

泥炭性土の 2, 3 の物理性とせん断強さについて

対馬雅己

Some Physical Properties and Shear Strength of Peat

Masaki TSUSHIMA

(昭和55年10月31日受理)

Present paper describes the results of investigation on some physical properties and moisture-ignition-loss-ratio of undisturbed sample obtained from peat layer in the Ishikari District.

On the basis of those results, it is suggested that the consolidation history can be estimated from the measured moisture-ignition-loss-ratio as a index. Some organic relationships among specific gravity, ignition loss and moisture content of peat were experimentally defined.

The strength characteristics, such as cone-penetration index and shearing strength by the vane test in place are expressed generally with moisture-ignition-loss-ratio, and the possibility of estimating the strength characteristics of peat layer was shown by the index. Author also pointed out the possibility of estimation of vane shear strength from cone-Penetration index about in-situ data.

1. ま え が き

泥炭性地盤は、その植物の種類、生成履歴から考えられるようにいろいろな分解過程にある有機物質の多様な混合体であるため、その取り扱いが容易ではないと思われる。特に未分解の繊維質泥炭性土については、原位置および室内試験によるそのせん断強さを決定するために多くの問題が残されている。

ここでは、北海道石狩泥炭層から得られた不攪乱試料についての物理試験結果およびその原位置試験によるベーンせん断強さ、コーン支持力などに関する多くの調査資料¹⁾を利用して、それらの物理定数、特に含水—強熱減量比なる指数がその圧縮履歴に応じて一つの依存関係を調べるとともに、この指数とベーンせん断強さその相関性についても検討するものである。さらにコーン支持力からベーンせん断強さを決定する一方法について2, 3の考察を加えたい。

2. 真比重と強熱減量値について

泥炭は無機質部分と種々の分解過程にある植物有機質部分と水との混合体とみなされる。この試料から有機質部分を分離し抽出することは容易ではない

と思われる。そこで便宜的な方法であるが、有機質分量を近似的に表示する尺度として強熱減量値 I_l をもってその値とした。

泥炭は無機質部分と有機質部分をもつ二つの構成物の混合体であると考えれば、それらの混合体としての真比重 G は、次式で表わすことができる²⁾。

$$G = \frac{G_s G_p}{I_l G_s + (1 - I_l) G_p} = \frac{G_s G_p}{(G_s - G_p) I_l + G_p} \quad \text{-----}(1)$$

