

CCU 材料を用いた環境配慮型高流動コンクリートの耐久性評価
ーGI 基金事業「CUCO」開発成果ー

鉄建建設(株) 正会員 ○唐沢 智之 岩城 圭介
鹿島建設(株) フェロー会員 坂井 吾郎 正会員 関 健吾 境 美緒

1. 目的

2050 年カーボンニュートラルの実現を目指す動きが世界的に加速するなか、建設材料として広く使用されるコンクリートは、製造過程で大量のCO₂を排出するため、CO₂排出量を削減したコンクリートの開発が急務となっている。このような中、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)に2兆円規模の「グリーンイノベーション(GI)基金」が造成され、筆者らもコンソーシアム「CUCO(Carbon Utilized Concrete)」の一員として、研究開発を進めている。筆者の一部は、CCU 材料¹⁾の一つである軽質炭酸カルシウム(以下 PCC と記す)を用いてコンクリートのCO₂排出量を削減する技術を開発している¹⁾。一方、高炉スラグ微粉末(以下 BF と記す)を混和材として使用したコンクリートは、塩化物イオン浸透の抑制効果が報告されている²⁾。本研究では、BF と PCC を用いた高流動コンクリートについて、塩化物イオン浸透の抑制効果を確認し、PCC 置換による塩化物イオン浸透への影響を確認した。

2. 実験概要

コンクリートの使用材料を表-1 に、配合とフレッシュ試験結果を表-2 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、BF は石膏添加の 4000 ブレーンのもの、PCC は CCU 材料由来のもの¹⁾、炭酸カルシウム(以下 LP と記す)は石灰石から産出される石灰石微粉末を用いた。配合 N は、普通ポルトランドセメントを用いた粉体系、自己充填性ランク 2 相当の高流動コンクリートとした。配合 N+BF は、配合 N に対してセメントの 70%を BF で置換、配合 N+BF+PCC は、配合 N+BF に対して結合材(セメントと BF)の一部を PCC に置換した。配合 N+BF+LP は、比較用として配合 N+BF+PCC と w/p が同一となるように PCC を LP に置き換えた。全ての配合とも粗骨材絶対容積は 0.315m³/m³とした。

塩分浸透試験は、JSCE-G572「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法(案)」を参考に行った。試験にはφ100×150mm の円柱供試体を各水準 1 体用い、切断面 1 面以外の面をエポキシ樹脂で養生した上で、10wt%の塩化ナトリウム水溶液に 8 週間浸漬させた。浸漬後、試験片に含まれる塩化物イオン濃度を EPMA 法により面分析した。塩化物イオン量は、EPMA の結果に乾燥質量より算出した密度の実測値を乗じることにより算出した。なお、フレッシュコン

表-1 コンクリートの使用材料

材料	記号	種類	物性
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度 3.15g/cm ³
	BF	高炉スラグ微粉末	密度 2.89g/cm ³ , 4000 ブレーン, 石膏添加品
混和材	PCC	軽質炭酸カルシウム	密度 2.57g/cm ³
	LP	炭酸カルシウム	密度 2.70g/cm ³
細骨材	S1	茨城県鹿嶋市産砂	表乾密度 2.60g/cm ³ , 吸水率 1.29%, 粗粒率 2.40
	S2	栃木県佐野市産砕砂	表乾密度 2.68g/cm ³ , 吸水率 0.89%, 粗粒率 3.20
粗骨材	G1	茨城県笠間市産碎石 2005	表乾密度 2.65g/cm ³ , 吸水率 0.84%, 実積率 60.1%
	G2	栃木県佐野市産碎石 2005	表乾密度 2.70g/cm ³ , 吸水率 0.64%, 実積率 60.2%
混和剤	SP1	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系化合物
	SP2	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系化合物 リグニンスルホン酸塩
	SP3	セメント・軽質炭酸カルシウム分散剤	特殊ポリカルボン酸系ポリマー

表-2 コンクリートの配合とフレッシュコンクリート試験結果

配合 No.	W/C (%)	W/B (%)	w/p (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)												試験結果		
					W	C	BF	PCC	LP	S1	S2	G1	G2	SP1	SP2	SP3	スランブ フロー(mm)	空気量 (%)	U 形充填 高さ(mm)
N	34.7	34.7	109.2	49.1	175	505				559	239	422	422	6.06			577×565	4.8	355
N+BF	115.1	34.7	102.7	48.3	175	152	353			540	232	422	422		6.31		677×657	3.4	363
N+BF+PCC1	152.2	46.1	99.0	47.8	175	115	265	125		529	227	422	422			5.61	639×628	3.3	345
N+BF+PCC2	175.0	53.0	97.5	47.5	175	100	230	175		524	224	422	422			6.46	734×726	3.1	362
N+BF+LP1	152.2	46.1	99.0	47.8	175	115	265		131	529	227	422	422		6.29		645×644	3.9	360
N+BF+LP2	175.0	53.0	97.5	47.5	175	100	230		184	524	224	422	422		6.32		694×685	3.8	368

キーワード CUCO, 環境配慮型コンクリート, 軽質炭酸カルシウム, 塩化物イオン, 高流動コンクリート

連絡先 〒286-0825 千葉県成田市新泉 9-1 鉄建建設(株)研究開発センター TEL 0476-36-2340

クリートの試験, 圧縮強度試験は JIS に準拠した。

3. 実験結果

圧縮強度試験結果を図-1 に示す。BF 置換による圧縮強度への影響に着目すると、配合 N よりも配合 N+BF の方が若干小さくなった。PCC 置換による圧縮強度への影響に着目すると、PCC 置換により W/B が大きくなるので、それに伴い圧縮強度は小さくなった。LP 置換による圧縮強度への影響に着目すると、同じ W/B の配合を比較すると PCC 置換の配合と同等か、あるいは PCC 置換の配合の方がやや大きかった。

