

(29) 波形鋼板ウェブ橋における埋込み接合部の腐食特性

小野 聖久¹・長田 光司¹・桜田 道博²・大浦 隆²

¹正会員 日本道路公団試験研究所 橋梁研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)

²正会員 プレストレストコンクリート建設業協会 (〒162-0821 東京都新宿区津久戸町4-6)

E-mail:m-saku@psmic.co.jp

波形鋼板ウェブ橋における埋込み接合部の腐食耐久性を検討するため、埋込み接合部をモデル化した供試体の促進腐食実験を行い、シーリング材の有無、鋼材とコンクリートとの付着、塗装のコンクリートへの埋込み長、等の要因が埋込み接合部の腐食特性に及ぼす影響を検討した。実験の結果、シーリング材の有無と塗装のコンクリート中への埋込み長は埋込み接合部の腐食耐久性に大きな影響を及ぼすこと、およびシーリング材を設置することにより埋込み接合部の腐食耐久性が大きく向上すること、等が確認された。

Key Words : corrugated steel web, embedded connection, durability, accelerated corrosion test

1. はじめに

波形鋼板ウェブを有する複合 PC 橋(以降、波形鋼板ウェブ橋)においては、コンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合構造が橋梁の性能や工事費に大きく影響する。床版とウェブとの接合部には、図-1 のとおり、いくつかの種類があるが、埋込み接合はフランジプレートが必要としないため疲労耐久性¹⁾²⁾およびコストの面で有利となる。しかしながら、埋込み接合では波形鋼板ウェブが直接コンクリートに埋め込まれていることから、鋼板とコンクリートとの境界から水が浸入し、埋め込まれた鋼板が腐食することが懸念される。これまでの実績では図-2 のようにウェブとコンクリートとの境界部をシーリング材で防水処理することで腐食対策を実施しているが、埋込み接合部の腐食メカニズムやシーリング材が接合部の腐食耐久性に及ぼす効果は明らかになっていないのが現状である。そこで、埋込み接合をモデル化した供試体により促進腐食試験(複合サイクル塩水噴霧試験)を実施し、シーリング材の有無、コンクリートと鋼材との付着等の要因が埋込み接合部の腐食耐久性に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

