新型スリップフォーム工法による 複合構造高橋脚の施工

馬淵勝美*¹・市川博康*²・奥田幸男*³・加藤敏明*⁴

概要 従来の高橋脚の施工は多量の鉄筋の組立て、型枠足場の施工に多大な労力と時間を要することや作業安全性の確保が課題であった。「ハイブリッド・スリップフォーム工法」は構造を簡素化した「鋼管・コンクリート複合構造」に新しいタイプのスリップフォーム工法を合理的に組み合わせて、経済的に大幅な省力化と工期短縮を可能にする工法である。本工法の初適用例である大分自動車道横道橋の橋脚工事では、在来工法に比べて工期が4割減、省力化で3割減という結果を達成した。今回の成果に基づき、50～100 m級高橋脚の経済施工への展開を図っている。

キーワード：複合構造、高橋脚、スリップフォーム、ジャンピングフォーム

1. はじめに

最近のコンクリート構造物に対する技術開発は、経済性との調和をとりながら省力化や工期短縮あるいは作業安全性向上などの諸目的を達成することが重要となってきている。

本報告における山間部高架橋などの高橋脚を対象とし

た場合、運搬条件の厳しさや狭い施工ヤード等、高橋脚特有の施工条件を考慮して新工法を開発する必要がある。このような施工条件下では、プレキャスト化よりも、コンクリートミキサ車で運搬して現場で型枠に流し込むという場所打ちコンクリート本来の特徴を生かすことが経済的に有利となろう。このとき、従来の橋脚構造に替えて施工のたやすい構造を用い、その構造に適した材料および施工法を合理的に組み合わせれば、過大なイニシャルコストを投じることなく、大幅な省力化や工期短縮を可能にするものと考えられる。

大分自動車道横道橋橋脚は、上記の観点から開発した鋼管・コンクリート複合構造と新しい形式の型枠工法を組み合わせた「ハイブリッド・スリップフォーム工法」による初の施工例である（写真-1）。

2. 鋼管・コンクリート複合構造橋脚の採用

高橋脚構造として一般に用いられてきている鉄筋コンクリート中空箱型断面（図-1）は、長年の経験を経ており、力学面、材料面からみた合理性は否定できない。

一方、これを施工面からみると鉄筋の組立てやコンクリート打設等の作業は、高度な熟練と労働者の多大な負担によって支えられており、現在の熟練労働者不足や高齢化は適正な工程管理や品質管理を次第に困難にいつた

ある。本工法で開発した鋼管・コンクリート複合構造橋脚は、施工を容易にするとともに欠陥が生じにくい構造とするために配筋を極力簡素化している。本構造は、図-2に示すように大口径の鋼管を断面内部に、縦筋を外周1段のみ配置し、この縦筋外周にPC鋼より線を帯鉄筋としてスパイラル状に巻き付ける基本構造になっている

写真-1 横道橋橋脚

*1 まぶち・かつみ／日本道路公団 福岡建設局 日田工事事務所 工事長

*2 いちかわ・ひろやす／日本道路公団 福岡建設局 構造技術課 課長代理

*3 おくだ・ゆきお／(株)大林組 建築生産本部特殊工法部 課長

*4 かとう・としあき／(株)大林組 土木技術本部設計第二部 課長代理

る。

本鋼管・コンクリート複合構造では、一般部における鋼管とコンクリートとの発生付着応力度の照査および鋼管上下端のリップ付鋼管定着によって鋼管とコンクリートの一体化挙動を保証し、断面計算は RC 方式を採用している。累加強度方式とするためには、鋼管相互の一体化連結が必要となり、作業性・経済性が低下する点を考慮して上記の方式を採用した。

せん断力に対する設計においては、せん断耐力に鋼管がどのように寄与するか不明な点が残っているため、RC 断面のみでせん断力を受け持つ安全側の設計を行った。鋼管のせん断耐力への寄与については今後の検討課題としている。

