

ネアックルン橋（つばさ橋）の施工

— 南部経済回廊を繋ぐカンボジア初の長大斜張橋 —

北田 郁夫*1・丸二 信彦*2・飯島 基裕*3・石井 昌治*4

ネアックルン橋建設プロジェクトは、カンボジア王国の首都プノンペンから南東 60 km に位置し、ホーチミン-プノンペン-バンコクを結ぶ南部経済回廊（アジアハイウェイ）の一部としてメコン河の渡河地点に斜張橋他を建設するものである。工事の全長は橋梁部と土工部を合わせて全長 5.4 km あり、日本の無償資金協力により計画されたものである。

メイン橋は橋長 640 m、支間長 330 m のエッジガーダーを有する PC 斜張橋である。上部工の施工は片持ち架設工法であり、下支え式移動作業車を採用して 8 m のブロック長とすることで工期短縮を図った。また、主塔施工では型枠と足場が一体となったシステム型枠および鉄筋のプレファブ化を採用して施工の省力化を図った。

アプローチ橋はメイン橋を挟んで東側に 900 m、西側に 675 m の PC コンボ橋である。現場内で製作した PCI 桁を場内運搬し、2 組の架設桁による抱込み式架設工法により PCI 桁を架設した。また、PCI 桁の架設後は PC 板の敷設および RC 床版の施工を行うとともに、横桁連結による 5 径間連続化を行って橋梁を構築した。

本稿は本プロジェクトのとくに橋梁部の施工について、その詳細を報告する。

キーワード：メイン橋、下支え式移動作業車、アプローチ橋、PCI 桁、抱込み式架設工法、工期短縮

1. はじめに

カンボジアは、人口 1470 万人、面積 18.1 万 km² で国土の中心部を国際河川であるメコン河が南北に縦断している。近年同国では経済発展が目覚ましく、産業や生活の基盤である社会資本整備が急務となっている。カンボジアを縦断する国道 1 号線は、ASEAN 諸国の物流の生命線であるホーチミン、プノンペン、バンコクを結ぶ延長 950 km の南部経済回廊（アジアハイウェイ）の一部であるが、カンボジア国内でメコン河により分断されており、現状はフェリーが運航されている。しかし、交通量の増加により、待ち時間を含めた渡河所要時間は 30 分から混雑時には数時間にもおよび、さらに深夜 12 時から早朝 5 時まではフェリーの運航がないため、物流のボトルネックとなっている（図 - 1）。

本プロジェクトは、この物流のボトルネックを解消するために日本の無償資金協力によってメコン河に架橋するものである。本稿では、主に橋梁部の施工について報告する。

2. プロジェクト概要

本プロジェクトはメコン河に架かる PC 斜張橋（以下：メイン橋）を中心に、西側 900 m と東側 675 m のアプローチ橋および西側 840 m と東側 2 345 m のアプローチ道路から構成されている。プロジェクトの概要を以下に示す。

工事名：ネアックルン橋建設工事

発注者：カンボジア王国公共事業省（MPWT）



図 - 1 位置図

設計者：(株)長大・(株)オリエンタルコンサルタンツ JV

施工者：三井住友建設株式会社

工期：2010年12月20日～2015年3月15日（51ヵ月）

工事内容：全長 5.4 km（橋梁部分 2 215 km）

- 西側アプローチ道路、 $L = 840$ m、盛土 32 000 m³
 - 西側アプローチ橋、 $L = 900$ m、20 径間 PC コンボ橋
 - メイン橋、 $L = 640$ m、3 径間 PC 斜張橋
 - 東側アプローチ橋、 $L = 675$ m、15 径間 PC コンボ橋
 - 東側アプローチ道路、 $L = 2 345$ m、盛土 276 000 m³
- 橋梁部の全体一般図を図 - 2 に示す。

3. メイン橋

3.1 橋梁概要

メイン橋は、橋長 640 m、中央支間長 330 m の 3 径間

*1 Ikuo KITADA：三井住友建設 (株) 国際支店 土木部

*2 Nobuhiko MARUNI：三井住友建設 (株) 国際支店 土木部

*3 Motohiro IJIMA：三井住友建設 (株) 国際支店 土木部

*4 Akiharu ISHII：三井住友建設 (株) 国際支店 土木部

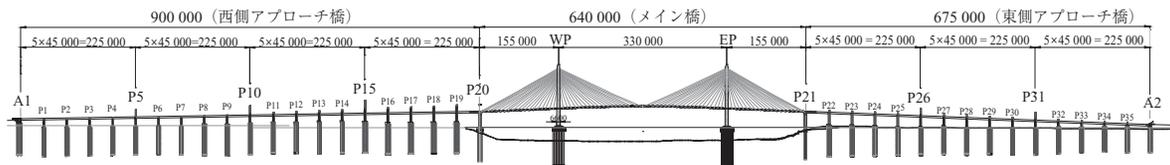


図 - 2 橋梁部全体一般図 (側面図)

