

合成アーチ巻立て工法 —— 軽井沢橋の設計・施工 ——

池田 隆^{*1}・滝口 敏之^{*2}・藤田 康之^{*3}・水城 康男^{*4}

1. まえがき

軽井沢橋は、摺上川ダム建設事業の一環として景勝地、摺上峡に架橋された鉄筋コンクリート固定アーチ橋である（写真-1）。

阿武隈川の左支川、摺上川（福島市飯坂町茂庭地内）に建設される当ダムは、洪水調節を始めとする多目的の

堤高 111.5 m、総貯水容量 153 000 千 m³ の中央コア型ロックフィルダムである。現在、ダム本体建設工事に着手すべく転流工、工事用道路および付替え道路等の工事を急ピッチで進めているところである。本橋梁は、この工事用道路（一般国道 399 号、茂庭バイパス）計画のう



写真-1 完 成

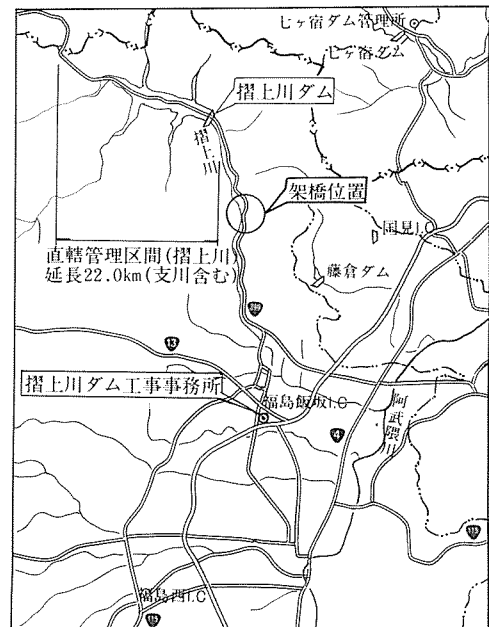
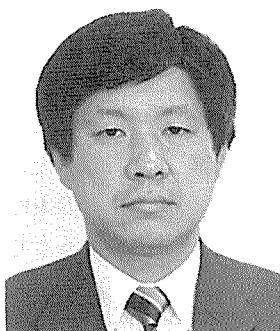


図-1 位 置



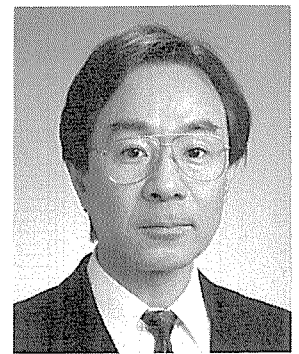
^{*1} Takashi IKEDA
建設省 東北地方建設局
摺上川ダム工事事務所
所長



^{*2} Toshiyuki TAKIGUCHI
建設省 東北地方建設局
摺上川ダム工事事務所
建設監督官



^{*3} Yasuyuki FUJITA
(株)ピー・エス 東北支店
盛岡事務所
工務課長



^{*4} Yasuo MIZUKI
(株)ピー・エス 東北支店
土木技術部
設計課長

この軽井沢橋上部工工事である。

橋梁形式の選定にあたっては、架橋地点の溪谷美との調和を配慮し、河道に橋脚を設けない構造形式であること、維持費がかからなく経済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、施工性等の検討の結果、合成アーチ巻立て工法が採用された。

本文では、当工法を用いて施工された軽井沢橋の設計、施工についてその概要を報告する。

2. 工事概要

工事名称：軽井沢橋上部工工事

工事場所：福島県福島市飯坂町茂庭地内

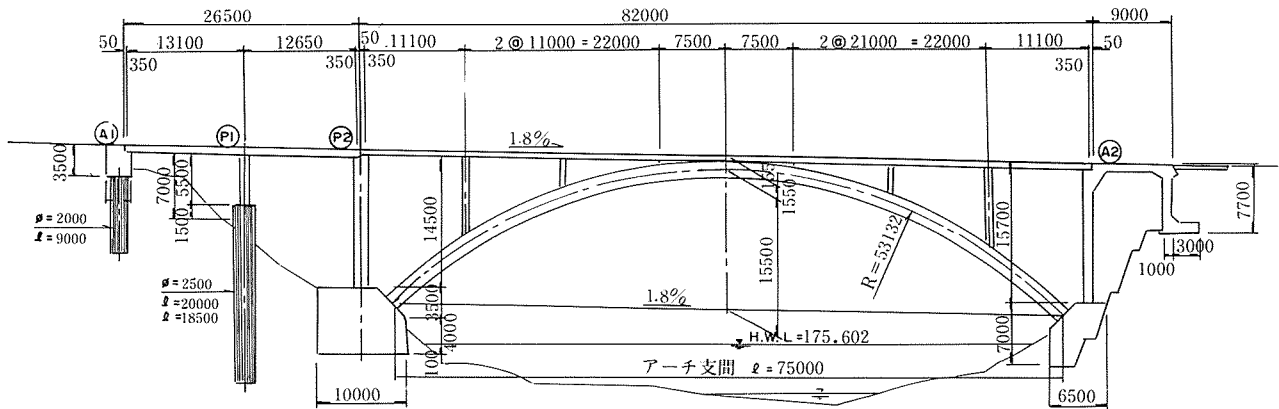
道路規格：3種3級

橋 格：一等橋 (TL-20)

