石川県加賀市および滋賀県湖北地域の土の物理的指数と力学的常数との関係

日本海域研究所報告，第11号，73～80頁

石川県加賀市および滋賀県湖北地域の土の物理的指数と力学的常数との関係

西田義親*　　佐藤豊志**

Some Relationships between Physical Properties and Mechanical properties of Soils in Hokuriku

by

Yoshichika NISHIDA and Toyoshi SATO

Summary

The relationships between physical properties and mechanical properties of soils in two areas in Hokuriku are studied, based on practically measured data at site.

It is found that Compression Index, Undrained Shear Strength and Coefficient of Permeability can be predicted by some simple relationships with Liquid Limit, Void Ratio, Plastic Index, Pre-Consolidated Pressure and Over Consolidated Pressure.

1. まえがき

構造物基礎の支持力や沈下の問題に関係するのは地盤であるが，問題の対象となるのは沖積層であることが多い。それを構成する粘性土の性質は，堆積した条件や応力履歴，あるいは地域の特性によって左右されるものと思われる。

こうした観点から，この報告は実測値に基をおいて土の物理指数的性質と圧密透水等の力学的諸定数との関係を見い出すことを目的としたものである。

用いた実測資料は，日本道路公団が北陸高速道路建設時に実施した，滋賀県坂田郡近江町から富山県射水郡小杉町に至る全長約 200 kmの地域の土の試料について得たものである。

この考察の対象としたのは，そのうち多くの測定値のある石川県加賀市奥谷町より三ッ町にかけての約 5 kmの区間と，滋賀県浅井郡湖北町別所より丁野地区までの約 3 kmの区間の二地域の土である。いづれも表層は軟弱層を形成し，深度20 m まではほとんど沖積粘土層に被われている。

*　金沢大学工学部土木工学科

**　福井工業大学建設工学科（旧金沢大学専攻生）

2. 対象地域の物理指数的性質

a. 塑 性 図

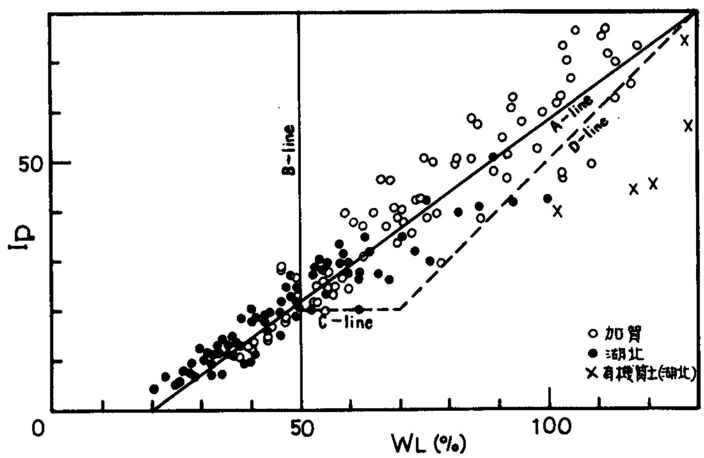


Fig.－1

Fig.－1に示すように対象地域の液性限界試験結果を塑性図にプロットすると，いずれの地域もA線〔$I_P=0.73(W-20)$〕を中心として，その上下に沿って分布している。ここにW_Lは液性限界I_pは塑性指数である。

