

寒中コンクリートを対象とした各種セメントの強度増進標準曲線の検討

正会員 ○葛西賢治\*  
同 三森敏司\*\*  
同 濱 幸雄\*\*

寒中コンクリート 強度増進 標準曲線  
積算温度

1. はじめに

寒中コンクリートにおいて強度増進の過程を把握することは、合理的かつ経済的な工事計画を行うために極めて重要である。寒中コンクリート施工指針・資料 6 圧縮強度の推定方法では、各種セメントを用いたコンクリートの圧縮強度増進の標準曲線が示されている<sup>1)</sup>。これは、水セメント比 45%~65%のプレーンコンクリートの強度データから求められたものであり、近年のコンクリートの高強度化の中で低水セメント比のコンクリートにも対応した新しい標準曲線が必要となっている。

著者らは、既報で普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートについて現行の標準曲線と実強度の乖離を明らかにするとともに<sup>2)</sup>、高強度域にも対応したより精度の高い標準曲線を示している<sup>3)</sup>。

本研究では、早強ポルトランドセメント、フライアッシュセメント B 種および高炉セメント B 種を用いたコンクリートに強度増進標準曲線について検討する。

2. 実験計画および方法

表 1 に実験計画表を示す。使用したセメントは早強ポルトランド(H)、フライアッシュセメント B 種(FB)および高炉セメント B 種(BB)の 3 種類で、水セメント比を 30%、40%、50%および 60%の 4 水準とした。表 2、表 3 に調合表を、表 4 に混和剤種類を示す。目標空気量は 4.5%とし、水セメント比 50、60%では目標スランブを 18 cm、30、40%では目標スランブフローを 600mm した試し練りにより調合を決定した。なお、圧縮強度試験の材齢は表 5 に示すとおりであり、打込み後直ちに 20℃、10℃および 5℃の 3 水準の養生温度で封かん養生を行った。

3. 結果および考察

図 1 に早強ポルトランドセメントの強度増進の一例を示す。なお、ここでの強度データは空気量による強度差を補正した値を使用している。養生温度により同一積算温度での強度に差が見られ、20℃に比べて 5、10℃では初期強度が低く、積算温度の増加にともなって養生温度による強度差が小さくなっている。この傾向はセメント種別によらず同様に見られた。

上記の同一積算温度における養生温度による初期強度のばらつきを解消するために、既報<sup>3)</sup>と同様に (1) 式に示す等価積算温度<sup>4)</sup>を用いて強度増進を記述する。

表 1 実験計画表

セメント	W/C (%)	混和剤	スランブ	空気量 (%)	養生温度 (°C)
早強ポルトランドセメント(H)	30	高性能AE減水剤 空気調整剤	フロー 600mm	4.5	20
フライアッシュセメントB種(FB)	40				10
高炉セメントB種(BB)	50	AE減水剤 AE剤	スランブ 18cm		5
	60				

表 2 調合表 (W/C=30%、40%)

記号	W/C (%)	s/a (%)	W (kg)	絶対容積(l/m <sup>3</sup> )			高性能AE減水剤 C×wt(%)	空気調整剤 C×wt(%)
				C	S	G		
30H	30	49.5	170	180	300	306	1.4	0.005
30FB				174	317	306	1.5	0.006
30BB				177	309	306	1.3	0.003
40H	40	53.0	170	135	344	306	1.2	0.0072
40FB				131	361	306	1.2	0.008
40BB				133	354	306	1.1	0.003

表 3 調合表 (W/C=50%、60%)

記号	W/C (%)	s/a (%)	W (kg)	絶対容積(l/m <sup>3</sup> )			AE減水剤 C×wt(%)	AE剤 C×wt(%)
				C	S	G		
50H	50	45.0	170	108	305	373	250ml /C100kg	0.002
50FB				105	320	373		0.018
50BB				106	313	373		0.0012
60H	60	46.4	170	90	323	373		0.002
60FB				87	337	373		0.018
60BB				88	331	373		0.0012

