

コンパクト化法によるマスコンクリートの構造体強度補正值迅速評価技術の開発

Development of a Technology for Rapidly Evaluating the Structural Strength Correction Value of Mass Concrete by a Compact Method

笠井 浩 全 振 煥
百瀬 晴基 依田 和久

要 約

フライアッシュを用いたマスコンクリートの調合設計に必要な構造体強度補正值 ($_{28}SM_{91}$) を、迅速(最短3カ月)かつ簡便に精度よく評価できるコンパクト化法を開発した。JASS 5 によると、マスコンクリートの構造体強度補正值は試験を行い定めることができる。したがって、JASS 5 に示されている標準値よりも小さい値にすることができれば、呼び強度が小さくなるため、マスコンクリートの水和熱による温度ひび割れのリスク低減に寄与できる。実験の結果、フライアッシュ B 種または C 種相当を用いたマスコンクリートの構造体強度補正值 $_{28}SM_{91}$ は、標準養生による材齢 28 日コンクリート強度の値と、コンパクト化法による材齢 91 日コンクリート強度の値から $3N/mm^2$ を減じた値との差で評価が可能である。なお、本技術は、第三者機関である(一財)日本建築総合試験所の建築技術性能証明を取得している。

目 次

- I. はじめに
- II. コンパクト化法の概要と強度推定の検討
- III. 温度可変養生法の概要と $_{28}SM_{91}$ 迅速試験の検討
- IV. おわりに

I. はじめに

コンクリートの調合設計に必要な構造体強度補正值は、一般的な部材を対象とした普通コンクリートの場合、国土交通省の告示第 502 号により定められた値を用いなければならない。しかし、マッシュな部材を対象とした特殊扱いのマスコンクリートの構造体強度補正值 $_{28}SM_{91}$ は、JASS 5 の標準値のほか、試験を基に定めることができる。ここで、 $_{28}SM_{91}$ とは材齢 28 日標準養生強度と材齢 91 日構造体コンクリート強度との差のことである。従来、この補正值を得るためには、例えば 1m 角の柱模擬部材によるコア強度や簡易断熱養生型枠(以下、JASS 5 T-606 法)を用いた断熱養生強度の測定を 3 シーズン(標準期、暑中期、冬期)実施するため、多くの時間(約 1 年)と労力が必要なため、これらの課題を解決する試験方法が求められていた。このような背景から、簡便に強度推定が評価できるコンパクト養生箱を用いたコンパクト化法(以下、コンパクト化法)及び簡便かつ迅速に強度推定が評価可能な温度可変水槽を用いたコンパクト化法(以

下、温度可変養生法)を開発した。なお、開発した試験法とその評価技術については第三者試験機関である(一財)日本建築総合試験所の建築技術性能証明を取得している。

本性能証明を取得したコンクリートの種類は、フライアッシュ B 種または C 種相当マスコンクリートである。本コンクリートを対象とした理由は、マスコンクリートは、打設量が多いことである。また、マスコンクリートの中で、フライアッシュを用いた $_{28}SM_{91}$ の標準値は、JASS 5 21 節マスコンクリートの解説表 21.3¹⁾によると、暑中期間は $6N/mm^2$ であるが、試験を行い 0 または $3N/mm^2$ になれば呼び強度が小さくなり、単位セメント量の小さい調合が得られる。したがって、単位セメント量が小さい調合とすることで、マスコンクリートの水和熱による温度ひび割れのリスクを低減し、コンクリートの品質向上に寄与することができる。また、普通ポルトランドセメント量の内割 20~30%置換したフライアッシュコンクリートは、ポルトランドセメント使用量の低減により、CO₂削減にも貢献する効果がある。

以上のことから、本研究は、コンパクト養生箱を用いた新たな試験法を開発し、構造体コンクリート強度及び構造体強度補正值を簡便かつ迅速に推定することが目的である。

そのために、まず、コンパクト化法と JASS 5 T-606 法の強度関係から統計的手法を用いた検討により、コンパクト化法の強度から構造体コンクリート強度を推定する方法を導

キーワード: マスコンクリート, フライアッシュ, 構造体強度補正值, 強度推定, 迅速評価技術

Keywords: mass concrete, fly ash, structure strength correction value, intensity estimation, rapid evaluation technology

いている。次に、コンクリートの練上り温度の調整方法の検討及び温度可変養生法と JASS 5 T-606 法の強度あるいは構造体強度補正值の検討から、温度可変養生法の有効性を確認している。

II. コンパクト化法の概要と強度推定の検討

1. コンパクト化法の概要

従来の材齢 91 日構造体コンクリート強度を得るための試験方法を Photo 1 及び Fig.1 に示す。例えば、1m 角の柱模擬部材によるコア強度の方法は、コンクリート試料 1000 ℓが必要で、型枠の作製やコア抜きなど大変手間がかかる。また、当社が従来採用してきた JASS 5 T-606 法は、コンクリート試料 30 ℓを要し、型枠の直径が 900mm と大きいため、試料量や運搬に課題があった。

そこで、Photo 2 及び Fig.2 に示すように、気密性の高い真空断熱材を用いたコンパクト養生箱によるコンパクト化法（養生箱寸法 350×255×300mm）を開発した。この方法は 10 ℓ程度の少量試料で、簡便に自己発熱による温度履歴を受けたコンクリートの強度を推定できるのが特徴である。

2. コンパクト化法による強度推定の検討

(1) 実験目的

コンパクト化法から柱模擬部材のコア強度を推定するために、実験 1 では JASS 5 T-606 法の強度とコア強度の関係及び実験 2 ではコンパクト化法と JASS 5 T-606 法を把握することを目的として検討を行った。なお、実験 1 の検討では、フライアッシュ B 種または C 種相当を用いたマスコンクリートの JASS 5 T-606 法とコア強度の関係については、当社の既往の実験²⁾においてデータを取得しているため、それを採用することにした。

