

FRPM管を使用した門柱レス柔構造柵門の設計について

On the design of a flexibly structured gatepostless sluiceway made of a fiberglass reinforced plastic mortar pipes

1. はじめに

樋門は、河川を横断し設置される函渠構造物であり、従来から樋門本体と堤防との接触面に沿う浸透流の影響が重要であると認識されてきた。特に、軟弱地盤上に設置される樋門は、周辺地盤の沈下により函体の底版下面及び周辺に空洞化が発生しやすいことから、洪水時において堤防機能を安全に確保するための対策が課題となっていた。

柔構造樋門は、この問題に対処するために考案された

構造形式である。樋門の基礎形式を、従来の支持杭による剛支持方式から函体を管軸たわみ性構造（柔構造）として軟弱地盤上に直接設置する柔支持方式へと転換し、函体を地盤の沈下に追随する構造とすることにより、堤防の空洞化を防止して周辺堤防への影響を抑制するものである。

本稿は、1級河川後志利別川に設置されている愛知3号樋門を柔構造樋門として改築する際において、地質条件、荷重条件、施工性、経済性、維持管理等について比較検討した結果、新素材であるFRPM管（強化プラスチック複合管）を管材として採用するとともに、門扉形式を近年において施工事例が増加しつつある門柱レスゲート形式とした樋門の設計事例について報告するものである。

加藤 政春¹⁾

佐々木 慎治²⁾



2. 樋門の計画諸元

愛知3号樋門は、当該区域の内水排除施設として後志利別川KP6.3km地点に昭和13年に築造された排水樋管（内径750mm）であるが、老朽化が著しいこと及び流下断面の不足から排水機能に支障のある施設として改修が急がれていた。

樋門の設計は、樋門設置地点の流域諸元に基づき算出した排水量に対して必要な断面形状を設定したうえで、主に『柔構造樋門設計の手引き～（財）国土開発技術研究センター』に準拠し行なった。

(1) 権門の建設位置

樋門の新設位置は、既設地点である後志利別川左岸 KP6.3km 付近の用地条件及び堤内排水路などの近接する作工物の状況を考慮したうえで

既設樋門の直上流地点を選定した。

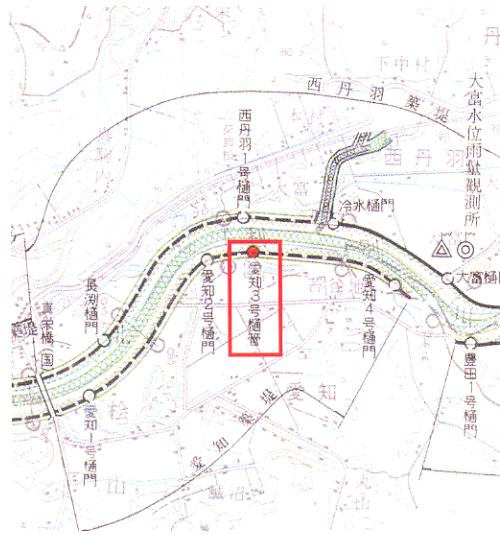


図-1 樋門の設計個所

1) 水工事業本部 水工第2部 (RCCM: 河川・砂防及び海岸)

Masaharu KATO

2) 水工事業本部 水工第2部 Shinji SASAKI

(2) 断面形状

愛知3号樋門の集水面積は $A=0.31\text{km}^2$ である。

樋門の必要断面積は合理式と貯留関数法により算出した当該区域からの流出量を管内流速で除して算定した。

樋門断面は、維持管理上から内高 1.5m以上を確保することとし、最小断面を矩形の場合に $1.20(\text{B}) \times 1.50(\text{H})$ ($A=1.44\text{m}^2$)、円形とする場合には $\phi 1500\text{mm}$ ($A=1.52\text{m}^2$) とする。

