

施工性に配慮した橋梁計画 — コンサルタントの立場から —

平野 淳治*¹・前田 雅夫*²

道路・鉄道の橋梁構造物は、要求性能を満足するもっとも合理的形式（構造的・施工性・経済性）を選定することが必須である。施工機械・高強度材料・知恵の発展とともに「橋梁建設技術」が多様化し設計施工情報が蔓延するなかで合理性の判断を誤ると、出来上がるすばらしい構造物が施工性・経済性のリスクが高く、適合性を欠く結果となる場合があるかもしれない。

コンサルタントは地形・地質を見極め、計画に必要な法規則を知り、現状の建設技術を熟知したうえで立地条件に適う形式を道路・鉄道管理者と協議し、決定する立場にある。コンサルタントの立場で過去に経験した設計・施工計画をもとに今後のコンクリート橋の計画・設計の便益に供すべく、「施工性に配慮した橋梁計画」について記述する。

キーワード：PC 連続ラーメン橋、プレキャストセグメント、吊床版構造

1. はじめに

わが国の建設分野において、コンサルタントは、計画・設計を主体に担う立場にある。とくに、計画はそれ以降の設計や工事に与える影響が大きいので、コンサルタントがもっとも慎重に取り組まねばならない段階の一つである。また、計画だけでなく、細部構造に対する施工性への配慮も計画を実現可能なものとするためには重要なものとなる。さらに近年の熟練工の不足、コスト縮減などの高い要求事項に対応するためには、近年の施工技術の進歩を踏まえ、施工に関する最新知見を把握し、計画・設計に反映することが必要である。このような観点を踏まえ、まず最初に橋梁計画を行ううえでの施工性に関する留意点について述べる。次に、施工性を踏まえた材料・構造面での工夫、最後に、施工設備の選定、多様化する施工会社の施工技術への対応について、筆者らがこれまで経験した橋梁設計をもとに、コンサルタントの立場から意見を述べる。

2. 施工性に関する留意点

橋梁計画を行ううえでもっとも重視すべきは経済性である。しかし、経済性を大きく左右するのは施工性である。

以下では、橋梁計画を行ううえでとくに施工条件に留意する必要がある事項について、橋梁形式別、立地条件別に意見を述べる。

2.1 山岳部における PC 連続ラーメン橋

(1) 仮橋工事用進入路への配慮

山岳部で採用されることが多い PC 連続ラーメン橋では、橋梁本体の経済性のみに着目し支間分割を決定した場合、仮橋による工事用進入路が長くなり、経済性、施工性を失うことがある。さらに、山岳部の仮橋の施工は、硬岩掘削を伴うことになるため、一般に工期が長くなり、施工の制約を受けるとともに、経済性を失うことが多い。したがって、仮橋による工事用進入路も初期段階で考慮し、橋梁計画を行うことが必要となる。

(2) 移動作業車の足場空間確保

山岳部での PC 上部工は移動作業車を用いた張出し施工が採用される場合が多い。急峻地では、その凹凸により移動作業車の足場空間が確保できない場合がある。このような場合には、移動作業車の足場空間を確保するため、桁下の掘削や整形、埋戻しや法面構築などが必要となり、経済性、施工性を失うことになる。したがって、移動作業車の足場空間の確保も踏まえ橋梁計画を行うことが必要である。

(3) 送電線への配慮

山岳部では、送電線への配慮が必要となる場合がある。計画高よりも数 m 上空であり、橋梁本体に干渉することがないと判断される場合であっても、タワークレーンやクローラクレーンのブームが干渉し、施工不可能となる場合がある。このようなケースは、橋脚設置位置の微調整で回避できるが、事前にこのような条件も踏まえ、橋梁計画を行うことが重要である。

(4) 波形鋼板ウェブ橋の計画

波形鋼板が輸送可能か確認しておく必要がある。とくに、山岳部では仮橋上を輸送する必要があるため、トレーラーの走行可否を確認することが重要である。また、近年の橋梁の長大支間化に伴い、桁高が増加し、波形鋼板サイズも大型化している。波形鋼板ウェブの輸送条件だけで