実験 2 の検討では、コンパクト化法による強度と、コア強度よりも強度の取得が容易にできる JASS 5 T-606 法による強度との比較を行った。

(2) 実験 1：JASS 5 T-606 法の強度とコア強度の関係

(a) 実験概要

Table 1 に示すように、対象とする生コン工場は 5 工場である。コンクリートの調合の呼び強度の範囲は 24 以上 36 以下、水結合材比の範囲は 38%以上 50%以下である。フライアッシュ置換率は、フライアッシュ B 種相当として 17%と 20%、フライアッシュ C 種相当として 27%である。

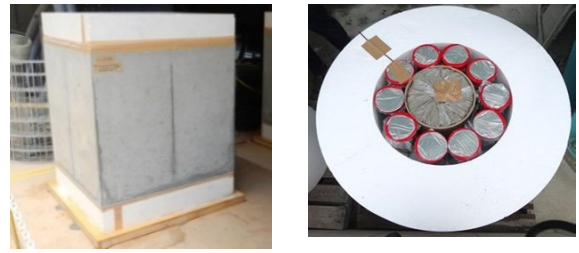
(b) 実験結果

両者の強度の関係を Fig.3 に示す。これより、フライアッシュ B 種または C 種相当を用いたコンクリートは、JASS 5 T-606 法による強度よりもコア強度の方が同等か若干高い傾向にあった。一般に、普通ポルトランドセメントコンクリートでは、JASS 5 T-606 法による強度の方がコア強度よりも大きいことが知られているが、フライアッシュコンクリートの場合、簡易断熱養生下よりも、熱量が大きい 1m 角のマス

部材の方が高温養生環境下にあるため、よりポゾラン反応が活性化し、強度発現に寄与していると考えられる。

なお、フライアッシュコンクリートと同系である混合セメント系の高炉スラグコンクリートの場合も、JASS 5 T-606 法による強度よりもコア強度の方が大きいとの知見^{3) 4)}が得られている。

以上のことから、フライアッシュ B 種または C 種相当を用いたコンクリートにおいて、JASS 5 T-606 法による強度はコア強度を安全側で評価できることがわかった。



1m角柱模擬部材

簡易断熱養生型枠
(JASS 5 T-606 法)

Photo 1 従来の 28SM₉₁ 値評価試験
(Test Method to Evaluate Conventional SM Value)

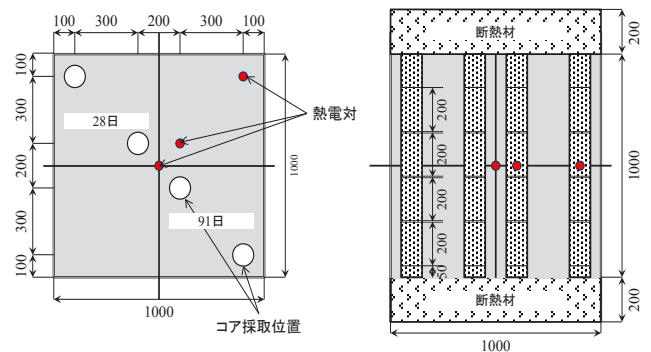


Fig.1 1m角柱模擬部材の形状
(Shape of Column Simulated Member)



Photo 2 コンパクト養生箱によるコンパクト化法
(Compact Method Using Compact Curing Box)

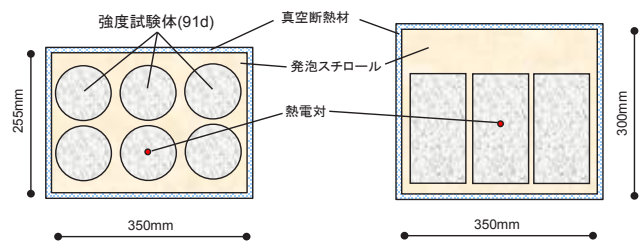


Fig.2 コンパクト養生箱の形状
(Shape of Compact Curing Box)

Table 1 フライアッシュコンクリートの調査
(Mix Proportion with Fly Ash Concrete)

生コン工場No	打設時期	呼び強度	W/B (%)	W/C (%)	FA置換率 (%)	試験材齢 (日)
①工場	夏期	24	50	63	20	28, 42, 91
		50	69	27	28, 42, 91	
	標準期	24	50	63	20	28, 42, 91
②工場	夏期	24	50	69	27	28, 42, 91
③工場	夏期	24	50	69	27	28, 42, 91
④工場	夏期	36	38	45	17	28, 56, 91
		30	43	50	17	28, 56, 91
	標準期	36	38	46	17	28, 56, 91
⑤工場	夏期	30	43	52	17	28, 56, 91
		36	38	46	17	28, 56, 91
	30	43	52	17	28, 56, 91	
	標準期	36	38	46	17	28, 56, 91
		30	43	52	17	28, 56, 91

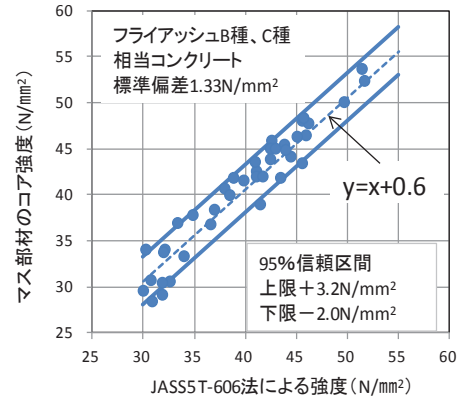


Fig.3 JASS5T-606 法による強度とコア強度の関係
(Strength Relationship between JASS 5 T-606 Method and Core with Fly Ash Concrete)

