

プレキャストPC床版の耐久性向上のための一考察

西日本高速道路(株) 正会員 工修 本荘 清司
 (株)ピーエス三菱 正会員 田中 寛規
 (株)ピーエス三菱 正会員 工修 桐川 潔
 京都大学大学院 正会員 工博 宮川 豊章

1. はじめに

中国自動車道では、冬期に散布される凍結防止剤の影響により、鋼橋における既設RC床版の塩害が顕著となった場合には、高耐久化を目指してプレキャストPC床版（以下、PCaPC床版）に取り替える全面補修工事を実施している。

中国自動車道における鋼橋RC床版の主な劣化要因である塩害に対して、PCaPC床版の高耐久化を図るため、筆者らは通常プレキャスト製品では実施されない蒸気養生後の散水養生を行うことで、耐久性が向上することを確認した¹⁾。

今回は、更なる耐久性の向上を図るため、高炉スラグ微粉末（ブレン値6000cm²/g）を混和材としたコンクリートを使用し、更に蒸気養生後の後養生を行うこととした。

本報告では、高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートの養生方法および養生日数の効果を確認する目的で実施した各種試験について、結果および試験方法を紹介するとともに考察を述べる。

2. 試験概要

2.1 供試体概要

供試体概要図を図-1に示す。供試体の厚さおよび鉄筋量については、床版取替工事にて採用されたPCaPC床版と同程度とした。

2.2 配合

配合条件を表-1に示す。プレキャストコンクリートの蒸気養生による影響を確認するため、蒸気養生をしない場所打ちコンクリートを想定した供試体についても同配合とした。



写真-1 床版下面の劣化状況

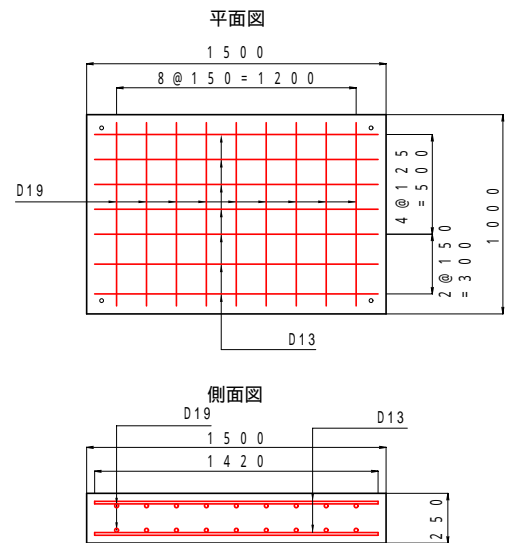


図-1 供試体概要図

表-1 配合条件

設計基準強度 (N/mm ²)	粗骨材の最大寸法	スラン プ (cm)	空気量 (%)	水結 合材 比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量(kg/m ³)						
						水	セ メント	高炉 スラ グ	細骨 材	粗 骨材	減水 剤 (%)	AE剤 (%)
50	20	12±2.5	4.5±1.5	34.5	41.0	160	232	232	683	991	0.40	0.06

2.3 養生条件

PCaPC床版については、蒸気養生後に散水養生または水中養生を、場所打ちPC床版については、脱枠後の散水養生を想定し養生条件を設定した。試験条件を表-2に示す。養生状況を写真-1, 2に示す。

表-2 試験条件

供試体名	供試体数	蒸気養生	養生条件
CASE1	1体	有	気中養生
CASE2	1体	有	水中養生(3日)+気中養生
CASE3	1体	有	水中養生(5日)+気中養生
CASE4	1体	有	水中養生(7日)+気中養生
CASE5	1体	有	散水養生(3日)+気中養生
CASE6	1体	有	散水養生(7日)+気中養生
CASE7	1体	無	気中養生
CASE8	1体	無	散水養生(7日)+気中養生
CASE9	1体	無	散水養生(9日)+気中養生
CASE10	1体	無	散水養生(12日)+気中養生

3. 試験項目および結果

各種試験を行ったが、本報告では代表的なものについて以下に述べる。

3.1 簡易透気試験(トレント法)

