

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 —物質移動抵抗性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
駒井ハルテック 片山 琴絵
安藤ハザマ 正会員 齋藤 淳

1. はじめに

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⁾。さらに、建設産業における生産性の向上は重要な課題であるとの観点から、生産性向上との両立を図る養生計画立案手法を目的に検討し、既往²⁾において設計材齢の補正により生産性と圧縮強度確保の両立が可能であることを示し、設計材齢および圧縮強度の算定式から配合を補正する方法を示した。本報では、物質移動抵抗性確保の観点からの検討結果を報告する。

2. 物質移動抵抗性算定式の導出

既報²⁾において、設計材齢を短縮し、設定した設計材齢において所要の圧縮強度を確保する配合を選定することで必要養生期間の短縮が可能となること、すなわち、生産性向上と圧縮強度確保の両立が可能であることを示した。ここでは、耐久性に関する性能として物質移動抵抗性を取り上げ、配合補正のための物質移動抵抗性算定式を試験に基いて整備した。

(1)試験概要:セメントは普通ポルトランドセメントとし、水セメント比を40, 50 および 60%の3水準とした。物質移動抵抗性は、中性化速度係数や塩化物イオン拡散係数など、設計に直接反映できる特性値による評価が理想であるが、ここでは、これらの特性値と関連性が高くかつ測定が比較的容易な表層透気係数(トレント法)による評価を実施した。圧縮強度と同様²⁾、材齢と表層透気係数の関係を得る必要があるが、表層透気係数は含水状態の影響を大きく受けるため、所定の材齢経過時に正確に測定することが困難である。そこで、養生条件の異なる供試体の長期材齢における表層透気係数の測定結果から水和解析によって材齢を算定し、表層透気係数との関係を間接的に求めることとした。供試体は、1辺200mmの立方体とした。養生条件は、水中養生期間7, 28日および気中養生(材齢2日まで型枠存置)とし、養生終了後は20℃湿度60%RHの恒温恒湿槽に静置し、材齢91日に側面4面の表層透気係数を測定した。

(2)表層透気係数算定式の導出:図-1にDuCOM-SDによる水和解析で算定した表層部水和率と表層透気係数の関係を示す。標準水中養生での材齢と水和率の関係を水和解析で求め、測定時の表層部水和率に相当する材齢を等価材齢として算定した。図-2に等価材齢と表層透気係数

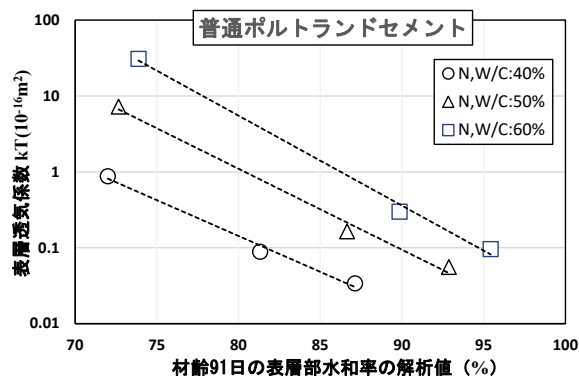


図-1 表層部水和率の解析値と表層透気係数の関係

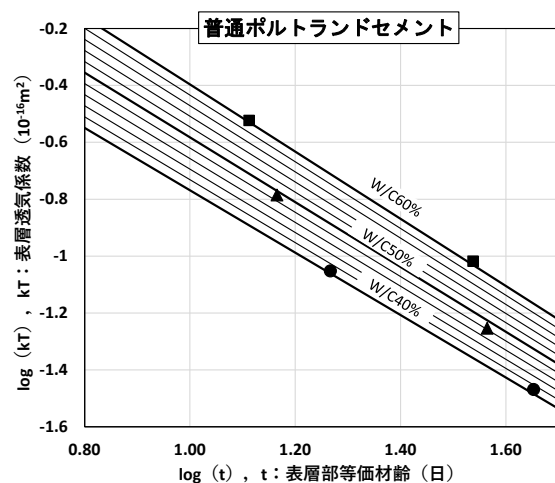


図-2 表層部等価材齢と表層透気係数の関係

キーワード 養生計画, 水和解析, 生産性向上, 設計材齢, 物質移動抵抗性, 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

の関係を示す. 材齢の対数と表層透気係数の対数が線形関係にあることから以下の表層透気係数算定式を得た.

$$\log (kT) = (A1 \cdot W/C - B1) \log (t) + A2 \cdot W/C + B2 \quad (1)$$

ここに, $A1 = -0.00419$, $B1 = -0.9294$, $A2 = 0.02278$, $B2 = -0.5828$

3. 配合補正方法の検討

圧縮強度と同様に具体的な表層透気係数を与えて検討することが理想であるが, 明確な根拠で設定することは難しい. そこで以下の手順で配合補正方法を検討した.

