蒸気養生コンクリートの強度発現に関する研究

鶴見コンクリート㈱　正会員　○丸山　貴吉
東海大学　学生会員　中嶋　望
東海大学　正会員　伊達　重之

１．目的

コンクリートの強度発現予測に関する研究は，水中養生ならびに現場養生が多く，材齢についても中長期での適合性を確認している場合が多い[1)]。しかし，プレキャストコンクリートのような蒸気養生を行うコンクリートの場合，初期に高温履歴を受けるため，常温養生とは異なる強度発現をすることが知られている[2)]。そこで本研究では，プレキャストコンクリートを対象に，蒸気養生下の初期強度発現性について検討することを目的とした。

２．実験概要

使用材料を**表－１**に，配合を**表－２**に示す。セメントには早強セメントを用い，W/C を一定(31.9%)にして，混和材無添加(H)とスラグ 20%置換した配合(B)の 2 種類とした。それに対して蒸気養生は，**図－１**に示す 2 種類とし，実験の組み合わせ(**表－３**)は 4 ケースとした。

３．強度発現の推定方法

強度発現の推定に当たり，次に示す有効材齢①式および②式を用い，適合性について確認を行った。

・有効材齢①式

(1)式は，コンクリート標準示方書や fib MC2010 に採用されている有効材齢式で，実用性を重視して(2)式を改善した式である。そのため，活性化エネルギー(U_h)は一定(33kJ/mol)と仮定している。

$$t_e = \int_0^t \exp\left[13.65 - \frac{4000}{273 + T_k}\right] dt \qquad (1)$$

ここに，　T_k：　環境温度 [℃]

・有効材齢②式

(2)式はコンクリートの強度発現が Arrhenius 則に従うと捉えて提案された式で，ここでは Saetta ら[3)]が提唱した(3)式により活性化エネルギーを求めることとした。

$$t_e = \int_0^t \exp\left[\frac{U_h}{R}\left(\frac{1}{293} - \frac{1}{T_k}\right)\right] dt \qquad (2)$$

$$\frac{U_h}{R} = 4600\left[\frac{30}{T_k - 263}\right]^{0.39} \qquad (3)$$

ここに，　Uh：　活性化エネルギー [J/mol]

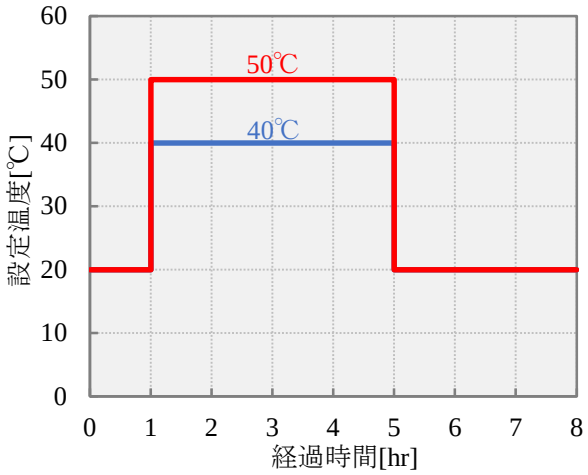
R：　気体定数 [J/mol・K]

表－１　使用材料

材料名	記号	種　類	比重
ｾﾒﾝﾄ	C	早強ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ	3.14
混和材	Sg	高炉スラグ微粉 比表面積: 4000 (cm^2/g)	2.92
細骨材	S	陸砂 吸水率=1.18	2.60
粗骨材	G	砕石 2005 吸水率=0.92	2.66
混和剤	Ad	高性能減水剤(Ⅰ種)	1.02

表－２　配合

	単位量 (kg/m^3)					
	W	C	Sg	S	G	Ad
H	134	420	0	765	1126	5.46
B	134	336	84	762	1122	5.46



図－１　蒸気養生の設定パターン

表－３　実験の組合せ

記号 (配合-最高温度)	配合 (結合材)	最高養生温度 (℃)
H-40	セメントのみ	40
H-50		50
B-40	スラグ 20%	40
B-50		50

キーワード　プレキャストコンクリート，蒸気養生，圧縮強度，有効材齢，アレニウス則
連絡先　〒252-0135　神奈川県伊勢原市神戸 400　鶴見コンクリート㈱　TEL.0463-95-2607　E-mail：maruyama@tsuru-con.co.jp

４．結果と考察

圧縮強度と有効材齢の関係を**図－２**および**図－３**に示す。両方の配合で当然のことながら，蒸気養生温度の高い方が圧縮強度は高くなった。また，混和材を添加した配合(B)は無添加の配合(H)と比較して，蒸気養生温度を上昇させることによる強度の増進効果が小さくなっていることが分かる。

次に，有効材齢算出式の違いで見ると，①式(**図－２**)は蒸気養生温度が異なると，両方の配合ともに横軸方向に分断しており，有効材齢①式による強度推定は困難であると考えられるが，②式(**図－３**)の場合では，両配合ともに異なる温度であっても強度発現に連続性が確認できた。これより，①式と比べ，②式はより適切に強度推定が可能であると言える。

