

PC 6 径間連続ラーメン橋の 水平加圧による橋脚発生断面力の低減

向市 博昭*1・奥村 知央*2・本田 英尚*3・榊原 直樹*4

1. まえがき

ベトナム社会主義共和国の首都ハノイ市では、北部地域の物流の効率化と慢性化する交通渋滞解消を目的とするインフラの整備が最重要課題としてすすめられている。そのなかで紅河橋は、ハノイ市を2分する紅河を跨ぎ国道1号線と5号線を結び、市内の交通渋滞解消を目的に計画された第3環状バイパス道路(図-1参照)の一部である。

本橋梁建設工事は、日本国の円借款援助によりベトナム運輸省のもと(株)大林組と三井住友建設(株)の共同企業体により2002年11月に全工期48箇月で着工された。

本報告では、維持管理性を最優先として採用された固定

支間長に比べ橋脚高さが低い河川内のPC6径間連続ラーメン橋において、上部工完成後にクリープ・乾燥収縮と温度変化により将来発生する大きな橋脚下端の断面力に対して、中央閉合前に上部工の張出し桁先端間で橋軸方向に水平力を導入し、将来発生する断面力と反対方向に断面力を作用させる反力調整工(本橋では、水平加圧と呼ぶ)の設計・施工について報告する。

2. 工事概要

本橋梁は橋長3084mの上下線を有する4種類の橋梁で図-2に示すように構成されている。各橋梁名とその支間構成を表-1に示す。本報告の対象橋梁は、図表中④のPC6径間連続ラーメン橋(以下メインブリッジと記す)である。

工事名称：Red River Bridge Construction Project Package-1

発注者：ベトナム社会主義共和国運輸省タンロン工務局

施工場所：ベトナム社会主義共和国 ハノイ市

工期：2002年11月28日～2006年11月27日(48箇月)

工事内容：橋梁部 橋長3084m、全幅16.1m×上下線
管理建屋(7階建)延床面積 6500m²

工事数量：コンクリート 390000m³

鉄筋 38000t

PC鋼材 3300t

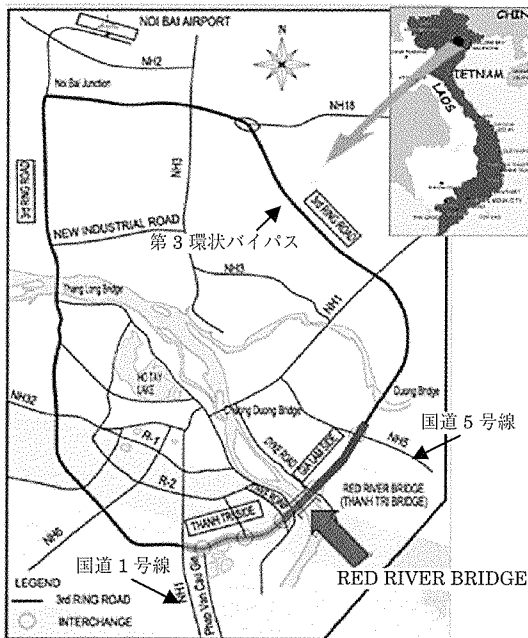


図-1 位置図

表-1 各橋梁の支間構成

橋梁名	橋梁形式	橋長 (m)
① アプローチブリッジ-1	PC 5 径間連続橋	5@50 = 250
	PC 6 径間連続橋	6@50 = 300
② アプローチブリッジ-2	PC 3 径間連続合成1桁橋	3@33 = 99
③ ダイクブリッジ	PC 3 径間連続ラーメン橋	80 + 130 + 80 = 290
④ メインブリッジ	PC 6 径間連続ラーメン橋	80 + 4@130 + 80 = 680

