合成アーチ巻立て工法による コンクリートアーチ橋の施工

——城 址 橋——

佐藤 靖^{*1}・佐川和夫^{*2}・小林 勤一^{*3}

概 要 本稿は、合成アーチ巻立て工法（CLCA 工法）という新しい施工法で建設された、新潟県佐渡島の城址橋（スパン 82 m）の工事記録である。本工法は合成柱の構造をコンクリートアーチ橋のアーチリブの構築方法に適用したもので、従来のセントル工法やメラン工法に比較して、軸方向性に優れた性質を生かし、鋼材量を大幅に減少させることができる。本工法の採用により、経済性および施工性に優れたアーチ橋を建設することができた。ここでは、アーチリブの架設に焦点をあてて報告している。

キーワード：合成アーチ巻立て工法，鋼管アーチ，ロアリング，鋼管コンクリート，充填コンクリート，巻立てコンクリート，特殊移動作業車

1. はじめに

城址橋^{じょうしはし}は都市計画道路事業の一環として新潟県佐渡島の相川町に建設される、支間 82 m の RC 固定アーチ橋である。本橋のアーチリブの架設には、世界に前例のない合成アーチ巻立て工法（Concrete Lapping Method with pre-erected Comeposite Arch; CLCA 工法）が採用されている。佐渡島は新潟県の貴重な観光資源のひとつであり、本橋は、その観光の中心をなす相川町の市街地の山側にあって、街から見上げる位置に架けられる。また、冬季には日本海からの季節風を直接受けるため、塩害などに対する耐久性もとくに要求される。

橋りょう形式の選定にあたっては、これらのことを考慮して、景観に優れ地形にマッチしていること、維持費がかからなく経済的であること、完成系構造が合理的であること等の条件を満たすものとして、コンクリートア

写真—1 完成予想写真

ーチ橋が採用された。また、架設工法の選定においては経済性、施工性を優先的に考え、そのほか離島による制約的条件、数年にわたる工事の分割発注、現地地形の状況なども含めて検討した結果、これら諸条件を満たす CLCA 工法が採用された。

本橋は、1987 年 9 月に下部工工事が開始され、'88 年 5 月にアーチリブの架設工事に着手、12 月にはアーチリブが完成した。そして、本年 1、2 月の冬期休止期間ののち上床版の工事が開始され、8 月末には橋体工が完了する予定である。

*1 さとう・やすし／新潟県土木部都市計画課街路係主任

*2 さがわ・かずお／同上 相川土木事務所道路課主任

*3 こばやし・きんいち／ピー・エス・コンクリート㈱・
㈱近藤組共同企業体城址橋作業所所長

図一1 城址橋の位置

ここでは、CLCA 工法によるアーチリブ架設工事について、その特徴である鋼管アーチ材の製作、架設、鋼管内コンクリート充填による合成、および合成鋼管アーチ材のコンクリート巻立て等の施工概要を報告する。

2. 工事概要 (図一1,2)

工事名称：3, 5, 6 道遊線街路橋梁工事

(b) 標準断面図

(a) 側面図

図一2 城址橋の一般図

The Construction of Concrete Arch Bridge Using “Concrete Lapping Method with Pre-Erected Composite Arch”

—Joushi Bridge—

By Y. Satoh, K. Sagawa and K. Kobayashi

Concrete Journal, Vol. 27, No. 6, pp. 16~27, June 1989

Synopsis This report is the construction record of Joushi Bridge which is located in Sado island of Niigata prefecture. This bridge is constructed by new construction method which is named “CLCA Method” (Concrete Lapping method with pre-erected Composite Arch). This method is to construct the concrete arch rib using steel tube in which the concrete is filled, as the embedded type of arch centre. Using this construction method it can be possible to reduce the steel material because of high strength against axial force compared with Arch Centre Method and Melan Arch Method. Joushi Bridge Project adopted this construction method, and it saved the project costs and was helpful to execute the project safely and easily. Now, we report about the execution of arch rib construction of Joushi Bridge.

