

淀川大堰施設における 補修調査・対策検討について

INVESTIGATIONS OF DEGENERACY AND MEASURES BY REPAIR FOR THE YODO RIVER WEIR

芝田 弘一¹

Hirokazu SHIBATA

¹国土交通省 近畿地方整備局 淀川河川事務所(〒573-1191 大阪府枚方市新町2-2-10)

Thirty-three years passed from the construction start of the Yodo River Weir in 1972, and concrete materials has become superannuated. Then, the actual circumstances of clacks, carbonations, exposure of reinforcing bars and corrosion of reinforcing bars were clarified. The Yodo River Office of the Kinki Regional Development Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport executed the large-scale check at the same time and the examination of measures by repair for three years from 2002 fiscal year in order to grasp about circumstances of the deterioration progress, to prolong equipments life and to keep the function of equipments. After, the committee by the learning person who made the river, hydronic, and the material a specialty was set up. The committee was held nine times, and the repair plan was settled on. This report is written about investigation results of degeneracy, results of examinations and details to investigations and examinations about the control and the maintenance of equipments until present after the Yodo River Weir is constructed.

Key Words : *Yodo River Weir, superannuate, degeneracy of concrete, measures by repair, measures by retrofit, seismic retrofitting*

1. はじめに

淀川大堰は昭和47年の工事着手以来33年目を迎え、コンクリート部材の老朽化が進み、ひび割れ・中性化、鉄筋の露筋・腐食という実態が明らかになった。

淀川大堰は平成7年の阪神大震災直後に変状補修が行われている。しかし、補修より10年が経過した現在、劣化による変状が多数確認されたことから、劣化進行の状況を的確に把握し、施設の機能維持と延命を目的とした大規模な一斉点検と補修対策検討を実施した。

コンクリート部材の劣化状況の把握と劣化原因を追及するため、コンクリート特性調査・鉄筋探査による調査・解析を行った。補修補強計画の策定は、河川・水理及び材料を専門とする学識者からなる「淀川大堰補修計画策定検討委員会」(委員長 中川博次立命館大学教授)を平成14年5月に設置し、9回の委員会を開催し検討を行った。

調査・検討にあたっては、部位別劣化状況の特性、施工状況・骨材産地等やコンクリートの性能を分析・調査し、複合的な劣化原因の検討を行ったうえで、補修工法

の検討、さらに、耐震補強を含めた補修対策についての検討を行った。

本報告は、淀川大堰の築造から現在に至るまでの施設の維持管理に関する調査・検討の経緯及び劣化調査結果、対策検討結果について報告を行うものである。

2. 淀川大堰の概要

淀川大堰は、大阪平野を貫流し大阪湾に注ぐ我が国を代表する一級河川淀川の河口から9.8km地点に位置する河口堰である。その施設の役割は、塩水遡上の防止機能、大阪市内河川へ維持用水供給に必要な水位保持機能、渇水時の都市用水確保に必要な調整池機能を有しており、淀川流域における流水管理上の最重要施設である。

総純径間300m(川幅666.5m)、中央に55mの制水ゲート4門、その両側に40mの流量調整ゲートを1門ずつ設け、幅6mの階段式魚道を両サイドに配している。基礎型式は長方形・潜函工法によるケーソンであり、ゲート型式は鋼製シェルタイプローラーゲートとなっている。

右岸から1号堰柱とされており、左岸側が7号堰柱で

ある。1 から4号堰柱までが1期工事として昭和49年10年に、5から7号堰柱が2期工事として昭和57年6月にそれぞれ完成している。図-1に平面図、図-2に断面図、写真-1に淀川大堰全景写真を示す。

3. 劣化状況と調査の経緯

淀川大堰は第一期工事部の右岸側3門が築後30年、第二期工事部の左岸側3門が築後22年経過している。平成7年1月に兵庫県南部地震を経験し、その直後に地震の影響を確認することを目的とした臨時点検（平成7年3月）を実施している。その調査結果では、特に地震の作用力による損傷は確認されていないが、右岸側4基の堰柱コンクリート表面には広い範囲にわたり、地震以前に生じていたとされるひび割れが確認された。調査後、ひび割れ補修として堰柱全面の表面塗装を実施している。

