

構造物躯体コンクリートの強度管理に関する研究（その7）

——早期脱型したコンクリートの強度性状に関する検討——

SCCS 研究グループ

Strength Control of Concrete in Structures (Part 7)

—Experimental Study of Effect on Concrete Strength of Stripping Formwork at Early Age—

SCCS Research Group

Abstract

Stripping of formwork at early age of concrete is required for construction methods such as the OVH System which aim to shorten work periods. This paper describes the effects on concrete strength of stripping forms at early age and an experimental study for estimation of early strength of concrete. The results of the tests were the following: (1) With respect to the influence of stripping forms at early age, it was found that concrete in the wall of a structure could be expected to show higher strength than concrete cylinder specimens. (2) Regarding the age at which the strength of concrete in the wall of a structure reached 50 kg/cm², this was about 17 hours by the T°T Method using plywood forms at average temperature of 7°C.

概 要

通常のコンクリート構造物においては、各部材の型わく存置期間が JASS 5 によって定められているが、近年、工期短縮を目的とした工法（OVH 工法など）が採用されつつあり、型わくの早期脱型が要求されている。本報告は、シリーズ I に型わくの早期脱型がコンクリート強度におよぼす影響を、また、シリーズ II ではコンクリート早期強度の推定に関する実験結果と考察を述べたものである。

型わくを早期に脱型した場合のコンクリート強度については、円柱供試体に強度低下が見られるものの、壁部材コンクリートにはあまり影響のないことが明らかとなった。また、シリーズ I で作製した壁部材コンクリートの初期強度を T°T 方式（円柱供試体の材令 4 週強度による）によって推定した結果、脱型時に必要とされる圧縮強度を得るに要する材令は約 17 時間（合板型わく使用）程度であることが分かった。

1. まえがき

通常のコンクリート構造物を施工する際には、柱、壁など各部材における型わくの存置期間（または所定の強度の確認）が JASS 5 によって定められているが、近年、建築物の省力化・工期短縮を目的とした工法（当社の OVH 工法など）が採用されつつあり、型わくの早期脱型が要求されている。本報は、早期脱型に拘わる壁部材コンクリートの強度性状に焦点を絞り、シリーズ I では模型壁部材における早期脱型がコンクリート強度におよぼす影響を示し、また、シリーズ II では養生条件の不利な冬季コンクリートの初期材令における強度推定の試みについて述べる。

2. 早期脱型がコンクリート強度におよぼす影響

2.1. 実験計画

普通・人工軽量骨材コンクリートを用いた場合の脱型材令（1・3 日）が、コンクリート強度に如何なる影響をおよぼすかについて夏・秋・冬の 3 シーズンを通して検討することを目的としたもので、表-1 に実験計画を一覧表で示す。

使用コンクリートは、普通・早強セメント、普通・人工軽量骨材コンクリートの組合せによる 4 種類とし、3 シーズンを通して材令 1 日強度がほぼ 50 kg/cm² となるよう考慮しながらコンクリートの調合を表-2 のように

供試体による結果では、すべての調査にわたって散水の効果が現われているものの、コア強度においては有意差が認められていない。これは、壁部材の方が円柱供試体に比べて表面積が小さく、散水の効果が顕著に現われなかったものと思われる。しかし、図-1に示す電極法による含水率の測定結果から、わずかではあるが散水の効果が認められていることが分かる。

2.2.3. 円柱供試体強度とコア強度の関係 夏季・冬季における円柱供試体の現場水中養生強度に対するコア強度比(材令4週), 1日脱型が86%, 3日脱型が90%で、若干1日脱型の強度比が低目となっている。

2.2.4. 断熱型わく使用がコンクリート強度におよぼす影響 断熱・合板型わくを使用した壁部材コンクリートの温度履歴を図-2に示したが、この結果からも分かるように、断熱型わくを用いた場合のコンクリート温度は合板型わく使用に比べて高く、材令1日までの積算温度で約350T°T以上の差異が認められ、初期強度を確保するための手段としては極めて有効である。