しかしA線の上側の試料が多く，またA線の下の高液性試料もほとんどがC線〔$I_p=20$〕とD線〔$I_p=W_L-50$〕の補助線内に入る。

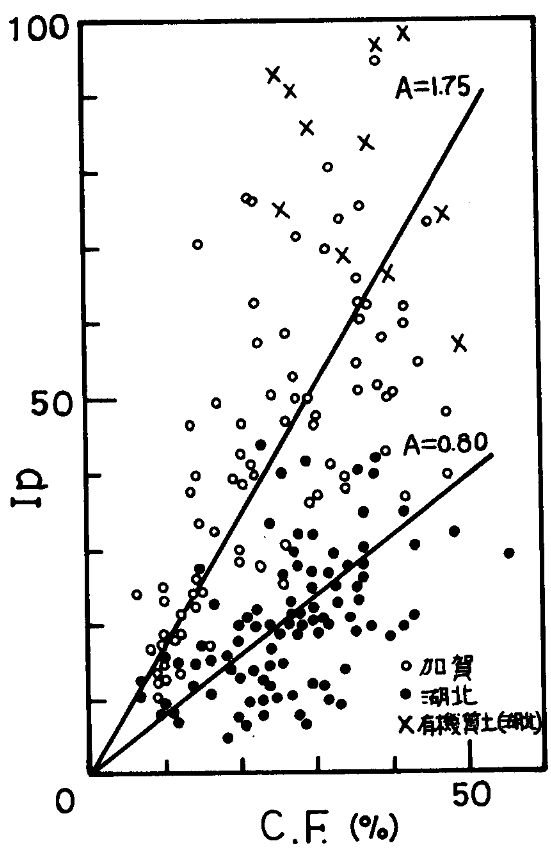


Fig.－2

その他，加賀地区沖積層はA線上に広範囲に分布する高塑性無機質粘土なのに対して，湖北地区沖積層は，$W_L=20\sim70\%$とA線上の低い位置に点在している塑性の小さい無機質粘土であるのが特徴であり，また軟弱地盤が広範囲に厚く分布しているため有機質土（比重$G_S=2.50$以下でA線の下側にあるプロットは，有機質土と推定し区別した。）が多く，一部には$W_L=500\%$の試料も認められた。

b. 粘土の活性

Skempton によって定義された粘土の活性度を求めたところ，Fig.－2のような結果を得た。両地域ともかなりプロットがばらついているが，有機質土と推定された試料を除くと明らかに二つの異なるグループになるようである。すなわち湖北地区は活性度A＝0.80を示し，カオリナイトおよびイライトを主成分とした非活性粘土に対して，加賀地区は活性度A＝1.75と活性の高い粘土であることがわかる。これは粘土分が少なくともより可塑性を示し，粘土粒子に関する界面活性効果が

大きいことを意味している。

この両地域の相異の原因は，地層の外に粘土鉱物あるいは堆積環境の相違によるものと考えられる。

3．圧縮指数 Cc

a．液性限界との関係

同一の地域，同一の堆積条件における土質試験による常数値が多数存在する場合には，間接的に他のいろいろな力学的性質を推測し得る関係を見い出すことが可能である。

きわめて鋭敏性の高い粘土，有機物の多い土，自然含水比が液性限界より高い土，あるいは液性限界が 100 %以上の土を除けば，Skempton は圧縮指数と液性限界との間に

$$C_C = 0.009\ (W_L - 10)$$

なる関係が成り立つことを提案している。[1]

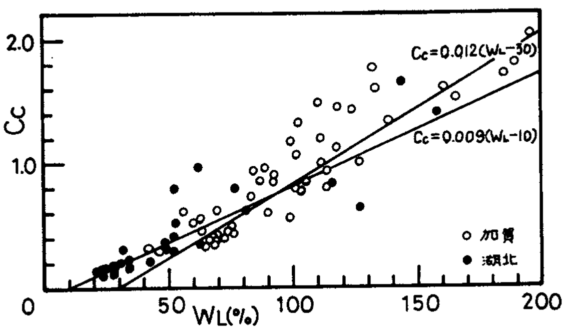


Fig. —3

Fig. —3の結果によると，液性限界が50%以上になるとかなり偏差が大きい。これは沖積層の表層はきわめて軟弱で有機物を含んでいる場合が多く，それが原因の一つと考えられるが，大略として圧縮指数は液性限界に比例し，またSkemptonの関係直線とほぼ似た形になると言える。

しかし加賀地区沖積層については，Skemptonの関係直線より上方にプロットが多く，次のような関係が得られる。

$C_C = 0.012\ (W_L - 30)$ …………加賀地区沖積層

したがって圧圧密沈下量を計算する際，Skempton の関係式を利用すると，過少になると思われる。

このように圧縮指数と液性限界との間には，同様の関係が次のように報告されている。

$C_C = 0.01\ (W_L - 12)$ …………大阪沖積層粘土[5]

$C_C = 0.014\ (W_L - 20)$ …………石狩粘土[3]

$C_C = 0.017\ (W_L - 20)$ …………名古屋粘土[4]

このように，係数がやや異なるようである。その係数は平均的にみて 0.014 前後の値と言われている[5] が，加賀地区沖積層はこの平均的な値に近い。

b．初期間げき比との関係

沖積粘土の圧縮指数と初期間げき比（e_O）との関係については，圧縮指数と液性限界との関係に比べて非常に偏差が小さく，しかも有機質の影響もあまりないことから西田[6] の半理論式を始め，村山他,[7] 植下,[8] 渡辺他[9] らによってC_Cとe_O間に，一次関係があることが提案されている。筆者らも加賀，湖北両地域についてこの関係を調べた。