平成14年2月に操作室外壁改修工事を行った際、著しい躯体コンクリートの劣化が確認されたことから、右岸側の堰柱2基について緊急に劣化状況調査（平成14年3月）を行った。その結果、操作室外壁にひび割れ、浮き上がり、はく離、露筋等の異常部分が各所に確認された。中性化の進行が著しく最大6cmに達しており、施工不良によるかぶり不足などの要因も重なり鉄筋腐食が著しく進行していることが判明した。写真-2に調査状況を示す。

4. 委員会の開催経緯

平成14年3月の劣化状況調査結果をうけ、施設全体を緊急に調査し、劣化の実態把握とともに補修対策についての検討が必要となった。また、本施設の設計当初と現時点では設計手法が異なり、特に耐震に対する考え方について見直す必要があることなどから、補強対策も含めて検討していくこととした。これらの詳細調査の内容・劣化原因検討、補修・補強対策および維持管理のあり方を含めた基本的方針の策定を行うことを目的に「淀川大堰補修計画策定委員会」を平成14年5月に設立した。

委員会は、多方面にわたる技術的観点からの検討が必要となり河川工学・構造材料学・応用力学を専門とする学識者をはじめ国土交通省関係者で組織された。

平成14年5月に第1回委員会を開催し、平成16年7月に第9回委員会において検討を終了し、改組した。

5. 劣化状況

淀川大堰築造時の工事が2期に分かれており、各工事の特性を把握するために調査結果を工期別にまとめる。

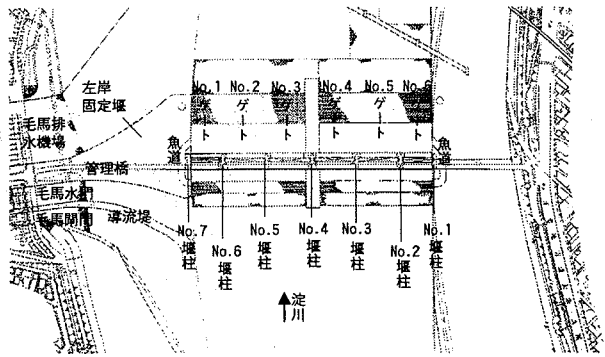


図-1 平面図

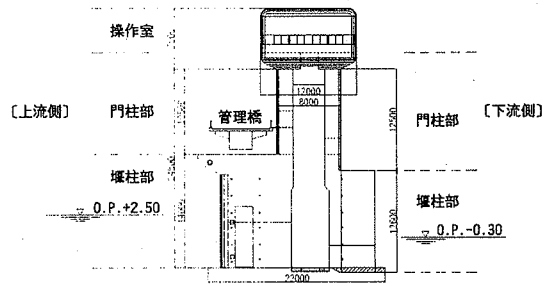


図-2 断面図

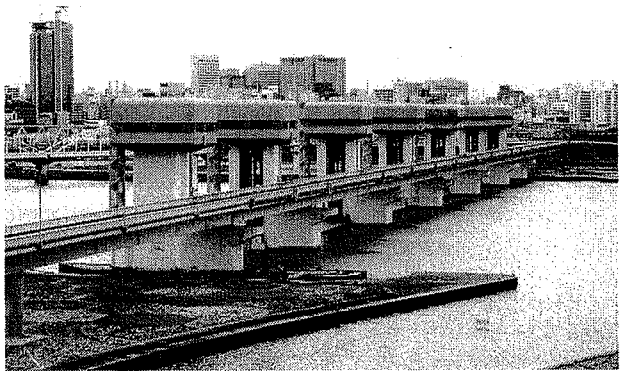


写真-1 淀川大堰全景写真

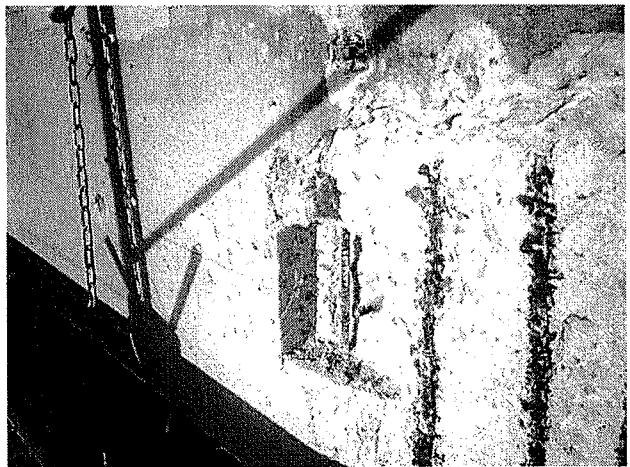


写真-2 著しい鉄筋腐食と中性化の進行が確認された表面はつり調査状況（3号堰柱操作台 下流側）

(1) 概略調査

概略調査として、水上部における堰柱全表面を対象に外観目視調査・打音調査・写真撮影を行った。

第1期施工部では、水際部・柱部で浮きが確認され、鉄筋腐食発生の可能性が考えられた。写真-3に堰柱表面の浮き上がり状況（4号堰柱：第1期施工）を示す。

