

# 堤防盛土安定性検証のための 試験施工について

札幌開発建設部 千歳川河川事務所 計画課 ○館井 恵  
岩井 聖  
川岸 智樹

近年、泥炭性軟弱地盤における築堤工事では、泥炭層から排出される間隙水が堤体内部に供給され、築堤完成後数か月を経て不安定化を招く事例が報告されている。しかしながら、泥炭地盤の特殊性や室内試験などによる現象の再現が困難なことから、技術的な知見が少なく、通常の地盤工学的手法の適用が困難な状況にある。本試験施工は、現在工事中の北島地区遊水地の敷地内を活用し、築堤盛土施工中から施工後における堤体内の水位上昇現象やこれに伴う不安定化の挙動を再現し、泥炭性軟弱地盤における築堤工事のあり方を検討するための基礎資料を得ることを目的として実施したものである。

キーワード：泥炭性軟弱地盤、堤体内水位、築堤盛土、堤体変状、施工速度

## 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地盤が広い範囲で分布し（図-1 参照）、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。しかしながら、泥炭地盤がほとんど北海道内にしか分布しない固有性を持っていることや分解の程度・土砂の混入量に応じた不均一性、残存する植物繊維の影響を受けた異方性などの特殊性から通常の地盤工学的手法による評価・検討が困難であり、経験的かつ定性的な評価にとどまることが多かった。このような状況を鑑み、平成14年には「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」<sup>1)</sup>が策定され（平成23年に改訂）、すべり破壊や側方流動に伴う変状について、工学的な手法にのっとり評価・検討が加えられる状況となった。

一方、近年の泥炭性軟弱地盤上の築堤工事における変状発生事例をみると、写真-1に示すように築堤荷重の作用によって泥炭から排出される間隙水が堤体に徐々に供給され、築堤の完成後数ヶ月を経て変状が発生する現象が確認される事例が報告されている。これら変状箇所では、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（この染み出し水は泥炭起源であることを裏付けるように酸性を示す）を生じることがある。

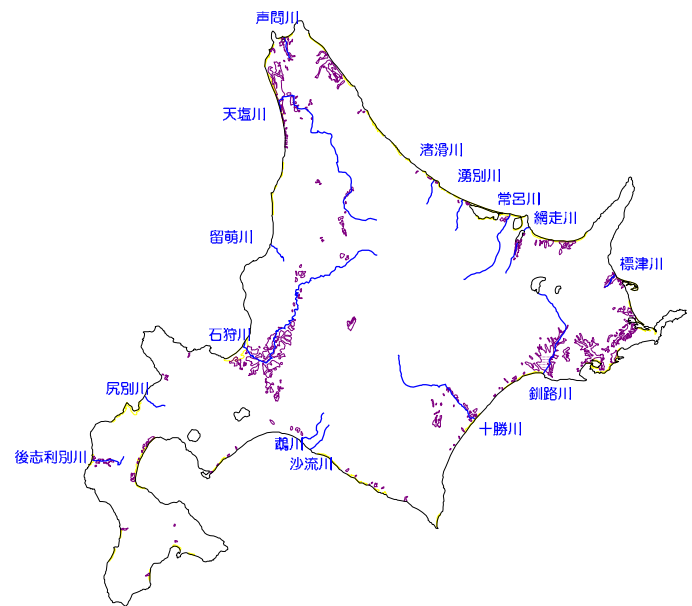


図-1 北海道内における泥炭地盤の分布



写真-1 間隙水圧の上昇による変状発生例

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、盛土施工後に上記のような泥炭地盤特有の変状がみられることから、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おり、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実施している恵庭市北島地区遊水地内を活用した試験施工の状況について紹介する。

## 2. 試験施工1の概要

### (1) 試験施工1の目的と方針

試験施工1においては、泥炭性軟弱地盤からの供給水が堤体に及ぼす影響を把握することを目的とする。本試験施工の実施ヤードである北島地区遊水地内の地盤構造は、図-2に示すとおりである。

