

ラオス・ヒンフープ橋の施工

中元 修*1・中村 具公*2・立花 勝利*3・藤熊 昌孝*4

ラオス国は、周囲をタイ、ミャンマー、中国、ベトナム、カンボジアの5カ国に囲まれたインドシナ半島に位置する唯一の内陸国である。メコン川流域諸国間で提唱される大メコン圏（GMS）開発構想では、主要回廊が交差する交通の要衝として、ラオスの交通インフラ整備への期待が高まっている。当該ヒンフープ橋が建設される国道13号（北線）は、ビエンチャンを起点とし、終点の北端を中国の国境とする。他方、国道13号（南線）は、同様にビエンチャンを起点とし、終点の南端をカンボジアの国境とする。当該橋梁工事は3カ国を連携するラオス最長の重要幹線道路（国道13号）に架かる最後の主要橋梁架替え工事である。

キーワード：ラオス、重要幹線道路の最後の架橋、雨季乾季の水位差、PC 押出し工法、安全な橋梁架設

1. はじめに

本プロジェクトは、東南アジア諸国の中でも最貧困国に位置付けられるラオス（図-1）に対する無償資金協力事業（ODA）である。当該ヒンフープ橋建設工事現場は、首都ビエンチャンより、国道13号の北線（写真-1）を約95km北上した地点に位置する（図-2）。

本橋梁工事では、ラオスで初めてとなる「PC 押出し工法」が採用された。架橋するリック川の雨季と乾季の水位差は約14mにも達するため、桁下空間の要件に制約を受けず桁架設可能な工法が必要とされた。

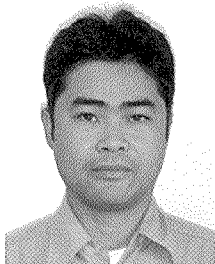
亜熱帯の過酷な東南アジアの気象条件下で、熟練作業員



図-1 ラオス共和国位置図

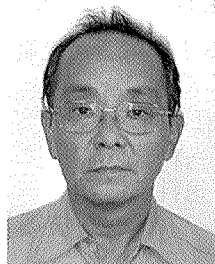


写真-1 国道13号の交通状況



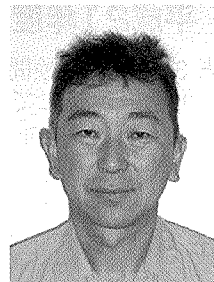
*1 Osamu NAKAMOTO

(株) 銭高組 国際支店
ヒンフープ橋 主任技術者



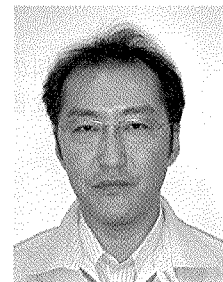
*2 Tomokimi NAKAMURA

(株) 銭高組 国際支店
ヒンフープ橋 作業所長



*3 Katsutoshi TACHIBANA

(株) 銭高組 国際支店
ヒンフープ橋 上部主任



*4 Masataka FUJIKUMA

(株) オリエンタルコンサルタンツ
ヒンフープ橋 常駐監理者

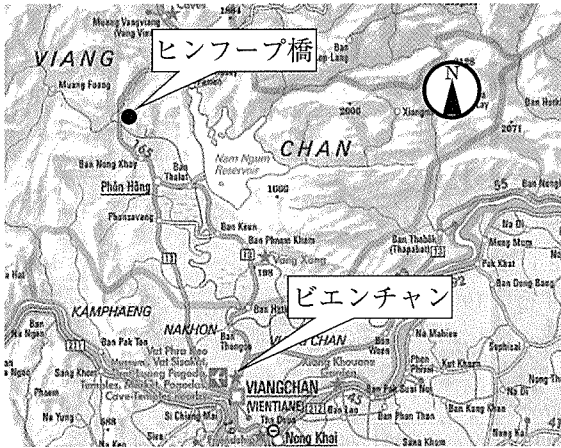


図 - 2 架橋位置図

の調達が困難な発展途上国での橋梁架設では、品質および安全対策が重要な課題となる。当該プロジェクトは、人口6百万人と少なく、必然的に労働人口（≒人材）が不足するラオスにおいて、品質を確保し、安全に橋梁架設を行う必要がある。上屋を配した桁製作ヤードでのブロック桁製作から架設となる押し出し工法は、日中の炎天下における作業環境を改善し、熟練工が少ない桁製作では、限定されたヤード内の集中管理により品質確保を可能とした。危険を伴う橋脚柱頭部など、高所への移動・作業をほとんど必要とせず、油圧ジャッキにより、陸上部から桁を順次架設していく。日本国内の工事以上に、「PC押し出し工法」の優位性が、海外の発展途上国で発揮されたプロジェクトである。

2. 橋梁概要

本橋は反力集中方式によるA1側からA2側へ（上り勾配1%）のPC押し出し工法により架設される。PC押し出し工法とは、桁の製作ヤード（写真-3）でプレストレストコンクリート桁を製作し、それを前方へ移動させることにより橋体を完成させる工法である。PC押し出し工法協会資料によれば、日本国内でのPC押し出し工法による施工実績は200橋を数えるに至っている。

