

長野県南軽井沢地域における表層堆積物のコーン支持力と間隙水圧について

相原 輝雄*

Cone Penetration Test and Measurement of Pore Water Pressure of the Surface Deposits in the Minami-Karuizawa Area, Nagano Prefecture

Teruo AIHARA

Abstract

The area occupies the southern half of Karuizawa basin which is the highland at an altitude of about 900 meters, and is covered by wide distribution of the meadow soil. The soft subsoil bearing peaty beds of about one meter in maximum thickness has been known in the surface deposits of the area.

As a result of the cone penetration test, the thickness of the soft subsoil is estimated at 1.5-3.5 meters from the surface. The bearing power of the peaty beds is estimated at 1-2 kg/cm² in *qc*-value. Distribution of the peaty beds and other soft beds shows a tendency to be more dominant and more thick towards the southeastern part of the area.

As a result of measurement of pore water pressure, it is generally able to point out that the pore water pressure at the zone of 2-4 meters in depth is lower than the theoretical value of hydrostatic pressure, throughout most parts of the area. The excessive water pressure of the lower zone may be caused by the increase of the weight compression of the overlying beds, and on the contrary the pressure lack of the upper zone may be caused by the water pressure retardation under the influence of absorbed water in the peaty beds.

まえがき

長野県南軽井沢地域における第四紀地盤の地質工学的研究の一環として、同地域の表層堆積物を対象としたコーン貫入試験と間隙水圧の計測を実施した。内陸盆地にはしばしば特異な湖成ないし沼沢地堆積物が広く分布することが知られている。本研究はこのような堆積物の地質工学的性質を明らかにするための一つの手懸りを得ようとするものである。

1. 調査地域の概要

本地域は長野県東部の軽井沢盆地のうち、国鉄信越線以南の地蔵ヶ原を中心として塩沢・雨宮新田・扇平・南軽井沢・馬取・馬越等の集落を含む範囲で、標高 920-930m の湿草原地帯をなしている。地域のほぼ中央部には雲場川が西方へ流れ、これに多くの小支流が合流する。これらの河岸にはしばしば泥炭層が露出し、本地域

の大部分が湿地性堆積物によって覆われていることが推察される。また地域の表層部を構成する未固結堆積物には、泥炭のほか粘土シルト・火山灰・軽石・砂礫などを含み、それらの厚さは最大 80m 以上に達しているといわれている。

2. コーン貫入試験

2.1 計測方法

事前に実施されたスウェーデン式サウンディングテストの結果から、おおむね本地域南部の地蔵ヶ原から馬越地区に連なる部分に軟かな表層地盤の発達していることが予想されたため、この地区を中心とする軟弱層を主対象として二重管式コーンペネトロメーターによる計測を行った¹⁾。これは地耐力測定用貫入試験機の一つで、先端コーンが地盤を破壊しながら貫入するときの抵抗力を測

1) 構造操作の概要については、すでに尾原ほか(1968)によって紹介されているが、本測定においては、コーンの昇降に際して手動ハンドルの代りにエンジン動力を連結したものを使用した。

* 環境地質部

定し、これをコーン支持力 qc (kg/cm^2) として読みとる方式のものである。計測地点および測点番号は第1図に示す通りで、11地点について行った。測定深度は1.2-3.9mで各地点とも測定間隔は10cmとした。

2.2 測定結果

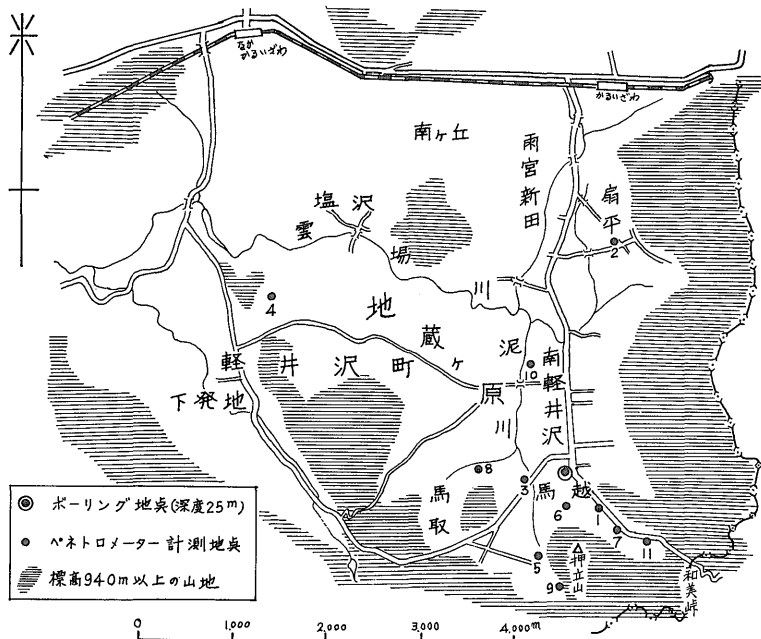
コーン支持力 qc (kg/cm^2) 測定結果は第2図に示した通りであるが、各地点ごとの測定値に関する特徴を概略的に述べれば次の通りである。

