

中国横断自動車道 俣野川橋の設計・施工 (PC逆ランガーアーチ橋)

都田 稔*1・山口 宗雄*2・榎崎 隆明*3・関谷 義信*4・梅田 均*5

1. はじめに

中国横断自動車道岡山・米子線のうち、落合～米子間は、岡山県新庭郡落合町で中国縦貫自動車道から分岐し、中国地方の最高峰である大山西麓の丘陵地を通過して鳥取県米子市に至る延長約 67 km の路線である。

俣野川橋は、鳥取県日野郡江府町大字俣野に架設する橋長 164.5 m のプレストレストコンクリート橋である。架設地点は、俣野川の浸食作用により形成されたV字渓谷を跨ぐため地上高約 80 m となり、またこの渓谷は「釜こしき」と呼ばれる景勝地となっている。このような地形条件から、本橋梁は、経済性および施工性と



写真-1 架設状況

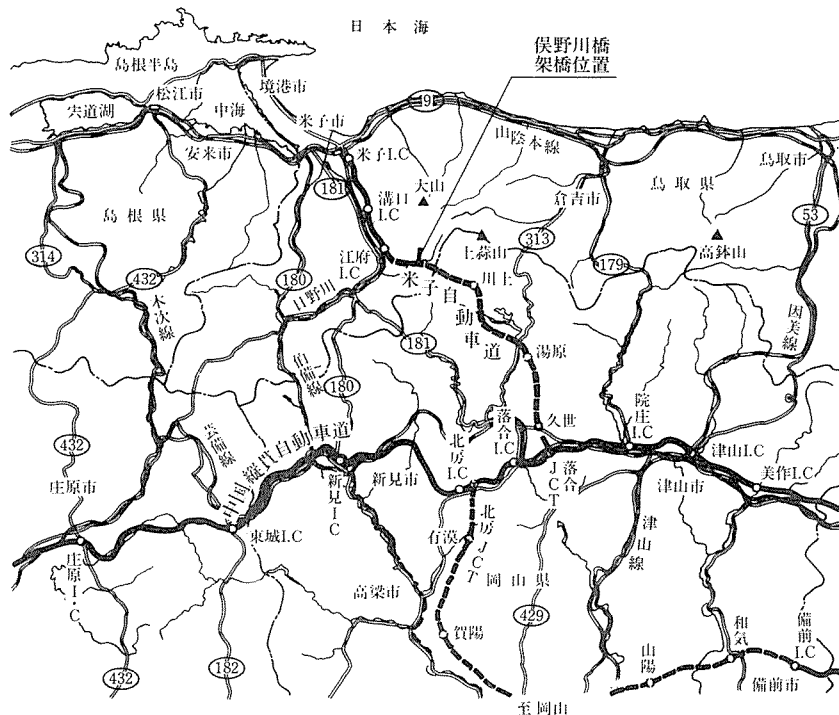
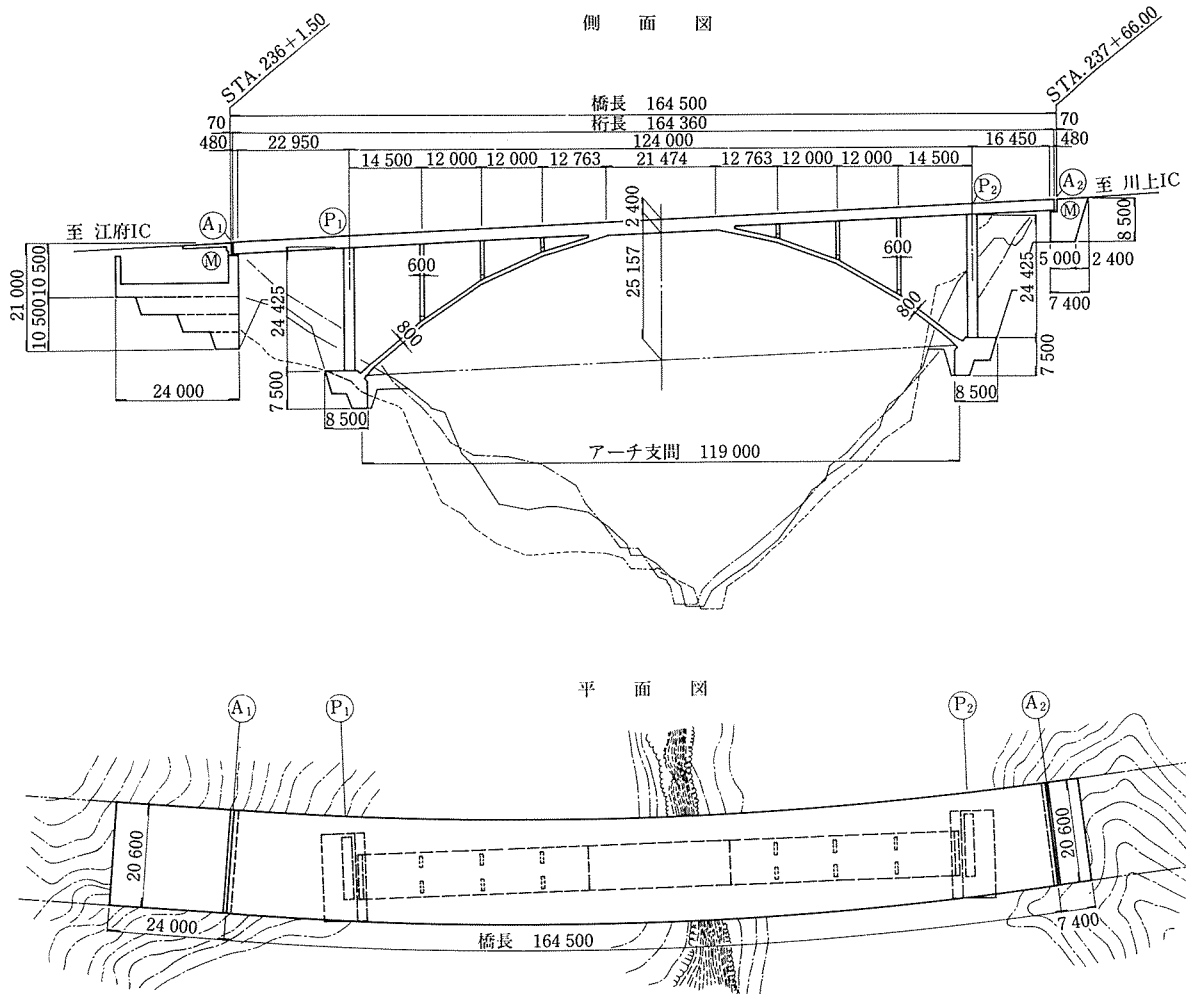