(3) 実験 2 : コンパクト化法と JASS 5 T-606 法の強度関係

(a) 実験概要

Table 2 に示すように 26 調査のコンクリートを対象とした。設計基準強度は 21~36N/mm² の範囲で、呼び強度 27~42, スランブ 15cm または 18cm である。コンクリートの種類は、普通 (N), 中庸熱 (M), 普通+フライアッシュ 20% (N+F), 普通+高炉スラグ微粉末 20% (N+BF) である。

また、コンパクト化法及び JASS 5 T-606 法の材齢 91 日における圧縮強度及び供試体中心の最高温度について検討を行った。なお、一部の工場の実験では 1m 角柱模擬部材の温度履歴、コンパクト化法及び JASS 5 T-606 法の温度履歴についても比較検討した。

(b) 実験結果

両者の材齢 91 日における圧縮強度の関係を Fig.4 に示す。これより、コンパクト化法による強度は、JASS 5 T-606 法による強度と同等であることを確認した。

Fig.5 は、コンパクト化法及び JASS 5 T-606 法の最高温度を比較したものである。これより、コンパクト化法による最高温度は、JASS 5 T-606 法よりも約 3℃ 低い傾向にあった。

ここで、1m 角柱模擬マス部材の温度 (Fig.1 の中心部及び外周部の熱電対) とコンパクト化法及び JASS 5 T-606 法の供試体中心の温度履歴の比較例を Fig.6 に示す。なお、左図が普通セメント (普通 PC) で、右図が中庸熱セメント (中庸熱 PC) である。これより、コンパクト化法の最高温度は JASS 5 T-606 法よりもやや小さい傾向にあるが、両者の温度履歴は、ほぼ同様な傾向を示していた。また、コンパクト化法の温度履歴は、JASS 5 T-606 法と同じくマス部材の中心部と外周部の間の温度履歴を示している。

以上のことから、コンパクト化法は、JASS 5 T-606 法よりもコンクリートの熱量が少ないため最高温度は若干低い傾向を示すが、その温度差が強度に与える影響は小さく、Fig.4 より両者の強度はほぼ同等であることから、両者は同様な養生方法と言える。

Table 2 各種コンクリートの調査の一覧
(Mix Proportion of Variable Concrete)

No	製造場所	打設時期	設計基準強度 (N/mm ²)	配合
1	工場1	標準期	27	普通-30-18-20-N
2	工場1	標準期	27	普通-30-18-20-M
3	工場2	標準期	36	普通-42-18-20-N
4	工場3	標準期	36	普通-42-18-20-N
5	工場4	標準期	36	普通-42-18-20-N
6	工場5	標準期	36	普通-42-18-20-N
7	工場6	標準期	36	普通-42-18-20-N
8	工場7	標準期	36	普通-42-18-20-N
9	工場8	標準期	36	普通-42-18-20-N
10	工場9	標準期	36	普通-42-18-20-N
11	工場10	夏期	36	普通-42-18-20-N
12	工場5	夏期	36	普通-42-18-20-N
13	工場11	夏期	36	普通-42-18-20-N
14	工場12	夏期	36	普通-42-18-20-N
15	工場13	冬期	24	普通-27-15-20-N
16	工場13	冬期	24	普通-27-15-20-N+F
17	工場13	標準期	24	普通-27-15-20-N
18	工場13	標準期	24	普通-27-15-20-N+F
19	工場13	夏期	21	普通-27-15-20-N
20	工場13	夏期	21	普通-27-15-20-N+F
21	工場14	冬期	24	普通-30-18-20N
22	工場14	冬期	24	普通-30-18-20N+BF
23	工場14	標準期	27	普通-30-18-20N
24	工場14	標準期	27	普通-30-18-20N+BF
25	工場14	夏期	24	普通-30-18-20N
26	工場14	夏期	24	普通-30-18-20N+BF

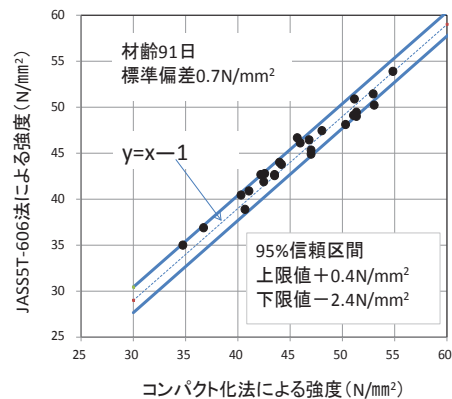


Fig.4 コンパクト化法と JASS 5 T-606 法の強度関係
(Strength Relationship between Compact Method and JASS 5 T-606 Method)

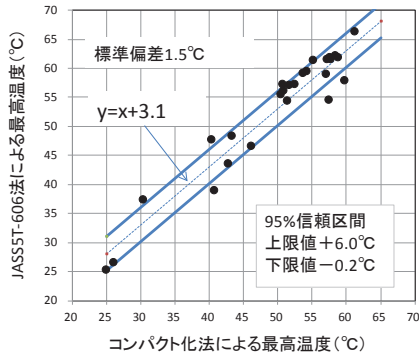


Fig.5 コンパクト化法と JASS 5 T-606 法の最高温度の関係

(Max Temperature Relationship between Compact Method and JASS 5 T-606 Method)

3. 統計的手法による強度推定の検討

(1) 検討概要

コンパクト化法からコア強度を推定することが最終目標であるが、Fig.3 と Fig.4 の強度結果の関係から、強度のばらつきを考慮し統計的手法により強度推定を試みることにした。

