FRP水門設計・施工指針（案）の策定

複合構造委員会・FRP水門技術ガイドライン作成小委員会

FRP水門扉は昭和40年代から導入され始め、これまでに700門近くが実用に供されている。FRP水門扉は実績として中小規模の水門扉に適用されているが、鋼製水門に比べて耐食性に優れ、ライフサイクルコストが有利になる場合がある。また、軽量であるため施工時の可搬性や運用時の操作性が向上する利点もある。しかしながら、既往の水門扉の設計基準では、FRP水門扉に関わる詳細が示されていない。

このため、FRP水門技術ガイドライン作成小委員会（H180）において、FRP水門扉の設計、施工、検査、維持管理を全般的に包含する指針（案）を策定した。本指針（案）は、現行の水門扉の実務に用いられている許容応力度設計法で記載しているが、参考資料として性能照査型設計法の形式でも示した。

Key Words : *fiber reinforced polymer, hydraulic gate, design guidelines, allowable stress design, performance-based design*

1. はじめに

水門など、河川・港湾・用水路などの水域環境に設置される鋼構造物は腐食しやすく、適切な塗装、ステンレス鋼など耐食性の高い材料の選択、電気防食などによる腐食対策が施される。鋼材やアルミニウム合金などの金属以外で水門扉に使用される材料としては、FRP（繊維強化プラスチック；Fiber Reinforced Polymer）があげられる。FRPを扉体に使用したFRP水門扉は、昭和40年代から導入され始めており、これまでに国内で500施設を超える施工実績があり、それらの施設の中で総計700門近いFRP水門扉が実用に供されている。

FRP水門扉は、実績として中小規模の水門扉に適用されているが、従来の鋼製水門扉と比較して耐食性に優れ、ライフサイクルコストが有利となる場合がある。また、軽量であるため施工時の可搬性や運用時の可動性が向上するなどの利点も見られる。一方、FRP水門扉の施工件数は、鋼製水門扉に比べて1%以下とごく僅かなものに留まっている。この理由として、FRP水門扉自体の知名度が現時点では低く、その存在や性能が広く認識されていないことがあげられる。また、現行の鋼製水門扉の実務に用いられている基準類（例えば、ダム・堰施設技術基準（案）¹⁾など）では、水門扉の主要部材にFRPを使用してよいことが認められているものがあるが、ごく簡単な解説に留まっており、設計・施工・検査から維持管理に至るまでの細かなプロセスに公的・統一的な技術基準がないのが実情である。

このため、FRP水門扉について信頼性の高い技術水準を確保していくために、FRP水門技術協会から複合構造

委員会に対して、FRP水門扉の設計・施工を可能とする指針（案）の策定に関わる委託がなされた。複合構造委員会では「FRP水門技術ガイドライン作成小委員会（H180）」を設置し、1年程度の期間をかけて「複合構造シリーズ06 FRP水門設計・施工指針（案）」²⁾（以下「本指針」という）の策定活動を行った。表-1に委員構成を示す。本指針の特徴は、現行の鋼製水門扉の実務に用いられる基準類^{1),3),4)}との整合性に配慮し、本編を許容応力度設計法で記述したこと、使用材料・設計・施工・検査・維持管理の全般についてFRP固有の要因を考慮した記述としたことである。一方、複合構造標準示方書⁵⁾との整合性にも配慮し、参考資料として限界状態設計法をベースとした性能照査型設計法も提示した。

本稿では、FRP水門扉の概要、本指針の内容、指針策定の意義と今後期待されることなどについて報告する。

表-1 FRP水門技術ガイドライン作成小委員会委員構成

委員長	山本 広祐
副委員長	角 哲也
幹事長	北根 安雄
連絡幹事	西崎 到
幹 事	大西 弘志, 高野 正靖, 中村 一史, 清水 春雄, 西田 雅之, 日比 英輝, 宮田 幸範
委 員	安陪 和雄, 岩崎 福久, 小沼 恵太郎, 坂本 英俊, 東海林 芳郎, 杉浦 邦征, 外山 正幸, 高須 修二, 中矢 哲郎, 西郷 弘美, 藤野 健一, 松本 高志, 渡辺 忠朋
旧委員	柏井 条介