(1) 供試体

供試体の諸元および供試体一般図をそれぞれ、表-1および図-3に示す。供試体は、鋼材をコンクリートで巻いたものとし、①コンクリートと鋼材の付着、②塗装の埋

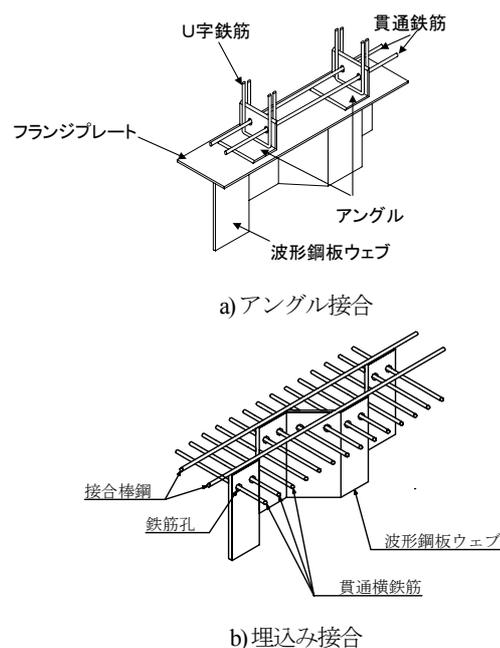


図-1 波形鋼板ウェブ橋の接合方法

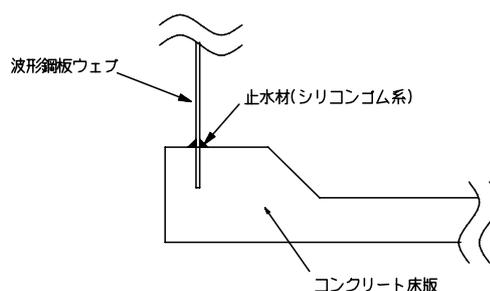


図-2 埋込み接合部の防食対策

表-1 供試体の諸元

№	付着	鋼板の塗装		塗装の埋込み深さ	シーリング材	備考
		埋込部	露出部			
1	有	プライマー	塗装	20mm	有	本谷橋 ⁴ 接合部と同様
2	有	プライマー	塗装	20mm	無	
3	有	裸	塗装	20mm	無	
4	無	裸	塗装	20mm	無	
5	無	裸	塗装	0mm	無	
6	無	裸	塗装	-5mm	無	
7	無	裸	塗装	-5mm	有	
8	有	裸	裸	—	無	

込み深さ、および③シーリング材の有無、等をパラメータとした8種類とした。付着なしの供試体は、外力を加えてコンクリートと鋼材との付着を切断した。供試体8以外の鋼材はコンクリートに埋め込まれる部分以外はI塗装系で塗装し、埋め込まれていない部分が腐食しないようにした。

(2) 複合サイクル試験

促進腐食試験には塩水噴霧複合サイクル試験機を使用した(写真-1)。試験条件は図-4に示すとおり、屋外暴露試験との相関が高いとされているS6サイクル(S60年通産省)とした^{3,6)}。各供試体の腐食条件が均等になるよう供試体は定期的にローテーションさせた。なお、複合サイクル試験開始時のコンクリートの材齢は7日であった。

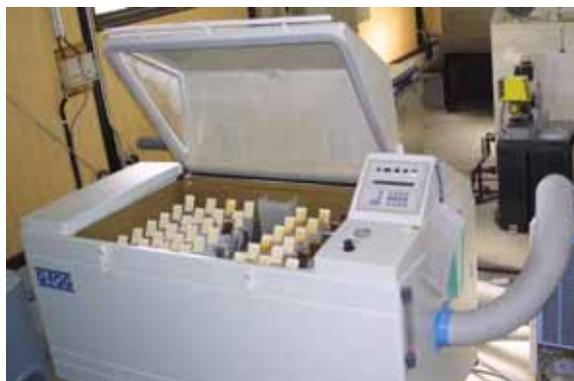


写真-1 複合サイクル試験機

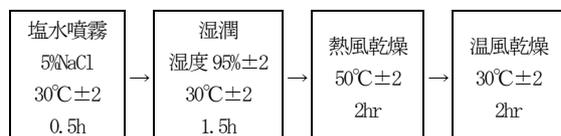


図-4 試験条件(S6サイクル)

