

ソイルサンプリングに関する 2, 3 の問題について

正員 北海道開発局土木試験所 工博 宮 川 勇
 正員 “ 佐々木 晴美

1. ま え が き

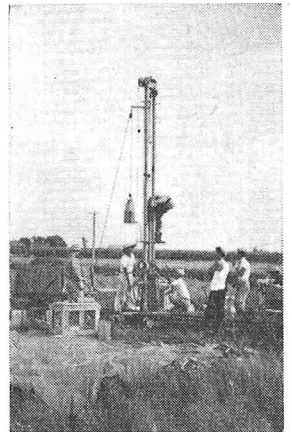
すべての土木構造物は基礎地盤の上に築造される。したがって、基礎地盤に関する調査および試験は、土木構造物の設計・施工に重大な役割を占めるものであり、その合理性を高めるための基本的な要件である。ソイルサンプリングは、このような基礎地盤に関する調査、試験のうち、最も基本的な手段であり、得られた試料が与える試験結果は、設計の基礎的資料となる。したがって、ソイルサンプリングの優劣は土木構造物の設計に影響を与え、その合理性を左右する重要な因子の一つとなるので、その実施に際しては、試験結果の処理に至るまで十分な考慮が払われなければならない。

従来のサンプリングでは、Royal Swedish Geotechnical Institute (以下 R. Swed. Geot. Inst. と綴る) の報告¹⁾ にもあるように“Nearly continuous sampling”, “Nearly continuous undisturbed sampling”, “Continuous undisturbed sampling” などによって、乱されない試料を、深さ方向に連続的に採取しようとする試みがなされて来た。しかしこれらの方法は、一回のサンプリングにおいて短い試料しか採取できないという事実によって、時間的にも経済的にも不利な方法であることを余儀なくされている。これは、サンプラーが土中に押込まれる時、試料とチューブの内面との間に摩擦抵抗が生じチューブの中に入ってくる試料の長さが大きくなるにつれて、この摩擦抵抗は増大しさらにチューブの刃口における過剰圧力も増加する結果となり、やがて試料が Safe length of sample²⁾ に達するとそれ以上の長さの乱されない試料の採取は不可能となるこ

とによるものである。

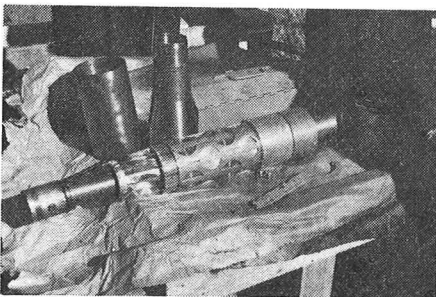
このような試料とサンプラーチューブ内面との間に生ずる摩擦抵抗を減少させることによって、従来のサンプラーを改良しようとするいくつかの試みがなされた^{1), 2), 3)} 結果 1947 年, R. Swed. Geot. Inst. の Walter Kjellman, Tors-ten Kallstenius, Oleg Wager などによつて研究、製作されたのが現在使用されているフォイルサンプラーである。このサンプラーの特色を要約すれば短時間で 相当深度 (25 ~ 30 m) の“乱されない”(厳密には、乱れの程度が小さいかまたは、無視できる程、極めて小さいことを意味するもので単に慣例的な表現に過ぎない。今後、これと同じ意味の表現とする時には“ ”で示す。) 試料を連続採取することができ、しかもサンプリングに要する人員が比較的少なくて済むことであるといわれている。

筆者らは、この小論において、上述したようにソイルサンプリングにおける主要な問題である試料の乱れ (Soil disturbance) に関して、現在までの研究成果を要約、整理し、特にその判定方法の検討を行ない、従来の方法に加えて定量的判定方法の一例を示し、その重要性を指摘した。また泥炭性軟弱地においてフォイルサンプリングを行ない、その実用性を吟味し、さらにそれによつて得られた試料の試験結果とそれに近接した地点において実施したシンオールサンプリングにおける試験結果とから、主としてこれら 2 つのサンプリングによる試料の乱れについて比較検討した。



