

(122) 龍大橋における情報化施工

福岡県 八女土木事務所

本村 庄治

住友建設(株)・(株)富士ビー・エス共同企業体

寺山 守

同 上

正会員

柴田 雅俊

同 上

正会員

○ 玉置 一清

1. まえがき

コンクリートアーチ橋は、完成時には非常に安定した構造系となるが、アーチ支間 100m 以上のアーチ橋で一般的に採用される張出し施工では、アーチリブ閉合まではアーチ作用が得られず、他の構造形式の架設と比較して不安定な構造系となるため、架設時のみに必要となる架設部材が多く必要となる。代表的な部材に、斜吊り材、バックスティ、グランドアンカー、ピロン及びメランが挙げられる。この部材をより少なく計画するためには、極力これら部材の能力限界まで使用し、合理的に管理することが必要となる。また、完成時に所定のアーチ作用を得るためには、ハイパボリック曲線に代表されるアーチ軸線形状を精度良く施工することが必要であるが、水平な張出し架設とは異なり湾曲したアーチリブの上越し管理は容易ではない。これらの理由により、アーチ橋の施工は他の形式に比べ難易度が高いと言われている。

本報告は、これら複雑かつ高応力下で使用するアーチ橋の架設部材の安全管理及びアーチリブの品質管理に対して、自動視準トータルステーション、LAN 等を用いた全自動計測システムを構築し、高度な情報化施工を実施中である龍大橋について、まだ施工半ばではあるがその中間報告を行うものである。

2. 橋梁概要

龍大橋¹⁾は、「ホテルと石橋の町」として親しまれている福岡県南部の八女郡上陽町の北の玄関口に位置し、近隣都市である久留米市までの時間短縮を図るため、一級町道下横山東西線の改良計画の中で整備されているRC固定アーチ橋である。図-1に橋梁一般図、表-1に工事概要、図-2に施工概要を示す。

本橋の橋梁形式の選定においては、地域住民等に広くアンケート調査を実施するなど「周辺環境との調和」に配慮している。また、最終選定から主要部材形状の決定においては、龍大橋景観検討委員会(委員長:東京大学 篠原修教授)を設置し、検討を重ねた結果、二股に分岐するアーチリブ形状や逆V字形の鉛直材など躍動感あふれるデザインが施されているのが、本橋の大きな特徴である。(図-12の完成予想CG参照)

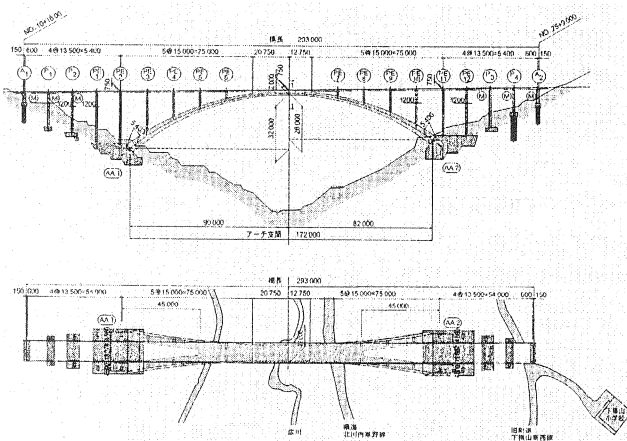


図-1 橋梁一般図

表-1 工事概要

路線名	一級町道下横山東西線
施工箇所	福岡県八女郡上陽町大字下横山字龍
構造形式	RC固定アーチ橋
橋長	293.0m
アチ支間	172.0m
有効幅員	車道部 7.5m 歩道部 3.5m
縦断勾配	1.462%
活荷重	B活荷重
架設工法	メラン併用斜吊り張出し工法

