

プレキャスト樋門の設計・施工に関する研究



綿貫布征
調査第一部
次長



高橋英徳
調査第一部
主任研究員

研究の背景と目的

樋門は、河川堤防を横断して設置される管渠構造物で、河川水の取水や堤内地からの排水等に利用され、出水時には河川堤防としての機能も求められる治水安全上重要な構造物である。

樋門における治水安全上の最大の課題は、樋門の函体と堤体土との重量・剛性の差などに起因する樋門周辺堤防の空洞化の問題（図-1参照）であり、従前より出水時の河川堤防の安全性を脅かす重大な課題として認識され、様々な対策がとられてきた。なかでも新設の樋門に対しては、平成10年の河川局治水課長通達（平成10年6月19日付 建設省河治発第39号）により、原則として柔支持構造（堤防及び周辺地盤の沈下・変位に追従できる樋門構造）へとその思想が大きく転換され、現在に至っている。（財）国土技術研究センターは、この一連の柔構造樋門の研究・開発において主体的に取り組み、平成10年に取りまとめた「柔構造樋門設計の手引き」は、現在樋門設計の技術的拠り所となっている。

一方で、公共工事のコスト縮減等を目的に様々な指針やガイドラインが策定され、特に樋門に対しては「土木

構造物設計マニュアル（案）－樋門編－」等により構造物形状の単純化や（特に函体部分に対して）プレキャスト化が推進されている。

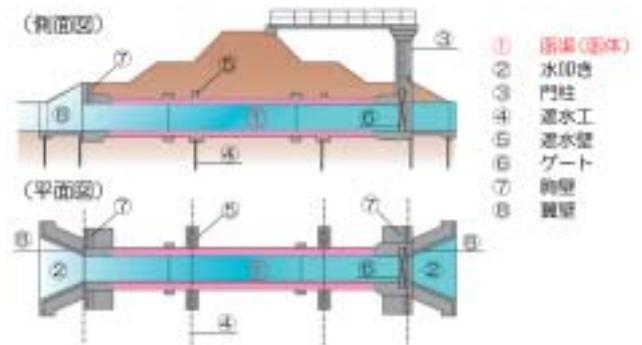


図-2 一般的な樋門構造及び各部名称

しかしながら、既存の函体のプレキャスト化は、現場打ちRC構造の代替という考え方であり、現場工期の短縮や品質向上等一定の効果は認められるものの、プレキャスト化したことの利点を十分に活用しているとは言い難い。また、プレキャスト函体における接合部の設計・施工上の取り扱い（接合部の一体化の程度及びその評価）も大きな課題として残されてきた。

河川堤防と一体となった安全性の確保や建設コストの縮減等社会の要請に答えていくためには、安全性・合理性・経済性に優れた構造の柔構造樋門とすることが必要であり、プレキャスト樋門においても、その特性を活用したより合理的な設計・施工法の確立が求められている。

本研究は、上記要請に答えるべく、プレキャスト函体の接合部の評価（函軸方向の剛性の評価）方法、及びそのモデル化の手法について取りまとめを行うとともに、接合部の変形機能を積極的に評価した「弾性接合方式のプレキャスト樋門」を新しく提案し、その現場適用性についての検討を行うものである。

ここでは、主に「弾性接合方式によるプレキャスト樋門」について、その特徴や変形特性、設計・施工上の要点について紹介する。

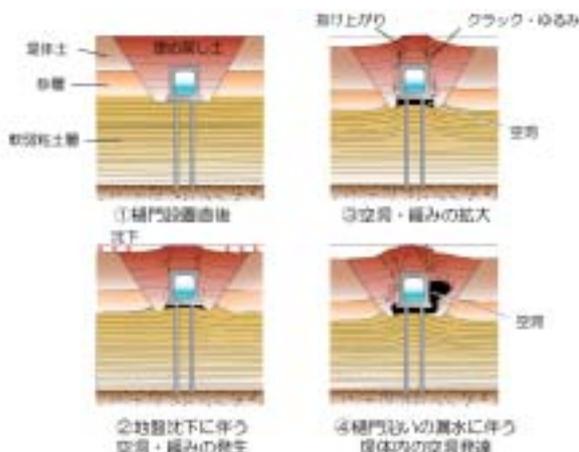


図-1 樋門（剛支持）周辺堤防の空洞化現象

プレキャスト樋門の特徴

1 プレキャスト樋門の函軸構造とその特徴

プレキャスト樋門の函軸方向のたわみ性は、“接合部”^(注)と“継手部”^(注)の変形能力に依存する。逆に言えば、地盤条件に最適な接合部・継手部の変形能力を確保することが、非常に重要となってくる。

