途上国における中国施工橋梁の特徴と設計上参考となる点の考察

研究第三部　上席調査役　保田　敬一
研究第三部　主任研究員　岩切　誠一郎

1. はじめに

国土交通省は国土交通分野のインフラシステムの海外展開に向けて関係者と情報・戦略を共有し、官民一体となった取組である「国土交通省インフラシステム海外展開行動計画 2019」[1)]に従ってインフラ輸出を推進している。しかしながら、JICA 有償事業の受注状況をみてもインフラシステム海外展開における国際競争は価格競争を中心に熾烈を極めており、競合国の技術力発展が著しいことや、価格をはじめとする相手国や企業のニーズは近年多様化してきており、それらへの対応力の遅れなどからこれまでの受注実績では欧米・中国・韓国等の競合企業に大きく水をあけられている状況にある [2)]。中でも、当該国での重要な評価項目となる価格に関しては中国や韓国に比べて日本の競争力が劣っていることはこれまでにも何回も指摘されているところである。したがって、中国や韓国の設計事例からコスト削減につながる考え方を取り入れていくことは今後の我が国のインフラ海外展開においても重要であると認識する。ところが、インフラ輸出に際して競合国となる「中国」に関しては設計の考え方で不明な点が多い。

本論では、日本と同様に ASEAN 地域でインフラプロジェクトを数多く実施している中国がカンボジアにて施工した橋梁を事例として取り上げる。それらの特徴について整理することで、本邦企業の建設コスト削減に寄与できる可能性のある設計・施工・維持管理上の考え方を整理する。

2. カンボジアにおける中国施工橋梁の特徴

カンボジア国道 6 号線にある橋梁下部工を写真-1 に載せる。左側が中国施工（第 2 期工事）で右側が日本施工（第 1 期工事）である。上部工は中国が PC 中空床版桁橋、日本が 3 径間連続 RCT 桁橋である。支間長は 20.0+18.0+20.0m=58.0m である。日本と中国では下部工に大きな相違があり、次章の有堤河川/無堤河川の違いとも関係するが、中国は国道 6 号線に架かる橋の橋脚にパイルベント形式を採用しているのに対して、日本の橋脚は小判型形式を採用していることが特徴である。日本製はフーチング＋杭基礎であるが、中国製は2本の円柱を突出杭として設計していると思われる。基礎を含めた橋脚のみを比較すると条件等によっては中国施工の方がコストが安いと考えられる。また、中国施工の PC 中空床版桁は桁高を低くすることが可能なので、日本施工橋梁よりも桁下余裕をより多く確保できる。また、路面を低くできるケースもある。なお，国道 8 号線の橋梁も調査した。

3. 有堤河川と無堤河川の違い

国道 6 号線はメコン川とトンレサップ川に挟まれた氾濫原を横断する形で計画されている（図-1 参照）。この

写真-1　下部工形式の相違
（左：中国施工、右：日本施工）

ように氾濫原を分断する場合は橋梁計画にも注意が必要である。ここでは流水がメコン川からトンレサップ川の方へ向かって流れたり、逆に流れたりしているといわれている。橋梁を洪水流下のための開口部として考えるのか、あるいは河道として考えるのかで設計上大きな違いが生じる。表-1 には日本と途上国での河道の考え方の相違を、図-2 には日本の河川と自然河川(無堤河川)の横断面を示す。日本では有堤河川がほとんどであるが、途上国では無堤河川が多いことから、洪水が氾濫原に広がって流れるのが普通である。そのため、新設の道路が堤防にならないようにするという、いわば洪水流下、開口部の設計であって、必ずしも河川構造令を適用しなくてもよい場合もあると考えられる。この場合、コストが安くなる可能性がある。

4. 日本と中国の違い

(1) 橋長・支間長の決定方法

2 期施工の中国施工橋梁は 1 期施工の日本施工橋梁と隣接しているため、橋脚の位置はほとんど同じであるが、橋台位置に違いがある。ほとんどの橋梁で橋台位置を日本施工の橋台位置よりも数 m セットバックしている(写真-2 参照)。6 号線の No.30 橋梁では, 日本施工の上部工は 3 径間連続 RCT 桁で支間割は 3@18m=54m であるが、中国施工の支間割は 20+18+20m(支間割比率 1:1.11)となっており、側径間長は日本施工よりも 2m 長い。別の橋での橋台位置の決定方法を図-3 に示すが、日本は横過条件(各橋梁位置における開口部の流量)を満足するように、経済性にて橋台位置を設定しているのに対し、中国は PC 上部工の標準断面や標準桁長を設定し、桁製作(型枠損料削減など)・施工の合理化を図ることによってのコスト縮減を図っていると推察される。なお、8 号線では調査した区間内全てにおいて中国施工の橋の桁長は 20m で統一されていた。