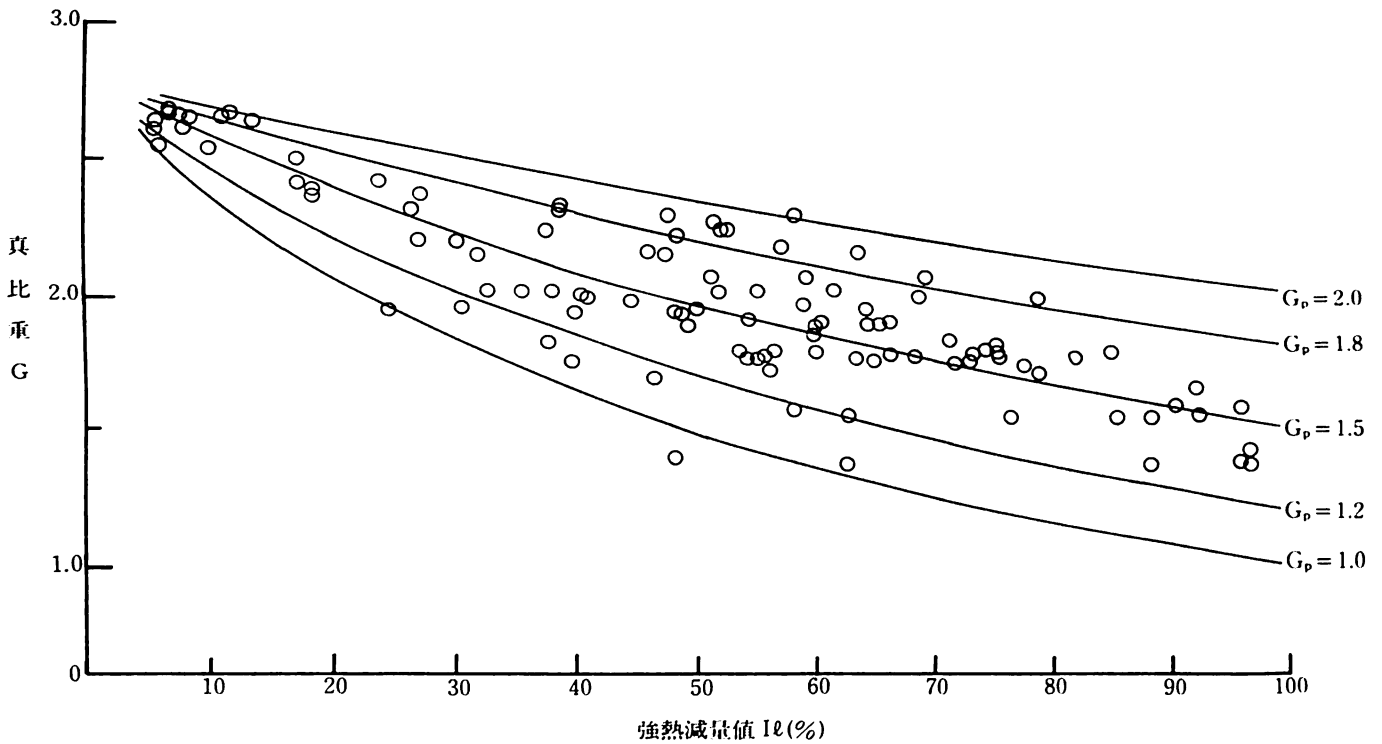
ここに G : 泥炭の平均比重

G_s : 泥炭を構成している無機質部分の平均比重

G_p : 泥炭を構成している有機質部分の平均比重

I_l : 強熱減量値(比)

実測値による試料の真比重 G と強熱減量値 I_l との関係を示せば図—1となる。同図には一般の土や泥炭層下の粘土層についての実測値から推測して $G_s = 2.8$ と仮定し、 G_p の2, 3の値について、(1)式の関係から得られた結果を併示している。この図からわかるように真比重 G は強熱減量値 I_l の増加にともなって減少する傾向を示し、 I_l の増大にともなって G の



図一 真比重と強熱減量値との関係

値はかなり広がりをもつことが注目される。これは、ほぼ同じ程度の I_e 値をもつ泥炭でもその植物の種類、生成状態の相違を示唆するものではないかと考えられる。また(1)式から得られた G の値は、有機質部分の平均比重 $G_p = 1.1 \sim 2.0$ 位の範囲の中に入ることがわかる。一方、秋田県内における G_p の値の範囲は、上述したそれよりかなり小さく、 $G_p = 1.3 \sim 1.5$ 位であることが示されている。

3. 含水比と強熱減量値について

実測値から得られた含水比 W と強熱減量値 I_e との関係を示せば図一2のようになる。図から明らかのように、両者の関係は直線関係とみなすことができるようである。この関係式を

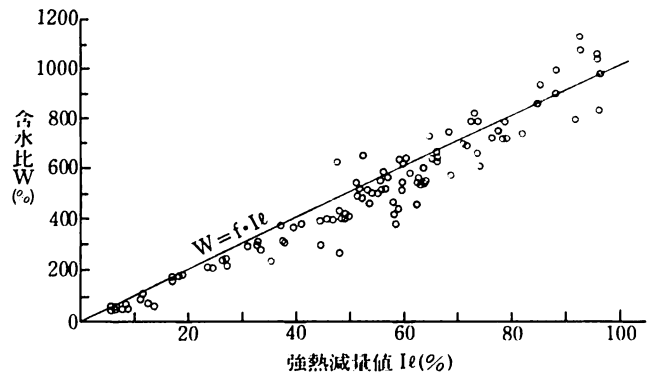
$$W = fI_e + W_0 \quad \text{-----}(2)$$

として表示することがより合理的であるが、図一2に示されたものによれば、 $W_0 \approx 0$ として次式で表示される。

$$W = fI_e \quad \text{-----}(3)$$

ここに f : 比例定数 ($= W/I_e$)

同図から比例定数 f について検討すれば、 $f \approx 10.3$ が得られるようである。一般に圧縮履歴をもたない素地の泥炭性地盤に対しては $f \approx 10$ あるいは $f > 10$ とみなしてよく、圧縮泥炭に対してはその圧縮の度



