

論文 品質管理用供試体の圧縮強度早期判定式の提案

古賀一八^{*1}・魚住正志^{*1}・西村進^{*1}・高橋保男^{*2}

要旨：通常の現場で比較的容易に得られるデータを元に過去に報告した現場水中養生に加えて現場封緘養生、標準養生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した。JASS 5 T-602 に示される標準養生 28 日圧縮強度の推定値は安全側ではないことが判明し、現状にあった推定式を示した。推定式に適切な不良率を定めることで早期判定式を定めることができる。

キーワード：現場封緘養生, 標準養生, 早期判定式

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にならないと品質を確認できないことがあげられる。

通常現場で入手可能なデータをもとに、所定の管理材齢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とることができるので、早期の対策、上階のコンクリート打設の中止など、損害を最小限に押さえることができる。コンクリートの圧縮強度を早期に判定する方法はいくつか提案されている。^{1) 2) 3) 4)} 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判定迅速判定試験も数多く提案されており、JISA1805 のように 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構造体コンクリートの品質管理を目的とする養生のものは対象としていない。積算温度を用いた方法では水セ

メント比毎に積算温度と圧縮強度の関係を生コン工場毎に求めておく必要がある。

本研究では、通常現場で比較的容易に得られるデータを元に現場封緘養生材齢 91 日まで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。現場水中養生については過去に報告した。^{5) 6)}

また、JASS5 の改訂で構造体コンクリートの品質管理が標準養生供試体でも可能となったので、併せて標準養生供試体についても推定式を作成した。

2. 試験概要

試験は下記の通りに行った。

- ①試験期間は平成 9 年 4 月から平成 10 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 43)
- ③試験ロットは現場封緘養生で最大 760、標準養生で 2345 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 7・28・56・91 日、標準養生材齢 7・28 日とした。その他、荷下し時のコンクリート温度、空気量とした。
- ⑤対象としたコンクリートの仕様は呼び強度

*1 (株) 長谷工コーポレーション

*2 (株) 日東コンクリート技術事務所

21 ～ 60, 普通ポルトランドセメント, 普通コンクリートとした。

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, キヤッピング (呼び強度が 36N/mm^2 を上回るものは圧縮試験直前に研磨) し, 現場封緘養生はポリエチレン袋の口を溶着密封して封緘後所定の材齢まで風通しのよい屋根のある養生棚に保管, 標準養生は 20°C 水中に所定の材齢まで浸せきした。

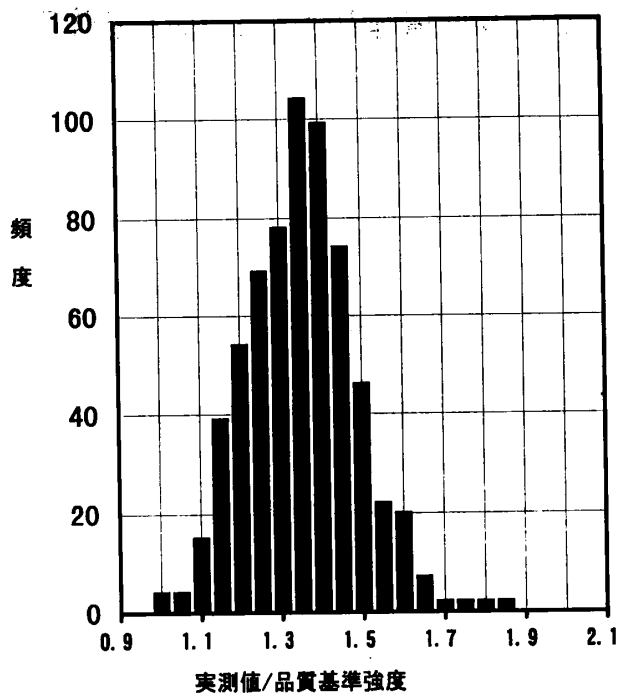
3. 試験結果

3. 1 現場封緘養生56日強度と品質基準強度

図-1に現場封緘養生材齢56日圧縮強度と品質基準強度の関係を示した。試験時は設計基準強度を合格判定値として設定していたが, ここでは合格判定値としての設計基準強度を1997年改訂のJASS5にあわせて品質基準強度と読み替えることにする。サンプル数760に対して実測値/品質基準強度の平均値 $\bar{x}$ は1.42, 標準偏差 σ は0.19, 最小値1.006, 最大値2.19であった。従って合格判定値を下回る確率は $(1.42-1.00)/0.19=2.21$ でおおよそ1%となる。一方合格判定値の1.1倍を上回る確率は $(1.42-1.1)/0.19=1.68$ でおおよそ95%となる。