(2) 検討結果

コア強度は Z、コンパクト化法による強度は Y、JASS 5 T-606 法による強度は X とする。

Fig.3 より、 $Z=f(X)$ とすると、上限+3.2 N/mm²、下限-2.0 N/mm² より、平均 $a=+0.6$ N/mm²、標準偏差 $\sigma_{xz}=1.33$ N/mm²

$$Z = X + 0.6 \dots \dots \dots (1)$$

Fig.4 より、 $X=g(Y)$ とすると、上限+0.4 N/mm²、下限-2.4 N/mm² より、平均 $a=-1.0$ N/mm²、標準偏差 $\sigma_{yx}=0.70$ N/mm²

$$X = Y - 1 \dots \dots \dots (2)$$

(2)式を(1)式に代入することにより、コンパクト化法による強度とコア強度の関係は以下ようになる。

$$Z = (Y - 1) + 0.6 = Y - 0.4$$

この時の標準偏差は、

$$\begin{aligned} \sigma_{YZ} &= \sqrt{(\sigma_{YX}^2 + \sigma_{XZ}^2)} = \sqrt{(1.33^2 + 0.70^2)} \\ &= \sqrt{(1.77 + 0.49)} \\ &= \sqrt{2.26} \approx 1.50 \end{aligned}$$

すなわち、 $Z = Y - 0.4 \pm \kappa \sigma_{YZ}$

ここで、片側 95%信頼における κ は、標準偏差正規分布表より、 $\kappa = 1.64$

$$\begin{aligned} \text{したがって、} Z &= Y - 0.4 \pm 1.64 \times 1.50 \\ &= Y - 0.4 \pm 2.46 \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに、下限式の } Z = Y - 2.86 \approx Y - 3.0 \dots \dots (3)$$

以上のことから、(3)式より、安全側を考慮して、「材齢 91 日の構造体コンクリート強度 (コア強度) は、材齢 91 日のコンパクト化法による強度から 3N/mm² 減じることで推定できる。」と評価した。

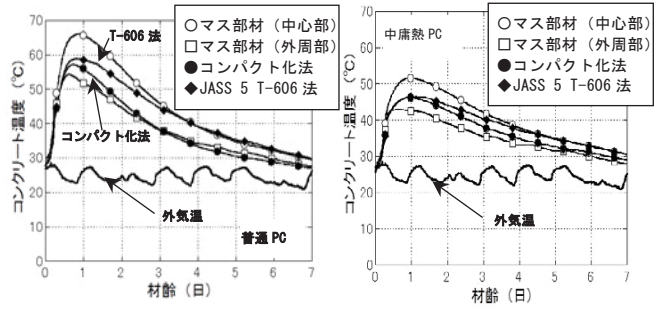


Fig.6 各種試験法のコンクリート温度履歴 (Concrete Temperature History of Various Test Method)

4. コンパクト化法によるコア強度推定の検証

(1) 実験概要

(3)式を検証するために、各種コンクリートを対象に、コンパクト化法と Fig.1 の 1m 角の柱模擬部材のコア強度の比較検討実験を行った。実験要因を Table 3 に示す。

(2) 実験結果

材齢 91 日におけるコンパクト化法の強度とコア強度の関係を Fig.7 に示す。中庸熱 PC や普通 PC のコア強度とコンパクト化法による強度との差は、2.6N/mm² (中庸熱 PC) 及び 3.0N/mm² (普通 PC) で、これらのコア強度はコンパクト化法による強度よりも約 3N/mm² 小さい傾向にあった。

一方、フライアッシュを混入した普通 PC+FA-B や普通

Table 3 実験要因 (Experimental Factor)

コンクリート種類	打設時期	配合名	試験方法
普通PC	標準期	30-18-20N	コンパクト化法 および 1m角からのコア強度
中庸熱PC	標準期	30-18-20M	
普通PC+FA-B	暑中期	27-15-20FB	
普通PC+FA-C	暑中期	27-15-20FC	

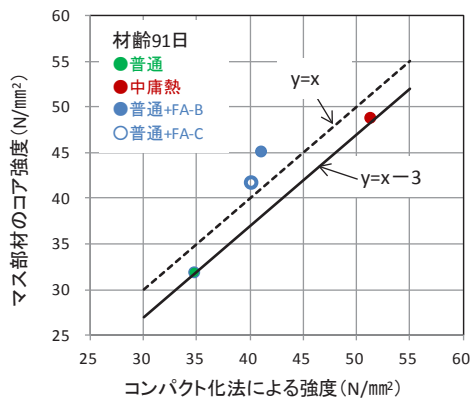


Fig.7 コンパクト化法による強度とコア強度の関係 (Strength Relationship between Compact Method and Concrete Core)

PC+FA-Cのコア強度とコンパクト化法による強度との差は、 3.8N/mm^2 (普通PC+FA-B)及び 1.5N/mm^2 (普通PC+FA-C)であり、これらのコア強度は、コンパクト化法による強度よりも大きい傾向にあり、結合材の種類によって両者の強度差は異なる傾向を示していた。

以上のことから、データが少ないが、フライアッシュ B種及びC種では、コア強度とコンパクト化法の強度の関係については、中庸熱PCや普通PCの結果も考慮した(3)式の妥当性を裏付けるものが得られた。

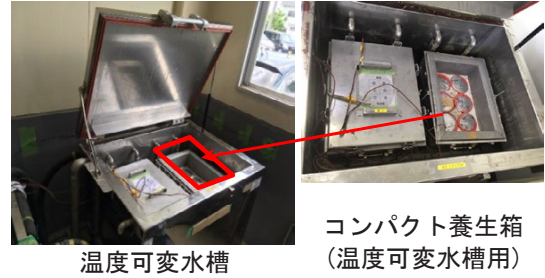


Photo 3 温度可変養生法による 28SM_{91} 迅速評価システム
(System to Evaluate SM Value Rapidly using Compact Method with Variable Temperature Tank)

