

[1083] 現場水中養生28日圧縮強度早期判定式の提案

古賀 一八^{*1}・重倉 祐光^{*2}・高橋 和雄^{*3}・高橋 保男^{*4}

1. はじめに

コンクリートの品質管理上の大きな問題点の一つとして、圧縮強度に関して所定の材齢（通常は28日）にならないと品質を確認できないことがある。万が一、打設したコンクリートが所定の材齢を経過した時点で、設計基準強度を下回った場合、工事がかなり進んでおり、予備の供試体での再確認、コア採取確認、補強・設計変更、最悪の場合解体等々工期の遅延のみならず信用問題にまで発展する可能性がある。そこで、材齢28日以前で早期に構造体コンクリートの圧縮強度が的確に推定できれば、様々な対策を早めに検討出来るので、早期の対策、上階のコンクリート打設の中止等、損害を最小限に押さえることが出来る。コンクリート圧縮強度を早期に推定する方法はいくつか提案されている¹⁾。例えば、JASS5では、標準養生供試体材齢7日から材齢28日の圧縮強度推定式を示している。また、積算温度を用いた式も提案されている。さらに、コンクリート強度の早期迅速判定試験²⁾³⁾も数多く提案されており、JIS A1805^{1)8)⁴⁾の様にJIS化されたものもある。しかし、JASS5の推定式や早期迅速判定試験では標準養生材齢28日圧縮強度、つまりコンクリートのポテンシャル強度を対象としており、外気温の変動の影響を受ける現場水中養生供試体ひいては、構造体コンクリート強度を対象としていない。さらに、積算温度を用いた推定式⁴⁾は水セメント比毎に積算温度と圧縮強度との関係を生コン工場毎に求めておく必要がある。通常構造体コンクリートの強度推定は現場水中養生材齢28日圧縮強度で行っているので、本研究では、個々の現場で比較的容易に得られるデータを基に、現場水中養生供試体材齢28日圧縮強度の早期判定式を検討した結果簡便で有用な式が得られたので報告するものである。}

2. 試験概要

試験は以下の通り行った。

- ①試験期間は平成2年4月～平成3年3月の1年間とした。
- ②生コン会社は関東地域を対象とした（工場数34）。
- ③試験ロットは2772とした。
- ④試験項目は、圧縮強度試験として 現場封緘養生材齢2日、現場水中養生材齢7・28日（1ロット3本）、その他 外気温度、養生水温度、コンクリート温度とした。
外気温は試験場所外部のアスファルト土間に設置した百葉箱中の熱電対で測定した温度、養生水温度は試験場所外部に設けた底の下に設置した鋼製水槽中の熱電対で測定した温度、コンクリート温度は荷卸時のスランプ試験の試料中に挿入した棒状温度計の温度を用いた。
- ⑤対象としたコンクリートの仕様は 呼び強度210～300、普通ポルトランドセメント、普通コン

*1 株長谷工コーポレーション 技術研究所 材料研究室 チーフ

*2 東京理科大学 理工学部 建築学科 教授 工博

*3 東京理科大学 理工学部 建築学科 助手

*4 株日東コンクリート技術事務所 社長

クリートとした。

⑥供試体は、試料採取後、雨水、直射日光を避けるために、現場外部に静置した供試体上部に合板を被せ、翌日試験場所まで運搬しキャッピングを行った後に、材齢7、28日まで底のある外部の鋼製水槽中で養生した後圧縮強度試験を行った。なお、材齢2日の圧縮強度試験は試験場所まで運搬した後、硬質石膏でキャッピングした後に実施した。

3. 試験結果

3. 1 各種要因と現場水中養生28日圧縮強度との相関

試験によって得られた、材齢2日の現場封緘養強度 (F_2)、材齢7日現場水中養生強度 (F_7)、荷卸時のコンクリート温度 (C_t)、外気温から求めた積算温度 ($^{\circ}DD$) を要因として、現場水中養生材齢28日強度 (F_{28}) を推定する重回帰式を作成した。これらの要因から推定式を検定した結果、 F_7 または F_7 の平方根を要因として採用した場合に、重相関係数、残差の標準偏差等が比較的良好となり、有用な推定式が得られることが明らかとなった。 F_7 と F_7 の平方根を基準とした分析結果を表1、2に示した。

表1 F_7 を基準とした F_7 と F_{28} の重回帰分析結果

要因の組み合わせ	重相関係数 R	寄与率 R^2	残差の範囲 (Kg/cm ²)		残差の標準偏差 σ (Kg/cm ²)
			Min	Max	
F_7	0.636	0.404	-43	89	25.3
F_7, F_2	0.820	0.673	-41	74	21.3
$F_7, ^{\circ}DD$	0.792	0.627	-51	78	22.0
$F_7, \log DD$	0.786	0.618	-49	80	22.2
F_7, C_t	0.851	0.724	-47	69	20.3
$F_7, C_t, ^{\circ}DD$	0.855	0.732	-46	68	20.2
$F_7, C_t, \log DD$	0.857	0.734	-47	67	20.2
F_7, F_2, C_t	0.860	0.740	-43	68	20.1
$F_7, F_2, ^{\circ}DD$	0.830	0.689	-42	73	20.9
$F_7, F_2, \log DD$	0.829	0.688	-41	73	21.0
$F_7, F_2, ^{\circ}DD, C_t$	0.866	0.749	-47	66	20.0
$F_7, F_2, \log DD, C_t$	0.761	0.580	-47	66	20.0

