

VI-3

超軟弱地盤上における柔構造樋門設計について

北海道開発局石狩川開発建設部 正員 松下 勝美
 北海道開発局石狩川開発建設部 吉田 俊雄
 北海道開発局開発土木研究所 正員 井出 康郎
 北海道開発コンサルタント(株) 正員 氏江 一彦

1. はじめに

河川堤防を横断して設けられる樋門・樋管は、それ自身が堤防としての機能を有している必要がある。

しかし、軟弱地盤上の堤体は、自重より地盤と同一の沈下が生じるものの、軟弱地盤上に構築される樋門・樋管では従来より支持杭を用いて強固に支持される場合が多く、函体は沈下しない。

このため、堤体と函体との間あるいは周辺部に沈下差が生じて、堤体が抜け上がり、堤体にクラック、空洞、ゆるみ等が発生し、洪水時の漏水原因あるいは函体および堤体に悪影響を与えている。

これらの問題解決のため、軟弱地盤上の樋門・樋管の設計方法を従来の支持杭による“剛支持”方式から、直接基礎を主体とした“柔支持”方式とし、堤防全体の安全性を高める技術が建設省を中心として開発されているところである。

本報は、柔構造樋門として北海道開発局の「技術活用パイロット事業」の指定を受けた「清真布川(左岸)東6号樋門」の計画・設計・施工の事例を紹介するものである。

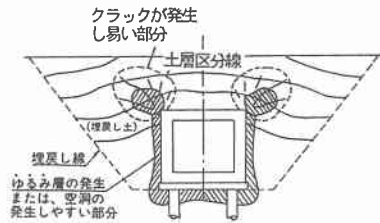


図-1 従来樋門(剛構造)の函体周辺部の状況¹⁾



図-2 北海道の泥炭性軟弱地盤分布²⁾
 (※ ● は泥炭性軟弱地盤を示す)

2. 工事の概要

(1) 柔構造型式採用の経緯

清真布川は、一級河川石狩川水系夕張川の支川である。当河川の改修計画に伴い、既設東6号樋門の改築が必要となった。周辺の地盤は、図-2に示すように石狩泥炭地と呼ばれる超軟弱地盤地帯に位置している。樋門計画地点の地質は、地表面下10mまで軟弱な泥炭および泥炭混じり粘土(N値=1~2回)が堆積し、それ以深については、堆積層であるシルト、砂質土および腐食土の互層帯(N値=10~20回)で構成されている。

また、当該地点における泥炭性地盤の特性は次のとおりである。

- ① 分解不十分な湿性植物遺体の堆積したもので、有機物含有量が極めて高い(含有率20%以上)。
- ② 含水比がW=150~400%と極めて高く、単位体積重量は $\gamma_t = 1.0 \sim 1.2 \text{ tf/m}^3$ と小さい。

The design of a soft structural sluice way on the super soft subsoil
 by Katsumi MATSUSHITA, Toshio YOSHIDA, Yasuro IDE and Kazuhiko UJIE

③ 含水比に比例して間隙比が大きく圧縮性が極めて高い（圧縮指数 $C_c = 1.5 \sim 6.0$ 以上）。

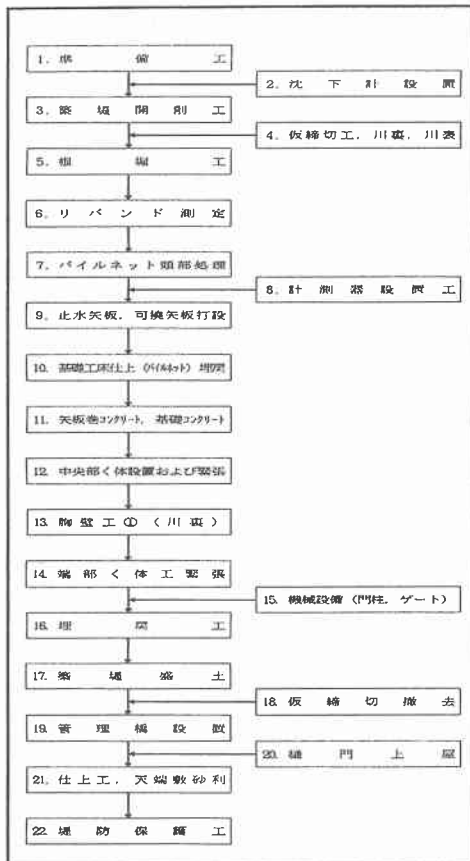


図-3 施工方法フロー

これまでの主流である杭基礎による剛構造樋門は前記のような土質特性のところでも数多く施工されている。しかし、①継手部の開きが大きく、水密性の確保に不安がある。②函体周辺部に空洞化が発生している。等の問題が指摘され、堤防の安全性を高めるための技術開発が急務とされていた。

