

生産性向上と養生による性能確保の両立を考慮した養生計画立案手法 —強度確保の観点からの検討—

石川工業高等専門学校 正会員 ○福留 和人
七尾市役所 堀川 旬, 国土開発センター 寺瀬 一葉
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、目標の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⁾。たとえば、環境温度が低い場合、養生期間の延長が必要となるが、所要の性能を確保するための必要な養生期間を各種条件に応じて合理的に算定可能である。一方、建設産業における生産性の向上は重要な課題である。特に、コンクリート工の生産性向上が進んでいないことが指摘されており、様々な観点から生産性向上の取組みが検討されている²⁾。性能確保のための養生期間の確保もコンクリート工の生産性が向上しない理由のひとつになっている可能性も考えられる。したがって、性能確保のための養生条件を見出すだけでは不十分であり、今後は、生産性向上との両立を図る養生計画立案手法の開発が求められる。以上の背景から、生産性向上と性能確保の両立を考慮した養生計画立案手法の開発を目的に検討を加えた。

2. 生産性向上と性能確保の両立の基本的考え方

(1) 設計材齢変更による必要養生期間の短縮

図-1 に給水養生期間と達成材齢 91 日における水和率の関係を示す。この図から、設計材齢 28 日の場合、必要養生期間は、環境温度 20℃で 7~8 日程度、10℃で 25 日程度と算定される。これは、環境温度 10℃と低くなるとセメントの水和の進行が遅れ、コンクリートの品質を確保するためには、長期間の養生を実施する必要があることを示している。設計材齢を 21 日、14 日と短縮することによって目標水和率が低下するため必要養生期間が短縮される。図-2 に設計材齢と必要養生期間の関係を示すが、環境温度が低くても、設計材齢の設定で養生期間の短縮が可能となる。つまり、設計材齢を短くすると、水セメント比の低い配合が選定され、養生期間を延長することなく所要の性能が満足されるのである。

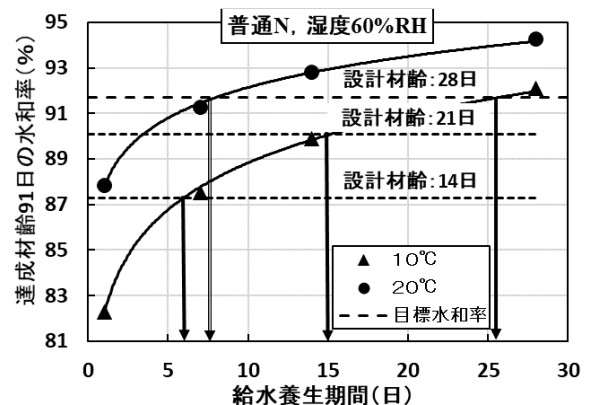


図-1 給水養生期間と達成材齢 91 日の水和率の関係

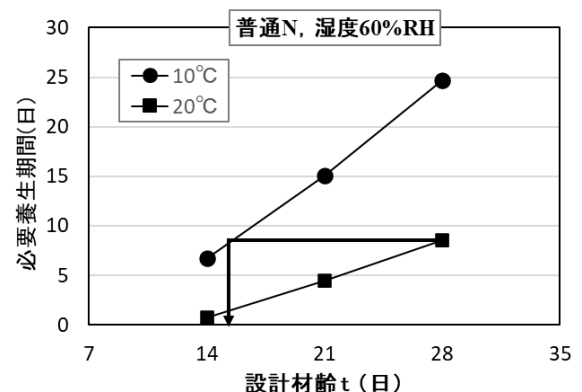


図-2 設計材齢と必要養生期間の関係

(2) 設計材齢算定方法

養生計画立案支援プログラムの開発において、各種要因・条件が必要養生期間に及ぼす影響を評価し、以下に示す算定式によって必要養生期間を適切に算定できることが確認されている³⁾。Cp は必要養生期間(日)であり、基準の条件における必要養生期間 Cp0 に各種要因(セメント種類, W/C, 設計材齢, 評価深さ, 環境湿度・温度など)の影響を表す補正係数を乗じて算定できる。

$$C_p = \alpha_c \cdot \alpha_m \cdot \alpha_t \cdot \alpha_r \cdot \alpha_d \cdot \alpha_{temp} \cdot \alpha_{RH} \cdot C_{p0} \quad (1)$$

この算定式から、所定の養生期間 Cp とするよう条件

キーワード 養生計画, 水和解析, 生産性向上, 設計材齢, 圧縮強度, 呼び強度

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 TEL076-288-8162

を選定することが可能である。(1)で示したように、施工計画検討時においては、設計材齢に関する係数 α_t による検討が最も合理的である。具体的には、式(1)において、設計材齢に関する係数 α_t を調整することによって、必要養生期間を短縮することが可能である。一方、既往研究から補正係数 α_t の算定式が得られている³⁾(図-3参照)。

$$\alpha_t = 0.0834 \cdot \exp(0.0883 \cdot t) \quad (2)$$

これより、設計材齢を算定することができる。

$$t = \frac{\ln(\alpha_t / 0.0834)}{0.0883} \quad (3)$$

3. 配合補正方法—強度確保の観点からの検討

厳密には、選定された設計材齢において所要の圧縮強度が得られように配合設計を行うことが必要となる。しかしながら、設計材齢毎に配合設計を行うことは合理的ではない。以下、現実的な検討を示す。