No. 1 地点 馬越から和美峠に向かう道路沿いで、沢の入口に位置している。深度3m付近までは $5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以

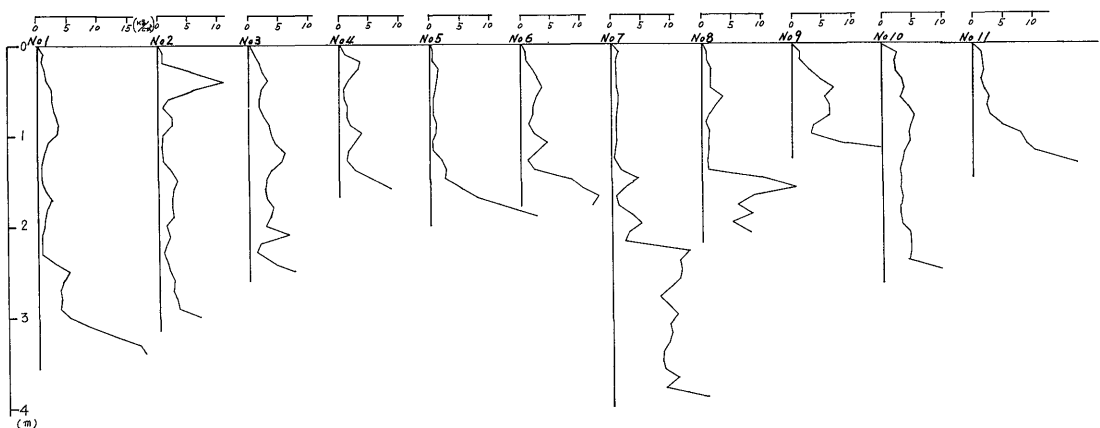
下の比較的小さな値が続き、その直下で $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ を大きく越える傾向が認められる。全体として2.4m以下の大部分は $2.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以下を示している。

No. 2 地点 本調査地域北東部を代表すると考えられる地点で、No. 1地点より約3km北に位置している。深度0.3-0.5mの値を除けばNo. 1地点に類似した傾向を示し、大部分が $2.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以下の値が続き、深度3mからは $5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以上になる傾向もうかがわれる。

No. 3 地点 地藏ヶ原南東端に位置し、レークニュータウン(遊園地)に通ずる通路沿いに選んだ。測定深度は



第1図 コーン支持力計測地点配置図



第2図 コーン支持力曲線図

2.5m に止まったがほぼ $2-6 \text{ kg/cm}^2$ で、No. 1 および 2 地点に比較してやや大きな値を示している。また、 2.5 kg/cm^2 以下の値を示す部分は少なく、これより高い値を示す部分は表層を除けば深度 0.6m 付近および 2.3m 付近のわずか 2カ所で認められるにすぎない。

No. 4 地点 調査地域の西端に位置しており、国際射撃場入口付近の道路際の地点を選んだ。測定深度は 1.6m に止まり、その直下は 10 kg/cm^2 以上に達する傾向を示していた。しかし、深度 1.5m 以浅については 5 kg/cm^2 以下で、その大部分が 2.5 kg/cm^2 を下廻っている。

No. 5 地点 馬越地区の泥川支流に当たり、レイクニュータウンに隣接する地点である。1.6m 以深で 5 kg/cm^2 以上の比較的大きな値となり、最終深度 1.9m で 20 kg/cm^2 に近い値を示している。しかし、深度 1.3m までは全層 2 kg/cm^2 以下で、かつその大部分が 1 kg/cm^2 以下であった。