Ⅲ. 温度可変養生法の概要と 28SM_{91} 迅速試験の検討

1. 温度可変養生法の概要

II章で示したコンパクト化法は、簡便に強度推定を評価できるが、異なるシーズンの養生環境を模擬できないため、 28SM_{91} 値を先取りして迅速に評価することができないという課題があった。そこで、Photo 3に示すような防水処理を施したコンパクト養生箱を冷凍機とヒータを備えた水循環式温度可変水槽(温度可変水槽:寸法 $970\times 730\times 920\text{mm}$ 、温度制御範囲 $+5^\circ\text{C}\sim +35^\circ\text{C}$)内に格納することで、3シーズンのマス部材の構造体コンクリート強度推定及び 28SM_{91} 値の推定を短期間(最短3カ月)で精度よく簡便に評価する技術を考案した。ここで、 28SM_{91} 値の先取りによる迅速評価とは、例えば、標準期相当の約 20°C のコンクリート試料を温水により打込み時期の約 30°C に温め、平均養生温度 30°C に水槽温度を設定し、暑中期を模擬した環境とすることで、標準期に暑中期の 28SM_{91} 値を先取りすることを意味する。

2. 温度可変養生法による 28SM_{91} 迅速試験の検討

(1) 基礎実験

(a) 実験目的

本実験は練上り温度が同一のコンクリート試料を用いて、温度可変水槽を用いたコンパクト化法(温度可変養生法と呼ぶ)による構造体強度補正值 28SM_{91} とJASS 5 T-606法による構造体強度補正值 28SM_{91} の比較検討を目的に行った。

(b) 実験概要

実験概要をTable 4に示す。例えば、練上り温度 10°C の場合には、両試験法共に、室内温度、コンクリート練上り温度、供試体への打込み温度は 10°C である。温度可変養生法は、 10°C に設定した温度可変水槽内に、打込んだ供試体を存置したコンパクト養生箱を格納し、2週間保管した。その後、養生箱から供試体を取り出し、 10°C に設定した室内に材齢91日まで保存した。

一方、JASS 5 T-606法の場合は供試体を簡易断熱養生容器内に存置した後、2週間保管した。後養生は温度可変養生法と同様である。

標準養生用の供試体は共通であり、材齢28日まで 20°C 水中養生を行った。練上り温度 20°C 及び 30°C についても上述

Table 4 基礎実験の概要(練上り試料が同一の場合)
(Outline of Basic Testing when Sample after Mixing is Same)

試験条件	練上り温度 10°C の場合		練上り温度 20°C の場合		練上り温度 30°C の場合	
	温度可変養生	JASS 5 T-606	温度可変養生	JASS 5 T-606	温度可変養生	JASS 5 T-606
室内温度	10°C	10°C	20°C	20°C	30°C	30°C
練上り温度						
打込み温度						
養生水槽温度	—		—		—	
養生期間(養生方法)	2週間(温度可変)	2週間(簡易断熱)	2週間(温度可変)	2週間(簡易断熱)	2週間(温度可変)	2週間(簡易断熱)
供試体取出し後養生	材齢91日(10°C 封緘)		材齢91日(20°C 封緘)		材齢91日(30°C 封緘)	
標準養生供試体	材齢28日(20°C 水中)		材齢28日(20°C 水中)		材齢28日(20°C 水中)	

Table 5 使用材料
(Materials)

種別	記号	種類・産地	密度(g/cm^3)	粗粒率又は(実積率)	骨材吸水率(%)
セメント	C	普通ポルトランドセメント S社製	3.15	—	—
混和材	FA	フライアッシュII種 K社製	2.25	—	—
細骨材	S1	石灰砕砂 T市産	2.67(表乾)	2.95	1.09
	S2	砕砂 A市産 S1:S2=30:70	2.58(表乾)	2.90	1.77
粗骨材	G1	砕石 A市産 1505	2.60(表乾)	6.69	0.87
	G2	砕石 A市産 2010 G1:G2=50:50	2.60(表乾)	(58.9%)	0.86
水	W	上水道水	1.00	—	—
混和剤	AD	AE減水剤 高機能タイプ F社製	1.11	—	—

Table 6 計画割合
(Mix Proportion)

割合記号	W/B* (%)	FA置換率 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)						
				水	セメント	FA	細骨材1	細骨材2	粗骨材1	粗骨材2
N50	50	0	43.2	181	362	0	221	517	486	486
FC50	50	27	43.4	173	253	93	223	520	486	486

*B(結合材)=セメント+FA

Table 7 実験結果の一覧
(Testing Results on Concrete Strength)

割合記号-温度	標準養生28日強度(N/mm^2)	温度可変養生法91日強度(N/mm^2)	温度可変養生法91日強度- 3N/mm^2 (N/mm^2)	温度可変養生法による 28SM_{91} (N/mm^2)	JASS T-606法91日強度(N/mm^2)	JASS T-606法91日強度- 3N/mm^2 (N/mm^2)	JASS T-606法による 28SM_{91} (N/mm^2)
N50- 10°C	43.4	44.3	41.3	2.1	43.7	40.7	2.7
FC50- 10°C	33.3	36.8	33.8	-0.5	36.8	33.8	-0.5
N50- 20°C	46.8	43.6	40.6	6.2	42.5	39.5	7.3
FC50- 20°C	34.5	43.6	40.6	-6.1	42.4	39.4	-4.9
N50- 30°C	45.1	40.8	37.8	7.3	38.8	35.8	9.3
FC50- 30°C	32.3	40.4	37.4	-5.1	40.3	37.3	-5.0

