

新技術を活用した百間川河口水門の耐震補強工事

大田 学¹

¹国土交通省 岡山河川事務所 工務課

百間川河口水門は築造当時から、洪水対策、内水対策、高潮対策の3つの役割を果たしてきた。しかし、現在の耐震基準を満足しておらず、L1、L2地震動に対して耐震性能が不十分であることから、平成27年度より耐震対策事業に着手している。主な対策として、曲げ耐力の向上のための堰柱の拡幅における仮締切工法では、鋼製パネルで遮水壁を構築する「鋼製仮締切工法（NDR工法）」、門柱のせん断耐力の向上のため鉄筋挿入を行う「ポストヘッドバー工法（PHb工法）」を採用した。本論文では、水門工事でNDR工法を採用した全国初の取り組みと、部材厚（鉄筋挿入長）が日本最大クラスの鉄筋挿入工について報告を行う。

キーワード 百間川河口水門、耐震補強、NDR（鋼製仮締切）工法、PHb（ポストヘッドバー）工法

1. はじめに

百間川は、旭川の支流で岡山県岡山市の南部に位置する人工河川である。承応3年（1654）の大洪水を受けて、岡山城下を洪水から守るために、岡山藩の津田永忠が設計・施工した。その百間川において、治水対策と大規模な新田開発の両立を図る計画を可能としたのが、百間川河口水門（以下、昭和 water 門）である。江戸時代に築造された石造の水門群は「唐樋」と呼ばれており、手動で操作されていた。昭和43年には、百間川の計画高水流量の増量に伴い、不足する流下能力を補うため、改修を行った。シェル構造ローラーゲートという鋼製の水門に改造され、「洪水対策」「内水対策」「高潮対策」の3つの役割を果たしている。（図-1）

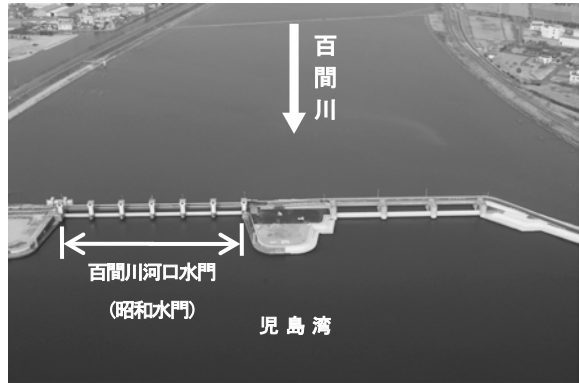


図-1 百間川河口水門の位置

2. 耐震性能の現状と対策

昭和 water 門は昭和43年の築造であるため、現行の耐震基準に対して、床版、堰柱、門柱が耐震性能を満足していないことが確認された。（表-1）

表-1 耐震照査結果

部 材			レベル1地震動	レベル2地震動	
				レベル2-1	レベル2-2
中央部堰柱	基礎杭	水流方向	【OK】	【OK】	【OK】
		水流直角方向	【OK】	【OK】	【OK】
	床版	水流方向	【out】曲げ耐力	【out】曲げ耐力	【out】曲げ耐力
		水流直角方向	【out】曲げ耐力	【OK】	【OK】
	堰柱	水流方向	【OK】	【OK】	【OK】
		水流直角方向	【OK】	【out】曲げ耐力	【out】曲げ耐力
	門柱	水流方向	【OK】	【out】せん断破壊	【out】せん断破壊
		水流直角方向	【OK】	【OK】	【OK】
端部堰柱	基礎杭	水流方向	【OK】	【OK】	【OK】
		水流直角方向	【OK】	【OK】	【OK】
	床版	水流方向	【OK】	【OK】	【out】曲げ耐力
		水流直角方向	【OK】	—	【out】曲げ耐力
	堰柱	水流方向	【OK】	【OK】	【OK】
		水流直角方向	【OK】	【OK】	【out】曲げ耐力
	門柱	水流方向	【OK】	【out】せん断破壊	【OK】
		水流直角方向	【OK】	【out】せん断破壊	【out】せん断破壊