*¹ Junji HIRANO

(株) 日本構造橋梁研究所 大阪支社 副社長



*² Masao MAEDA

(株) 日本構造橋梁研究所 大阪支社 設計部 設計 2 課 課長

なく、製作限界（最大板厚、寸法）も考慮しておく必要がある。なお、筆者らが調査した波形鋼板の製作に関わるなかで、波形鋼板製作専用機の規格サイズは、最大幅 7.2 m、R 加工 150 mm、鋼材種と厚みは、SM570 の場合、最大 $t = 18$ mm、SM490Y の場合：最大 $t = 25$ mm、となっている。

(5) 鋼・コンクリート混合桁橋の接合部計画

鋼・コンクリート混合桁橋は、①上部工重量や断面力の軽減、②アンバランスな支間割りの反力や断面力の改善、③交差条件や架設条件への適合、④走行性、耐震性、維持管理性の向上を目的に採用が増えつつある。とくに、交通規制や夜間架設が要求される交差物件上を鋼桁とし、それ以外をコンクリート桁として連続化する混合桁橋の例が多い。

混合桁橋の接合部の位置や構造の選定においては施工性に配慮する必要がある。接合部の位置は、斜張橋では曲げモーメントの小さいインフレクションポイント付近に、桁橋では曲げモーメントが交番しない位置に設ける事例が多い。桁橋では経済性も含め、鋼桁あるいはコンクリート桁のどちらが先行架設するかにより、接合部位置が決定する。

接合部の構造は、斜張橋では「前面支圧板方式」、桁橋では「後面支圧板方式」の採用実績が多い。

(6) 広幅員セグメント箱桁橋の計画

新東名・名神高速道路のような広幅員断面に対して、ストラット付き 1 室箱桁やリブ付き 1 室箱桁断面は上部工重量を軽減でき、また橋脚幅・深礎径の縮小ができるため、採用される場合が多い。さらに、大規模橋梁であるスケールメリットを活かし、上記箱桁にプレキャストセグメントを採用することがある。

広幅員断面ではセグメント重量が大きくなり、セグメント架設機械が大型化し施工性、経済性を失うことになる。そのため、広幅員に対するセグメント軽量化のために箱桁断面の中央部のみをプレキャストセグメントとして製作し、片押し方式（スパンバイスパン工法）で架設した後に、残りのストラット付き床版部あるいはリブ付き床版部を現場打ちで施工することを考える必要がある。これによりセグメント架設機械の小規模化が可能となる。これらの施工実績としては、ストラット付き 1 室箱桁を用いた「第二東名高速道路 内牧高架橋」（図 - 1）、リブ付き 1 室箱桁を用いた「第二名神高速道路 古川高架橋」（写真 - 1）がある。

2.2 平地部におけるプレキャスト桁

(1) プレテン桁・ボステン桁の計画

平地部の支間長 45 m 以下で採用されることが多いプレキャスト系の橋梁型式においては、大型のクレーンを用いた架設工法を採用している事例が多い。大型クレーンの採用では、それ自体の組立て解体が必要なこと、桁下には大型クレーンを設置できるヤードが確保されていることなどの条件が付加されることを考慮しておく必要がある。これらの施工性を十分考慮した架設工法を選定する必要がある。一般には、架設桁架設工法との比較が必要である。ただし、架設桁架設工法に比べ、クレーン架設工法が経済的であると判断されることが多いが、支間長が 35 m 程度以上になると、クレーン規模の増大から、架設桁架設工法が経済的となる場合が多い。

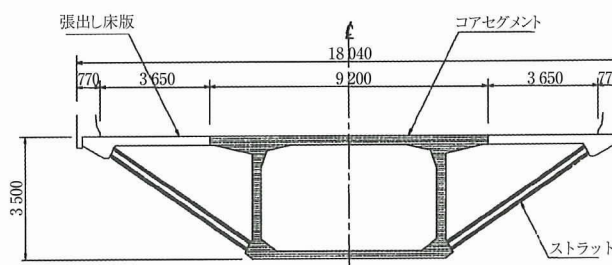


図 - 1 内牧高架橋 主桁断面図¹⁾



写真 - 1 古川高架橋 主桁断面²⁾

また、長尺桁の輸送路が確保できない立地条件にあっては、短尺ブロックで搬入し現地でプレキャスト桁とするブロック工法が有利である。工場製品の高品質・高耐久性とブロック工法による現場作業省力化を目的にプレキャスト桁を発展昇化させたものがコンポ桁である。

