもSD工法で改良された地盤である。

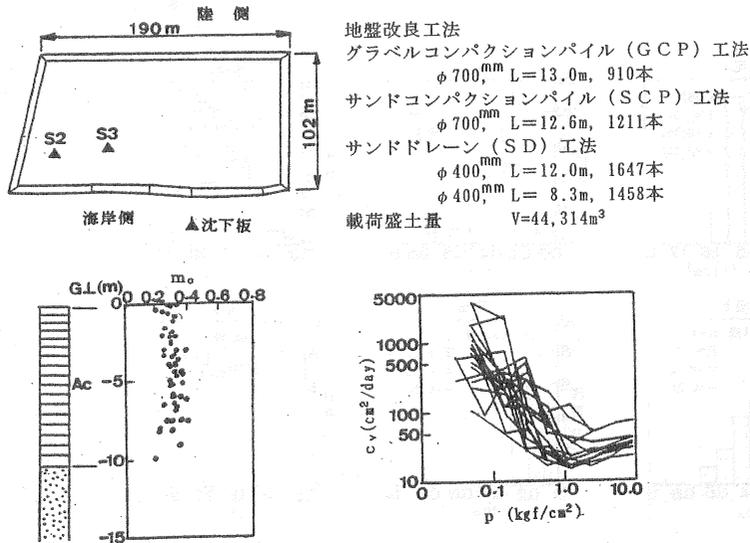


図-2.3 計測位置図及び土質試験結果 (現場C)

2.2 圧密定数の統計的性質

各現場の土質試験結果から求められた圧密定数を表-2.1に示す。また、各現場の圧密定数の度数分布を図-2.4に示す。

(1) 湿潤単位体積重量 (γ_t)

現場Aの沖積層のγ_tは、図-2.4(a)からわかる様に正規分布で近似できそうである。また、図表は省略するが、γ_tの変動係数Vは、3%~7%と小さく、松尾²⁾らの報告にある2%~8%と同程度である。また、特に深度方向に一定の変化をする傾向はみられなかった。

(2) 圧縮比 (m_o)

一般的に、 c_v あるいは m_o は最終圧密沈下量を推定するための基本的な係数であるが、松尾²⁾らの報告によると、 c_v の変動係数がおおむね20%~40%程度、また、 m_o の変動係数はだいたい10%~35%程度の範囲にあるとされている。ここでは、変動係数の小さい m_o を取り上げてデータ整理を行った。

現場A~現場Cより m_o は、図-2.4(b), (d), (e)および(i)からわかる様に正規分布で近似できそうであり、変動係数Vは、沖積シルト層の15%~24%に対し、有機質層は22%~36%とやや大きい結果となった。

(3) 圧密係数 (c_v)

圧密係数 c_v は、圧密圧力 p の大きさによって変わるため、ここでは、 $p = (\text{盛土載荷前の土被り圧}) + (\text{盛土荷重}) / 2$ とした。松尾²⁾らによると、各 p レベルごとに $\log c_v$ は正規分布で近似できるとされている(c_v は対数正規分布で近似)。現場Aにおいては、図-2.4(c)より c_v は、対数正規分布で近似できそうである。現場B、Cにおいては、図-2.4(f), (g), (h)および(j)より、対数正規分布で近似しがたい傾向にある。現場B、Cのデータが不足していることが、その一つの要因と考えられる。

表-2.1 (a) 沖積層の圧密定数 (現場A)

土層	Cc/(1+e ₀)			c _v (cm ² /day)		
	\bar{x}	s	v	$\overline{\log x}$	$\sqrt{\text{var}(\log x)}$	v
沖積シルト	0.39	0.092	0.24	1.78	0.184	0.10

表-2.1 (b) 有機質層の圧密定数 (現場B)

深度	Cc/(1+e ₀)			c _v (cm ² /day)		
	\bar{x}	s	v	$\overline{\log x}$	$\sqrt{\text{var}(\log x)}$	v
-3m以浅	0.39	0.137	0.36	2.18	0.294	0.14
-3m~-10m	0.39	0.137	0.36	1.79	0.337	0.19
-10m以深	0.27	0.058	0.22	2.10	0.201	0.10

表-2.1 (c) 沖積層の圧密定数 (現場C)

土層	Cc/(1+e ₀)			c _v (cm ² /day)		
	\bar{x}	s	v	$\overline{\log x}$	$\sqrt{\text{var}(\log x)}$	v
沖積シルト	0.30	0.045	0.15	1.42	0.223	0.16