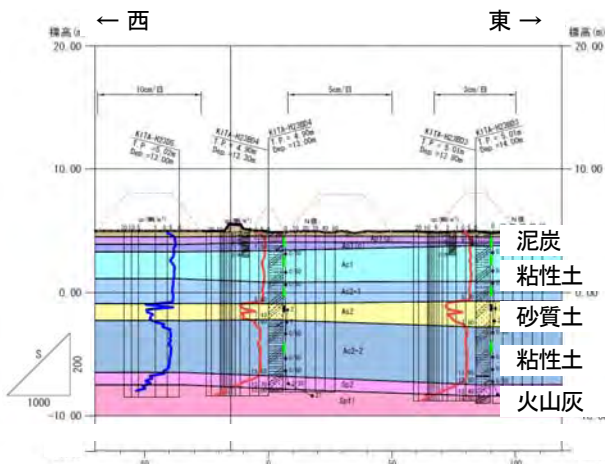


図-2 北島地区遊水地の地盤構造（東西断面）

すなわち、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) が厚く分布するが、敷地東側では砂層 (As1) を挟在する、ことが分かる。

### (2) 試験施工1の盛土の規模と形状

千歳川流域の河川堤防ののり面勾配は、4割勾配が採用されており試験施工においても同様ののり勾配を採用した。また、天端幅についても計画断面と同様に9mとした。一方、盛土高さは、北島地区に分布する泥炭層の強度（一軸圧縮強さ）をもとに限界盛土高さ  $h_c$ （概ね3m程度）を算出し、試験盛土の高さとした。なお、天端長さの延長は、地中応力状態の比較から18mとした。

以上の検討を踏まえ、試験施工盛土の形状は図-3に示す形状とした。

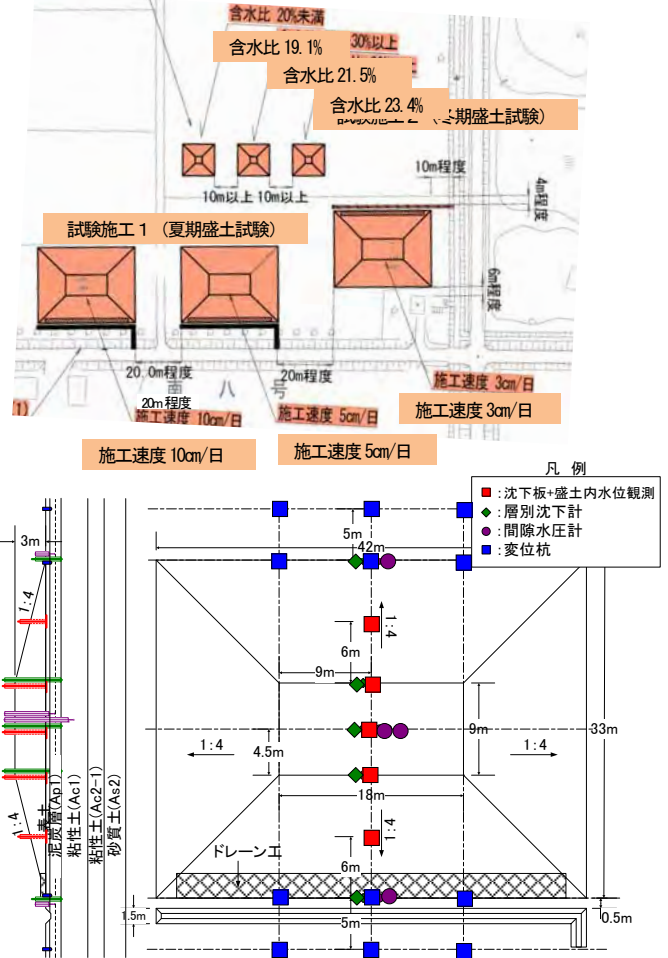


図-3 試験施工盛土の形状

### (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-1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30cm/10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泥炭性軟弱地盤からの供給水が堤体へ及ぼす影響の把握であるため、泥炭性軟弱地盤から水分の供給が見られるように、盛土施工速度については、3cm/日、5cm/日及び10cm/日の3ケースによる施工速度を採用することとした。なお、実際の施工においては、1層の層厚を30cmとし、それぞれのケースの施工速度に応じて施工間隔を変えることとした。

表-1 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30cm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」(2011) p56 に加筆

b) 挙動観測項目

試験施工時には、沈下や変形に関する観測に加え、盛土内水位や泥炭および粘性土中に発生する間隙水圧についてもモニタリングする必要がある。このため、表-2 に示す観測を実施している。

表-2 試験施工1における挙動観測項目と観測頻度

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 盛土影響範囲外
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 盛土影響範囲外