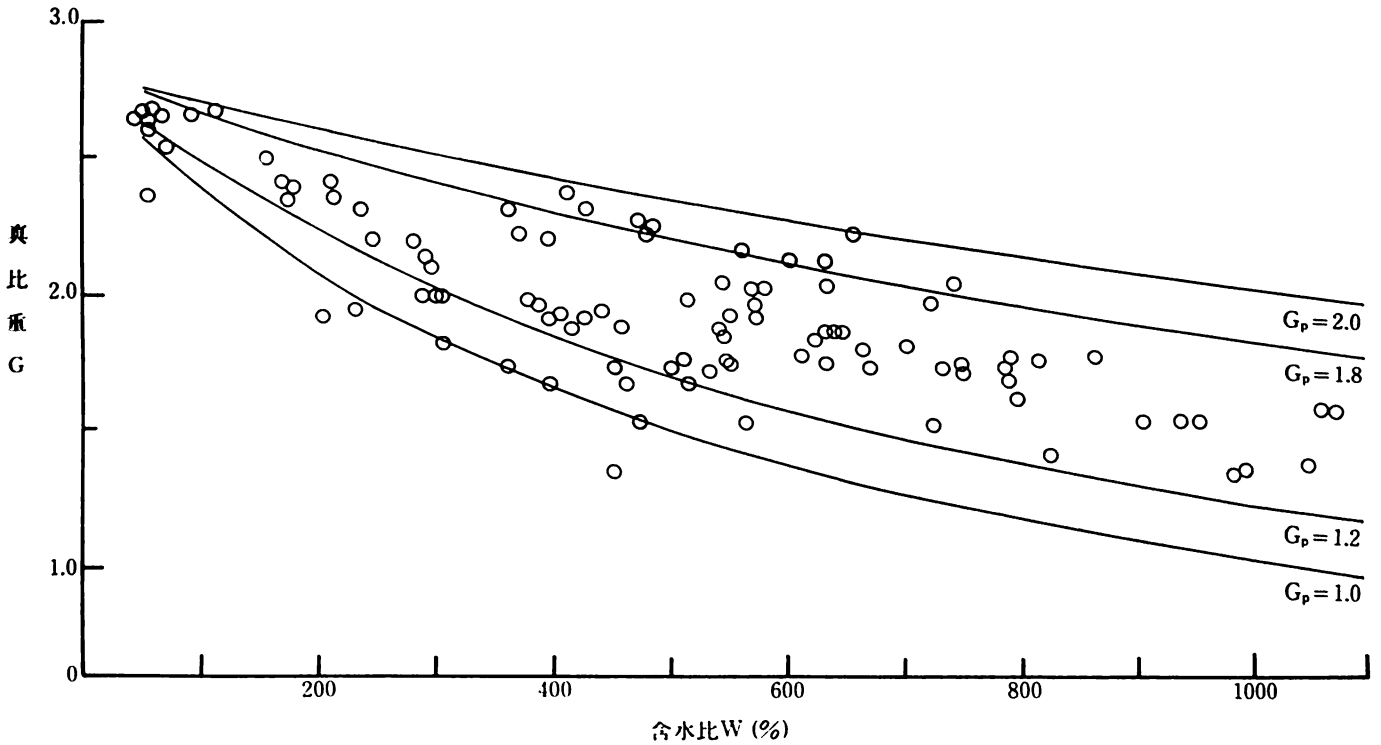
図二 含水比と強熱減量値との関係

合に応じて $f < 10$ となることが示されている。したがってこの指数によって、泥炭性地盤の圧縮履歴を推定する一つの手がかりとなることが考えられる。さらにこの f 値がせん断強さに対する依存性が明らかにされるならば、これによって f 値を実測してその強度を知る可能性を示唆するものであるかと考えられる。

4. 真比重と含水比について

図一3は実測値によって得られた $G \sim W$ 関係を示したものであり、含水比の増加にともなって真比重の減少が認められる。また前述した $G \sim I_e$ の関係は

