

森吉山ダム貯水池横断橋下部工事

ハイブリッド・スリップフォーム工法におけるコンクリートひび割れ対策

若松 直行

森吉山ダム建設に伴う付け替え県道のうち、ダム湖を横断する350mの橋梁下部工において、P1、P2橋脚はハイブリッド・スリップフォーム工法で施工を行った。本工法は、先行して立てた鋼管の上端にH型鋼を井桁状に組み、そこからPC鋼線を介して鋼製作業床を吊下げ、躯体コンクリートを打設していく工法で、1.8m/日打設の急速施工が可能である。また、他の工法のように躯体コンクリートに埋込んだアンカーを反力としていないので、コンクリートの強度発現による影響がなく、寒冷地での施工に適していることも特徴である。ここでは、装置の説明、本工事で行ったひび割れ対策を主体に述べる。

キーワード：橋梁下部工、ハイブリッド・スリップフォーム工法、急速施工、コンクリート、ひび割れ

1. 現場概要

(1) 工事概要

本工事は、秋田県北秋田市に建設中の、森吉山ダム付帯工事のうち、ダム湖横断橋の下部工工事である。以下に、工事概要を示す。

① P1 橋脚

H = 52.0 m

基礎構造

直接基礎 RC フーチング

コンクリート 24-8-25 (高炉) 1,700 m³

橋柱部

鋼管・コンクリート複合構造

コンクリート 30-10-25 (中庸熱) 1,500 m³

② P2 橋脚

H = 33.0 m

基礎構造

直接基礎 RC フーチング

コンクリート 24-8-25 (高炉) 1,600 m³

橋柱部

鋼管・コンクリート複合構造

コンクリート 30-10-25 (中庸熱) 1,100 m³

③ P3 橋脚

H = 17.5 m

基礎構造

深礎杭 φ 3,500 mm L = 12.5 m

4本 フーチング

橋柱部

コンクリート 24-8-25 (高炉) 1,100 m³

(2) 工程

3橋脚のうち、P1、P2橋脚における構造は、その断面構造からコンクリートの発熱に起因した応力の影響を受けやすく、特にじん性確保のため鋼管内に充填コンクリートを打設する部分の表面にひび割れが発生する確率が高いと予想されていた。表1に工程表を示す。P2橋脚は、冬季に先行施工し、P1橋脚は、翌年6月に施工を行った。

表1 工程表

	2004年			2005年			
	10月	11月	12月	1月~4月	5月	6月	7月
P1橋脚				除雪のため 休工	鋼管埋込み		
						橋柱部打設	
P2橋脚	鋼管埋込み						
		橋柱部打設					

2. ハイブリッド・スリップフォーム工法の概要

ハイブリッド・スリップフォーム工法（以下HSF工法という）は、従来のスリップフォーム工法を構造設計と施工方法の両面から改良し、大幅な省力化・工期短縮を可能にした新形式のスリップフォーム工法である。

(1) 構造上の特徴

鋼管とコンクリートの複合構造を基本とし、通常必要な鉄筋の一部を鋼管（φ1,500 mm）に置換え、さらに鋼管内部にはコンクリートを打設せず、空洞としているところが特徴である。図-1にP2橋脚の構造図を示す。

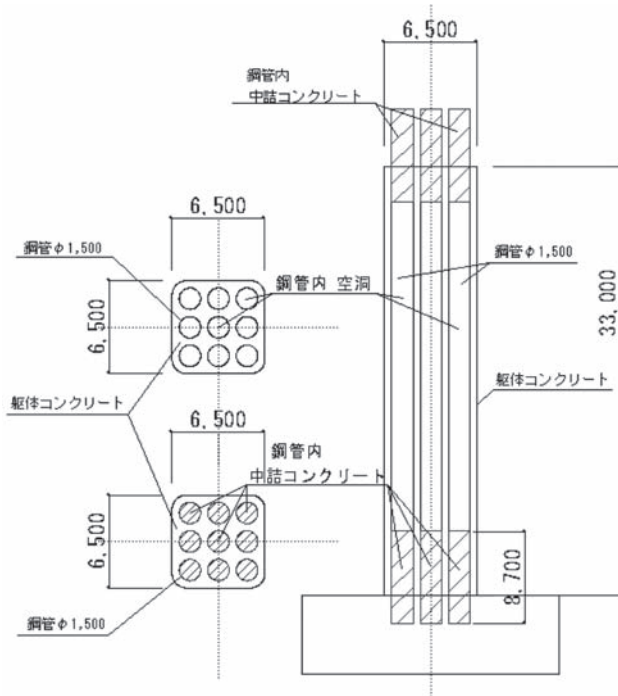


図-1 P2橋脚の構造図

この構造の利点として、以下の2つが挙げられる。

- ①鉄筋量を軽減できるため、鉄筋組立作業の省力化およびコンクリート打設時の確実な充填締固めができる。
- ②鋼管内が空洞であるため、橋脚の自重が軽減でき必要断面を小さくできる。