図-1 位置図

- *1 Minoru MIYAKODA : 日本道路公団 広島建設局米子工事事務所所長
- *2 Muneo YAMAGUCHI : 日本道路公団 広島建設局米子工事事務所江府工事区工事長
- *3 Takaaki NARAZAKI : ピーシー橋梁(株)鉄建建設(株)共同企業体 所長
- *4 Yoshinobu SEKIYA : ピーシー橋梁(株)鉄建建設(株)共同企業体 副所長
- *5 Hitoshi UMEDA : ピーシー橋梁(株)鉄建建設(株)共同企業体



もに景観を考慮し、PC補剛桁を有する逆ランガーアーチ橋の形式を採用し、施工は張出し架設工法の1つであるトラス張出し工法により行っている。

本橋は平成4年に完成する予定であり、わが国のPC逆ランガーアーチ橋としては、幅員、アーチ支間とも最大規模となる。本稿では、俣野川橋の設計と施工の概要を報告する。

2. 概要

2.1 工事概要

工事概要を表-1、主要材料を表-2に示す。

表-1 工事概要

工事名	中国横断自動車道 俣野川橋 (PC 上部工) 工事
工事場所	鳥取県日野郡江府町大字俣野
橋格	第1種3級B規格 (TL-20, TT-43)
設計速度	80 km/h
構造形式	PC補剛桁を有する逆ランガーアーチ橋
橋長	164.500 m
支間	22.950 m + 124.000 m + 16.450 m
アーチ支間	119.000 m
有効幅員	2@8.500 m (全幅 20.400 m)
縦断勾配	$i=5.00\%$
横断勾配	$i=4.00\%$
平面線形	$R=750$ m

標準断面図

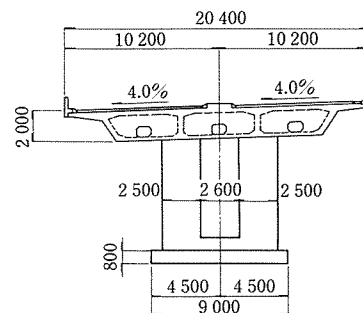


図-2 全体一般図

表-2 主要材料

種別	規格	単位	数量	概要
コンクリート	$\sigma_{ck}=400$ kgf/cm ²	m ³	4 823.5	橋体工
	$\sigma_{ck}=240$ kgf/cm ²		1 260.5	地覆・高欄・橋台
鉄筋	SD 345	tf	730.3	
P C 鋼材	SBPR930/1180 $\phi 32$	tf	145.0	主鋼棒
	SBPR930/1180 $\phi 32$		11.8	せん断鋼棒
	SBPR930/1180 $\phi 32$		39.1	バックステイ鋼棒
	SBPR930/1180 $\phi 32$		24.2	斜吊り鋼棒
	SBPR930/1180 $\phi 26$		1.0	横桁せん断鋼棒
	鉛直材鋼棒			
SWPR7A 12 $\phi 12.4$	6.7	横桁横締め		
SWPR1 12 $\phi 7$	27.2	床版横締め		

◇工事報告◇

2.2 本橋の特徴

本橋で採用された PC 逆ランガーアーチ橋は、補剛桁として PC 構造を、アーチリブおよび鉛直材は RC 構造を有し、アーチリブに対する補剛桁の曲げ剛性比が大きい橋梁である。

構造上の特徴を以下に示す。

- 1) 道路平面線形の円曲線 ($R=750\text{ m}$) を有するため補剛桁は上下線一体構造 (全幅員 20.4 m) となっている。
- 2) アーチリブの平面配置は、構造安定性より直線配置とし、補剛桁中心とアーチリブ中心との偏心を極力小さくするように、補剛桁の線形は、アーチ支間の $1/4$ 点から内側は直線とし、その他は円曲線となっている。
- 3) アーチクラウンの構造は、アーチリブ厚 (80 cm) の $1/2$ を補剛桁下面に結合し、アーチリブ厚の実質変化を 80 cm から 60 cm (下床版厚+ 40 cm) として、結合部付近の応力集中を改善させてい

る。

- 4) アーチ軸線は、アーチ支間 $l=119\text{ m}$ に対してライズ $f=25.5\text{ m}$ とし、軸線変化は、放物線 (鉛直材間は直線) を採用している。

- 5) 補剛桁を支持する鉛直材は二支柱分離型となっている。

施工上の特徴を以下に示す。

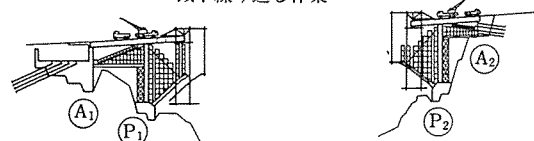
- 1) アーチリブおよび鉛直材を補剛桁ワーゲンとアーチリブ支保工を一体にした特殊フォルバウワーゲンで順次施工して行き、架設斜材を使用してトラスフレームを形成しながら張出し架設する。

- 2) 張出し施工に伴ってアーチアバット前方に大きな転倒モーメントが作用する。この対処法としてエンドポスト (アーチアバット上に立てられた橋脚) より後方にアンカー構造物 (バックステイおよび橋台アンカー) を設けている。

