

東北地方の内陸盆地に分布する軟弱地盤への道路計画

Planning of Highway Embankment on Peat Ground at Inland Basin of Tohoku District

平 野 覚 三 (ひらの かくぞう)

東日本高速道路㈱山形工事事務所 南陽高昌工事長

高 坂 敏 明 (こうさか としあき)

㈱ダイヤコンサルタント東北支社 地盤設計部次長

近 野 和 則 (こんの かずのり)

八千代エンジニアリング㈱ 技術推進本部

太 田 秀 樹 (おた ひでき)

中央大学研究開発機構 教授

1. はじめに

東北中央自動車道 南陽高昌 IC～山形上山 IC 間の起点側約 3 km 区間は、泥炭を主体とした軟弱層が厚く堆積しており、その形成に深く関わった湖の名にちなみ「白竜湖軟弱地盤」と呼ばれている。

白竜湖軟弱地盤では、これまでの高速道路の事例を越える長期沈下や周辺地盤への影響が懸念されるため、平成19年度に「白竜湖軟弱地盤対策検討委員会」を組織し、当該箇所における地盤調査結果を基に、建設はもとより維持管理の合理性をも考慮した上で最良と考えられる道路構造について技術検討を行っている。本報告では、検討委員会の中で明らかになってきた白竜湖軟弱地盤の特性について紹介する。



図—1 位置案内図

2. 地形地質概要

2.1 地形概要

白竜湖軟弱地盤は、山形県の米沢盆地の北東部縁部に



図—2 地形区分図

位置し南北に約 5 km、東西に約 3.5 km、面積約 1 000 ha の湿地帯である。周辺の地形は、図—2 に示すように北～東部を丘陵に囲まれ、西側の吉野川の盆地への出口には南陽市宮内を扇頂とし長さ約 5 km、扇状地幅 6.5 km の扇状地が形成されている。

南側では吉野川に合流する屋代川沿いには微高地をなす自然堤防が形成されている。当該地はこれらの扇状地や自然堤防によって閉塞されることによって形成された後背低地である。

2.2 地質概要

施工対象区間の地盤は、図—3 および口絵写真—3 に示すように、表層から泥炭を主体とした土層が最大 10 m の厚さで分布している。この下位は泥炭、粘性土、砂質土が互層状に厚く堆積し、終点側では基盤となる凝灰岩の分布が確認されているもののこれ以外の区間では、深度 100 m でも基盤岩は確認されていない。当該区間では、泥炭の層厚や砂層の分布状況を基に地盤を大きく区間 A、区間 B の二つに区分している。