(3) 使用材料

本実験における使用材料、コンクリートの示方配合および強度性状をそれぞれ表-3、表-4 および表-5に示す。

(4) 複合サイクル試験後の測定

複合サイクル試験におけるサイクル数が360cyc、

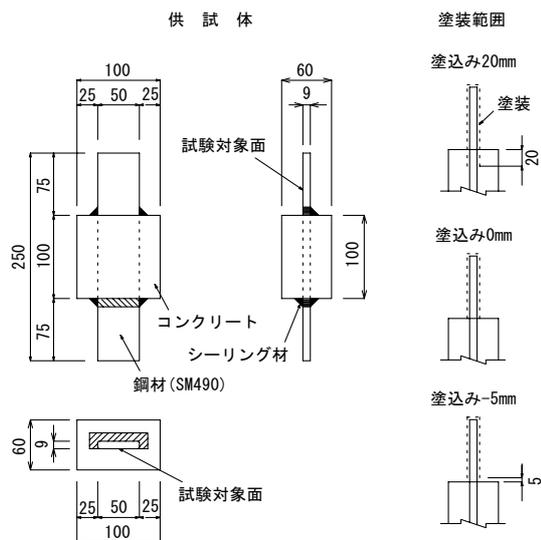


図-3 供試体一般図

表-3 使用材料

材料	記号	摘要
セメント	C	早強セメント, 密度 3.14g/cm ³
練混ぜ水	W	上水道水
細骨材	S	砕砂, 表乾密度 2.57g/cm ³ , 吸水率 2.59%, FM2.95
粗骨材	G	砕石, 表乾密度 2.68g/cm ³ , 吸水率 0.52%, 実積率 60.0%, 最大寸法 15mm
高性能 AE 減水剤	SP	マイティ 21WH
AE 剤	AE	マイクロエア
鋼板	—	SM490A, 250×50×9mm
シーリング材	—	シリコーン系(1成分形)
コーティング材	—	シリコーン系(1成分形, 低粘性)

表-4 コンクリートの示方配合

W/C (%)	Air (%)	単位量(kg/m ³)				SP 添加量 (C×%)	AE* 添加量 (C×%)
		W	C	S	G		
45	4.5	170	378	814	933	0.30	0.10

* AE 剤は 10 倍に希釈したものを使用

表-5 コンクリートの強度性状

	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)
圧縮強度*	12.7	53.4

*標準養生

600cyc および 720cyc になった段階で、供試体を取り出し、コンクリートを割裂した後、内部の観察および鋼板厚の測定、等を行った。鋼板厚は図-5 に示すグリッド位置で測定した。なお、鋼板厚を測定する前には鋼板の除錆(10%クエン酸アンモニウム浸漬)を行った。

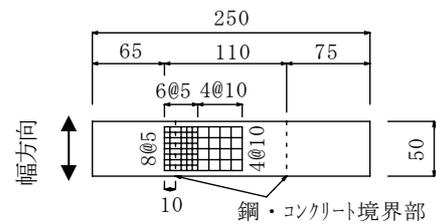


図-5 鋼板厚の測定位置

(5) EPMAによる分析

塩化物イオンがどのように接合部の内部へ浸透するかを検討するため、供試体コンクリートを EPMA により分析した。分析面は図-6 のとおりである。分析の対象とした供試体は、供試体 3, 4 および 7 とした。

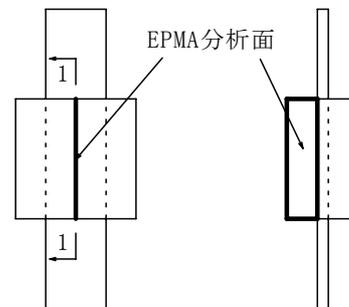


図-6 EPMA 分析面

3. 実験結果および考察

(1) コンクリート内部の状況

720cyc における各供試体の腐食状況を写真-2 に示す(供試体 2 のみ 600cyc)。シーリング材を有する供試体(供試体 1, 7)はコンクリート内部の鋼板に腐食は認められないが、それ以外の供試体はコンクリートの内部の鋼板に腐食が認められる。シーリング材がない場合は、附着