一般に提案されている式のほとんどの場合の係数は0.5~0.6であることから，沖積層粘土の平均

的な値として次の関係式を考えてみる。

$C_c=0.55\ (e_o-0.50)$ …………沖積層粘土の平均値

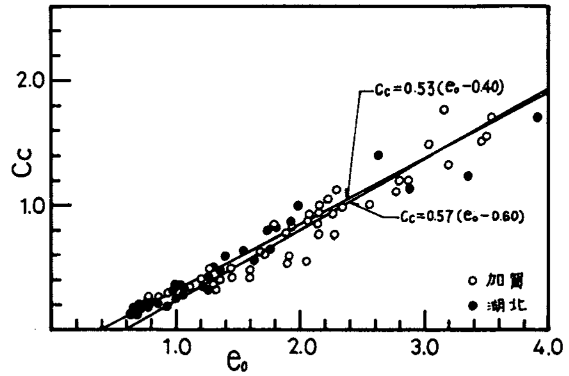


Fig. — 4

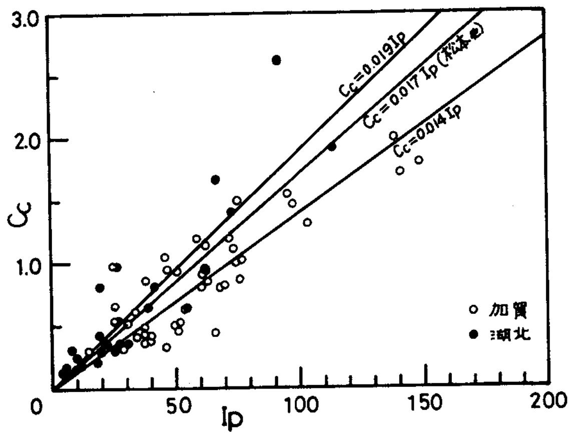


Fig. — 5

この関係式をFig. — 4に示される実測値と比較すると，両地域ともほぼ平均的にはこの式で代表されるようである。

さらに両地域の場合を区別した関係式を示すと，次のようになる。

$C_c=0.57\ (e_o-0.60)$ ……

加賀地区沖積層

$C_c=0.53\ (e_o-0.40)$ ……

湖北地区沖積層

c．塑性指数との関係

Fig. — 5は，圧縮指数と塑性指数との関係を示したものである。

それによると，両者の間にはほぼ直線的な関係があり，先のSkemptonの提案したC_c-W_Lの関係に比べるとかなり偏差が小さく，また原点を通ることが認められる。

同図には，松本他[10]らが提案した日本の港湾地域におけるサンプリング試料の，平均的な関係も併せ示してある。

加賀地区沖積層については，松本他の式より少し小さいCc値を示すのに対して，湖北地区沖積層については，少し大きいCc値を示すことがわかる。

このように地域的に差異があるのは，土の構造やActivityに起因するものと思われる。

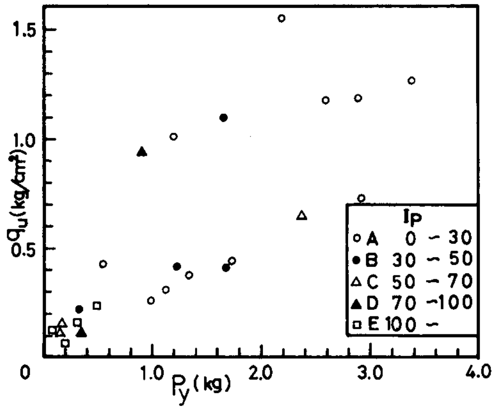
4．一軸圧縮強度　q_u

a．圧密先行荷重との関係

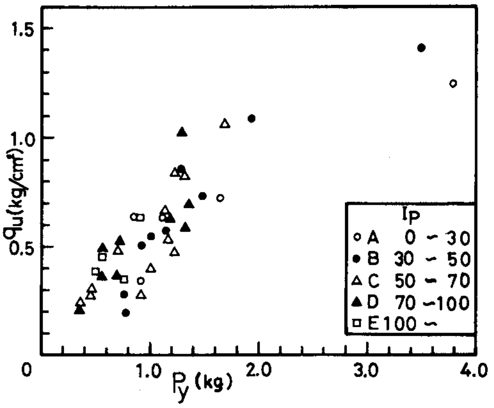
一軸圧縮強度（q_u）を試料の採取深度対してプロットするとかなりばらつく，この原因にはサンプリングや土質試験に関する技術上の問題をあげることができるが，その他松尾[11]は土自体が本来的に持つ物理的，力学的な不均質性に由来すると言っている。

