

20径間連続RCアーチ橋の施工

Construction of 20-span Continuous RC Arch Bridge

一色 真人*
Makoto Isshiki

尾沢 孝三*
Kozo Ozawa

野村 裕一*
Yuichi Nomura

牧野 真一郎*
Shin-ichiro Makino

要 約

本報告書は、日本道路公団東京第二建設局発注の上信越自動車道神川橋工事のうち、上部工の施工方法および神川橋（以下上田ローマン橋と称す）の技術的特長について記述するものである。上田ローマン橋は上信越自動車道のランドマーク的存在であり、我が社においても初のRCアーチ橋の施工となる。

以下、RCアーチ橋上部工の施工においてポイントとなる、

- ①アーチリブ支保工（アーチセントル）、②アーチリブ施工、③側壁・ホロースラブ施工
④中詰土施工

について述べるとともに、上田ローマン橋の技術的特長である、

- ①アーチリブと側壁の分離構造、②ジョイントレス構造、③高流動コンクリートの試験的適用
についても述べる。

目 次

- § 1. はじめに
§ 2. 工事概要
§ 3. 上部工の施工
§ 4. 技術的特長
§ 5. おわりに

§ 1. はじめに

上信越自動車道は、群馬県藤岡市で関越自動車道と分岐し、長野県の東信・北信地方を經由して新潟県上越市で北陸自動車道と接続する全長約205kmの高速自動車国道である。上田ローマン橋は、上信越自動車道のうち長野県上田市東部の郊外に位置する全長714.5mのRC20径間連続アーチ橋である。20径間のうち17径間が充腹アーチ橋で、3径間が開腹アーチ橋である。充腹アーチ橋では径間数、橋長とも国内最大規模となり、我社として初めての施工事例となる。写真-1に完成写真を示す。

* 中部(支)道公上田(出)



写真-1 完成写真

§ 2. 工事概要

工事名	上信越自動車道 神川橋工事	
路線名	高速自動車国道 関越自動車道 上越線	
工事箇所	(白) 長野県上田市大字殿城 (STA227+85.5) (至) 長野県上田市大字上野 (STA235+00.0)	
工事延長	総延長	714.5m
	橋梁延長	714.5m
車線数	2車線 (暫定2車線, 将来的には4車線)	
工期	平成4年10月1日～平成7年11月14日	

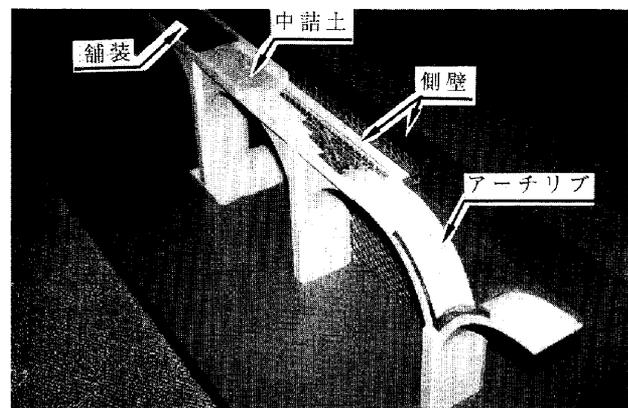


写真-2 充腹アーチ橋概略構造

§ 3. 上部工の施工

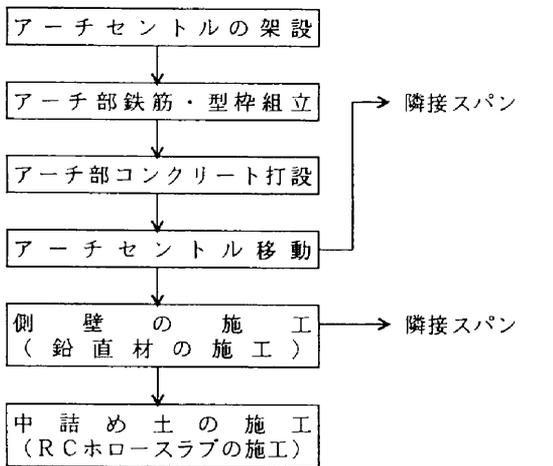
周辺の地形や風景に調和した景観を創出することができるアーチ構造であるが、当工事には充腹アーチ橋と開腹アーチ橋の2種類が採用された。

