

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

石川工業高等専門学校 正会員 ○福留 和人
 石川工業高等専門学校 学生会員 木下 慶人, 学生会員 高田 莉里
 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),2)}。これまでの検討により、構造物の条件、環境条件、使用材料、配合および目標水和率等の条件を設定すれば、開発した「セメントの水和解析に基づく養生計画立案手法」により、養生計画を合理的に立案することが可能であることを確認している。しかしながら、工事毎に水和解析を行い、養生計画を立案することは理想であるが、社会実装は難しい。そこで、水和解析を行わなくても簡易に必要な養生期間を求められる養生計画立案支援プログラムの開発を検討した。ケーススタディーにより算定した各種条件下の必要養生期間を基に、必要養生期間の算定式を検討し、各種条件から必要養生期間を算定する、養生計画立案支援プログラムを開発した。

2. 必要養生期間算定式の検討

(1) 必要養生期間算定式

ケーススタディーにより算定した各種条件下の必要養生期間を基に、必要養生期間の算定式を検討した。必要養生期間は、基準の条件における必要養生期間に各種要因による補正係数を乗ずることで求まる下式とした。

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

ここで、 C_p ：必要養生期間（日）であり、それぞれ、 α_c はセメントの種類、 α_m は水セメント比、 α_t は目標水和率を規定する材齢（設計材齢）、 α_r は到達材齢、 α_d は評価深さによる補正係数である。 C_{p0} は、基準の条件における必要養生期間であり、基準の条件は、セメントの種類：普通ポルトランドセメント、水セメント比：50%、評価深さ：5cm、目標水和率を規定する材齢：材齢28日、到達材齢：材齢91日、環境条件：温度20℃、湿度60%RH、とした。実施工では、温度、湿度等の環境条件は施工期間中に変化する。そのため、環境条件（温度および湿度）に応じた必要養生期間を算定しておくことが必要となる。式(1)で求められる必要養生期間は、基準の環境条件（温度20℃、湿度60%RH）における必要養生期間であり、任意の環境条件における必要養生期間は、温度補正係数 α_{temp} および湿度補正係数 α_{hum} を乗ずることで算定することとした。

(2) 各要因の補正係数の検討

目標水和率を規定する材齢を例に、補正係数の検討結果を示す。図-1に材齢と補正係数の関係を示す。ここで、補正係

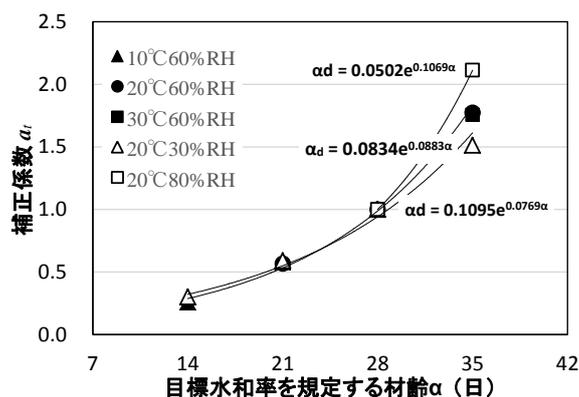


図-1 目標水和率を規定する材齢と補正係数の関係

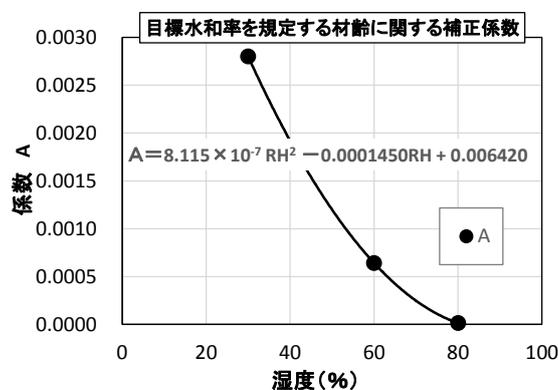


図-2 湿度と算定式の係数の関係

キーワード 養生計画, 水和解析, 必要養生期間, プログラム

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

数は、基準の材齢 28 日における必要養生期間で除して無次元化している。図から補正係数 a_t の算定式を指数関数 ($a_t = A \cdot e^B$) とした。補正係数は、温度の影響は見られないが、湿度の影響が若干見られるようである。そこで、指数関数の係数 A および B と湿度の関係調べた。図-2 および図-3 にそれぞれ湿度と係数 A および B の関係を示す。図より、係数 A および B の算定式を 2 次関数とした。

