

芦田川河口堰の老朽化検討について

国土交通省中国地方整備局福山河川国道事務所	特別会員	今津 勉
国土交通省中国地方整備局福山河川国道事務所	特別会員	河内 俊雄
国土交通省中国地方整備局福山河川国道事務所	特別会員	○門田 直人

1. はじめに

芦田川河口堰（以下、河口堰という。）は、洪水の流下に必要な河積の確保、塩害の防止および福山臨海工業地帯に、工業用水を供給するための多目的な堰として建設されたもので、径間長 45m×門数 10 門（堰本体 P1～P11 の 11 基）からなる全長 450m の堰である（写真-1、図-1）。河口堰本体は昭和 50 年に建設された施設で建設後 42 年経過しており、長期的に治水・利水の重要な機能を確保していくためには、今後、戦略的な維持管理・更新を実施していく必要がある。この河口堰は、建設後約 10 年経過した昭和 61 年頃から躯体のひび割れや鉄筋露出が確認されており、その後補修されたが再びひび割れ等の劣化が生じている（表-1）。

そのため河口堰本体について、建設当時に使用されたコンクリートの材料調査や外観目視調査、構造物詳細調査などを行って劣化要因を特定し、今後の老朽化対策に対する取組方針を検討したので報告する。



写真-1 芦田川河口堰全景

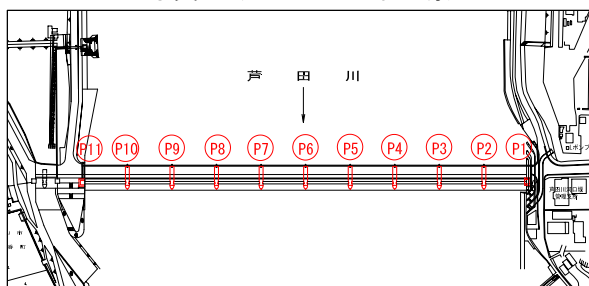


図-1 芦田川河口堰位置図

表-1 劣化の状況（例：P7 上屋）

昭和 61 年 （建設後約 10 年）	平成 29 年 （建設後約 40 年）
A photograph showing the concrete structure of the weir gate P7 in 1986. A red arrow points to a vertical crack in the concrete, labeled '鉄筋露出' (Reinforcement exposure).	A photograph showing the same concrete structure of gate P7 in 2017. A red arrow points to a surface crack, labeled '表面被覆上からのひび割れ' (Crack from the surface coating).

2. 河口堰の構造特性（使用材料）

河口堰の構造は大きく上屋・門柱・堰柱の 3 つの部位で構成（図-2）されており、建設当時のコンクリート配合を調査したところ、水際に近い門柱・堰柱は高炉セメント B 種、気中部の上屋は普通ポルトランドセメントが使用されていた。なお、門柱・堰柱に使用されている高炉セメント B 種は化学的な浸食に対し、優れた抵抗性を発揮するため、塩害やアルカリ骨材反応に対して有効なセメントである。

また、河口堰は計画高水流量の流下に必要な河積確保のため、河口から 7.8km 地点にあった草戸堰（潮止堰）を改築し、河口から 1.3km 地点に建設された堰である。河口堰の建設時に使用された細骨材は草戸堰から河口堰間の河道浚渫による河床砂であったため、建設当初から多くの塩分を含んでいた。

そのため、河口堰の躯体は部位毎に使用セメントが異なることや海砂を使用したために大量の塩分を建設当初から含んでいるという特徴を有する堰である。

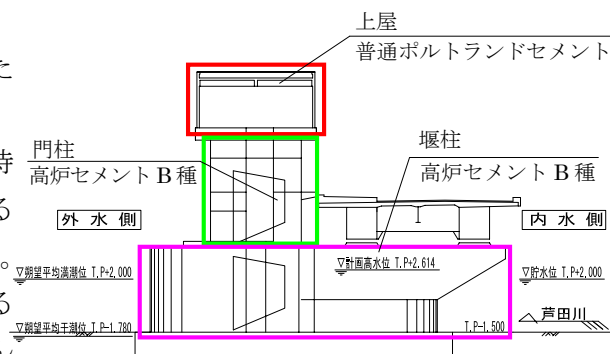


図-2 河口堰の構成

キーワード 経年劣化，外観目視調査，構造物詳細調査，内在塩害，モニタリング

連絡先 〒720-0031 福山市三吉町 4 丁目 4 番 13 号 国土交通省 中国地方整備局 福山河川国道事務所 河川管理課
TEL 084-923-2511