表 4 混和剤の種類

品種	主成分
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系化合物
空気調整剤	ポリアルキレングリコール誘導体
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体
AE剤	変性アルキルカルボン酸化合物系陰イオン界面活性剤

表 5 圧縮強度試験材齢 (日)

積算温度 (°C・D)	30	90	210	420	840	1680	2730
20°C	1	3	7	14	28	56	91
10°C	2	5	11	21	42	84	137
5°C	2	6	14	28	56	112	182

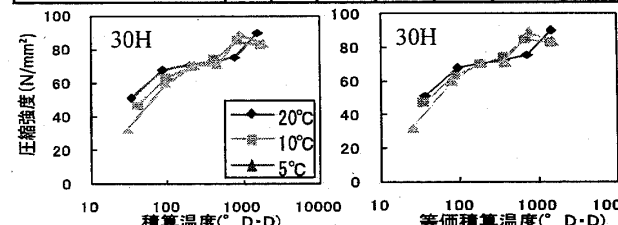


図 1 積算温度を用いた強度増進

図 2 等価積算温度を用いた強度増進

A Study on Standard Curves describe Strength Development of Concrete using Various Cement for Cold Weather Concreting

KASAI Kenji, MIMORI Toshiji and HAMA Yukio

$$Me = 30 / (k_{20} / k_{\theta}) \quad (1)$$

ここに、Me：等価積算温度(°D・D/日)

$k_{20}$ ：養生温度 20°Cでの反応速度定数

$k_{\theta}$ ：養生温度  $\theta$ °Cでの反応速度定数

なお、養生温度  $\theta$ °Cでの反応速度定数  $k$  は (2) 式より得られる。

$$k_{\theta} = f(w/c) \cdot \exp(-Ea/RT) \quad (2)$$

ここに、 $f(w/c)$ ：水セメント比に関する係数

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

Ea：見かけの活性化エネルギー(Ea=39382J/mol)

R：気体定数(8.3145kJ/mol)

T：絶対温度 ( $\theta + 273$ °C) (K)

w/c：水セメント比

$\alpha, \beta$ ：定数( $\alpha=14275045, \beta=3501659$ )

図 2 に等価積算温度と強度増進の関係を示す。図 1 と比較すると養生温度間の差が減少していることがわかる。

さらに、セメント種別および水セメント比ごとに等価積算温度と圧縮強度の関係を (3) 式のロジスティック曲線を用いて近似した。

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

ここに、F：圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

$F_{\infty}$ ：最終到達強度(N/mm<sup>2</sup>)

k, m：係数

図 3 に最終到達強度  $F_{\infty}$  と 840° D・D時の強度(調合強度)の関係を、図 4 に係数 k, m とセメント水比 X の関係を示す。いずれも直線関係を示しており、 $F_{\infty}, k, m$  は (4) ~ (6) 式の一次式を表すことができる。表 6 にセメント種別ごとの係数を示す。

$$F_{\infty} = a \cdot {}_{20}F_{28} + b \quad (4)$$

$$k = c \cdot X + d \quad (5)$$

$$m = e \cdot X + f \quad (6)$$

ここに、 ${}_{20}F_{28}$ ：20°C, 28 日水中養生時の圧縮強度(調合強度) (N/mm<sup>2</sup>)

X：セメント水比

a, b, c, d, e, f：係数

表 6 各係数

セメント	係数		$F_{\infty}$		k		m	
	$\alpha$	$\beta$	a	b	c	d	e	f
H	1.215	-0.170	-0.250	2.233	-0.746	4.783		
FB	1.258	0.173	-0.171	2.834	-0.666	7.013		
BB	1.332	0.454	-0.006	2.626	-0.447	7.378		

