

離型性向上型枠「ハイパ - フォ - ム」 High Performance Sliding Formwork

奥田 章子 Akiko Okuda
川口 徹 Toru Kawaguchi
守屋 正裕 Masahiro Moriya
堀 長生 Nagao Hori

1. はじめに

型枠にコンクリ - トを連続的に打設し、コンクリ - トが完全に固まらないうちに型枠をジャッキでスライドさせて塔状構造物を施工する工法として、スリップフォ - ム工法がある。

このスリップフォ - ム工法による工事では、型枠とコンクリ - トとの離型性が低下すると、脱型したコンクリ - トの表面に欠損やひび割れを生じ、でき上がった構造物の品質が低下する。また、夜間に型枠のスライドを一時停止する際には、型枠とコンクリ - トとの縁切りの目的で空スライド作業が不可欠になり、施工手間が増える。そのため、コンクリ - トとの離型性に優れた型枠が望まれていた。

そこで、コンクリ - トと型枠との付着現象に着目し、離型性を向上する型枠を開発する目的で、多数の候補材の中から室内試験によって離型性に優れた型枠表面材を絞り込んだ¹⁾。次に、それらを用いた現場試験の結果、最も実用性が高いと判断したポリテトラフルオロエチレン（以下 PTFE と略す）を型枠表面材として、鋼製型枠表面へ接着剤で固定した離型性向上型枠「ハイパ - フォ - ム」を当社特殊工法部と共同開発した。なお、型枠表面材とは、一般的に使用される鋼製のスライド型枠の表面へ離型性向上の目的で貼付もしくはコ - ティングする材料を指す。

ここでは、新たに実施した室内試験において「ハイパ - フォ - ム」の離型性能を確認した結果及び実物件に適用した結果を紹介する。

2. 室内試験による離型性評価

2.1 室内試験の概要

各種の型枠表面材とコンクリ - トとの離型性を評価する目的で、型枠表面材とモルタルとのせん断付着力試験を実施した。型枠表面材の試験板を底板型枠として 10cm 角の立方体のモルタルを試験板中央に打設し、所定時間湿空養生後、モルタルを反力板で固定して試験板を水平に等速

度で引っ張り、モルタルが試験板から離れる際の荷重を測定した。その際の荷重をモルタル底面積で除した値をせん断付着力とした。試験の様子を Fig. 1 に示す。また、モルタルの硬化状態を確認する目的で、プロクタ - 貫入抵抗試験で経時的にモルタルの貫入抵抗値を測定した。

2.2 試験材料

(1)型枠表面材

離型性を向上する型枠表面材として、「ハイパ - フォ - ム」の PTFE を含むいくつかの材料について、その板材あるいは鋼板表面にコ - ティングもしくは貼付したものを試験板とした。試験した型枠表面材を Table 1 に示す。試験板の表面状態は、転用使用やスライドに伴って傷が付くことを想定して、#320 の耐水研磨紙で目粗しした状態と目粗しをしない未処理の状態との 2 種類とした。

(2)モルタル

試験に使用したモルタルは、普通コンクリ - トと、近年塔状構造物にその適用が増加傾向にある高流動高強度コンクリ - トを模擬した 2 種類である。Table 2 に使用したモルタルの調合をセメント重量に対する比で示す。高流動高強度モルタル（高流動高強度コンクリ - トから粗骨材を抜いたもの）は、粗骨材を抜く前と同程度の流動性が発現するように混和剤量を調節して混練した。

試験までのモルタルの養生時間は、湿空養生で材齢 24 時間とした。なお、養生時間の影響を調査するため、材齢 24 時間以内で、養生時間を変えた試験も実施した。

Table 1 試験材料一覧
List of Test Materials

記号	型枠表面材の種類	備考
PTFE	ポリテトラフルオロエチレン (PTFE)	「ハイパ - フォ - ム」
FC	四フッ化樹脂焼付コ - ティング材	コ - ティング鋼板
Fe	鋼	平板 (比較用)
SUS	ステンレス (SUS304)	ヘア - ライン仕上げ (HL) 平板
PVC	硬質塩化ビニル	平板
EP	エポキシ樹脂焼付コ - ティング材	型枠用コ - ティング鋼板
FRP	ガラス繊維補強ポリエステル (FRP)	平板

