

(48) 新強首橋の設計と施工

住友・リエンタル特定建設工事共同企業体	新強首橋作業所長	正会員	○澤田 修
建設省 東北地方建設局	湯沢工事事務所 工務第1課長		山本 晶
建設省 東北地方建設局	湯沢工事事務所 大曲出張所長		田中 和博
アジア航測(株) 道路・橋梁部		正会員	登石 清隆

1. はじめに

新強首橋（仮称）は、一級河川雄物川において、水害常襲地の被害解消を目的とした強首輪中堤整備事業の一環として架替えられる6径間連続PC箱桁橋です。本橋は、建設コスト削減などの観点から、建設省の新設橋建設工事では初めて外ケーブル方式が採用されました。

本橋の設計・施工にあたっては、広く有識者から意見を聴取し、指導を受けるべく「新強首橋上部構造技術検討委員会（委員長：三浦 尚東北大学教授）」およびTC（Technical Cooperator）制度による「TCワーキング」が（財）先端建設技術センターにより組織され、各種の技術検討が行われました。

実施工においては、平成11年12月より上部工の施工に着手、平成12年7月現在、P5、P4、およびP1橋脚上に2台ずつ計6台の架設作業車を設置し、張出し架設を開始しました。

本報告では、第7回PCシンポジウムの「計画と設計」に引き続き、新強首橋の設計概要と施工状況について報告する。

2. 橋梁概要

本橋の全体一般図を図-1に、設計条件を表-1に示す。

本橋の計画にあたり、前提条件として、以下の項目に着目した。

- 1) 最終的に、県へ管理移管するため、維持管理が容易であること。
- 2) 輪中堤が高盛土となるため、橋梁取付部および右岸県道交差点部の盛土高を低くおさえること。
- 3) 景観に優れていること。

以上の前提条件を満足するために、以下の項目を考慮して構造形式を選定した。

- 1) 上部工の桁高をできるだけおさえて、桁高変化のアクセントを強調し、全体にスレンダーに見せる。
- 2) 取付道路部での盛土高を極力おさえる。
- 3) 橋梁および取付道路を含め、経済的にする。

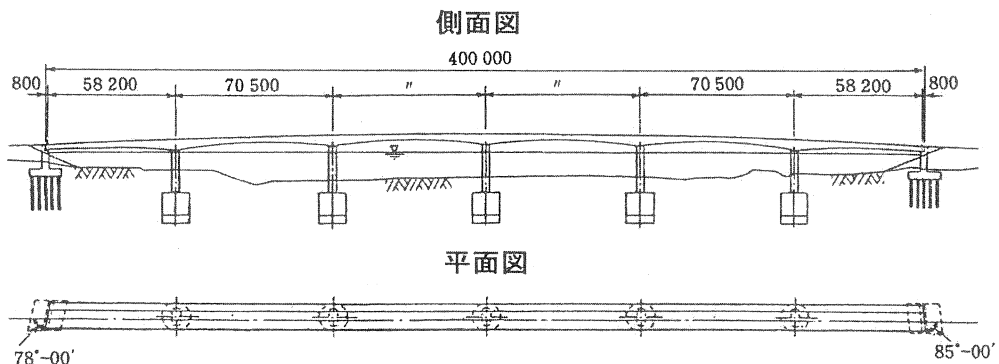


図-1 全体一般図

本橋では、桁高を低くおさえることができ、全体構造のバランスによる景観の向上および盛土高を低くすることが可能なことより、6径間連続構造を採用し、主桁形状を逆台形形状とした。

また、自重の低減と施工性の向上および維持管理の容易さと経済性の向上を可能にできることより、外ケーブル構造を採用した。

3. 技術的課題と検討結果概要

TCワーキングおよび委員会において、技術的課題を構造関係、施工関係などに区別して抽出し、対策と改善策の提案を行った。ここでは、外ケーブルに関する事例のほか、特に橋梁全体の耐久性向上やライフサイクルコストに配慮し、ミニマムメンテナンス化を目指した。これらの検討結果の概要を表-2に示す。