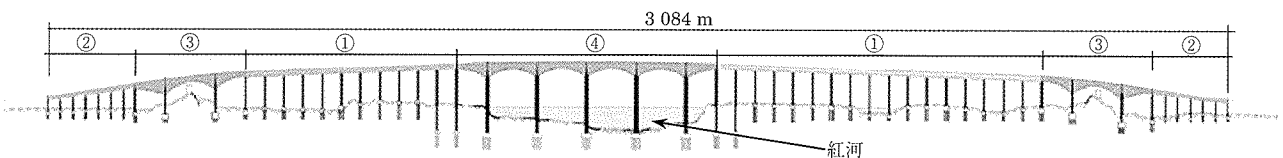


図-2 各橋梁の構成図

*1 Hiroaki MUKAICHI : (株)パシフィックコンサルタンツインターナショナル 道路交通事業部 プロジェクト部長

*2 Toshio OKUMURA : (株)大林組・三井住友建設(株)共同企業体 ハノイ紅河橋工事事務所 所長

*3 Hidenao HONDA : (株)大林組・三井住友建設(株)共同企業体 ハノイ紅河橋工事事務所 副所長

*4 Naoki SAKAKIBARA : (株)大林組・三井住友建設(株)共同企業体 ハノイ紅河橋工事事務所 上部工グループ長

3. メインブリッジの問題点とその解決方法

3.1 メインブリッジの構造的特徴

メインブリッジの橋梁完成写真を写真-1、構造一般図を図-3に示す。上部工構造は、中央径間が130mのPC6径間連続ラーメン橋で主桁断面は2室箱桁であり、上下線の橋脚は同一のフーチング上に載っている。本橋は、将来の維持管理を軽減するためラーメン剛結構造が採用された。そのため、固定支間長(L)が520m、橋脚高さ(H)が28m、その比(L/H)は18.5となっており、通常のラーメン構造の実績値が10以下であるのに比べると、固定支間長に対して橋脚高さが非常に低い構造となっている。

3.2 構造的課題とその解決方法

固定支間長と橋脚高さの比で非常に橋脚高さが低いメインブリッジは、上部工のクリープ・乾燥収縮と完成後の温度変化の影響でラーメン橋脚の下端に大きな断面力が発生

する。そのため、橋脚下端構造安全性の向上が大きな課題であった。なお、設計条件は、ベトナム北部での気象条件を考慮し、相対湿度83%、温度変化±15℃と設定し、東南アジアの橋梁としては、温度変化の値が大きくなっている。

そこで、将来発生する橋梁中央側への橋脚断面力の低減を目的として、あらかじめ反対方向の断面力を付加する対策工法を採用し、上部工張出し施工完了後の中央閉合時に主桁に水平加圧を実施する計画とした。水平加圧による対処方法のコンセプトを図-4にまとめて示す。水平加圧は、中央のP24橋脚に対し左右同時に水平力を導入する。P24橋脚を中心として1次加圧(P23-P24間とP24-P25間)と、2次加圧(P22-P23間とP25-P26間)の2段階に分けて加圧した。導入する水平加圧力は、一般的な弾性解析とともに、橋脚のひび割れ発生による剛性変化を考慮した非線形解析を実施し、必要加圧力を算出した。その結果を

