

ベトナム世界遺産でのバイチャイ橋

中村 智樹*

第34回プレストレストコンクリート技術協会賞作品部門を受賞したバイチャイ橋は、供用を開始して6年が経つ。本稿では、バイチャイ橋の施工当時から現在に至るまで、施工時現場を襲った突風、バイチャイ橋の開通が周辺地域にもたらした変化、日本などからの政府開発援助（ODA）、ベトナムでのPC斜張橋の発展、そして現地で普及しているオーストラリアから技術導入された Super-T 桁や中国製 PC 材料などについて述べる。

キーワード：バイチャイ橋、PC斜張橋、ベトナム、ODA

1. はじめに

ベトナムの世界遺産・ハロン湾に建設されたバイチャイ橋は、橋長 903 m の 6 径間連続 PPC 斜張橋で、1 面吊 PC 斜張橋としては世界最長の中央支間 435 m を有する^{1, 2)}（写真 - 1）。世界遺産周辺の自然環境への配慮から、海峡内には橋脚を設けず、下部工ではベトナム初の本格的なニューマチックケーソン工法を取り入れた。日本政府から特別円借款を受け、日本の技術によって建設された本橋は、2006 年 12 月 2 日に開通し（写真 - 2）、同年度、第 34 回プレストレストコンクリート技術協会賞作品部門を受賞した。

本稿では、バイチャイ橋の施工当時（施工：清水建設・三井住友建設 JV）を振り返ることから始め、現在に至るまでのベトナムの PC 技術、橋梁技術などについて述べる。ここで示す数字などは、参考文献として示したものを除き、著者が確認できる範囲内で調査を行ったものである。

2. 台風銀座・ハロン湾

ベトナム北東部にあるハロン湾は、石灰岩からなる無数の島々の自然美と地形的特長が顕著であるとして、世界自然遺産に登録されている。多くの観光客が訪れる美しい場所であるが、同時に台風銀座と呼ばれるほど台風が毎年直撃する場所でもある。バイチャイ橋の施工時には、台風が来るたびに構造物の安定性が懸念された。

風荷重に対して、施工時には 129.5 m 張り出した際、中間橋脚で主桁を支持する直前に上部工はもっとも不安定な



写真 - 1 バイチャイ橋（2012 年 8 月撮影）



写真 - 2 バイチャイ橋開通式
（Quang Ninh 紙 2006 年 12 月 4 日付）



* Tomoki NAKAMURA

現職 清水建設(株) 国際支店
土木生産計画部 主査

当時 清水建設(株) 海外土木支
店 ベトナム土木営業所
工事長

状態となる。施工時の設計風速は 33 m/s（10 分間平均）であるが、このもっとも不安定な状態となる時期までに観測された最大風速は 16 m/s（10 分間平均）であった。張出し閉合前は台風の季節であったにもかかわらず、幸いにして風による問題は発生しなかった。ところが閉合後、突風がバイチャイ橋を襲った。

バイチャイ橋の開通式を行う少し前の11月21日、ハロン湾は落電を伴う突風(ダウンバースト)に見舞われた。橋面上では最大瞬間風速48.1m/s、隣接するカイラン港では65m/sを観測した。10分もしないうちに、電、風ともに突然止んだが、作業事務所では屋根などが吹き飛ばされ(写真-3)、周辺では大きな被害が発生していた。当時の新聞では、死亡・行方不明者は18名、被害家屋は8805戸であったと伝えている³⁾。

バイチャイ橋は風速50m/s(10分間平均)に対して設計されている。すでに閉合して開通を間近に控えたバイチャイ橋にはまったく被害がなく、構造物の安全性を実証する結果となった。その後も、いくつもの台風がハロン湾を直撃しているが、バイチャイ橋に被害は生じていない。



写真-3 屋根が吹き飛ばされた作業事務所

3. バイチャイ橋完成後

バイチャイ橋は、ハノイから中国国境のモンカイまで東に延びる国道18号線でボトルネックとなるクアンニン省ハロン市のバイチャイ湾入口に建設された。橋の開通まで、国道18号線はバイチャイ湾入口でフェリーによる横断が行われていた。国際協力機構(JICA)によれば、フェリーは年々運航回数を増やし続け、2006年には1日24時間、平均30回/h、719回/dの過密運行となっていた⁴⁾。バイチャイ橋建設時には作業事務所が西岸にあったため、東岸へ資機材を移動する際、あるいは日常現場へ移動する際に、待ち時間なく利用できるフェリーは便利だったが、海峡を横断する海上路は飽和状態に達していた。