(2) 工事の概要

当樋門の計画は堤防と一体となって、沈下する「柔構造」¹⁾を採用するものとした。

なお、樋門の主な諸元は次のとおりである。

- ① 樋門断面 ~ 幅 (B) × 高さ (H) = 1.2m × 1.5m
- ② 樋門長 ~ L = 41m
- ③ 門扉型式 ~ 鋼製ローラーゲート
- ④ 樋門函体 ~ PCプレキャストボックス
- ⑤ 継手型式 ~ 可撓継手 (3カ所)
- ⑥ 緊張工 ~ VSL工法 (4ブロック全てを部分緊張)
- ⑦ 計画キャンバー量 ~ 23cm

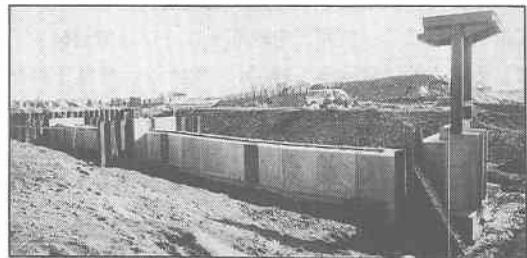


写真-1 く体設置完了

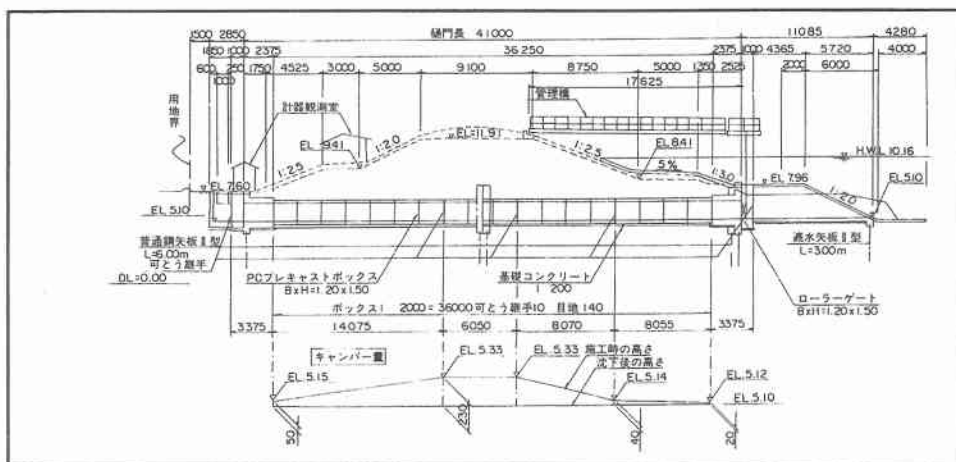


図-4 清真布川 (左岸) 東6号樋門一般側面図

3. 沈下量および対策工の検討

(1) 沈下量の検討

計画堤防断面における地盤の沈下量 (S_f) は即時沈下量 ⊕ 圧密沈下量として求められる。即時沈下量の内、①地盤のせん断変形による沈下量は、LLT試験から地盤の変形係数を求め、「柔構造樋門・樋管設計マニュアル(案)」の算出式から沈下量を求める。②リバウンドによる沈下量は、Cc法と $e \sim \log P$ 法の2つの方法で推定する。

また、圧密沈下量は、計画盛土高 ($H = 5.0\text{m}$) に必要な盛土厚を施工した場合の増加応力による圧密沈下を $e \sim \log P$ 法により求める。以上の方法により、沈下計算を行なった結果、最終沈下量は1.60mとなった。

したがって、必要盛土厚さは6.60mとなるが、1.60mの沈下を許容しながら盛土の安定性を確保することは不可能であることが判明し、対策工が必要となった。

(2) 沈下対策工の検討

清真布川の堤防工事では、盛土安定のために従来からパイルネット工が施工されている。

パイルネット工法³⁾は、昭和51年度から北海道において採用されている工法で、軟弱地盤に既成杭(主に木杭)を打設して群杭を形成し、杭頭部を鉄筋・ロープ等で連結する。さらに、その上部に敷砂等を施工して盛土を行う沈下抑制工法である。そこで当樋門にパイルネット工を布設した場合の沈下量を求めた結果、65cmとなった。

