

海岸地域に架橋されるPC桁の耐久性向上

(株)安部日鋼工業	○清川 努
国土交通省 山口河川国道事務所	伊本 浩之
(株)安部日鋼工業	井上 康之
(株)安部日鋼工業 正会員	三田 健大

1. はじめに

これまで海岸地域に架橋された橋梁は多数あり、塩害による損傷報告も多数行われている。塩害とは、コンクリート中に塩化物イオンが存在すると、コンクリート中の鋼材が腐食し、腐食生成物の体積膨張によりコンクリートにひび割れや剥離を引き起こしたり、鋼材の断面減少などを伴うことにより構造物の性能が低下し、所定の機能を果たすことができなくなる現象である。そのため、塩害対策としては、かぶりを増加させる方法、塗装鉄筋の使用およびコンクリート表面を塗装する方法がある。

本工事は、ポストテンション方式PC単純T桁橋とプレテンション方式PC単純中空床版橋の2橋であり、それぞれ海岸地域に架橋される。そのため、海洋より飛来する塩化物がコンクリート表面に付着し浸透することで塩害を受ける。塩害対策としては、従来から行われているかぶりの増加および塗装鉄筋使用のほかに、塩化物の浸透を抑制するため、緻密なコンクリートを作ることで耐久性を向上させることに着眼点をおいた。

本稿では、ポストテンション方式PC単純T桁橋については、桁現場製作において留意した点、プレテンション方式PC単純中空床版橋については、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリート（ここではBSPCと呼ぶ）の効果検証について報告する。

2. 工事概要

本工事の工事概要を以下に示す。

工事名 : 下関北バイパス梶栗川橋外PC上部工事
 発注者 : 中国地方整備局 山口河川国道事務所
 工事場所 : 山口県下関市綾羅木新町2丁目～富任町1丁目地内
 工期 : 平成23年3月28日～平成23年12月20日
 構造形式

- ・梶栗川橋：ポストテンション方式PC単純T桁橋（現地製作）

橋長：37.500m 桁長：37.400m 支間：36.600m

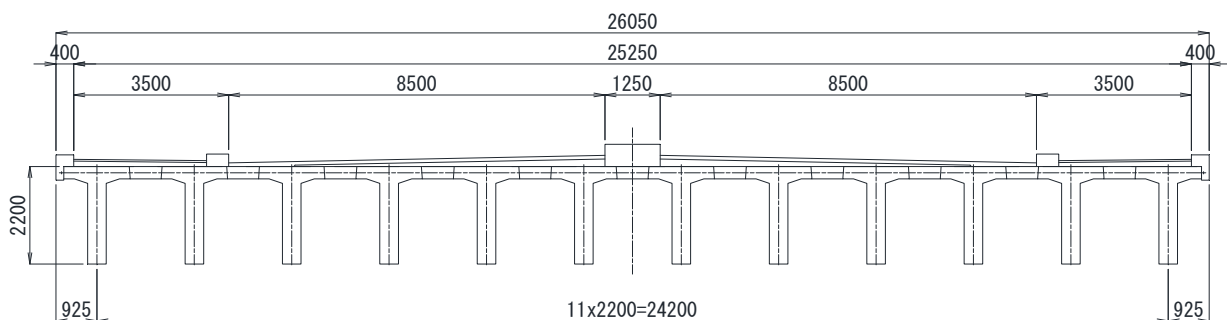


図-1 梶栗川橋 断面図

・綾羅木第2高架橋：プレテンション方式PC単純中空床版橋

橋長：22.000m 桁長：21.920m 支間：21.220m

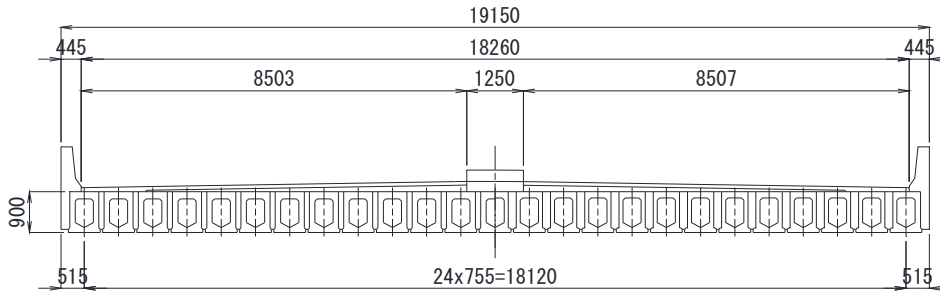


図-2 綾羅木第2高架橋 断面図

3. ポストテンション方式PC単純T桁橋（現地製作）の耐久性向上対策

ポストテンション方式PC単純T桁橋は、架橋位置背面に主桁製作ヤードを設置し主桁を12本製作する施工であった。そのため、緻密なコンクリート製作に着眼点をおいて、コンクリートの品質管理方法、締固め方法および養生方法に留意した。