3. 河口堰の劣化状況について（外観目視調査）

河口堰における劣化の状況を把握するために外観目視調査を実施するものとした。河口堰ではこれまでに昭和61,62年、平成 18,25 年に堰本体の目視調査が実施されており、劣化の経年的な進行状況を把握するために P1～P11（図-1）の全箇所を対象に外観目視調査を実施した。また、目視調査にあたっては、平成 4 年頃に劣化補修と併せて表面被覆（下塗：エポキシ樹脂、中塗：ポリブタジエン樹脂、上塗：アクリルウレタン樹脂）が実施されているが、表面被覆工の上からでもコンクリートのひび割れ等が確認できたため、目視調査は表面被覆を剥がさずに実施した。調査結果を整理したものを表-2 に示す。

表-2 より 1.0mm 以上のひび割れ等の劣化が著しいのは普通ポルトランドセメントが使用されている上屋（図-3）であった。高炉セメント B 種が使用されている門柱・堰柱もひび割れ等は確認（図-4,5）されたが全体としては局所的な劣化で、構造上の安全性には問題ないものであった。そこで、劣化の損傷が著しい「上屋」に着目し、検討を行うものとした。

表-3 に各部位（上屋・門柱・堰柱）で顕著な劣化の進行があった P8 上屋における経年的な劣化の進行状況を示す。建設後約 10 年経過（昭和 61 年）してひび割れが確認され、その 5 年後（平成 4 年頃）に劣化の部分補修と表面被覆工による補修が行われた。その後一定期間は劣化が確認されていなかったが、建設後約 30 年経過（平成 18 年）して再びひび割れが確認された。そして、建設後約 40 年が経過した現在もひび割れは進行しており、更に構造物の詳細調査等を行って劣化の要因について検討するものとした。

表-2 河口堰の劣化の進行状況

部位	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
上屋	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○
門柱	○	△	○	○	△	△	△	◎	△	◎	○
堰柱	◎	◎	○	○	△	○	○	◎	◎	○	○

※P1～P11 の位置図は図-1 参照
◎：1.0mm 以上のひび割れや鉄筋露出が発生・拡大
○：0.5～1.0mm のひび割れや浮きなどが発生・拡大
△：0.5mm 未満のひび割れや被覆の浮き等の発生

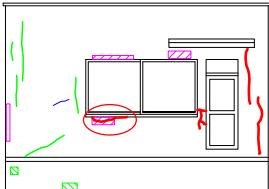


図-3 上屋の劣化状況（P8 南面）

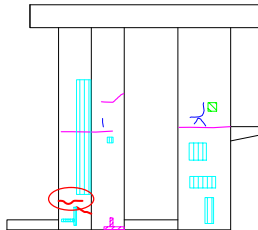


図-4 門柱の劣化状況（P8 西面）

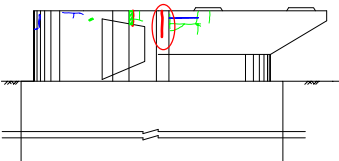


図-5 堰柱の劣化状況（P8 西面）

【損傷図凡例】

ひび割れ（開口幅0.2mm～0.5mm未満）	ひび割れ（開口幅0.5mm～1.0mm未満）	ひび割れ（開口幅1.0mm以上）	浮き	被覆の浮き	被覆の剥離
------------------------	------------------------	------------------	----	-------	-------

表-3 上屋のひび割れの進行状況（P8 西面）

昭和 61 年 （建設後約 10 年）	平成 18 年 （建設後約 30 年）	平成 29 年 （建設後約 40 年）

4. 構造物詳細調査

劣化の要因として考えられるアルカリ骨材反応による骨材の膨張や、塩害・中性化による鉄筋腐食膨張によるひび割れは配筋方向に沿って発生しやすい。河口堰のひび割れは配筋方向に多く発生しており、ひび割れの進行の要因を把握するため、以下の構造物詳細調査を行った。