しかし、柔構造樋門のキャンバー盛土の最大許容値は現在の可撓継手の対応能力から50cmと考えられており、パイルネット工のみでは不十分である。そこで、載荷重工法を併用するものとした。半年間の載荷重工法でパイルネット工による沈下量65cmのうち、49cmの圧密沈下を促進することができ、残りの圧密沈下量は16cmとなる。これにリバウンドによる即時沈下量10cmを加えて、最終沈下量は26cmと算出された。

(3) キャンバー盛土

柔構造樋門では、キャンバー盛土(予想される沈下量分を上げ越ししておく)を施工し、樋門敷高が水平となるように計画する。しかし、26cmの沈下が終了するまでは相当な年数を要することから、本計画のキャンバー盛土は圧密度95%(工事終了後1年半程度を想定)の23cmで計画した。

キャンバー盛土高

$$= 0.26 - 0.65 \times (1 - 0.95)$$

$$= 0.23\text{m}$$

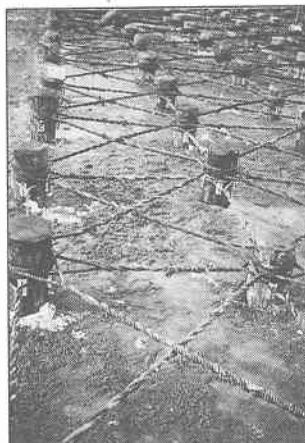


写真-2 パイルネット工布設状況

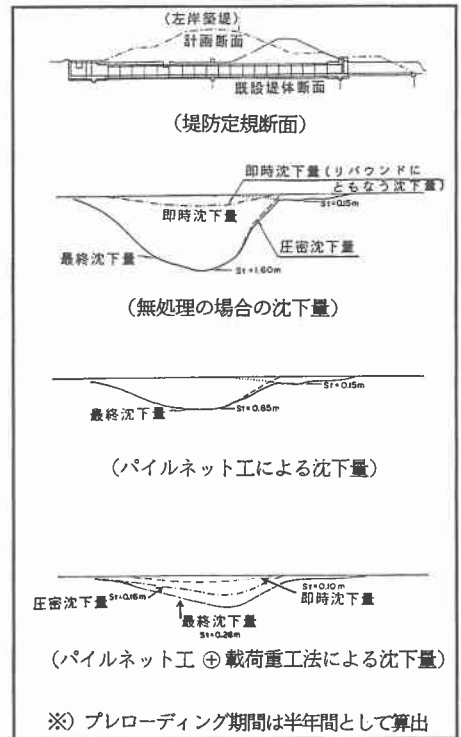


図-5 沈下量の検討結果

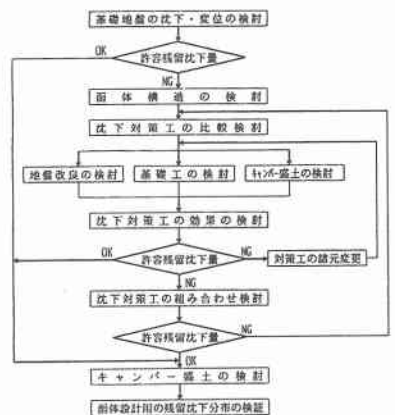


図-6 沈下対策工の検討手順

4. 柔構造樋門の構造特性

(1) 函体構造

柔構造樋門の函体型式を決定する上で最も重要なことは、基礎地盤の沈下に適切に対応できることである。特に、沈下が大き 경우에는 函体を細かく分割し、地盤沈下への追随性を確保できる信頼性の高い継手を選定することが不可欠である。当樋門に採用したPCプレキャスト函体（工場製作）の特徴は次のとおりである。

- ① 工場で管理して製品化されるため、ひびわれの発生を抑制できる。（特に北海道における樋門の施工は、非洪水期となる冬期に行われることが多く、現場打ち工法の場合、ひび割れが発生しやすい。）
- ② 耐久性に優れるとともに、水密性の高い構造にできる。
- ③ 部材厚を薄くできることから、基礎地盤に対する荷重の軽減が図られる。
- ④ 工場製品であるため、現場の省力化が図られる。

