

## 材齢とセメント水比を包括したコンクリート圧縮強度関係式の研究

太平洋セメント株式会社 正会員 梶尾 聡 正会員 小早川 真  
 正会員 牧 隆輝 正会員 棚木 隆

### 1. はじめに

任意の材齢  $t$  におけるコンクリートの圧縮強度を近似的に求める関係式として、 $f_c = t/(b+mt)^{1)}$  やこれを応用した  $f'_c(t) = \{t/(a+bt)\}d(i)f'_{ck}{}^{2)}$  がある。また、特定の範囲では積算温度の対数と直線関係にあることも知られている<sup>3)</sup>。また、コンクリートの圧縮強度は、セメント水比（以下、C/W）と線形関係にあることが知られている<sup>2)</sup>。しかし、セメントの強度発現性状として単一であるべきコンクリートの圧縮強度を材齢と C/W を包括して示す関係式は、使用材料など外的要因の影響を受けるため、あまり研究されておらず、それぞれ一面のみの関係式として示されることが多い。本研究は、外的要因を極力排除し、重要な指標である材齢と C/W を包括した強度発現性状を解析したものである。

### 2. 実験概要および結果

コンクリートの圧縮強度と材齢および C/W の関係を検討するために行った実験の概要を以下に述べる。使用したセメントは普通ポルトランドセメント（NC，密度  $3.16\text{g/cm}^3$ ），細骨材は山砂（S，表乾密度  $2.62\text{g/cm}^3$ ，吸水率  $1.52\%$ ，FM2.67）粗骨材は最大寸法  $20\text{mm}$  の碎石（G，表乾密度  $2.87\text{g/cm}^3$ ，吸水率  $0.25\%$ ，FM6.74）とした。コンクリートは AE 減水剤配合（AE，3水準），高性能 AE 減水剤配合（SP，3水準）および高強度配合（HS，2水準）とし、配合を表1に示す。圧縮強度試験は JIS A 1108 に準拠し、養生は 20 水中養生，試験材齢は 3，7，28，56 および 91 日とした。圧縮強度の結果を図1に示す。

表1 コンクリートの配合

配合名	W/C	s/a	W (kg/m <sup>3</sup> )	減水剤添加率	スランプ，スランプ 70-*)	空気量
AE65	65%	49%	177	C × 0.25%	12.0cm	4.9%
AE55	55%	47%	169	C × 0.25%	12.5cm	4.8%
AE50	50%	46%	172	C × 0.25%	11.5cm	4.0%
SP45	45%	49%	165	C × 1.40%	42.0cm <sup>*)</sup>	4.4%
SP40	40%	48%	165	C × 1.25%	40.5cm <sup>*)</sup>	5.0%
SP35	35%	47%	165	C × 1.20%	40.5cm <sup>*)</sup>	4.6%
HS35	35%	0.54 <sup>**)</sup>	170	C × 1.50%	62.0cm <sup>*)</sup>	0.9%
HS30	30%	0.54 <sup>**)</sup>	170	C × 1.80%	59.0cm <sup>*)</sup>	0.9%

\*)スランプフロー，\*\*)単位粗骨材容積

### 3. 圧縮強度と材齢の関係

既往の圧縮強度と材齢の関係式では、材齢 0 日からの強度発現、または強度収束しない形が多い。しかし、コンクリートの強度は、打設数時間後から強度発現し、強度は収束すると考えられる。ここで、材齢関数  $T_f = t/(1+t)$  を用いた圧縮強度と材齢の関係式（式(1)）を提案する。式(1)は原点を通らず、 $t=$  は  $T_f=1$  となり強度は収束する。式(1)により圧縮強度を材齢関数で線形回帰した結果を図2に、回帰により求まる係数  $\alpha$  および決定係数 ( $R^2$  乗) を表2に示す。これらの結果より、式(1)は材齢 3 日から 91 日までの強度を精度良く近似できることが確認できた。