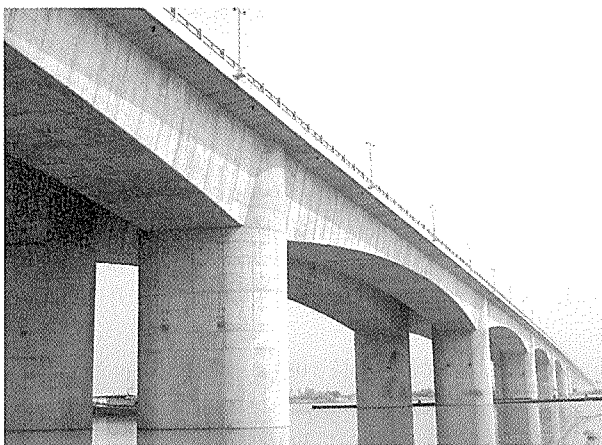


写真-1 メインブリッジの完成写真

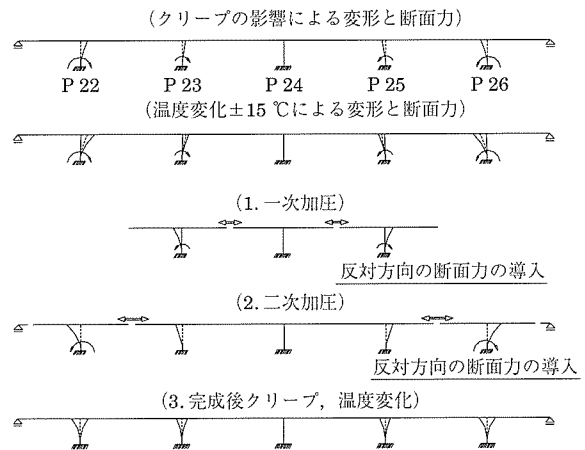


図-4 水平加圧のコンセプト

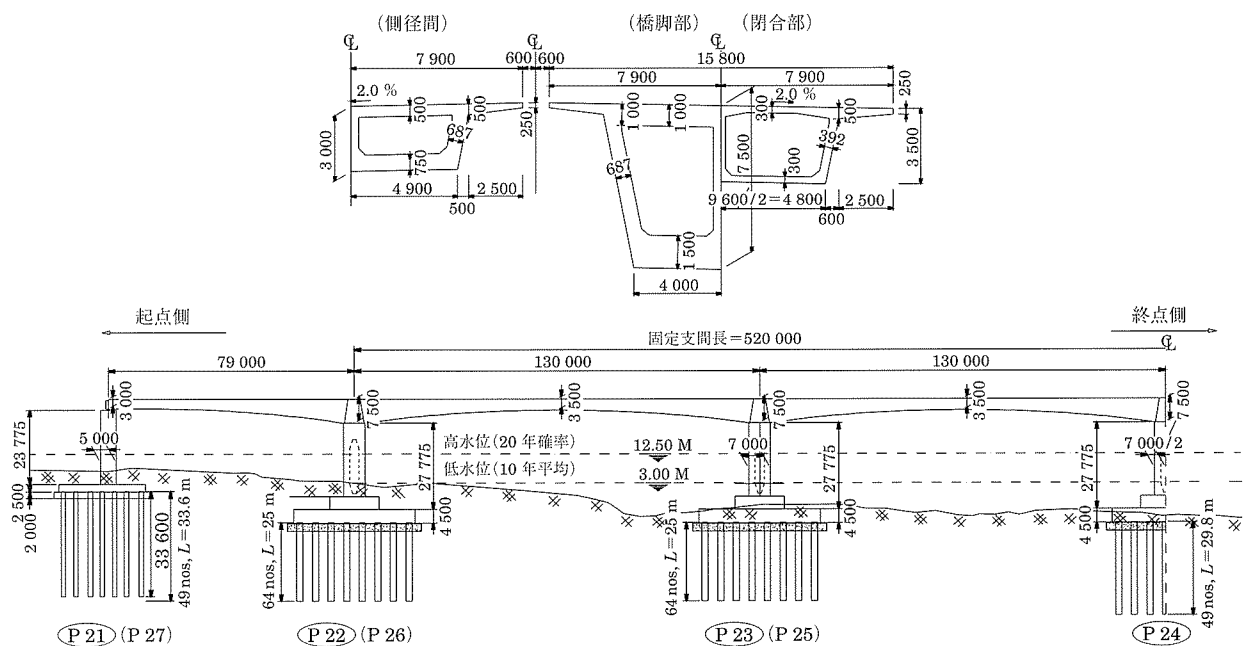


図-3 構造一般図

表 - 2 に示す。最大加圧力は、2 次加圧力で 15 000 ～ 24 000 kN と、大きな加圧力となった。これらの水平加圧力により導入された橋脚の断面力は、その後のクリープ・乾燥収縮により減少し、最終的に残存するのは導入時の 60 % 未満である。

