

泥炭性軟弱地盤における土工の調査・設計・施工について

総括執筆者(座長)	宮	川	勇*
話題提供者	大	平	徳**
同	渡	辺	進***
同	中	沢	裕****
同	河	野	文 弘*****

まえがき

泥炭性軟弱地盤が建設事業の対象としてわが国で大きな関心が払われたのは、当初はほとんど北海道地方に限られていた。それは、泥炭の生成因である低温多湿という条件から、同地方ではかなりまとまった面積と厚さにわたって分布しているということによるもので、その後国土の開発利用が進むにつれて、高速道路とか国鉄新幹線といった大きな事業のみならず、各種の工事でこの種の地層との係り合いができて、いまでは全国的な範囲で問題となる機会がふえているといわれる。ここで泥炭と呼んでいるのは、土質工学会の日本統一土質分類法における高有機質土 $\{P_i\}$ がそれに相当するものと考えられるが、植物遺体の堆積物が主な構成要素であるこの種のもので建設工事の障害となるような地盤では、地形・地質的要因、水文学的条件、現在に至るまでの気象的要因など、またそれらと係りある生態学的環境条件による構成植物の種別とその腐植分解の状態が多様不均質であり、さらにはそれらと共存する、あるいはその基底部をなす地層条件が非常に多面的である点に特徴がある。ここに、泥炭性軟弱地盤と包括的に呼ぶゆえんである。構成材料が素材として多様な性格をもつものからなり、その工学的認識の仕方にも問題が多すぎる現状^{1),10),12)}において地盤の問題としてこのような広範な内容をもつ課題を取り上げるのは困難なことといわねばならない。にもかかわらず取り上げられるゆえんは、ともあれ開発

に伴って現実に具体的な工事が進められねばならない実務としての立場に発するものといえよう。

この種の課題の研究討論にあたっては、調査・設計・施工の各部と、それらを通ずる有機的統括的な考え方や方策について集約を行うのが望ましいが、上述の状況にかんがみて今回は現在具体的な問題に達し、それを処理している諸分野の方々から情報、意見の提供を求め、それらの交換とそれを中心とする討議を通じて今後の方向への示唆を得、その成果を実施面に反映させたいとの意図によるものであった。したがって、あらかじめ話題提供者間の内容的な分担や思想統一は行われなかった。前述の経緯と時間的制約があって、今回実際に取り上げられ、あるいは討議された内容は、結果として対象が限られており、また、取り上げられ方も問題によって精粗がまちまちであったこと、十分な討議を経たとはいえない実情などを考えると、とりまとめにあたっては、今回の成果の名において筆者が総括的展望を試みるのは独断的見解の入るおそれの多い点で不当であるとする。ここでは話題提供者による報告(講演概要集第3部参照)と、それを中心とした討議経過(若干の補足と誌上参加を含む)の要旨を述べ、さらに筆者のいささかの補足的見解にふれたい。なお、紙数の都合で内容はかなり簡略化しているので、発表・討議応答の真意を損なう点の多いことを恐れるものである。関係各位の了承を得たい。

1. 話題提供者による報告の要旨

(1) 泥炭質の軟弱地盤における土工の調査・設計・施工についての諸問題(大平)

前刷においては、調査・設計・施工の全般にわたって注意検討すべき点を提示、あるいは設問の形で述べてい

* 正会員 工博 秋田大学教授 鉱山学部土木工学科
 ** 正会員 工博 防衛大学校教授 土木工学教室
 *** 正会員 国鉄鉄道技術研究所土質研究室 主任研究員
 **** 正会員 日本道路公団試験所 第二試験室長
 ***** 正会員 北海道開発局土木試験所 第三研究部長

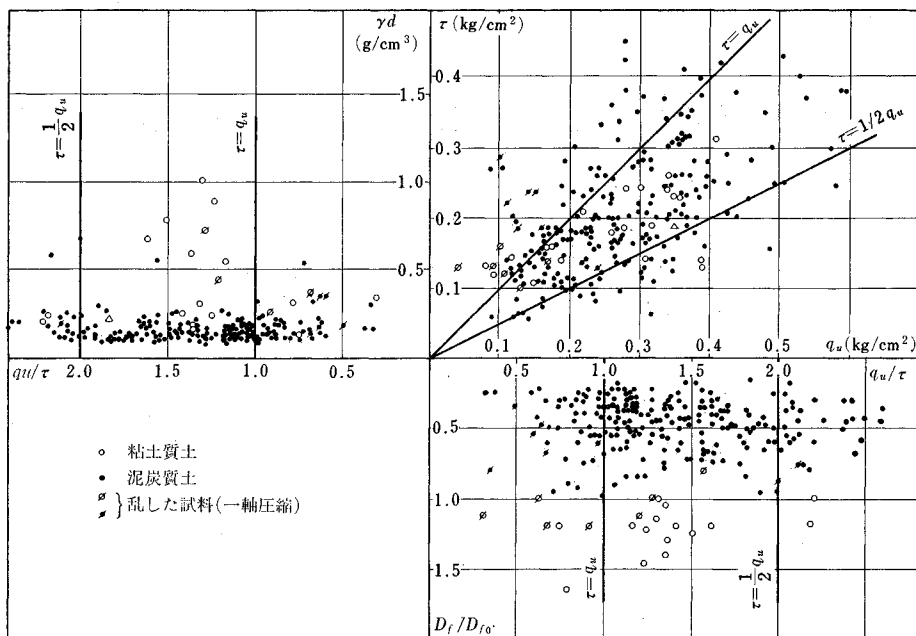


図-1 一軸圧縮強さ q_u とベーンせん断強さ τ との関係

るが、当日はその逐次説明は時間的に無理があるとして、その内容と関係をもたせながら他の提供者の話題と共通点をもたせて新たに「設計上必要な泥炭質土のせん断強さの評価の問題」と題して、次のような諸問題を提起した。