本研究では、現場での適用実績を踏まえ“接合部”における函体同士の一体化の程度により、「剛接合方式」と「弾性接合方式」に分類し、整理している。表-1にプレキャスト樋門の主な函軸構造形式をまとめるとともに、以下各構造形式の特徴について、主に変形特性を中心に記述する。

表-1 プレキャスト樋門の主な函軸構造形式

構造形式	現場打ち RC	プレキャスト	
		剛接合方式	弾性接合方式
接合部	— (一体施工)	(PC緊張による剛接合)	弾性接合 (ゴムを挟んだPC緊張による)
継手部	可とう継手他	可とう継手他	— (なし)
備考		図-3	図-4

※赤字は変形能力を有する接合部・継手部

注) 接合部：隣接する函体同士の接続部
 継手部：隣接するスパン同士の結合部
 スパン：緊張材により一体化された複数の函体のユニット

(1) 剛接合方式

剛接合方式のプレキャスト樋門は、従前からの現場打ちRC構造と同様に、継手部の変形能力を利用し、周辺地盤の沈下に追随する函軸たわみ性を確保する形式である。

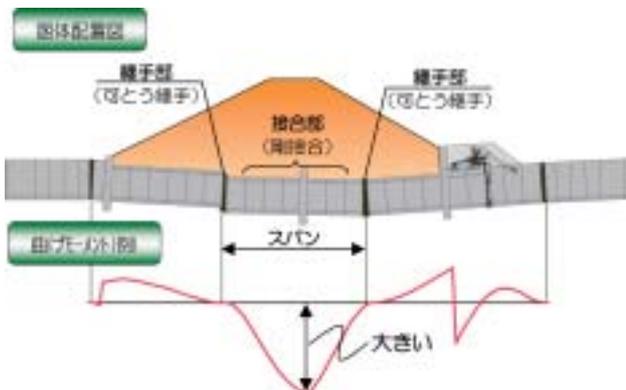


図-3 剛接合方式の函軸構造及び変形概要

複数のプレキャスト函体を緊張材により一体化し、現場打ちのものと同様な構造とするもので、現場への適用実績も多く、設計上の考え方も現場打ちRC構造の樋門と同じでよい。

また、従前からの現場打ちRC構造の樋門では、周辺地盤の沈下や側方変位の影響で、函体に過大な曲げモーメントや軸引張力が発生し、継手部の開口や函体クラック等の変状が顕在化することがある。これに対し、剛接合方式をはじめとするプレキャスト構造の樋門は、緊張により函体にプレストレスを導入しているため、これらの課題に対して有利であると考えられる。

(2) 弾性接合方式

弾性接合方式のプレキャスト樋門は、接合部にCRゴム(クロロプレンゴム)等の弾性体を挟み、函軸方向にPC鋼線等の緊張材によって緊張力を導入することによって、接合部の弾性変形機能と止水機能を確保するもので、一般に継手部を要しないで、プレキャスト化の特性を活かした高い函軸方向のたわみ性を確保するものである。

弾性接合方式は、各接合部に変形機能を持たせた構造形式であるため、函軸方向に発生する断面力(曲げモーメント)も小さくなり、函体クラック等の変状も発生しにくい(図-3及び図-4参照)。

また、残留沈下量大きい、あるいは函軸方向の不規則な不同沈下の発生が予測されるような場合などにも追随性が高いと考えられる。場合によっては、適切な箇所に継手部を設け、可とう継手等との併用も考えられる。