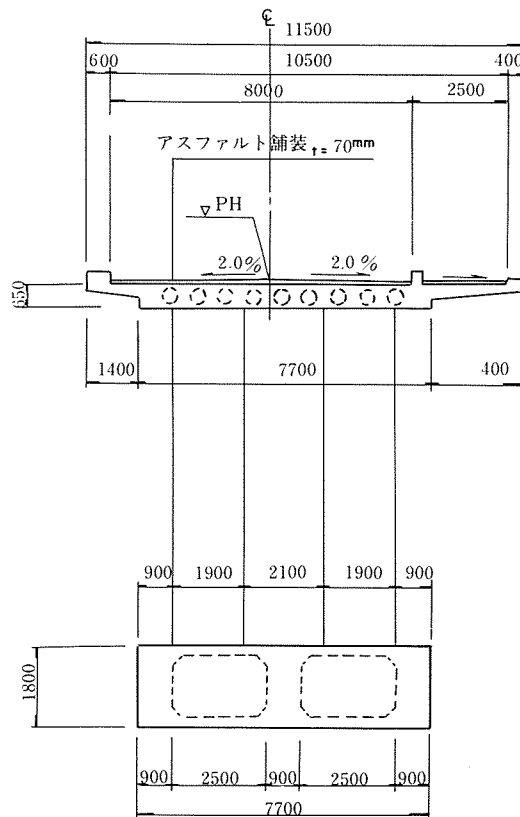
橋 長：117.5 m

支 間：75.0 m (アーチ支間)

有効幅員：8.0 m+2.5 m



側面図



断面図

図-2 一般図

構造形式：RC 固定アーチ
 架設工法：合成アーチ巻立て工法
 工 期：平成5年2月～平成6年10月
 発 注 者：東北地方建設局摺上川ダム工事事務所
 受 注 者：(株)ピー・エス東北支店
 主要材料：表-1

表-1 主要材料

	種 別	規 格	単 位	数 量
アーチリブ	コンクリート	$\sigma_{ck}=300 \text{ kgf/cm}^2$	m ³	630
	鉄 筋	SD 295 A	tf	96
	鋼 管 材	SS 400	tf	89
支上柱路桁	コンクリート	$\sigma_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2$	m ³	490
	鉄 筋	SD 295 A	tf	81

本橋の一般図を図-2 に示す。

3. 合成アーチ巻立て工法

3.1 工法の概要

合成アーチ巻立て工法 (Concrete Lapping Method with pre-erected Composite Arch——略称：CLCA 工法) は、合成柱の構造理論をコンクリートアーチ橋のアーチリブの構築方法に応用した施工法である。

本工法は、薄肉角形鋼管をアーチリブ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、鋼とコンクリートにより剛性の高い合成構造とし、埋込み型の支保工としたのち、移動作業車によりアーチリブ躯体をスプリング部からアーチクラウン部に向かって、順次巻き立てていく工法である。

3.2 工法の特徴

鋼管コンクリート構造を、コンクリートアーチ橋の架設用アーチ支保工として使用したもので、軸力が卓越するアーチ橋に適用したところに大きな利点を有している。その主な特徴を以下に列記する。

- 1) 施工の初期の段階で鋼管を閉合するため、耐震、耐風安定性に優れ、さらにコンクリートが充填された合成アーチは、強固な構造となるので、アーチリブの施工は、極めて安全性が高い。
- 2) アーチリブ施工用移動作業車は、前方でも支持できることから軽量化できる。
- 3) 鋼アーチ→合成アーチ→RC アーチと段階的な施工であるが、トラス工法、ピロン工法などの張出し工法のように、大きく構造系が変化することがないため、設計・施工管理が容易である。
- 4) 鋼アーチをロアリング架設することにより、ケブルクレーンを使用した斜吊り工法に比べ架設工期が短縮できる。
- 5) 合成柱の軸圧縮力に優れた性質が活かされ、セン

