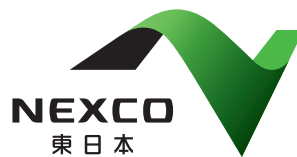


秋田自動車道〔横手～秋田南〕
開通25周年記念 技術フォーラム
～明日に伝える軟弱地盤対策技術～

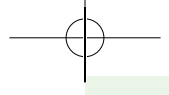
＝講演資料＝

あなたに、ベスト・ウェイ。



平成28年6月16日(木)

NEXCO東日本東北支社 横手管理事務所・秋田管理事務所



《目 次》

■ 基調講演

「軟弱地盤と軟弱地盤対策技術の変遷」	02
及川 洋〔秋田大学 名誉教授〕	

■ 建設時から現在までの報告

①「横手百万刈地区 軟弱地盤の施工について」	24
「大沢郷 狭小谷部軟弱地盤の設計・施工について」	31
渡辺 季文〔(株)日本計画 取締役〕	
②「軟弱地盤地域を通過する高速道路の現状」	36
平山 篤〔NEXCO東日本東北支社 横手管理事務所 副所長〕	

基調講演

「軟弱地盤と軟弱地盤対策技術の変遷」

秋田大学 名誉教授

及川 洋

軟弱地盤と軟弱地盤対策技術の変遷

今日の話題

1. [横手IC～秋田南IC]建設の歴史
2. 遭遇した軟弱地盤 ～泥炭性軟弱地盤～
3. 泥炭性軟弱地盤 ～生成と工学的性質～
4. 泥炭性軟弱地盤 ～対策技術の変遷～
5. まとめ

1. 2 絵で見る秋田道の歴史

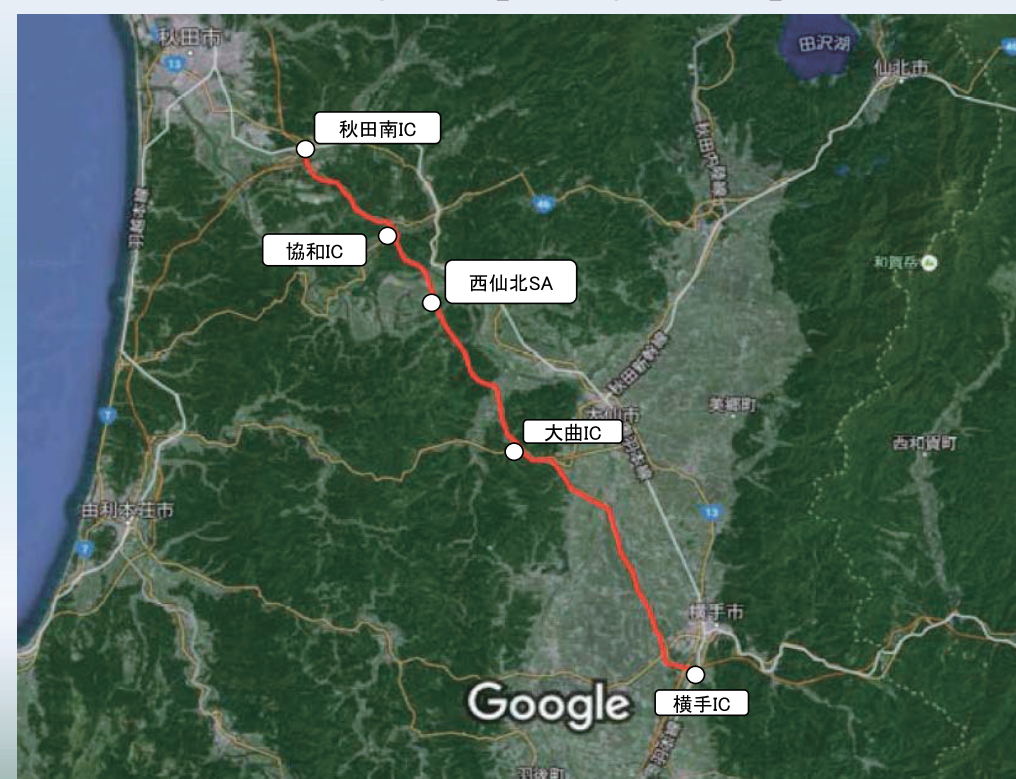


図面: 高速道路資料室HP (<http://www.ne.jp/asahi/expressway/dataroom/>) から抽出・加筆

1. 建設の歴史

1. 1 建設場所

「横手IC」から「秋田南IC」までの区間56.1 km



画像: Googleマップから抽出・加筆

1. 3 年譜



- 昭和55年02月01日: 秋田調査事務所開設 (36年前)
- 昭和57年03月30日: 横手～秋田間57.4km路線発表 (34年前)
- 昭和57年07月01日: 秋田工事事務所に改組 (34年前)
- 昭和60年11月06日: 秋田道起工式・安全祈願祭 (31年前)
- 昭和61年03月14日: 試験盛土開始 (百万刈地区) (30年前)
- 昭和61年05月20日: 横手地区軟弱地盤検討委員会 (第1回目: 仙台)
- 昭和62年08月: 大沢郷工事開始 (29年前)
- 平成03年07月25日: 工事完了・供用開始 (横手IC～秋田南IC) (25年前)
- 準備: 6年
- 建設: 5年

2. 遭遇した軟弱地盤

2.1 遭遇場所と軟弱地盤の種類

- ①横手盆地の百万刈地区:延長12 km に及ぶ大規模な湖沼性泥炭地。
- ②出羽丘陵内の大沢郷地区:9 mも沈下するという樹枝状谷泥炭地。



画像出典先: Googleマップ

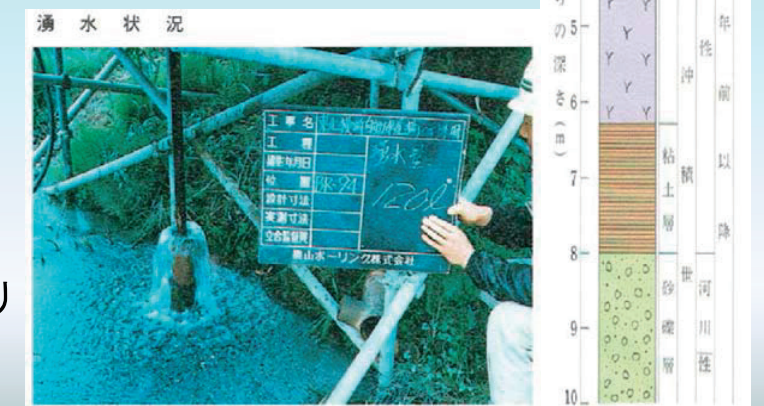
百万刈地区②

泥炭層の自然含水比は200%～800%。

限界盛り土高さ4m。計画盛り土高さ4～9m。予想最大沈下量3m。

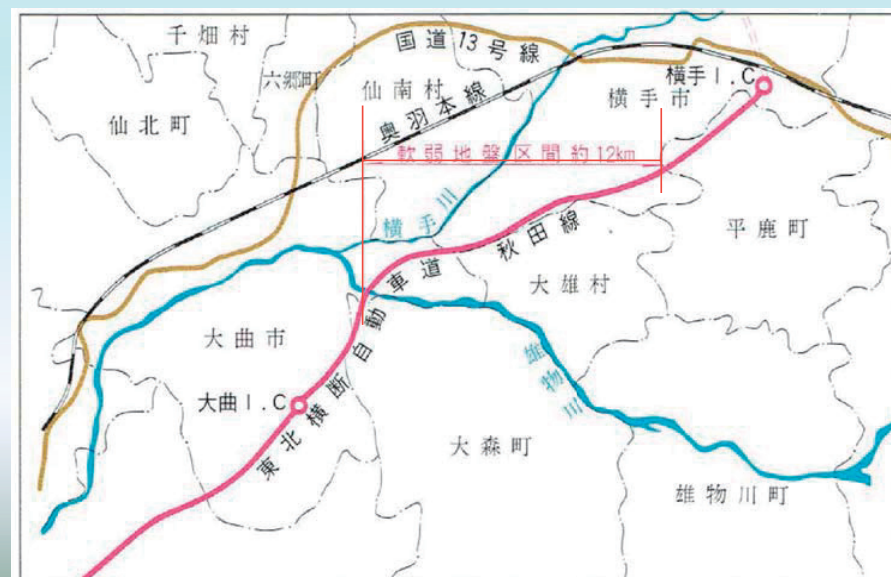
本地区軟弱地盤の特徴

- 地盤中に中間排水層となる砂層がない。
- 軟弱層直下の砂礫層は被圧。他の地域ではあまり類をみないこの地区特有の地盤。



2.2 百万刈地区①

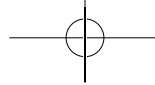
雄物川と横手川に挟まれた後背湿地。軟弱層厚7～14mの湖沼性泥炭地。延長約12km。北海道石狩泥炭地と同様、日本有数の泥炭地(坂口豊著:泥炭地の地学、東京大学出版会)



百万刈地区 工事中の全景

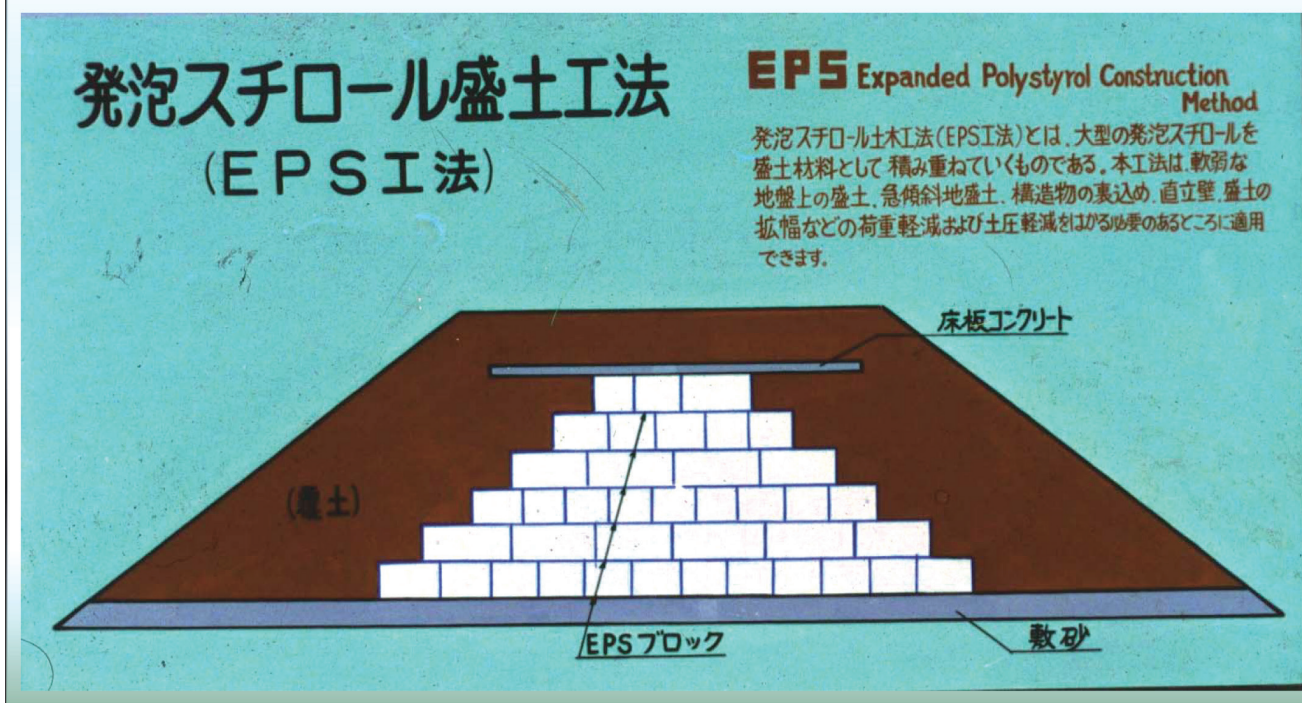


画像出典先: 東北地方における泥炭地工事 事例集、土質工学会東北支部、平成4年、p.76.



百万刈地区③ ～EPS試験盛土～

目 的:橋台背面の土圧低減効果の確認。
心配事:①浸水時の浮き上がり。
②発泡スチロールを分解する微生物の存在。



EPS試験ヤード

(奥:EPSヤード、手前:通常盛土ヤード)



重さは土の1/500以下。値段は10倍(当時)



設置も非常に簡単



途中経過



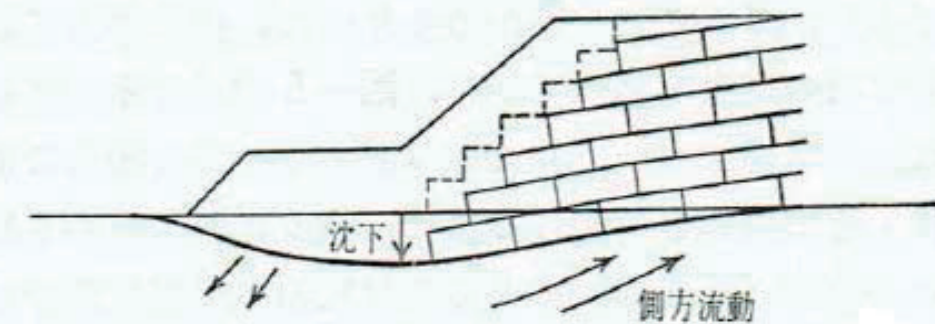
想定外: 覆土によって目地が開いてしまった状態



変形のメカニズム



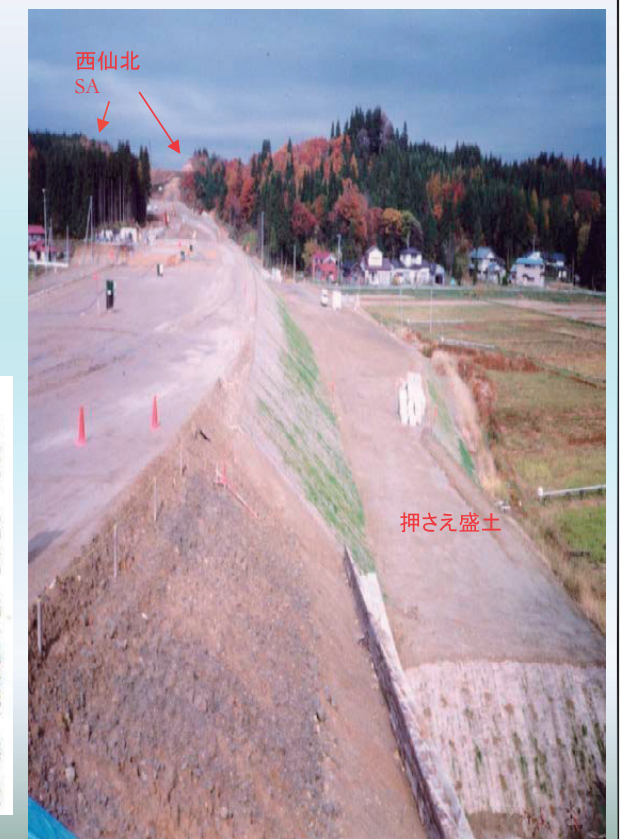
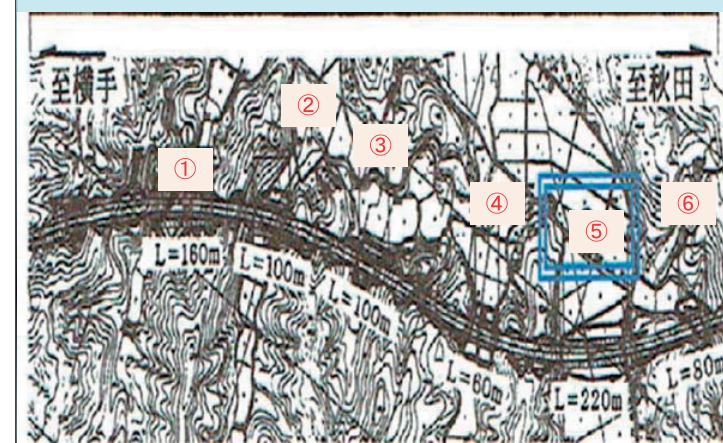
(a) 横断方向の変形



(b) 縦断方向の変形

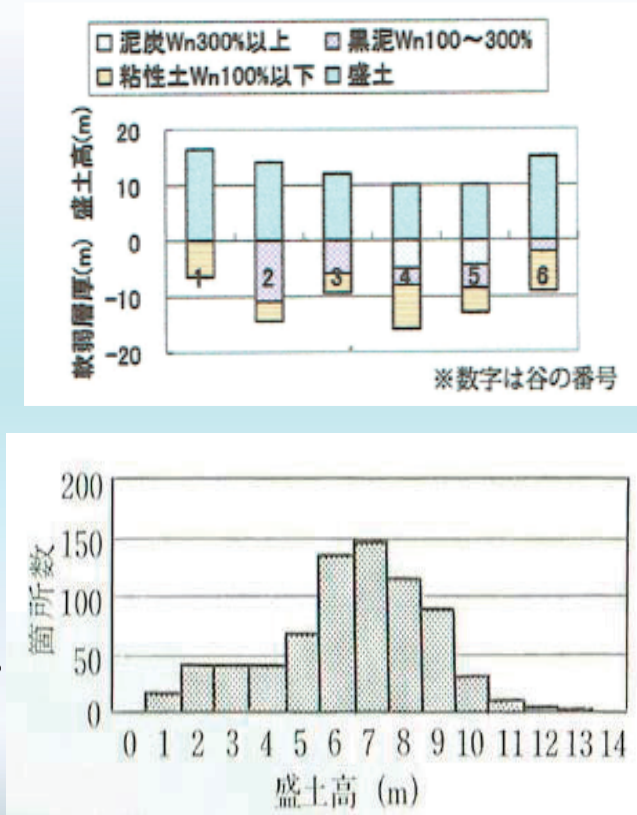
大沢郷地区①

軟弱層厚10～16mの狭小谷6ヶ所が断続的に点在する典型的な樹枝状谷泥炭地。



大沢郷地区②

- 軟弱地盤は面的な広がりと比較して層厚が厚く、基盤面はV字型を形成、それが谷奥から谷出口に向かって傾斜する非常にやっかいな谷。
- 切盛の連続となるため盛土部は10～17mの異例の高盛土。
- 限界盛土高さは1.7m。

