

報告 韓国ソーレ橋の塩害対策

木村 哲士*1・丁 海文*2・安 泰松*3・池 翰相*4

要旨：韓国西側黄海沿岸に位置するソーレ橋の塩害対策を行う機会を得た。黄海沿岸は世界でも有数の干満差があることで知られているが、対策工法を検討するにあたり、この大きな干満差を考慮した対策工法を選定する必要があるがあった。1日の施工時間約6時間の中で可能な対策工法を模索した結果、FRP埋設型枠を用いた電気防食が最適であると考えた。

施工の結果、今回採用した工法は干満差の大きい場所においても施工可能であることを確認した。

キーワード：干満帯、電気防食、FRP埋設型枠、塩化物イオン量、飛来塩分量

1. はじめに

韓国の高速道路は1968年から建設がはじまり、計画延長6000kmのうち、本年度までに約2000kmの建設が完了し、供用されている。

過去に建設された橋梁は施工後35年程度経過しており、日本と同様、新規整備事業を行いつつながら建設済みのストックのメンテナンスを行う必要性に迫られている。

本稿で報告する工事は、韓国西側の黄海沿岸、仁川（インチョン）近郊の入り江に架かるソーレ橋の塩害対策を目的に行うものである。

黄海沿岸は世界でも有数の干満差があることで知られている。本橋梁の対策を検討するにあたり、この大きな干満差を考慮した対策工法を

提案する必要があるがあった。

特徴的な塩害環境と損傷状況・施工条件を考慮して対策工法を模索した結果、飛沫帯部には保護塗装を、干満帯部にはFRP埋設型枠を用いた電気防食を行うことにした。

日本では干満帯部の電気防食例として、港湾構造物等への適用事例が報告されているが^{1), 2), 3)}、韓国黄海沿岸のように干満差の大きい構造物に適用した例は稀である。

また、韓国の高速道路において、電気防食の適用は初めてであった。

本稿は、韓国の塩害環境を紹介するとともに、調査から施工にいたるまで、特に電気防食工法を中心に報告するものである。

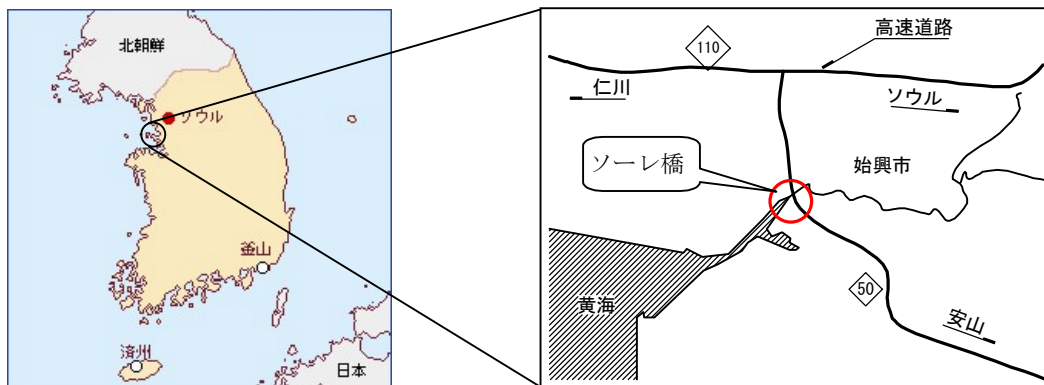


図-1 現場位置図

*1 ショーボンド建設株式会社 補修工学研究所 材料研究室 工修 (正会員)

*2 韓国道路公社 道路交通技術院材料環境研究グループ Ph.D. (正会員)

