

わが国初の大断面柔構造樋門築造

大森正昭¹・杉山佳幸¹・山田英二²・進藤和一²・村上幸治³
浅田浩司⁴・榎本文勇⁵・楊雪松⁵

¹国土交通省 中部地方整備局 木曽川上流工事事務所（〒500-8801 岐阜県岐阜市忠節町5-1）

²不動建設株式会社 名古屋支店（〒460-0011 愛知県名古屋市中区大須4-10-40）

³不動建設株式会社 東京本店（〒110-0016 東京都台東区台東1-2-1）

⁴正会員 不動建設株式会社 営業推進本部 技術部（〒110-0016 東京都台東区台東1-2-1）

⁵正会員 株式会社建設技術研究所 東京本社 都市部（〒103-8430 東京都中央区日本橋本町4-9-11）

長良川天王川排水樋門は、内空断面B8.2m×H6.2m、延長50.8mの4連ボックスカルバートからなる大規模な排水樋門であり、特徴としては周辺地盤の沈下に追従して函体と周辺地盤の密着性を高め樋門本体と周辺堤防を合わせた堤防全体の安全性を確保する“柔構造形式”を採用していることである。

構造的には、平ゴムを函体で挟んだ弾性接合を採用し、函軸方向にはP C鋼材を配置して緊張力を導入することにより柔構造を達成している。この弾性接合を達成するために、函体を引き寄せ平ゴムを圧縮する仮緊張工と、函軸方向全体に緊張力を導入し仮緊張を解放、緊張力を受け替える本緊張工が、施工上のポイントであり、種々の検討、工夫を行って施工を実施し良好な結果を得たのでここに報告する。

キーワード：河川、樋門、柔構造、弾性接合、緊張工

1. はじめに

天王川は、揖斐川と長良川に囲まれた犀川水系の河川で、その流域はもともと水はけが悪い土地であった。当流域は、岐阜市の近郊に位置しているため、近年急速に都市化が進んで天王川流域は内水被害が続出している。長良川天王川排水樋門は、その軽減を目的とした自然流下方式で長良川に分流する排水樋門であり、我が国ではこれまでに例のない大断面の柔構造樋門ということで、設計的にも施工的にも注目を集めている。

樋門本体の構造は、現場打ちコンクリートの函体同士の上に平ゴムを挟み、それに縦断方向のP C鋼材で緊張力を与えている。平ゴムをP Cケーブルで所定の厚さに圧縮して弾性接合とすることにより、柔構造樋門としての機能を持たせている。この柔構造を達成するために重要となる仮緊張工と本緊張工の施工について報告する。

2. 工事概要

本工事の工事概要および構造諸元を表-1に示すとともに、樋門本体の縦断図・平面図を図-1に、仮緊張工から本緊張工までの施工手順図を図-2に示す。さらに、本構造のポイントである接合部の詳細図を図-3に示す。

3. 柔構造樋門¹⁾

樋門は、河川を横断して設けられる制水施設であり、それ自体が堤防としての機能を有しているが、樋門の函体と堤体土の重量や剛性等の違いから函体と周辺土は密着が困難である。特に軟弱地盤における支持杭形式の樋門は、函体底板下や周辺地盤の沈下に函体が追従せず、函体と地盤の間に空洞が発生する例がある。樋門本体と周辺堤防のなじみが悪くなることで両者の接触面に沿う浸透流が卓越し、洪水時に堤防の安全を脅かす最大の課題の一つとなることが従来から認識されていた。

柔構造樋門は、この課題を解消するために基礎を良質な支持層に着底あるいは根入れしないで比較的大きな沈下を許容し、沈下等の地盤変位に追従できる構造形式の樋門である。

函体の継手は、カラー継手、可撓継手、弾性継手に大別されるが、カラー継手は、大型の樋門で採用することが困難である。当樋門では底板下の地盤が比較的良好であり弾性継手による地盤変形への対応が十分可能であると判断し、経済的に有利な弾性継手を採用している。

弾性継手（弾性接合）は、接合部の弾性バネによって軸力、せん断力、曲げモーメントを継手部の変位に応じて分配する機能を有している。適当な弾性バネを確保することで過大な変位を抑制し、函体の応力を緩和できる。