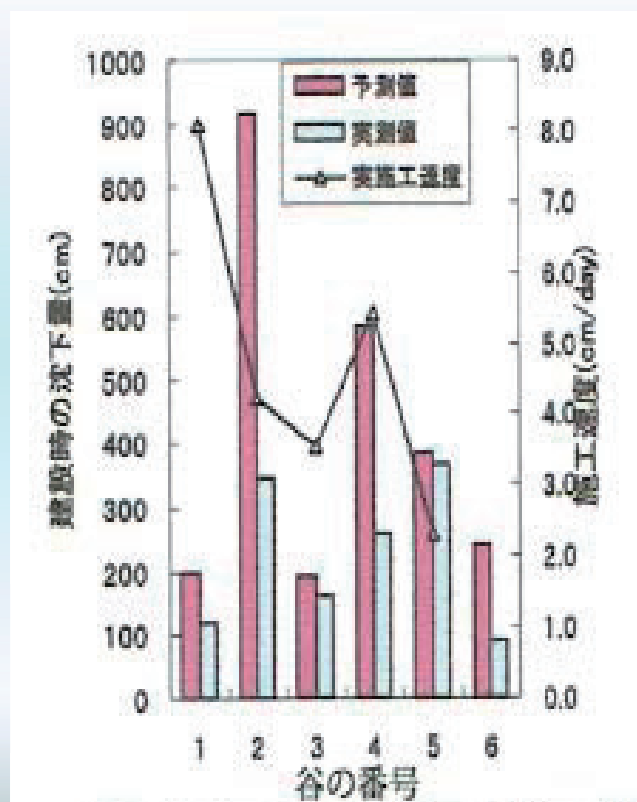
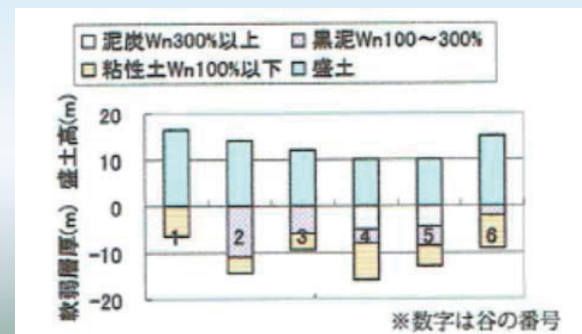


高速道路盛土の高さ
(出典: 高速道路の軟弱地盤技術, p.4)

大沢郷地区③

予想沈下量

- ②の谷で9m(軟弱層厚12m)
- ⑤の谷で6m(軟弱層厚11m)



大沢郷地区④

- 安定対策: 幅23.5m、高さ4mの両押え盛土に加え、本線下に2段、押え盛土下に3段の敷金網。
- 盛土速度は平均3～6cm/day。
- 沈下促進工法: 釜場排水による盛土内間隙水の強制排水。
- 横断構造物の沈下・支持力対策: DJM工法。



ここでも、寒中の検討委員会

3. 泥炭性軟弱地盤 ～生成と工学的性質～

3.1 泥炭、泥炭地盤、泥炭性軟弱地盤とは

枯死した植物遺体が**低温**多湿の条件のもとで長年にわたって分解不十分のまま堆積して作り出した地盤構成材料を泥炭(高有機質土)と呼ぶ。

また、それが工学的に問題となる厚さに堆積している地盤を泥炭地盤(高有機質土地盤)あるいは泥炭性軟弱地盤と呼ぶ。



Cross section of tropical peat, bulldozed to make a highway in Brunei

画像出典先: MIT Dept. of CEE, <https://cee.mit.edu/node/20162>

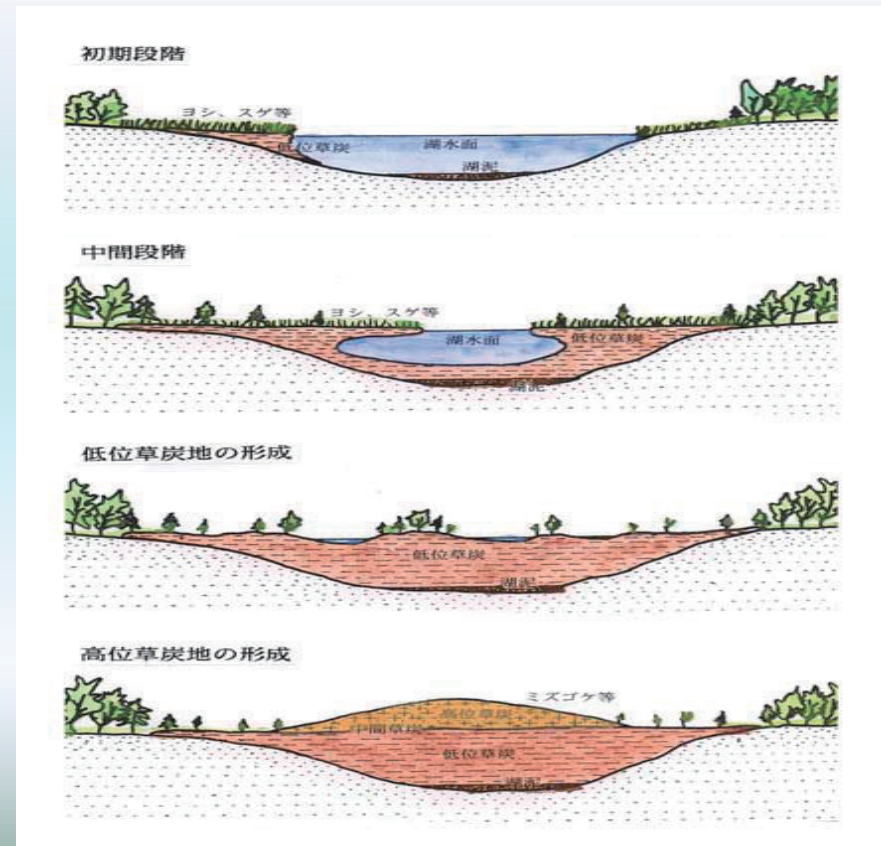


オイルパームが茂るマレーシアの熱帯泥炭地

画像出典先: 地球環境研究センターニュース、2013年7月号 [Vol.24 No.4]

<http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/imgs/cgernews.png>

3. 2 泥炭地盤 生成過程の一例



本州: 弥生文化

北海道: 縄文文化

図面出典先: 草炭緑化協会HP, <http://homepage2.nifty.com/soutan-jp/peatland/index.htm>

地表付近の軟弱層の状況



山形県 赤湯地区

画像提供: 東日本高速道路(株)東北支社 山形工事事務所

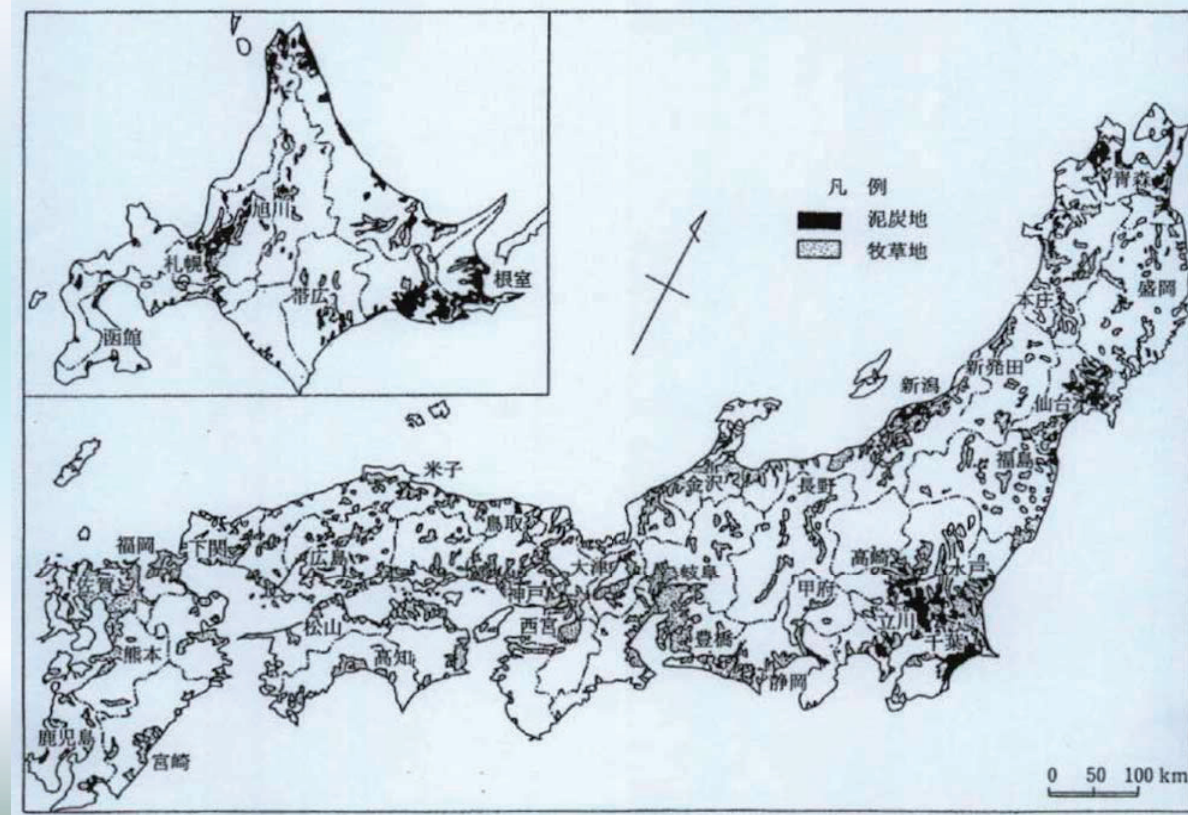
絵で見る泥炭地の生成過程



東北地方でよく見られるヨシ泥炭



我が国の泥炭地の分布状況



図面出典先: 新編「土質工学」、技法堂

俗 称

さるけ 青森県津軽地方

根っ子 秋田県横手

すくも層 宮城県苦竹

利根川流域

琵琶湖東岸

そうら層 九州

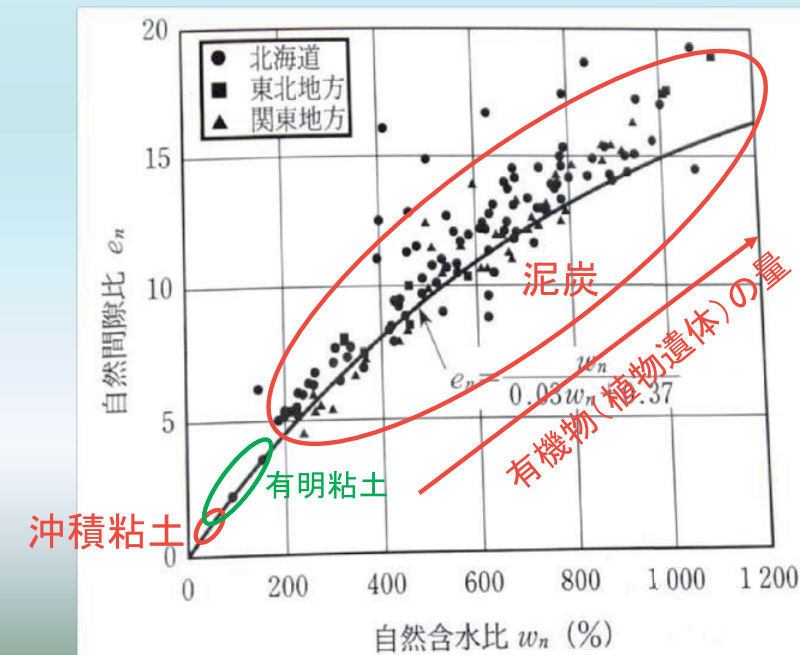
すくも: 葦(アシ・ヨシ)、茅(カヤ)などの枯れたもの

Muskeg カナダ Chippewa(チッペワ) インディアン
「草の生えている泥沼」

3. 3 工学的性質

① 母材がポーラスな植物遺体であるため、間隙比、含水比は通常の沖積粘土とは比較にならないほど大きい。

→ 極端に大きい圧縮性(沈下)を示す最大の要因。

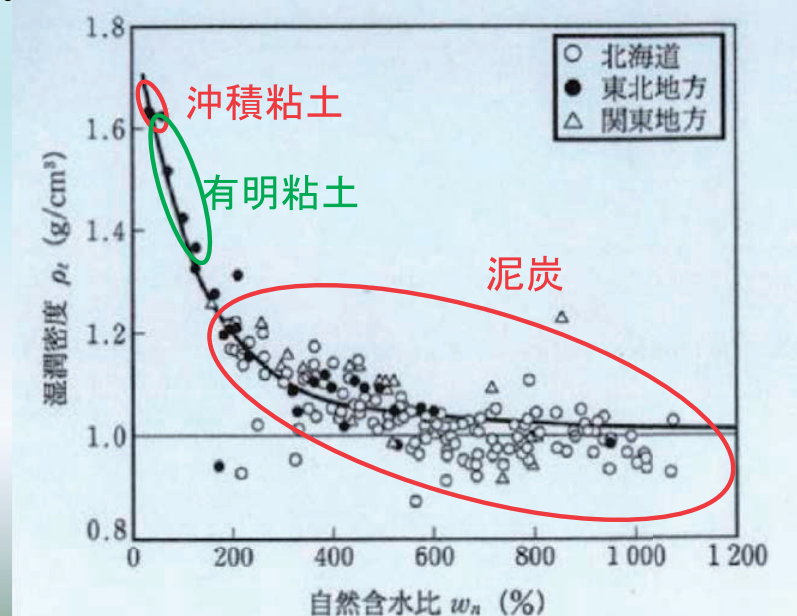


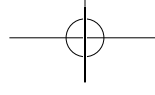
含水比
沖積粘土: 50~80%
洪積粘土: 40~70%
有明粘土: 50~180%

② 自然含水比の増大(有機物含有量の増大)に伴って水より軽くなる。そのため、素地状態では粒子間応力(有効応力)は無いに等しく、初期強度も無いに等しい場合が多い。

③ しかし、強度増加率は沖積粘土より大きく、同じ圧密圧力のもとでの強度は粘土より大きい。

④ したがって、うまく圧密してやれば強度的には全く問題ないはず。





⑤ 構成植物の種類, 土砂の混入割合, 植物遺体の腐朽・分解の程度は千差万別であるため、平面的にも深さ方向にも極めて不均質。そのため、支持力に対する安定や沈下の問題への対処が極めて難しい。

⑥ 長所: 現象が顕著、かつ早期に現れる。土を研究する上では好都合。
log t 沈下 (Buisman, 1936)、双曲線法 (宮川, 1963) などは泥炭の研究から見つけられたもの。



粘土地盤



泥炭地盤

供用4年目の路面変状

画像出典先: 西川ら、泥炭性軟弱地盤対策工の最適化に関する研究

4. 泥炭性軟弱地盤 ～対策技術の変遷～

4.1 軟弱地盤対策技術とは

◎ 従来の定義

要求される性能を持った構造物を軟弱地盤上に安全かつ経済的に構築し、それを維持するための調査・設計・施工および維持管理の技術。

参考資料・道路土工「軟弱地盤対策工指針」: 日本道路協会
・「設計要領 第一集 (H17年版)」: JH日本道路公団
・「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」: 寒地土木研究所

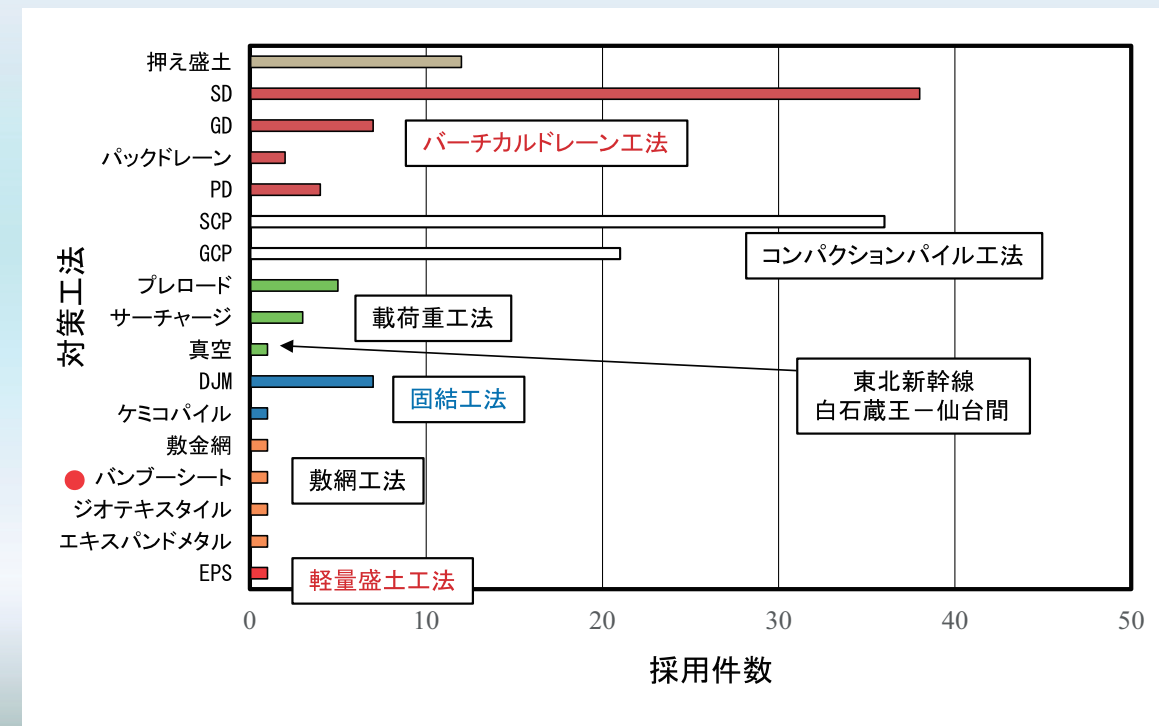
◎ 及川流定義

構造物の施工中および施工後の軟弱地盤の動きをコントロールするための経済的な調査・設計・施工(管理)の技術、およびその構造物を維持管理するための技術。

解説: 軟弱地盤上の構造物は構築中および構築後も動き続けるというのが軟弱地盤の最大の特徴。

4.2 過去に東北地方の泥炭地で採用された泥炭地盤対策工法

(期間: S44~H03。百万刈、大沢郷工事を含む103工事)



データの出典: 東北地方における泥炭地工事 事例集、土質工学会東北支部、平成4年、pp.151-156.