(2) 工法上の特徴

本工法は、移動するスリップフォーム一体型作業足場（HSF装置）の反力を、先行施工する鋼管から取るところに特徴がある。施工順序は、以下の通りである。

- ①鋼管、主鉄筋を全数先行施工する。
- ②反力架台を鋼管頂部に仮設し、スリップフォームを反力架台から吊す。
- ③スリップフォームを移動しながら、H = 1.8 m ずつ躯体コンクリートを打設していく。

図-2に施工順序図、写真-1に施工状況全景、写真-2にHSF装置内での型枠組立状況を示す。

橋脚橋柱部 施工順序図（HSF工法）

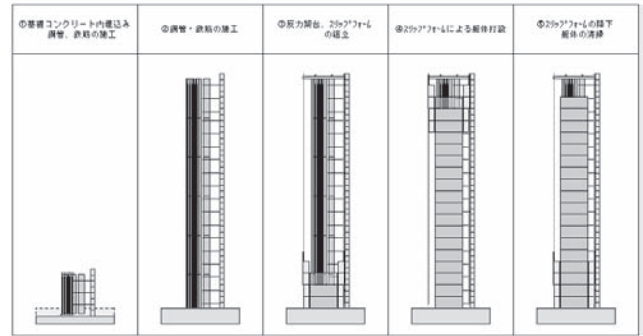


図-2 施工順序図



写真-1 施工状況全景



写真-2 HSF装置内での型枠組立状況

本工法の利点としては、以下の4つが挙げられる。

- ① H = 1.8 m / 日の急速施工が可能である。
- ②足場の反力を他工法のように打設した躯体コンクリート中に設置したアンカーに取らないので、寒冷地や冬季の施工に対しても安全である。
- ③作業床を広く取れるので作業性が良い。
- ④構造が単純であり、施工上のトラブルが少ない。

3. 施工上の問題点と解決策

入札時のVE提案の際に、2つの施工上の問題点について検討した。

(1) 中詰コンクリートの打設順序

鋼管内部が空洞の範囲では、躯体コンクリートの硬化熱が鋼管内部に放熱されるため、温度応力は比較的少ない。しかし、中詰コンクリートのある範囲では硬化熱の放熱が期待できないので、温度応力が大きくなり、ひび割れの発生しやすい状態となる。

今回は躯体コンクリートに中庸熱セメントを使用する設計になっていたため、ある程度の温度応力の軽減は期待できた。しかし、過去に自社で施工した同工法による高橋脚では、鋼管中詰コンクリート打設後に温度ひび割れが発生する傾向がみられた。このため、中詰コンクリート打設に起因するひび割れを抑える方策の検討が必要と判断された。検討した中詰コンクリートの打設順序は、次の3通りである。

①躯体コンクリートを先行打設→硬化熱を鋼管内に放熱→中詰コンクリート打設する。ただし、中詰コンクリートの硬化熱が躯体内部にこもり温度応力が上昇する可能性がある(図-3)。

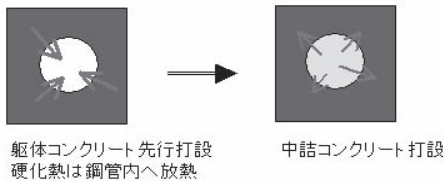


図-3 打設順序①案

②中詰コンクリートを、より低発熱型コンクリートとする(①の改善案)(図-4)。

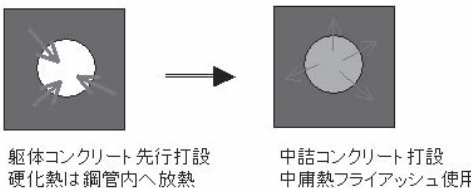


図-4 打設順序②案

③中詰コンクリート先行打設→硬化熱を鋼管外に放熱→躯体コンクリート打設する。ただし、躯体コンクリートの硬化熱はわずしかしか鋼管内部に放熱しないため、温度応力が上昇する可能性がある(図-5)。