4-1 圧縮強度・静弾性係数試験（アルカリ骨材反応関連試験）

アルカリ骨材反応調査は、圧縮強度試験、静弾性試験、コア観察を実施した。圧縮強度は27.0～31.8N/mm²であり設計基準強度 21N/mm²を上回る（満足する）結果であった（表-4）。静弾性係数は、P7 上屋では標準値の16.2～25.8kN/mm²の範囲内であったが、P6 上屋では下回る結果であった。また、コア観察では骨材周辺にゲル状もしくは白色の析出物が見られ、P6 の割裂面では反応環が見られた（写真-2）。

4-2 塩化物イオン濃度試験

塩化物イオン濃度試験を実施したところ、発錆限界値2.5kg/m³を大きく上回る塩化物イオン濃度が確認された（図-6）。ここで内在塩分のコンクリートは、練り混ぜ直後はコンクリート中に一様に分布するが、その後内部の塩化物イオンは表面に移動し、ごく表面近傍では雨等で溶出することから、コンクリート表面からある程度の深さの位置（30mm 付近）で塩化物イオン濃度は大きくなることが分かっている¹⁾。ここで、河口堰の上屋の鉄筋かぶりは30～50mm 付近であり、鉄筋付近に発錆限界値を超える塩化物イオンが存在するため、塩害による劣化が発生しやすい環境にあることが分かる。

4-3 中性化深さ試験

中性化試験は、構造物への影響が少ない非破壊試験方法であるドリル法（φ20mm 程度）で行った。中性化は、中性化の深さが残り10mm 未満となると腐食が生じる恐れがあるが、試験結果では中性化残り22.2mm で、中性化によるひび割れは発生していないと考えられる（表-5）。

4-4 はつり調査

鉄筋の腐食状況を直接確認するために、配筋方向に発生している①ひび割れ1.0mm 以上の箇所、②0.5mm～1.0mm の箇所、③0.2～0.5mm の箇所の3箇所ではつり調査を実施した（表-6、写真-3）。その結果、構造物に支障を来す断面欠損などの鉄筋腐食は確認されなかったが、かぶり厚の薄いP3・P8 上屋で表面錆が確認され、かぶり厚の厚いP10 上屋では腐食は見られなかった。そのため、門柱・堰柱よりかぶり厚の薄い上屋は、河口堰の中でも鉄筋の腐食が発生しやすい環境にあることが分かる。また、配筋方向にひび割れが発生している箇所ではつり調査を実施したが、アルカリ骨材反応の発生によるアルカリシリカゲルや反応環などの存在は確認されなかった。

表-4 圧縮強度試験

部位	圧縮強度 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)	標準値 (kN/mm ²)
P6	27.0	21.0	12.5	16.2～25.8
P7	31.8	21.0	20.5	16.5～25.8



写真-2 コア観察（P6 上屋）

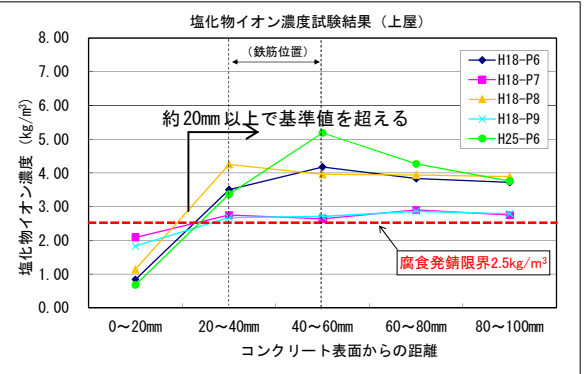


図-6 塩化物イオン濃度試験

表-5 中性化試験

部位	単位	中性化深さ	かぶり厚	中性化残り
P6	mm	19.8	42.0	22.2

※中性化残りについて
0mm 未満：腐食が生じる
0～10mm：場合によっては腐食が生じる可能性がある
10～30mm：将来的には腐食が生じる可能性がある

表-6 はつり調査結果

部位	ひび割れの状態	鉄筋の腐食状況	かぶり厚 (mm)
P3	③0.2～0.5mm	表面錆	35.0
P8	①1.0mm以上	表面錆	53.5
P10	②0.5～1.0mm	腐食なし	65.0