土木シート バンブーシート



左
写真-52 泥炭地でのバンブーシート工法の施工例。側方変位を殆ど起すことなく盛土を安定させることが出来た。

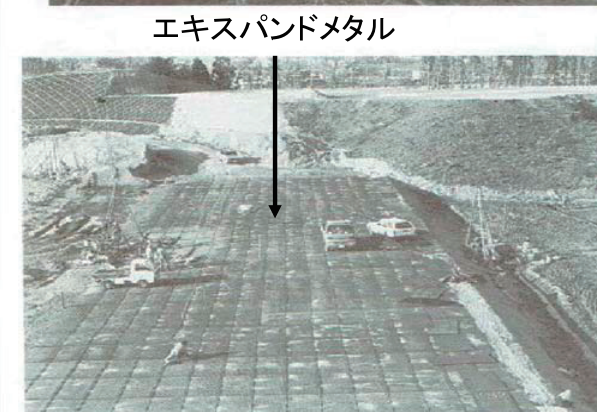


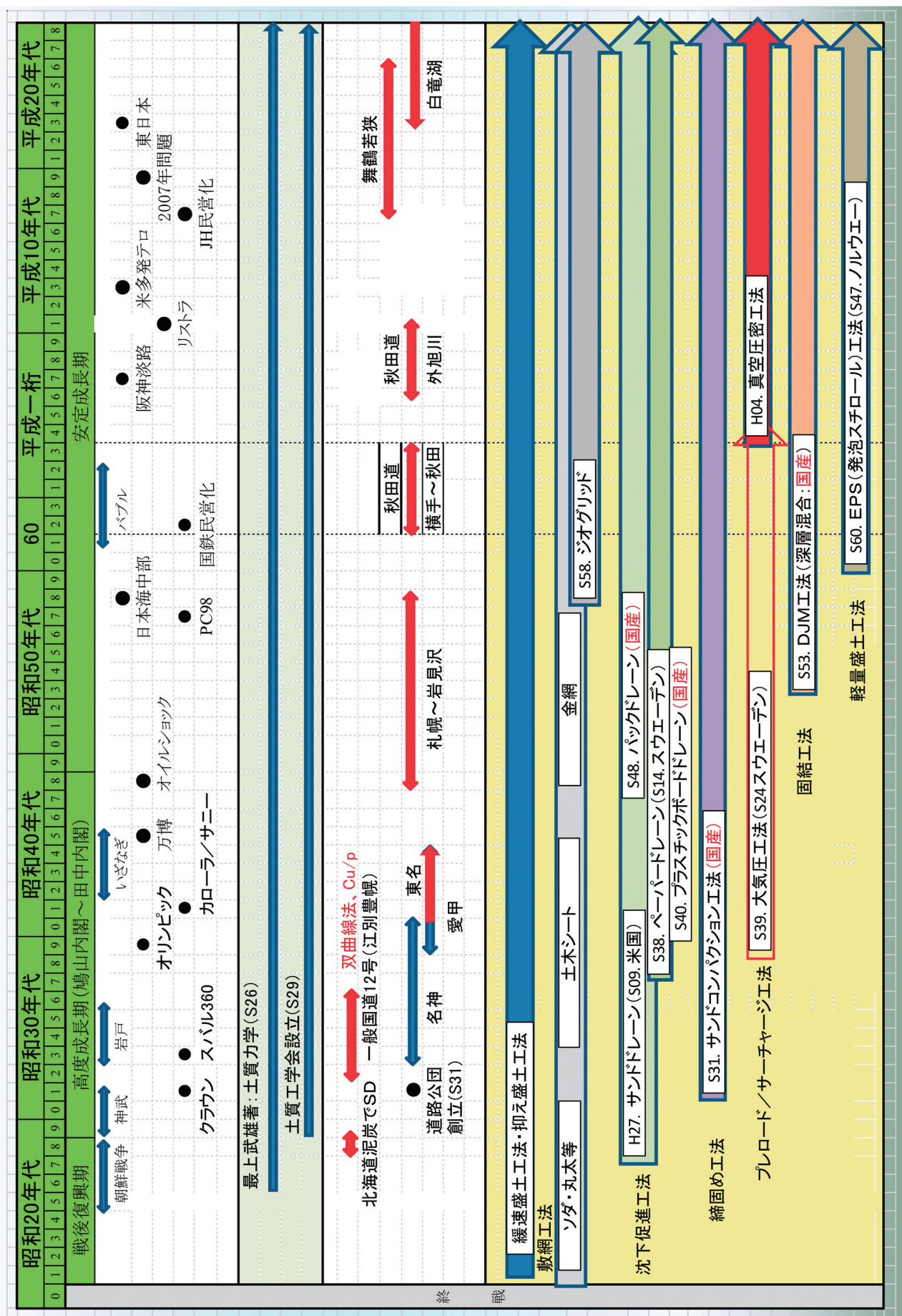
写真-53 すべり破壊に対する対策工の一例。エキスパンドメタル工法。



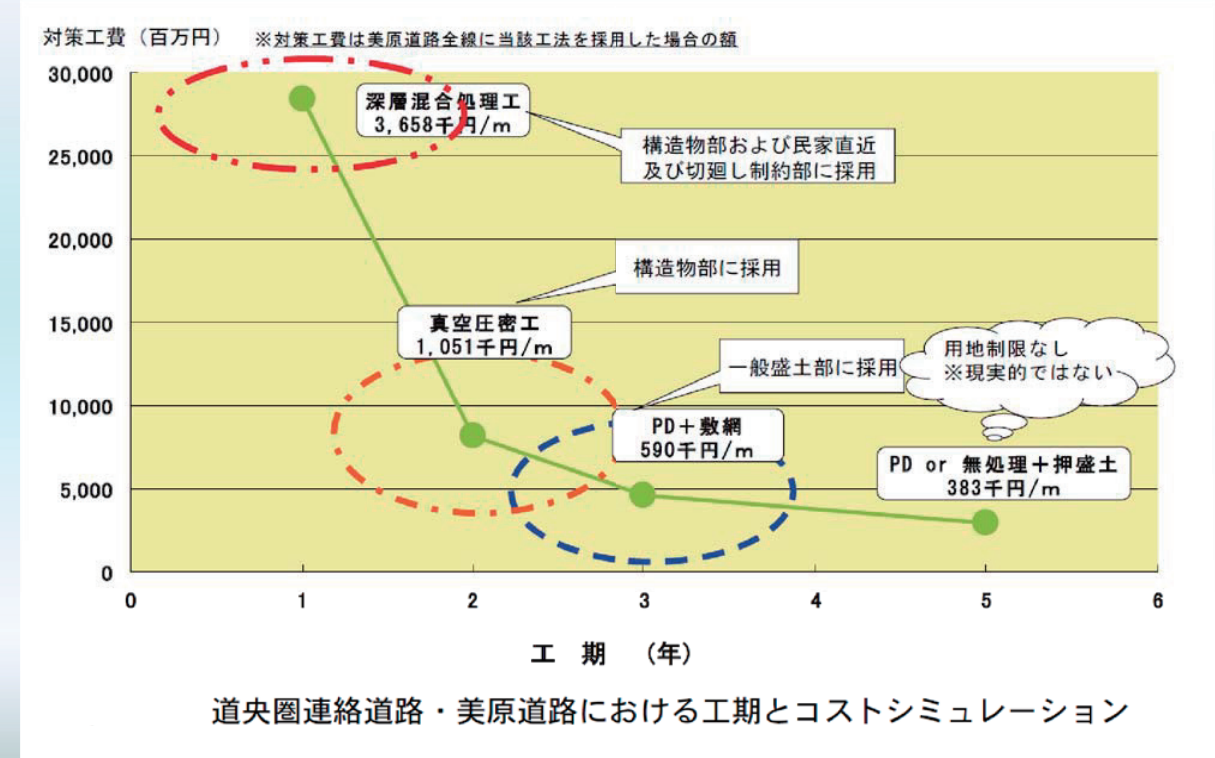
写真-54 すべり破壊に対する対策工の一例。バンブーシート+押え盛土工法。

データの出典: 東北地方における泥炭地工事 事例集、土質工学会東北支部、平成4年、p.186.

4.3 主な軟弱地盤対策工法の誕生の様子



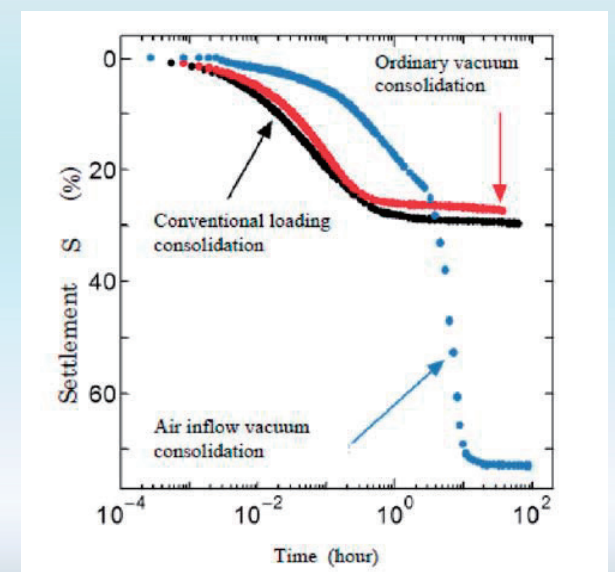
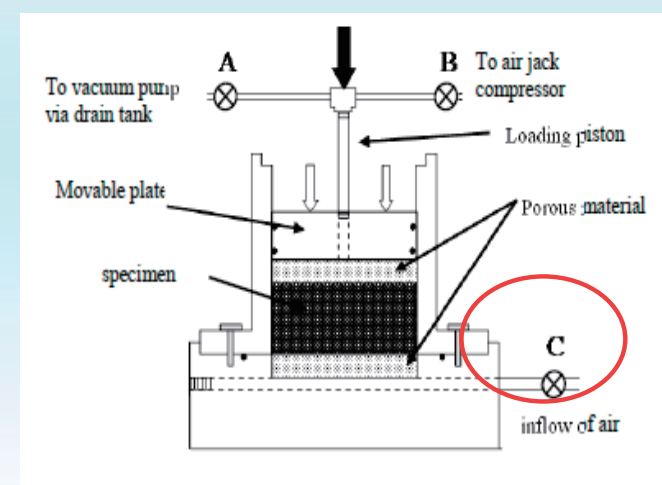
4.4 工法・工期・ライフサイクルコストの一例



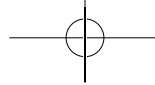
図面出典先: 林宏親・他: 泥炭地盤に対する敷き金網併用プラスチックドレーン工法の改良効果とその評価、寒地土木研究所月報、No.644、2007年。

4.5 新技術への試み

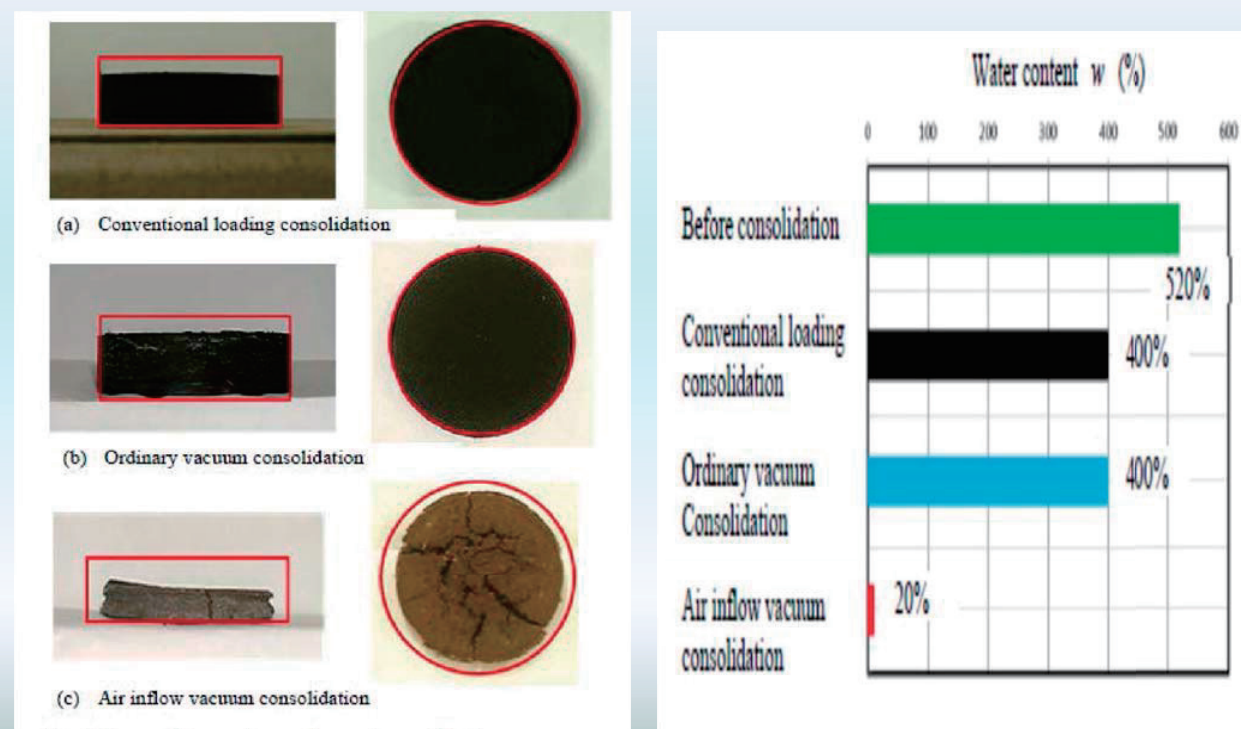
① 水・空気置換真空圧密



地盤工学研究室 (秋田大学)



圧密後の状態

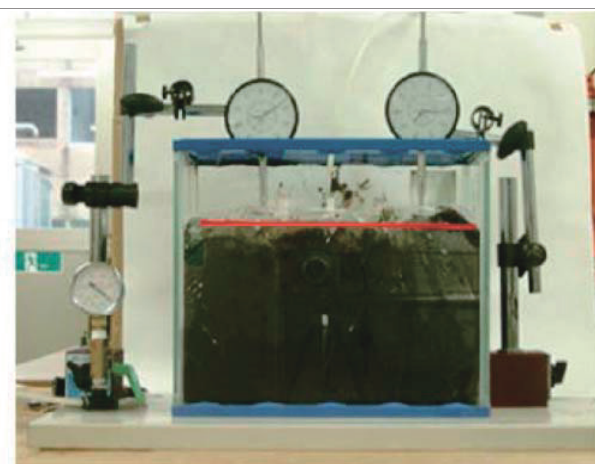
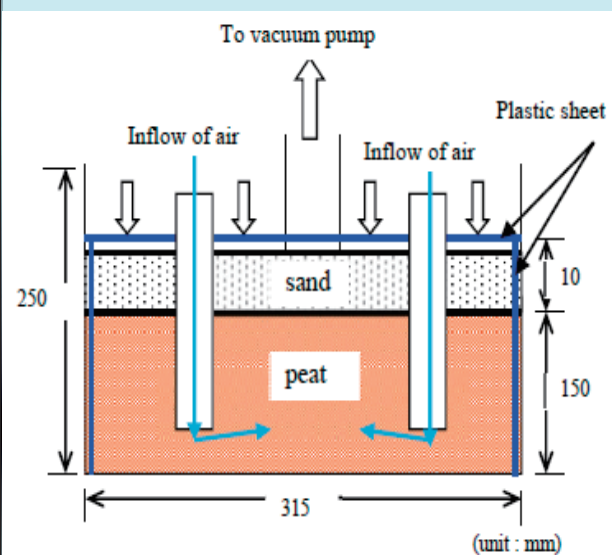


圧密後の状態



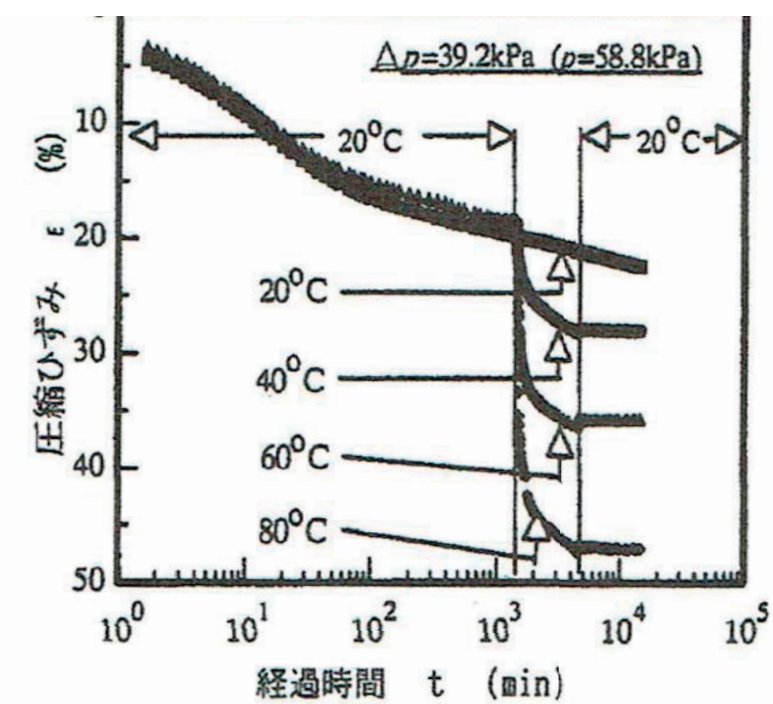
水・空気置換真空圧密

(現場を想定した実験)



② 加熱圧密

Thermal Consolidation



○ 80°C 48時間加熱後
: 約3億年後の沈下量

○ 加熱停止: 二次圧密沈下
なし

○ 狭小谷部などでの利用?