$$f_c = \alpha T_f + \beta \quad (1)$$

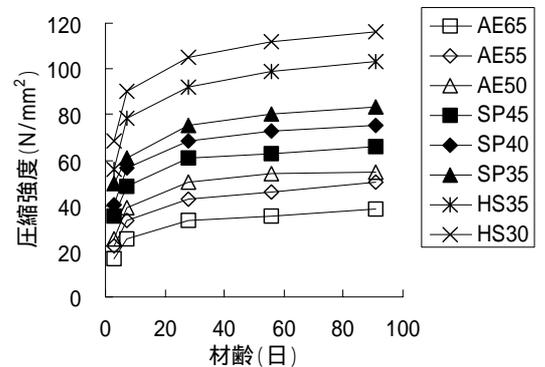


図1 圧縮強度試験結果

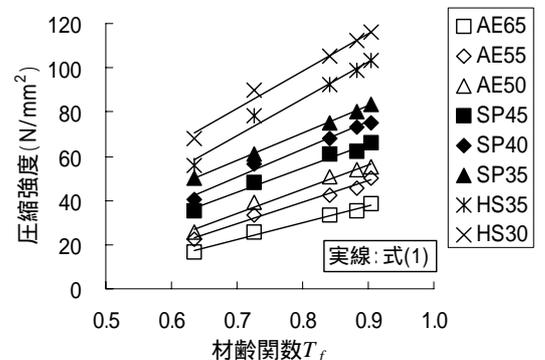


図2 圧縮強度回帰結果

キーワード コンクリート，圧縮強度，セメント水比，材齢

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株)中央研究所 TEL 043-498-3811

4. 圧縮強度と材齢およびセメント水比の関係

圧縮強度が C/W と線形関係とすると、式(1)の傾き および切片は C/W と線形関係となり、と が線形関係となる。これらの関係を確認した結果、SP において相関性が低い結果が得られた。

ここで、C/W と強度 0N/mm<sup>2</sup> となる材齢関数  $T_{f0}$  ( = - / ) および  $T_f=1$  となる最終強度  $f_{cf}$  ( = + ) との関係を図3および図4に、それぞれの線形回帰により求まる係数および R2 乗を表3に示す。解析の結果、材齢関数  $T_{f0}$  と最終強度  $f_{cf}$  は C/W と高い相関関係であるといえる。以上の結果から、係数 は C/W の分数関数 (式(2)) で示すことができ、材齢および C/W を包括した圧縮強度関係式(式(3))が求められた。

$$\alpha = (a_2 C/W + b_2) / (1 - a_1 C/W - b_1) \quad (2)$$

$$f_c = \alpha (T_f - a_1 C/W - b_1) \quad (3)$$

式(3)は  $C/W=(1-b_1)/a_1$  ,  $f_c=a_2C/W+a_2/a_1(1-T_f)+b_2$  の漸近線をもつ双曲線である。式(3)より求めた強度近似値と実測値の関係を図5に示す。式(3)を用いた材齢3日から91日までの強度近似値は、実測値との差の標準偏差が 1.6N/mm<sup>2</sup> であり 精度良く近似できることを確認した。また、現実的な C/W の範囲における C/W と圧縮強度の関係は後者の漸近線に近い領域であり、強度と C/W の関係は簡易的に一次式で近似しても高い相関性が得られる。

4. 長期材齢における検証

1952年から50年間に及び20 水中養生したコンクリートの圧縮強度<sup>4)</sup>を用いて、式(1)を用いた回帰分析を行った。コンクリートは3工場製 NC を使用した W/C=53%のものであり、回帰に用いたデータは材齢91日までとした。回帰結果を図6に示す。図より、式(1)により、材齢91日までの試験結果を用いて、材齢91日以降の圧縮強度をおおよそ推測できるものと考えられる。

5. まとめ

圧縮強度を近似的に求める関係式として、材齢を無理式とした分数関数と C/W の分数関数で示される式を提案し、実験的検証により精度良く近似できることを確認した。材齢91日までの強度データより求めた関係式により、材齢91日以降の長期強度を推測できる可能性があることを示した。