3.1 コンクリートの品質管理

コンクリートの単位水量のばらつきが、コンクリートの緻密性に影響を及ぼすと考えられる。そのため、従来のエアメータ法に加えて、連続RIコンクリート水分計により単位水量管理を実施した。

連続RIコンクリート水分計は、コンクリート圧送配管に測定器を設置することにより、配管を通過するコンクリートの単位水量をリアルタイムに計測することが可能である。管理はモニターを通じて単位水量を確認しておこなった。（写真-1、写真-2）

3.2 締固め

主桁の桁高は2.2mであり、バイブレータによる締固めは主桁天端から行う。型枠内はシースや鉄筋が密に配置されているため、締固めを行うバイブレータは限られた隙間から必要な箇所へ挿入して締固めることが重要となる。そこで、通常の棒状バイブレータに加えて、長尺棒状バイブレータを併用した。長尺棒状バイブレータは、振動部分が曲がることなく底版隅角部まで直接届くため、確実な締固めが可能となり緻密なコンクリートを施工することができた。（写真-3）

3.3 養生

本橋は海岸線に近接しているため、型枠取り外し後は、海風などによりコンクリート表面が急激に乾燥し、表面乾燥および急激な温度変化によるひび割れ発生が懸念された。そのため、型枠取り外し後にコンクリート保水テープを貼り付けてひび割れ対策を実施した。コンクリート保水テープによる養生は、型枠取り外し後の急激な乾燥と温度変化を抑制し乾燥収縮ひび割れ発生を防止するとともに、水和反応を促進しコンクリートの透水係数を小さくすることができる。これらの対策の結果、コンクリートにひび割れは発生せず、耐久性の高い緻密なコンクリートを施工できたと考える。（写真-4）



写真-1 連続RIコンクリート水分計



写真-2 モニター



写真-3 長尺棒状バイブレータ



写真-4 コンクリート保水テープ

4. プレテンション方式PC単純中空床版橋の耐久性向上対策

本橋のプレテンション方式PC単純中空床版橋において、BSPCを採用し耐久性の向上に努めた。BSPCとは、早強セメントの50%を高炉スラグ微粉末6000に置換した高耐久性PC構造物である。BSPCは、従来の高炉セメントの強度発現の遅い課題を克服し、クリープ・乾燥収縮などの特性を明確にしたことで、PC橋に適用可能となり、プレテンション方式およびポストテンション方式のセグメント桁の様に工場で作製される製品によく使用されている。本橋はBSPCの遮塩効果を確認するために早強セメント単味配合（以下、H単味という）と比較した電気泳動試験により、各配合の塩化物イオンの実効拡散係数を求め、塩化物イオンの浸透しやすさ（しにくさ）の違いを確認した。

4.1 実効拡散係数

4.1.1 電気泳動試験

塩化物イオンを含む溶液と含まない溶液で挟まれたコンクリート供試体の両側に直流を印加すると、負電荷をもつ塩化物イオンはコンクリートの細孔中を通過して陽極側へ電気泳動する性質をもつ。

この陽極側の塩化物イオン濃度の増加割合が一定に達したとき、細孔中の塩化物イオンは定常状態であるとし、そのときの移動流束をもとに、電気化学法則を適用して実効拡散係数を求める。なお、実効拡散係数の試験は、土木学会規準（J S C E - G 571-2010）に準拠して実施した。

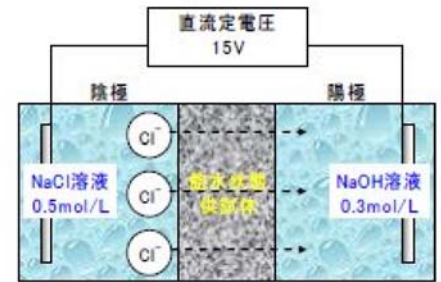


図-3 試験装置概要

4.1.2 供試体概要

供試体は、桁製作時に採取した円柱供試体（φ100×200）を、所定の養生ののちに厚さ50mmに輪切りにして取り出したものを使用した。

供試体は、H単味とBSPCの2種類とし、コンクリートの主な材料を表-1、配合を表-2に示す。

表-1 コンクリート材料

略記号	材料名	銘柄および製造元
W	水	上水道水
H	早強ポルトランドセメント	太平洋セメント(株)
BFS	高炉スラグ微粉末	エスメントスーパー60 新日鉄高炉セメント(株)
S	細骨材	川砂 佐賀県佐賀市大和町嘉瀬川産
G	粗骨材	碎石 熊本県山鹿市鹿北町産
AD	高性能AE減水剤	チューポールHP-11 竹本油脂(株)