写真—2

泥炭性軟弱地におけるフォイルサンプリング



写真—1 フォイルサンプラーの本体

2. ソイルサンプリングにおける試料の乱れについて

厳密な意味で自然状態のままの乱されない試料を得ることは、ほとんど不可能であろうが、その程度は採取技術や土質によるところが大きく、1本のサンプラー内の試料に

ついても乱れの程度に著しい差異のあることは既に知られており、このことはサンプリング、採取された試料の試験、試験結果の利用などを通じて問題となる。Hvorslev²⁾ は不攪乱試料の要件として①土の構造が乱されていないこと。②含水比、間隙比が変化していないこと。③土の構成要素または化学的な構造が変化していないこと。などを挙げているが、得られた試料について、これらの必要事項が完全に満足されているか否かを知ることは困難であろう。Hvorslev は、さらに不攪乱試料に対するこれらの要件を次のような実際のなものにある程度おきかえて考えようとしている。

(i) Specific recovery ratio は 1.0 以下か、または $(1 - 2C_d)$ 以上でなければならない。ただし、Specific recovery ratio は、サンプラーを押込む途中において個々の土層に対して得られる採取試料長と押込み深さの比を示し、 C_d はサンプラーチューブの刃先における内側クリアランス比を表わす。

(ii) 採取試料の表面または切断面において認知できるようなゆがみ、傷跡、凹み、変色その他サンプリング操作や試料の取扱いに起因する乱れの兆候があつてはならない。

(iii) 試料の長さ、重さおよび種々の試験結果が運搬、保存、取扱い中に変化してはならない。

しかし、Specific recovery ratio が 1 より大きいような場合でも土の層にゆがみを認めることができず、またそれが 1 に等しい時でもはつきりとゆがみを認めることができる例のあることが報告されており³⁾ 不攪乱試料に対するこれらの要件は、1 つの日安にとどまるものといえよう。

このような試料の乱れの要因として次のようなものが考えられている。^{2), 3), 4)}

(a) サンプラーを押込む際に、チューブ内面と試料の間に生ずる摩擦抵抗またはそれによるセン断変形。

(b) 土中に押込んだサンプラーを引上げる際に、チューブの下方に生ずる負圧または、試料をチューブから取出すことによつて自然状態における周囲の圧力から解放され、それによつて起る膨張。

(c) 試料運搬中の振動や保存の状態・時間など。

(d) サンプラーチューブのシールの方法。

(e) 供試体の成形による影響。

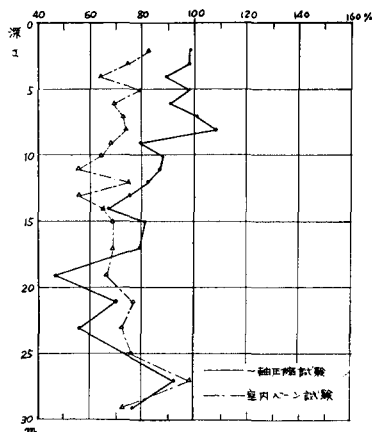
これらの試料の乱れを引き起す因子は、サンプラー、サンプリング技術、試料の取扱いなどの改善によつて解消しなければならない。

同時に、ここで問題として取上げなければならないのは試料の乱れの程度および歪りを判定する方法である。この判定方法が妥当なものでなければサンプリングまたは試料の良否を決めることができず、これはサンプリングにおける最も重要な問題の一つである。

現在、試料の乱れの判定基準として次のようなものが考えられている。

- (イ) 含水比
- (ロ) 密度
- (ハ) 間隙比
- (ニ) 一軸圧縮強度
- (ホ) 一軸圧縮試験における応力～歪曲線
- (ヘ) 圧密特性
- (ト) recovery ratio²⁾ (復元率または採取率)

現在これらのうち、採取試料について一軸圧縮試験を行ない、その結果得られる一軸圧縮強度を比較する方法が、簡単でしかも比較的信頼度の高いものとして最も多く採用されているが、この方法にもいくつかの問題がある。この方法は、乱された試料は“乱されない”試料に比べて強度が低いという考え方に立脚しているが、Calhoon⁵⁾ も指摘しているように乱された土でもそれがチューブの中で再圧密されることによつて強度が増大することがあるであろう。また Kallstenius⁶⁾ は乱された試料では、一軸圧縮強度のバラツキが多くなるのでこのバラツキの程度によつて乱れを判断しようとしている。一軸圧縮試験において得られる応力～歪曲線に関する検討も、一軸圧縮強度と併行して行なわれており、これは乱された試料の場合はゆるやかな曲線となるという考え方に立つ。圧密特性の比較検討による方法については、それが一軸圧縮試験の結果ほど試料の乱れに鋭敏でないため、むしろ一軸圧縮試験による方法が適当であるということが報告されている⁷⁾。次に recovery ratio による方法について考えると、これは採取時における試料の状態を表わすものであつて、試験時における試料のそれを示すものではなく、したがつて、この recovery ratio をもつて、試験時の試料の乱れの程度を決めることは