2. FRP 水門扉の概要

(1) FRP 水門扉に使用する材料

FRP は、ガラス繊維などの強化材と不飽和ポリエステル樹脂などのマトリックス樹脂から構成される複合材料である(写真-1)。ここで、マトリックス樹脂とは、強化材の結合、FRP の成形および材料特性の向上に用いられる樹脂のことである。水門扉においてはガラス繊維を強化材とした FRP が主流となっている。FRP 水門扉では、この FRP をスキンプレート、主桁、補助桁、端縦桁などに使用する。

(2) FRP 水門扉の種類、内訳、用途、規模

FRP 水門扉の種類としては、スライドゲート(写真-2)、フラップゲート(写真-3)、スイングゲート(写真-4)、ローラゲート、マイタゲート、起伏ゲート、陸閘ゲートなどがある。これらの施工実績内訳は、図-1に示すとおりである。

用途は、河川や農業施設向けが主体である。治水目的では、河川堤防や防潮堤の樋管または排水機場にあって、本川から支川または水路、海から内陸への逆流防止目的

の適用が多い。また、河川堤防や防潮堤での陸閘ゲートがある。農業施設では、利水用途が主体である。その他の利水用途として、発電および上水道施設があげられる。以上のような用途のもとでは、一般に全閉・全開の運用が前提となる。

施工実績による扉体寸法は図-2 に示すとおりであり、現在のところ扉体面積 10m^2 以下のものが主体であるが、製作・施工や運搬面を含めて現場接合が必要とならない 35m^2 程度までが技術的に対応可能な範囲となる。

写真-3 フラップゲート（排水路に設置された例）

写真-1 FRPの一般的な断面構成

写真-4 スイングゲート（河川支流に設置された例）

写真-2 スライドゲート（農業用水路に設置された例）

図-1 施工実績による種類別割合

図-2 施工実績による扉体寸法および運搬可能範囲

(3) FRP 水門扉の特徴（普通鋼製と比較して例示）

a) 力学的特性

FRP は、強化材とマトリックス樹脂から構成される複合材料であり、強化材の繊維方向とそれとは異なる方向とでは性能が異なる異方性材料である。FRP の強度は普通鋼と同程度以上にすることもできるが、ガラス繊維を強化材とした FRP の弾性率は通常 1/10 程度である。また、FRP はその応力-ひずみ関係において降伏点を持たず、脆性的に破壊するほか、長期間高い応力状態が継続するとクリープ変形・クリープ破断が生じることが知られているが、FRP 水門扉の使用条件下では、発生応力が小さいため、いずれも問題とならない。

b) 軽量性

同一の設計条件で設計・製作された普通鋼製の水門扉に比べて部材断面が大きくなるものの、扉体の重量は 1/2～1/3 程度となる。このため、開閉装置の小型化や施工作業の効率化が可能となる。

c) 耐久性（耐食性・耐候性）

腐食しないため、厳しい腐食環境下でも適用が可能である。なお、水分や紫外線の影響により強度低下を生じる場合があるため、通常は表面保護層が施されている。

d) 耐摩耗性・耐衝撃性

普通鋼製の水門扉に比べて耐摩耗性・耐衝撃性に劣るため、巨石の転流、土砂・木材が流下するような環境は避け、河川の支流や水路等に多く用いられている。

e) 経済性

イニシャルコストは、普通鋼製の水門扉に比べて高くなるが、鋼のように腐食することがなく、また通常は表面保護層の補修が必要ないため、維持管理コストを低減できる。

1章 総 則	4章 施 工
2章 使用材料	5章 検 査
3章 設 計	6章 維持管理

図-3 本指針（本編）の構成

3. 本指針の構成および対象設備

本指針は、(i)本編、(ii)指針の内容を補足する付属資料（劣化調査事例、LCC 試算例、設計計算例など）、(iii)参考資料から構成される。本編は、現行基準類^{1),3),4)}との整合性に配慮して許容応力度設計法に基づき記載しているが、巻末に参考資料の形で限界状態設計法に基づく性能照査型設計法についても示している。

