

堤防盛土安定性検証のための 試験施工計画について

札幌開発建設部 千歳川河川事務所 計画課

○工藤 拓也
古溝 幸永
岩井 聖

現在千歳川流域では河川整備計画に基づき、堤防の拡幅や遊水地の整備などを行っている。泥炭性軟弱地盤における築堤工事を実施する中、築堤完成後数ヶ月を経て不安定化を招く事例がみられる。泥炭性軟弱地盤の特殊性から、これら現象の技術的知見が少ないため、北島地区遊水地の敷地を活用し2種類の試験施工の計画を立案した。1つは築堤盛土後の堤体内の水位上昇現象を検証し、施工速度の違いや対策工の有無による堤体の不安定化（変状の発生など）の変化を把握する。また、もう1つは盛土材料の含水比条件の違いによる融雪期における堤体の強度変化を再現する。本発表では試験施工の概要を述べる。

キーワード：泥炭性軟弱地盤、築堤

1. はじめに

積雪寒冷地である北海道内においては、かつての湿原や沼沢に繁茂した植物の遺骸が分解されずに堆積した泥炭性軟弱地盤が広い範囲で分布し、築堤工事などの河川整備や堤防管理において多くの地盤工学的な問題を生じてきた経緯がある。このような泥炭性軟弱地盤に起因する築堤工事や管理の困難さは平成20年に設立された北海道開発局堤防技術研究会の研究テーマとして取り上げられ、「泥炭性軟弱地盤における堤防変状機構の解明」や「対策工法の効果」、「泥炭性軟弱地盤における堤防管理」等について検討が行われている。しかしながら泥炭性軟弱地盤の特殊性については通常の地盤工学的手法による評価・検討が困難であることや技術的な知見が多くないことから、経験的かつ定性的な評価にとどまることが多い。

一方、泥炭性軟弱地盤が広がる千歳川流域においては、河川整備計画に基づく堤防の拡幅や遊水地の整備などが進められている状況にあるが、盛土施工後に、次節で述べるような変状を生じるなどの事例がみられることがあり、泥炭性軟弱地盤における築堤盛土技術の向上が急務となっている。以上の状況を踏まえ、本発表では泥炭性軟弱地盤上の築堤工事の施工方法を検討するための基礎資料を得ることを目的として、現在恵庭市北島地区で工事中の遊水地内を活用した試験施工計画について第1報として紹介するものである。

(1) 北海道における泥炭性軟弱地盤の分布と特性

北海道内の泥炭地盤は図-1 に示すように石狩川、釧路川、天塩川などの主要河川の下流部を中心として広範囲に分布している。その特性は写真-1 及び表-1 に示す通りであり、繊維質で圧縮性が高く、含水量が多いといった特徴を有している。また、強度は地域ごとに大きくばらつくが、石狩川中下流域では限界盛土高さで 2～2.5m 程度となることが多い。

(2) 泥炭性軟弱地盤における変状事例

上述のように泥炭地盤が広く分布する北海道においては、泥炭性軟弱地盤上における変状発生事例として、「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」（平成 14 年 3 月、独立行政法人北海道開発土木研究所（現：寒地土木研究所））¹⁾ に示されているようにすべり破壊状の変状（写真-2）や側方流動に伴う変状（写真-3）といった変状