Keywords : concrete lapping method, steel tube arch, lowering, concrete filled steel tube, filling concrete, lapping concrete, special travelling from

表-1 合成アーチ巻立て工法 (CLCA 工法) の概要

	概 略 図	断 面 図	抵抗断面と算定方法
〔ステージ1〕 鋼アーチ架設 ↓ 充填コンクリート打設			<ul style="list-style-type: none"> ・鋼アーチ…道路橋示方書II. により設計する。 ・自重, 作業荷重などのほか, コンクリートの側圧についても, ウェブと補剛材により照査を行う。
〔ステージ2〕 アーチリブコンクリート巻立て			<ul style="list-style-type: none"> 〔合成アーチ〕 ・偏心軸方向力に対しては鋼アーチを鉄筋換算したRC計算として算定する。このとき, ヤング係数比は $n=15$ とする (ただし, 骨組解析においては $n=7$ とした断面性能とする)。 ・せん断力に対しては鋼アーチのウェブのみで照査する。 〔B区間〕 〔アーチリブ〕 ・応力度計算は合成アーチの部分中空のものとしてRC計算を行う。
〔ステージ3〕 完成系			<ul style="list-style-type: none"> 〔アーチリブ〕 ・応力度算定は合成アーチの部分中空のものとしてRC計算を行う。 ・また, 合成アーチは完成系においても有害な応力状態とならないことを追加検討を行い, 照査する。 ・クリープによる断面力の変化に対する照査は, 完成までの架設系の照査と全支保工施工とした完成系の照査を行うことにより省略する。

工事場所: 新潟県佐渡郡相川町下戸・羽田

工 期: 1987年2月~'89年8月 (予定)

道路規格: 3種3級

橋 格: 一等橋

橋 長: 132.00m

幅 員: 2.50+7.00+2.50m, 全幅 12.80m

橋りょう形式: RC固定アーチ橋

アーチ支間: 82.00m

架設工法: 合成アーチ巻立て工法 (CLCA 工法)

床版定着工法: フレシネー工法

3. 合成アーチ巻立て工法 (CLCA 工法)

本工法は, 合成柱の構造理論をアーチリブの構築方法に適用した施工法である。すなわち, 薄肉角形鋼管をアーチ軸線に架け渡したのち, 鋼管内にコンクリートを充填して, より剛性の高い鋼とコンクリートの合成構造とし, これを支保工代りにして, 特殊移動作業車によりアーチリブコンクリートを順次巻き立ててゆくものである。表-1 に本工法の概要を示す。

セントル工法やメラン工法に比較して, 軸方向力に優

れた性質が生かされ, 鋼材量を大幅に減少できることが最大の特長である。本橋では, 上記工法に比べ, 鋼材量が1/2~1/3に減少でき, 全体工費で約1割のコストダウンをはかることができた。このほか, 本工法には次の利点がある。

- 1) 施工の初期に鋼アーチを閉合し, さらに剛性の高い合成アーチとするため, 架設時の安定性, 安全性に優れる。
- 2) アーチリブは SRC 部材となり, 靱性に優れた構造となる。
- 3) 本工法は支間 150m 程度まで有効と思われるが, この場合, トラス工法, ピロン工法, 併用工法などに比べ, 設計・施工がきわめて容易となる。
- 4) アーチリブ巻立て用作業車を前方でも支持できることから軽量化でき, またブロック長も大きくとれることから, 工期短縮が可能となる。

4. 設 計

本橋の設計条件を表-3に示す。コンクリートアーチ橋の完成時の設計は従来のものと変りがないので, こ

ではアーチリブ架設時の設計について述べる。

4.1 充填コンクリート打設時

鋼管の設計については、道路橋示方書Ⅱ（鋼橋編）により、鋼部材として計算した。構造系は2ヒンジアーチで、考慮した荷重は、①鋼管および充填コンクリート重量、②温度変化、③作業荷重、④地震荷重、⑤風荷重、である。また、面内、面外の座屈に対する安全性も照査した。

4.2 巻立てコンクリート打設時

巻立てコンクリート打設時は、巻立てが終了したコンクリートアーチリブ部材と、まだ終了していない合成アーチ部材の両方でアーチが構成されている。コンクリートアーチリブ部材は通常のR/C部材として設計されるが、コンクリート中の鋼管については、応力度に及ぼす影響が小さいことから無視して設計することにした。

