

柔構造樋門における動態観測の実施と考察

川原田 啓太¹・大須 栄一

¹関東地方整備局 河川部 河川工事課 (〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心2-1)

関東地方整備局(以降、「関東地整」という)では柔構造樋門の設計において許容残留沈下量を 10cm とし、応力や継手の変位等を算出し構造設計を実施している。また許容値以上の想定残留沈下量が見込まれる場合には地盤改良等を講じたうえで整備を実施している。

一方で、実際に整備した樋門における函体の挙動についての観測データや実証の蓄積が不足しているため、データの収集を目的とし、継手の変位や函体の沈下量等の計測を行った。

キーワード 柔構造樋門、河川構造物(樋門)設計の手引き、残留沈下量、動態観測

1. 基礎形式の変更経緯

樋門の基礎形式は昭和63年頃まで杭基礎(剛基礎)が採用されてきた。

しかし、昭和 56 年の小貝川の高須樋管及び昭和 61 年小貝川の豊田樋管において、函体周囲の沈下に伴う空洞が原因と思われる漏水により決壊が発生した。これらの災害が契機となり、昭和 63 年度に当時の建設本省の「河川構造物等の軟弱地盤対策工法検討委員会」において、「樋門は周辺堤防との安全性の確保を優先すべきであり、この観点より、杭支持による剛支持の樋門・樋管から直接基礎を主体とした柔構造・柔支持方式の樋門・樋管として設計すべきである」という結論が示された。

また、河川砂防技術基準(案)設計編(平成 9 年改定)や河川管理施設等構造令(平成 10 年改正)において軟弱地盤上での樋門設計において基礎地盤の残留沈下に伴う堤防への影響を考慮した柔構造樋門の考え方が示され、平成 11 年には建設省治水課長より樋門の基礎形式については原則として柔基礎構造とする通知が発出された。

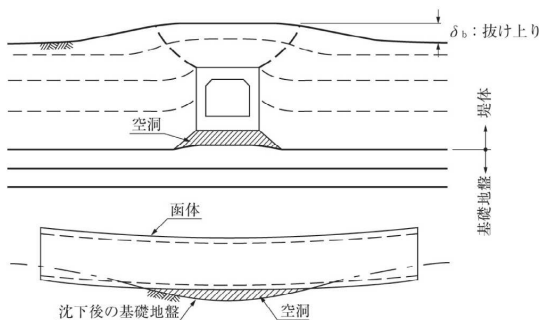


図1 空洞化のイメージ¹⁾

2. 関東地整における樋門設計

1) 関東地整においては「河川構造物(樋門)設計の手引き」(以降、「手引き」という)により樋門の基礎構造を柔構造基礎としており、現在に至るまで約 30 年で 200 施設程度の柔構造樋門が施工されている。

柔構造樋門の設計においては、盛土による残留沈下量(即時沈下と圧密沈下の和)の許容値の設定が重要となる。残留沈下量が大きくなると絶対沈下量の差分により函体と地盤との間に空間が生じ、堤防の安全性を損なうリスクが増大することになる。そのため、関東地整では背後地の土地利用状況や資産等の特殊性を考慮するほか、以下の観点から許容残留沈下量を 10cm としている。

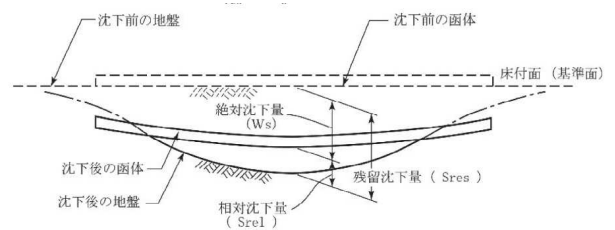


図2 それぞれの沈下について²⁾

I: 従来の剛支持樋門で採用されていたコンクリートカラー継手の継手性能により 10cm 以内であれば直接基礎方式での設計が可能と判断していたこと。

II: 許容沈下量を 30cm 程度として設計した試験施工の場合、門柱等の構造に支障が生じたこと。

III: 残留沈下が大きくなると、堤防の治水機能に悪影響があること。

2) 地盤条件により算出した想定残留沈下量がこれに収まらない場合には、プレロード工法や地盤改良等に

より許容値内に抑える対策を施すこととしている。

また、地盤改良の検討については、荷重に対して一体となって挙動（抵抗）する「複合地盤的設計手法」を適用することとしている。改良体自体は必ずしも均質ではなく、強度にばらつきが生じる。改良体と無改良地盤との複合地盤と仮定し、その平均的なせん断強度を有する地盤に構造物等を設置した際に必要となるせん断強度と改良範囲を設計することとしている。設計手法の流れとしては、図3にあるとおり、まず改良強度・範囲・深度等を設定し、円弧すべり安定、支持力、沈下量に対してそれぞれ検討を実施し、改良地盤の強度と諸元を決定する。