充腹アーチ橋にはスパン26.5m部とスパン36.5m部があり、写真-2に示すようにアーチリブと側壁によってできる空間に土を詰め(中詰土)その上を舗装する構造であり、通常の土工区間と同等の路面となる。さらに、季節温度変化に伴う橋梁の伸縮はアーチリブの上下動で吸収するため、橋梁部に一般的に使われている伸縮目地が

省略でき、①維持管理費の低減、②快適な走行性の実現、③騒音・振動の低減、という大きな利点が得られる。

開腹アーチ橋のスパンは54.0mであり、アーチリブ上の鉛直支柱でRCホロースラブを支持する構造となっている。充腹アーチ橋と異なり、重い中詰土がないため、①スパンの長大化が可能、②スレンダーな感じで景観的に優れている、という特長を持っている。当現場においては、神川横断部の3径間に開腹アーチが採用された。

上部工の施工フローおよびスパン36.5m、54.0mのアーチ部施工サイクルタイムをそれぞれ図-1および2に示す。



注) () は開腹アーチ部を示す。

図-1 上部工施工フロー

スパン36.5m部

期間 (日)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
レール設置・荷重解除	***								
支保工分割・移動・設置	**	****							
足場工		**							
型枠工・複部						*****		****	
型枠工・外面							*****	****	
鉄筋工			*****						
PC鋼棒取付							****		
コンクリート工								*	

スパン54.0m部

期間 (日)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
レール設置・荷重解除	***														
支保工分割・移動・設置	**	**													
足場工	***														
型枠工・複部							*****		*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
型枠工・外面								*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
鉄筋工			*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
コンクリート工										*					*

図-2 アーチ部施工サイクルタイム

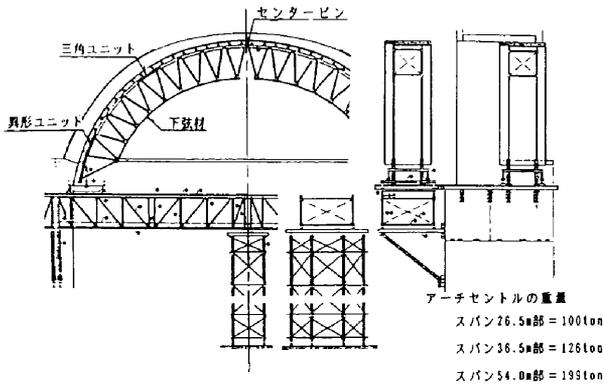


図-3 アーチセントル (スパン36.5m部)

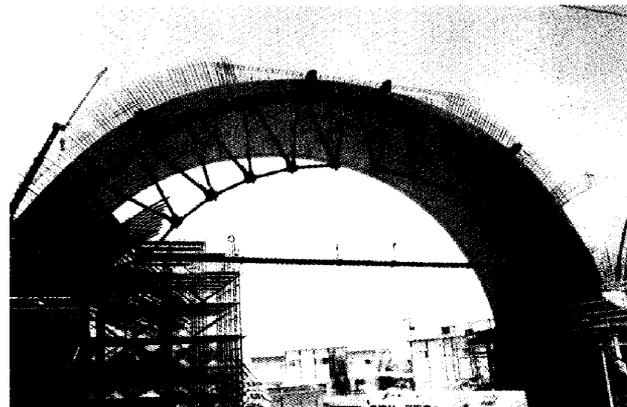


写真-3 アーチセントル解体状況

3-1 アーチセントル

アーチリブを施工するための支保工としては、今回用いた転用可能なセントル形式の他に、地上から支保工を組み上げていく方法がある。当工事の場合、スパン26.5m部で7回、スパン36.5m部で10回、スパン54.0m部で3回の転用が必要となり、工費・工期両面からセントル形式の採用となった。

(1) アーチセントルの架設

スパン36.5m部のアーチセントルを図-3に示す。上弦材と斜材からなる三角ユニットはアーチ形状にかかわらず一定形状を持つ転用可能部材である。アーチ形状は三角ユニットの数、下弦材の形状およびセントル最下端部の異形ユニットによって決定される。アーチセントルはアーチユニット4列で構成されている。また、アーチセントルは支承部と頂部がピン構造の3ヒンジアーチで、かつ各部材の結合は全てピン結合であるため、構造解析と実構造物の挙動が非常によく一致し、施工管理の容易な構造となっている。