泥炭性土の 2, 3 の物理性とせん断強さについて



図—3 真比重と含水比との関係

(1)式によって示されることから、ここに(3)式を代入すれば、次式が得られる。

$$G = \frac{G_s G_p}{(G_s - G_p) f' W + G_p} \quad \text{-----(4)}$$

ここに $f' : 1/f$

(4)式に $G_s = 2.8$, 実測値として(3)式から得られた $f = 10.3$ を代入し, G_p の 2, 3 の値について $G \sim W$ 曲線を描くと図に併示したようになる。 $G \sim I_e$ の曲線と同様な傾向を示し, W の増加にともなって G の値がかなり広がりをもつことがわかる。この関係によっても同一の含水比をもつ泥炭性地盤では, その生成条件, 植物の種類の違いを示すものと考えられる。

5. 乾燥密度と含水比について

実測値について乾燥密度 r_d と含水比 W の関係を示せば図—4 のようになる。さて r_d と W との間には,

$$r_d = \frac{SG}{S + GW} \quad \text{-----(5)}$$

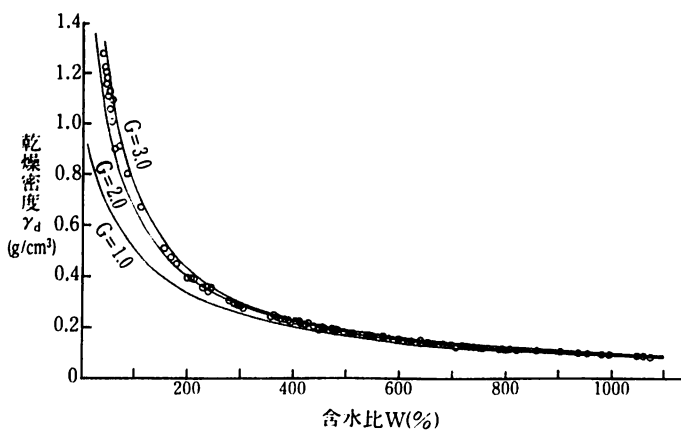
が成り立つことから上式に飽和度 $S = 1$ として G の 2, 3 の値について描けば, 図に併示したようになる。同図から真比重の値は, 含水比の減少にともなって大きくなる傾向を示すようである。これは, 含水量の小さいものほど無機質部分の含水量が大きく, これによって泥炭の平均比重の値が大きくなっていることを示しているものと思われる。 r_d と W の実測値は, 含水比の小さい領域では真比重 G を一定とした場合の曲線と一致しないようである。これは無機質部分と有機質部分の含有量の相違に起因するものと推測される。

6. 乾燥密度と強熱減量値について

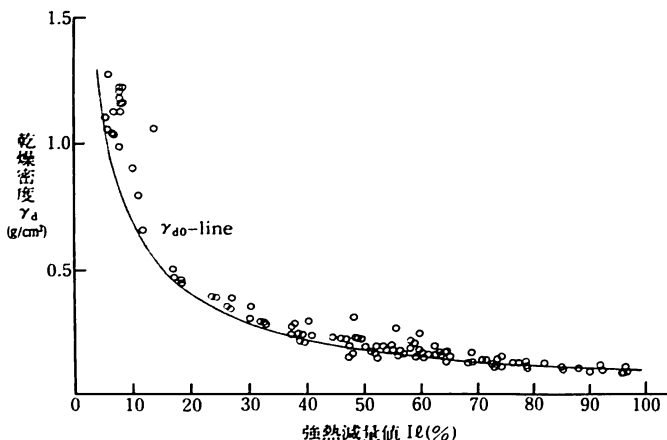
r_d と I_e との関係プロットすれば図—5 のようになる。(1)式と(5)式から r_d について整理すれば,

$$r_d = \frac{SG_s G_p}{S [I_e (G_s - G_p) + G_p] + G_s G_p W} \quad \text{---(6)}$$