図—1 野外バーンテスト結果に対する
採取試料のセン断強さの比

(Shelby tube piston sampler による場合)

できない。またこれらの方法は、それぞれ一つの目安としては価値のあるものと思われるが、いずれも相対的な判定結果を与えるにとどまり、供試体が自然状態において有する性状とどれだけ異なった性状を示すかという点については、明確な結果を与えるものではない。たとえば、1本の

サンブラーチューブにおいて、深さ方向の一軸圧縮強度の分布を調べ最大値に対する相対強度の変化をもつて試料の乱れの分布を示すことが考えられているが²⁾、厳密にはこの強度の最大値も、乱れの影響を受けていないと断定し得る根拠はない。このような観点から、原位置試験と、採取

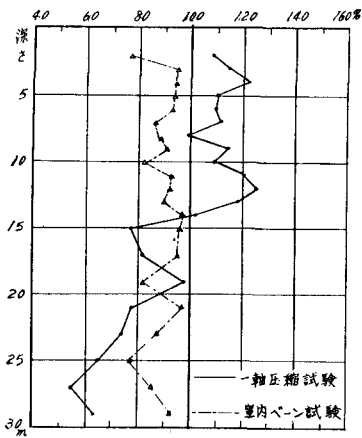


図-2 野外ベーンテスト結果に対する採取試料のセン断強さの比

(Pneumatic piston sampler with instantaneous shutter による場合)

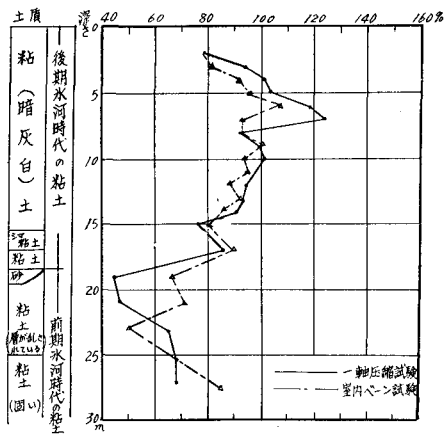


図-3 野外ベーンテスト結果に対する採取試料のセン断強さの比

(Foil sampler による場合)