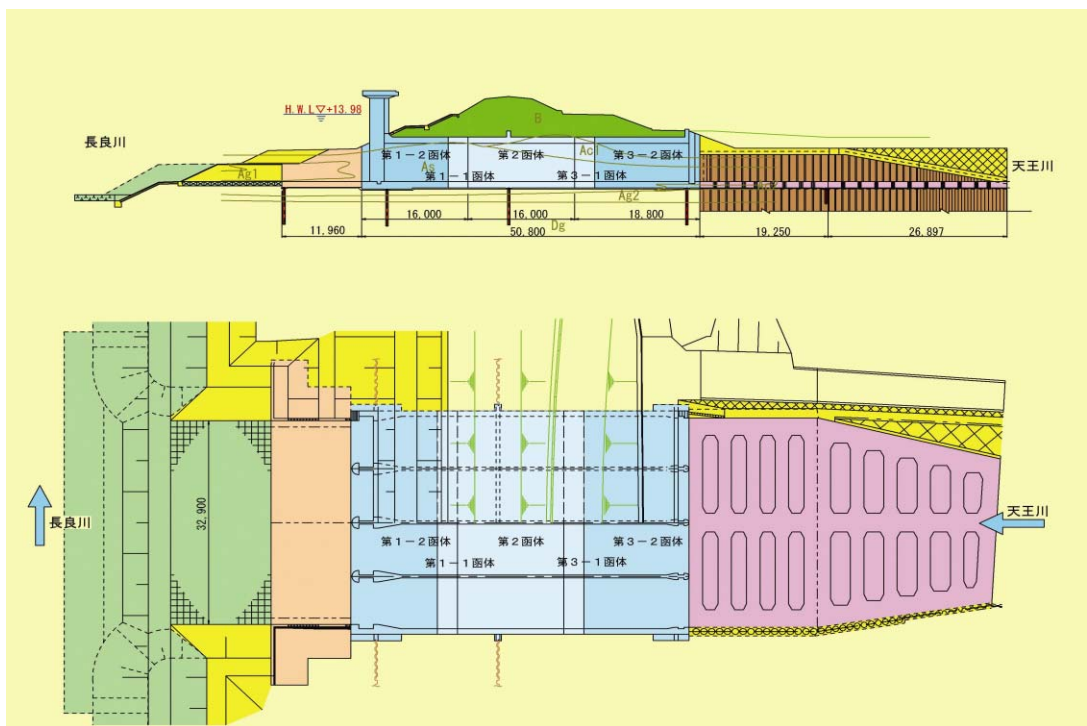


図-1 樋門本体工縦断面図，平面図

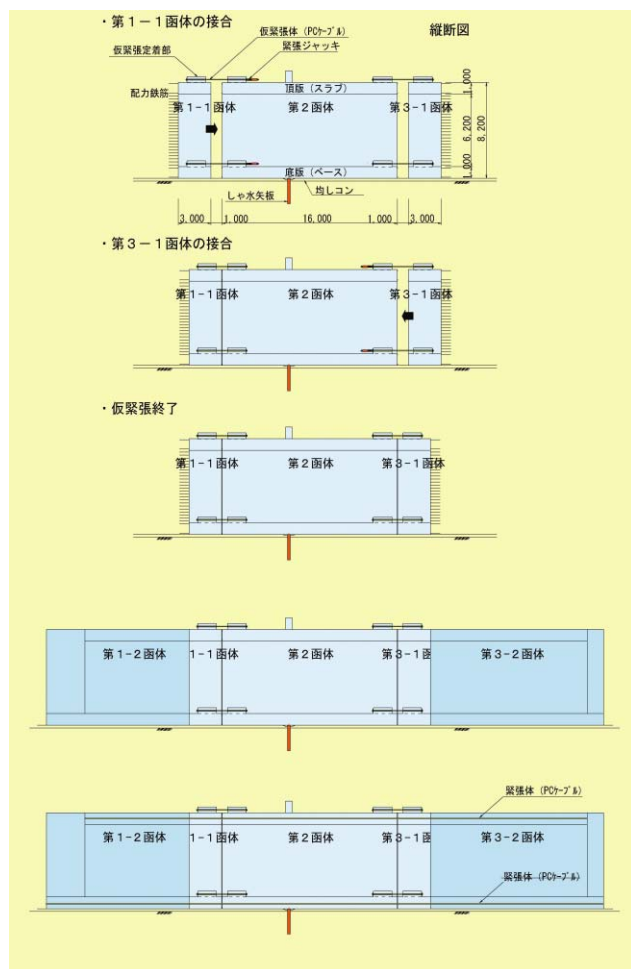


図-2 仮緊張から本緊張までの施工手順図

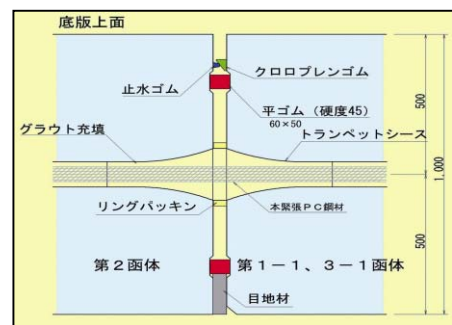


図-3 接合部詳細図

項目		内 容	
工 事 概 要	工 事 名	平成12年度 長良川天王川排水樋門工事	
	工 事 場 所	岐阜県岐阜市河渡地先	
	工 期	自) 平成13年2月21日 至) 平成15年3月14日	
	発 注 者	国土交通省 中部地方整備局	
	工 事 内 容	樋門本体工 1式 土工 (堤防掘削, 盛土復旧) 1式 護岸工, 取付道路工, 仮設工他	
構 造 諸 元	本 体 構 造 形 式		現場打ち P R C 構造
	継 手 部	横 方 断 向	継手なし
		縦 方 断 向	全体緊張による パッシブテンション弾性接合 (平ゴム)
	コ ン ク リ ー ト の 設 計 基 準 強 度		$f_{ck}=35.3\text{N/mm}^2(360\text{kgf/cm}^2)$
	内 空 断 面 寸 法		B8.2m×H6.2m×4 連
	本 体 長		50.8m
	ス パ ン 割		16.0m+16.0m+18.8m
	部 材 厚	頂 版	1.0m
		側 壁	0.9m
底 版		1.0m	

表-1 工事概要および構造諸元