(2) 上部工形式

日本は上下部工の形式比較を行い、RC 構造、PC 構造、鋼構造の総コストから決定することが基本である。

(タイプ2)氾濫原を分断する場合(続)

(2)カンボジア国道6号線避溢橋

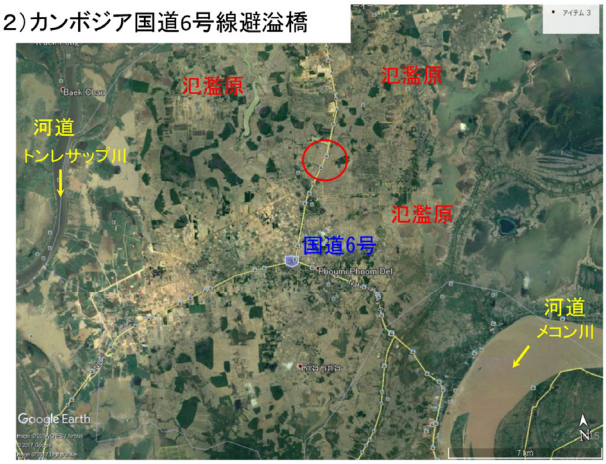
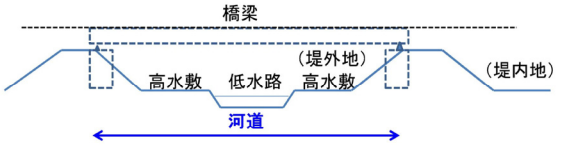


図-1 カンボジア国道 6 号線架橋位置

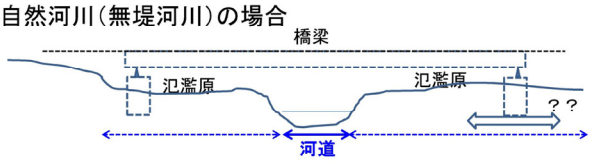
表-1 日本と途上国での河道の考え方の相違点

	日本	途上国
堤防	有堤河川が多い。	無堤河川が多い。
洪水	一定降雨までは堤内地が冠水することはない。	穿行河川以外多くは洪水が氾濫原に広がって流れる。このため、道路の築堤が堤防・ダムとなることがある。
土地利用	高度な河川管理を前提として資産が氾濫原に蓄積。	氾濫原では氾濫は前提とした、粗放な土地利用が一般的。
河川管理	堤防の越水は極めて危険であること等から、河川管理者が厳しい管理を実施。	治水担当はいるが、工作物等の許可責任を負うものは存在しないことが多い(多くが道路、橋梁担当者の責任に)。
渡河条件	河道を考慮。	河道＋氾濫原を考慮。
橋梁計画での留意点	桁下余裕高、基準径間長、橋脚根入れ、橋脚断面などに関して、「河川管理施設等構造令」で規制している。	海外河川であり日本の法規制適用外ではあるが、「河川管理施設等構造令」の第2条解説による、「河川整備基本計画のない河川」の説明等を理解のうえ必要に応じて参照する。

①人工的な河川(日本の河川)の場合(複断面)



②自然河川(無堤河川)の場合



➢ 人工的な河川の河道には、「高水敷」が存在するが自然河川では 定義されない。

図-2 河川の横断面と各部分の呼称

今回のケースでも最大支間長 16m という条件から RC、PC、鋼桁の比較を行って、RC 連続 T 桁橋に決定している。なお、工期短縮などの追加制約条件などが発生すれば工期短縮が期待できる鋼構造、PC などへの変更があり得る。なお、近年の JICA 業務では途上国でもあまり RC 上部工構造を適用しないとの報告もあるので、適用条件については相手国の状況も踏まえてよく議論する必要がある。

一方、中国の場合、本橋は 3 径間単純 PC 中空スラブ桁で、上部の床版を連結させた構造と考えられる。中国設計に詳しい設計コンサルタントにヒアリングしたところ、中国国内では支間長 20m 以下でも安価な RC 構造ではなく、PC 桁を選定する場合が多いという指摘もある。なお、PC 桁の場合は施工が早いという特徴がある。

(3) 桁連結方法

中国の橋は PC 中空床版桁を単純桁として支承上にセットし、桁の上に(調整)コンクリートを連続打設(舗装も連続)することで伸縮装置を無くしていることが特徴である。この桁の上に打設されたコンクリートは施工途中の写真よりその存在を確認している。