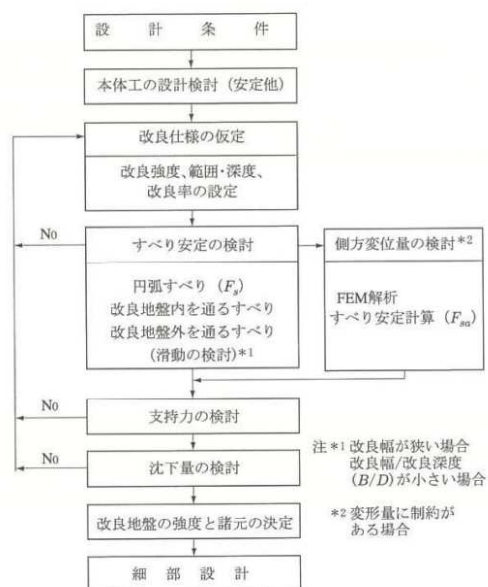


図3 複合地盤の設計手法の流れ³⁾

3) このほか手引きではレベル2地震動対策として、基礎地盤に液状化層が存在する場合は地盤改良等により対策することとしており、こうした取組により、これまで柔構造樋門における函体の空洞化や函体周辺での漏水等の事例は生じていない。

4) 上記のように、これまで許容残留沈下量 10cm として整備を実施している一方、実際にどの程度残留沈下が発生しているのか、また継手にどの程度変位を生じているのかについて観測をした事例はほとんどなかった。そこで、設計で想定した変位量や沈下抑制対策工の妥当性等の検証を目的に、実際に施工時の樋門において函体や継手部の変位を測定する動態観測を実施した。

3. 動態観測の目的について

動態観測を実施するうえで、以下の点について着目した。

1: 沈下量については計算値と実測値でどの程度差が

出るかを比較

2: 鉛直土圧の計算値と実測値の比較

3: 可とう継ぎ手と耐震用ゴム止水版の変位量の計測

4: 樋門と周囲地盤への影響の有無

以上のこのような動態観測の結果を基に、今度以下に示すような柔構造樋門の構造評価の検討に資することが有用と考えられる。

I: 残留沈下量 10cm とすることへの評価

現在の許容残留沈下量を 10cm としているが、樋門樋門の動態観測を実施することで、残留沈下量の 10cm とすることに対して議論をすることが出来るようになるものと考えられる。例えば、設定の見直しに伴い構造コストの緩和等の可能性がある。

II: 複合地盤設計手法の評価

上記のように、関東地整では地盤改良体を複合地盤として取り扱うこととしているが、沈下量の考え方が変われば改良強度の設定も条件として緩和されるため、コスト削減等の可能性がある。

4. 動態観測の実施

(1) 動態観測の手法

動態観測は、樋門の新設や改築工事の現場において、工事期間中に実施した。主に函体設置後、盛り土を行う前に初期値を計測したうえで、盛り土期間を含み、完了後まで観測を実施した。①三軸傾斜計・伸縮計を用いた手法、②光ファイバーを用いた計測を採用した。

①三軸傾斜計及び伸縮計を用いた計測手法



図4 三軸傾斜計及び伸縮計⁴⁾

傾斜計は XYZ 軸方向の傾きを観測することができ、樋門の函体中心部に設置し、函体の傾きを計測する。伸縮計については、継手の開き縮みを計測するため函体の継手部分に設置する。電源はソーラーパネル等により確保できる

この手法の利点としては、計測結果が自動でクラウドに保存され、計測中は WEB 上で計測結果を確認することが可能である点が挙げられる。短所としては、樋門に水がたまった状態などの水没した際には、データの取得が出来ない。そのため、樋門の通水状況により観測結果にばらつきが出る可能性がある。

②光ファイバーを用いた計測手法

光ファイバーを用いてひずみを観測する手法である。利点としては、一度設置してしまえば、電源を用

いずれにデータの計測が可能であること、センサーの寿命が長いと長期にわたってデータの計測が可能であること、コンクリートに貼るだけで計測が可能のため施工性が高いこと、水中でも計測が可能であることが挙げられる。短所としては、計測のために現地に行く必要があること、施工時にファイバー断線のリスクがあることがあげられる。

