

V-444 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの温度活性を考慮した強度推定手法

小野田セメント 正会員 松井 淳
 建設省土木研究所 正会員 河野 広隆
 建設省土木研究所 正会員 渡辺 博志

1. はじめに

コンクリート強度を推定する手段の一つとして、積算温度とコンクリート強度が一定の関係にあるという積算温度方式があるが、セメントと温度活性の異なる高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート強度は積算温度だけで表しにくい。このため、強度発現特性を的確に把握するためには温度依存性を加味した検討が必要になる。本研究は、活性化エネルギーの概念をコンクリートの強度発現特性に応用し、さまざまな養生温度における強度を統一的に推定する方法を提案するものである。

2. 実験概要

コンクリートの配合は表-1に示す。それぞれのコンクリートは材令1日で脱型、以後所定の温度に管理された恒温水槽で養生した。試験材令は2, 3, 4, 7, 14日とし、養生温度は20, 30, 40, 50, 60, 70℃とした。材令と強度の関係はそれぞれの養生温度において(1)式で回帰した。

$$\sigma_t = \sigma_{14} \cdot t / (atb \cdot t) \quad \text{----- (1)}$$

ここに t : 材令, σ_t : 材令 t の圧縮強度(kgf/cm²), σ_{14} : 材令14日の圧縮強度(kgf/cm²), a, b : 定数

3. 実験結果並びに考察

コンクリートにおける積算温度と圧縮強度の関係を図-1~図-3に示す。この結果によるとコンクリートの圧縮強度は積算温度と一定の関係にはならず、特に温度活性の高いNS50, NS80は同一積算温度において、圧縮強度が100kgf/cm²以上異なる場合がある。これはマスコンクリートの温度応力解析などにおいて、積算温度方式を用いると断面内で圧縮強度, 引張強度, 有効弾性係数の誤差が大きくなることを意味し、信頼できる解析結果が得られなくなることも考えられる。

表-1 コンクリートの配合

配合の記号	普通セメント(%)	高炉スラグ(%)	単位量(kg/m ³)			
			W	C	S	G
N	100	0	160	300	890	975
NS50	50	50	160	300	884	969
NS80	20	80	160	300	881	965

注: 目標スランプ8cm, 目標空気量4%とし、
 混和剤にはAE減水剤を用いた。

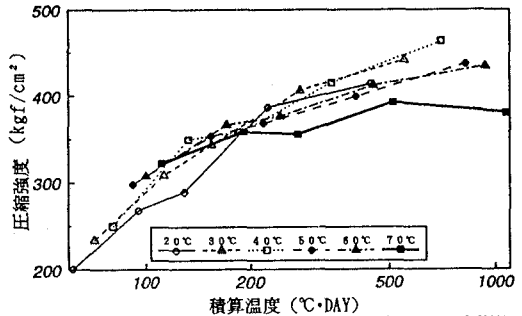


図-1 養生温度が圧縮強度と積算温度の関係に及ぼす影響 (その1: N)

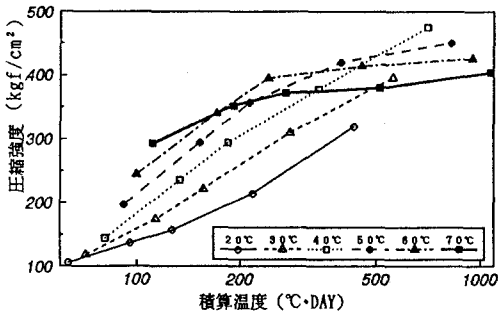


図-2 養生温度が圧縮強度と積算温度の関係に及ぼす影響 (その2: NS50)

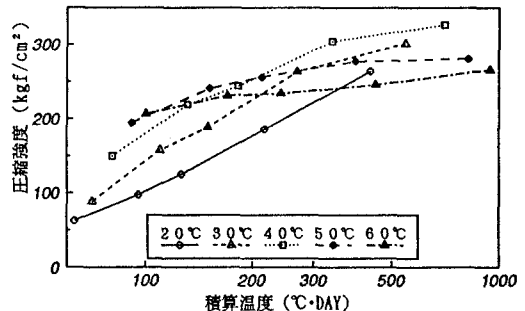


図-3 養生温度が圧縮強度と積算温度の関係に及ぼす影響 (その3: NS80)

式(2)は水和発熱速度と温度活性の関係式で、反応工学においては一般的にアレニウスの式と呼ばれている。

$$H = H_{LIM}(q) \cdot \text{EXP}(-E(q)/(R \cdot T)) \quad \text{-----} \quad (2)$$

