

# 天塩川下流の軟弱地盤における 柔構造樋門の課題について

留萌開発建設部 治水課 ○猪股 直紀  
留萌開発建設部 治水課 渡辺 雅俊  
留萌開発建設部 幌延河川事業所 五十嵐 拓

天塩川下流域の土質構成は、粘土やシルト、砂の互層及び泥炭からなる軟弱地盤となっている。このような中間土の地盤条件では、沈下を把握することが難しく、沈下予測値と実測値との差異が見られる。本論文は近年施工された、柔構造樋門の沈下予測値と実測値について、地盤条件、施工条件から整理・評価を行い、今後の天塩川下流域の柔構造樋門における課題点や留意点について、整理を行った。

キーワード：基礎技術、計画手法、維持管理

## 1. はじめに

樋門・樋管については、平成 11 年より柔構造が採用され、杭基礎方式は廃止された。柔構造樋門形式採用以降、天塩川下流域においても、現在までに柔構造樋門が施工されている。柔構造樋門を設計するにあたっては、樋門設置箇所の地盤特性を、十分把握した上で、沈下量の予測値を算出することが、基本条件の一つとなっている。

天塩川下流域の地盤では、粘土や砂等の土質が明確に分類できないシルトを主体とした土が厚く堆積している。地盤の解析においては、砂質土地盤と粘性土地盤に区別しているが、実際の土は均一ではなく、様々な粒径の土粒子を含んでいる。このように砂と粘土が混在し、土質の区分が明確に分類できず、中間的な性質をもつ土は、中間土と呼ばれている。

このような土は、沈下による地盤の挙動把握が難しく、設計時において、算出した沈下量の予測値と実測値が異なることが多いと言われている。<sup>1)</sup>

本報告においては、各柔構造樋門箇所の地盤条件に対する、評価検討を行うとともに、施工時期や盛土材料、地盤対策工等から予測値と実測値の差異について比較・評価を行い、今後の柔構造樋門の調査、設計施工及び維持管理に資することを目的とする。

## 2. 中間土の分類について

一般に、土質工学においては、地盤を砂質土地盤と粘性土地盤とに分けて別々の設計法が用いられており、その力学特性及び圧密特性は、粒度組成に大きく依存し、実務においては、土を砂と粘土に区分して、それぞれ別

個の考え方を用いている。しかし、実際の土は幅広い粒径の土粒子を含んでいるため、砂か粘土かに分類できないような土を対象としなければならない。

中間土については、明確な基準はないが、中間土をどの土質に分類するかにより、圧密沈下量算定の判断が変わるため、地盤の圧縮や強度の特性に影響を及ぼす細粒分含有率 (Fc) に着目した。尚、文献には下記の記述がされている。

a) 圧縮指数および体積圧縮係数は、細粒分含有率が 20%程度までは、細粒分の減少とともに著しく小さくなり、それ以下になると粗粒子 (砂) のみの特性に近づいていく<sup>2)</sup>

b) 中間土：砂分の含有率が 60%~80%<sup>3)</sup>

c) 砂分が 50%~80%のものは砂質土と粘性土の中間的な性質を示すので中間土と呼ばれる<sup>4)</sup>

この様な記述を参考に表-1 のとおりに中間土の分類を整理し、中間土の特性を踏まえた課題の整理を行った。

表-1 中間土の分類表

項目	礫・砂	中間土	粘土
細粒分含有率 Fc(%)	20未満	20以上50未満	50以上

表-2 検討対象樋門

河川名	樋門名	樋門位置
天塩川	①作返1号樋門	KP20.60左岸
	②作返2号樋門	KP24.06左岸
	③幌延5号樋門	KP24.90右岸
	④東ウブシ樋門	KP27.77左岸
	⑤下雄信内樋門	KP35.50左岸
問寒別川	⑥阿賀樋門	KP13.20右岸