の有無、プライマーの有無にかかわらず、コンクリート内部の鋼板が腐食する可能性があることを示している。シーリング材がなく、塗装がコンクリート内に埋め込まれ

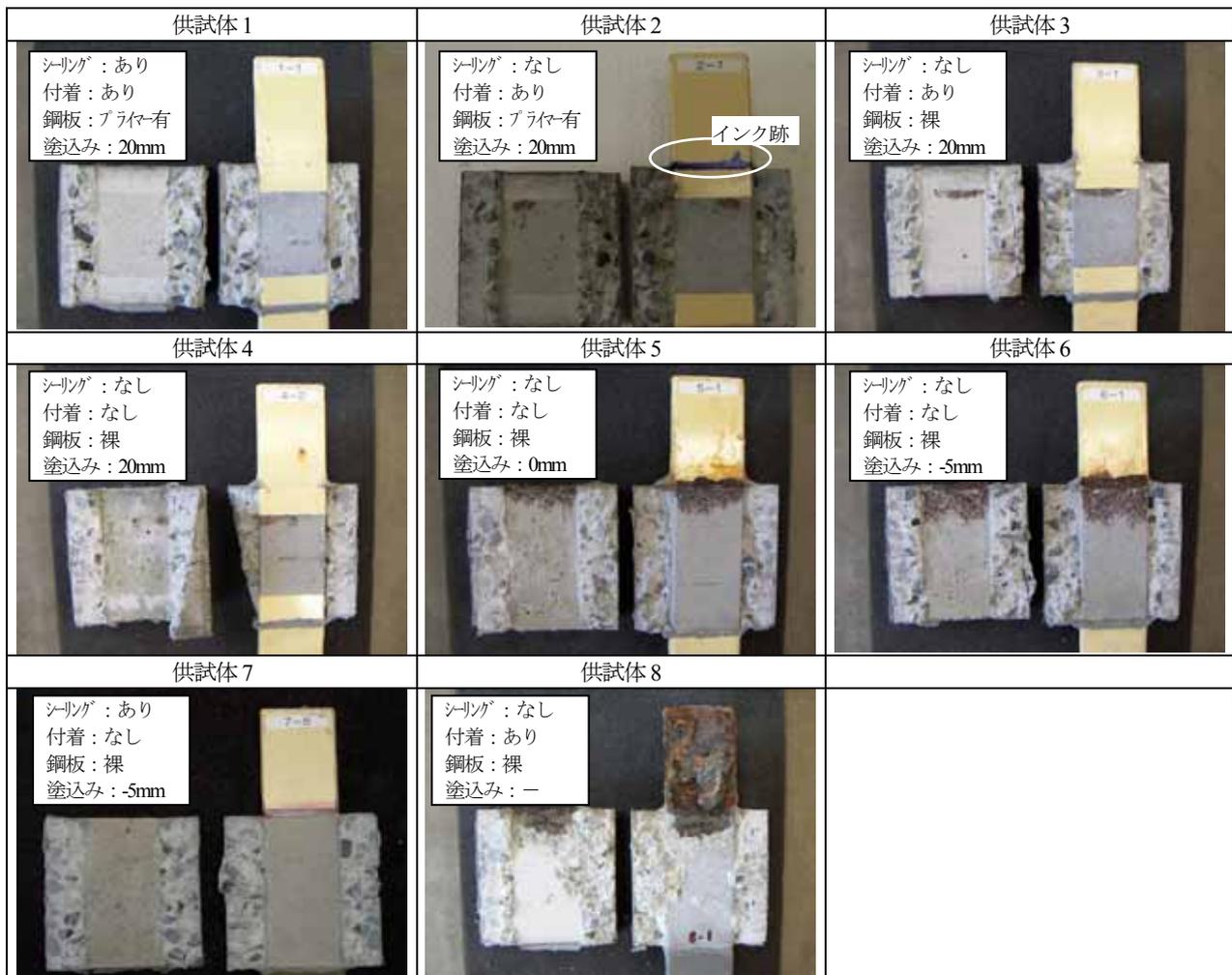


写真-2 供試体の腐食状況

た供試体(供試体 2, 3, 4)に関しては鋼板の腐食は軽微であるが、塗装がコンクリートの内部に埋め込まれていない供試体(供試体 5, 6, 8)に関しては、鋼板とコンクリートとの境界部(以降、境界部)からコンクリート内部にかけて激しく腐食している。以上より、埋込み接合においては、①鋼板とコンクリートとの境界部は腐食耐久性上の弱点になること、②塗装をコンクリートに埋め込むことで境界部の急激な腐食を防止できること、および③シーリング材は埋込み接合の腐食耐久性の向上に効果があることが確認された。塗装の塗替え時など、境界部の塗装が不十分となりやすい場合は、境界部の腐食に注意を払う必要があると考えられる。