PC斜張橋であり、主塔高さが121 m、幅員は約17 mと日本国内であれば最大級のコンクリート斜張橋である。メイン橋の一般図を図 - 3 に示す。

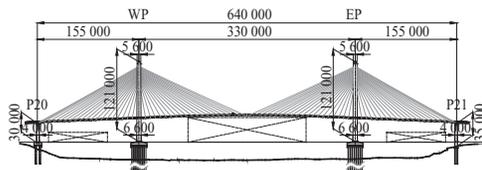


図 - 3 メイン橋一般図

3.2 基礎工

基礎構造は多柱式基礎であり、主塔および上部工を直径2.5 m、長さ70 mの大口径場所打ち杭(22本/主塔)で支持している。架橋位置のメコン河の水深は約25 mあり、流速は増水期に5ノット(約2.6 m/sec)もあるため、この条件下での場所打ち杭の施工は日本でも稀な難工事であった。施工方法は大口径および大深度に対応可能なリバース工法を採用し、杭1本あたり3日の施工速度で施工を完了した。

3.3 主塔工

主塔の形状はH型であり、断面は中空断面で基部(4 m × 6.6 m)から頂部(2.3 m × 5.6 m)に向かって断面形状が徐々に変化するスレンダーな構造である(図 - 4)。主塔高さはパイルキャップ天端から121 mあり、1ブロックの標準的な施工高さは4.7 m、全28ブロックに分割して施工した。断面形状が毎ブロック変化するため、本工事では型枠と足場が一体となり、断面寸法を容易に調整すること

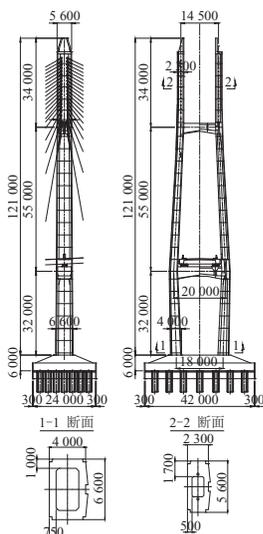


図 - 4 主塔構造図

が可能な型枠システムを採用した。これは、調整が必要な短辺方向の型枠のみを地上に降ろして寸法の調整作業を行い、残りの型枠および足場はタワークレーンにて一括して吊り上げるシステムである。これにより型枠組立作業を簡易化してサイクル工程の短縮を図った(写真 - 1)。



写真 - 1 主塔施工状況

鉄筋の施工にはブロック毎の主要な鉄筋をヤードにて地組して架設するプレファブ化を採用した。ヤードに設置した8基の専用フレームで鉄筋かごをあらかじめ組み立て、鉄筋かごを専用フレームごと台船で主塔まで運搬し、タワークレーンにて一括して吊り上げて架設した(写真 - 2)。鉄筋かごは最大で8 tであったが、架設に必要な所要時間は2時間程度であった。これらの施工省力化により標準ブロックの施工サイクルは7日で実施することができた。



写真 - 2 主塔鉄筋のプレファブ化

主塔には斜材が1.25 m ~ 2.3 mの間隔で中空断面の内壁に分離定着されている。したがって、定着部付近には斜材定着により生じる引張力に対する補強としてU型PC鋼材(5S, 9S, 12S15.2)とPC鋼棒(φ36)が配置されている(図 - 5)。とくにU型PC鋼材については、曲げ半径が850 mmと小さくストランドの挿入および緊張時に不具合が発生する懸念があったため、事前にヤードにてストランドの挿入確認試験と緊張前には試験緊張を実施して、