まず、盛土に対する現在の設計法を概説し、最も単純な場合として内部摩擦角が無視できるような軟弱地盤上に瞬間載荷される構造物の安定解析を支持力論に基づいて解析する際の各要素間の影響の度合いを例示し、残された他の解析法においてもその中に含まれる諸要素相互間の影響の度合いはほぼ同様な考え方で検討できるであろうと示唆した。次に安定解析に用いられる諸要素のうち、強さの要素は泥炭質土ではその評価がかなり困難であることを次の事実から推論し、適切な評価をいかにして下すかが問題であり、その解明が急務であるとした。すなわち、せん断強さの評価法の一つである一軸圧縮試験は、試験中にかなり多量に

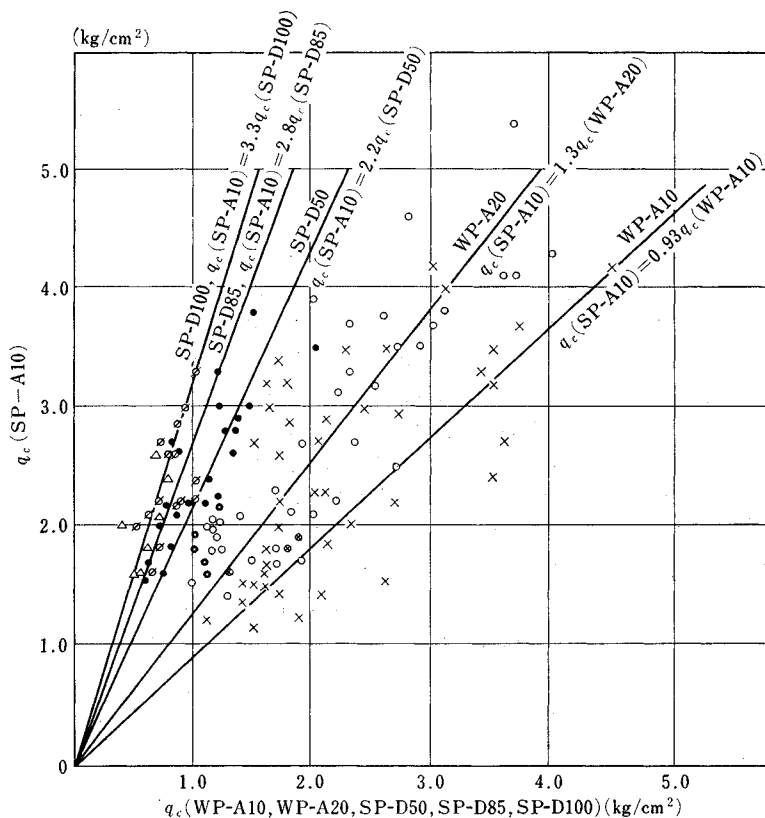


図-2 形状の異なるコーン相互間の貫入指数

脱水し、また、いつまでも変形し続けるために、破壊強さ、あるいはあるひずみに対する強さを q_u としても、

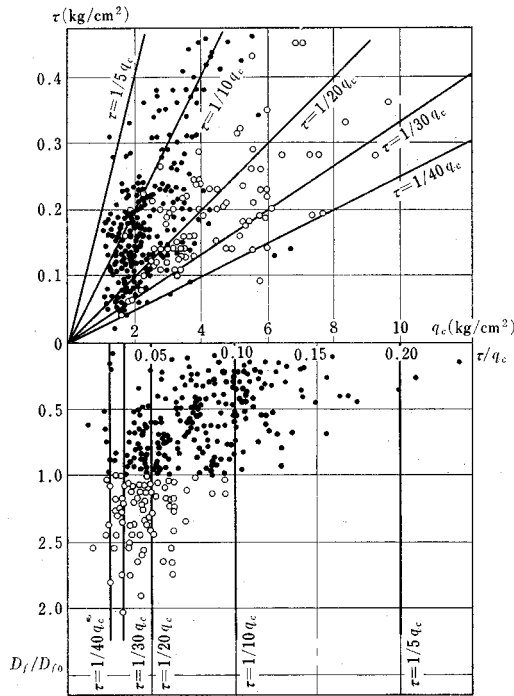


図-3 泥炭用静的貫入試験(単管 A10 cm², SP-A10)による q_c と τ との関係

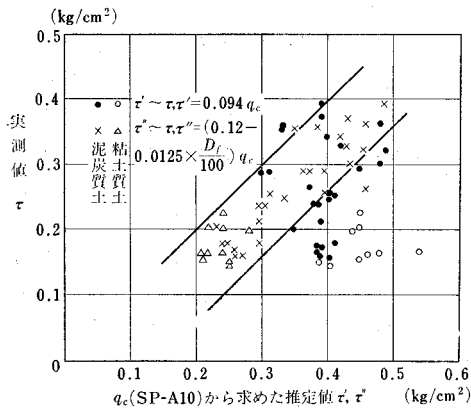


図-4 q_c から τ を推定する方法

いずれも問題がある。また、ベーンせん断試験においては、それから求められたせん断強さ τ には鉛直方向の強さと水平方向の強さが含まれているので、それを分離測定しようとしてもそれがなかなか困難である。なお、 q_u (ただし、20% ひずみに対応する強さ) と τ との関係は図-1 に示すように、あまり顕著な関係は見当らない。コーン貫入試験では図-2 のように、コーンの形状寸法が変われば得られた結果が異なることを示し、例としてコーン断面積が 10 cm² の単管式泥炭用静的貫入試験機を選んでその結果を図-3 に示し τ - q_c 相関が泥炭質土と粘土質土では異なり、相関の度合いもそれほど強くな

いことを述べた。さらに、図-3 から求められた泥炭質土に対する平均的な q_c と τ との関係、およびそれに深さの影響を加味した関係を利用して、ある地点における貫入試験結果から τ を推定して図-4 のように実測値と対比させた。その結果、この地点では τ と q_c の平均的關係を利用して q_c から τ を推定するのはかなり難しく、一方、深さを考慮したとしても推定値が実測値を下回っているので、他の地点において必ず推定値が実測値を上回ることになり問題が残るとした。

(2) 線増工事中に破壊した鉄道盛土の復旧工事(渡辺)