No. 6 地点 馬越地区の No. 1 地点と No. 3 地点との中間にある湿原地帯である。深度 1.5m 付近で 5 kg/cm^2 を超え、1.6m で 10 kg/cm^2 以上となる。 2.5 kg/cm^2 以下を示す部分は 1.4m 以浅において、表層を除き 2カ所認められる。

No. 7 地点 No. 1 地点の沢筋を約 400m さかのぼった県道沿いに選点した。ここは最も深くまで測定できた地点で、測定深度は 3.9m であった。まず表層より 1.4m までは 1 kg/cm^2 前後の値が連続し、1.4-2.1m で $1-5 \text{ kg/cm}^2$ の範囲で変化をしており、2.2m 以深では 10 kg/cm^2 前後の値を示し、明らかに地層の変化がうかがえる。

No. 8 地点 No. 3 地点の西北西約 600m で地蔵ヶ原南端に当たる。測定深度 2.1m までの間において、深度 1.4m を超えると 5 kg/cm^2 以上となり、一部には 10 kg/cm^2 以上の値が認められる。1.4m 以浅においては大部分が 2 kg/cm^2 以下を示している。これは No. 5 および 7 地点の測定結果に類似している。

No. 9 地点 No. 5 地点の沢筋を約 300m さかのぼったところで調査地域の南限に当り、湿原と山麓の接点近くに位置している。測定深度は 1.2m に止まり、0.5m 以深は大部分が 5 kg/cm^2 を示し、とくに 1.1m 以深は 10 kg/cm^2 以上となる。なお、 2.5 kg/cm^2 以下を示す部分は 0.2m 以浅に止まった。

No. 10 地点 南軽井沢地区で泥川沿いの地点である。測定深度は 2.5m で、このうち 2.4m まではほぼ $3-5 \text{ kg/cm}^2$ を示し、 2.5 kg/cm^2 以下を示す部分は 0.3m 以浅に止まった。

No. 11 地点 馬越から和美峠へ向かう県道に沿った沢

の最上流部付近に選定した。測定深度は 1.3m に止まり、0.9m 付近から下位では $5-10 \text{ kg/cm}^2$ 以上の値を示しており、また 2.5 kg/cm^2 以下の部分はほぼ 0.6m 以浅に止まった。

3. コーン支持力の分布に関する考察

上記の測定結果に基づき、南軽井沢地域の表層地盤について地質工学的に総合すると次の通りである。なお、地盤の支持力に関する相対的な強弱の程度および他地域との比較を述べる際には、標準貫入試験による N 値を用いるのが便利である。一般に一軸圧縮強度 qu と N 値との間には $qu \doteq \frac{N}{8}$ の関係があるといわれ、また、 qu とコーン支持力 qc との間には $qc \doteq 5qu$ の関係が知られている。本地域の地盤についてもこれらの関係が成立つものと仮定し、かつ沖・洪積地盤の強度については下表²⁾を基準とした。

コンシステンシー	非常に軟かい	軟かい	中位	やや堅い	かなり堅い
N	<2	2-4	4-8	8-15	15-30
$qu (\text{kg/cm}^2)$	<0.25	0.25-0.5	0.5-1.0	1-2	2-4
$qc (\text{kg/cm}^2)$	<1.25	1.25-2.5	2.5-5	5-10	10-20

(1) 測定最終深度すなわちコーン貫入可能深度が一般に 2m 前後であり、大部分がその直上部で $qc > 5 \text{ kg/cm}^2$ となり、最終深度で 10 kg/cm^2 に近づくと、もしくはそれを超える傾向が認められる。これはおおむね 2m 以深で換算 N 値が 15 以上に相当し、かなり締まっていることになる。すなわち、いわゆる軟弱地盤はおおむね表層の 2m 前後までに限られることになる。

(2) ただし、No. 1, 2 および 7 の 3 地点においては、貫入深度が 3m を超えており、比較的軟かい地盤がこの地域としては割合に深くまで発達していることを示している。これらの地点はいずれも本地域東側の山地に接した沢の入口に位置している。これらのうち No. 1 地点の 2.4m 以浅および No. 7 地点の 1.4m 以浅については軟弱度が著しく、ほとんど $qc < 1-2.5 \text{ kg/cm}^2$ を示している。