(2) 板厚測定結果

複合サイクル試験後の鋼板厚の減少量を図-7に示す。測定位置は鋼材とコンクリートの境界部からの距離であり、正值はコンクリート内部方向を表す。鋼板厚の減少量は、図-5のグリッド位置で測定した鋼板厚から求めた。境界部に変状のない供試体 1, 2, 3, 4, および 7については、腐食による鋼板厚の減少はほとんど認められない。境界部が腐食していた供試体 5, 6 および 8については鋼板厚の減少が認められ、サイクル数が増えるほど、腐食がコンクリート内部に進行していることがわかる。これは鋼板とコンクリートとの境界部が腐食すると錆によりコンクリートと鋼板との間に隙間ができ、塩水が接合部内部に供給されやすくなるためと考えられる。

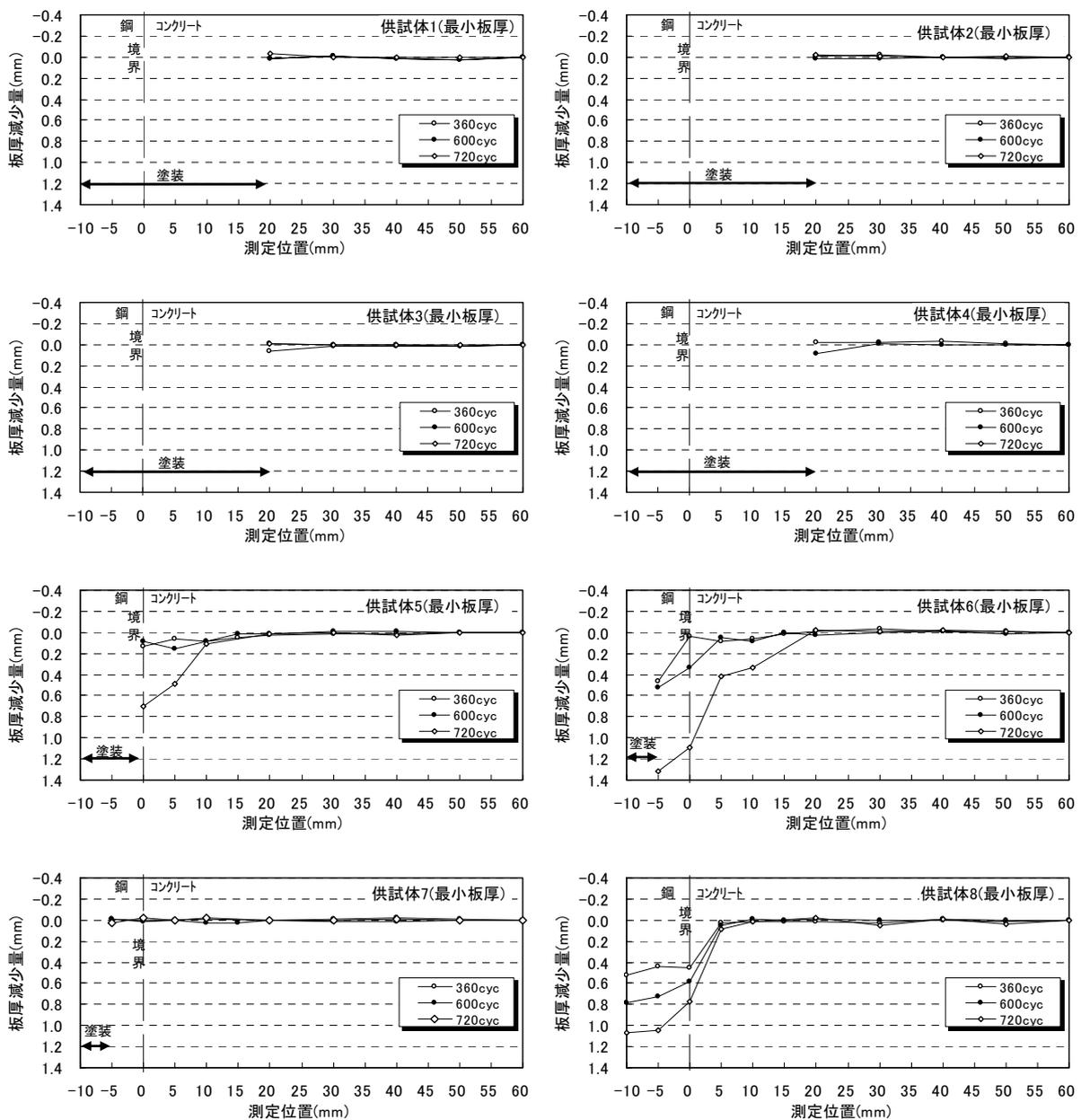


図-7 鋼板厚の減少量

(3) EPMA測定結果

EPMAにより測定したコンクリート中の塩化物イオン濃度を図-8に示す。図中の数字はコンクリートの単位質量あたりの塩化物イオン濃度である。鋼材の発錆限界 1.2kg/m^3 (単位体積あたりの塩化物イオン濃度)は、単位質量あたりの濃度に換算すると $0.05\% (= 1.2[\text{kg/m}^3] / 2350[\text{kg/m}^3] \times 100)$ となるため、有色の部分は塩化物イオン濃度が発錆限界を超えていると考えてよい。