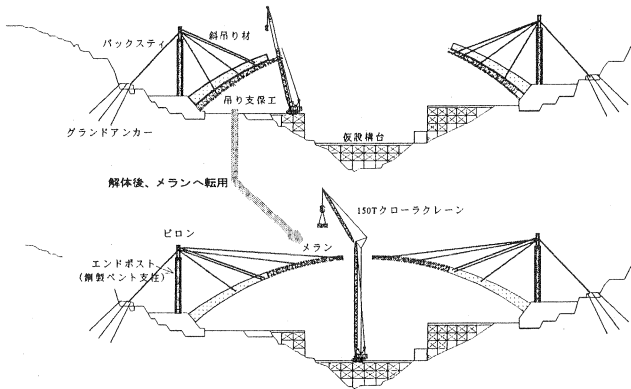


図-2 施工概要

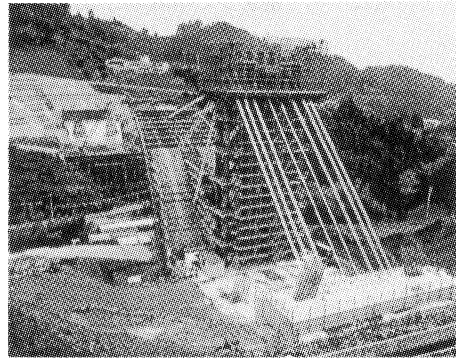


写真-1 吊り支保工施工状況

3. 施工上の主な特徴

(1) エンドポストの構造

吊り支保工（メラン材先行使用）の施工状況を写真-1 に示す。張出し架設時に斜吊り材を定着するエンドポストは、バックスティとのアンバランスにより大きな水平力が作用するため、本設の鉛直材厚を大きくして使用することが多い。本橋では、全ての鉛直材厚を統一するという方針から、架設時のエンドポストには仮設の鋼管製ベント支柱（仮支柱）を採用し、アーチリブ閉合後に改めて本設の鉛直材を施工することとしている。またピロンも解体時の作業性に配慮し、全て鋼製部材から構成している。これら組合せ部材が一体に挙動するように、立体骨組解析により検討を行い、ピロン頂部を繋ぐトラス部材を決定している。施工に際して、エンドポスト構築後に 14 本のバックスティのみを架設し、様々な組合せで緊張解放を繰返し、エンドポスト全体の一体性を確認している。また、この時に得られたエンドポストの曲げ剛性を斜吊り材緊張計算及びアーチリブの上越し計算にフィードバックしている。

(2) バックスティの構造

アーチリブのコンクリート打設、斜吊り材の張力調整によってエンドポストに生じる水平力の改善には、バックスティの張力調整が常に必要なとなるが、この施工管理は大変煩雑なものとなる。1989 年に竣工した別府明礬橋において、バックスティをコンクリートで巻立て、PC構造とすることが実施されて以来、長大支間のアーチ橋では、バックスティのコンクリート巻立てが一般的となってきた。このバックスティPC部材は、アーチ閉合後には不必要となることから、撤去時の作業性を考慮してプレキャスト部材にする等の工夫も施されてきたが、斜面上での解体は容易ではない。また、コンクリート塊等の産業廃棄物も大量に発生する。本橋では、バックスティのコンクリート巻立てを省略することによって生じる施工管理の煩雑さを情報化施工の導入によって合理化し、困難な解体作業、産業廃棄物の発生といったデメリットを回避することとした。本構造採用による、工費縮減、工程短縮面でのメリットは大きい。(図-3 参照)

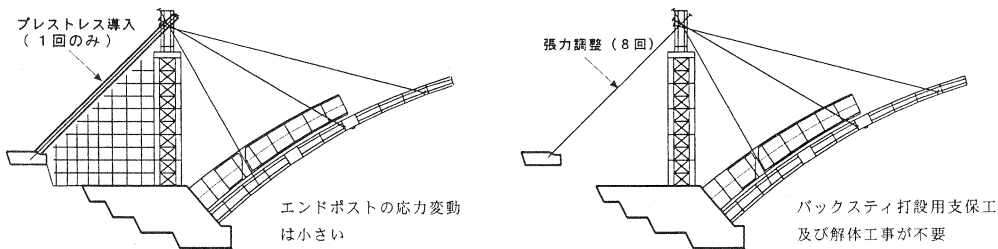


図-3 バックスティの構造比較

4. 情報化施工の目的

(1) 安全管理

各構造部材には、部材の限界値及びそれに安全率を考慮した許容値がある。架設時の設計では、許容値を25%割増す、つまり安全率を若干下げることが認められており、本橋の架設部材の設計にも全てこの方針がとられている。また、架設部材の設計で想定される荷重は静荷重（自重、作業荷重など）が大部分であることから、架設部材は完成系での部材に比べ、一時的に高応力状態におかれる場合が多く、慎重な安全管理が必要となる。特にエンドポスト基部の座屈及びグランドアンカーの抜出しは、ただちに架設系全体の崩壊に繋がる危険性があるので十分な注意が必要である。また、本橋架橋地点は地滑り危険地区に隣接しており、全自動計測システムによる地滑り監視は重要な役割を担っている。

