

# 泥炭性軟弱地盤における 河川堤防変状の課題と対応策について —月寒川・望月寒川の長期沈下への対策の取り組み—

札幌開発建設部 札幌河川事務所 計画課 ○竹瀬 真由美  
旭 峰雄  
中西 淳

北海道に広く分布する泥炭地盤は、非常に軟弱で工学的に特殊性を有し、堤防盛土時には、すべり破壊や過大な沈下が発生するなど十分な配慮が必要となる。また、施設供用後も長期の残留沈下を有することが多い。本論文は、月寒川及び望月寒川に分布している泥炭層の残留沈下に起因した堤防高不足対策について、試験施工結果より検討結果を報告するものである。

キーワード：泥炭性地盤、動態観測、試験施工、設計施工

## 1. はじめに

石狩川水系豊平川支川である月寒川流域は、開拓当初は大谷地原野と呼ばれた広大な湿地帯であった。JR函館本線付近を境界として下流側は、1916年(大正5年)



図-1 月寒川・望月寒川位置図

以降の河道改修工事により湿地帯を開削し、蛇行した河川の直線化を図っている(図-1, 図-2)。

こうした治水事業の進展は、流域の土地利用を促進し、特に昭和50年以降宅地開発が急激に進められ、現在の市街地が形成されている。

月寒川・望月寒川の河川堤防は、軟弱な旧湿地帯に築造された構造物であり、過去から堤防の沈下や変状が継続的かつ長期的に生じており、断続的に維持補修を行いながら堤防の機能確保を図ってきた。これらの沈下や変状の要因は、泥炭性軟弱地盤における圧密沈下によるものと考えられ、今後も長期にわたり継続することが想定される。その長期的に生じる堤防の沈下や変状に対し、持続的に堤防機能を確保するための対策を立案することが重要な課題であるが、有機質が主体となる泥炭は特有な工学的性質を有しており、軟弱粘土と比べて沈下量または沈下の経時変化を高い精度で推定することが難しい。

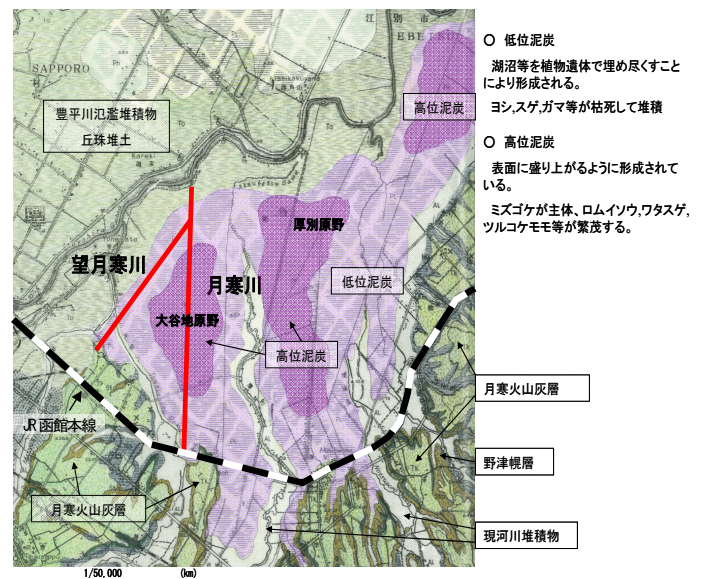
その様な背景を受けて、本論文では、月寒川・望月寒川に分布している泥炭層の長期的な残留沈下に起因した堤防高不足対策について、嵩上げ盛土による試験施工を行い、試験施工によって得られた動態観測結果等から今後の本施工に向けた対応方針を考察するものである。

## 2. 流域の地質特性と堤防の概要

### 2-1. 地質特性

大谷地原野に分布する泥炭は、高位泥炭と低位泥炭に区分でき、高位泥炭は月寒川で広く分布する一方、低位泥炭は望月寒川や月寒川上・下流の一部に分布している(図-2)。

月寒川下流端は、豊平川によってもたらされた氾濫原堆積物が分布し、河川堤防の基礎地盤は、支笏火山灰層(Sp)を基底とし、その上位に緩い砂層(As)と軟弱な粘性土層(Ac)、さらにその上位を泥炭層(Ap)が層厚2~8m程度で被覆している。また、河川の下流は軟弱層(Ap, Ac)が厚く、上流は薄くなる傾向にある(図-3)。