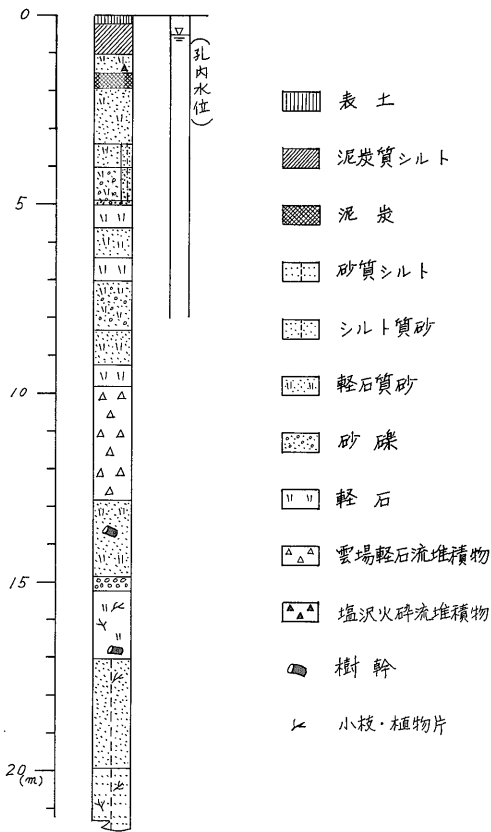
(3) 1.3-1.4m 以浅で $qc < 2.5 \text{ kg/cm}^2$ の部分がほぼ連続し、軟弱度の著しい地点としては No. 5 および 8 地点が挙げられる。

(4) これに対して No. 9, 10 および 11 地点では $qc < 2.5 \text{ kg/cm}^2$ の部分は表層の 0.2-0.6m 以浅に限られる。

2) 土質工学会 (1965): 土質調査法, p. 93 による。

(5) 以上を概括すれば、本地域において相対的に軟弱度の著しい表層地盤は、東側でしかも沢の入口付近に偏在する傾向が認められる。ただし、全体的にみると、軟弱地盤の発達には水平的にも垂直的にもそれほど著しいものではないといえよう。ちなみに琵琶湖南岸の野洲川デルタ地帯においては、コーンペネトロメーターの貫入深度は 3m を超える場合が多く、かつ $qc < 2.5 \text{ kg/cm}^2$ を示す部分は 4m 以深まで存在する(尾原ほか, 1968)。また、諏訪湖南東岸のデルタ地帯では $qc < 1 \text{ kg/cm}^2$ を示す部分が 5m 以深まで連続していることが知られている。

(6) 馬越地区北部において掘削されたボーリングの柱状図(第 3 図)や地表地質調査結果(宇野沢・坂本,



第 3 図 ボーリング地点柱状図

1972) と比較すると、 $qc < 2.5 \text{ kg/cm}^2$ を示す部分は泥炭を主体とする地層に、 $qc > 2.5 \text{ kg/cm}^2$ の部分は砂質シルトやシルト質砂などに、また $qc > 5 \text{ kg/cm}^2$ の部分は砂または軽石を多量に含む地層にそれぞれ相当するものと考えられる。

(7) $qc = 5 \text{ kg/cm}^2$ は換算 N 値 8 に相当する。した

がって $qc \geq 5 \text{ kg/cm}^2$ は $N \geq 8$ となる。これは成田層表層部のシルト質または砂質層に匹敵する。また、これをローム層に適用できると仮定すると、 $qc \geq 2.5 \text{ kg/cm}^2$ は $N \geq 4$ に当たり、これはローム層表層部の値に相当する(宇野沢, 1972)。

(8) 本地域の 2-4m 以浅の泥炭の生成は約 2 万年前から開始され、深度 17m 付近および 30m 付近の地層の堆積は 2.7 万年以前より古くはない(宇野沢・坂本, 1972)。したがって泥炭を主体とする軟弱層と、その下位の少なくとも深度 30m 付近までの地層との間には、時間的に大きな不連続はないと考えられている。しかし、第 2 図に示すように、コーン支持力の値は泥炭を主体とする軟弱層直下において大きな不連続を示し、 2.5 kg/cm^2 以下のものが $5-10 \text{ kg/cm}^2$ へ大きく変化している。このことは、沖・洪積層における工学的性質が堆積の時間的経過すなわち地層年代とは必ずしも関係なく、むしろ組成物質や先行荷重などに大きく支配されることを意味するものであろう。