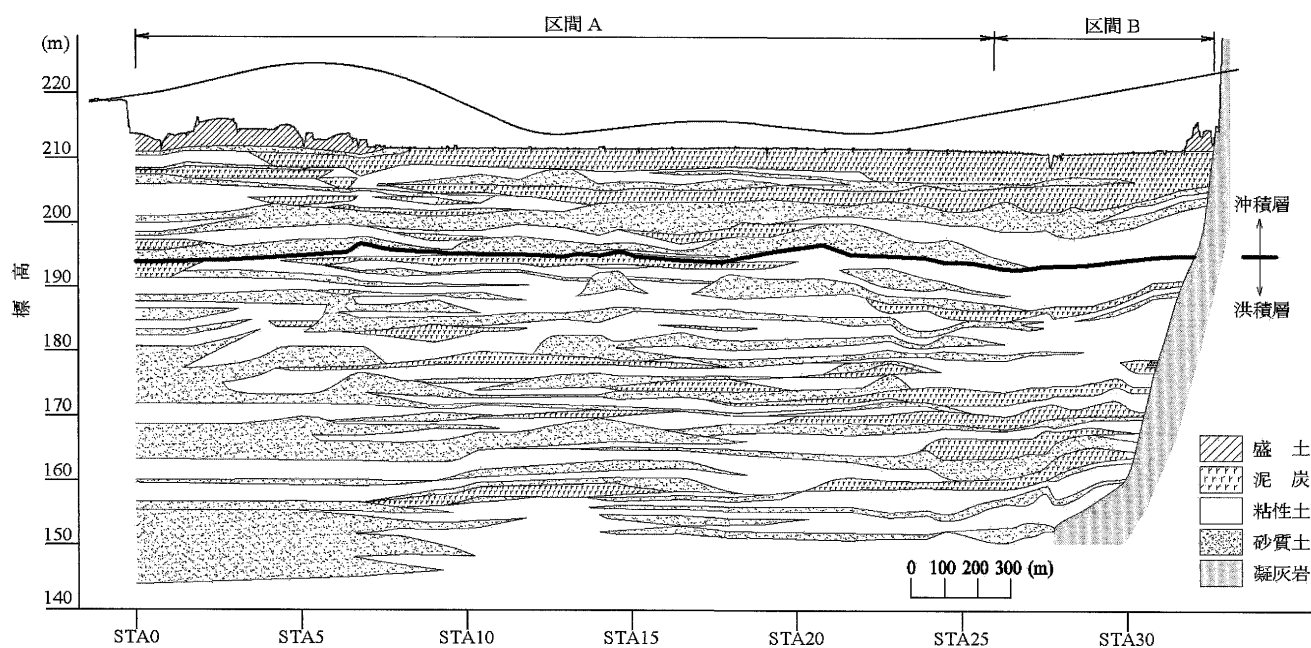
標高 192.3 m 付近には堆積年代を推定するのに有効な火山灰が挟在しており屈折率測定により始良 Tn 火山灰に同定されている。始良 Tn 火山灰の堆積年代は複数の報告があるが、既往の文献¹⁾によれば、21 000～25 000 年前とされており、堆積年代により地層名を区分すれば、火山灰より上部が沖積層、下部が洪積層に相当する。

終点側の砂層の分布が少ない区間で実施した泥炭層に含まれる有機物の放射性炭素年代測定 (^{14}C) によると図—4 に示すように測定限界といわれる 50 000 年前付近となる標高 164 m 付近まではほぼ一定の傾きを示している。一般に泥炭の堆積速度は 1 mm/年といわれているが、粘性土の堆積速度は周辺環境により変化することから一概にはいえないが平均すると 0.9 mm/年となる。このように測定年代にかかわらずほぼ一定の速度で堆積したのは、当該地周辺が内陸の沈降盆地であり、海沿いの沖積平野の堆積過程のような海水面の変動に伴う大幅な環境の変化を受けず、比較的穏やかな環境であったことを裏づけているものと考えられる。