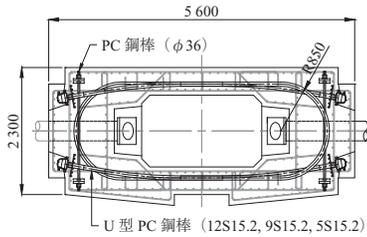


図 - 5 主塔 PC 鋼材配置

施工性の確認を行った。

3.4 上部工

上部工断面は総幅員 16.98 m、桁高 1.8 m のエッジガーダー形状である。幅員は片側 1 車線、バイクレーンおよび歩道から構成されている。また、床版厚は 350 mm であり、4 m ごとに厚さ 400 mm の横桁が配置されている (図 - 6)。

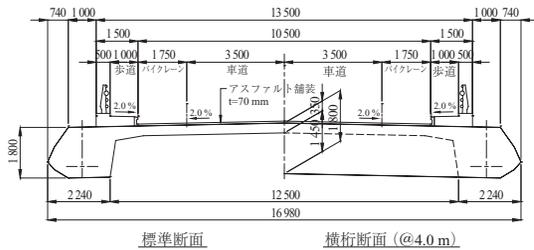


図 - 6 メイン橋 主桁断面図

3.4.1 柱頭部の施工

柱頭部の長さは 14 m あり、主塔のクロスビームにブラケットを設置して施工した。本橋の柱頭部には鉛直方向の荷重を支える通常のゴム支承のほか、橋軸直角方向の風荷重による変位を制御するために、主塔と主桁の間にすべり型ゴム支承が鉛直に配置されている (写真 - 3)。

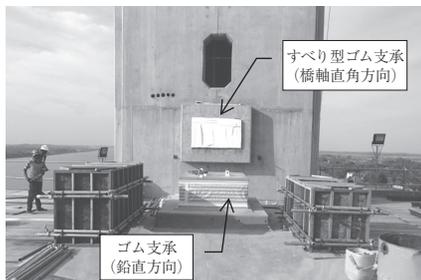


写真 - 3 柱頭部の支承 (柱頭部施工前)

3.4.2 片持ち架設施工

片持ち架設施工において、発注時には標準ブロック長さが 4 m (片側 40 ブロック) で設計されており、移動作業車は主桁の上に設置する一般的なトラスタイプで検討されていた。しかし、本工事では協議のうえ、工期短縮を図るために下支え式の移動作業車を採用し、標準ブロック長さを 8 m (片側 20 ブロック) とした。

(1) 下支え式移動作業車

本工事で採用した下支え式移動作業車は、片持ち架設施

工中に前方を本設の斜材で支持する構造である (図 - 7、写真 - 4)。これは、打設するコンクリートの重量を移動作業車だけでなく斜材に負担させることで、移動作業車自体の重量を軽量化することが可能である。実際に、ブロック長さが 8 m の片持ち架設工法において、これまでの実績より一般的なトラスタイプの超大型移動作業車の重量は 300 t 程度であるが、本工事では総重量で 150 t と移動作業車の自重を半減することでできた。

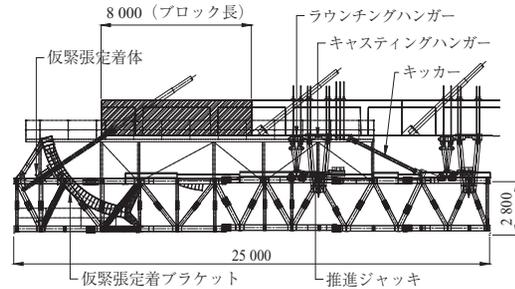


図 - 7 下支え式移動作業車一般図



写真 - 4 下支え式移動作業車

(2) サイクル工程

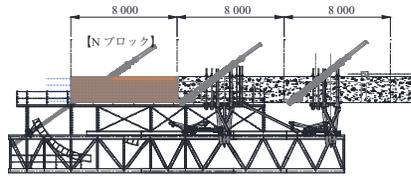
標準サイクル工程を表 - 1 に示す。サイクル工程は、コンクリートを打設後に片持ち架設用の PC 鋼材を緊張し、その後下支え式移動作業車を次のブロックに移動し、型枠鉄筋の組立および斜材架設するという手順で行った。とくに、本工事では型枠セット後に斜材管をセットし、鉄筋組立と同時に斜材架設を行うことでサイクル工程の短縮を図った。また、後述するが斜材についてはコンクリート打設前にひとつ前のブロックの斜材を本緊張した。これ