アーチセントルは、メインフレームの半分を地組した後、クレーン2台にて吊込み、センターピンを打ち込んで結合する。ヤードが広く取れる場合には、1フレームを地組みして架設することも可能である。

(2) アーチセントル解体

解体において特長なことは、4本のアーチユニットが残り1本となった時の転倒防止方法である。当現場では、写真-3に示すようにアーチリブ側にセントル吊り金具を設置してアーチユニットの転倒を防止した。

(3) 上越し量の計算

アーチリブの上越しは、セントルに組込まれた木製キャンバーによって行う。上越し計算に考慮する項目は、以下の通りである。

- ① 打設によるアーチセントル弾性変形量
- ② アーチリブ自重による弾性、クリープ、乾燥収縮変形量
- ③ 側壁自重による弾性、クリープ変形量 (鉛直支柱自重による弾性、クリープ変形量)

④中詰土自重による弾性、クリープ変形量

(RCホロスラブ自重による弾性、クリープ変形量)

⑤橋面工自重による弾性、クリープ、変形量

クリープ変形は荷重を載荷する材齢によって変形量が異なるが、荷重の載荷時期は施工状況に応じて各スパンで異なる。しかし、キャンパーは1度セット後修正不可能な位置に配置しており、この影響を加味することができない。ただし、載荷材齢の差による上越し量への影響は2~3mm程度であり、出来形許容値±25mmにて吸収できると判断した。スパン36.5m部の上越し計算結果を表-1に示す。

3-2 アーチリブ型枠

(1) 上面型枠

アーチリブは傾斜部材であるため上面型枠が必要となる。アーチリブ上面型枠には図-4に示すように、50×60cmの打設窓を1.5~2.0mピッチで配置し、アーチ上面の接線勾配が1:3までの範囲に設置した。

(2) 側壁部型枠

ここで言う側壁部型枠とは、図-5に示す側壁の内アーチリブと同時打設する部分の型枠のことである。

側壁部複型枠は、形状が複雑なことおよび橋脚上部に鉄筋用切込みを入れる必要があることより、木製型枠とした。また、側壁部の上面型枠は鉄筋のため、細切れと

なる。このことより、上面型枠にラス網の使用も検討したが、検討の結果、木製のバラ枠を使用することとした。さらに、アーチリブと側壁が目地材で縁切りされていることより、図-6に示す型枠構造を採用し、目地材から外側のセパレータを全て撤去し、アーチリブと側壁の相対変位を拘束しないようにした(4-1アーチリブと側壁の分離構造参照)。

3-3 コンクリート打設

(1) 打設要領

アーチリブ打設時には、側壁のうちアーチリブと同じ高さ分をアーチリブと同時打設する。この時アーチリブと側壁の間は目地材で縁切りしており、コンクリート打設時には、目地材を傷めないように1リフト50cmで、(アーチリブ部)→(右側側壁部)→(左側側壁部)の順に慎重に打設する必要がある。また、コンクリートポンプ車2台で左右均等に打ち上げ、偏荷重によりアーチセントルが変形しないよう十分注意した。

アーチリブコンクリート数量は、以下の通りである。

- ・スパン26.5m部：約190m³ (1回打設)
 - ・スパン36.5m部：約360m³ (1回打設)
 - ・スパン54.0m部：約520m³ (2回打設)
- スパン54.0m部は、その数量および打上がり高さが約20mに達することより、2回打設とした。

表-1 スパン36.5m部上越し計算結果

		変位量 (mm)		
支保工	節 点	4	5	6
アーチリブ	弾性変形	-1.5	-2.1	-1.4
	クリープ変形	-3.6	-5.2	-3.2
側 壁	弾性変形	-0.5	-0.0	-0.2
	クリープ変形	-1.0	-0.1	-0.4
中 詰 上	弾性変形	-0.5	-2.7	-2.7
	クリープ変形	-0.9	-4.9	-4.8
橋 面 上	弾性変形	-2.8	-4.4	-2.5
	クリープ変形	-5.0	-7.7	-4.4
乾 燥 収 縮		-5.9	-6.9	-6.1
セ ン ト ル 変 位		-13.0	-11.6	-11.9
上 越 量		-34.7	-30.2	-21.4