当樋門で採用している継手は、図-3 に示すように函体間に設置した平ゴムをP C鋼材で圧縮する形式である。また、緊張方式は函体全体に大きな緊張力を導入するアクティブテンション方式ではなく、函体構築時にそれほど大きくない緊張力を導入しておき盛土施工後に必要に応じて再緊張を図るパッシブテンション方式を採用している。継手部の圧縮変位（圧縮力）に対しては平ゴムが、引張変位（引張力）に対してはP C鋼材が有効に働いて函軸方向の変位を抑制する。

大型の樋門において、函体間に平ゴムを挟み函軸方向全体に緊張力を導入するこの構造形式を実現するために仮緊張工と本緊張工を行う。

すなわち図-2 の施工手順図に示すとおり、まず相互に 1.0m の離隔をとって現場打ちコンクリート函体（第 1-1・第 2・第 3-1 函体）を構築する。次に、ある程度の剛性が確保でき引寄せが比較的容易に可能と考えられる長さ（当工事では 3.0m）の引寄せ函体（第 1-1・第 3-1 函体）をP C鋼材とジャッキによって引き寄せ、さらに函体の妻部に取り付けたゴムを所定の厚さまで圧縮する（仮緊張工）。最後に引寄せ函体に連続して函体（第 1-2・第 3-2 函体）を打ち足し、全函体の構築が終了した後、函体全体を縦断的に貫通するP C鋼材で受け替える（本緊張工）。

4. 仮緊張工

仮緊張工の施工にあたって、設計思想および現場状況や施工手順等を念頭に置き、施工方法について事前に照査した結果、下記の事項が特に重要と考え詳細な検討を行った。

- ①函体の引寄せ：引寄せ函体の上下左右のバランスを維持しながら平行かつ滑らかな引寄せが可能か。
- ②平ゴムの圧縮：仮緊張工による圧縮力の導入によって、継手部に挟んだ平ゴムがバランス良く所定の厚さに圧縮可能か。