合成アーチ、つまり鋼管コンクリート部材は、鋼管を鉄筋に換算したR/C部材として設計した。たわみや断面力算出の骨組解析では、ヤング係数比 $n=7$ を使用した全断面有効として、応力度の算出は $n=15$ とした鉄筋コンクリート理論で行った。せん断力に対しては鋼管ウェブのみが抵抗するものとして照査した。

図-3、4に、架設段階に従ったクラウン部の合成アーチとスプリング部のアーチリブの断面力の変化を示したが、曲げモーメントは、両者とも架設途中で最大となり、終了時には減少していることが分かる。

5. 施工要領

橋りょう全体の施工順序は図-5に示すとおりである。

6. 鋼管アーチ材架設工

鋼管アーチ材の架設は、通常の斜吊工法等と比較検討した結果、架設時の安定性、工期の短縮、経済性などの面からも有利となる図-6に示すロアリング工法を採用した。

図-3 合成アーチの断面力変化（クラウン部）

表-2 コンクリートアーチ橋の架設工法

架 設 工 法	施 工 概 要
① セントル工法 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製アーチセントルを架設し、支保工として、アーチリブコンクリートをブロック施工する。
② メラン工法 	<ul style="list-style-type: none"> 斜吊り工法またはケーブルクレーンで鋼製メラン材を架設する。 メラン結合後、架設作業車により左右相互にメラン材を包む形でコンクリートを打設する。
③ トラス工法 	<ul style="list-style-type: none"> 鉛直材、上床版およびアーチ部の施工を並行して行い、アーチリブと上床版の間に斜吊り材を使用してトラスを形成しながら、アーチリブを作業車などで張出し施工していく。
④ ピロン工法 	<ul style="list-style-type: none"> 仮支柱（ピロン）を建て込み、アンカーブロックに控索を取って斜張ケーブルを順次張り、作業車などによりアーチリブを張出し施工する。
⑤ ピロン・メラン併用工法 	<ul style="list-style-type: none"> アーチリブの基部は上記のピロン工法で施工し、両側から延びてきたアーチリブの先端間を鋼製メランで結び、作業車などによりメランを包む形で張出し施工する。

表-3 設計条件

			完 成 系	架 設 系
活	荷	重	TL-20	
雪	荷	重	100 kg/m ²	
乾	燥	収 縮	15×10 ⁻⁴	
支 点 移 動	水 鉛	平 直	5 mm 3 mm	
温 度 変 化	アーチリブ 鉛直材・上床版 鋼 アーチ		±10°C ±15°C	±10°C ±30°C
風	荷	重	55 m/s	25 m/s
設 計 震 度	面 内 面 外		0.15 0.15	0.1 0.1
ワーゲン荷重	ワーゲン 型 わ く			25 t 15 t
作 業 荷 重	施工ブロック 背後ブロック			200 kg/m ² 100 kg/m ²
コ ン ク リ ート 側 圧				ACI規準による
軸 線 誤 差			±5 cm

図—4 アーチリブの断面力変化（スプリングング）

表—4 鋼管アーチ仮組み結果

(単位：mm)

	設計値	許容差	製作誤差	備考
アーチ支間	81.764	±18	-10	
キャンバー	最大値 14.051	-5～+25	+15 (max)	
横 ぞ り	—	20	7	

6.1 鋼管アーチ材の製作・搬入

鋼管アーチ材の製作は、この工法で主要なポイントを決めるため、以下の点に留意して行った。

- 1) 鋼管アーチ材は、施工時には仮設材として扱われるが、通常の鋼橋の製作基準を適用する。
- 2) 仮組立てを平面仮組みで行い、その寸法および形状を現場でのアーチ材の閉合時に反映させる。