3. 早期コンクリート強度の推定

3.1. 実験計画

本実験は、強度発現の遅い冬季コンクリートの早期強度を対象とし、シリーズIで作製した模型壁部材コンクリートの脱型時に要求される圧縮強度(壁部材として50 kg/cm²)を得るに要する材令(時間)を圧縮強度百分率(fi)ー積算温度の関係から推定しようとするもので、実験計画一覧表を表-5に示す。

コンクリートの種類は、早強セメントを用いた普通と軽量(粗骨材:メサライト, 細骨材:川砂)コンクリートの2種とし、その水セメント比は、シリーズIの冬季コンクリートにおける水セメント比を包含し得るものとして40, 45, 50%の3種を定めた。

圧縮強度試験用供試体は、円柱・角柱供試体ともにシリーズIと同様で、その他温度測定用として模型壁部材(50×50×15 cm)を併せて作製した。また、初期強度試験用供試体(円柱・角柱)は、打設後試験材令まで室外放置養生し、試験直前に石膏キャッピングを施工した上で試験に供した。

3.2. 実験結果と考察

円柱・角柱供試体強度試験結果を表-6に示す。

3.2.1. コンクリートの圧縮強度百分率(fi)と積算温度の関係 本実験で得られたfi(F/F1440)ーT°T, およびfi(F/F13440)ーT°T 曲線を図-3~4に示す。このfiーT°T 曲線のうち普通コンクリートの場合は、軽量コンクリートに比べてW/Cによる相違が若干大きく、fiーT°T の関係にバラツキが認められている。また、文献¹⁾によ

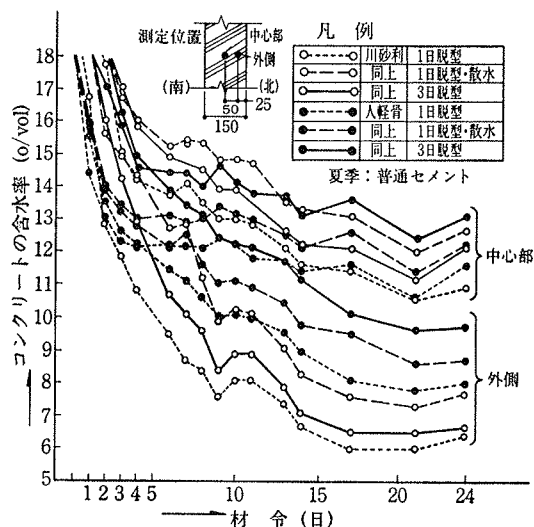


図-1 壁部材コンクリートの含水率と材令の関係

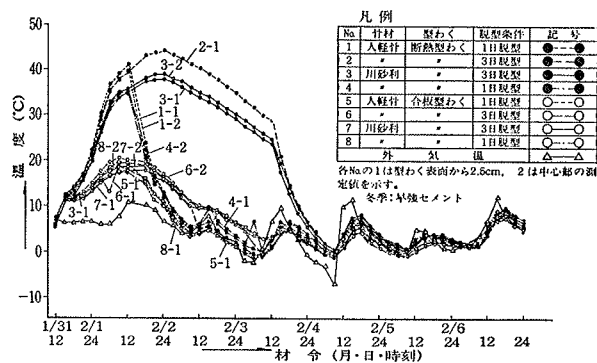


図-2 壁部材コンクリートの温度測定結果

コンクリート	種類	普通, 軽量(メサライト)
	セメント	早強ポルトランド
	W/C (%)	40, 45, 50
供試体	スランプ(cm)	18(普通), 21(軽量)
	形状	円柱(φ10×20cm), 角柱(15×15×30cm)
材令・養生	材料	合板, 合板+断熱材
	円柱供試体(W/C=40, 45, 50%) 角柱供試体(W/C=45%)	につき 20, 22, 24, 26時間 3日, 28日 室外放置 標準水中

表-5 実験計画表

れば $fi-T^{\circ}T$ 曲線には変曲点が現われることが知られており、本実験結果においても同様な変曲点が見られる。従って、ここでは以下の要領で $fi-T^{\circ}T$ 曲線を整理した。

(F/F1440)ーT°T の場合: $20\% \geq fi$ $20\% < fi \leq 50\%$,

(F/F13440)ーT°T の場合: $300 \geq T^{\circ}T$ $300 < T^{\circ}T \leq 500$.