表 - 1 標準サイクル工程

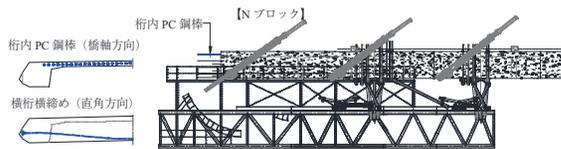
日数	作業項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	備考(施工箇所)
1	コンクリート打設+養生	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Nブロック
2	緊張			■									〃
3	斜材張力盛替え			■									〃
4	型枠解体			■									〃
5	移動作業車の移動			■									〃
6	型枠セット				■								N+1ブロック
7	斜材管セット				■								〃
8	鉄筋・PC組立て					■							〃
9	斜材架設&仮緊張						■						〃
10	斜材本緊張(前ブロック)							■					Nブロック
11	コンクリート打設										■		N+1ブロック
合計		10日/1ブロック											

は、設計計算において、桁内の片持ち架設用 PC 鋼材だけでは主桁上縁に許容値以上の引張力が発生することから、斜材張力で補完するために実施した。サイクル工程の概要図を図 - 8 に、片持ち架設状況を写真 - 5 および写真 - 6 に示す。

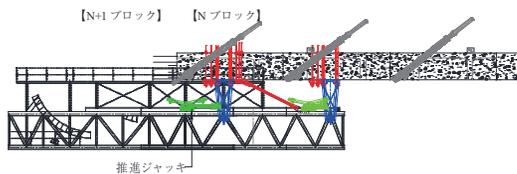
① コンクリートの打設 (N ブロック)



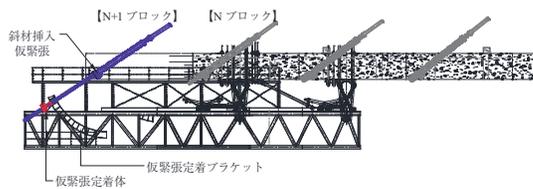
② 緊張 (N ブロック)



③ 下支え式移動作業車の移動 (N ブロック → N+1 ブロック)



④ 斜材の架設および仮緊張 (N+1 ブロック)



⑤ 鉄筋・PC 組立て (N+1 ブロック)

斜材本緊張 (N ブロック)

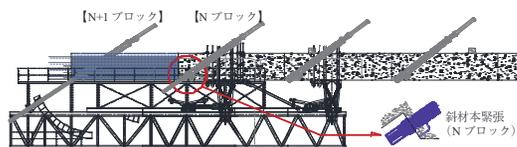


図 - 8 サイクル工程の概要図

(3) 仮設外 PC 鋼棒の配置

桁内には片持ち架設用の PC 鋼棒が配置されているが、片持ち架設の施工長さが長くなると、既設の PC 鋼棒配置では主桁の引張応力度が一時的に許容値を超えてしまう箇所があった。したがって、本橋では橋面上に仮設の外 PC 鋼棒を配置した (写真 - 7)。

(4) 斜材システムおよび緊張管理

斜材は直径 15.2 mm の PC 鋼より線を採用し、より線の本数は 22 本、31 本、37 本、55 本および 61 本の 5 種類である。斜材は亜鉛メッキした PC 鋼より線をグリスとポリエチレン被覆でコーティングした三重防食仕様であり、定着体はディビダークインターナショナル社のシステムを採用した。また、斜材保護管についてはレインバイブレイシ



写真 - 5 片持ち架設施工状況



写真 - 6 片持ち架設施工状況



写真 - 7 仮設外 PC 鋼棒配置

ョン対策を施した高密度ポリエチレン管を使用し、施主との協議の結果、斜材の色は黄色が採用された。

本工事の特徴として、片持ち架設施工時における斜材の緊張は、以下に示すように計 3 回実施した。

① 仮緊張

片持ち架設施工時に、下支え式移動作業車の前方に斜材を定着し、移動作業車を補助する目的でコンクリート打設重量を負担する分だけの張力を導入 (引張強度に対して 10 % 程度)

② 本緊張

移動作業車が次のブロックに移動後、片持ち架設施工時に必要なプレストレスを主桁に導入する目的で、前ブ

○ 工事報告 ○

ロックの斜材に張力を追加導入（引張強度に対して20%程度）

③ 最終張力調整

中央閉合を連結して橋体完成後、所定の設計張力を導入する目的で斜材張力を調整（引張強度に対して20～30%程度）

斜材の緊張方法は、仮緊張および本緊張はPC鋼材を1本毎にシングルジャッキで緊張し、最終張力調整は緊張側と解放側があったため緊張側はシングルジャッキ、解放側は一括して緊張できるマルチジャッキにて行った。