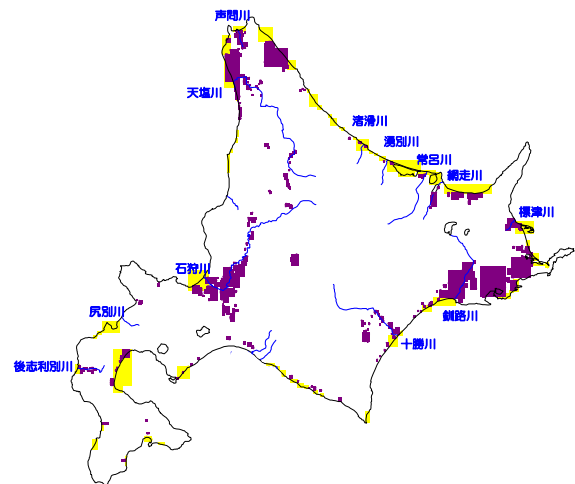


図-1 北海道内における泥炭地盤の分布

の発生について、それぞれ工学的な手法にのっとり評価・検討が加えられている。このマニュアルの策定により泥炭性軟弱地盤における築堤盛土工事は、効率的に進められるようになったが、近年**写真-4**に示すように築堤荷重の作用によって泥炭性軟弱地盤から排出される間隙水が堤体に徐々に供給され、完成後数カ月を経て変状を発生する現象が確認されることがある。

このような変状箇所では、堤体内部の水圧（水位）が堤体表面を上回るほど高くなっている現象が確認されているほか、**写真-5**に示すようにのり面上部からの水の染み出し（この染み出し水は酸性を示したため、泥炭性軟弱地盤から供給された間隙水だと思われる）を生じることがある。

一方、積雪寒冷地である北海道内においては、冬期施

工における築堤工事の困難さを裏付けるように冬期施工で完成した築堤が翌融雪期に変状を生じる事例も多く見られる。山村ら²⁾は飽和度上昇させることにより盛土の強度が低下することを実験的に明らかにしているが、冬期施工により築造された盛土の融雪期の変状については、まだメカニズムが明らかではない。しかし、今後築堤盛土が進められる中、これら変状発生に関する知見を得ることは重要であると考えられる。

(3) 試験施工の方針

(2)で述べた変状事例を踏まえ、次の2つの事象を試験施工により再現し、各種の観測及び検討を行うことで今後の築堤盛土技術の向上のための知見を得ることとした。



写真-1 典型的な繊維質泥炭
（「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」より引用）



写真-3 地盤の側方流動による電柱の傾斜（「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」より引用）



写真-2 泥炭性軟弱地盤における盛土崩壊（「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」より）

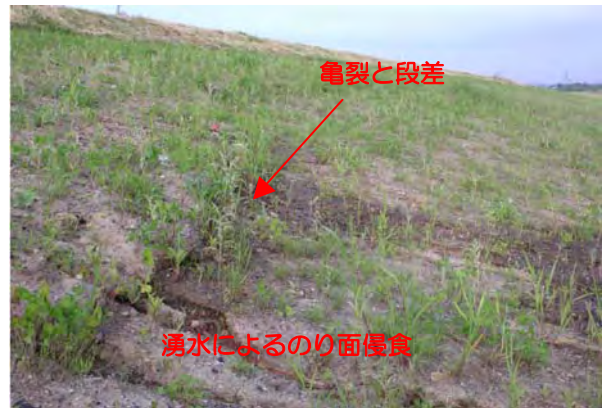


写真-4 間隙水圧の上昇による変状発生例

表-1 石狩川流域における泥炭の物性

湿潤密度 γ_t	0.95~1.12	g/cm ³
乾燥密度 γ_d	0.09~0.27	g/cm ³
含水比 w	115~1,150	%
間隙比 e	5~19	
透水係数 k	10^{-4} ~ 10^{-5}	
コーン支持力 q_c	1.0~3.0	kg/cm ²

「激特事業の記録」³⁾より作成



写真-5 冬期施工により築造された樋門周辺において発生した変状の一例

試験 1：泥炭性軟弱地盤から供給される間隙水による堤体の不安定化と対策工の効果検証

試験 2：冬期施工により築造された盛土の融雪期における強度低下現象の再現

千歳川流域における河川堤防の標準的なのり面勾配は、4割勾配が標準であり、試験施工においても同様ののり勾配を採用することとする。

また、試験施工の実施ヤードを北島地区遊水地とし、敷地の有効活用を図った。北島地区の地盤は既往の調査により図-2に示す地盤構造であることがわかっている。図より、①地表面付近に層厚1~2m程度の泥炭層(Ap1)が分布する。②泥炭層の下位には軟弱な粘性土(Ac1及びAc2)が厚く分布し、これら軟弱層の層厚は合計15mに達する。さらに③敷地東側では砂層(As1)を挟在するこ