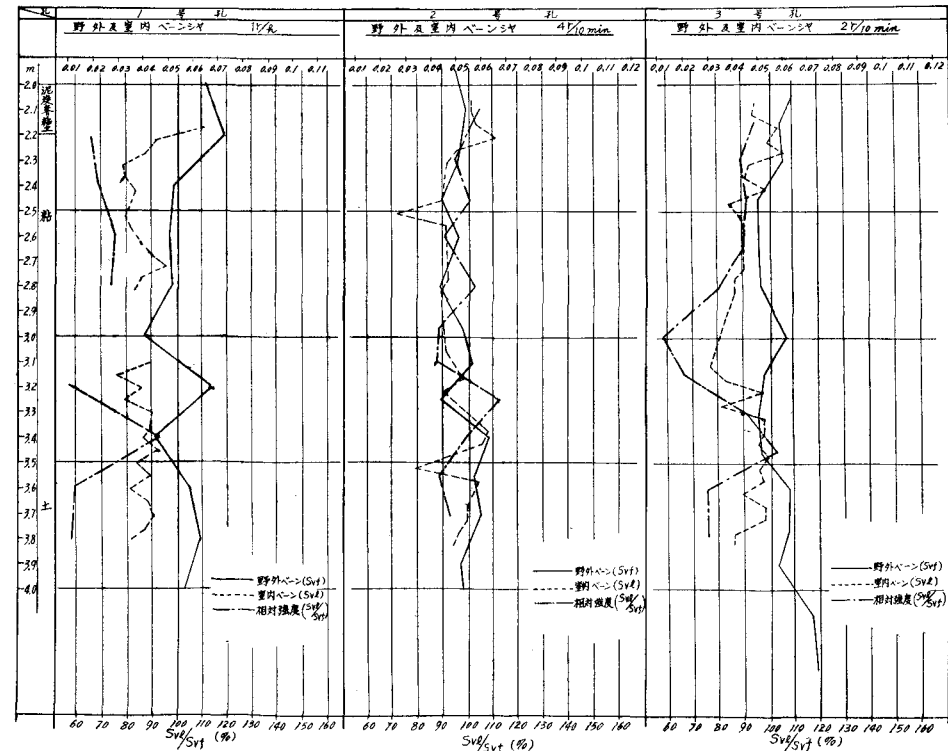


図-4 野外ベーンシャと室内ベーンシャの比較 (Toyohoro)

された試料についての室内試験を併行して実施し、これらの結果を比較検討することによって試料の乱れの程度および拡がりを見極めることが考えられる。

次に、この方法について実際に得られている資料によって検討してみる。図-1~3は R. Swed. Geot. Inst. の報告³⁾の中に見られるもので、Shelby tube piston sampler, Pneumatic piston sampler with instantaneous shutter および Foil sampler によって得られた各々の試料について一軸圧縮試験および室内ベーン・テストを行ない、これらの結果の野外ベーン・シャに対する比をとり、これを約 30 m の深さにわたってプロットしたものである。室内ベーン・シャの野外ベーン・シャに対する比についてみると Shelby tube piston sampler では、50~80% に分散し、Pneumatic piston sampler with instantaneous shutter では、80~100% の範囲内に分布している。Foil sampler では、この比は深さ約 9 m までは 100% の前後を変動しておりそれ以下の深さでは、100~50% にわたってほぼ直線的に低下しているようである。今、野外ベーン・シャが原位置地盤の真のせん断強度を表わし、しかも、その結果と室内ベーン・シャとを同等に取扱うことができるものとするれば、相対強度が 100% ということは、その試料が乱されていないことを意味するものと考えられる。この判定基準にしたがえば、総体的には、Pneumatic piston sampler with instantaneous shutter の場合に、乱れが最も小さく Foil sampling における試料の乱れはある深さまでは小さく、それ以下では、深さが大きくなるにしたがって、増大する傾向があるといえよう。図-4 は、江別市豊幌において 3 吋固定ピストン型シンオールサンプラーによって得られた試料の試験結果を示すものであるが、これによると室内ベーン・シャの野外ベーン・シャに対する比は、60~100% の範囲内に分布しており Shelby tube piston sampler に比べると、かなり良い結果を示している。もちろん、ここに示した資料のみによってこれらのサンプラーの良否を決めることはできないが、このような原位置試験および室内試験による試料の乱れの判定方法は、試料が自然状態において保有する性質との差異を定量的に把握し得る利点があるが故に、最も適当な方法であると考えられる。しかし、上述したように、この方法は、原位置試験結果が十分に精度の高いものであり、同時に、室内試験結果との相関関係が十分吟味され、妥当なものであるという前提に立っているので、これらの試験方法および結果の処理についても、さらに研究を進めていかなければならない。また、土の力学的性質のほか、含水比、密度などの物理的性質についても、アイソトープの利用などによりこのような方法を適用することは不可能ではないであろう。以上サンプリングによって得られた試料の乱れについて考察したが、サンプリングの最も重要な課題は、自然状態に近い試料を得る

ことであつて、そのためには試料の乱れの定量的な決定が必要であり、サンプラーはそれによって初めて十分な改良を遂げることができるであろう。

3. フォイルサンプリングとシンオールサンプリングの比較検討

現在、ソイルサンプリングには、固定ピストン型のシンオールサンプラーが最も多く使用されており、シンオールサンプラーそのものについても edge angle, inside clearance ratio などに関して比較研究が行なわれているが、ここではわれわれが通常使用している 3 吋固定ピストン型シンオールサンプラー⁸⁾と、フォイルサンプラー (谷藤機械工業 K. K 製, Model No. TS-200) について、主として採

