

# [50] 極く初期コンクリートの強度・変形性状

正会員 岡本 寛昭 (舞鶴工業高等専門学校)

## 1. まえがき

スライディングフォーム工法は、現在、サイロ、タワー、ハイピア等の建設工法として、採用実績が多く、また、将来、打継ぎ目ができない特徴を活かして、海洋構造物への適用も考えられる。本工法は、型枠内にコンクリートを逐次打設しながら、その型枠を滑動させて、早期脱型を行い、連続的に構造物を施工するものであるが、その場合、型枠の滑動速度は、逐次打設されたコンクリートの硬化状態によって決定される。滑動速度が速いと、脱型した部分のコンクリートの硬化が不十分で、自重に耐えられず、崩壊する危険があり、逆に、滑動速度が遅いと、硬化が進行し、強度面では十分であっても、型枠とコンクリートとの付着力が増大して、コンクリートの破面が破壊されたり、下方のコンクリートから切れたりする恐れがある。また、脱型直後のコンクリートの変形は、構造物の出来上がり寸法の精度を左右し、重要な特性であり、許容差の範囲内で、十分小さくすることが望ましいといえる。

以上のとおり、スライディングフォーム工法においては、打設直後から、打設数時間後までの、極く初期コンクリートの強度および変形は、その施工性を支配する極めて重要な性質であるが、現在までに、充分な解明が得られていないと考えられる。このような観点から、本研究は、前報<sup>1)</sup>に引き続き、スライディングフォーム工法の施工の合理化をはかるため、極く初期コンクリートの強度・変形性状について、(1)強度～材令関係の推定式の提案およびその適合性、(2)コンクリートの配合(水セメント比、単位水量)、養生温度、経時変化等がおよぼす影響、を検討し、若干の考察を加えたものである。

## 2. 極く初期コンクリートの強度推定式

極く初期におけるコンクリートの強度は、粉粒体特性、セメントの水和反応過程、養生環境等が複雑に影響し合っており、定まると考えられ、強度～材令関係の推定式としては、現在までに、笠井の提案式<sup>2)</sup>があるのみで、研究成果は少ない。本研究は、極く初期コンクリートの強度～材令関係について、以下のような考えに基づき、その推定式を提案する。

図1を参照して、強度発現速度  $\frac{dO_c}{dt}$  は次の基礎式が考えられる。

$$\frac{dO_c}{dt} = KO_c \quad (1)$$

ここで、 $O_c$  : 極く初期コンクリートの強度、 $t$  : 材令、 $K$  : セメントの水和反応過程や養生環境によって支配される定数、

(1) 式を解くと、

$$O_c = c \cdot e^{kt} \quad (2)$$

ここで、 $c$  : 積分定数

(2) 式において、初期条件、 $t=0 : O_c = O_0$  とおくと、次式を得る。

$$O_c = O_0 \cdot e^{kt} \quad (3)$$

ここで、 $O_0$  : コンクリートの打設直後の強度、すなわち、粉粒体としての強度。  $O_0 \geq 0$

極く初期コンクリートの強度～材令関係の推定式は、(3)式に示すような指数関数によって、表わされ、これは、コンクリートの粉粒体特性を示すパラメータ  $O_0$  と、セメントの水和反応過程と養生環境を示すパラメータ  $K$  を定めれば、求めることができると考えられる。

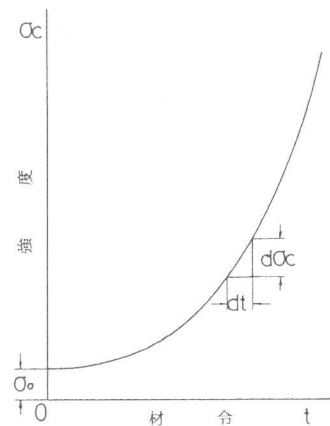


図-1 初期強度～材令関係

### 3. 実験方法

圧縮載荷試験装置は、図2に示すとおりで、載荷速度は毎分0.5%ひずみで、荷重と軸方向変位の関係をX-Yレコーダーに自記させた。荷重容量を越すと思われる供試体は、100t万能試験機を用いた。コンクリートの配合は、表1に示すとおりである。供試体は $\phi 10 \times 20$ cmで、打設後、直ちに、20℃恒温室に試験材令時間まで静置した。養生温度70℃の供試体については、打設後、直ちに、70℃一定に保った乾燥器の中へ、試験材令15分前まで、置き、7時間経過後は乾燥器より取り出し、それ以降は恒温室で気中養生とした。試験材令および養生条件は、表2に示すとおりである。各実験シリーズとも3回測定を行った。測定項目は、圧縮強度と荷重～軸方向変位曲線である。