とがわかる。

以上より試験施工は北島地区の地盤構造から、泥炭層を厚く分布し、かつ排水層である砂層が分布しない敷地中央から西側寄りのヤードを用いることとした。

2. 試験 1：間隙水圧上昇を再現する試験施工計画

(1) 試験施工の目的と方針

泥炭性軟弱地盤に盛土を築造した際に、泥炭層から排出される間隙水が堤体に供給され、築堤完成後数カ月を経て変状を発生する事例や樋門撤去箇所などの非出水期間に施工された築堤が融雪期に変状を生じるなどの事例

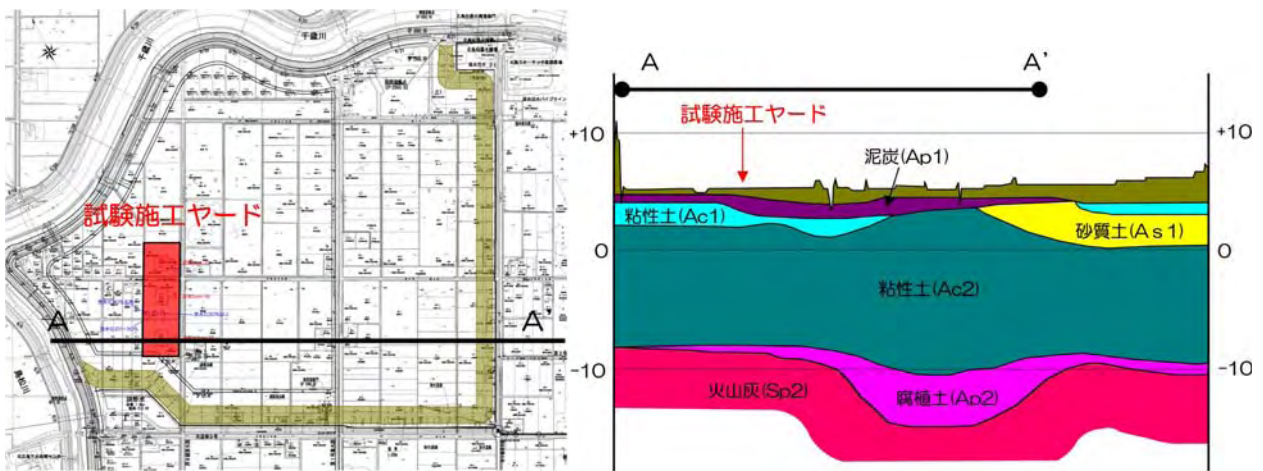


図-2 北島地区遊水地の地盤構造（東西断面）

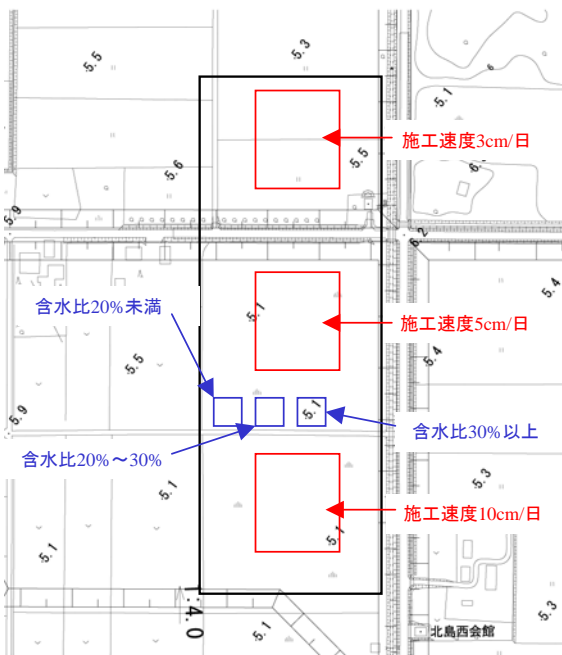


図-3 配置予定図

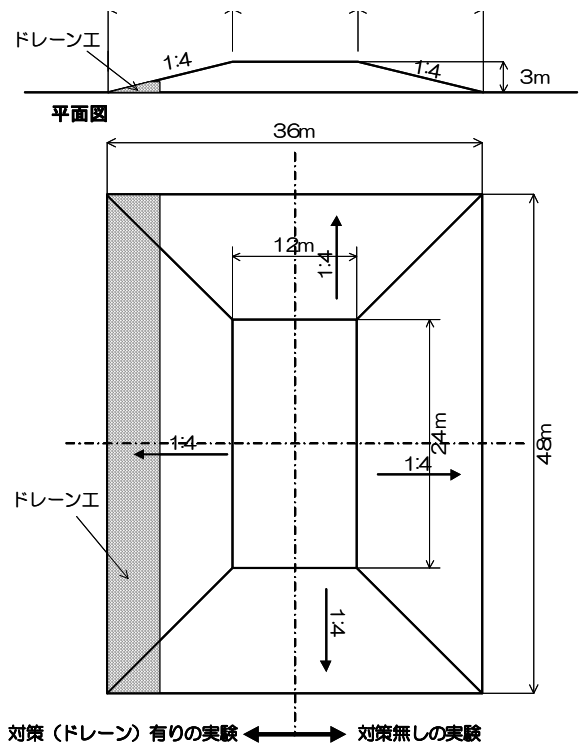


図-4 試験施工盛土の形状（実験1）

がみられる状況となっている。本試験施工ではこの現象を再現すべく試験施工を行う。また、泥炭性軟弱地盤から供給される間隙水による堤体の不安定化現象への対策としては、過去の事例では、法尻ドレーン工を採用することが多いため、試験1については試験施工においても一般的な対策工である法尻ドレーン工を対策工として採用し、その効果を検証することとした。

(2) 試験施工盛土の規模と形状