開通後フェリーは廃止され、フェリー運航会社は橋梁維持管理会社に改組された。370人ほどいた従業員は約6割が橋梁部門に再配置されている。バイチャイ橋の維持管理には、コントラクターが維持管理マニュアルを作成し、新会社に対して技術移転を行った。JICAでは、本事例は雇用対策として有効であり、類似案件に対しても有効な先例になったとしている。

バイチャイ橋開通直後、交通量はフェリー使用時の2倍以上になった。そして2007年に16770PCU(乗用車換算台数)/dだったものが、2010年には21723PCU/dに増加した。さらに2020年には約70000PCU/dに達するものと

予測されている。

ハロン湾地域の観光客数は、2006年までの数年間は毎年150万人程度だったが、開通後の2007年から大きく増え始め、2010年には約280万人となった。また、クアンニン省の1人あたり年間所得も2006年の887ドルから2010年には1294ドルになっている。交通アクセスの手段も増加し、たとえば定期バスは開通当初2路線だったものが4路線となった。これに関連して隣接するカイラン工業団地の入居率も100%になった。

JICAが2011年に地元住民110人に対して行った調査によると、病院などへのアクセスも改善したことから約96%の人がバイチャイ橋の現状に満足であると回答し、高い評価を得た。しかしながら、交通事故が増えたとの声もあった。今後は地域での所得水準向上と相まって、2020年には現在の約3倍の交通量が予想されていることから、早急な交通事故対策を講じていく必要がある。

4. 現在の周辺プロジェクト

日本は、1993年の円借款再開以来、ベトナムに対する最大の援助国であり、近年では毎年約1000億円規模のODA(政府開発援助:円借款、無償資金協力、技術協力)を継続している。ベトナム政府はハノイ-ハイフォン-ハロンを結ぶ三角地帯を北部での重点開発地域としており、日本のODAでも同地域の運輸分野を最優先としてきた。

バイチャイ橋を通る国道18号線は、1997年から円借款による改良事業を行っていた。一方、ベトナム政府の2020年に向けた全国交通開発戦略(2004年)でも、国道18号線の改良事業は最重要プロジェクトとして位置付けられた。

現在、ハノイ-ハイフォン間では民間のBOT(Build, Operate and Transfer)による高速道路が建設中である。また、ハイフォン-ハロン間でも来年からBOTで高速道路の建設が始まる予定となっている。ハロンを通るハノイ-モンカイ間は、対中国貿易が増加するなかで、国道18号線のほかに新たな高速道路の計画もあったが、現在外国からの投融资を模索している状態で実現されていない。

現在ハロン湾地域での日本のODAは、運輸分野ではなく、技術協力プロジェクトとして持続可能な観光のための環境保全プロジェクト、草の根技術協力事業として水上生活者を対象とした住民参加型資源循環システム構築支援事業が実施されている。

5. ベトナムでの長大橋

ベトナムでは日本のODAによって多くの橋梁が建設されている。PC斜張橋は、日本以外ではオーストラリアが資金援助を行っているが、BOTも含めてベトナムの自己資金によって建設されるものも増えてきた。以下に、ベトナムでのPC技術の発展を、PC斜張橋の発展に置き換えて見てみることにする(表-1、図-1)。

2000年には、ハン川橋(1)、ダクロン橋(2)などの複合斜張橋(合成桁)がベトナム自国によって建設され、PC斜張橋ではベトナムで最初のミトゥアン橋(3)(写真-4)

表 - 1 ベトナムの斜張橋・長大吊橋リスト

番号	主橋種類	主橋桁構造	橋名	中央支間 (m)	橋長 (m)	竣工 (年月)	資金源 (国)	設計者 (国)	施工者 (国)	備考
1	斜張橋	合成 旋回橋	ハン川橋 Han River Bridge	60	456.6	2000.03	ベトナム	ベトナム	ベトナム	ベトナム初の斜張橋
2		合成	ダクロン橋 Da Krong Bridge	86.9	174	2000.05	ベトナム	ベトナム	ベトナム	
3		PC	ミトゥアン橋 My Thuan Bridge	350	1 535	2000.05	オーストラリア	オーストラリア	オーストラリア	ベトナム初の PC 斜張橋 取付け橋に Super-T 桁
4		PC	キエン橋 Kien Bridge	200	1 186	2003.09	日本	日本	日本	ベトナム初の プレキャストセグメント工法
5		合成	ビン橋 Binh Bridge	250	1 280	2005.05	日本	日本	日本	
6		PC 1 面吊	バイチャイ橋 Bai Chay Bridge	435	903	2006.11	日本	日本	日本	ベトナム初の 1 面吊 PC 斜張橋 (同形式で支間世界最長)
7		PC	ラクミュー橋 Rach Mieu Bridge	270	2 868	2009.01	ベトナム	ベトナム	ベトナム	ベトナム初の自国による PC 斜張橋 取付け橋に Super-T 桁
8		PC	フーミー橋 Phu My Bridge	380	2 100	2009.09	ベトナム (BOT)	フランス・ オーストラリア	ドイツ・ オーストラリア	取付け橋に Super-T 桁
9		混合	カントー橋 Can Tho Bridge	550	2 750	2010.04	日本	日本	日本	ベトナム最長支間 取付け橋に Super-T 桁
10		合成	ラオ II 橋 Rao II Bridge	120	248	2012 予定	フィンランド	フィンランド	デンマーク	
11		PC 1 面吊	グエンバンチョイ・チャンチャーリー橋 Nguyen Van Troi-Tran Thi Ly Bridge	230	760	2013 予定	ベトナム	フィンランド	ベトナム	ベトナム初の他碇式 1 面吊斜張橋 3 面で構成
12		合成	ニヤットン橋 Nhat Tan Bridge	300	3 900	2013 予定	日本	日本	日本	取付け橋に Super-T 桁
13	吊橋	合成	トゥアンフック橋 Thuan Phuoc Bridge	405	1 855	2009.07	ベトナム	中国	中国	ベトナム初の長大吊橋

