約55年間供用された堰堤コンクリートの塩化物イオン浸透深さ
—行徳可動堰改築工事　工事報告—

国土交通省　関東地方整備局　正会員　山下武宣
鹿島建設株式会社　東京土木支店　正会員　○支倉満　朝倉良介
鹿島建設株式会社　技術研究所　正会員　渡邉賢三　小林聖　木村彩永佳　フェロー　坂田昇

1．背景および目的

行徳可動堰は竣工から約55年が経過しており，設備の老朽化が顕在化している。そこで，設備の更新に合わせ，中性化や塩害に対する経年劣化対策および耐震補強を目的として，平成22年度から補修・補強工事を実施している。ここで4つのコンクリート製の堰柱は上流側に河川水，下流側に海水が接触する環境であり，コンクリート内部には外部からの浸透による塩化物イオン（以下，Cl^-）の増加が予想された。補修工事においては，Cl^-の浸透量および浸透深さを把握し，はつり深さを適切に設定して内在塩分を撤去することで，マクロセル腐食などによる早期再劣化を防止することが重要となる。本報告では，堰柱の補修・補強に際して測定したコンクリート中のCl^-量ついて，その結果を報告する。

2．行徳可動堰の堰柱コンクリートに関する情報

写真-1に行徳可動堰の堰柱を示す。4つの堰柱は，上流側で河川水，下流側で海水と接触しており，海水側は潮位によって約2.0mの干満帯が存在する。本報告では，下流側の海水と接触していた個所を中心に分析を実施した。

行徳可動堰の建設における各種情報が当時の仕様書，写真[1)]から得られており，Cl^-の浸透性に関係すると推測される事項について，その概要を**表-1**に示す。普通ポルトランドセメント，最大寸法100mmの粗骨材が用いられ，セメント：細骨材：粗骨材のかさ体積比で1:3:6もしくは1:2:4の配合で，スランプ5cmの硬練りコンクリートを直径10cmの大型バイブレータで入念に締固めていたことが分かっている。

写真-1　可動堰の状況写真

表-1　材料，配合，施工の概要

大項目	項　目	摘　要	
材料	セメント	普通ポルトランドセメント	
	水	水道水	
	粗骨材	最大寸法100mm	
	混和剤	AE剤使用	
配合	配合※1	1:3:6	1:2:4
	セメント量	240 kg/m^3	300 kg/m^3
	粗骨材量※2	1.04 m^3	1.0m^3
	スランプ	5cm	
施工	振動機	径10cm挿入型を4台	

※1：セメント：細骨材：粗骨材のかさ体積比　※2：かさ体積

3．コンクリート試験

3.1 コンクリート中のCl^-量の測定方法

図-1にCl^-の測定位置を示す。2号堰柱を対象として，気中（コアNo.1,2），干満帯(コアNo.3,4)，海水中(コアNo.5,6)の3種類の環境条件から2本ずつ合計6本のコアを採取した。採取したコアは，0～10，30～40，60～70，90～100，120～130mmの5箇所をドライカットでスライスして取り出し，全量を粉砕して試料とした。測定対象は全塩化物イオン量とし，JIS A 1154に示す電位差滴定法で求め，コンクリートの単位容積質量を2300kg/m^{3}と仮定してCl^-の濃度分布を算出した。なお，測定は3回行い，平均値にて評価した。

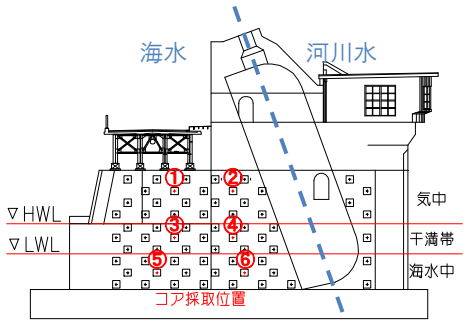

図-1　可動堰からのコア採取位置

3.2 Cl^-量の測定結果および考察

図-2に2号堰柱コンクリートのCl^-の濃度分布を示す。全てのコアにおいて表面から30mmの位置では塩化物イオン量が0.5kg/m^{3}以下

キーワード：　塩害，塩化物イオン，拡散係数，表面塩化物イオン量，補修，60年
連絡先　　〒272-0014　千葉県市川市　　TEL　047-379-0521

と少なく，Cl^-がごく浅い位置でとどまっている結果となった。この理由として，単位水量の少ない硬練りコンクリートが入念に締め固めて打ち込まれたこと，粗骨材最大寸法が 100mm であり，モルタル分の少ない物質遮断性に優れたコンクリートが使用されていたこと，河川の伏流水などによって下流側の Cl^-濃度が実際の海よりも低くなっていたことなどが推測された。また，海水との接触の条件で Cl^-の浸透量を評価すると，海水中(コア No.5,6)＞干満帯(コア No.3,4)≒気中(コア No.1,2)の順となった。海水中に比べ，干満帯や気中の Cl^-量が小さくなったのは，干満帯では海水に浸漬される時間，回数が比較的少ない箇所からコアが採取された可能性があること，気中では海水の飛沫量が少なかったことが考えられた。