東北本線複線電化工事における既存線に対する線増盛土工事において、小川原一上北町間の泥炭性軟弱地で発生した基底破壊に対する復旧対策工法として、レール杭を打設したほか押え盛土を併用したシートパイル締切盛土工法を採用した事例について、地盤調査と圧縮沈下の問題を中心に報告した。まず、地盤の代表的地層状態(図-5)および工学的性状を示した。ダッチコーンは、適用土質が広いが、泥炭地のような超軟弱地盤では自重沈下するので不正確であるとし、技研Ⅲ型コーンペネトrometerは適性があるとして、この地盤で $q_{c(m)}/q_{c(DC)} = 0.71$ なる関係を示した。調査期間中に発生した十勝沖地震の余震に際して、地表伸縮計のデータから震度4程度では側方流動を促進する傾向はみられず、また、コーン支持力のデータから地震前後で全体的な強度変化は生じなかったようである。調査結果を検討した結果とられた上記の工法について、とくに締切盛土による一次元圧密による沈下傾向を2つの考え方(後述)で推定した結果を示した(図-6)。復旧後の観測値と対比させ、さらに、シートパイルのたわみによる沈下量修正を施した結果、両者はかなり近似するとした。また、その結果から実際問題としては泥炭性地盤でも一次元圧密による推定ができると考えられるとして、実測曲線から今後生ずべき沈下量を放物線法と対数曲線法⁶⁾とにより推定した結果を示した。この方法は、次のような考え方によるものである。単純な条件の一次元圧密における平均圧密度 U と時間係数 T との関係が $U = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \cdot \exp(-M^2 T)$ で表わされ、 T が小さい間は $T = \pi/4 \cdot U^2$ で近似されるので放物線法として U と \sqrt{T} の直線関係が利用され、また、 T が大きくなると $U = 1 - 8/\pi^2 \cdot \exp(-\pi^2 T/4)$ で近似され、対数曲線法として $\log 100(1-U)$ と T との直線関係が圧密沈下量推定に使われるとするものである。

(3) 軟弱地盤における土工の調査・設計・施工(中沢)

東名高速道路の建設にあたり遭遇した有機質軟弱地帯

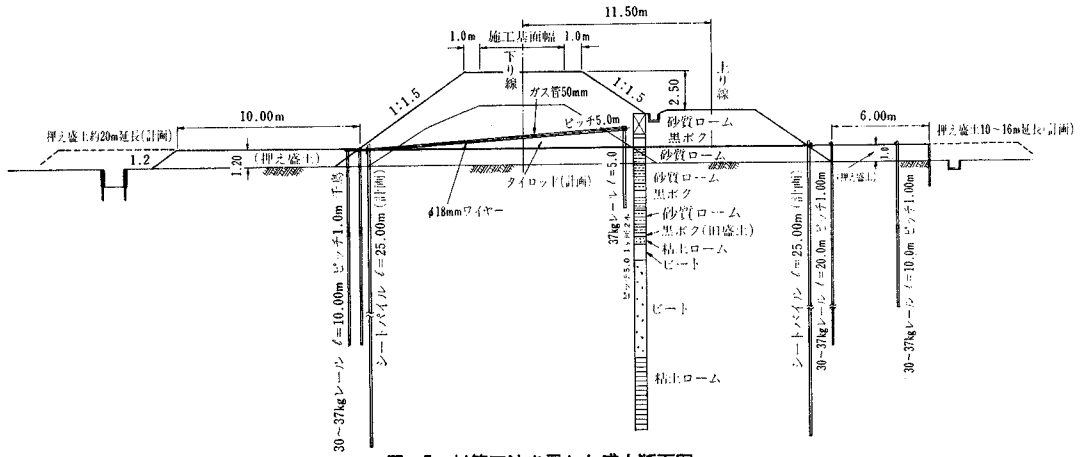


図-5 対策工法を示した盛土断面図

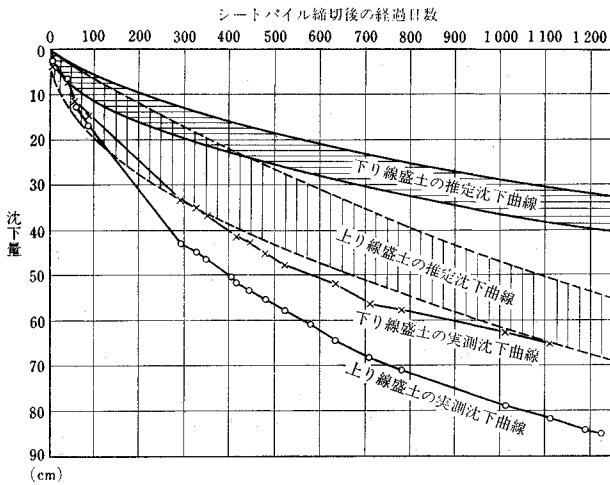


図-6 盛土の計算沈下曲線と実測沈下曲線

の地層とその処理工法(表-1)を示した後、とくに神奈川県愛甲地区、静岡県袋井地区における沈下計による動態観測結果を中心として報告している。試験盛土中の

実測によれば、図-7 に示すようにバーチカルドレーン処理は沈下の時間経過において無処理のものとは有意差は認められない。別な施工例では、地盤が有機質土あるいは粘性土で構成されていても沈下経過については同様な場合が多いが、強さの増加については、処理地盤の方が時間的に早く、大きい強度増加が認められる場合が多いようである。有機質土では二次圧密沈下量も大きく残留沈下量の大きいことが懸念されるので、供用開始後も約4年間にわたり約40断面約100点の沈下計について沈下追跡調査をしており、今後も継続される。主として粘性土から成る厚木地区と有機質土の多い愛甲地区の例を選んで、土層状態(図-8)と沈下の時間経過(愛甲地区のみ図-9に例示)とを示し、その