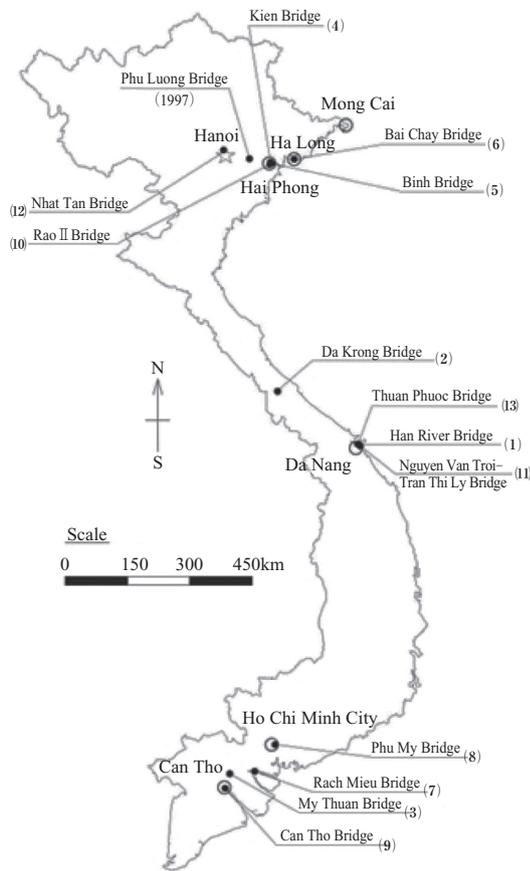


図 - 1 ベトナムの斜張橋・長大吊橋位置図

がオーストラリアによって建設された。以降、長大斜張橋が次々に建設されていった。

2003 年、ベトナムで 2 番目の PC 斜張橋となるキエン橋 (4) では、日本により初めてプレキャストセグメント工法が導入された。2005 年、複合斜張橋 (合成桁) であるビン橋 (5) が同じく日本によって建設されたが、残念なこと



写真 - 4 ミトゥアン橋

に 2010 年 7 月、台風によって流された 3 隻の大型船 (23 000 トン、17 500 トン、8 300 トン) が衝突して鋼主桁が損傷を受けることになった。事故から 2 日後までに大型船は橋から順次引き離されたが、その後ビン橋は片側通行に制限された。2012 年 7 月になって、再び日本の ODA による予算が付き補修工事が始まった。

2006 年、ベトナム初の 1 面吊 PC 斜張橋であるバイチャイ橋 (6) が完成した後、2009 年にはベトナム初の自国の資金調達、設計、施工による PC 斜張橋のラクミュー橋 (7) が完成した。そして、同じ PC 斜張橋であるフーミー橋 (8) では民間による BOT が取り入れられた。ベトナム企業 5 社から成る特別目的会社 Phu My Bridge Corporation (PMC) が、約 1.05 億ドルを調達して建設し、30 年間の管理・運営を行っている。2010 年、複合斜張橋 (混合桁) であるカントー橋 (9) が完成したが、支間 550 m は現在ベトナムで最長のものである。

現在施工中のグエンバンチョイ・チャンチャーリー橋 (11) (写真 - 5) は、ベトナム初の他碇式 1 面吊斜張橋である。3 面の斜材は主塔で独立して定着されるが、中央径間は通



写真 - 5 ゲンバンチョイ・チャンチャーリー橋 (施工中)

常の1面吊PC桁型式で、側径間は合成桁であり側径間側の2面の斜材はアンカレイジで保持されている。ベトナム自己資金による建設事業で、設計はフィンランド業者、施工はベトナム業者が行っている。