写真-3 はつり調査結果

5. 総合評価

河口堰の躯体は部位毎に使用コンクリートが異なり、外観目視調査結果では普通ポルトランドセメントが使用されている上屋の劣化が著しく見られた。そのひび割れは配筋方向に発生していることからアルカリ骨材反応、塩害、中性化の影響と考えられ、更に構造物詳細調査を行った結果、中性化は基準値を満足する値を示したが、施工当時の内在塩分が大量に残存していることが分かった。また、はつり調査ではほとんどの箇所では表面錆が確認されたが、アルカリ骨材反応に起因する析出物や反応環は見られなかった。そのため河口堰のひび割れの要因は塩害による可能性が高いと考えられる。塩害に伴うコンクリート表面のひび割れはかぶり厚との関係性が強く、門柱や堰柱のかぶり厚は 100mm 程度に対し、上屋のかぶり厚は 30mm 程度と薄い。表面ひび割れが発生するのに必要な腐食量は、鉄筋径とかぶり厚より算出²⁾すると、かぶり厚 30mm の場合 23.1mg/cm²、かぶり厚 100mm の場合 77.0mg/cm² と 3 倍以上の差があるため、上屋は表面錆程度でもひび割れが生じる可能性がある。ここで表面錆とひび割れの発生について考えると、河口堰上屋の鉄筋径 13mm、かぶり厚さ約 30mm で今回実施したはつり調査による表面錆の鉄筋腐食を約 0.5mm と仮定した場合、鉄筋腐食量は約 30.0mg/cm²³⁾ と推定でき、表面錆程度でもかぶりが薄い場合にはひび割れが発生する可能性がある(図-7)。従って、河口堰における劣化は、「内在塩害に起因した鉄筋腐食(表面錆)によるひび割れ」と推定することができ、劣化の要因は「塩害」と判断できる。なお、現状では鉄筋の腐食状況は表面錆程度であり、構造物の機能低下を伴うような腐食が生じていないのは、平成 4 年頃に表面被覆工による補修を行っていることが考えられる(写真-4)。塩害による鉄筋腐食は、適度な塩分+酸素+水分の供給により発生するが、表面被覆工により外部からの酸素と水分の供給が遮断されたため、鉄筋の劣化が進行しなかったものと考えられる。

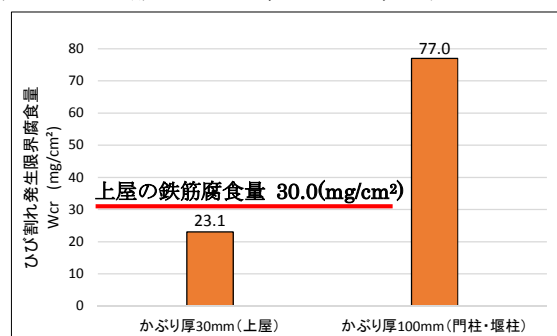


図-7 河口堰のひび割れ発生限界腐食量



写真-4 表面被覆工された河口堰

6. おわりに

本体完成から 42 年経過している河口堰は、建設後 10 経過した頃から躯体のひび割れや鉄筋露出などが生じ、補修により一定の効果は確認されるが、現在でも劣化が進行しており、その要因は「塩害」によるものと推定できる。河口堰は内在塩分を含んだコンクリートを使用した施設であり、施設の重要度からも改築を行うことは出来ず、補修を実施した暫定処置とせざるを得ない。今回行った調査内容や評価方法については「国土技術政策総合研究所」への相談・助言に基づき実施したが、この劣化要因の妥当性や今後の補修対策については必要に応じて同機関へ相談する予定としている。現時点においては、河口堰における老朽化の状況は堰の有すべき治水・利水機能に影響はないが、今後今以上に劣化が進行すると堰の機能を果たせなく可能性があるため、補修後の表面被覆の劣化状態やコンクリートのひずみなどに着目し、モニタリングを行いながら劣化の進行を遅らせて、河口堰を適切に管理していくこととなる。

参考文献

- 1) 社)建設コンサルタンツ協会 近畿支部：コンクリート構造物の検査・診断技術とそれに基づく補修に関する調査研究－塩害対策の現状と課題－，橋梁維持管理研究委員会調査研究報告書(その3)，p.157，2009
- 2) 土木学会：コンクリート技術シリーズ No.99 コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会(388委員会)委員会報告書(その2)およびシンポジウム論文集，p.29，2012
- 3) 橘高義典，LE PHONG NGUYEN，塚越雅幸，松沢晃一：鉄筋コンクリート表面のひび割れ発生時の鉄筋腐食量に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.1145-1150，2011