4. 間隙水圧の測定

4.1 測定方法

第 4 図に示す 5 地点において表層地盤の間隙水圧を測定した。測定機は坂田式間隙水圧計³⁾を使用し、簡易穿孔機による掘さく孔において垂直間隔 2m ごとに測定を実施した。測定深度は No. 4 地点で 6m、ほかでは 8m までである。なお、掘さく孔深度は各測定深度ごとに 0.5m 上方で止め、尖頭管を 0.5m 打込むことによってその先端の深度を各測定深度とした。

4.2 測定結果

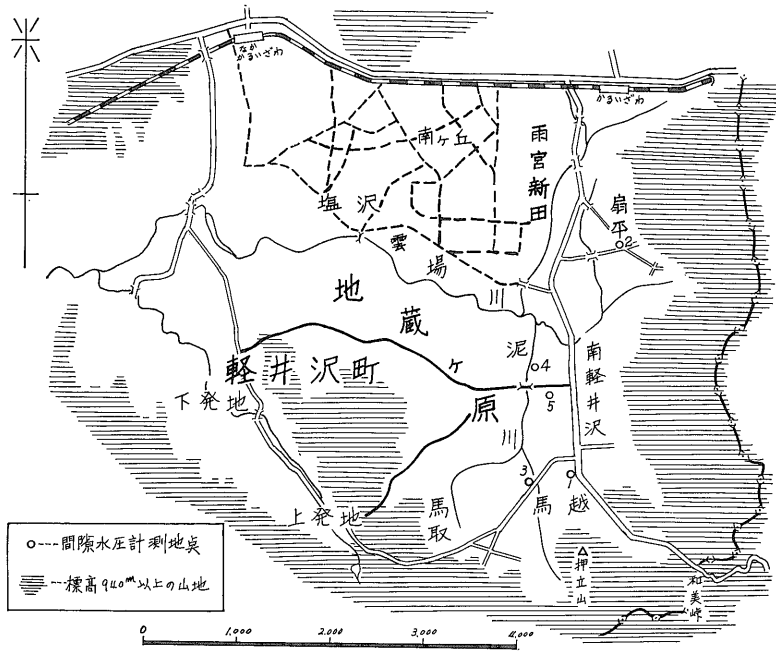
測定結果のうち間隙水圧の時間的経過を第 5 図に、間隙水圧の測定時間内における最終安定値の深度分布および対応深度における標準静水圧⁴⁾との関係を第 6 図にそれぞれ示す。各測点における測定結果の概要は次の通りである。

No. 1 地点 馬越地区湿原地帯の一部に位置し、深度 25m のボーリング地点に当たる。第 5 図に示す通り深度 2m および 4m においてはそれぞれ測定開始後約 3 分および 7 分後に、それぞれの安定した圧力を示すが、深度 6m および 8m においては、ともに 15 分以上にわたって不安定な状態が続き、かつ測定開始後 5 分から 15 分以上にわたって異常な高い値を示した後、やや低下して安定的な状態となっている。また、第 6 図に示す

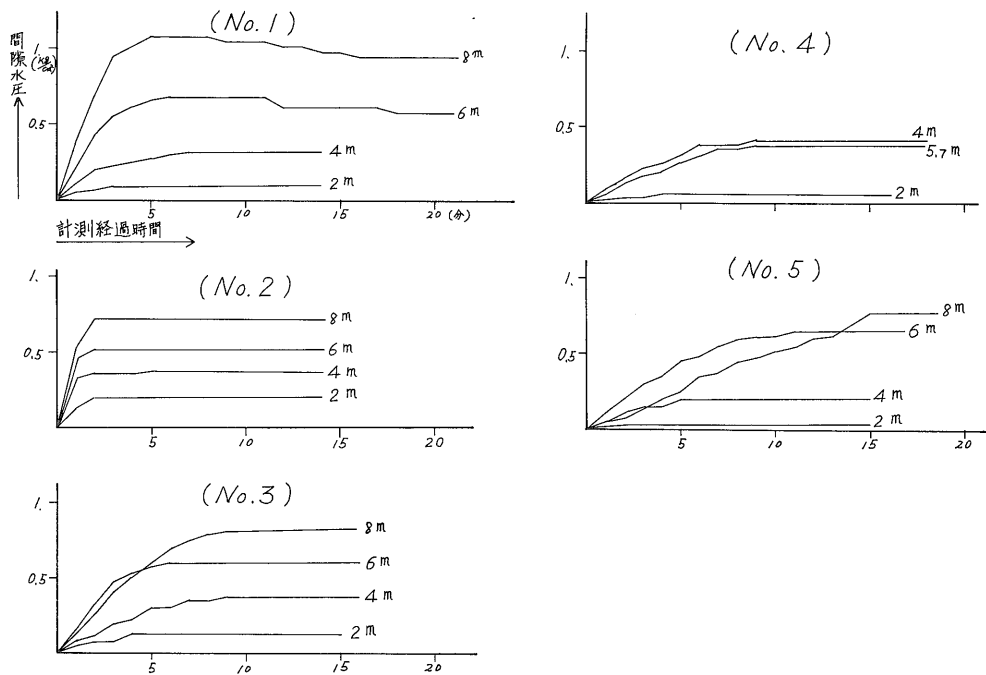
3) これは一種の電気式水圧計で、水圧を電気的な振動抵抗に置換えて読みとるものである。