既往の調査によると、北島地区に分布する泥炭層の強度(一軸圧縮強さ)は地盤の不均質さや過去に受けた応力状態の違いを反映して、18~83kN/m²程度とばらつくことが把握されており、設計強度として、既往の検討では17~22kN/m²を採用している。この採用強度をもとに盛土施工の高さを3mとした。なお、北島地区遊水地内の地盤構成から築堤盛土(帯状荷重)を想定した場合と試験施工盛土のような矩形形状を想定した場合の地中応力状態を比較し、ほぼ同等の応力が作用するよう、試験施工盛土の延長は24mとした。

本試験施工では次項に述べるように施工速度の違いによる施工後の堤体の不安定化を検証するため図-3 赤線で示すように合計3つの試験盛土を行う。また、対策工の効果を検証をする必要性から、それぞれの盛土に対し、

片側の法面にはドレーン工を施し、ドレーン工の有無の影響を観測することとした。その際、両法面間の距離は双方の影響を受けないように出来るだけ離すことが望ましいと考えられる。検討の結果、試験施工盛土の天端幅は12mとすることとした。以上を踏まえ、試験施工盛土の形状を図-4に示す。

(3) 試験施工時の調査・観測項目

a) 盛土施工速度

「泥炭性軟弱地盤対策マニュアル」によると、軟弱地盤の層厚と盛土施工速度について表-2のように整理している。すなわち、軟弱地盤の層厚が15m程度に達する北島地区遊水地では3cm/日の施工速度を標準として考えることができる。しかしながら本試験施工の目的が盛土の不安定化現象の再現であることから、できるだけ不安定な状態を誘導するため、盛土施工速度についてはマニュアルに示されている速度を参考に3cm/日、5cm/日、10cm/日の3ケースによる施工速度を採用することとした。