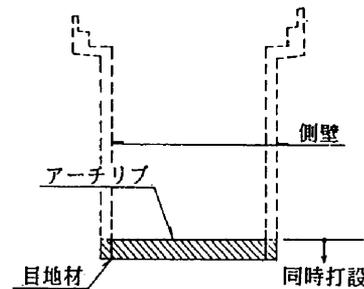
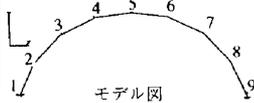


図-5 アーチリブおよび側壁断面図

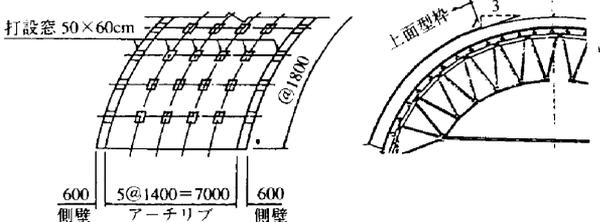


図-4 アーチリブ上面型枠

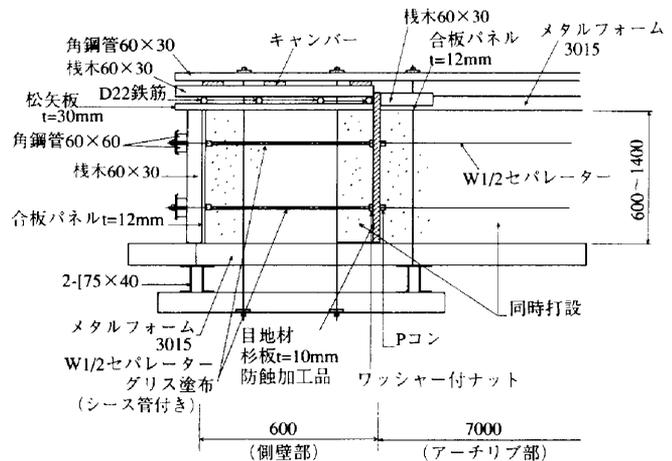


図-6 側壁部型枠詳細図

(2) スパン54.0m部2分割打設の検討

アーチリブを2回打設する場合、以下の問題点がある。

- ①打継ぎ面の温度ひびわれの危険性
- ②2回目の打設に伴い、1回目に打設した部分の鉄筋に有害な残留応力が発生する危険性

①、②の対策としては、スプリング部（高さ1～1.5m）を最後に打設する方法が用いられてきた。①については後述する通り問題ないので、ここでは②について述べる。

アーチセントルを用いた場合の分割打設に伴う残留応力解析結果を表-2に示す。これより、スプリング部を先打ちした場合も、後打ちした場合も、その残留応力に大差がなく、鉄筋応力にしても100kgf/cm²以下であり、実用上問題ないと判断し、スプリング部から打ち上げた。

(3) 打設時のアーチセントルの管理

アーチセントルの部材間の結合や支承部に不良箇所がある場合や、左右のコンクリートの打ち上がり高さに差が出すぎた場合、アーチセントルは異常変形を示す。この異常を知るために、アーチセントルのクラウン部（頂上部）および両肩部の上弦材の変形を計測し、打設中の挙動が計算値と同等の挙動をしているかを確認した。計測は、上弦材から下振りをたらして行った。

(4) 温度ひびわれ検討

過去、アーチリブコンクリートが橋脚に拘束され、道路軸方向の温度ひびわれが発生した例はいくつかある。上田ローマン橋の場合は、コンクリートの配合および構造寸法共にひびわれに対して過去の施工事例より有利であったが、事前に温度ひびわれ検討を行った。検討の結果得られた温度ひびわれ指数は表-3のとおりであり、有害なひびわれの心配はないと判断された。実施工においても、温度ひびわれは発生しなかった。

3-4 アーチセントル移動

表-2 分割打設によるアーチコンクリートの残留応力

橋名	径間(m)	打設回数	コンクリート残留応力度(kgf/cm ²)	スプリング部打設期	施工時期
白岳第一橋	34.5	5	+8.5	先打ち	1968.7施工
淀川新橋	47.0	3	+6.0	中打ち	1989.1施工
余里川橋	60.0	4	+1.4	後打ち	1989.8施工
狭間橋	80.0	5	+10.7	後打ち	1991.4施工
〃	70.0	4	+9.8	後打ち	〃
赤松沢橋	68.0	3	+6.4	後打ち	1991.6施工
上穴橋	50.0	3	+1.3	後打ち	1992.2施工
中野川橋	37.0	2	-0.2	先打ち	1992.10施工
安座川橋	55.0	2	+0.3	先打ち	1993.4施工