4) 海面上 0m とみなし得る点の標準気圧における静水圧で、水の密度を 1 とした。

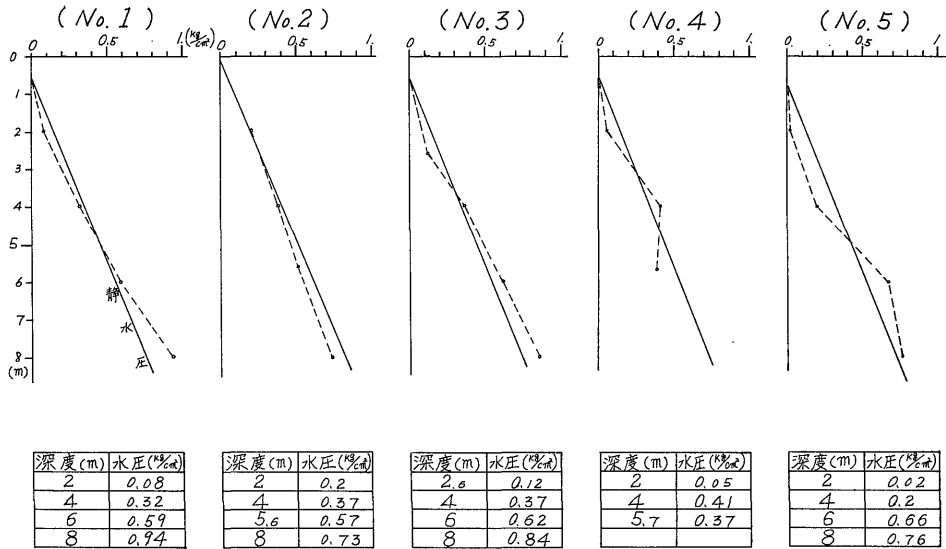
長野県南軽井沢地域における表層堆積物のコーン支持力と間隙水圧について (相原輝雄)



第4図 間隙水圧計測地点配置図



第5図 間隙水圧上昇曲線図



第6図 静水圧・間隙水圧対比曲線図

ように、深度 2m および 4m では標準水圧より低い値を示し、深度 8m では高い値を示している。

No. 2 地点 扇平地区のコーン支持力測定 No. 2 地点に当たる。第5図に示す通り、各測定深度とも約2分後にほぼ安定した状態を示し、その経過時間は他の地点と比較して相対的に最も短く、とくに深度 6m および 8m における水圧上昇率が大きく、0.25-0.36 kg/cm²/min を示している。なお、第6図に示す通り、各深度における間隙水圧は標準水圧とはほぼ一致している。

No. 3 地点 地蔵ヶ原南東端に位置し、コーン支持力測定 No. 3 地点に当たる。安定状態に達するまでの時間はやや長く 4-9 分を要し、水圧上昇率は深度 8m で約 0.09 kg/cm²/min と小さい。標準静水圧に対しては、深度 6m 以深においてやや大きな値を示している。

No. 4 地点 南軽井沢地区の泥川沿いで、コーン支持力測定 No. 10 地点に当たる。水圧上昇率はさらに小さく、深度 4m および 5.7m で 0.04 kg/cm²/min 前後を示している。なお、標準静水圧との比較では深度 2m と 5.7m で異常に低い値を示している。

No. 5 地点 南軽井沢地区のほぼ中央部で、No. 4 地点の南方約 300m に位置している。水圧上昇率は No. 4 地点に次いで小さく、0.05-0.06 kg/cm²/min を示す。なお、標準静水圧との比較では深度 2m において異常低値、深度 8m において過大値をそれぞれ示している。