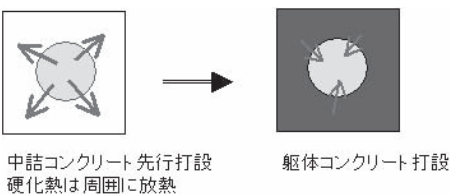


図-5 打設順序③案

自社の過去2例の施工実績から、鋼管中詰コンクリートは後打ちする方法を採用し、温度応力の抑制効果を高めるために鋼管中詰コンクリートに低発熱型コンクリートを使用する②案をVE提案とした。

(2) 型枠脱型後の養生方法

HSF工法の特徴である急速施工をするために、比較的早期に型枠を脱型する必要がある、その後のコンクリートの保温・湿潤養生の方法が課題であった。この対策としては、自社の高橋脚工事で実施し、効果が確認されている気泡緩衝材(プチプチシート)を型枠解体後に躯体に巻きつけて養生する方法を提案した。

4. 実施工前の再検討

(1) 温度応力解析による施工手順の妥当性確認

P2橋脚の施工に先立ち、現場状況に即した条件を考慮したより正確な温度応力解析を行い、施工の手順の妥当性を確認した。主な条件は、①試験練りで決定したセメント量、②工事工程で決定した施工日の予想気温と予想コンクリート温度、③使用する型枠材(スルーフォーム)の熱伝導率、④気泡緩衝材(プチプチシート)による養生効果である。

中詰コンクリートの打設手順の3ケースについて検討した結果を表-2に示す。中詰コンクリートに使用

表-2 検討結果(2次元温度応力解析)

検討ケース	ケース1	ケース2	ケース3
打設順序	後打設	後打設	先打設
セメント種類	中庸熱フライアッシュ	中庸熱ポルトランド	中庸熱ポルトランド
ひび割れ指数の最小値	1.12 (1.17) *3	1.08	0.89
位置	各面中央部	各面中央部	各面中央部
中心部～表面部の温度差(℃) *1	12.7	13.1	17.6
材齢(日) *2	4.0	3.7	9.3
ひび割れ発生確率	高い(70%)	高い(78%)	非常に高い(93%)
中心部の最高温度(℃)	35.5 (29.1) *4	35.5 (29.7)	32.7
材齢(日) *2	3.0 (8.0)	3.0 (8.0)	4.7

*1 ひび割れ指数最小時の温度差

*2 ケース1, 2: 中詰コンクリート打設後の材齢, ケース3: 鋼管外部コンクリート打設後の材齢

*3 ()内は、別メーカーの発熱特性を考慮したもの

*4 ()内はひび割れ指数が最小になる2度目のピーク時の値

するより低発熱型コンクリートは、中庸熱フライアッシュを想定した。

表一2から、ひび割れの発生確率が最も低いのは、VE提案したケース1であることが分かる。以上より、VE提案した打設順序（ケース1）が妥当であることを確認でき、P2橋脚の施工においてもこの方法を採用することとした。

5. 実施工

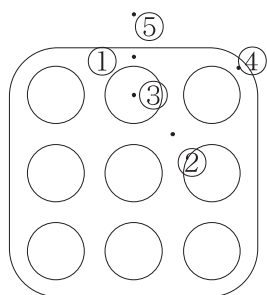
前章までの検討結果を踏まえ、実施工で行った施工管理内容を以下に記す。

(1) 温度計測

温度応力解析による躯体温度の推定精度を確認するため、埋設したセンサーでコンクリートの温度変化を計測した。センサーの設置位置は、表一3、図一6のとおりである。

表一3 温度センサーの設置位置

測点 No.	リフト No.	平面位置	縦断位置
2-①	2	表面部（直線）	中央
2-②	2	中心部	中央
2-③	2	鋼管内	中央
2-④	2	表面部（曲線）	中央
3-①	3	表面部（直線）	中央
3-②	3	中心部	中央
3-③	3	鋼管内	中央
0-⑤	スリップフォーム構台内		-



図一6 温度センサーの設置位置

(2) 中詰コンクリート打設

鋼管中詰コンクリートは中庸熱フライアッシュセメントを使用し高流動生コンクリートにて打設した（写真一3）。高流動とした理由は、鋼管内での締固めが困難であり、自己充填性が求められたことによる。



