

# 混合セメントを用いた低水結合材比のコンクリートの水分浸透速度に関する検討

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○鬼頭 直希 松村 祐輔 永尾 拓洋 垣野内 隆一郎

## 1. はじめに

高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材を用いたコンクリートは、アルカリシリカ反応（以下、ASR）の抑制対策として有効であり、建設副産物の再利用や骨材の地産地消の観点からも有効利用が進められている。ASR抑制対策について当社では、2019年から a) アルカリ総量 2.4kg/m<sup>3</sup> 以下かつ JIS規格による無害判定骨材の使用、または b) 混合セメントの使用を基本としている。高強度コンクリートを用いる PC 構造物においては、セメント量が多くなり a) のアルカリ総量による対策は困難となる場合も想定されるため、b) の対策の課題について検討する必要がある。

鉄道構造物等設計標準の中性化速度算定式においては、普通セメントに比べて混合セメントは、中性化速度が速いとされている。そのため、混合セメントを用いる際は、普通セメントに比べかぶりを大きくする等の対応が必要であり、施工段階でのセメント種別変更は、かぶりの変更等の手戻りが生じる。しかし最近の知見である、水分浸透速度係数を用いた鉄筋腐食深さに対する照査<sup>1)</sup>においては、水結合材比が同一であればセメント種別に関わらず係数を算定できるため、かぶりを同一として取り扱うことができる。ただし、水分浸透速度係数を用いる場合の水結合材比の適用範囲は、40%~60%である。一方

で、PC 構造物に用いられる高強度コンクリートは、一般的に 40%以下と低水結合材比となるためこの手法の適用範囲外である。本稿は、水分浸透速度係数の適用範囲拡大に向け、低水結合材比の混合セメントを用いたコンクリートの水分浸透速度について検討した内容を報告する。

## 2. 試験概要

本試験は、基本的に、JSCE-G582-2018<sup>2)</sup>に準拠して実験を行った。表-1に供試体の配合条件および使用材料を示す。セメント種別は N、BB、H+FA II の 3 配合とし、それぞれ異なる地域のプラントにより製作した（シリーズ 1、2）。水結合材比は一般的な PC 構造物を念頭に 36%とした。供試体の養生は、実際に供用される環境を想定し、室内（温度 20℃、気中）に静置することとし、養生期間は N、BB、H+FA II のそれぞれの供試体に対して、5 日、7 日、3 日間とした。室内静置後に、供試体の一方の端部を切断し、この切断面を水分浸透試験の浸透面とした。乾燥処理は、温度 20℃、湿度 60±5%の環境に供試体の質量減少率が 0.1%以下になるまで 93 日間行った。乾燥後、浸透面から 50mm 以上の側面にシーリング処理を行い、供試体の浸透面が容器底面から離れるようスペーサーを設置し、浸透面から 1cm まで水を投入し、5、24、48、96 時間浸漬した。浸漬後、供試体を割裂し、発色現像剤により浸透深さを測定した。

表 - 1 配合条件および使用材料

シリーズ	名称	セメントの種別	混和材	混和材の置換率 (%)	水結合材比 W/B (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブ (cm)		空気量 (%)		細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )									
							目標値	実測値	目標値	実測値		水 W	結合材 B					細骨材 S	粗骨材 G	混和剤	
													計	N	BB	H	FA				
1	N-1	N	—	—	36	20	18±2.5	18.0	4.4	41.7	160	444	444	—	—	—	841	1045	6.22		
	BB-1	BB	—	40~45				20.5		5.1	45.6	160	444	—	444	—	—	828	1048	4.66	
	H+FAII-1	H	FA	20				18.0		3.8	45.0	160	444	—	—	355	89	808	1048	5.11	
2	N-2	N	—	—	36	25	18±2.5	15.5	4.5	41.7	160	444	444	—	—	—	787	918	4.44		
	BB-2	BB	—	40~45				14.5		5.0	45.6	160	444	—	444	—	—	774	918	4.44	
	H+FAII-2	H	FA	20				17.0		4.0	45.0	160	444	—	—	355	89	759	918	4.44	

N；普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm<sup>3</sup>），H；早強ポルトランドセメント（密度 3.13g/cm<sup>3</sup>）  
 BB；高炉セメント B 種（密度 3.04g/cm<sup>3</sup>），FAII；フライアッシュ JISII 種（密度 2.25g/cm<sup>3</sup>）  
 細骨材、粗骨材（シリーズ 1）；砕砂（鳥羽市菅島産），スラグ（日本製鉄）、碎石（鳥羽市菅島産）  
 細骨材、粗骨材（シリーズ 2）；砕砂（矢作川産），砂利（矢作川産）