3. 2 現場封緘養生56日強度推定

説明変数として荷下し時のコンクリート温度, 空気量, 材齢7, 28日現場封緘養生圧縮強度を選択し, 従属変数として現場封緘養生材齢56日の圧縮強度(F_{56})を選択し重回帰分析を行った。図-2に F_{56} と従属変数の多変量連関図を示した。材齢7, 28日強度の他に F_{56} が高いほど空気量が少なくなる傾向が認められる。分散分析・相関係数などから判断して材齢7から56日強度判定には, 説明変数として荷下し時のコンクリート温度(CT),



平均値:1.42 標準偏差:0.19 最小値:1.006 最大値:2.19 n=760

図-1 現場封緘養生56日強度と品質基準強度の関係

対角要素

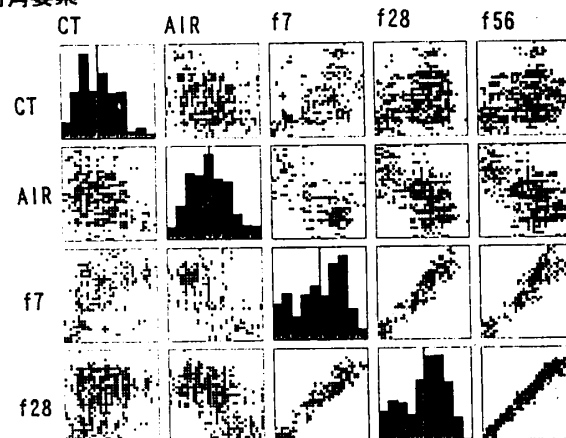


図-2 F_{56} との多変量連関図

空気量(%), 材齢7日現場封緘圧縮強度が選択され, 図-3および式(1)で表される。

7日強度を説明変数として選択した場合に空気量が有意となる原因は, 7日強度と56日強度差が大きいためであり, 28日強度から56日強度への推定では, 強度差が小さく空気量の影響が強度試験結果に含まれているためと考えられる。

$$F_{56}=31.5-0.38CT+1.03F_7-2.5\text{Air} \quad (1)$$

F_{56} :現場封緘養生材齢56日圧縮強度推定値
(N/mm^2)

CT:荷下し時のコンクリート温度(°C)

F₇:現場封緘養生材齢 7 日圧縮強度(N/mm²)

Air:空気量(%)

n=226, r=0.967, σ=3.0

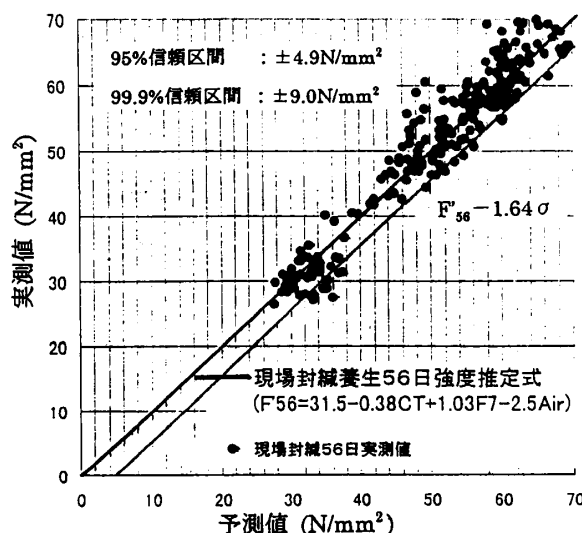


図-3 現場封緘養生 7 日から 56 日強度推定値の適合性

今回の試験では 56 日の強度レベルがおおよそ 30~70N/mm²と比較的高く、材齢 7 日から 56 日を推定するに当たって空気量や打込み時の季節要因を表す荷下し時のコンクリート温度の影響が現れたものと思われる。