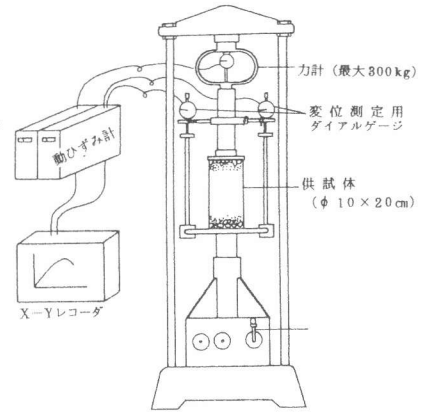


図-2 載荷試験装置

使用材料は、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂(表乾比重2.55、吸水率2.32%)、粗骨材は碎石(2005、表乾比重2.62)である。

表-1 コンクリートの配合

配合名	目標スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
				W	C	s	G
50WP	10	50	44	200	400	745	972
50DP	4			185	370	773	1009
40WP	10	40		200	500	708	926
40DP	4			185	463	739	966

表-2 実験条件

配合名	打設後7時間までの初期養生温度	強度試験材令 (hr. 又は day)	備考
50WP	20℃	2. 3. 4. 5. 6. 7. 24 <sup>hr</sup>	初期養生終了後は恒温室(20℃)で
	70℃	28 day	
50DP	20℃	2. 3. 4. 5. 6. 7. 24 <sup>hr</sup>	気中養生した。
40WP			
40DP			

### 4. 実験結果および考察

#### 4-1. 強度性状

圧縮強度の実験結果は、図3に示すとおりである。養生温度20℃における強度は、一般に、材令4～5時間で、急激に増進する傾向を示し、コンクリートの凝結硬化による強度発現状態が、明確に現われている。水セメント比が小さい程、単位水量が少いもの程、強度は大きくなっている。24時間強度においては、単位水量の多少は影響をおよぼさない結果を示した。

養生温度70℃にすると、材令3時間で、著しい増伸を示して、材令5時間における強度は、養生温度20℃に比べて、約100倍の強度となり、24時間強度においては、2.6倍となった。28日強度においては、逆に、0.86倍となり、若干の強度低下を示した。しかし、養生温度の上昇は、極く初期コンクリートの強度増進に極めて大きな効果を発揮することが示された。

次に、提案した強度推定式(3)の適合性について検討する。材令2～7時間の範囲における実験値を用いて計算した結果は、表3に示すとおりで、また、これを用いて、図3にその曲線を描いた。これから、提案式は実験値とよく合っており、適合性がよいと判断される。推定式のパラメータ $O_0$ および $K$ とコンクリートの配合との関係は、図4に示すとおりである。単位水量が多くなる程、 $O_0$ は小さく、 $K$ は逆に大きくなり、また、水セメント比が小さい程、 $O_0$ および $K$ ともに大きくなる傾向を示した。このことから、 $O_0$ は粉粒体特性のうち、粗骨材量に、主に支配され、 $K$ はセメントペースト量およびその濃度に依存するパラメータであると推論される。

#### 4-2. 変形性状

荷重～軸方向変位関係の実験結果の一例は、図5に示すとおりである。時間経過とともに、徐々に、脆性化が進行しているが、材令4時間以下では、塑性および粘性変形が大部分を占めると考えられる。

ヤング率 $E$ は、次式によって算出した。

表-3 パラメータ $\sigma_0$ 、 $K$ の計算結果

配合名	初期養生温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\sigma_c = \sigma_0 \cdot e^{kt}$	
		$\sigma_0$ (kg/cm $^2$ )	$K$ (1/hr)
50WP	20	0.023	0.682
50DP		0.049	0.607
40WP		0.030	0.718
40DP		0.086	0.620
50WP	70	0.292	0.947