本指針は、FRP の扉体への適用に主眼を置いているが、その他に戸当りや関連設備として操作橋、防護柵、タラップ、階段、スクリーン、照明柱にも適用することができる。なお、ダム用水門扉と除塵機を備えたスクリーンは対象外としている。

本稿では、主要な対象設備である FRP 水門扉の扉体について記述する。

4. 本編の概要（許容応力度設計法で記載）

(1) 本編の構成および総則

本編の構成は、図-3 に示すとおりである。1章の総則には、一般事項、FRP 水門扉および関連設備の種類、FRP 水門扉の特徴、用語について述べてあり、これらの概略は本稿 2. に示した。

(2) 使用材料

2章では、FRP に使用する強化材、マトリックス樹脂、添加剤、充填剤、表面保護層、並びに FRP の成形方法や特性値について述べている。

a) 構成材料

強化材には、ガラス繊維、炭素繊維、アラミド繊維など多種類の素材があり、求められる性能と費用を総合的に評価して適切な材料を選択する。水門扉への適用では、安価なガラス繊維が主流となっている。マトリックス樹脂には、不飽和ポリエステル樹脂、ビニルエステル樹脂、エポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂が用いられる。添加剤には、硬化遅延剤、硬化促進剤、着色剤などがある。充填剤は、成形過程において作業性の向上、体積増量、素材コストの低減を目的に用いられる粉体材料で、炭酸カルシウムや水酸化アルミニウムが使われることが多い。表面保護層は、直射日光による紫外線や水・湿気による

影響を回避するためのもので、耐候性や耐水性に優れた樹脂層を用いる。

b) FRPの成形方法

FRP 水門扉に使用される FRP の代表的な成形方法には、ハンドレイアップ成形法、グリッドモールド成形法、連続引抜成形法などがある。ハンドレイアップ成形法とは、成形型に強化材を賦形させ、人手により樹脂をローラ刷毛などで含浸させ、脱泡しながら所定の厚さまで積層する方法である(図-4)。

グリッドモールド成形法とは、樹脂を含浸させた強化材を格子状の型溝部に交互に編み込むように充填し、さらに空隙が無くなるよう樹脂を補充し、常温または中温で硬化させ一体成形する方法である。

連続引抜成形法とは、強化材に樹脂を含浸させて金型に引き込み、中空型内で所定の断面形状に硬化させ、引抜き装置で連続または間欠的に引抜く方法のことである。

c) FRPの特性値

FRP は、繊維や樹脂の種類はもちろんのこと、配向や積層構成、成形方法・条件によって得られる力学的特性が大きく異なることから、適切な試験方法により力学的特性を評価する必要がある。FRP に要求される特性値には、引張特性、圧縮特性、せん断特性、曲げ特性、支圧特性などがあり、JIS 等に規定された試験方法によって評価する。なお、適切な品質評価によって設定されたメーカー保証値がある場合は、これを用いてもよいものとした。

(3) 設計

3 章の設計において、FRP 水門扉は、次の事項に適合するように設計する。

- ・扉体が円滑かつ確実に動作すること
- ・必要な水密性および耐久性を有すること
- ・予想される荷重に対して安全であること
- ・有害な振動やキャビテーションが発生しないこと
- ・操作および点検・整備が容易かつ安全に行えること