第2期施工部では、0.2mm以下の微細クラックが多発しており、水際部で浮きが確認された。

(2) 詳細調査

現地調査としてコア採取・反発硬度試験・ドリル法による中性化深さ測定・はつり調査・レーダー探査・鉄筋腐食調査を行った。また、室内調査では圧縮強度・静弾性係数測定・中性化深さコア測定・配合推定・全塩含有量分析・促進膨張試験（JCI法）等の調査を実施した。

主な調査結果を以下にまとめる。

a) 第1期施工部（1号～4号堰柱）

〔中性化深さ測定〕

気中部（水上部）の中性化深さは平均25mm、最大55mmという結果が得られた。図-3に調査結果を示す。コンクリート標準示方書中性化速度式¹⁾により計算すると、材令28年（調査時材令）、水セメント比65%、乾燥しやすい環境の場合で中性化深さは19mmとなる。標準値と比較すると中性化の進行はかなり速いものといえる。

中性化残りが25mm以下の箇所は、浮き部分で鉄筋も腐食が発生していた箇所であり、かぶりが小さい箇所では浮き部分以外でも鉄筋腐食が発生していることが予測される。

〔圧縮強度・静弾性係数試験〕

図-4に調査結果を示す。圧縮強度は2箇所（20.2N/mm²；No.3号下流側操作台、23.2N/mm²；No.4号操作台）を除き設計強度を有していた。静弾性係数は、実構造物平均値²⁾をやや上回っていた。

〔全塩化物イオン量〕

図-5に調査結果を示す。何れの堰柱も塩分量が腐食発生限界値といわれる1.2kg/m³⁴⁾を越え、最大4.8kg/m³が得られており、躯体内部まで高い値が得られた。これは、打設時点から含有塩分が大きく、また下流側水際部では河川水（汽水域）からの塩分浸透があったためと考えられる。かぶりが80mm程度と大きいにもかかわらず腐食度Ⅱbと進んでいる地点もあり、含有塩分量が大きい箇所では塩害対策が必要である。なお、水中部においては、酸素の供給がほとんど無いことから腐食の可能性は無いと考えられる。

〔アルカリシリカ反応性試験〕

図-6に調査結果を示す。1・3・4号堰柱において促進膨張試験（JCI-DD2法）を実施しており、何れの調査地点においても有害判定値（0.05%）を越える結果は得られなかった。

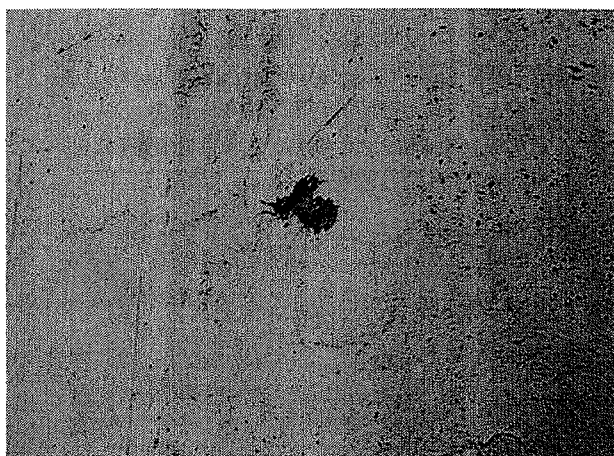


写真-3 堰柱表面の浮き上がり状況
(4号堰柱：第1期施工)