(1) 圧縮強度算定式の導出

配合補正方法を得るため、標準的な使用材料(普通セメント、川砂、川砂利、AE減水剤)、配合(W/C:60, 50, 40%)で、材齢7, 14, 28, 91日において圧縮強度試験(JIS A 1132)を実施した。得られた結果から材齢 t と配合(C/W)を変数とした圧縮強度算定式を導出した。

$$f'c = (1.129C/W + 3.610) \ln(t) + 22.89C/W - 26.47 \quad (4)$$

(2) 配合補正方法の検討

圧縮強度算定式(式(4))に式(3)から算定された設計材齢 t および設計基準強度 $f'ck$ (配合強度 $f'c = \alpha \cdot f'ck$, α :割増係数)を代入すると、水セメント比W/Cの補正值が算定される。

$$W/C = \frac{1.129 \cdot \ln(t) + 22.89}{\alpha \cdot f'ck - 3.610 \cdot \ln(t) + 26.47} \quad (5)$$

一般の工事では、レディーミクストコンクリートが用いられるため、水セメント比ではなく、呼び強度(材齢28日において保証する強度)を変更するのが実用的である。すなわち、圧縮強度算定式(式(4))に算定されたW/C(式(5))および材齢 $t=28$ 日を代入すると、呼び強度が算定される。

$$\text{呼び強度} = \left\{ (1.129 / (W/C) + 3.610) \ln(28) + 22.89 / (W/C) - 26.47 \right\} / \alpha \quad (6)$$

図-4は変動係数を10%($\alpha=1.197$)として、式(4)の圧縮強度算定式に基づいて設計材齢、配合(W/C)、設計基準強度の関係を示したものである。なお、マークは実測値を示す。図中に環境温度 10°C で養生期間を延長しない場合の配合補正の具体例を $f'ck: 30\text{N}/\text{mm}^2$ の例で示す。図-2、式(3)より設計材齢14日が得られ、さらに式(5)からW/Cの補正值が得られる。得られたW/Cにおける材齢28日の圧縮強度(式(6))から呼び強度33に変更すればよいことがわかる。今後、混合セメントの使用や耐久性確保の観点などから養生期間延長が求められる場合の検討も進め、生産性向上との両立を考慮した養生計画立案手法の開発を進める予定である。

謝辞: 本研究は、科学研究費補助金(基盤研究(C), 19K04563)によって実施した。ここに記して謝意を表す。

参考文献: 1)福留他:セメントの水和解析に基づく養生計画立案手法, コンクリート工学論文集, 第32巻, pp.35-47, 2021.3, 2)国土交通省ホームページ, コンクリート生産性向上協議会, 3)福留他:セメントの水和解析に基づく養生計画立案支援プログラムの開発, 土木学会全国大会第75回年次学術講演会, V-268, 2020.9

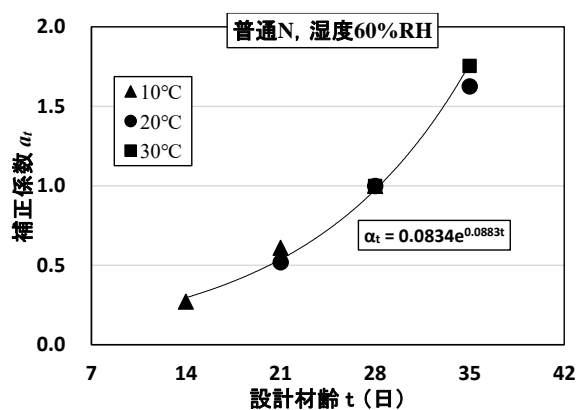


図-3 設計材齢と補正係数 α_t の関係³⁾

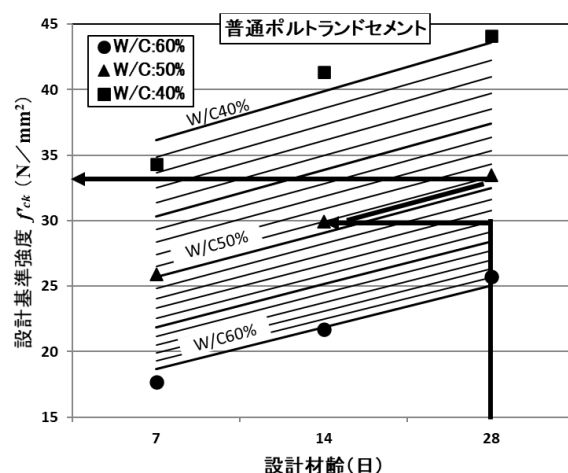


図-4 設計材齢, W/C, 設計基準強度の関係