

[14] スライディングフォーム工法におけるスリップ停止時の縁切り方法について

正会員 竹下治之（日本国土開発技術研究所）

正会員 ○岡田隆幸（日本国土開発技術研究所）

玉井章友（日本国土開発技術研究所）

三浦 篤（日本国土開発技術研究所）

1. まえがき

スライディングフォーム工法は、サイロや煙突等の塔状構造物の施工にあたり、工期の短縮、コストの削減等に有力な施工法である。この施工法では、24時間連続してコンクリートの打設と型枠の移動が繰り返し行なわれるのが普通である。しかし、周辺の問題や生コン供給体制、あるいはトラブルの発生等により、24時間連続して滑動できない場合が生じる。

このような場合、型枠の移動を長時間停止すると、コンクリートの凝結硬化により、再滑動時にコンクリートと型枠の間に大きなスライド抵抗が発生し、型枠が移動できなかつたり、あるいはコンクリートと型枠と一緒に移動し、コンクリートにひびわれが発生することがある。

本研究は、スライディングフォーム工法において、型枠停止後、これをスライドする場合のスライド抵抗の検討と、このような場合のスライド抵抗を減少させる縁切り方法について、実験的に検討を行なったものである。

2. 実験概要

2.1 実験方法

実験は、型枠が停止した場合のスライド抵抗の検討（シリーズⅠ）と縁切り方法の検討（シリーズⅡ）について行なった。

シリーズⅠでは、スライド抵抗と圧縮強度、および積算温度の関係を求めた。スライド抵抗と圧縮強度の関係を調べるため、図-1に示す試験装置によるスライド板のスライド抵抗試験と、圧縮強度試験を同時に行なった。圧縮強度と積算温度の関係については、10、20、30℃の3ケースの温度で、85% R日恒温恒湿室にて供試体を養生して試験を行なった。なお、圧縮強度試験は、すべて100φ×200mmの円柱供試体により行なった。

シリーズⅡでは、縁切り方法を検討するため、シリーズⅠと同じ試験装置（図-1参照）により、表-1に示すように、それぞれスライド時間間隔、スライド量およびスライド継続時間を変えた9ケースについて、スライド抵抗試験を行なった。これらの試験では、表-1に示す所定の縁切り作業を行なった後、コンクリート打設後24時間後に再度スライド抵抗試験を行ない、縁切り効果を検討した。なお、試験は、約20℃の室内で行なった。

スライド抵抗試験においては、図-1に示すように、型枠とスライド板の間にグリースを塗布し、両者間の摩擦を低減させるとともに、漏水を防止した。なお、本文では、スライド抵抗を次のように定義する。

$$\text{スライド抵抗} = \frac{\text{検出される荷重}}{\text{スライド鉄板とコンクリートの接触面積}}$$

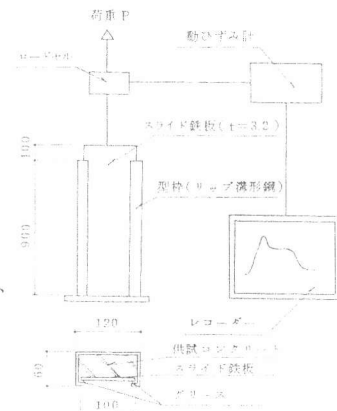


図-1 スライド抵抗試験装置
(シリーズⅠ, Ⅱ)

表-1 試験ケース (シリーズⅡ)

供試体No.	スライド時間間隔	スライド量(回)	スライド継続時間
No.1	2.0min	2.5mm	4hour
No.2	4.0min	5.0mm	4hour
No.3	6.0min	7.5mm	4hour
No.4	2.0min	1.5mm	7hour
No.5	4.0min	3.0mm	7hour
No.6	6.0min	4.5mm	7hour
No.7	2.0min	1.0mm	9hour
No.8	4.0min	2.0mm	9hour
No.9	6.0min	3.0mm	9hour