表-1 計算流量と必要断面積

計算式	流出量 (m^3/s)	管内流速 (m/s)	必要断面 (m^2)
合理式	2.29	3.5	0.65
貯留関数	0.80	2.5	0.32

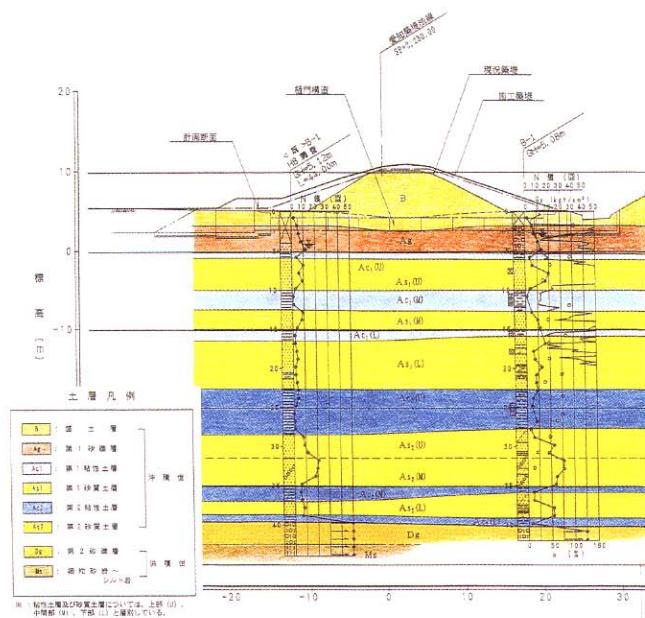


図-2 土層断面図

(3) 地盤の特性

樋門計画地点の土層構成は図-2 に示すように、標高 -35m 程度以浅では沖積層の比較的軟弱な粘性土層と砂質土層が交互に堆積する。

これ以深は N 値 50 回以上の洪積の砂礫層及び細粒砂岩・シルト岩が分布する良好な地盤となるため、沈下量計算は標高 -35m 以浅の沖積層を対象とした。

(4) 残留沈下量とキャンバー量

柔構造樋門は、周辺堤防への影響を最小限に抑えるために樋門本体が地盤の沈下分布に追従できる構造系となるように設計するものである。したがって、設計では地盤の残留沈下量をいかに精度良く推定するかが重要となる。

残留沈下量は、即時沈下量と圧密沈下量の

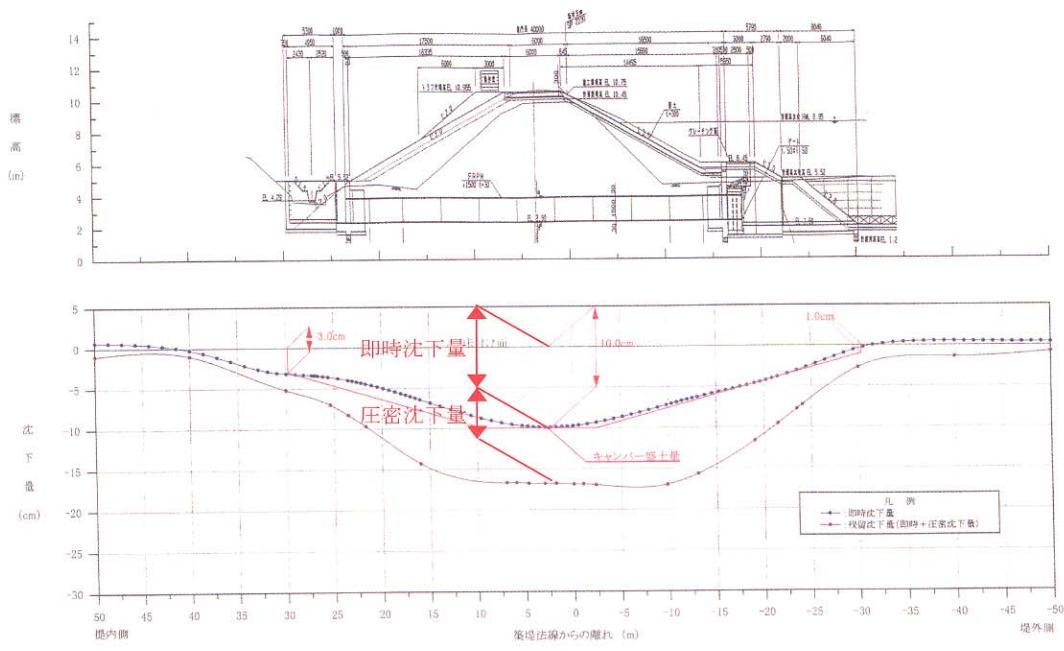


図-3 残留沈下量分布図

和であり、即時沈下量の算定には国土開発技センター式と推定精度の高い FEM（有限要素法）解析を併用した。

現位置試験で採取した試料の室内試験結果を用いて算出した残留沈下曲線図が図-3 であり、残留沈下量は 18cm（即時沈下量 10cm+ 圧密沈下量 8cm）となった。

柔構造樋門では、地盤沈下に伴う実質的な沈下量を抑制するためにキャンバー盛土を設置することが有効である。本設計では、キャンバー量が供用後も長期にわたって残留し疎通能力を損なうことがないよう、即時沈下量相当分の 10cm をキャンバー量とし、供用時の敷高が計画値となることを想定した。

