

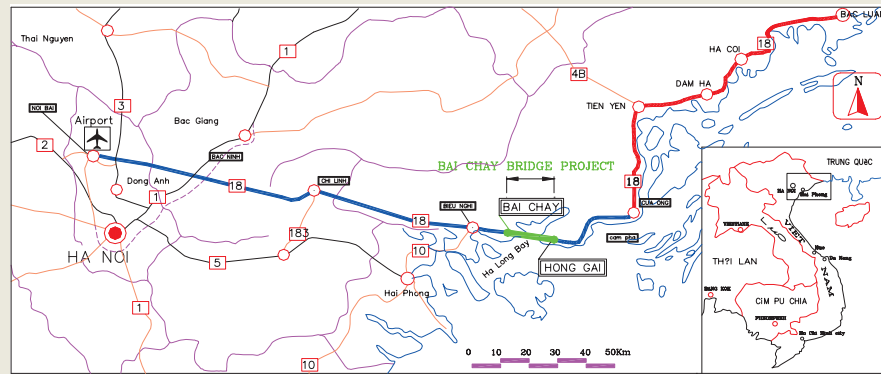
4

ベトナム バイチャイ橋の設計と施工

林 浩二

HAYASHI Koji

株式会社日本構造橋梁研究所/設計部/課長



■図1-位置図



■写真1-フェリー運航状況(クアルク海峡)

1—はじめに

国道18号線は、首都ハノイとベトナム北西部を結ぶ道路であり、ハノイ近郊のノイバイ国際空港を起点とし中国国境のバクランを終点とするベトナム社会主義共和国の主要幹線道路である。バイチャイ橋は、この国道18号線のほぼ中央に位置し、交通の流れを分断するクアルク海峡に架かる橋梁である。現在、この海峡を渡る手段は、24時間就航しているフェリーポートのみであり、将来の交通量の増加に対応することは不可能である。

このため、将来の交通量の増加への対応と交通の流れの改善を目的にバイチャイ橋の建設が計画された。国際的な観光地であり、将来の大型貿易港であるカイラン港を擁するハロン市や工業都市ハイフォン市を含むこの地域は、重要経済地域で

あり、バイチャイ橋建設プロジェクトはこの地域の社会経済開発計画にとって極めて重要な意味を持っている。なお、本プロジェクトはベトナム政府が発注し、日本のODAの特別円借款により建設が行われている。

2—橋梁概要

バイチャイ橋は、ベトナムの最も有名な景勝地である世界遺産、ハロン湾の北側に建設される1面吊りのPPC6径間連続斜張橋である。橋梁計画の基本条件は以下のとおりである。

- a) 湾内のカイラン港への航路限界(幅300m×高さ50m)の確保
- b) 世界遺産の保護区域内のため、水質汚染、騒音、振動等、環境への影響を最小限とする基礎形式
- c) ハロン市のランドマークとして、

景観に優れた構造形式

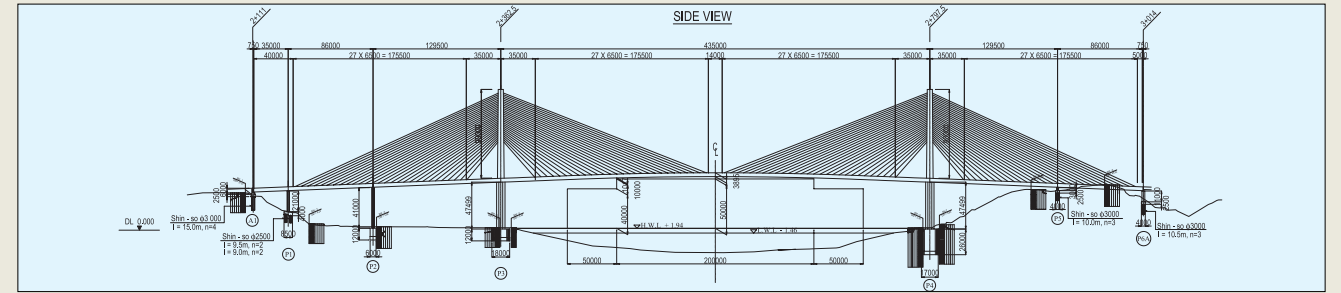
なお、架橋地点は、海峡上であり、船舶の通行止めが出来ないこと、ヤードの確保が困難であること、運搬上の制約条件等より、カンチレバー架設による現場打ちコンクリート桁を採用した。