写真-3は、函体の接合をスムーズに行うための摩擦減少用として、ビニールシートと塩ビ板を布設した状況である。

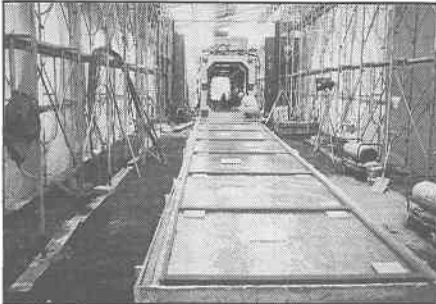


写真-3 ビニールシート+塩ビ板布設状況

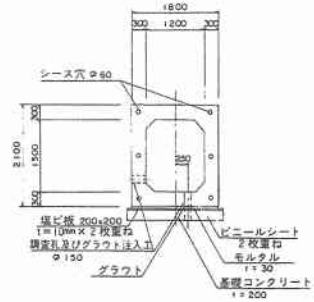


図-6 函体断面図

(2) シャ水矢板

堤体内に異質の工作物がある場合、漏水の原因となりやすく、堤防の機能が低下する。そのため、堤体内に設置が許されているのは河川管理上必然性のある構造物に限定されている。樋門はその代表的構造物であるが、設置にあたっては、このようなことを配慮した構造としなければならない。

シャ水矢板は、樋門と堤防の接触に沿って生じる浸透水の浸透路長を長くするために設けられるものである。当樋門では、3カ所（川表部、中央部、川裏部）に設置されている。柔構造樋門は堤防と一体となって沈下するものであるが、シャ水矢板の設置カ所は、周面摩擦力（正あるいは負の両方あり得る）によって、函体部とは異なった沈下特性となることが予想される。そのため、従来は側部だけに用いていた可撓矢板を底盤下部にも設置している。



写真-4 可撓矢板設置状況

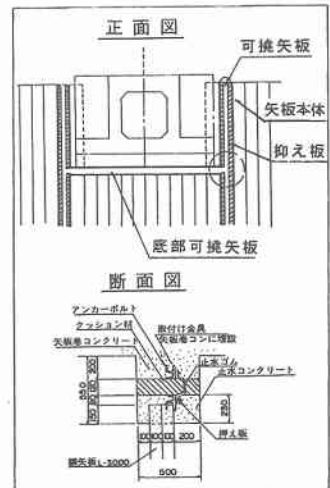
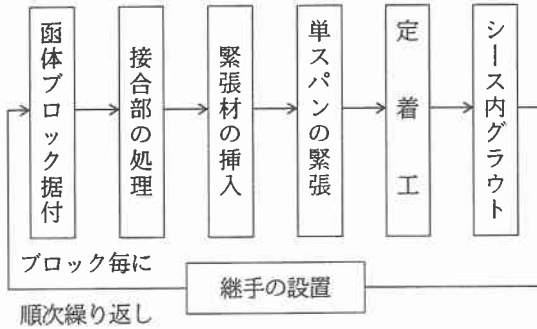


図-7 可撓矢板

(3) 緊張工

樋門長41mのうち、プレキャスト製品を使用する36mの区間については、沈下曲線に極力合致するよう4ブロックに分割した。

ただし、函体1個の製品長は2mであり、各ブロックの水密性を確保するために、ブロック毎に緊張工（VSL工法）を行った。函体ブロック据付から緊張工終了までの施工手順は次のとおりである。



(4) 函体継手

函体継手部は柔構造樋門で最も重要な箇所である。当樋門では、沈下方向および水平変位に対し、 $\delta=20\text{cm}$ まで対応できる可撓継手（写真-6）を使用した。また、従来の剛構造樋門では外側にコンクリートカーラーを設置していたため、可撓継手に土圧が作用することはなかった。しかし、柔構造樋門の場合、継手部に可撓性をもたせることによって、沈下に対する追随性を良くする構造であるため、可撓継手が直接、堤防の土に接することになる。これをシャ断するため、写真-7に示すようなゴム板を函体継手部の外側に設置した。