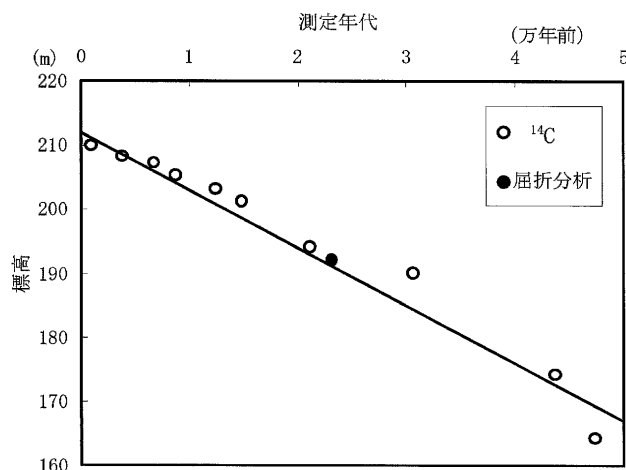
3. 地盤特性

3.1 土質特性の深度分布

白竜湖軟弱地盤の地盤特性を図—5 に示す。なお、同



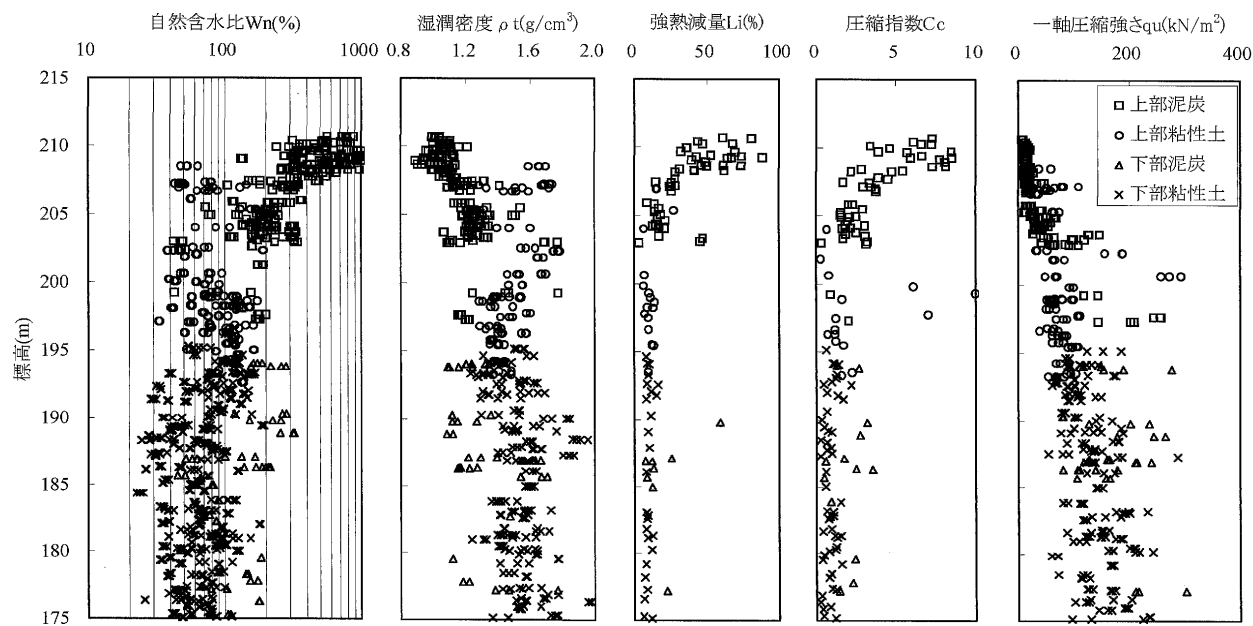
図—3 地質断面図



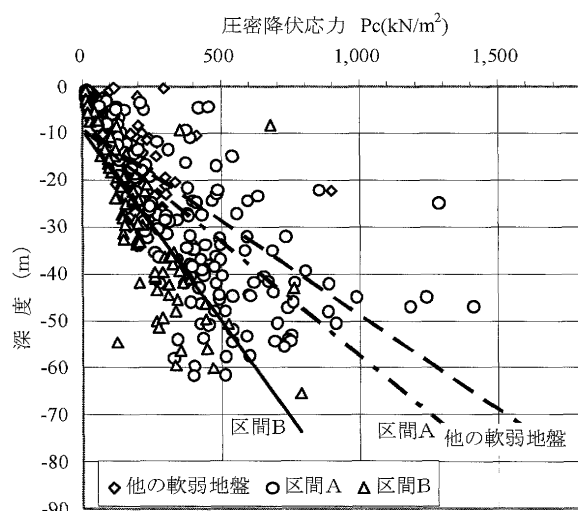
図—4 測定年代の深度分布

図には、圧密降伏応力が盛土施工後の応力より小さく、沈下対象層となる深度40 mまでのデータをプロットしている。これによると沖積層の泥炭（上部泥炭）の自然含水比は、 $w_n = 40 \sim 1000\%$ 以上、洪積層の泥炭（下部泥炭）で $w_n = 45 \sim 350\%$ である。粘性土についても若干の有機物を混入することから自然含水比は、沖積層の粘性土（上部粘性土）が $w_n = 35 \sim 200\%$ 、洪積層の粘性土（下部粘性土）も $w_n = 25 \sim 200\%$ と比較的大きな値を示している。また、同時に実施した強熱減量の結果では、上部泥炭層で $L_i = 15 \sim 90\%$ の非常に大きな値を示している。