2.2 材料および配合

使用材料は、シリーズ I, II ともに下記のものを使用した。

セメント : 普通ポルトランドセメント

細骨材 : 鹿島産川砂 (比重 2.60, FM 2.67)

粗骨材 : 鹿島産川砂利 (最大寸法 25mm, 比重 2.59, FM 6.54)

混和剤 : AE減水剤

表-2 配合

配合は、各シリーズとも表-2 に示すものを用いた。

配合 No.	設計強度 (kgf/cm ²)	SI cm	Asf (%)	S ₀ (%)	W/C ⁽¹⁾ (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	使用セメント
A	Fc 25.6	100	3.1	6.3	14.6	145	225	203	1137	配合 I
B	Fc 38.6	100	3.1	10.4	14.6	146	206	257	1114	配合 II

3. 実験結果および考察

3.1 シリーズ I

本シリーズにおけるスライド抵抗と圧縮強度の関係を図-2 に示す。図から、スライド抵抗と圧縮強度の間には、配合による差はほとんどなく、両者の間にはほぼ比例関係があることが分かる。

この結果を、最小二乗法により定式化すると、次式ようになる。

$$Fs = 0.1673 \cdot Fc - 0.0112 \quad \dots (1)$$

ここに、Fs : スライド抵抗 (kgf/cm²)

Fc : 圧縮強度 (kgf/cm²)

また、同時に行なった圧縮強度試験結果による供試コンクリートの圧縮強度と積算温度の関係を図-3 に示す。積算温度の算定は、笠井氏の式を用いた。図より、積算温度が約 200T²T 以下の若材令時においては、配合による差はほとんどないが、強度が約 10 kgf/cm² を超えると配合による相違が現われているのが分かる。これらを配合別に、信頼区間で曲線に結んだものが図中の実線である。

これらの試験結果を以下に示す笠井氏の初期硬化強度推定式を用いて近似すると、表-3 および図-4 の折線のようなものである。

$$Fc = 0.01 \cdot a \cdot (T^2 T)^n \cdot F_{1440} \quad \dots (2)$$

ここに、Fc : 圧縮強度 (kgf/cm²)

T : 加水後の経過時間 (h)

T : 仮想養生温度 (°C)

a, n : 実験定数

F₁₄₄₀ : 1440 T²T (20°C 養生, 材令 3 日に相当) における
圧縮強度 (kgf/cm²)