鋼材とコンクリートとの付着がある供試体3では、塩水噴霧試験による塩化物イオンが、コンクリートの上端から鋼材に沿って進入しており、深さ20mm程度まで塩化物イオン濃度が発錆限界を超えている。鋼材とコンクリートとの付着がない供試体4では、供試体3よりさらに深くまで塩化物イオンが進入しており、深さ50mm程度まで発錆限界を超えている。一方、シーリング材を設置した供試体7では、鋼材とコンクリートとの付着がな

いにもかかわらず、鋼材に沿って進入した塩化物イオンはほとんど認められない。これは、シーリング材が、塩水を遮断したためであり、シーリング材を設置した供試体で、鋼材の腐食が認められなかったのはこのためと考えられる。ところで、供試体7のシーリング材が設置されていない部分において、塩化物イオンがコンクリート内部に浸透していることがわかる。今回使用したコンクリートの水セメント比は45%であるが、水セメント比がさらに高く、塩分拡散係数が大きいコンクリートでは、シーリング材が設置されていてもコンクリートを通過して、塩化物イオンが接合部内部に到達することも考えられる。通常のPC構造物で使用されるコンクリートでは問題ないと考えられるが、塩害環境下で、強度が低いコンクリートに埋込み接合を使用する場合は、シーリング材のサイズを大きくするなどの対策が必要と考えられる。