トル工法やメラン工法に比べ鋼材量を大幅に減少できるため、経済的な架設工法である。

3.3 合成アーチ部材の鋼・コンクリートの合成効果

本工法は、合成柱の構造理論を適用したものである。

合成柱の構造特性として、

- ① 鋼管とコンクリートの共働効果による剛性の増加
- ② 鋼埋込み桁、プレビーム等と同様に鋼断面積に対する付着面積の比が大きい

等がある。具体的に述べると、

①について：充填コンクリートには圧縮強度の高いものが有利である。すなわち、コンクリートのヤング係数を大きくできるため、合成アーチ部材の剛性が高まる。その結果、巻立て架設中のたわみを小さくでき、そして巻立てコンクリート部の曲げモーメントを減少させることができる。さらに鋼管コンクリート断面では、圧縮応力度をより多くコンクリートが負担することができ、鋼材量を減少させることができる。

②について：一般に鋼・コンクリート合成部材はずれ止めを用いて合成効果を確保する。本工法では以下の理由により、特にずれ止めを用いていない。

- 1) アーチ形状の特性で、合成アーチ部材のせん断力が小さい。
- 2) 密閉構造となるため乾燥収縮の影響は無視できる。
- 3) 架設時の一時的な部材である。
- 4) 付着面積が大きい。

作用するせん断力が小さいため、付着力で充分合成が確保できる。

これらについては、いままでに施工された城址橋 (アーチスパン 82 m) および旭橋 (58 m) において、アーチリブ施工に伴って行った実証試験の結果、合成アーチ部材の鋼・コンクリートの合成効果が確認されている^{1),2),3)}。

4. 設 計

コンクリートアーチ橋の完成時の設計は、従来のものと変わらないので、ここではアーチリブ架設時の設計について述べる。設計条件を表-2 に示し、図-3 に設計フローチャートを示す。

合成アーチ巻立て工法特有のアーチリブ架設時の検討は以下のように行った。

本工法での設計の考え方を図-4 に示す。

4.1 充填コンクリート打設時

鋼管の設計については、道示Ⅱ (鋼橋編) により鋼部材として設計した。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作業荷重、③温度変化、④地震荷重、⑤風荷重である。ま

表-2 設計条件

荷 重		完 成 系	架 設 系
活	荷 重	TL-20	-
雪	荷 重	100 kgf/m ²	-
乾	燥 収 縮	15×10 ⁻⁵	-
温 度 変 化	アーチリブ	±15℃	*±30℃
	そ の 他	±15℃	-
風	荷 重	-	*25 m/sec
設 計 震 度	面 内	0.20	0.10
	面 外	0.20	0.10
支 点	移 動	-	-
軸 線	誤 差	±50 mm	-
架 設	作 業 車	-	45 tf

た、面内、面外の座屈に対する安全性についても照査した。

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部材は通常の RC 部材として計算し、コンクリート中の鋼管は、応力度に及ぼす影響が小さいので無視した。