表2 F_7 の平方根を基準とした F_7 と F_{28} の重回帰分析結果

要因の組み合わせ	重相関係数 R	寄与率 R^2	残差の範囲 (Kg/cm ²)		残差の標準偏差 σ (Kg/cm ²)
			Min	Max	
$\sqrt{F_7}$	0.633	0.401	-43	89	25.3
$\sqrt{F_7}, F_2$	0.820	0.673	-40	77	21.2
$\sqrt{F_7}, ^{\circ}DD$	0.793	0.628	-51	77	21.9
$\sqrt{F_7}, \log DD$	0.787	0.619	-49	79	22.0
$\sqrt{F_7}, C_t$	0.852	0.726	-47	69	20.2
$\sqrt{F_7}, C_t, ^{\circ}DD$	0.857	0.734	-47	67	20.2
$\sqrt{F_7}, C_t, \log DD$	0.858	0.736	-47	66	20.2
$\sqrt{F_7}, F_2, C_t$	0.861	0.741	-44	70	20.0
$\sqrt{F_7}, F_2, ^{\circ}DD$	0.831	0.691	-42	76	20.9
$\sqrt{F_7}, F_2, \log DD$	0.729	0.531	-41	76	21.0
$\sqrt{F_7}, F_2, ^{\circ}DD, C_t$	0.761	0.579	-47	68	19.9
$\sqrt{F_7}, F_2, \log DD, C_t$	0.762	0.581	-47	69	19.9

表1、2より、 F_7 もしくは F_7 の平方根と C_t を要因として取り組むことで、重相関係数が高くなる傾向が認められた。また、 F_2 や DD 、 $\log DD$ を要因としても、重回帰分析結果には差は認められなかった。なお、積算温度として、養生水温により算出したものを用いても重回帰分析結果には差は認められなかった。コンクリートの強度発現は養生温度が大きな影響を及ぼすことは、既往の研究で明らかにされている。

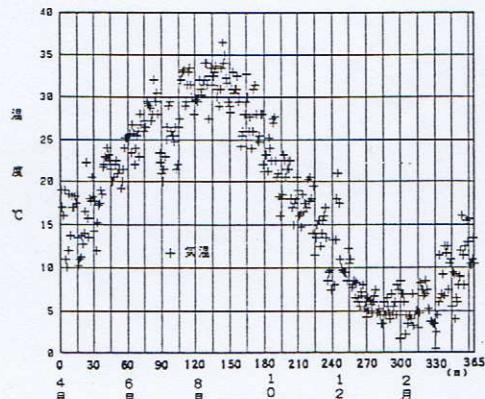


図1 年間温度分布（気温の日平均値）

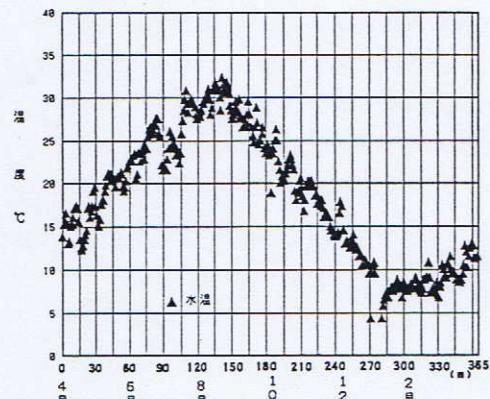


図2 年間温度分布（水温の日平均値）

今回の試験で、積算温度を要因に組み込んでも、重回帰分析結果に差が現れなかった理由としては以下のことが推察される。

①図1、2に示したように、供試体を作製し圧縮強度試験を行うまでの養生期間中に、気温及び水温が上昇傾向にある上昇期（主として春期）、下降傾向にある下降期（主として秋期）、温度変動が比較的少ない平行期が存在し、これらの温度変化（特に養生初期）が圧縮強度に及ぼす影響を積算温度では反映させることが困難であること。

②材齢7日の現場水中養生強度を組み込んだ場合、その特性値にポテンシャルの材料強度や7日間の積算養生温度がすでに含まれているため、別途に積算温度を要因として組み込んでも、その影響が現れにくいこと。

以上の結果を踏まえ、現場水中用養生28日強度を推定する要因として、現場水中養生7日強度（ F_7 ）と荷卸時のコンクリート温度（ C_t ）を組み込んで推定式を作成した。