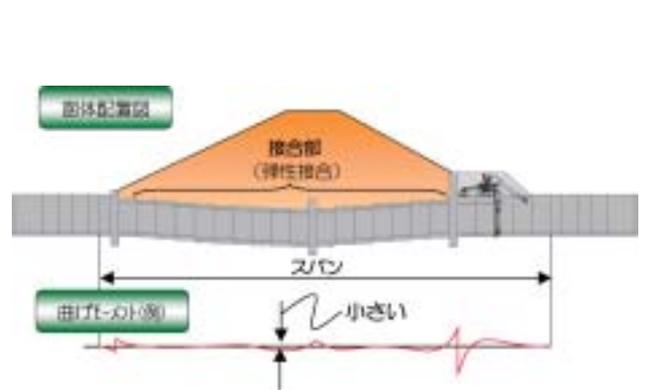


図-4 弾性接合方式の函軸構造及び変形概要

(3) 函軸構造形式別の特性

「剛接合方式」と「弾性接合方式」別の特性について以下に簡潔に取りまとめる。

表-2 函軸構造形式別特性

構造形式		剛接合方式	弾性接合方式
変位差処理		集中型	分散型
安全性	堤防	○ 局部的な塑性化の問題は若干残る	◎ 地盤変位への追随性高い
	函体	○ プレストレスによる軸引張力の相殺は可能	◎ 発生断面力が極めて小さい
経済性		○ 工期短縮	◎ 工期短縮

2 プレキャスト化の効果

樋門等の河川工事においては、現場工期の短縮が重要な課題の一つである。特に函体のプレキャスト化においては、現場打ちよりも現場作業の省力化が図れるため工期短縮が図れ、その結果コスト縮減につながる事が多い。

施工条件等の制約に配慮の上、プレキャスト化を積極的に検討することが望まれる。

(1) プレキャスト化の効果 (弾性接合方式)

一般的なプレキャスト化の効果と弾性接合方式を採用した場合の効果を図-5に示す。

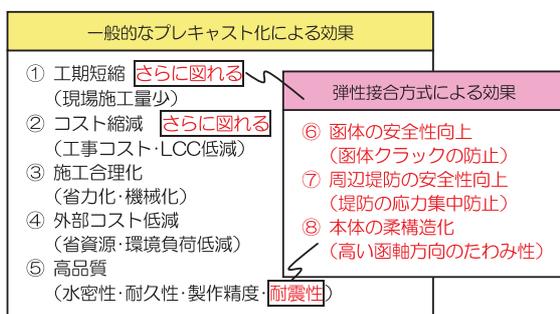


図-5 一般的なプレキャスト化の効果と弾性接合方式の効果

弾性接合方式のプレキャスト樋門は、各接合部における分散型の変位差処理で地盤の変形に追随するため、函軸方向のたわみ性が高く、函体と周辺堤防の安全性が大きく向上するものと考えている。

また、弾性接合方式は剛接合方式の柔構造樋門よりも施工の合理化が図られているため、工期短縮がさらに図れ、コスト縮減にもつながる。

(2) プレキャスト化の効果事例

① 函体の直接工事費試算事例 ～コスト縮減～

図-6は函体の直接工事費の試算事例である。

現場搬入の問題等プレキャスト化には限界があるので、内空断面が大きくなると必ずしも有利ではない。しかし、樋門は内空断面で4平方メートル程度以下ものが非常に多く、特に弾性接合方式においては、現状では高価な可とう継手が一般的に省略できるため、プレキャスト化したことによる直接的なコスト縮減効果は大きい。

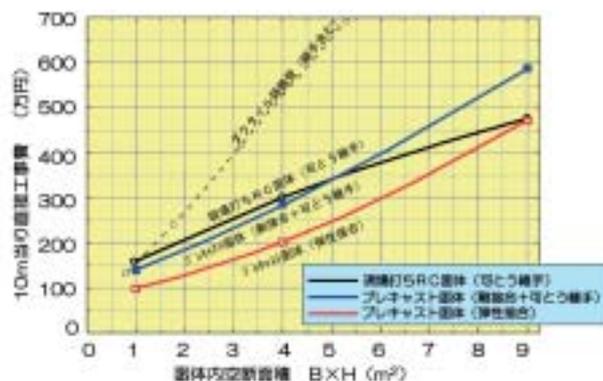


図-6 函体の直接工事費試算事例

また、内空寸法1.0×1.0m～3.0×3.0mの範囲の函体については、断面構造形式をRC構造、PC構造の2種類として、図-7に示した24種類の形状寸法に運搬等の制限を考慮した上でコスト縮減等を目的に規格化している。