本橋は、橋長903m、中央支間長435mで同タイプの橋梁で現在世界最大の支間長を有する(図2)。主桁断面は、総幅員25.3mの1室箱桁で、斜材ケーブル引張力を合理的に主桁に伝達させると共に上床版を支持するブレース方式を採用している(図3)。主塔は、構造的に単純で施工性に優れた1本柱形式である(図4)。

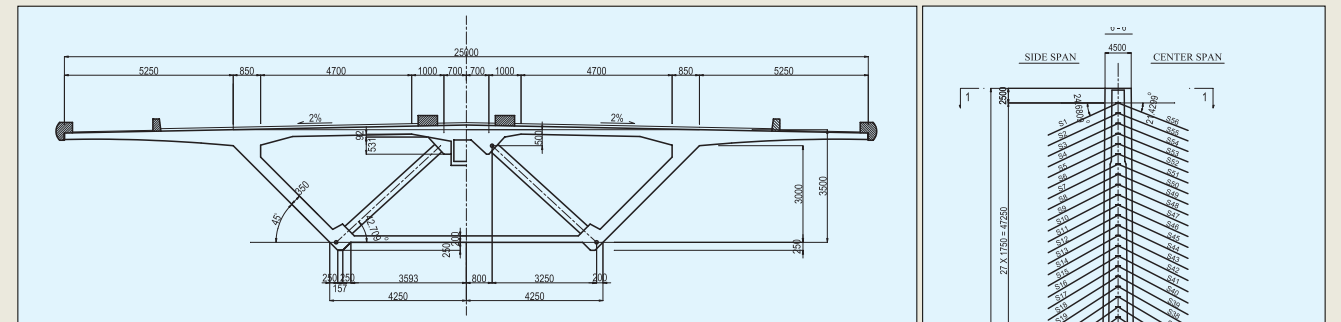
3—主桁構造

(1) 主桁断面の比較

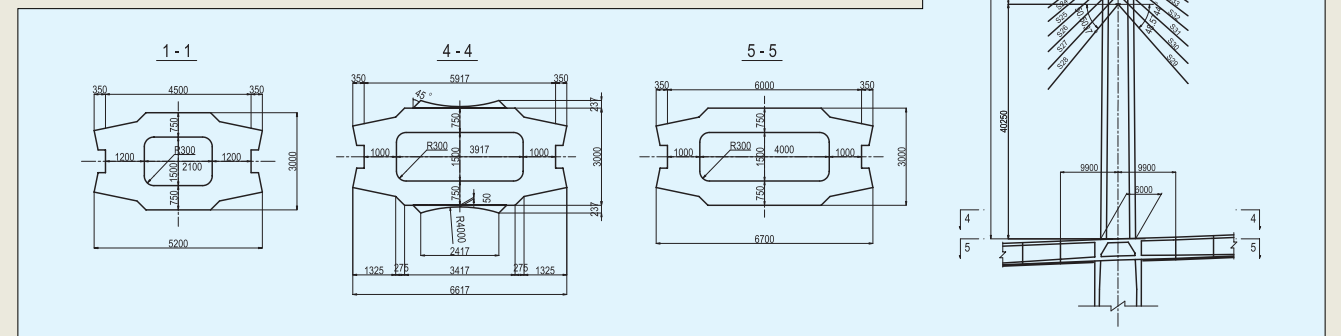
長大斜長橋の主桁断面形状は力学的挙動に配慮し、幅員構成、荷



■図2-全体図(支間構成: 35m+86m+129.5m+435m+129.5m+86m)