ここで、実測値が推定値を上回る確率を各々 95%, 99%, 99.9%とした場合の判定式は標準偏差が 3N/mm²であることから各々 1.64σ ≒ 4.9N/mm², 2.33σ ≒ 7.0N/mm², 3.0σ ≒ 9.00N/mm²をマイナスすることによって下記のように表すことができる。

実測値が推定値を上回る確率 95%の場合

$$F'_{56} = 26.6 - 0.83CT + 1.03F_7 - 2.5Air \quad (2)$$

実測値が推定値を上回る確率 99%の場合

$$F'_{56} = 24.5 - 0.83CT + 1.03F_7 - 2.5Air \quad (3)$$

実測値が推定値を上回る確率 99.9%の場合

$$F'_{56} = 22.5 - 0.83CT + 1.03F_7 - 2.5Air \quad (4)$$

材齢 28 日から材齢 56 日強度推定式は、説明変数として材齢 28 日強度のみが選定され式(5)で表される。

$$F'_{56} = 4.9 + 1.00F_{28} \quad (5)$$

F₂₈:現場封緘養生材齢 28 日圧縮強度

(N/mm²)

n=682, r=0.979

材齢 28 日から 56 日を推定する場合は材齢 28 日強度が材齢 56 日強度にほぼ近いレベルであるため図-4に示すように空気量・温度の影響は現れなかった。式(5)の意味は今回の強度範囲であれば 28 日強度に単純に 4.9N/mm²を加えるだけで現場封緘養生材齢 56 日強度が推定できるという結果になった。

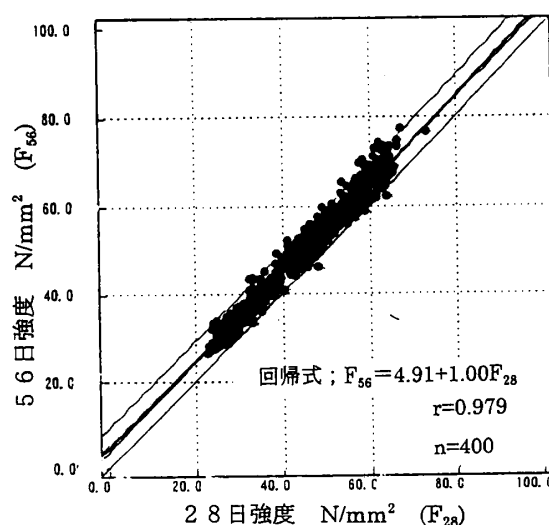


図-4 現場封緘養生 28 日から

56 日強度推定値の適合性

3. 3 現場封緘養生材齢 91 日強度推定

説明変数として荷下し時のコンクリート温度、空気量、材齢 28,56 日現場封緘養生圧縮強度を選択し、従属変数として現場封緘養生材齢 91 日の圧縮強度を選択し重回帰分析を行った。図-5に示した多変量連関図、分散分析・相関係数などから判断して材齢 28,56 日から 91 日強度推定には、説明変数として各々材齢 28, 56 日現場封緘養生圧縮強度が選定された。これは、材齢 28,56 日から材齢 91 日への強度ののびが小さいことが考えられる。推定式を図-6,図-7 および式(6)(7)に示した。

$$F'_{91} = 11.0 + 0.96F_{28} \quad (6)$$

F'₉₁:現場封緘養生材齢 91 日圧縮強度推定値
(N/mm²)

対角要素

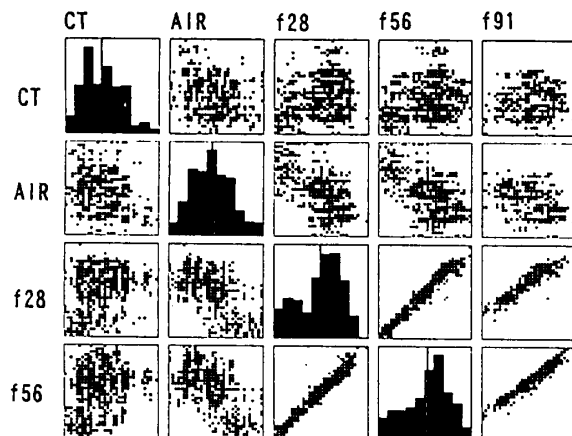
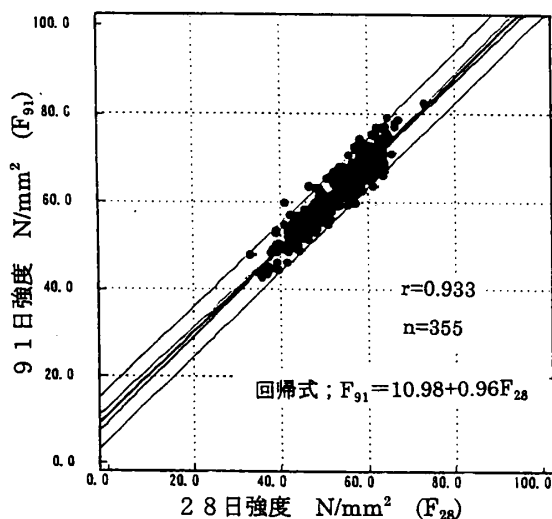
図-5 F_{91} との多変量連関図