(5) 函体構造の検討

1) 函体形式の選定

樋門の函体は、断面のたわみ特性の違いから剛性函体とたわみ性函体に分類される。

剛性函体は一般的には RC 又は PC 構造の矩形断面である。たわみ性函体は円形断面であり、施工実績としてはダクタイル鉄管、鋼管が多いが、その他として高耐圧ポリエチレン管、FRP 管、FRPM 管等が考えられる。たわみ性函体の特徴としては、剛性函体と比較して部材が薄肉で軽量であることから施工性が良いことがあげられる。

本設計では樋門個所の設計・施工条件、地盤の沈下特性、経済性等について比較検討した結果、以下の理由により『FRPM 管』を採用し、断面形状を $\phi 1500\text{mm}$ とした。

- ①函体が軽量のため接合が容易で施工が迅速である。
- ②他の函体と比較して経済的である。
- ③土被りが浅いためたわみ量が小さい。
- ④側方変位量が小さいため抜出しの心配がない。
- ⑤残留沈下量が小さいため継手の可撓性により変形への対応が可能である。

⑥防食、耐摩耗性に優れるほか粗度係数が小さく通水能力が高い。

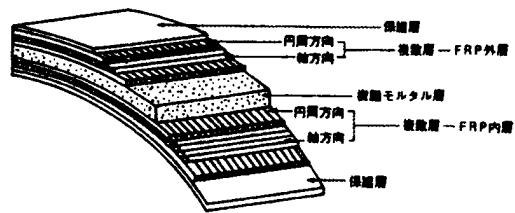


図-4 FRPM 管の構造

2) 遮水壁の構造

遮水壁の設置方法は函体との可撓性に配慮し図-5 に示す構造を採用した。

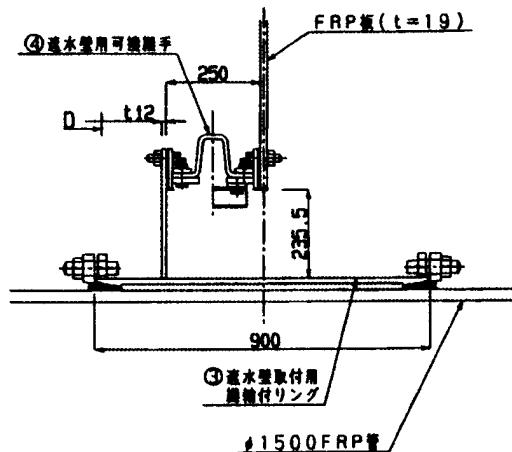


図-5 遮水壁の構造

3. 函体の構造計算 (FRPM 管)

(1) 計算方法

たわみ性函体は、鉛直土圧により断面がたわむことにより函体両側面の土砂を圧縮し、これによって発生する抵抗土圧を受けることによつて安定するとした設計法を採用する。

具体的な設計手法が「柔構造樋門設計の手引き」に示されていないため、「道路土工指針」(日本道路協会) に準拠し、図-6 に示す設計フローに従い構造計算を行った。

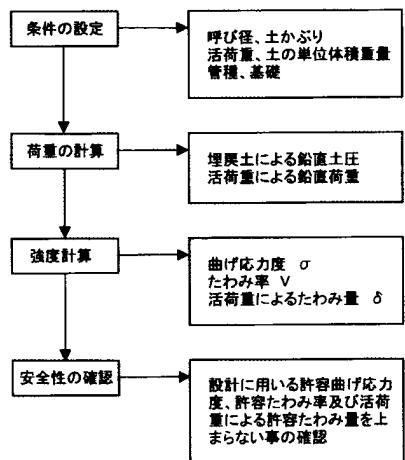


図-6 設計フロー図

(2) 計算諸元

設計荷重は、鉛直土圧及び活荷重による鉛直荷重とする。

1) 鉛直土圧

鉛直土圧は(式-1)で計算する。

$$qd = \gamma s \cdot h \quad (\text{式-1})$$

ここに qd : 鉛直土圧 (kN/m^2)

γs : 土の単位体積重量 (kN/m^3)

h : 土被り (m)

2) 活荷重による鉛直荷重

活荷重による鉛直荷重は(式-2)で計算する。

$$ql = \frac{2P \times (1 + i) \times \beta}{2.75 \times (0.20 + 2h)} \quad (\text{式-2})$$

ここに ql : 鉛直荷重 (kN/m^2)

P : 100 (TL-25) (kN)

h : 土被り (m)

i : 衝撃係数 (表-2)