なお、今回の推定式で組み込んだ要因（ F_7 及び C_t ）は、工事現場で比較的容易に得ることができるデータであり、簡便に28日圧縮強度の推定が可能と考えられる。

$$\text{式1 } F'_{28} = -2.32 \times C_t + 0.972 \times F_7 + 162 \quad \text{kg/cm}^2$$

推定式の適用範囲：気温5～35°C、荷卸時コンクリート温度10～35°C、普通ボルトラ

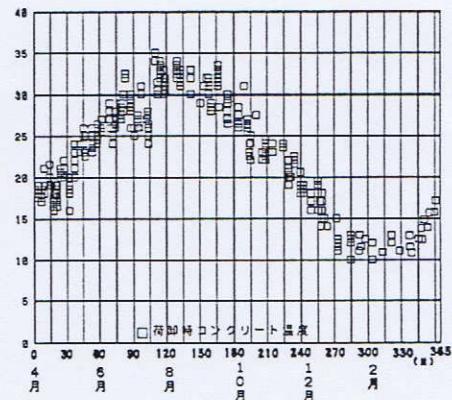


図3 年間温度分布
(荷卸時コンクリート温度の日平均値)

ンドセメント、普通コンクリート、呼び強度 210~390
 相関係数 $r = 0.851$ 、残差の標準偏差 $\sigma = 20 \text{ kg/cm}^2$ 、80%信頼区間 = $\pm 26 \text{ kg/cm}^2$ 、
 95%信頼区間 = $\pm 40 \text{ kg/cm}^2$
 F'_{28} ：推定現場水中養生 28 日圧縮強度 (kg/cm^2)、 C_t ：荷卸時コンクリート温度 (°C)
 F_7 ：現場水中養生 7 日圧縮強度 (kg/cm^2)

3.2 提案式の検討

作成した推定式の妥当性を検討した結果、図4に示したように良好な結果（信頼率99%以上）が得られた。上式は関東地域のみならず、図5に示すようにランダムに選んだ関西等の他の地域のデータ（n=112）について推定した結果についても良好な結果が得られている。

生コンクリート会社、地域、季節等によらず、推定式が良好な結果となった理由は、同一ロットの試料を用いているのでセメントの季節変動・運搬・配合等の各種の影響を包含している事、材齢7日の圧縮強度は材齢28日圧縮強度の約70%程度強度発現を呈している事から、養生温度の影響を含んでいる事、コンクリート温度 (C_t) は JASS5 の標準養生の場合の推定式にも示されているように、硬化初期（材齢1~2日）の温度の影響を表している事と考えられる。

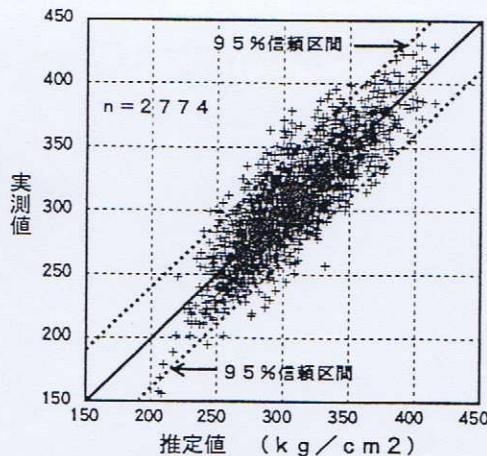


図4 圧縮強度推定値の適合性

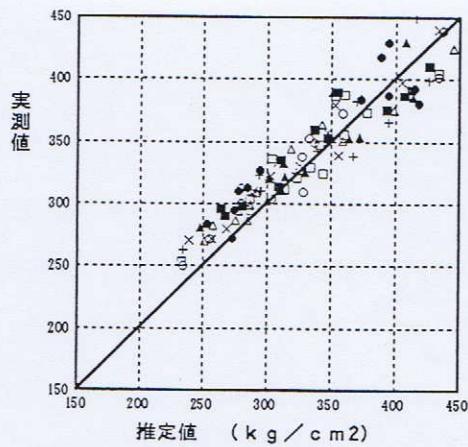


図5 他のデータによる適合性

4. まとめ

現場水中養生4週圧縮強度の推定を行うに当たり、コンクリート温度と材齢7日現場水中養生圧縮強度を用いた式を提案したので、建築物の品質確保の一助としてご活用いただきたい。

最後に、貴重なデータを提供頂いた方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本建築学会：コンクリートの早期迅速試験方法集、P89~93、1985
- 2) 池田、飛坂：温水養生法によるコンクリート強度の早期判定試験方法について、建材試験情報No.1、P27~31、1994
- 3) 笠井：早期迅速判定試験方法の総合的な動向、月刊生コンクリートVol17、No.11、P54~66、1988
- 4) 鎌田：コンクリート強度の予測と管理、建築の技術、施工、P101~110、1993.10
- 5) 古賀、重倉、高橋、高橋、：関東地域におけるコンクリート品質に関する統計調査、コンクリート工学年次論文報告集、Vol15、No1、P1101~1106、1993