

LPC-FA 系コンクリートの初期強度改善と物質移動抵抗性の評価

Improvement of initial strength and evaluation of mass transfer resistance of LPC-FA concrete

八戸工業高等専門学校 産業システム工学科 ○学生員 工藤 拓也
 八戸工業高等専門学校 産業システム工学科専攻 学生員 須藤 大空
 八戸工業高等専門学校 産業システム工学科 正会員 庭瀬 一仁

1. はじめに

日本のインフラは高度成長期に集中的に整備され、近年急速に老朽化が進んでいる。これから、近い将来に大量更新時代の到来が予想されている。また、積雪寒冷地では凍結防止剤による塩害の複合劣化により、コンクリート建造物の耐久性が著しく低下することが問題となっている。そのため、今後の積雪寒冷地でのインフラの建設、維持管理では長期耐久性に優れ、耐塩害性の高い材料を使用していく必要がある。

本研究は低熱ポルトランドセメントを使用したフライアッシュコンクリート (LPC-FA 系コンクリート) の初期強度の改善を目的とした基礎的な研究を行った。LPC-FA 系コンクリートは長期強度が優れた材料であるが一般に用いる場合は初期強度が低いという問題がある。一方で化学混和剤の技術の開発が進みこれまでにない結果をもたらす製品が入手可能となっている。そこで本研究では、最新の高性能 AE 減水剤と硬化促進剤を併用し、LPC-FA 系コンクリートの初期強度の改善を図った。また、W/B を下げ空隙を下げることによりさらに高い強度と物質移行抵抗性を期待した。

実験では、LPC-FA 系コンクリートの初期強度、耐塩害性を確認するために、まずはモルタルによる予察的な実験を行った。

2. 試験概要

本研究で使用した化学混和剤は、高性能 AE 減水剤と硬化促進剤を使用した。練り混ぜは二軸強制混合コンクリートミキサーを用いた。試験は、圧縮強度試験及び電気泳動試験¹⁾を行った。供試体の養生方法は水中養生で材齢を 3, 7, 28 日とした。電気泳動試験は材齢を 28 日の供試体を使用した。

表-1 にはモルタルの配合を示す。共通条件として、W/B=30%、FA 置換率 30%とした。ME と MXS は C×3%の添加とし LS を細骨材体積に対して 20%置換とした。

3. 試験結果・考察

(1) 圧縮強度試験

図-1 に圧縮強度試験の結果を示す。3 日強度は 3 配合とも 20N/mm²以上となり、十分な強度を得ることができた。その中でも、OPC-ME-MXS は 61.1N/mm²となり、OPC-ME と比較すると約 1.7 倍の強度となった。これは、MXS のカルシウムシリケート水和物のナノ粒子が種結晶として作用しセメントの水和反応を促進させたため

あると考えられる。7 日強度は、依然として OPC-ME-MXS が最も大きくなった。OPC-ME と OPC-ME-MXS は 3 日強度で 25.1N/mm²の差となり 28 日強度まで同程度の割合で増加していき 28 日強度でも同程度の強度の差が生まれた。MXS を添加することにより 3 日材齢の時点で圧縮強度に大きな影響を与えることが確認できた。また、3 日を超えると MXS による硬化促進作用はほとんどなくなった。

LPC-ME-MXS の 3 日強度は 3 配合の中で最も小さくなり、26.3N/mm²と OPC-ME-MXS の半分以下の強度となった。しかし、7 日強度での増加量は最も大きく約 22N/mm²増加し、OPC-ME と同程度になった。OPC は 3 日までの増加量が最も多く 3 日から 7 日では低下したのに対し、LPC は 7 日までの増加量の低下は少なく、強度は大きくなり続けていた。これは、LPC の長期にわたって強度が増進するという特徴からくるものであると考えられる。このことから、今後もさらに強度が増加していくことが予想される。

既存の試験結果²⁾と比較すると W/B を 50%から 30%にしたことにより 3 日強度では OPC-ME-MXS が最も増加し、2 倍以上の強度を得ることができた。OPC-ME と LPC-ME-MXS は 3 日強度では同程度増加していた。しかし、7 日強度になると LPC-ME-MXS は増加量が増え W/B=50%に対し、W/B=30%は約 2.5 倍の強度を得ることができた。これは MXS を添加したという要因と LPC の特徴である化学混和剤が吸着しやすい間隙質相が少ないことにより少量の化学混和剤でも十分な効果が出たという 2 つの要因が考えられる。W/B を下げたことによる強度の増加量は OPC-ME と LPC-ME-MXS は時間経過とともに増えたが、OPC-ME-MXS は時間が経過するにつれて減少していった。

(2) 実効拡散係数

図-2 には、塩化物イオンの実効拡散係数の結果を示

表-1 示方配合

種類	単位量 (kg/m ³)						
	W	C	F	LS	S	ME	MXS
OPC-ME-MXS	178	483	207	290	1161	14.5	14.5
OPC-ME	193	483	207	290	1161	14.5	—
LPC-ME-MXS	179	483	208	291	1164	14.5	14.5