結果から最近の沈下量は時間を対数で表示すれば、直線的に増加する傾向があること、一般に有機質土は地表面近くにあり、二次圧密沈下量を含めて実用上支障とな

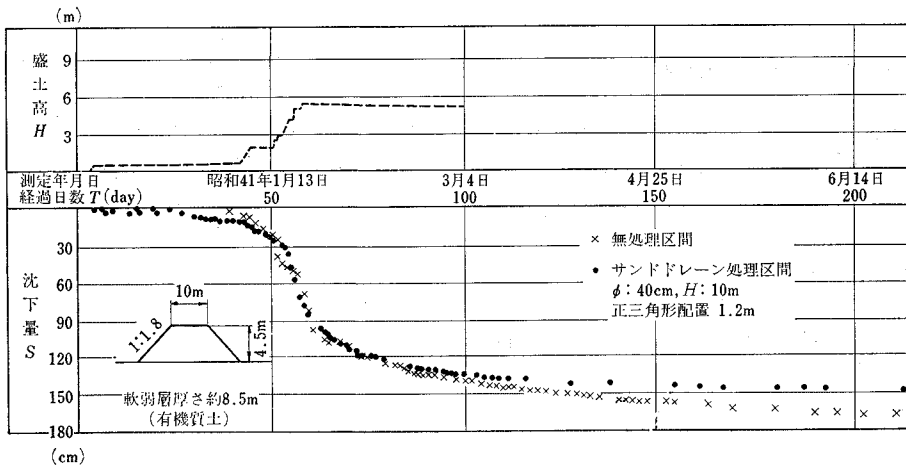


図-7 東名高速道路愛甲試験盛土区間における時間-沈下量曲線

ような沈下は比較的短期間で終わり（本例では表層厚約 10 m について約 1 年），その後は深い層の沈下が大部分であると思われるとしている。

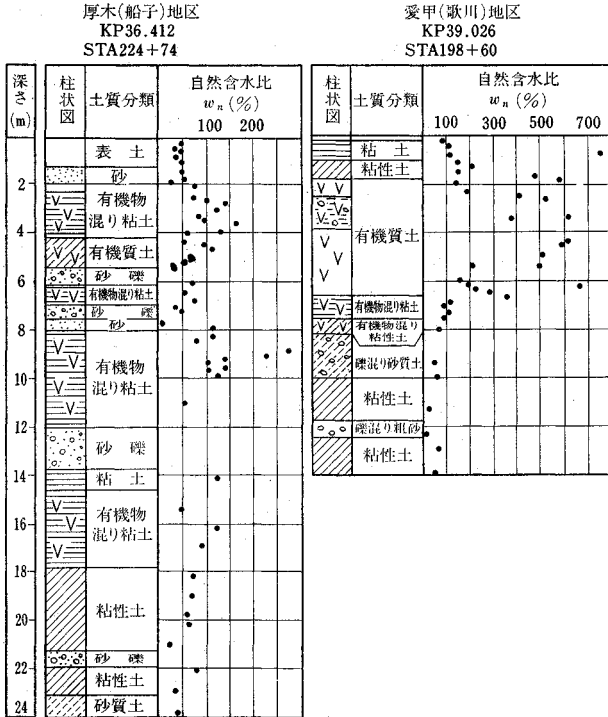
泥炭地における問題点の所在を略述した後，表題の全般にわたって一般的見解を述べている。

(4) 軟弱地盤における土工の調査・設計・施工——泥炭地の盛土の場合——（河野）

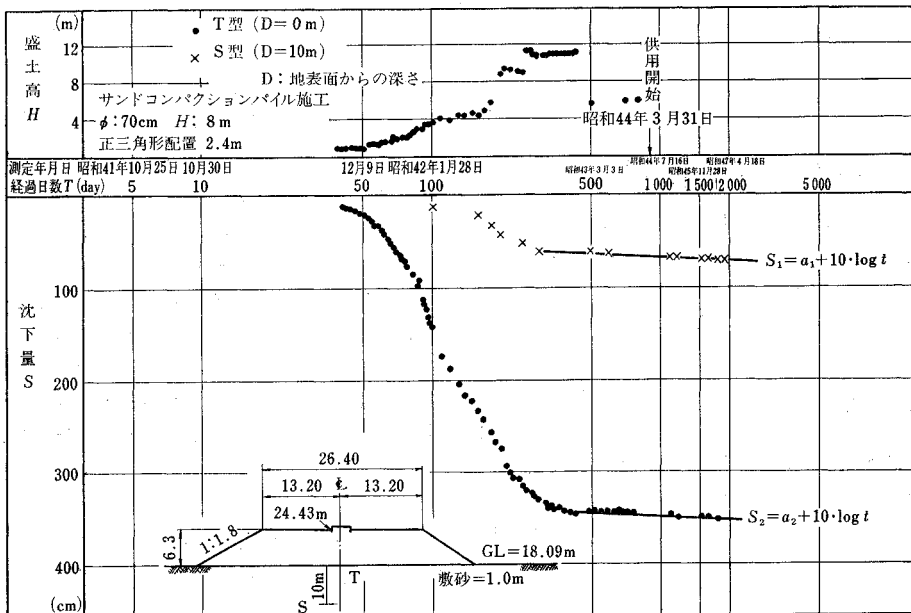
調査については，対象範囲の土層構成，地盤土質のせん断強さ，泥炭層を含めた軟弱層の圧密特性を最小限知らねばならない。せん断強さは泥炭では採取試料についての試験には難点があるので，サウンディングから求めることが多い。

ベーン試験もいろいろな問題点を含んでいることを述べ，これが他の方法より良い結果を与えるとしても，泥炭地盤の不均質性を考えるとデータが小間隔で得られることが望ましく，その点ではコーン支持力とせん断強さの関係づけが十分にできていれば，設計に必要な強度の評価には一般に静的コーン貫入試験が便利であるとしている。最終沈下量予測のための圧密試験には，サンプリングになお多くの問題が残されている。土層構成の調査には，ピート・サンプラーが軽便である。

盛土設計にあたっては，計画施工基面を確保するに要する実盛土高を求めねばならない。設計計算では最終沈下量の予測には多くの問題があるが，実用上は定常的な圧密試験による体積圧縮係数 m_v を用いている。実盛土荷重によるすべり破壊の検討については，実用上の処理として円形すべり面を仮定し，北海道における盛土破壊例 14 か所について検討した結果に基づいて，泥炭層のように深さ方向の強度変化が著しい場合には，すべり円の深さまでの素地状態におけるコーン支持力の平均値を \bar{q}_c としたと