EPMA 法による塩化物イオン量分布を図-2、図-3 に示す。N と N+BF を比較すると、N+BF の方が塩化物イオン浸透深さが半分程度になっており、既往の研究²⁾と同様に BF 置換により塩化物イオン浸透の抑制効果が確認された。N+BF と N+BF+PCC1 および N+BF+PCC2 を比較すると、PCC で置換した方がやや塩化物イオン浸透深さが大きくなったが、N より塩化物イオン浸透の抑制効果が大きかった。N+BF+PCC1 と N+BF+PCC2 では塩化物イオン浸透深さはほぼ同等であった。PCC 置換したものと LP 置換したものを比較すると、塩化物イオン浸透深さはほぼ同等であった。従って、PCC 置換した場合の塩化物イオン浸透は、LP 置換した場合とほぼ同等であり、N+BF と N+BF+PCC1 および N+BF+PCC2 で生じている塩化物イオン浸透深さの違いも、PCC に起因するものではなく、PCC 置換により結合材の絶対容積が減ったことに起因していると推察される。

下式を用いて各深さ位置で測定された全塩化物イオンの値を回帰分析して算出した、各配合の見掛けの拡散係数の比較を図-4 に示す。

$$C(x, t) = C_i + C_{a0} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1x}{2\sqrt{D_{ap}t}} \right) \right\}$$

ここに、 $C(x, t)$: 供試体表面から測定箇所までの距離 x (mm), 浸せき期間 t (年)において測定された全塩化物イオン(%), C_{a0} : コンクリート表面の全塩化物イオン(%), C_i : 初期に含有される全塩化物イオン(%), D_{ap} : 見掛けの拡散係数, erf : 誤差関数

見掛けの拡散係数は、塩化物イオン浸透深さの結果と同様の傾向であるが、N+BF+PCC1 と N+BF+PCC2 を比較すると、N+BF+PCC2 の方が見掛けの拡散係数が若干大きい。これは前述の通り、PCC 置換により結合材の絶対容積が減ったことに起因していると推察される。また、N+BF+PCC と比較して N+BF+LP の方が見掛けの拡散係数が大きい傾向を示した。

4. まとめ

本研究の結果、セメントの一部を BF に置換すると塩化物イオン浸透が抑制され、さらにその一部を PCC に置換しても BF の絶対容積が減ったことにより若干拡散係数が大きくなるものの、塩化物イオン浸透の抑制効果が認められることが分かった。また、LP で置換した場合よりも PCC で置換した場合の方が塩化物イオン浸透の抑制効果が大きいことが分かった。

謝辞: 本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務(JPNP21014)を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発で得られた成果である。

参考文献

- 坂井吾郎ら:CCU 材料の炭酸カルシウム微粉末を用いたコンクリートの CO₂ 固定量, 土木学会第 77 回年次学術講演会, V-519, 2022.
- 藤原斉ら: 高炉スラグがコンクリートの塩分浸透性に与える影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 39, No. 1, pp. 757-762, 2017.

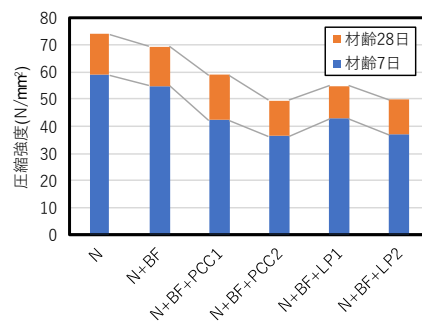


図-1 圧縮強度試験結果

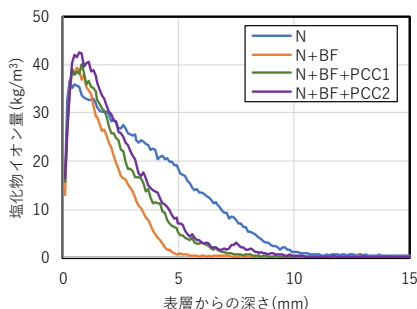


図-2 塩化物イオン量の分布 (BF,PCC 置換による影響)

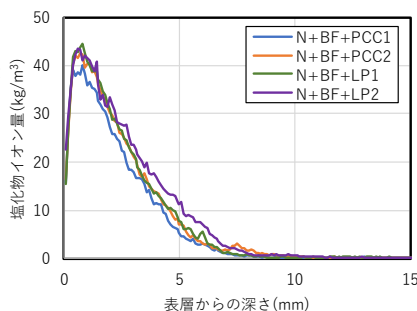


図-3 塩化物イオン量の分布 (LP 置換による影響)

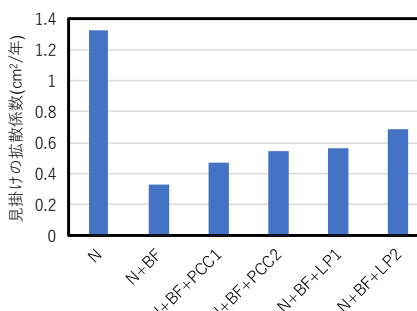


図-4 見掛けの拡散係数の比較