5. 間隙水圧の分布に関する考察

まず水圧上昇率について通覧すると、No. 2 地点を除き一般に小さな値を示している。琵琶湖南岸において行われた測定結果(尾原ほか, 1968)と比較して、仮に 0.1 kg/cm²/min 以上をシルト混り砂以上の透水性に読み替えることができるものとすれば、本地域においては少なくとも深度 8m までは大部分シルト質以下の透水性を示すことになり、No. 2 地点のみおむね細砂程度の透水性に相当することになる。この場合、深度 2m における水圧上昇率は 0.1 kg/cm²/min を示し、推定される泥炭を主とする地層としては過大な透水性を示すことになる。これは琵琶湖南岸における深度 2m 付近のシルト層に対応する水圧上昇が 0.2 kg/cm²/min を示すことと考えると、測定値のみによる単純な読み替えなし比較は必ずしも適当でないことを裏づけるものであろう。

次に標準静水圧との比較において、No. 1, 3 および 5 地点については、それぞれ 6m 以深において過大圧力を示している。これは間隙水がそれぞれ被圧地下水の状態 で存在していることを示すものであろう。これに対して No. 2 地点における間隙水は深度 8m に至る間は、ほぼ自由地下水の状態にあると考えられる。また、4m 以浅の間隙水が過小水圧を示すことが多いが、これはほぼ泥炭を主とする地層またはシルト質層の深度に相当し、これらの層準の地下水が間隙水としてよりもむしろ吸着水としての性質が強いためではなからうか。なお、No. 4 地点において深度 5.7m の間隙水圧が深度 4m のものよ

5) 単位時間(1分間)当たりの水圧上昇速度(kg/cm²)で、水圧が上昇し終り安定したときの値と、その経過時間との比で示した。その比較によって透水性の相対的な比較ができると考えられている。