表 - 2 必要加圧力

	弾性解析結果	非線形解析結果
1 次加圧力 (kN)	12 000	6 000
2 次加圧力 (kN)	24 000	15 000

4. 水平加圧の計画

4.1 水平加圧設備の構造概要

図 - 5 に水平加圧設備の構造図と写真 - 2 に実物大模型を示す。加圧部の補強設計では、おのおのの最大加圧力を設計荷重とし、1 次加圧と 2 次加圧とで転用する加圧設備の設計では、設計最大加圧力 24 000 kN を設計荷重として部材設計およびその照査を行った。

水平加圧設備の概要は、以下のとおりである。

- ① 水平加圧用ジャッキ
- ② 水平加圧反力架台
- ③ 水平加圧力導入用突起
- ④ 鉛直方向の主桁変形抑制梁

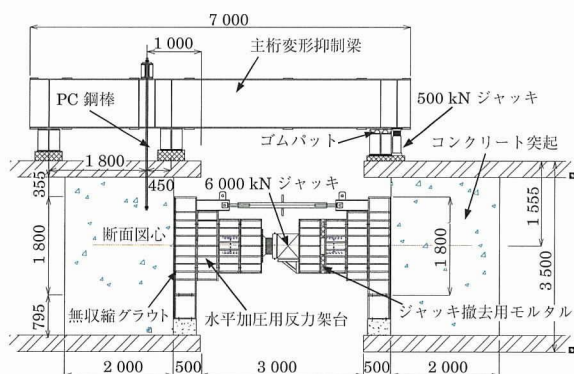


図 - 5 水平加圧設備の構造図



写真 - 2 実物大模型

水平加圧用ジャッキは、加圧位置の主桁断面の図心位置に配置した。

水平加圧反力架台は、ウェブのコンクリート突起にジャッキからの加圧力をスムーズに伝達させるため、コンクリート突起面と反力架台の間を無収縮グラウトで充てんした。また、水平方向への座屈防止のため、加圧力の 20 % 程度に抵抗できるよう写真 - 2 に示す座屈防止部材 (H - 300) を配置した。水平加圧終了後、ジャッキをロックナットで固定して加圧力を維持させ、中央閉合コンクリートの打設、連結 PC 鋼材の 20 % 緊張後にジャッキの取外しを行った。撤去方法は、反力架台の一部に無収縮モルタル部を設け、それをはつる方法で行った。

本橋での水平加圧は、中央の橋脚である P 24 を反力台として、両外側の橋脚に変形を与える方法で行っている。このため、構造解析上水平加圧時に主桁先端どうしの鉛直変位差が生じることとなる。しかし、実際の水平加圧時には、ジャッキ反力で主桁先端どうしが拘束された状態となり、この構造解析で得られた変位差 (上げ越し計算に考慮) が生じないため、加圧前に主桁先端どうしの高さを合わせておく必要があった。その対応策として、水平加圧前に主桁変形抑制梁を用いジャッキ加圧により主桁先端どうしを強制的に変形させ、水平化させることとした。

4.2 水平加圧突起の設計

水平加圧を受ける主桁側の構造は、水平加圧力が最大 24 000 kN と大きくなるため、コンクリート突起とした。この突起は、水平加圧をジャッキ 4 台で行うため、ウェブ両側 4 箇所に上下スラブを繋ぐ構造とし、ジャッキ寸法・閉合部の型枠形状を考慮して幅 60 cm、奥行きは加圧力 24 000 kN、12 000 kN に対してそれぞれ 2.0 m、1.5 m とし、FEM 解析にて必要補強鉄筋量を算出した。図 - 6 に示す FEM 解析結果を示す。

4.3 水平加圧作業の計画

水平加圧作業の計画では、以下の理由から、より安全で確実な施工計画が要求されたため、地上で実物大模型を製作し試験施工を行った。

- ① 最大水平加圧力が 24 000 kN と大きく、作業時の安全性の確保が重要であった。
- ② P 24 の中央橋脚を中心に左右対称同時に 1 次加圧と 2 次加圧をする必要があり、実施例はない。

