

水和解析に基づく養生計画立案手法の低熱型セメントへの適用検討

石川工業高等専門学校 学生会員 ○梶山 優
 石川工業高等専門学校 正会員 福留 和人
 安藤ハザマ 正会員 齋藤 淳

1. 目的

著者らは、養生で達成されるセメントの水和を解析的に予測し、所要の性能を確保するための目標の水和率（以下、目標水和率）が得られるように養生計画を立案する手法を提案している¹⁾。これまで普通ポルトランドセメント（以下、普通セメント）を用いたコンクリートで検討し、提案する手法に基づけば、養生計画を合理的に立案できることを確認した。一方、近年ひび割れ制御、低減を目的に中庸熱あるいは低熱ポルトランドセメント（以下、中庸熱および低熱セメント）などの低熱型セメントを一般的な鉄筋コンクリート構造物へ適用する事例も増加しつつある。これらの低熱型セメントは、水和反応が遅延するため、所要の性能を発揮させるためには、より長期間の湿潤養生を行うことが必要である。コンクリート標準示方書では、低熱型セメントを使用する場合の湿潤養生期間の標準は示されていないが、提案する手法でセメントの鉱物組成の影響を考慮した解析を行えば、任意の鉱物組成のポルトランドセメントを用いた時の必要養生期間の評価が可能である。

本研究では、既往研究²⁾による実験データを用いて解析プログラム³⁾の低熱型セメントへの適用性を確認するとともに、提案する養生計画立案手法により低発熱型セメントを用いた時の必要養生期間の算定を試みた。

2. 解析プログラムの低熱型セメントへの適用性の検討

(1) 概要 解析プログラムの低熱型セメントへの適用性を検討するために、湿潤養生条件の影響に関する既往研究²⁾の実験データを用いて解析による予測精度を確認した。ここで、提案する養生計画立案手法では、養生で達成される水和レベルの予測が必要であるが、水和レベルと圧縮強度発現はほぼ一対一に対応していると考えられることから、圧縮強度への影響に関する既往のデータ²⁾に基づいて適用性を評価した。また、圧縮強度の絶対値による評価は難しいことから、理想的な養生条件である水中養生の材齢 91 日の圧縮強度に対する各種養生条件の圧縮強度の比（以下、圧縮強度比）を比較することで予測精度の評価を行った。

(2) 解析プログラム 解析には、コンクリート材料性能プログラム DuCOM-SD³⁾を用いた。DuCOM-SD は、構造物／部材表面から内部へ向かう 1 次元場における物質移動や温度変化を考慮しつつ、水和進展・空隙構造を連成して解析するものであり、部位ごとの水和度が追跡可能である。なお、養生過程および終了後の含水状態の予測および含水状態が水和進展に及ぼす影響を評価可能である。

(3) 既往研究の実験条件²⁾ セメントは普通、早強、中庸熱、低熱ポルトランドセメントを使用し（表-1）、養生条件（表-2）が圧縮強度発現に及ぼす影響を把握している。養生方法は、型枠存置を想定した封緘養生と水を供給する養生（以下、給水養生）を想定した水中養生である。封緘養生期間は、標準示方書で示される湿潤養生期間の標準を基に設定しているが、低熱型セメントは、セメントの圧縮強さが普通セメントの材齢 5 日と同等となる材齢までとしている。

表-1 セメントの鉱物組成²⁾

鉱物	鉱物組成 (%)			
	普通	早強	中庸熱	低熱
C ₃ S	54	64	42	29
C ₂ S	21	12	36	53
C ₃ A	9	8	4	3
C ₄ AF	9	8	13	9

表-2 養生条件²⁾

養生方法		養生期間 (日)			
		普通	早強	中庸熱	低熱
封緘	示方書	5	3	9	12
	短縮	3	2	5	7
水中養生		7, 14, 21, 全期間 (91)			

キーワード 養生、水和解析、目標水和率、必要養生期間、低熱型セメント

連絡先 〒929-0392 石川県津幡町北中条 石川工業高等専門学校 環境都市工学科 TEL 076-288-8162

(4) 解析結果 図-1 に圧縮強度比の実測値と解析値の比較を示す。低熱型セメントの封緘養生の場合では、圧縮強度比は解析値の方が高く養生の影響を過小評価しているが、水中養生の場合では、いずれのセメントを用いた場合においても高い精度で養生の影響が評価されている。

3. 水と解析に基づく必要養生期間の算定

目標水和率は、圧縮強度等の特性値を定める時の供試体の材齢あるいは呼び強度を保証する材齢における水和率とする必要がある。材齢 28 日が一般的であるが、低熱型セメントでは材齢を 56 日とする場合が多いことから、標準水中養生における材齢 28 日および 56 日の水和率を目標水和率とする 2 ケースとした。目標水和率を達成する材齢（以下、達成材齢）は、供用開始時の材齢を考慮して設定するが、安全側に材齢 91 日とした。水と解析では、鉄筋のかぶりを考慮して、表層から深さ 5cm の平均水和率を算定した。ここで、養生は、給水養生、環境温度は、10、20 および 30℃とし、給水養生後は、相対湿度 60%で暴露する条件とした。