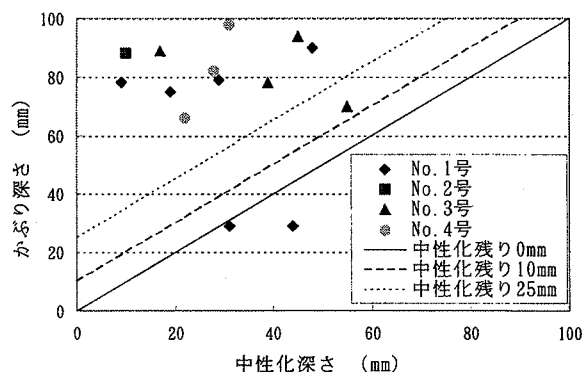


図-3 中性化深さとかぶりの関係（第1期施工）

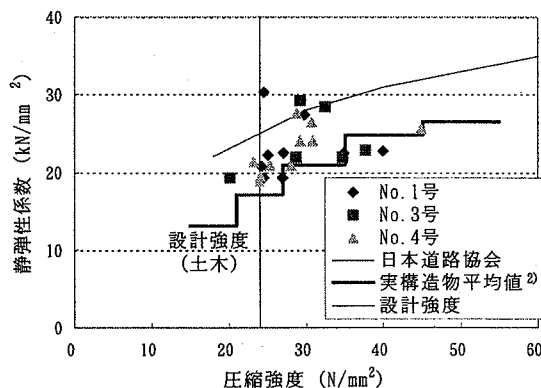


図-4 圧縮強度・静弾性係数試験結果（1期施工）

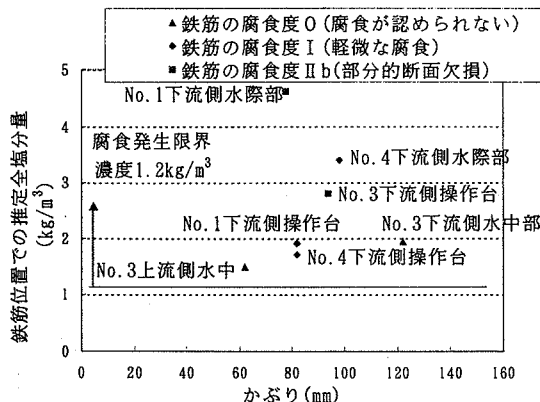


図-5 腐食度と影響要因（1期施工）

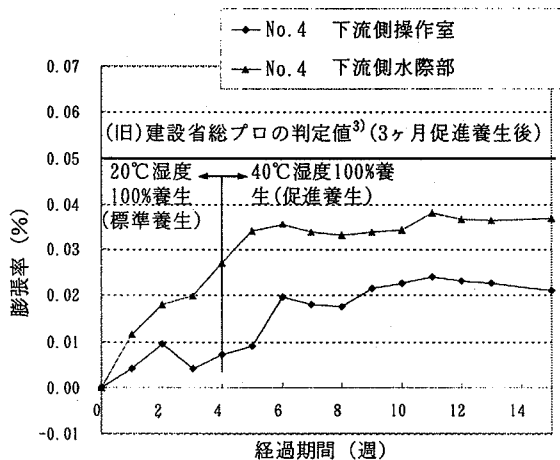


図-6 4号堰柱 促進膨張試験結果 (JCI)

b) 第2期施工部 (5号～7号堰柱)

[中性化深さ測定]

図-7に調査結果を示す。気中部の中性化深さは平均21mm、最大28mmであった。コンクリート標準示方書中性化速度式¹⁾により第1期施工部と同条件で計算すると、材令20年 (調査時材令) の場合で中性化深さは16mmとなり、標準的な中性化の進行より、かなり速いといえる。中性化残りは、25mm以上残っている。

[圧縮強度・静弾性係数試験]

図-8に調査結果を示す。圧縮強度は、設計強度を有していた。静弾性係数は、1箇所を除き実構造物平均値²⁾とほぼ同等であった。静弾性係数が特に小さく得られているNo.7号下流側水際部は、同箇所の促進膨張試験では無害判定となっており、アルカリ骨材反応の影響は少ないと思われるため、サンプルのばらつきによるものであると判断した。