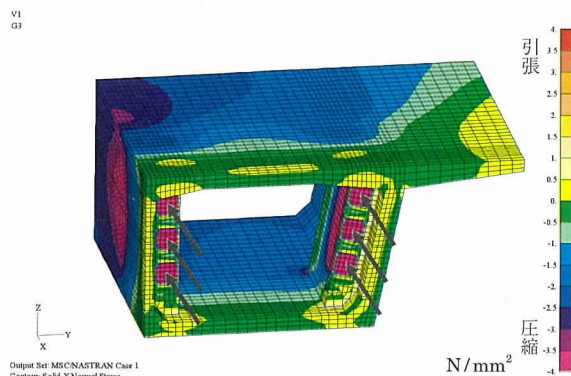


図 - 6 突起の FEM 解析結果

③ 上下線で加圧箇所が合計 8 箇所あり、設備転用上の作業効率が要求された。

試験施工では、水平加圧反力架台の組立て方法の検討、鉄筋組立て作業空間の確認および内型枠の構造検討に着手して行った。

水平加圧作業を含む中央閉合工の一連の作業フローを図-7に示す。水平加圧時の加圧サイクルについては、日照による桁伸縮の影響、コンクリートの遅れ弾性の影響および杭基礎のバネの影響を考慮し加圧時間を早朝より3時間で行い、翌日早朝に所定の加圧力まで再加圧した。

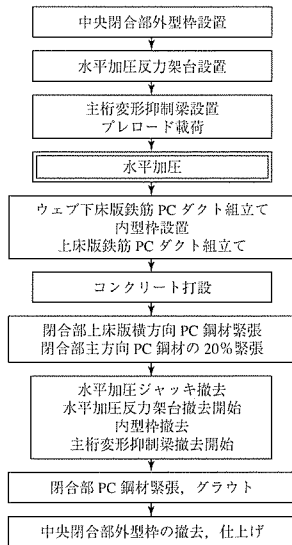


図-7 水平加圧および中央閉合の作業フロー

ジャッキとポンプについては、1 回に 1 箇所 4 台合計 8 台の 6 000 kN ジャッキを用い、均等な力で加圧できるように高圧ホースの長さを等しくし、ポンプ 1 台で 2 台のジャッキをコントロールした。ポンプとジャッキの配置図を図-8に示す。

施工工程上載荷設備は、2 組を 2 回転用した。ジャッキは、1 次加圧 2 回と 2 次加圧 2 回で 6 000 kN ジャッキ 8 台を 4 回転用することで計画したが、工程短縮のために加圧力の小さい 1 次加圧時に容易に調達可能な 3 000 kN ジャ

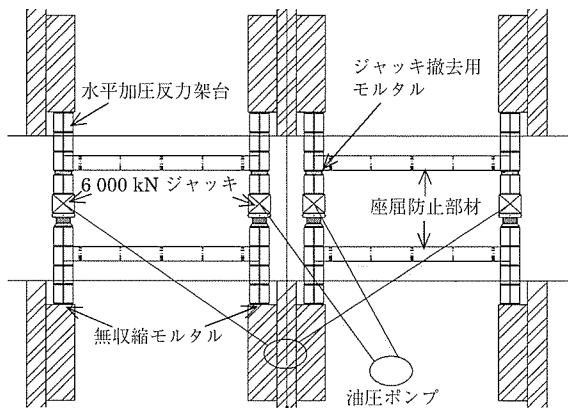


図-8 ジャッキとポンプの配置図

キ 8 台を 1 回使用することで、工程上クリティカルな 6 000 kN ジャッキの転用回数を 3 回とした。

4.4 加圧力の確認方法の検討

水平加圧の効果確認方法としては、水平加圧により導入された断面力を橋脚下端でひずみゲージや応力計で直接計測する方法が一般的であるが、本橋では、橋脚下端が河川内でありその方法が困難であるため、橋面での橋脚上縁の橋脚変形量と水平加圧箇所での桁先端の間隔の変位量計測を行い、その変位量で加圧効果の確認を逆算することとした。