なお、本実験結果からでは 300~500T°T 間の f_i の値が不足しているため、普通コンクリートの W/C = 45% についてのみ追加実験を行なって f_i -T°T 曲線の妥当性を確認した結果、第一回目の実験結果とほぼ一致する関係が得られ、 f_i -T°T 曲線に大幅な誤りのないことがわかった。

コンクリートの種類	水セメント比 (%)	円柱供試体						角柱供試体									
								合板型わく					断熱型わく				
		20hr	22"	24"	26"	3D	28D	20hr	22"	24"	26"	3D	20hr	22"	24"	26"	3D
普通	40	5.8	9.1	13.6	23.0	346	485	—	—	35	—	—	—	—	181	—	—
	45	4.3	8.0	10.1	15.9	309	482	11	20	25	49	273	76	119	143	187	272
	50	3.9	4.4	7.1	10.8	272	407	—	—	23	—	—	—	—	109	—	—
軽量	40	5.5	6.0	8.8	13.4	368	509	—	—	28	—	—	—	—	139	—	—
	45	3.3	6.4	7.8	10.7	317	477	10	20	28	32	263	59	83	133	128	301
	50	2.4	3.4	5.5	7.4	269	434	—	—	18	—	—	—	—	86	—	—

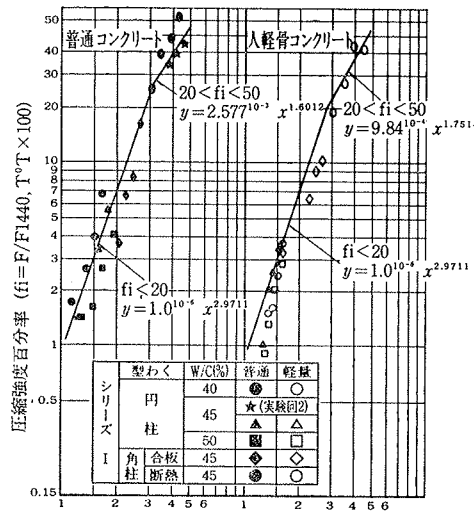
表—6 コンクリート圧縮強度試験結果 (kg/cm²)

初期強度を推定する場合、一般的には材令3日強度に対する圧縮強度百分率 f_i (F/F 1440) を用いているが、シリーズ I においては材令3日強度 (標準水中養生) を確認していないため、初期強度推定用 f_i -T°T 曲線として、材令4週強度 (標準水中養生) の値を用いた f_i (F/F 13440)-T°T 曲線に主眼をおいて作成した。

