

環境配慮コンクリートへの硝酸塩の添加による中性化抑制効果の曝露試験による検証

大成建設(株)技術センター 正会員 ○荻野 正貴, 正会員 大脇 英司
正会員 岡本 礼子, 正会員 宮原 茂禎

1. 目的

CO₂ 排出量の低減を目的として混和材を大量に使用したコンクリートの開発が進んでいるが、これらは一般のコンクリートと比較して中性化が速い¹⁾。著者らは高炉スラグ微粉末をカルシウム系の刺激材で硬化させ、ポルトランドセメントの使用量を“ゼロ”とした環境配慮コンクリートを開発し²⁾、硝酸塩を添加することで中性化を抑制できることを促進試験にて確認した³⁾。一方、供用環境と促進環境はCO₂濃度の差により中性化の機構が異なると報告されている⁴⁾。本報では硝酸塩を添加した環境配慮コンクリートについて2種類の養生を行ってから約3.8年間曝露した。硝酸塩の中性化抑制効果と、養生条件や促進・供用環境との関係について検証した。

2. 試験内容

曝露したコンクリートの配合を表-1に示す。材料は各々のJISを満たすものを用いた。硝酸塩を主成分とする化学混和剤を中性化抑制剤とした。製造したコンクリートを100×100×400mmの角柱の型枠に打込み、20℃で封かん養生し材齢3日で脱型した。その後、養生条件による中性化速度の差を確認するため、材齢28日まで20℃水中で養生する“水中養生”、20℃の室内にて湿らせた養生マットで材齢7日まで覆った後、20℃、R.H.60%で材齢28日まで気中養生する“湿潤7日養生”の2種類の養生を行った。

促進中性化試験はJIS A 1153に準拠した。水中養生または湿潤7日養生した角柱供試体を20℃、R.H.60%にて材齢56日まで静置した後、対向する2つの100×400mmの側面を曝露面とし、他の面をエポキシ樹脂で被覆した。促進試験の条件は20℃、R.H.60%、CO₂濃度5%とした。試験材齢0、7、28、56、91日に供試体を切断し、1%フェノールフタレイン溶液を噴霧して中性化深さをJIS A 1152に準拠して測定した。

曝露試験は神奈川県横浜市の雨掛りのある屋外で行った。曝露期間中の年平均降水量は1777mm/年であった⁵⁾。促進試験の場合と同様に表面を被覆した角柱供試体を各配合2体ずつ、曝露面を鉛直にして約3.8年間曝露した(写真-1)。曝露後に供試体を割裂し、促進試験時と同様に中性化深さを測定した。

3. 試験結果

促進中性化試験結果を図-1に示す。いずれの配合も中性化深さは試験期間の平方根と線形関係にあった。抑制剤添加は水中養生、湿潤7日養生のいずれも中性化抑制効果を示した。中性化速度係数は比較用BBより小さく、比較用無添加に対して0.35～0.40倍に抑制された。

表-1 配合

配合名	スラン プ (cm)	空気量※1 (%)	単位量 (kg/m ³)								
			水	粉体：P			骨材		化学混和剤		
			W	BFS	St	BB	S	G	中性化抑制剤	Ad-1	Ad-2
抑制剤添加	15±2.5	6.0±1.5	155	333	98.7	—	695	958	P×8.3%	P×1.25%	—
比較用無添加	15±2.5	6.0±1.5	155	333	98.7	—	695	958	—	P×1.0%	—
比較用BB	15±2.5	4.5±1.5	160	—	—	291	770	1060	—	—	P×0.2%

※1：凍害抵抗性向上のため空気量を6.0±1.5%とした¹⁾
BFS：高炉スラグ微粉末、無水セッコウ2.1%添加、密度2.89 g/cm³、ブレン値4460cm²/g
St：刺激材、右の3材料で構成¹⁾・膨張材：石灰系、密度3.14g/cm³、ブレン値3500cm²/g
・消石灰：密度2.20g/cm³、600μm篩全通、・石灰石微粉末：密度2.65g/cm³、75μm篩80%通過
BB：高炉セメントB種、JIS R 5211、密度3.04g/cm³、比表面積3830cm²/g、S：砕砂、表乾密度2.56g/cm³、G：碎石2005、表乾密度2.66g/cm³
中性化抑制剤：無機系窒素化合物(NO₃⁻：24%)、密度1.41～1.45 g/cm³、塩化物イオン量0.01%
Ad-1：ポリカルボン酸エーテル系化合物と変性リグニンスルホン酸化合物＝オキシカルボン酸化合物の複合体の混合物
Ad-2：リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体

キーワード コンクリート, 混和材, 硝酸塩, 中性化, 抑制, 曝露試験
連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株)技術センター TEL045-812-7265