注) \bar{x} , $\log x$; 平均値 s, $\sqrt{\text{var}(\log x)}$; 標準偏差

V; 変動係数

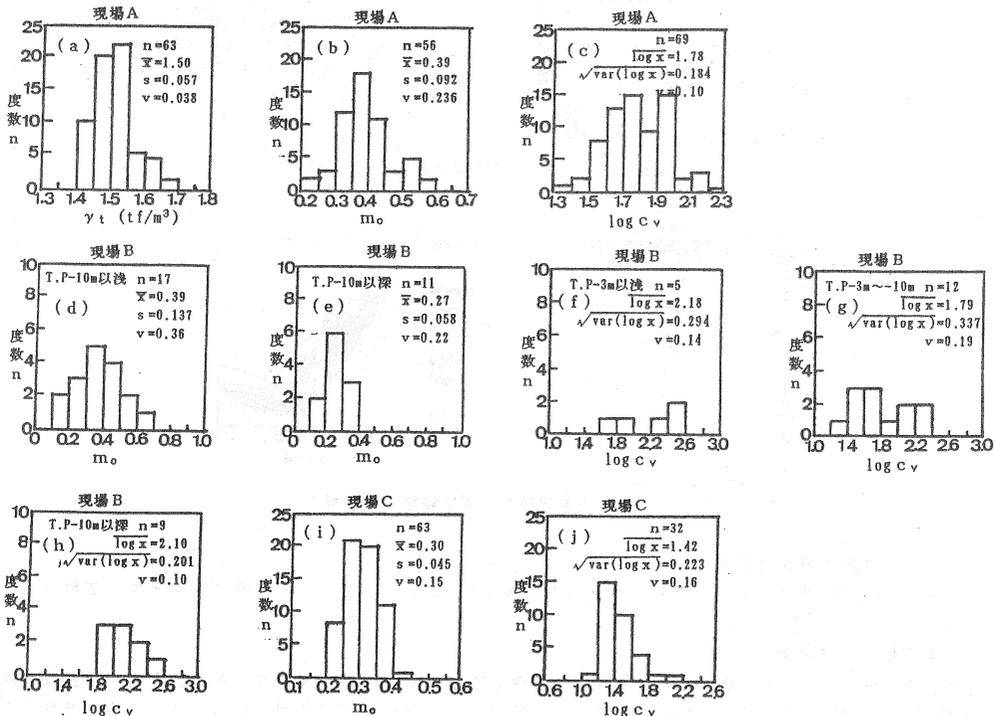


図-2.4 土質データの度数分布図

2.3 設計値と実測値の比較

一般に圧密沈下計算を行なう場合、土質データの平均値を用いる場合が多いが、ここでは、土質データのばらつきの評価の違いによって、計算結果（設計値）がどのように変動するかを調べる目的で、土質データの標準偏差を一つの目安として、設計値と実測値の比較検討を行った。

(1) 最終沈下量

室内試験結果を用いて算定する設計最終沈下量 S_c は、圧縮比 m_c のばらつきを考慮して、以下の3ケースについて求めた。

ケース1；平均値(\bar{x})より標準偏差(s)だけ小さな値($\bar{x} - s$)を用いる場合

ケース2；平均値(\bar{x})を用いる場合

ケース3；平均値(\bar{x})より標準偏差(s)だけ大きな値($\bar{x} + s$)を用いる場合

なお、各々の土質試験結果より、現場Aにおいては過圧密荷重($p_c - p_0 = 1.0 \text{ tf/m}^2$)、現場Bにおいては過圧密荷重($p_c - p_0 = 1.4 \text{ tf/m}^2$)また、現場Cにおいては、未圧密荷重($p_0 - p_c = 1.5 \text{ tf/m}^2$)を考慮した。また、実測最終沈下量 S_m は、沈下観測結果を双曲線法で整理して求めた。

表-2.2は、設計最終沈下量 S_c と実測最終沈下量 S_m の比($S_m/S_c \times 100$)をまとめて示したものである。また、図-2.5は、それらの関係を図示したものである。これらの結果から、ケース2の平均値(\bar{x})を用いた S_c と S_m は、おおむね一致し、 S_c と S_m の間には $\pm 10\%$ 程度の誤差があることがわかる。

表-2.2 S_c と S_m の比較結果

現場A				現場B			
調査地点	$S_m/S_c \times 100$ (%)			調査地点	$S_m/S_c \times 100$ (%)		
	$\bar{x} - s$	\bar{x}	$\bar{x} + s$		$\bar{x} - s$	\bar{x}	$\bar{x} + s$
V1	124	96	79	V1	150	110	87
V2	129	101	83	S1	148	108	87
V3	120	93	76	S2	150	110	87
V4	128	100	82	現場C			
SV1	126	98	80	調査地点	$S_m/S_c \times 100$ (%)		
SV2	125	97	80		$\bar{x} - s$	\bar{x}	$\bar{x} + s$
SV3	121	94	77	S2	132	110	95
SV4	129	100	81	S3	127	106	90

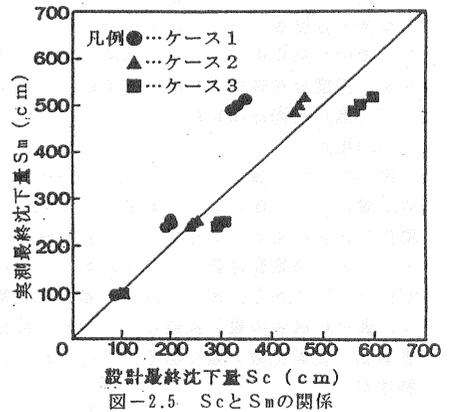


図-2.5 S_c と S_m の関係

(2) 圧密係数

室内試験結果から求められる設計圧密係数 c_v を、そのばらつきを考慮して、2.3(1)と同様、以下の3ケースについて求めた。

ケース1；平均値($\log x$)より標準偏差($\sqrt{\text{var}(\log x)}$)だけ小さな値($\log x - \sqrt{\text{var}(\log x)}$)を用いる場合