橋梁諸元を以下に示す。

- 構造形式：PC 5 径間連続箱桁橋
- 箱式橋台 2 基
- 小判型壁橋脚 4 基
- 設計荷重：B 活荷重



写真 - 2 押し出し架設時の全景

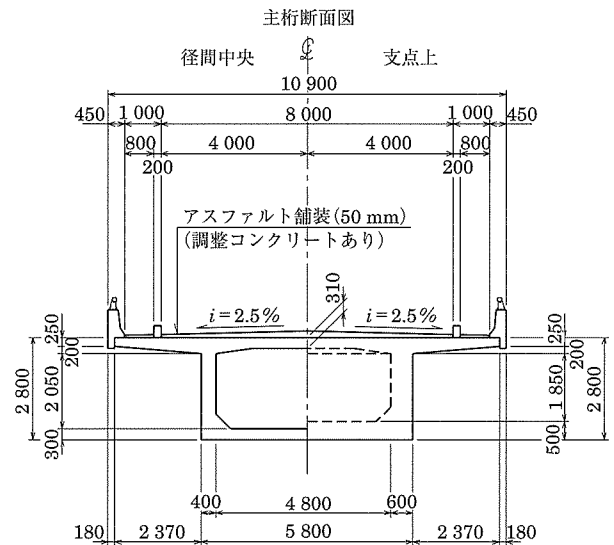


図 - 3 主桁断面図

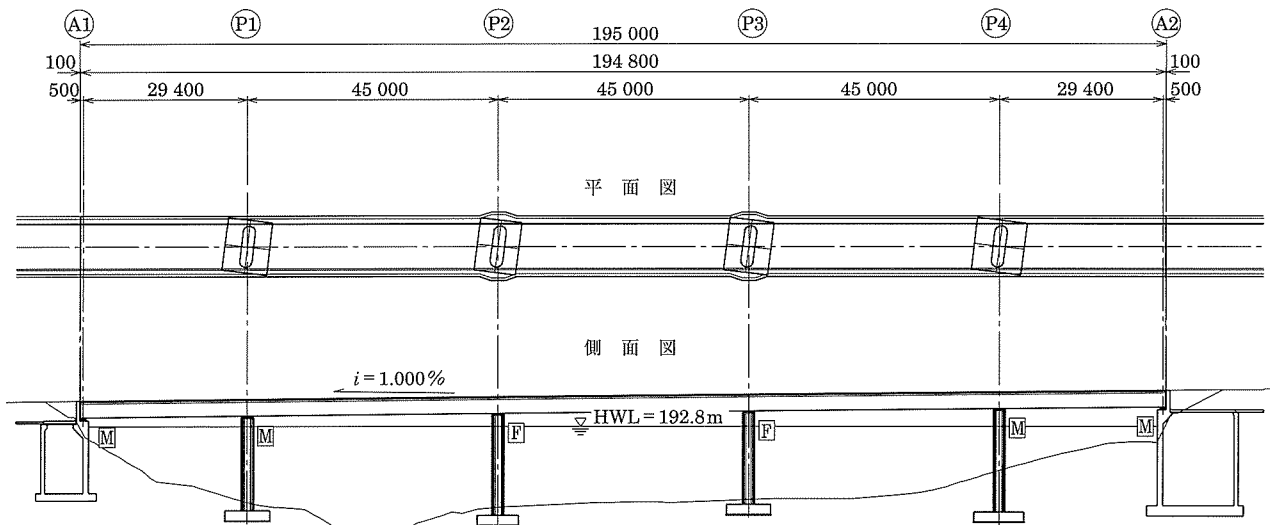


図 - 4 構造一般図

橋 長：195 000 m
 支 間 長：29 400 m + 3@45 000 m + 29 400 m
 全 幅 員：10 900 m
 桁 高：2 800 m
 平面線形：R = ∞
 縦断勾配：(A1) $\underline{1.000\%}$ (A2)
 適用示方書：道路橋示方書・同解説

PC 鋼材
 1 次鋼材 SBPR930/1180 ϕ 32 B 種 2 号
 2 次鋼材 SWPR7BL 12S15.2
 床版・横桁横締め鋼材 SWPR19L 1S28.6
 せん断鋼材 SBPR930/1180 ϕ 32 B 種 2 号

平成 14 年 3 月 (社)日本道路協会
 主要材料：上部工コンクリート $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$
 鉄筋 SD 295

3. 上部工の施工

3.1 工事工程

主桁は 19 ブロックに分割して施工した。ブロック長は、
 端支点横桁ブロック 7.65 m，中間支点横桁ブロック 10.5 m，

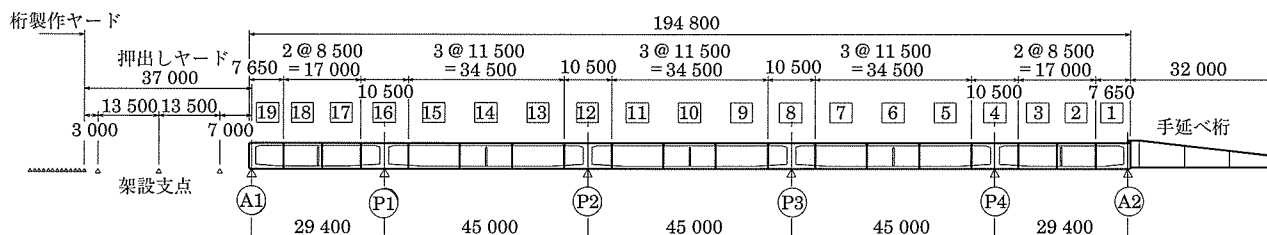


図-5 施工ブロック図

No.	工種	2007年				2008年												2009年												
		9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
1	準備工																													
2.1	A1 橋台工																													
2.2	A2 橋台工																													
2.3	P1 橋脚工																													
2.4	P2 橋脚工																													
2.5	P3 橋脚工																													
2.6	P4 橋脚工																													
3.1	主桁製作, 押出し設備設置工																													
3.2	主桁製作, 押出し工																													
3.3	連続ケーブル工																													
4	橋梁付属物工																													
5	取付道路工																													
6	道路付属物工																													