鋼管と PC 鋼より線帯鉄筋を用いた本複合構造の特長を表-1 に示す。

本構造の開発に際して、

図-1 鉄筋コンクリート中空箱型断面例

図-2 鋼管・コンクリート複合構造断面例

表-1 使用材料の特長

使用材料	特長または効果
鋼管 (JIS 規格鋼管)	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋の代替使用により、鉄筋組立のプレファブ化を図る。 単体剛性が高く、架設時の施工性、建込精度が良い。 溶接性が良い（自動溶接が容易である）。 内型枠、鉄筋の保持、作業足場の設置およびスリップフォームのつり上げなど省力化、精度向上、安全性向上に寄与する。 開放された断面となり、コンクリート打設、充てんが容易である。
PC 鋼より線	<ul style="list-style-type: none"> 帯鉄筋の組立を省力化、機械化することができる。 じん性能向上に寄与する。

Application of New Slipform Method For Hybrid Structural High Pier

By K. Mabuchi, H. Ichikawa, Y. Okuda and T. Kato

Concrete Journal, Vol. 33, No. 4, pp. 55~61, April 1995

Synopsis The conventional construction method of high pier has issues which needs large number of labor force and re-bar assembling, forming, scaffolding time. "Hybrid-Slipform Method"—A rational combination of a new concept of structural design and effective integration of construction techniques which enable the construction of high pier to be fast track using a reduced labor force. In the first application of this method at Yokomiti Bridge, the time required for site operation was almost 60 % and the labor force was 70 % compared with the conventional construction scheme. In consequence, the new construction method would be applicable for construction of 50 to 100 m high pier with economical base.

Keywords : hybrid structure, high pier, slipform, jampingform

- 1) 外側リブ付鋼管を用いた簡便な定着構造に対する付着強度試験
- 2) 横道橋橋脚をプロトタイプとした橋脚模型の水平加力試験

を実施し、耐震性を確認している。

また、本複合構造のじん性に富む構造特性を生かす設計法の取りまとめを現在行っているところである。

3. 新型スリップフォーム工法

3.1 従来の型枠工法

高橋脚の施工法のポイントは足場および型枠工法に集約されるが、一般に高さ 40 m を超える高橋脚に対しては足場と型枠が一体となって上昇するセルフクライミング工法（ジャンピングフォーム工法）が採用されている。

本工法は上昇方法に多少の差はあるものの、多数の施工実績によりほぼ完成された工法となっている。すなわち、1 リフト高 3～5 m を 7 日ないし 14 日程度で施工しており、作業員数と作業日数は鉄筋組立、型枠の上昇・組立・解体でほぼ決まっている。したがって、大幅な省力化と工期短縮を実現するためには、これら各々の作業を根本的に改革していく必要がある。

一方、スリップフォーム工法は急速施工法として高層煙突、高架水槽等で施工実績が多いものの、わが国で高橋脚施工に本格的に用いられてきていない。この理由は、①多量の鉄筋組立がスリップフォームの施工性を損ねていること、②表面仕上げに問題があること、③昼夜連続施工が週休 2 日をめざす労働環境に合わないこと、などによるものであると考えられる。

3.2 新型スリップフォーム工法

「ハイブリッド・スリップフォーム工法」では、まず第 1 に「鋼管・コンクリート複合構造」の採用により、大部分の鉄筋の簡素化、先行組立を行っているため、その日のコンクリート打設リフト分の鋼より線帯筋を巻き付けるだけで鉄筋組作業が完了する。これによってスリップフォーム工法の施工速度を生かして、1 日（8 時間労働）で 2.4 m～3.0 m 以上の施工高が可能となる。

第 2 に表面仕上げの向上、養生対策およびコンクリートの昼夜連続打設を解決するため、フレッシュコンクリートと接するせき板を残して支保工部のみスリップアップする構造とした。残したせき板は回収し転用する。

第 3 にスリップフォーム装置の上昇機構は、先行建込鋼管からつり降ろした PC 鋼より線を介してジャッキアップする方法を採用している。この方法は、安定した引き上げ荷重を得ることができるとともに、鋼管をガイドに利用して出来形精度を確保できるという利点がある。