アーチセントルは、アーチリブコンクリートの打設完了後隣のスパンへ移動する。移動用栈橋を考えた場合、アーチセントルは2分割して移動するのが経済的であるが、スパン54.0m部においては移動中にアーチセントル下面へ風が吹き上げた場合転倒する危険性が非常に高いことから、1括移動することとした。アーチセントルの移動フローを図-7に示す。

(1) アーチセントルダウン

アーチセントルを引出すには、ある程度セントルをダウンする必要がある。ダウンは、図-8に示す切断支承（鋼製）をガス切断し、車輪部にセットしたジャッキに荷重を移し、ジャッキダウンすることで行う。

日本道路公団の場合、アーチ内面の支保工撤去は、圧縮強度で140kgf/cm²に達した時期（梁・スラブ底面と同じ）と規定されている。「マスコンクリートのひびわれ制御指針、日本コンクリート工学協会」方式で検討した結果、圧縮強度が140kgf/cm²に達するのは、標準養生で4日となる。ただし、標準養生と現場養生の差を考慮して、

表-3 温度ひびわれ指数

	温度ひびわれ指数	備考
スパン 26.5m部	1.73	1回打設
スパン 36.5m部	1.51	1回打設
スパン 54.0m部	1.37	2回打設

$$\text{温度ひびわれ指数} = \frac{\text{引張強度}}{\text{引張応力}}$$

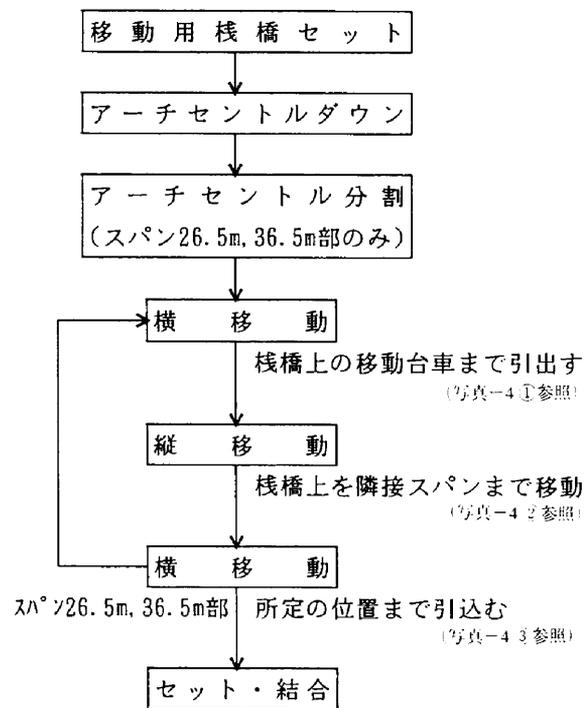


図-7 アーチセントル移動フロー

アーチセントルのダウンは材齢7日とした。

(2) 横移動・縦移動

①横移動

横移動は水平移動となることより、引張り側と送出し側にチルホールジャッキをセットして行う。

②縦移動

縦移動は、最大で約4%の勾配を持つ上りおよび下りとなり、チルホールジャッキでは危険性が高くなる。そこで、上り・下り両用の油圧ジャッキ（ストローク1.6m）を製作し、暴走防止用にウインチを用いて行った。

(3) 移動時の安全管理

①天候

縦移動は油圧ジャッキで行うことより、多少の雨は作業に影響しない。最も注意しなければならないのは風である。アーチセントルは、横風14m/sまで安定する構造であるが、現場においては吹上げも考えられることより、風速が8m/sを越えた時点で警告灯および警告ブザーが作動するようにセットした。風速が8m/sを越えた場合は、移動用台車の水平度および栈橋の左右上弦材のたわ

み量をチェックし、許容値内であることを確認しながら移動を進めた。

②栈橋上弦材のたわみ量管理

栈橋は移動の度に運搬・架設を繰返すため（スパン26.5m,36.5m部）、部材に変状をきたす可能性があると共に、強風時の安全管理（上述）のため、支点部およびスパン中央部のたわみを管理し、許容値内であることを確認しながら移動を進めた。