(4) 観測結果

a) 施工速度 3cm/日の試験盛土

施工速度 3cm/日における盛土高さや盛土内水位、沈下の推移を図-4 に示すとともに、泥炭層及び下位の粘性土内における間隙水圧の挙動を図-5 に示した。

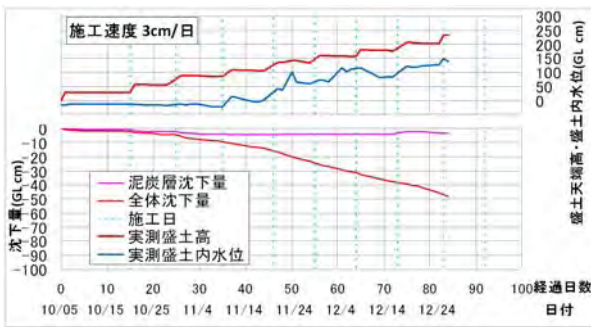


図-4 盛土高さや盛土内水位、沈下量の経時変化図

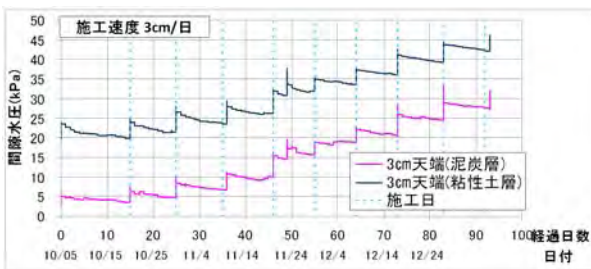


図-5 泥炭及び粘性土中の間隙水圧の経時変化

図-4 によると、盛土内水位は、4層目施工以降に上昇がみられ、全層の沈下速度もほぼ同時期に早くなっている傾向がみられる。しかしながら泥炭層の沈下については、盛土施工中を通じてあまり進行しておらず、特に9層目の施工時には1.8cm程度隆起するような現象も観測されている。一方、間隙水圧についてみると下位の粘性土内における間隙水圧が泥炭中に比べ15kPa程度高く、この差が大きく変わらないまま変動が推移していることがわかる。

b) 施工速度 5cm/日の試験盛土

施工速度 5cm/日における盛土高さや盛土内水位、沈下の推移を図-6 に示すとともに、泥炭層及び下位の粘性土内における間隙水圧の挙動を図-7 に示した。

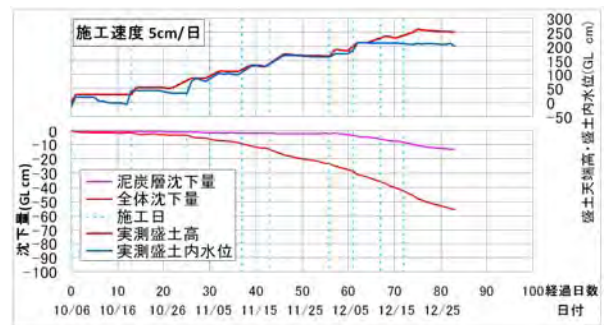


図-6 盛土高さや盛土内水位、沈下量の経時変化図

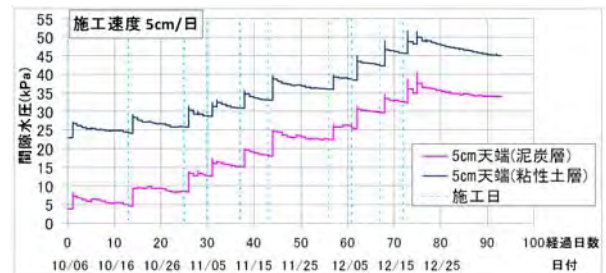


図-7 泥炭及び粘性土中の間隙水圧の経時変化

施工速度 5cm/日の試験盛土では、盛土内水位は1層目施工時点から明瞭な水位上昇が認められ、8層目施工時までほぼ施工された盛土表面付近の高い水位状態を示しており、盛土完成時には天端から深さ約50cmの位置に水面が存在していることを示している。また、この地表面付近までの高い水位状況下では泥炭層の沈下がほとんど進んでおらず、盛土内水位がほぼ一定となった8層目以降になって初めて泥炭層の沈下が進行していることがわかる。一方、各層の間隙水圧は3cm/日と同様の傾向を示しているが、泥炭層と粘性土層の差は3cm/日の場合に比べ3kPa程度小さいようである。