ケース2；平均値($\log x$)を用いる場合

ケース3；平均値($\log x$)より標準偏差($\sqrt{\text{var}(\log x)}$)だけ大きな値($\log x + \sqrt{\text{var}(\log x)}$)を用いる場合

各ケースの c_v と各現場における数ヶ所の観測地点で観測された時間と沈下量の関係から門田法を用いて求めた実測圧密係数 c_h を比較したものを図-2.6に示す。

図-2.6より、どのケースの c_v が、設計値として最も適当であるかを断定するのは困難であるが、傾向としては、ケース1とケース2の中間値程度(平均値より若干低めの値)が妥当でないかと考えられる。

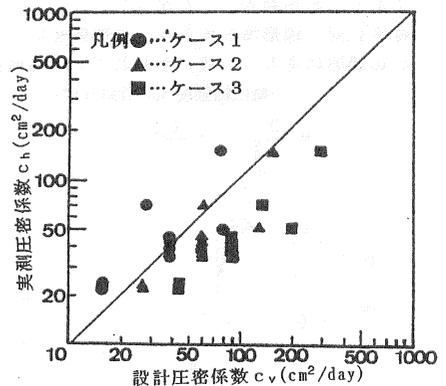


図-2.6 c_v と c_h の関係

3. 一軸圧縮強度の統計的性質と設計値

3.1 一軸圧縮強度の一般的な統計的性質

一軸圧縮強度（以下 q_u と記す）は、工学的に一様とみなされる地盤内でもばらつき、その様子は地盤によって様々である。松尾らは関東・中部地方の多くの地盤について非排水せん断強度 $c_u (= q_u/2, \text{以下} c_u \text{と記す})$ を整理し、その深度分布を次の三つのタイプに分けられるとしている²⁾。（図-3.1参照）

I型：平均、分散とも深さ z 方向に不変

II型：平均は深さに対し線形増加するが、分散は不変

III型：平均、分散とも深さに対し線形増加

そしてこれら c_u のばらつきは正規分布で近似できるとし、次のような確率モデルで表した。

$$\begin{aligned} c_u(z) &= \mu(z) + \sigma(z) u(z) \\ \mu(z) &= c_0 + k z \\ \sigma(z) &= \sigma_0 + \kappa z \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに、 z ：深さ、 μ ：平均値、 σ ：標準偏差、 u ：平均が0で分散が 1^2 の正規乱数、 c_0 ： $z=0$ における c_u 、 k ： c_u の増加勾配、 σ_0 ： $z=0$ における σ 、 κ ： σ の増加勾配である。つまり、I型の場合は $k = \kappa = 0$ 、II型の場合は $\kappa = 0$ となる。

また、I型、II型、III型いずれの場合もその変動係数は0.2~0.4の範囲にあるとされている。

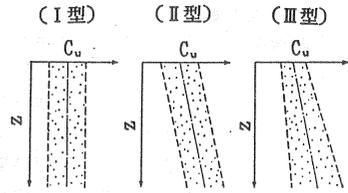


図-3.1 c_u の深さ方向の分布のタイプ

3.2 統計処理例

瀬戸内海沖積粘性土（3例：地点A, B, Cとする）と有機質粘土（1例）の q_u に対して統計処理を行い、それらの深度分布特性、ばらつきの程度等について示す。ただし、ここで示す地点A, B, Cと2.で示した現場A, B, Cは同じ現場ではないことに注意されたい。なお、深度分布特性等を調べる手順は、松尾らの手順によった²⁾。

(1) 瀬戸内海沖積粘性土

a) 地点A

図-3.2は、当地点の q_u の深度分布を示したものである。松尾らの手順に従い、深さを2mおきに分割する。そして、それぞれの分割層内に含まれるデータを用いて、各分割層での平均値 \bar{q}_{ui} 、標準偏差 s_{qu} 、および変動係数 V_{qu} を計算し、これを深さに対して描いたのが図-3.3である。添字 i は、 i 番目の分割層であることを示している。各々の図中の縦の実線は、それぞれの分割層中の平均値、標準偏差および変動係数の値である。この図から、当地点の q_u の深度分布特性が、

- ・ q_u は深さ z に対して直線的に増加する。
- ・ s_{qu} は、ほぼ一定である。

であることが判る。したがって、当地点のデータは、3.1で述べた3つの深度分布特性の内、II型（平均値は深さに対し線形増加するが、標準偏差は不変）に分類されると考えられる。また、変動係数 V_{qu} は、概ね0.2~0.4の範囲にあり、一般に言われている範囲内にある。