中央堰柱の床版部は、図-2のとおり、通常の堰・水門に比べて張り出しが長く、梁に似た状態と言える。（通常1～2mに対して、昭和水門は5.5m）そのため、曲げ耐力に対して脆弱である。曲げ耐力は床版下面に引張が生じるため、床版の増し厚による対策が最も有効であると考えられる。しかし、水門の床版は計画河床高HP-2.20mと合致しており、増し厚した場合には河積阻害となるため、不適である。

この現状を踏まえ、中央堰柱の床版補強対策として、堰柱の上流側への拡幅に決定した。この場合、堰柱を拡幅することで床版への曲げ破壊の対策ができ、また河積阻害も生じない。さらに、レベル2地震動に対して不足している堰柱の曲げ耐力も向上できる。端堰柱についても中央堰柱と同様に、コンクリートの増し厚で対策を行う。

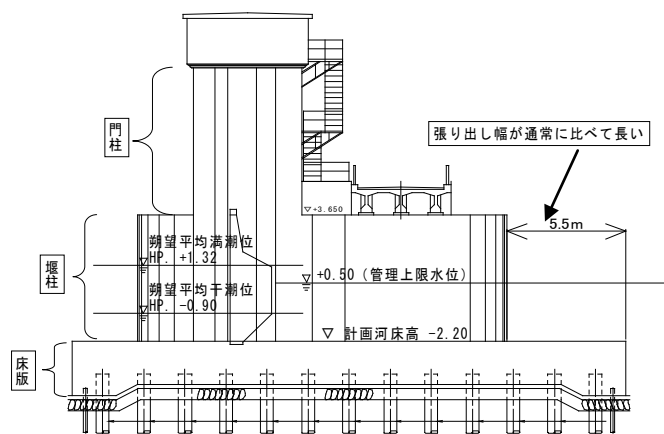


図-2 中央堰柱構造図

3. 耐震対策の施工計画

(1) 堰柱拡幅による対策

a) 仮締切工法の選定

現場は昭和水門の湛水部のため、常時3m程度の水深を有している。また、堰柱間隔は約20mと狭く、狭小部の作業となる。（図-3）堰柱拡幅は、水中部の既設堰柱にコンクリートを増し厚するため、施工性を考慮し、ドライな環境にするための仮締切が必要である。仮締切の案として、以下の2つの方法の検討を行なった。

まず矢板工法による仮締切である。床版と捨石の上には矢板を打設できないため、図-4のように、7基の堰柱全てを覆う、延長215mの締切矢板が必要となる。しかし、全門閉状態での施工は洪水時の操作ができず、危機管理上困難であるため、不適である。

次に大型土のうによる土堤式の仮締切が考えられる。百間川河口部の常時湛水という環境から、構造は図-5のように「上下流に大型土のうを配置し、止水用に中詰め盛土」が考えられる。しかし、水深は約3mあり、中詰め土による大量の濁水が発生する懸念や、堰柱の横に大型土のうを設置する場合には、管理橋があるため、クレーンでの設置が不可能である。（図-6）これらの理由により、施工性、環境性の面から土堤式による締切も不適である。

これらの検討結果を受け、橋脚等の補強工事で使用例のある、鋼製函体による仮締切を採用することとした。配置計画は、堰柱1基分を締め切る函体を製作し、2基目以降は転用する方法が、流下阻害も小さく工費も安価である。種々存在する鋼製函体による仮締切の工法のうち、端堰柱と中央堰柱の形状が異なる等の本工事の施工条件に合致する、「NDR工法（Neo-Dry Repair Method）」を採用した。なお、水門の耐震補強工事でNDR工法を