- 1) 設計基準強度 f'_{ck} および圧縮強度算定式²⁾から, 原配合の水セメント比 W/C_0 を推定する. ここで, α は配合強度を算定する際の割増係数である.

$$W/C_0 = \frac{A1 \cdot \ln(28) + A2}{\alpha \cdot f'_{ck} - B1 \cdot \ln(28) - B2} \quad (2)$$

- 2) 算定された原配合の水セメント比 W/C_0 および式(1)から原配合の表層透気係数 kT_0 を推定する.

$$\log (kT_0) = (A1 \cdot W/C_0 + B1) \log (28) + A2 \cdot W/C_0 - B2 \quad (3)$$

- 3) 設計材齢 t を補正した時に, 基準配合と同等の表層透気係数 kT_0 が確保される W/C を式(1)から算定する.

$$W/C = \frac{\log (kT_0) - B1 \cdot \log (t) - B2}{A1 \cdot \log (t) + A2} \quad (4)$$

- 4) 算定された W/C から呼び強度を算定する²⁾.

$$\text{呼び強度} = \{ (A1 / (W/C) + B1) \ln(28) + A2 / (W/C) + B2 \} / \alpha \quad (5)$$

4. 算定事例：任意の養生期間とする場合

ここでは, 任意の養生期間 Cp_{opt} とする場合について検討する. 式(6)に示す必要養生期間 Cp の算定式²⁾から, 基準の条件において任意の養生期間 Cp_{opt} とするための設計材齢に関する補正係数 α_t は, 式(7)となる.

$$Cp = \alpha_c \cdot \alpha_m \cdot \alpha_t \cdot \alpha_r \cdot \alpha_d \cdot \alpha_{temp} \cdot \alpha_{RH} \cdot Cp_0 \quad (6), \quad \alpha_t = \frac{Cp_{opt}}{Cp_0} \quad (7)$$

次に, 設計材齢 t に関する補正係数 α_t の算定式²⁾ (式(8))から, 設計材齢 t が算定される (図-3).

$$\alpha_t = 0.0834 \cdot \exp (0.0883 \cdot t) \quad (8)$$

さらに, 3.に示す手順で呼び強度を算定した. 図-4に呼び強度の算定結果を示す. ここで, 比較のために圧縮強度確保の算定結果も併せて示す. 任意の養生期間とするための呼び強度の補正を合理的に算定できることが示されたと言える. 圧縮強度確保の場合には, 呼び強度の補正は5程度以下であるが, 耐久性確保の場合には大幅な呼び強度の補正が必要であるという算定結果となった. このことは耐久性確保が求められる場合には適切な養生期間の確保が必要であることを示しているとも言える. 今後, 混合セメントや低炭素型セメントへの適用検討を進め, 低炭素化と生産性向上との両立を考慮した養生計画立案手法へ発展させる予定である.

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) 福留和人, 齋藤淳: 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) 福留他: 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—, 土木学会全国大会第77回年次学術講演会, V-425, 2022.9

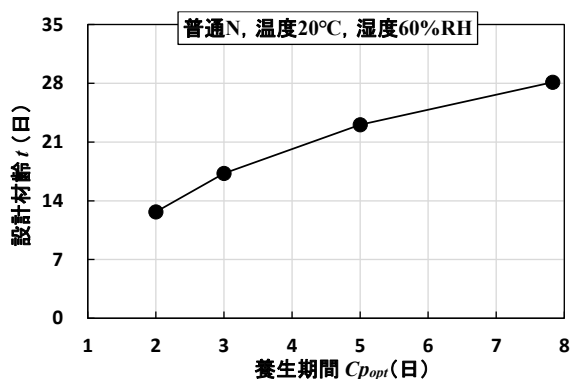


図-3 養生期間 Cp_{opt} と設計材齢 t の関係

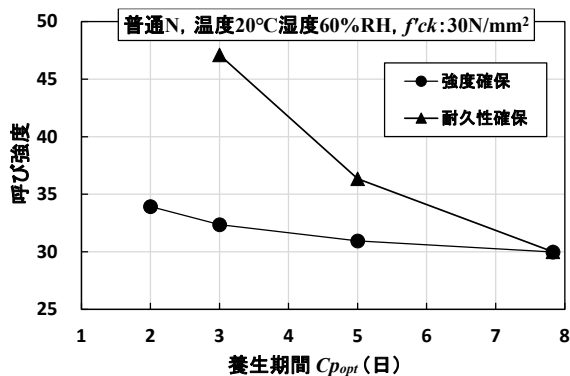


図-4 養生期間 Cp_{opt} と呼び強度の関係