(1) 函体の引寄せ

a) 当初設計と課題

引寄せ函体の均しコンクリートの上に鋼板（厚さ=22mm、幅=2000mm）を設置し、函体を引寄せる方法であり、函体底面の摩擦係数は $\mu=1.0$ と想定している（図-4 参照）。

函体の引寄せに関して、設計と現場での施工条件を照らし合わせると、以下のようなことが問題点として考えられた。

- ①敷鋼板が函体の途中までしか設置されていないため、そこにわずかでも段差があると引っかかりができて引寄せが不可能となる恐れがある。
- ②現場でのコンクリート面の仕上げは、理想的な平滑状態にすることが困難であり、特に面積の広い

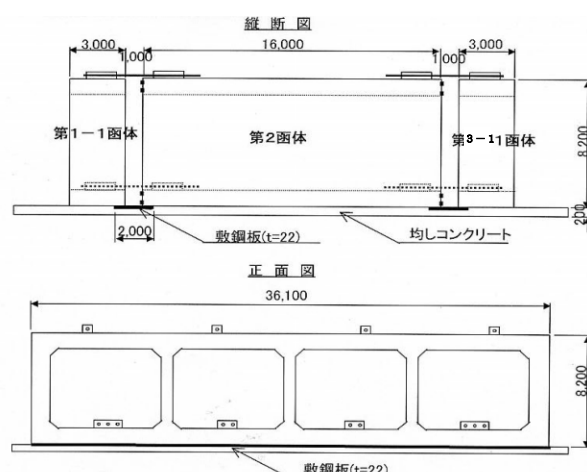


図-4 当初設計図(函体底部基礎処理工図)

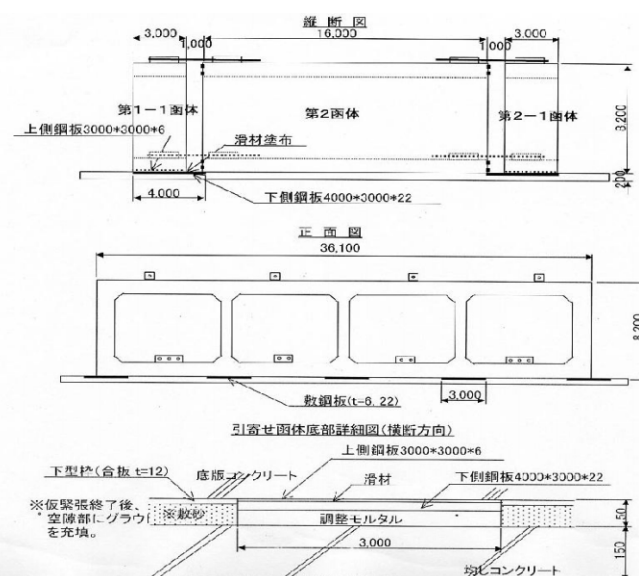


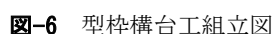
図-5 変更設計図(函体底部基礎処理工図)

構造物では全体として不陸が大きくなりやすい。このため、コンクリート面同士の摩擦係数はかなり大きくなると考えられる。また、部分的に摩擦の度合いが異なった場合には、片寄せなどの現象が生じ、函体を平行に引き寄せることが困難となる。構造物が大きい一度引寄せのバランスを失うと修正は非常に困難である。そのことが平ゴムの圧縮において、均一性を確保できないという大きな問題を生ずる要因となる可能性がある。

b) 問題点への対応策

上記の問題点に対処するために、次のような方法を検討し実施することにした（図-5 参照）。

- ①敷鋼板とコンクリートの間の引っ掛りをなくすため、引寄せ函体の下面は全面に敷鋼板を設置する。
- ②敷鋼板に相対する函体底面には摩擦抵抗の大きいコンクリートではなく同じ鋼板を設置し、2 枚の鋼板間には滑材（機械グリース）を塗布する。



—206—



写真-1 型枠構台工組立完了全景 (第3-1 函体)

表-4 緊張結果一覧表

管理項目		設計管理値	実測値	管理基準値	評価
圧縮量	頂版部	12mm	10～13mm	±3mm	O. K.
	底版部	17mm	15～18mm	±3mm	O. K.
(参考) 導入緊張力		15900kN	15500kN	±5%	O. K.