こうした観点から一軸圧縮強度と試料採取深度における有効土かぶり圧（P_o）との関係についてみると，深度との関係より比較的ばらつきも少なく比例傾向を示すようである。

そこで筆者らは現地盤が過去にうけた最大圧密荷重，すなわち圧密先行荷重（P_y）との関係について調べた。



(a) 湖北地区沖積層



(b) 加賀地区沖積層

Fig. — 6

Fig. — 6によると両地域ともかなりばらつく。そこで，粘土の活性に影響する因子としてI_pをとりあげ，I_pの大きさにより整理区分したが断定的傾向は得られなかった。

また両地域を比較すると，加賀地区沖積層より湖北地区沖積層の方がP_yは広範囲に分布しており，過去における堆積環境の差に起因していると思われる。

b．強度増加率と塑性指数

正規圧密粘土の強度増加率C_u/P値と塑性指数との関係については，原位置ベーン試験による粘着力（C_u）と，有効上載圧力（P）よりC_u/P値を求め，塑性指数との対応により関係を見いだした，Skempton およびBjerrumによるSkempton·Bjerrum−Line が一般的に知られている。

しかし三笠[12,13]は両者の間には明確な関係はなく，その理由として一つの物理的指数のみでは土の力学的尺度となり得ないことや，物理的指数と強度との関係には土の構造状態が影響してくると述べている。[14]

筆者らは一軸圧縮強度から求めた粘着力，C_uと有効土かぶり圧（Po）よりC_u/Po値を求め，塑性指数との対応を試みたが，両地域ともあまりよい関係は認められなかった。そこで，正規圧密状態に問題があると考え，過圧密比（O.C.R.）を用いて整理した。

その結果O.C.R.が2.0以上の場合を除いてプロットすれば，Fig. − 7 のようになり両地域ともSkempton−Bjerrum− 線より多少上方にプロットされる。

地域の差は堆積時期，および試料採取時のサンプリングによる乱れと思われるが明確な結果は得られなかった。

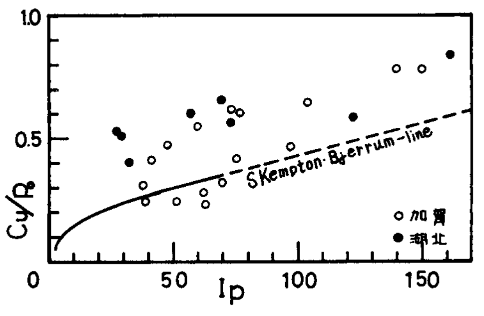


Fig. — 7

c．強度増加率と過圧密比との関係

強度増加率C_u/P_o値と塑性指数との関係には，正規圧密粘土と過圧密粘土とではかなり異なる傾向があることが土質力学上推理される。そこで強度増加率C_u/P_o値に対し，過圧密比がどのように影響するかを調べた。この関係についてはすでに C.C. Ladd 他[15] によって研究されているが，筆者らは両地域の差を C.C. Ladd らの結果と比較しFig.－8に示した。

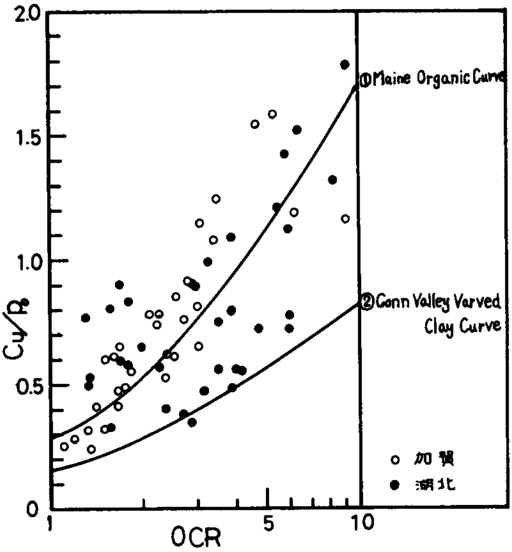


Fig.－8

この図より両地域ともある一定の幅を示しながらO.C.R.の増加に伴ない，C_u/P_o値は増加する傾向にある。 O.C.R.の大きい場合，C_u/P_oの値の大小も塑性指数（I_P）の大小に対応するようであり，(C_u/P_o) とO.C.R.の比はI_Pの影響を多小うけてもある一定の値に近いようである。