Table 2 モルタルの調合 (重量比)
Mixture of Mortar for Test

	水	普通セメント	細骨材 (砂)	高性能 AE 剤	ファイブツェル
普通型枠用	0.5	1	2	0	0
高流動高強度型枠用	0.49	1	2.115	0.014	0.431

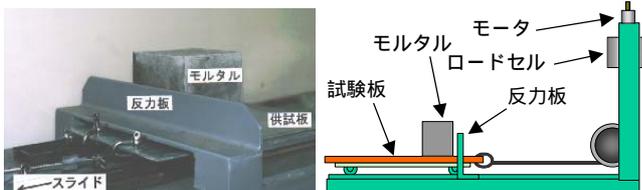


Fig. 1 せん断付着力試験の様子
Shearing Adhesion Test

2.3 試験結果

24 時間養生した 2 種類のモルタルと各種の型枠表面材との離型性をせん断付着力で比較し, Fig. 2 に示した。また, 高流動高強度モルタルと PTFE, Fe, SUS, PVC との離型性に関して, 養生時間を変えてせん断付着力試験を行い, Fig. 3 に示した。これらの結果から, 以下の点が明らかとなった。

- a) Fig. 2 より, 材齢 24 時間のモルタルとのせん断付着力は, 普通モルタル, 高流動高強度モルタルのいずれでも, 型枠表面材の種類で差が認められた。
- b) Fe, SUS の金属系材料は離型性が悪く, 目粗ししていない未処理面のコ-ティング材 FC, EP 及びプラスチック材料 PTFE, PVC, FRP の離型性が比較的良好であった。
- c) 上記のコ-ティング材 FC, EP 及びプラスチック材料 PVC, FRP は, 目粗しによって表面に傷が付くと離型性が著しく低下した。一方, 「ハイパ-フォ-ム」の PTFE は, 表面に傷を付けても目粗し無しの未処理面と変わらず, 目粗しした型枠表面材の中で最も離型性に優れた。
- d) 材齢 24 時間までの高流動高強度モルタルとのせん断付着力は, モルタルの凝結開始時間 (貫入抵抗値が 3.5N/mm²) を越えた材齢 6 時間から型枠表面材の種類による差が認められはじめ, 材齢 9 時間以降では, その差が拡大した。つまり, モルタルの凝結反応が進行してセメント硬化体強度が高くなるにつれて, せん断付着力も上昇傾向を示し, 離型性が低下した。

2.4 室内試験のまとめ

FC, EP, PVC, FRP の型枠表面材では, 目粗し無しの未処理面で普通モルタル及び高流動高強度モルタルとの離型性に優れた。ただし, 目粗し後のせん断付着力試験結果から, 繰り返し使用やスライド中の擦傷によって, 著しく離型性が低下することが示唆された。一方, PTFE を使用した「ハイパ-フォ-ム」は, 表面の目粗しの有無に関係無く, 普通モルタル及び高流動高強度モルタルとのせん断付着力が非常に小さく, 鋼 (Fe) と比較して著しく離型性に優れた。これらのことから, 「ハイパ-フォ-ム」は, 転用して繰り返し使用しても, その優れた離型性を発揮し続けると判断され, 実用化に向けて技術的な裏付けを得た。

3. 実物件への適用事例

3.1 物件概要

「ハイパ-フォ-ム」を適用した工物件を Table 3 に示す。このうち, 最初に適用した事例 A の 200m 級某煙突工事, 及び最新の適用物件である事例 D の高さ約 48m 外径約 62m の某石炭サイロ工事での使用結果を報告する。

Table 4 に両工事での適用状況を示す。いずれの工事も,

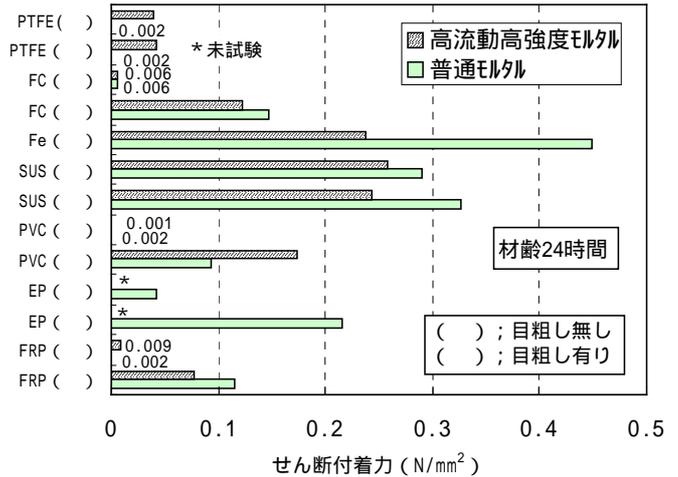


Fig. 2 各種型枠表面材とモルタルとのせん断付着力
Shear Adhesion Force of Mortar to Surface Materials of Formwork