と同様な考え方で試験を実施した。

使用材料及び計画調査を Table 5 及び Table 6 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント (密度 3.15g/cm³)、フライアッシュは JISII 種品 (密度 2.25g/cm³) である。細骨材は砕砂 S1 (表乾密度 2.67 g/cm³) と砕砂 S2 (表乾密度 2.58g/cm³) を 3:7 の割合で使用した。粗骨材は砕石 G1 (表乾密度 2.60 g/cm³) と砕石 G2 (表乾密度 2.60g/cm³) を 5:5 の割合で使用した。混和剤は AE 減水剤高機能タイプを用いた。

調査は W/C50%の普通ポルトランドセメントコンクリート (N50) 及び W/B50%で普通ポルトランドセメントの内割 27%フライアッシュ置換 (FC50) コンクリートについて検討した。

(c) 実験結果

各種コンクリートの実験結果の一覧を Table 7 に示す。なお、両試験法の 28SM₉₁ の算定結果も示した。両試験法の材齢 91 日における圧縮強度結果を Fig.8 に示す。これより、両試験法の圧縮強度の差は約 2N/mm² 以内であり、同等の強度が得られた。

また、両試験法の 28SM₉₁ についてプロットしたのが Fig.9 である。これより、両試験法による 28SM₉₁ は極めて相関が高いことを確認できた。

したがって、練上り温度が同一のコンクリート試料を用いて行った場合、両試験法の強度は同等に評価できることを確認した。更に、普通ポルトランドセメントコンクリートの 28SM₉₁ は 0N/mm² 以上を示しているが、フライアッシュ C 種相当コンクリートの 28SM₉₁ は 0N/mm² 以下を示した。これは結合材種類の違いによる影響と考えられる。

(2) 実用化実験

(a) 実験目的

フライアッシュ B 種または C 種コンクリートを対象に、温度可変養生法を用いて、マスコンクリートの構造体強度補正值 28SM₉₁ の先取りによる迅速評価を目的に行った。また、練上り温度の調整を簡易にできる方法についても検討を行った。

(b) 実験概要

練上り温度の調整法について、一般に行われている試料温度の調整法 (以下、B 法) は、目標とする練上り温度とするために、前日から室内試験室を目標温度に設定し、そこに骨材などを保管し材料温度を調整するため大変な手間がかかっていた。そこで、より簡易に試料温度が調整できる方法 (以下、A 法) を考案した。例えば、標準期相当の練上り温度 20℃から 30℃に試料温度を調整する場合には、20℃の試料を専用バットに入れ、約 60℃温水を張った練り舟の中にそのバットを浮かべ、試料が 30℃になるまで温度計で確認しながら、加温した。この試料で供試体を作製し、水槽温度

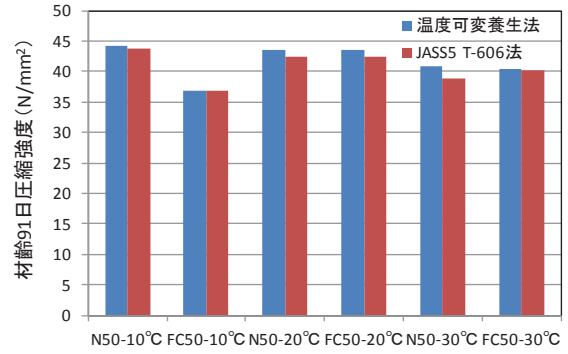


Fig.8 両試験法の材齢 91 日強度の比較 (Strength at 91 Days of Variable Temperature Curing Method and JASS 5 T-606 Method)

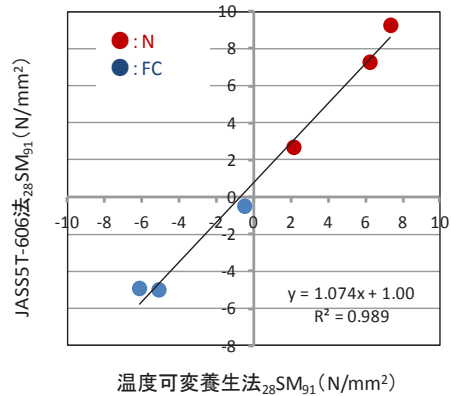


Fig.9 温度可変養生法と JASS 5 T-606 法の 28SM₉₁ (28SM₉₁ Value on Relationship between Variable Temperature Curing Method and JASS 5 T-606 Method)

Table 8 実用化実験の概要 (Outline of Practical Testing)

実施例	試験 No.	温度可変養生法 (温度可変水槽を用いたコンパクト化法)			JASS5T-606法 (簡易断熱養生法)	
		迅速・先取りケース	試料調整法	目標試料温度(℃)	試料調整法	目標試料温度(℃)
①	e	冬期のSM値迅速	A法	標準期⇒冬期 20⇒10	B法	冬期 10
②	b,j,k	暑中期のSM値迅速	A法	標準期⇒暑中期 20⇒30	B法	暑中期 30
③	a,l,m	標準期のSM値迅速	A法	暑中期⇒標準期 30⇒20	B法	標準期 20
④	f	標準期のSM値迅速	A法	冬期⇒標準期 10⇒20	B法	標準期 20
⑤	h,i	暑中期のSM値迅速(実機試験)	A法	標準期⇒暑中期 20⇒30	B法	暑中期 30
⑥	d,g	冬期のSM値迅速	B法	標準期⇒冬期 20⇒10	B法	冬期 10
⑦	c	暑中期のSM値迅速	B法	標準期⇒暑中期 20⇒30	B法	暑中期 30

A法: 練上ったコンクリートを加温や冷却して目標の試料温度に調整
 B法: 練混ぜ水や骨材の温度を調整し、目標とする試料温度に調整

30℃に設定した温度可変水槽内のコンパクト養生箱に格納した。一方、標準期相当の練上り温度 20℃から 10℃に試料温度を調整する場合には、約 0℃の氷水を練り舟に張り、専