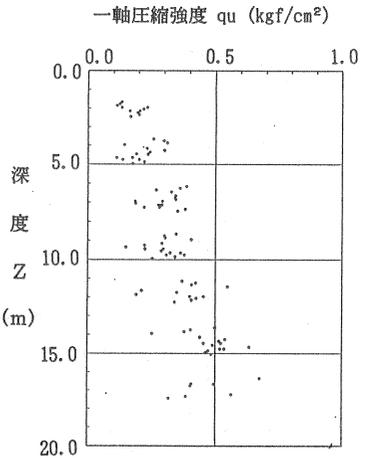


図-3.2 地点Aの q_u の深度方向分布

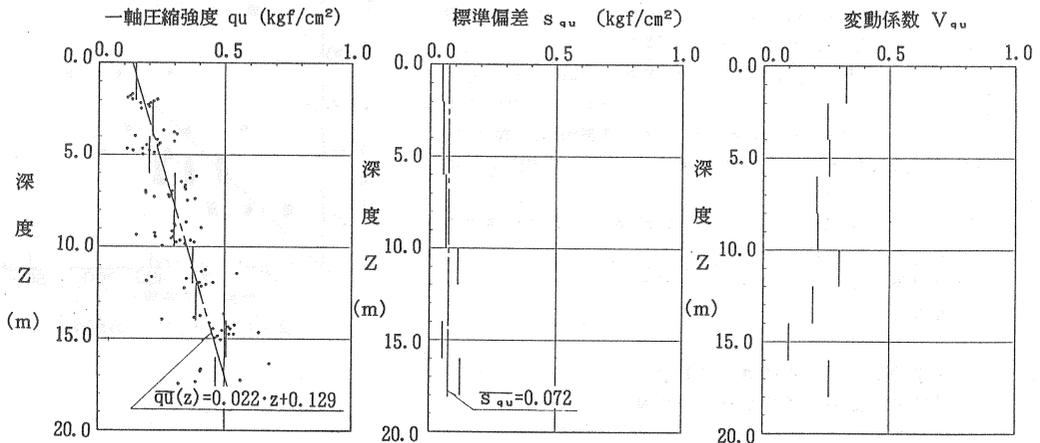


図-3.3 q_u の平均、標準偏差、変動係数の深さに対する分布

3.1で述べたように、 q_u の分布は正規分布で近似できると言われている。そこで、当地点の q_u も正規分布で近似できるか否かを調べた。そのためには、 q_u の確率モデルである(3.1)式において、 z を固定したとき $u(z)$ が $(0, 1^2)$ 型の正規分布になるかどうかを調べればよい。具体的な手順は、松尾らの行っている手順と同様である。なお、 z を固定すると検証するためのデータ数が足りないため、先に示した2mごとに区切った層内のデータを一括して取り扱うことにする。検証の手順を下記に示す。

・式(3.1)を参考にして、観測値という意味で μ を \bar{q}_u に、また、 σ を s_{qu} に書き換えると、

$$u(z) = \frac{q_u(z) - \bar{q}_u(z)}{s_{qu}(z)} \dots\dots\dots (3.2)$$

が得られる。

・ $\bar{q}_u(z)$, $s_{qu}(z)$ の値に、図-3.3に示す各分割層内の平均的な値を用い、 $q_u(z)$ は、その分割層内のそれぞれの生のデータを用いて式(3.2)から $u(z)$ を計算する。

・そして、求めた $u(z)$ を各分割層ごとに度数分布の形にまとめる。

このようにして求めた、各分割層の $u(z)$ の度数分布を図-3.4に示す。データ数が少ないためか、この図を見る限りでは、 $u(z)$ が $(0, 1^2)$ 型の正規分布とは言い難い。図-3.5は、最小二乗値と q_u の生データの差分の度数分布を表したものである。この図から、全データを対象にしてみれば q_u の度数分布は正規分布で近似できようである。