(5) 門柱

樋門ゲートの機能確保とゲート操作時の安全性確保から、門柱は鉛直であることが望ましい。しかし、柔構造樋門の場合、門柱は函体部の沈下に追従して堤体側に傾斜することが予想され、ある程度の傾斜は許容せざるを得ない。傾斜角度と沈下角度が等しいと仮定した場合の傾斜角度は $0^{\circ}\sim 10'$ 程度であり、ほとんど問題にならない範囲である。ただし、従来のコンクリート構造だとひび割れの発生が懸念されることから、鋼製（工場製品）とした。さらに、門柱上部の操作台についても鋼製を採用し、現場の省力化を図ることができた。

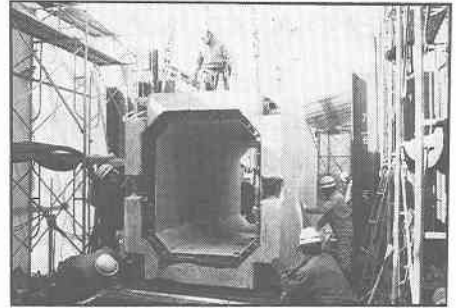


写真-5 緊張用函渠布設状況

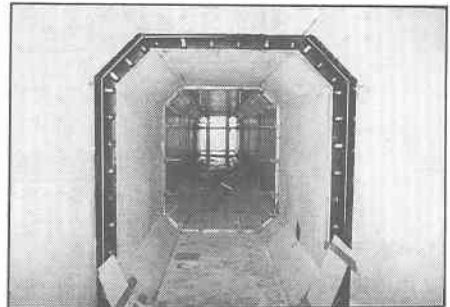


写真-6 可撓継手取付け状況

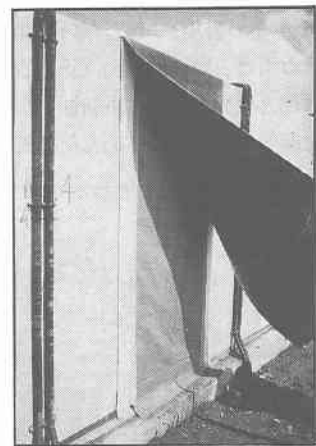


写真-7 函体継手部外側取付状況

5. 動態観測調査

柔構造樋門の建設にあたっては、地盤の沈下特性を把握することが重要となる。そのため、本事業では表-1に示す計測器を用いて計測を行った。計測頻度はパイルネット工の布設時からプレロード工の放置期間、さらに工事期間中および工事終了後（沈下が終了するまで）の期間としている。

表-1 計測対象と計測器

区分	沈下		応力		変位	
	計測対象	計測器	計測対象	計測器	計測対象	計測器
堤体・基礎	地表面沈下 層別沈下	ロッド式沈下板 層別沈下計	基礎地盤	間げき水圧計	基礎地盤	傾斜計
函体	函体沈下	沈下計測鉋	函体	鉄筋計 ロードセル	門柱	傾斜計

6. おわりに

当樋門は、平成5年度に着工し、平成7年度に竣工している。プレロード工による半年間の放置期間、着工からの継続的な動態観測の実施等、従来の樋門工事に比べ長期間を要している。その反面、函体はプレキャスト製品を使用したことによって、工事の省力化が図られた。動態観測は、工事終了後も続けられており、設計値と実際の沈下量にどの程度の差があるのか現在取りまとめているところである。

柔構造樋門は、超軟弱地盤において今後ますます建設されることが予想されるが、施工実績はまだ少ない。このため、本樋門において施工後の計測を継続し、沈下、応力、変位特性等について設計値等の検証を行い、今後の柔構造樋門設計に役立てていきたい。

最後に、本事業の推進にあたり、ご協力いただきました関係各位の皆様に対し深く謝意を表します。

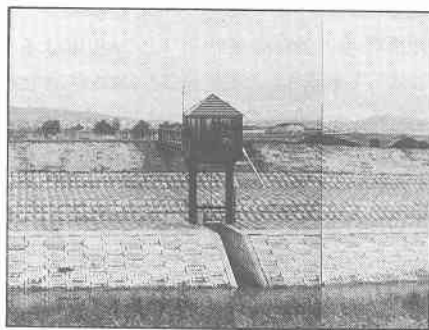


写真-8 工事完了全景

<参考文献>

- 1) (財)国土開発技術研究センター 1992 「柔構造樋門・樋管設計マニュアル(案)」
- 2) (社)北海道開発技術センター発行 1988 「泥炭性軟弱地盤対策工指針」
- 3) 北海道開発局建設部河川工事課編 1982 「泥炭性軟弱地盤における河川堤防の設計・施工の指針」