

II-23 中路式アーチ橋への安全施工管理システムの適用

Application of the Safety Construction Management System
to a Half-through Arch Bridge

林 健治* 堀川 寿之** 城戸 秀樹***
Kenji HAYASHI Toshiyuki HORIKAWA Hideki KIDO

【抄録】 東京都大島町で建設が進められている泉津橋は中路式鋼アーチ橋であり、架橋地点の制約から架設工法には斜吊工法が採用された。最近、斜吊工法を用いたアーチ橋の倒壊事故が多発し、安全管理の在り方が見直されつつある。そのような状況の中で、泉津橋の安全管理・施工管理に著者の一人によって開発された安全施工管理システムの適用が試みられ、その妥当性や信頼性が調べられた。本研究では、その適用結果を検証するとともに、安全施工管理システムが実用上有益であることを明らかにする。

【Abstract】 The Senzu bridge, which has been constructed within Oshima-cho Tokyo Metropolis, is a half-through type arch bridge and has adopted the cable erection procedure as the erection one on the condition of its construction site. On the occasion of the recent accidents of collapse in arch bridges used the cable erection method under construction, the safety management becomes a serious problem. Therefore, the application of the safety construction management system developed by one of the authors to the safety/construction management of the Senzu bridge is tried to investigate its appropriateness and reliability. In this paper, the results of its application are given and the safety construction management system is proved to be practically proper.

【キーワード】 安全施工管理、フェールセーフ設計、ケーブルエレクション、中路式アーチ橋、3次元計測システム、情報化施工

【Keywords】 Safety construction management, Fail safe design, Cable erection, Half-through arch bridge, 3-dimensional measuring system, Real time construction control

1. はじめに

最近、架設工法にケーブルエレクション工法を用いたアーチ橋の倒壊事故が相次いで発生し、橋梁業界では架設時における安全管理の在り方が重要な問題となっている¹⁾。このような状況の中、大島支庁管内で建設が進められている中路式鋼ローゼ桁橋泉津橋では、架橋地点の制約から架設工法にケーブルエレクション工法の一つである斜吊工法が採用された。そのため、安全性に重点を置いた施工管理（安全施工管理）を実施する必要がある。

そこで、安全性に影響を及ぼす因子を常時観測・監視し、その観測結果を施工に反映させることができ、万一の場合にも安全性を保証することができる安全施工管理システム²⁾の活用を計った。同システムは、広島県山県郡加計町に架設された瀧山峡大橋の安全施工管理に際して初めて開発・適用されたも

のであり、同橋の架設工事を通してシステムの妥当性・有効性が確認されている²⁾。

本研究では、同システムを拡張・改良し、泉津橋の安全施工管理に適用した結果を述べるとともに、アーチ橋の安全施工管理に対する新たな取り組みを紹介する。

2. 工事概要

泉津橋は、架橋地点が国立公園区域内にあり、風光明媚な場所に位置するため、橋梁形式には景観に配慮した中路式鋼ローゼ桁形式のアーチ橋が採用された。その一般図を図-1に示す。橋長は140m、アーチ支間は106mである。本橋の諸元を表-1に示す。

瀧山峡大橋では、ケーブルクレーン・タイバック方式が用いられたので、橋脚をケーブル架設用鉄塔として使用したが²⁾、本橋では、ケーブル架設用鉄

連絡先：*)〒441 愛知県豊橋市明海町1番地 トピー工業(株) 技術研究所 TEL. 0532-25-5354
**)〒101 東京都千代田区四番町5-9 トピー工業(株) 鉄構事業部 TEL. 0289-76-3151
***)〒100-01 東京都大島町元町222-1 東京都大島支庁 土木課 TEL. 04992-2-4441

