

各種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

ハザマ 正会員 ○福留和人
 ハザマ 正会員 古川幸則
 ハザマ 正会員 庄野 昭

1. はじめに

コンクリートが硬化後、所要の強度、耐久性、ひび割れ抵抗性等の性能を発揮させるためには、適切に湿潤養生を行うことが望ましい。さらに、湿潤養生においては、外部から積極的に水を供給し十分な水がコンクリート中に保たれた状態を維持することが重要である。この観点から、著者らは型枠を取りはずした後に水中養生と同様の湿潤養生を実現できる浸水養生システムを開発した¹⁾。また、浸水養生期間の選定を想定し、湿潤養生方法が普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの圧縮強度発現特性に及ぼす湿潤養生条件の影響評価手法を提案した²⁾。

本研究では、提案した評価手法の各種ポルトランドセメントを用いたコンクリートへの拡張を試みた。

2. 実験概要

各種ポルトランドセメント（表-1）を用いた W/C55%のコンクリートを種々の条件で養生し、材齢 7, 28, 91, 182 日および湿潤養生終了時に圧縮強度試験および質量測定を実施した。養生は、①示方書標準期間封緘養生（中庸熟 9 日、低熟 12 日：普通セメントの材齢 5 日と同等強度が得られる材齢）、②示方書標準期間の 60%の期間封緘養生、③②の養生後 1, 2, 3 週間水中養生（浸水養生を想定）および④標準水中養生、とした。湿潤養生後は、20℃相対湿度 60%で気中養生を行った。養生温度は、全て 20℃で一定とした。

3. 水和反応に及ぼす湿潤養生条件の影響評価手法概要

水和生成物の容積 V_r は、各セメント鉱物の水和率 R_{ji} 、セメント鉱物と水和生成物の分子量および密度から理論的に算定した。保水状態の影響は、水中養生における水和速度に低減係数 β を乗ずることによって評価した。ここで、保水状態は、基準となる水中養生における非結合水量 W_{fw} に対する各養生条件 j における非結合水量 W_{fj} の比率：保水率 ω により定義した。保水率と低減係数 β の関係を図-1 示す。水和停止保水率 ω_u を定義し、保水率の低下とともに水和速度は、直線的に低下すると仮定した。保水状態は、時間とともに変化することから、時間ステップ Δt ($=1\text{day}$) で順次算定する方法を採用した。すなわち、材齢 t における保水率 $\omega_j(t)$ に対する低減係数 $\beta(\omega_j(t))$ から時間ステップ Δt の水和率の増分を算定し、材齢 $t+\Delta t$ の水和率を求めた。水和生成物容積の算定フローを図-2 に示す。

表-1 セメントの品質、鉱物組成

セメント種類	比表面積 cm^2/g	鉱物組成 mi (%)			
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
普通	3,300	54	21	9	9
早強	4,470	64	12	8	8
中庸熟	3,150	42	36	4	13
低熟	3,530	29	53	3	9

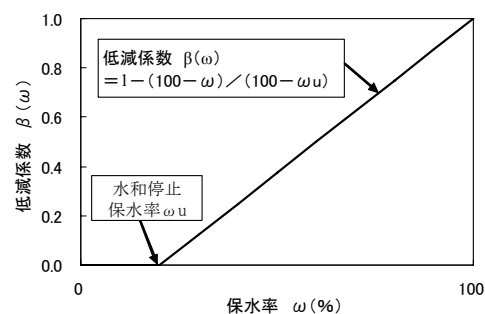


図-1 保水率と低減係数の関係

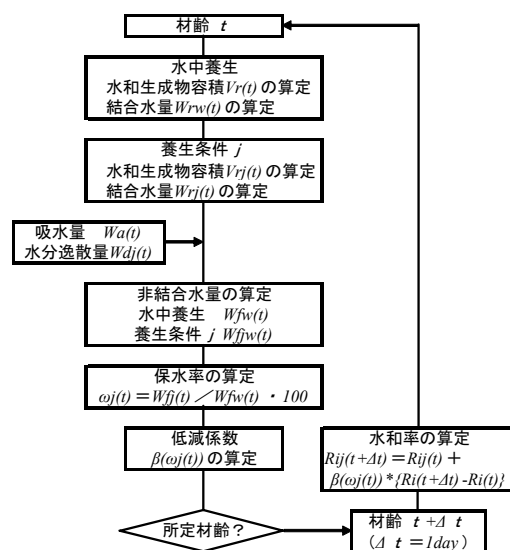


図-2 算定フロー

キーワード：養生，浸水養生，圧縮強度，水和反応

連絡先：ハザマ技術研究所，〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 tel: 029-858-8813, fax: 029-858-8819

4. 各種ポルトランドセメントへの拡張の検討

セメント種類毎に水和停止保水率 ωu を変化させて水和生成物容積/ペースト容積と圧縮強度の関係を直線回帰し、回帰式の決定係数 R^2 との関係を調べた。水和停止保水率 ωu と決定係数 R^2 の関係を図-3に示す。いずれのセメントでも、決定係数 R^2 は高く、水和生成物容積/ペースト容積と圧縮強度が良好な線形関係にあり、水和生成物容積による評価は、おおよそ妥当であると言える。なお、決定係数 R^2 が最大となる水和停止保水率は、セメントの種類により差が見られ、低熱セメントほど水和停止保水率は、高くなっている。