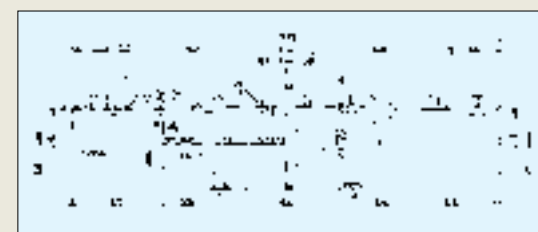
■図3-主桁断面図



■図4-主塔形状寸法

重条件、斜材定着方法により定めることが必要である。ここでは、特に斜材張力を主桁へ伝達する構造に着目し主桁断面形状を検討した。一般に1面吊り斜張橋の主桁断面は、次の2つの形式が考えられる。

- a) ダイアフラム方式: 中間ウェブとダイアフラムを介して斜材張力を伝達するタイプである(図5)。このタイプは、木曾川・揖斐川橋に適用されている。



■図5-ダイアフラム方式主桁断面

- b) ブレース方式: ブレース材を桁箱内に配置し、斜材引張力をトラス作用によりウェブに伝達するタイプである(図3)。このタイプには、フランス・ルーアンのセヌ河口に架かるプロトヌ橋がある。長大橋では、所要の断面剛性(曲

げ剛性、ねじり剛性)を確保し、如何に軽量化するかがその橋梁の構造的性及び経済性に大きく影響する。そのため、ダイアフラム方式とブレース方式の比較検討を行うこととした。

(2) 主桁断面の選定

表1にブレース方式に対するダイアフラム方式の上部工工費の増加費

■表1-工費検討結果(ダイアフラム方式の増加工費)

| 主要材料 | 単価 (円) | 数量増減 | 増加工事費(円) | |
|--------|-----------|---------------------|-------------|------------|
| コンクリート | 56,500 | 2,199m ³ | 124,243,500 | |
| 型枠 | 0 | 8,429m ² | 0 | |
| 鉄筋 | 71,950 | 205 t | 14,749,750 | |
| PC鋼材 | 縦締め | 840 | 20,257kg | 17,015,880 |
| | 横締め | 840 | 0kg | 0 |
| | ダイアフラム横締め | 840 | 13,789kg | 11,582,760 |
| 斜材ケーブル | 1,830 | 148,843kg | 272,382,690 | |
| ブレース鋼材 | 208,300 | -184 t | -38,327,200 | |
| 計 | | | 401,647,380 | |



写真2-桁内ブレース(斜材定着部)

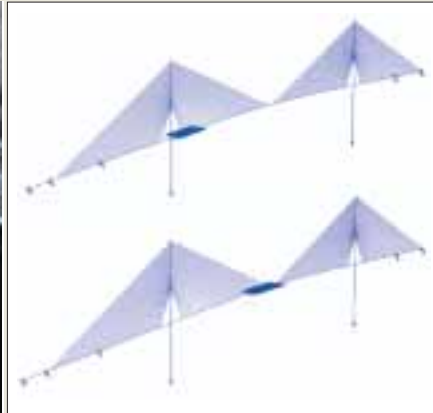


図6-全体解析モデル

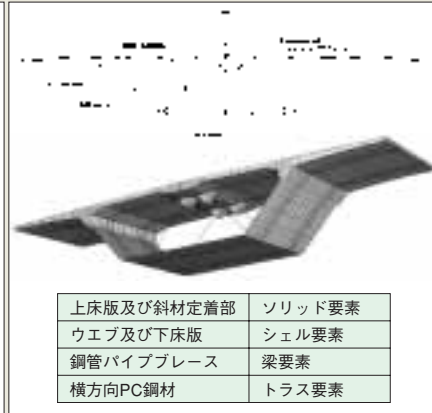


図7-主桁断面要素モデル

| | |
|------------|--------|
| 上床版及び斜材定着部 | ソリッド要素 |
| ウェブ及び下床版 | シェル要素 |
| 鋼管パイプブレース | 梁要素 |
| 横方向PC鋼材 | トラス要素 |

4—主桁断面設計

(1) 構造解析

バイチャイ橋の構造特性及びその挙動を正確に把握するため、FEM解析を適用することとした。解析モデル及び主桁断面のモデル要素を図6、7に示す。本橋では、施工中の応力が厳しくなる場合があるため、施工中及び完成後の両方の荷重状態に対し解析を行った。