図-6 工事工程表



写真-3 桁製作ヤード (A1 橋台側)

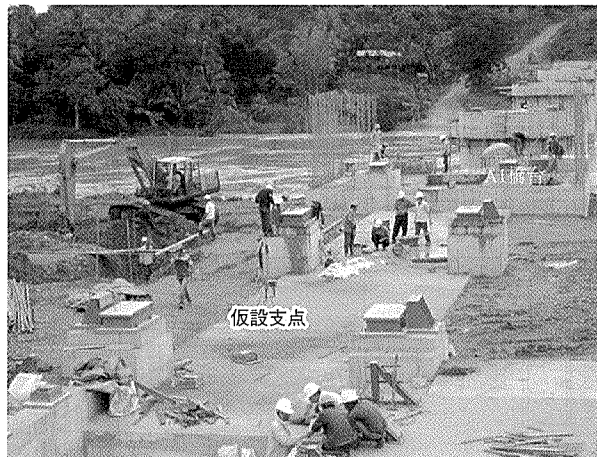


写真-4 押出しヤード

支間ブロック 8.5 m, 11.5 m の 4 種類である。

押出し架設時に必要なプレストレスを導入するための 1 次鋼材 (SBPR930/1180 ϕ 32) は上下床版に直線的に配置されており、コンクリート打設ののちに製作ヤードで毎ブロック緊張される。

押出し架設中の桁は、ある断面位置に着目してみると支点上を通過する際と支点の中間に位置する場合で、自重による曲げモーメントやせん断力が大きく変化する。このような架設中の断面力の変化に対し合理的なプレストレスを導入しようとした場合、1 次鋼材は供用時に支点上となる断面も支間中央部になる断面も軸力の導入がメインとなるほぼ同じような配置パターンとなるのが一般的である。

施工ブロックを図 - 5、工事工程表を図 - 6 に示す。

3.2 架設時の検討

(1) 押出しケーブル定着部の補強

詳細設計では押出しケーブルを介して主桁部材に作用する局部応力に対する検討はされていないため、施工時検討として押出しケーブル定着部の検討を行った。検討概要は以下のとおりである。

[STEP-1]

3 次元 FEM 解析により、現状の形状寸法の下床版に反力治具を介して押出しケーブル張力を作用させ、定着部近傍の下床版の応力状態を確認した (図 - 7)。

[STEP-2]