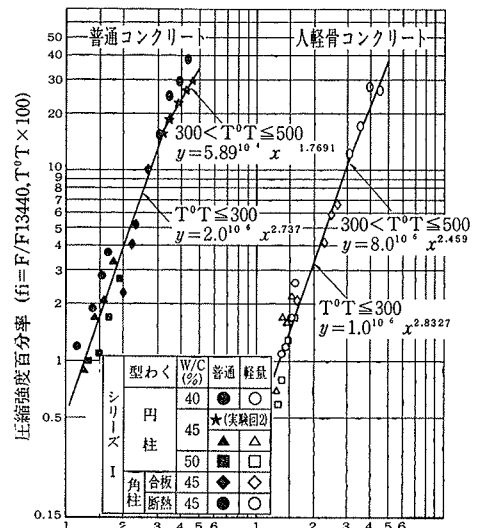
3.2.2. 壁部材コンクリート強度の推定

壁部材コンクリートの初期強度を推定する場合、壁部材と比較的溫度履歴の類似している角柱供試体の強度によって、壁部材の強度を推定し得るものと予想していたが、本実験結果によれば、合板型わく使用の壁部材コンクリート溫度に比べて角柱の溫度が材令24時間までの平均溫度で約3°C (約40 T°T) 低いことが分かり、強度も壁部材より低目に推定される恐れのあることが明らかとなった。一方、断熱型わくを用いた場合は合板型わくのものよりさらにその差は大きくなり、T°T方式を採用しないかぎり角柱強度から直ちに壁部材コンクリート強度を推定することは困難であることが分かった。そこで、ここでは円柱供試体強度および積算溫度から作成した f_i (F/F 13440)-T°T 曲線の関係式を用いて強度推定を行なうこととした。

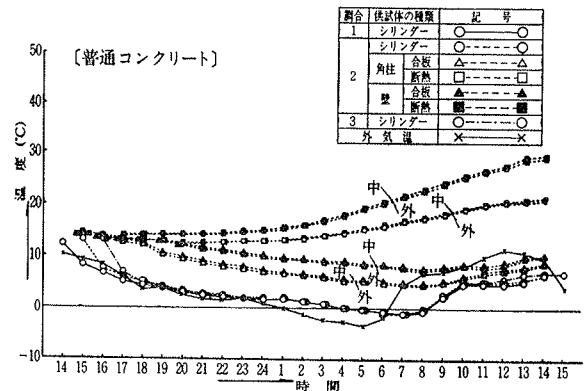
関係式は、笠井博士の提案されている次式による。
 $f_i = a(T°T)^n$
 ここに $f_i = 13440T°T$ の圧縮強度 (20°C 標水, 材令4週強度) に対する圧縮強度百分率 (%)
 $T°T =$ 加水後の経過時間と養生溫度の積
 $°T = °(\bar{t} + \alpha)$: 仮想養生溫度, $\alpha = |\bar{t} - 20|/m$
 m は $0 \leq \bar{t} < 20$ のとき $m=5$, $20 \leq \bar{t} < 40$ のとき $m=2$



図—3 f_i (F/F1440)-T°T 曲線



図—4 f_i (F/F13440)-T°T 曲線



図—5 各種供試体並びに外気溫度の測定結果

とする。

\bar{t} = 平均養生溫度 (°C)

a, n = 実験定数

関係式は 300T°T 以上, 以下に分けて求める。

本実験で得られたすべてのデータを用いて関係式を求めた場合には、推定強度の変動幅を大きくすることが

考えられることから、ここでは $W/C=45$ 、50%の圧縮強度から以下の関係式 ($f_i = F/F 13440T^{\circ}T$) を求めた。

また、図-6にはシリーズIの壁部材コンクリート温度測定結果から算出した $T^{\circ}T$ と材令14~26時間までの関係を示す。

コンクリート種類	$T^{\circ}T$	a	n
普通	$T^{\circ}T \leq 300$	$2.0 \cdot 10^{-6}$	2.737
	$300 < T^{\circ}T \leq 500$	$5.89 \cdot 10^{-4}$	1.7691
人軽骨	$T^{\circ}T \leq 300$	$1.0 \cdot 10^{-6}$	2.8327
	$300 < T^{\circ}T \leq 500$	$8.0 \cdot 10^{-6}$	2.459

表-7 $f_i(F/F 13440) - T^{\circ}T$ の実験定数

壁部材コンクリート強度の推定は、図-6の各材令における $T^{\circ}T$ を求め、さらに図-4の $f_i(F/F 13440) - T^{\circ}T$ 曲線から f_i を求めた後、円柱供試体材令4週強度を用いて初期強度を推定した。

これらの推定法に基づいて推定したシリーズIにおける壁部材コンクリートの初期強度を表-8に示す。この表から、壁部材として脱型時に必要とされている 50 kg/cm^2 を満足する材令は、合板型わく使用で約22時間、断熱型わく使用で約17時間であることが分かった。