(2) 品質管理

完成時には高軸力部材となるアーチリブは、座屈の照査等において施工誤差の影響が無視できないものとなる。アーチリブの上越し管理において、斜吊り材の緊張管理の重要度は高く、以下にその留意点を述べる。

① 吊り支保工施工部

コンクリート打設後に行う斜吊り材の張力調整では、アーチリブの変位量は小さく、アーチリブのコンクリート応力度改善が主目的となる。例えば、アーチリブにひび割れを生じさせた場合、アーチリブの曲げ剛性は急激に変化し、上げ越し管理はさらに難しくなる。したがって、アーチリブ閉合後には全圧縮状態になると言えども、架設時におけるコンクリート応力度管理は品質管理上重要となる。

② メラン施工部

高強度材料(SM570)の使用により断面剛性を小さくしたメラン材の高さ管理は、斜吊り材の張力調整により容易に行うことができる。しかし、温度変化の影響が非常に大きく、この影響を考慮した高さ管理が重要となる。

以上、斜吊り材の緊張管理は緊張力のみに着目したものではなく、安全管理上はエンドポストの水平変位を、品質管理上はアーチリブのコンクリート応力度または上越し量に着目した体系的な管理が要求される。

5. 計測システム

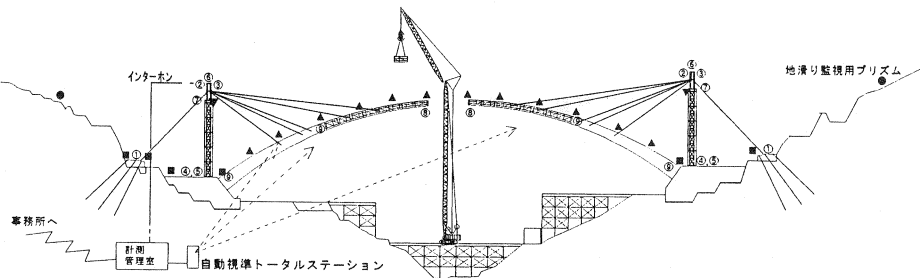


図-4 計測システム配置

	着目部材	計測項目	計測機器	台数
架設部材	グランドアンカー	張力	①2MNロードセル	4
	斜吊り材	張力	②1MNロードセル	24
		温度	熱電対	
	バックステイ	張力	③1MNロードセル	20
	エンドポスト (鋼製ベント支柱)	変位	▼自動視準光波	4
		基部応力	④溶接型Strainゲージ	20
		基部アンカー	⑤500kNロードセル	6
		傾斜	⑥傾斜計	2
		基部応力	⑦溶接型Strainゲージ	36
	メラン	応力度	⑧溶接型Strainゲージ	24
変位		▲自動視準光波	6	
本設部材	アーチリブ	応力度	⑨有効応力計	12
			⑩鉄筋計	12
		変位	▲自動視準光波	6
基礎	アーチアバット等	変位	■自動視準光波	4
地山	地滑り	変位	●自動視準光波	5

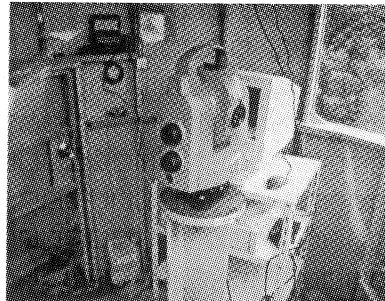


写真-2 自動視準トータルステーション

(1) 自動視準トータルステーション

本橋にて採用した自動視準トータルステーションは、測距 1mm+2ppm、測角 1.0" (200m の距離で、± 1mm の誤差)と国内最高水準の精度を有するもので、駆動モータによりプリズムを自動視準し、無人で 24 時間、データを採取することができる。光波測距に気温・気圧補正が必要なことは知られているが、測角にも少なからず気温依存があることが判明したため、堅固な不動点を設け、これにより測角補正を行っている。