引用:「5万分の1地質図幅 札幌」北海道地下資源調査所 S31

図-2 月寒川・望月寒川周辺の地質

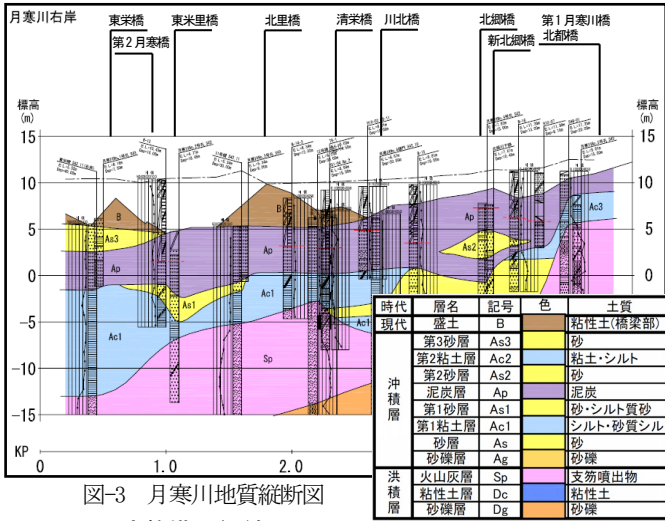


図-3 月寒川地質縦断面図

## 2-2. 堤防整備の経緯

月寒川・望月寒川の堤防整備は、昭和40年代前半に着工された。流域に分布する泥炭からなる地盤は非常に軟弱であり、通常工法の急速施工は困難であった。そのため、堤防工事の初期段階には軟弱地盤対策として基盤改良工法（サンドパイル工法）が実施され、段階的に嵩上げ盛土を行い堤防を構築した経緯がある。

また、上流部は市街化が著しく、用地取得が困難なため、パラペット方式による特殊堤を昭和63年度より採用し、平成4年度に堤防が完成している。

その後、平成14年から平成18年にかけて、洪水時の浸透によるすべり破壊に対して、堤内側の拡幅盛土及びドレーン工による浸透対策を実施している。

## 2-3. 堤防の補修履歴

月寒川・望月寒川の特殊堤区間では、長期の沈下により堤防高が不足し、平成11年から平成17年にかけてコンクリート打設によるパラペットの嵩上げを実施している（写真-1）。また、土堤及び特殊堤区間では、全体的に堤



写真-1 特殊堤補修

写真-2 堤防天端補修

防天端部に縦断方向の亀裂が生じており、これまで断続的に堤防天端の補修を実施している（写真-2）。

## 3. 堤防動態観測結果

これらの長期の沈下に対し、月寒川・望月寒川の土堤及び特殊堤区間の5箇所を対象に平成21年より傾斜計、水位計、層別沈下計による動態観測を実施している（図-4）。動態観測計器は、長期観測による経年劣化を踏まえ、随時計器を交換対応しており、現在は傾斜計及び層別沈下計による動態観測を実施している。



図-4 動態観測計器設置位置

### 3-1. 沈下量の傾向について

このうち、望月寒川左岸KP1.5の層別沈下計による動態観測結果を図-5に示す。これによると、計測開始当初より0.5~1.0cm/年程度の沈下速度で緩やかに沈下が継続しているのが認められる。平成30年9月6日に発生した北海道胆振東部地震により、一時的な沈下量の増加が認められるものの、その後は元の緩やかな沈下傾向に戻りつつある。直近1年間の沈下速度（R3.11.30~R4.11.25）は0.6cm/年となっており、地震前（H29.9.1~H30.8.31）の沈下速度（0.5cm/年）に比べわずかに（0.1cm/年程度）増加傾向にある。

### 3-2. 水平変位量の傾向について

望月寒川左岸KP0.6の傾斜計による動態観測結果を図-6に示す。これによると、全体期間を通じて水平変位量は増加傾向であり、特に盛土(B)及び泥炭(Ap)の増加量が大きい。沈下と同様、北海道胆振東部地震では一時的に変形量が大きくなったが、その後は元の傾向に戻りつつある。

