

## 21年間暴露した併用系高流動コンクリートの耐久性に関する研究

鹿島建設(株) 正会員 ○関 健吾 正会員 芦澤 良一  
 正会員 横関 康祐 フェロー 坂田 昇

### 1. はじめに

高流動コンクリートは、わが国で開発されてから25年程度が経過しており、これまでに多くのコンクリート構造物に適用されている。しかしながら、実環境における長期的な耐久性のデータが少ないのが現状である。筆者らは、併用系高流動コンクリートを用いて作製した大型試験体について、屋外暴露試験を行っている。本論文では、21年間の長期にわたって暴露した併用系高流動コンクリートの各種性状を測定し、耐久性について評価した結果を示す。

### 2. 試験概要

使用材料およびコンクリート配合をそれぞれ表-1 および表-2に示す。試験ケースはスランプフローが45cm(以下, SF45cm), 60cm(以下, SF60cm)および75cm(以下, SF75cm)の3ケースとし、高性能 AE 減水剤の添加量を調整することで所定のスランプフローとした。フレッシュ性状については文献<sup>1)</sup>を参照された。

試験体の概要を図-1に示す。コンクリートは図中に示す投入部からホッパーおよびサニーホースを用いて打ち込んだ。なお、締固めは一切行っていない。SF45cm および SF60cm は材料分離が認められなかったが、SF75cm の先端部についてはコンクリートの打込み後に粗骨材の沈降が認められた。試験体は1990年から2001年までの11年間は神奈川県海岸から約0.25kmの距離にある塩害環境に暴露した。環境条件は年平均気温 16.7℃, 年平均相対湿度 72.2%である。その後、東京都の内陸部に試験体を移設し、2011年までの10年間暴露を行った。環境条件は年平均気温 15.3℃, 年平均相対湿度 66.3%である。

試験項目および試験方法を表-3に示す。材齢14日に図-1中の①および②部からコア(φ100mm)を採取し、材齢28日で圧縮強度を測定した。その後21年が経過した2011年に図-1中の投入側および先端側において、リバウンドハンマによる反発度を測定し圧縮強度を推定した。圧縮強度の推定には材料学会式( $F=18.0+1.27R_0$ ,  $R_0$ : 基準反発度)を用いた。また、同じ箇所からコア(φ30mm)を採取し、空隙率、中性化深さおよび全塩化物イオン量を測定した。

### 3. 試験結果

#### 3.1 圧縮強度

圧縮強度について、図-1中の①および②部から採取したコア供試体の圧縮強度と材齢28日まで標準水中養生を行った供試体(以下、標準供試体とする)の圧縮強度の比を図-2に示す。また、同図には材齢21年において投入側および先端側で測定した反発硬度より算出した圧縮強度の推定値(以下、推定圧縮強度とする)と標準供試体の圧縮強度の比を併記した。コア供試体と標準供試体の比は、い

表-1 使用材料

材料	記号	摘要
水	W	水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 3,800cm <sup>2</sup> /g
混和材	LP	石灰石微粉末, 密度 2.70g/cm <sup>3</sup> , 200メッシュ(比表面積 3,000cm <sup>2</sup> /g 相当)
細骨材	S	大井川産川砂, 密度 2.61g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率 2.48, 実積率 67.2%
粗骨材	G	津久井産碎石, 密度 2.66g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率 6.72, 実積率 59.9%
高性能 AE 減水剤	SP	β-ナフタリンスルホン酸カルシウム+反応性高分子
増粘剤	V	ウェランガム

表-2 コンクリートの配合

Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
				W	C	LP	S	G	SP	V
20	52.9	45.2	4±1	175	331	216	708	882	12.1~14.5	0.88