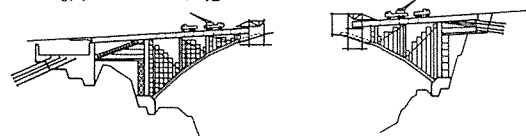
2.3 施工要領

本橋の施工要領図を図-3 に示す。

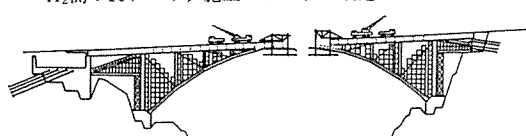
- ⑦ A₁側：3ブロック (補剛桁) 施工→3次緊張
A₂側：アーチリブ施工→斜吊り鋼棒セット→
1次緊張→鉛直材施工→2次緊張
以下繰り返し作業



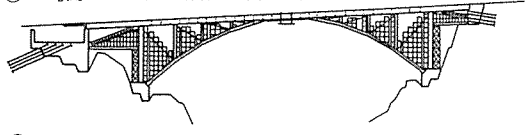
- ⑧ A₁側：10ブロック施工→ワーゲン改造
A₂側：8ブロック施工



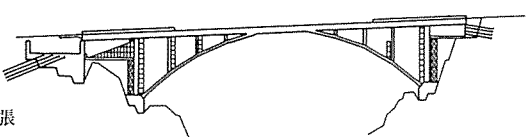
- ⑨ A₁側：14ブロック (最終張出しブロック) 施工→ワーゲン解体
A₂側：10ブロック施工→ワーゲン改造



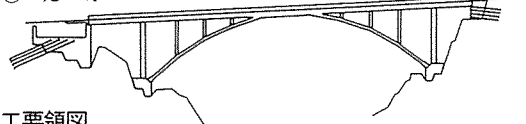
- ⑩ A₂側：ワーゲン解体→中央閉合



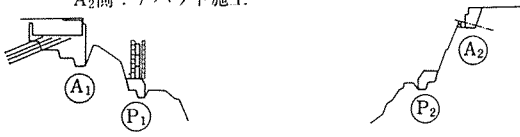
- ⑪ 斜吊り鋼棒・バックステイ解放→橋面工施工



- ⑫ 完成



- ① A₁側：P₁エンドポスト施工
A₂側：アバット施工



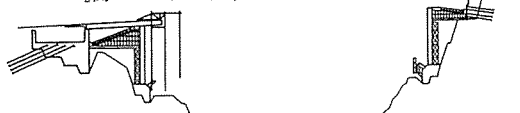
- ② A₁側：バックステイ・スプリング部施工
A₂側：P₂エンドポスト施工



- ③ A₁側：側径間・柱頭部施工
A₂側：P₂エンドポスト施工



- ④ A₁側：ワーゲン組立→1,2ブロック (補剛桁) 施工
A₂側：バックステイ・スプリング部施工



- ⑤ A₁側：アーチリブ施工
A₂側：側径間・柱頭部施工



- ⑥ A₁側：斜吊り鋼棒セット→1次緊張→鉛直材施工→2次緊張
A₂側：ワーゲン組立→1,2ブロック (補剛桁) 施工

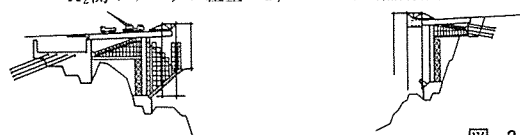


図-3 施工要領図

3. 設 計

3.1 設計条件

設計条件を表-3, 施工時の許容応力度を表-4 に示す。

3.2 設計方針

本橋の設計は, 架設系と完成系で大きく構造系が変化することから架設系の設計と完成系の設計に大別した。本橋の全体設計フローチャートを図-4 に示す。

表-3 設計条件

活 荷 重	TL-20, TT-43
衝 撃 係 数	主桁 $i = \frac{10}{(25+L)}$ (ただし, 中央径間は換算スパンを用いる)
	横桁 $i = \frac{20}{(50+L)}$
温 度 変 化	±10℃
温 度 差	上床版とその他の部材の差を 5℃
遮 音 壁 荷 重	$W=155 \text{ kgf/cm}^2$ (路面より $h=3.0 \text{ m}$)
風 荷 重	活荷重満載時 $w=150 \text{ kgf/m}^2$
	活荷重無載荷時 $w=300 \text{ kgf/m}^2$
設 計 震 度	橋軸方向 $K_{hm}=0.19$
	橋軸直角方向 $K_{hm}=0.15$
	架設時 $K_h=0.1$
ク リ ー プ 係 数 と 乾 燥 収 縮 度	プレストレスの減少量計算 $\phi=2.0 \quad \epsilon_s=18 \times 10^{-5}$
	不静定力算出 $\phi=1.3 \quad \epsilon_s=15 \times 10^{-5}$
リ ラ ク セ ー シ ョ ン	PC 鋼棒 3%
	PC 鋼線, PC 鋼より線 5%

表-4 許容応力度

(単位: kgf/cm²)

	施 工 時	設 計 荷 重 時
補剛桁上縁の許容引張応力度	-10	0
RC 部材の鉄筋の許容応力度	1 200 (目安値)	1 800
補剛桁の許容斜め引張応力度	-12.5	-10

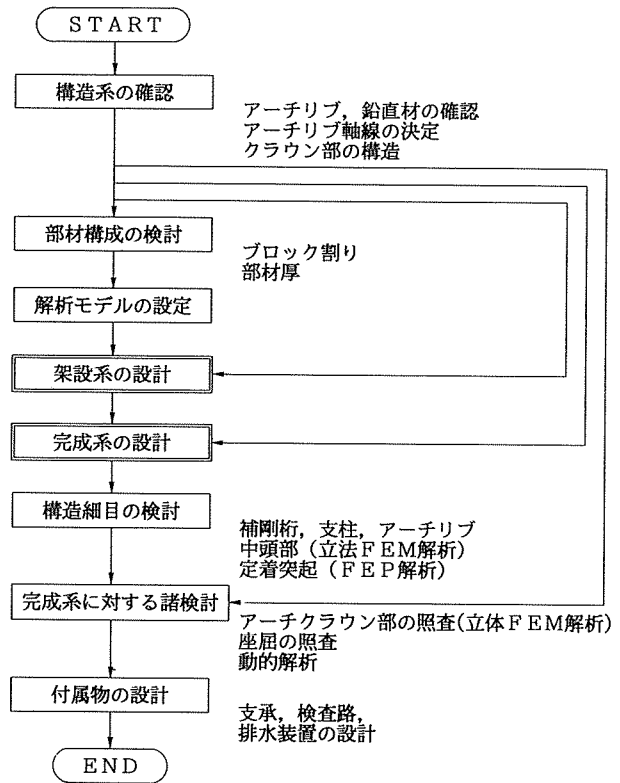


図-4 全体設計フローチャート

また, 構造上の特徴を反映して, 解析方法は以下のものを併用した。

- 1) 主要断面力は平面骨組解析にて算出する。
- 2) 曲線橋 ($R=750 \text{ m}$) として生じるねじりモーメントおよび面外断面力は立体骨組解析を使用して計算する。
- 3) 補剛桁, アーチリブおよび支柱の 3 つの版で構成される 3 次元 FEM 解析を行う。