トレント透気試験機を用いて、供試体上面(ならし面)および供試体下面(型枠面)の各3箇所において透気量を計測した。試験結果の平均値および判定結果²⁾を図-2, 3に示す。

蒸気養生無の供試体(図-3)では、散水養生の効果は確認できるが、養生7日以上であれば大きな差異は生じなかった。

蒸気養生有の供試体(図-2)では、散水養生の効果は確認されるが、散水養生の日数による差異は生じなかった。水中養生については、養生日数が増加するに従い透気係数が小さくなる傾向が確認された。散水養生と水中養生については、両者とも透気係数改善効果はあるが、水中養生の方がより効果的であった。なお、散水養生3日の上面の仕上げは他に比べ非常に丁寧に仕上がっていたため、透気係数が小さくなった可能性がある。

3.2 促進中性化試験

促進中性化試験(JIS-A 1153-2003)に準拠し、各条件の最小養生日数であるCASE2, CASE5, CASE8について促進中性化試験を実施した。中性化深さは最大で1.3mm程度であり、100年経過後の中性化深さは1.5mm程度となるため、中性化に対する耐久性は問題ないと考えられる。

3.3 急速塩分浸透性試験

電気泳動法(JSCE-G 571-2010)に準拠し実効拡散係数を計測した。計測結果を表-3に示す。JSCE指針では、ばらつきを抑えるため試験体表面の25mmを切断することとしているが、今回は、コ



写真-1 散水養生状況



写真-2 水中養生状況

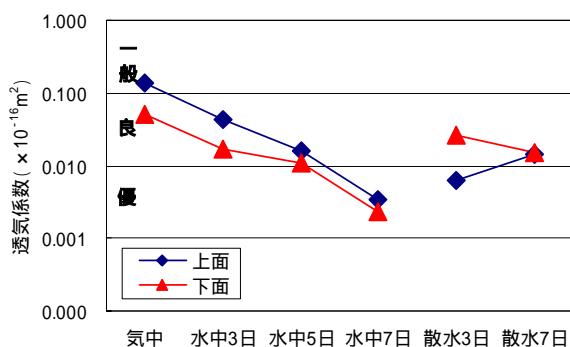


図-2 簡易透気試験結果(蒸気養生有)

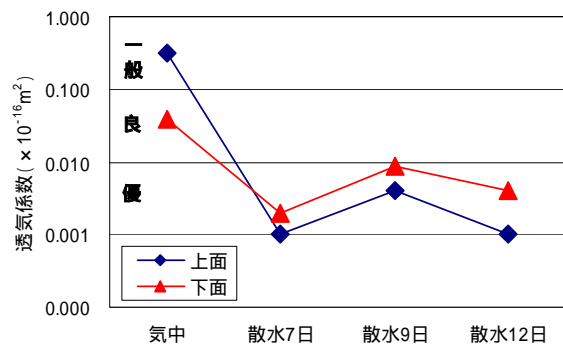


図-3 簡易透気試験結果(蒸気養生無)

ンクリート面表層部

を評価するため、25mmの切断を行わず試験を行った。

移動流束が一定となるまで電気泳動試験を実施するが、1年以上試験を実施しても、定常状態に至らない場合があった。また、図 - 4 に示す

ように、実効拡散係数算出の基となる塩化物イオン濃度の増加量についてもある日数を境に急激に値が変化する場合があった。これは、電気泳動試験が長期間にわたったため、シーリング材の劣化等、他の外的要因が作用したことが考えられた。その他、CASE2では、異なる材齢で試験を開始したが、長期強度が増加するコンクリートにおいては、試験開始材齢が結果に影響を与えることも確認された。

以上より、本試験では明確な値を確認することができなかった。ここで、表 - 3 に示す実効拡散係数(最終)については、定常状態に達していないケースも含め、信頼性の高い最初の変化点前の5点を採用し算出した値とした。

3.4 塩分浸せき試験

塩分浸せき試験 (JSCE-G 572-2010) に準拠し、塩水(濃度 10%)浸漬期間 182 日間の供試体(材齢 60 日より)を用いて EPMA 分析を実施し、その測定結果を用いて塩化物イオンの見掛けの拡散係数を算出した。算出結果を表 - 4 に示す。コンクリート標準示方書によれば一般に見掛けの拡散係数は、実効拡散係数より小さな値となるはずであるが、同等または大きな値を示す結果となった。これは、高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートについては、コンクリートが緻密であり塩化物イオンが浸透しにくい点と、高炉スラグにより塩化物イオンが固定化され表面部の塩化物イオン濃度が増加することから (図 - 6) 、182 日間の浸せき期間では内部まで塩化物イオンが浸透せず、表面部の