(5) 上げ越し管理

本橋は片持ち架設中の最大張出長さが163mになる。計算上ではコンクリート打設時や斜材緊張時に最大で1000mmの高さ変化があり、実際の施工でもほぼ計算どおりの変形量を観測した。また、日中は35℃近くまで気温が上がるため、温度変化により最大で100mmの高さの変形量があった。一方、下支え式移動作業車に斜材を定着してコンクリートを打設することから、毎ブロック変化する斜材の角度や緊張力から斜材の伸びを含めた下支え式移動作業車の変形量をコンクリート打設前に考慮する必要があり、上げ越し管理には細心の注意を払った。対策として、毎朝所定の時間による測量を実施するとともに、コンクリート打設前には目視による高さの確認、コンクリート打設中には移動作業車の変形のモニタリングをつねに実施した。

(6) 側径間および中央閉合の施工

本橋の閉合順序は、両側径間を先に連結し、中央閉合を最後に連結する手順とした。側径間施工時には主桁の温度による橋軸および鉛直方向の移動量とコンクリート打設の影響による鉛直方向の変形を考慮する必要があった。したがって、本工事では主桁の変形に追従可能な吊支保工を採用した。ただし、吊支保工だけでは変形が大きく施工が難しくなるため、主桁の鉛直方向の変形を制御するために架設桁を橋面に2本配置した（図-9、写真-8）。コンクリート打設は温度変化の影響を排除するために、主桁がもっとも縮んだ早朝にコンクリート打設が終了するように工程を調整し、数時間後にコンクリートの強度を確認後、必要最小限のPC鋼材を早期に緊張した。中央閉合についても同様に、温度変化およびコンクリート重量による変形を制御するために、橋面上にH鋼（H400×4本）を配置した。

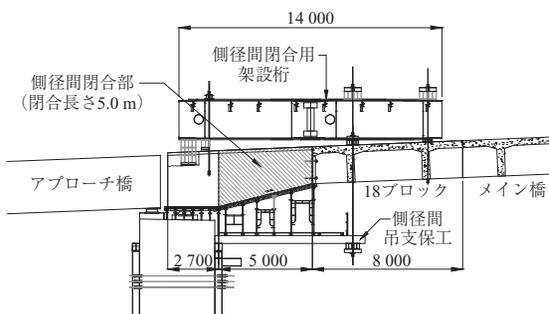


図 - 9 側径間閉合部施工概要図



写真 - 8 側径間施工時の架設桁設置状況

4. アプローチ橋

4.1 橋梁概要

アプローチ橋は1径間45mであり5径間毎に連続化して、西側が20径間900m、東側が15径間675mのPCコンボ橋である。アプローチ橋の断面図を図-10に示す。

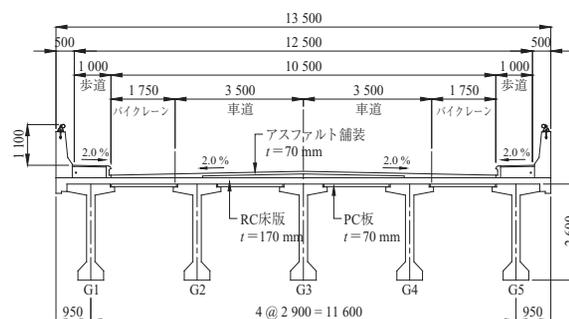


図 - 10 アプローチ橋 主桁断面図

4.2 基礎工および下部工

アプローチ橋の基礎工は、直径1.0mから2.0m、最大長さ62mのコンクリート場所打ち杭であり、総計約150本を施工した。掘削は直径によりアースドリル工法とリバース工法にて行った。下部工については高さ15～35mのRC構造であり、橋脚断面は6.5×2.1mの楕円形充実断面である。施工ブロック長は4.0mを標準とし、型枠は作業足場を一体化したシステム型枠を採用した。また、鉄筋組立てでは主要鉄筋をヤードで地組して架設するプレファブ化を採用した（写真-9）。



写真 - 9 橋脚鉄筋のプレファブ化

4.3 上部工

(1) PCI 桁の製作

PCI 桁は長さは 45 m、断面形状は桁高 2.6 m、ウェブ厚 230 mm、総重量は 130 t で国内でも最大級の主桁形状である。現場内の製作ヤードに 3 つの製作ベッドを設け、1 サイクル 9 日で製作を行った。PCI 桁は 1 径間に 5 本配置され、西側アプローチ橋で 100 本、東側アプローチ橋で 75 本の計 175 本の PCI 桁を東西のヤードで合計 1.5 年の歳月をかけて製作した。