(2) 工場製作プレキャストセグメント箱桁の計画

支間長 50 m 程度で橋長が長くスケールメリットを活かせる場合、工場でプレキャストセグメント箱桁を製作、現地へ運搬搬入し、スパンバイスパン工法によって架設する橋梁形式が品質・経済性で有利となる可能性がある。プレキャストセグメント箱桁は、公道上を走行するため重量を 30 t 以内に制限する必要がある。そのため、①セグメント長 2.5 m 程度の 1 室箱桁断面とする、②セグメント長 4.0 m 程度の 2 主箱桁断面として横断方向に 2 分割し架設後に床版部をループ継手により連結する、などの方法がある。

2.3 支保工施工を行う場所打ち PC 桁

(1) 支保工計画

山岳部、平地部のいずれにも採用されることが多い支保工施工で留意することは、計画支保工高さに対し、枠組支保工、あるいは特殊支保工（梁式支保工）を採用すべきかを判断することである。また、桁下の地形条件にも留意が必要となる。桁下空間が小さく枠組支保工を採用する場合であっても、急峻地形での採用は桁下の整形を伴い、施工性、経済性に劣る可能性がある。したがって、このような場合には、地盤の整形に伴う掘削も考慮した枠組支保工と、特殊支保工とを比較し、施工性、経済性に優れた工法を選定する必要がある。

(2) 埋戻し地盤上での支保工計画

埋戻し地盤上の支保工計画では、その沈下に留意する必要がある。特殊支保工の場合、大支間の梁材で特殊支保工を構成し、支保工基礎を橋脚などのフーチング上に設置して、支点沈下を防ぐことができる。地盤条件を十分考慮したうえで、支保工計画を実施する必要がある。なお、埋設物（ライフラインなど）の調査を行うことはいうまでもない。

2.4 エクストラードード橋

エクストラードード橋は、桁橋と斜張橋の間の支間長150～200 m程度に有利性を発揮する形式である。また、桁高や主塔高に制限のある立地条件に適している。桁橋に対し主塔・斜材（外ケーブル）の施工が増えるが、工事費に占めるその割合は低い。斜張橋の斜材ケーブルは変動荷重による応力度が大きく疲労のため許容引張応力度を $0.4 \cdot P_u$ とするが、エクストラードード橋の場合変動応力度の影響が小さければ、桁橋と同様 $0.6 \cdot P_u$ を採用してもよい³⁾。

斜張橋は斜材張力調整が多く管理が煩雑であるが、エクストラードード橋は桁橋と同様にたわみ管理のみでよく施工性に優れる。

2.5 吊床版構造を応用したPC曲弦トラス橋

急崖地で斜面部への工事機材進入に大がかりな仮設備を要す立地条件にあっては吊床版構造（架設方法）を活用したPC曲弦トラス橋が合理的な橋梁構造となる。懸垂架設した下床版を足場、支保工として利用し、トラス構造を構築した後に張り渡していた1次PCケーブルの引張力を橋体端部に盛り換え定着して完成させる自旋式の構造である（写真-2 青雲橋）。今までの施工（実績）は吊支間が100 m程度の橋梁構造への適用が多い。

(1) 斜材・上床版の施工法

過去に実績のある本構造の施工は、上下床版と斜材をユニット化しケーブルクレーン架設する方法と懸垂架設と同様に斜材・上床版を移動台車で送り出す方法がある。いずれの施工法を採用するかは、施工の安全性、経済性を比較のうえ決定する必要がある。

(2) 基本サグと斜材（鋼管）長

PCトラス橋の斜材は鋼管を採用することが多い。基本サグは一般的には大きく採る場合の方がグラウンドアンカーの縮小につながるため有利であるが、斜材鋼管長が長くなり輸送限界を超える可能性が出てくるため注意する。

(3) 格点構造

上下格点構造は「施工方法」に依存（適合）することになるが、過去に採用され性能が検証された構造を選択することが望ましい。新たに計画した構造についてはFEM解析による伝達機構の確認と実験による機能検証が必要である。

