

寒中コンクリートを対象とした強度増進標準曲線の提案

正会員 ○濱 幸雄*
同 深瀬孝之**
同 三森敏司***

寒中コンクリート 強度増進 標準曲線
等価積算温度

1. はじめに

寒中コンクリートにおいて合理的かつ経済的な施工を行うためには、コンクリートの強度増進の過程を把握することが極めて重要である。日本建築学会「寒中コンクリート施工指針」では、資料6に各種セメントを用いたコンクリートの強度増進標準曲線が示されている¹⁾。これは、水セメント比 45%~65%のプレーンコンクリートの実験結果をロジスティック曲線で近似した実験式である。しかし、初期材齢および低水セメント比のコンクリートでの標準曲線と実強度との乖離が確認されており、近年のコンクリートの高強度化に対応した標準曲線の見直しの必要性が指摘されている²⁾。

本研究では、水セメント比 25~65%のコンクリートの実験結果を用いて、寒中コンクリートで用いる積算温度と圧縮強度の関係を表す強度増進標準曲線の修正式を提案する。

2. 実験概要

表1に使用したコンクリートの条件を示す。セメントは普通ポルトランドセメントを用い、化学混和剤の種類を変えた合計 11 種類のコンクリートを作製した。養生条件は 20℃,10℃,5℃での封緘養生とし、圧縮強度試験の材齢は 30~2730° D・D までの 7 材齢とした。

図1に積算温度と圧縮強度の関係の一例を示す。水セメント比 35%、25%ともに初期材齢で 5℃養生の強度が 20℃養生の強度を下回っており、特に水セメント比 25%でその差が大きくなっている。

3. 強度増進式の検討

(1) 等価積算温度と圧縮強度の関係

須藤らはセメントの水和反応について、化学ポテンシャルの変化に着目して水分状態の影響を考慮した (1) 式および (2) 式に示す 20℃水中養生に対する等価積算温度の算定方法を提案している³⁾。

$$k = f(w/c) \cdot \exp((-Ea + b\mu) / RT) \quad (1)$$

ここに、k: 反応速度定数

f(w/c): 水セメントに関する係数

$$[f(w/c) = \alpha \cdot (w/c) + \beta]$$

Ea: 見かけの活性化エネルギー(J/mol)

μ: 水の化学ポテンシャル変化分

表1 実験に用いたコンクリートの条件

W/C	空気量	フォーム / スラブ	化学混和剤	養生温度
25% 35%	2.0%	650mm	高性能 AE 減水剤 4 種類	5℃
45% 55% 65%	4.0%	18cm	AE 減水剤 1 種類	10℃ 20℃

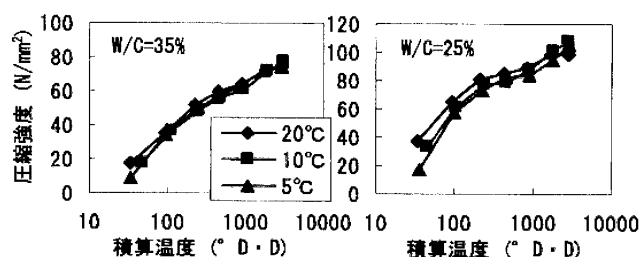


図1 積算温度と圧縮強度の関係

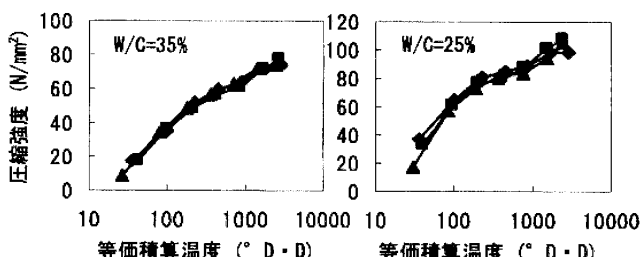


図2 等価積算温度と圧縮強度の関係

$$[\mu = RT \ln(RH)]$$

R: 気体定数 (8.3145J/K・mol)

T: 絶対温度 (°C)

w/c: 水セメント比

RH: 相対湿度

b, α, β: 実験定数

$$(b=9.65, \alpha = 14275045, \beta = -3501659)$$

$$Me = 30 / (k_{20} / k_{\theta}) \quad (2)$$

ここに、Me: 等価積算温度 (° D・D/日)

k₂₀: 養生温度 20℃での反応速度定数

k_θ: 養生温度 θ℃での反応速度定数

ここでは、図1に示した養生温度による同一積算温度の差を補正するために、従来の積算温度に代えて、等価積算温度を用いて強度増進を表すこととする。図2に等

価積算温度と圧縮強度の関係の一例を示す。従来の積算温度を用いた図1と比較すると、養生温度による強度差が解消されていることがわかる。等価積算温度を用いることにより、低水セメント比のコンクリートの強度増進の温度依存性を適切に表現することができる。

(2) ロジスティック曲線を用いた強度増進曲線

現行寒中指針・資料6に示されている強度増進標準曲線(以下、現行式)では、(3)式に示すロジスティック曲線の係数 m および k を水セメント比によらず一定の値としており、それが低水セメント比のコンクリートでの強度の乖離の一因と考えられる。

$$F = \frac{F_{\infty}}{1 + \exp(-k \times \log Me + m)} \quad (3)$$

ここに、 F : 圧縮強度 (N/mm²)