キーワード 水分浸透速度，混合セメント，低水結合材比

連絡先 〒450-6101 名古屋市中村区名駅 1-1-4 JR セントラルタワーズ

東海旅客鉄道株式会社 建設工事部 TEL 052-564-1724

### 3. 実験結果

図-1に、割裂面の水分分布の様子を示す。浸透面に発色現像剤に反応した濃赤色の水分浸透領域が分布していることが確認できる。図-2に、各ケースの測定位置における浸透深さの経時変化を示す。NとH+FA IIに着目すると、浸漬時間が24時間以降のシリーズ2において、シリーズ1に比べ浸透深さが大きい。1つの要因として、シリーズ2の骨材の水分抵抗性への影響が考えられる。一般的には骨材界面は比較的多孔質であるため物質移動が速いといわれているが、図-3に示すように、シリーズ2の一部の粗骨材において骨材中に呈色反応が観察された。そのため、水分浸透深さのばらつきが大きかったことが考えられる。一方シリーズ1は、スラグ細骨材を使用しており、スラグ粒子においてポゾラン反応による緻密化が生じることで、水分の浸透経路となる骨材界面が改善され、全てのケースで水分浸透深さが比較的低くなったと考えられる。シリーズ1、2ともにBBの水分浸透深さに大きな差異はみられなかった要因も、BBはスラグ置換率が高く骨材界面が改善されていることが考えられる。

図-4に、今回の実験から算出した水分浸透速度係数(実験値)と既往の実験結果<sup>3)</sup>から得られた水分浸透速度係数(計算値)の比較を既往の実験結果と併せて示す。計算値は水結合材比40~60%の範囲から得られた回帰式から推定してよいとされているが、低水結合材比の場合においては、セメント種別に関わらず、実験値が計算値と比較して10分の1程度以下に小さいことが分かる。特に、混合セメントの水分浸透速度係数は、小さい値であることがわかる。

### 4. まとめ

本稿では、PC構造物に混合セメントを使用することを想定し、水分浸透速度係数を用いる場合の適用範囲外となる水結合材比36%のコンクリートの水分浸透試験を実施した。その結果、高炉スラグやフライアッシュを用いた混合セメントは、既往の実験値より推定される水分浸透速度係数と比較して小さい値であることを確認した。また、傾向も大きく異なることはなく、設計式が適用可能であると考えられる。今後は、中性化の検討に代わり、鉄筋腐食の主要因である水に着目した鉄筋腐食深さの照査により、セメント種別に関わらず、同一のかぶりを設定し、

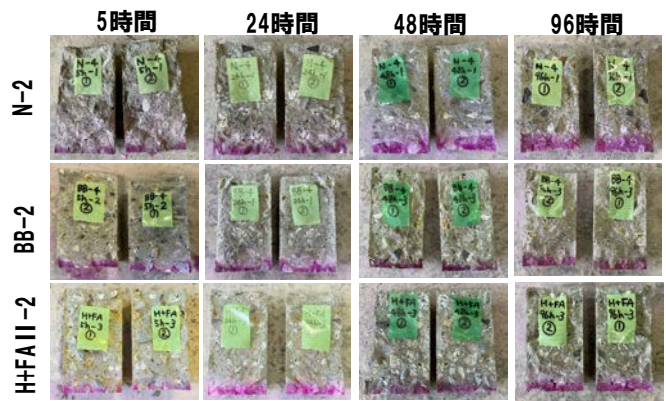


図-1 割裂面の水分浸透可視化結果

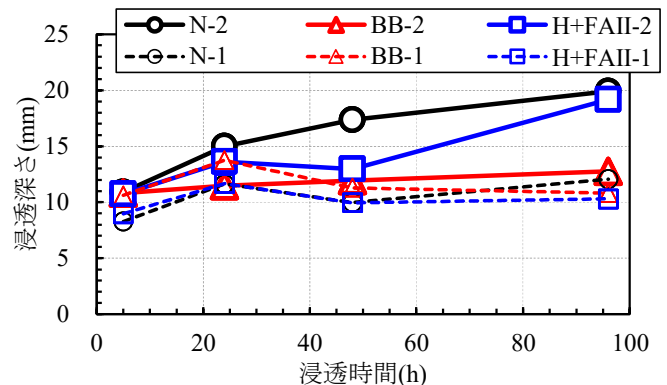


図-2 浸透深さの経時変化

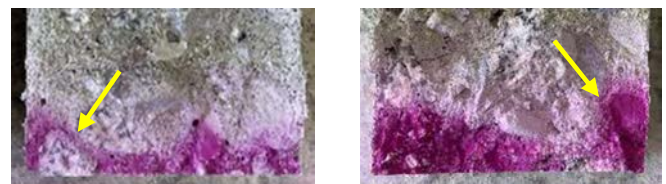


図-3 骨材周辺の水分可視化状況

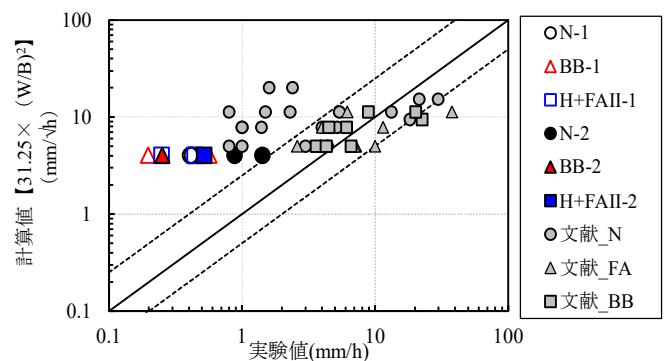


図-4 水分浸透速度係数の設計値との比較

より合理的な構造物の設計ができるよう引き続き検討を行う。

### 参考文献

- 1) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書【設計編】，2018.3
- 2) 短期の水掛かりを受けるコンクリート中の水分浸透速度係数試験方法(案)(JSCE-G582-2018)
- 3) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書改訂資料 設計編・施工編，2018.3