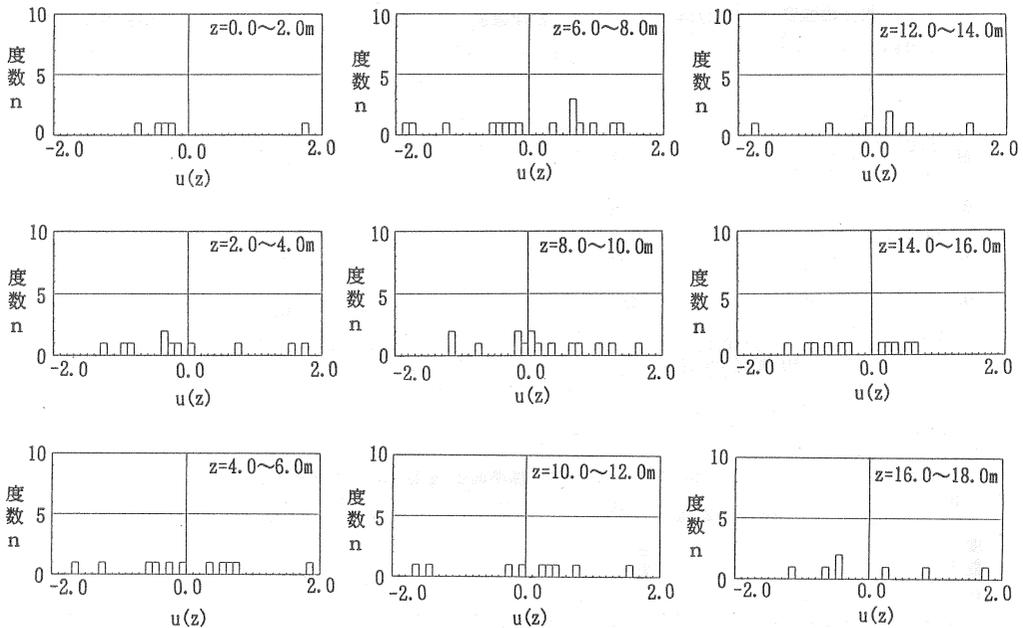


図-3.4 各分割層毎の $u(z)$ の度数分布

b) 地点B

図-3.6は、地点Bの q_u の深度分布を示したものである。地点Aの場合と同様の手順で、各分割層(2m毎に分割)の平均値 \bar{q}_{ui} 、標準偏差 s_{qu_i} および変動係数 V_{qu_i} を計算した。そして、これを深さに対して描いたのが図-3.7である。この図から、当地点の q_u の深度分布特性が、

- ・ q_u が深さ z に対して直線的に増加する。
- ・ s_{qu} も深さ z に対して直線的に増加する。
- ・ V_{qu} はほぼ一定とみなせる。

であることが判る。したがって、当地点のデータは、Ⅲ型(平均、標準偏差とも深さに対し線形増加する)に分類される。

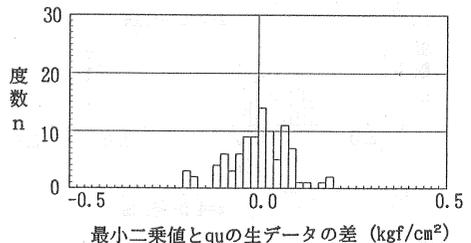


図-3.5 最小二乗値と q_u の生データの差の度数分布

また、変動係数 V_{qu} は、概ね0.2~0.4の範囲にあり、一般に言われている範囲内にある。

Ⅲ型の確率モデルの $\mu(Z)$ や $s(Z)$ を推定する方法としては、例えば浅岡ら³⁾が提案している方法等があるが、ここではもう少し簡便かつ近似的な方法⁴⁾によってこれらの値を求めてみる。その手順は次のようである。

- ・通常の最小二乗法によって、 $\overline{q_{u0}}$, k を求める。
- ・変動係数 V_{qu} を全層にわたって一定とするため、図-3.7 に示すような各分割層の変動係数 V_{qu_i} の平均値をもって $\overline{V_{qu}}$ を決定する。
- ・ $\sigma_0 = \overline{q_{u0}} \cdot \overline{V_{qu}}$, $\kappa = k \cdot \overline{V_{qu}}$ として σ_0 , κ を求める。

このようにして求めた、 $\mu(Z)$, $s(Z)$ を図-3.7 に示す。

次に、当地点の q_u 値も正規分布で近似できるか否かを調べた。その手順は、地点Aの場合と同様である。式(3.2) によって計算した各分割層の $u(Z)$ の度数分布を図-3.8 に示す。地点Aに比べてデータ数が多いためか、この図を見る限りでは地点Aよりも正規分布に近いものとなっている。また、地点Aと同様にして、図-3.7 に示した最小二乗値と q_u の生データの差分の度数分布を求めた。これを図-3.9 に示す。図から、全データを対象にすると、 q_u の度数分布は正規分布で近似できそうである。