*3 韓国道路公社 道路交通技術院材料環境研究グループ長

*4 韓国ショーボンド建設

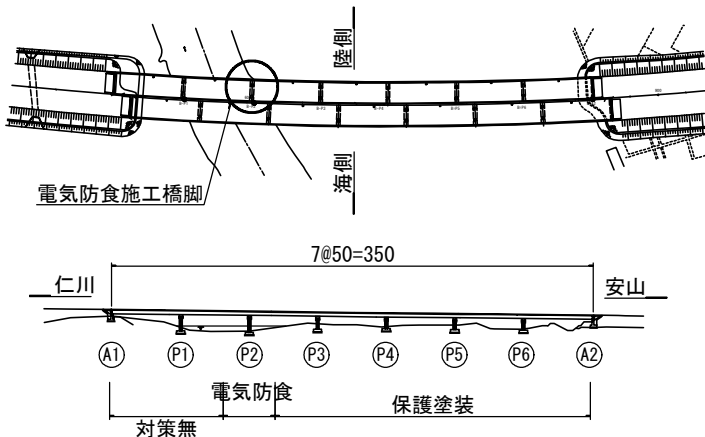


図-2 ソーレ橋一般図 (単位:m)



写真-1 ソーレ橋P1-P2

表-1 主要地方の干満差

地名	隣接海洋名	大潮差 (m)	小潮差 (m)
韓国(インチョン)	黄海	8.1	3.5
韓国(プサン)	日本海	1.2	0.4
日本(東京芝浦)	太平洋	1.5	0.5

2. ソーレ橋の概要と塩害環境

図-1に現場位置図を図-2に一般図を示す。また、以下にソーレ橋の概要を示す。

- 場所：大韓民国京畿道始興市月串同
- 路線：50号線
- 橋長：350m
- 幅員：15.5m
- 対策範囲：P2～P6 橋脚
- 供用年数：10年(2003年時点)

表-1に韓国の主要地方の干満差を、図-3に飛来塩分量の測定結果を示す。

本橋梁が位置する仁川(インチョン)付近の干満差は、日本近海と比較しておよそ4～6倍も大きい⁴⁾。一方、飛来塩分量は塩害の厳しい日本海側(例：秋田岩城町)と比較すると1/300程度であった⁵⁾。飛来塩分量の少ない原因は、干満差が大きいことに加え、しぶきの発生原因となる岩場などの立地条件に起因するものではないかと考えられる。

写真-1にP1-P2の写真を示す。写真のとおりP1からP2は、入り江の中に位置している。この入り江の干満差は大潮差で約9.0mもあるため、干潮時にはフーチング上で作業が可能となる。しかしながら、干満差が大きいために潮流が早いうえ、1日の施工時間は大潮時で6時間程度しかなかった。また、近接して海産物の市場があり、水揚げのための小型船舶の往来も多いため、船舶と脚や足場等との衝突などに配慮する必要があった。

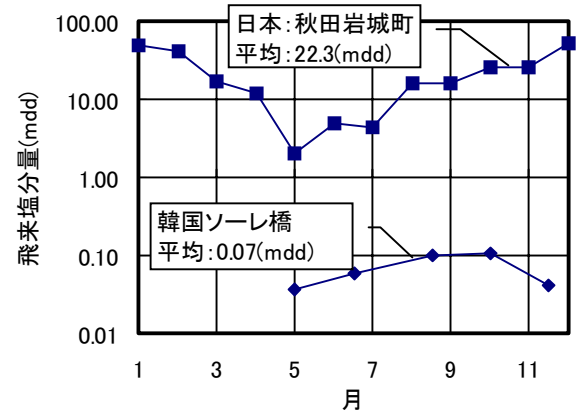


図-3 飛来塩分量(土研式塩分捕集器による)

3. 損傷状況の確認

橋脚の損傷状況を確認するため、事前調査として行った調査項目を表-2に示す。調査位置の詳細は図-4に示すとおりである。

外観調査の結果、橋脚下部に2ヶ所の豆板があったが、鉄筋腐食に起因する浮きや剥離などの損傷は認められなかった。

図-5にP2橋脚の塩化物イオン量の分析結果を示す。塩化物イオン量の分析には、H.W.L.以下の3箇所より採取したコアを用いた。

表-2 調査項目一覧

調査項目	調査方法概要
外観	目視
腐食状況	はつりによる腐食確認
自然電位	ASTM判定基準 測定:飽和硫酸銅電極による。
塩化物イオン量分析	JCI-SC4に準ずる。