5. 水平加圧作業の結果とその評価

5.1 温度補正

水平加圧は、設計計算上平均気温 25℃で検討されている。外気温差による桁の伸縮の影響を考慮し、加圧による変位量を温度補正するため、事前に中央閉合部の間隔測定を行った。その結果、外気温変化による主桁の伸縮量は設計値と同等であったため、橋体コンクリート温度変化 1℃に対し、1 次加圧時（伸縮桁長 260 m）では 2.6 mm、2 次加圧時（伸縮桁長 520 m）では 5.2 mm の温度補正を行った。

5.2 加圧管理限界の設定

弾性解析結果および非線形解析結果をもとに 1 次加圧および 2 次加圧での加圧管理限界を定めた。2 次加圧では、1 次加圧の結果から下部工剛性が高いことが判明したため、加圧上限の修正を行った。各加圧の上限値は図-9と図-10の加圧結果に上限値として示す。

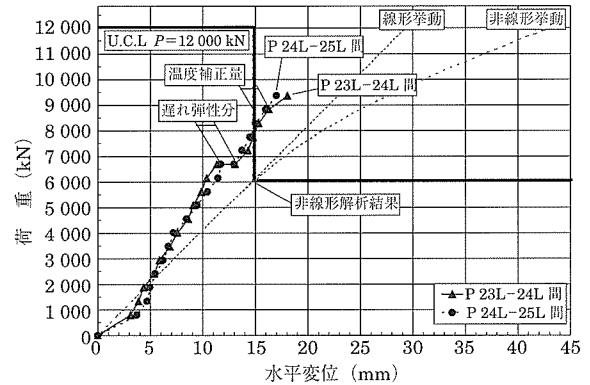


図-9 1次加圧管理結果

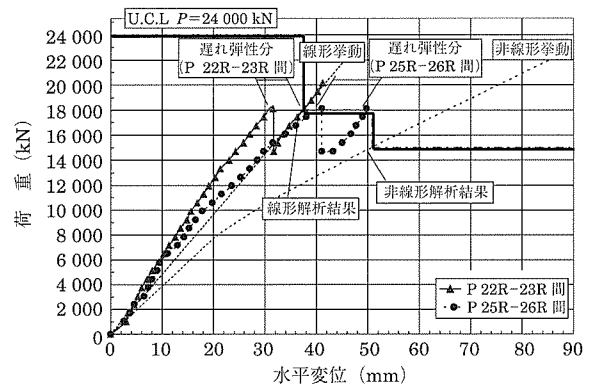


図-10 2次加圧管理結果

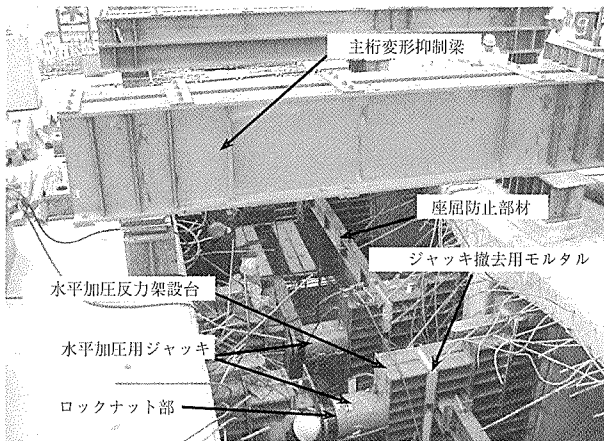


写真-3 水平加圧状況

5.3 水平加圧結果

水平加圧結果として、1次加圧ではL側と2次加圧ではR側の結果を示す。

(1) 1次水平加圧結果

図-9に示すように、P23とP25橋脚の剛性の差は計測されなかった。約7000kN加圧後、翌日に再加圧した際、2mmほどの遅れ変形を確認した。完全な弾性挙動ではなく、橋脚剛性の想定値よりも硬いことが判明した。外気温測定の結果、標準温度より2℃高い27℃であったため、2℃の温度補正を考慮し加圧力をさらに引き上げた。