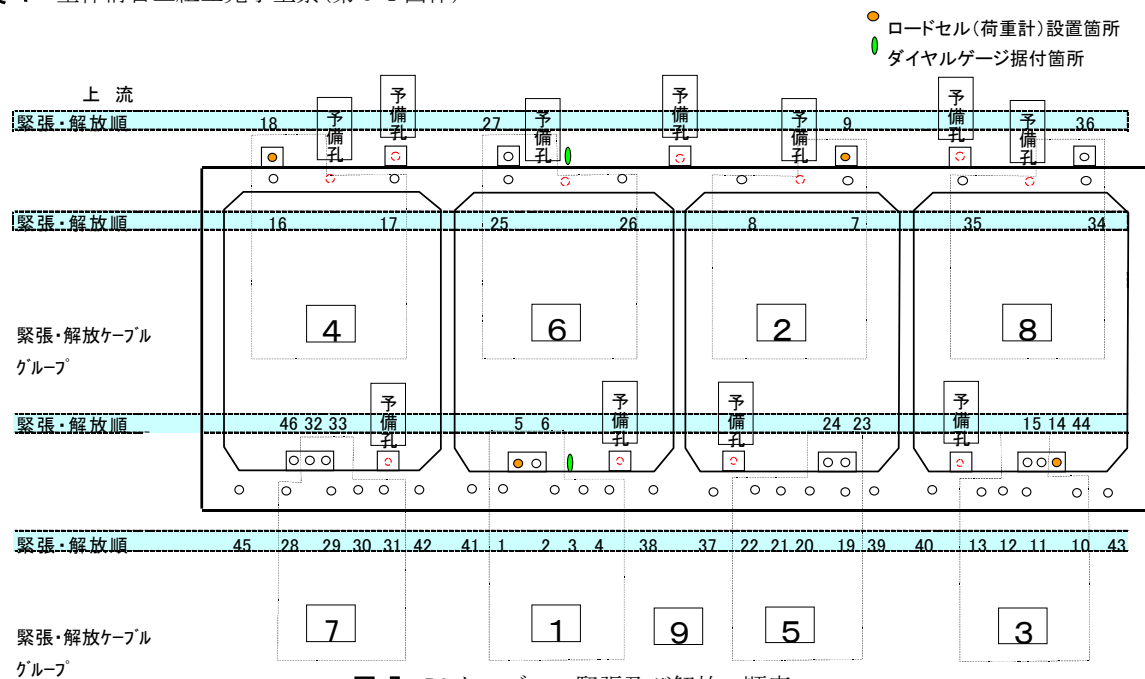


図-7 PC ケーブルの緊張及び解放の順序

②平ゴムの圧縮量を均等に保つために、第1段階は接合部の目開き量を計測しながら全ジャッキ 14 台を同時に作動させ、5MPa/台 (=50kgf/cm²/台) ずつ均等に緊張力を加圧導入する。管理目標の 30MPa/台 (=300kgf/cm²/台) すなわち 0.3tf/cm² × 284.51cm² = 85.3tf/台 = 853kN まで緊張力を導入した時点で、全体的に圧縮量が 12±3mm の範囲に確保されていることを確認する。確認後、頂版の PC ケーブルのナットを締め付けて圧縮量を固定する。

次の第2段階では底版の平ゴム圧縮量を 17±3mm まで縮めるために、底版の PC ケーブル 10 本 (ジャッキ 10 台) にて、引き続き同じように 44MPa/台 (=440kgf/cm²/台) すなわち 0.44tf/cm² × 284.51cm² = 125.2 tf/台 = 1252kN まで緊張力を加圧導入する。

上記のとおりの手順で緊張を導入した結果は表-4 に示すとおりであった。

(3) 実施の評価及び考察

①函体の引寄せは、底版下にレール方式を採用し、敷鋼板同士の間には滑材を塗布することにより、摩擦係数を下げて滑らかに引寄せることができた。また、計測しながら 1cm ずつ全体を同時に引寄せることにより最後まで平行を保つことができた。函体引寄せの摩擦係数を想定するために、ミニモデルによる引寄せ (摩擦抵抗) 試験を実施したことは結果的に誤差も少なく貴重なデータとしての成果があった。