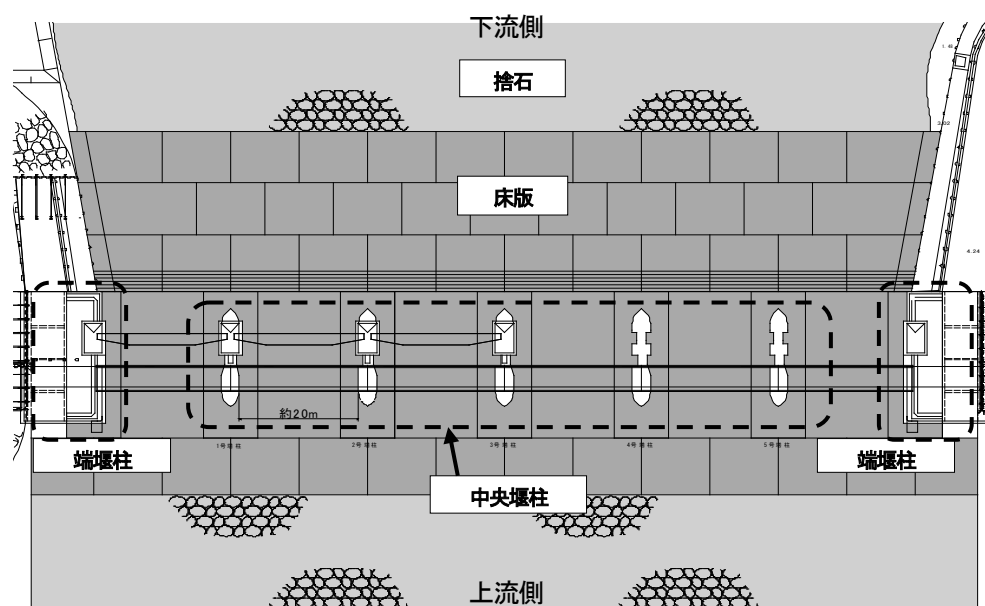


図-3 昭和水門の平面図

採用したのは全国初である。また、一般的な橋脚等の施工においては図-7.1のように囲む形式で止水するが、昭和水管では図-7.2のように構造物を挟み込む形式で止水した。この形式は、同工法の中でも初の試みである。

b) NDR工法の特徴

NDR工法は、鋼製パネルで遮水壁を構築し、河川等の既設構造物(橋脚・基礎等)の水中部に対して、ドライな作業空間を確保する技術である。占有面積に限られる施工箇所での工事に特に効果的である。国土交通省での工事の実績も平成26年3月時点で18件と多い。湛水域等での施工性が良く、転用を容易に行うことができコスト縮減が図られる。