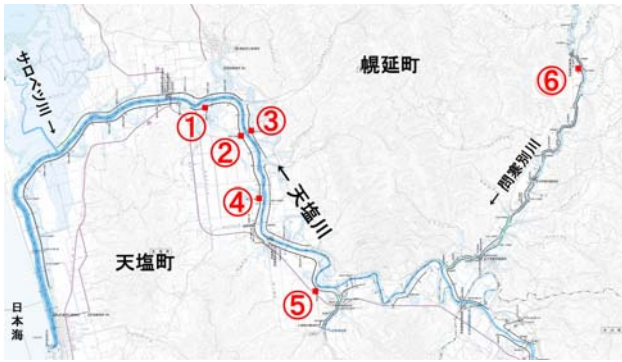


図-1 樋門位置図

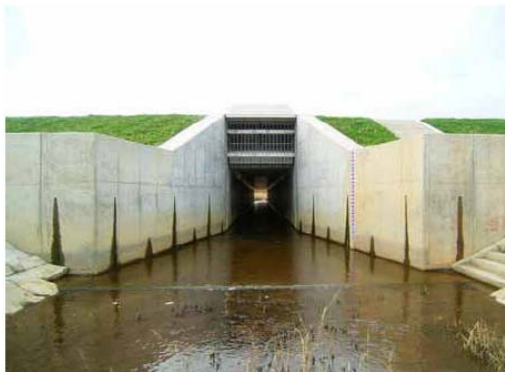


写真-1 作返2号樋門

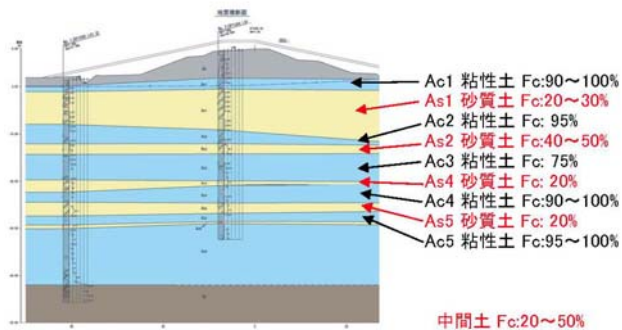


図-2 作返2号樋門土質横断図

### 3. 調査対象樋門

天塩川下流域において、現在までに施工された柔構造樋門の内、今回検討対象とした樋門は、表-2 の 6 樋門である。各樋門に関して、項目の整理・検証を行う。

天塩川下流域の地層状況は、図-2 に示した作返2号樋門の土質横断図のように、粘性土と砂質土が互層状となっており、この中には中間土に分類できる層も含まれている。

### 4. 樋門の沈下予測値と実測値の比較

柔構造樋門の設計にあたっては、樋門箇所の地盤特性を十分に把握した上で、沈下量の予測値を算出することが基本条件となっており、算出結果を踏まえ、地盤対策工や継手の設置等を検討する。しかし、沈下量の予測値と実測値については、一致しない事例が発生している。

したがって、本報告の検討対象樋門の沈下量の予測値と実測値について比較し、沈下対象層や地盤対策工法、盛土の単位体積重量等から検証を行う。

地盤沈下量予測値と実測値の関係を表-3に示し、単位体積重量と地盤対策工を表-4 に示す。この沈下量の差について、要因の検証・整理を行った。

(1) 検討対象の 6 樋門全てで、残留沈下量の予測値と実測値に差異が見られる。

(2) 検討対象の 6 樋門の内、作返1号樋門、作返2号樋門、幌延5号樋門、東ウブシ樋門に関しては即時沈下量の予測値が大きい。

(3) 検討対象の 6 樋門中 4 樋門については、盛土単位体積重量の実測値が、設計値と比較して 1.0~2.0kN/m<sup>3</sup> 程度軽い。

(4) 表層改良工を実施した、作返1号樋門においては、設計値の改良強度(200kN/m<sup>2</sup>)と比較して 1.5 倍以上(320kN/m<sup>2</sup>~360kN/m<sup>2</sup>)で施工されている。