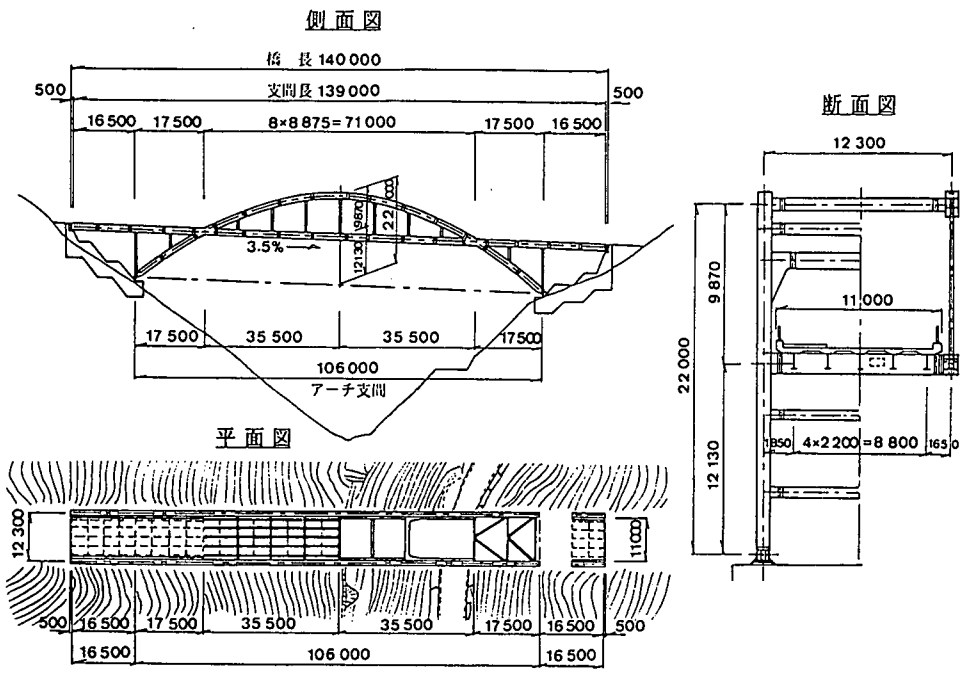


図-1 泉津橋の一般図

表-1 泉津橋の諸元

路線名	一般都道大島循環線
工事区間	東京都大島町 岡田地区～泉津地区
形式	中路式鋼ローゼ橋
橋格	一等橋 TL-20
橋長	140m
支間長	16.5m+106.0m+16.5m
幅員	車道7.0m 歩道3.0m
鋼重	699.4t
工事内容	橋桁製作・架設工事
工期	1994年2月28日 ～1996年3月28日

塔とケーブルクレーン用鉄塔を共用して架設を行った。この点が、架設計算上、また、安全施工管理上大きく異なり、十分な注意が必要となる。

3. 安全施工管理システム

アーチ橋の架設工法として斜吊工法を用いた場合各架設段階において作業の安全性を確保するには、斜吊ケーブルの緊張状態、ケーブルを固定しているクリップの弛緩状態、鉄塔反力のバランスの様態、鉄塔の傾斜の状態や架橋地点の風速、外気温および橋体温度などを実時間で観測する必要がある。

そこで、上記の項目を計測する種々の計測機器をデータロガーに接続して1台のパソコンにより自動制御・計測を行い、各計測項目が管理許容値を超えた場合、警報を発し、危険な状態を作業者に知らせる安全施工管理支援システムを開発した。システムの概要を図-2に示す。ここで、計測項目は過去の事故例を分析し、安全性に最も影響を及ぼすと考えられる因子を取り上げ、また、管理許容値は同様に過去の事例を参考に値を設定した(表-2参照)。各許容値を超えた場合の対策については省略する。なお、橋体の3次元形状、キャンバーおよび鉄塔の