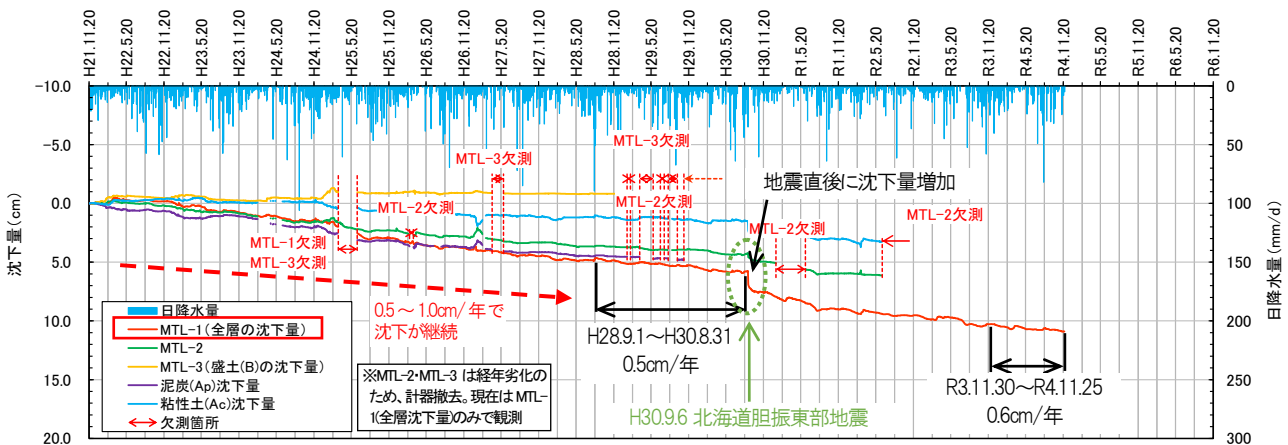


図-5 層別沈下計観測結果（望月寒川左岸KP1.5）

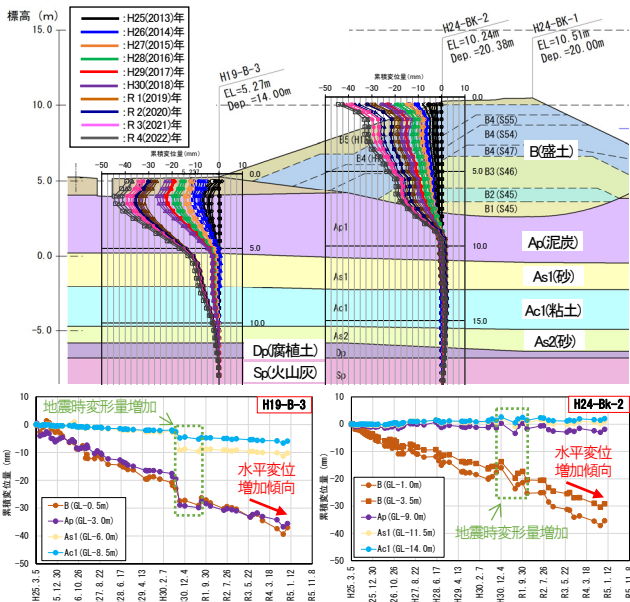


図-6 傾斜計観測結果 (望月寒川左岸 KP0.6)

#### 4. 沈下の将来予測

##### 4-1. 将来沈下予測の算出方法

堤防動態観測結果による沈下量データをもとに、月寒川・望月寒川の土堤及び特殊堤区間の5箇所を対象に将来沈下量予測を実施した。当箇所の堤防は、平成14年から平成18年にかけて実施された堤内側の拡幅盛土以来10年以上が経過しており、現在観測されている沈下は一次圧密終了後に長期的に生じる二次圧密現象であることや、過年度の検討から実測沈下量に対する予測計算の再現性が高いことが確認されていることを踏まえ、「logt法」を用いた沈下量予測を行った(図-7)。

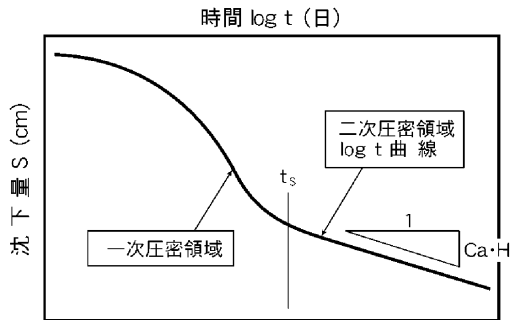


図-7 盛土載荷に伴う沈下の概念図<sup>(※1)</sup>

なお、北海道胆振東部地震 (H30.9.6) の後、沈下速度の一時的な変化 (沈下速度の増加) が確認されたほか、地震後の観測結果においても沈下速度の変化がみられたことから、当該期間をフィッティング期間として沈下量予測を行った(図-8)。

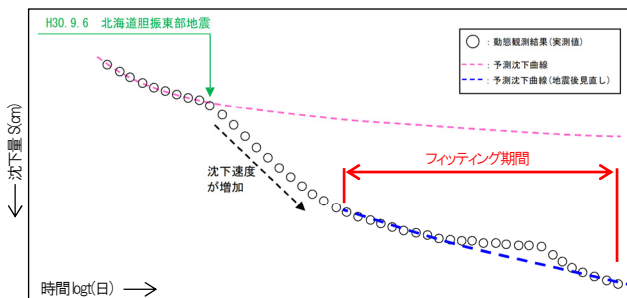


図-8 予測沈下曲線の概念図

##### 4-2. 将来沈下予測の算出結果

logt法を用いた沈下量予測結果を表-1、図-9に示す。これによると、月寒川・望月寒川の土堤及び特殊堤区間における10年後(R4年~R14年)の沈下量は3~8cm、15年後(R4年~R19年)の沈下量は5~11cmと予測される。