照査は、現行基準類に基づく応力度ならびにたわみ度によることが基本となるが、FRP は弾性率が低いためたたわみ度が設計を支配する場合が多い。

a) 考慮する荷重

設計荷重ならびにそれらの組み合わせはダム・堰施設

図-4 ハンドレイアップ成形法の一例

技術基準(案)⑨に準拠し、原則として静水圧、自重、開閉力、地震時の動水圧および慣性力を考慮する。また必要に応じて、泥圧、波圧、浮力、風荷重、雪荷重、温度荷重、氷圧、水撃圧、津波荷重等を考慮する。耐震設計は、設計震度に基づく震度法による照査を行う。

b) 部材設計の基本的な流れ

FRP 水門扉には、ハンドレイアップ成形や引抜成形により成形された型材や板材を組み合わせ、主桁、補助桁、端縦桁およびスキンプレートなどを部材接合により製作するプレートガーダ形式の扉体(写真-2と図-5参照)と、グリッドモールド成形法により成形時から格子桁を一体で製作するグリッドモールド形式の扉体(写真-3と図-6参照)が現状では多く採用されている。

水門扉の主桁、補助桁および端縦桁の配置・構造は、水門・樋門ゲート設計要領(案)⑨に準拠する。水圧荷重に応じて主桁間隔を調整し、扉体に作用する水圧荷重をできる限り等分に主桁に受け持たせ、応力度やたわみ度を等しくする。主桁等、部材設計の基本的な流れを図-7に示す。

図-5 プレートガーダ形式扉体構造図

図-6 グリッドモールド形式扉体構造図

図-7 部材設計の基本的な流れ

表-2 各種構造物の安全率の比較

対象施設	鋼	FRP	FRP鋼
歩道橋	1.7	3.4	2.0
水圧管	1.8	3.6*	2.0
水門扉	2.0	4.0	2.0

*FRP水圧管は、クリープ破壊強度に対する安全率

c) 応力度の照査

応力度の照査では、式(1)で許容応力度を設定し、照査に用いる。

$$\sigma_a = \frac{\sigma_m}{F} \quad (1)$$

ここで、

σ_a : 許容応力度

σ_m : 材料強度の特性値

F : 安全率

また、FRP水門扉の設計に用いる安全率は4.0とした。これは、FRPの構造用途に実績のある歩道橋⁷⁾と水圧管⁸⁾の指針による安全率(表-2)を参考としたものである。安全率の算定根拠詳細は、付属資料に示している。

d) たわみ度の照査

たわみ度とは、水圧およびこれと同方向の荷重による扉体のたわみの支点間距離に対する比のことで、たわみ度の許容値は、構造物として必要な剛性、動的安定性、操作時の安全性、水密性を考慮して定めることとし、ここでは扉体の面積によらず1/600とした。これは、FRP水門扉における多くの適用実績があることのほか、アルミニウム合金製水門設計製作指針案⁹⁾で扉体面積を限定することなくこの値を採用していることや、ダム・堰施設技術基準(案)¹⁾において最大たわみの方向が特定できないシェル構造ローゲートの合成たわみ度の照査に用いられていることを参考とした。また、鋼製水門に関わる既存の技術基準^{1),3),4)}では、水門扉(ゴム水密)の許容たわみ度を1/800としているが、特にダム・堰施設技

術基準(案)¹⁾において、小形水門扉(扉体面積10m²未満)に対して次の条件を満足する場合に許容たわみ度の緩和を認めている：(i)有害な二次応力が発生しないこと、(ii)水密ゴムの追従可能範囲であること、(iii)地震動等により有害な振動が発生しないこと、(iv)操作不良が生じない程度のたわみに収まること。このため、小形水門扉を超える範囲へのFRPの適用にあたり、許容たわみ度を1/600とする場合は、上記の条件を個別に検討する必要がある。

e) プレートガーダの設計

プレートガーダ形式の扉体における主桁、補助桁、端縦桁が曲げモーメントを受ける場合、その作用応力が許容応力度以下であることを照査する。作用応力が圧縮応力の場合、圧縮力を受ける板の座屈の影響を考慮して許容応力度を算出する。ただし、FRP水門扉の場合、プレートガーダの圧縮フランジは、スキンプレートによって固定支持されていることから、一般に、座屈の影響は考慮しなくてよい。