及川、荻野
土木学会論文集
No.673、2001



5. まとめ

- 1) 高有機質土地盤は構造物の基礎地盤としては全く不適当なものである。
- 2) そのため、その利用に当たっては目的に応じた対策が採られているが、目的通りの効果は得られなかった事例も少なくない。
- 3) 対策技術に対する過度の過信は禁物のようである。
- 4) そのような中、事業の「スピードアップ」と「ライフサイクルコストの縮減」を兼ね備えた対策工が見え隠れし出している。

- 5) 一方で、山間部に発達した樹枝状谷泥炭地では地下水以下に沈下した盛土材の泥濘化、粘土化という想定外の現象も見え隠れし出している。
- 6) 盛土材の泥濘化、粘土化が盛土のライフサイクルにどのような影響を及ぼすのか、現在、NEXCO東日本グループが鋭意調査中である。
- 7) 盛土材の泥濘化、粘土化対策も軟弱地盤対策工の一項目になる日は近いかも知れない。

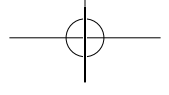
ネクスコ・エンジニアリング東北 技術顧問
秋田大学 名誉教授
及川 洋

建設時から現在までの報告

「横手百万刈地区 軟弱地盤の施工について」 「大沢郷 狭小谷部軟弱地盤の設計・施工について」

(株)日本計画 取締役

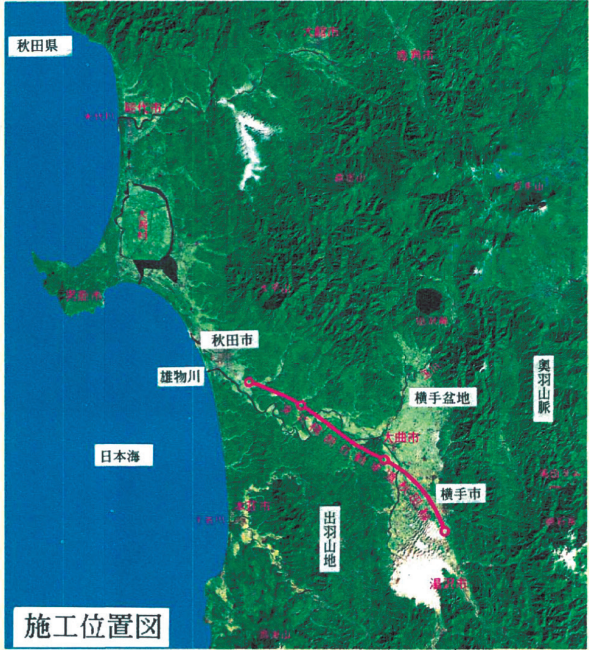
渡辺 季文



東北横断自動車道秋田線 (パンフレット1)

横手盆地の軟弱地盤

(百万刈地区)



日本道路公団 仙台建設局
横手工事事務所
秋田県横手市平和町2-26 ☎0182(33)4036

昭和60年1月作成

1 横手盆地の地形

東北横断自動車道秋田線(横手～秋田間約57km)が通過する横手盆地は、秋田県の南部に位置し、東西15km、南北50kmの広がりをもつ第四紀に形成された沈降盆地で県南の中心都市(横手市)を形成している。

市を中心とする横手盆地は、建設省直轄河川雄物川と一級河川横手川に挟まれた平地で、日本有数の米作地帯である。

雪国秋田を代表する横手市は、平年の積雪量は約2mあり、小正月(2月15日)には伝統の横手かまくらが行われる。

次に横手盆地南部に広く分布している軟弱地盤(泥炭・ビート)を紹介する。

写真-1 横手城より横手盆地を望む



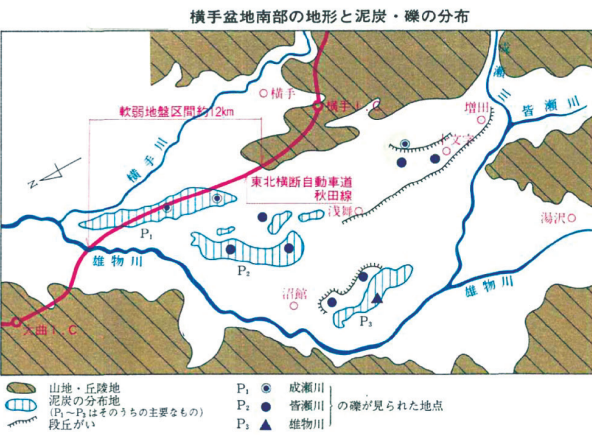
写真-2 横手かまくら(2月15日)



2 横手盆地南部のねっこ(泥炭)の歴史と由来

ねっこ(泥炭)は、沼などの水辺や水中に生えている植物が枯死して水底につぎつぎにつみ重なったものです。泥炭のあるところは昔、大きな池をなしていたと思われる。この泥炭を地元の人達は『ねっこ(根本)』と呼ばれ、写真-3に見られるように長方形に切出して、乾燥させ、『風呂やいりろ』の燃料として使用されてきたが、現在は殆んど採掘されていないようである。

文献によると(秋田県立博物館 平鹿一水とくらし1983.1.4～6.26)ねっこは村の宝物で、1912年(大正元年)大雄村田根森地区では、年間約2,500トンのねっこが採掘され、1,700トンが村内で使われ、残りは周辺へ出荷されたと記録されている。ねっこはこの地方にとって、かけがえない地下資源だったのです。



ねっこ(泥炭)を掘る

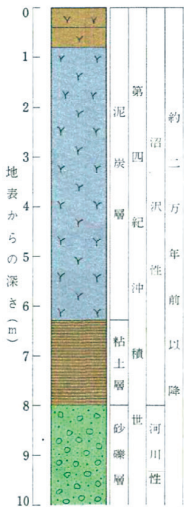


泥炭地(ねっこ)の地下状況図

ねっこを切出した状態



ねっこの乾燥状況



4 軟弱地盤の対策工法

当地区の軟弱地盤上の盛土高さは4～9mの計画であるが、軟弱地盤処理工法の中で最も確実で信頼性の高い押え盛土工法(側道併用)を主要対策工法として計画している。処理工法の実体化に当たっては、本工事着手前に試験盛土工事を行い、その結果により、当地に適した具体的施工方法を立案する予定である。

試験盛土を行う特殊性(他地域と比較)として、

- (1) 当地区は、軟弱層中に排水層として期待出来る砂層を全く介在していないこと。
- (2) 近傍(国道、県、市町村道)で高盛土による施工例がないこと。
- (3) 当区間の横手～大曲間(20.9km)は、暫定2車線施工であること。

等があげられる。

図-5 完成4車線断面

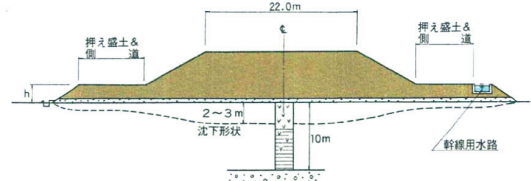
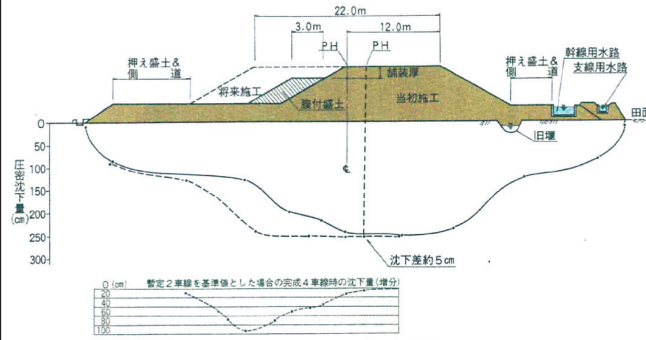


図-6 暫定2車線断面



3 路線と軟弱地盤

路線は、雄物川・横手川の同一級河川によって形成された横手盆地の後背湿地帯を縦貫しております。この湿地帯は、ビート層、有機質粘性土層及び粘土層からなり、総厚7～14mの軟弱地盤です。下部の砂礫層中の地下水は、被圧地下水で、各所で自然流出しております。

軟弱地盤上を通過する本線延長は約12kmあり、沈下量の最大値は3mにも達する。

路線における軟弱地盤の物理・力学的性状

性状	地 質	N	流 層	厚 (m)	自然含水比 (%)	湿 潤 密 度 (g/cm ³)	一軸圧縮強さ qu(kg/cm ²)	コーン支特力 qc(kg/cm ²)	圧縮降伏応力 Pc(kg/cm ²)
腐 植 土	0 ~ 1		2 ~ 4.5	300 ~ 800	0.95 ~ 1.1	0.2 ~ 0.4	1.0 ~ 2.5	0.12 ~ 0.24	
有機質粘性土	0 ~ 2		1.5 ~ 4.0	70 ~ 300	1.1 ~ 1.6	0.2 ~ 0.4	1.0 ~ 3.0	0.24 ~ 0.44	
粘 土	2		2.0 ~ 5.0	40 ~ 70	1.5 ~ 1.8	0.35 ~ 0.65	2.0 ~ 10.0	0.6 ~ 2.4	

満水状況

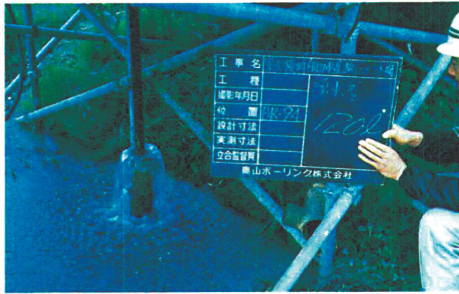
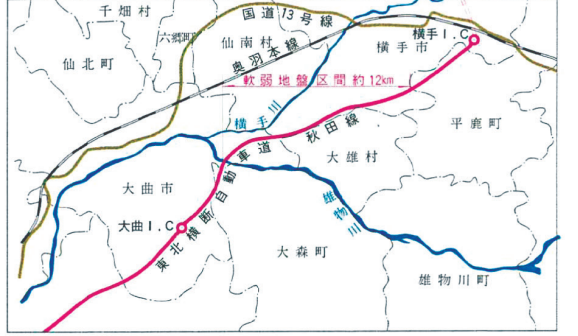


図-3 路線位置図



模式地質縦断面図

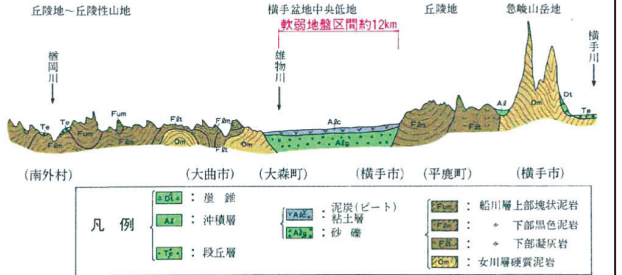


写真-5 主要地方道を橋梁(大戸川橋)で通過(塚根集落)

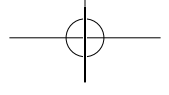


写真-6 集落地帯を盛土で通過(上根田、下根田谷地集落)



写真-7 一般県道を高架橋(下根田高架橋)で通過(下根田、佐加里集落)





(資料-2)

百万刈工事概要報告

- 工事延長: 5, 640m
- 工期 : S.62年11月26日～S.64年(H元年)12月14日(750日間)
- 請負業者: 三井建設(株) (株)中山組 共同企業体
- 工事内容: 切盛土工 約987,000m³ { 板井田土取場: 397,000m³ 他工区流用土: 590,000m³ }
- 軟弱地盤処理工:
 - ・敷砂工シート: 約11,300m²
 - ・バーチカルドレーン(サンドドレーン): 約211,590m
 - ・地下排水工(合成繊維-モノドレーン): 約84,670m

○ 高速道路1m当りの概算額: 351, 000円

○本工事の報告は、百万刈工事報告書から抜粋した事項(軟弱地盤処理工を主体)を記述しました

1. はじめに

・東北横断自動車道秋田線は、岩手県北上市で東北縦貫自動車道青森線から分岐し奥羽山脈を越え横手市を經由して横手盆地を横断し、大曲市を経て秋田市にいたる延長約108キロメートルの路線であるが、

◎その中で、横手盆地の軟弱地盤は古来地元では泥炭(ねっこ)と呼び、昔から“いろり”や“風呂”の燃料として利用してきた未分解で高圧縮性の高い繊維質な腐植土が主体の軟弱地盤地帯の工事である。

◎地層は、泥炭(ピート層)、有機質粘土層(GL-6～-7m付近)、粘性土層からなる7～14m、含水比500～800%、沈下量3mである。

(1)軟弱地盤対策工

1)軟弱地盤の盛土施工

当工事は、全線が軟弱地盤上の盛土区間で、直かつ本線内に大型水路が流れているため、盛土工事に先立って水路の切り回しを行わなければならず、当初から難工事が予想された。また、工事用道路のルート変更により、終点側から起点側へ向けての片押し施工となり、条件は一段と悪くなった。

大型水路の切り回し施工については、事前に充分検討を行い工程計画を立てたが、仮設道路の確保、施工足場の確保が予想以上に困難なものとなり、工程の遅れが生じた。

盛土の施工は、昭和63年6月上旬に開始し、同年11月迄に63年度予定盛土数量は確保出来たものの、敷砂工及び工事用道路の始点側への延伸は大幅に遅れ、サンドドレーン工、工事用道路舗装工事の工程に影響した。

平成元年度は、冬季間の降雪量が少なく4月上旬より盛土を再開する事ができた。8月下旬迄比較的好天に恵まれ、また、盛土工C・Dの追加により順調に盛土工事は進んだ。しかし、9月の長雨、大曲工事、内小友工事からの高含水比の盛土材料の搬入により、ばっ気を行いながらの施工を余儀なくされ、品質管理、施工管理に苦労した。しかしながら、工事用道路が全線舗装路面であった為、降雨後の待機日数が少なくてすみ、11月上旬には予定盛土数量の搬入を終える事ができた。

盛土速度の管理は、5cm/dayを基準とし動態観測結果に基づいて盛土の安定を確認しながら立ち上がり速度の調整を行った。各側点(15箇所)、プレロード部の盛土高、盛土速度の結果は、次のようになった。

2)敷砂工

(使用目的)・盛土内の地下排水層となって地下水位を低下させること

・盛土による軟弱層の圧密の為の上部排水層を形成すること目的とした

・バーチカルドレーン施工の為、機械の足場としてのトラフィカビリティの確保
盛土施工の重機の運搬、ダンプトラック11ton等の機械の足場としてのトラフィカビリティの確保である

(使用材料) 敷砂工に使用した材料：“板井田土取場の泥岩で軟岩材料、である

・軟岩下層で透水係数(cm/sec)は、 10^{-5} と非常に透水性が低くなる

工事用道路の施工は、敷砂厚1.0mとした

・盛土(モデル)施工の現場透水試験による結果は、全般的に良好であり、

材料試験の結果とほぼ一致した。敷砂として適当である、事が確認された

0.5mの敷砂ヤードでは、現地盤が軟弱であるため、地盤へのくいこみが大きく粘性土と混じるため透水性が失われる危険性があり又、軟質泥岩は、水につけると、ぜい弱スレイキングの比較的大きな材料である。