表-1 設計条件

路線名	一般県道淀川北野目線
道路規格	第3種第3級
設計速度	V=50 km/h
橋長	400.00m
支間長	(58.20+4×70.50+58.20) m
有効幅員	車道部: 8.50m 歩道部: 3.50m 全幅: 13.00m
斜角	A1:左78° / P1~P5:90° / A2:右85°
活荷重	B活荷重
雪荷重	1.0 kN / m ²
上部工形式	6径間連続外ケーブル併用PC箱桁
下部工形式	橋台: 逆T式橋台 橋脚: 壁式小判形橋脚
基礎工形式	橋台: 場所打ち杭 橋脚: 圧入オープンケーソン
設計震度	B地域 II種地盤 重要度B種
架設時震度	水平 kh=0.1 鉛直 kv=0.05
架設工法	張出し架設工法

表-2 新強首橋における問題点・課題とその対策

項目	検討項目	現計画	重要度	問題点・課題	対策および検討案
計画 構造 関係	構造設計	・曲げ後張線形時は200 N/mm ² の増力応力を考慮した設計となっている(ただし引張鉄筋を考慮しないケース)。	A	・応力増加200N/mm ² は基礎部(サ-カト)再分配後に期待できるもので、設計終局荷重時の増力応力としては大きい。	・引張鉄筋を考慮すれば増力応力を0 N/mm ² としても安全量は確保できることを確認した。 ・非線形解析を行って安全性を確認した。
		・デビエーター通過ケーブルの曲げ付加応力を考慮していない。	B	・曲げて配置した緊張材の疲労強度は低下する。そのため、極力大きい曲率が望ましい。	・曲げ半径を大きくし、付加応力を考慮する。 ・エポキシPC鋼線など、曲げによっても十分な耐荷性能を有することが確認されていれば、問題とならない。
	維持管理対応	・外ケーブルの取替え等は考慮していない。	A	・外ケーブルの利点を検討する必要がある。 ・取替えを考慮しない場合、防錆性能を高める必要がある。	・予備孔設置の対応とした。
	防錆処理	・グラウト方式にて設計。	A	・近年の技術開発と、ミニマムメンテナンスを考慮した防錆対策の検討が望ましい。	・PC被覆エポキシPC鋼線とした。
	防錆処理	・グラウト方式にて設計。	A	・省力化および品質管理の向上が課題	・プレグラウトPC鋼材を提案した。 ・機械的鋼材の防錆と橋脚防水で、構架の耐久性は格段に向上する。
支 承	支承	・予備せん断型支承としている。	B	・予備せん断量によっては高価になる可能性がある。	・後ひずみ型支承との比較を行った。
	張 出 し 施 工	移動作業車重量	・一般型2主桁用75t考慮(型枠含む)。	C	・工地上、冬期施工時の養生設備重量を考慮する必要がある。
施工時積荷の検討			C	・架設時の雪荷重を考慮する必要がある。	・許容値までに対する応力余裕から逆算し、冬期管理の目安とした。
側径間支保工部		・支柱式支保工としている。	C	・H鋼杭の撤去が可能か。	・現参考図面はH鋼を切筋しながら引き抜くことで可能。
閉合吊り支保工		・一般的な吊り支保工としている。	A	・閉合部の工程手順	・架設作業車を使用した閉合部施工方法を比較検討した。
施 工 関 係	施工工程が変更になった場合の照査	・工程表に基づくクリーブ係数にて計画している。	C	・大きな工程変更や施工手順変更がなければ上級し管理値の変更のみで一般に問題ない。	・大きな変更については設計照査が必要。
	現計画工程	・標準強度比率を考慮した日数により作成している。	A	・低圧路進入可能率76%および搬入路復旧を考慮すると厳しい。 ・移動作業車の搬送した転用を考慮するのがよい。	・下部条件により、工程を再検討した。 1) 移動率を60%とする(不移動日数考慮した工程の見直し)。 2) 移動作業車の休止期間を短くした工程を検討する。
	外ケーブル工		C	・橋桁部および橋脚部における保護管理位置と方向性の確保。 ・保護管の接続の確実性(グラウト漏れの防止等)。 ・導入張力の確認方法	・詳細な計画を立案した。
	コンクリート工		C	・凍結防止剤を散布するため、防水層のまわコンクリートの配合に注意する必要がある。	・桁、地盤に用いるコンクリートの空気量、w/cなどについて検討した。
施 工 管 理	グラウト品質管理		C	・冬期、夏期におけるコンクリートの品質の確保。	・対応策を検討した。
	河床道路計画	・盛土による工事用道路としている。	A	・増水時および復旧を考慮した道路構造の検討が必要である。 ・河床道路を必要としない工法検討も検討する必要がある。	・PCドラフト施工マニュアル(1906)などにより管理する。 ・河床道路構造についての検討を行った。
	維持管理関係		C	・実施事例が少なく、点検などの維持管理方法が確立していない。	・外ケーブルの点検方法について検討した。