仮組み結果を表—4に示したが、十分な精度で製作できた。

またトラックおよびトレーラーで現地搬入し、A₁側についてはケーブルクレーンにより送り込んだ。図—7に鋼管アーチの詳細を示す。

6.2 鋼管アーチ材の組立て

鋼管アーチ材の組立ては、作業構台上からトラッククレーンで組み立てた（1ブロックの重量：約4.5～2.4 t）。組立てに際し、以下の点に留意して施工した。

- 1) ロアリング時、基準となる最下段ブロックのピンシューの据付け精度

写真—2 アンカーフレーム

写真—3 鋼管アーチ組立て

写真—4 鋼管アーチ組立て（全景）

- 2) 剛性の小さい鋼管の組立て時の方向維持
- 3) 組立て作業足場の確保

鋼管アーチ材が3主構であるので、各主構にねじれ等による余分な力が作用しないよう、シューの据付けには細心の注意が払われた。また、写真—2に示すように、アーチアバットにはピンシュー用のアンカーフレームを埋め込んだ。

組立て精度については、最終組上り状態で、先端部のアーチ軸に対するずれを10 mm程度に抑えることができた。

① F_1, F_2 アーチアバット施工

② $P_1 \sim P_3$ 脚注, A_1, A_2 橋台施工
(ケーブルクレーン設置)

③ 構台設置

④ 鋼管組立て

⑤ 鋼管回転接合

⑥ 充填コンクリート打設

⑦ スプリング部支保工施工

⑧ ワーゲン組立て, 施工

⑨ 鉛直材施工

⑩ 上床版施工

⑪ 橋面工施工

図—5 施工順序

組立てに要した日数は、鋼管アーチ重量約 132 t, ブロック数 42 に対して、実質 20 日余りであった(写真—3, 4)。

6.3 ロアリング工

鉛直に組み立てられた鋼管を、ロアリング装置を使用して徐々に回転し、アーチ形状とした。ロアリング装置

は写真—5 に示すような三角形の架台であり、その中には 500 t のセンターホールジャッキが組み込まれている。また、送り出し材として、PC ストランド (φ 17.8 mm) を 1 装置当り 4 本使用している(写真—6)。ロアリング装置に働いた反力は、最大で 1 装置当り約 55 t であった。その反力は、作業構台を介してアーチアバット

図-6 ロアリング工

トにアンカーされた。

ローリング工の工程は、鋼管アーチの組立て完了から延べ日数で3日間であった。ローリングジャッキのサイクルタイムは、1回の送り出し約 280 mm で平均 9 分間であった。写真-7 にローリング状況を示す。

鋼管アーチの閉合にあたっては、閉合部で 100 mm の遊間を設け、施工誤差に対処した。閉合精度は、アーチ軸方向で 20 mm、高さで +30 mm であった。

7. 充填コンクリートの施工

充填コンクリートの施工は、この工法において最大のポイントとなるため、計画、設計段階から十分に検討した。施工順序としては、図-7 に示す3主構のうち、中央の主構 G_2 を打設し、硬化後、外側の主構 G_1 , G_3 を打設した。1主構当りの打設数量は約 50 m^3 であった。

7.1 コンクリートの配合

コンクリートの設計基準強度 $\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$ である。配合表を表-5 に示す。

現地の骨材事情により、いくぶん富配合となった。スランプは、充填性を考慮して 12 cm とした。

写真-5 ロアリング装置

写真-6 ロアリングジャッキ

写真-7 ロアリング工

7.2 コンクリート打設

コンクリートの打設は、ポンプ車を使用して、鋼管の上面に約 5 m ピッチで設けられた充填用穴から行い、左右のスプリングからほぼ同じ速度で打ち上げた。

打設は、時間当たり 8~9 m^3 (鋼管長さ換算で 12.5~14.5 m) の速度で行い、水平となるクラウン部では約半分の打設速度に落とし、鋼管内に空隙が残らないよう配慮した。充填の確認は鋼管アーチ上面のコンクリート管理孔で行い、充填されたのを確認後、順次ふたを閉じる方法とした。計画当初、クラウン部については、コン

図—7 鋼管アーチ材の詳細

表—5 コンクリート配合表

使用区分	呼び強度	スランプ (cm)	水・セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m³)				混 和 剤 (g/m³)	使 用 材 料
					セメント	水	細骨材	粗骨材		
鋼管充填	400	12	38.5	38.0	439	169	640	1 034	878	セメント：普通セメント 骨材：小倉産 25 mm 混和剤 (AE 減水剤)：ウィンソル 80
アーチリブ 巻 立 て	400	12	36.5	36.0	452	165	604	1 065	904	セメント：早強セメント 骨材：小倉産 25 mm 混和剤 (AE 減水剤)：ウィンソル 80