3-5 側壁・ホロースラブの施工

(1) 側壁の施工

側壁は、橋脚部とは剛結されているが、アーチリブとは目地材で縁切りされており、また、側壁クラウン部もスリットにより縁切りされている。クラウン部のスリットは、側壁間の温度伸縮等によるひびわれを防止するための構造である。図-9に側壁の施工手順を示す。

(2) ホロースラブの施工

図-10に支保工を示す。図より分かるように支保工は、鉛直支柱にブラケットを取り付けて組み立てた。なお、アーチクラウン部はホロースラブとアーチリブのクリアランスがほとんど無いため、砂を詰めて支保工とした。

3-6 中詰土

中詰土は、走行する車の衝撃や振動を吸収し、荷重を伝達する重要な役割を担っている。特に橋脚頭部（アーチリブ付根）は、場所が狭く締固め作業が非常に困難となる。これらを考慮して中詰めの材料として、

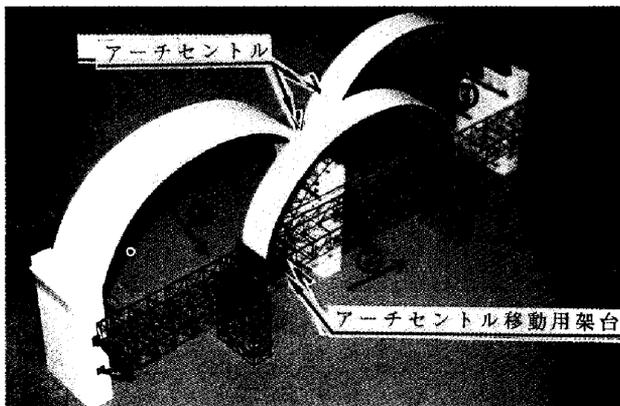


写真-4 アーチセントル移動要領

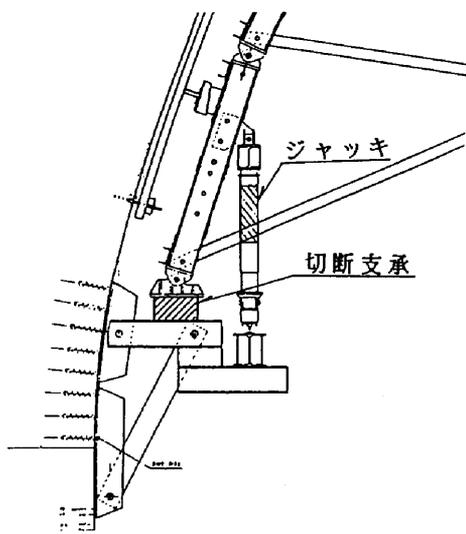


図-8 アーチセントル支承部

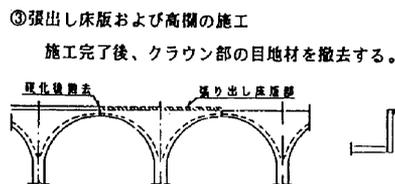
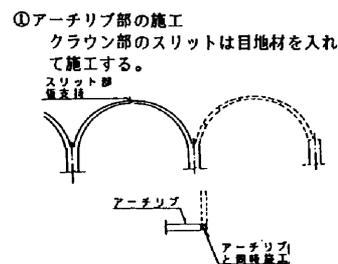


図-9 側壁施工順序

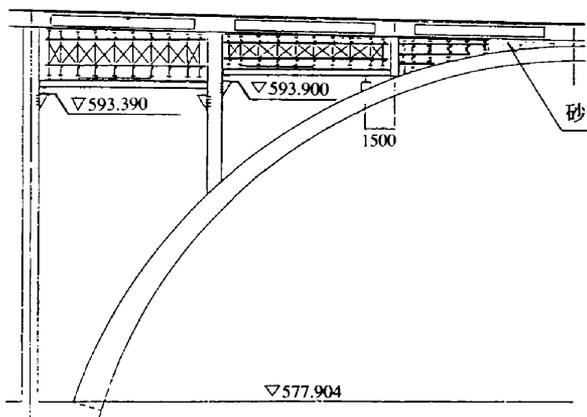


図-10 ホロースラブ支保工

- ①発生土
- ②安定処理土
- ③エアモルタル
- ④エアサンド

等の比較検討を行った。結果は、隣接工区からの良質な発生土を採用することとなった。

橋脚頭部は非常に狭く、大型重機による施工は不可能となるため、人力施工で行い、作業ヤードが取れる段階から機械施工を行った(図-11参照)。また、中詰土はA1側からの片押し施工となるため、多少でも片押しによる偏圧を防ぐ目的で、人力施工が3~4スパン先行し、機械施工が後を追う2段階施工とした。