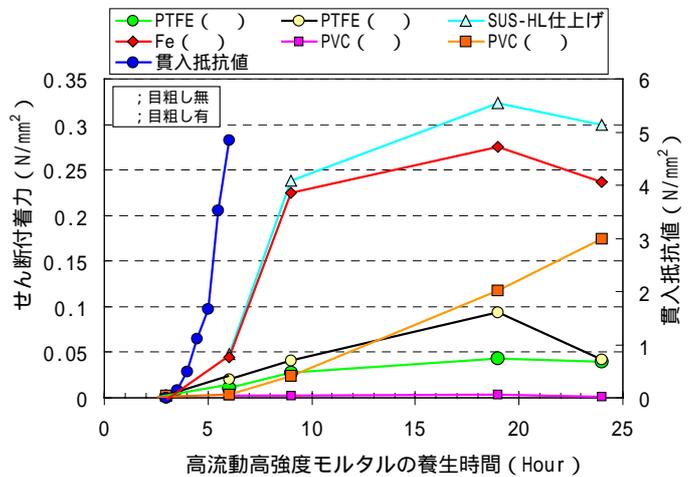


Fig. 3 若材令モルタルとのせん断付着力
Shear Adhesion Force of Mortar curing under 24 hour

Table 3 適用物件
Construction work used
"High Performance Formwork"

適用物件事例	工事概要
A	200m級煙突工事
B	200m級煙突工事
C	100m級煙突工事
D	サイロ工事 (40m × 3基)

Table 4 「ハイパ-フォ-ム」の適用状況
Application of "High Performance Formwork"

	事例 A ; 煙突工事	事例 D ; サイロ工事
適用工法	スリップフォ-ム工法	スリップアップ工法
スライド高さ	200m	40m
型枠枚数	700枚	600枚 (200枚 × 3基)
適用部位	外周、内周の全面	外周のみ
表面材サイズ	300 × 1200mm	300 × 1500mm
空スライド	高さ107mまで無し 108 ~ 200mで夜間実施	夜間、全面実施

夜間にコンクリ-トは打設していない。なお、Table 4 に示すスリップアップ工法とは、あらかじめ地上で組み上げた鉄骨屋根部分をジャッキで持ち上げるリフトアップ工法とスリップフォ-ム工法を組み合わせた当社開発の工法である。某石炭サイロ工事の様子を Photo 1 に示す。

3.2 適用結果

以下に紹介する物件では、「ハイパ-フォ-ム」の性能を確認する目的で、使用した型枠の抜き取り試験を行って、裏付けデータを取った。

3.2.1 某煙突工事

(1) 離型性の評価

「ハイパ-フォ-ム」の工事中の現場調査、及び工事関係者への離型性に関する聞き取り調査を行ったところ、以下の点が明らかとなった。

a) 構造物高さが 107m に達するまで、夜間に工事を一時停止する際にコンクリ-トと型枠との縁切りの目的で実施する空スライドを省略し、型枠のスライドを止めた状態で一晩保持しても、翌朝スムーズに脱型（ジャッキアップ）が可能であった。「ハイパ-フォ-ム」の優れた離型性が確認できた。

b) 工事中、脱型後に露出するコンクリ-トの表面には、欠損やひび割れが生じることなく、平滑であった。

c) 工事終了間際、コンクリ-ト打設天端面よりも上に露出する型枠表面にモルタル分の付着が認められた。ただし、それらの付着物は、比較的簡単に除去することができた。鋼製型枠の場合には、モルタル付着物がこびりつき、ケレンが非常に困難であることと比較すると、その改善効果は大きい。