5．透水係数 k

a．間げき比との関係

アースダムや河川堤防など種々の止水に関する設計施工の際，必ず問題は土の透水性，つまり透水係数（k）である。しかも室内で試験を実施すれば飽和状態や現場の状態と，かなり条件が違う為，必ずしも正しい値とは言い難く，また現場試験を実施すれば大がかりとなりかなり経済的に問題となる。

一般的に透水係数に最も関係する因子として間げき比(e)があげられるが，その代表的な研究例として，Taylor[16] は砂粒子について理論的に公式を導き出している。また西田他[17]は比較的あらい砂質土から塑性指数の高い粘土に至るまでの広範囲にわたって，利用できる関係式を発表している。

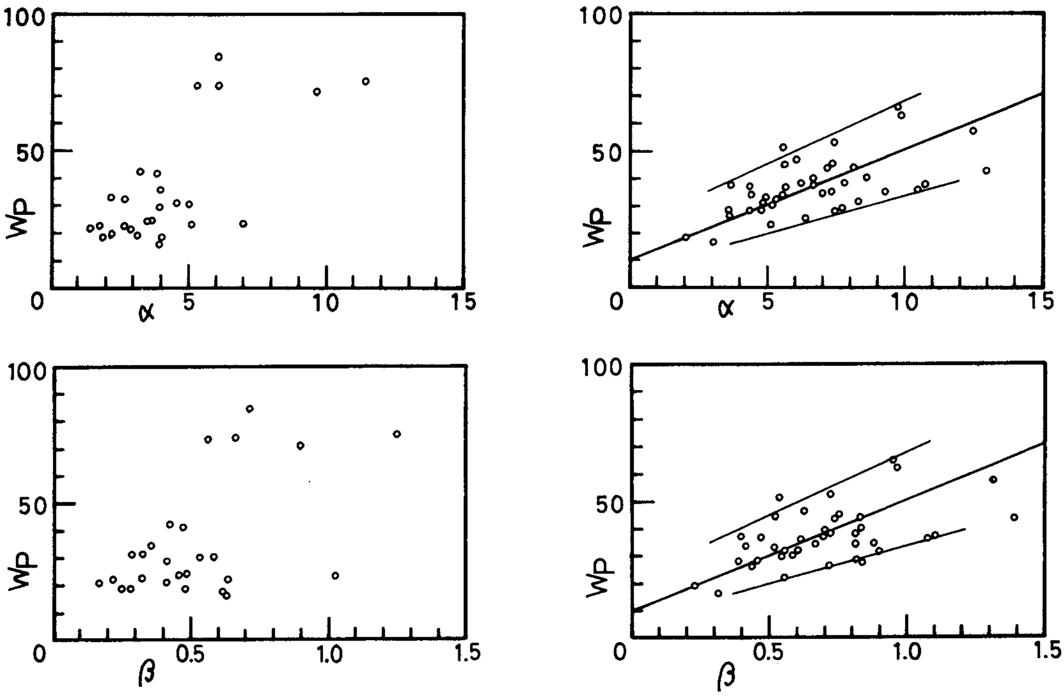
粘土の間げき比と透水係数との間には，間げき比が直線的に減少すると透水係数は対数的に減少することは以前から認められている[18] さて西田他[17]によるとe と$\mathrm{loq}_{10}k$との間に次の関係がある。

$$e = \alpha + \beta \, \mathrm{loq}_{10} k$$

α およびβ の係数は，土の性質に影響されその特性をあらわす因子として塑性指数をとり上げている。

この式を用いて両地域の土について実測値を整理した所，比例的傾向を示したがあまり定量的な関係は認められなかった。そこでここではI_pの代りに土の性質をあらわす因子として塑性限界(W_P)をとり上げて見た。

その結果Fig.－9(b) に示すように加賀地区沖積層については，以下に示す直線関係が得られた。



(a) 湖北地区沖積層　　(b) 加賀地区沖積層

Fig.—9

$$\left.\begin{array}{l}\alpha = 0.25\,W_P - 2.5\\ \beta = 0.025 W_P - 0.25\end{array}\right\}\cdots\cdots\text{加賀地区沖積層}$$