写真—8 鋼管充填コンクリート打設状況 (1)

写真—9 鋼管充填コンクリート打設状況 (2)

写真-10 鋼管充填コンクリート打設状況 (3)

リート充填後に、ある程度の空隙が生ずるとの考えからグラウト注入を予定していたが、硬化後の充填確認では注入するほどの空隙が認められず、ほぼ満足できる状態であった(写真-8, 9, 10)。

図-8 充填コンクリートの温度変化 (測点5)

7.3 養生

施工時期が夏季となるため、外気温の上昇により鋼管が温められ、コンクリート硬化時の温度上昇が大きくなると予想された。その対策として種々検討した結果、コンクリートの配合はそのままとし、鋼管アーチ材上面に散水養生パイプを配管し、外部から熱を取る方法を採用した。結果的には、2回の打設とも曇天日で外気温が

測 点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
測定 δx (mm)	-3.0	-6.0	-6.0	-8.0	-7.0	2.0	0.0	5.0	3.0	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0	5.0	3.0	3.0
測定 δy (mm)	-1.0	-2.0	-1.0	1.0	5.0	11.0	16.0	20.0	23.0	21.0	17.0	14.0	7.0	1.0	-1.0	-2.0	-3.0
設計 δx (mm)	-2.93	-4.57	-4.51	-3.11	-1.06	0.91	2.24	2.76	2.58	2.18	1.71	1.68	2.34	3.58	4.82	5.08	3.47
設計 δy (mm)	-2.44	-3.63	-2.50	1.29	7.29	14.48	21.46	26.81	29.35	28.90	25.11	18.28	9.86	1.82	-3.83	-5.79	-3.99

図-9 充填コンクリートによるアーチリブのたわみ

図-10 アーチリブ断面図

写真-11 スプリングング支保工

写真-13 特殊移動作業車

写真-12 スプリングング巻立て完了状況

写真-14 アーチリブ配筋状況

写真-15 巻立てコンクリート施工状況

20℃ ほどであったので、コンクリートの温度上昇は、最大で 45℃ 程度であった。図-8 に充填コンクリートの温度変化を示す。

7.4 充填コンクリート打設による鋼管アーチのたわみ

鋼管アーチのたわみは、計算値と比べ、わずかに小さい値を示したが、おおむね一致していた(図-9)。

数値的には、1回目、2回目の打設で、それぞれ1/3, 2/3 と、ほぼ荷重に比例してたわみが生じた。また横構の剛性により、3主構ともおおむね同じ動きを示した。

8. 巻立てコンクリートの施工

鋼管内充填コンクリートの打設が完了すると、次にRCアーチの施工に入る。アーチの施工は、合成鋼管を包み込む形で、図-10 に示すようなRC部材を成形してゆく。つまり、巻立てコンクリートの施工である。

巻立てコンクリートの配合を表-4に示す。工程短縮等を考慮して早強ポルトランドセメントを使用した。

8.1 スプリングング部の施工

スプリングング部の施工は、写真-11 に示すような支保工で施工した。

施工ブロック長は 5.0m である。この施工により、アーチリブとアーチアバットが剛結される(写真-12)。

8.2 特殊移動作業車による巻立てコンクリートの施工

スプリングング部の施工後、移動作業車を組み立て、巻立てコンクリートの施工を行った(写真-13)。

移動作業車は前方を鋼管アーチ上面で支持し、後方は

表—6 实施工程表

写真—16 移動作業車移動状況

巻立てコンクリート上で支持できるので、一般の張出し
施工に比べて構造的には単純なものとなり、機械重量と
しては約 35 t 程度と軽いものになった。

打設ブロック長は 5.0 m で、1 回の打設数量は 35 m³

である。写真—14, 15, 16 に施工状況を示す。

1ブロック当りの施工日数は、標準工程で10.5日となった。実施工程表を表一6、サイクル工程を表一7に示す。

9. アーチリブの上げ越し

本工法におけるアーチリブの上げ越しは、すべて鋼アーチ製作時のキャンバーに与えられ、あとはコンクリートを巻き立ててゆきだけとなるので、鋼管アーチ材の製作時の管理を十分に行えば、巻立て時の管理としては比較的容易である。