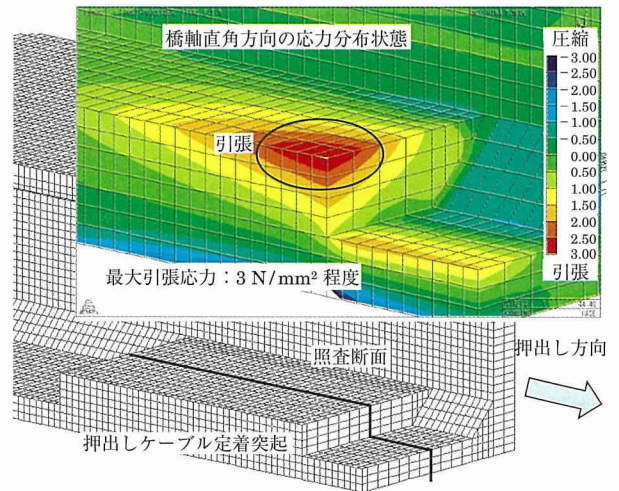


図 - 7 FEM 解析による定着部の応力分布状態



写真 - 5 押出しケーブル定着部の補強状況

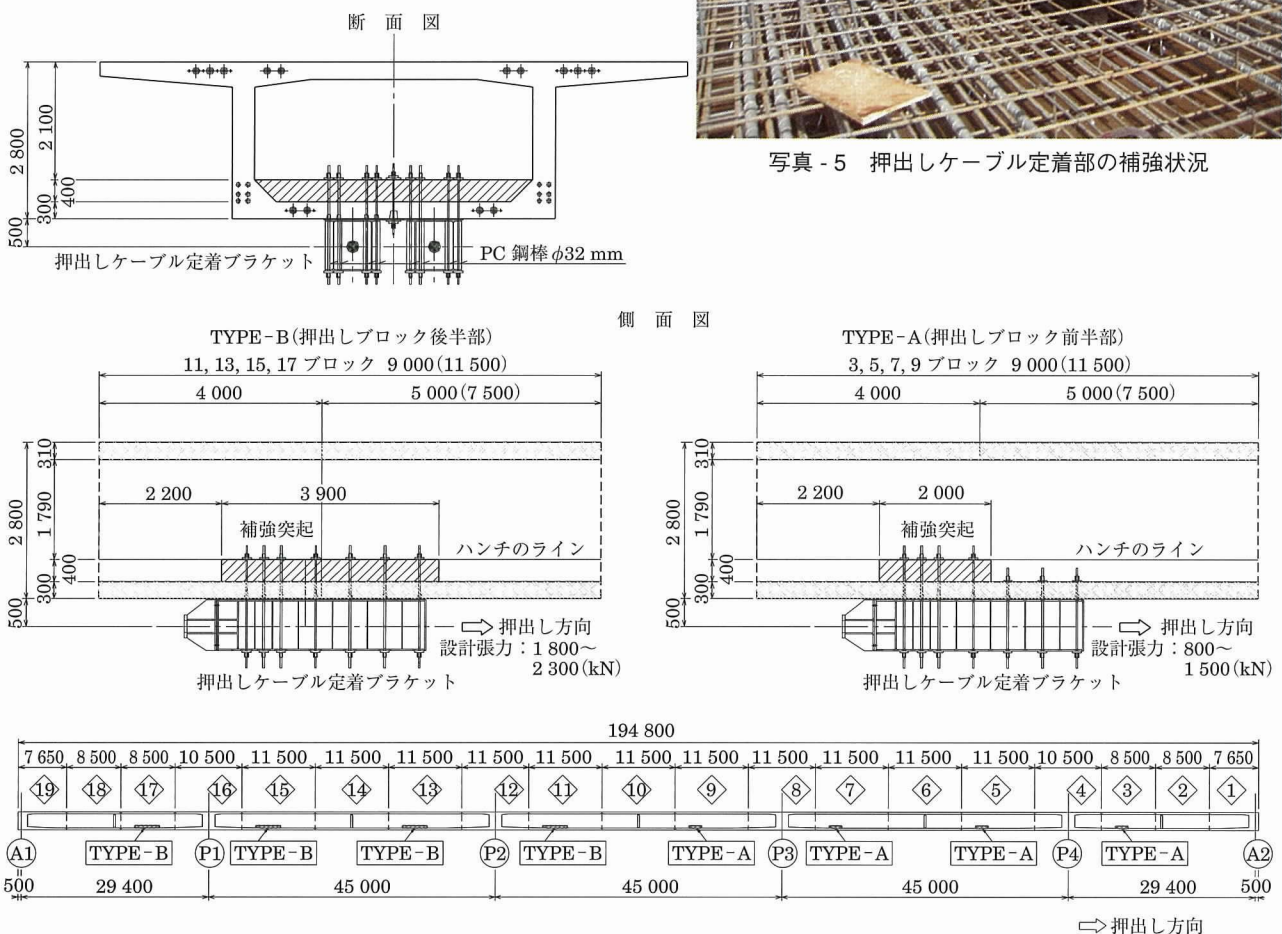


図 - 8 押出しケーブル定着部の補強

現下床版厚ではコンクリートに生じる引張応力が5 N/mm²以上となり、補強鉄筋量が過度に増加するため、下床版に応力緩和を目的とした突起形状の補強部材を設置することとした(図-8)。

[STEP-3]

下床版と一体構造の突起部材を設置し、コンクリートに生じる引張応力を3 N/mm²程度に低減させた。その後、コンクリートに生じる引張応力を補強鉄筋に負担させるRC構造の補強部材の詳細を決定した。補強鉄筋は施工性を考慮して最大D19ctc125としている(写真-5)。

[STEP-4]

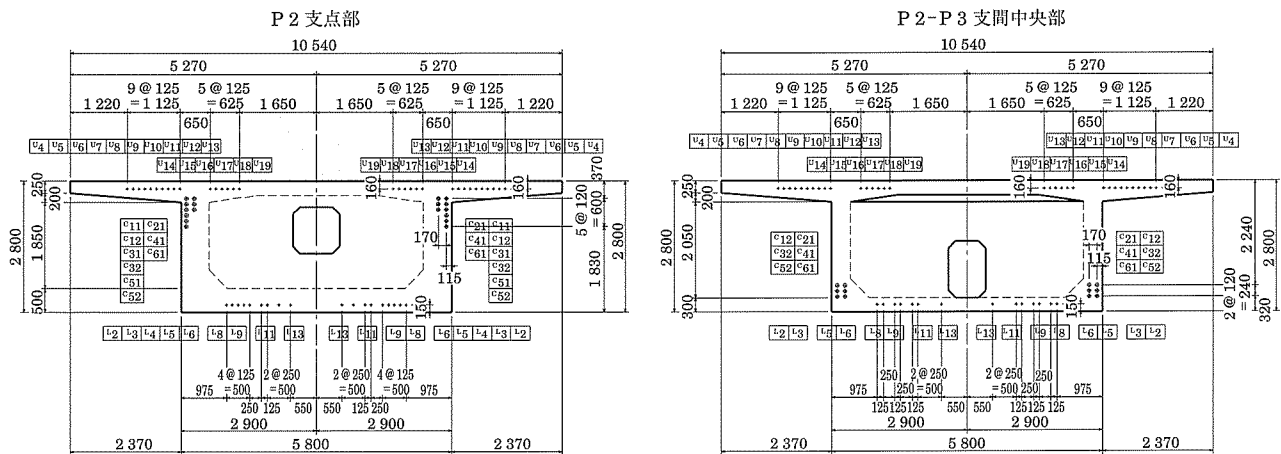
補強部材による主桁荷重の増加の影響を考慮するため、全体系の押しステップ解析を再度行い、主桁応力が許容値以下であることを確認した。

(2) 2次鋼材の配置変更

押し架設後に、活荷重に対する2次鋼材(SWPR7BL12S15.2)がウェブに配置される。当初、すべての2次鋼材は1本で両側の桁端部において両引き緊張するようになっていた。この場合、ケーブル1本の長さが約196 mとなることから、以下のような施工上の課題があった。