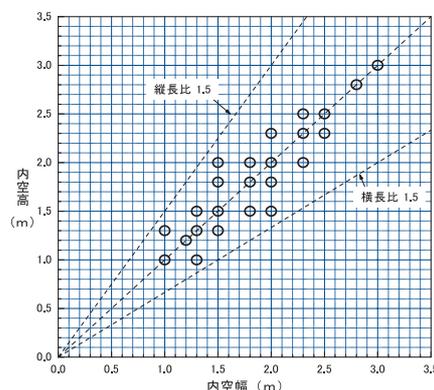


図-7 規格化されたプレキャスト函体の内空寸法

上記試算は、24断面に規格化されたプレキャスト函体が広く一般化した場合を想定し試算しているため、その普及が望まれている。

② モデル工事での積算事例 ～工期短縮・コスト縮減～

図-8、図-9に（現場）工期短縮とコスト縮減効果について、実際のモデル工事での積算事例を示す。

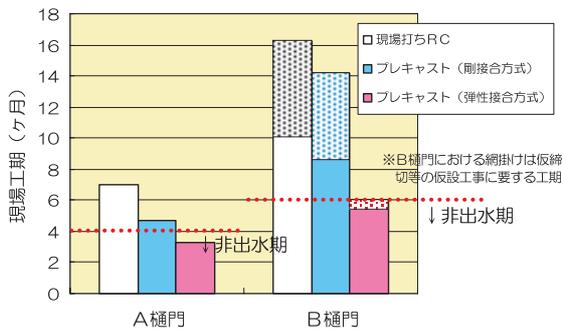


図-8 現場工期の事例

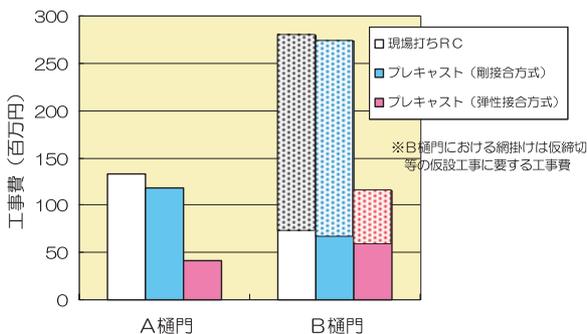


図-9 工事費の積算事例

工期については、現場打ちの樋門に比較し、プレキャスト樋門は現場作業量が少ないので、大幅に工期短縮が可能である。特に弾性接合方式のプレキャスト樋門では、剛接合方式のものよりも各接合部におけるモルタル養生期間が省略できるなど施工の合理化が図られているため、樋門本体の施工日数がさらに短縮でき、場合によっては非出水期内の施工が可能になる。

非出水期内に工期が収まれば、二重締切り等の仮設工事も大幅に縮小することが可能となり、大きなコスト縮減効果が期待できる。

一般に、多規格で少量生産が必要となるコンクリート部材をプレキャスト化することは、コスト的に不利となることが多い。一方で、上図のB樋門のように仮設工事費が全体工事費に占める割合が大きい場合などにおいて、プレキャスト製品を用いて工期短縮を図ることは、コス