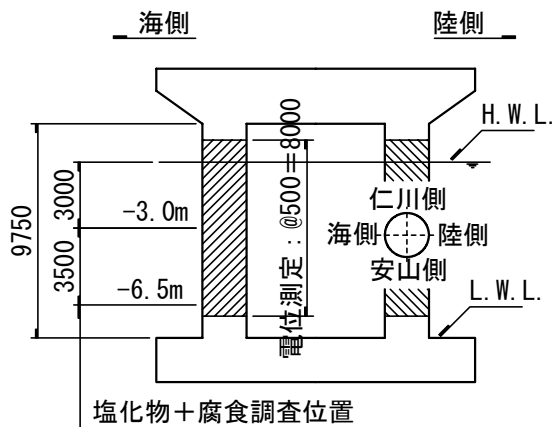


図-4 調査位置図 (単位:mm)

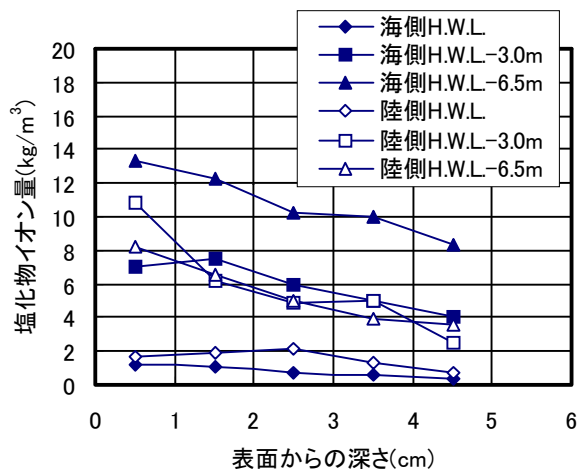


図-5 塩化物イオン量分析結果 (P2)

コンクリート表面の塩化物イオン量は、H.W.L.以下において7~13kg/m³であった。一方、H.W.L.付近では表面でも1~2kg/m³程度であった。なお、かぶりは大きいところで7cm、少ないところで2cm程度であった。

図-6に自然電位測定結果の代表例を示す。参考に腐食の有無と程度を合わせて示した。なお、測定には飽和硫酸銅電極を用い、P2橋脚の陸・海側各脚について4測線の測定を行った。

自然電位の測定結果より、H.W.L.以上の部分においては、腐食無と判断された。一方、それ以下では、H.W.L.-0.5~-1.5m付近で一旦卑になったあと、-4.0m以下では約800mV程度と極端に卑な値を示していた。通常であれば鉄筋が腐食している電位であるが、この部分の鉄筋の腐食が軽微であったことを考慮すると、-4.0m以下における電位は、コンクリート中の溶存酸素が少ないことに起因するものと判断した。

以上より、橋脚の劣化程度を塩害の劣化過程に対応させると進展期に相当するものと考えた。

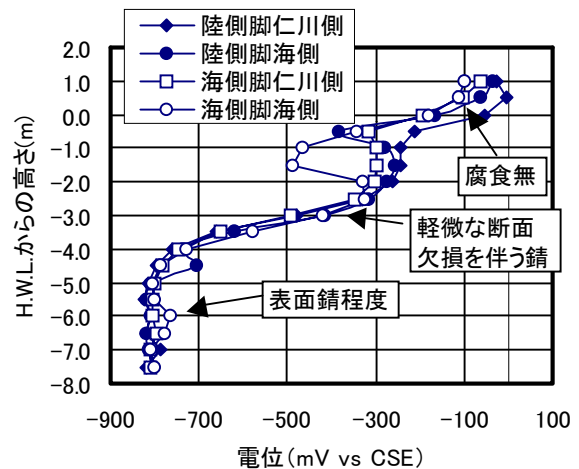


図-6 自然電位測定結果 (P2)