F_{∞} : 最終到達強度 (N/mm²)

Me : 積算温度または等価積算温度 (° D·D)

そこで、今回の実験結果から得られた等価積算温度と圧縮強度の関係を現行式と同様にロジスティック曲線を用いて近似し、水セメント比ごとに F_{∞} 、 k 、 m を求めた。図3に 840° D·D 時の強度(調合強度)と最終到達強度 F_{∞} の関係を、図4にセメント水比と係数 k 、 m の関係を示す。図3、図4ともに直線関係を示しており、(4)~(6)式の一次式で表すことができる。

$$F_{\infty} = 1.22 {}_{20}F_{28} + 5.53 \quad (4)$$

$$k = -0.20 X + 2.42 \quad (5)$$

$$m = -0.76X + 6.30 \quad (6)$$

ここに、 ${}_{20}F_{28}$: 20°C、28日養生したコンクリートの圧縮強度(調合強度) (N/mm²)

k 、 m : 水セメント比により変化する係数

X : セメント水比

図5に現行式および本研究で求めた強度増進曲線(以下、提案式)と実強度の関係の一例を示す。現行式では初期材齢で実強度と大きく乖離しているが、提案式は実強度とよく対応している。図6に現行式および提案式での推定強度と本研究でのすべてのコンクリートの実測強度の関係を示す。提案式では、現行式でみられるばらつきが無くなり、実測値と非常に良い対応を示している。表5に現行式および提案式の決定係数および相関係数を水セメント比ごとに示す。普通強度域の水セメント比 45~65%では2曲線の相関性に差は見られないが、高強度の水セメント比 35%、25%では提案式の相関係数が高く、全体でも 0.98 以上の高い相関を示している。

4. まとめ

本研究では、現行寒中指針・資料6の強度増進標準曲線を見直し、従来の積算温度に代えて等価積算温度を用い、強度増進式の諸係数を調合強度およびセメント水比

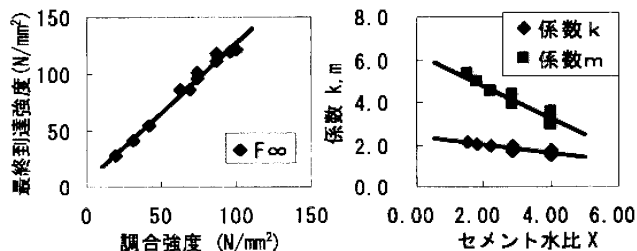


図3 F_{∞} と ${}_{20}F_{28}$ の関係

図4 係数 k 、 m と X の関係

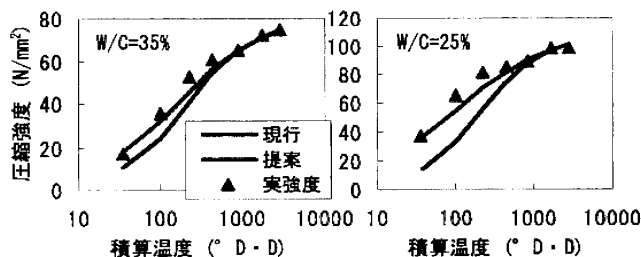


図5 現行式および提案式と実強度の関係

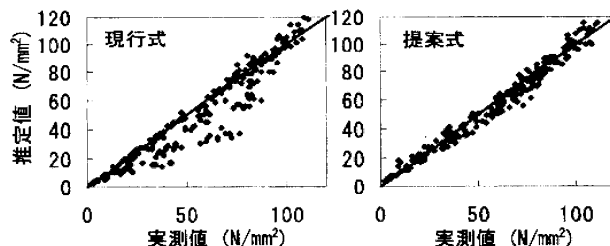


図6 現行式および提案式による推定強度と実測値の関係

表2 現行式および提案式の決定係数・相関係数

W/C (%)	現行式		提案式	
	決定係数	相関係数	決定係数	相関係数
45,55,65	0.971	0.986	0.968	0.984
35	0.880	0.938	0.951	0.975
25	0.567	0.753	0.908	0.953
全体	0.871	0.933	0.967	0.983

の一次式で表すことによって、適用可能な水セメント比の範囲を拡張した、より精度の高い強度増進標準曲線を提案した。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説、1998
- 2) 小林和寛、深瀬孝之、濱幸雄：寒中コンクリートにおける強度増進標準曲線の検証、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp.407-408、2006
- 3) 須藤由美子、桂修、吉野利幸、三森敏司、濱幸雄：凍結および乾燥を受けたセメント硬化体の水和反応速度と強度増進、日本建築学会構造系論文集 No.542、pp.17-22、2001

* 室蘭工業大学 准教授・博士(工学)

** 伊藤組土建(株) 技術部 工修

*** 釧路工業高等専門学校 准教授

* Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng.

** Itogumi Construction Co. Ltd., M. Eng

*** Assoc. Prof., Kushiro National Collage of Technology