曲げ圧縮応力によるフランジやウェブの座屈応力 σ_{cr} は、部材の曲げ載荷実験で求めるほか、材料試験で求めた板の曲げ弾性率やねじれ弾性率を用い、直交異方性板の座屈応力として支持条件に応じて式(2)～式(4)により計算できるとした。これらの式は文献10)を参考にした。

i) 4辺単純支持、一様な圧縮応力が作用：

$$\sigma_{cr} = \frac{2\pi^2}{t \cdot b^2} \left(\sqrt{D_{11}D_{22}} + D_{12} + 2D_{66} \right) \quad (2)$$

ii) 3辺単純支持、1辺自由、一様な圧縮応力が作用：

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2}{t \cdot b^2} \left[D_{11} \left(\frac{b}{a} \right)^2 + \frac{12}{\pi^2} D_{66} \right] \quad (3)$$

iii) 4辺単純支持、直線的に変化する圧縮応力が作用：

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2}{t \cdot b^2} \left(13.9 \sqrt{D_{11}D_{22}} + 11.1D_{12} + 22.2D_{66} \right) \quad (4)$$

ここで、

t : 板厚

b : 板幅

a : 板の長さ

D_{11} , D_{22} , D_{12} : 単位幅あたりの直交異方性板の曲げ剛性

D_{66} : 単位幅あたりの直交異方性板のねじり剛性

プレートガーダにおけるせん断力は、ウェブが全て負担しているとして、作用せん断応力が許容せん断応力度以下であることを照査する。せん断座屈応力についても、直交異方性板として、式(5)により算出する。

$$\tau_{cr} = \frac{4k_{xy} \sqrt{D_{11}D_{22}^3}}{t_w h_w^2} \quad (5)$$

表-3 接合材料

接着剤	ビニルエステル樹脂系
ボルト・ナット類	SUS304 または SUS316 (耐食性能をより求められる施工箇所)

写真-5 仮組立の状況

ここで,

t_w : ウェブの板厚

h_w : ウェブの高さ

k_{xy} : 式(6)で求められるせん断座屈係数

$$k_{xy} = 8.125 + 5.045K \quad (6)$$

ただし,

$$K = \frac{2D_{66} + D_{12}}{\sqrt{D_{11}D_{12}}} \leq 1 \quad (7)$$

ウェブのせん断座屈や曲げ座屈を防止するために、一般には、適切な垂直補剛材や水平補剛材が取り付けられるが、本指針では、比較的小規模な FRP 水門扉を対象としていることから、プレートガーダには、補剛材を必要としない形材を適用するものとした。

f) 接合部の設計

FRP 水門扉では、水密性を確保するために、接着剤を用いた接着接合を基本とし、はく離の防止と施工時の接着作業の効率化の観点からボルト接合を併用する。一方、荷重を伝える接合部については、ボルトなどの機械接合によるせん断支圧接合を基本とし、設計時における作用せん断応力が、ボルトの許容せん断応力度、FRP 部材の許容支圧応力度以下であることを確認する。FRP 水門扉で適用されている接合材料を表-3に示す。

(4) 施工、検査

4 章の施工では、FRP 部材の製作に関わる手順、野書き、加工、組立(写真-5)、表面保護層の設置、保管、輸送、据付、現場組立、安全衛生管理に関わる事項を記

写真-6 強化繊維の露出が認められ始めた状況の例

載した。

5 章の検査では、基本事項、項目・実施時期を概括した上で、素材と成形器具、部材、表面保護層、寸法、物性値、仮組立、出来形、塗装、据付に関する留意事項を記載した。

(5) 維持管理

6 章の維持管理では、FRP の劣化と維持管理、点検と評価、処置、補修、取替・更新について記載した。

FRP の劣化の多くは外観的に確認が可能なことと、表面保護層の劣化を端緒とすることが多いことから、他に顕著な劣化が認められない限り、目視点検で健全度評価を行うことが基本となる。クラックやふくれなどは、FRP 層に起因する場合と表面保護層に起因する場合の両方があるため、適切に見分けることが必要となる。この他、表面保護層の劣化・消耗状況を、変色、チョーキング、表面繊維の露出状況(写真-6)などを対象として点検する。