(2) 型枠表面材の下部鋼製型枠との接着力の評価

1) 試験概要と供試型枠

「ハイパ-フォ-ム」の PTFE 表面材は、接着剤で下部鋼製型枠へ固定している。そこで、スライド高さに伴う型

枠表面材の下部鋼製型枠への接着耐久性を評価する目的で、スライドした高さ（使用延べ長さ）の異なる使用済みの「ハイパ-フォ-ム」について、下部鋼製型枠と型枠表面材の接着力を引き剥がし試験で評価した。試験したスライド高さの異なる「ハイパ-フォ-ム」を Table 5 に示す。なお、プランク値として、未使用の新品についても試験した。

2) 試験方法

型枠表面材に幅 20mm 長さ 50mm の切り込みを入れ、2 秒間で鉛直上方向へ引き剥がし、引き剥がすのに要する最大荷重を測定して、引き剥がし接着力とした。

3) 試験結果

ケレン作業が可能なコンクリ-ト天端面から上に露出する部分（上部）、コンクリ-トに常に埋設する型枠中央部（中部）及び下部の 3 領域について、一領域につき 8 点ずつ、1 体で合計 24 点試験した。各型枠の表面材の引き剥がし接着力試験結果を Fig. 4 に示す。なお、図中には、領域毎の平均値、最大値及び最小値を「ハイパ-フォ-ム」の納入時の品質管理検査における引き剥がし接着力の管理値との比で示している。

a) 新品は、接着力のばらつきが小さく、平均値で品質管理値の 1.5 倍程度の引き剥がし接着力を示した。一方、工事に適用した使用済み型枠においては、接着力が全体的に低下すると共に、接着力にばらつきが生じた。

Table 5 試験した使用済み型枠 List of Formwork for Test

記号	スライド高さ	備考
No.1	0~2m	
No.2	0~10m	構造物の径の変化に伴って外れた型枠
No.3	0~100m	
No.4	0~200m	構造物の曲線部で使用
No.4	0~200m	直線部で使用
新品	0m	未使用

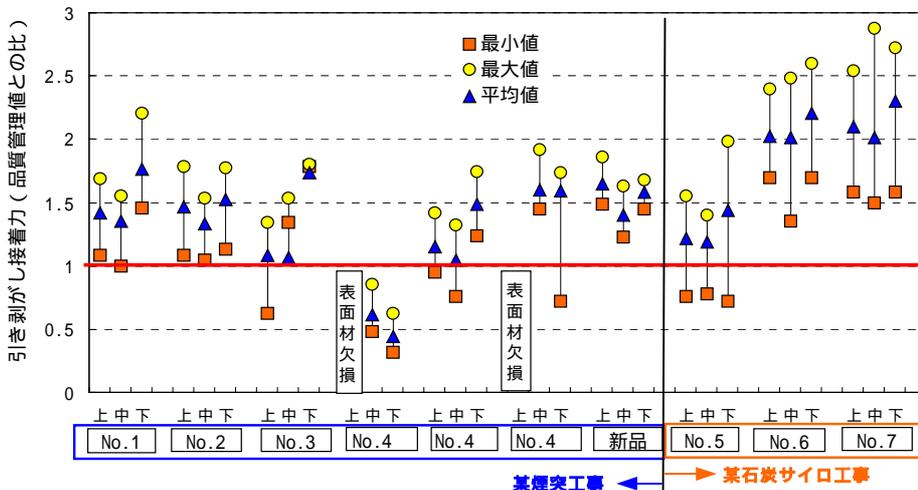


Fig. 4 引き剥がし接着力の比較 Comparison of Peel Adhesion Force



Photo 1 某石炭サイロ工事 スリップアップ工法の様子 Construction of a Silo

b)No.1～3の全ての領域で、各高さスライド後も納入時の品質管理値を満足する引き剥がし接着力（平均値）を示し、型枠表面材の接着耐久性が認められた。

c)200m スライドした No.4 の 3 体中 2 体において、型枠上部の PTFE 表面材が欠損していた。これは、鋼製ケレン棒でモルタル付着物等をケレンする際に、型枠表面材を傷付けたことが原因であると推定される。

d)200 m スライドした No.4 の 3 体中 2 体で、型枠中央部、下部で、使用後も品質管理値を満足していた。No.4 の 3 体に接着力の差が見られるのは、主に型枠の設置場所による違いと推定される。