(2) ネットワークシステム

変位データ及び応力(ひずみ)データは全て、現場内に設置された計測管理室内のパソコンに蓄積され、約 100m 離れた現場事務所へ無線ネットワークを介して転送される。事務所内の全てのパソコンは LAN で結ばれており、いずれのパソコンからも計測データの監視を行うことができる。

また、計測管理室と斜吊り材張力調整を行うピロン上はインターホーンで常時結ばれており、斜吊り材及びボックスティ張力調整時には、リアルタイムに計測データを分析しながら張力調整量を指示している。

6. 計測結果

(1) 計測データ一覧表による安全管理

計測された全データをパソコン画面上に一覧表示し、各許容値の 50 % 以上に達したものを緑色に、80 % 以上に達したものを橙色に表示する。さらに許容値を超えたものは赤色点滅とし、それ以外は黒色に表示している。これにより、安全管理上の着目部材は一目瞭然となる。図-5 に表示画面例を示す。

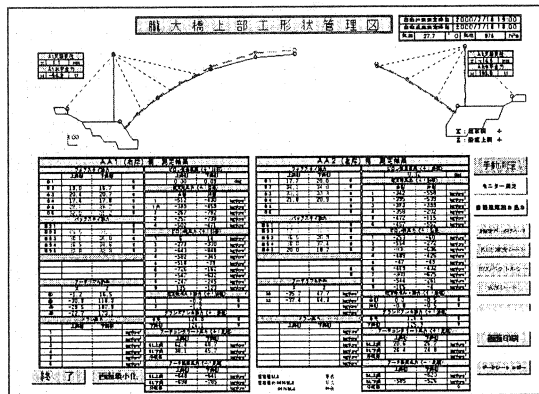


図-5 計測データ一覧表(パソコン画面)

(2) 吊り支保工部の施工

① アーチリブ・コンクリート応力度

二股分岐部のアーチリブは、メラン材を先行使用した吊支保工上で施工される。図-6 に、スプリング部・アーチリブ上縁に配置したコンクリート有効応力計の実測値を示す。2~5BL のコンクリートは、断面を2分割とし上・下流計4回に分けて打設している。コンクリート打設により生じる引張応力度の実測値と設計値との差を斜吊り材張力調整量に反映させているので、設計値と実測値は概ね一致している。

② 斜吊り材張力

斜吊り材は、サグの影響を極力小さくするため、コンクリート打設にしたがい段階的に増設している。図-7 に、斜吊り材の張力履歴を示す。

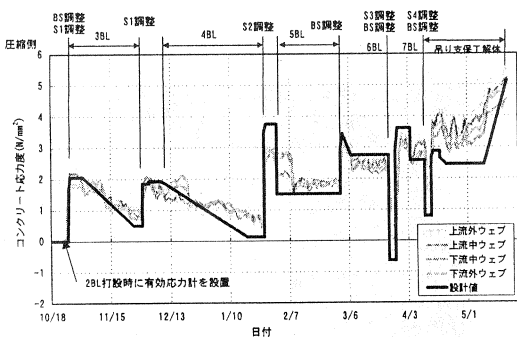


図-6 アーチリブ・コンクリート応力度履歴

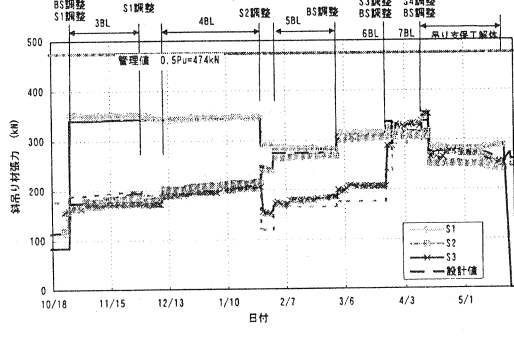


図-7 斜吊り材張力履歴

③ エンドポスト

コンクリート打設時及び斜吊り材張力調整時は、自動視準トータルステーションによりエンドポストの水

平変位が管理値以内であることを常時監視している。図-8に、吊り支保工施工時におけるエンドポストの水平変位履歴を示す。概ね設計値通りに推移していることが分かる。ピロン及び鋼製ベント支柱の全ての支柱に貼付けた Strain ゲージにより橋軸直角方向の荷重配分を確認しているが、いずれの斜吊り材を調整した場合にも、ほぼ均等に作用している。