写真-2 鉄筋腐食状況 (H.W.L. -6.5m 付近)

4. 工法の選定

前述の環境条件および施工条件、調査結果を基にした工法選定の必要条件を以下に示す。

- ①鉄筋腐食を抑制できる工法であること
- ②作業時間を6時間/日以内にできること
- ③短期間で施工ができること

なお、③は施工中に船舶が足場等に衝突する確率を小さくするためである。対策工法には、表面被覆工法や断面修復工法、電気化学的工法(電気防食、脱塩)が考えられる。塩化物イオン量の測定結果から、表面被覆工法単独では鉄筋腐食抑制効果がないことが明らかである。また、脱塩工法は数ヶ月の通電が必要であり、船舶衝突等によるアルカリ溶液流出の危険性があったために採用できなかった。

断面修復工法の場合、塩化物イオン量の調査結果から全体的に 50mm 以上は取り取ることが必要となる。また、単独では再び塩化物イオンが浸透するため、なんらかの被覆工法との併用が必要である。一方、電気防食工法の場合、照合電極埋設部以外のはつりは必要ないため、電気防食工法は断面修復工法と比較して工程的に有利であった。以上より、電気防食工法を採用することにした。ここで、作業時間を 6 時間以内にとともに、効率的に施工するため FRP 埋設型枠を利用する方式とした。

なお、自然電位と腐食程度の調査結果から、橋脚下部まで防食を行う必要性は小さいとも考えられるが、干満差が大きいという条件下における防食効果の知見を得るため、試験的にフーチングまで防食を行うことにした。

H.W.L.より上の飛沫帯は、飛来塩分が少ないので試験的にシラン系の撥水塗装を行うことにした。さらに、陸上に位置する橋脚に関しては予防的に表面保護塗装を行う計画とした。

以下、本橋梁で行った電気防食について紹介をする。

5. 電気防食工

5.1. 電気防食の施工

本橋梁における電気防食工の施工フローを図-7に、電気防食の施工概要を図-8に示す。参考に施工時間と施工順序を図中に示した。

本橋梁における施工の特徴は、FRP 型枠の設置からモルタル注入までの工程を 1 リフト毎に行う方式を採用したことである。

以下に各工程の概要を紹介する。

① 付着物除去

コンクリート表面に付着した生成物等の除去とコンクリートとモルタルの一体化を確保するため、ウォータージェットにて表面処理を行った。ウォータージェットの水压は 3Mpa 程度であり比較的低压であったが、効率的に付着生成物の除去作業ができた。状況を写真-3に示す。なお、水処理等は行っていない。

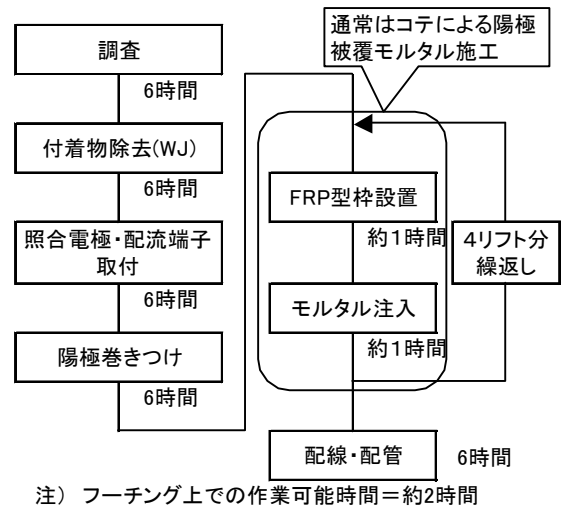
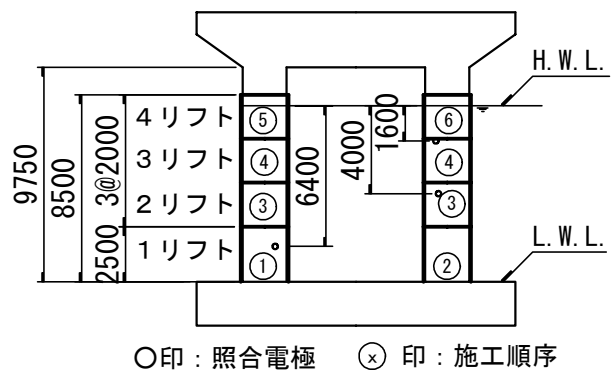