なお、表面保護層が施されていない FRP 水門扉において、供用開始から 35 年以上経過した後でも強度低下につながる劣化がなく、健全性を維持した実績が報告されているが、状況によっては、詳細点検の一部として水圧荷重に対する主要部材のたわみを測定したり、材料劣化を見込んだ強度計算を行うようなことも、健全性評価における選択肢の一つに含まれる。

5. 付属資料の概要

(1) 付属資料の構成

本編を補完するものとして、以下に示す 8 件の付属資料を準備した。

- ・扉体重量と必要開閉能力の比較
- ・35年以上供用されたFRP水門扉の材料引張試験による劣化調査
- ・鋼製水門とFRP水門のライフサイクルコスト比較例

- ・FRP水門扉の衝撃載荷実験
- ・ハンドレイアップ・グリッドモールド成形型式一覧
- ・FRP水門の安全率
- ・FRPの補修
- ・FRP水門扉および操作橋の設計計算例

この中で、FRP 水門扉の有用性を示す事例として、ライフサイクルコストの比較例を次項に示す。

(2) ライフサイクルコストの比較例

FRP 水門扉の価格は、普通鋼製水門扉と比較して高めであるが、耐久性に優れていることから維持管理費用を含めたライフサイクルコスト（LCC）では有利となる場合がある。ここでは、淡水環境下に設置をした FRP 製フラップゲート（幅：2.0m、高さ：2.0m）を例に同一の設計条件で設計・施工した普通鋼製（SS400）水門扉、並びにステンレス鋼製（SUS304）水門扉と LCC を比較した例を示す。

SS400 水門扉の場合、20 年に一度の割合で再塗装を行い、60 年目に扉体の取り替えを行うものとする。水密ゴムは、いずれの水門扉でも 20 年に一度取り替えを行うものとする。各工程に要する費用を表-4（設置時）と表-5（維持管理時）に示す。また、各々に要する費用を経年で積み上げ、LCC を比較した結果を図-8 に示す。

表-4 水門扉の設置に要する費用（単位：千円）

材質	扉体重量 (kg)	扉体 価格	据付 工事費	設置時 合計
FRP	385	3,348	710	4,058
SS400	1,120	3,030	710	3,740
SUS304	1,017	3,885	710	4,595

表-5 水門扉の維持管理に要する費用（単位：千円）

材質	再塗装費	水密ゴム取替	扉体取替
FRP	不要*	918	不要*
SS400	602	918	2,087
SUS304	不要*	918	不要*

不要*：評価期間の 60 年間では「不要」という意味

図-8 淡水環境における LCC 比較例

図-8 から、一例ではあるが、FRP 水門扉の導入効果を理解することができる。臨海部など厳しい腐食環境下では、FRP 水門扉の優位性が更に明確になる場合が多い。

6. 参考資料の概要（性能照査型設計法で記載）

土木学会・複合構造委員会において策定される指針は、複合構造標準示方書⁵⁾と整合しているべきであり、複合構造標準示方書は限界状態設計法を基礎とした性能照査型設計法を採用している。このため、性能照査型設計法のフォーマットに基づいた FRP 水門設計・施工指針（案）を、参考資料として示した。

(1) 参考資料の構成および基本的な考え方

参考資料の構成は、図-9 に示すとおりである。

要求性能は、本編の許容応力度体系下で要求されている性能と整合性を図って設定する。限界状態設計法における作用係数、材料係数、部材係数、構造解析係数および構造物係数などの部分安全係数は、複合構造標準示方書⁵⁾の共通編に基づいて設定する。ただし、静水圧に関しては、従来の許容応力度設計法での荷重の設計値を特性値とみなし、限界状態設計法とコードキャリブレーションを実施して、作用修正係数を設定した。したがって、今後、限界状態設計に見合う作用の特性値の設定を検討することにより、より合理的な設計解を得ることが可能である。その他、本編と内容が重複する箇所については、本編を準用することとした。また、FRP 歩道橋設計・施工指針（案）⁷⁾の考え方を参考とした。