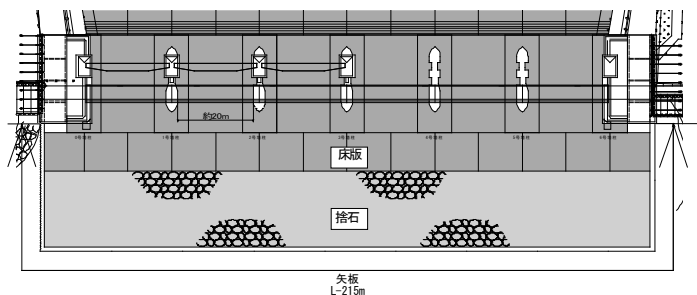


図-4 矢板工法による仮締切工法の場合

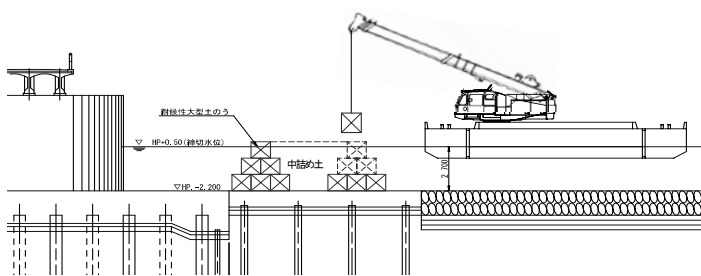


図-5 土堤式による仮締切工法の場合

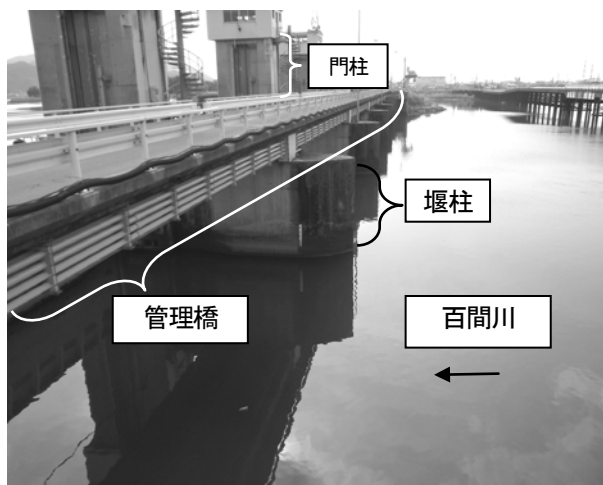


図-6 堰柱拡幅における管理橋による上空の制限

c) 堰柱拡幅の施工手順

NDR工法の手順について述べる。まず、函体を工場で製作し、進水ヤードまでトラックで運搬する。その後現地で2分割に組み立て、進水させ、曳航して工事箇所まで運び、クレーン付き台船で設置する。(図-8) 設置では位置決め、閉合、注水沈殿の作業を行い、さらに止水機構部の処理を行う。最後に、構造物と函体との間に支保工を入れ、締切内を排水して完全ドライの状態にし、本工事に入る。(図-9) 施工後は、設置と逆の工程で構造物から函体をはずし、撤去する。

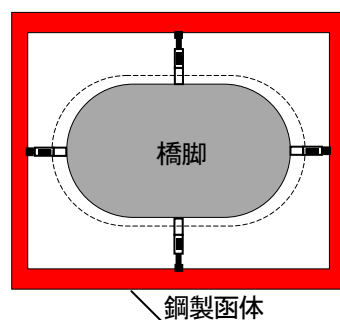


図-7.1 橋脚の仮締切形状

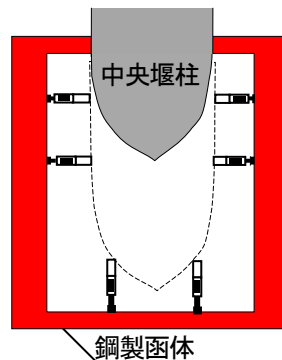


図-7.2 本工事の仮締切形状



図-8 函体の曳航運搬



図-9 排水完了状況

d) NDR工法の効果

NDR工法の効果として、以下の4点で矢板工法より優れていた。

まず1点目に工程である。工場製作の函体を用いるため、現場作業の施工日数を短縮することができ、函体の設置期間を予測できるため、その後の工程も組みやすい。

2点目に止水性が高い点である。函体からの水の浸入はなく、NDR工法の水密性の効果は大きいといえる。ただし、底部の止水ゴムの接着工法には工夫が必要である。

3点目に施工性である。矢板工法に比べて現場での仮締切作業が少なく、作業員の作業も容易となった。

4点目に環境である。従来工法と比較して、打ち込み機械等を使用しないため、騒音・振動・粉塵等作業環境がかなり改善された。止水ゴムのみ交換すれば型枠を転用できる点も、産業廃棄物の発生量の減少につながり、リサイクル性・省エネ性が向上したといえる。