- ① プッシングマシンによるケーブル挿入時に大きな抵抗が生じて挿入が困難となる可能性がある。
- ② グラウト施工時に1箇所からのグラウト注入では注入圧が高くなり過ぎる。そのため、注入孔の盛換え回数が増加し施工性が低下する。

そこで、施工時設計においてすべての2次鋼材を2本に分割し、ケーブル1本あたりの長さを85 m、130 m程度と短くした。2次鋼材の連続性はウェブ外側に配置されてい



1次鋼材(鋼棒φ32:上下床版に配置), 2次鋼材(12S15.2:ウェブに配置)

図-9 PC鋼材断面配置図

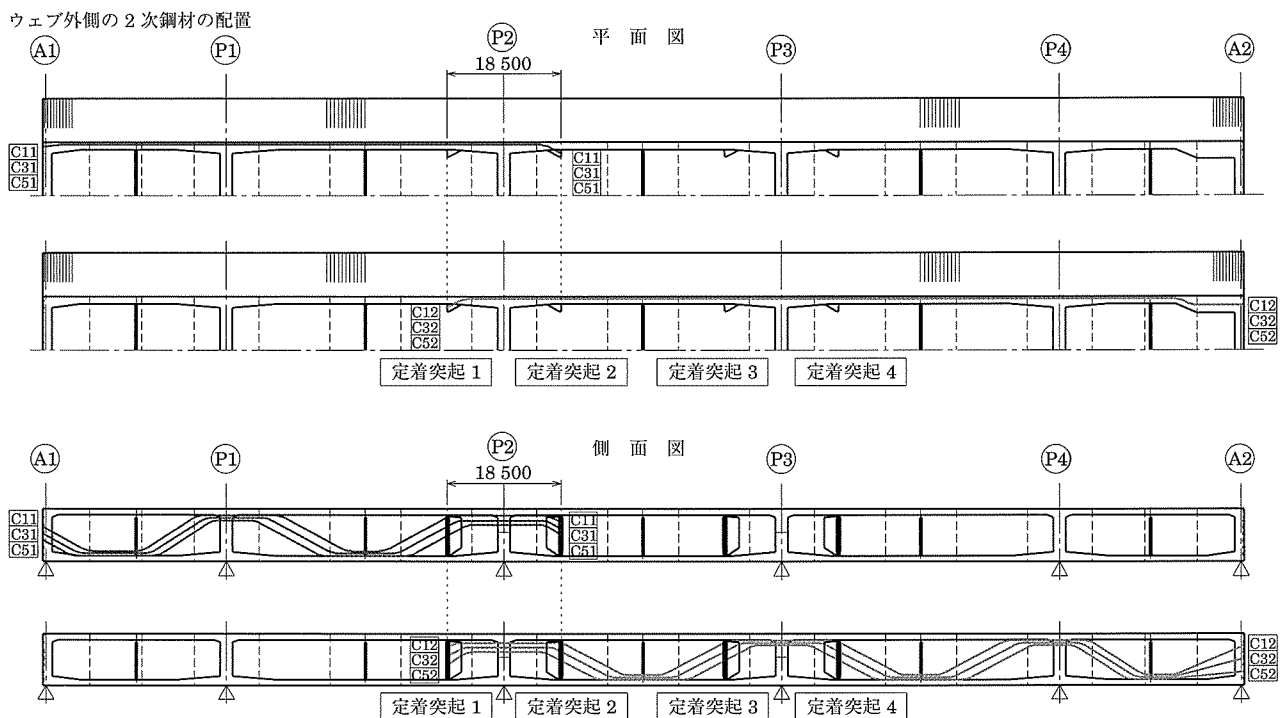


図-10 2次鋼材配置イメージ図

るものはP2横桁部で、ウェブ内側に配置されているものはP3横桁部で重複交差（たすき掛け配置）させることで確保し、ウェブ内側に定着突起を設けて両引き緊張とした。また、緊張端から鋼材不動点までの距離が短くなったことによりシースとの摩擦による緊張力の低下も抑えられ、供用時の主桁応力がわずかながら改善される結果となった。

主桁断面における鋼材配置を図-9、2次鋼材の変更後の配置形状イメージを図-10に示す。

3.3 支承の盛換え工

本橋の支承はすべてタイプA支承が採用されており、P2、P3橋脚でアンカーバーにより主桁と橋脚が橋軸方向、橋軸直角方向ともに固定されている。押し出し架設時には主桁を仮設支承により支持し、押し出し作業が完了して主桁が正規の位置となり、2次鋼材の緊張後に本設支承に盛換えした。

2次鋼材の緊張時には、主桁の弾性短縮による主桁位置のずれが生じないように、P2、P3橋脚上でずれ防止のために必要な静止摩擦力を算定し、油圧ジャッキにより算定値まで鉛直反力を増加させて静止摩擦力を確保した。これにより、2次鋼材緊張時の不等な主桁移動は生じず、主桁位置の再調整は必要なかった。

本設支承への盛換え時には各支点ごとに約10mmのジャッキアップを行ったが、ジャッキアップによる主桁応力の変化を検討し、構造的安全性を事前に確認した。仮設支承の撤去フローを図-11、本設支承への盛換え作業手順を図