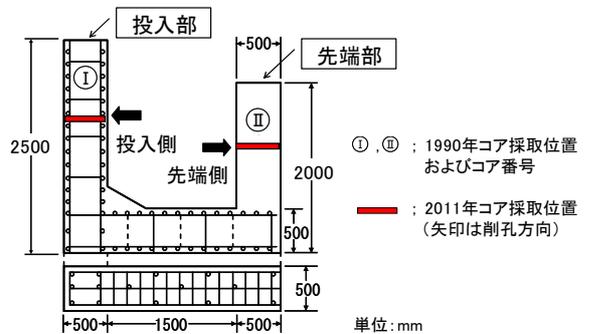


図-1 試験体寸法およびコア採取箇所

表-3 試験項目および試験方法

実施年	試験項目	試験方法
1990年	圧縮強度	JIS A 1108 に準拠して測定
2011年	圧縮強度の推定	JSCE G504 に準拠し、測定した反発度から圧縮強度を推定
	空隙率	表面から深さ2~4cmの位置より試料を採取し、水銀圧入法により測定
	中性化深さ	JIS A 1171 に準拠して測定
	全塩化物イオン量	表面から深さ0~1, 1~2, 2~3, 4~5, 6~7 および 11~12cm の位置より試料を採取し、JIS A 1154 に準拠して測定

□ コア強度(材齢28日)  
 ■ 反発度による推定強度(材齢21年)

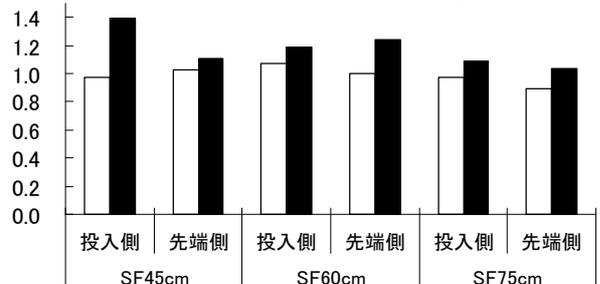


図-2 圧縮強度の比較

キーワード 高流動コンクリート, 併用系, 流動距離, 空隙率, 中性化, 塩化物イオン拡散係数

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設株式会社技術研究所 TEL. 042-489-7743

ずれのケースにおいても投入側と先端側で 0.9~1.1 の範囲であり、コンクリートの品質は流動距離によらず均一であると考えられる。推定圧縮強度と標準供試体の比は、SF45cm については先端側に比べて投入側で 2 割程度高かった。SF60cm および SF75cm については流動距離によらず同程度であった。また、いずれのケースにおいても推定圧縮強度は材齢 28 日におけるコア供試体の圧縮強度よりも大きくなっている。これは、21 年の材齢経過に伴い水和が進行したものと考えられる。

3. 2 空隙率

空隙率を図-3 に示す。図より、空隙率はいずれのケースにおいても流動距離によらず 13~16%の範囲でありほぼ同程度であった。本研究における高流動コンクリートは、流動距離によらずブリーディングなどの材料分離がなく、モルタル部分においても均一な品質であることが確認された。

3. 3 中性化

中性化深さを図-4 に示す。中性化深さは、打込み時に粗骨材の分離が認められた SF75cm も含め、いずれのケースにおいても流動距離によらず 3~5mm の範囲でありほぼ同程度であった。また、比較として本研究における高流動コンクリートと同一水セメント比(52.9%)とし、コンクリート標準示方書【設計編】(以下、示方書とする)に示される式から算出した中性化速度係数を用いて中性化深さを算出した。その結果、高流動コンクリートは示方書から算出した中性化深さの 1/8~1/2 程度であり、同一水セメント比であっても中性化に対する抵抗性が高いことが確認された。これは、本研究では石灰石微粉末を 216kg/m<sup>3</sup> 使用しており、石灰石微粉末がセメントの分散性を高め水和を促進したこと、モルタルの微細空隙を充填したこと<sup>2)</sup>、および初期材齢において石灰石微粉末が反応したこと<sup>3)</sup>などの影響によるものと考えられる。