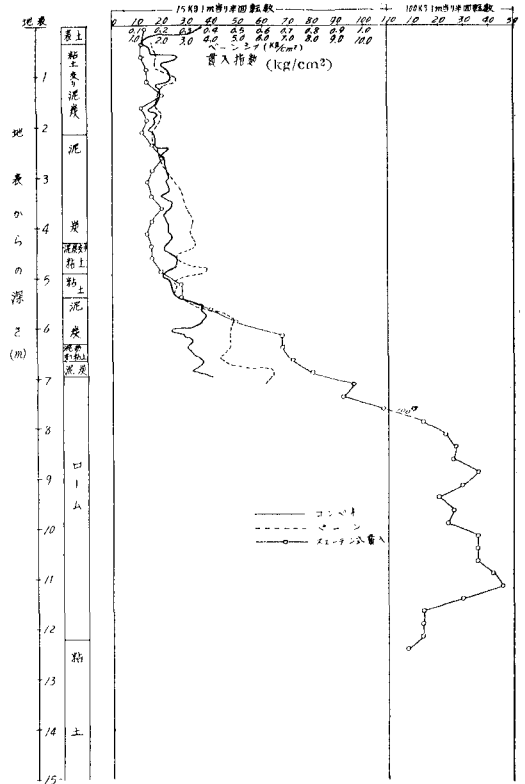


図-5 現位置試験 (ベーン, コンペネ, ステン式貫入試験) -Toyohoro-

取された試料の乱れを比較検討する。なお、これらのサンプリングは江別市豊幌の泥炭性軟弱地においてそれぞれ別個の目的で行なわれたもので、実施された両地点は約 40 m 離れているが、サウンディングを行なつた結果によれば、土質および土層構成にはほとんど差異がなかった。

採取試料について試験が行なわれるまでの過程は、シンオールサンプラーによる場合には、採取された試料はパラフィンに、その凝結による収縮を防ぐために少量の松脂を

混合したものを、その厚さが下側では約2 cm になるように、また上側は2 cm 程度を3回に分けてシンオールチューブに溶かしこみ、ブリキのキャップをかぶせてビニールテープで密閉し、これを20°Cの恒温室内に搬入し現場における採取から通算約1ヵ月後に、一軸圧縮試験を行なうとともに含水比、密度などの測定を行なった。なお、この場合一軸圧縮試験は、シンオールチューブを輪切りにし成形された供試体について行なわれた。フォイルサンプラーによる場合は、現場における試料採取後、ただちに、成形しないまま一軸圧縮試験、湿潤密度の測定を行ない、その他の試験はサンプリング後約5日間で実験室において行なわれた。

使用したシンオールサンプラーおよびフォイルサンプラーの主要な諸元を表-1に示す。

この地点は、図-5にも明らかなように泥炭性軟弱地であり、フォイルサンプリングについては、フォイルサンプラーの泥炭性軟弱地における実用性、とくに泥炭または、泥炭性土下のシルトまたはローム層のサンプリングが可能であるか否かを確認することが目的の一つであつたが、写真-2に示すように、アンカーを補強することによつてこの目的は達せられた。

表-1 シンオールサンプラーおよびフォイルサンプラーの主要諸元

諸 元	型 式 (3' 固定型)	シンオールサンプラー	フォイルサンプラー
先端内径 (D_1) cm		7.40	6.80
先端外径 (D_2) cm		7.61	—
中間内径 (D_3) cm		7.41	6.80
面積比 $\left(\frac{D_2^2 - D_1^2}{D_1^2}\right) \%$		5.84	—
内側クリヤランス $\left(\frac{D_3 - D_1}{D_1}\right) \%$		0.07	—
試料長さ (L) cm		75.50	—
長さ直径比 (L/D_1) %		10	—

(註) フォイルサンプラーの外径は、写真-1に示すように上方に向つて大きくなつているので、面積比を求めることはできない。
また試料の長さは、個々の場合によつて異なる。