(5) プレロード盛土については、作返1号樋門、作返2号樋門、下雄信内樋門の3樋門で実施している。予測沈下量については、プレロードを考慮した、沈下量としている。

(6) キャンバー盛土については、作返2号樋門、幌延5号樋門、東ウブシ樋門、下雄信内樋門の4樋門で実施している。

(7) 阿賀樋門については、砂質地盤と判定し圧密沈下量は計算していない。即時沈下量のみとしている。

表-3 各樋門沈下量一覧

樋門名	断面形状 横×縦×延長～連	完成 年度	即時沈下量 (cm)		圧密沈下量 (cm)		残留沈下量 (cm)	
			予測値	実測値	予測値	実測値	予測値	実測値
作返1号樋門 (KP20.60 左岸)	5.0×3.3×57.0 ～2連	H22	41.9	3.9	7.6	45.8	13.7	
作返2号樋門 (KP24.06 左岸)	2.8×2.8×65.0 ～1連	H18	33.0	9.0	15.8	42.0	21.1	
幌延5号樋門 (KP24.90 右岸)	2.5×2.5×57.0 ～1連	H23	21.0	1.0	-*	22.0	33.6	
東ウブシ樋門 (KP27.77 左岸)	1.5×2.0×78.0 ～1連	H16	32.0	13.0	31.3	45.0	36.6	
下雄信内樋門 (KP35.50 左岸)	2.0×2.5×63.0 ～1連	H23	14.0	11.0	-*	25.0	13.9	
阿賀樋門 (KP13.20 右岸)	2.0×2.0×26.0 ～1連	H15	7.7	-	-	7.7	16.0	

\*については現在計測中である。

表-4 単位体積重量と地盤対策工

樋門名	盛土単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )		施工時期 (盛土完了時)	地盤対策工		
	設計値	実測値		地盤改良工	プレロード盛土	キャンバー盛土
作返1号樋門 (KP20.60 左岸)	19.0	16.7	夏期 (4~11月)	表層混合処理 (設計値 200kN/m <sup>2</sup> (施工強度 320~ 360kN/m <sup>2</sup> )	○	
作返2号樋門 (KP24.06 左岸)	18.6	17.5	夏期 (4~11月)		○	20cm
横延5号樋門 (KP24.90 右岸)	18.6	17.6	夏期 (4~11月)			20cm
東ウブシ樋門 (KP27.77 左岸)	18.6	18.0	夏期 (4~11月)			20cm
下雄信内樋門 (KP35.50 左岸)	18.0	18.6	冬期 (12~3月)		○	15cm
阿賀樋門 (KP13.20 右岸)	19.0	19.0	冬期 (12~3月)			

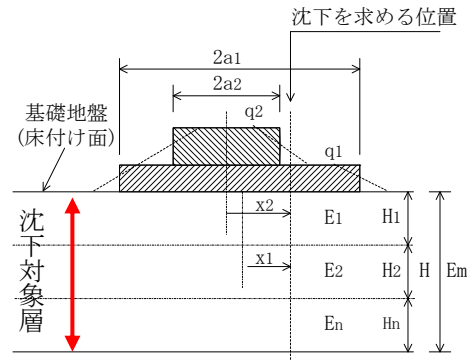


図-3 即時沈下計算モデル

## 5. 影響要因の検証

### (1) 即時沈下対象層の違いによる沈下量の関係

即時沈下量については、沈下対象層の考え方により、算出値にばらつきが見られる傾向がある。即時沈下に影響する調査深さは、載荷幅の3倍以上となっている。

5) 対象となるN値の基準は特にないが、一般的に軟弱地盤層までを考慮するものとしている。樋門設置箇所が、砂質土か粘性土かを明確に判断可能な地盤においては、沈下対象層の設定に問題はないと考えられる。ただし、前述のように、天塩川下流域においては、中間土が多く堆積しているため、砂質土か粘性土の区分が難しく、沈下対象層の考え方に相違が見られ、即時沈下量の予測値と実測値に差異が生じることが考えられる。