表-2 軟弱層厚と盛土速度

軟弱層厚	盛土速度 cm/10日 (cm/日)	盛土1層当たりに換算
5m以上	30cm/10日 (3cm/日)	10日に1層施工
3~5m	50cm/10日 (5cm/日)	6日に1層施工
3m未満	100cm/10日 (10cm/日)	3日に1層施工

※「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」(2002) p53に加筆

表-3 試験施工における挙動観測項目と観測頻度(計画)

段階	目的	実施内容	観測頻度など
施工中	沈下挙動の把握	沈下観測(泥炭+粘性土)	1回/日(平日)
		予測沈下量との比較	1回/週程度
	側方変位の把握	変位杭観測	1回/日(平日)
	盛土内水位の把握	水位観測	1回/日(平日)
	間隙水圧の把握	間隙水圧計	(天端・のり尻) (盛土影響無)
完成後	沈下挙動の把握	沈下観測(泥炭+粘性土)	1回/2日程度
		予測沈下量との比較	1回/月程度
	側方変位の把握	変位杭観測	1回/2日程度
	盛土内水位の把握	水位観測	1回/2日程度
	間隙水圧の把握	間隙水圧計	(天端・のり尻) (盛土影響無)

b) 事前調査

試験施工実施前の事前調査としては、盛土施工前の地盤状況を把握する必要から次の点について実施する。

- ① 試験施工ヤードにおける地盤構造及び地盤物性(強度・沈下特性)の把握
- ② 間隙水圧上昇時の盛土材料の強度把握

c) 挙動観測

試験施工時には、沈下や変形に関する観測に加え、盛土内や粘性土中に発生する間隙水圧(水位)についてもモニタリングする必要がある。このため、表-3 に示す観測を実施することとした。

3. 試験2:冬期施工盛土の強度低下再現のための

試験施工計画

(1) 試験施工の目的と方針

樋門撤去箇所の再築堤においては、施工コスト削減の観点から仮締切による施工を避ける傾向があり、冬期施工となる事例が多く見られる。このような旧樋門撤去箇所においては施工後の融雪期に変状が生じる事例が見られる。しかしながら融雪期における盛土の変状メカニズムについては、今のところ明らかになっておらず、経験的な基準に基づいて施工を行っている現状がある。そのため本試験施工により融雪期における盛土の強度低下を

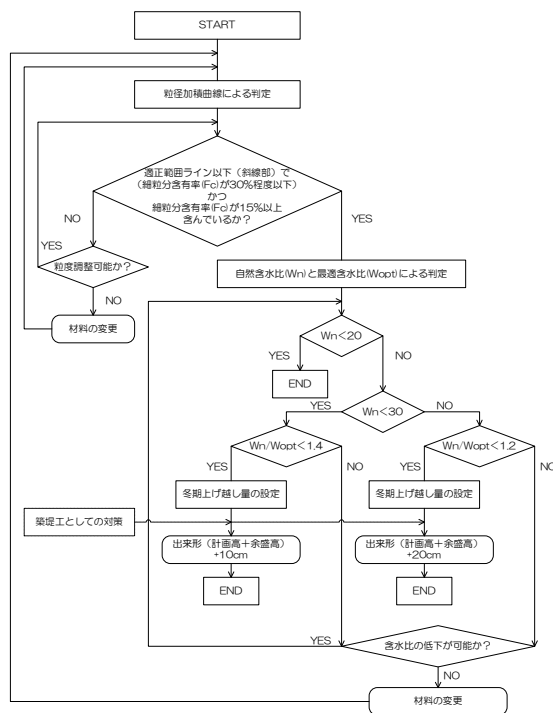


図-5 「河川工事設計施工要領(案)」による堤体盛土材料の選定フロー

再現、観測する。

現在冬期施工時の築堤材料選定にあたっては、「河川工事設計施工要領(案)」⁴⁾に示される図-5のように

- ① 粒度構成
- ② 自然含水比
- ③ 自然含水比と最適含水比の比率

以上3項目によって材料の適否が判定され、必要な冬期上げ越し量(10cm 又は 20cm)を設定する流れとなっている。

一方、本試験施工では粒度組成を複数選択することが困難であり、材料そのものの特性(粒度組成、最適含水比)については同一にすることが望ましいと考えられる。このため、本試験施工では含水比条件に着目し、含水比の異なる同一材料を盛土し、その沈下挙動や強度変化などの凍結融解現象を把握することとした。