表-1 月寒川・望月寒川堤防の将来沈下量

検討地点	堤防	将来沈下量(cm)		
		10年後(R14年)	15年後(R19年)	
月寒川	左岸 KP3.8	土堤	6.6	9.0
	左岸 KP4.0	土堤	6.3	8.7
	右岸 KP2.4	特殊堤	3.4	4.7
望月寒川	左岸 KP0.6	土堤	8.2	11.3
	左岸 KP1.5	特殊堤	5.0	6.8

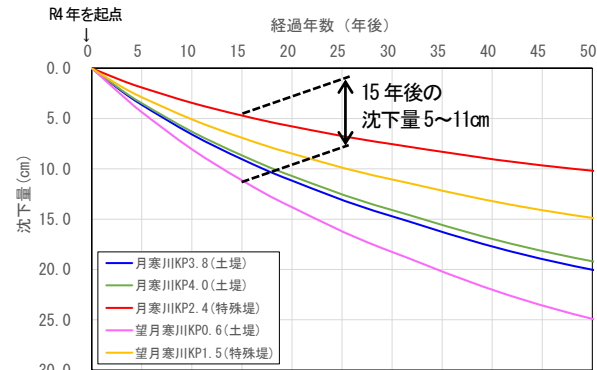


図-9 将来沈下量予測曲線

##### 4-3. 将来沈下予測による堤防高の照査結果

将来沈下予測による月寒川・望月寒川の堤防高の照査結果を表-2、表-3に示す。照査の結果、土堤部では現況及び将来土堤高・断面不足となる区間が全体の47% (L=6.4km)であり、これらの区間で嵩上げや拡幅による堤防整備が必要となる。特殊堤部も同様に全体の71% (L=4.3km)で現況及び将来パラペット高が不足となり、これらの区間でパラペット部の嵩上げ整備が必要である(図-10)。

表-2 堤防高照査結果 (月寒川・望月寒川：土堤部)

照査項目	不足区間	
	区間長(km)	割合(%)
現況土堤高不足	2.3	17.0
現況断面不足	3.8	28.0
将来土堤高・断面不足	0.3	2.0
堤防整備不要	7.3	53.0
計	13.7	100.0

表-3 パラペット高照査結果 (月寒川・望月寒川：特殊堤部)

照査項目	不足区間	
	区間長(km)	割合(%)
現況パラペット高不足	2.5	41.0
況断面不足	0.0	0.0
将来パラペット高不足	1.8	30.0
堤防整備不要	1.8	29.0
計	6.1	100.0

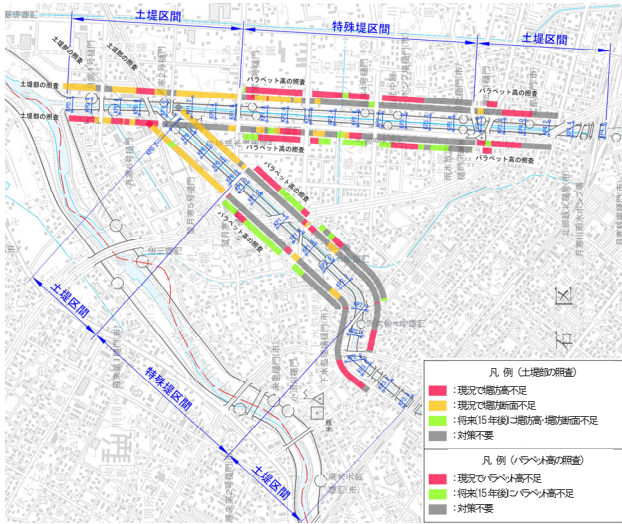


図-10 堤防断面照査結果図 (月寒川・望月寒川)

### 5. 試験盛土計画

前項までに挙げた将来沈下予測に対し、月寒川及び望月寒川では嵩上げ盛土による対策を計画している。しかし、当該箇所は泥炭性軟弱地盤に属する地域であり、側方流動を伴う長期沈下を解析で予測することが困難な地盤である。このため、嵩上げ対策による沈下の挙動及び周辺地盤への影響を把握する目的で試験盛土を行った。

#### 5-1. 試験盛土の概要

試験盛土の概要を以下に示す(図-11、図-12)。

【盛土区間】望月寒川築堤左岸 SP400.00~SP805.00 間
【地盤条件】泥炭・粘性土(軟弱層厚 9m 程度)
【施工区分】
(無対策区間)ケース 1(盛土速度 3cm/日):L=50m
(無対策区間)ケース 2(盛土速度 10cm/日):L=50m
(対策区間)矢板工:L=50m
(対策区間)高圧噴射攪拌工法(L-Dis):L=50m