重要度 A: 計画上最も重要となる事項、 B: 変更検討が必要な事項、 C: 原案でも対応可能な事項

4. 非線形解析

4. 1. 概要

外ケーブルはコンクリートと付着していないため、平面保持の仮定が成り立たず、部材の変形に伴う張力増加を考慮する際に、内ケーブルと同様な扱いはできない。

これまでの研究成果などから、終局荷重作用時の外ケーブルの張力増加をある程度見込むことができると考えられている。この張力増加の評価法は、国内においては、安全側にこの張力増加を無視したり、あるいは、+100N/mm² または+200N/mm² を見込んで設計を行っているというように、設計手法が確立していないのが現状である。

そこで本橋では、橋梁ごとにこの張力増加を確認できる非線形解析を実施し、橋梁全体の安全性を確認することとした。解析手法としては、国内の数橋で実施されており、軸力変動や2軸曲げによる影響が考慮できるファイバーモデルを用いたフレーム解析を採用した。

4. 2. 解析モデルと安全性の照査方法

解析モデルは6径間全体モデルとした。解析モデルを、図-2に示す。

外ケーブルは、桁端部横桁と柱頭部にある定着部および偏向部と、径間中央付近の偏向部の偏心量を基準として直線的に結んだ形状とし、各ケーブルごとにモデル化した。ケーブル定着部および偏向部の支持条件は、定着部は固定とし、偏向部は、実施工でケーブルと偏向部が固定されていないこと、解析上の張力増加量が小さくなり設計的には安全側の結果になることから可動とした。

コンクリート、P C鋼材および鉄筋の材料モデルは、土木学会「コンクリート標準示方書」に準じた。

主桁安全性の照査は、以下に示す終局荷重時の2ケースとした。荷重載荷方法は、設計荷重載荷後に、着目荷重を荷重係数： γu を漸増することで終局荷重状態まで載荷した。終局荷重状態で破壊に至らない場合には、主桁の安全性が確認できたこととした。主桁の安全性を確認後、さらに荷重を漸増載荷して、破壊時を確認して、解析を終了した。

照査断面は、3径間ごとの左右対称構造であることから、第1径間のMmax 点、P 1橋脚支点上および第2径間中央の3断面とした。

設計荷重時	$1.0 \times (D+L) + P$	$1.0 \times D + 1.0 \times L + P$
漸増荷重載荷中		$(1.3 \times D + 1.0 \times L + P)$
	↓	↓
終局荷重時	$1.7 \times (D+L) + P$	$1.3 \times D + 2.5 \times L + P$
破壊時	$\gamma u \times (D+L) + P$	$1.3 \times D + \gamma u \times L + P$

照 査 法	$\gamma u1 > 1.7$ (①式)	$\gamma u2 > 2.5$ (②式)
-------	------------------------	------------------------