図一8 東名高速道路軟弱地盤土性図の一例



図一9 東名高速道路愛甲地区（歌川）(STA 196+60)における時間—沈下曲線

表-1 東名高速道路有機質軟弱地盤地区

地区名	軟弱層の土質			基礎地盤処理工法		
	土質区分	自然含水比 (%)	層厚 (m)	パーテカル ドレーン	サンドコン パクション パイル	押盛 え土
愛 甲	有機質土	200~800	6		○	
観音谷戸	有機質土	200~300	6		○	
江ノ尾	有機質混 じり粘土	100~230	15	○	○	○
袋 井	有機質土	200~1000	5~7	○	○	○

き、 $\bar{\sigma} = \bar{q}_c / 20$ をもってすべり円上の平均せん断強さとして安定計算するのが実用設計上適当であろうとの判断を示し、その経緯について細部の検討をしている。

盛土施工については、とくに基盤面処理にふれ、抜根やすき取りは好ましくないこと、処理工適用の有無にかかわらず必要とする敷砂の効用とそれに適するための厚さ、敷幅などを述べている。さらに、沈下測定は施工中の不測事故の予知、土量確認のためにも必要であり、また、施工過程を通じて将来の沈下推移を予測することは施工管理上のみならず、竣工後の残留沈下量の推定、舗装の施工時期の判断資料とするなどに有用であるので、多数の長期にわたる観測結果に基づき双曲線式 $\Delta H_t = \Delta H_a + (a + bt)^{-1} \cdot t$ によって沈下と時間の関係を求めているとしている。ここに、 ΔH_a : 観測開始時 ($t=0$) における沈下量、 ΔH_t : 観測開始後 t における沈下量、 a 、 b : 定数である。 a 、 b の精度は観測値が多いほど高くなる。最後に施工管理上の諸注意として、沈下とくに異常沈下、盛土本体のひびわれ発生などの常時点検と発見時の処置、搬入盛土材料の過大な堆積の危険性、準備工としてのやり形・丁張などの変状点検、重要な観測施設の確保など細部にわたって述べている。

2. 討議の要旨

(1) 課題全般に対する討議・意見

① 実験室の試験は現場の調査・設計・施工に役立たないのか (ただし、圧縮・圧密、盛土地盤の破壊について)。また、今後いかにあるべきかについての見解はどうか (九州大学 山内豊聡)。

渡辺: 部分的には役立っているし、今後いっそう役立つように現場と実験室の両方の立場から努力しなければならない。今回の例も設計や施工管理に役立つとの考え方から話題を提供した。実験室で求められる最終圧密量や圧密によるせん断強さの増加率などは、条件に合う限り信頼性の高いデータと思う。他方、盛土による地盤破壊は側方流動による変状と破壊を統一的に検討できる実用的な考え方が出てくることを望んでいる。

宮川: 本質的には実験室の標準的な試験結果がそのま

ま定量的に利用できるということではなくて、現地における動態を判断する重要な資料の一つであると考えられる。ここでは、実際の手法としての利用の意味であるとした場合、例えば強度定数としての q_u は限られた範囲や状態の $\{P_t\}$ の強度についての工学的指数として利用が考えられなくはないが、試験時の挙動や泥炭地の不均質性、試験に至るまでの問題点や手数を考えると設計計算のための一般的試験法としては肯定しにくい。現状では、原位置試験を利用しようとする実用上の立場が理解できる。圧縮については、ていねいに調査採取された試料についての圧密試験結果は、沈下量の推定について結果として実用的意味をもっているように思われる。沈下の時間経過については、その特異性から考えて普通地盤に比べて定量的利用はいっそう困難であろう。また、試験結果の利用の例として C_u/p についての見解 (後述) を述べた。実際問題への適用性を追求するという方向で今後も努力すべきことはいうまでもない。

② 泥炭質土の工学的分類法について: 今回の発表のような経験を一般化するには、泥炭質土の工学的判別分類結果を示す必要があると思われる。土質工学会による P_t 、 M_k 、 OH といった分類法をどう評価するか。また、別の方法があれば、その披歴をおねがいがしたい。

大平: 現在の時点では P_t 、 M_k 、 OH の性質の違いを、生成条件から生じるであろう相違を含めて、工学上定量的に把握していないと思う。一応、生成条件を同じくするであろう P_t と M_k を含めて泥炭質土として扱ったが、これから P_t と M_k の違いを明らかにしていきたい。 OH の泥炭質土との違いについても、これから勉強したい。

渡辺: 工学的判別分類法の確立の必要性はご指摘のとおりである。日本統一土質分類法の中に高有機質土が位置づけられていることは意義深いと思う。今後、この分類に属する土の客観的定量的分類法の確立が望まれる。

宮川: 工学的分類法はこれまでもいくつか提案されているが^{17) 19)}、広い合意を得てはいないように思われる。素材としての工学的分類では $\{P_t\}$ はさらに細分類されねばならないと思われる。それへのアプローチとしてのおぼろげな見解は、例えば別な機会¹⁰⁾ に述べたようなものである。さらに、対象構造物や問題に対応した地盤構成全体としての工学的な土地 (地盤) 分類の問題として把握することが、それに劣らず必要であるように思われる。

③ 現場では泥炭質土はいたって不均一 (それ自体およびその下の層は異なった軟弱層、泥炭は 5~6m の厚さにすぎない) であると思うが、それらを一緒にして論じてほしい。

宮川：これまでも、しばしば述べているとおりである^{9)・10)}。今回の諸報告も一応この立場に立っているものと理解している。泥炭質土の不均質性については、異方性とともにもっと定量的に調査研究される必要がある。それへの試みもみられるが⁹⁾、さらにこの方面の解明とその結果に基づく工学的処理法の検討が望まれる。

④ 地盤改良工法について：話題として提出されなかった。できればこの問題に触れてほしい。とくにパーチャル・サンドドレーン工法と締固め砂杭工法の選択について伺いたい。

大平：概要集では抽象的ながら二、三の問題を指摘した。しかし、改良工法の優劣を論じるには、例えばドレーン工法を理論に忠実に施工しているか、地盤応力が理論どおり発生しているものか否かなどの諸点をまず明らかにする必要があり、それらの点がわからないままであったので、話題の提供を遠慮した。