(1) 人力施工

人力施工は、機械施工より3~4スパン先行するため、土は橋脚横からモッコに入れてクレーンで投入した。1層30cmにて人力で敷き均し、1tの搭乗式振動ローラーにて12回転圧で締め固めた。

(2) 機械施工

機械施工の要領を図-12に示す。11tダンプトラックで運搬した土をバックホーでアーチリブ内に投入する。ア

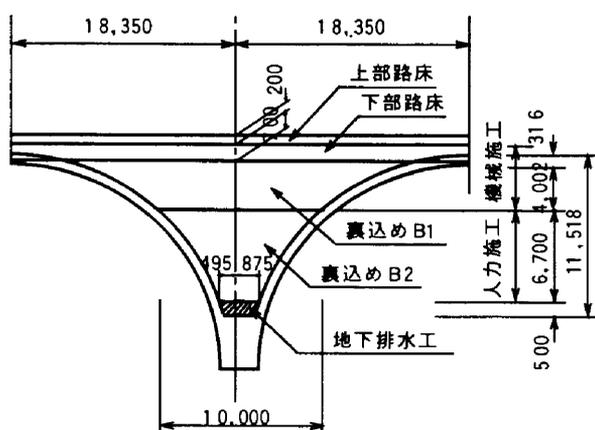


図-11 中詰め工区分(スパン36.5m部)

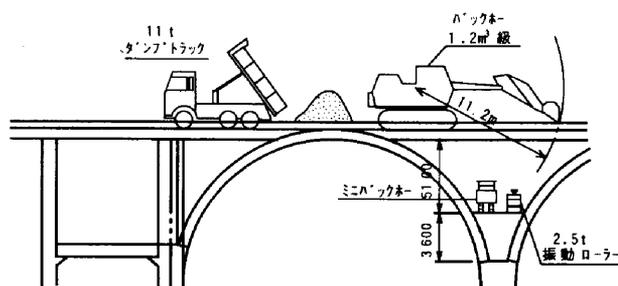


図-12 機械施工要領図

ーチリブ内では1層30cmにミニバックホーで敷き均し、2.5t振動ローラーにて12回転圧で締め固めた。

§ 4. 技術的特長

4-1 アーチリブと側壁の分離構造

充腹アーチ橋は、温度変化による伸縮をアーチリブが上下動することによって吸収する構造である。アーチリブとその両側にある側壁を一体構造とした場合、アーチリブは中詰土と共に上下動するが、側壁は動かないために応力集中が発生し、アーチリブにひびわれが発生してしまうことがしばしば見られた。

アーチリブと側壁が互いに拘束してひびわれが発生することより、アーチリブと側壁を完全に縁切りできればひびわれは防止できる。この考えから出たのが図-13に示すアーチリブと側壁の分離構造である。図に示すように、アーチリブと側壁は目地材で縁切りされ、PC鋼棒によって連結される。側壁側はPC鋼棒を固定するが、アーチリブ側はその内部に埋め込んだ塩ビパイプの中を通す構造である。表-4にそれぞれの寸法を示すが、スパン36.5m部では、PC鋼棒の直径が26mmに対し、塩ビパイプの内径は100mmであり、この差がアーチリブの動きを可能にする。

4-2 ジョイントレス構造

充腹アーチ橋の場合は、中詰土の上を舗装するため通常の土工区間と全く同じジョイントレス構造となる。しかし、上田ローマン橋においては図-14に示すように、充腹アーチ橋とRCホロースラブを持つ開腹アーチ橋が連続しており、これらのジョイントに伸縮目地を設けたのでは、充腹アーチ橋のメリットが半減してしまうこととなる。そこで、RCホロースラブと土とのジョイント部、すなわち開腹アーチ橋と充腹アーチ橋のジョイント部に伸縮目地を設けないジョイントレス構造を検討することとなった。