[全塩化物イオン量]

図-9に調査結果を示す。下流側水際部で塩分量が1.2kg/m³を越えていた。かぶりが70mm程度と大きいにもかかわらず腐食度Ⅲと進んでいる点もあり、含有塩分量が大きい箇所では塩害対策が必要である。水中部においては、酸素の供給がほとんど無いことから腐食の可能性は無いと考えられる。

[アルカリシリカ反応性試験]

図-10に調査結果を示す。5・7号堰柱において促進膨張試験 (JCI-DD2法) を実施しており、何れの調査地点においても有害判定値 (0.05%) を越える結果は得られなかった。

c) 第1・2期施工部の劣化及び劣化要因の特徴

詳細調査の結果より、中性化の進行については、第1期施工部に中性化残りが25mm以下の所があり鉄筋腐食も確認されていることから、第2期施工部より進行が速いといえる。また、第1期施工部の方が第2期施工部より圧縮強度は低く、含有塩分量は高い状況である。一方、

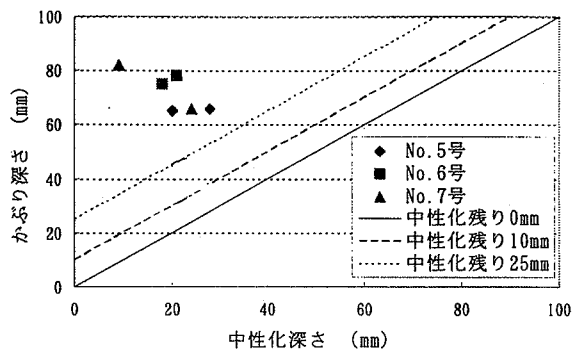


図-7 中性化深さとかぶりの関係 (第2期施工)

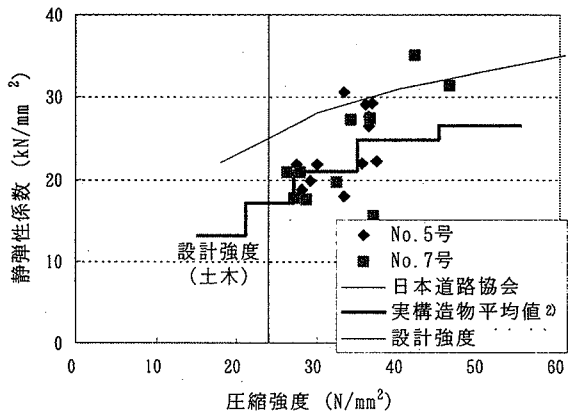


図-8 圧縮強度・静弾性係数試験結果 (2期施工)

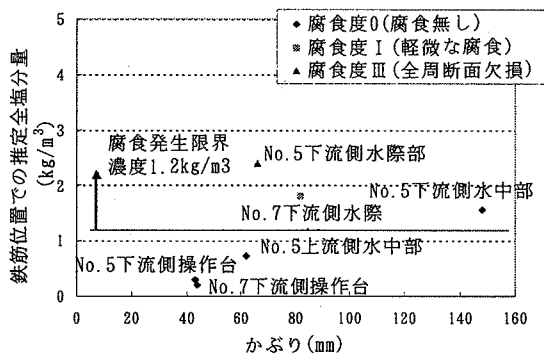


図-9 腐食度と影響要因 (2期施工)

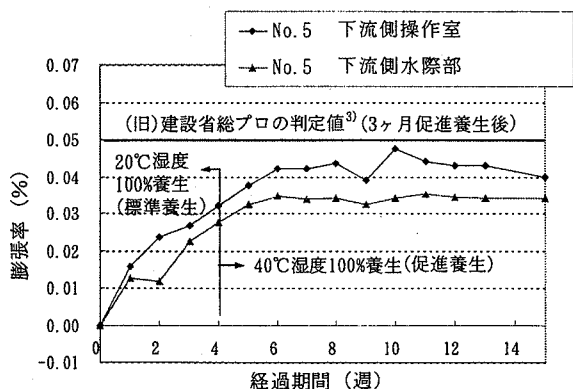


図-10 5号堰柱 促進膨張試験結果 (JCI)