即時沈下量は、図-3の計算モデルのように、土層ごとに変形係数が異なる多層地盤を、換算式により一つの変形係数 (Em) に換算した単層として計算される。

「柔構造樋門設計の手引き」による沈下対象層は、即時沈下が卓越する土層までとしているが、やや変形係数の高い土層を、沈下対象層に含めるかどうかにより、即時沈下量に大きく影響する。このため、沈下対象層や深度の取り方によって、即時沈下量の予測値と実測値に差異が生じやすいと考えられる。なお、即時沈下量に関しては、明確に計測することは困難であるが、築堤開削時のリバウンド量と同程度のものと考えられる。ただし、中間土の影響により表-5に示すように即時沈下量の設計値とリバウンド量には差異が生じている。

### (2) 中間土の考え方による沈下量の関係

中間土の考え方については、前項において述べたように、砂質土と粘性土が混在している土質であるが、中間土をどちらの土質に判断するかにより、圧密沈下量の算出値が異なる。中間土を砂質土と判断した場合には、圧密沈下が生じないものとして無視されるが、中間土を粘性土と判断した場合には、圧密沈下量が考慮される。表-6に示すように、圧密沈下量が実測されている4樋門の内、作返1号樋門、作返2号樋門に比べ東ウブシ樋門は10cm以上の沈下量の差異が見られる。この要因とし

表-5 即時沈下量の予測値と実測値の関係

樋門名	即時沈下量(cm)		沈下量の差異 (cm)
	設計値	リバウンド量	
作返1号樋門	41.9	6.1	35.8
作返2号樋門	33.0	5.3	27.7
東ウブシ樋門	32.0	5.6	26.4
下雄信内樋門	14.0	4.7	9.3

表-6 圧密沈下量の予測値と実測値の関係

樋門名	圧密沈下量(cm)		沈下量の差異 (cm)
	設計値	実測値	
作返1号樋門	3.9	7.6	3.7
作返2号樋門	9.0	15.8	6.8
東ウブシ樋門	13.0	31.3	18.3
下雄信内樋門	11.0	精査中	精査中

ては、砂質土と判断した中間土層が、実際には粘性土と砂質土の中間的な挙動をし、圧密沈下が生じた可能性が考えられる。

### (3) 地盤対策工の違いによる沈下量の関係

検討対象樋門において実施した地盤対策工は、表層改良工、プレロード盛土、キャンバー盛土の3工法である。

#### a) 表層改良工について

表層改良工を実施した樋門は、作返1号樋門の1基であるが、無対策の場合は残留沈下量が50cm以上となっている。プレロード盛土と地盤改良により、沈下量を約13cmまで減少させていることから、これらの対策は、有効であると考えられる。ただし、設計時における地盤改良時の設計強度に対して、施工時の改良強度が高いため、即時沈下が抑制されていることも、この要因となっている。

#### b) プレロード盛土について

プレロード盛土においては、より沈下量の予測値と実測値が一致しやすいとされている<sup>1)</sup>が、プレロード盛



土後の残留沈下量は、表-6 に示した予測値と実測値で若干の違いはあるものの、プレロード盛土を実施していない東ウブシ樋門と比べると大きな低減効果が得られており、プレロード盛土は、圧密沈下に対して地盤対策工として有効であると考えられる。

#### c) キャンバー盛土について

キャンバー盛土に関しては、6 樋門中 表-7 に示す 4 樋門において実施されているが、キャンバー盛土の設定高に対して函体の沈下が少ないことから、高止りが生じている。これは施工時において測定したリバウンド量に対して、キャンバー盛土の設定高が大きいことによる現象が生じることが考えられる。