次に、2に述べたような土の乱れの判定基準における項目ごとに、これら2つのサンプリングによる試料について得られた試験結果を比較検討する。

① 含 水 比

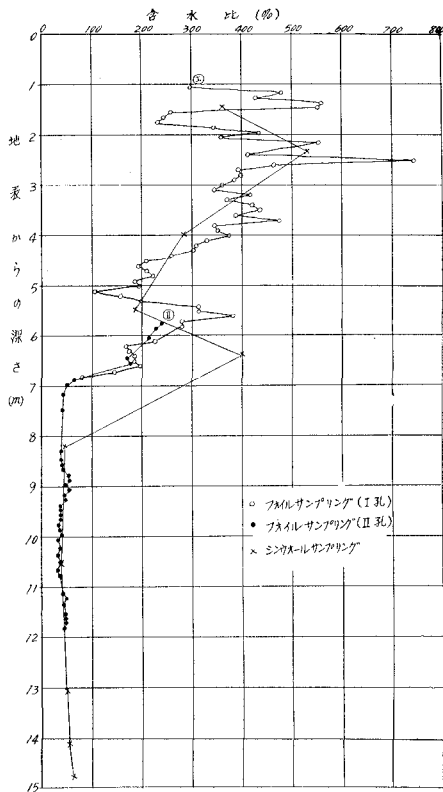


図-6 含水比 (ω) の深さ分布

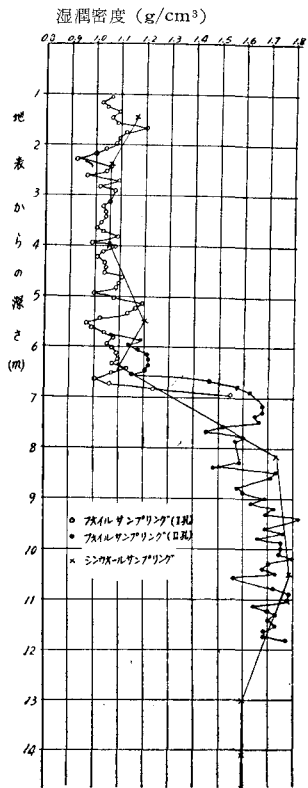


図-7 湿潤密度 (γ_t) の深さ分布

ほぼ一致した試験結果を示しており、ほとんど差異は認められない。なお乾燥条件としては泥炭は 60°C、その他の土は 110°C とした。(図-6 参照)

② 密度

湿潤密度、乾燥密度とも含水比の場合と同様に、近似しており差異はほとんど認められない。(図-7,8 参照)

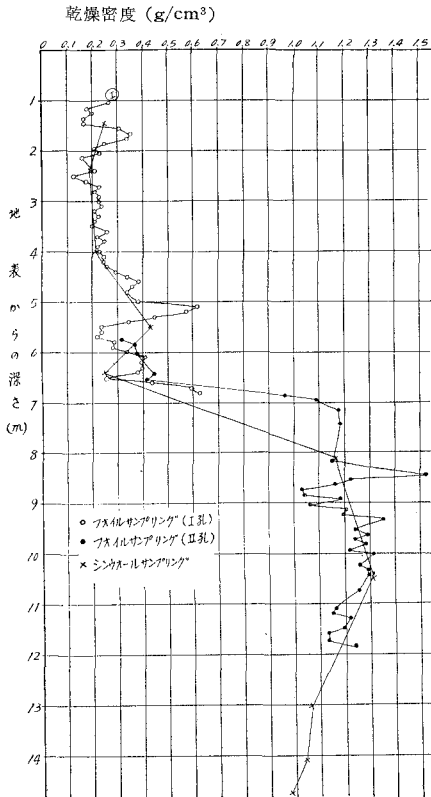


図-8 乾燥密度 (γ_d) の深さ分布

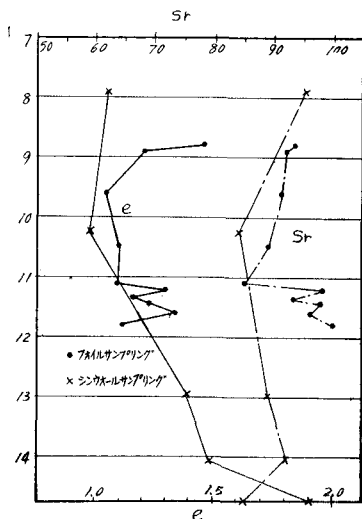


図-9 間隙比 (e) 飽和度 (S_r) の深さ分布

③ 間隙比および飽和度

間隙比および飽和度については、シンカールサンプリングの方が小さくなる結果が得られた。Hvorslev²⁾は、ゆるい粘性のない土や、正規圧密またはわずかに過圧密の状態にある粘性土の間隙比は、土の乱れによつて小さくなる傾向を示し、また密で粘性のない土または高度に過圧密された粘性土の間隙比は、土の乱れによつて増大する傾向があることを報告している²⁾。このような基準の適用が可能であるとするならば、採取試料について圧密試験を行なつていないので断言することはできないが、これらの試料を正規圧密またはわずかに過圧密の状態にあるものと考え、シンカールサンプリングによる方が、試料の乱れが大きいといえるかも知れない。しかしこれらの点も今後の研究によつて明らかにしていかなければならないであろう。(図-9 参照)