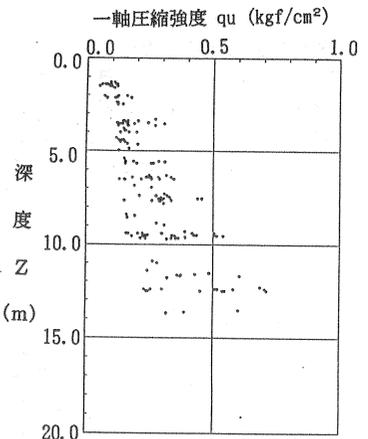


図-3.6 地点Bの q_u の深度方向分布

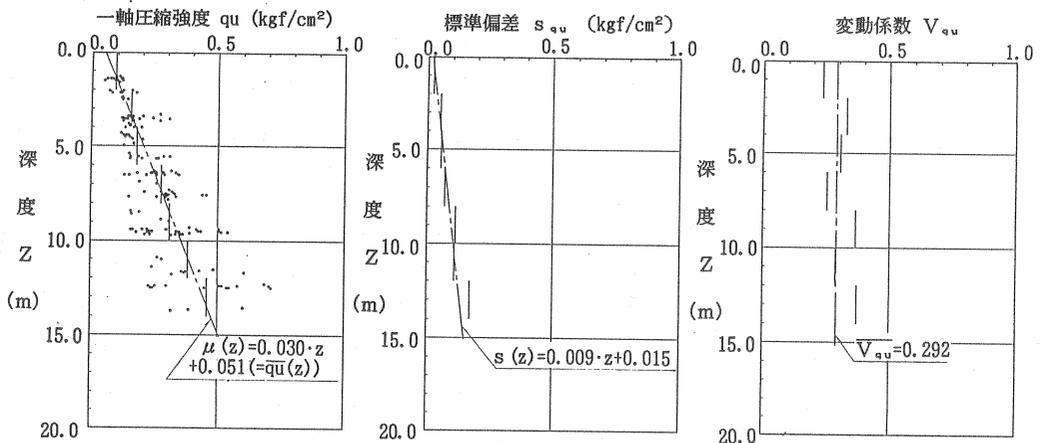


図-3.7 q_u の平均、標準偏差、変動係数の深さに対する分布

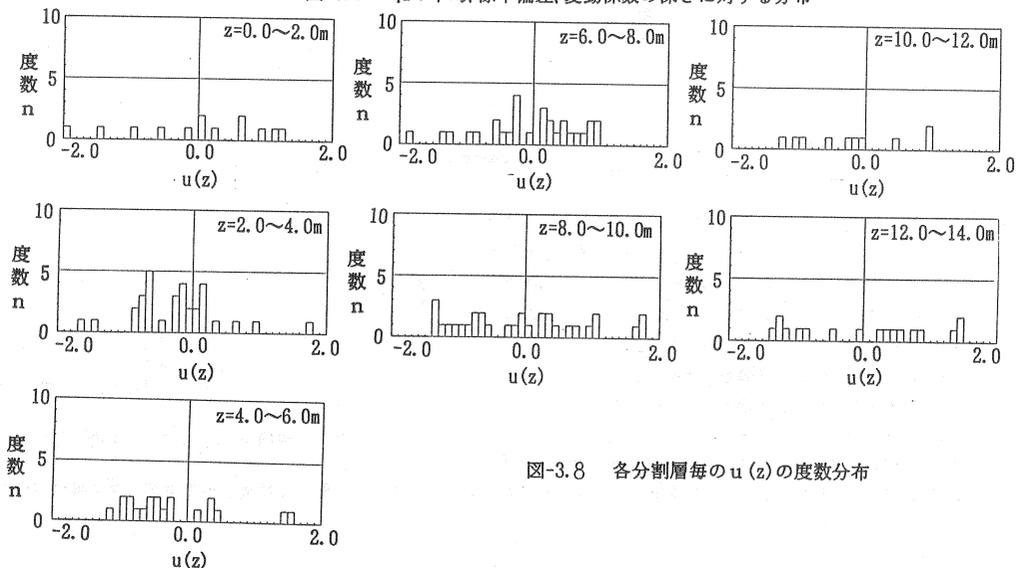


図-3.8 各分割層毎の $u(z)$ の度数分布

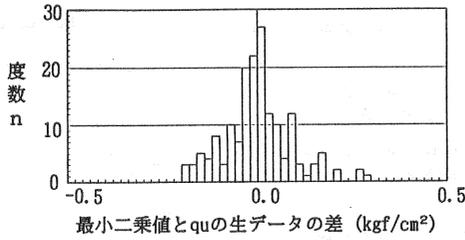


図-3.9 最小二乗値とquの生データの差の度数分布

c) 地点C

図-3.10は、地点Cの q_u の深度分布を示したものである。地点Aの場合と同様の手順で、各分割層(2m毎に分割)の平均値 \bar{q}_{ui} 、標準偏差 s_{qu} 、および変動係数 V_{qu} を計算した。図-3.11は、これを深さに対して描いたものである。この図から、当地点の q_u の深度分布特性が、

- ・ q_u は深さ z に対して直線的に増加する。
- ・ s_{qu} も深さ z に対して直線的に増加する。
- ・ V_{qu} はほぼ一定とみなせる。

であることが判る。すなわち、当地点の q_u の深度分布特性もⅢ型(平均、標準偏差とも深さに対し線形増加する)である。変動係数 V_{qu} は、深度5~7mの区間を除いて0.2~0.4の範囲にあり、一般に言われている範囲内にある。また、地点Bの場合と同様の手順によって求めた、式(3.1)中の $\mu(z)$ 、 $s(z)$ を図-3.11に示した。

次に、当地点の q_u 値も正規分布で近似できるか否かを調べてみる。その手順は、地点Aの場合と同様である。紙面の都合上省略するが、式(3.2)によって計算した各分割層の $u(z)$ の度数分布も地点Bと同様の傾向を示している。また、地点A、Bと同様に、図-3.11に示す最小二乗値と q_u の生データの差の度数分布を求めたのが図-3.12である。図から、当地点でも全データを対象にすると、 q_u の度数分布は正規分布で近似できそうである。