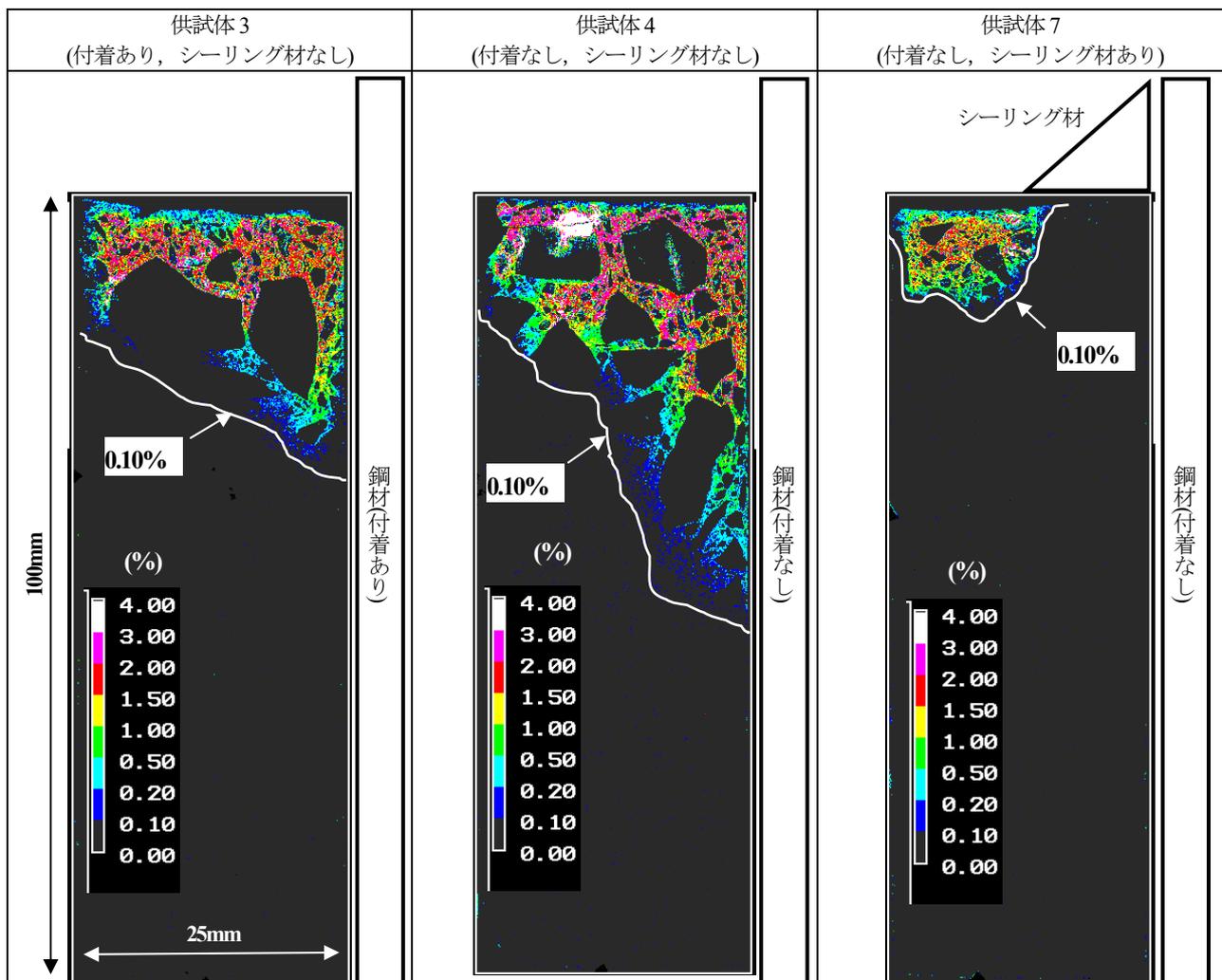


図-8 塩化物イオン濃度

(4) 複合サイクル試験による腐食環境

今回実施した複合サイクル試験が、どの程度の腐食環境かを考察するため、供試体4(720cyc後)のコンクリー

トを化学分析して、コンクリート中の塩化物イオン濃度を測定した。供試体4のコンクリート中の塩化物イオン濃度を図-9に示す。塩化物イオン濃度は、境界面から

コンクリートを 1cm の深さ毎に切り出し、化学分析して求めたものである。比較のため塩害地区である親不知高架橋付近で屋外暴露されているコンクリート(設計基準強度 40MPa, 水セメント比 41%)の表面からの塩化物イオン濃度も併せて示す⁷⁾。供試体 4 のコンクリートの塩化物イオン濃度は、深さ 0~1cm で 30.2kg/m³, 1~2cm で 2.0kg/m³であり、境界面からの深さが 1.5cm までの区間に関しては、塩害地区で 10 年~15 年屋外暴露されたコンクリートと同等以上となっている。このことから、今回実施した複合サイクル試験では、境界面から 1.5cm の深さに関しては、塩害地区に 10~15 年暴露した腐食環境に相当すると推察される。