#### 5-2. 動態観測計画

試験盛土実施にあたっては、嵩上げ盛土による沈下及び周辺地盤の水平変位を把握するため、各種観測計器による動態観測を行った。観測項目及び設置位置・箇所数の一覧を表-4に示す。なお、観測頻度については、「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」を参考に表-5に示す頻度にて計測を行った。

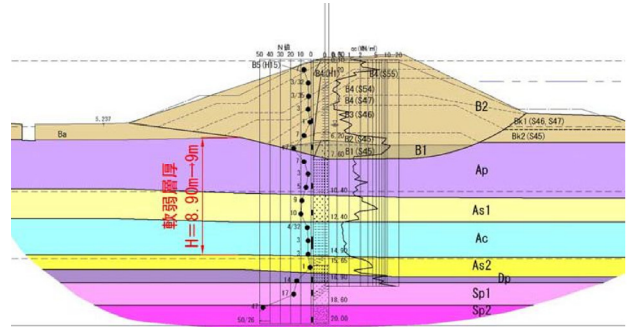


図-12 地質断面図 (望月寒川左岸 KP0.6)

表-4 観測計器一覧 (望月寒川試験盛土)

観測計器	設置位置	設置箇所数			
		無対策 10cm/d	無対策 3cm/d	対策 矢板	対策 Ldis
沈下板(鉄板式)	法肩・法中間・法尻	3測線 ×3本	3測線 ×1本	3測線 ×3本	3測線 ×3本
変位杭・鉄	法尻から1・3・6・ 10・11.3・24.3m	3測線 ×6箇所	3測線 ×6箇所	3測線 ×6箇所	3測線 ×6箇所
自記水位計	法肩	1測線 ×1箇所	—	1測線 ×1箇所	1測線 ×1箇所
間隙水圧計	法肩	2箇所 (Ap・Ac)	—	—	—
層別沈下計	法肩	1箇所 (5深度)	—	—	—
孔内傾斜計	法尻から3m・10m	1測線 ×2箇所	1測線 ×2箇所	1測線 ×2箇所	1測線 ×2箇所

表-5 観測頻度一覧 (望月寒川試験盛土)

観測計器	観測方法	観測頻度			
		盛土 ・対策中	盛土完了 ~1ヶ月	盛土完了後 1~3ヶ月	盛土完了後 3ヶ月以降
沈下板(鉄板式)	手動 (TS・レベル)	1回/日	1回/3日	1回/週	1回/月
変位杭・鉄	手動 (TS・XYZ座標)	1回/日	1回/3日	1回/週	1回/月
自記水位計	自動	1回/時間 (回収: 1回/週)	1回/時間 (回収: 1回/2週)	1回/時間 (回収: 1回/月)	1回/時間 (回収: 1回/月)
層別沈下計	自動	1回/週	1回/週	1回/月	1回/月
孔内傾斜計	手動 (傾斜計挿入)	1回/週	1回/週	1回/月	1回/月

#### 5-3. 盛土施工時の安定管理手法

「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」を参考に以下の3手法による管理手法で行った。

- ①(松尾・川村の方法)沈下量(S)と水平変位量/沈下量( $\delta/S$ )の関係による安定管理
- ②(栗原・高橋の方法)日水平変位量 $\Delta\delta/\Delta t$ による安定管理
- ③累計水平変位 $\Sigma\delta$ に着目した安定管理手法