上式における F₁₄₄₀ は、実験結果から配合 A では、130 kgf/cm² とし、配合 B では、185 kgf/cm² とした。

図-4 では、圧縮強度と積算温度 (T²T) の関係を 5 段階に分けて近似しているが、これらの推定式は、実験結果と比較的よく一致している。

以上、シリーズ I の実験結果をまとめると、次のようになる。

(1) スライド抵抗と圧縮強度の関係は、一般的に次のように示される。

$$Fs = A \cdot Fc + B$$

ここに、A, B は定数であり、今回の実験結果では、A = 0.1673,

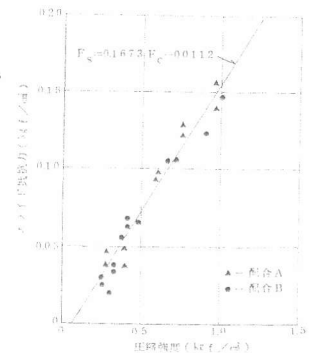


図-2 型枠停止時におけるスライド抵抗

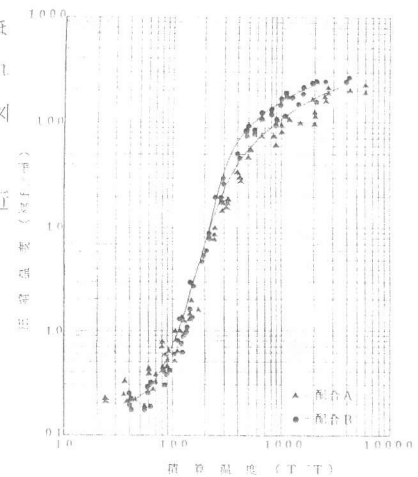


図-3 圧縮強度と積算温度の関係

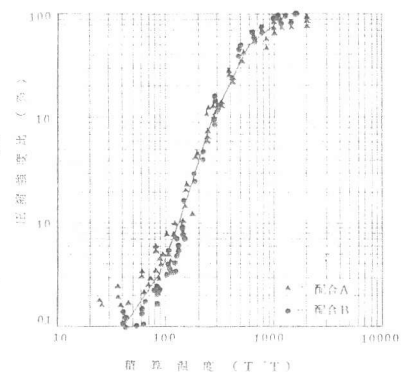


図-4 圧縮強度比と積算温度の関係

B = -0.0112 となった。

(2) 圧縮強度と積算温度の関係は、笠井氏の初期硬化強度推定式で近似することができる。(2)式参照)

(3) 従って、(1), (2)から、スライド抵抗力和積算温度の間には、次式の関係が成立する。

$$F_s = A \cdot [0.01 \cdot a \cdot (T \cdot T)^n \cdot F_{1440}] + B \quad \dots (4)$$

上式に今回の(1)式および表-3の実験結果を代入して、平均温度ごとにスライド抵抗力の経時変化を求めると、図-5および図-6のようである。型枠が停止した場合のスライド抵抗は、材料および配合などにより異なると考えられるが、両図の値は、一応の目安になるものと考えられる。

3.2 シリーズII

本シリーズにおける打設終了時からの各経過時間での、スライド抵抗試験の典型的な観測波形を図-7に、同図の波形のうちのピーク値をとり整理したものを、図-8, 9, 10, に示す。

図-8, 9, 10から、打設後1~3時間では、スライド抵抗力は約0.07 kg f/cm²から約0.015 kg f/cm²まで減少している。その時の観測波形は図-7, (1)のようにピークはあるものの、ピーク後の波形はなだらかに変化している。また、スライド抵抗力の最小値は各ケースともに、約3時間前後で現われている。一方、打設後4~10時間では、一度低下したスライド抵抗力は、7~9時間後に0.10 kg f/cm²程度に増大しており、その時の観測波形は、図-7, (2)のようにピークがなく、ほぼ一定のスライド抵抗力が発生している。縁切り作業を終了した後の打設24時間後のスライド抵抗試験では、観測波形は図-7, (3)のように、はっきりしたピークをもち、その後は急激にスライド抵抗力が減少し、型枠とコンクリートとが完全に縁が切れたことが分かる。また、この24時間後のスライド抵抗力は、それぞれ、図-8, 9, 10に示すように、スライドを4時間で停止したものは約1.50 kg f/cm²(図-8参照)、7時間で停止したものは0.25~0.35 kg f/cm²程度(図-9参照)、9時間で停止したものは0.15~0.25 kg f/cm²程度(図-10参照)となっている。

図-8, 9, 10を比較すると、断続的にスライドしている間のスライド抵抗力は、スライド時間間隔、1回のスライド量にほとんど関係なく、ほぼ同一の値となることが分かる。また、スライドを7時間で停止したものと9時間で停止したものととの24時間後のスライド抵抗力の差は、約0.10 kg f/cm²とわずかであるのに対し、スライドを4時間で停止したものと、7時間および9時間で停止したものととの24時間後のスライド抵抗力の差は、1.20~1.30 kg f/cm²と大きくなっている。そして、この24時間後のスライド抵抗力は、スライドを4時間で停止したものは、7時間および9時間で停止したものに比較して、5~7倍程度大きくなっている。この相違は、コンクリート表面の未硬化のペースト分が型枠に付着し、これが硬化したものと考えられる。