(2) 許容応力度

道路橋示方書を基本として施工時、死荷重時、使用荷重時及び終局荷重時に対し設計する。表2に許容応力度を示す。

(3) 断面設計

ブレース方式の設計断面は、次の代表的な断面に分けて設計する。

- a) 斜材定着部ブレース
- b) 斜材定着部間の中間ブレース
- c) 柱頭部付近ブレース

特に上床版応力は、ブレース剛性や定着突起形状等に影響されるため、要求性能を満足し、重量増加や

経済性への影響を小さくするようブレース及び細部構造の設計を行った。その結果は表3に示すとおりである。

5—ブレースの強度試験

(1) 試験の目的

本試験の目的は、ブレースアンカー及びPC鋼材定着部が所要の性能を有していることを確認することである。具体的な確認内容は、以下のとおりである。

- a) 死荷重及び使用荷重時にブレース及びアンカーが許容応力以下である。
- b) 終局荷重時にブレース及びアンカーが降伏応力以下であり、PC定着部コンクリートの引き抜きせん断破壊が起きない。

(2) 供試体及び試験装置

ブレースアンカー及びPC鋼材定着部の挙動に着目するため、図8に示すブレース、下床版、ウェブから構成する供試体とした。供試体のスケールは、1/2モデルとした。図9に

表2-許容応力度

(単位: N/mm²)

| | σ _{ck} =45N SD390 | 上床版 | 下床版・ウェブ | 鋼管ブレース | φ267.4 STK490 | □250×250 |
|-------|-------------------------------|--------|--------------|--------|------------------|----------|
| | | コンクリート | コンクリート 鉄筋 | | | STKR490 |
| 施工中 | 圧縮 | 27.0 | 27.0 | 軸引張 | σ _{ta} | 185.0 |
| | 引張 | -2.1 | — | 軸圧縮 | σ _{ca} | 155.0 |
| 死荷重時 | 圧縮 | 18.0 | 18.0 | 曲げ引張 | σ _{bta} | 185.0 |
| | 引張 | 0.0 | — | 曲げ圧縮 | σ _{bca} | 185.0 |
| 使用荷重時 | 圧縮 | 22.5 | 22.5 | せん断応力 | τ | 110.0 |
| | 引張 | -2.9 | — | | | |

用の検討結果を示す。

ダイヤフラム方式は、ブレース方式に比べ上部工重量が18%増加し、上部工工事費で約4億円高価となる。上部工重量増加による下部工への影響を考慮するとブレース方式がさらに経済的になることは明確である。また、張出架設における移動作業車の移動及び設置作業や内型枠組立・解体が容易であり、施工性に優れている。上記の理由によりブレース方式を選定した。

(3) ブレース間隔の検討

前述のとおりブレースは、斜材引張力の鉛直成分を主桁に伝達することと上床版を支持する機能を持っている。ブレースの間隔を斜材アンカー位置に合わせ6.5mとする場合とアンカー中間にブレースを追加し3.25mとする2ケースを比較した。その結果、以下の理由によりブレース間隔を3.25mとした。

- a) FEM解析の結果、3.25m間隔の場合は、ブレース間のウェブ及び床版の応力分布が比較的均等になっている。
- b) 3.25m間隔では、各々のブレースの作用力が小さくなり、構造をコンパクトにできる。

表3-設計結果一覧

| 部 位 | 使用材料 | 設計留意点 | |
|----------|--------|-------------------------|---|
| ブレース | ①斜材定着部 | □250×250×16 (STKR490) | ブレース材の剛性は、上床版の応力状態に大きく影響するため、上床版の応力度とブレース剛性とのバランスよりブレース形状寸法を定める。 |
| | ②中間部 | 鋼管 φ267.4×9.3 (STK490) | |
| | ③柱頭部 | (STK490) | |
| PC鋼材 | ①斜材定着部 | PC鋼線12S15.2mm (SWPR7BL) | 施工中の斜材ケーブル鉛直分力による上床版端部の局部変化を拘束するためブレース内にPC鋼線を配置する。(P _e =1200kN~1800kN) |
| ブレースアンカー | ①斜材定着部 | PC鋼棒 φ26 (SBPR930/1180) | 使用時(105kN)及び終局時(632kN)の引張力に対しプレストレスを導入しコンクリートとベースプレート間に空気が生じないようにする。 |
| | ②中間部 | | |
| | ③柱頭部 | アンカーボルト M16 (SS400) | 使用時(12kN)の引張力に対しボルト締めにより抵抗すると共にブレースの剛性を確保する。 |
| 床版横締め | ①斜材定着部 | PC鋼より線1S21.8 (SWPR19L) | 基本配置間隔は、600mmとする。 |
| | ②中間部 | | |
| | ③柱頭部 | | 配置間隔は、300mmとする。 |