セメントの種類、水セメント比および評価深さによる補正係数の検討も同様に行い、各補正係数の算定式を求めた。さらに、同様の検討を行い、温度補正係数 a_{temp} および湿度補正係数 a_{hum} の算定式を提案した。

3. 養生計画立案支援プログラムの概要

プログラムは、汎用性等を考慮し、Excel の VBA を用いて作成した。図-4 にプログラムの構成を、図-5 にプログラム起動後の入力フォームを示す。入力内容は、工事名・構造物・部材に加え、必要養生期間の算定に必要な各種要因、すなわち、セメントの種類・水セメント比・養生工法・評価深さ・到達材齢・目標水和率を規定する材齢（設計材齢）である。ただし、養生工法に応じた解析条件の設定については現在検討中であり、現時点では、養生工法を考慮することはできない。なお、環境条件は、入力条件としておらず、温度 10℃および 30℃、湿度 30%RH および 80%RH の条件で必要養生期間を算定するようにしている。

図-6 に必要養生期間の算定結果の出力例を示す。環境条件に応じた必要養生期間がわかるように、環境温度と必要養生期間の関係を環境湿度毎に示した。なお、高温時では必要養生期間が短く算定される場合があるが、実状に留意し、最低養生期間を 3 日として図示した。

4. まとめ

ケーススタディーにより算定した各種条件下の必要養生期間を基に、必要養生期間の算定式を検討し、各種条件から必要養生期間を算定する、養生計画立案支援プログラムを開発した。今後、算定式の精度向上および各種養生工法への適用拡大を検討する予定である。

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

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)土木学会：コンクリート技術シリーズ 122, コンクリート構造物の養生効果の定量的評価と各種養生技術に関する研究小委員会成果報告書, 土木学会, pp.180-184, 2019.9

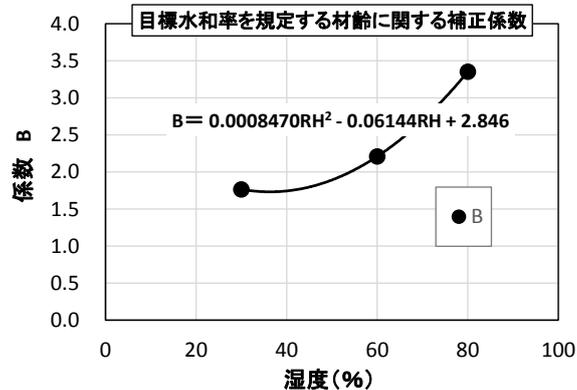


図-3 湿度と算定式の係数の関係

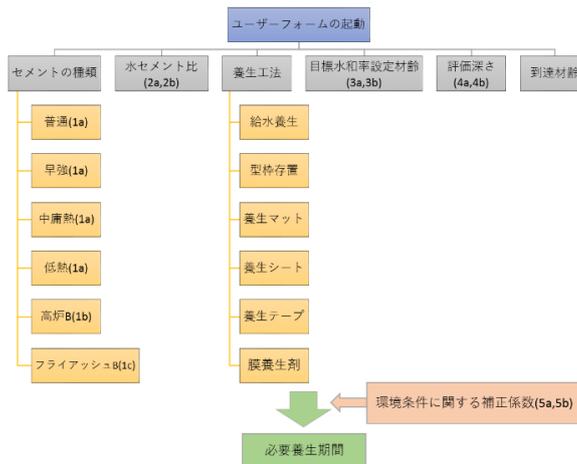


図-4 プログラムの構成

図-5 プログラム起動後の入力フォーム

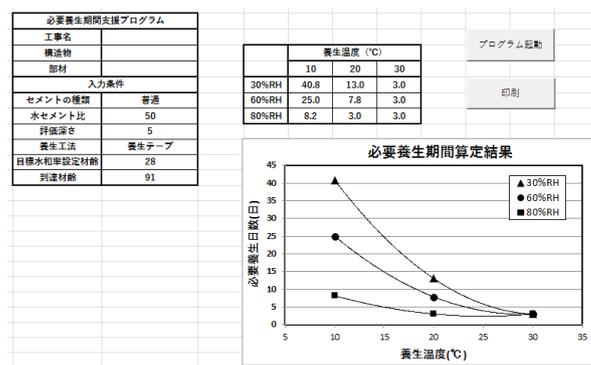


図-6 必要養生期間算定結果の出力例