表-3 圧縮強度近似推定式

積算温度 (T)	圧縮強度 (F _c)	近似推定式 (5)
4.0 < T < 8.5	F _c / F ₁₄₄₀ = 4.632 × 10 ⁻³ (T / T ₁₄₄₀) ^{1.557}	
8.5 < T < 13.5	F _c / F ₁₄₄₀ = 2.863 × 10 ⁻³ (T / T ₁₄₄₀) ^{1.592}	
13.5 < T < 26.5	F _c / F ₁₄₄₀ = 5.334 × 10 ⁻³ (T / T ₁₄₄₀) ^{1.553}	
26.5 < T < 60.0	F _c / F ₁₄₄₀ = 1.693 × 10 ⁻³ (T / T ₁₄₄₀) ^{1.965}	
60.0 < T < 144.0	F _c / F ₁₄₄₀ = 3.133 × 10 ⁻³ (T / T ₁₄₄₀) ^{1.757}	

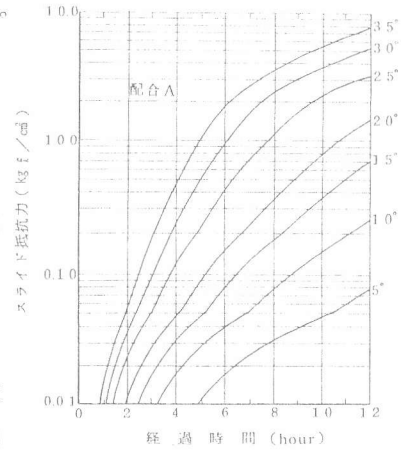


図-5 平均温度の違いによるスライド抵抗力の経時変化

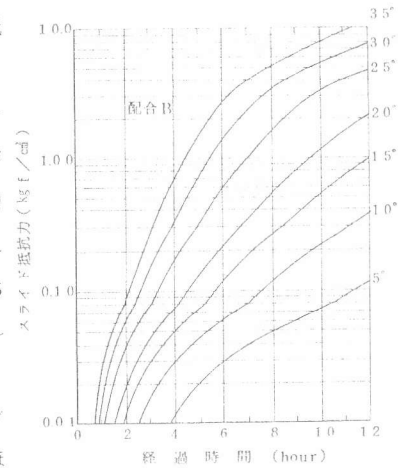


図-6 平均温度の違いによるスライド抵抗力の経時変化

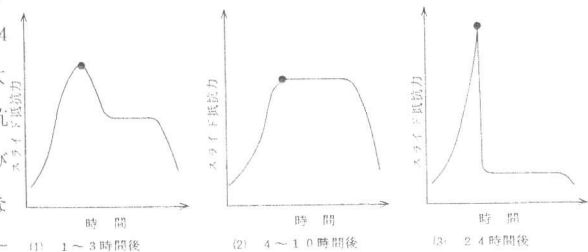


図-7 各経過時間後におけるスライド抵抗力の典型的な観測波形

養生温度を20℃と仮定して、各供試体のスライド停止時の積算温度と圧縮強度を推定すると、下記のようなである。

4時間 : 80T°T, 0.5 kg f / cm²

7時間 : 140T°T, 1.5 kg f / cm²

9時間 : 180T°T, 2.5 kg f / cm²

このような結果より、型枠を一旦停止後、再滑動させる場合のスライド抵抗を減少させる縁切り方法としては、スライド量は少なくとも、30~60分間隔で比較的長時間、約20℃の常温では、少なくとも6~7時間程度断続的にスライドさせる必要があると考えられる。また、それ以上に縁切り作業を必要としない時期の目安としては、コンクリート強度で1.0~2.0 kg f / cm²程度、積算温度で120~200T°T程度と考えられる。