このようにNDR工法には従来技術と比較して有利な点が多くある。水門の堰柱に使用するのとは全国初の試みであったが、十分に機能を発揮したと考えられる。

(2) 門柱のせん断補強

a) 補強対策の選定

前述の表-1のとおり門柱部はせん断耐力が不足している。その対策としては2つ考えられる。

まず門柱のコンクリートを増し厚する方法である。しかし、増し厚を行った場合、中央堰柱、端堰柱ともにせん断耐力不足となり不適である。

次に補強筋を挿入する方法である。不足しているせん断耐力から必要な補強鉄筋量を検討した結果、中央堰柱、端堰柱ともに施工可能であると判断された。

これらの検討結果を受け、鉄筋挿入による耐震補強を採用することとした。昭和水門の門柱部に鉄筋を挿入する場合、上流側に、ら旋階段があり、施工が行いにくい。ため、下流側から施工が行える工法が望ましい。(図-10) それに加えて、既設躯体に削孔しポリマーセメントを充填することにより補強鉄筋との一体化を図るため、ポリマーセメントの充填確実性の観点から、削孔本数は可能な限り少なくする方が良く、そのためには、使用する補強筋の径が可能な限り大きいほうが望ましい。以上より、本工事の施工条件に合致する片側からの施工が可能な工法のうち、補強筋の径が最大のD32までである「PHb工法(Post-Head-bar工法)」を選定した。

b) PHb工法の特徴

図-11のとおり、鉄筋の差込側には矩形プレート、埋込側には削孔径により大きさを調整した小型の丸形プレートを摩擦圧接して一体化し、せん断力をうけもたせる。この両端プレートの突起により、孔内での鉄筋の定着性を増大させることでせん断補強効果を確保する機構

となる。

また、施工後の鉄筋そのものはすべて構造物内に設置され、かぶり部分によって腐食に対する抵抗性があるため、せん断補強後の構造物に対しても補強前と同様にメンテナンスフリーとすることが可能である点も特徴である。施工実績も平成26年3月時点でNETIS登録されている片側施工のせん断補強工のうち、176件と最も多い。

c) PHb工法の施工手順

PHb工法の手順について述べる。まず、電磁誘導法により既設門柱の鉄筋位置の探査を行い、ポストヘッドバーの施工位置を決定する。決定した施工位置に掘孔し、孔内の洗浄を行う。その後、孔内湿潤噴霧工を行って湿潤状態にし、注入材を充填する。そこへポストヘッドバーを丸形プレート側から挿入し、断面を修復して完了となる。(図-12)

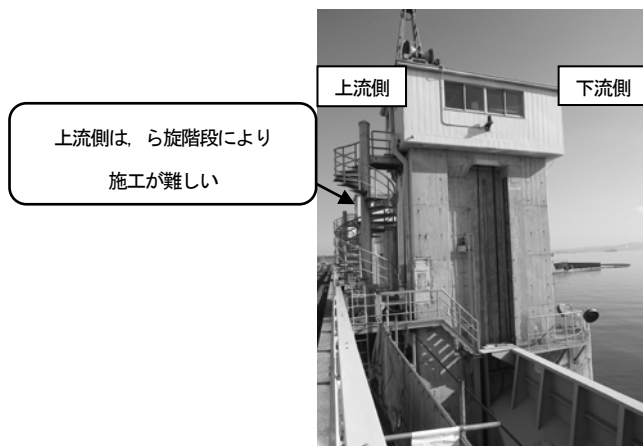


図-10 門柱の工事箇所環境

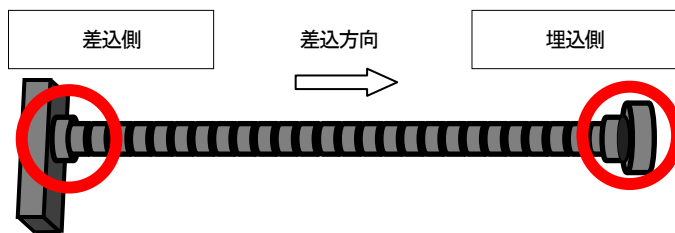


図-11 ポストヘッドバー構造図



図-12 ポストヘッドバー挿入状況

d)PHb工法の効果

PHb工法の効果として、以下の4点が従来技術より優れている点があった。

まず1点目に経済性である。従来工法と比較して、少ない仮設足場で施工できるため、仮設費を削減できた。また、ポストヘッドバーがコンクリート内に埋没されているため、腐食の恐れもなく、維持管理費も削減できると考えられる。