鋼管アーチ架設からクリープ終了までの上げ越し計画高と、巻立てコンクリート終了時のたわみを 図-11 に示す。

10. 計測工

本橋に適用した鋼管コンクリート構造を使用したアーチリブの施工は、国の内外においてまだ経験がなく、設計法も確立したものがない。それゆえ、今回の施工においては表—7, 8 に示す項目について計測管理を行い、必要な構造性能と安全性の確保をはかった。その結果、問題となるような異状は認められず、当初の計画どおりアーチリブ施工が終了した（写真—17）。

なお、計測結果は現在解析中であり、
 まとまりしだい別の機会に報告したいと
 直—18 にアーチリブ完成状況を示す。

11. おわりに

本報告では、新工法（CLCA 工法）による城址橋のアーチリブの施工までを述べた。施工にあたり、計測管理を行うなどのほか、日本海からの季節風が直接吹き上げることによる浮遊海塩粒子に対する塩害対策も行うなど、細心の注意が払われた。その結果、アーチリブの開

表—7 巻立てコンクリートサイクル工程

工種	日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
移動作業車移動・据付け		■										■
端わく工			■									
下床版・腹部鉄筋工			■■■■■									
側わく・内わく組立て					■■■■■		■					
上床版鉄筋工								■				
上面型わく工									■			
コンクリート工										■		
養生工										■■■■■

図-11 上げ越し高

表-8 計測管理項目

	管理項目	内容	備考
充填時 鋼管 コンクリート	コンクリートの側圧	所定の側圧以下か確認する。	コンクリート 打設作業中、 継続して測定
	コンクリートの温度	設計で予想した上昇温度と比較する。	
	鋼管応力度	設計計算値と比較する。	
	鋼管の変位	たわみ計算値と比較する。	
ト鋼管 巻立て時 コンクリート	アーチリブ鉄筋応力度	設計計算値と比較する。	各ブロック打 設ごとに測定
	鋼管応力度	設計計算値と比較する。	
	充填コンクリート応力度	設計計算値と比較する。	
	鋼管の変位	設計計算値と比較する。	

表-9 加振法による振動測定

測定時期	衝撃加振	人力加振	常時微動	車両走行
鋼管アーチ閉合時	○	○	○	
充填コンクリート打設後	○	○	○	
巻立てコンクリート施工時	○	○	○	
アーチリブ完成時	○		○	
橋りょう完成時	○		○	○

合に続いて鉛直材の施工も無事終了し、3か月の冬期工事休止期間後、3月下旬から上床版の施工を行っている状態である。

本報告が誌面に載る6月ごろには、周囲の景観に調和した美しいアーチ橋が姿を現すはずである。本橋が地域住民に愛され、観光客の目を楽しませる佐渡島のランドマークになることを切に希望するものである。

なお、CLCA 工法は、偏心軸方向力を受ける構造物全般に応用できることから用途は広いと思われる。本報告が今後の橋りょう計画の参考になれば幸いである。

最後に、CLCA 工法の設計、施工、計測等の多方面にわたってご検討いただいた「城址橋技術検討会」（委員長：島田静雄名古屋大学教授）のメンバーの方々ならびにご指導をいただいた方々に深く感謝の意を表す次第である。

写真-17 計測管理

写真-18 アーチリブ完成

参考文献

- 1) 井上・佐藤・登石：合成アーチ巻立て工法による城址橋の計画、橋梁と基礎、Vol. 22, No.2, 1988.2
- 2) 大浦・加藤・田辺・島田：コンクリートアーチ橋架設用アーチ支保工への鋼管コンクリート構造の適用に関する実験的研究、コンクリート工学、Vol. 22, No. 12, 1984.12
- 3) 大浦・加藤・川村：コンクリートアーチ模型の破壊試験、コンクリート工学、Vol. 23, No. 9, 1985.9
- 4) 加藤・田中・大浦：アーチリブ架設時における振動特性、土木学会中部支部研究発表会、1989.3