型枠は鋼製型枠と溝形鋼が一体化され、それらをサポートにて支える型枠システムを採用した(写真 - 10)。このシステムはセパレータが不要であることおよび型枠パネル長さを 6 m として大型化したことから、型枠設置の工程短縮を図ることができた。

PCI 桁はウェブ厚が薄く下フランジ部へのコンクリート充填不足が懸念されたため、コンクリート打設時には一般的な高周波バイブレータのほかに型枠バイブレータを 3 m ごとに設けた。なお、事前に切り出しモデルによるコンクリート充填確認試験を実施した。また、PCI 桁の PC 鋼材は 12S15.2 が 5 本配置されており、緊張は両引きで実施した。



写真 - 10 PCI 桁型枠システム

(2) PCI 桁の架設

PCI 桁の架設方法は、抱込み式けた架設工法であり、2 組の架設桁の間を後方から運搬してきた PCI 桁を吊り上げ、所定の位置に移動させて設置した(写真 - 11)。架設は 1 日あたり約 2 本、1 径間 5 本の PCI 桁を 3 日のペースで進めた。また、PCI 桁は重量物であり、かつ桁高が高く

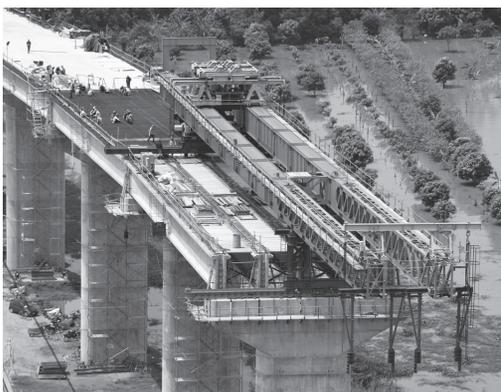


写真 - 11 PCI 桁架設状況

重心が上方にあり不安定であったため、運搬時や架設時には適切なサポート材やワイヤーにより十分な転倒防止対策を実施した。

(3) 床版および横桁の施工

PCI 桁を架設後は、埋設型枠となる厚さ 70 mm の PC 板を敷設し、その上に厚さ 170 mm コンクリートを打設して RC 構造の床版を構築した。また、アプローチ橋は 5 径間毎に連結して 1 橋を構成するため、床版打設後は支点横桁を打設して連続化を図った。なお、中間支点横桁部の上縁にはコンクリート打設による負の曲げモーメントが発生するため、支間部の床版を先行して打設した。床版の施工は 1 径間幅員 13.5 m、長さ 45 m の約 600 m² を 20 日のサイクルで実施した。

5. おわりに

2015 年 1 月に公募により橋梁部全体の名前が「つばさ橋」と命名され(写真 - 12)、2015 年 1 月 14 日にはフンセン首相の出席の下、閉合式が行われた。また、2015 年 4 月初旬には開通式が計画されており、本プロジェクトの完成により ASEAN 諸国の更なる経済発展が期待されている。さらに、本プロジェクトにはカンボジア国内初の長大斜張橋であることから同国への建設技術移転も期待されており、プロジェクトを通して現地エンジニアおよび作業員の建設技術は飛躍的に向上したものと考えている。



写真 - 12 ネアックルン橋(つばさ橋)全体写真

2015 年 2 月現在、躯体工事はすべて完了し、橋面工および舗装を施工中であり、2015 年 3 月 15 日に竣工予定である。本稿が、今後の同種橋梁の施工において参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 北田郁夫, 飯島基裕, 金重順一: メコン河に架ける橋 - カンボジア ネアックルン橋建設工事 - 土木施工, Vol.54, No.12, pp.41-44, 2013.12
- 2) 小口 浩, 久野隆博, 荒巻武文, 大場義人, 中村收志, 小林秀人: 矢部川橋梁の施工, 橋梁と基礎, Vol.42, No.3, pp.5-12, 2008.3
- 3) 中村智樹, 土田一輝, 大野 浩, 永元直樹: バイチャイ橋建設工事, プレストレストコンクリート, Vol.49, No.1, pp.11-19, 2007.1

【2015 年 3 月 4 日受付】