3.3 表面塩化物イオン量，拡散係数の算定および考察

図-2に示す結果から算定した表面塩化物イオン量(以下，C_0)と見掛けの拡散係数（以下，Dk）を**表-2**に示す。C_0，Dk は，Fick の拡散則に従って算定した値と実測値との差異を最小二乗法によって最小となる C_0，Dk を繰返し演算して算定した。その結果を**表-2**に示す。なお，表には示方書[2)]に準じて算出した C_0，Dk（普通ポルトランドセメント，水セメント比＝50%）を併記する。また，気中 No.2 は Cl^-の濃度分布が確認できなかったことから，表には示すものの，考察からは除くこととした。C_0 は，気中および干満帯で 1～2kg/m^3 程度，海水中で 3.5kg/m^3 程度で，示方書の C_0 は，汀線付近で 9.0kg/m^3，飛沫帯で 13.0kg/m^3 とされており [2)]，これらと比較しても著しく小さい値となった。また，Dk は示方書で算出される値に対して約 1/10 あるいはそれより小さい値となった。このように C_0，Dk が小さいのは，上述のとおり，水が少なく粗骨材体積の多い硬練りコンクリートを入念に締め固めたこと，塩害条件としては比較的マイルドな環境であったことが理由として考えられた。

実測および示方書に準じて算出したそれぞれの C_0，Dk に基づいてコンクリート中の Cl^-濃度分布を算出した。その結果を**図-3**に示す。実測値および示方書から算定した濃度分布ともに，はつり深さとしている 90 ㎜より深部の Cl^-濃度は，鋼材腐食発生限界濃度以下となっており，マクロセル腐食を防止できるものと推測された。

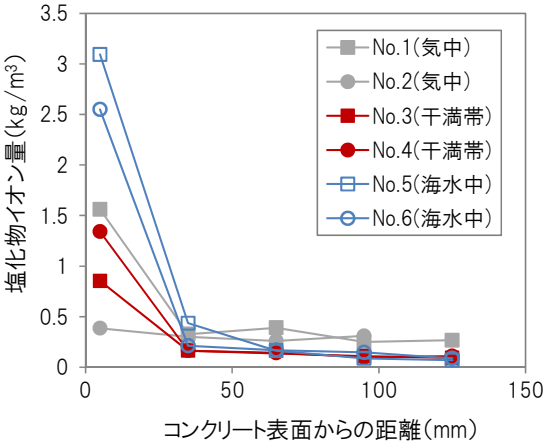

図-2 塩化物イオン量の濃度分布

表-2 算定した表面塩化物イオン量(C_0)と見掛けの拡散係数(D_k)

環境	コア	C_0 (kg/m^3)	D_k (cm^2/年)
気中	No.1	2.09	0.053
	No.2	0.38	5.424
干満帯	No.3	1.05	0.052
	No.4	1.70	0.038
海水中	No.5	3.77	0.045
	No.6	3.26	0.032
示方書[設計編][2)]		—	0.501

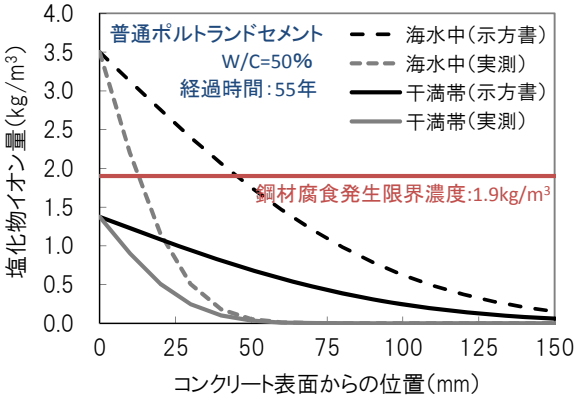

図-3 コンクリート中の Cl^-濃度分布の算定結果

4．まとめ

行徳可動堰の 2 号堰柱から採取したコンクリートには，表面塩化物イオン量の最大で 3.5kg/m^3 程度の比較的少ない量の塩分が検出される程度であった。また，拡散係数は示方書から求まる値の 1/10 程度以下であり，塩分遮断性に優れたコンクリートであることを確認した。

本工事では表面から 90 ㎜以上をはつり深さと規定していることから，内在塩分は十分に撤去できているものと考えられた。

参考文献

1) 行徳可動堰リニューアル工事，http://www.gyoutoku-kadouzeki.com/

2) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編],pp.148-157,2012