写真一3 鋼管中詰コンクリート打設状況

(3) 気泡緩衝材巻付けによる保温・湿潤養生

コンクリートの保温・湿潤養生には、1回の打設高さ $H = 1.8\text{ m}$ に合わせて、幅 2.0 m の気泡緩衝材（プチプチシート）を特注し使用した（写真一4）。



写真一4 気泡緩衝材巻付け状況

(4) 鋼管内のクーリング

中心部の躯体コンクリートの硬化熱を速やかに放熱させるために、鋼管内の空気を送風機にて強制的に排出する方法を採用した。

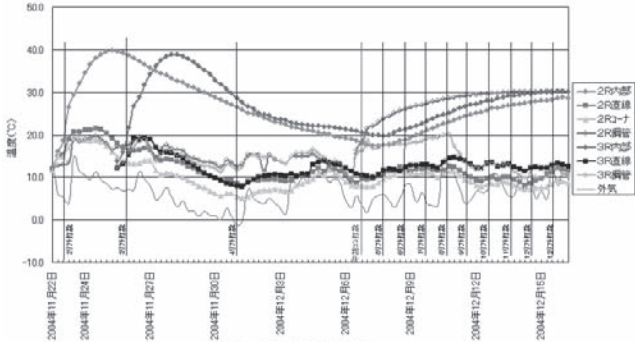
(5) 入念な締固め

高品質なコンクリートを打設するため、入念な締固めを実施した。締固める範囲を指定し、高周波バイブレーターの挿入深さ、間隔、締固め時間を重点管理項目とした。

6. 施工結果

(1) コンクリート温度の測定結果

コンクリート温度は、図一7のような測定結果を



図一七 P2 橋脚の温度計測結果

表一四 中心部の最高温度とピーク時期

位置	セメント種類	最高温度		ピーク時期	
		解析	実測	解析	実測
2-②	M	40.9	39.5	3日後	3日後
3-②	M	38.3	38.8	3日後	3日後
2-③	MF	31.9	30.4	3日後	9日後

得た。これを事前の解析結果と比較すると表一四のようになる。

躯体コンクリート（中庸熱ポルトランドセメント（M）使用）の中心部最高温度は、解析結果と同等であった。鋼管中詰コンクリート（中庸熱フライアッシュセメント（MF）使用）の中心部最高温度も解析結果と同等であるが、最高温度のピークが6日程度遅れている。これは、コンクリートの発熱速度が、予想よりも遅いためと考えられる。

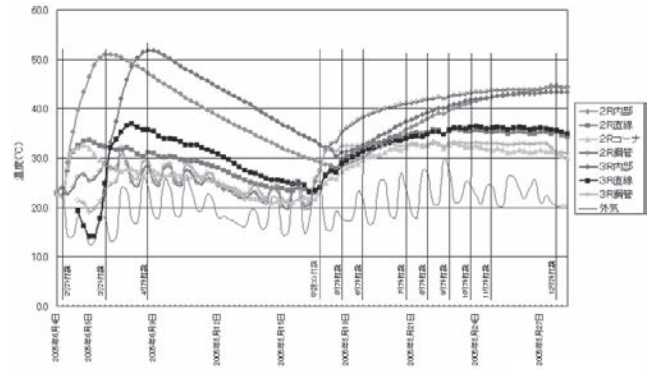
(2) ひび割れ発生状況

有害なひび割れ（0.2 mm 超）は発生しなかった。

このことから実施したひび割れ対策が有効であったと判断できたため、P1 橋脚の施工においても、同様の方法で施工することとした。

図一八は、P1 橋脚における温度変化を示す。P1 橋

脚においても、解析結果とほぼ同様な温度変化で推移した。有害なひび割れも全く発生せず、採用したひび割れ防止対策は有効であった。



図一八 P1 橋脚の温度計測結果

7. おわりに

本工事では、鋼管内に充填コンクリートを打設する部分の表面ひび割れ防止対策として、鋼管中詰コンクリートに低発熱型コンクリートを使用し、躯体コンクリートより後行して打設する方法を採用した。これにより、有害なひび割れを皆無とすることができた。実施したひび割れ防止対策は、高橋脚を対象としたものではあるが、本報告が、一般的なマスコンクリートのひび割れ防止対策の参考となれば幸いである。

JCMA

[筆者紹介]

若松 直行（わかまつ なおゆき）
 日本国土開発株
 東京支店 大岡シールド作業所
 所長