図-6 現場封緘養生 7 日から 91 日強度推定値の適合性

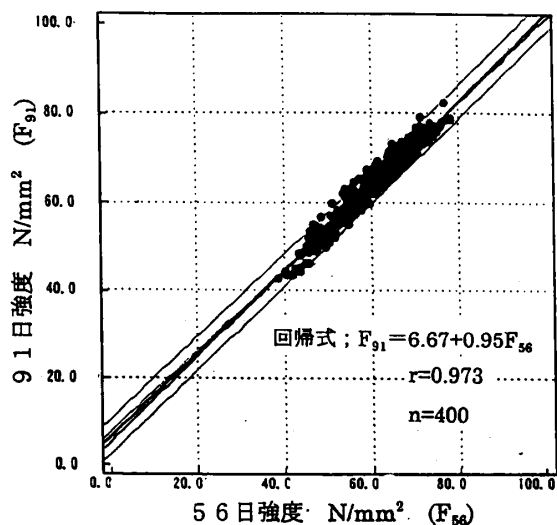


図-7 現場封緘養生 56 日から 91 日強度推定値の適合性

F_{28} : 現場封緘養生材 28 日圧縮強度

(N/mm^2)

$n=355, r=0.933$

$$F_{91} = 6.7 + 0.95F_{56} \quad (7)$$

F_{56} : 現場封緘養生材 56 日圧縮強度

(N/mm^2)

$n=400, r=0.973$

3. 4 現場封緘養生材 7 日強度から任意の材齢における強度推定

コンクリートの圧縮試験結果は支保工の解体時期決定にも用いられる。通常支保工解体の時期は経験に基づいた X day と呼ばれる任意の材齢で強度試験を行って設計基準強度以上か計算によって求められた安全レベルの強度以上かを確認して決定されることが多い。

任意の X day は経験に基づきかなり安全側に時期を遅く設定することが多い。任意の材齢で圧縮強度が求められれば支保工解体時期があらかじめ予測でき現場での工程管理や工期短縮などが容易になる。

図-8 および式(8)に現場封緘養生における任意の材齢 t 日の圧縮強度を材齢 7 日強度より推定できる式を示した。

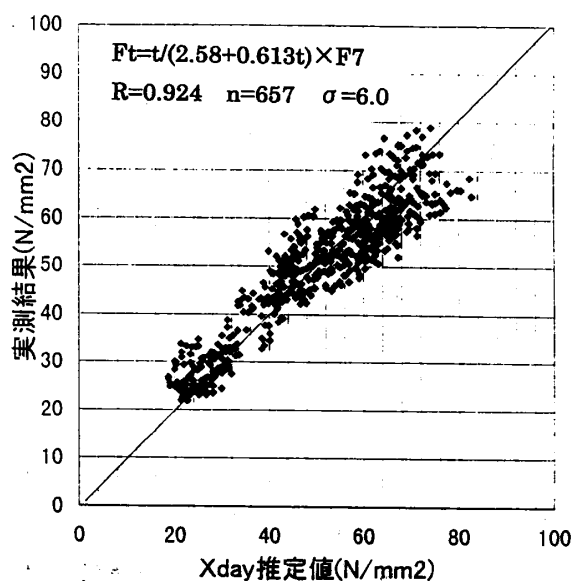


図-8 現場封緘 Xday 強度推定値の適合性

前述したように固定した材齢の強度推定式

よりも精度は低下している。

適切な不良率 k を定め、材齢をいくつか定め、推定値 $-k\sigma$ が必要な強度を満足する材齢を求め、求めた材齢以降に強度試験を実施し、支保工解体の適否を確認することになる。