り低下し、過小水圧を示しているが、これについては付近の井戸による揚水の影響の疑いがある。

あとがき

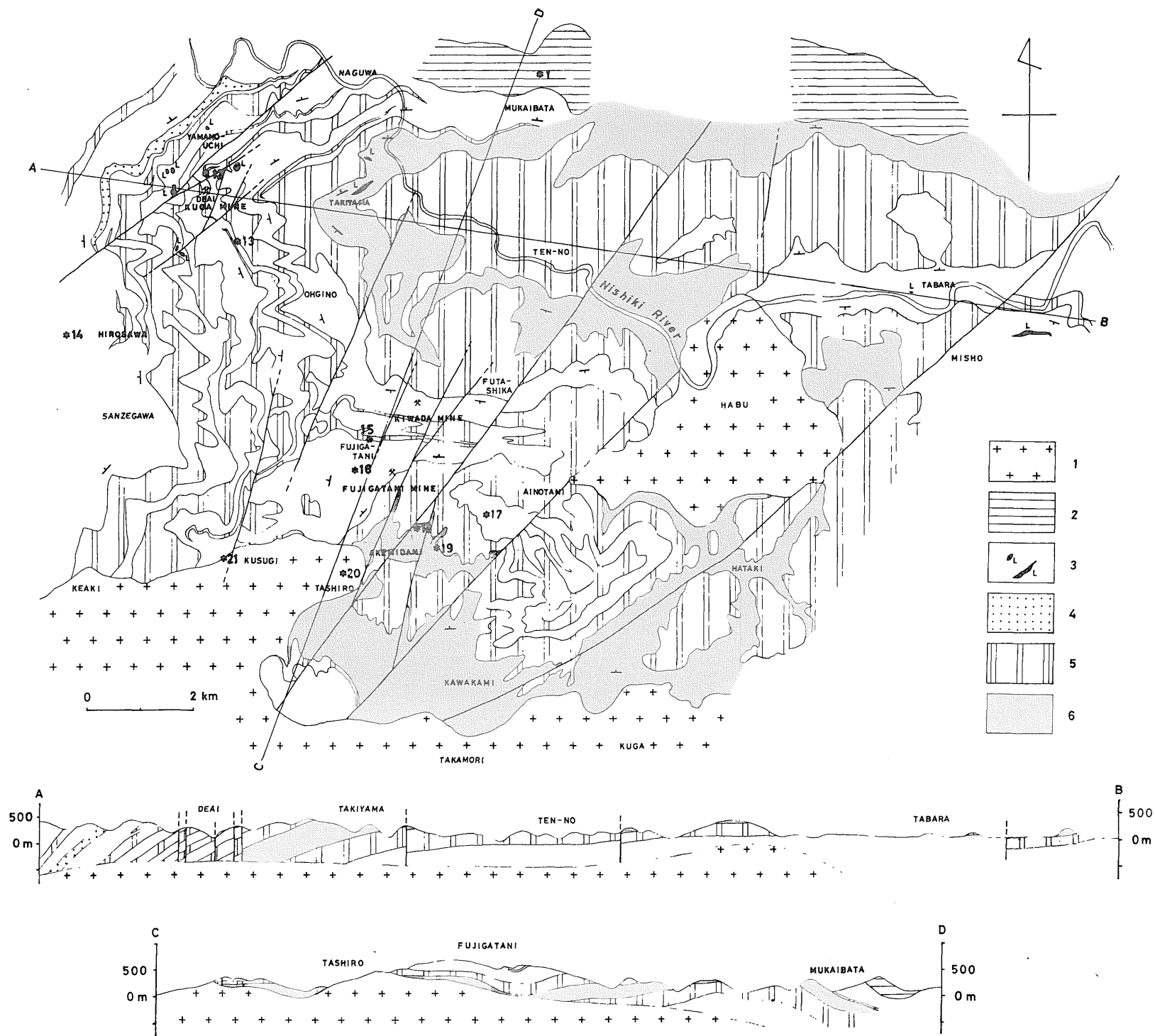
南軽井沢地域表層の湿性堆積物についてコーン貫入試験と間隙水圧の測定を行った結果、それらの測定値は琵琶湖南岸や諏訪湖南東岸などと類似の閉鎖的内陸盆地表層の堆積物に関する測定値と比較的よく対応し、このような堆積物の工学的性質はおおむね類似することが分った。とくにいわゆる軟弱地盤としての泥炭質の堆積物に関するコーン支持力はほぼ $qc < 2.5 \text{ kg/cm}^2$ とみなすことができよう。また、地域的な差異については、堆積環境や堆積物質のちがいによる影響が大きく、たとえば本地域においていわゆる軟弱層が2-3m以浅に止まっていること、および下位の砂質ないし砂礫質層の間隙水圧上昇率が相対的に小さい値を示すことは、軽石流の影響を受けて、この地域の2-3m以深に存在する火山噴出物混入層の存在を考慮する必要があることを示すものであろう。この場合、純粋地質学的名称としての砂層ないし砂礫層は必ずしも水理的な意味での名称とは一致しない

と思われる。すなわち、実用上の土地地盤の実態把握には、純粋地質学的情報と工学的性質(種々の計測データ)との総合が不可欠である。

文 献

- 尾原信彦・渡辺和衛・坂本 亨・安藤高明・相原輝雄・金井孝夫・宇野沢 昭(1968) 滋賀県琵琶湖岸野洲川デルタの地盤に関する産業地質学的研究(その2)。地質調査所月報, vol. 19, p. 19-38.
- 徳永重元・尾上 亨(1973) 長野県軽井沢泥炭の花粉分析。地質調査所月報, vol. 24, p. 99-106.
- 宇野沢 昭(1972) 関東ローム台地の地盤構造と地耐力。地質調査所月報, vol. 23, p. 37-47.
- ・坂本 亨(1972) 長野県南軽井沢周辺の最近の地史。地質学雑誌, vol. 78, p. 489-494.

(受付: 1975年12月4日; 受理: 1976年3月22日)



1: Kuga granite. 2: Triassic bed. 3-6: Kuga formation. 3: Limestone. 4: Sandstone. 5: Chert. 6: Slate.
 *11: 51401 (slate). *12: K10-165 and K10-265 (slates). *13: 23111 (slate). *14: 51001 (basaltic tuff). *15: 5-70, 5-208, 5-243 and 5-519 (slates), 5-494 (carbonaceous shale), and 5-525 (granite). *16: 7-37 (carbonaceous shale), and 7-350 (granite). *17: 110802 (slate). *18: 110601 (carbonaceous shale). *19: 111002 (carbonaceous shale). *20: Tas-1 (granite). *21: Kus-0 (slate).

Fig. 1 Geologic map of the Kuga district with the locality of samples analysed.