渡辺：泥炭性軟弱地盤の改良ということになると工法の適用範囲は狭くなる。いまのところ技術的には泥炭の密度をあらかじめ高める方法（プレローディング工法、押し盛土工法など）、密度の高い他の材料で置換する方法（置換工法、砂礫杭工法など）が最も確実な効果を得るように思う。パーチャル・ドレーン工法や締固め砂杭工法は、圧密促進の効果がまだ確認されていないと思うが、後者は泥炭がある程度圧密した段階では先端支持杭としての効果が期待できるようである、として具体例や適用条件について述べた。ただし、分解した泥炭を主体とする地盤は、この限りではないとしている。

宮川：見解の一部は現状では別の機会^{9)・10)}に述べているようなものである。今回は時間的制約もあって検討されなかったのは残念である。試験工事として研究を進めている例⁹⁾もあり、そのほか実際工事を通じて諸方面で研究されていると思われるので、検討の機会があれば幸いである。

⑤ 水路掘削の場合、すべり破壊によって河岸が河心方向に押し出され、また、河床も隆起することがある。水路に平行した築堤盛土の場合この現象がとくに起き易い。このような現場は、表層泥炭（5～10 m）と粘土層の間にあるとくに弱い層ですべり破壊を起しているようであり、すべり面も複合円弧、極端な場合には水平にすべっているようである、として現在採用している諸工法を説明した後、このような場合の安定解析法、対策工法およびすべり破壊を起した場合の処置について伺いたい（北海道開発局 土佐林宏）。

大平：一般論として、泥炭質土が水で飽和され、しかも湿潤密度が水のそれとほとんど変わらないことを考えれば水中掘りにすればよい。ただし、掘削時の水の補給法や掘削後の水面を斜面崩壊を生じさせないように低下

させることが難しい。泥炭層と基底粘土層との間にヘドロがある場合には、その付近が弱点となっていることがわかっているので、安定解析法としては、この弱点部分を通るすべり面が過半となるような複合すべり面による解析が最も妥当な方法と考えられる。水路に近接した掘削土による盛土の場合には条件が厳しくなるので、急激な荷重を避けねばならない。盛土が水路に近すぎたり、盛土の高さが大きかったり、沈下に対する制限が厳しい場合には地盤処理が必要になるかもしれない。斜面崩壊に対する防止工法としては、指摘された在来工法のほかにも泥炭と粘土の境界層付近を積極的に処理するとか、水路と平行して副水路を設けて地下水位を下げるなどの方法が考えられる。すべり破壊を起した場合の復旧工事は、一般に予防工よりも大規模になるが、破壊原因をつきとめることが何よりも大切であり、それによって適切な対策工法は、おのずから選択されるであろう。

（2）提供された話題報告に関する討議

a) 渡辺の報告についての質疑

① 「シートパイルによる締切盛土工法を行った場合盛土荷重の分散を遮断するから、圧密沈下量は通常の盛土の場合より大きくなりうる」とした理由。すなわち、体積の減少とせん断による形状の変形を伴う沈下の和とする考えでは、シートパイルを施工しない場合の方が大きくなるのではないか。

② 圧密沈下量の計算方法について2通り行っているが、その方法と結果の概要について伺いたい（東海大学 稲田倍徳）。

渡辺：① ご指摘のとおりである。ここでは設計上の立場から鉛直方向のみの一次元圧密に限って考察している。② 2つの計算法にはあまり本質的な差はない。段階式盛土の設計の際に第一段階の圧密が十分進行しないうちに第二段階の盛土をする場合、どんな速さで沈下が始まるかという問題がある。第一の方法は、第一段階（シートパイル締切り前）と第二段階（締切り後）の全荷重が締切り前のある時点で瞬間荷重されたと考えられるもので、図-6の $t=0$ では盛土は有限の速さで沈下が始まっている。第二の方法は、第一段階の残留沈下と第二段階の沈下の全量に対応する荷重の変化が図-6の $t=0$ の時点で瞬間的に生ずるとしたもので、この時点での沈下曲線は縦軸に接している。図には両方法の結果が示されている。

b) 中沢の報告についての質疑

① 無処理区間と処理区間の沈下は、ともにすべて圧密沈下と考えるか。

② 処理の有無にかかわらず、すなわち最大排水距離の長短にかかわらず、圧密速度は同じとする結論には同

意できない(例えば、側方流動による沈下の分離法の問題、泥炭層では見掛け上の圧密係数が非常に大きいことなどを考慮しないというような沈下解析に問題があるのではないか)。

③ 処理の有無にかかわらず沈下過程は同じであるが処理した方が時間的に早く、大きい強度増加があると結論した理由(広島大学 吉国洋, 誌上参加)。

中沢: ① ともにすべて圧密沈下量であるとは考えていない。全沈下量の中にはそれ以外の例えば側方流動などによる沈下量が含まれていると考えている。② そのように結論したものではない。前刷中、圧密と沈下(圧密以外の沈下量を含むと考えられる場合)とを区別して表現したつもりであるが、まぎらわしかった。処理の有無にかかわらず、全沈下速さの傾向が近似しているとの結論である。圧密沈下速さに限れば処理地盤の方が早いと考えられ、それは強度増加が早いことから説明できると思う。③ 圧密沈下に限れば前問と同じになる。沈下については具体的に証明できるデータはない。前刷の表現は適切でなかった。「処理地盤の方が短時間に強さが増す」との表現がよかったと思う。

c) 河野の報告についての質疑

札幌一岩見沢間の高速道路建設の予定区間の泥炭性軟弱地盤の延長、層構成と性状ならびに盛土規模(高さ6~8m)を説明した後、地盤強度の評価は対策工の選定上非常に重要であるとして、同地域の調査結果では $q_c/q_u \approx 5$ であり、したがって、 $q_c/\bar{\sigma} \approx 10$ ということになる。そこで、「 $\bar{q}_c/\bar{\sigma} = 20$ とするのが実用上適当」というのは少し不経済ではないか。また、北海道の場合、施工可能期間が短いということもあって施工速度が速いのではないかと思われるので、破壊例について破壊直前の盛土速さの資料を教示されたい(日本道路公団 若月稔)。