(2) 2次水平加圧結果

図-10に示すように、8000kNから12000kNの間で非線形挙動がはじまっているものと思われる。作業2日目に再加圧した14000kN近傍で遅れ変形が8mm程度確認された。下部工は、当初解析値より剛性が高い挙動を示しており、またP22側がP26側に比べ剛性が高いことが判明した。最終の加圧力は荷重と変形の関係から下部工剛性を推定し、それに応じた値を再設定して決定した。

5.4 構造安全性の確認と評価

水平加圧の結果から、下部工全体の剛性（脚の弾性係数・杭のパネ値）が設計値に比べて大きいことがわかった。橋梁の構造安全性確認のため、想定された剛性値を用い、実際の加圧力を載荷し、完成構造系における主桁・橋脚の応力照査を行い、許容値内に収まっていることを確認した。

下部工剛性が当初設計値に比べ高い結果となったが、この要因としては、比較的急速な載荷といえる加圧作業に基礎パネ変形が遅れていること、橋脚コンクリート強度が設計値より大きく発現していることなどが考えられた。

5.5 水平加圧作業結果とまとめ

表-3に実施施工工程、写真-4にコンクリート打設後の状況を示す。橋面上の揚上設備台数の制約で、水平加圧反力架台の移動に手間どったもののおおむね計画工程どおりに中央閉合を完了できた。今回の水平加圧作業では、直接的な作用断面力の測定ができなかったが、加圧管理表でその効果を確認できたものとする。

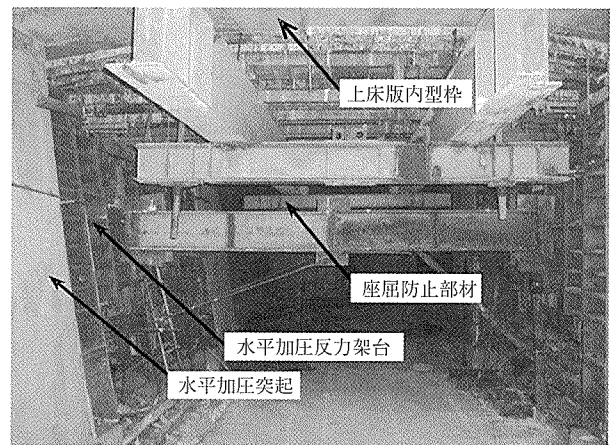


写真-4 コンクリート打設後（桁内状況）

表-3 水平加圧作業の実施工程

		6月					7月					8月					
		15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
1次加圧	P 23-P 24R			○		○	○	○	○	○	○						
	P 24-P 25R					○	○	○	○	○	○						
	6 000 kN ジャッキ*4台*2組		○														
	P 23-P 24L																
	P 24-P 25L																
	3 000 kN ジャッキ*4台*2組																
2次加圧	P 22-P 23L																
	P 25-P 26L																
	6 000 kN ジャッキ*4台*2組																
	P 22-P 23R																
	P 25-P 26R																
	6 000 kN ジャッキ*4台*2組																

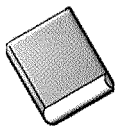
6. あとがき

メインブリッジは側径間部の最終閉合を2006年8月18日に無事終了し、舗装工事も10月20日に終了した。

現在使用されている紅河上流の橋梁の老朽化への対応と

して、本橋梁の仮交通開放に関係各所より関心がよせられており、現在橋梁両岸のアプローチ道路の施工が急ピッチですすめられている。今後、インフラ整備によるこれからのベトナムの発展を祈念し本報告の結びとしたい。

【2006年11月8日受付】



新刊図書案内

PC技術規準シリーズ

外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法 設計施工規準

頒布価格：会員特価 4 000 円（送料 500 円）

：非会員価格 4 725 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版