c) 施工速度 10cm/日の試験盛土

施工速度 10cm/日における盛土高さや盛土内水位、沈下の推移を図-8 に示すとともに、泥炭層及び下位の粘性土内における間隙水圧の挙動を図-9 に示した。

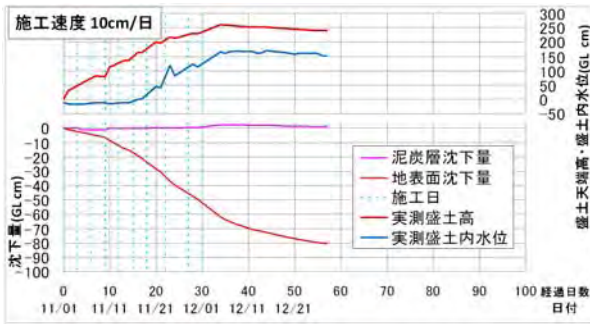


図-8 盛土高さや盛土内水位、沈下量の経時変化図

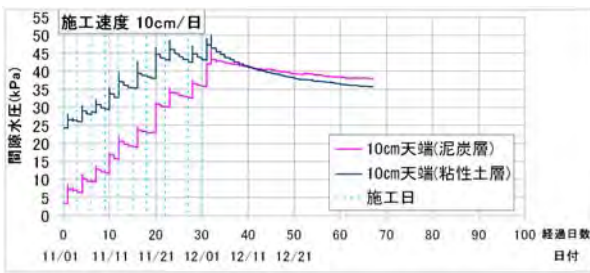


図-9 泥炭及び粘性土中の間隙水圧の経時変化

10cm/日の盛土内水位は、前述の施工速度 5cm/日の試験盛土に比べ、水位の上昇が遅く、5 層目施工以降になってはじめて盛土内水位の上昇がみられるといった特徴的な挙動を示している。また、沈下挙動は他の施工速度に比べ顕著にみえる。一方で泥炭層の沈下はほとんど発生しておらず、1cm~2cm 程度隆起した状況が継続していたが、盛土完成後徐々に沈下へと移行しつつある。一方、各層に設置された間隙水圧の挙動をみると、泥炭層の間隙水圧が下位の粘性土層に比べ、速い速度で上昇しており、10 層目施工後には、下位の粘性土層を上回る高い間隙水圧を示していることがわかる。

(5) 観測結果の考察

上述のように、観測された盛土内水位や間隙水圧は施工速度の違いにより特徴的な挙動を示しているものと考えられる。そこで、施工盛土高さや泥炭層の間隙水圧と盛土内水位の挙動について考察することとした。

図-10 に盛土高さと泥炭層中間隙水圧の関係を整理して示したが、両者の間に概ね直線関係が成立しているが、施工速度の速い盛土ほど泥炭層中の間隙水圧の上昇が顕著となっている傾向がうかがえる。また、施工速度の遅い 3cm/日では盛土高さ 1.5m までは

泥炭層内間隙水圧の上昇が緩やかである。盛土の高さに対して間隙水圧の上昇がやや緩慢に反応している状況をうかがわせている。

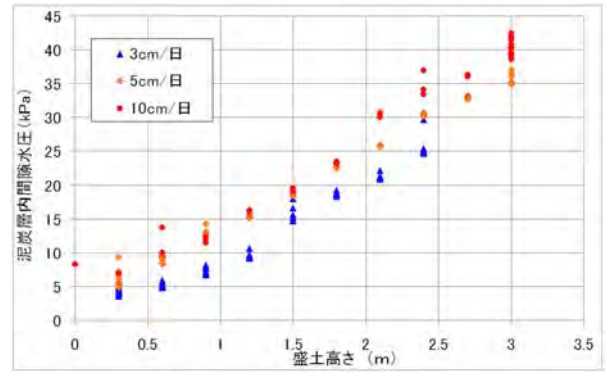


図-10 泥炭層の間隙水圧と盛土高さの関係

一方、泥炭層内間隙水圧と盛土内水位の関係について注目すると、図-11 に示す関係が認められる。すなわち、施工速度 3cm/日及び 5cm/日では泥炭層内間隙水圧と盛土内の水位の間に概ね直線関係がみられるのに対し、施工速度の速い 10cm/日では下に凸の形状を示しており、間隙水圧の急激な上昇に対して、盛土内の水位の反応が追従していない状況がうかがえるが、間隙水圧がおおよそ 20kPa を超えると一気に盛土内水位が上昇している。