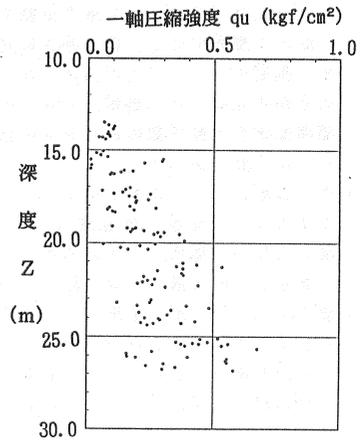


図-3.10 地点Cのquの深度方向分布

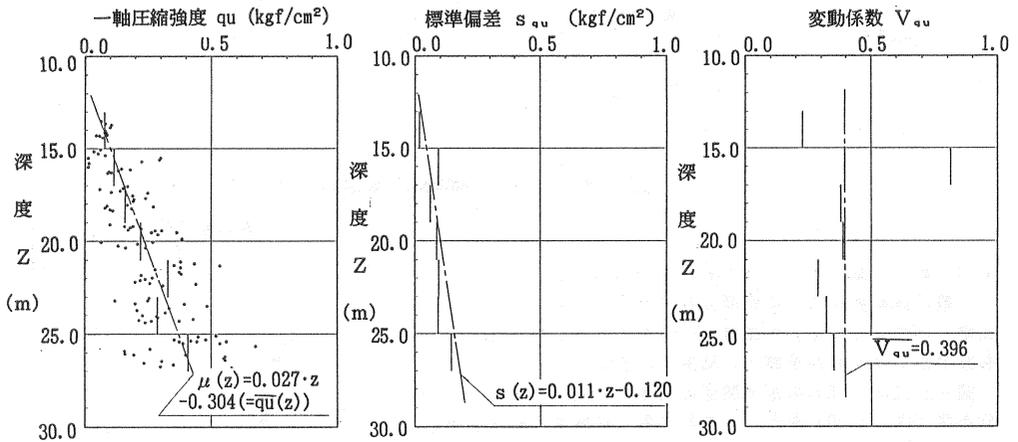


図-3.11 q_u の平均、標準偏差、変動係数の深さに対する分布

(2) 有機質粘土

図-3.13は、有機質粘土地盤の q_u の深度分布の一例を示したものである。地点Aの場合と同様の手順で、各分割層(2m毎に分割)の平均値 \bar{q}_{ui} 、標準偏差 s_{qu} 、および変動係数 V_{qu} を計算した。図-3.14は、これを深さに対して描いたものである。この図から、次のようなことが伺える。

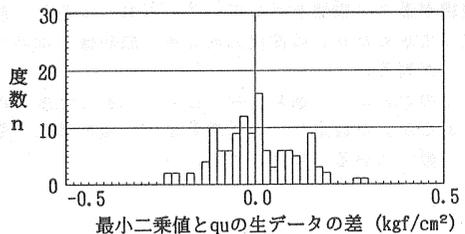


図-3.12 最小二乗値とquの生データの差の度数分布

- ・各分割層の q_u の分布から、当地盤は深度2.5~8.5m区間（Ⅰ層）と8.5m以深（Ⅱ層）の2層に分割できる。
- ・上記の2層内での q_u は、深さに対してほぼ一定値を示している。
- ・各分割層の s_{qu} , V_{qu} の値は、かなりばらついている。

q_u のみから判断すると当地点の q_u の深度分布特性はⅠ型に分類されるが、標準偏差や変動係数の深さ方向の分布を考慮するとⅠ型に分類しても良いものか判断しかねる。

次に、当地点の q_u 値も正規分布で近似できるかどうかを調べた。先に述べたように、当地盤では深度2.5~8.5m区間（Ⅰ層）と8.5m以深（Ⅱ層）の2つの層内で、それぞれ一定の q_u を示している。このため、 $u(z)$ を算定する際の層区分は、地点A~地点Cのように2mに区分した各分割層ではなく、Ⅰ層、Ⅱ層とした。すなわち、Ⅰ層、Ⅱ層、各々の層内での $q_u(z)$, $\bar{q}_u(z)$ および s_{qu} を用いて、式(3.2)によって $u(z)$ を計算した。紙面の都合上省略するが、各層の $u(z)$ の度数分布によると、当地点の q_u が正規分布で近似できるとは言い難い傾向を示していることが判った。