河野: 土のせん断強さについて論じているのではなく設計手法として破壊盛土の例から逆算した粘着力を設計計算上のせん断強さとする便法を提案したものである。したがって、この粘着力には安全率の要素も加味されている。われわれの多数の調査例でも、ペーンせん断強さとコーン支持力の間には $q_c \approx 10 r_u$ の関係がある。なお泥炭に対する一軸圧縮試験については、応力-ひずみ曲線が直線的に上昇するが、15%ひずみに対応する圧縮応力を泥炭の一軸圧縮強さとするには疑問があり、さらに何%ひずみに対応するものをとるのが妥当かわからないこと、および試料成形が困難なことなどの問題がある。したがって、われわれは一軸圧縮試験からは泥炭のせん断強さを求めていない。質疑の第二点については比較的短期間の盛土作業中に破壊した例が若干ある。それによると、盛土速度は11日間で1.48m、2日間で3m、14日間で5.20m、11日間で2.1m、23日間で3m

などあり、1日平均の盛高は13cm、150cm、37cm、19cm、13cmに相当する。実際の現場では1回のまき出し厚さは30cmが普通であるから、1層のまき出しが終わったら3~4日以上放置して2層目のまき出しにかかるといった注意が必要と思う。

3. 関連事項について二、三の補足

(1) 圧密による強度増加比(C_u/p)

軟弱地盤における地盤改良効果の期待の尺度として、非排水せん断強度 C_u の圧密による強度増加比 C_u/p は重要な関心をひく問題である。泥炭の乱さない試料について一面せん断試験結果から C_u/p が0.43くらいとの報告¹⁰⁾や、北海道の泥炭層(P_t)についてペーンテストによる現地データとして0.5~1.0、あるいはそれ以上との報告例⁹⁾もある。泥炭のように静止土圧係数 K_0 値が粘土に比べて小さくなるものでは C_u/p は小さくなるのではないかと¹³⁾、また、有機質土は一般的に通常の粘土に比べてせん断強さが小さく圧密による強度増加が望めないといわれる¹⁴⁾として、それらの地盤改良効果について疑念をもつ見解もある。雄物川流域の粘性土および(M_k)に近い高有機質土のリモールド試料についての室内試験結果¹¹⁾によれば、三軸圧縮試験による圧密非排水試験の結果として、等方圧密の条件下ではもとより、 K_0 圧密状態でも粘土($K_0:0.5$ 前後)に比べて高有機質土($K_0:0.35$ 前後)では明確に大きい値が得られており、クリープ破壊試験の結果でも同様な傾向が認められている。これは、有効応力解析によるせん断抵抗角が粘土の30°程度に対して高有機質土では50°以上にも達することが、このような効果に寄与しているものと思われる。この結果は、応力や変形条件の異なる現地の問題についても、有力な示唆と利用価値をもつものと考えられる。

(2) 盛土による沈下の時間経過の現地実測データによる処理法

沈下に関する実測データの処理法として、いくつかの紹介・提案があった。各方式の特性について討論会では検討する余裕がなかったが、ここで補足的見解を述べたい。

a) 放物線形式

最終沈下量の推定に利用されているが、時間経過についていえば、この形式による処理法の背景から考えると初期経過に対する適合性はよいとしても、後期にははずれてくるであろうと推察される。

b) 対数曲線形式

上記と同じ理由で後期の適合性はよいとしても、初期

の経過はずれるのであろう。また、最終沈下量 $\delta_{t=\infty}$ を推測しようとするには、沈下がかなり進行した後のデータを用いる必要があること⁹⁾、両方法とも $\delta_{t=\infty}$ の値を仮定して表示式による適合性のよいものを見つけ出すという手段があると思われる。

c) 片対数形式 (log t 法)

軟弱地盤とくに有機質地盤ではかなり長期にわたって時間経過がこの形式によく適合する例がある。ただし、この表式では沈下は収束しないことになるので、長期経過後には過大な沈下量を推測する場合があろう。また、地盤の強度、変形特性によるある限界以上の載荷状態に対してはせん断変形が主体的役割を占めることになり、沈下がこの形式で推移するような場合も考えられるが、このような載荷状態は、その地盤の状態に対して好ましいとはいえないと思われる。この表示による場合の時間軸に対するひずみの勾配として示される二次圧縮係数 C_s は、二次圧縮を定量的に表わす有用なパラメーターと考えられる。正規圧密状態にある北海道石狩地方の泥炭について、定常的な室内試験の値として C_s は 0.02~0.04 の範囲のものが多く、普通の粘性土では 0.01 以下 10^{-3} のオーダーになり、現地データでは破壊に至らない範囲の載荷状態でも一般にこれより大きく、観測期間内の値として泥炭層について 0.035~0.09 以上に達する例があるとの報告がある⁹⁾。この相異は、現地での応力状態が定常的な圧密試験の K_s 状態とは異なることによるせん断変形の影響が主因と考えられる^{9), 18)}。また、過圧密状態では C_s は著しく減少し^{9), 18)}、その値は過圧密比による。この特性は泥炭層に対する予圧密工法の有用性を示唆するものである⁹⁾。

d) 双曲線形式

基盤内の変形状態が体積変化による圧密を主としており、せん断応力の影響が相対的に小さければ沈下はいずれ収束するに至るものと考えられ、その経過は双曲線形式でかなりよく整理される例が多い^{9), 18)}。この表式における $1/a$ は、 $t=0$ における初期沈下速度、 $1/b$ は $\Delta H_{t=\infty} - \Delta H_a$ を示す。多数の例によると、正常な載荷状態では長期観測値はこの形式でよく表示され、また、特別な基礎処理をしていない地層についての推定沈下量は、定常的な圧密試験をもとに算定した沈下量と、かなりよい適合性を示すといわれている。そこで、逆にあらかじめ調査試験がいていねいに行われている場合には対象層による最終沈下量が、したがって表式の b の値がかなりの確かさで推定されるので、初期から僅かなデータで事後の経過をよく推定できることになる。泥炭性地盤はいくつかの成層からなるのが普通であるから、地表面の沈下量には経時に伴って下層とくに基底粘性土層による影響が時間的遅れをもって入ってくるので、全沈下に対しては