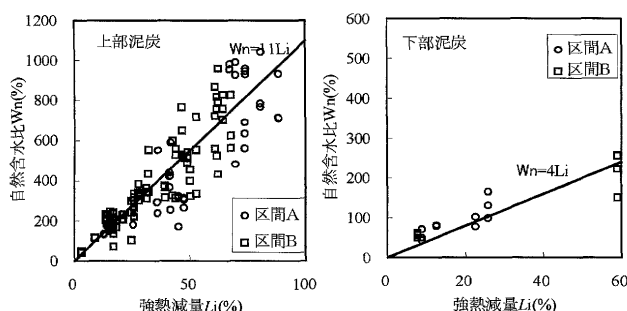
高速道路建設で過去に遭遇した軟弱地盤と白竜湖軟弱地盤の圧密降伏応力を深度方向にプロットし、図—6に示す。同図によると、区間 A, Bともこれまでの地盤よ



図—5 地盤特性



図一六 圧密降伏応力の深度分布



図一七 強熱減量と自然含水比の関係

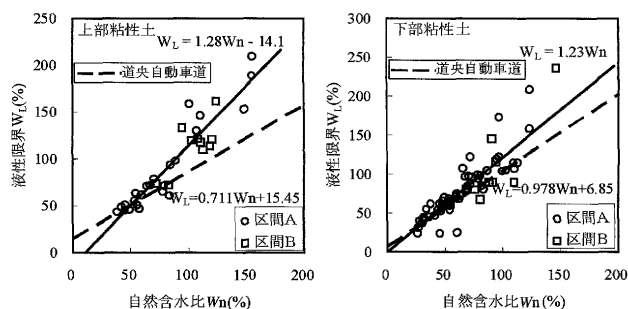
り圧密降伏応力が小さい。特に、区間Bでは、深度に対する圧密降伏応力の増加が半分程度であり、圧密沈下量が大きくなることが容易に想定される。

3.2 各物性値の相関について

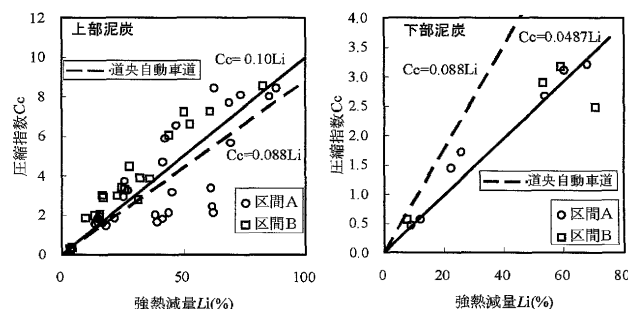
白竜湖軟弱地盤の物理定数と圧縮性に関する定数の相関性について以下に考察する。なお、比較のため、道央自動車道 札幌IC～岩見沢IC間の軟弱地盤の長期的な沈下予測と検証を行った石垣²⁾の解析パラメータ決定に関する提案式を図中に破線で示している。

(1) 強熱減量と自然含水比の関係

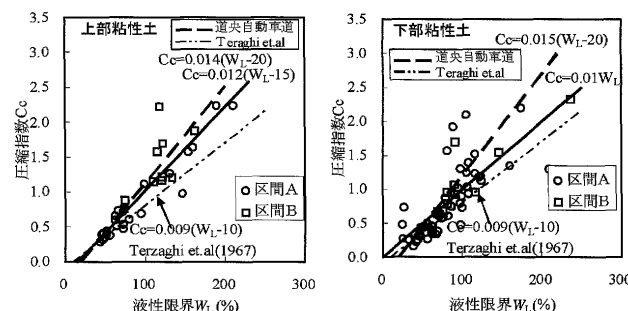
泥炭の自然含水比と強熱減量の関係を図一七に示す。当地区の上部泥炭で相関を求めると分布の範囲は広いもののおおむね $w_n = 11L_i$ の関係にある。及川³⁾らによれば自然含水比と強熱減量の間には $w_n = 8 \sim 12L_i$ の関係が提案されており、この上限に近い関係が得られている。これは、無機質の土が三相構造であるのに対し、泥炭はいわゆる重三相構造であり、口絵写真一四に見られるようにあまり分解の進んでいない有機物を多量に含み、この有機物内部にも多量の水分を含んでいることに起因するためと考えられる。これとは逆に、有効土被り圧が大きい下部泥炭では、 $w_n = 4L_i$ の関係が得られている。これは、強熱減量は固体の中にしめる有機物の重量比であり、応力が変化しても変わらない値であるが、含水比は有効応力の増加に伴って低下することに起因するためと考えられる。