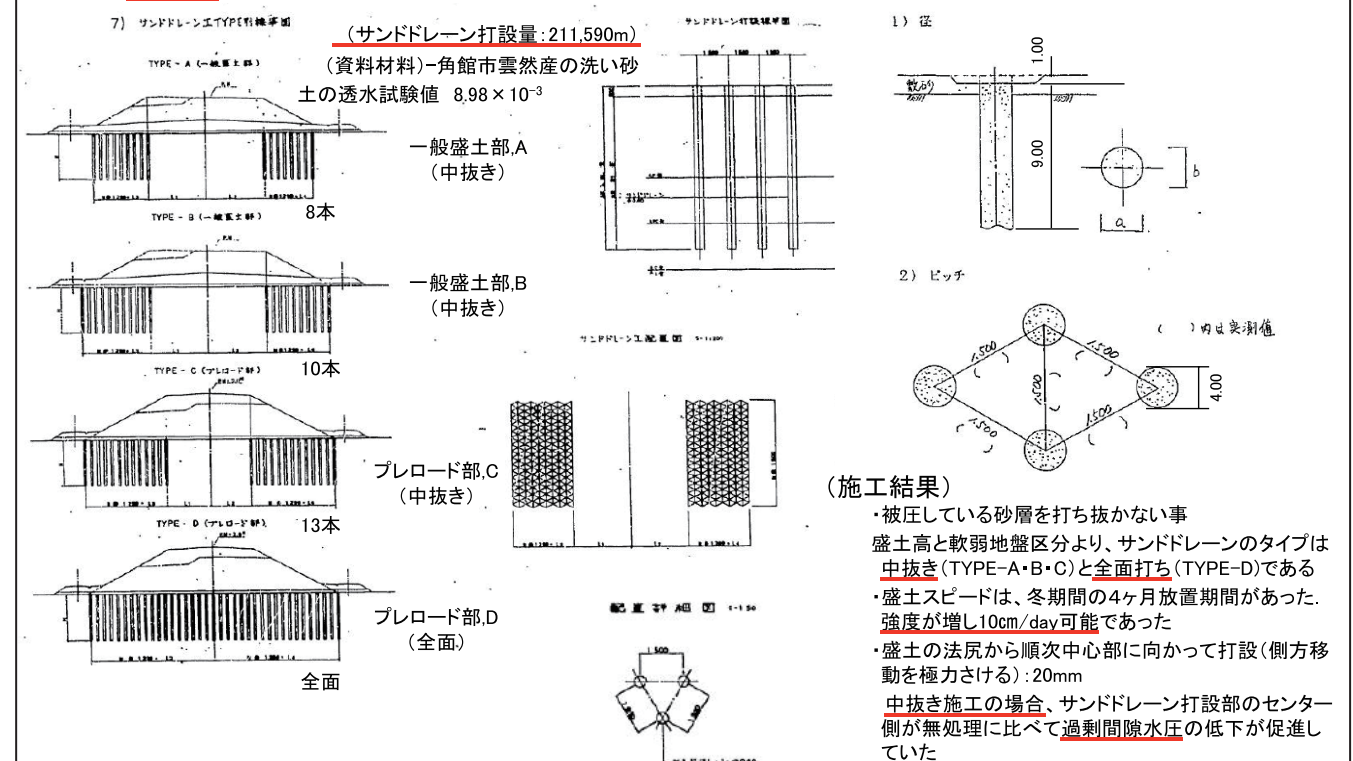
試験盛土の“軟弱地盤委員会”で検討した提言によれば、 $K=4 \times 10^{-6}$ と(ただし敷砂厚1.0m、地下排水間隔、横5m縦10m)であれば良いとしている。

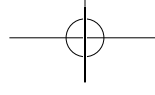
これらの提言により敷砂工を施工した上に地下排水工を併用して施工した

◎板井田土取場全体量:397,000m³
・軟岩材を敷砂202,000m³
として使用量(51%)

3)サンドドレーン

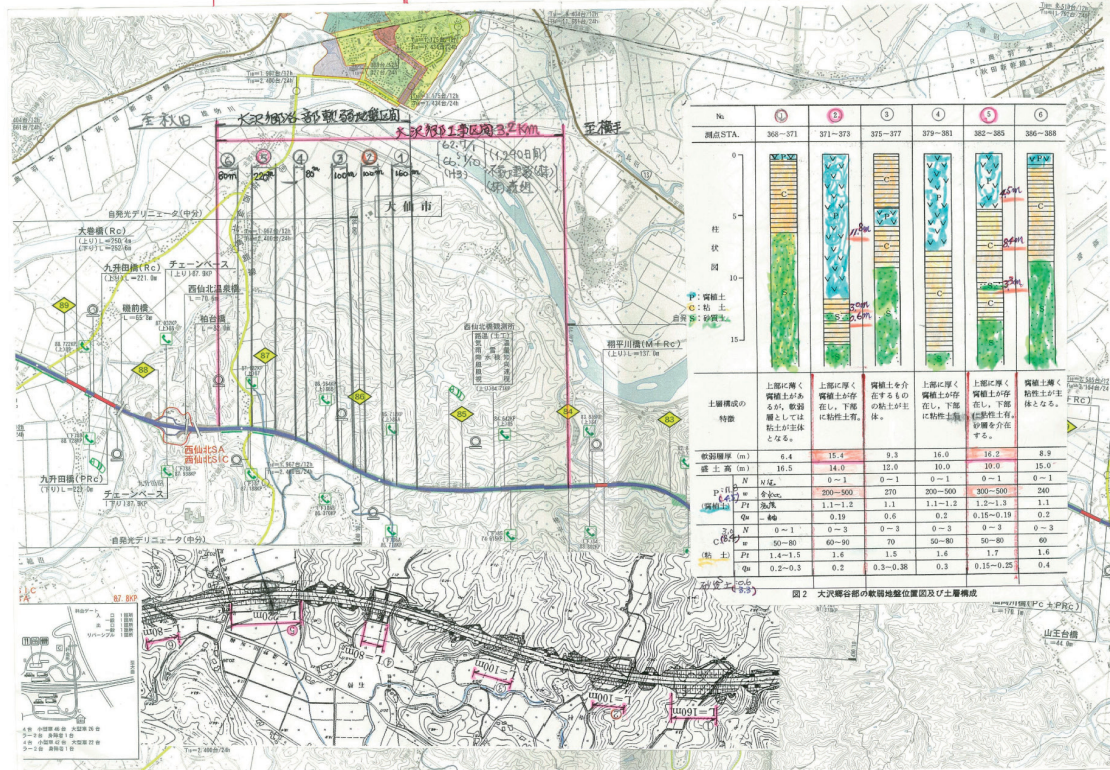
(使用目的)・軟弱地盤内の圧密層中に、透水性の良い砂柱を形成して、水平方向の排水距離を短縮し、排水柱(砂柱)を通じて排水し、沈下を促進させ併せて、地盤のせん断強さを図るものである。





大沢郷谷部軟弱地盤路線図

①～⑥の谷：L=740m



大沢郷工事軟弱地盤の設計・施工<狭小谷部>

1.はじめに
平成元年1月
東北横断自動車道秋田線の横手～秋田間の57kmは、平成3年の供用に向けて現在急ピッチで工事が進められている。当大沢郷工事3.2kmの内6個所の軟弱地盤を有するおぼれ谷が存在し、ここに10～17mの高盛土を施工する計画となっているが、沈下量は2～9mにも達する。

盛土安定対策及び沈下対策については、「押さえ盛土工法と緩速施工法」、「サンドドレーン工法及び敷網工法」を採用している。特に後者については、「ポンプによる強制排水井」、「盛土放置期間」、又構造物の沈下対策は「深層混合処理工法(DJM工法)」を採用することとした。

この6つの谷のうち、安定上最も問題があるとされる「⑤の谷」を先行施工し、現在約8mの盛土高で放置中である(計画高10m)。この谷は、上記安定の問題を含め他の谷を施工する際の安定管理指針を得ることを1つの目的として先行施工している。



図1 施工位置

総裁表彰



大沢郷工事概要報告

- 工事延長：3、230m {軟弱地盤:6個所 延長:約740m}
- 工期：S.62年7月1日～S.66(H3)年1月10日(約1290日間)
- 請負業者：不動建設(株)、(株)森組 共同企業体
- 軟弱地盤処理工

- ・敷砂工
- ・土木シート
- ・サンド・ドレーン
- ・敷網
- ・深層混合処理工法(DJM)
- ・釜場による今強制排水(排水井)
- ・盛土材一部 石灰処理

●1m当たりの概算額：966、000円

秋田道開通25周年記念講演資料
平成28年6月16日(木)

(1)土質調査時の問題点

土質調査データから各谷部における盛土の安定度及び沈下量を求めたのが表1である。安定度は、地盤改良、盛土補強を行わない場合の安全率Fsを示している。沈下量は、即時沈下量Siと一次圧密沈下量Scを加えた量である1)。

表1 土質調査時の検討結果

谷部No.	盛土高 (m)	軟弱層厚(m)				安定度(Fs)※1		推定沈下量(cm)		
		P	C	S	計	盛土本体	押さえ盛土	圧密沈下	即時沈下	全体沈下量
①	16.5	—	6.4	2.6	9.0	1.08	0.94	128.7	68.3	197.0
②	14.0	11.8	3.0	0.6	15.4	0.73	0.68	790.6	127.3	917.9
③	12.0	9.3	—	—	9.3	0.87	1.31	139.1	53.8	192.9
④	10.0	8.0	8.0	—	16.0	0.71	0.83	497.9	82.8	580.7
⑤	10.0	4.5	8.4	3.3	16.2	0.67	0.72	305.2	79.8	385.0
⑥	15.0	2.0	6.9	3.5	12.4	—	—	170.7	69.4	240.1

※1 盛土速度5cm/日 緩速施工。地盤強度増加を見込む。単一円弧すべりによる計算値。

土質調査時の解析結果から次の問題が指摘された。

- (a)盛土の安定
 - ・地盤改良による地盤の強度増加・安定対策としての盛土補強工・綿密な安定管理観測システム(動態観測システム)
- (b)盛土の沈下
 - ・沈下対策工・土量配分の再検討・供用後の残留沈下対策・沈下量管理観測システム
- (c)横断構造物
 - ・盛土の沈下に追従しない構造・供用後の機能確保
- (d)周辺地盤の変状
 - ・側方変位対策・変位量管理観測システム推定沈下量のうち、②、④、⑤の谷はとても大きな値になっている。高有機質土の場合、一般に沈下量は大きな値になるが、一方では粘性土と同一の試験法を実施し設計定数を求めることは困難であり、Terzaghiの一次元圧密理論も当てはまらないと言われている2>。
 - このようなことから、沈下対策工については、施工の各段階における実測沈下量から逐次、補正を行い対処することにした。

(1)バーチカルドレーン(圧密促進工法)

圧密促進工法としては、ペーパードレーン、パックドレーン等多くの工種が考えられたが、公団における実績と、近傍に良質材があり工費的にも安価なため、サンドドレーンを採用した。

(2)盛土の沈下対策

残留沈下対策としては、原則として載荷盛土及び地下低下工法によるサーチャージ工法を行うが、残留沈下量に対しては、供用後5年後の沈下量に相当する盛土幅員余裕を確保する。

(3)横断構造物支持地盤対策

ボックス及びパイプカルバートの沈下低減工法としては杭基礎が考えられるが、盛土高が高く杭に多大な支持力を必要とすること、大きなネガティブフリクションが働くこと、支持地盤が深く摩擦杭になることから杭基礎は不適当とした。そこで、基礎地盤全体を改良し支持力を得られる工法として、紛体噴射攪拌工法(以下DJM)を採用した4)本工事で採用したDJM施工条件を図5に示す。

(4)その他の工法

前述の各対策工と併用して、(イ)敷砂工(50～130cm)、(ロ)地下排水工及び排水井からの強制排水、(ハ)土木用シート、を施工した。

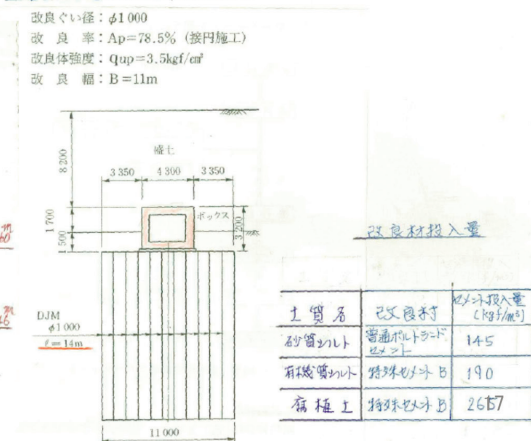
(5)各谷部の検討結果

対策工の選定手順に従い、各谷部の対策工の検討を行った結果を表2に示す。

表2. 大沢郷製塩地盤改良工概要

谷番号	①	②	③	④	⑤
区画	SPA355+00～370+00 L=150m 幅員B=15m	SPA370+00～385+00 L=150m 幅員B=15m	SPA385+00～400+00 L=150m 幅員B=15m	SPA385+00～395+00 L=100m 幅員B=15m	SPA395+00～400+00 L=50m 幅員B=15m
地盤改良	①: DJM ②: DJM ③: DJM ④: DJM ⑤: DJM	①: DJM ②: DJM ③: DJM ④: DJM ⑤: DJM	①: DJM ②: DJM ③: DJM ④: DJM ⑤: DJM	①: DJM ②: DJM ③: DJM ④: DJM ⑤: DJM	①: DJM ②: DJM ③: DJM ④: DJM ⑤: DJM
改良体強度	改良後: 1.0kgf/cm ² 改良前: 0.3kgf/cm ²	改良後: 1.0kgf/cm ² 改良前: 0.3kgf/cm ²	改良後: 1.0kgf/cm ² 改良前: 0.3kgf/cm ²	改良後: 1.0kgf/cm ² 改良前: 0.3kgf/cm ²	改良後: 1.0kgf/cm ² 改良前: 0.3kgf/cm ²
改良体幅員	改良後: 15m 改良前: 15m	改良後: 15m 改良前: 15m	改良後: 15m 改良前: 15m	改良後: 15m 改良前: 15m	改良後: 15m 改良前: 15m
改良体厚さ	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m
改良体形状	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m
改良体位置	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m
改良体材料	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m
改良体施工	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m
改良体費用	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m
改良体効果	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m	改良後: 1.0m 改良前: 0.3m

図5. 深層混合処理工法(DJM)施工条件



6. 今後の検討課題

狭小谷地形における軟弱地盤対策に関し、今後検討すべき課題は次のとおりである。

(1)沈下量の推定

供用開始直前の実測沈下量と調査時の推定沈下量の比較を表4に示す。実測沈下量と推定沈下量が大きく異なっている。これは、複雑な地盤形状が沈下に及ぼす影響、地盤の側方流動の表面沈下量に及ぼす影響、盛土補強工による沈下低減等が複雑に実測沈下に影響するためと思われる。沈下量の推定精度を上げるには、これらを事前に定量的に把握しなければならない。

また、残留沈下量をみると、①⑥の谷は小さく問題にならないが、②～⑤の谷は大きいので供用後の維持管理作業で対処することになる。

(2)敷網工の設計手法

盛土の安定に関しては、定性的ではあるが相当効果があると思われる。しかし、実測値として設計強度の1/4～1/7しか分担していないことから、更に効率的な設計手法の検討が必要である。

ちなみに、室内の模型実験結果によれば、敷網の設置位置、設置間隔によってその効果は変化し、また敷網の引張値だけでなく周辺盛土材との拘束効果も盛土の安定に寄与していることが確認されている。

表4 各谷の沈下量の結果

	①の谷	②の谷	③の谷	④の谷	⑤の谷	⑥の谷
(A) 調査時の推定沈下量 (91.7.31までの沈下量)	197.0	917.9	192.9	580.7	385.0	240.1
(B) 実測値による沈下量(91.6.28計測)	119.2	346.4	161.8	256.8	366.2	90.4
(C) 実測値/推定値 (B/A)	0.60	0.38	0.84	0.44	0.95	0.38
(D) 供用開始5年後までの残留沈下量	2.9	19.5	16.3	12.9	25.4	2.3

1) 即時沈下量Siナード圧密沈下量Sc 2) ①～⑤は盛土センター、⑥は右側の沈下量
3) その後の沈下はlog tに比例すると計算。

(3)施工結果

カルバートボックス本体及び上部の盛土には支障が生じなかったが、前後の地盤の沈下差のため・にDJM端部の盛土に大きなクラックが生じた。発生状況を発生状況図を図15に示すが、同様なクラックはDJM施工箇所すべての谷に生じた(図16)。

このクラックは、建設時の問題ばかりでなく、供用後の舗装路面にも段差等の支障を与えるのは明らかのため長期的な対策の検討を行った。比較検討結果を表3に示すが、施工性と経済性からケースⅢの敷網による対策行を選定した。