<D: 死荷重、L: 活荷重、P: プレストレス力、 γu : 荷重係数>

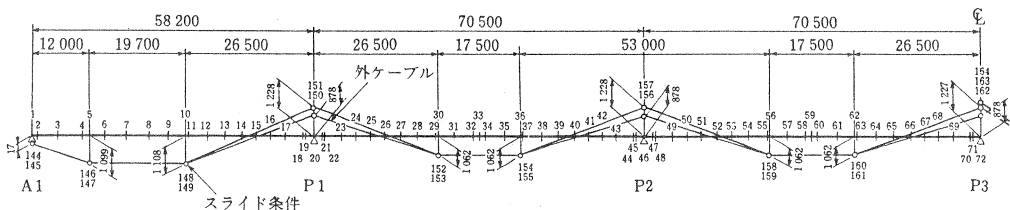


図-2 解析モデル

4. 3. 解析結果

解析結果の一例を図-3に、安全度と外ケーブル張力増加量を表-3に示す。

解析結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 解析により、所定の終局作用曲げモーメント以上の曲げ耐力があり、安全であることが確認できた。終局荷重時の外ケーブル張力増加をゼロとしたうえで、引張鉄筋を考慮した曲げ破壊安全度の照査においても安全であることを確認しており、耐力は確保されている。
- 2) 破壊時レベルのケーブル張力増加は、200N/mm²~500N/mm² 発生しており、今までの設計実績において見込んでいる張力増加量を、本橋でも見込んで設計できることが確認できた。
- 3) 第1径間中央付近の照査断面において、A1 から P1 間の1径間長ケーブルと、A1 から P2 間の2径間長ケーブルでは、ケーブル長の長い2径間長ケーブルの応力増加が小さくなった。これは、偏向部を可動支持としているため、桁の変形によるケーブルひずみがケーブル全長に平均化されていることによると考えられる。

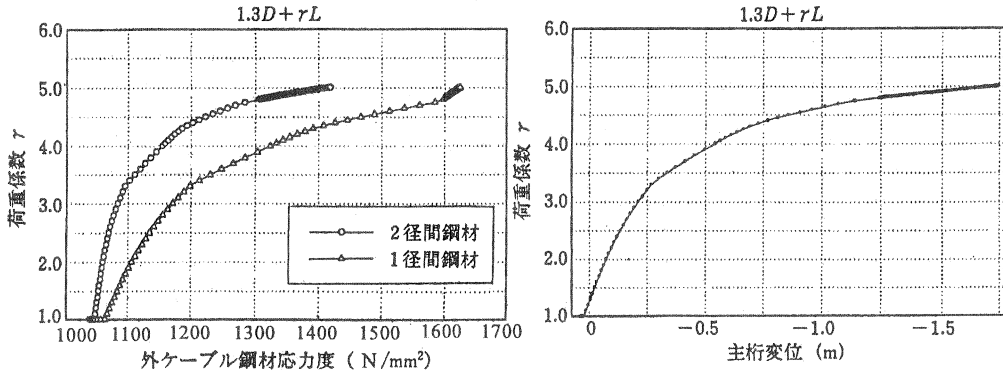


図-3 非線形解析結果 (第1径間 Mmax 断面 -図-2のNO.7 節点-)

表-3 破壊安全度の照査とケーブル張力増加量

		第1径間	P1 支点	第2径間	
道 示 荷 重 係 数 時	照 査 式	②式	①式	②式	
	照査荷重係数	2.5	1.7	2.5	
	増加応力度 (N/mm ²)	2径間鋼材	40	67	25
		1径間鋼材	118	57	-
平均		87	61	25	
破 壊 時	照 査 式	②式	①式	②式	
	破壊時荷重係数	4.91	2.51	5.17	
	増加応力度 (N/mm ²)	2径間鋼材	338	234	206
		1径間鋼材	596	202	-
		平均	493	215	206
主桁変位 (m)	1.5	-	1.0		