図-4は、水中養生における水和生成物容積/ペースト容積と圧縮強度の関係を示したものである。全体的には、ほぼ直線関係にあるが、セメントの種類による差異が見られる。このセメント種類による差異の要因は種々考えられるが、ここでは、主な要因は、ブレン比表面積の差異に起因する水和反応速度の差異にあるもの仮定して、実測データを基にセメントの種類による補正方法を検討する。たとえば、若材齢時においては、水和生成物容積/ペースト容積の算定値に対して実測圧縮強度は、早強セメントでは高めに、低熱セメントでは低めになっている。これは、早強セメントでは、実際には水和が早く進行しており普通セメントの水和反応速度を基準とした水和生成物の算定値は、低めに算定しているためと考えた。この影響を補正するために、圧縮強度の実測値から水和生成物容積を推測し、算定した水和生成物容積に対する比を補正係数 γ として算定した。

図-5に水和生成物容積/ペースト容積と補正係数 γ の関係を示す。早強セメントは若材齢時に大きく、材齢とともに低減するのに対し、低熱セメントは、若材齢時は低いが、材齢とともに増大しており、セメントの強度発現特性を反映している。中庸熱セメントも材齢の経過とともに増加する傾向であるが、その増加は小さく、全材齢で平均的な特性を示している。普通セメントは、長期材齢で補正係数 γ が低下する傾向を示しており、長期強度の増進が小さいという性質を示している。

図-6に全データについて、補正係数 γ を乗じた水和生成物容積/ペースト容積と圧縮強度の関係を示す。若材齢時の水和率の低い領域において若干ばらつきは見られるが、セメントの種類、養生条件にかかわらずひとつの関係式で表すことができる。

以上のように、セメントの種類による強度発現特性の補正を行うことで、養生条件が強度発現特性に及ぼす影響をセメントの種類によらず統一的に評価することが可能である。

参考文献 1) 古川, 福留, 庄野: コンクリートの浸水養生システム, コンクリート工学 Vol.49, No.3, pp.21-28, 2011.3, 2) 福留, 古川, 庄野: 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に関する研究, 土木学会論文集 E2, Vol.67, No.1, pp.18-27, 2011.1

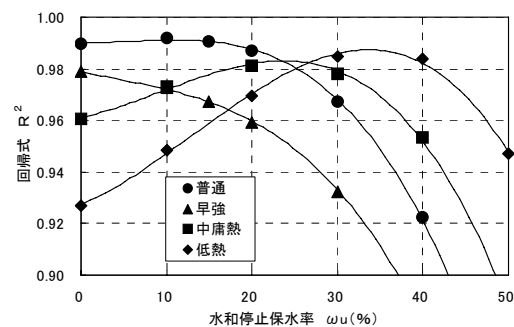


図-3 水和停止保水率と決定係数 R^2 の関係

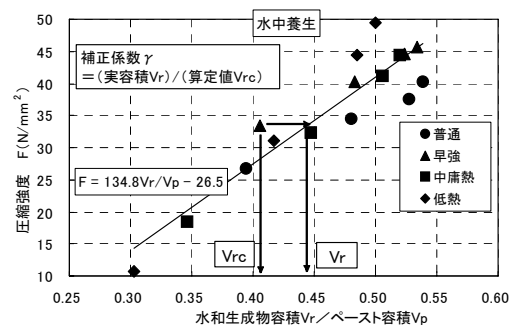


図-4 セメント種類による補正係数算定方法

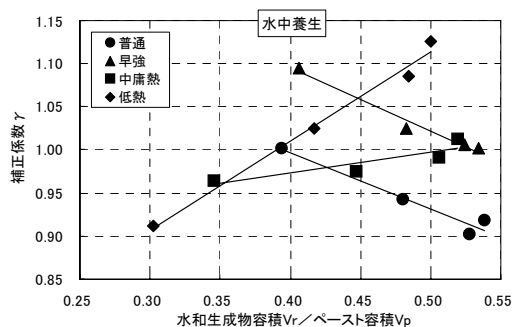


図-5 水和生成物容積/ペースト容積と補正係数の関係

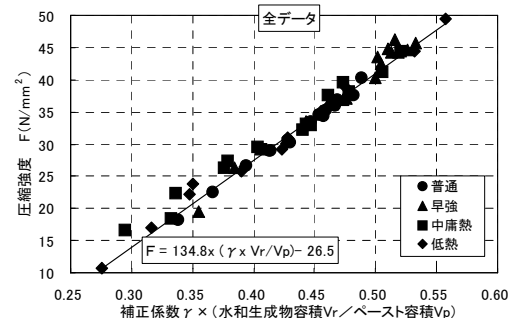


図-6 修正係数 $\times$ (水和生成物容積/ペースト容積)と圧縮強度の関係