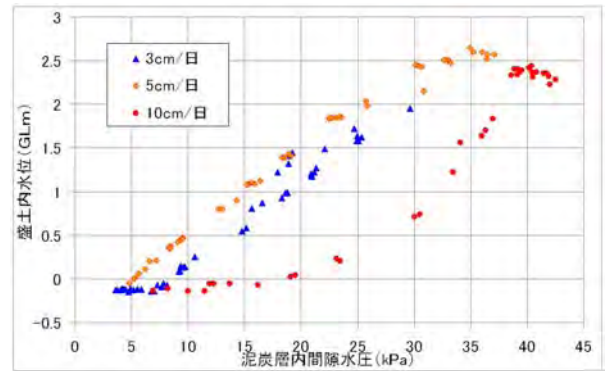


図-11 盛土内水位と泥炭層間隙水圧の関係

図-12 にのり尻付近で観測を行っている変位杭の鉛直変位量の経時変化を示したが、施工速度 10cm/日では盛土開始直後からのり尻付近の隆起現象が確認されており、5cm/日の施工速度においても沈下が発生しない状況が継続した後、のり尻部が隆起する現象が確認されている。

図-11 のように施工速度の違いにより泥炭層内間隙水圧の上昇傾向やこれに伴う盛土内水位の上昇傾向に差異が生じた原因の一つとして、10cm/日といった速い施工速度の条件では泥炭層中に発生した高い間隙

水圧がのり尻周辺の地表面を变形させ、これにより盛土内に供給される間隙水量が抑えられている可能性が考えられる。

隆起現象が確認された施工速度 10cm/日の盛土周辺では写真-2 に示すようにドレーン無施工側のり尻付近の地表面への水の染み出しが経過日数 10 日目に確認されており、水面上には油分が確認された。これは、泥炭中に発生した間隙水圧が、盛土周辺へ影響を及ぼしていると考えられる。

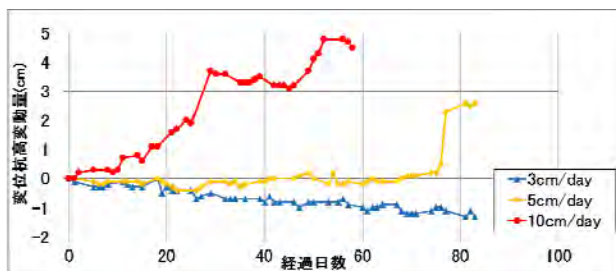


図-12 盛土のり尻鉛直変位杭測定結果



写真-2 施工速度 10cm/日盛土の周辺で確認された水の染み出し

#### (6) 観測結果のまとめ

上述のように、泥炭性軟弱地盤を対象とした本試験盛土において以下に示す興味深い現象を把握することができた。

- ① 泥炭層から供給される水により、盛土内の水位上昇があり、施工後もなかなか消散しない。
- ② 施工速度 5cm/日では、盛土内の水位は盛土表面まで達するが、施工速度 3cm/日ではおおよそ盛土高の半分程度と低く抑えることができる。
- ③ また、施工速度 10cm/日では盛土内の水位についてみると、盛土高のおおよそ半分程度と低く抑えられているが、盛土周辺の地盤の变形（隆起）が顕著であり、また、のり尻付近の湿潤化といった現象が発生した。
- ④ 泥炭層内に発生する間隙水圧は一般的に盛土高さ（盛土荷重）と比例関係にあるが、観測結果から

は、施工速度が速いほど発生する間隙水圧がわずかなであるが高い値を示している。

- ⑤ 施工速度 10cm/日のように盛土速度が極端に速くなると、泥炭中に発生した間隙水圧は地表面の变形に関与した後、盛土内に供給されるため、盛土内水位の上昇がやや遅れて発生する。

このように、施工速度が速い盛土では盛土内水位が高くなりやすいといった現象を伴うことが確認された。

本文とりまとめ時点では、ドレーンの効果について、明瞭に把握できていない。また、間隙水圧および盛土内水位についても、本文とりまとめ時点では、盛土終了に伴って消散傾向にあるものの、未だ高い値を示している。

このため、今後も観測を継続し、ドレーンによる盛土内水位の低下効果および間隙水圧・盛土内水位状況及び、越冬後の融雪に伴う盛土の挙動についても検証を行う予定である。

## 4. 試験施工 2 の概要

### (1) 試験施工 2 の目的と方針

試験施工 2 は冬期土工が堤体強度・変状に与える影響を把握することを目的とする。

### (2) 試験施工 2 の調査・観測項目

#### a) 試験盛土材料

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)」に示される図-13 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。