$$F'_x = t / (2.58 + 0.613t) \times F_t \quad (8)$$

F'_x : 材齢 7 日以降の任意の材齢における圧縮強度の推定値 (N/mm²)

t : 強度を推定する材齢 (日)

$$r=0.924, n=657, \sigma=6.0\text{N/mm}^2$$

3. 5 標準養生材齢28日強度の推定

通常標準養生供試体の材齢 7 日強度から 28 日強度を推定する場合、JASS5 T-602「工事現場練りコンクリートの調査強度の管理試験方法」に示されている、 $F_{28}=A \times F_7+B$ を用いることが多い。普通ポルトランドセメントの場合 $A=1.35$, $B=3.0$ と示されている (図-9)。解説ではこの式を用いて推定した結果はやや安全側に見積もることになる、としている。図-9に示されるように JASS5 T-602 の式は回帰式の下限值を表している。

しかし、推定式の根拠となっている実験データは昭和 37 年頃前後のセメントを使用した試験結果である。

表-1 セメントの物理試験結果

	密度 g/cm ³	比表面積 cm ² /g	圧縮強さ K N/mm ²				K28/K7
			3 日	7 日	28 日		
1961 年	3.15	3290	11.3	21.2	38.6		1.82
1995 年	3.15	3390	15.9	26.1	42.9		1.64

そこで表-1に示したように、入手した当時に近いセメントの物理試験結果と最近のセメントの物理試験結果とを比較した。密度や比表面積は現在と当時とはあまり変わっていない。しかし圧縮強さは異なっている。つまり、1961年と比較して1995年は各材齢において圧縮強度は高くなっている。一方7日圧縮強度 K7 から 28 日強度 K28 の伸び K28/K7 は 1961 年で 1.82, 1995 年で 1.64 と現在は材齢 7 日から 28 日の強度増進が小さくなっている。

セメントの圧縮強度増進の違いがコンクリートの強度増進に影響することは容易に考えられ、最近の標準養生供試体圧縮強度のデータ ($n=2345$) を収集し、材齢 7 日から材齢 28 日圧縮強度の推定を試みた。

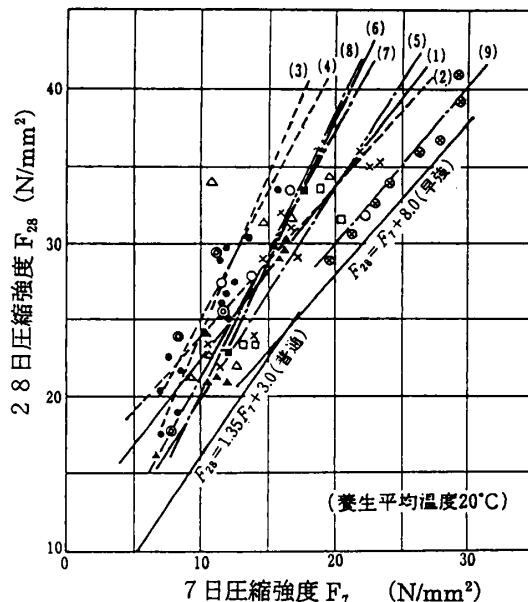


図-9 各種セメントを用いたコンクリートの7日圧縮強度と28日圧縮強度の関係 (JASS 5 T-602 解説図)

標準養生の推定式はコンクリート温度、材齢 7 日強度が影響するといわれているので図-10に示したようにコンクリート温度 C_T 、標準養生材齢 7 日圧縮強度 F_7 を従属変数として回帰分析を行った。その結果コンクリート温度は変数として有意とはならず図-11および式(9)に示すように材齢 7 日圧縮強度のみによって推定できることが解った。

$$F'_{28} = 4.8 + 1.23F_7 \quad (9)$$

$$r=0.958, n=2345, \sigma=2.0$$

式(9)を用いる事でおおよそ 20 ~ 80N/mm² の強度まで推定することができる。

図-11には推定式の 95%信頼区間の下限値として式(10)を示している。

$$F''_{28} = 1.5 + 1.23F_7 \quad (10)$$

F''_{28} : 標準養生材齢 28 日圧縮強度推定値の 95%信頼区間の下限値 (N/mm²)