ト縮減に大きく寄与することとなる。

樋門の計画・設計の段階で、プレキャスト製品を用いた構造の特徴及びその効果を十分吟味し、全体コストの縮減を図る方法を検討することが必要である。

弾性接合方式のプレキャスト樋門

本研究で新しく提案している弾性接合方式のプレキャスト樋門について、設計・施工の要点を以下に示す。

1 設計の要点

弾性接合方式のプレキャスト樋門の概略設計フローを下記に示す。

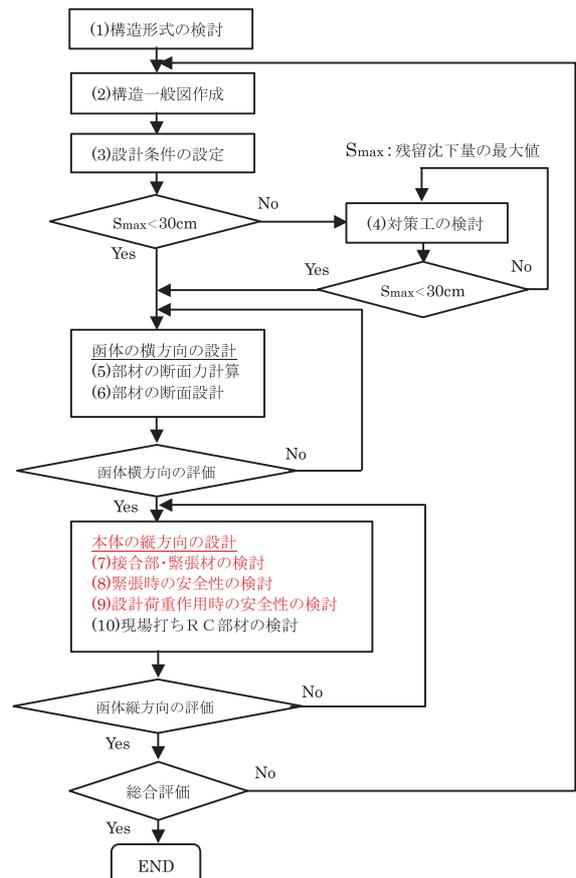


図-10 弾性接合方式のプレキャスト樋門の概略設計フロー

弾性接合方式のプレキャスト樋門の設計フローは、他の構造形式の樋門設計フローとほぼ同じである。大きな特徴は、本体縦方向（函軸方向）の検討における弾性接合部のモデル化の方法であり、変形メカニズムを良く理解した上で、段階的な荷重の作用（緊張時、設計荷重作用時）を反映する解析モデルを組み立てることが重要となる（図-11参照）。このモデル化の良否が樋門本体および周辺堤防の安全性に大きな影響を及ぼすことになる。

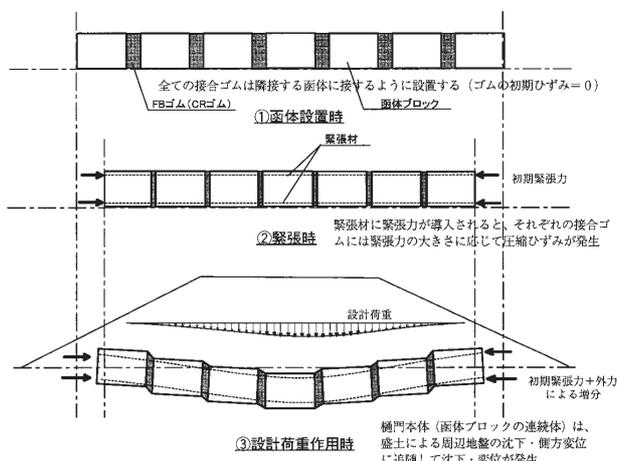


図-11 弾性接合方式のプレキャスト樋門の荷重段階別変形挙動

一般に樋門の本体縦（函軸）方向の設計は、函軸構造形式に拘わらずWinklerの仮定（地盤反力が地盤反力係数を介してはりの変位に比例する）が成立するとして「弾性床上的はり」としてモデル化される。

弾性接合方式の場合も同様に「弾性床上的はり」としてモデル化を行うが、接合部のゴムを3成分のバネ（軸方向ばね： K_F 、せん断ばね： K_S 、曲げばね： K_M ）として評価し、モデルに取り入れ解析を行う。

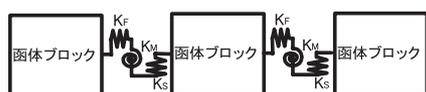


図-12 接合部の3成分ばねモデル

接合部のゴムに求められる機能は、①函体の変位差の吸収 ②断面力の伝達 ③止水性の確保である。接合部に使用するゴムとしては、土木資材として多くの使用実績があり、比較的安価で耐久性にも優れたCRゴム（クロロブ

レンゴム）を今のところ使用している。

CRゴムには非線形のパネ特性（図-13参照）があり、その非線形性から設計及び施工管理の難易度が高くなっている。また、CRゴムの変形特性（パネ特性）は、ゴムの硬度やゴムの配合条件、使用するゴムの形状・寸法によって異なるため、樋門の各種設計条件に合わせて適切なゴムを選定する必要がある。