OPC：普通ポルトランドセメント，LPC：低熱ポルトランドセメント

F：フライアッシュ，LS：石灰石微粉末，ME：高性能 AE 減水剤，MXS：硬化促進剤

す。すべての配合が $1.0 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ オーダー以下の値となった。これは、W/B が 30% と非常に低くなっているため、空隙が少なくなり緻密なモルタルになったためであると考えられる。また、水粉体比は約 20% となり粉体量が非常に多かったことも実効拡散係数が小さくなった要因の一つであると考えら、また、OPC-ME-MXS は OPC-ME よりも小さな値となる傾向がみられた。MXS を添加したものの中には $1.0 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ オーダーとなるものもあった。また、OPC-ME-MXS の平均値は OPC-ME の平均値の半分以下の値となった。これは MXS に含まれる先述のナノ粒子の種結晶によるものであると考えられる。このことから、MXS の添加は物質移動抵抗性を高めるのに効果的であると考えられる。本配合は 28 日材齢のものでも極めて高い物質移行抵抗性があり MXS が大きな影響を与えたことが分かった

4. まとめ

本研究から、以下の知見が明らかになった。

- 1) MXS を添加することにより、モルタルでは高い強度を得ることができ、3 日強度の時点で従来のものより高い強度となることが明らかになった。
- 2) モルタルにおいて 28 日材齢の圧縮強度は OPC-ME-

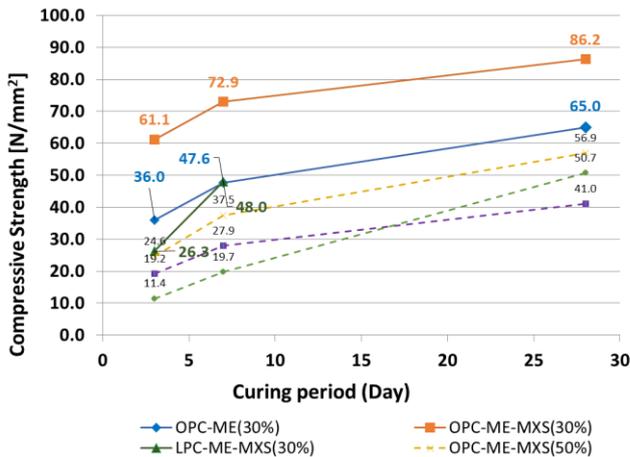


図-1. 圧縮強度試験結果

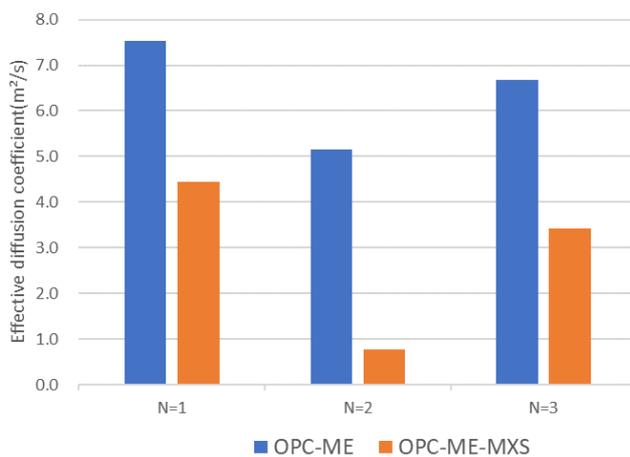


図-2. 実効拡散係数

MXS が、OPC-ME よりも $29 \text{N}/\text{mm}^2$ 高い値となった。この結果から、MXS の初期強度改善効果は、非常に高いと考えられる。

- 3) W/B を 30% にしたことにより、3 配合とも強度は大きくなった。3 日強度の時点では OPC-ME-MXS が際立って増加量が大きかったが、7 日強度では LPC-ME-MXS も増加量が増えた。
- 4) 実効拡散係数は極めて小さな値を得られ、これは W/B が 30% であり空隙が少なくなったためであると予想される。また、粉体量が多かったことで供試体の緻密に寄与したと予想される。
- 5) 実効拡散係数は MXS を添加することにより小さくなり、物質移動抵抗性が向上された。
- 6) 今後、フライアッシュによるポゾラン反応により実行拡散係数はさらに小さくなることが予想される

5. 今後の課題

- 1) MXS を用いることによって得られた高い圧縮強度、物質移動抵抗性の要因について化学的な根拠を検討する。
- 2) 長期材齢の圧縮強度試験等を実施しデータの比較を行う。
- 3) LPC-ME-MXS の電気泳動試験を実施し、データを考察、比較する。
- 4) さらに W/B を下げた場合の流動性、圧縮強度について検討していく。
- 5) モルタルによる予察的な実験のデータをもとにコンクリートの配合を決定していく。

6. 謝辞

本研究の一部は、平成 30 年度社会資本の整備や維持管理に係る研究又は活動の助成事業助成金を受けて行ったものである。

7. 参考文献

- 1) 須藤大空, 庭瀬一仁, 高性能 AE 減水剤と硬化促進剤の併用による強度発現への影響評価, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol175, Jan. 2019
- 2) 土木学会規準「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法(案) (JSCE-G 571-2003)
- 3) 酒井大誠, 庭瀬一仁, 高温養生したフライアッシュ併用ゼオライト混入セメント効果隊の物質抵抗性の評価, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol175, Jan. 2019