この場合，西田他[17]の式と同じように塑性限界を用いた場合もαとβの間には$\alpha \fallingdotseq 10\beta$が成り立つ。

また一方，Fig.－9 (a) には湖北地区沖積層について塑性限界を用いた場合を示したが，比例的傾向を示す結果にとどまったのである。

この地区の粘土は加賀地区に比べて相当有機物を含むことや，粘土の構造的に問題があると思われる。

6. あとがき

土の物理指数的性質と力学的諸定数との関係については，従来から多く提案されているが，この両地域の土については次のような結果が得られた。

(1) $C_C - W_L$および$C_u/P_O - I_P$の関係は，ほぼ従来から提案されている関係が得られた。

(2) $C_C - e_O$との関係は，$C_C - W_L$の関係に比べて偏差も小さく有機質土の影響もあまり受けない。また両地域とも係数はほぼ一致し，全国的にみて平均的な値にある。

(3) $C_C - I_P$の関係は，$C_C - W_L$の関係に比べて偏差も小さくしかも原点を通ることが認められた。

(4) $q_u - P_y$の関係は，土の活性をあらわすI_Pをパラメーターとしてとり上げたが，断定的傾向は

得られなかった。

(5) C_u/P_o－O.C.R.との関係は，地域的な相異よりむしろ両地域ともある一定の幅を示しながら増加し，その幅は塑性指数に影響される。

(6) k－eの関係は，加賀地区の場合，塑性限界値を介すると一層よい直線関係が得られた。またこの場合においても係数の間に $\alpha \fallingdotseq 10\beta$ が成り立つ。

これらの相関性を考察する際，湖北地区の有機物を多く含む軟弱土はあまりよい関係が得られなかった。もし有機物含有量との影響を考察すると，より一層の相関性を見い出せると思われる。

また，今回用いた実測値にはコンシステンシー試験における個人的誤差が影響していると思われる結果があった。

参考文献

1) A.W.Skempton:「Soil Mechanics in Relation to Geology, Part I」, Proc.Yorkshire Geol. Soc. 29,(1953).

2) 村山朔郎，赤井浩一，植下協：「大阪洪積粘土の工学的特性」，土と基礎，Vol.6，No.4，(1958).

3) 谷口秀男，阿部利一，後藤征男：「石狩泥炭地における基礎粘土の工学的性質」，第5回北海道開発局技術研究発表会，(1960).

4) 日本建築学会東海支部，土質工学会中部支部，名古屋地盤調査研究会編：「名古屋地盤総論」，コロナ社，(1969)

5) 松尾　稔：「土質実験」，森北出版，pp. 22, 23, 24.

6) 西田義親：「圧縮指数に関する一考察」，土木学会論文報告集43号，(1957).

7) 村山朔郎，柴田徹，植下協：「大阪沖積粘土の力学的特性とその対策」，土と基礎，特集号No 2，(1960).

8) 植下　協：「沖積粘土の圧縮指数と液性限界および間げき比との関係について」，第19回土木学会講演概要，III－41，(1964).

9) 渡辺　進，井元美晴：「初期間げき比から圧密沈下量を求める方法」，土と基礎，No 57，(1962).

10) 松本一明，小川富美子：「港湾地域における土の工学的性質の相関性について」，運輸省港湾技術研究資料，Vol 21，(1969).

11) 松尾　稔：「土質実験」，森北出版，pp. 108, 109.

12) 三笠正人：「土質調査の表示法について」，第11回土質工学シンポジウム論文集，pp. 7，11，(1966).

13) 三笠正人他：「大阪付近丘陵地帯の洪積粘土の力学的特性について」，第2回土質工学研究発表会講演集，pp. 111，116，(1967).

14) 柴田　徹：「飽和土の強度増加率 C_u/P について」，第20回土質工学シンポジウム論文集，pp. 129，130，131，(1975).

15) C.C.Ladd, R. Foott, K. Ishihar, F. Schlosser, & H. G. Poulos:「Stress-Deformation and Strength Characteristics」，第9回国際土質基礎工学会議，Vol 2，pp. 440.

16) D. W. Taylor:「Fundamental of Soil Mechanics」，pp. 111，(1948).

17) 西田義親，堀　文二：「粘土の透水係数の一推定式」，土と基礎，No 3，(1961).

18) 石井靖丸：「大阪の地盤沈下に関する研究」，大阪港湾技術調査会，(1949).