表-2 コンクリート配合

配合	W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)					
	(%)	(%)	W	H	BFS	S	G	AD
H単味	34.0	44.0	155	456	-	734	1101	2.96
BSPC	32.0	42.9	153	239	239	704	1104	2.87

4.1.3 実効拡散係数の算出

電気泳動試験により求めた実効拡散係数を表-3に示す。

表-3 実効拡散係数

番号	No.	T (K)	C _{cl} (mol/l)	ΔE - ΔE _c (V)	L (mm)	De (cm ² /年)	平均De
H単味	1	20.0	0.4612	13.03	51.07	1.585	1.427
	2	20.0	0.4647	12.98	51.35	1.313	
	3	20.0	0.4633	12.97	51.43	1.383	
BSPC	1	19.6	0.4711	12.98	51.29	0.350	0.375
	2	19.8	0.4742	12.84	51.52	0.450	
	3	19.8	0.4679	13.00	50.43	0.325	

T : 絶対温度測定値

C_{cl} : 陰極側の塩化物イオン濃度測定値

ΔE - ΔE_c : 供試体表面間の測定電位

L : 供試体厚さ

De : 実効拡散係数

この結果から、BSPCはH単味と比較して、塩化物イオンの実効拡散係数が約1/4程度であることが確認できた。

実効拡散係数が小さいことは、塩化物イオンが物理的に通過しにくいことを意味しており、より緻密なコンクリートであるといえる。

4.2 100年後の塩分浸透予測

4.2.1 塩分浸透予測条件

実効拡散係数の試験結果から見かけの拡散係数を算出し、表-4の条件により100年後の塩分浸透予測を行った。

表-4 塩分浸透予測条件

	H単味	BSPC
年数 (年)	100	100
表面塩分量 C_o (kg/m^3)	2.5	2.5
拡散係数 D_d (cm^2/y)	0.363	0.033
安全係数 γ_{cl}	1.3	1.3

4.2.2 塩分浸透予測結果

塩分浸透予測結果を図-4に示す。BSPCについては100年後かぶり25mm程度の位置まで鉄筋の腐食限界濃度 ($1.2kg/m^3$) に達する結果となった。一方、H単味については100年後かぶり75mmの位置まで腐食限界濃度に達する結果となった。この結果から、予測ではあるが早強セメント単味に対してBSPCは塩分の浸透を約1/3に抑制できるものと考えられる。

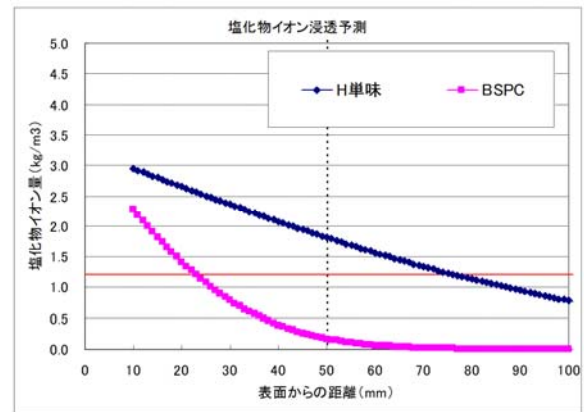


図-4 塩分浸透予測結果

4.3 まとめ

これらの結果より、BSPCはH単味と比較して、塩化物イオン濃度の実効拡散係数が約1/4と小さく、塩化物イオンの浸透を抑制する効果が高いことが確認できた。

また、参考として試算した見かけの拡散係数からも、塩化物イオンの浸透抑制について、BSPCはH単味より高い効果があることが推察された。

5. おわりに

本工事は平成23年12月に無事竣工した。写真-5、写真-6に完成写真を示す。

海岸地域に架橋されたPC橋は、過去にも数多くあり塩害損傷による報告も多数聞かれる。その多くは補修または補強により延命化の処置が施されており、塩害対策やコンクリートの耐久性向上が現在の課題であると考えられる。今回の報告が、今後の同種工事の参考になれば幸いである。

最後に、施工に協力いただきました方々にこの場を借りて深く感謝の意を表します。



写真-5 梶栗川橋



写真-6 綾羅木第2高架橋