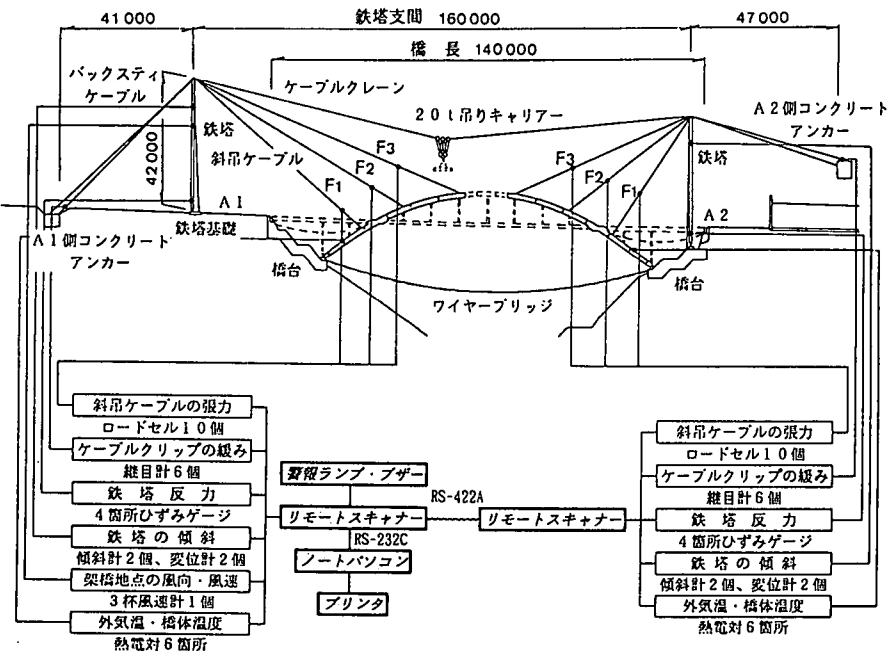


図-2 安全施工管理システムの構成

表-2 計測項目と許容値

計測項目	管理許容値
①ケーブル張力	設計張力の30%
②クリップの弛み	±5mm
③鉄塔反力	設計反力の30% (閉合直前15%)
④鉄塔の傾斜	±1.5°(約±1000mm)
⑤キャンバー	許容誤差 δa (mm) δa ≤ 25 + (L-40) L: 支間長(m)
⑥通り	参考値 25mmを一応の目安 仮組立精度に対応
⑦架橋地点の風速	10分間平均風速 15m/s
⑧外気温・橋体温度	参考値(温度補正)

初期の傾斜量等の計測には、3次元形状計測システム³⁾を用いた。

安全管理支援システムを用いて事故を未然に防ぐことも肝要であるが、事故が発生しないように架設設計上配慮することも重要である。この観点から、斜吊設備などの仮設構造物も含めた架設構造系に対してフェールセーフ設計を適用し、系の一部が機能を果たさなくなっても（例えば、クリップが滑り、1本のケーブルが機能しなくなっても）系全体が危険な状態にならないように確認・照査することとした²⁾。以下にその計算手順を示す。

- ①解体計算によりアーチリブ閉合前の系について断面力や変位を求める（閉合ブロック除去）。
- ②無応力状態の斜吊ケーブルを閉合前の系に配置し、解体計算によりケーブル張力を算出する。
- ③1本のケーブルを除去し、切断点にケーブル張力を1.4倍した反対向きの荷重を載荷する。
- ④この荷重による影響を計算し、除去前の変位・断面力に加算する。以下の操作を繰り返す。

4. フェールセーフ設計

架設構造系の倒壊モードとして、図-3に示す斜吊ケーブルF3が何らかの原因により1本機能しなくなった場合について検討する。過去の事故例¹⁾ではこのモードによる架設構造系の倒壊が最も多い。

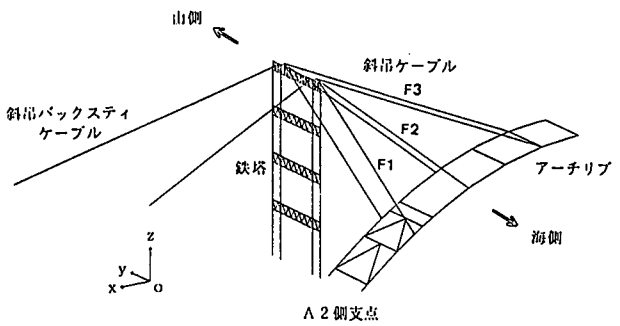


図-3 架設構造系の解析対象とその骨組モデル

ケーブルの直径は、F3が56φ、F2が50φ、F1が45φ、バックステイが40φである。ケーブルのヤング係数は予め引張試験を実施して求めた。解析条件の詳細は省略する。なお、通常の設計では、斜吊ケーブルの張力は、先端の1段のみが効いているとして計算される。