3.2.2 某石炭サイロ工事

(1) 離型性の評価

工事中の現場調査及び使用状況の聞き取り調査、使用済みの「ハイパ-フォ-ム」の目視調査によって、実使用における離型性を評価した。調査した型枠は、スライド高さ（使用延べ長さ）の異なる「ハイパ-フォ-ム」各 3 体ずつで、その種類と記号を Table 6 に示す。また、離型性の評価結果を以下に示す。

a)型枠から露出するコンクリ-トの表面には、欠損やひび割れがなく、平滑であった。

b)転用回数によらず、工事終了後の型枠表面にモルタル分の付着はほとんど認められず、厚み 1mm 前後の極薄いノロ分の付着が部分的に見られる程度であった。付着したノロ分は、その周囲を軽く叩く程度で簡単に剥がれた。

(2) 型枠表面材の下地鋼製型枠との接着力の評価

1)試験概要

繰り返し使用における型枠表面材の下地鋼製型枠への接着力の耐久性を評価する目的で、型枠表面材の接着力を引き剥がし試験で測定した。Table 6 に示す転用回数の異なる使用済み型枠の各 1 体ずつについて試験した。

2) 試験方法

3.2.1(2)に示す方法で試験した。

3) 試験結果

一領域につき 12 点ずつ型枠表面材の引き剥がし接着力を測定し、Fig. 4 に併記した。結果を以下に示す。

a) 某煙突工事の結果と比較すると、某石炭サイロ工事で使用した型枠の方が引き剥がし接着力が高い傾向にある。適用工事件数を重ねる度に、接着剤量やオ-ブンタイム等の接着方法を検討して接着技術の向上を図ってきており、その効果が現れていると言える。

b)いずれの使用済み型枠においても、型枠表面材の引き剥がし接着力（平均値）が品質管理値を満足していた。繰り返し使用の回数及びスライド高さ（使用延べ長さ）に因らず型枠表面材の接着耐久性が認められた。

(3) 型枠表面材の耐損傷性、耐摩耗性の評価

型枠表面材の繰り返し使用及びスライドに対する耐損傷性を評価する目的で、Table 6 に示す型枠表面への傷の

Table 6 調査した使用済み型枠
List of Formwork for Test

記号	スライド高さと適用回数
No.5	約40m × 1回
No.6	約40m × 2回
No.7	約40m × 3回

発生状況を目視調査した。また、型枠表面材の耐摩耗性を評価する目的で、PTFE 表面材の厚みをノギスで測定した。評価結果を以下に示す。

a)No.5 及び No.7 の各 3 体の使用済み型枠には、型枠表面材の欠損は認められなかった。一方、No.6 には、1 体につき 1 ヶ所ずつ、幅 10～40mm で長さ 5mm 程度の極小面積の型枠表面材の欠損が認められた。これらの結果から、型枠表面材の耐損傷性は実用レベルにあると言える。

b)型枠表面材の傷は、その転用回数が増えるとともに増加する傾向にあった。転用 3 回ではやや傷が目立ったが、いずれも下地鋼製型枠の露出するような深い傷は認められず、損傷程度は軽微であった。

c)型枠内で 15 点ずつ型枠表面材の厚みを測定した結果、いずれも初期厚みと同じで、耐摩耗性を確認した。

4. まとめ

当社が、新たに開発したスリップフォ-ム工法用離型性向上型枠「ハイパ-フォ-ム」の離型性を室内実験で確認し、実物件へ適用した結果、以下の点が明らかとなった。

1) PTFE（ポリテトラフルオロエチレン）を使用した「ハイパ-フォ-ム」は、鋼や他の既存型枠用コ-ティング材と比較して非常に優れた離型性を示した。実物件への適用においても、その性能が十分に発揮されており、構造物の品質向上、建設コストの削減に寄与した。

2)「ハイパ-フォ-ム」の PTFE は、シート状であるが、スライドに耐えうる損傷性、摩耗性、下地鋼製型枠への接着性が開発課題であった。実物件における 200m に及ぶスライドや約 40m の 3 回転用使用に対しても対応可能で、実使用における耐久性が検証された。

3)構造物の径が急激に大きくなるような非常に過酷なスライド条件にも対応できるよう、「ハイパ-フォ-ム」の耐久性の更なる向上が今後の課題である。

参考文献

- 1) 奥田章子,他:スリップフォーム工法における型枠表面材の離型性に関する研究,大林組技術研究所報, No.55, pp.45～50, (1997)
- 2) 河合勝美,他:スリップアップ工法による大規模石炭矸の施工,日本コンクリート工学, Vol.41, No.2, pp.32～38, (2003)