載荷試験装置を示す。

(3) 試験結果及び考察

試験結果は、以下のとおりである。

- a) 供試体は、死荷重、使用荷重及び終局荷重状態において許容値及び制限値以下であることを確認した。
- b) 供試体の破壊は、ブレースアンカーの降伏後、PC鋼材の破断により発生した。また、最も危惧したPC鋼材定着部コンクリート破壊は起きなかった。
- c) 斜材の終局時荷重 P=668kN に

対し、アンカーの降伏荷重

P=1,179kN、PC鋼材の破壊荷重 P=1,900 kNでブレース構造の安全性を確認した。

ウェブ及び下床版は、斜材鉛直力により圧縮部材となりPC鋼材定着部のコンクリート破壊に抵抗すると考えられる。



写真3-柱頭部主桁形状



写真4-橋体工完成

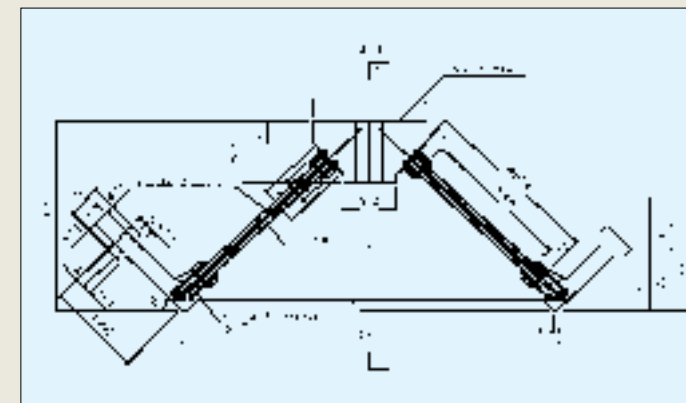


図8-ブレース試験用供試体

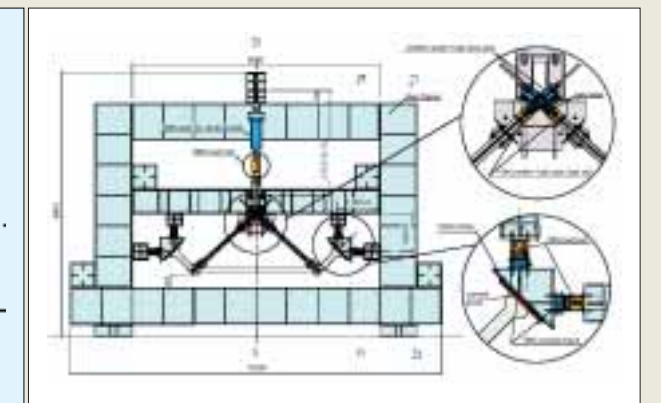


図9-載荷試験装置

これにより、本プロジェクトによるブレース構造の安全性や合理性を確認することができた。

6—おわりに

長大橋の主桁断面において、ブレース方式は斜材鉛直力を合理的に主桁に伝達する構造であり、一般的には安全性及び経済性の点で有利である。しかし、床版の挙動及び応力度は、ブレースの剛性に大きく影響されることや、ブレースと床版の剛性バランス、架設荷重、施工手順等にも影響されるため、ブレース構造を採用する場合は、これらの点を考慮し最適化を図る必要がある。工事は、中央径間の閉合を2006年4月に完了し、9月の開通に向け橋面工及び付属設備の施工を進めているところである。

<参考資料>

- 1) 小宮正久：ベトナムにおけるPC技術の動向とプロジェクト(プレストレスコンクリート Vol.46)