表-3と表-4にケーブル切断前後におけるケーブル張力の変化とアーチリブ先端の各変位成分の変化を示す。表-3には安全施工管理システムによる各ケーブル張力の実測値（次章参照）も示しているが、切断前の解体計算の結果とよく対応し、解析結果の妥当性が検証された。それゆえ、本解析により切断後の状態を推定しても差し支えないものと判断される。

表-3 ケーブル切断前後における張力の変化

斜 吊		耐力 ¹⁾	切断前 a	実測値 b	誤 差 (b-a)/a (%)	切断後	従来の設 計張力 ²⁾
ケーブル		(tonf)	(tonf)	(tonf)		(tonf)	(tonf)
F 1	山側	91.7	12.4	14.9	20.2	21.4	----
	海側	91.7	12.3	15.1	22.8	12.5	----
F 2	山側	112.5	18.4	22.8	23.9	37.8	----
	海側	112.5	18.3	20.5	12.0	22.2	----
F 3	山側	141.7	23.1	23.4	1.3	----	46.9
	海側	141.7	23.0	24.9	8.3	33.3	46.9
S 1	山側	72.3	26.0	29.7	14.2	21.2	26.0
	海側	72.3	25.8	29.6	14.7	32.4	25.8

注: 1)ワイヤークリップ止めによる低減率20%
2)先端の斜吊ケーブル(F3)のみ有効として算出

表-4 ケーブル切断前後のアーチリブ先端変位

位置	変位成分	切断前a(mm)	切断後b(mm)	差b-a(mm)
山側	橋軸方向	-182	-404	-222
	橋軸直角方向	0	86	86
	鉛直方向	-419	-953	-534
海側	橋軸方向	-183	-322	-139
	橋軸直角方向	0	86	86
	鉛直方向	-420	-781	-361

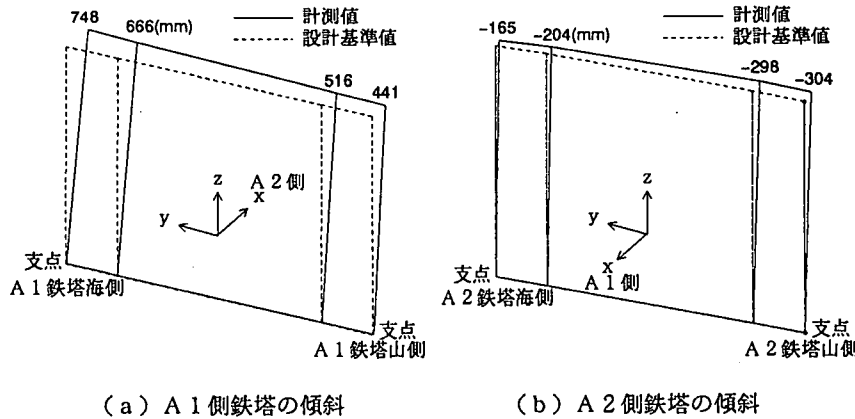
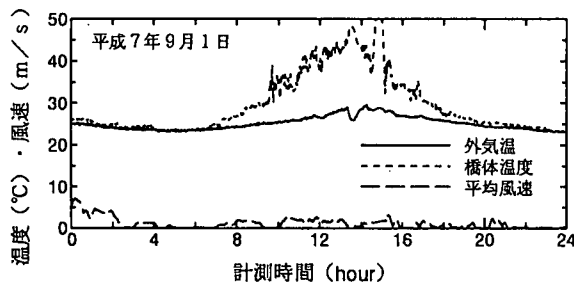
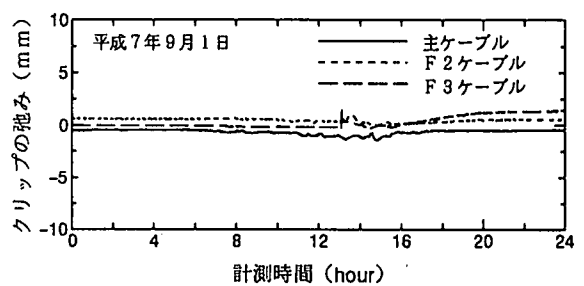