この調整コンクリートの目的は情報不足のため明確ではない。高さ調整用ならこのような 100mm 厚は不要である。床版として自動車荷重を分担している可能性もあるが、設計図書がないため確認はできていない。伸縮装置を無くす目的なら、日本で施工事例が多い主桁の桁端部上面に切り欠きを設け、フープ筋等で桁上面だけを後接合する方法(例:リンクスラブ構造など)が望ましい。

さらに、橋脚上での桁端部処理として、スライド板(充填材)が設置されているかどうかが不明な点も気になる。現場での施工途中の写真では、中空床版桁の上にシートを設置しているようであるが、スライド板や充填材等は施工されていない可能性が高い。日本が設計する場合は、埋設ジョイント工法のようにスライド板や充填材を主桁と舗装の間に設置することを考える(図-4 参照)。

(4) 下部工・基礎工形式

下部工・基礎工選定での日中の相違点を表-2 にまとめる。

なお、現地調査にて計測した橋脚断面において、梁部(片持ち部および梁支間中央部)の断面照査を行っ

写真-2 中国施工橋の橋台位置のセットバック

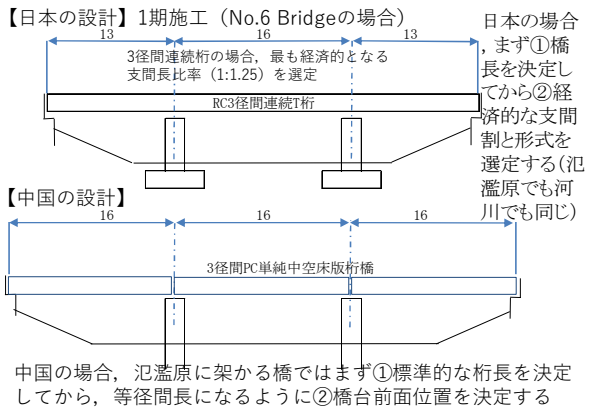


図-3 橋台位置の決定方法

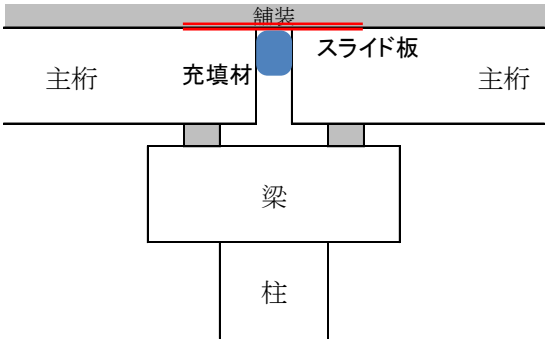


図-4 埋設ジョイント形式の断面図

たが、曲げ照査およびせん断照査共に許容値を満足している結果となった。また、脚径 1.1m で杭頭剛結のベントとして検討を行ったが、発生応力は許容値以下であることを確認できた。一方、耐力照査の結果、杭径について、現地の計測結果は 1.2m であったが、支持層の地盤条件を砂礫と想定した場合においても常時の許容支持力が不足した。従って、上記の地盤条件の変更に加え、地中の杭径を 1.5m に変更することで支持力の確保が可能となった。これらの要因としては、梁については現在の計上で配筋が想定可能なことから、荷重よりも杭の許容支持力の求め方が中国基準と異なるためだと推察される。

5. コスト削減に寄与できる可能性のある提案

中国の途上国における橋梁設計の考え方および橋梁設計の日中比較総括として、途上国での現地条件に適合した設計にしていくための提言(案)のまとめを表-3 に示す。

6. おわりに

本論では、インフラ海外輸出の競合国である中国がカンボジアで施工した橋梁を現地調査することで、これまで不明な点の多かった中国の設計の考え方に関して施工事例を通して整理し、設計方針や考え方を探った。さらに、中国の設計事例を日本の設計と比較することで両者の違いを明確にし、日本のコスト縮減に寄与