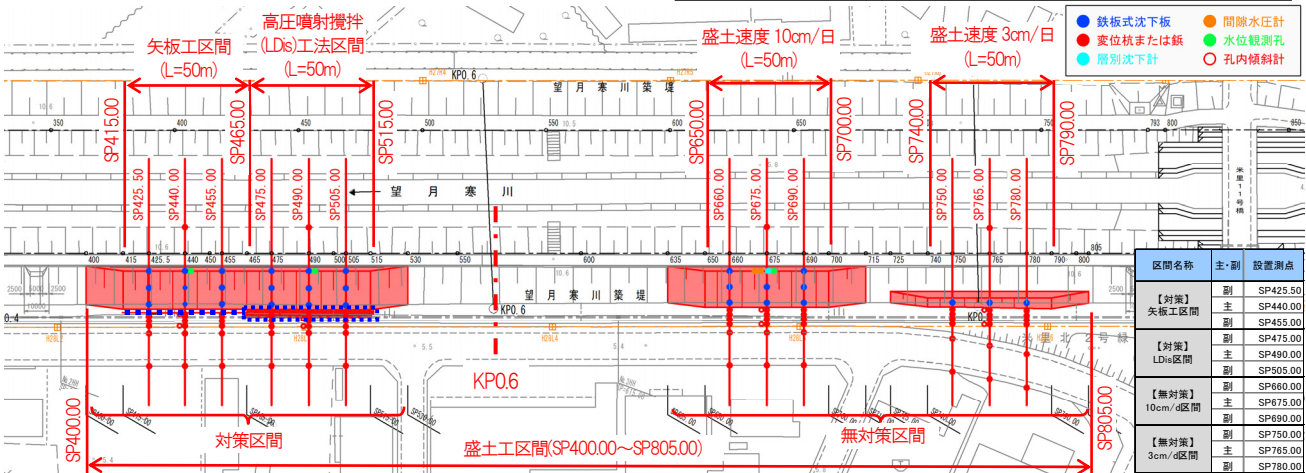


図-11 試験盛土区間平面図・観測計器配置図 (望月寒川築堤左岸 SP400.00~SP805.00 間)

## 6. 試験盛土による動態観測結果

試験盛土による観測結果のうち、ここでは無対策区間（盛土速度10cm/日）及び対策区間（固結工法）について述べるものとする。

### 6-1. 無対策区間（盛土速度10cm/日）

#### (1) 動態観測結果の概要

沈下量・水平変位量の経時変化及び盛土安定管理図を図-13、図-14に示し、動態観測結果の概要を以下に述べる。

【盛土厚】 $H_t=5.1\text{m}$ (=仕上り厚0.3m/層×17層)

【盛土日数】68日間(R4.8.17~R4.10.24)

※3日で1層程度の施工速度で盛土

【沈下量】盛土厚 $H_t=5.1\text{m}$ に対し、法尻部で3.7~6.2cmの沈下量を示す。いずれの測点においても盛土の進捗に伴い、緩やかに沈下が進行する傾向がみられており、盛土期間中における急激な沈下等はみられていない。既往観測計器による動態観測結果より、今後継続して長期的な沈下が進行されることが予測される。

【水平変位量】盛土厚 $H_t=5.1\text{m}$ に対し、法尻部で0.1~0.3cmの水平変位量を示す。累計水平変位の経時変化図より、盛土中は大きな水平変位が生じることなく0付近で推移し、盛土完了後も同様の傾向がみられる。

【日水平変位】日水平変位の経時変化図より、盛土中~盛土完了後を通じてプラス(+)/マイナス(-)交互に変位が確認され、収束傾向を示している。

【安定管理状況】松尾・川村安定管理図(S- $\delta$ /S管理図)より、盛土中及び盛土完了後を通じて沈下量及び水平変位が小さいことから、 $\delta/s=0$ 軸付近で推移している。いずれの管理図においても管理基準を下回っているため、安定して盛土施工が実施された。

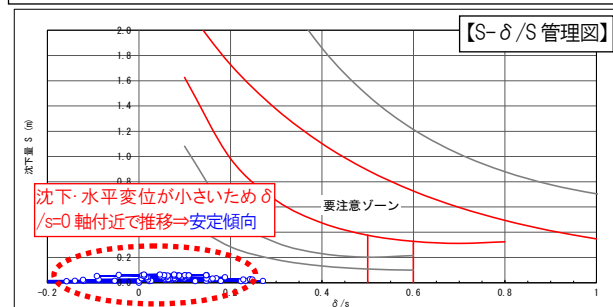


図-13 盛土安定管理図及び沈下量経時変化  
(無対策区間：盛土速度 10cm/日)

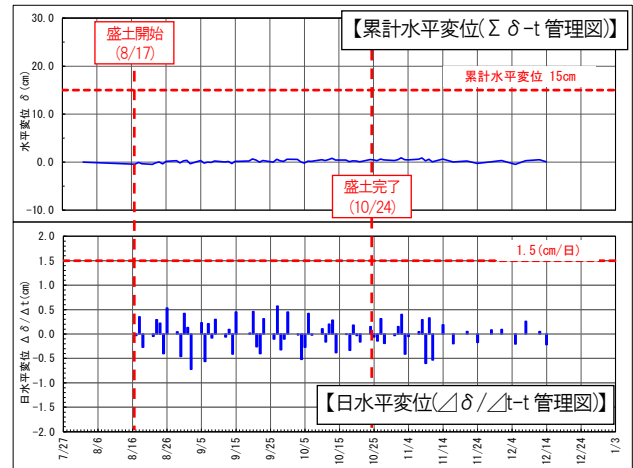


図-14 水平変位量経時変化  
(無対策区間：盛土速度 10cm/日、主測線 SP675.00)

#### (2) 周辺地盤への影響（変位杭による水平変位量）

盛土に伴う周辺地盤への変位の影響を把握する目的で、法尻~堤内側へ向けて変位杭を設置し、水平変位量の観測を実施した(表-6、図-15)。これより、法尻からのいずれの離れにおいても、水平変位量は1cm未満であった。これらは盛土中及び盛土完了後を通じて確認されており、盛土による周辺地盤への影響は少ない結果が得られた。