RCホロースラブと土を単純に連続させると、スラブの伸縮に伴って土の部分が破壊され、ジョイント部の沈

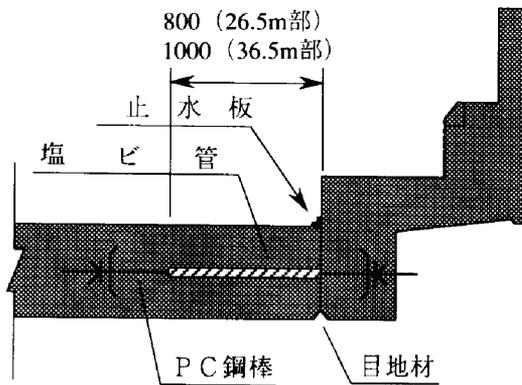


図-13 アーチリブと側壁の分離構造

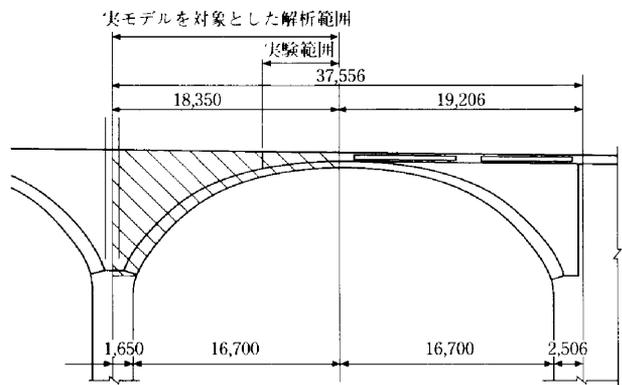


図-14 充腹アーチ部と開腹アーチ部の接続部

表-4 塩ビ管内径とアーチリブと側壁の相対変位

	塩ビ管内径	PC鋼棒	遊間	アーチリブと側壁の相対変位
スパン36.5m部	100	26	37	37
スパン26.5m部	50	23	13	9

注) アーチリブと側壁の相対変位：解析値

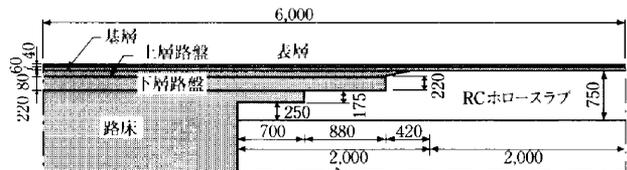


図-15 ジョイントレス構造図

下または隆起といった不都合が発生する。上田ローマン橋におけるRCホロースラブの季節温度変化(±15°C)に伴う伸縮量は±12.5mmであり、この値に対してジョイント部が使用不能とならない構造の検討が必要となる。検討に当たっては、コンクリートと土のジョイントという不確定要素の大きい構造であることより、FEM解析と実物大実験を併用して行った。実験は、ジョイント部分のみのごく限られた範囲(図-14参照)に着目して行い、その結果を元にFEM解析にて全体構造物の解析を行った。これらより、RCホロースラブと土のジョイントとして望ましい形状は、図-15に示す階段形状であると結論づけられた。この構造は我国初めての試みであり、良い結果が得られれば一般の橋梁にも適用できる可能性を持っている。

4-3 高流動コンクリートのアーチリブへの適用

アーチリブのコンクリート打設は部材厚さが60~90cmの閉塞状態の中での作業となる。しかも、配筋やセパレータによってその作業空間は極めて狭くかなりの苦渋作業を強いられる。この作業環境を改善すると共に、将来

表-5 高流動コンクリート示方配合

G_{max} (mm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能AE減水剤 (C+LS)×(%)
				W	C	LS	S	G	
20	4.5±1.5	53.0	48.2	179	338	233	728	815	2.3~2.4

の高流動コンクリート適用のための基礎資料収集の目的で、試験的に適用した粉体系高流動コンクリートの配合を表-5に示す。

仕上がり状況、品質管理共に良好な結果を得ることができ、高流動コンクリートの有効性が確認できた。

§ 5. おわりに

上田ローマン橋は、上信越自動車道のランドマーク的存在であり、多くの人の注目を浴びながら、平成7年11月無事竣工を迎えることができた。我社初のRC連続アーチ橋ということで、日本道路公団をはじめ、一般土木委員会、支店、土木設計部、技術研究所、機材部から強力なご支援を頂きました。ここに深く感謝いたします。