図 5 に現行の標準曲線と本研究で得られた式による推定値と実測値の関係を比較して示す。本研究で得られた式では、セメント種別によらず相関性が向上している。

#### 4. まとめ

本研究では、既報の普通ポルトランドセメントに引き続き、早強、フライアッシュB種、高炉B種セメントを用いたコンクリートの強度増進標準曲線を見直し、適用

\* 室蘭工業大学大学院

\*\* 釧路工業高等専門学校 准教授

\*\*\* 室蘭工業大学 准教授・博士(工学)

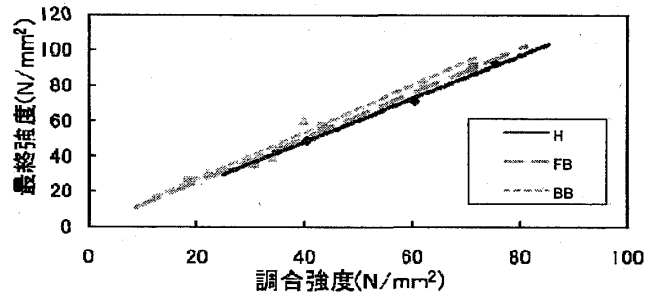


図 3 最終強度と調合強度の関係

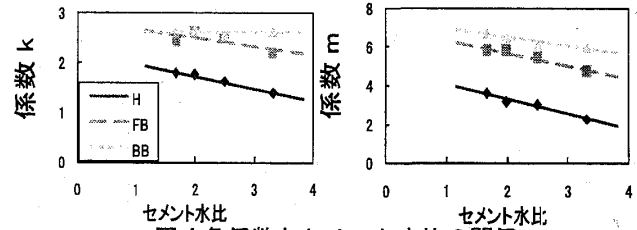
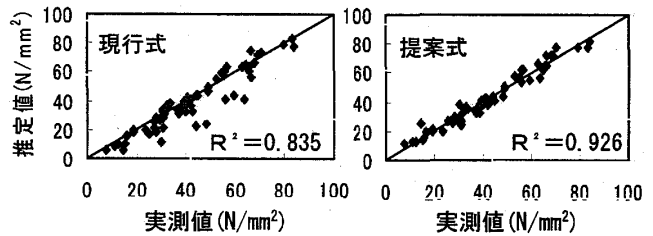
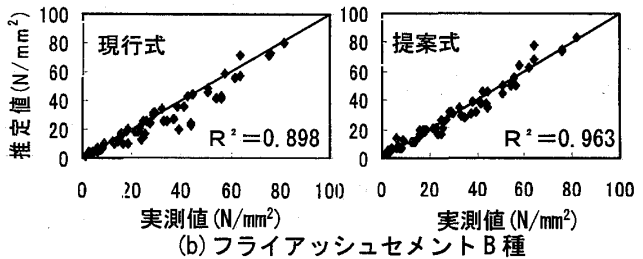


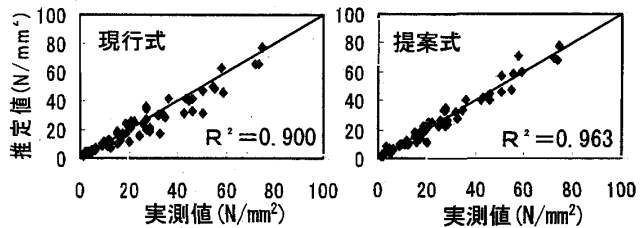
図 4 各係数とセメント水比の関係



(a) 早強ポルトランドセメント



(b) フライアッシュセメント B 種



(c) 高炉セメント B 種

図 5 現行式および提案式による推定値と実強度の関係

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式を得た。

#### <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) 小林和寛ほか：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) 濱幸雄ほか：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、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、pp.635-636、2007
- 4) 須藤由美子ほか：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、2002

\* Graduate School, Muroran Institute of Technology

\*\* Assoc. Prof., Kushiro National College of Technology

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