以上のことから、本試験施工において確認すべき挙動・物性としては次のように整理できる。

- a) 含水比の違いによる堤体盛土の沈下の差異
- b) 含水比の違いによる凍結融解時の盛土強度変化の差異
- c) 盛土内の水位状況(強度低下と水位条件の因果関係の把握)

(2) 試験施工の材料条件と盛土の形状

「河川工事設計施工要領(案)」の含水比条件を参考に、次の①～③の材料としそれぞれ冬期に通常の締め固め(施工速度は 3cm/日)を施した盛土を構築することとした。

- ① 含水比 20%未満
- ② 含水比 20%～30%
- ③ 含水比 30%以上

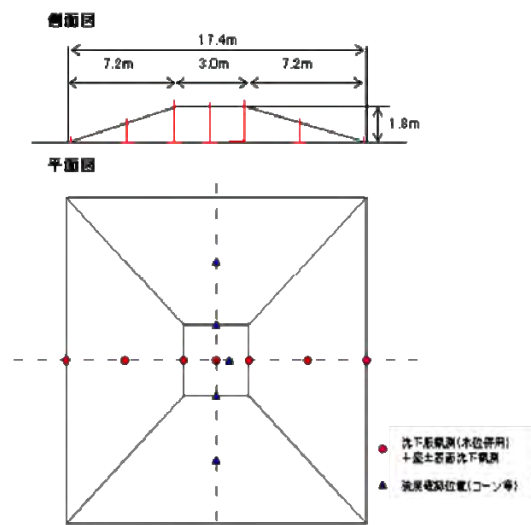


図-6 試験施工盛土の形状(試験2)

表-4 試験施工における挙動観測項目と観測頻度（計画）

段階	目的	実施内容	観測頻度など
融雪期	沈下挙動の把握	沈下板観測	1回/日（平日）
	盛土内水位の把握	水位観測	1回/日（平日）
	強度の把握	コーン試験等	1回/日（平日）

この再現試験では盛土の強度の観測をすることから盛土高さについては、観測に必要な高さとして 1.8m とした。試験盛土の規模としては、天端面積：3m×3m 程度とした。施工ヤードの関係から施工位置は図-3 の青線で示す場所とし、盛土形状については図-6 に示す。

(3) 試験施工時の調査・観測項目

冬期に施工した盛土の融雪期における変状現象を再現するため、翌融雪期に沈下・水位、強度を確認することとする。強度低下については、貫入試験によって確認を行うとすると、10cm 間隔程度の強度が把握できる。天端部分で 20 深度の強度データを取得する。また、強度低下に伴う盛土の変状を把握するため沈下版を設置し沈下量を観測する。さらにこの再現試験は盛土材料の含水比に着目しているが、地盤からの水分供給の影響を受ける可能性があるため、堤体内の水位についても合わせて観測し水位条件と強度低下の因果関係を把握することとした。以上から観測項目については表-4 に示す。

4. 終わりに

本発表では、既往の変状発生事例を参考に計画した現地試験施工の計画の概要について紹介した。この試験施工をもとに、泥炭性軟弱地盤上の築堤に関して新たな知見をもたらすことが期待でき、今後、道内の河川堤防に関わる技術向上に活かしていきたいと考えている。

参考文献

- 1) (独) 北海道開発土木研究所：「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」
- 2) 山村和也、久楽勝行：堤防への浸透と堤体の安定性；土木研究所報告 No. 145, 1972. 7
- 3) 激甚災害の記録
- 4) 河川工事設計施工要領(案)