6. Super-T 桁

ベトナムでは、1997年に初めて場所打ちカンチレバー工法を用いたPC箱桁橋であるフルン橋(支間102m)が完成した。当時、VSL工法を用いてベトナムだけで設計、施工を行った。日本で最初の場所打ちカンチレバーPC箱桁橋は、1959年ディビダーク工法による嵐山橋(支間51m)なので、日本と比べると38年の差があった。しかしながら、以降外国からの技術導入には積極的で、現在では日本でも珍しいSuper-T桁が、支間40m程度までの橋梁で使われるようになってきている。2000年にオーストラリアから導入し、ミトゥアン橋の取付け部で初めて採用されたものだが、その後多くの施工実績を重ね、表-1に示した中でも5つの取付け橋で用いられている。

Super-T桁は、プレキャストのU桁とT桁を組み合わせてU桁にフランジを付けたもの、あるいはUコンボ橋でU桁間のプレキャスト板をU桁と一体製作したもので、1993年にオーストラリアで開発された。現在ではNSW州道路交通局で、以下の2種類が規格化されている(図-2)。2種類とも、桁同士は端部横桁で繋ぐが中間横桁は不要である。

(a) Open Flange Type: 主に運搬・架設時のウェブ変形を抑制するために、桁内側に厚さ150mmの隔壁がある。

(b) Closed Flange Type: 桁内側に隔壁がない。

Super-T桁は、プレテンション導入のために製作ヤードで緊張台を設置する必要があるが、現場での足場・型枠の削減、保管・運搬・設置時の安定性などの利点があることから、オーストラリアの橋梁技術者達がベトナム、フィリピン、マレーシアなどのアジア各国で普及を働きかけている。オーストラリアは、ベトナムでの橋梁建設に対して積極的であり、ベトナム南西部ではアジア開発銀行、オース

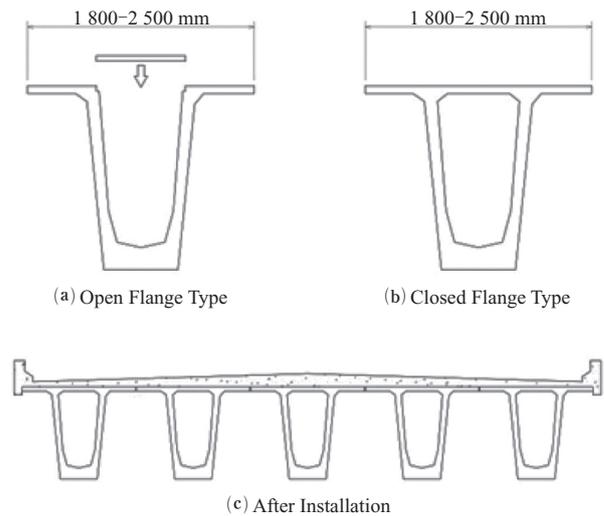


図 - 2 Super-T 桁断面図

トラリア、韓国の援助による2つの斜張橋(支間350m, 470m)が計画中である。当然ながら、これにも取付け橋にSuper-T桁が含まれている。

7. おわりに

ベトナムでは、PC鋼材、PC定着具、緊張ジャッキなどのPC関係資機材は輸入品に依存している。従来、PC定着具は先進国で開発されたものを使用してきたが、近年では主にローカル工事において中国のOVM工法・製品がシェアを広げている。たとえばポストテンション用マルチストランド定着具では、2S12.7(15.2)~37S12.7(15.2)まで対応しており、従来の他国製品と比べて高い価格競争力を発揮している。他の建設材料でも、中国業者の価格競争力は日本業者のみならずベトナム業者にとっても脅威であることから、差別化した分野でいかにして中国業者との競争を回避していくかが課題となっている。

バイチャイ橋が供用を開始して6年が経った。今では世界遺産周辺の景観の一部となって地域発展に大きく貢献している。ベトナムでの長大橋は、これからも日本とオーストラリアの援助競争になりそうである。現地における日本の長大橋技術に対する評価は、現在も世界一であることを実感している。

参考文献

- 1) 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 - 世界遺産に架ける世界最長の1面吊りPC斜張橋 -, プレストレストコンクリート, Vol.49, No.1, pp.11-19, 2007.1-2
- 2) 中村智樹: ベトナムでのPC工事, プレストレストコンクリート, Vol.51, No.6, pp.38-40, 2009.11-12
- 3) 渡辺泰光, 若原敏裕: ダウンバースト, バイチャイ橋を襲う, 橋梁と基礎, Vol.41, No.5, pp.50-51, 2007.5
- 4) 国際協力機構(JICA): バイチャイ橋建設事業事後評価報告書, 2010年度

[2012年8月31日受付]