なお、供用後の路面状況ではわずかな凹凸は感じられるが、走行上は問題はない。

表3 クラック対策比較検討結果

No.	対策工法	工法概要	施工性	効果	数量	総合評価
I	薬液注入工法 クラックに注入	盛土内部に発生したクラックを薬液注入によって充填することにより地盤の強度を向上させる	比較的容易に施工できるが、薬液注入の位置・量を正確に把握することが必要である	・クラックが充填されれば、盛土が一体化される ・その後の沈下によるクラックの再発生は、管理の要である ・再クラックに対し、再度施工が可能である	160m ²	効果は若干の疑問が残るが、現在では適当、長期的には不適と考える
II	撤去再転圧工法 撤去転圧部	現在の盛土を撤去し、再転圧を行うことでクラックを無くし、1と同等の沈下を防ぐ	相当量の土の移動があり、残土の位置箇所も制約される	・クラックが完全に無くなり盛土が一体化される ・1と同様、クラックの再発生は、管理の要である	8300m ²	効果は十分であるが工期的に無理があり不適と考える
III	敷網工法 敷網2段ラップ 敷網	敷網のテーパー効果により不平等沈下を減少させる	容易に施工できる	・沈下に対して効果が期待できる	敷網: 25m 敷網長さ: 1600m ²	効果は若干の疑問が残るが、敷網のテーパー効果により不平等沈下を減少させることが期待できる

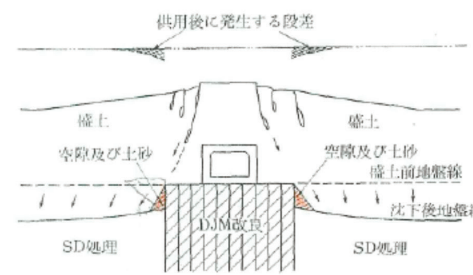


図15 DJM改良地盤上の盛土のクラック発生状況図



図16 水路ボックス上に発生したクラック

(3)盛土の安定

サンドドレーンによる地盤の強度増加、動態観測による安定管路の必要性は十分認識されたが、今後は地盤改良工と盛土補強工を組み合わせた、効果的な設計方法が必要と思われる。

(4)構造物の支持力対策

構造物の支持力対策として今回、紛体噴射攪拌工法を採用するにあたって、

①地形は各谷部の延長が80～200mのおぼれ谷である。

②腐植土層の厚さが約10mでまた高盛土が10～17mのため、狭小谷部の迂回道路、迂回路の確保が難しいこと及び軟弱地盤の盛土工(3年)からプレロード工法は適切でないことからDJM工法を用いたが、次のような事態も生じた。

③DJM処理区間とサンドドレーン処理区間(SD)との境界に大きな沈下差(DJM処理区間の沈下は約10m)が生じ、クラックが発生した。

④クラックの一部が落ち込んでいるところが見られDJM最端部上の主クラックの開放によるものか、DJM処理土とSD処理度との境界付近に空洞が形成されたと考えられる。

軟弱地盤の支持力対策の一環として、今後狭小谷部でのDJM工法が採用されると思うが、処理区間の境界付近の落ち込み、段差対策も講じる必要がある。

⑤の谷

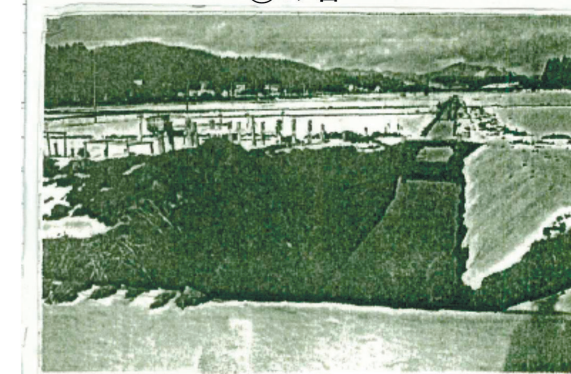
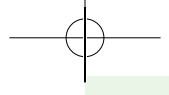


写真-3 R側隆起状況



7.終わりに

当工事は、色々な軟弱地盤処理工法を採用、駆使して（押え盛土工法と緩速施工法、サンドドレーン工法、深層混合処理工法、DJM－紛体噴射攪拌工法、敷網工法、釜場による強制排水等併用工法）無事に竣工しました。また、大沢工事軟弱地盤検討委員会（高速道路技術センター依頼、総合技術研究所）及びアドバイザーの皆様の助言等をいただきましてありがとうございました。

柳沢、及川両教授、西中村、中出、岩田氏OB委員アドバイザーの大田教授、持永、栗原両元局長、奥園氏、今西氏両OB

参考文献

- 1) 日本道路公団、“第1編土工編”、設計要領第1集、1983、P、200-211
- 2) 土質工学会、高有機質土の工学、例えばP.229、平成2年3月
- 3) 日本道路協会、道路土工 軟弱地盤対策工指針、P.269-273、昭和61年11月
- 4) 渡辺季文、他 軟弱地盤におけるボックスカルバートの支持力対策としてのDJM工法の適用、日本道路公団技術情報、No.101、P.5-12（1990）
- 5) 松尾稔、他、軟弱地盤上の盛土施工に関する施工管理図、土と基礎、Vol.26、No.7、P.5-10（1978）
- 6) 栗原則夫、他、盛土基礎地盤の破壊予測に関する考察、第14回土質工学研究発表会論文集、P.801-804（1979）
- 7) 三嶋信雄、他、敷設材を用いた軟弱地盤上の盛土の安定解析、第26回土質工学研究発表会論文集、P.2147-2148（1991）
- 8) 狭小谷軟弱地盤における高盛土の施工－秋田自動車道、大沢郷地区一、日本道路公団技術情報（桑原正 他2名）

建設時から現在までの報告

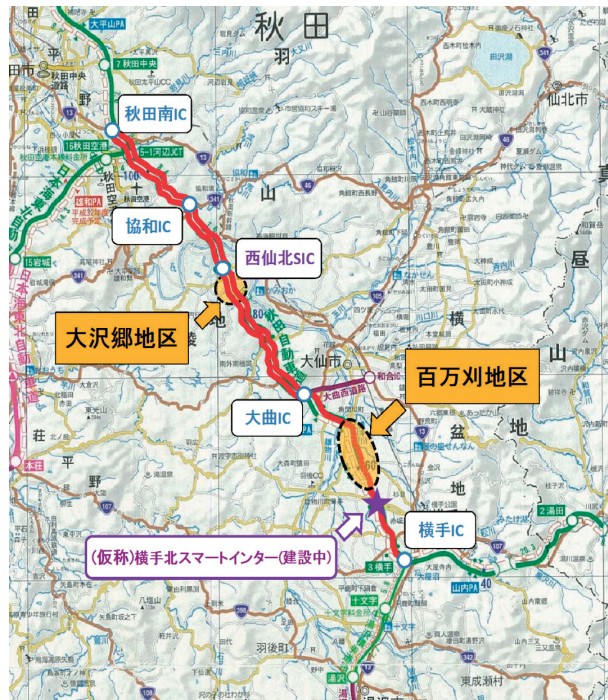
「軟弱地盤地域を通過する高速道路の現状」

NEXCO東日本東北支社 横手管理事務所 副所長

平山 篤

1. 秋田自動車道の主な整備状況

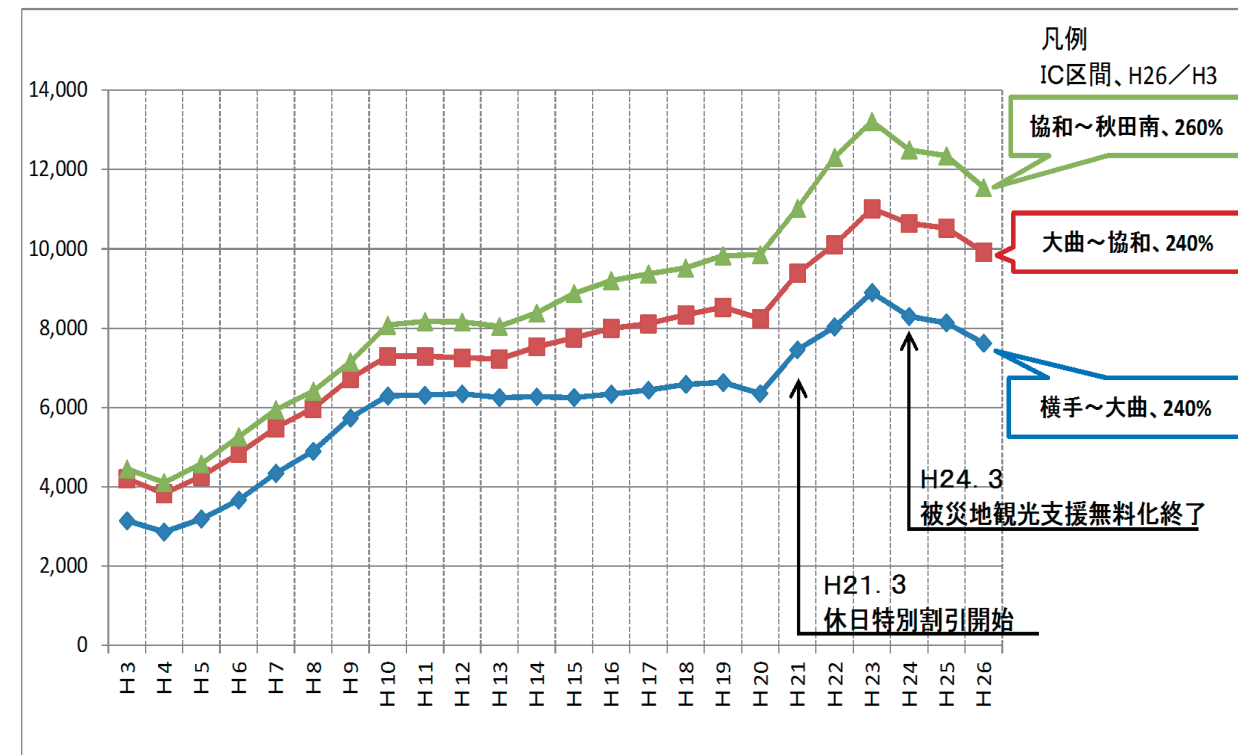
秋田自動車道路線図(横手IC～秋田南IC) ○主な開通日



H3.7.25	横手IC	～ 秋田南IC	56.1km
H6.8.4	北上JCT	～ 北上西IC	8.7km
H6.11.22	十文字IC	～ 横手IC	6.8km
H7.11.10	湯田IC	～ 横手IC	20.3km
H9.7.23	北上西IC	～ 湯田IC	21.6km
H9.11.13	秋田南IC	～ 昭和男鹿半島IC	25.6km
H13.7.7	協和IC	～ 秋田南IC 4車線化	11.3km
	河辺JCT	～ 秋田空港IC	2.4km
H14.4.10	西仙北IC運用開始(開放型活用施設・SA併設)		
H15.10.29	大曲IC	～ 西仙北SIC 4車線化	16.3km
H16.3.26	西仙北SIC	～ 協和IC 4車線化	7.6km
H23.3.26	西仙北ICスマート化ETC専用運用開始		

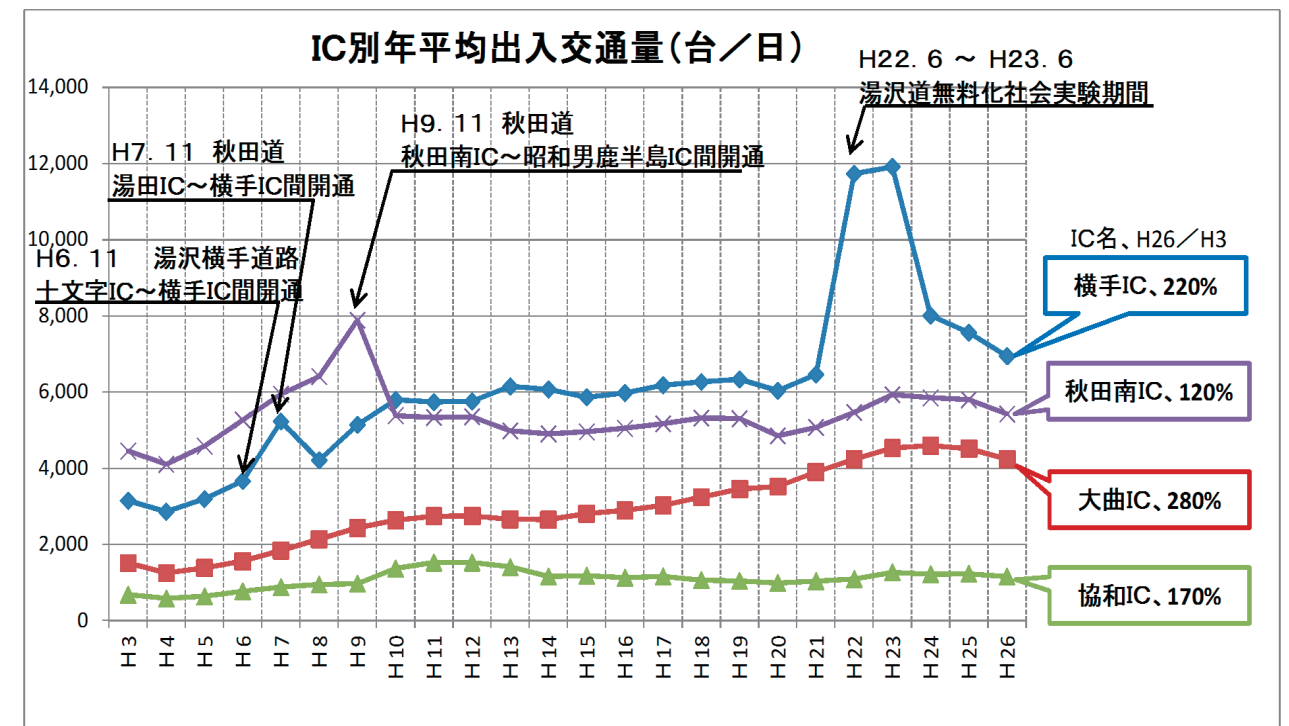


2. IC区間別年平均断面交通量(台/日)



出典:「東北支社管内交通統計(平成26年1月～12月)報告書」よりデータ引用

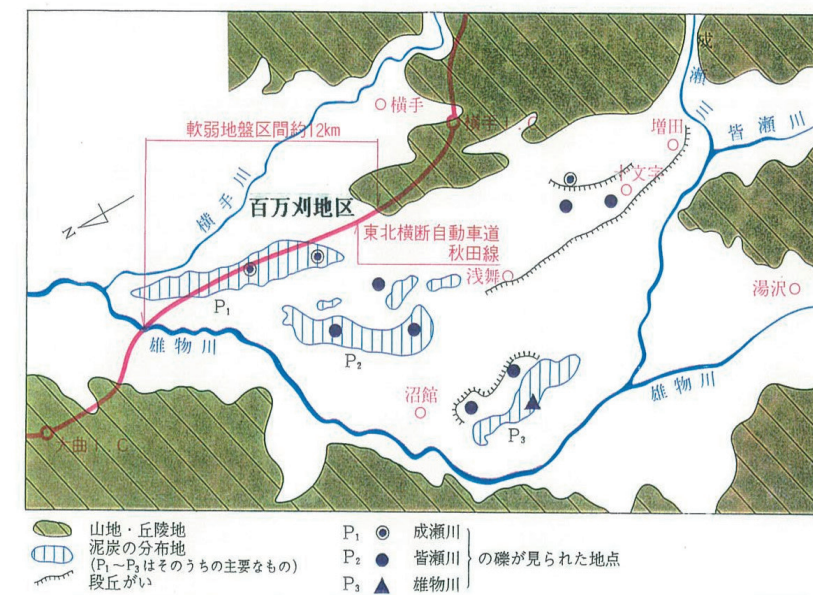
3. IC別年平均出入交通量(台/日)



出典:「東北支社管内交通統計(平成26年1月～12月)報告書」よりデータ引用

4. 百万刈地区の軟弱地盤と沈下量

4.1 地形と泥炭の分布



- ・雄物川と横手川に挟まれた低地、両河川で形成された後背湿地
- ・表層から、ピート層(泥炭)、有機質粘土層、粘性土からなる7m～14mの軟弱地盤
- ・原地盤の表層部は自然含水比500%～800%、未分解のピートが2m～5m堆積
- ・盛土高は最大8mで、4m～7mが主体的