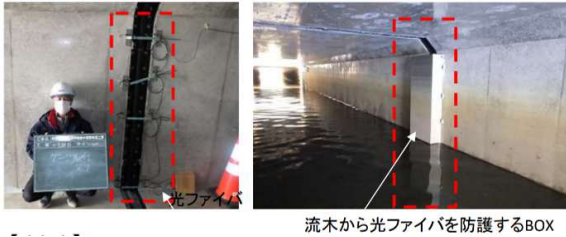


図5 光ファイバー設置の様子

どちらの手法においても函体本体の沈下量の計測はできないため、TS測量を実施し、樋門の起終点の盛土実施前後で三次元測量を実施しておく必要がある。

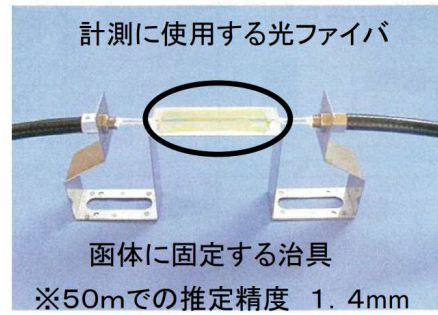


図6 計測に使用した光ファイバー

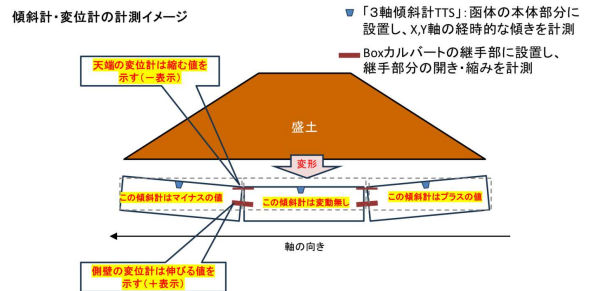


図7 傾斜計及び変位計の設置イメージ

表1 動態観測実施樋門一覧

NO	基本事項							地盤改良概要			樋門動態観測			函体動態観測			
	事務所名	河川名	施設名	函体	函体長	スパン数	堤防整備	最大土被り (頂版～堤防天端)	目的	改良工法	設計基準強度 改良率	実強度	観測時期	自動変位観測 測定方法	結果	函体水準 測定	結果
1	荒川上流	都幾川	高畑樋管	プレート	28.6	2	拡幅	4.8	沈下・液状化	中層混合処理	600kN/m ² 100%	1,150 KN/m ²	R5.4～ R5.10	3軸傾斜計・ 変位計	傾斜計 : 最大0.1°程度、 変位計 : 約1.0mmの変位	実施	川裏2mmの変位 (浮上)
2	利根川下流	利根川	芦崎樋管	現場打ち	24.85	2	新堤	3.3	液状化	中層混合処理	600kN/m ² 100%	974 KN/m ²	R5.2～ R5.11	光ファイバセ ンサー	ねじれが生じたため、ずれ量 Δwや抜け出し量Δuは算定不 可	実施	途中最大9mm程 度、最終的に2 mm程度
3	利根川下流	利根川	仲新田樋管	プレート	17.75	3	新堤	3.5	沈下・液状化	中層混合処理	150kN/m ² 100%	858 KN/m ²	R5.12～ R6.3	3軸傾斜計・ 変位計	傾斜計 : 0.1° 未満 変位計 : 無し	実施	川表3mm、川裏 1mmの変位(浮 上)
4	常陸	那珂川	百色山樋管	プレート	22.8	3	拡幅	2.5	沈下・液状化	深層混合処理	200kN/m ² 78.5%	903 KN/m ²	R5.8～ R6.1	3軸傾斜計・ 変位計	傾斜計 : 0.1° 未満 (換算4～6mm程度) 変位計 : 1mm以下の変位	実施	川表1mm、川裏 2mmの変位(浮 上)
5	久慈繁	久慈川	境樋管	プレート	29.1	3	嵩上げ	4.9	沈下・液状化	深層混合処理	300kN/m ² 88%	データ整理中	R7.4頃か ら	3軸傾斜計・ 変位計	データ整理中	データ整理中	データ整理中
6	荒川上流	荒川	小剣樋管	プレート	45.3	4	拡幅	5.5	沈下・液状化	深層混合処理	250kN/m ² 78.5%	データ整理中	実施無し	実施無し	—	データ整理中	データ整理中
7	江戸川	江戸川	浅間下樋管	プレート	64.5	4	拡幅	7.7	沈下・液状化	深層混合処理	500kN/m ² 50%	未実施	R8.7頃か ら	3軸傾斜計・ 変位計	未実施	実施予定	実施予定