β : 断面力の低減係数 (表-2)

表-2 衝撃係数

カルバートの種類	衝撃係数		断面力の低減係数 β
	土被り h	衝撃係数	
・コルゲートメタル カルバート	$h < 1.5m$	0.5	・土被り $h \leq 1m$ かつ内 径またはスパン $\leq 4m$ の 場合は1.0
・硬質塩化ビニルパイプ カルバート	$1.5m \leq h < 6.5m$	$0.65 - 0.1h$	
・強化プラスチック複合 パイプカルバート	$6.5m \leq h$	0	・上記以外の場合は0.9

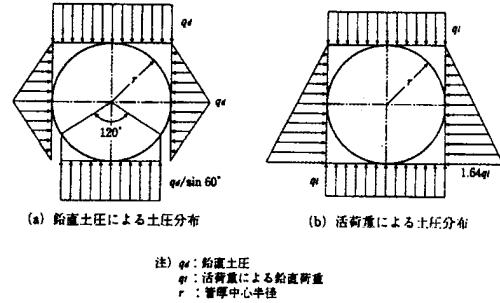


図-7 土圧分布

(3) 管体の設計

管体は、鉛直荷重により管に発生する最大曲げ応力度及びたわみ率が許容値以下となるように設計する。

また、地下水位が高い場合には、浮き上りを防止するために土被りを確保する必要があるが、必要土被り $1.61m$ に対し最低土被り $1.70m$ であり問題がないことを確認した。

管体の周辺土は、たわみ量を低減するために良質土で十分締め固めるため施工支承角 360° (有効支承角 120°) で設計を行った。

1) 管に生じる曲げ応力度

鉛直荷重による最大曲げ応力度 σ は(式-3)で計算する。

$$\sigma = \frac{(k_1 \cdot qd + k_2 \cdot ql) \times r^2}{Z} \quad (\text{式-3})$$

ここに σ : 曲げ応力度 (N/mm^2)

k_1 : 鉛直土圧に対する係数 (表-2)

k_2 : 活荷重に対する係数 (表-2)

qd : 鉛直土圧 (N/mm^2)

ql : 活荷重 (N/mm^2)

γ : 管厚中心半径 (mm) (表-4)

Z : 管の断面係数 (mm^3/mm) (表-4)

2) 管のたわみ率

鉛直土圧による管のたわみ率 ν は(式-4)で計算する。

$$\nu = \frac{50 \times (k_3 \cdot qd + k_4 \cdot ql) \times r^3}{EI} \% \quad (\text{式-4})$$

ここに k_3 : 鉛直土圧に対する係数 (表-4)

k_4 : 活荷重に対する係数 (表-4)

EI : 管の曲げ剛性 ($\text{N} \cdot \text{mm}^2/\text{mm}$)

3) 活荷重による撓み量

活荷重による管のたわみ量 δ は (式-5) で計算する。活荷重による許容たわみ量は 10mm とする。

$$\sigma = \frac{k_1 \cdot ql \cdot r^2}{Z} \quad (\text{mm}) \quad (\text{式-5})$$

表-3 FRPM 管の断面性能

呼び径 mm	管厚 cm	中心半径 cm	管種	管の曲げ剛性 EI kgf/cm ² /cm	断面係数 Z cm ³ /cm	許容曲げ応力度 kgf/cm ²
1200	61.200	1種管	259200	0.9600	1060	
1200	61.200	2種管	172800	0.9600	730	
1350	68.850	1種管	369060	1.2150	1060	
1350	68.850	2種管	246040	1.2150	730	
1500	76.500	1種管	506250	1.5000	1060	
1500	76.500	2種管	337500	1.5000	730	
1650	84.150	1種管	673820	1.8150	1060	
1650	84.150	2種管	449210	1.8150	730	
1800	91.800	1種管	874800	2.1600	1060	
1800	91.800	2種管	583200	2.1600	730	
2000	102.000	1種管	1200000	2.5667	1060	
2000	102.000	2種管	800000	2.5667	730	
2200	112.200	1種管	1597200	3.2267	1060	
2200	112.200	2種管	1064800	3.2267	730	
2400	122.400	1種管	2073600	3.8400	1060	
2400	122.400	2種管	1382400	3.8400	730	
2600	132.600	1種管	2636400	4.5067	1060	
2600	132.600	2種管	1757600	4.5067	730	