本試験施工では材料そのものの特性(粒度組成、最適含水比)については同一にし、含水比条件と強度に着目し、含水比・強度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。

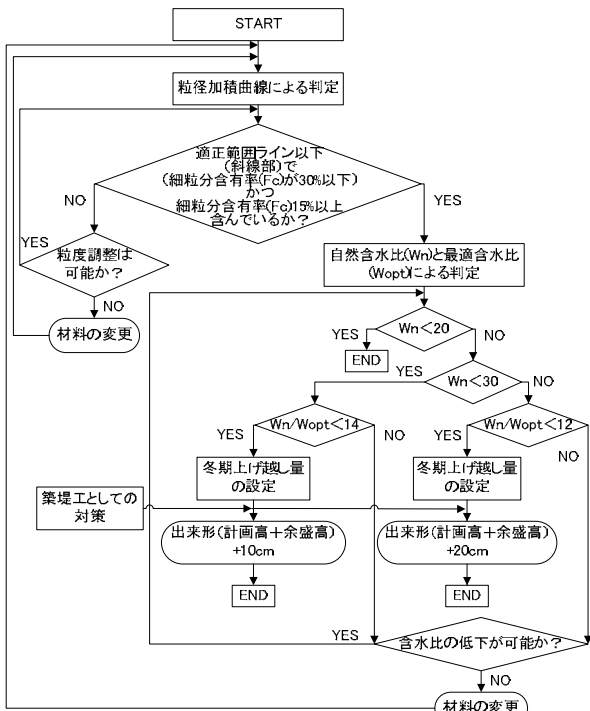


図-13 「河川工事設計施工要領(案)」による堤体盛土材料の選定フロー

b) 挙動観測

本試験施工において堤体盛土の沈下や強度だけでなく、盛土内の水位についても観測が必要である。このため表-3 に示す観測を融雪後に実施する。

表-3 試験施工1における挙動観測項目と観測頻度

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)

(3) 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の材料が望ましいと考えていた。

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

実際に千歳川流域の遊水地工事によって発生した粘性土と砂質土を、1:2 で配合し粒度構成が「河川工事設計施工要領」に定められた条件を満たすようにしたところ、施工限界時 ( $q_c=340\text{kN/m}^2$ ) の含水比が約 24% でとなった。含水比 30% 以上の材料が作れないことから、次の④～⑥の材料を用い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。

- ④ 含水比 19.1% ( $q_c= 377 \text{ kN/m}^2$ )
- ⑤ 含水比 21.5% ( $q_c= 840 \text{ kN/m}^2$ )
- ⑥ 含水比 23.4% ( $q_c=2120+\text{kN/m}^2$ )

本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 とした。施工ヤードの関係から施工位置は図-3 上図で示す場所とし、盛土形状については図-14 に示す。

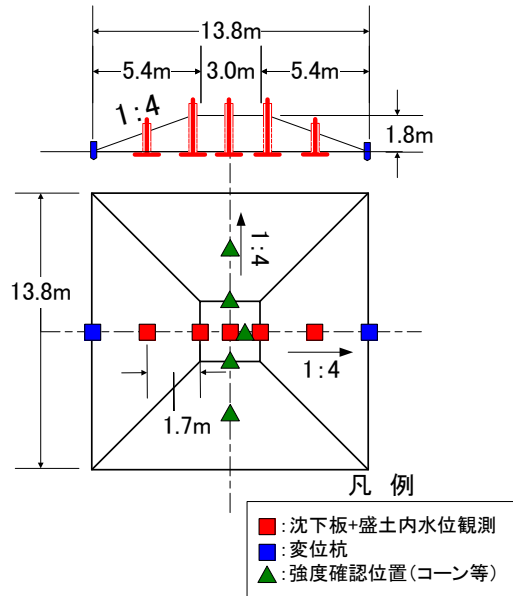


図-14 試験施工盛土の形状(試験施工2)

5. あとがき

試験施工は今年度実施中であり、本発表は試験結果の第一報を報告するものである。今後、融雪時、融雪後の観測を続けることにより、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る。これら得られた知見については、次年度以降の発表会で報告し、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) 土木研究所 寒地土木研究所：「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」(平成 23 年 3 月)
- 2) 北海道開発局 建設部 河川工事課：「河川工事設計施工要領」(平成 23 年 3 月)