図-3 ハイブリッド・スリップフォーム工法の概念図

① コンクリート打設 ② 型枠支保工の上昇
図-4 型枠の上昇方法

この新型スリップフォームは、コンクリートに負担を与えず若材齢で脱型できるという点でスリップフォームとしての機能を持ち、表面仕上げの良さ、十分な養生ができること、および断続的な型枠移動ができるという点でジャンピングフォームの機能を持つ。

4. 工事概要

本工法を適用した横道橋工事概要を以下に示す。また橋りょう一般図および橋脚構造図をそれぞれ図-5 および図-6 に、工事数量を表-2 に示す。

路線名：大分自動車道

架橋位置：大分玖珠郡九重町

図-5 横道橋一般図

表-2 横道橋橋脚工事数量

種 別	仕 様	数 量
コンクリート	$\sigma_{ck}=300 \text{ kgf/cm}^2$	1 140 m ³
鉄 筋	SD 345 (D 38)	81 t
鋼 管	SKK 490 ($\phi 1 400$)	170 t
PC 鋼より線	SWPR 7 B $\phi 12.7$	14 t

(上記数量は柱部のみを計上)

図-6 橋脚構造図

橋 格：一等橋 (TL-20, TT-43)

構造形式：PC 3 径間連続ラーメン橋

橋 長：168 m

支 間 割：47.4 m + 72.0 m + 47.4 m

幅 員：9.0 m

5. 施 工

5.1 施工順序

橋脚高により多少の変更はあるものの基本的な施工順序は図-7に示すとおりである。

1) 最下段の鋼管をフーチング内に設置・固定する。

図-7 施 工 順 序

フーチング内の鉄筋の組立て、PC 鋼より線の初期巻付けを完了したのち、フーチングコンクリートを打設する。鋼管の建込み、溶接を繰り返してながら最上段まで鋼管を建込む（写真-2）。

- 2) 鋼管頂部にスリップフォーム反力架台とつり材を設置する。スリップフォーム装置を組立て、最上部足場に PC 鋼より線巻付け機を設置する（写真-3）。
- 3) 1 日の作業の中で、PC 鋼より線の巻付け、スリップフォームの上昇、コンクリート打設を繰返し、橋脚を施工する（写真-4）。
- 4) 橋脚施工完了後、スリップフォーム装置と地上まで下降し、解体する（写真-5）。

写真-2 鋼管建込み状況

写真-3 スリップフォーム装置の組立

なお、橋脚高が 100 m 級になる場合、鋼管の自立高さを 50 m 程度とし、コンクリート打設を先行する。次に上部残りの鋼管を建込んだ後、同じ要領で上半部のコンクリートを打設する方法を採用する。

5.2 フーチング内鋼管の据付けと PC 鋼より線の初期巻付け

(1) 鋼管の据付け

H 鋼架台上に鋼管を建込み、水平、垂直精度をチェックした後、溶接固定した（図-8、写真-6）。

(2) PC 鋼より線の初期巻付け

フーチング内およびフーチング上約 5 m の範囲は巻付け機械が使用できないため、アウターブルスタンドか

写真-4 スリップフォーム上昇状況

写真-5 スリップフォーム下降状況

ら PC 鋼より線の引出しを行い、人力により巻付けを行った（写真-7）。

5.3 鋼管の建込みと溶接

（１） 鋼管の建込み

鋼管のつり込み長さおよび重量は、運搬条件および使用クレーン能力から長さ 10 m、重量 6 t～7 t とした。

鋼管の仮固定および精度確保のため 1 段ごとにブレースをとった、ブレース部材は風に対する安全性を検討して決定した。

（２） 鋼管継手部の溶接

鋼管に取り付けた鋼製足場を利用して、鋼管を建込んだ後一段ごとに溶接を行った。

風による溶接欠陥を防ぐため防風対策を行うとともに、比較的風による影響を受けにくいインナーシールド溶接（半自動）を採用した。品質検査は施工試験、外観

検査、超音波探傷検査により実施した。

5.4 PC 鋼より線巻付け工

PC 鋼より線を使用した帯鉄筋の組立ては、スリップフォーム最上段足場に設置した巻付機により機械化した。この巻付機（写真-8）は自走台車がレール上を走行し、連動してコイルから鋼より線を引き出す機能を持つ。