表-4 曲げモーメント係数及びたわみ係数

施工支承角	有効支承角	係数	曲げモーメント係数		たわみ係数	
			k1	k2	k3	k4
90°	60°	管頂	0.132	0.079	0.102	0.030
		管底	0.223	0.011		
180°	90°	管頂	0.120	0.079	0.085	0.030
		管底	0.160	0.011		
360°	120°	管頂	0.107	0.079	0.070	0.030
		管底	0.121	0.011		

表-5 許容たわみ量

基礎材	許容たわみ率
碎石基礎	5.0
砂基礎	4.0

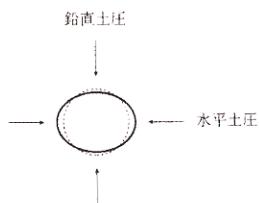


図-8 管体のたわみ

(4) 計算結果

1) 管体に生じる曲げ応力度 (σ)

(管頂に対して)

$$\sigma = 50 \text{N/mm}^2 < 105 \text{N/mm}^2 \quad \therefore \text{OK}$$

(管底に対して)

$$\sigma = 55 \text{N/mm}^2 < 105 \text{N/mm}^2 \quad \therefore \text{OK}$$

注) 2種管ではたわみ率が許容値以上となるため

1種管を使用した。

2) 管のたわみ率 (ν)

$$\nu = 3.71\% < 4.0\% \text{ (砂基礎)} \quad \therefore \text{OK}$$

3) 活荷重によるたわみ量 (δ)

$$\delta = 0.99 \text{mm} < 10 \text{mm} \quad \therefore \text{OK}$$

4. ゲート形式の選定

樋門ゲートは、確実に開閉し且つ必要な水密性を有する構造とする必要がある。現在までの施工実績は引上げ式のローラゲート形式が最も多いが、柔構造樋門では管理橋、門柱等の荷重が門柱部に集中して作用するため不等沈下を惹起する要因となる。

門柱部の沈下・傾斜は開閉への影響が懸念されるほか、FRPM 管の採用に際しては不等沈下に起因して端部と接続個所において亀裂が生じる等構造上の問題が懸念された。

このような構造条件を踏まえ、当樋門流域は流出土砂量が少なく操作性に問題がないこと、樋門の規模、経済性、信頼性（施工実績）、景観等について総合的に比較検討した結果、門柱レスゲート形式を採用することとした。

ゲート型式は、民家から離れていることに対する管理上の問題を重視して、水圧により自動開閉する「無動力式フラップゲート型式」を採用した。但し、非常時への対応として油圧ポンプ式の開閉装置を配備しバックアップ機能を確保した。また、本体が円形断面であることから扉体をアーチ形状とし、前面側への土砂堆積による開閉への影響が少なくするように配慮した。

(常時)

(操作時)



写真-1 無動力式フラップゲート

5. 工事の概要

当該工事は平成 11 年度 12 月～3 月の非出水期に実施された。

標準部 (FRPM 管、 $L=38.0\text{m}$) の布設に要した日数はわずか 2 日であり、通常の RC ボックスカルバートの打設作業日数が 30～45 日程度であることと比較すると著しく工期が短縮された。

また、たわみ性函体であることから細心の注意を払い埋戻しが行われ、施工完了後の撓み量の測定結果により管体が正常な状態にあることが確認された。



写真-2 施工時（管の埋戻し状況）



写真-3 施工時の全景

6. おわりに

当樋門の設計では、軸体端部の FRPM 管体との接続方法をどのような形状とするかが重要な検討課題となつたが、農業排水施設における枠と管の接続方法を参考に鋼製短管を使用しコンク

リートで巻き立てる方法を採用した。

但し、防食に配慮してステンレス鋼管を使用するとともに、接続部は FRPM 管を受口とした場合に強度的な問題が発生するため鋼管側を受口とした。

最後に、樋門軸体としては新素材である FRPM 管を使用した施工事例は全国でも少なく、柔構造樋門としての設計法が確立されていない状況である。沈下量が大きい場合の支承条件の設定など課題も多いことから、事後調査に基づく検証結果を今後の設計に反映させる必要があるものと考えられる。



写真-4 完成時

〈参考文献〉

- ・河川管理施設等構造令：(社)日本河川協会
- ・河川砂防技術基準(案)同解説 設計編
：(社)日本河川協会
- ・柔構造樋門設計の手引き
：(財)国土開発技術研究センター
- ・道路土工～カルバート指針
：(社)日本道路協会
- ・道路橋示方書
：(社)日本道路協会
- ・土地改良事業計画設計基準～パイプライン
：農水省構造改善局
- ・下水道用強化プラスチック複合管～道路埋設
指針：(財)国土開発技術研究センター