各解析方法の架設系および完成系の解析モデルを表-5 に示す。

表-5 解析手法と解析モデル

	平面骨組解析モデル	立体骨組解析モデル	3次元 FEM 解析モデル
完 成 系			
架 設 系			

◇工事報告◇

3.3 架設系の設計

架設系の設計フローチャートを図-5に示す。

架設系の断面力は完成系の断面力を大きく上回っているため、各部材の断面形状と主鋼材の大部分が架設系で決定された。架設系と完成系の断面力比較を図-6に、また各部材の設計と設計断面力の関係を表-6に示した。

(1) 主方向の設計

補剛桁の主鋼棒は、架設時断面力(平面骨組解析)より設計した。

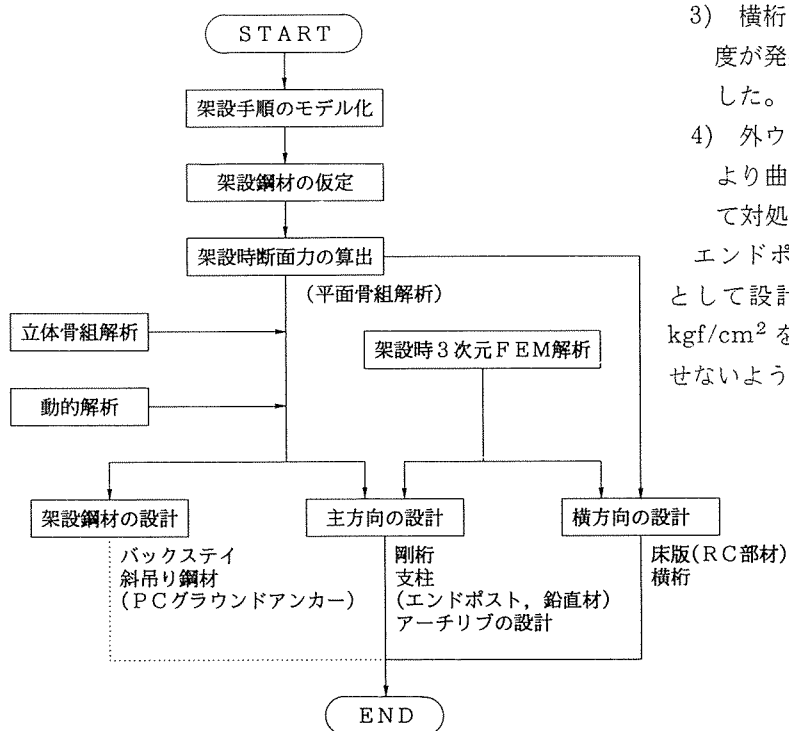


図-5 架設系設計フローチャート

また、各ウェブの応力状態を3次元FEM解析(架設系モデル)にて照査し、その結果を以下に示す。

- 1) 外ウェブは中ウェブに比べ変形が大となり、橋軸方向応力度は20~30%程度大きくなっている。これは、先端に載荷された集中荷重(ワーゲン荷重)の影響が大きいと考えられる。中、外ウェブとも曲げ引張応力度は問題なかった。
- 2) ワーゲンの設置位置付近では、前方ジャッキの反力が作用するため、中、外ウェブともせん断応力度が厳しく、鉛直鋼棒と鉄筋にて補強した。
- 3) 横桁とウェブの接合部には、大きな曲げ圧縮応力度が発生しているため、橋軸方向ハンチを設け低減した。
- 4) 外ウェブ(斜めウェブ)は、橋軸直角方向変形により曲げ引張応力度が発生しているが、鉛直鋼棒にて対処した。

エンドポスト、鉛直材およびアーチリブはRC部材として設計した。架設時の鉄筋引張応力度は1200 kgf/cm²を目標とし、部材に有害なひびわれを生じさせないように配慮した。

(2) 横方向の設計

床版と横桁も主方向と同様、横方向鋼材は架設時断面力で設計し、3次元FEM解析にて照査した。

- 1) 橋軸直角方向変形により上下床版とウェブの接合部付近に曲げ引張応力度が発生しているため、鉄筋にて補強した。
- 2) 横桁は中ウェブを鉛直材で支持された張出し梁であり、外ウェブから伝達