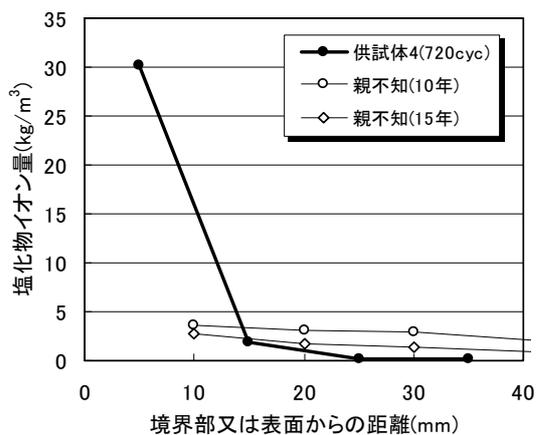


図-9 720cyc後のコンクリートの塩化物イオン濃度

4. まとめ

本試験より、埋込み接合の腐食耐久性に関して、以下のような知見が得られた。

- (1)埋込み接合部において境界部付近の塗装が不十分な場合、腐食が急激に進行するため、境界部は腐食耐久性上の弱点になる。
- (2)境界部の鋼板が腐食すると、錆によりコンクリートと鋼板との間に隙間ができ、接合部の内部に水分が入りやすくなるため、鋼材の腐食がコンクリート内部へ進行すると推察される。

(3)塗装をコンクリートに埋め込むことで境界部の急激な腐食を抑制できる。

(4)塗装を埋め込んでいてもシーリング材がないと、コンクリートと鋼材の付着の有無、プライマーの有無、および塗装の塗り込み深さにかかわらず、コンクリート内部の鋼材は腐食する場合がある。

(5)シーリング材は水や塩化物イオンなどの劣化要因を遮断する効果が高く、埋込み接合の境界部およびコンクリート内部の腐食をともに防止できる。

(6)シーリング材を設置することで、埋込み接合部の腐食耐久性は大きく向上すると推察される。

(7)埋込み接合において設置されるシーリング材は腐食耐久性上、重要であることが確認された。ウェブの塗装塗替え後など、境界部の塗装が不十分になると懸念される場合は、さらに重要な役割を果たすと考えられる。

参考文献

- 1) 鈴木永之, 紫桃孝一郎, 桜田道博, 立神久雄: 波形鋼板ウェブ橋におけるコンクリート床版接合部の横方向性状, コンクリート工学論文集, Vol.15, No.1, 2004.1
- 2) 竹下明, 依田照彦, 他: 波形鋼板ウェブを有するI形断面合成桁の埋込み接合部の疲労実験, 土木学会論文集, No.668, I-54, 2001.1
- 3) 中州啓太, 依田照彦, 他: 鋼板孔のずれ止めを用いた波形鋼板ウェブを持つ合成桁の面外曲げ挙動に関する研究, 土木学会論文集, No.647, I-51, 2000.4
- 4) 水口和之, 芦塚憲一郎, 古田公夫, 大浦隆, 滝憲司, 加藤卓也: 本谷橋の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.32, No.9, 1998.9
- 5) 貝沼重信, 細見直史, 金仁泰, 伊藤義人: 鋼構造部材のコンクリート境界部における経時的な腐食挙動に関する研究, 土木学会論文集, No.780, I-70, 2005.1
- 6) 藤原博, 田原芳雄: 鋼橋塗装の長期防食性能の評価に関する研究, 土木学会論文集, No.570, I-40, 1997.7
- 7) 横山和昭, 大橋岳, 松田哲夫, 青山實伸: 塩害環境下のコンクリート橋に適用した塩害対策の追跡調査, コンクリート工学, Vol.42, No.3, 2004.3

CORROSION CHARACTERISTICS OF EMBEDDED CONNECTION FOR PRESTRESSED CONCRETE BRIDGES WITH CORRUGATED STEEL WEBS

Kiyohisa ONO, Koji OSADA, Michihiro SAKURADA and Takashi OHURA

In order to confirm corrosion characteristics of embedded connection for prestressed concrete bridges with corrugated steel webs, the authors prepared some specimens modeled the embedded connection and carried out accelerated corrosion tests of the specimens. The results show that durability of the embedded connection are increased by sealing the border between steel and concrete and by embedding paint in concrete.