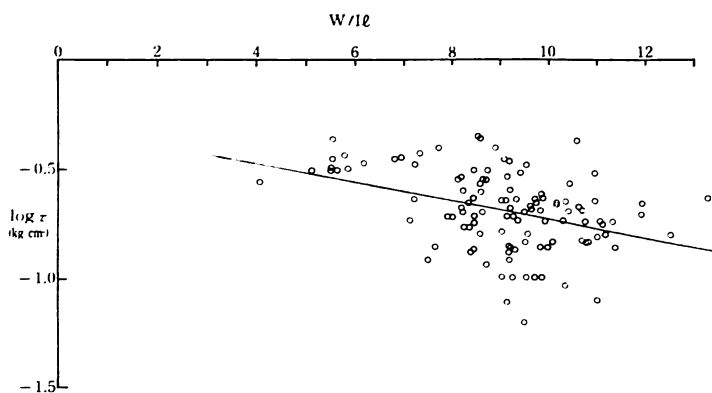
となり, さらに(6)式と(3)式から r_d を I_e の関数として



図—4 乾燥密度と含水比との関係



図—5 乾燥密度と強熱減量値との関係



図—6 log τ と W/I_ℓ との関係

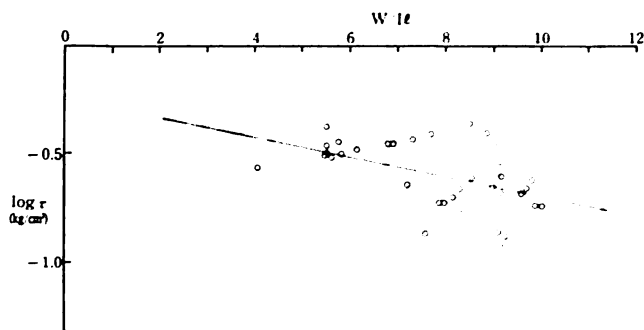
表わせば次式となる。

$$r_d = \frac{SG_s G_p}{[S(G_s - G_p) + f \cdot G_s G_p] I_\ell + SG_p} \quad \text{------(7)}$$

(7)式に、 $G_s = 2.8$, $S = 1$, $G_p = 1.5$, $f = 10.3$ をそれぞれ代入し、 $r_d \sim I_\ell$ 曲線を求めると図—5に併示した r_{d0} -line となる。したがって r_{d0} -line は 2, 3 の f 値を規定することによって、各圧縮履歴に応じたその曲線を合理的に表示することが可能となるようである。

7. 原位置試験によるせん断強さと物理性について

泥炭性土について、正規圧密状態における圧密応力と含水比の間には次式で示されることが一般的に認められている。



図—7 log τ と W/I_ℓ との関係

$$W_0 - W = (C_c / G) \log (\bar{\sigma} / \bar{\sigma}_0) \quad \text{------(8)}$$

ここに W_0 , W : 圧密応力 $\bar{\sigma}_0$, $\bar{\sigma}$ に対応する含水比
 G : 真比重

C_c : 圧縮指数で土質ごとに圧密圧力の異方性に対応した値となる。

圧密応力による泥炭性土の強度増加率が、圧密条件に対して定値として期待されるとすれば(8)式は

$$W_0 - W = (C_c / G) \log (C_u / C_{u0}) \quad \text{------(9)}$$

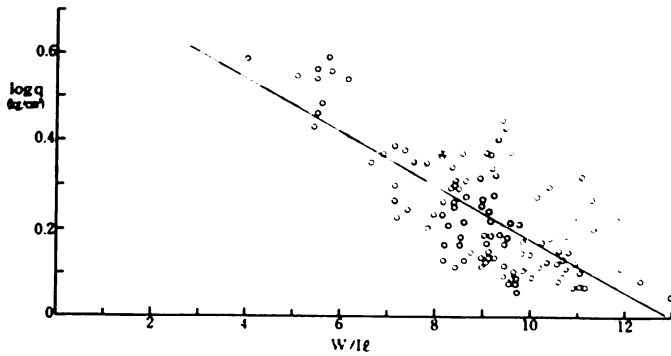
として置換えられる。 C_{u0} , C_u は $\bar{\sigma}_0$, $\bar{\sigma}$ に対応するせん断強さである。(8), (9)式は $\bar{\sigma}$ の変化にともなう W , C_u の推移を示すものであり、また W の変化を通じて $\bar{\sigma}$ または C_u の値の推移が知れる。これによって初期値の知れている泥炭性地盤の圧密にともなう $\bar{\sigma}$ および C_u 値の推移は、 W の値を追跡測定することによって推定できることを示すものであり、ほぼ均一の地盤とみなされるところでは、大まかな意味では実用的に可能であるかもしれない。一般に無機質粘土で(9)式の (C_c / G) の値にさほど大きな相違がなければ、 W と $\log C_u$ との間に線形関係が認められることは従来のデータからも示される。泥炭性地盤では不均質性の著しいことがその特徴の一つであることが、その土質工学的取扱いを非常に困難にしている要素である。したがって前述した(9)式の物理定数とせん断強さについて、その適用性を検討するためには、原位置におけるベーン試験等のサウンディング結果から決定するほうが望ましいと考えられる。