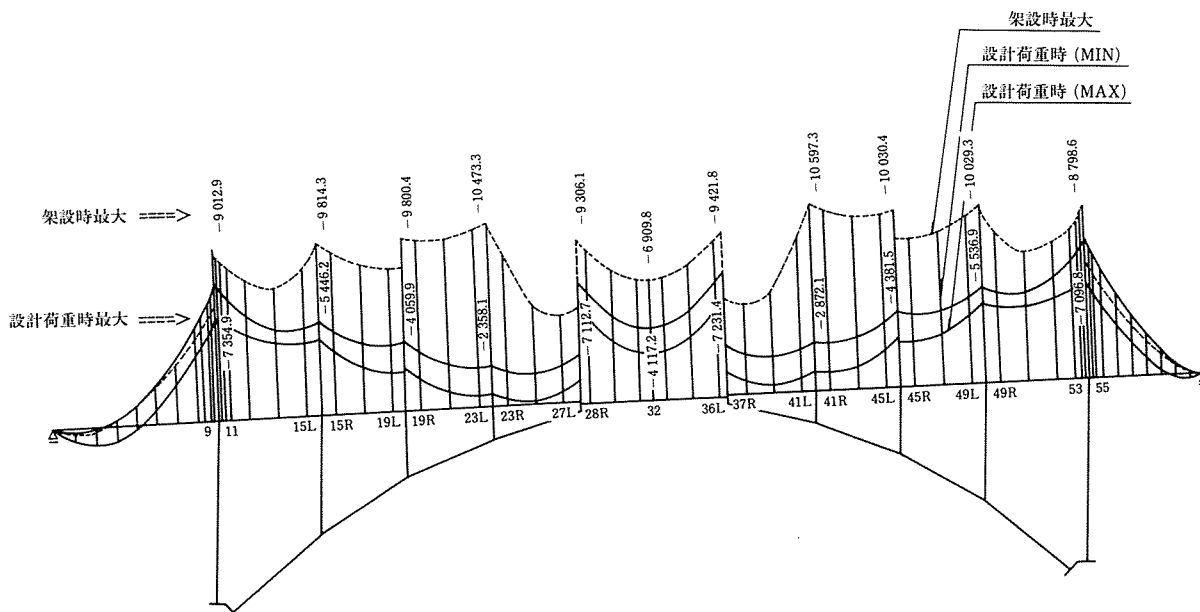


図-6 補剛桁の曲げモーメント図

表-6 各部材の設計と設計断面力の関係

		補剛桁		エンドポスト鉛直材 RC 計算	アーチリブ RC 計算	バックステイ本数決定	斜吊り鋼棒本数決定	横方向		柱頭部	アーチクラウン部	備考
		曲げ応力	斜め引張					曲げ応力	斜め引張			
架設系	断面力 (平面骨組解析)	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎			
	3次元 FEM 解析	補強	補強						補強	補強	◎	補強条件は部材に有害なひびわれを許さないこと
	面外荷重 (立体骨組解析)	○		○	○	○	○					参考値として照査
	地震力 (平面骨組解析)	○		○	○	◎	○					
	動的解析	○					○	○				
完成系	断面力 (平面骨組解析)	◎	◎	○	○			○	○			
	面外荷重 (立体骨組解析)	○	○									
	地震力 (平面骨組解析)	○	○	○	○			○	○			
	動的解析	○										
	3次元 FEM 解析	○	○							○	◎	
	全体座屈 (大変形解析)	○		○	○							

◎ : 部材厚, 鋼材決定
○ : 照査

されるせん断力により、桁両端に大きな斜め引張応力が発生している。このため横桁横締め鋼材の鉛直分力と横桁鉛直鋼棒で対処した。

(3) 架設鋼材の設計

バックステイは PC 構造とし、初期に全必要張力 (約 5 000 tf) を導入する。また、完成後撤去しやすいプレキャストブロックを採用した。バックステイ鋼材は

SBPR 930/1180 ϕ 32 mm を使用し 1 本当たりの有効張力を 49.2 tf とした。バックステイ鋼材の配置を図-7 に示す。

斜吊り鋼材は、SBPR 930/1180 ϕ 32 mm を使用し、1 本あたりの許容引張力は 42.6 tf (0.45 σ) を採用した。斜吊り鋼材本数、調整張力および最大張力を表-7 に示す。

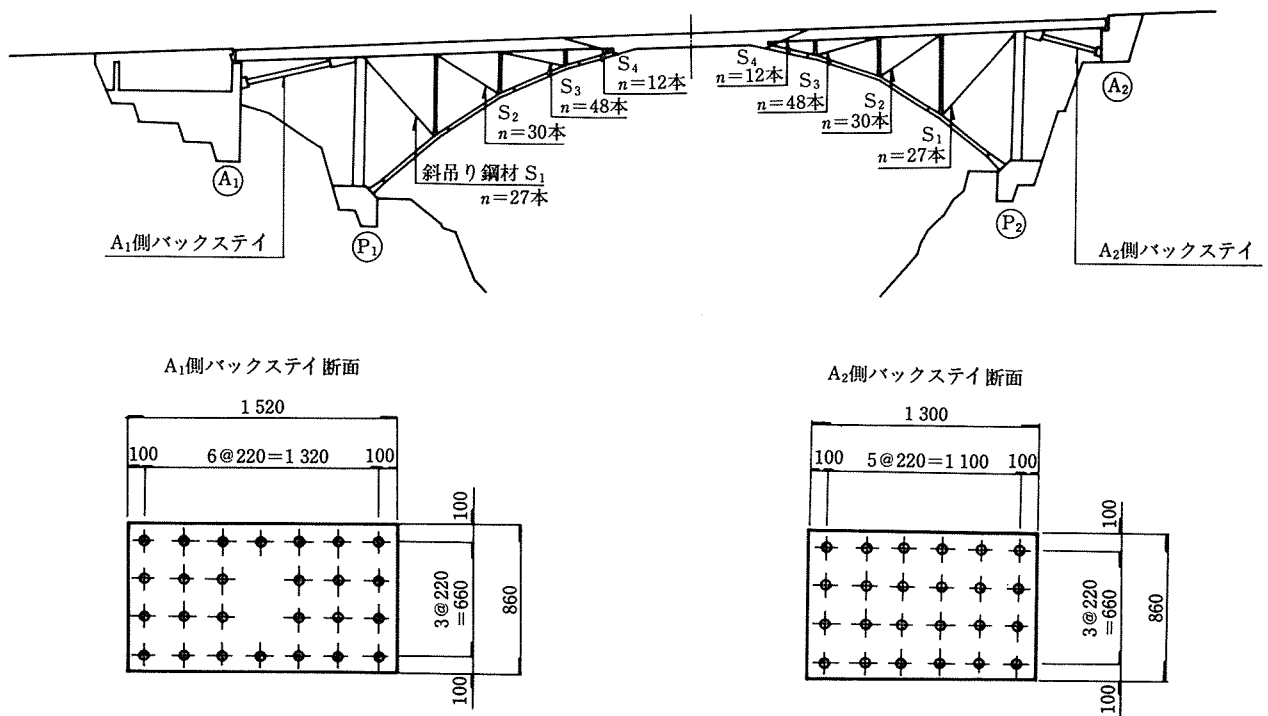


図-7 バックステイ鋼材配置図

表-7 斜吊り材調整量および最大張力

	1次調整量(tf)	2次調整量(tf)	最大張力(tf)	本数
左側 S 1 斜材	15	340	1 055	27
S 2 斜材	10	310	1 103	30
S 3 斜材	15	655	1 980	48
S 4 斜材	45	0	230	12
右側 S 4 斜材	45	0	237	12
S 3 斜材	15	695	2 024	48
S 2 斜材	10	315	1 106	30
S 1 斜材	15	400	1 095	27