#### (4) 単位体積重量の違いによる沈下量の関係

築堤盛土の単位体積重量については、6 樋門中 4 樋門において設計値に対して実測値が小さい結果となっていた。幌延5号樋門においては、沈下量の予測値に対して実測値が上回ったため関係性が見出せなかったが、阿賀樋門を除き、その他の樋門においては、沈下量の予測値に対して実測値が下回っていることから、単位体積重量が軽くなったことで、沈下量が抑制されたと考えられる。

表-7 キャンバー盛土高と沈下量の関係

樋門名	キャンバー盛土(cm)		沈下予測値 (cm)	実施工値－ 沈下予測値(cm)
	設計値	実施工値		
作返2号樋門	20.0	20.0	9.4	10.6
東ウブシ樋門	20.0	20.0	13.4	6.6
幌延5号樋門	20.0	20.0	7.4	12.6
下雄信内樋門	15.0	15.0	精査中	精査中

表-8 盛土の単位体積重量と沈下量の関係

樋門名	盛土単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )		沈下量 (cm)	
	設計値	実測値	予測値	実測値
作返1号樋門	19.0	16.7	45.8	13.7
作返2号樋門	18.6	17.5	42.0	21.1
幌延5号樋門	18.6	17.6	22.0	33.6
東ウブシ樋門	18.6	18.0	45.0	36.6
下雄信内樋門	18.0	18.6	25.0	13.9
阿賀樋門	19.0	19.0	7.7	16.0

## 6. まとめ

これまでの検討結果をまとめると以下のことが考えられる。

(1) 当該地域のような中間土となる地盤の場合、地質区分の判断が難しいことから、即時沈下対象層の考え方に相違があり、沈下量の予測値に対し実測値との差異が生じている。

(2) 中間土は、その性質から、砂質土と判断した中間土層が、実際には粘性土と砂質土の中間的な挙動をし、圧密沈下が大きく生じた可能性も考えられる。このため、圧密沈下量に関しては、これまでの実績により、中間土も考慮して問題ないと考えられる。

(3) 地盤改良を実施する際に、施工時における地盤改良強度が設計強度より高い場合には、沈下が抑制され、沈下量実測値が予測値よりも下回る結果がでることが考えられる。

プレロード盛土については、沈下量の予測値と実測値に若干の差異はあるものの、無対策時の沈下量に比べ大きな低減効果があり地盤対策工として有効である。したがって、優先的にプレロード盛土を採用し、載荷期間を十分確保することが望ましい。

キャンバー盛土に関しては、設計高に対して函体の沈下が少ない（リバウンド量が少ない）ことから、高止りが生じていることが考えられる。したがって、キャンバー盛土は、沈下量の推定精度を考慮し高さを設定することが望ましい。

## 7. 今後の課題

### (1) 必要な調査・試験項目

現在、樋門の調査に関しては、施工時におけるリバウンド調査や盛土後の動態観測等が行われている。これらの調査は、今後も継続するとともに、中間土のような地盤に対しては、土質判別の為の粒度試験を行い、さらに圧密試験の頻度を増やすことで、精度の高い圧密沈下量を算出することが可能であると考えられる。

また、地盤の沈下量算出にあたっては、「泥炭性軟弱地盤における柔構造樋門設計マニュアル（案）」が策定され、従来の「柔構造樋門設計の手引き」における計算手法に変わり、カムクレイ系のFEM解析が今後実施される。本モデルによる地盤解析の特徴としては、軟弱地盤での盛土や掘削に伴う地盤の変形を、時系列により解析することが可能であり、最新の修正型計算モデルにおいて、側方流動を含んだ実際の挙動予測に対する適用が高いことが、報告されている。