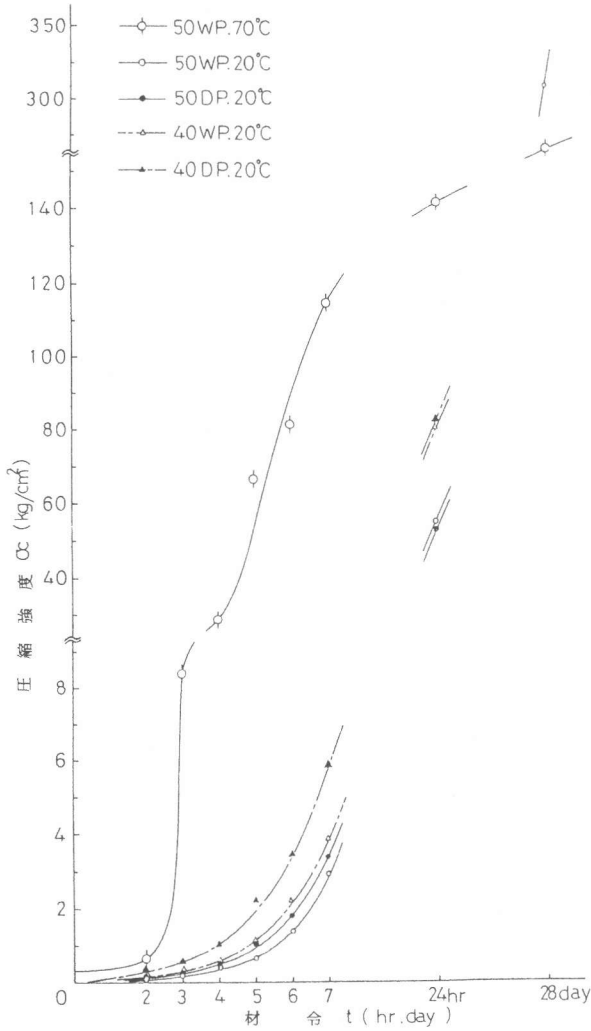


図-3 強度～材令実験結果

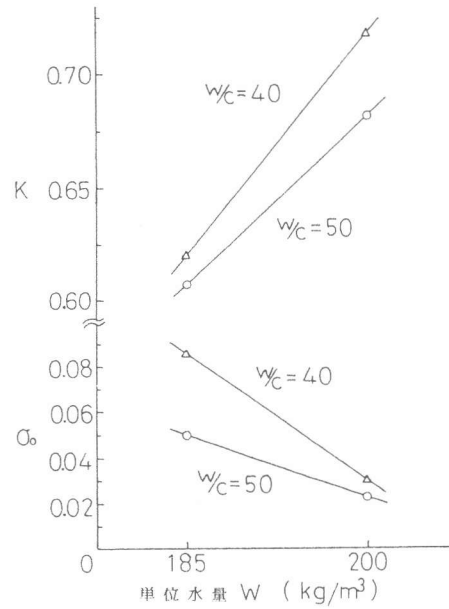


図-4  $\sigma_0$ 、 $K$ とコンクリートの配合

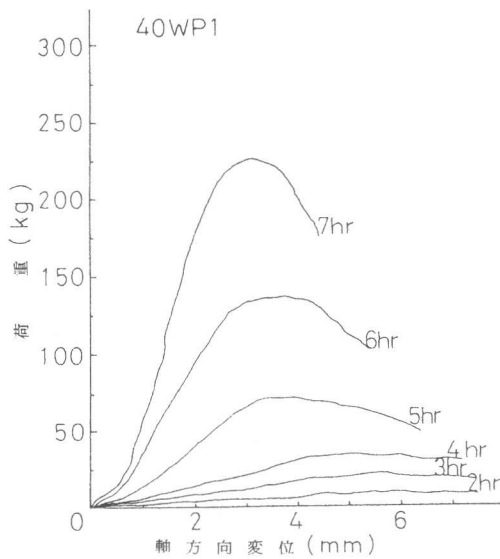


図-5 荷重～軸方向変位の実験結果

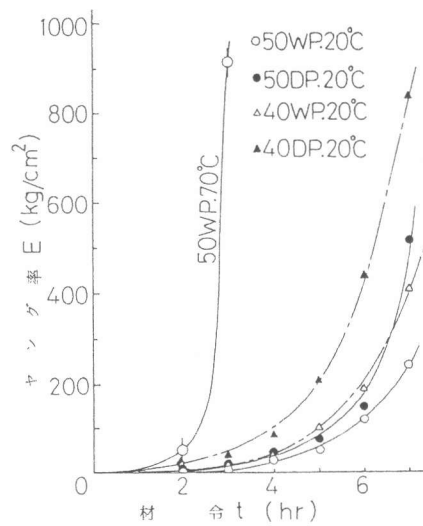


図-6 極く初期材令におけるヤング率

$$E = \frac{0.7\sigma_c - 0.3\sigma_c}{\epsilon_{0.7} - \epsilon_{0.3}} \quad (4)$$

ここで、 $\epsilon_{0.7}$  : 0.7 $\sigma_c$ に対応する軸方向ひずみ、 $\epsilon_{0.3}$  : 0.3 $\sigma_c$ に対応する軸方向ひずみ。

この方法によって、求めたヤング率と材令の関係は、図6に示すとおりである。水セメント比が小さい程、単位水量が少い程、ヤング率は大きくなる傾向を示し、強度性状と同様の結果が得られた。極く初期の高温養生は、固体弾性化を著しく速める効果があった。

ヤング率と強度の関係は、図7に示すとおりであるが、非常によい相関があると認められる。

極く初期コンクリートの横方向変形は、構造物の施工寸法の精度を支配し、重要であるが、本研究では計測不能であった。これは、体積変化を伴う「ダイレイタンス成分」があると考えられ、単に、固体弾性としてのポアソン比による取り扱いは不適当であると思われる。しかし、実際の構造物は、鉄筋が配置されており、鉄筋による変形拘束効果が働き、横方向変形は相当小さくなると考えられる。