3. 4 塩化物イオン拡散係数

全塩化物イオン分布の測定結果を用い、Fick の第 2 法則に合致するよう重回帰分析により算出した塩化物イオン拡散係数および表面塩化物イオン濃度をそれぞれ図-5 および図-6 に示す。図-5 より、塩化物イオン拡散係数はいずれのケースにおいても流動距離によらず同程度であった。また、比較として示方書に示される予測式を用い、本研究における高流動コンクリートと同一水セメント比(52.9%)とした場合の塩化物イオン拡散係数を算出した。その結果、高流動コンクリートは示方書から算出した塩化物イオン拡散係数の 1/10 程度であり、同一水セメント比であっても高い遮塩性を有することが確認された。次に、図-6 より、コンクリート表面における塩化物イオン濃度はいずれのケースにおいても流動距離によらず 0.2kg/m<sup>3</sup> 程度であった。これは、示方書に示される海岸からの距離 0.25km における表面塩化物イオン濃度 2.0kg/m<sup>3</sup> の 1/10 程度であり、この結果からも本研究における高流動コンクリートは塩化物イオンの浸透を抑制していることが認められた。これは、3. 3 で述べたとおり、石灰石微粉末を用いたことによる効果と考えられる。

次に、図-6 より、コンクリート表面における塩化物イオン濃度はいずれのケースにおいても流動距離によらず 0.2kg/m<sup>3</sup> 程度であった。これは、示方書に示される海岸からの距離 0.25km における表面塩化物イオン濃度 2.0kg/m<sup>3</sup> の 1/10 程度であり、この結果からも本研究における高流動コンクリートは塩化物イオンの浸透を抑制していることが認められた。これは、3. 3 で述べたとおり、石灰石微粉末を用いたことによる効果と考えられる。

4. まとめ

本試験で用いた併用系高流動コンクリートは、粗骨材の分離が認められた SF75cm も含め、いずれのケースについても流動距離によらずモルタル部分は均一な品質であり、21 年間の暴露試験の結果、中性化や塩害に対して高い耐久性を有することが確認された。

参考文献

- 1) 万木, 坂田ほか: 特殊増粘剤を用いた締固め不要コンクリートに関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.51-56, 1992.
- 2) 平田ほか: 石灰石微粉末を粉体の増量材として使用したコンクリートの耐久性について, セメント・コンクリート論文集, No.51, pp.186-191, 1997.
- 3) 日本コンクリート工学協会: 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム, pp.8-11, 1998.

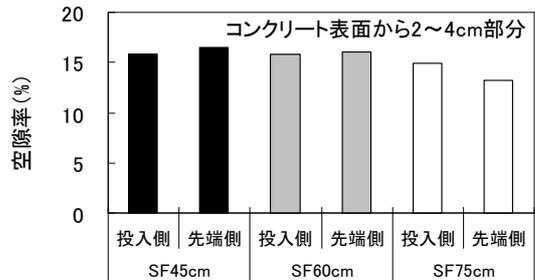


図-3 空隙率

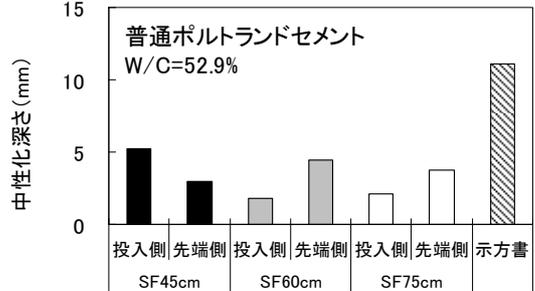


図-4 中性化深さ

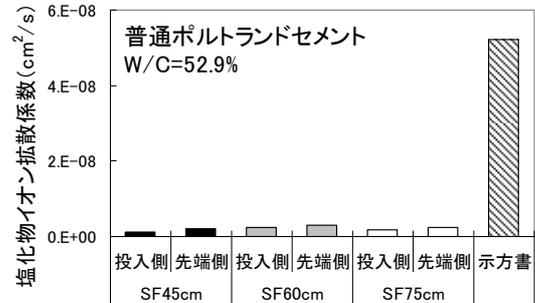


図-5 塩化物イオン拡散係数

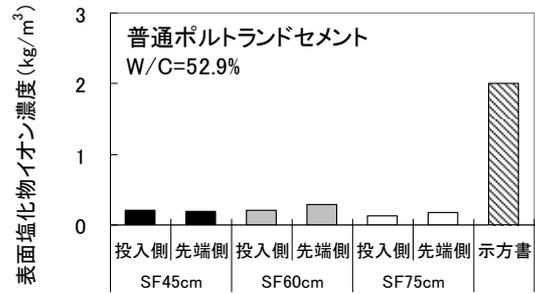


図-6 表面塩化物イオン濃度