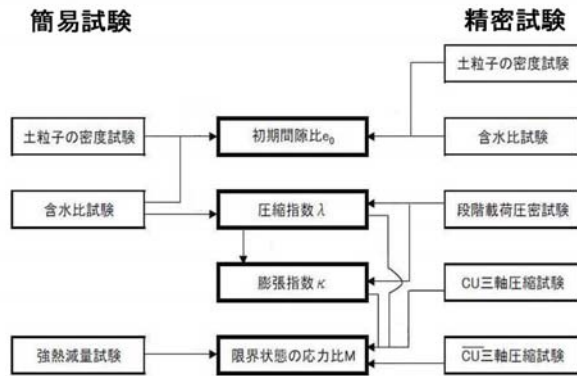


図-4 土質定数および土質パラメーターの決定フロー<sup>6)</sup>

さらに、FEM解析では、メッシュ分割により地盤の成層分布をモデル化し、土層ごとに沈下量を算出するため、従来の簡易式に比べ精度の向上が期待できる。また対象層の取り方の違いや、中間土の扱いによる影響も、より小さくなるものと考えられる。したがって、カムクレイ系のFEM解析が採用されることにより、今後の設計、施工していく樋門は、想定沈下量の精度向上や、技術者判断による相違も低減することが期待できる。ただし、FEM解析に必要な土質定数および土質パラメーターを決定するためには、図-4に示すような含水比試験等の簡易な物理試験や精密試験が必要となり、コストの増大が考えられる。

## (2) 設計・施工時における留意点、配慮事項

今後の樋門設計・施工にあたり、留意点や配慮事項について以下に記載する。

### (2-1) 設計時における留意点

- 即時沈下については、樋門施工箇所での十分な地質調査や試験を実施することで、土層の構成を把握し沈下対象層や地盤定数を適切に設定する。
- 中間土層では、砂質土と粘性土が混在しているため、圧密沈下が考えられる。その対処方法としては、樋門施工前に、プレロード盛土を実施することで、圧密を収束させることができる。圧密沈下量の影響が大きい樋門においては、プレロード盛土を実施することが有効である。
- 築堤盛土の単位体積重量を設定するにあたっては、施工時に使用する埋め戻し材を事前に調査して、適切に反映させる。

### (2-2) 施工時における留意点

- 検討対象樋門の多くで、キャンバー盛土の高止りが見られた。施工時には、設計時におけるキャンバー盛土高を参考として、リバウンドの実測値を踏まえ、技術調整会議で検討することが望ましい。
- 樋門の施工時期が冬期の場合、堤防の埋め戻しは、夏期施工に比べ埋め戻し材の品質管理、締固めが十分に行えないことが考えられる。また、冬期に堤防の埋め戻しを行った場合には、氷雪や凍結土の混入等で、春先に堤体の変状し、更には護岸の変状が発生するおそれがあるため、冬期施工を行う場合には、盛土材の品質管理、締固めに十分注意して施工する必要がある。

## 8. おわりに

本報告においては、各柔構造樋門箇所における地盤条件の他に、樋門諸元や施工時期、盛土材料等から予測値と実測値の差異について、整理・評価を行った。その結果、沈下量の予測値と実測値の差異については、樋門設置箇所における地盤条件や中間土、対象層の考え方、地盤対策工法等、様々な要因が重なることにより、相違が生じることが明らかになった。しかし、本報告において検討対象とした樋門は6基と、建設された柔構造樋門の中でも一部であることから、今後の柔構造樋門の調査、設計、施工及び維持管理に反映できるように、多くの樋門のデータを収集し、比較・評価を行っていく必要がある。

### 参考文献

- 柔構造樋門の圧密沈下挙動について 北海道開発土木研究所 2006年 1月
- 社団法人 地盤工学会：土と基礎Vol. 37 「砂と粘土の混合の圧縮及び強度特性」 1993
- 社団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説
- 社団法人 地盤工学会：土と基礎41-7(426) 「中間土・混合土の圧密・圧縮・透水特性」 July1993年
- 柔構造樋門設計の手引き 山海堂 2000.7月
- 泥炭性軟弱地盤における 柔構造樋門設計マニュアル (案) 北海道開発局 河川工事課 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所