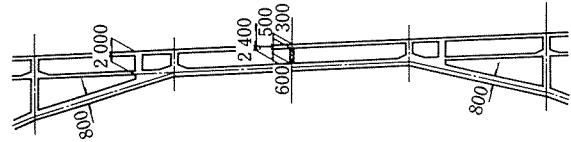


図-9 アーチクラウン部

斜吊り鋼材の調整張力は以下の目的で導入する。

1) 1次調整 (フレーム閉合前の調整)

アーチリブ、鉛直材コンクリート打設によるアーチリブ部材の相対たわみ (既設アーチリブ変位からの変位量) を消去する。

2) 2次調整 (フレーム閉合後の調整)

張出し架設時に生じる補剛桁の負の曲げモーメントを低減させる。

3.4 完成系の設計

完成系は、高次の不静定となり、静的には安定した構造物となっている。したがって、使用荷重、終局荷重状態とも、各部材は十分安全であった。また、地震時の動的解析を行い、構造物の安全性を確認した。

完成系の設計フローチャートを図-8 に示す。

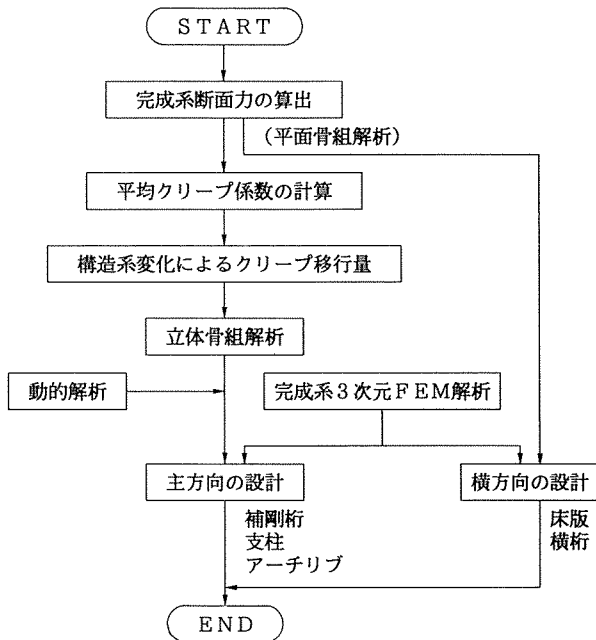


図-8 完成系設計フローチャート

3.5 アーチクラウン部の照査

アーチクラウン部近傍の応力分布やその構造物全体への影響を取り扱うため、3次元 FEM 解析 (完成系モデル) を用いてアーチクラウン部の照査を行った。照査結果の主なものは以下のとおりである。

- 1) アーチリブと補剛桁下床版の接合部の応力分布は、隅角部に近づくにつれて圧縮応力が減少する方向にあるが、全要素が圧縮であり、特に補強しなかった。
- 2) アーチリブと補剛桁ウェブの接合部は、補剛桁の橋軸方向変位をアーチリブで拘束している。したがって、支点と同様に反力が作用している。接合部近傍のウェブにせん断力が作用しているため、ウェブの鉛直鋼棒を密に配置することで対処した。
- 3) クラウン部横桁は、2) と同様、補剛桁の橋軸方向変位をアーチリブで拘束しているため、面外曲げモーメントが発生している。接合部付近に新たに横桁 (RC 構造) を設け、ボックスを形成させることにより剛性を高めた。さらに応力の流れをスムーズにするようハンチを設けた。

3.6 その他の検討事項

本橋は検討事項として次の項目を設計に補足した。

- 1) 柱頭部 (P₁, P₂) および PC 定着突起部の局部応力は、FEM 解析にて照査し、鉄筋で補強した。
- 2) 全体座屈は、形状非線形性を考慮した有限変形理論 (大変形解析) により照査し、安全性を確認した。
- 3) コンクリート打継目の温度応力は温度解析 (FEM 解析) と温度応力解析 (CL 法) にて照査し、施工に対処した。

4. 施 工

4.1 橋台の施工

上部工施工時に、A₁, A₂ 両橋台は滑動抵抗が不足することからグラウンドアンカーを施工し対処した。アンカー孔の削孔は、ロータリーパーカッションを使用した。試験削孔を数か所行い、引抜き試験を実施し、十分な引抜き強度を確認した後、所定の深さを削孔した。橋台本体を施工後、アンカーの必要定着長をグラウト注入、PC アンカーを挿入、グラウトの強度が得られるまで養生、緊張定着した。

4.2 エンドポストの施工

エンドポストは、5 分割施工とし、1 ロット高さを 5.4 m とし、水平打継面の処理は、表面凝固後高圧洗浄機にてレイタンス除去を行った。

4.3 側径間支保工部、柱頭部、スプリング部の施工

側径間支保工部は、バックステイの支持を考慮して、H鋼材、トラス梁材、杵組等で組んだ支保工とした。写真-2 にバックステイ架設後の側径間支保工の組立状況を示す。柱頭部はブラケット式支保工にて施工した。スプリング部は杵組支保工とし、コンクリート打設長を3.5 mとした。