用バットに入れた試料が 10℃になるまで冷却した。なお、水槽温度も 10℃に設定した。この時の試料温度の調整時間は 7~8 分程度である。

Table 8 に温度可変養生と JASS 5 T-606 法の $_{28}SM_{91}$ を比較した実験概要を示す。調査は同じであるが、練上り試料バッチは異なっている。試験 No.は、例えば実施例②では、Table 10 に示す試験 No.b, j, k の 3 調査について検討したことを意味する。また、温度可変養生法の試料温度調整方法は A 法が主体で、一部 B 法としている。JASS 5 T-606 法の場合は、すべて B 法である。

使用材料を Table 9 に示す。このうち、試験 No.a~i の使用材料は基礎実験と同じであり、Table 5 に示している。したがって、Table 9 は、試験 No.j~m の使用材料について示す。フライアッシュは JIS II 種品であり、細骨材は銅スラグ砂と砕砂及び石灰砕砂の 3 種混合砂を用いているのが特徴である。これは、某工事で採用予定の生コン工場の使用材料を用いたためである。

計画調査を Table 10 に示す。コンクリートの種類は、フライアッシュ B 種または C 種相当コンクリートであり、W/B44~50%の範囲で、呼び強度 24~33 の範囲に相当する。

(c) 実験結果

圧縮強度試験結果を Table 11 に示す。

供試体への打込み温度（試料温度）は、目標温度の±3℃以内に調整可能であった。

両試験法の $_{28}SM_{91}$ 値を比較したのが Fig.10 である。これより、両試験法の $_{28}SM_{91}$ 値は概ね ±3N/mm² の範囲内で良好な関係が得られた。今回の実験範囲においては、標準期や暑中期の $_{28}SM_{91}$ は 0N/mm² を下回っていた。また、冬期の $_{28}SM_{91}$ は標準期や暑中期よりも大きい傾向にあった。

以上のことから、温度可変養生法を用いた $_{28}SM_{91}$ 値迅速試験の有効性を確認することができた。なお、本迅速試験方法の実施フローを Fig.11 に示す。

IV. おわりに

本報のまとめを以下に示す。

- ① フライアッシュ B 種または C 種相当を用いたマスコンクリートを対象に、簡便に強度推定できるコンパクト化法及び温度可変養生法を開発した。特に、温度可変養生法は、打込み予定時期の温度に合わせたコンクリート供試体をコンパクト養生箱に保存し、打込み予定時期の平均養生温度に設定した温度可変水槽内にその箱を格納することで、迅速に任意の時期の強度推定ができ、最短 3 カ月で構造体強度補正值を評価できる。
- ② コンパクト化法による材齢 91 日コンクリート強度は、従来の JASS 5 T-606 法による材齢 91 日コンクリート

Table 9 使用材料（試験 No. j~m の場合）
(Materials)

種別	記号	種類・産地	密度 (g/cm ³)	粗粒率又は (実積率)	骨材吸水率 (%)
セメント	C	普通ポルトランドセメント T社製	3.16	—	—
混和材	FA	フライアッシュ II 種 Y社製	2.30	—	—
細骨材	S1	銅スラグ砂 S社製	3.50(表乾)	2.65	0.63
	S2	砕砂 N市産	2.57(表乾)	2.80	1.88
	S3	石灰砕砂 T市産	2.66(表乾)	2.85	1.53
粗骨材	G1	砕石 S市産 2010	2.60(表乾)	6.70	1.22
	G2	石灰砕石 T市産 2010	2.70(表乾)	(59.5%)	0.24
水	W	上水道水	1.00	—	—
混和剤	AD	AE減水剤 高機能タイプ F社製	1.11	—	—

注)試験No.a~i の使用材料については、Table5を参照のこと。
細骨材の割合(容積比), S1:S2:S3=20:40:40
粗骨材の割合(容積比), G1:G2=20:80

Table 10 計画調査
(Mix Proportion)

試験 No.	調査記号	W/B (%)	FA 置換率 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)							
					W	C	FA	S1	S2	S3	G1	G2
a~f	FC50	50	27	43.4	173	253	93	223	520	—	486	486
g.	FC44	44	27	40.3	180	299	110	198	461	—	490	490
h	FB50	50	20	45.0	175	280	70	231	538	—	472	472
i	FC50	50	27	44.7	175	255	95	228	533	—	472	472
j	FB50	50	20	48.4	169	270	68	228	334	346	180	747
k	FC50	50	30	48.4	167	234	100	227	334	345	180	765
l	FB50	50	20	48.4	172	275	69	225	331	343	179	743
m	FC50	50	30	46.9	170	238	102	218	321	332	184	765

※ B=C+FA

Table 11 圧縮強度試験結果
(Testing Results on Concrete Strength)