図-3-1 横手盆地南部の地形と泥炭・礫の分布



※1 出典:秋田自動車道横手～秋田南間軟弱地盤追跡調査 調査報告書 平成10年1月

4-2 軟弱地盤の沈下量測定位置

↑: 沈下量測定位置①～⑩

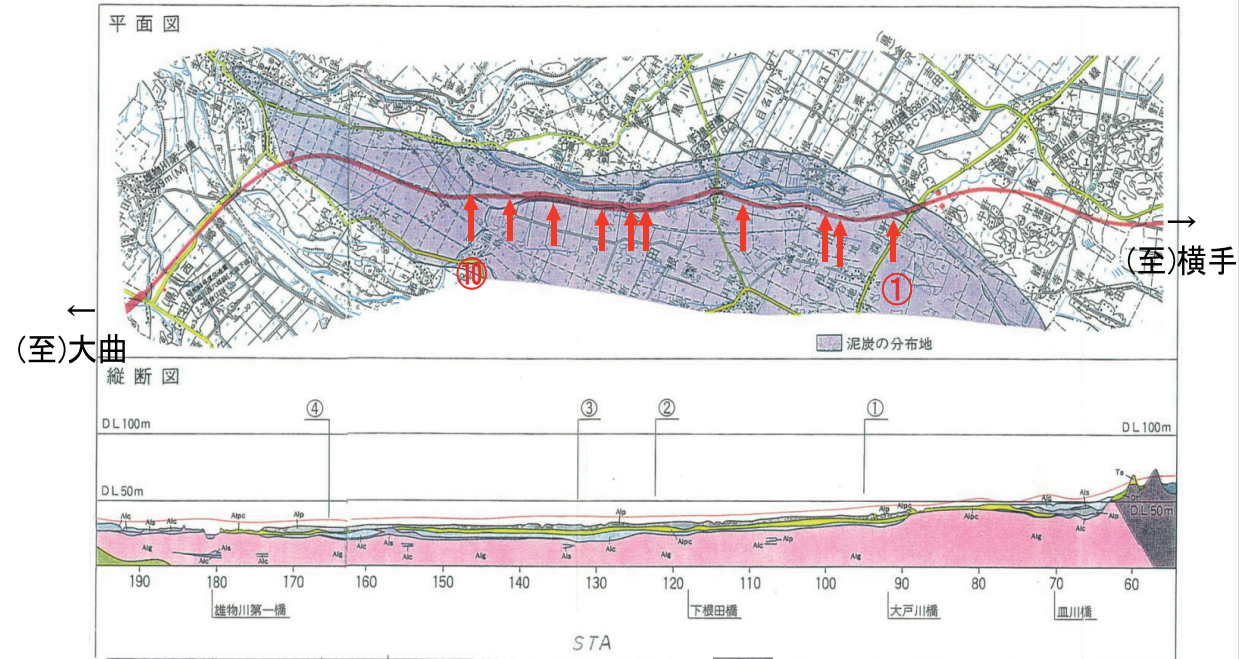


図-3・3 模式平面図 ※2

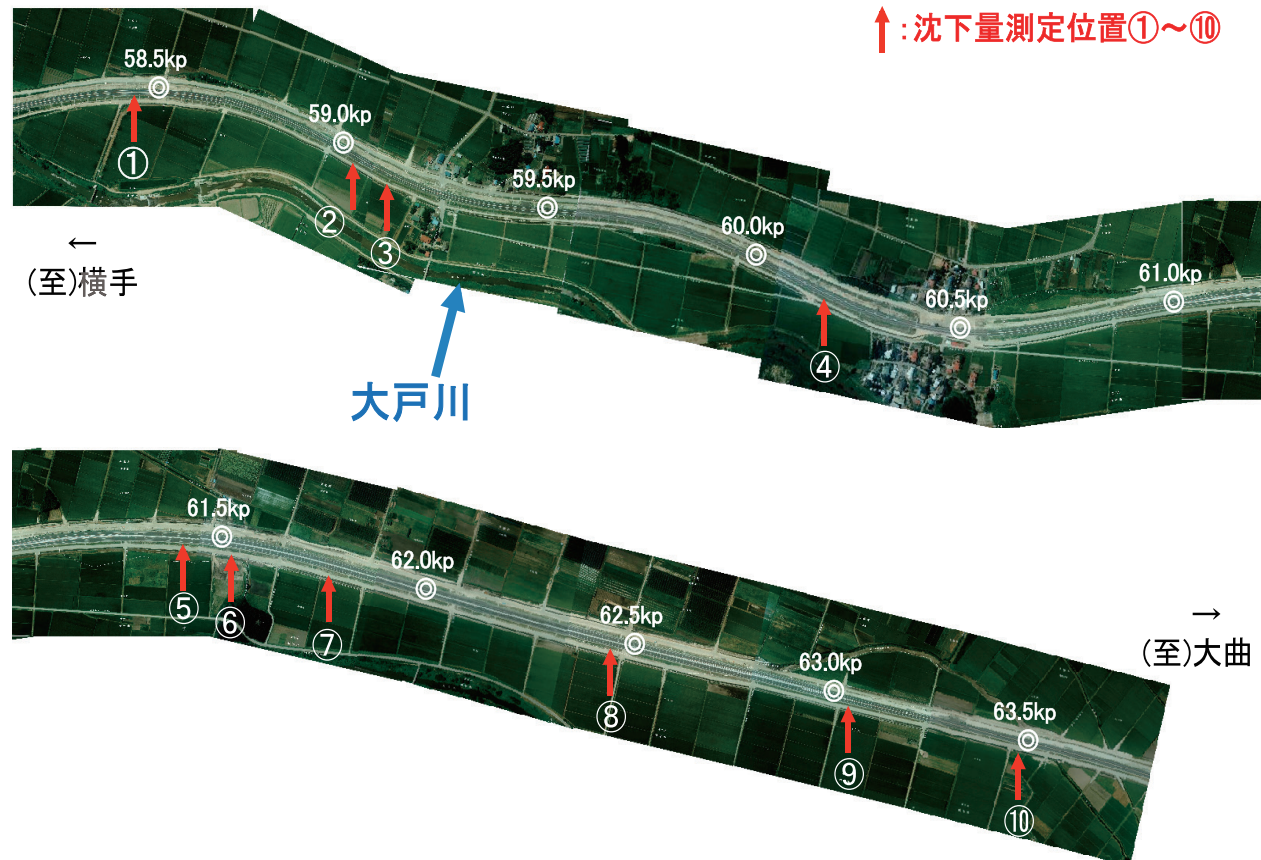
※2 出典: 秋田自動車道横手～秋田南間軟弱地盤追跡調査 調査報告書 平成10年1月

4-3 軟弱地盤対策工と沈下量の推移

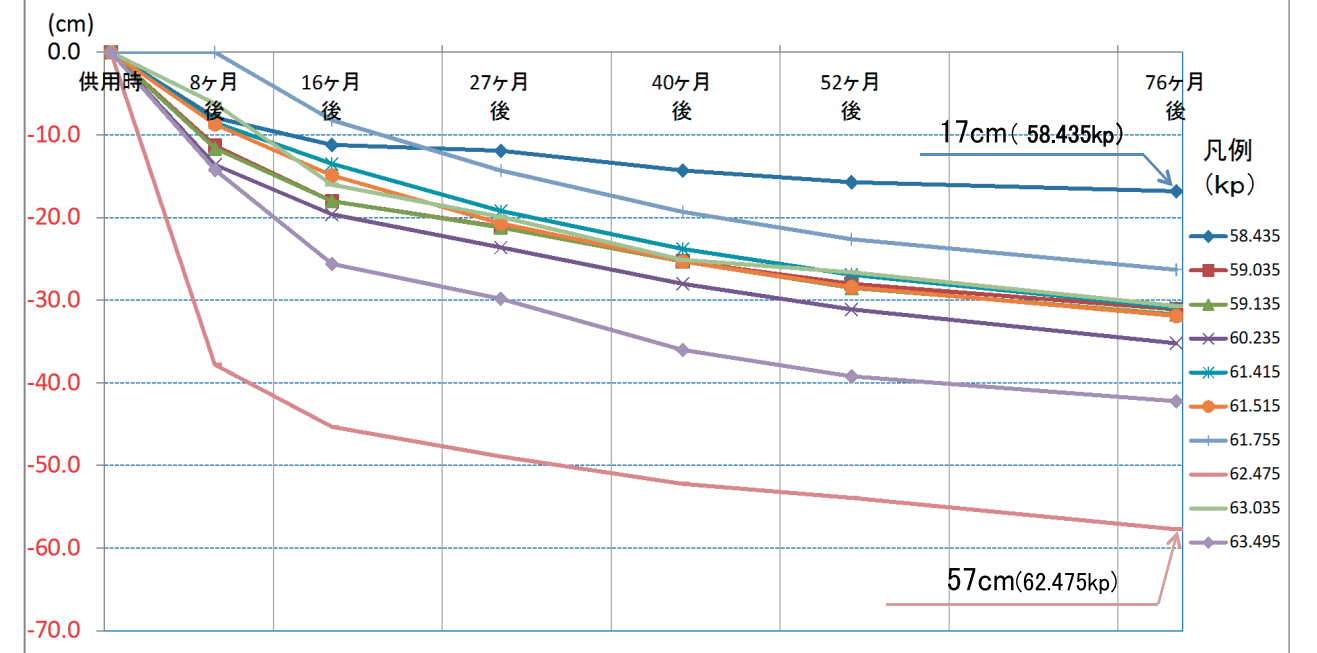
百万刈地区軟弱地盤概要

沈下測定位置kp	①58.435	②59.035	③59.135	④60.235	⑤61.415	⑥61.515	⑦61.755	⑧62.475	⑨63.035	⑩63.495
軟弱地盤厚さ(m)										
腐植土	3.5	3.3	2.9	3.0	4.2	2.7	3.8	3.4	3.5	4.9
有機質粘性土	1.1	2.5	2.9	2.9	1.4	2.8	3.6	1.4	0.6	1.8
粘性土	1.8	3.2	2.2	2.4	3.4	3.6	4.6	5.4	3.2	2.1
合計	6.4	9.0	8.0	8.3	9.0	9.1	12.0	10.2	7.3	8.8
盛土高さ	6m未満	6m未満	6m以上	6m以上	6m未満	6m未満	6m以上	構造物部	6m未満	6m未満
対策工(建設時)										
敷砂工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
押え盛土工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
地下排水工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
敷網工	○					○				○
サンドレーン工			○	○			○	○		
載荷盛土工								○		
沈下量(cm)										
設計沈下量	206.0	244.0	218.0	264.0	264.0	207.0	310.0	350.0	195.0	282.0
供用時	75.4	150.5	140.8	171.7	148.8	78.2	169.8	159.7	149.8	112.9
供用8ヶ月後	83.3	161.8	152.4	185.3	157.3	86.9	169.8	197.5	156.0	127.1
供用16ヶ月後	86.6	168.5	158.8	191.3	162.3	93.1	178.0	205.0	165.8	138.5
供用27ヶ月後	87.3	171.6	162.0	195.3	168.0	98.9	184.1	208.6	169.7	142.7
供用40ヶ月後	89.7	175.8	166.1	199.7	172.6	103.5	189.1	211.9	174.9	148.9
供用52ヶ月後	91.1	178.5	169.3	202.8	175.7	106.6	192.4	213.6	176.4	152.1
供用76ヶ月後	92.2	181.6	172.5	206.9	179.7	110.1	196.1	217.4	180.5	155.1
最終沈下予測値(0.05t/m ²)	121.7	248.1	243.0	286.7	254.9	175.9	265.9	310.4	247.6	228.9

出典:「秋田自動車道横手～秋田南間軟弱地盤追跡調査 調査報告書 平成10年1月」よりデータ引用し作表



百万刈地区 開通後の沈下量推移(開通1991.7～1997.11まで)

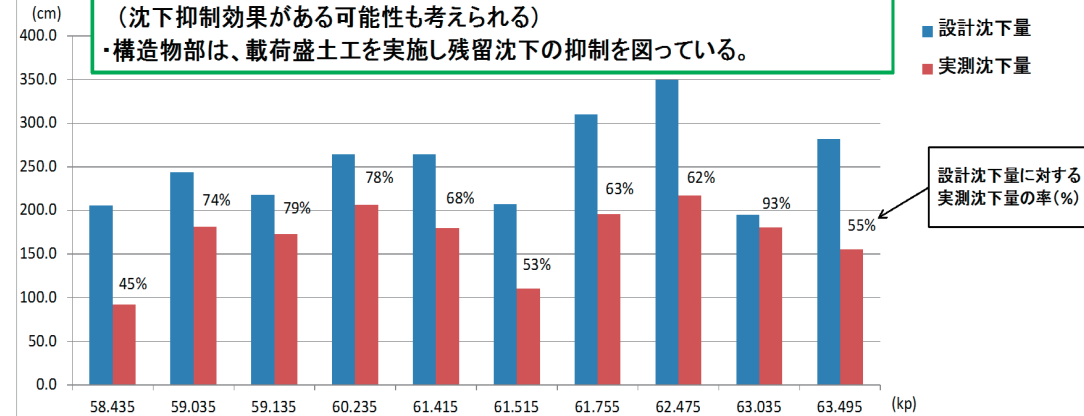


出典:「秋田自動車道横手～秋田南間軟弱地盤追跡調査 調査報告書 平成10年1月」よりデータ引用し作図

4-4 設計沈下量と実測沈下量

百万刈地区 設計沈下量と実測沈下量(開通76ヶ月後)との関係

・敷網工箇所の実測沈下量は、設計の45%～55%と他に比べて低い。
(沈下抑制効果がある可能性も考えられる)
・構造物部は、載荷盛土工を実施し残留沈下の抑制を図っている。

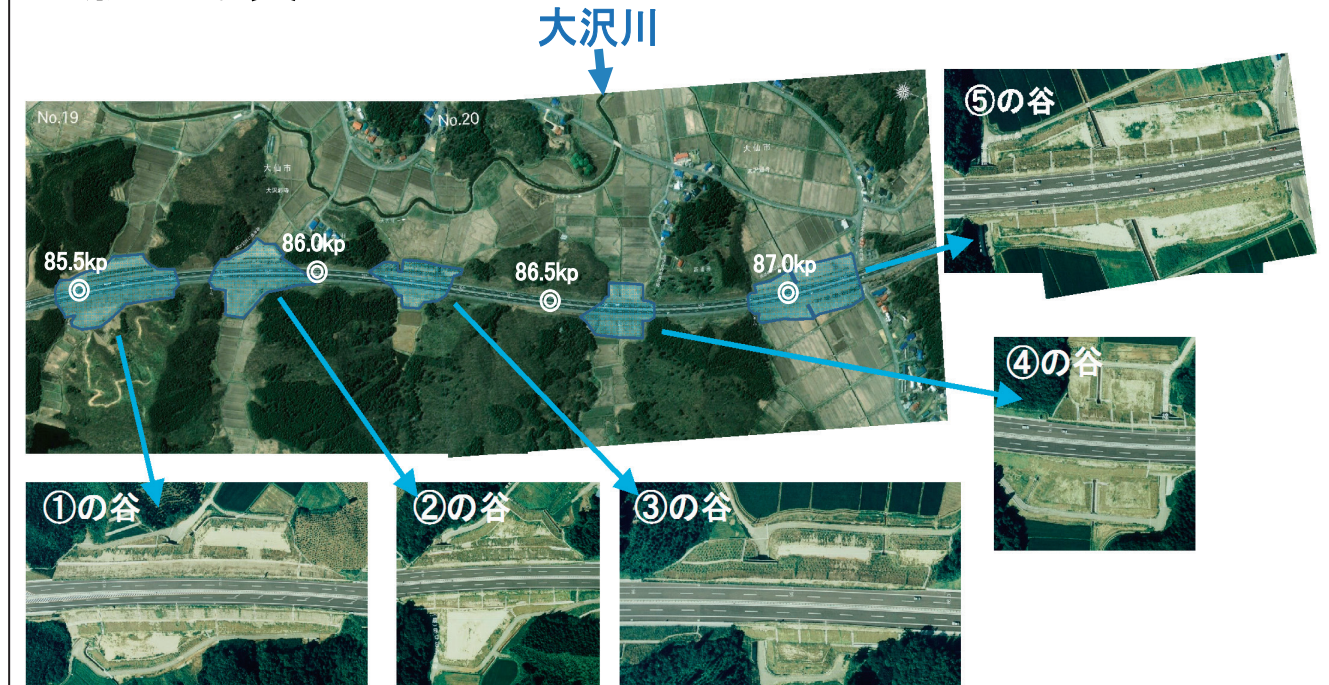


一般盛土部・構造物部		6m未満	6m未満	6m以上	6m以上	6m未満	6m未満	6m以上	構造物部	6m未満	6m未満
対策工	敷砂工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	押え盛土工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	地下排水工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	敷網工	○				○					○
	サンドドレーン工			○	○			○	○		
	載荷盛土工								○		



出典:「秋田自動車道横手～秋田南間軟弱地盤追跡調査 調査報告書 平成10年1月」よりデータ引用し作図

航空写真



5. 大沢郷地区の軟弱地盤と沈下量

5-1 位置図

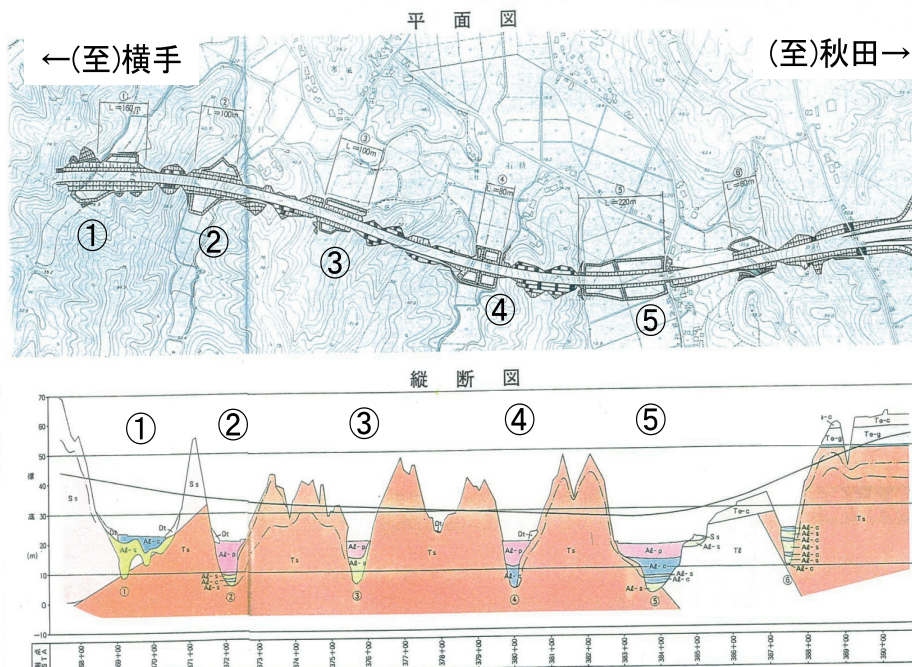


図4-3 大沢郷地区縦断面図※3



※3 出典:秋田自動車道横手～秋田南間軟弱地盤追跡調査 調査報告書 平成10年1月

- ・雄物川水系の支流である大沢川に沿った谷部の沢
- ・沖積層の泥炭性の有機質土層、一部有機質を含んだ粘性土層からなる
- ・10m～16mの軟弱地盤
- ・有機質土の含水比は50%～500%で主体的には200%以上の超軟弱地盤
- ・粘性土層の含水比は上部が50%～150%、下部が50%～80%。
- ・上部・下部粘性土は一般的な軟弱地盤
- ・盛土高は10m～20m