合成アーチ（鋼管コンクリート）部材は、鋼管を鉄筋に換算した RC 部材として計算した。たわみや断面力算出の骨組解析では、実ヤング係数比を使用した全断面

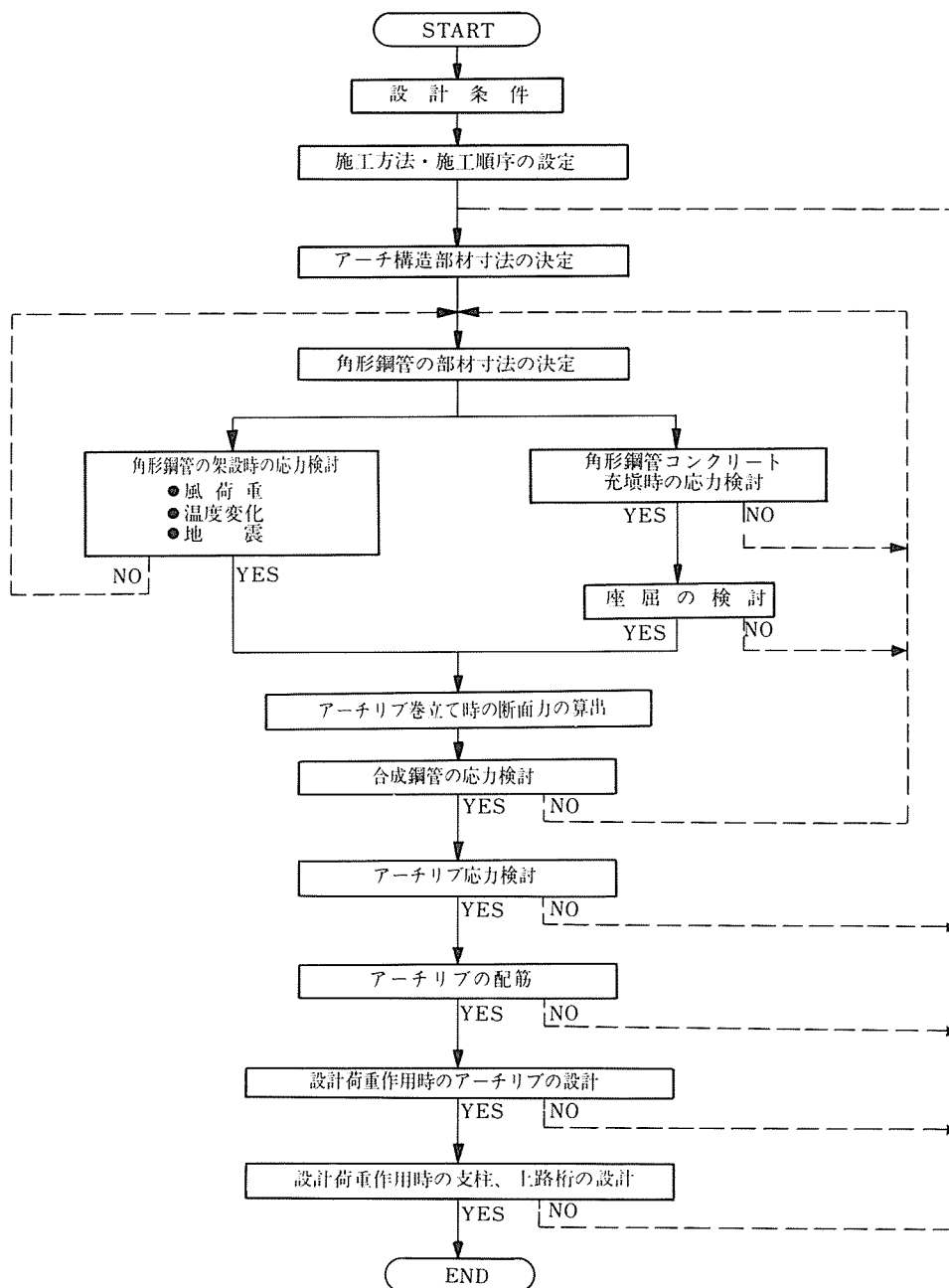


図-3 設計フローチャート

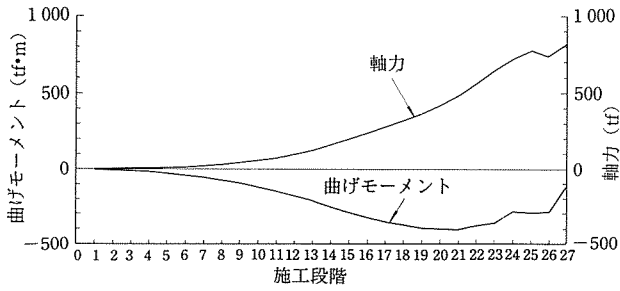


図-5 合成アーチの断面力変化(クラウン部)

有効として、応力度の算出は $n=15$ とした RC 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-5, 6 に、架設段階に従ったアーチリブの断面力の変化を示した。曲げモーメントは架設途中で最大となり、終了時には減少するのがわかる。

5. 施 工

5.1 施工順序

施工順序を図-7 に示す。

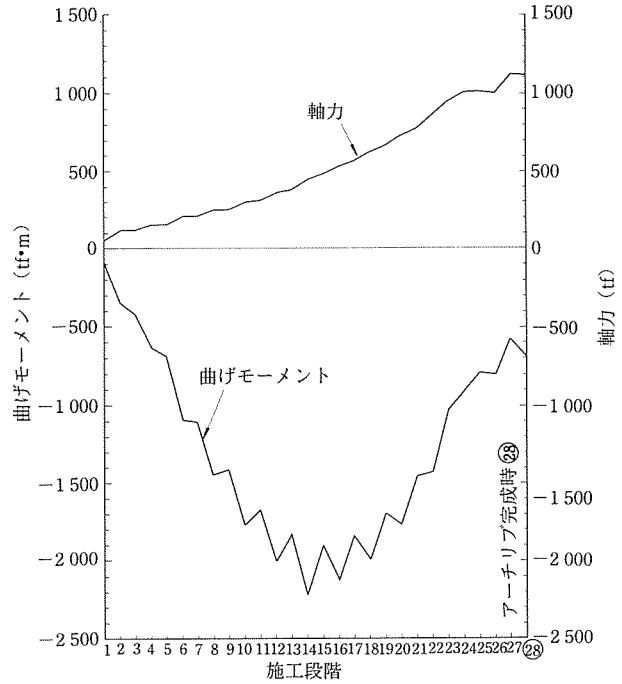
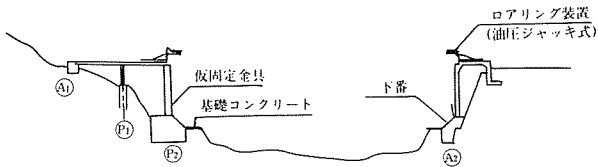
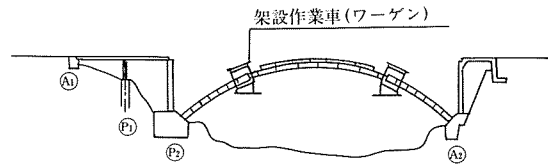