図一八 自然含水比と液性限界の関係



図一九 強熱減量と圧縮指数の関係



図一十 液性限界と圧縮指数の関係

(2) 自然含水比と液性限界の関係

粘性土の自然含水比と液性限界の関係を図一八に示す。これによると自然含水比に対する液性限界の値は道央道の粘性土と比べ大きくなる傾向にある。これは粘性土に混入している有機物の影響と考えられる。

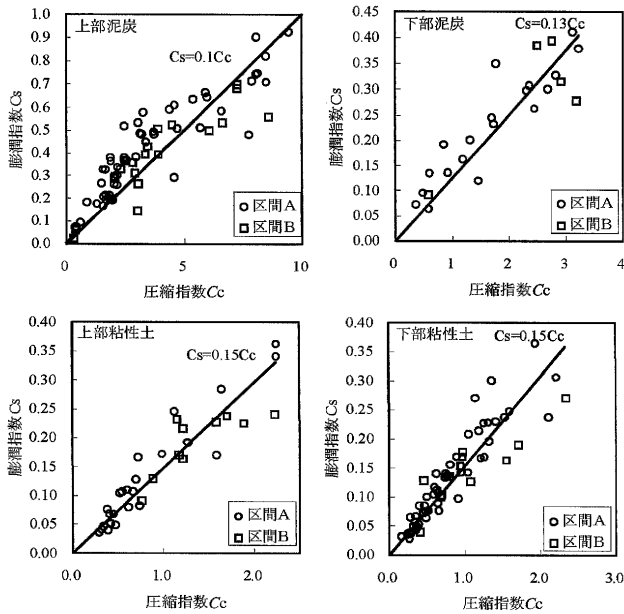
(3) 圧縮指数

図一九に泥炭の強熱減量と圧縮指数の関係を示す。強熱減量と圧縮指数は比較的相関が良く、上部泥炭で $C_c = 0.1L_i$ の関係となる。ただし下部泥炭では、すでに上部層の荷重により、ある程度圧密が進行していると考えられ、 $C_c = 0.0487L_i$ の比較的小さい値が得られている。粘性土については、液性限界との関係で整理した。その結果、図一十に示すように上部、下部粘性土とも Terzaghi の提案式より大きい圧縮指数を示している。

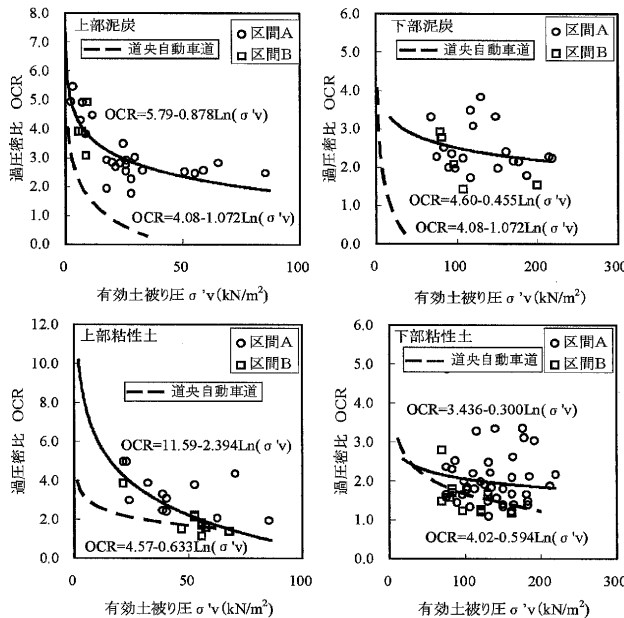
(4) 圧縮指数と膨潤指数

圧縮指数と膨潤指数の関係を図一十一に示す。各土層とも一般的な $C_s = 0.1 \sim 0.2C_c$ の範囲で相関が見られ、泥炭より粘性土で大きくなる傾向が見られる。