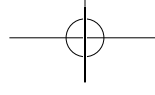
5-2 軟弱地盤対策工と沈下量の推移

大沢郷地区軟弱地盤概要

沈下測定位置kp		①の谷	②の谷	③の谷	④の谷	⑤の谷
軟弱地盤厚さ(m)	腐植土	0.4	12.0	1.5	7.0	5.2
	有機質粘性土	6.0	3.4	7.8	9.0	11.0
	合計	6.4	15.4	9.3	16.0	16.2
盛土高(m)		16.5	14.0	12.0	10.0	10.0
対策工	敷砂工	○	○	○	○	○
	押え盛土工	○	○	○	○	○
	地下排水工	○	○	○	○	○
	敷網工	○	○	○	○	○
	サンドドレーン工	○	○	○	○	○
沈下量(cm)	C-BOX部にDJM	○	○	○	○	○
	設計沈下量	197.0	918.0	193.0	581.0	385.0
	供用時	119.2	346.4	161.8	256.8	366.2
	供用8ヶ月後	119.8	348.4	168.6	262.8	373.3
	供用16ヶ月後	121.3	349.5	171.9	267.1	377.6
	供用27ヶ月後	122.1	351.5	175.7	272.5	381.5
	供用40ヶ月後	123.2	352.8	179.0		384.6
	供用52ヶ月後	123.5	353.7	181.5		386.6
	供用76ヶ月後	125.2	355.0	185.1		389.2
最終沈下予測値		129.7	359.1	199.6		399.6



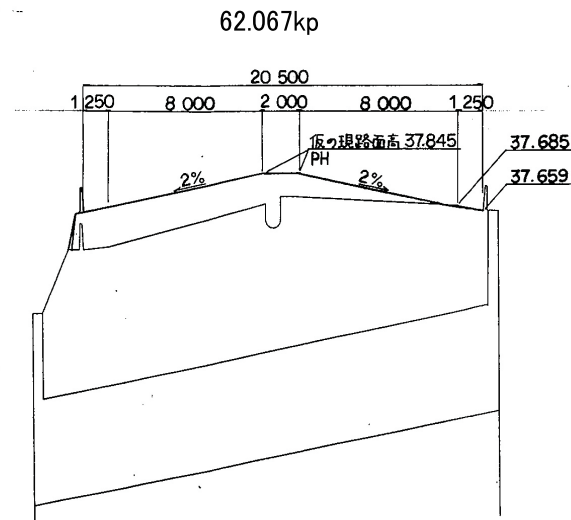
出典:「秋田自動車道横手～秋田南間軟弱地盤追跡調査 調査報告書 平成10年1月」よりデータ引用し作表



6. 開通後の舗装補修の状況

6-1 縦断修正の検討(百万刈地区の例)

盛土部横断面図の例 ※4



・沈下の状況

- ・横断ボックスは沈下が小さく前後に大きな沈下が発生。
- ・横断勾配は正規の勾配は確保されず、逆勾配箇所もあり。

・検討方針

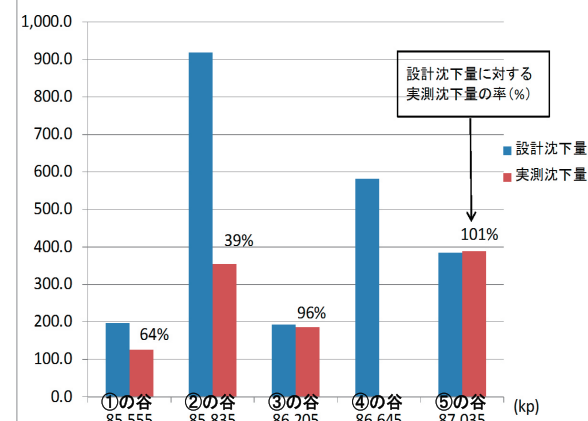
- ・横断ボックス部は現状の土被りを確保するため、路肩部で切土とならない横断勾配を計画する。



※4 出典:秋田自動車道百万刈地区舗装修繕測量設計 設計報告書 平成8年3月

5-3 設計沈下量と実測沈下量

大沢郷地区 設計沈下量と実測沈下量(開通76ヶ月後)との関係



盛土高さ(m)	16.5	14.0	12.0	10.0	10.0
敷砂工	○	○	○	○	○
押え盛土工	○	○	○	○	○
地下排水工	○	○	○	○	○
敷網工	○	○	○	○	○
サンドドレーン工	○	○	○	○	○
C-BOX部にDJM	○	○	○	○	○



出典:「秋田自動車道横手～秋田南間軟弱地盤追跡調査 調査報告書 平成10年1月」よりデータ引用し作図

・盛土部は緩速施工(5cm/日)を実施。

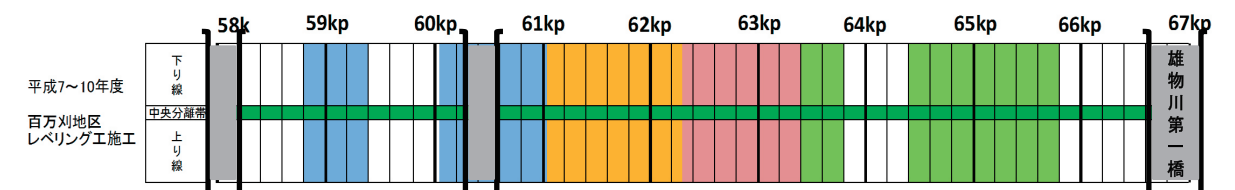
・押え盛土工は、急速施工可能な高さまで施工、幅は軟弱地盤層厚以上を施工

・③の谷と⑤の谷は、設計沈下量と実測値がほぼ同じ傾向

・①と②の谷は実測値より設計沈下量がかかなり大きい

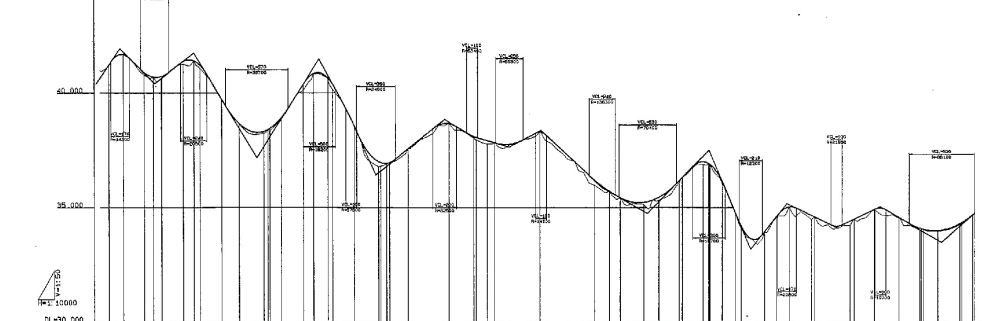
・要因としては、各種対策工の効果(②の谷はサンドドレーンを全面打設)や沢の出口が埋没尾根によって閉ざされたおわん型の地形を呈し、軟弱土が側方へあまり変形しなかったことなど考えられるが、明確なものはない。

6-2 百万刈地区の舗装補修(H7～H10)



平成10年度施工 L=1.3km
平成9年度施工 L=1.2km
平成8年度施工 L=1.3km
平成7年度施工 L=1.8km

注)下根田橋A1、A2の前後30mは、平成7年度に段差修正工実施

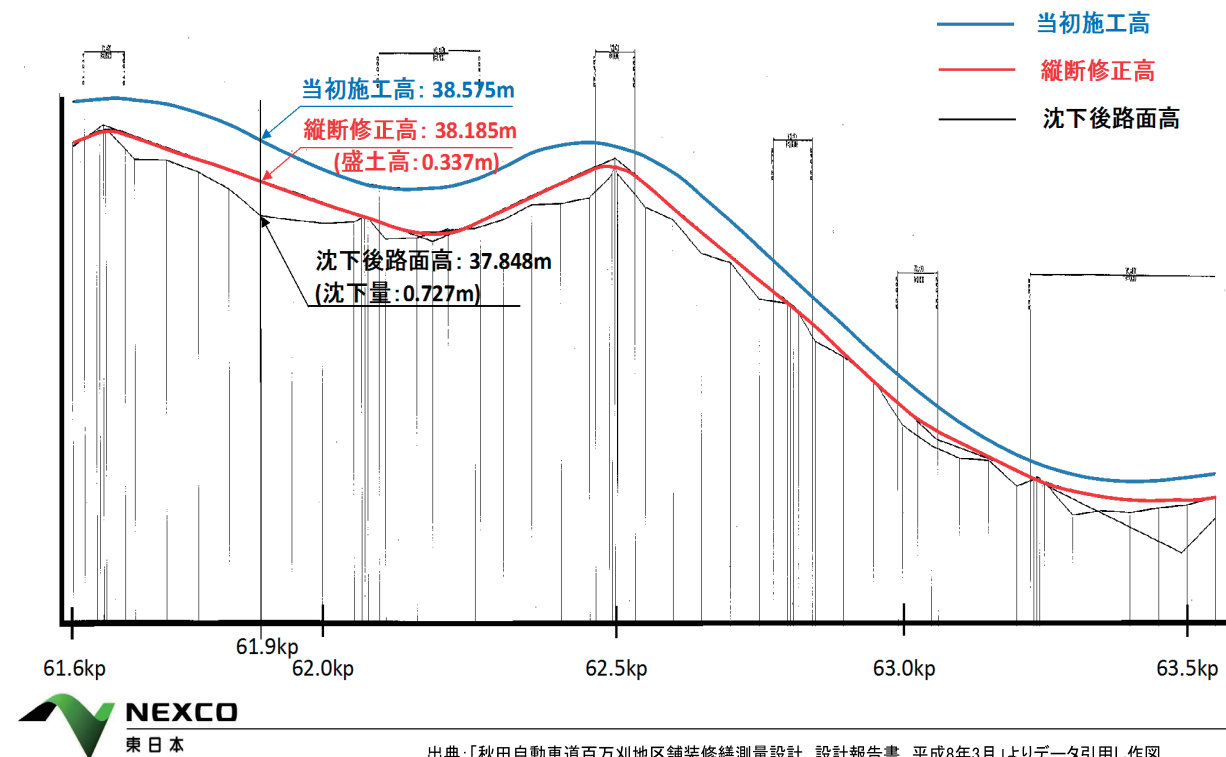


秋田自動車道 縦断線形検討図(58.5kp～66.5kp) ※5

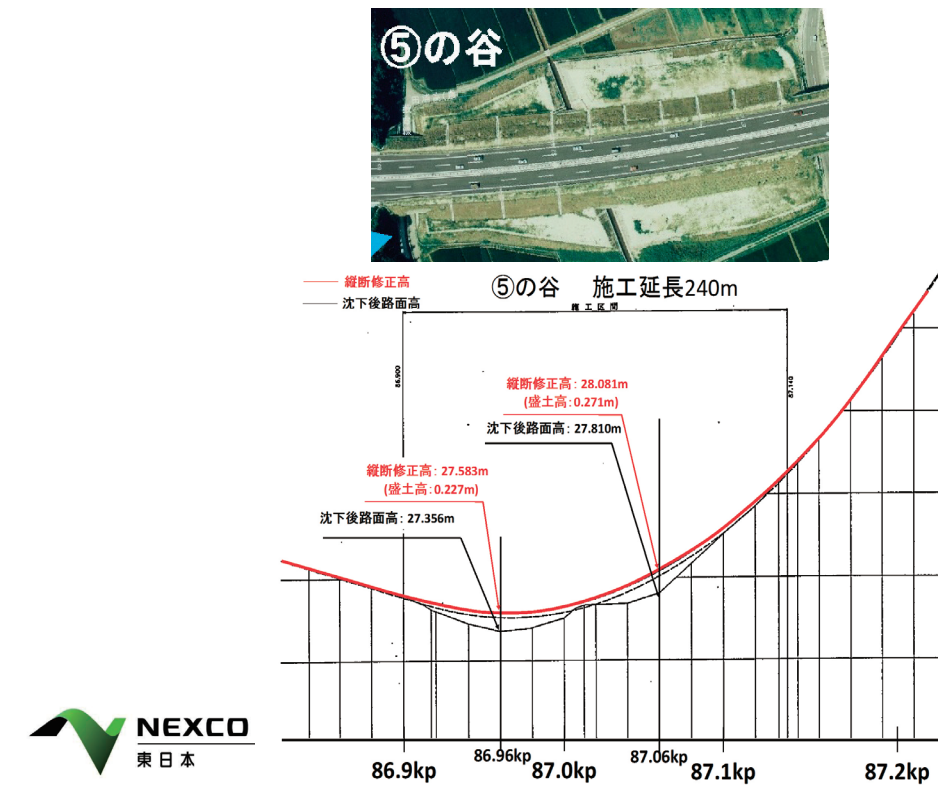


※5 「秋田自動車道秋田管内舗装改良その他測量設計 設計報告書 平成7年3月」よりデータ引用し作図

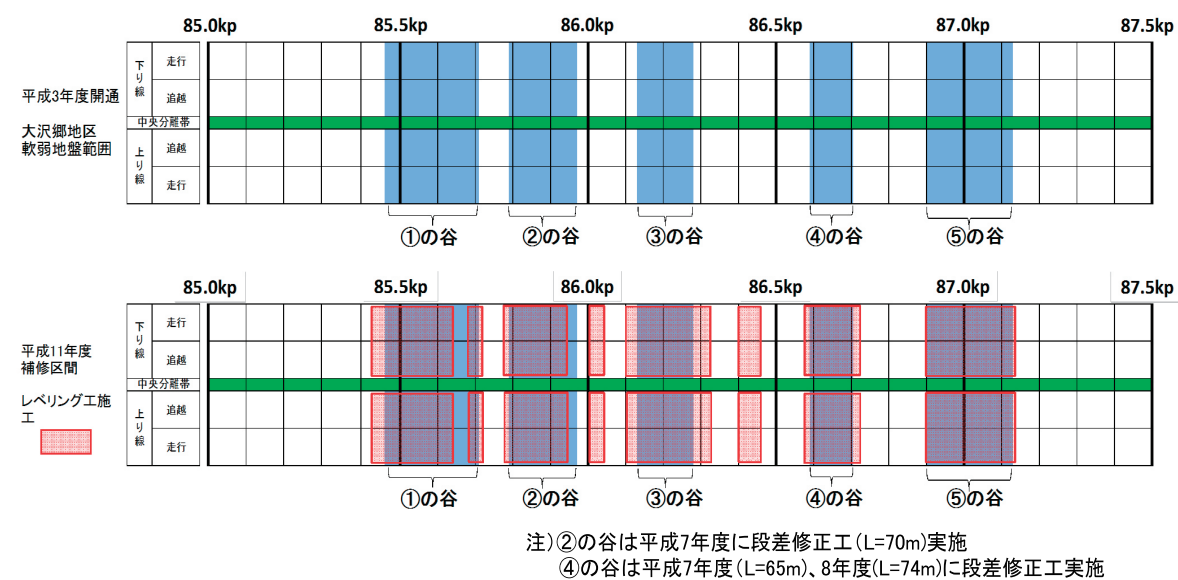
縦断線形の修正事例（百万刈地区、61.6kp～63.5kp）



縦断線形の修正事例（大沢郷地区、⑤の谷）

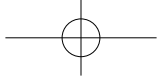


6-3 大沢郷地区の舗装補修(H11)



6-4 舗装補修の履歴と現況

- ・ 開通から3年後の平成6年から縦断修正の検討開始。
- ・ 沈下量の追跡調査は、平成9年11月で終了。
- ・ 百万刈地区は、平成7年度～10年度にレベリング工等の縦断修正実施。
- ・ 大沢郷地区は、平成11年度に縦断修正実施。
- ・ 平成12年度以降は、百万刈で部分的な切削オーバーレイ工を2回(H15、H17)、大沢郷で②～⑤の谷の切削オーバーレイ工を1回(H16)実施。
- ・ その後、百万刈はH27、大沢郷はH24～H28に切削オーバーレイ工を実施。沈下はほぼ収束している。



秋田自動車道〔横手～秋田南〕
開通25周年記念 技術フォーラム
～明日に伝える軟弱地盤対策技術～
＝講演資料＝

あ な た に、ベ ス ト・ウ ェ イ。



NEXCO東日本東北支社 横手管理事務所・秋田管理事務所