図-6 アーチリブの断面力変化(スプリング部)

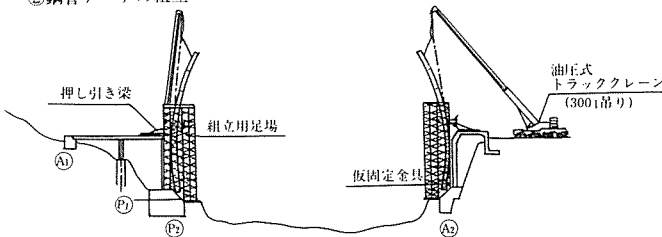
- ①下番、仮固定金具の据付け
ロアリング装置の組立
組立用足場の基礎及び組立



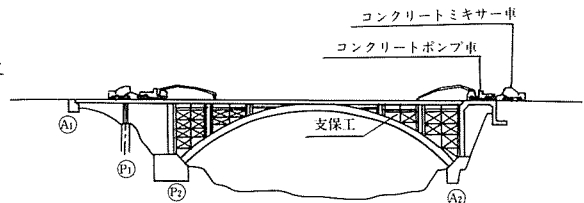
- ④アーチリブの巻立て施工



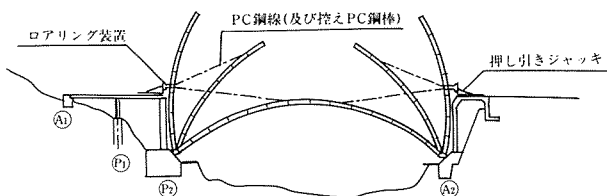
- ②鋼管アーチの組立



- ⑤支柱、上路桁施工



- ③鋼管アーチのロアリング, 充填コンクリートの施工



- ⑥完 成

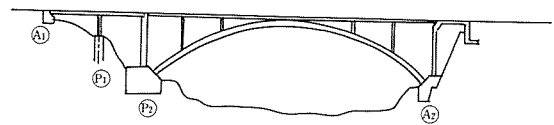


図-7 施工順序

5.2 鋼管アーチの製作

鋼管部材はSS 400を使用し、ウェブプレート厚 $t=6$ mm, フランジプレート厚 $t=12$ mm, 幅380 mm, 高さ1 250 mmの角形鋼管である。水平および垂直補剛材はボックス外側に設けた。

鋼管アーチは、アーチ軸線の形状が $R=53$ m, 軸線長 $L=83.3$ mであるので、全体を14ブロックに分割

し、1ブロックの基本長を6.0 mとして折れ線で製作した。スプリング部の回転支承を含めた全体の鋼材重量は100 t (3主構)である。

充填コンクリートの打設孔は、20 cm×30 cmの楕円形として6.0 mピッチに設け、フレキシブルパイプレータの挿入孔を兼ねた管理孔 $\phi=10$ cmを3.0 mピッチ、それぞれ鋼管上面に設けた(図-8)。