表-6 水平変位量観測結果（無対策区間：盛土速度 10cm/日）

主・副	測点	水平変位量(cm)					
		H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6
		法尻1 L=1.0m	法尻2 L=3.0m	水路端R L=5.0m	水路端L L=7.0m	道路R L=10.5m	道路L L=23.7m
副	SP660.00	-0.3	0.3	0.6	-0.4	-0.4	-0.3
主	SP675.00	0.1	0.2	0.3	0.6	-0.1	-0.4
副	SP690.00	-0.2	0.2	0.8	0.0	0.2	-0.6

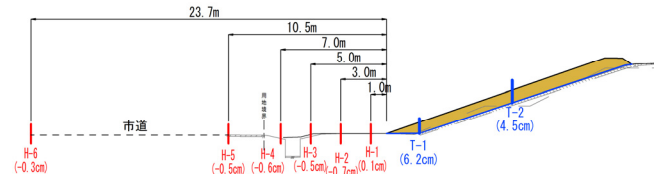


図-15 法尻からの離れに伴う水平変位量  
(無対策区間：盛土速度 10cm/日、主測線 SP675.00)

### 6-2. 対策区間（固結工法）

#### (1) 動態観測結果の概要

沈下量・水平変位量の経時変化及び盛土安定管理図を図-16に示し、動態観測結果の概要を以下に述べる。

【盛土厚】 $H_t=5.4\text{m}$ (=仕上り厚0.3m/層×18層)

【盛土日数】24日間(R4.10.25~R4.11.18)

※1日1層程度の施工速度で盛土

【沈下量】盛土厚 $H_t=5.4\text{m}$ に対し、法尻部で3.8~6.9cmの沈下量を示す。

【水平変位量】盛土厚 $H_t=5.4\text{m}$ に対し、法尻部で0~0.5cmの水平変位量を示す。

【安定管理状況】松尾・川村安定管理図(S- $\delta$ /S管理図)より、盛土中及び盛土完了後を通じて沈下量及び水平変位が小さいことから、 $\delta/s=0$ 軸付近で推移している。いずれの管理図においても管理基準を下回っているため、安定して盛土施工が実施された。

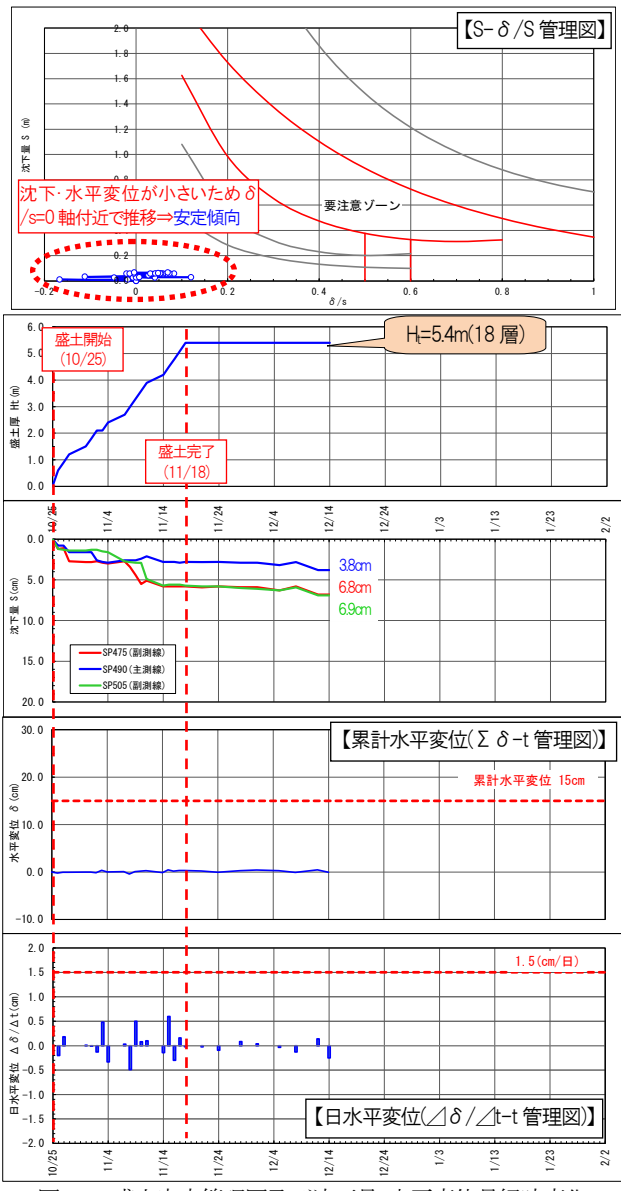


図-16 盛土安定管理図及び沈下量・水平変位量経時変化 (対策区間：固結工法, 主測線 SP490.00)