④ 一軸圧縮強度

既に述べたように、シンカールサンプリングとフイルサンプリングおよびそれらに伴う土質試験は、それぞれ別個に行なわれたため、同一レベルにおける試料の試験結果を対応させ比較することがむずかしいばかりでなく、試験結果も少ないため十分な検討を行なうことができなかったが、その結果についてみると、フイルサンプリングにおける一軸圧縮強度はシンカールサンプリングのそれに比べて小さいが、その間には成形の有無⁹⁾など、強度に影響を与えられ、因子の作用が介在しているのではないかと考えられる。(図-10 参照)

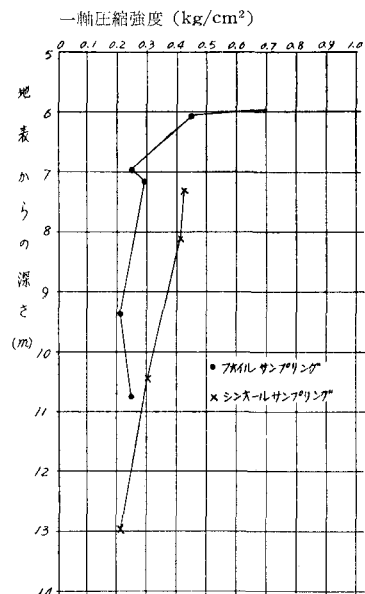


図-10 一軸圧縮強度の深さ分布

⑤ recovery ratio

図-11は、recovery ratio など、フォイルサンプラーにおける試料採取状態を示すものである。Gross recovery ratio は、押込み深さの全長に対する採取試料長（採取時における試料の脱落部分を含めたもの）

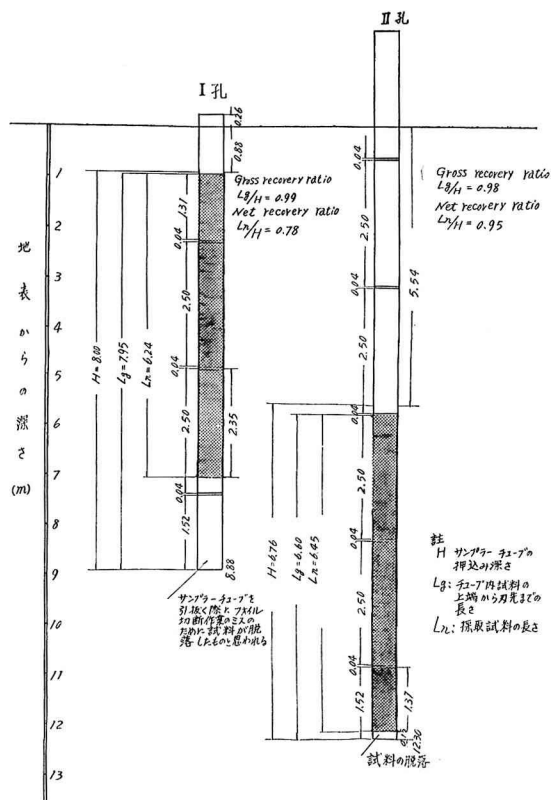


図-11 フォイルサンプラーによる試料採集状態

の比であつて、試料の深さ方向の変形率を表わすものとし、Net recovery ratio は脱落部分を除いた試料長の押込み深さの全長に対する比であり、同図におけるI孔の場合は、フォイル切断作業のミスのために試料がずり落ちたと思われるが、Net recovery ratio 0.78 は、この影響を含んだものである。シンオールサンプラーにおける Gross recovery ratio は Net recovery ratio にほとんど等しく、97~100%であつた。したがつて Gross recovery ratio についても両サンプリングはほぼ相等しいと考えてよいと思われる。最近、農林省八郎潟干拓事業所で行なわれた試験結果によると、湿潤密度1.3~1.5の粘土またはシルトからなる土層において、フォイルサンプリングにおける一軸圧縮強度はシンオールサンプリングにおけるそれよりやや大きく、密度についても前者は後者に比べてわずかながら大きい傾向を示し、間隙比は後者の方が少しばかり大きな結果が得られているようである。