以下に「4章 照査の原則」と「9章 安全性に関する照査」について紹介する。

(2) 性能照査の原則

性能照査は、FRP 水門扉の施工中および設計耐用期間を通して設定された要求性能を満足することを確認することにより行う。ここでは、性能の経時変化を考慮することが原則となるが、環境作用に対する照査を満足する場合には、環境作用による性能の経時変化が生じないものとして、安全性、使用性および復旧性等の要求性能の照査を行ってよいこととした。

1章 総則	7章 構造解析および応答値の算定
2章 要求性能	8章 環境作用に対する照査
3章 構造計画	9章 安全性に関する照査
4章 性能照査の原則	10章 使用性に関する照査
5章 材料の設計値	11章 復旧性に関する照査
6章 作用	12章 維持管理

図-9 本指針（参考資料）の構成

表-6 性能項目, 限界状態, 照査指標, 作用の例 (安全性)

性能項目	限界状態	照査指標	考慮する作用
構造物 または 部材の 破壊・ 崩壊	断面破壊	断面力	全ての作用 (最大値)
	接合部の破壊	断面力	全ての作用 (最大値)
	有害な振動	自励振動	変動作用
	構造物の安定 の限界	変形・基礎構造 による変形	全ての作用 (最大 値)・偶発作用
機能上の 安全性	使用者および 第三者への 影響度の限界	操作・点検時の 災害	比較的しばしば生じる 大きさの作用
		材片・接合材料等 の落下	比較的しばしば生じる 大きさの作用
		繊維片の飛散 (紫外線劣化)	環境作用

表-7 性能項目, 限界状態, 照査指標, 作用の例 (使用性)

性能項目	限界状態	照査指標	考慮する作用
快適性	外観の障害	表面ひび割れ・ 層間はく離	比較的しばしば生じる 大きさの作用
		樹脂やせ (紫外線劣化)	環境作用
		汚れ・落書き	環境作用・偶発作用 (悪戯等)
機能性	水密性の限界	戸当りの止水性, たわみ	比較的しばしば生じる 大きさの作用
	動作性	摺動性	比較的しばしば生じる 大きさの作用
	操作性	操作に要する労力	比較的しばしば生じる 大きさの作用

表-8 性能項目, 限界状態, 照査指標, 作用の例 (復旧性)

性能項目	限界状態	照査指標	考慮する作用
修復性	損傷	変形・ひずみ・ 応力等	偶発作用 (地震等)
		材料強度	環境作用
		樹脂やせ (紫外線劣化)	環境作用
		変形・ひび割れ・ 欠損	偶発作用 (破壊行為, 盗難等)

性能照査を合理的に行うためには, 性能項目を可能な限り直接表現することができる照査指標を用いるのがよい. 本指針で示した FRP 水門扉の安全性, 使用性, 復旧性に関わる性能項目, 限界状態, 照査指標および作用の例を表-6~表-8に示す.

(3) 安全性に関する照査

安全性に対する照査は, 設計作用のもとで, 全ての構成部材が断面破壊等の限界状態に至らないことを確認することにより行う. 表-9 および表-10 に作用係数と設計作用の組み合わせを示す.