曝露試験結果を表-2 および写真-2 に示す。既報の比較用無添加の曝露試験における中性化速度係数は 3.2～6.4mm/√年であり²⁾、抑制剤添加の曝露試験における中性化速度係数は、比較用BB の中性化速度係数と同程度であり、養生条件によらず比較用無添加の 0.34～0.63 倍となった。促進試験と同程度の比率であり、実際の使用環境においても硝酸塩の添加による中性化抑制効果が確認できた。

混和材を大量に使用したコンクリートについて、供用環境における中性化速度係数： α_p を、促進試験による中性化速度係数： α_{acc} から推定する式(1)が示されている¹⁾。

$$\alpha_p = \alpha_{acc} \cdot \sqrt{[\text{CO}_2]/[\text{CO}_2]_{acc}} \tag{1}$$

ここに、 α_p ：供用環境における中性化速度係数の推定値 (mm/√年)、 α_{acc} ：促進環境における中性化速度係数の測定値 (mm/√年)、 $[\text{CO}_2]$ ：供用環境の CO₂ 濃度 (%)、 $[\text{CO}_2]_{acc}$ ：促進環境の CO₂ 濃度 (%) である。

日本国内 3 か所の観測点における CO₂ 濃度の平均値:0.041%⁵⁾ と促進試験の結果を用い、式(1)から供用環境における中性化速度係数を推定して、曝露試験における測定値と比較した (図-2)。抑制剤添加について促進試験結果から推定した中性化速度係数は 2.1～2.3mm/√年であり、曝露試験時の中性化速度係数とよく一致していた。抑制剤添加においても式(1)が適用可能であった。

4. 結論

環境配慮コンクリートへの硝酸塩の添加による中性化抑制効果は曝露試験においても確認できた。中性化速度係数は無添加時の 0.34～0.69 倍に低減され、高炉セメント B 種を用いたコンクリートの中性化速度係数と同等以下となった。

参考文献

- 1) 土木学会：混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針 (案)，コンクリートライブラリー152，土木学会，2018.
- 2) 宮原茂禎ほか：高炉スラグ微粉末を大量使用した環境配慮コンクリートの曝露試験および室内試験における耐久性，セメント・コンクリート論文集，vol.70，pp.443-449，2016.
- 3) 大脇英司ほか：硝酸塩の添加による低炭素型コンクリートの中性化抑制効果について，土木学会第 74 回年次学術講演会，V-14，2019.
- 4) 伊代田岳史ほか：セメント硬化体の炭酸化機構の検討—実環境と促進環境の相違について—，セメント・コンクリート論文集，vol.72，No.1，pp.225-232，2019.
- 5) 気象庁：各種データ・資料，<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>



写真-1 曝露試験の状況

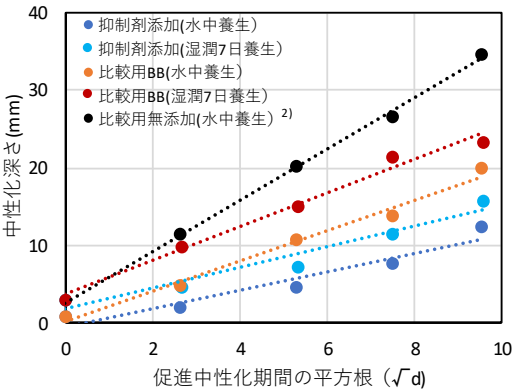
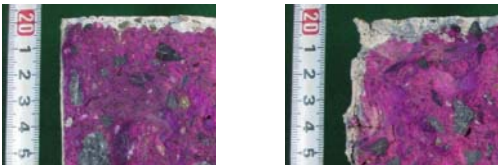


図-1 促進中性化試験結果

表-2 促進・曝露時の中性化速度係数
(比較用無添加は曝露 20 か月の値²⁾)

	中性化速度係数		速度係数比 (無添加=1)	
	促進 (mm/√d)	曝露 (mm/√年)	促進	曝露
抑制剤添加	1.2～1.3	2.1～2.3	0.35～ 0.40	0.34～ 0.63
比較用 無添加	3.3 ²⁾	3.2～6.4 ²⁾	1	1
比較用 BB	2.0～2.2	1.1～2.2	0.59～ 0.66	0.18～ 0.62



a) 抑制剤添加 b) 比較用 BB

写真-2 曝露 3.8 年後の中性化深さ
(湿潤 7 日養生，上側が曝露面)

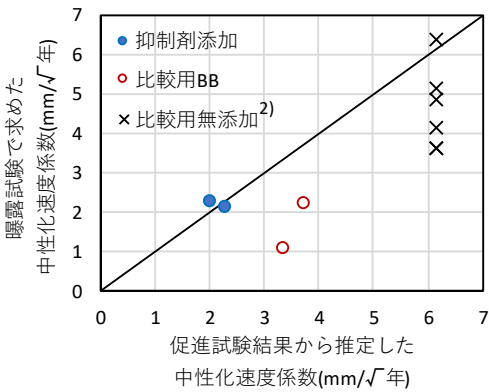


図-2 促進・曝露時の中性化速度の比較