アルカリシリカ反応性試験ではともに基準値以下の結果が得られたが、第2期施工部の方が僅かに膨張率の高い結果が得られた。

6. 調査結果による評価

劣化状況調査の結果を基に補修対策の方向性をまとめる。中性化については、今後さらに進行すると鉄筋腐食を助長することになり、部材強度の低下がより早まることとなる。また、非常に大きな塩分量が認められており、内部鉄筋の腐食の進行も確認されていることから、塩害対策も不可欠である。さらに、現段階ではコンクリート強度は設計基準値を満足しているものの、今後の劣化の進行により設計基準値を満足できなくなり、大堰の通常利用（地震時を含む）においても支障が生じる事態が予想される。表面に現れている乾燥収縮が要因と考えられるクラック等については、躯体表面の比較的浅い部分であることから、今後、症状の進行により他の劣化要因の助長防止に配慮した補修が必要と考えられる。

一方、アルカリ骨材反応については、JCI法による促進膨張試験を実施した結果、何れの部位においても有害判定値（0.05%）を越える結果は得られなかったことから、今後、アルカリ骨材反応の進展による膨張を起こす可能性は低いと考えられる。

7. 補修・補強計画

(1) 補修対策

a) 補修対策基本方針

現状の調査結果より、コンクリート強度は設計基準値を満足できていること、鉄筋断面も大きな欠損が生じているような腐食もないことから、今後の部材強度に影響を及ぼすと考えられる中性化および塩害対策を実施する。なお、表面に劣化症状として現れているクラックや浮き部分については、部分的に断面修復を行うものとする。

b) 補修対策工法

門柱部及び堰柱部の補修対策工として中性化・塩害対策としての工法提案を行う。

門柱部は、水上施工が可能であり、堰柱部と比較して管理が容易であることから、施工が容易で経済的にも安価な断面補修＋防錆処理＋表面塗装を組み合わせた補修工法とする。

堰柱部は、水中部を含むため仮締切の設置が必要となり、施工が容易でないことから水中部の工期短縮を図ることに配慮し、コンクリートはつりが小さくてすむ電気防食を採用した。そのため、断面補修＋電気防食を組み合わせた補修工法とする。

(2) 耐震補強対策

a) 耐震対策の必要性

淀川大堰は、震度法（レベル1地震動）による耐震設計がなされているものの、設計時から基準書が改訂されているため、現行基準に対する耐震性能評価を行った。

現行基準に対する耐震性能検討結果より、レベル1地震動に対する被災想定箇所は、上屋床版部の流水方向梁部材に限られる。被災形態はせん断クラックの発生（許容値の約1.2倍）が想定され、地震後のゲート操作（水位維持、洪水時のゲート巻き上げ）が不能となる可能性がある。

さらに近年では、南海地震の発生が予測されており（今後30年間で発生する確率40%）、淀川大堰においても南海地震に対する耐震性能評価を行った。検討方法としては本来、南海地震を耐震性能の検討対象とする場合、南海地震における既往最大の地震動を対象として検討すべきである。しかしながら、当該施設位置での地震動を知ることは困難であるため、ここでは、「道路橋示方書・耐震設計編（H14）」に示される加速度分布（レベル2）を用いることとした。

レベル2に対する耐震性能検討の結果、堰柱部下部および門柱下部・上部においてせん断破壊が想定される。地震後の大堰では、せん断破壊面に沿った部材のズレ等により戸当たりの変形に伴うゲート操作困難な状況が発生することも予想される。

レベル1、レベル2とも、地震後はゲート操作が困難になり、湛水機能損失による水不足、あるいは洪水流下の妨害による氾濫等を招く可能性があり、多くの人々の生活に甚大な影響をあたえることが考えられる。

以上のような事態を避けるために、早急に機能補強対策を実施することが必要である。

b) 耐震対策基本方針

耐震性能評価より、レベル1地震動、レベル2地震動ともせん断耐力不足であることから、レベル1、レベル2どちらにも対応するよう、耐震対策（せん断補強）を実施する。

c) 耐震対策工法

門柱部及び堰柱部の耐震対策工としてせん断補強を目的とする工法提案を行う。

門柱部は、梁構造であることから、施工が比較的容易で施工実績も多い鋼板接着工法を採用する。

堰柱部は、壁式構造であることから、鋼板接着工法ではその効果が期待できないことから、橋脚の耐震補強で施工実績があるP C鋼棒を用いた補強として中間貫通P C鋼棒工法を採用する。