④ 上越し量

図-9に、吊り支保工先端に配置したブリズムによる鉛直変位履歴を示す。変位ゼロは最終計画高を示し、1BL 打設前の上越し量は吊り支保工先端で 110mm である。吊り支保工施工部完了時点で、設計値の -15mm 程度と良好な精度であったが、対岸も全く同程度低くなる結果となった。これは、吊り支保工とアーチリブの重ね梁的な挙動を上越し計算に反映させることにより、この差はさらに縮まるものと考えられ、同種工事における今後の課題とする。

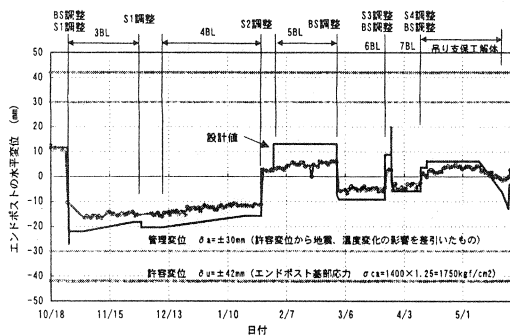


図-8 エンドポストの水平変位履歴

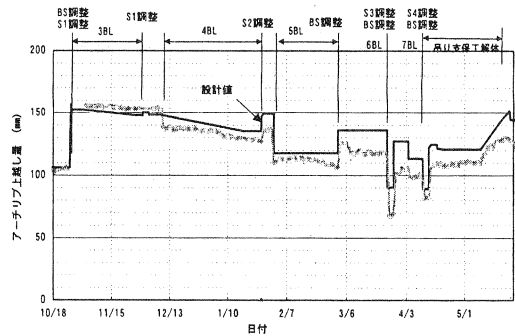


図-9 吊り支保工先端の鉛直変位履歴

⑤ 温度変化の影響

図-10に斜吊り材張力の日変化を示す。架設部材を全て鋼製としている本橋では、斜吊り材の伸びをエンドポストの伸びが打消すため、吊り支保工施工時においては温度変化の影響は比較的小さくなる。(斜角の大きい S1 では、通常とは逆に屋間に張力が増加する。斜角が水平に近づくほど温度変化の影響は大きくなる。)これに伴い、アーチリブのたわみ日変化はほぼゼロ、コンクリート応力度の日変化が最大で $\pm 0.3\text{N/mm}^2$ 程度と温度変化の影響は極めて小さい結果となっている。

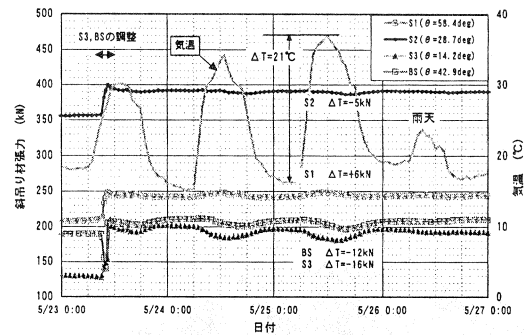


図-10 吊り支保工施工時における斜吊り材張力の日変化

(3) メランの架設

先に張出し架設が終了した起点側メランの、先端から 2BL 目のたわみ履歴を図-11に示す。斜吊り材の斜角の小さいメラン部では温度変化の影響は大きく、またバックスティの温度伸びによりさらに大きくなる。9月に予定されているメランの閉合は、たわみが安定する深夜から明方にかけて行う予定であり、メランの上越し管理、つまりメラン斜吊り材の緊張管理は、この9月深夜の予想気温 25℃に換算して行った。

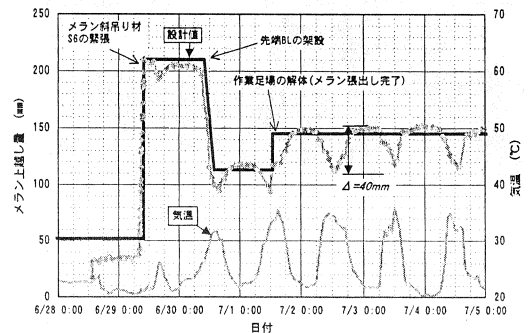


図-11 メランの鉛直変位日変化

(4) 基礎構造物の挙動

架設時に大きな力が作用する基礎構造物(アーチアバット、バックスティを定着するフーチング)には自動視準トータルステーションのプリズムを設置し、その変位を日常的に監視している。また、グランドアンカーには、センターホール型荷重計を設置し、緊張力の変動を監視している。バックスティ張力及びエンドポスト鉛直軸力が最大となるメラン閉合前の現在まで、これら基礎構造物に変状は全く認められていない。