-12に示す。

3.4 落橋防止構造の施工

ラオスは日本に比べ地震が少なく、設計水平震度も $kh = 0.06$ と小さい。本橋はP2、P3橋脚に支承固定構造として

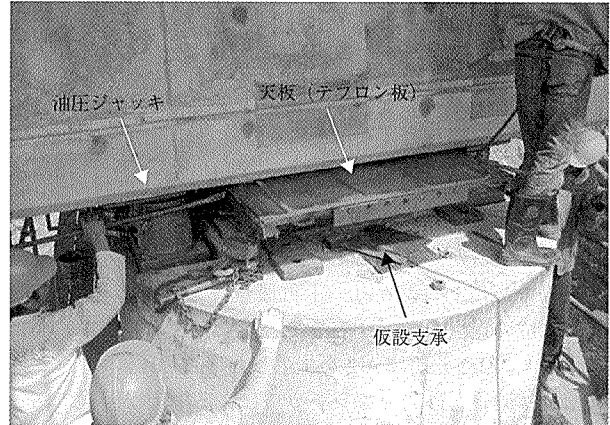


写真-6 支承の盛換え作業状況

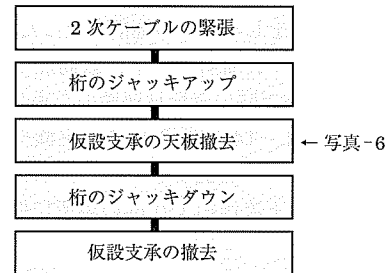


図-11 仮設支承撤去フロー図

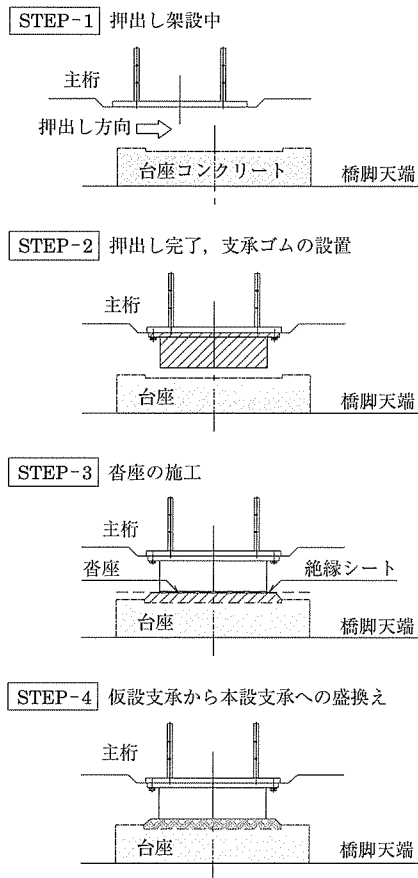


図-12 本設支承への盛換え作業手順

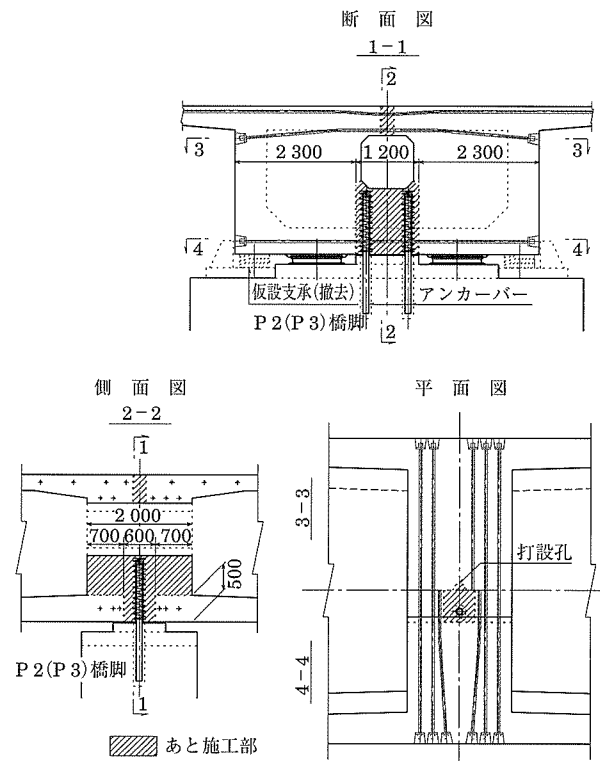


図-13 アンカーバー設置部詳細

アンカーバーを設置している。このアンカーバーは押し出し架設時には桁移動の妨げとなるため、押し出し作業が完了して本設支承に盛換え支持した後に設置した。P 2, P 3 横桁はアンカーバー周囲のコンクリートがあと打ちとなるため、押し出し架設時には横桁断面の一部が欠損しており、横桁横締めも未緊張の状態となるが、この場合にも構造的な安全性が確保できていることを事前に確認した。アンカーバーの設置部の詳細を図 - 13 に示す。

4. 下部工の施工

下部工は、橋台 2 基（箱式）、橋脚 4 基（小判型壁式）で構成されている。基礎は、すべて直接基礎である。河川内工事であるため、下部工の施工は渇水期に行った。型枠と足場の転用、コンクリート打設量、上部工の発進時期、河川水位の過去のデータ等を総合的に検討し、第 1 乾期に A 1～P 4、第 2 乾期に A 2 を施工した（図 - 6）。

地盤は硬質な砂岩でブレーカーによる掘削が困難であったため、発破工法による掘削を行った。渇水期であっても P 1～P 2 間の河道にはつねに水が流れている。P 1 と P 2 は河川から非常に近いため、岩盤の隙間から水が浸透し常時ポンプで水替えをしながらの掘削となった。