4. あとがき

本実験結果の要約と問題点を以下に述べる。

(1) 早期脱型をした場合の強度低下は、壁部材コンクリートに比べて単位体積当りの表面積が大きい円柱供試体に顕著に現われている。

(2) 壁部材コンクリートの初期強度を角柱供試体で推定する場合は、角柱供試体と壁部材コンクリートの温度履歴の相違、および形状・寸法による強度補正などの考慮を必要とし、むしろ、円柱供試体を用いた $T^{\circ}T$ 方式による強度推定の方がより簡便であるように思われる。

(3) 円柱供試体を用いて初期強度を推定しようとする場合は、初期強度を求めようとする構造体コンクリートと同一調査における $f_i - T^{\circ}T$ 曲線を予め作成しておき、構造体コンクリートの $T^{\circ}T$ および $f_i - T^{\circ}T$ 曲線から初期強度を推定することができる。なお、初期強度推定に用いる f_i は、 $f_i - T^{\circ}T$ 曲線が短期間で作成できる材令3日強度に対する圧縮強度百分率 ($F/F 1440$) を用いた方が簡便であろう。

(4) 本推定法の基本的な考え方は、JASS 5「コンクリートの調査設計・調査管理・品質検査指針案・同解説」に基づくものであるが、本実験で得られた $f_i - T^{\circ}T$ 曲線は JASS 5に記載されているものと若干異なる傾向にあ

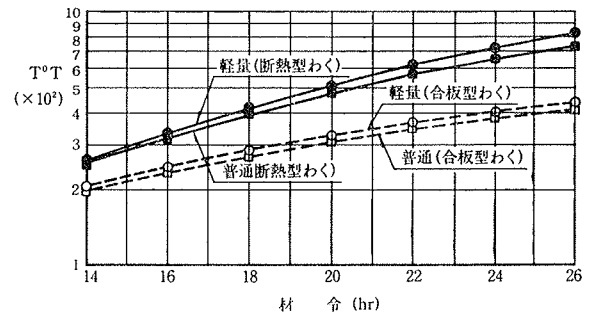


図-6 シリーズIにおける壁部材コンクリートの $T^{\circ}T$ と材令の関係

型わく	材令 (hr)				
	16	18	20	22	
合板	普通	—	30(260)	46(300)	68(340)
	軽量	—	28(280)	40(320)	56(360)
断熱	普通	49(310)	84(390)	114(480)	—
	軽量	43(330)	73(410)	99(500)	—

注) 1) ()内の数値は壁部材コンクリート温度から算出した $T^{\circ}T$ を示す。
 2) $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 供試体材令4週強度(標準水中養生) = 普通: 380 kg/cm^2
 軽量: 330 kg/cm^2 。
 3) 材令24時間の平均外気温度: 7°C 。 4) 壁厚: 15 cm 。

表-8 関係式による壁部材コンクリートの推定初期強度 (kg/cm^2)

り、この推定法を用いる場合は $f_i - T^{\circ}T$ 曲線を予め確認する必要がある。

なお、本実験は、大林組 SCCS 研究グループ(高橋久雄、久保田昌吾、中根淳、永井康淑、長尾覚博、川口徹、大池武)のうち、久保田昌吾、中根淳、永井康淑が担当した。

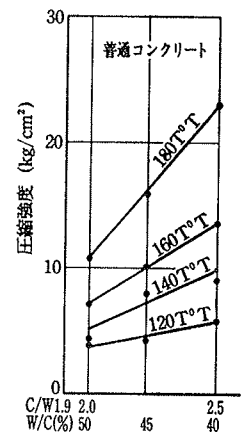


図-7 σ_w / σ_{28} と圧縮強度の関係

参考文献

- 笠井: コンクリートの初期圧縮強度推定方法, 日本建築学会論文報告集, 第141号, (昭和42. 11), pp. 1~10
- 笠井, 他: コンクリートの初期強度に関する研究, セメント技術年報, XVII, (昭和38), pp. 321~326
- 笠井, 他: コンクリートの初期強度に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 号外, (昭和40. 9), p. 45
- 日本建築学会: コンクリートの調査設計・調査管理・品質検査指針案・同解説

(文責 久保田昌吾)