表 - 3 実効拡散係数

供試体名	蒸気養生	養生条件	測定面	試験開始材齢	実施期間	De: 実効拡散係数(cm ² /年)			
						90日	120日	180日	最終
CASE 1		気中	上面	512日	(240日)	0.032	0.034	0.030	0.030
CASE 2	有	水中3日	上面	75日	(140日)	-			0.100
				512日	(240日)	0.004	0.007	0.043	0.043
CASE 4	有	水中7日	上面	131日	(350日)	0.009	0.013	0.019	0.014
CASE 5	有	散水3日	上面	131日	(210日)	0.024	0.027	0.024	0.024
			下面	131日	(350日)	0.003	0.007	0.007	0.008
CASE 6		散水7日	上面	356日	(390日)	0.025	0.033	0.062	0.060
CASE 7		気中	上面	519日	(240日)	0.006	0.018	0.052	0.052
CASE 8	無	散水7日	上面	82日	(140日)	-			0.139
CASE 9		散水9日	上面	138日	(360日)	0.005	0.004	0.012	0.017
CASE 10		散水12日	上面	138日	(360日)	0.004	0.003	0.016	0.021

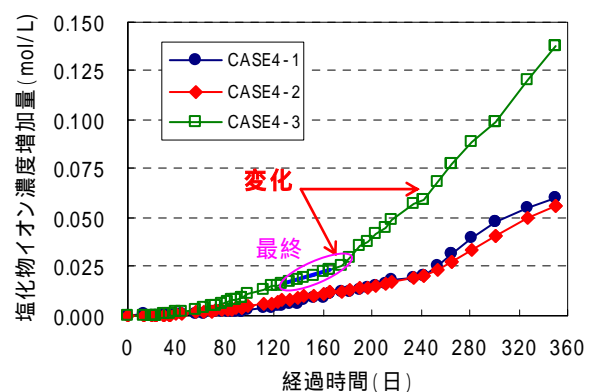


図 - 4 経時変化(塩化物イオン濃度増加量)

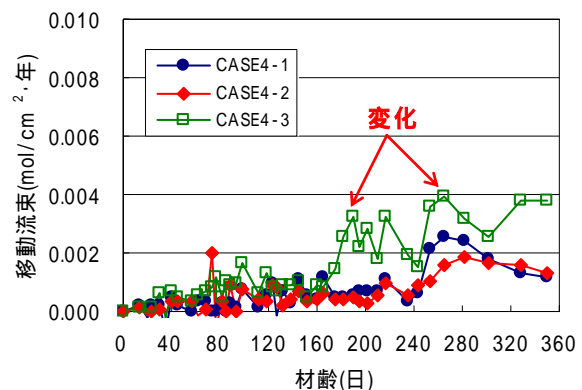


図 - 5 経時変化(移動流束)

表 - 4 見掛けの拡散係数

供試体名	養生条件	単位容積質量 (kg/m ³)	実効拡散係数 De(cm ² /年)	見掛けの拡散係数 Dap(cm ² /年)
CASE2	水中 3 日	2298	0.100	0.097
CASE5	散水 3 日	2298	0.024	0.133
CASE8	散水 7 日	2298	0.137	0.131

塩化物イオン濃度を用いて回帰式より見かけの拡散係数を算出することとしたため、見かけの拡散係数が大きな値を示したと考えられる。見掛けの拡散係数をより精度良く算出するためには、より内部まで塩化物イオンを浸透させるほうがよいと考えられる。