②函体接合部の平ゴムの圧縮は、型枠構台工を施工することにより、接合面の出来形精度を ±2mm に確保した。圧縮量の管理基準値等から考えて、接合条件を満足すると判断した。

平ゴムの圧縮は、接合部の目開きの状況を監視しながら、第1段階と第2段階に分けてすべてのジャッキを同時作動させて徐々に緊張力を導入していくことで、平ゴムを所定の厚さに圧縮し目開き量を管理基準値内とすることができた。

表-5 本緊張の管理基準値

計測項目	計測機器	管理値
CRゴム目地の開き	ダイヤルゲージ及びスケール	+2>δ>-1 mm
荷重計（ロードセル）指示値	センターホール荷重計	当初指示値の±5%
緊張圧力計の指示値	緊張ポンプ圧力計	計算値の±5%
P C鋼材の伸び量	スケール最小読み 1mm	計算値の±5%

表-6 目開き量の変化量

目開き量変化量 (mm)			
底版		頂版	
1-1 函体	3-1 函体	1-1 函体	3-1 函体
+0.06mm	+0.16mm	-0.035mm	-0.33mm
+2mm>-1mm			
O. K.			

5. 本緊張工

本緊張工は仮緊張工によって圧縮した平ゴムの圧縮量を確保したまま、その後打ち足した後続函体を含めた函体全体で、緊張力を受け替えるものである。

(1) 本緊張力導入及び仮緊張力開放手順

本緊張工の施工にあたって問題となったのが、本緊張力の導入と仮緊張力の開放手順である。

全本緊張材に緊張力を所定の荷重まで導入した後、全仮緊張材開放とするか、一本一本緊張と開放を繰り返して施工するのかを中心に検討した結果、目開き量保持を最優先するとの観点から、次のような方法で慎重に行うことを決定した。

- ① 本緊張用ジャッキポンプ1組と仮緊張開放用ジャッキポンプ1組を用意する。導入緊張力が仮緊張：本緊張=2：1の割合であることから、本緊張材2本に緊張力を導入した後、仮緊張材1本を開放する手順を繰り返し行うことにした。
- ② 全緊張箇所を頂版、底版ごとに、隔壁位置で全9ブロックにグループ化した。ブロック間の緊張開放順序として、函体断面内で上下左右バランス良く実施した（図-7）。

本緊張の管理基準値としては、表-5のとおりである。

(2) 実施の評価

計測結果の中から、継手部の目開き量の最終変化量を表-6に示す。緊張力等の他の管理値についても基準値以内となった。

本緊張工および仮緊張の解放作業は、各P C鋼材に対して設計で想定している緊張力が確実に導入され、解放作業においても函体の異常な挙動は無く緊張力がスムーズ移行したと思われる。



写真-2 函体設置完了全景(第3-1函体)

6. 盛土工・再緊張工

本緊張完了後、堤防盛土（埋戻し）を行った。

埋戻し作業は、沈下量や側方への変位量、函体の目開き量、緊張力等の変化を継続的に計測しながら実施した。地盤が当初想定されていた以上に良好であったため、盛土完了（堤防復旧）時点での沈下量は最大で11mmとなっており、目開き量や緊張力の変化も小さい値に収まった。今後しばらくは計測を継続する予定であるが、再緊張の必要はほぼないと判断してよいと思われる。

7. 今後の課題

当樋門の築造は、予想以上に地盤が良好であったこともあり、結果的にほとんど問題なく施工を完了できる見通しである。

ただし、同様な構造物を計画する際には、次のような点は今後改善・工夫していく必要があるものと思われる。

- ① 躯体構築の精度確保：特に大型構造物の場合
- ② 平ゴムの圧縮方法（施工方法）
- ③ 平ゴムの形状寸法および硬度

8. おわりに

この工事は、わが国では過去に例のない大型の柔構造樋門であるため、発注者である国土交通省、設計者の建設技術研究所、施工者の不動建設の3者が協力しあいながら提案・協議を行い、工夫、改善を続けてきた。その結果、ほぼ順調に本体工事を完了した。今後残された課題をクリアして、これからも実績を積み上げ柔構造樋門技術の一層の進展を図って行く必要があると考える。

参考文献

- 1) (財) 国土開発技術研究センター 編：柔構造樋門設計の手引き、山海堂、1998