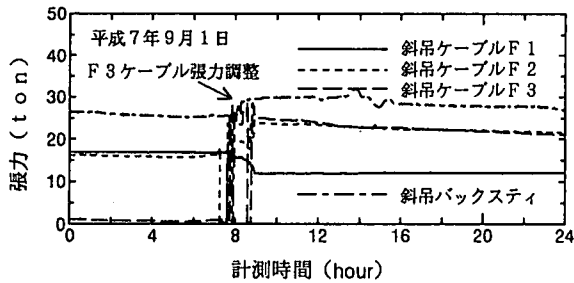
図-4 鉄塔の初期の傾斜



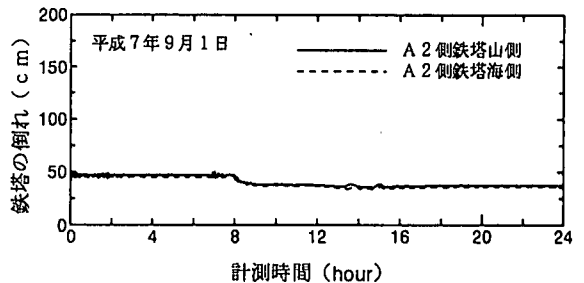
(a) 外気温・橋体温度と平均風速の経時変化



(c) クリップの弛みの経時変化



(b) 斜吊ケーブル張力の経時変化



(d) 鉄塔の倒れの経時変化

図-5 各計測値の経時変化

F3山側のケーブルの切断により、F1とF2は山側、F3は海側、バックスティは海側の値が増大し、大きな変化が認められるが、計算上の余裕度（耐力／計算張力）は2を超えているので、耐荷力の観点からは問題ない。一方、変位については、切断に起因する変位が山側と海側で鉛直下向きに534mm、361mmとなっており、作業面からは重大な影響を受けることが明らかである。したがって、万一、1本の斜吊ケーブルが破断しても系が崩壊する危険性はないが、作業の安全性には注意を要するものと考えられる。

5. システムの適用結果

3次元形状計測システム³⁾により鉄塔の初期形状（主ケーブルと補助ケーブルのみが張られた状態）を計測した結果を図-4に示す。鉄塔の倒れは、この値を基準として傾斜計により、その値を求めた。

支援システムを用いて外気温、橋体温度、平均風速、ケーブル張力、クリップの弛み、鉄塔の倒れを計測した結果の一例を図-5に示す。午前8時前後に、F3斜吊ケーブルの緊張・調整作業を行ったのでケーブル張力や鉄塔の倒れに変化が見られる。なお、平均風速を除き、各計測項目は表-2の管理許容値をこえる状態は観測されなかった。以上の結果は、ほんの一例に過ぎないが、危険な状態を認識・回避することができ、より安全性の高い管理を行える。

アーチリブ閉合後の3次元形状の計測結果を図-6に示す。支援システムと3次元形状計測システムを併用することにより、ケーブル張力やアーチリブ

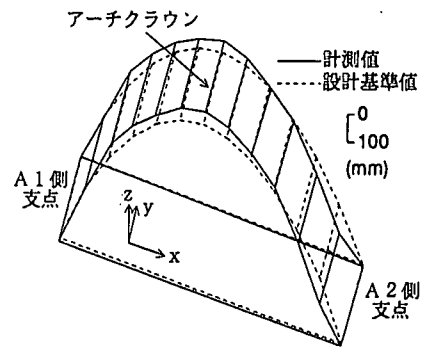


図-6 アーチリブ3次元形状の誤差図

のキャンバー等を架設形状管理における管理項目として監視・調整できるので、より信頼度の高い管理を実施することができる。

6. おわりに

本研究では、中路式アーチ橋泉津橋の施工管理に既に開発した安全施工管理システム²⁾を適用した結果の概略を述べた。平成7年9月5日にはアーチリブの閉合を無事完了し、システムの有用性が再確認された。最後に、本研究に対してご支援頂いたトピー工業(株)鉄構事業部秋間主査、愛測エソジニアリング(有)樽谷氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1)例えば、日経コンストラクション：事故、93.2.26号、pp.98-100、1993
- 2)林、大倉、福田：斜吊工法を用いた長大アーチ橋の安全施工管理システムの開発、建設マネジメント論文集、Vol.1.3、1995
- 3)林、大江、西園、井上：鋼橋の3次元計測に関する基礎的研究、橋梁と基礎、93-7、1993