試験 No.	実施例	温度可変養生法 (温度可変水槽を用いたコンパクト化法)					JASS 5 T-606法 (簡易断熱養生法)				
		練上り打込み温度 (°C)	標準養生 28日強度 (N/mm ²)	91日強度 (N/mm ²)	91日強度 -3N/mm ² (N/mm ²)	$_{28}SM_{91}$ (N/mm ²)	打込み温度 (°C)	標準養生 28日強度 (N/mm ²)	91日強度 (N/mm ²)	91日強度 -3N/mm ² (N/mm ²)	$_{28}SM_{91}$ (N/mm ²)
a	③	30.5⇒19.6	38.1	43.5	40.5	-2.4	21.0	34.5	42.4	39.4	-4.9
b	②	20.2⇒30.3	34.8	43.1	40.1	-5.3	28.8	32.3	40.3	37.3	-5.0
c	⑦	29.5	35.4	44.2	41.2	-5.8	28.8	32.3	40.3	37.3	-5.0
d	⑥	11.6	29.7	34.1	31.1	-1.4	11.2	33.3	36.8	33.8	-0.5
e	①	20.8⇒10.3	35.9	36.8	33.8	2.1	11.2	33.3	36.8	33.8	-0.5
f	④	11.4⇒21.5	30.8	39.3	36.3	-5.5	21.0	34.5	42.4	39.4	-4.9
g	⑥	11.0	38.0	40.5	37.5	0.5	9.9	37.5	40.2	37.2	0.3
h	⑤	26.0⇒30.0	33.4	41.1	38.1	-4.7	32.0	35.3	42.9	39.9	-4.6
i	⑤	27.0⇒30.0	29.8	40.2	37.2	-7.4	33.0	29.7	39.0	36.0	-6.3
j	②	21.0⇒31.1	35.3	47.2	44.2	-8.9	29.0	36.5	45.7	42.7	-6.2
k	②	21.0⇒30.3	30.2	40.2	37.2	-7.0	29.0	31.8	44.2	41.2	-9.4
l	③	29.0⇒20.1	38.4	45.6	42.6	-4.2	21.0	34.2	43.7	40.7	-6.5
m	③	29.0⇒20.1	31.9	43.6	40.6	-8.7	21.0	28.0	40.5	37.5	-9.5

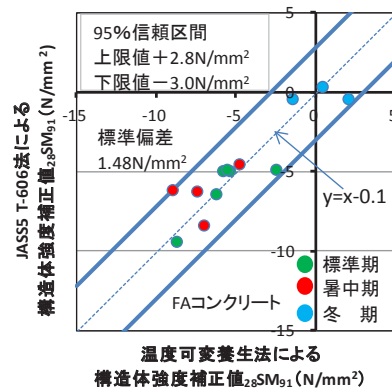


Fig.10 温度可変養生法と JASS 5 T-606 法の $_{28}SM_{91}$ ($_{28}SM_{91}$ Value on Relationship between Variable Temperature Curing Method and JASS 5 T-606 Method)

強度と同等である。

- ③コンパクト化法の最高温度は、JASS 5 T-606 法よりも若干低い傾向を示しているが、その温度差が強度に与える影響は小さい。
- ④フライアッシュ B 種または C 種相当を用いたマスコンクリートにおいて、コンパクト化法による材齢 91 日コンクリート強度から 3N/mm^2 を減じた値は、材齢 91 日構造体コンクリート強度（コア強度）と同等である。
- ⑤温度可変養生法の構造体強度補正值は、JASS 5 T-606 法と同様に評価できる。

本技術は、第三者試験機関から技術性能証明を取得した。今後、同様なコンクリートへの現場適用を図っていくとともに、CO₂削減効果にも寄与するフライアッシュコンクリートの普及にも努めていきたい。

謝 辞

コンパクト化法からコア強度の統計的な強度推定を行うにあたり、宇都宮大学名誉教授 榊田佳寛先生に、貴重なご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2015, 2015.7, p.572.
- 2) 笠井浩, 全振換：フライアッシュを用いたマスコンクリートの構造体強度補正值, 日本建築学会大会学術講演会（東北）, 2018.9, pp.463-464.

- 3) 村上利憲ほか：高強度コンクリートの性能評価・構造体コンクリート強度を確保するための標準的な水セメント比, GBRC, No.114, 2013, pp.2-13.
- 4) 依田和久ほか：高炉スラグ高含有結合材を用いたコンクリートの圧縮強度特性, 日本建築学会技術報告集, 第 23 巻, 第 54 号, 2017.6, pp.363-368.

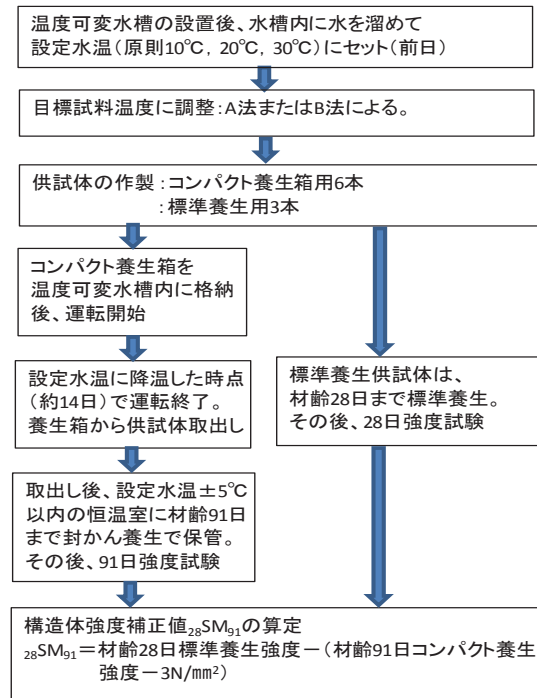


Fig.11 温度可変養生法の試験フロー (Testing Flow on Variable Temperature Curing Method)

Development of a Technology for Rapidly Evaluating the Structural Strength Correction Value of Mass Concrete by a Compact Method

Hiroshi Kasai, Jinphan Jeon, Haruki Momose and Kazuhisa Yoda

We developed a compact method that can quickly and accurately evaluate the structural strength correction value ($_{28SM91}$) required for the mix design of mass concrete using fly ash. According to Japanese Architectural Standard Specification 5 (JASS 5), structural strength corrections for mass concrete can be tested and determined. If the test results in a value smaller than the standard value of JASS 5, the nominal strength decreases, which reduces the risk of thermal cracking due to the heat of hydration of mass concrete.

The results of an experiment showed that the structural strength correction value of mass concrete using fly ash type B or C is equivalent to the standard curing age 28-day concrete strength and the strength obtained by subtracting 3 N/mm² from the age 91-day concrete strength by the compacting method, can be evaluated.

This technology acquired the construction technology performance certificate of the General Building Research Corporation, a third-party organization, this year.