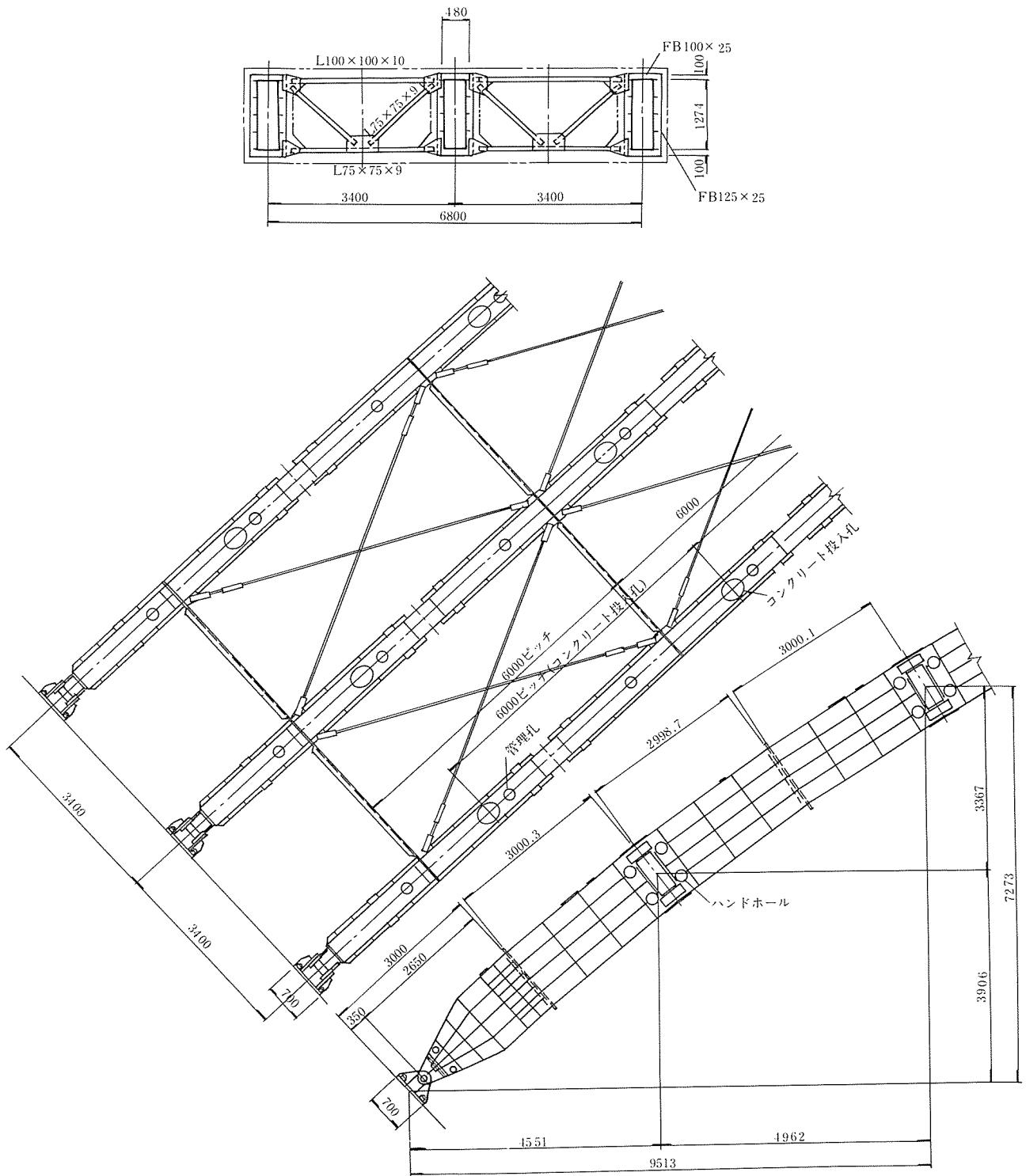


図-8 鋼管アーチ材

5.3 鋼管アーチの組立て架設

鋼管アーチスプリング部のピン支承は、鋼管アーチ自重と充填コンクリートの荷重に対して設計されており、鋼管アーチのロアリング (Lowering) 施工の回転部にあたる。

鋼管アーチの組立ては、3主構を P₂ 側、A₂ 側で各 4ブロックと 3ブロックとに分けて地組し、足場および安全ネットを取り付け、油圧式トラッククレーン (300 t 吊り) を用いて建込みした (写真-2)。

鉛直に組み上げられた鋼管アーチは、P₂、A₂ の上床版上に設置したロアリング装置により、所定の位置までおろし、中央部で閉合した (写真-3)。

鋼管アーチ閉合部は、閉合調整金具を用いて所定の位置に仮固定し、スプライスプレートに現場で穴あけ加工して、ボルトにより結合した。

ロアリングジャッキは、センターホールジャッキの前後にグリップを設け、グリップの開閉を油圧で自動的に行い、荷重をかけながら PC 鋼より線 (φ21.8 mm) を戻す構造となっている (写真-4)。1 回のロアリングは線伸量で約 200 mm、平均 2 分間で、これを 90 回のジャッキ繰返し作業で行った。図-9 にロアリング

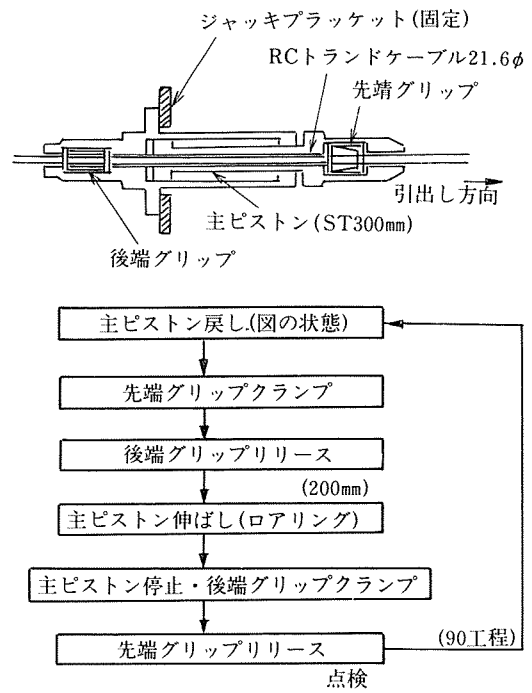


図-9 ロアリング工程

ジャッキとロアリングの 1 サイクル工程を示す。

ロアリングの管理は、PC 鋼より線の繰出し量と油圧ジャッキの圧力計の読みで行い、偏心荷重と鋼管アーチ橋軸直角方向のズレ量を少なくした。ロアリング時のズレ量の管理は、P₂ 側、A₂ 側ともにロアリング装置の後方に設置したトランシットで行った。閉合精度は、水平方向で 32 mm、高さで ⊕13 mm であった。