適当な時間経過ごとにデータを再整理して a, b の値を修正し、推定精度を高める必要がある場合も多い。

沈下観測（できれば構成地層別）のデータについて上記の諸方式による処理法の適用性を今後各方面で広く検討されることが望ましい。

(3) その他

a) 泥炭性軟弱地盤上の盛土による破壊

破壊例を詳細に検討してみると、実際に破壊を支配する層はいわゆる泥炭層内にはなくて、討議にもあるように基底粘土層との境界付近にある有機質ヘドロ層やさらに粘土層上層部である例⁷⁾や、地盤内に介在する弱い有機質粘土層とか有機質土層の下端や、さらに下の海成粘土層の中をすべり面下端とするらしいとの報告例¹⁵⁾がある。したがって、上述の泥炭における C_u/p の特性をもあわせ考慮して、すべり層の推定には慎重でなければならない。

b) 施工中および竣工後の管理調査

泥炭地では、設計計算の前提条件や基盤の不均質性に対する取扱いの簡略化が著しく、その挙動のある部分は初めから設計計算が不能なものもある。そこで、普通の軟弱地盤にもまして、事前調査から施工中の管理、事前の動態調査を含めて、たえず構造物と地盤との対応状態に応じて土質力学を背景とした適切な対応処置が必要である。そのきめの細かさのいかんが成否を決めると考えられる。

おわりに

今回取り上げられた事項およびその討論内容は、残念ながら課題の一部にすぎない。ここには列挙することを省くが、ほかにも重要かつ緊急を要すると考えられる多くの問題が解明をまっているように思われる。この種の企画の性格として止むを得ないことであるとはいいながら、会の進行およびとりまとめについて座長としての不手ぎわを詫言ねばならない。しかしながら、これを契機として、この方面の研究、技術の発展開発のための一助ともなり、さらに広範囲の方々の関心と積極的協力が得られれば幸いである。最後に研究討論会に参加し、さらに討議して下さった方々に厚く謝意を表したい。

参考文献

- 1) 大平至徳：(泥炭) 基本的性質と調査設計，施工技術，第4巻第6号，pp. 146~164，昭和46年6月。
- 2) 大平至徳・河野文弘・渡辺 進：土質調査法-第1回改訂版，第15章 特殊土の調査方法，A有機質土，土質工学会，pp. 665~678，昭和47年3月。
- 3) 大平至徳：内外の泥炭，土と基礎，No. 180，pp. 53~58，

- 1973年2月.
- 4) 河野文弘・小林 繁・佐々木晴美ほか：泥炭性 軟弱地盤基礎処理試験について，第1報，第2報，北海道開発局技術研究発表会，第15回，第16回，昭和46，47年度.
 - 5) 佐々木晴美：泥炭地盤の工学的性質の均一性に関する一考察，土木学会第28回学術講演会講演概要集第3部，pp. 284~285，昭和48年10月.
 - 6) 室町忠彦・守山信一：最終沈下の予測，鉄道土木，Vol. 12，No. 7，1970年7月.
 - 7) 宮川 勇：泥炭地の土質工学的調査研究第4報，北海道開発局土木試験所報告第21号，昭和34年3月.
 - 8) 宮川 勇：軟弱地盤と盛土，土と基礎の設計法(その3)，土質工学会，pp. 147~184，昭和38年3月.
 - 9) 宮川 勇：泥炭地における軟弱地盤処理工法，新しい軟弱地盤処理工法，近代図書(株)，pp. 366~389，昭和42年7月.
 - 10) 宮川 勇：有機質土とくに高有機質土および泥炭性地盤について一，土と基礎，No. 180，pp. 3~6，1973年2月.
 - 11) 宮川・及川・三浦・岩崎らによる有機質土の強度特性に関する研究資料(未発表；土木学会東北支部昭和48年度技術研究発表会，昭和49年2月に発表予定).
 - 12) 山内豊聡：有機質土の特性について，土と基礎，No. 180，pp. 7~12，1973年2月.
 - 13) 山内豊聡・鈴木敦巳・巻内勝彦・安原一哉：九州の有機質土について，土と基礎，No. 180，pp. 37~46，1973年2月.
 - 14) 山内豊聡・安原一哉・巻内勝彦：ソーラ層とよばれる高有機質土の土質工学的特性について，土質工学会論文報告集，Vol. 13，No. 1，pp. 135~141，1973年3月.
 - 15) 渡辺崇博：有機質軟弱地盤上の道路盛土の施工，土と基礎，No. 180，pp. 29~36，1973年2月.
 - 16) 渡辺 進：(泥炭施工例)国鉄・三沢~小川原間の盛土工事，施工技術，第4巻第6号，pp. 165~176，昭和46年6月.
 - 17) I.C. MacFarlane (compiled by) : Annotated Bibliography on Engineering Aspects of Muskeg and Peat, Chapter 2, D.B.R., N.R.C., Canada, Nov. 1970.
 - 18) Gholamreza Mesri : Coefficient of Secondary Compression, Vol. 99, No. SM 1, ASCE, pp. 123-137, Jan. 1973.
 - 19) Muskeg Subcommittee, NRC, Canada : Muskeg Engineering Handbook, University of Toronto Press, pp. 31-52, 1969.

トンネル工学シリーズ8

トンネル施工の省力化と環境対策 ●第7回トンネル工学シンポジウム●

B5・140 ページ 活版印刷 1 600 円 会員特価 1 450 円 (〒140)

48年11月に行われたシンポジウムの講演集. 施工の省力化と環境対策に関し具体的問題を8件収録.

Freyssinet

METHODS

■ 営業種目 ■

- プレストレストコンクリートの計画・調査・設計・施工・指導管理
- フロシテ・ジャッキング工法の計画・設計・実施
- プレストレストコンクリート用機材の製造・販売・賃貸
- 橋梁用ゴム支承
- エキスパンションジョイント

F. K. K.

極東鋼弦コンクリート振興株式会社

取締役社長 藤田 亀太郎
工学博士
東京都中央区銀座6-2-10(合同ビル)
電話(571) 8 6 5 1(代)