そこで，実材齢ならびに有効材齢①，②式の相関係数を**図－４**に示す。混和材が無添加の配合(H)の場合では，有効材齢②式の方が若干相関性は高いものの，①式も同程度の相関性が得られた。一方，混和材を添加した配合(B)は，無添加と比べ，推定精度が低下する傾向となった。

５．まとめ

以上より，本実験の範囲内で，以下の知見が得られた。

(1) 異なる温度履歴を受けた供試体の強度発現に及ぼす混和材添加の影響は，添加した場合と比べて無添加の方がより温度の影響を受けることが分かった。

(2) コンクリートの強度特性に及ぼす蒸気温度の影響は，同一配合であればSaettaらの経験則を組み込んだArrhenius則の有効材齢の式により，より適切に表現できる可能性があることが分かった。

(3) Arrhenius則を用いて強度する場合，混和材を添加した配合は混和材無添加の配合と比較して，推定精度が低下する傾向となった。

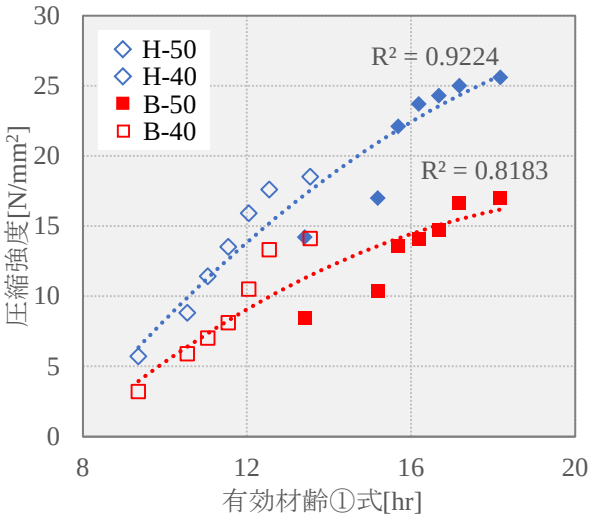
本研究の課題として，高温養生時の超初期材齢に回帰線からの乖離が確認されたため，養生条件・配合条件を変えて追加実験を行いたいと考えている。

参考文献

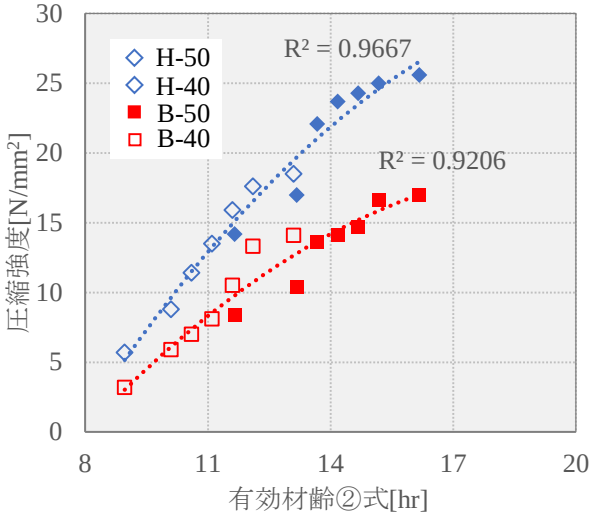
1) 伊藤憲雄，三橋博三，桐越一紀：養生過程で温度履歴を受けたコンクリートの活性化エネルギーと有効材齢，コンクリート工学論文集，Vol.15，No.1，2004.1

2) 庄司芳之，竹下治之，佐原晴也：高流動コンクリートの硬化後の品質に及ぼす蒸気養生の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，No.1，1994

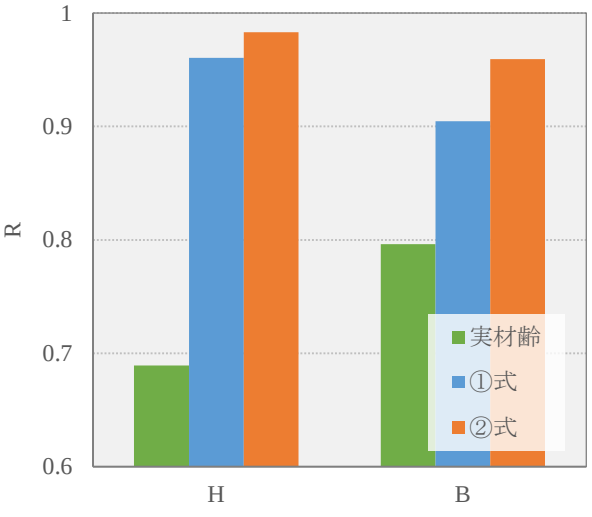
3) Anna V. Saetta, Bernhard A, Schrefler and Renato V. Vitaliani: The Carbonation of Concrete and the Mechanism of Moisture, Heat and Carbon Dioxide Flow Through Porous Materials, Cement and Concrete Research, Vol.23, pp.761-772, 1993



図－２　圧縮強度と有効材齢①式の関係



図－３　圧縮強度と有効材齢②式の関係



図－４　相関係数