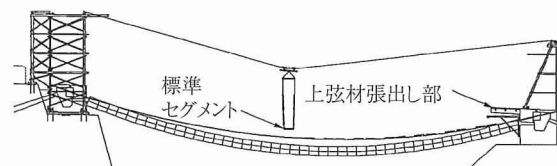
(4) 施工に配慮した設計

1次ケーブル変形は下床版までは理論曲線であるが斜材架設後はケーブルに集中荷重が作用するため有限変形解析が必要となる。また、上床版の施工に使用する支保工は構造系完成後に撤去することになるため、1次ケーブル容量と完成後のトラス橋軸線設定に注意が必要である。

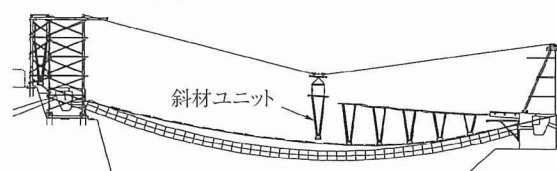
さらに、上床版が架設された最終架設構造系は揺れやす

写真-2 青雲橋（左）、のぞみ橋（右）^{4), 5)}

標準セグメントの架設



斜材ユニットの架設

図-2 青雲橋の架設⁵⁾

鋼製ストラットの架設

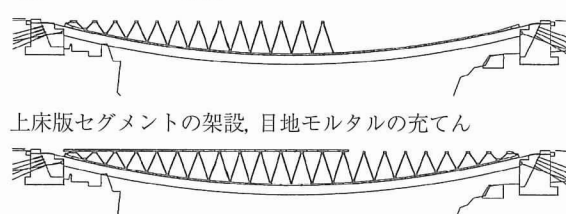
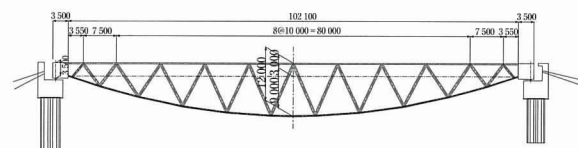
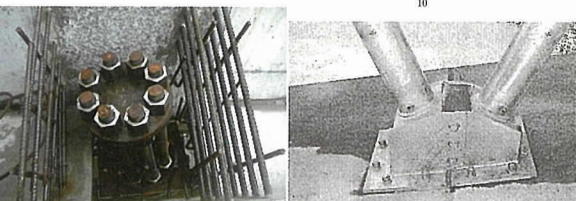
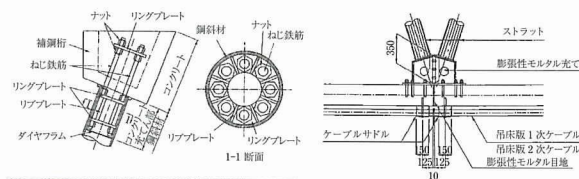
図-3 のぞみ橋の架設⁴⁾

図-4 基本サグと斜材（鋼管）長

図-5 青雲橋（左）、のぞみ橋（右）の格点構造^{4), 5)}

い1次ケーブルが主たる抵抗部材であるため、風・地震や施工時の偏荷重に対する安全を適切にモデル化し、サイドケーブルの必要性を検討する必要がある。

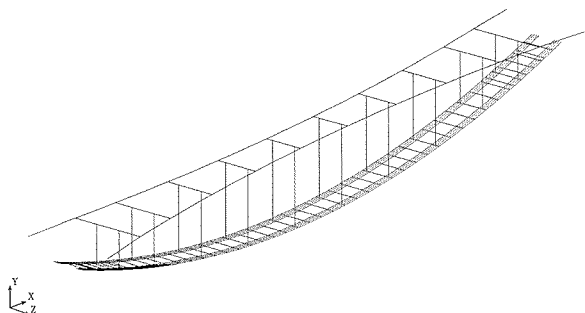


図-6 架設系（1次ケーブル・サイドケーブル）解析モデル

3. 材料や構造上での工夫、留意点

コンサルタントの立場から述べる材料面や構造上での留意点は以下をあげることができる。まず、確実に施工できる構造へ配慮することである。これは、現在の設計では、高強度材料を用いた部材の薄肉化が求められることが多く、薄肉化を追求した結果、鉄筋やPC鋼材が干渉する、十分な空気が確保されていないなどのケースが多いことが理由である。次に、省力化施工の積極的採用である。これは、近年の熟練工の不足へ対応するものである。これらについて意見を述べる。