(2) 動態観測を実施している樋門と結果について

動態観測は計測中を含めこれまで6樋門で実施しており、今後1樋門での実施を予定している。対象とする樋門は函体長、スパン割り、函体の土被り等においてなるべく偏りの無いように選定した。地盤改良についても改良の有無事例も望ましかったが、あいにくすべての樋門で改良を行うこととしていたため改良なし樋門では実施していない。表1に観測対象樋門の概要を記している。

(3) 計測結果について

現時点で観測が完了している4樋門の観測概況について以下に示す。

高畑樋管では、沈下対策と液状化対策として地盤改良の中層混合処理工法を実施した。動態観測の計測は、三軸傾斜計と変位計での計測を実施した。傾斜計は最大で0.1°、変位計は約1mmの変位を観測した。函体の沈下量は約2mm程度であった。

芦崎樋管は、液状化対策として地盤改良の中層混合処理工法を実施した。計測方法は光ファイバーによる計測を実施したが、ねじれをともなった沈下が生じたため、ひずみ量を観測することが出来なかった。函体の沈下量は約2mm程度であった。

仲新田樋管は、沈下対策と液状化対策として地盤改良の中層混合処理工法を実施した。計測方法は三軸傾斜計と変位計での計測を実施しており、傾斜計においては最大で0.1°、変位計においては変位を観測できなかった。函体の沈下量は川表で約3mm程度、川裏で約1mmの沈下が生じた。

百色山樋管は、沈下対策と液状化対策として地盤改良の深層混合処理工法を実施した。計測方法は三軸傾斜計と変位計での計測を実施しており、傾斜計においては最大で0.1°、変位計においては約1mmの変位を観測している。なお、盛土の動態観測については実施をしていない。函体の沈下量は川表で約1mm程度、川裏で約2mmの沈下が生じた。また、樋門から約10mの箇所で盛土の沈下量の計測を実施しており、沈下量としては約65mmを観測した。

境樋管、小剣樋管については、現在変位を観測中やデータの整理中であり、浅間下樋管については、今後計測を検討している。

5. 考察

表1にあるとおり、現時点で動態観測が完了している4樋門においては、いずれも函体の大きな沈下や継手部の大きな変位や傾斜は確認されなかった。

現時点で許容値を超えるような大きな残留沈下や継手の変位は発生していないと考えられる。また、いずれも非常に小さい値の函体沈下量しか計測されていないため、設計時想定された残留沈下量と比較して実際の残留沈下量は非常に小さいと考えられる。変位が小さかった理由としては、今回観測が完了している4樋門のうち3樋門においては地盤改良工法として改良率100%の中層混合処置工法を採用しているため、地盤がより強固になり、函体の変位がわずかとなったためだと考えられる。

観測が完了している樋門においては、小断面であり、函体長も大きい樋門ではない。残る樋門については、函体長がより大きく、堤防断面も大きい箇所が含まれているため、これらにおいてどのような結果が得られるか確認していく必要がある。

上記でも述べた通り、動態観測を行っている樋門

が少ないため、今後も動態観測のデータを収集し、サンプルの数を増やしていくことが重要だと考える。

また、芦崎樋管においては、光ファイバーによる動態観測を実施していたが、継手部においてねじれが生じたため、沈下量を確認することが出来なかった。これは、光ファイバーによる計測における短所といえるが、実際に函体の変化の中でねじれが生じるかを見通すのは困難であるため、計測方法を検討する際には、それぞれの計測方法の短所と長所を確認して決定する必要があると感じた。

6. まとめ

今後発注する樋門においても動態観測を実施し、データの収集を実施していきたいと考える。現在観測をしている樋門においては盛土の動態観測を実施していない箇所が多いため、沈下板等を設置して盛土についても状態を確認していきたい。

これらの今後の調査結果を含め、観測結果を統合してとりまとめたい。設計基準強度と現場での発生強度の比率の見直しなどが可能になるのではないかと考えられる。今後も新たに発注する樋門工事及び現在施工中の樋門において、データの収集を継続していきたい。

上記でも述べたが、動態観測を行った樋門のうち、データの取得をすることが出来なかった樋門もあったため、今後の動態観測の計測方法と樋門の組合せの参考にしていきたい。

謝辞：論文の作成指導をいただいた河川工事課の皆様がこの場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局，河川構造物（樋門）設計の手引き，令和4年3月，p8，https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000837653.pdf
- 2) 国土交通省関東地方整備局，河川構造物（樋門）設計の手引き，令和4年3月，p6，https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000837653.pdf
- 3) 財団法人 土木研究センター，陸上施工における深層混合処理工法設計・施工マニュアル，平成16年3月，p79
- 4) グレートスタージャパン株式会社，Senceive カタログ，p2，https://greatstarjapan.co.jp/wp-content/uploads/Senceive_katalog_compressed.pdf