(5) 地滑り監視

昨年6月末、北九州、中国地方に日雨量100mmを越える集中豪雨が来襲した際、架橋地点の掘削法面はアンカーにより補強されており無災害であったが、工所用道路の入口付近では、地滑りが進行し、一部土砂崩壊が起こった。そこで、自動視準トータルステーションのプリズムを崩壊が予想される地山内に数カ所設置し、地滑りの監視を行っている。地滑り危険区域には、従来よりワイヤー式伸縮計、地中傾斜計が設置されていたが、プリズムの設置により、危険区域内に立入ることなく、事務所内からの監視が可能になった。現在、地山は小康状態を保っているが、台風シーズンを控え予断を許さない。文献2)及び昨年の被害状況を参考に設定した、当現場の地滑り監視規準を表-2に示す。実効雨量とは、過去数日間の降雨量に重み付き累計計算を行ったもので、土の水分量を表す指標である。

表-2 朧大橋工事における地滑り監視規準

	点検・要注意 観測強化	対策の検討	警戒 応急対策	嚴重警戒 一次退避
光波測距儀	5mm以上/10日	5~50mm/5日	10~100mm/日	100mm以上/日
実効雨量	30mm以上	50~100mm	100mm以上	

7. あとがき

橋梁計画段階で情報化施工を盛り込むことにより、従来の剛な施工から、柔な施工法の選択が可能となる。

本橋で実施中である情報化施工は、安全管理、品質管理だけではなく、バックスティのコンクリート巻立て省略、架設部材の軽量化など、工費の縮減、工程短縮にも大いに貢献している。今後、施工の省力化・合理化のために、従来の応力測定に加え、変位・変形を主情報とした全自動計測システムに寄せられる期待は大きく、またこれら情報を迅速に把握・分析するシステムの構築が必要不可欠なツールになるものと考えられる。

本橋は、本文執筆時点では、終点側のメラン張出し架設途中であり、9月のメラン閉合に向け、いよいよ佳境を迎えている。10月のシンポジウムではメランの無事閉合を報告し、来春のアーチリブ閉合、来年末の橋体完成を目指し、関係者一同、より一層気を引き締めて安全管理、施工管理に努める所存である。

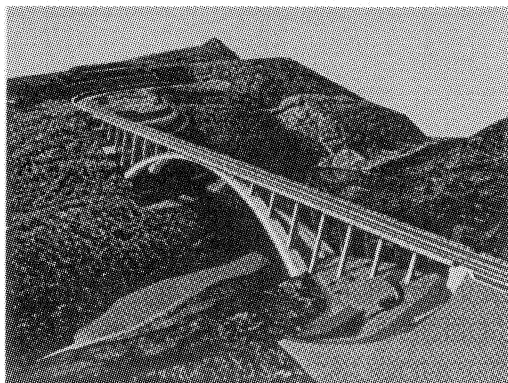


図-12 完成予想CG

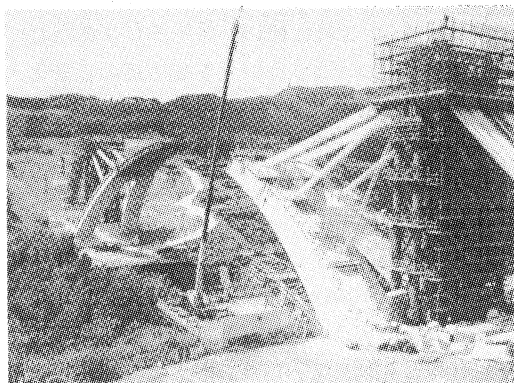


写真-3 2000年7月現在の施工状況

8. 参考文献

- 1) 本村,武末,寺山,柴田: 朧大橋の設計と施工、コンクリート工学、Vol.38, No.7, 2000.7
- 2) (財) 高速道路調査会: 地滑り危険値における動態観測施工に関する研究, 昭和63年2月