3.1 施工性に配慮した部材寸法の設定

近年のPC構造物においては、高強度材料使用による部材の薄肉化への対応が重要である。部材の薄肉化を追求した結果、過密配筋、PC鋼材と鉄筋の錯綜が生じやすくなる。これらを回避するため、施工性を十分踏まえた対策は、バイブレーター挿入スペースの確保や、鋼材（PC鋼材と鉄筋を含む）の十分な空気の確保、である。これらは道路橋示方書やコンクリート標準示方書あるいは各メーカーの施工基準を十分把握したうえで設定する必要がある。

3.2 省力化施工への対応

(1) プレキャストセグメントの採用

PC構造物の構造上の工夫としては、場所打ちPC桁からプレキャストPC桁への移行がある。現場作業が少なくなり、施工の省力化に繋がるとともに、工場あるいは製作ヤードでの繰返し作業となるため、製作の熟練度が向上し、高品質化も期待できる。ただし、プレキャストセグメントは、運搬・製作ヤードの問題を解消し、かつ、経済的効果が期待できるほどのスケールメリットがあることが採用の条件となる。

(2) 波形鋼板ウェブ橋の採用

波形鋼板ウェブ橋の採用により、ウェブの配筋およびPC鋼材配置、型枠のセット、コンクリート打設を省略することができるため、施工の省力化が可能となる。

(3) 鉄筋ユニットの採用

同一部材寸法の同一断面を繰り返し製作する現場打ち箱

桁橋やマッチキャスト方式のプレキャストセグメント箱桁では、鉄筋かごをユニット化し、型枠内部に設置する施工方法を採用することで、省力化による1工程の日数を減じ、全体の工期短縮に有益となる。

4. 施工設備の選定、留意点

架設機械の大型化、多様化を背景に国内のPC橋はこれまで鋼橋のみとされていた長大橋梁の領域にまで実績を伸ばしている。これからは高強度材料の本格的な適用と相俟って建設技術もさらに機械化・高度化が進むものと考えられる。各架設工法の設計・施工基準が整備されているので橋梁計画を行うにあたってはこれらの基準を参考にする必要がある。近年、広幅員橋梁・暫定建設・工場セグメント桁および複合構造がコンクリート橋梁建設でキーワードとなっている。

片持ち架設工法では広幅員・急速施工に対し、大型、超大型などの特殊移動作業車、また、波形鋼板ウェブ箱桁用架設作業車も開発されている。ストラット床版をあと施工により構築する場合の架設作業車も今後の計画の参考となる。また、工場セグメント桁用架設桁については適用支間長の拡大を図れるよう今後の大型化を期待したい。

5. おわりに

橋梁計画を行ううえでの施工性に関する留意点について最近の設計話題を中心に記述した。また、設計作業を急ぐあまり「施工性」への配慮に欠けた事例として自省の念を込め、留意事項を書き並べた。

建設低成長時代に入り、施工性の配慮に欠け工事費の増大を招くことは社会的背任行為である。コンサルタントはつねに「施工性」を認識・学習し、設計計画に携わる必要がある。そのためには未知の領域の設計計画においては発注者・施工会社と協力し問題を討議することが有効である。

参考文献

- 1) 角昌隆, 水口和之, 大城社司, 青木圭一: 最近の橋梁事例について - 日本道路公団における最近の橋梁事例 -, プレストレストコンクリート技術の適用拡大と世界の動向 - 第31回PC技術講演会 -, pp.57-76, 2003.2
- 2) プレストレストコンクリート Vol.43, No.6, 2001.11
- 3) (財)日本道路協会: コンクリート道路橋設計便覧, 1994
- 4) 小川伸吉, 神谷祐司, 吉川卓, 中村陽: のぞみ橋の設計と施工 - 移築再利用を考慮した端部分離型上路式PC吊床版橋 -, 橋梁と基礎, pp.5-13, 2004-5, vol.38
- 5) 乗常晃男, 山崎和彦, 石原光浩, 齋藤謙一, 桑野昌晴: 青雲橋の設計と施工 - 吊構造を利用した架設工法による単径間PC複合トラス構造 -, 橋梁と基礎, pp.5-11, 2005-4, vol.39
- 6) (財)プレストレストコンクリート技術協会: 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, 2005
- 7) (財)プレストレストコンクリート技術協会: 複合橋設計施工規準, 2005
- 8) (財)プレストレストコンクリート技術協会: PC橋架設工法, 2002

【2010年9月12日受付】