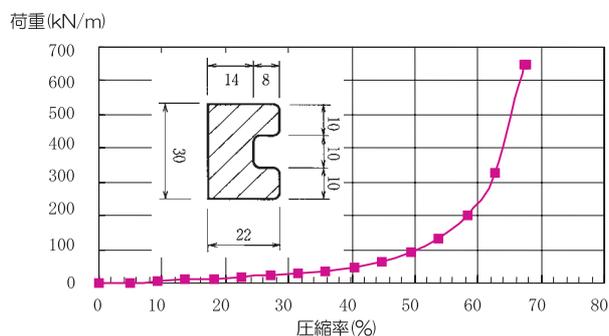


図-13 CRゴム形状と荷重-圧縮曲線の事例

現状では、圧縮率として40～50%程度の範囲で設計されることが多く、CRゴムの許容せん断変形率も $\gamma_a = 100\%$ 以下としている。また、CRゴムの許容圧縮応力度は止水性や函体コンクリートへの影響を考慮して 0.5N/mm^2 以上 7.0N/mm^2 以下としている。

ゴムの変形特性についてはさらなる研究が必要であり、特に経済的かつ簡便な設計を目指すためには、ある程度の規格化も視野に入れた最適なゴム形状を求める等、詳細な検討が必要であると考えている。

2 施工の要点

CRゴムに求められる機能を確保するためには、全ての接合部におけるCRゴムの圧縮変位量や導入される緊張力等を詳細に計測する必要がある。このため施工時には、精度が高く自動計測が可能なシステムを構築して対応することが望ましい。

また、弾性接合方式のプレキャスト樋門では、函軸方向の緊張工によってプレキャスト函体ブロックの接合部のCRゴスを圧縮する（図-11参照）ため、全接合部にお

るゴムの圧縮相当量だけ各函体を函軸方向に移動させることになる。函体移動時に函体底面に発生する摩擦力は、緊張材のプレストレスの損失に直結するので、この底版摩擦損失を最小限に抑えることが重要である。従って、様々な方式の底版摩擦低減工法の中から、函体の断面規模や函体長、函軸構造形式等によって適切に工法を選定し、緊張工事の施工管理を行う必要がある。(写真-1参照) これまでの施工事例では、摩擦係数 f を0.1以下におさえた工法を採用している事例が多い。



写真-1 底版摩擦低減工法例

このように、弾性接合方式のプレキャスト樋門では、緊張時における施工管理が非常に重要であり、通常の土木工事よりもきめ細やかな対応(計測管理他)が要求される。

3 適用範囲

弾性接合方式のプレキャスト樋門は、以下の特性を有しており、その適用範囲は他の構造形式の樋門よりかなり広いと考えられる。

(1) 断面規模

断面規模は、1.0×1.0~3.0×3.0mまでは規格化されている。3.0×3.0mを越えると運搬上から2分割(あるいはそれ以上)となるが、周辺地盤の沈下に対して、接合部は曲げ変形(折れ角)でなくせん断変形(目違い)が卓越するので、断面の高さの影響はわずかである。このため、大断面樋門においても函軸方向の柔構造化が可能である。

実績：(最大内空寸法) 2連×3.125m×2.90m

(2) 本体長

延長は、一括緊張可能な長さとして70~80m程度は現

状で十分可能であり、今後、緊張工法を工夫することでさらに長い高規格堤防等にも対応可能であると考えている。

実績：(最大一括緊張) L=68.0m

(3) 地盤条件

地盤条件は、硬質地盤から軟弱地盤まで適用可能(プレキャスト樋門は軽量であり、トラフィカビリティが確保される地盤であれば可能)である。

(4) 残留沈下量(不同沈下)

函軸方向に高いたわみ性を有するので、地盤の不同沈下に対しても適応性が高い。

(5) 気象条件

寒冷地の冬季施工等で、現場打ちRCの施工が困難な気象条件においても、施工可能である。



写真-2 大断面の樋門への適用例(施工状況)

おわりに

工期短縮、コスト縮減、安全性の向上など多くの効果が期待される弾性接合方式のプレキャスト樋門は、これまでパイロット事業として平成15年度までに4件、平成16年度に3件が設計・施工されている。

今後は、モデル工事の施行を通し、特に弾性接合方式の設計・施工法の妥当性の確認、各種パラメータや許容値、管理規格値等の妥当性の評価、さらに品質や安全性の向上等に関する確認を行い、設計・施工の簡略化・一般化に向けた検討を実施していきたいと考えている。

参考文献

1) (財)国土開発技術研究センター、1998年11月「柔構造樋門設計の手引き」