生コンプラント、資材ヤード、鉄筋加工場が A 1 側にあり、P 2～A 2 施工時に資機材運搬のためリック川を渡る必要があった（図 - 14）。施工場所へ重機や大型車両が通行する際、第三者との交通事故を避け、旧橋の負担を軽減するため、新橋の下流側約 150 m の場所に仮設棧橋を構築した。

工事期間中は、機械の故障、停電に備えたバックアップが重要であった。ラオス国は電力輸出国であるが、変電設備や送電設備が脆弱であるため、計画停電を除く突発的な停電が頻繁に起きる。そのため、コンクリート製造に支障が生じないように大型発電機を準備した。また、万一に備えて生コンプラントも簡易のモバイルプラントを別途設置した。コンクリートポンプ車は古いモデルのため故障が多く、シーゲーム（東南アジア諸国が参加する競技大会）のための球技場建設の繁盛期でありポンプ車の手配が困難であることから、クレーン、定置式ポンプ等の代替手段をつねに準備して施工を行った。

P 2 および P 3 橋脚頭部には、アンカー固定装置のための



写真 - 7 A 1 橋台型枠組立て状況

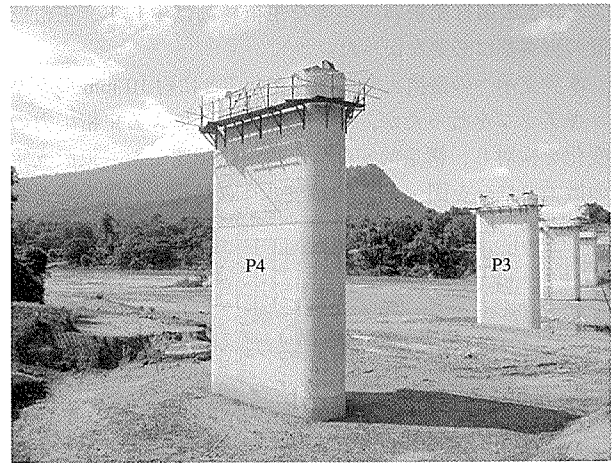


写真 - 8 P 1～P 4 橋脚の完成状況

箱抜き（φ 250）をする必要があった。そこで、東南アジアならではのユニークな方法で行った。箱抜きの材料にバナナの木を使用し、コンクリート打設から数日後に徐々に水分が抜けて容易に脱型ができた。

コンクリート工事に先立ち、打設量、プラントの供給能

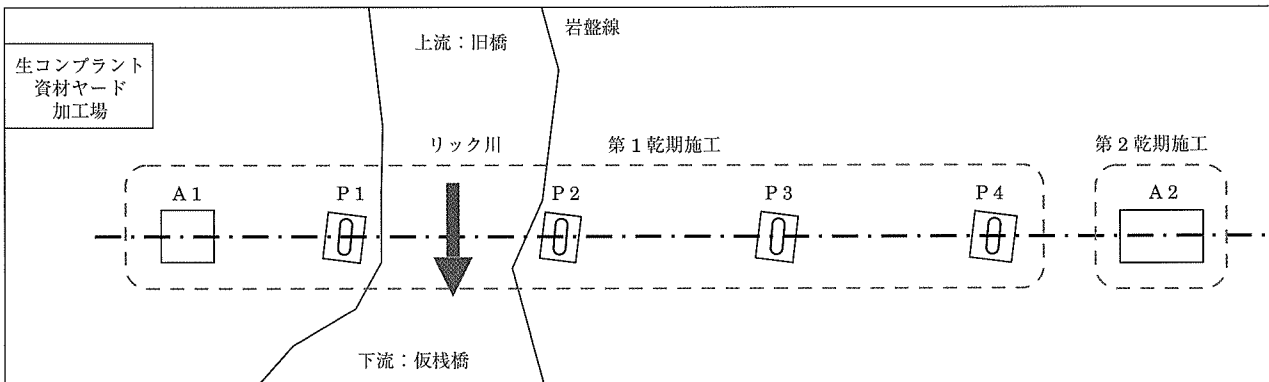


図 - 14 下部工平面図

表 - 1 橋台・橋脚のロット割り

構造物	ロット数	柱・壁高 (m)	コンクリート (m ³)
A 1 橋台	3	12.92	767
P 1 橋脚	4	16.40	392
P 2 橋脚	5	17.70	405
P 3 橋脚	4	16.70	390
P 4 橋脚	5	18.00	434
A 2 橋台	6	17.17	1 645

力、型枠パネル寸法等を考慮し、橋台および橋脚のロット割付けを決定した。(表 - 1) 橋脚上部では、型枠の固定が難しく、コンクリートによる側圧を低減するため各ロット高さを 4 m 以下に抑えた。

5. 資機材の調達

5.1 資機材の調達

ラオスは工業国でないため、機械や工業製品は輸入に頼らざるを得ない。国内調達は主にセメント、骨材である。その他は、近隣第三国および日本から調達した(表 - 2)。ヘルメットや安全帯などの安全用品も輸入品である。昨年の歴史的な原油価格高騰や鉄鉱石価格高騰の影響から、資材価格がプロジェクト期間を通じて上昇していった。鉄筋に至っては入札時より最高で 100 % 高騰した。