図-2 および図-3 に給水養生期間と水と解析により算定した材齢 91 日における水和率の関係を示す。これらの図より、目標水和率が得られる必要養生期間を算定した。図-4 に環境温度と必要養生期間の関係を示す。ここで、比較のために普通セメントを用いた場合の算定結果¹⁾も併せて示した。目標水和率を材齢 28 日とした場合では、環境温度 20℃で普通セメントの 8 日に対し、低熱型セメントでは、14 日程度と長期の給水養生が必要であるという結果となった。さらに、材齢 56 日を目標水和率とした場合では、50 日程度とかなり長期の給水養生が必要であるという結果となった。

4. まとめ

提案する養生計画立案手法の低熱型セメントへの適用性を検討するために、水と解析プログラムの低熱型セメントへの適用性が十分高いことを確認した。さらに、提案する手法により低熱型セメントを用いた時の必要養生期間を算定し、長期間の給水養生が必要であることを示した。

参考文献

- 1) 大島美穂, 福留和人, 齋藤淳: コンクリート構造物の養生計画立案手法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1305-1310, 2018.7
- 2) 福留和人, 古川幸則, 庄野昭: ポルトランドセメントを用いたコンクリートの強度発現に及ぼす湿潤養生条件の影響評価手法, 土木学会論文集 E2, Vol.68, No.1, pp.26-37, 2012.2
- 3) 前川宏一, 岸利治, R.P.Chaube, 石田哲也: セメントの水和発熱・水分移動・細孔組織形成の相互連関に関するシステムダイナミクス, セメントコンクリートの反応モデル解析に関するシンポジウム論文集, コンクリート工学協会, pp.45-52, 1996

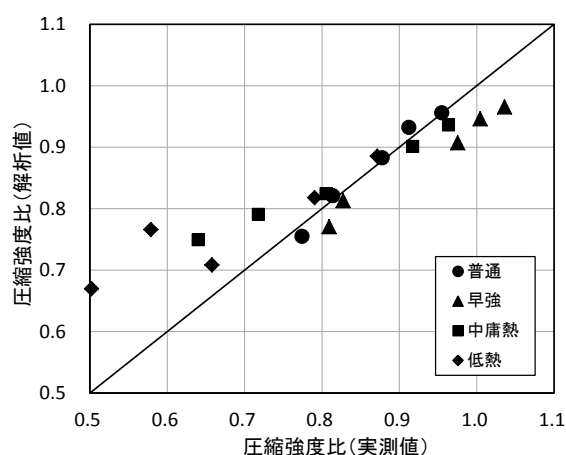


図-1 圧縮強度比の実測値と解析値の比較

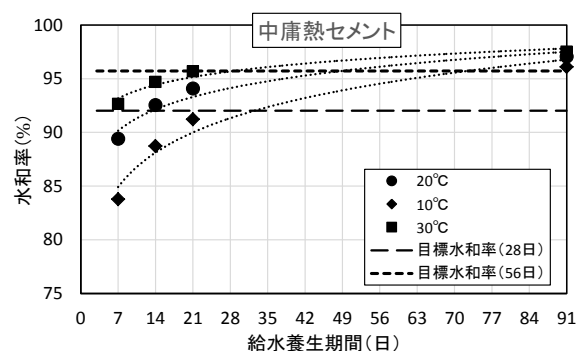


図-2 給水養生期間と水和率の関係（中庸熱）

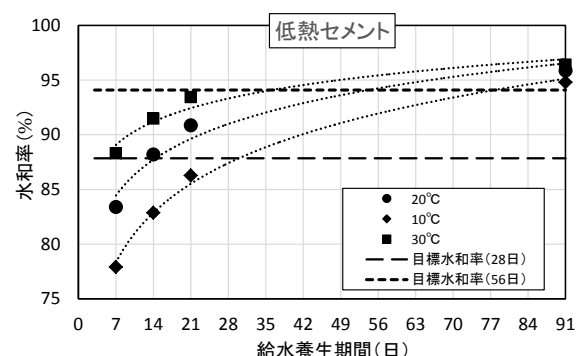


図-3 給水養生期間と水和率の関係（低熱）

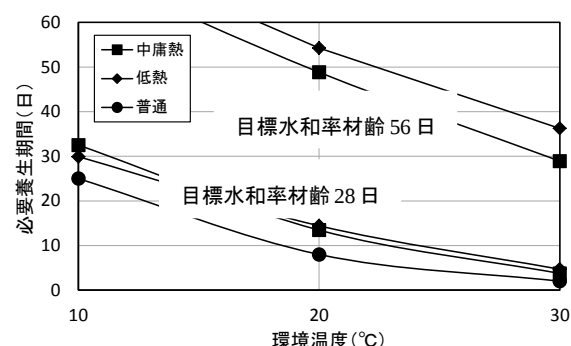


図-4 環境温度と必要養生期間の関係