参考文献

1) Myron L. Goral : Empirical Time-Strength Relations of Concrete, Journal of ACI, Vol.28, No.2, pp.215-224, 1956 2) 土木学会 : コンクリート標準示方書[施工編], 2002 3) J. M. Plowman : Maturity and the Strength of Concrete, Magazine of Concrete Research, Voi.8, No.22, pp.13-22, 1956 4) 中村秀三 : 各種セメントを用いた永年材齢試験 50年材齢, 太平洋セメント研究報告, 第151号, pp.25-49, 2006

表2 圧縮強度と材齢の関係式

配合名	W/C	傾き	切片	R2 乗
AE-65	65%	76.99	-31.59	0.992
AE-55	55%	96.04	-37.72	0.988
AE-50	50%	107.59	-40.96	0.983
SP-45	45%	109.02	-32.32	0.986
SP-40	40%	124.81	-36.89	0.987
SP-35	35%	123.07	-28.28	1.000
HS-35	35%	164.94	-45.85	0.982
HS-30	30%	168.61	-36.22	0.986

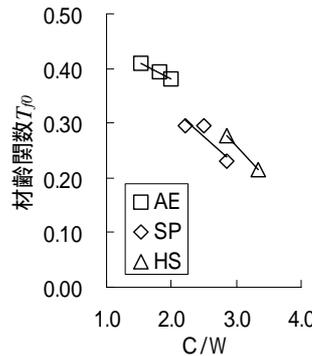


図3  $T_{f0}$  と C/W の関係

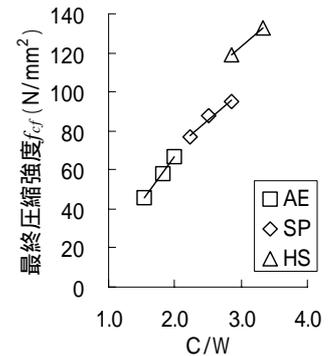


図4  $f_{cf}$  と C/W の関係

表3  $T_{f0}$  および  $f_{cf}$  と C/W の線形回帰式

	$T_{f0}$ と C/W の関係式			$f_{cf}$ と C/W の関係式		
	傾き $a_1$	切片 $b_1$	R2 乗	傾き $a_2$	切片 $b_2$	R2 乗
AE	-0.064	0.509	1.000	46.021	-25.387	1.000
SP	-0.109	0.548	0.818	28.051	15.605	0.957
HS	-0.133	0.657	1.000	27.936	39.266	1.000

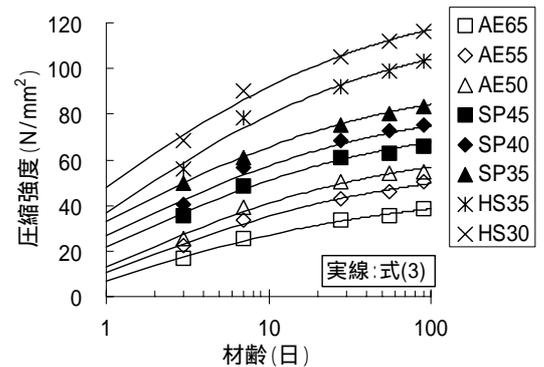


図5 式(3)による圧縮強度計算結果

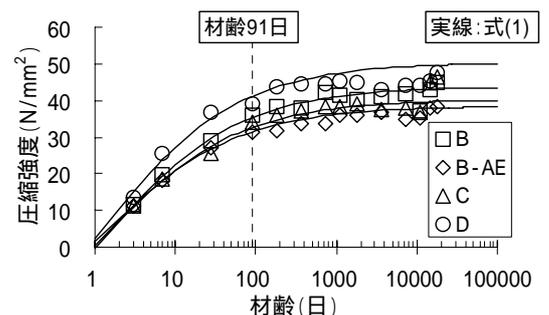


図6 材齢50年までの圧縮強度