※照査式の①および②式は、前ページの照査法に示す式番と同じ

5. 施工概要

5. 1. 現在までの施工概要

新強首橋の上部工工事は、平成11年12月初旬より本格的に開始した。

河川への阻害の問題から、流水域にあるP2～P4橋脚への工事用道路は、当初大型土のうを使用した盛土による工事用道路で計画されていた。しかし、水深が最大で4m程度あり大型土のうの施工が困難となる区間があること、粒径の小さい河川内の流用土では投入後の流出が多いことから、粒径の大きい搬入土と大型土のうを併用した施工方法に変更した。

架橋地点は、年間を通じての冠水日数が24%程度と予想されていたため、稼働率の低下が懸念された。

平成12年3月末までに全脚頭部と柱頭部3箇所の施工が完了したものの、4月以降は雪解け水による河川水位の大幅な上昇により、4月は約20日間、5月は8日間、P2橋脚～P4橋脚間の施工に着手できなかった。したがって、全体工程として約半月程度の遅れとなったが、今後の張出し架設で工程短縮を図りたいと考えている。

5. 2. 柱頭部の施工

本橋は内・外併用ケーブル方式であり、各柱頭部（支点部）には外ケーブルの定着部及び偏向部が設置される。外ケーブルの形状は3次元で変化するため、ディビエータ（鋼管）の製作には、ケーブル形状を1mピッチで図面化して対応した。

ディビエータの支持は、計画では棚筋で行うこととなっていたが、据え付け精度の確保や施工性を考慮し、工場製作の2分割ユニット構造とした。ディビエータのユニット構造を写真-1に示す。

ユニット構造の設置は、あらかじめ架設用の架台を設置しておき、その上にクレーンによる一括架設によって仮置き後、縦、横断方向位置調整とレベル調整を行い、固定した。また、架設用の架台には、主桁仮固定用のH鋼を利用した。

外ケーブルの定着部位置の形状保持として、計画では、経済性を考慮してPE管で固定する構造となっていた。しかし、据え付け精度の確保や施工性を考慮し、外管はφ160mmの鋼管を曲げ加工し、内管にPE管を配置した二重管構造を採用した。PEと鋼管の接続部はテーピングにて処理し、打設時のセメントペーストの侵入防止を施した。二重管構造を写真-2に示す。

横締めケーブルは、検討委員会により施工性、耐久性および経済性などの観点から、プレグラウトタイプの1S28.6が計画されていた。しかし、横桁部については、打設後のコンクリート温度上昇により、緊張前に樹脂が硬化することが懸念された。そこで、温度解析を実施し、床版ケーブルを除く横桁ケーブルはグラウトタイプの1S28.6を採用することとした。

実施工において、中間支点および横桁部のコンクリート温度測定を実施した結果、最高温度として82℃を記録した。これらの結果を受け、打設数量および打設時期の気温の影響などを考慮して、中間支点の他、端支点横桁においても横桁ケーブルにはグラウトタイプの1S28.6を採用する予定にしている。