5.4 充填コンクリートの施工

鋼管アーチの充填コンクリートは、アーチリブ巻立てコンクリートと同じコンクリート基準強度 $\sigma_{ck}=300$

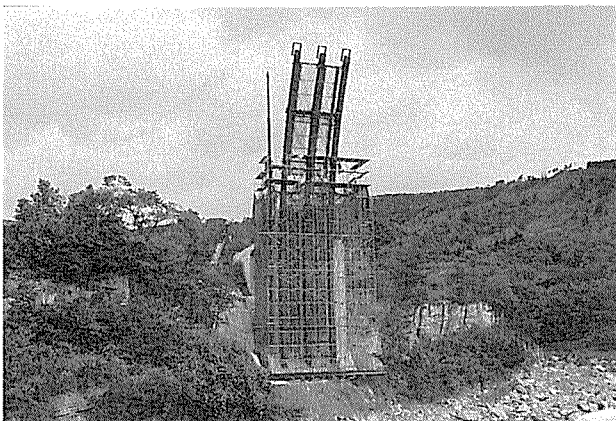


写真-2 鋼管アーチの組立て

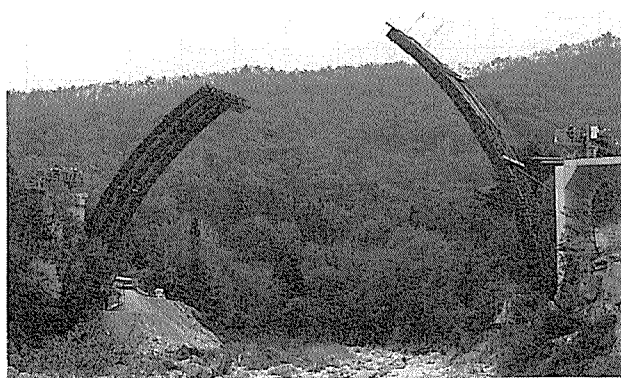


写真-3 ロアリング架設

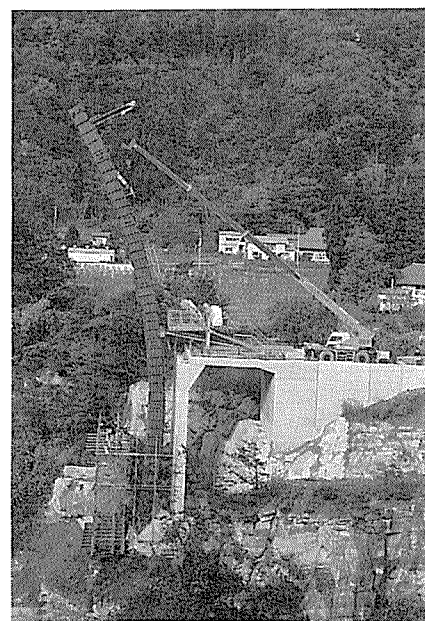


写真-4 ロアリング装置

kgf/cm²を使用した。

施工は、コンクリートポンプ車を P₂ 側、A₂ 側の両側に配置し、スプリング部よりアーチクラウン部に向かって左右対称に充填した。また、3主構それぞれのたわみ差等の影響を小さくするため、3主構のうち、最

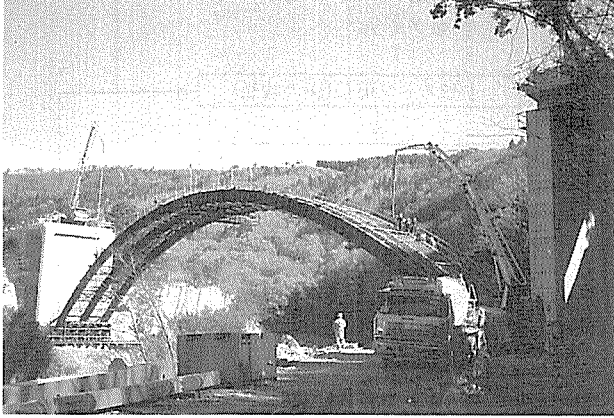


写真-5 充填コンクリート打設

初に中央の主構から行き、次に下流側、上流側の順に行った（写真-5）。

充填は、116 m³のコンクリートを1日で打設した。充填2日後に、アーチクラウン部付近のブリージングによる空隙をグラウトで注入した。

5.5 アーチリブスプリング部の施工

アーチリブスプリング部、P₂ 側と A₂ 側の 3.0 m 区間は、移動作業車組立てのためのスペースを確保することと、合成アーチ（鋼管アーチの充填コンクリートが硬化し、合成構造となる）スプリング部を巻き立て固定するために、地上から H 形鋼等を用いて支保工により施工した（写真-6）。