粘性土については、上部、下部の違いはなく、 $C_s = 0.15C_c$ の関係を示している。



図—11 圧縮指数と膨潤指数の関係



図—12 有効土被り圧と過圧密比の関係

(5) 有効土被り圧と過圧密比の関係

有効土被り圧と過圧密比の関係を図—12に示す。これによると白竜湖の提案式と道央道の算定式は、大きく異なり、白竜湖では、同じ有効土被り圧に対し過圧密比が大きくなる傾向にある。これは、有効土被り圧と過圧密比の関係がその地域の地盤構成、特に有効土被り圧を算定する湿潤密度の違いにより変化することを反映しているものと考えられる。

4. おわりに

これまでの高速道路建設では、盛土の安定、ならびに

表—1 白竜湖軟弱地盤における土質定数の相関関係

	上部泥炭	下部泥炭
$W_n(\%) - Li(\%)$	$W_n = 11Li$	$W_n = 4Li$
$W_n(\%) - W_L(\%)$	—	—
$W_n(\%) - e_i$	$e_i = W_n / 100 \times 1 / (0.003Li + 0.32)$	$e_i = 1.82W_n / 100$
$W_L(\%) - I_p(\%)$	—	—
$Li(\%) - C_c$	$C_c = 0.10Li$	$C_c = 0.0487Li$
$C_c - C_s$	$C_s = C_c / 10$	$C_s = C_c / 13$
$OCR - \sigma'_{v'} (kN/m^2)$	$OCR = 5.79 - 0.878 \ln(\sigma'_{v'})$	$OCR = 4.60 - 0.455 \ln(\sigma'_{v'})$
	上部粘性土	下部粘性土
$W_n(\%) - Li(\%)$	$W_n = 10Li$	$W_n = 10Li$
$W_n(\%) - W_L(\%)$	$W_L = 1.28W_n + 14.1$	$W_L = 1.23W_n$
$W_n(\%) - e_i$	$e_i = 2.54W_n / 100$	$e_i = 2.59W_n / 100$
$W_L(\%) - I_p(\%)$	$I_p = 0.75(W_L - 25)$	$I_p = 0.71(W_L - 20)$
$W_L(\%) - C_c$	$C_c = 0.012(W_L - 15)$	$C_c = 0.01W_L$
$C_c - C_s$	$C_s = C_c / 15$	$C_s = C_c / 15$
$OCR - \sigma'_{v'} (kN/m^2)$	$OCR = 11.59 - 2.394 \ln(\sigma'_{v'})$	$OCR = 3.436 - 0.300 \ln(\sigma'_{v'})$

沈下が問題となるのは、いわゆる沖積層が主体で洪積層は、安定の問題も少なく、沈下は発生するがその速度は速く、施工上問題とならないケースが多かった。ただし、白竜湖軟弱地盤では、特殊な堆積環境で形成された地盤であり、上部の泥炭層の安定もさることながら、かなり深いところまで沈下が発生し、しかも長期的に問題となることが予想されている。

また、各データの相関性から、長期沈下が継続している道央自動車道の地盤より高い圧縮性を有していることが明らかとなった。

このような地盤特性を踏まえ、白竜湖軟弱地盤の対策工は、盛土の安定確保に加え、供用後のメンテナンスのさらなる軽減を図るべく真空圧密工法を採用する予定である。ただし、真空圧密工法もこれほど深い軟弱地盤における長期沈下の低減の実績がなく、今後、試験施工を行い、今回取得した土質定数の相関関係の検証とあわせ、対策効果の検証を行う予定である。

最後に本稿作成にあたり、ご指導、ご協力いただいた白竜湖軟弱地盤検討委員各位、ならびに(株)NIPPOの石垣勉氏に末筆ながら謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 町田 洋・新井房夫：新編 火山灰アトラス，東京大学出版会，2003.
- 2) Tutomu Ishigaki: *Geotechnical management of Highway embankment on soft clay*, Tokyo Institute of Technology, 2009.
- 3) 及川 洋・石川 剛：泥炭の物理化学的性質に関する一考察，高有機質土の諸問題に関するシンポジウム発表論文集，技報堂出版，pp. 97～100, 1993.

(原稿受理 2010.4.28)