表-3 中国の設計事例より得られたコスト低減のための提言のまとめ

項目	提言
氾濫原にて架橋する際の考え方	氾濫原を横断する箇所に架橋する場合、無堤河川という扱いになるので、河川横過橋とは明確に区分する必要がある（日本の河川構造令に準拠しない)。
上部工	同じサイズ（桁長、桁断面）の桁を多数製作することで製作の合理化が図れ（型枠等の転用)、コスト削減に寄与できるとする中国の事例は参考になる。桁が何十本もあればその効果は大きい。日本のように橋ごとに橋長最小化を図って桁長を橋毎に変えるケースとコスト比較をした上でどちらを採用するかを決定する方が望ましい。
下部工 (橋脚) ・基礎工	今回のカンボジア 6 号線に架かる橋のように大河川の氾濫による水の通り道を確保するという条件の場合、河川内での設計という縛り（日本の河川構造令に準拠する）をなくすことで、中国のような 2 本柱門型ラーメン橋脚またはパイルベント形式基礎は合理的であり、コスト低減も可能となると推察される。F/S 段階での下部工形式比較において代替案の一つとして考慮すべきと考えられる。カンボジアのように地震力が小さい（kh=0.05）という条件ならなおさら、橋脚はスリム化が可能になると思われる。
伸縮装置	カンボジアのように温度変化量が少ない（±10 度）ケースでは、例えばコンクリート橋の場合、伸縮桁長が 100m の場合でも±10 度で 20mm しか伸縮しない（日本の 1/3)。よって多径間の場合はサイズの小さい伸縮装置を採用するか、埋設ジョイントにして橋脚上の伸縮装置をなくす方が経済性、走行性、維持管理性も向上する。 ただし、中国の事例では多径間橋梁にて橋脚上舗装のひび割れが発生していたことから、中空床版桁の上に施工した調整コンクリート（連続打設）が悪さをしている可能性もあるため、橋脚上での桁連結は日本のような桁端部での床版連結あるいは埋設ジョイント形式の方が優位であると推察される。
床版連結と伸縮装置	径間数が多く、支間長が短い橋梁の場合は、中国のように単純桁を並べて橋脚上で床版のみを連結させて舗装の連続性により乗り心地を向上させるとともに、橋台上の伸縮装置を伸縮量の小さい埋設型の突き合わせジョイントとすることができる。桁端部でも伸縮量が小さいため、小規模の伸縮装置は安価であるだけでなく損傷も受けにくく、LCC の低減効果も大きい。カンボジアのように温度変化量が少ない地域ではこのような中国の事例は参考にすべきと思われる。
排水装置	日本でよく用いられている蓋つきの排水桝プラス排水管という形式は高価であるため（蓋つきの排水桝が高価)、中国施工事例でもあるような円形格子状蓋つきの排水管（垂れ流し）の方が経済的となる。

できる設計の考え方を整理した。日本が今後設計施工段階でコスト縮減に関して参考となる事項を整理することを目指した。

本論で得られた結論を以下に要約する。

・氾濫原を横断する箇所に架橋する場合、無堤河川という扱いになるので、日本の河川構造令に定める支間長や桁下余裕などの適用は根拠を失うのが一般的であり、河川横過橋とは明確に区分する必要がある。

・上部工は橋長・支間長の決定とも関連するが、桁製作の合理化を図るために、可能な限り同じ桁断面・同じ桁長にしていることが特徴である。無堤橋の場合、コスト削減の目的で桁長を全て同じとして製作の合理化を図る方法はコスト低減に寄与する場合もあると考えられる。ただし、日本で採用している橋長最小化シナリオとのコスト差の検証を図る必要はある。

・下部工および基礎工では、無堤橋の場合は日本の河川構造令の多くの規定にメリットがないため、中国の円形2柱式ラーメン橋脚の採用も形式選定段階では代替案として検討すべきと考えられる。

・カンボジアのように温度変化が小さい国では桁伸縮量も小さくて済むため、中国の桁連結なし・床版連続打設（伸縮装置なし）は参考になる。ただし、中間橋脚上に舗装ひび割れが発生している箇所が点在するため、支点上・RC 床版上面にはすべり板などを設け（埋設ジョイントと同じ構造）、舗装への悪影響が無いような配慮が必要となる。

今後の課題を以下に示す。

・今回の中国製橋梁の調査を通して得られた知見を共有し、可能な限り設計思想や設計の考え方などを継続して情報収集していくことが望まれる。

・今後、我が国の海外インフラ展開において、途上国のインフラ整備ではそのシェアを拡大させていくであろうと思われる中国の他、諸外国の設計事例を複数の途上国での実績を通して収集し、現地条件に合致した設計を行っているかどうか、もっと我が国の建設コストを削減できる余地はあるのかどうかという観点で整理していく必要がある。

・途上国では中国以外のドナーが設計施工したインフラも少なからず存在する。多くは大規模構造物において確認できるが、橋梁に限らず、排水構造物やその他構造物についてこれらの他ドナーの設計事例、設計の考え方なども継続して情報収集・整理して、日本の建設コストを削減できる提案に繋げていくことが肝要と考える。

参考文献

1) 国土交通省：インフラシステム海外展開行動計画2019，2019.3.
https://www.mlit.go.jp/common/001284623.pdf
2) 経協インフラ戦略会議：インフラシステム輸出戦略（平成30 年度改訂版）
www.kantei.go.jp/jp/singi/keikyou/dai37/siryou2.pdf

上記は、平成 30 年度に実施した「海外社会資本整備に係る建設技術比較検討業務」（発注機関：国土交通省総合政策局海外プロジェクト推進課）の結果に基づいてとりまとめたものである。