表-9 作用係数と設計作用の組み合わせ (水門・樋門)

使用状態		扉 体, 戸 当 り				
		静水圧	地震時 動水圧	地震時 慣性力	波 圧	風荷重
地震時 以外	全開	×	×	×	×	1.2
	全閉	1.2	×	×	×	×
地震時	全開	×	×	1.0	×	×
	全閉	1.0	1.0	1.0	×	×

×: 考慮しなくてもよい荷重

表-10 作用係数と設計作用の組み合わせ (防潮水門)

使用状態		扉 体, 戸 当 り				
		静水圧	地震時 動水圧	地震時 慣性力	波 圧	風荷重
地震時 以外	全開	×	×	×	×	1.2
	全閉	1.2	×	×	1.2	×
地震時	全開	×	×	1.0	×	×
	全閉	1.0	1.0	1.0	1.0	×

×: 考慮しなくてもよい荷重

7. おわりに

(1) 本指針を策定した意義

本指針の策定を通して, これまで 40 年以上にわたり積み上げられてきた FRP 水門扉の設計・施工に関する技術の整理と体系化が図られた. これにより, 今後の技術水準の維持・向上はもとより, 発注者側の FRP 水門扉に対する理解の促進や選択肢の増大, 新規参入業者への門戸拡大に役立つことが想定される. 一方, 既存の鋼製水門扉との関係では, 適材適所の論理で FRP 水門扉に適した環境への適用が進むことが期待される.

(2) 適用規模拡大の可能性

FRP 水門扉の施工実績は扉体面積 10m² 以下のものが主体であるが, 技術的には 35m² 程度まで適用可能である. 急速な規模の拡大は慎むべきではあるが, FRP 水門扉の有用性が期待できる場面において, 製作・施工水準や運用上の課題等を検証しながら, 徐々に規模を広げていくことが望ましい. 水門扉の用途には, 治水, 利水, 環境維持等があるが, トラブル時に公衆災害への影響が生じにくい箇所から規模を広げていくことが考えられる.

(3) 高い信頼性の確保に向けた方策

製作・施工時の検査や経年劣化のデータ蓄積については, 今後も継続的に行っていく必要がある. また, より厳しい環境での利用や, 全閉・全開に限らず, 部分開度での放流についても技術・知見の蓄積が望まれる.

謝辞：本報告は「複合構造シリーズ 06 FRP 水門設計・施工指針（案）」の概要を取りまとめたものである。本指針について審議していただきました複合構造委員会の幹事・委員，並びにご意見賜りました多くの専門家の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) (社)ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編），2014.
- 2) (社)土木学会：FRP 水門設計・施工指針（案），複合構造シリーズ 06，2014.
- 3) (社)水門鉄管協会：水門鉄管技術基準，水門扉編，2007.
- 4) (社)農業土木事業協会：鋼構造物計画設計技術指針（水門扉編），2009.
- 5) (社)土木学会：2009 年制定複合構造標準示方書，2009.
- 6) (社)ダム・堰施設技術協会：水門・樋門ゲート設計要領（案），2001.
- 7) (社)土木学会：FRP 歩道橋設計・施工指針（案），複合構造シリーズ 04，2011.
- 8) (社)水門鉄管協会：水門鉄管技術基準，FRP(M)水圧編，2010.
- 9) (社)軽金属協会：アルミニウム合金製水門設計製作指針案，1979.
- 10) Bank, L. C. : *Composites for Construction—Structural Design with FRP Materials—*, John Wiley & Sons, 2006.

(2015. 1. 30 受付)

FORMULATION OF GUIDELINES FOR DESIGN AND CONSTRUCTION OF FRP HYDRAULIC GATES

Subcommittee on Guidelines for Design and Construction of FRP Hydraulic Gates

Installation of FRP hydraulic gates started in the 1960s, and almost seven hundred gates are now under operation in Japan. FRP gates have better durability when compared with steel gates and sometimes life cycle cost advantages, while their applications are limited to small or middle-sized structures. Mobility in construction and operability due to the light weightness are also strong points. However, current technical standards for hydraulic gates do not provide specific design details concerning FRP gates.

Our subcommittee formulated guidelines for FRP gates, which cover design, construction, inspection and maintenance. The guidelines are described based on the allowable stress design method employed in the current practice, and the guidelines based on the performance-based design method employed in the standard specifications for hybrid structures by JSCE are provided as well.