泥炭に対する無機質粘土の混入による試料の圧縮指数 C_c と有機物含有量の代替指標としての強熱減量値 I_ℓ との間には、既に定性的に示されているように³⁾ ほぼ

$$C_c = m I_\ell \quad \text{------(10)}$$

なる関係がある。上式の勾配 $m (= C_c / I_\ell)$ は、試料中の有機質部分の圧縮指数に相当することになり、この値は当然植物の種類、生成条件などによって異

泥炭性土の 2, 3 の物理性とせん断強さについて



図—8 log q と W/Ie との関係

なるものであると考えられる。(10)式の両辺を真比重 G で除せば

$$C_c / G = m I_e / G \quad \text{-----(11)}$$

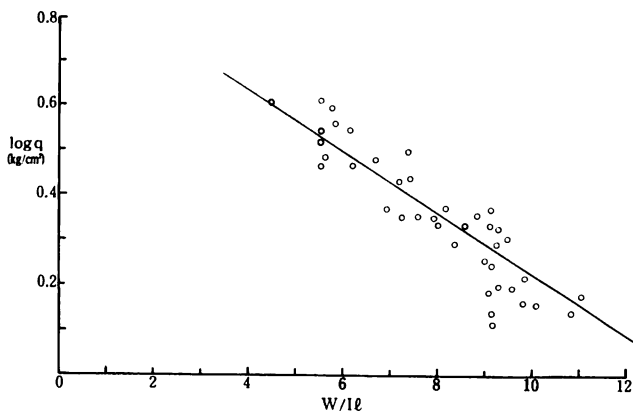
となり、 C_c / G は(1)式の G_s , G_p が定値とみなされる場合には I_e のみによって変化することになる。さらに(11)式は

$$C_c / G I_e = m / G \quad \text{-----(12)}$$

として変形し、 I_e の変化による $C_c / G I_e$ 値の変動幅は、従来の試験データから推測して小さいものであると期待すれば、(9)式に I_e のパラメーターを導入して書き改めて

$$W_o / I_e - W / I_e = (C_c / G I_e) \log (C_u / C_{u0}) \quad \text{-----(13)}$$

となり、 $(C_c / G I_e)$ を近似的に定値とみなされる範囲において、 C_u は W / I_e によって統一的に整理される可能性を示唆するものである。すなわち、泥炭性地盤では少なくともある地点では W / I_e 値の経過によって、 C_u の推移を知る可能性のあることを示すもの



図—9 log q と W/Ie との関係

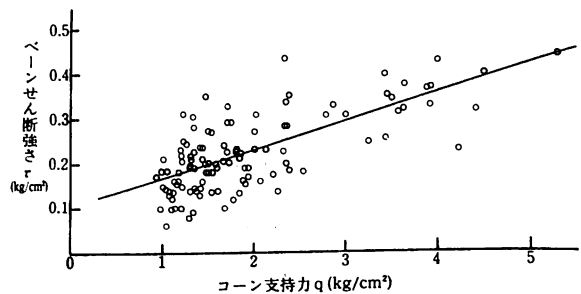
である。そこで今回は、ベーンせん断強さ τ およびコーン支持力 q と W / I_e との相関性について、それぞれ強熱減量値 I_e をパラメーターとして検討してみる。

図—6 はベーンせん断強さ τ と含水—強熱減量比 W / I_e について、強熱減量値 I_e を $0 < I_e < 100\%$ の範囲のデータをプロットしたものである。この回帰分析の結果、相関係数 0.376 という低い値が得られた。一方、強熱減量 I_e を $0 < I_e \leq 40\%$ の範囲に限定して、 τ と W / I_e についてプロットすれば、前述した値より若干高い相関係数 0.516 という結果がえられた(図—7)。また数種の強熱減量値の範囲について、 τ と W / I_e の関係を吟味した結果、 $0 < I_e \leq 40\%$ に限定して得られた相関係数よりすべて低い値となった。したがって原位置によるせん断強さと W / I_e との相関性を期待するためには、強熱減量値の小さい領域に限定して適用した方が妥当であるように思われる。