図-7 施工フロー



○印：照合電極 ×印：施工順序

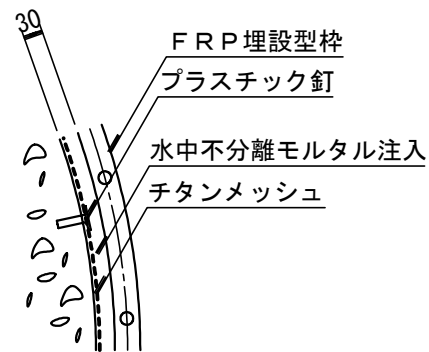


図-8 施工概要 (単位: mm)



写真-3 表面処理 (WJ) 状況

②照合電極の設置

鉄筋の腐食状況を考慮して、照合電極を3箇所にて設けた。なお、使用した電極は銀塩化銀（Ag/AgCl）電極である。

③陽極の設置

陽極は脚に巻きつけるように設置し、プラスチック釘にて固定した。

④FRP型枠の設置

FRP型枠は現地にて組立作業を行うことを考慮して2分割の半円形とした。FRP型枠を写真-4に、設置状況を写真-5に示す。型枠には大きく設置位置がずれないようにするため、あらかじめスペーサを数箇所設置した。また、グラウトの流出を防止するために接合部分には弾性ゴム系のシールテープを設置した。

表-3 FRP埋設型枠の物性

項目	基準	単位	試験結果
圧縮強度	ASTM D 695	N/mm ²	201
引張強度	ASTM D 638		114
曲げ強度	ASTM D 790		174

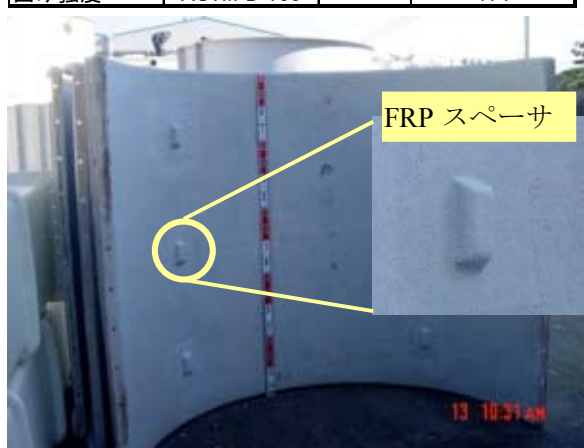


写真-4 FRP埋設型枠



写真-5 型枠設置状況

FRP型枠は、モルタル硬化までの間自立させておくこと、側圧および注入圧によるたわみを防止することが重要である。そこで本工事では厚さ8mmのFRP積層板を使用した。

FRPの基本物性を表-3に示す。

なお、型枠固定に使用するアンカーボルト等にはステンレス製のボルトを使用した。

⑤モルタルの注入

モルタル硬化前に潮位が上がるため、早強ポルトランドセメントをベースとした水中不分離注入モルタルを使用した。注入モルタルの物性を表-4に示す。

モルタルの注入は吐出量10ℓ/minのモルタルポンプにて行った。注入厚さは3cm、注入高さは型枠の天端-5cmまでとした。各リフトの注入時間は約1時間であった。

表-4 注入モルタルの物性

項目	基準	単位	試験結果
流動性(J ₁₄ ポート)	JSCE-F 541	sec	6.2
圧縮強度	ASTM C 109	N/mm ²	49.6
曲げ強度	ASTM C 293		10.0
付着強度	ASTM C 952		2.5