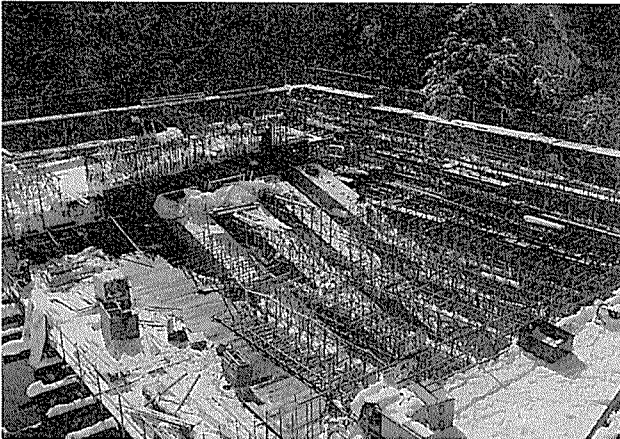


写真-2 側径間支保工組立状況



写真-3 プレキャストブロック架設状況

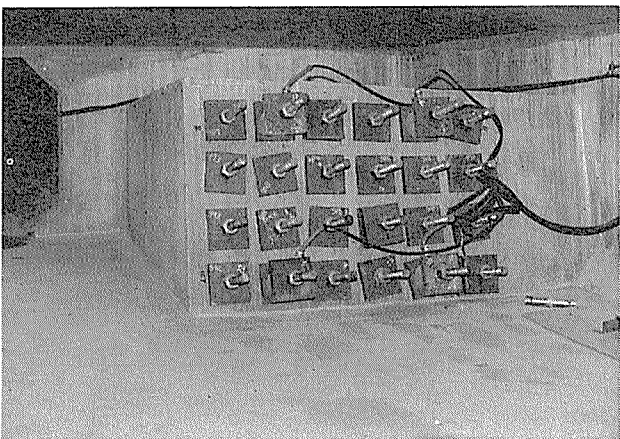


写真-4 バックステイ緊張定着部

4.4 バックステイの施工

バックステイは仮設 PC 構造とし、橋体完成後の解放撤去を考慮して主要部をプレキャストブロック（写真-3）、橋台およびエンドポスト取付け部は、場所打ちコンクリートとした。

プレキャストブロックは、重量が約 3.0 tf の立方体で A₁ 側 N=19個×4列=76 個、A₂ 側 N=10 個×4列=40 個をヤードで製作、所定の位置にトラッククレーンで架設した。

バックステイ緊張端は写真-4 に示すように、補剛桁内に場所打ちコンクリート突起を設けた。また固定端は橋台に埋め込む構造であり、アンカーフレーム（鋼材で組んだ構台）に固定し、周囲を鉄筋で補強した。バックステイは、自重を負担させないように設置期間中支保工で支持した。

4.5 斜吊り鋼材

斜吊り鋼材は、使用期間中の防錆処理を表面に施し、さらに、急激な温度変化を防止する目的で発砲ウレタン質の円筒管を使用して断熱効果を高めた。

4.6 張出し部の施工

張出し部の 1 フレーム施工順序図を図-10 に、標準サイクル工程表を表-8 に示す。1 フレームの施工は、ま

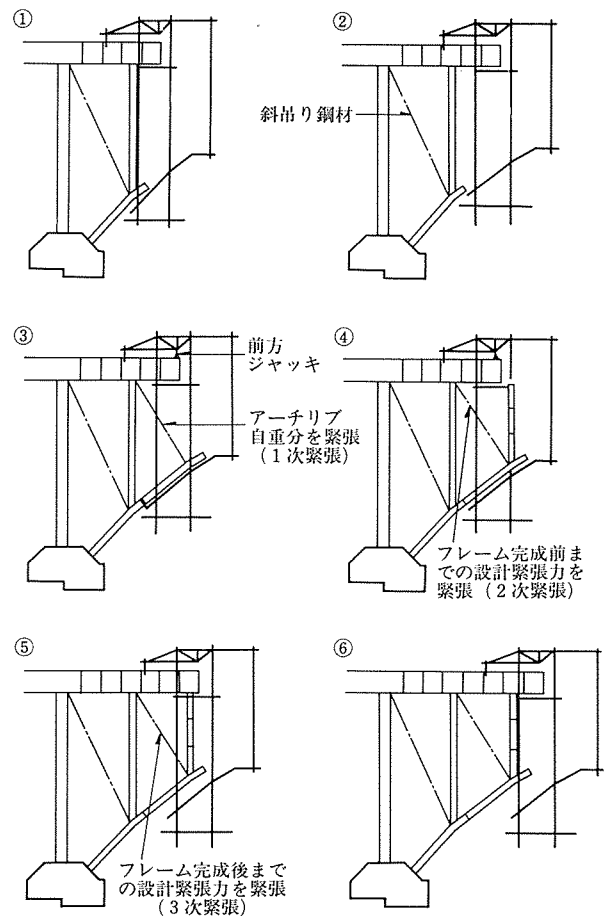


図-10 フレーム施工順序図

◇工事報告◇

表-8 張出し施工標準サイクル工程表

工種		日数	10日	20日	30日	40日	50日	60日	70日	80日	90日
補剛桁	作業車移動										
	型枠組立										
	鉄筋PC鋼棒組立										
	コンクリート打設										
	養生										
	PC鋼棒緊張										
アーチリブ	底板セット										
	型枠組立										
	鉄筋組立										
	コンクリート打設										
	養生										
	斜吊り材セット										
	斜吊り材緊張										
鉛直材	足場組立										
	鉄筋組立										
	型枠組立										
	コンクリート打設										
	養生										

ず2ブロックの補剛桁をワーゲン施工する。次にアーチリブをワーゲンで吊って施工し、斜吊り鋼棒配置および1次緊張を行う。この後、鉛直材を施工し、斜吊り鋼材の2次緊張後、鉛直材直上の補剛桁を施工し、斜吊り鋼材の3次緊張を行いトラスフレームを形成して1サイクルを完了する。

本橋で使用している特殊フォルバワーゲンは4本の枠および作業台を吊る構造である。アーチリブのコンクリート打設時にワーゲンに作用するモーメントが過大となることから一部改良を行い、前方にジャッキを設けて構造を追加した。