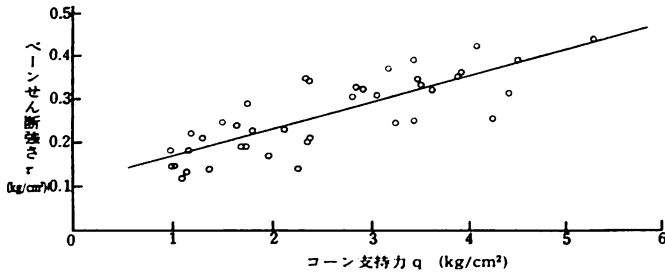
コーン支持力 q と W / I_e について、強熱減量値 I_e を $0 < I_e < 100\%$ の範囲のデータをプロットすれば図—8 のようになる。この回帰分析の結果、相関係数 0.552 を得た。また強熱減量値 I_e を $0 < I_e \leq 40\%$ に限定して、 $q \sim W / I_e$ について検討した結果、相関係数 0.736 という高い値が得られた(図—9)。このことからベーンせん断強と W / I_e と同様、コーン支持力 q においても強熱減量値を考慮してその相関性を検討する必要があると考えられる。ところで水体積率 W_{rd} / r_w は

$$W_{rd} / r_w = (W / I_e) \{ (1 / G_p - 1 / G_s) + 1 / G_s \cdot I_e + W / I_e \} \quad \text{-----(14)}$$

のように示され、 I_e によっても変化し強度へ与える一つの要素と成りうるからこの状態量をも併せ考慮して、 W / I_e と W_{rd} / r_w の 2 状態量の関数としてベーンせん断およびコーン支持力について、強熱減量値の範囲を限定 ($0 < I_e \leq 40\%$) して重相関係数を求めると、それぞれ、0.539, 0.756 を得た。



図—10 ベーンせん断強さとコーン支持力との関係



図—11 ベーンせん断強さとコーン支持力との関係

以上から原位置試験によるベーンせん断強さおよびコーン支持力と含水—強熱減量比との相関性を期待するためには、強熱減量値の範囲を限定して適用した方がよいと思われる。すなわち泥炭性土の植物の種類および生成条件等を考慮することによって、その関係式が実用的な意味をもつと考えられる。

8. ベーンせん断強さとコーン支持力について

ベーン試験を深さ方向にかつ連続的に実施することは非常な労力と時間を要する。そこでベーンせん断強さとコーン支持力との相関性を検討することによって、静的コーン貫入試験から泥炭のせん断強さを推定しようとするものである。図—10はベーンせん断強さとコーン支持力との相関性を検討するために、すべてのデータ(114個)についてプロットしたものである。この回帰分析の結果、相関係数は0.608となった。一方上述の関係について、強熱減量値Iを $0 < I_e \leq 40\%$ の範囲に限定して示せば図—11とな

り、その相関係数は0.795という高い値が得られた。したがって、ベーンせん断強さとコーン支持力との相関性について検討するためには、強熱減量値をパラメーターとしたIndexが必要であり、このIndexを考慮した関係式を吟味することによって、コーン支持力からベーンせん断強さを推定することが可能であると推測される。

9. あとがき

石狩泥炭層から得られた不攪乱試料について、その物理特性および含水—強熱減量比からこの泥炭層の圧縮履歴を検討するとともに、原位置試験によるベーンせん断強さが、含水—強熱減量比なる指数によって統一的に整理され、この指数の経過によってせん断強さの推移を知る可能性を示唆した。さらに静的コーン貫入試験を行なって泥炭性土のせん断強さを推定できる一つの手がかりを示した。

参 考 文 献

- 1) 宮川勇：北海道石狩泥炭土に関する未発表資料
- 2) 宮川勇：泥炭地の土質工学的調査研究，第3報，北海道開発局，1958年
- 3) 宮川勇：泥炭性土の2, 3の物理性と有機質，第6回土質工学研究発表会講演集，1971年
- 4) K. V. Helenelund：Vane Tests and Tension Tests on Fibrous Peat, Proc. Conf. on Shear Strength Properties of Natural Soil and Rocks, Vol. 1, Oslo, 1967.