表 - 2 主要資機材の調達国

資機材	調達国
セメント	ラオス, タイ
異形鉄筋	日本, ベトナム, タイ, ラオス
PC 鋼材	日本, インドネシア
ゴム支承	日本
伸縮装置	日本
蛇籠・ジオテキスタイル	インドネシア, マレーシア
足場材	タイ
鋼製型枠	タイ

5.2 コンクリートの品質管理

下部工、上部工のコンクリートを供給するため、現場内に生コンプラントを建て、コンクリートの製造を行った。工事の過程でトラブルはつきものだが、中でも粗骨材への泥の付着、木片の混入が頻繁であったため、骨材を搬入する度に混入している木片を人海戦術にて手で除去し、散水車にて碎石表面に付着した泥の洗浄を行った。

骨材は、川砂、碎石を使用しているが、雨季になると河川が増水し浚渫不能になり、原石山の仮設道路が走行不能になる。そのため、工事に影響がないよう乾期中に雨季に必要な量を現場にあらかじめ貯蔵した。

配合設計にあたって、打設速度が遅いこと、乾期中に猛暑の中で施工すること、箱桁内がシースと鉄筋で密になることから、ワーカビリティを考慮しながら、コンクリートのスランブを決定した。コンクリートの打込みでは、打設温度の上昇を抑えるため、夜間打設、氷の使用、骨材のプレクーリング等を行った。夏季では、夜間であっても無対策で生コンを製造すると、温度が 35 度を越えることがあ

表 - 3 コンクリートの主な仕様

Class	Grade 21 (橋脚)	Grade 40 (箱桁)
設計強度	21 N/mm ²	40 N/mm ²
スランブ	12 cm ± 2.5 cm	15 cm ± 2.5 cm
単位セメント量 最小/最大	250 kg/規定なし	420 kg/475 kg
W/C	54 %	36 %

る。そのため、氷の供給を途切らせないよう現場に製氷プラントを設置した。

6. おわりに

本プロジェクトは、現橋(旧橋)の下流約 200 m の位置に新橋を建設するものである。旧橋はフランスの植民地時代に建設され、約 100 年は経過しており、3 本ある橋脚は無筋である。上部工は過去の洪水により流出し、現在、ベイリー橋(片側通行)に架け替えられ、中国へ接続する重要幹線道路をкаろうじて繋いでいる状況である(写真 - 9)。

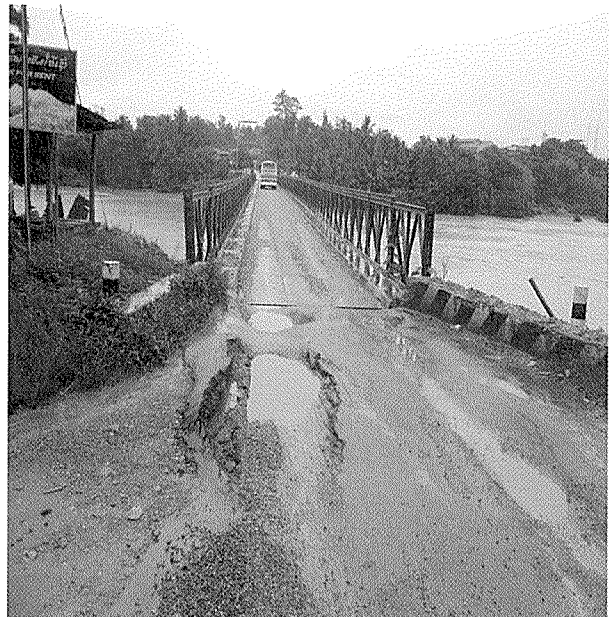


写真 - 9 現橋の状況

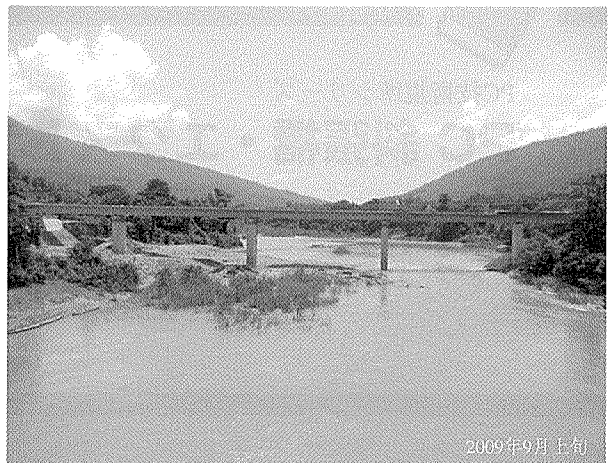


写真 - 10 現在の施工状況

日々、膨大な荷を積んだ大型車両が、この旧橋を通過している。旧橋の耐力を考えれば、いつ壊れてもおかしくない状態であり、新橋建設の27ヵの間、旧橋が壊れないことをただ祈るばかりである。不安を感じているのはわれわれだけではない。電力会社や鉱山会社などが、建設用の重機や大型設備（いずれも総重量50t以上）の運搬のため、当現場の仮栈橋を使わせて欲しいと、幾度も依頼があった。

実際、工事着工から4ヵ月を過ぎた頃、旧橋上で大型セメントローリー車の単独事故が発生した。しかし他に迂回路がないため、上下線ともほぼ完全封鎖され、復旧まで半日を要し大渋滞となった。このようなことから、ラオスの人々は1日も早い新橋梁の完成を望んでいる。

【2009年9月15日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

PC 斜張橋・エクストラローズド橋設計施工規準

定 価 4,725 円／送料 500 円

会員特価 4,000 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