4. まとめ

スライディングフォーム工法におけるスリップ停止時のスライド抵抗、およびこのスライド抵抗を減少させる方法について、次の2シリーズの実験的検討を行なった。シリーズIでは、スライド抵抗と圧縮強度、および積算温度の関係について、シリーズIIでは、スライド時間間隔、スライド量およびスライド継続時間を変化させ、スライド抵抗の減少方法について検討を行なった。その結果、下記のことになった。

(1) スライド抵抗と圧縮強度、および積算温度の間には、ある一義的な関係があり、それぞれ、一般的に(2)、(3)および(4)式で表示することができる。なお、型枠のスライド停止を継続すると、再滑動時に大きなスライド抵抗が発生するため、適当な時期に型枠をスライドさせる必要があるが、図-5および図-6は、その時期の一応の目安になると思われる。

(2) 型枠の再滑動時のスライド抵抗を減少させる縁切り方法としては、スライド量の多少にかかわらず、約30~60分間隔で比較的長時間、断続的に型枠をスライドさせる必要がある。

(3) 縁切り作業終了の時期の目安としては、コンクリート強度で1.0~2.0 kg f / cm²程度、積算温度で120~200T°T程度で型枠を停止すればよいと考えられる。

< 参 考 文 献 >

- (1) 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 昭和42年11月

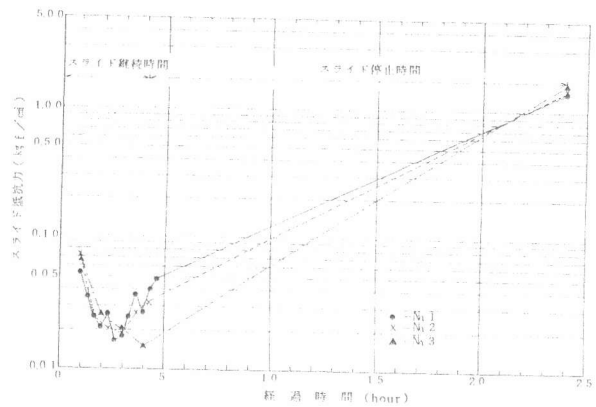


図-8 スライド抵抗力の経時変化(スライド継続時間4時間)

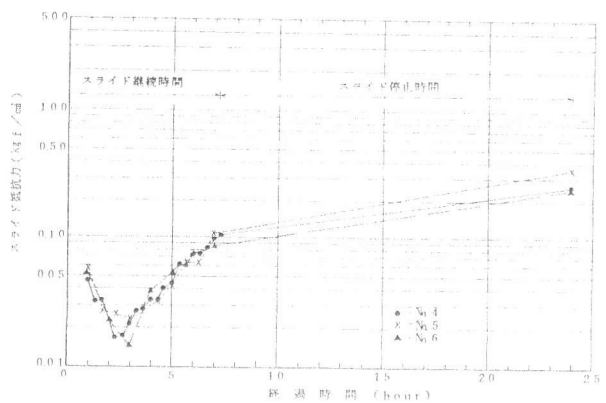


図-9 スライド抵抗力の経時変化(スライド継続時間7時間)

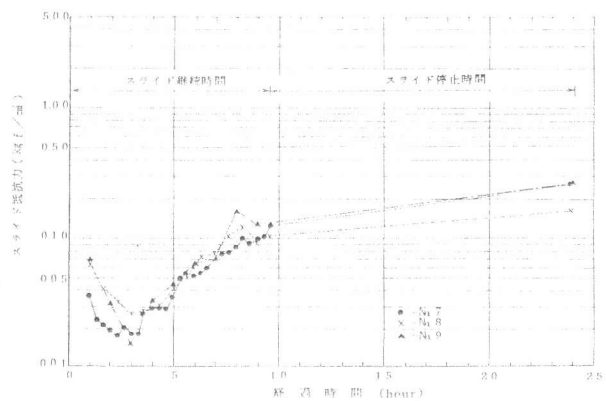


図-10 スライド抵抗力の経時変化(スライド継続時間9時間)