4. 考察

中国自動車道鋼橋RC床版の耐久性には、耐塩害性能が最も影響することから、電気泳動試験より求めた実効拡散係数および塩分浸せき試験より求めた見掛けの拡散係数を用いて、かぶり深さにおける塩化物イオン濃度を算出した³⁾。算出結果を表 - 5 に示す。ここで、算出時に使用した表面塩化物イオン濃度については、年間の路線あたりで散布する凍結防止剤散布量より予測⁴⁾した (=3.76kg/m³)。実効拡散係数より求めた鉄筋位置塩化物イオン量は発錆限界より小さな値を示すが、見掛けの拡散係数より求めた塩化物イオン量では発錆限界より大きな値を示す場合もあった。これは、前述した見かけの拡散係数が大きな値を示したためである。

以上より、塩化物イオンの浸入による鋼材の腐食を検証するためには、急速塩分浸透性試験による実効拡散係数の計測が重要となってくるが、促進試験を行っても、緻密なコンクリートにおいては、結果を得るために長期間の計測を要することが確認された。また、試験装置の耐久性が長期間を想定されていないことも考えられ、試験結果にばらつきが生じ、正確な値を判断することが困難であった。急速塩分浸透性試験では、試験期間を短くすることが必要であり、試験体の厚さを薄くする手法⁵⁾や、印加電圧を大きくする手法⁶⁾、または非定常状態における実効拡散係数の測定⁷⁾などの工夫が必要であると考えられる。

5. おわりに

今後、橋梁構造物の大規模更新時代を迎え、要求性能に基づく合理的な更新を行う必要がある。そのため、性能設計を行うには、要求性能の照査方法について更なる進展が必要であると考えられる。九州大学大学院 濱田教授、太平洋セメント(株) 細川佳史氏には急速塩分浸透性試験方法について情報提供をいただいた。記して感謝の意を表す。

参考文献

1)本荘ら,プレキャストPC床版の耐久性向上のための一考察(中国自動車道 青津橋),第21回プレキャストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2011.10 2)構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会(335委員会)成果報告書,土木学会コンクリート技術シリーズ No.80,2008 3)土木学会,コンクリート標準示方書【設計編:標準】,2012 4)横山ら,凍結防止剤によるコンクリート構造物への塩分浸透の予測手法,コンクリート工学年次論文集,Vol.28,No.1,2006 5)山時ら,高強度領域のコンクリートの塩化物イオン実効拡散係数に関する実験的研究,土木学会第66回年次学術講演会,2011.9 6)前田ら,電気泳動試験によるコンクリートの塩化物イオン拡散係数の推定,土木学会第58回年次学術講演会,2003.9 7)北山ら,急速塩分浸透性試験の迅速化検討のための非定常状態の塩化物イオン濃度分布状態の把握,コンクリート工学年次論文集,Vol.26,No.1,2004

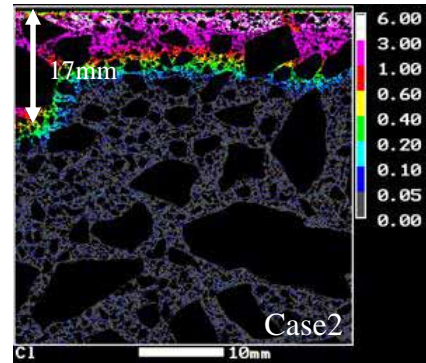


図 - 6 面分析結果 (Cl⁻濃度)

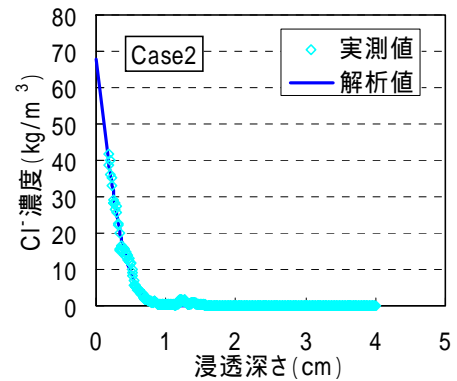


図 - 7 実測値と解析値の比較

表 - 5 鉄筋位置塩化物イオン量(100年経過後)

供試体名	養生条件	発錆限界 ³⁾ (kg/m ³)	Deより算出 ³⁾ (kg/m ³)	Dapより算出 ³⁾ (kg/m ³)
CASE2	水中3日	2.20	0.85	2.03
CASE5	散水3日	2.20	0.31	2.44
CASE8	散水7日	2.20	1.15	2.42