対角要素

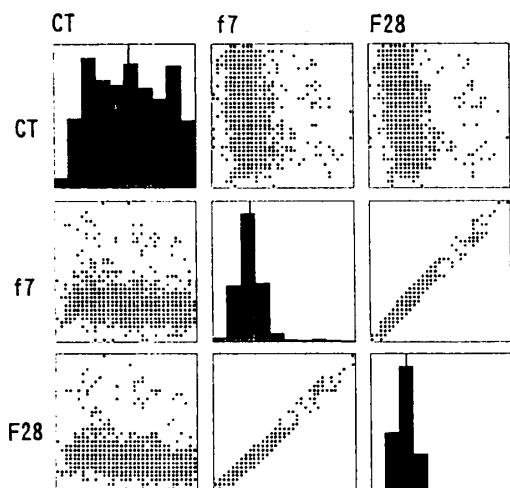
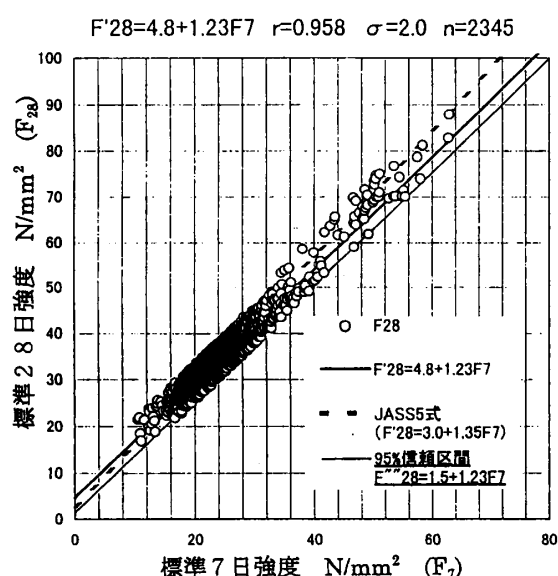
図-10 標準 F_{28} との多変量連関図

図-11 標準養生 7 日から 28 日強度推定値の適合性

図-11 には JASS5 T-602 に示される式をあわせて示している。図より JASS5 T-602 の推定式はやや安全側にあるのではなく現在のコンクリートでいえばほぼ中心にきていることが解る。これは表-1 に示したように現在のセメントは 1961 年当時のセメントよりも材齢 7 日から材齢 28 日までの強度増進が小さいことが原因と考えられる。

4. まとめ

現場における各種養生の簡便なコンクリート圧縮強度推定式を下記のように作成し提案

した。(判定式の適用範囲：気温 5～35℃、コンクリート温度 10～35℃、普通コンクリート、普通ポルトランドセメント、呼び強度 21～60)

適切な不良率 k を定め、圧縮強度早期判定式とすることにより、コンクリート構造物の品質管理の一助として活用できる。

過去に報告した⁶⁾ 現場水中養生材齢 28 日圧縮強度もあわせて示した。

現場封緘養生 56 日圧縮強度の推定式

$$F'_{56} = 31.5 - 0.38CT + 1.03F_7 - 2.5Air \quad (1)$$

$$F'_{56} = 4.9 + 1.00F_{28} \quad (5)$$

現場封緘養生 91 日圧縮強度の推定式

$$F'_{91} = 11.0 + 0.96F_{28} \quad (6)$$

$$F'_{91} = 6.7 + 0.95F_{56} \quad (7)$$

任意の材齢における圧縮強度の推定式

$$F'_x = t / (2.58 + 0.613t) \times F_7 \quad (8)$$

標準養生 28 日圧縮強度の推定式

$$F'_{28} = 4.8 + 1.23F_7 \quad (9)$$

現場水中養生材齢 28 日圧縮強度の推定式

$$F'_{28} = -0.232CT + 0.972F_7 + 16.2 \quad (11)$$

(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，日本建築学会，1989
- 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.1，1994
- 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 Vol7，No.11，1988
- 4) 鎌田：コンクリート強度の予測と管理，建築の技術と施工，1993.10
- 5) 古賀，重倉ほか：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，No.1，P1101～1106，1993
- 6) 古賀，重倉ほか，現場水中養生 28 日圧縮強度早期判定式の提案，コンクリート工学年次論文報告集，Vol16，No.1，1994