以上の結果から、試料の乱れについて両サンプリングの優劣を決めることは未だ資料が十分でないので困難であり今後の研究を要する所であろうが、完全に連続した試料の採取が可能であり、ある程度以上の深さにわたつてサンプリングを行なう場合には、比較的短時間で作業を行なうことができるなどの点は、フォイルサンプリングの決定的な長所であることは疑いない。

4. む す び

フォイルサンプリングによつて得られた試料の試験結果については、われわれが行なつた試験の範囲内では、シンオールサンプリングの場合に比べて特に明確な差異を認めることはできず、今後の研究を期さなければならないが、乱れの小さい試料を連続的に、しかも比較的短時間で採取することができることはフォイルサンプラーの優れた特色であろう。しかし、フォイルサンプリングに際しては、十

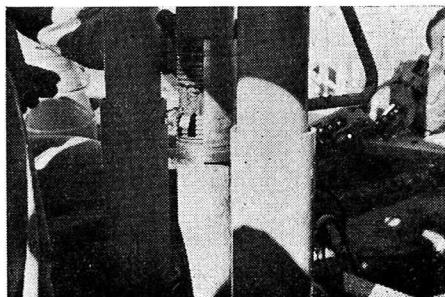


写真-3 フォイルテープの切断およびサンプラーチューブの切離し作業

分な知識と技術が必要であり、フォイルテープの張力、サンプラーの押込み方、引上げる時のフォイルテープの切断などに十分な注意を要する。

また泥炭性軟弱地のように、十分なアンカーが得られないところでフォイルサンプリングを実施する場合には、採取深さが大きくなるにしたがつてサンプリングが困難となるので、アンカーには特に注意し十分信頼のできるものとしなければならない。

採取した試料については、まず乱れの程度および抜き取りを検討し、それから試験結果を実用に供すべきであり、試料の乱れの量的判定方法およびそれによる補正方法の確立が必要であろう。このような目的に対して、この小論においても野外ベーンと室内ベーンについてそれぞれの結果の比較を試みたが、原位置試験結果とこれに対応する室内試験結果を比較して、両者の差異を検討することが考えられる。しかしそのためには、原位置試験方法が研究、改良され、もつと信頼できるものとなることが必要であり、また、地盤の含水比、密度などをアイソトープによつて測定する方法なども、早急に実用化されることが要望される。

この小論は、主として1950年5月~1960年9月にわた

つて北海道開発局土木試験所土質研究室で行なわれた試験結果にもとづいて作成されたものである。現地におけるフォイルサンプリングは谷藤機械工業 K. K の協力によるものである。また試験および結果の整理は、土質研究室各位の労に負うところが大きい。ここに謝意を表わす次第である。

参 考 文 献

- 1) W. Kjellman, T. Kallstenius and O. Wager:
Soil sampler with metal foils. (R. Swed. Geot. Inst. Proc. No. 1)
- 2) M. Juul Hvorslev: Subsurface exploration and sampling of soils for civil engineering purpose.
- 3) Bernt Jakobson: Influence of sampler type and testing method on shear strength of clay samples. (R. Swed. Geot. Inst. Proc. No. 8)
- 4) 陶山国男・他: ボーリングとサンプリング (土と基礎特集号 No. 2 昭和 35 年 2 月)
- 5) Calhoon: Effect of sample disturbance on the strength of a clay. (Proceedings A. S. C. E. 1955 Vol. 81)
- 6) T. Kallstenius: Mechanical disturbance in clay samples taken with piston samplers. (R. Swed. Geot. Inst. Proc. No. 16)
- 7) 森 博・他: 日比谷粘土のサンプリングについて (土と基礎特集号 No. 2 昭和 35 年 2 月)
- 8) 宮川 勇: 泥炭地の土質工学的調査法に関する 2, 3 の問題について (北海道開発局土木試験所報告第 20 号 昭和 33 年 12 月)
- 9) 山口英太郎・他: 試験供試体におよぼすサンプリングの影響について (土と基礎特集号 No. 2 昭和 35 年 2 月)