#### 5. まとめ

本研究の範囲内で次のことがいえる。

- (1)、提案した極く初期コンクリートの強度推定式は、比較的よい適合性があると認められる。
- (2)、極く初期における高温養生は、初期材令強度およびヤング率を極めて増進化させる効果があった。このことをスライディングフォーム工法に活用すれば、長期強度を損わない範囲で、滑動型枠に加熱手段を用いて、内部の極く初期コンクリートの養生温度を上げることにより、強度特性が改善され、滑動速度を速く出来、施工の合理化がなされると考えられる。今後、高温時の型枠とコンクリートの付着性状について検討を要する。

#### 謝辞

本研究は東京都立大学 村田 二郎教授の御指導のもとで行ったものであり、実験には、本校卒業生、井上邦彦、森 睦尚両君の協力を得た。深甚なる謝意を表する。本研究費の一部は、昭和56年度科研費奨励研究(A)によったことを付記して、感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 岡本寛昭：スライディングフォーム工法に用いるコンクリートのレオロジー特性に関する研究、土木学会第36回年次学術講演概要集、V-180、1981
- 2) 笠井芳夫：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、pp 1-9、1967

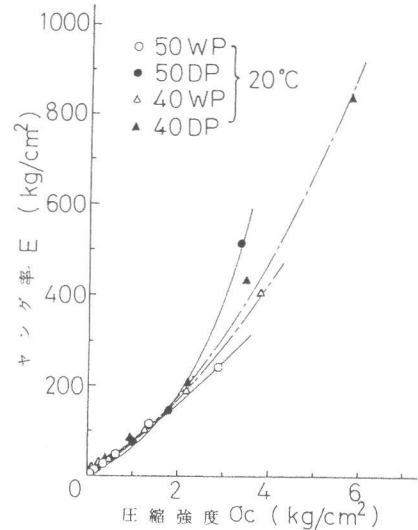


図-7 圧縮強度とヤング率