(2) 周辺地盤への影響 (変位杭による水平変位量)

変位杭による水平変位量の観測結果を表-7に示す。これより、法尻からのいずれの離れにおいても、水平変位量は1cm未満であり、無対策区間と同様に盛土による周辺地盤への影響は少ない結果が得られた。

表-7 水平変位量観測結果 (対策区間：固結工法)

主・副	測点	水平変位量(cm)					
		H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6
		法尻1 L=1.0m	法尻2 L=3.0m	水路端R L=4.6m	水路端L L=7.1m	道路R L=9.8m	道路L L=22.8m
副	SP475.00	0.3	0.4	0.7	0.6	0.2	-0.3
主	SP490.00	0.0	0.1	-0.1	0.2	0.0	0.0
副	SP505.00	0.5	0.4	0.3	0.2	0.3	-0.4

6-3. 傾斜計観測結果

無対策区間及び対策区間における傾斜計の観測結果を図-17に示す。いずれも盛土の影響により道路側へ変位する傾向がみられ、無対策区間では地表～GL-3m部分で最大21mmの変位の発生が確認された。一方、対策区間では盛土の影響により地表～GL-4m部分で7mm程度の変位の発生が確認された。なお、盛土完了後は変位の進行がみられておらず収束傾向が確認されている。

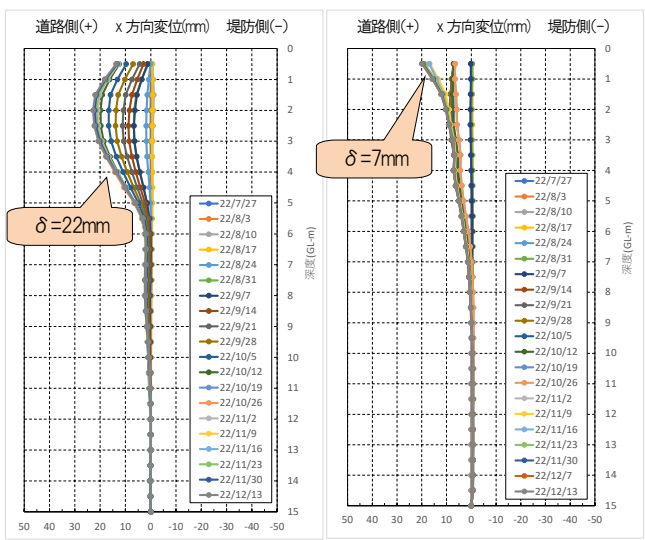


図-17 傾斜計観測結果(左：無対策区間、右：対策区間)

7. 動態観測結果の考察

試験盛土によって得られた動態観測結果等から、今後の本施工に向けた対応方針を以下に考察する。

(1) 沈下量について

盛土中～盛土直後の沈下量は数cmであるが、当地域においては長期的な沈下が懸念されているため、今後継続して沈下が進行されることが予測される。次年度以降においても継続して観測を行った上で、盛土中及び盛土後の沈下の経時変化をFEM解析等によって再現し、再現計算で得られた地盤特性をもとに、整備必要区間に対する解析及び対策工検討を実施する必要がある。

(2) 側方流動による周辺地盤の影響について

無対策区間及び対策区間における盛土中～盛土直後の水平変位量は1cm未満であり、解析時に想定されていた水平変位量 (数cm程度) に比べると微小な結果となった。当該事象についてもFEM解析等によって再現し、再現計算で得られた地盤特性をもとに、整備必要区間に対する解析及び対策工検討を実施する必要がある。

8. まとめ

- 1) 月寒川・望月寒川堤防の動態観測結果より、沈下及び水平変位は、北海道胆振東部地震により一時的な増加が発生したものの、観測期間を通じて緩やかに沈下・水平変位が継続している傾向が確認された。
- 2) 堤防動態観測結果による沈下量をもとに、月寒川・望月寒川の土堤及び特殊堤区間を対象に「logt法」による将来沈下量予測を実施した。その結果、15年後 (R4年～R19年) の将来沈下量は5～11cmと予測され、これらに対し土堤部では嵩上げ及び振幅による対策、特殊堤部ではパラペット部の嵩上げ対策が必要である。
- 3) 望月寒川左岸KP0.4～KP0.8区間を対象に嵩上げ対策による試験盛土を行った。その結果、盛土中～盛土直後の沈下量は数cm、水平変位量は1cm未満であったが、今後継続して沈下が進行されることが予測される。このため、継続観測を行った上でFEM解析等による再現計算を行い、得られた地盤特性をもとに整備必要区間に対する解析及び対策工検討を実施する必要がある。

参考文献

- 1) 国研) 寒地土木研究所：泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル H29.3