2点目に施工性である。PHb工法は、鉄筋の組立・型枠組立・解体がないため、工程を短縮することができ、工程計画も立てやすく、遅延なく進捗することができた。既設鉄筋を事前調査したため、削孔時に干渉せず、施工性の向上も図ることができた。

3点目に品質である。ポストヘッドバーが工場製作品のため、品質の向上が図られた。また、構造物の形状を維持したまません断補強できる点も、耐久性の向上につながった。

4点目に施工性である。PHb工法は鉄筋工・型枠工が不要なので、現場での施工量の削減に繋がり、作業員の作業も容易になった点も優れているといえる。

これらの優れた点により、本工事のような狭隘な環境で、制約条件の多い現場に大変有効であると考えられる。

4. 現場見学実施状況

工事中の昭和水門における耐震補強の新技術活用状況と、平成水門の見学を兼ねて、施工業者・自治体・学識者が見学に訪れた。平成27年10月から、平成28年2月にかけて、自治体職員51名、学識者6名など、多くの方が耐震補強事業を見学した。（表-2、図-13）

また、耐震補強事業に関するパンフレットも作成し、広報活動を積極的に実施した。（図-14）

表-2 現場見学の実績

年月日	団体	人数
平成27年10月27日	建設業者	10名
平成27年11月5日	岡山市理科教員	6名
平成28年1月29日	東大阪市	9名
平成28年2月8日	備前県民局	20名
平成28年2月9日	倉敷市	22名

5. 今後の耐震対策について

昭和水門の耐震補強工事の堰柱拡幅において、仮締切による止水が工事の進捗を左右する最重要ポイントと位置づけ、確実に止水できるNDR工法を採用した。平成27年度に実施した耐震補強工事は、順調に進捗・完了することができた。

今後の課題は、平成29年度に実施する端堰柱の耐震補強である。端堰柱は中央堰柱とは異なり、堰柱を囲むように仮締切できないため、NDR工法による止水効果が十分発揮できるよう対応していく必要がある。（図-15）

全国的にも水門の耐震補強工事は希少であるため、本工事は他の河口堰や河口水門の耐震化対策の検討においても大いに参考になると考えられる。岡山河川事務所としても工事情報を発信し、また、現場見学会を実施するなど、積極的に情報提供を図っていきたい。



図-13 現場見学の様子

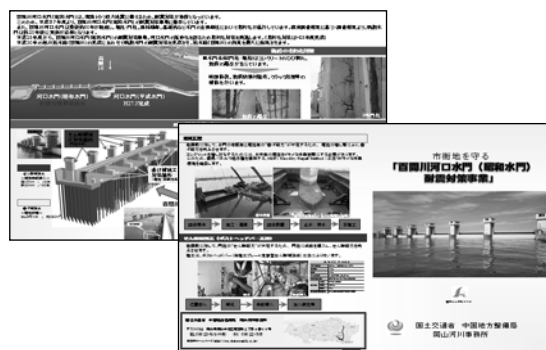


図-14 耐震対策に関するパンフレット

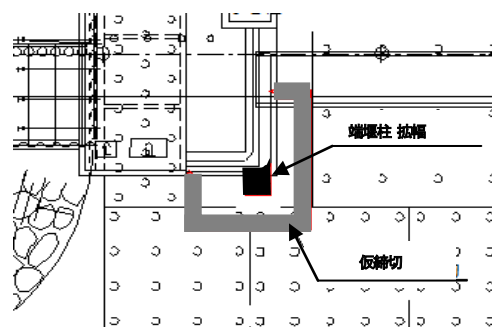


図-15 端堰柱の仮締切形状