(3) 淀川大堰補修・補強計画

これまでの検討では、部位別に補修工法および耐震対策工法の提案を行った。実施に向けては、部位別に補修対策と耐震対策を併せ、以下にまとめる工法を採用工法

とした。

門柱部の補修・補強対策工法としては、断面修復+防錆処理+鋼板接着工法（表面塗装）を組み合わせた工法とする。また、堰柱部の補修・補強対策工法としては、断面修復+電気防食+中間貫通PC鋼棒工法を組み合わせた工法とする。

堰柱部において、水中部のコンクリート部材劣化はほとんど確認されなかったことから、水際部から下の補修対象範囲は、水位変動を考慮し平常時最低水位から1.0m低い位置までとする。平常時水位は、上流側が大堰運用の最低水位0.P.+2.50m、下流側が最低水位0.P.-0.30mとして補修範囲とする。

なお、補修・補強計画においては、第1・2期施工部ともに同工法としているが、劣化状況に差が確認されていることから、実施段階では断面修復厚さの設定等、劣化状況に合わせた対応が必要である。図-11に補修・補強計画の概略図を示す。

(4) 施工実施方針

大堰の補修および補強対策工事は水中での施工を必要とすることから、仮締切を行うための鋼製シェルが必要となる。しかし、鋼製シェルの製作費が大きく対策工事費の大部分を占めることとなる。そのため、コスト縮減への配慮として、鋼製シェルを転用し、対策工事費縮減、工期短縮を図ることを目的に補修・耐震対策を同時期に実施するものとした。

8. おわりに

検討委員会は平成16年7月に第9回委員会の開催をもって改組している。現在、検討委員会において設定された補修補強対策の実施方針に基づき実施設計を完了し、工事着手に向けて工程計画の最終調整の段階に至っている。

施工に際しては、大堰機能を維持しながらの施工に留意した年次計画、施工計画の設定が大きな課題となっている。鋼製シェルの転用による水中部の施工等、かなり危険性の高い工事でもあることから、高い技術の施工管理が求められる工事となる。

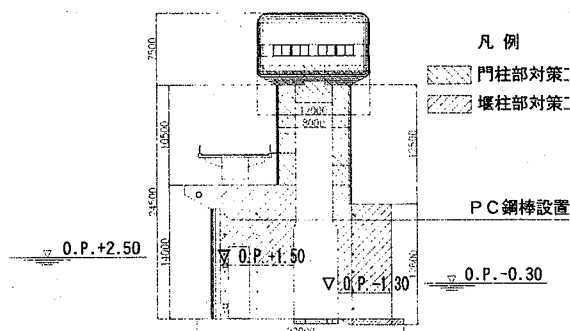


図-11 淀川大堰補修・補強計画概略図

今後は、工事の着手に伴い、未調査部位等、更に詳細な調査の実施も考えており、必要に応じて検討委員会を再開し、緊急検討の対応、工事状況報告等の必要性も想定しながら、工事を進めていく所存である。

また、今後の検討としては、補修後のモニタリングや補修サイクルを含めた維持管理計画の検討も必要となっており、河川構造物の延命化、恒久化対策も含めて検討を継続していくことが必要となっている。

謝辞：本検討の推進にあたっては、「淀川大堰補修計画策定検討委員会」の開催のみならず、個別のヒアリングに繰り返し対応していただいた中川博次先生、宮川豊章先生、角哲也先生、委員会運営に際してご尽力いただいた（社）近畿建設協会の皆様ならびに検討ワーキンググループで多大なご協力をいただいた関係部署の方々に、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会編，2001年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，pp.84-85，2001.
- 2) 古賀裕久ほか，平成11年度実態調査結果に基づく実構造物中のコンクリート品質に関する検討 セメント・コンクリート論文集，pp.599～606，2001
- 3) 財団法人土木研究センター技術研究所，建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発，1989.
- 4) 土木学会編，2001年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，pp.100，2001.

(2005. 4. 7 受付)