PC 鋼より線の縦筋への取付けは、専用の固定金具を用いて人力により行った。1 リフト 1.8 m の巻付けに要した時間は約 1.5 時間であった。

5.5 コンクリート打設および養生

コンクリートの圧送は橋脚高が 30 数 m であり、特殊な処理は行わず、スランプ 8 cm 圧送した。

打設時期が寒中コンクリートとなったため、凝結開始時間が遅延し、コンクリート打設当日にスリップフォー

図-8 鋼管の据付け

写真-6 PC 鋼より線の初期巻付け

写真-7 アウターブルスタンド

写真-8 PC 鋼より線巻付機

表-3 横道橋橋脚施工工程

項 目		年 月	平成 5 年				平成 6 年	
			9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
			10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20
P1 橋脚	フーチング工							
	橋脚工	鋼管建込						
		スリップフォーム						
P2 橋脚	フーチング工							
	橋脚工	鋼管建込						
		スリップフォーム						

ム脱型必要強度を得ることができない状況となった。したがって、打設翌日に脱型する本工法はこの問題点を解決する有効な方法である。また前にも述べたとおり、作業効率からも1日1回コンクリート打設、翌日上昇の方が良いと考えられる。

寒中養生については、スリップフォーム装置外周をシートで覆い、電気暖房（エアコン）による保温を実施した。また、残存したせき板による保水、保温も効果的であったが、残存期間を1日としたため、温度応力によるヘアクラックが部材厚の小さい部分に発生した。今後寒中コンクリートの施工に際しては、せき板の残存期間をさらに長くすること。また、内部コアコンクリートの温度上昇抑制等を総合的に対策を実施していきたい。

5.6 工 程

フーチングおよび脚柱部の施工工程を表-3に示す。横道橋橋脚の場合は、橋脚高が31 mおよび34 mの2基の橋脚に対して、試算によれば約6割の工期で施工できた。本工法が工期短縮を実現する理由は、鋼管の先行建込みとスリップフォームの施工速度にある。したがって、この特長を生かす施工条件は、①2基以上の橋脚を施工すること、②橋脚高が40 m以上で、高くなるほど効果がでる。本工法の経済性は、作業人員および仮設機材を増やすことなく工程を短縮できることによって発揮

されると言える。

6. おわりに

横道橋橋脚の施工が本工法の初適用にもかかわらず施工性、安全性において将来の発展性に対する評価を各方面からいただいた。その後、技術検討会を中心に一層の経済性の追求や施工面での改善を加え、在来方法とコスト競争ができるところまできている。特に施工費ですでに在来工法に対してコストダウンが可能となっており、材料費の低減を中心に検討を進めているところである。

また、イニシャルコスト以外に耐震性の向上、作業安全性の向上、あるいは大幅な短工期による経費節減効果などの本工法のもつ付加価値をコスト評価に加えていく必要もあると考えられる。

最後に本工事の実施に際し、多大なご協力とご指導をいただいた関係各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 水田, 馬淵, 大内, 入沢: 鋼管・コンクリート複合構造高橋脚の開発 (その1) — スパイラルリブ付き鋼管の付着試験 — 土木学会第49回年次学術講演会概要集
- 2) 市川, 忽那, 大内, 小畠: 鋼管・コンクリート複合構造高橋脚の開発 (その2) — 橋脚模型の水平加力試験 — 土木学会第49回年次学術講演会概要集

《図 書 案 内》

コンクリート構造物の補修工法研究委員会報告書 (Ⅱ)

A 4 判・153 ページ／定価 5 000 円 (税込), 会員特価 4 500 円 (税込)／送料 430 円

●申込先: (社) 日本コンクリート工学協会・管理課「書籍販売係」

〒102 千代田区麹町 5-7 TBR 708 号／電話 (03) 3263-1571 (担当: 宇野)

〈申込方法〉 書籍名・送付先を明記のうえ、前金 (現金書留) にてお申込み下さい。