コンクリートの打設は、橋面上に据え付けたコンクリートポンプ車から直接ブームで、あるいは配管して行った。写真-5にアーチリブコンクリート打設状況を示す。

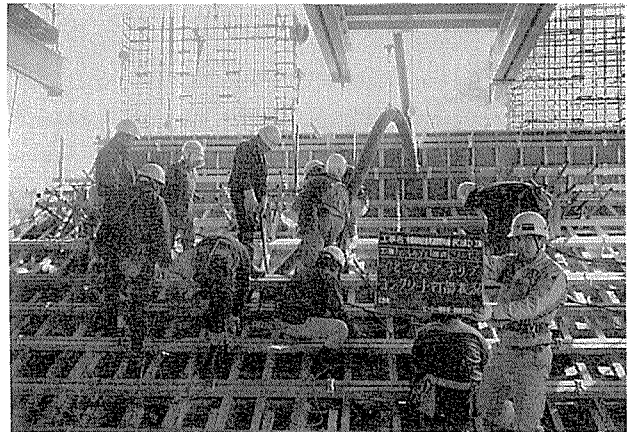


写真-5 アーチリブコンクリート打設状況

5. 計測管理

施工および安全管理上から図-11に示す位置に各種計測器をセットし、以下の項目について計測管理を行っている。

- =ひずみ計
- =有効応力計
- ×=無応力計
- △=荷重計(100tf用)
- ▲=荷重計(100tf用)
- =温度計
- ◇=傾斜計
- ◆=変位計

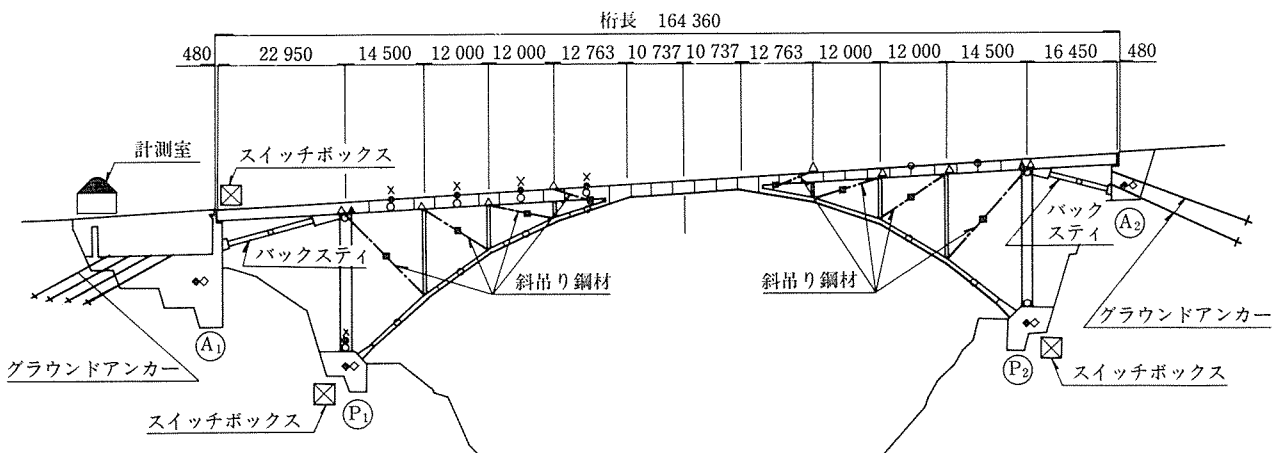


図-11 計測機器設置位置

- ① グラウンドアンカーの張力管理
 - ② 橋台、アーチアバットの変位量の計測
 - ③ 地盤変位の計測
 - ④ バックステイ張力管理
 - ⑤ 斜吊り鋼棒の張力管理
 - ⑥ 橋体各部の応力度測定
- 計測はパーソナルコンピューターを使用した自動計測システムにより行っている。

6. あとがき

俣野川は平成元年12月に着工以来、今年度供用開始をめざし現在上部工の施工を鋭意進めているところである。本稿では俣野川の設計と施工を中心に報告した。

最後に本橋の設計と施工にあたり、貴重な御指示、御指導を頂いた関係各位に紙面を借りて深く感謝する次第である。

【1992年3月20日受付】

◀刊行物案内▶

第29回研究発表会講演概要

体 裁：B5判 116頁

頒布価格：3000円（送料：350円）

内 容：(1) プレストレストコンクリート部材の累加最大曲げ耐力について、(2) プレストレストコンクリート梁と鉄骨柱との接合法に関する基礎実験、(3) プレストレスト鉄骨鉄筋コンクリート梁部材の曲げ強度について、(4) アウトケーブルを用いたはりの支持点の力学的性状試験、(5) 高強度鉄筋を用いてプレストレスを導入した格子状変厚プレキャスト板に関する実験的研究、(6) プレストレスト鉄筋コンクリート合成断面部材の応力計算、(7) 新綾部大橋実橋載荷試験について、(8) 大反力ゴム支承を用いたPC多径間連続橋の振動試験、(9) PC鋼材突起定着部の設計手法に関する一考察(その1)、(10) PC鋼材突起定着部の設計手法に関する一考察(その2)、(11) 生口橋PC桁部の設計、(12) 3%食塩水におけるPC鋼より線の応力腐食割れ試験、(13) PC板埋設型枠を用いた合成床スラブの多数回繰返し載荷実験、(14) プレキャストPC版を用いた床版打替工法用スラブ止めの実験、(15) PC合成床版の耐火性について、(16) ポストテンション方式によるPC舗装版の摩擦低減試験およびジャッキアップ試験、(17) 沈下したプレキャストコンクリート舗装版のリフトアップ工法の開発、(18) ロックアンカーを用いた片持ち式ロックシェッドの載荷試験について、(19) 合成アーチ巻立て工法による城址橋の施工、(20) 三井野原ループ6号橋の施工、(21) 現場製作ケーブルを用いたPC斜張橋(上妻橋)の施工、(22) 横浜博覧会「海のパビリオン」H.M.S.の設計と施工、(23) 横浜新道(拡幅)藤塚工事に伴うPCフレームアンカー工事、(24) プレキャストブロックによるPC耐圧板工事、(25) 国道115号横向1号橋の設計と施工について、(26) 吊床版橋の設計施工と振動実験一鳥山城カントリークラブ歩道橋一、(27) 新十勝大橋(仮称)の設計と施工、(28) プレキャストPCタンクの設計・施工、(29) 牛滝川橋の設計と施工、(30) 製紙用PCタンクの設計について