⑥配線配管

制御ボックスと陽極、照合電極等の配線を行い、防食回路を形成した。

大潮時に潮位がフーチング以下になる時間は1~2時間であったが、この方式で施工することにより、型枠設置から注入まで2時間程度で終わることができた。



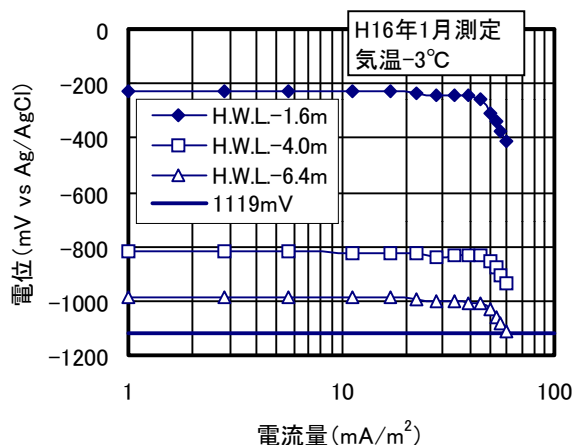
写真-6 完成

その結果、実質 11 日で電気防食部分の施工を行うことができた。

完成写真を写真－6 に示す。

5.2. 通電試験結果

分極試験結果を図－9 に示す。また、100mV 分極時の電流密度計算結果を表－5 に示す。



図－9 分極試験結果

表－5 100mV 分極時の電流密度

位置		100mV分極時 電流密度計算値 (mA/m ²)
脚	深さ	
陸側	H.W.L.-1.6m	52.0
	H.W.L.-4.0m	56.8
海側	H.W.L.-6.4m	56.1

防食面積: 106.76m²

図中の 1119mV のラインは、日本の防食基準⁶⁾に記載されている防食基準電位 (-1000mV vs CSE) を Ag/AgCl 電極基準に換算したラインである。

100mV の分極に必要な電流密度は、大気中の一般的な電流密度 (10~30mA/m²) より大きくなった。また、H.W.L.-6.4m 地点では、他に比較して自然電位が卑であったため、通電により前述の防食基準電位を下回ることが懸念された。しかし、今回の試験の範囲では、防食基準より卑な電位にはならなかった。

今後、定電流での通電を行い、干満差に伴う電位変化の確認を行うとともに、コンクリート構造物の海中での防食基準⁷⁾に対応した通電を行うことにより種々の検討を行う予定である。

6. まとめ

本稿では、韓国の塩害環境を紹介するとともに、その環境に対応した対策方法を提案・施工した。その結果、以下の知見を得た。

- ①韓国黄海沿岸の塩害環境は、干満差が大きく、飛来塩分量が少ない。
- ②韓国黄海沿岸において塩害対策を行う場合には、大きな干満差を考慮する必要がある。
- ③FRP 型枠を用いた電気防食工法を適用した結果、施工の省力化が可能となり、干満差が大きな場所でも短時間で施工できることを確認した。

今後も国内外での研究結果の確認を行いながら、通電方法等の検討を進める所存である。本橋梁での施工や試験結果が電気防食工法の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 川俣孝治ほか：永久型枠式陽極を用いた電気防食工法による塩害劣化構造物の補修，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17, No.2, pp101-106, 1995
- 2) 川俣孝治ほか：コンクリート構造物干満帯部への電気防食法の適用に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18, No.1, pp831-836, 1996
- 3) 峰松敏和ほか：干満帯におけるコンクリート構造物の電気防食に関する一考察，土木学会第 48 回年次学術講演会概要集第 5 部，pp278-279, 1993
- 4) 理科年表国立天文台編，丸善，1995
- 5) 徳重英信，荒関理，木村哲士：秋田県沿岸部における飛来塩分に対するコンクリート塗装の影響，土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集，pp582-583, 2003
- 6) 社) 土木学会：電気化学的防食工法設計施工指針 (案)，pp67-68, 2001
- 7) 日本コンクリート工学協会：海洋コンクリート構造物の防食指針 (案) -改訂版-，pp29-32, 1990