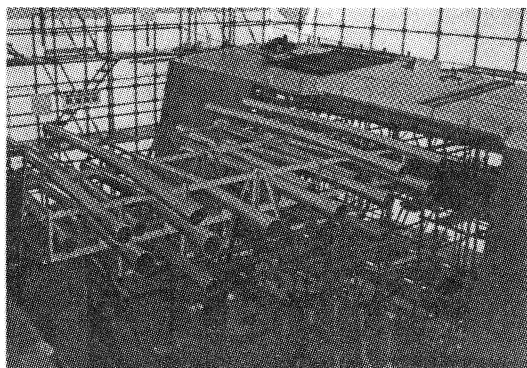


写真-1 ディビエータのユニット構造

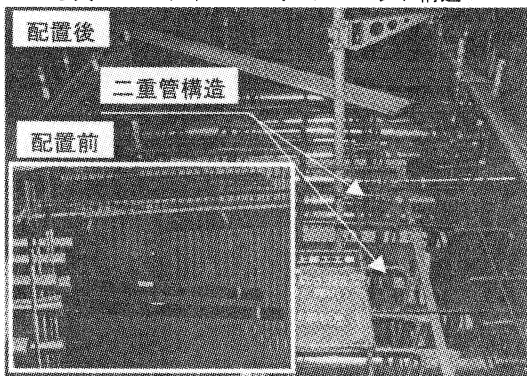


写真-2 定着部の二重管構造

5. 3. 張出し施工

7月現在、P5、P4、P1橋脚の張出し施工中である。現況を写真-3に示す。

架設作業車は最大で6基（3橋脚分）稼働し、そのうちの4基（2橋脚分）を転用する予定である。

ケーブル配置は、張出し架設時は内ケーブル（12S12.7）で、橋面荷重以降の荷重に対しては外ケーブル（19S15.2）で対応する構造となっており、内・外重量比率は46：54である。内ケーブルは上、下床版のみに配置されているため、コンクリート打設やPC鋼材配置などの施工性が向上した。

PC鋼材配置断面図を、図-4に示す。

コンクリート配合は、夏場のスランプロスや配管による河川側張出し部へのコンクリートの圧送を考慮し、高性能AE減水剤を添加したスランプ12cmのコンクリートを採用している。

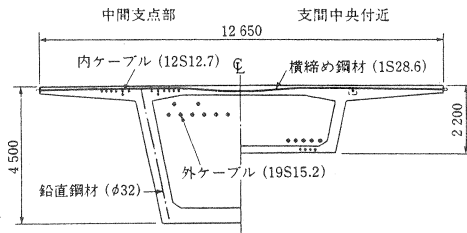


図-4 PC鋼材配置断面図

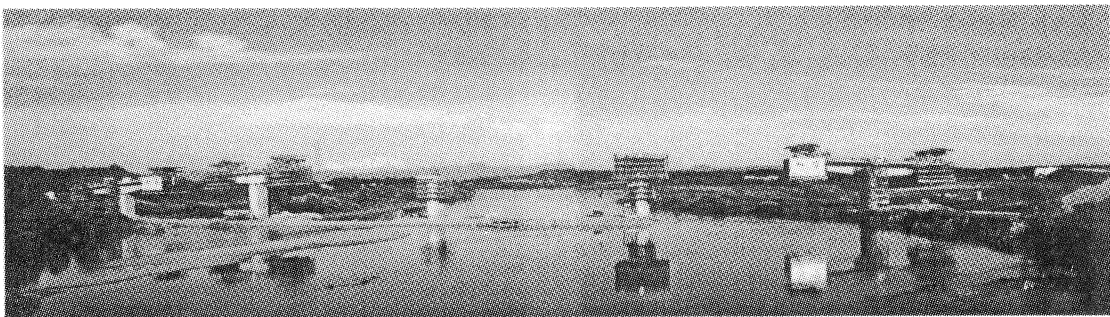


写真-3 現況

6. おわりに

建設省で初めてとなる外ケーブルを併用した新強首橋の設計概要と施工状況について報告した。

外ケーブル方式は、建設コスト縮減を背景に、鋼材および鋼材保護材の高耐久化や設計手法の確立により、今後ますます増えていくものと考えられる。

現場では、これから張出し施工が最盛期を迎え、平成13年初頭には外ケーブルの配置、緊張作業を実施する予定にしている。外ケーブルの施工および管理については、次回の機会に報告したいと考えている。

本報告が、今後の外ケーブル橋梁の計画などの一助になれば幸いである。

最後に、三浦委員長（東北大学教授）、川上委員（秋田大学教授）をはじめとする検討委員会の委員各位には、設計・施工・維持管理にわたって詳細な検討を行って頂いた。この紙面を借りて厚くお礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) 畑、佐藤、中沢、登石：新強首橋の計画と設計，第7回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，PP.397～PP.400，1997.10
- 2) 佐藤、中山、登石：外ケーブルを併用した新強首橋の設計，プレストレストコンクリート，PP.31～pp.37，VOL.41，NO.5，1999.9-10