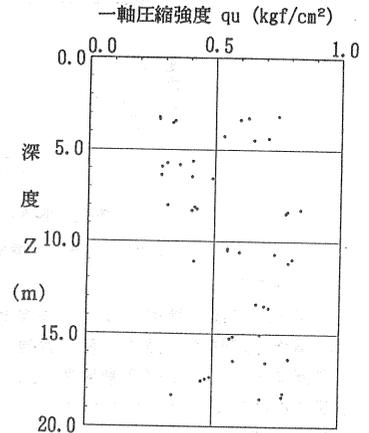


図-3.13 q_u の深度方向分布

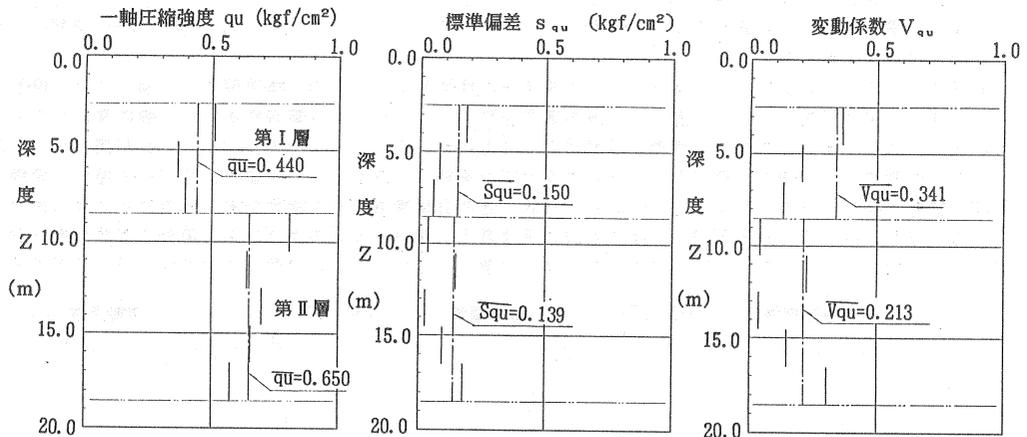


図-3.14 q_u の平均、標準偏差、変動係数の深さに対する分布

3.3 最小二乗ラインと技術者が引いた設計値

一般に技術者が q_u の深度分布データを与えられたときに、通常、どのような q_u の深度方向分布（以下、設計値と呼ぶ）を設定しているのかを調べた結果を示す。

図-3.15は、10人の港湾関係の技術者に地点Cの q_u の深度分布図（図-3.10）を示し、これに各人が個別に設計値を記入したものをまとめたものである。同図中には最小二乗法によって求めた q_u も示した。図中の実線群が技術者が引いた設計値、破線が最小二乗値を示している。これによると、最小二乗法によって求めた q_u の深度方向分布と設計値はほぼ一致していることが判る。

このことから、通常、我々技術者（ある程度、経験が必要ではあるが）が設定している設計値は、概ね最小二乗法による値と一致していると考えられる。

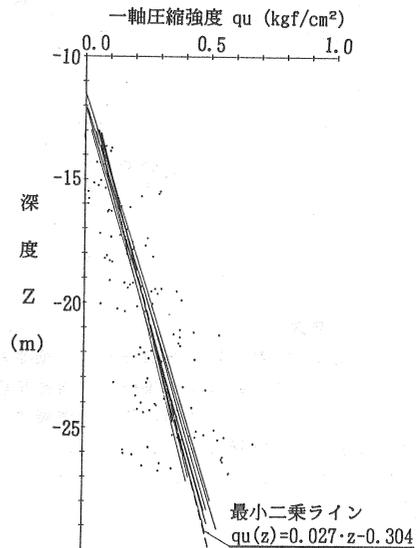


図-3.15 設計値と最小二乗値の比較

4. ま と め

以上の検討結果をまとめると以下のようである。

- ① 圧密沈下量については、土質試験結果の平均値を用いた設計最終沈下量 (S_e) と実測最終沈下量 (S_m) はおおむね一致し、 S_e と S_m との間には $\pm 10\%$ 程度の違いが生じる。
- ② 圧密速度については、沈下観測結果から求めた圧密係数 c_v は、室内試験結果から求めた c_v の平均値より若干低めの値となる傾向があった。
- ③ 瀬戸内海の沖積粘性土の q_u の統計的性質は、過去の報告例 (関東・中部地方、大阪湾⁵⁾) と同様である。
- ④ 有機質粘土の q_u の統計的性質については、1例だけしか取り上げていないので確かなことは言えないが、沖積粘性土とは異なり正規分布で近似出来ない可能性がある。したがって、有機質粘土に対して信頼性設計を適用するためには、今後、多くのデータを処理してその統計的性質を把握する必要があると考えられる。
- ⑤ 一般に技術者 (ある程度の経験を持つ) が設定している沖積粘性土の q_u の設計値は、最小二乗法によって求まるものとはほぼ等しいと考えられる。

謝辞

本報告は、広島地区土質工学セミナーによる成果をまとめたものであり、有益なご意見をいただいた同セミナーのメンバーの方々に深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 例えば、松尾稔・黒田勝彦(1971)：盛土建設のための土質調査と盛土の安定性に関する研究，土木学会論文報告集，第196号，pp.75～86
- 2) 松尾 稔(1984)：地盤工学 信頼性設計の理念と実際，技報堂，pp.64～71
- 3) 浅岡顕・松尾稔・藤川和之・柳瀬重靖(1981)：沈下計算の信頼性と圧密試験の間隔についての一考察，土質工学会，昭和56年度サンプリングシンポジウム発表論文集，pp.47～54
- 4) 土質工学会編(1985)：土質基礎の信頼性設計 (土質基礎工学ライブラリー28)，土質工学会
- 5) 大阪湾海底の地盤研究委員会(1990)：大阪湾海底地盤，土質工学会関西支部