5.6 アーチリブ巻立てコンクリートの施工

コンクリートは工期短縮を考慮して早強ポルトランドセメント ($\sigma_{ck}=300$ kgf/cm²) を使用した。

施工は、スプリング部施工後、移動作業車を組み立て、スプリング部よりアーチクラウン部に向かっ



写真-6 スプリング部の支保工施工

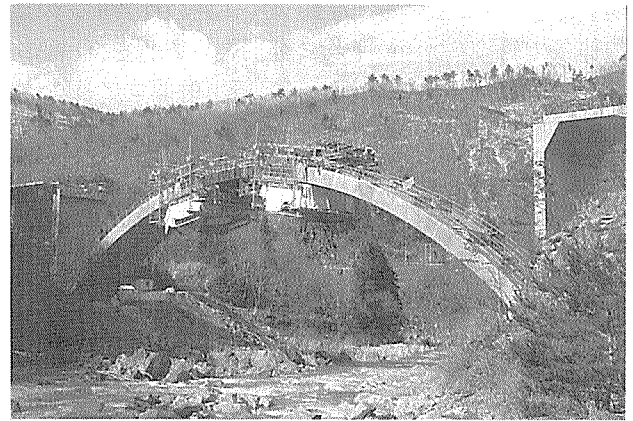


写真-7 巻立てコンクリートの施工

表-3 実 施 工 程

軽井沢橋上部工工事

	H5					H6															
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
準備工																					
鋼管製作工																					
床版工																					
鋼管運搬工																					
鋼管組立工																					
アーチリブ工																					
支柱工																					
上路桁工																					
橋面工																					
跡片付け工																					
備考	その1工事 平成5年2月3日～平成5年7月31日 その2工事 平成5年9月28日～平成6年3月25日 その3工事 平成6年3月26日～平成6年10月31日																				

表-4 巻立てコンクリートのサイクル工程

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 枠 工												
下床版・腹部鉄筋工												
側枠・内枠組立て												
上床版鉄筋工												
上面型枠工												
コンクリート工												
養生工												

て両側交互に行った。打設ブロック長は3 m, 1回の打設数量は20 m³である(写真-7)。

移動作業車は前方を鋼管アーチ上面で支持し、後方は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単純なものとなり、重量も約45 tと軽いものとなった。

1ブロックあたりの施工日数は、標準工程で10日となった。実施工程を表-3, 巻立てコンクリートサイクル工程を表-4に示す。

5.7 支柱, 上路桁の施工

支柱工, 上路桁工の足場および支保工は、アーチリブ上面より組み立てた。支保工は、支柱式支保工上に枠組み支保工を組み立てる構造とした。

上路桁のコンクリート打設はポンプ車で、アーチリブの変形を考慮し、クラウン部より左右同時に行い、均等に荷重がアーチリブにかかるようにした(写真-8)。

6. あとがき

本報告では、合成アーチ巻立て工法による軽井沢橋の設計・施工についてその概要を述べた。

本工事は平成6年10月に当初の計画より早く、余裕をもって完成した。周囲の景観に調和したアーチ橋が、地域住民に愛され、摺上峡の新たな景勝地になることを

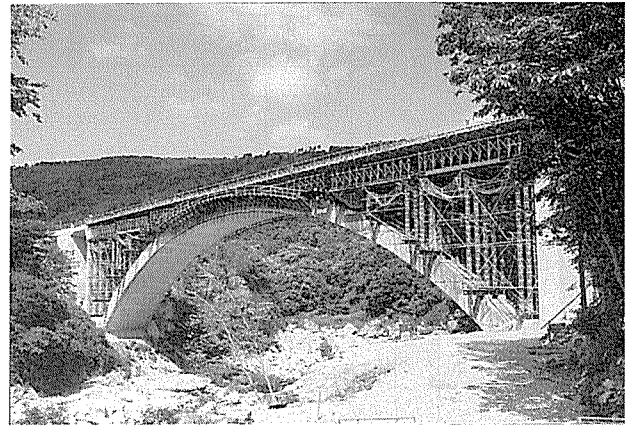


写真-8 上路桁の施工

切に希望するものである。

なお、本工法は、軸圧縮力が卓越する構造物全般に適用できることから、本報告が類似の構造物を計画する際の参考になれば幸いである。

最後に、本橋の計画および実施にあたり、多大なご指導をいただいた関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 大浦, 加藤, 佐藤: 架設用支保工に適用したコンクリートアーチ橋の施工と施工時実橋試験——合成アーチ巻立て工法——, 土木学会構造工学論文集, Vol. 36 A (1990. 3)
- 2) 川上, 高橋, 大浦, 水城: 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と実証試験, 第11回コンクリート工学年次論文報告集, 1989.
- 3) 山本, 佐川, 小林, 遠山: 合成アーチ巻立て工法による城址橋の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol. 23, No. 11, 1989. 11

【1994年12月26日受付】