ここに、H：単位体積量当たりの水和発熱速度で材令 t の関数(cal/day)，T：絶対温度(°C)，

$H_{LIM}(q)$ ：温度 T が無限大の時の水和発熱速度(cal/day)，E(q)：活性化エネルギー，

q：単位重量当たりのセメントの積算発熱量(cal/g)，R：気体定数

水和発熱速度と強度発現は密接な関係にあると考え、この式を参考にして強度の式に書き換えると以下の式になる。

$$d\sigma/dt = (d\sigma/dt_{LIM}(\sigma)) \cdot \text{EXP}(-E(\sigma)/(R \cdot T)) \quad \text{-----} \quad (3)$$

ここに、 $d\sigma/dt$ ：強度発現速度(kgf/cm²/day)， σ ：コンクリートの圧縮強度(kgf/cm²)

$d\sigma/dt_{LIM}(\sigma)$ ：温度 T が無限大の時の強度発現速度(kgf/cm²/day)，E(σ)：強度における活性化エネルギー

式(3)の両辺の自然対数をとると、この式は図-4に示すように $\ln(d\sigma/dt)$ と $1/T$ が直線関係になり、それぞれの圧縮強度において傾き $-E(\sigma)/R$ が求められる。

次に、圧縮強度と $-E(\sigma)/R$ の関係(図-5参照)、圧縮強度と $d\sigma/dt_{LIM}(\sigma)$ の関係を3次式で回帰した後、式(3)に代入して積分すると強度を求めることができる。この計算値は図-6に示すように圧縮強度400kgf/cm²程度までは実測値とほぼ一致する。

このように式(3)を用いるといかなる養生温度における強度も一つの式で表すことができマスコンクリートの温度応力解析などに有効であると予想できる。今後、更に種々の配合条件、長期材令における適応性を検討すれば、マスコンクリートの温度応力解析や各種配合条件から強度を推定するのに役立つと考えられる。

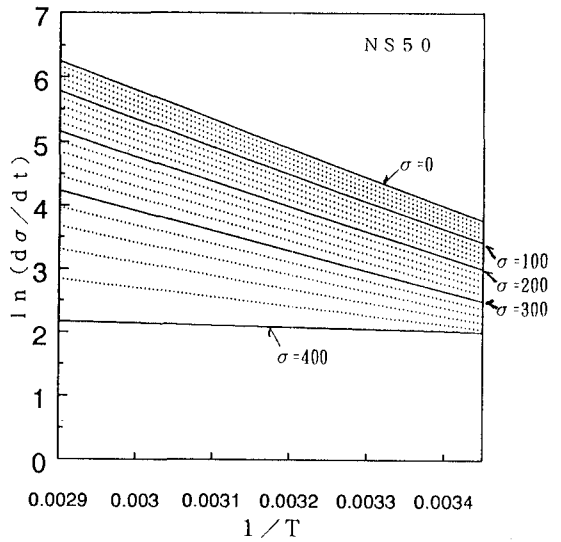


図-4 $\ln(d\sigma/dt)$ と $1/T$ の回帰直線の一例

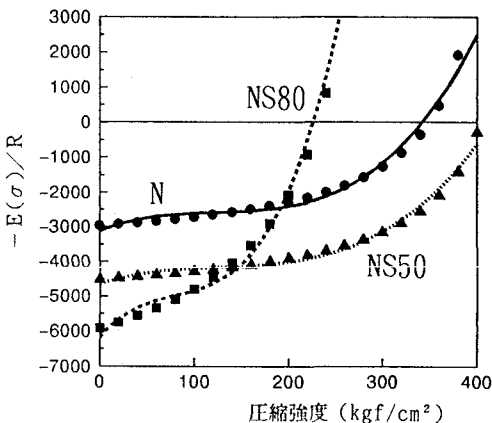


図-5 $-E(\sigma)/R$ と圧縮強度の関係

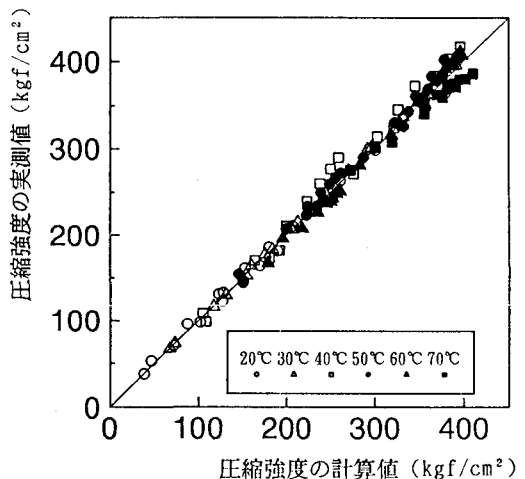


図-6 圧縮強度の実測値と計算値の関係