

(88) プレキャストPC部材を使用したPC斜π橋改築設計

(株)リエンタルコンサルタンツ 中国支社 正会員 竹下 一之
 同 上 ○三住 泰之
 同 上 石川 元則
 広島大学工学部 第四類（建設系）正会員 佐藤 良一

1. はじめに

大和台橋は、広島東インターチェンジに隣接して山陽自動車道に架かる、PC斜材付変形π型ラーメン形式の跨道橋である。同ICでは、山陽自動車道路と広島高速1号線の直結が計画されており、大幅なIC形状の変更が計画されている。

これにより、ランプノーズ位置の変更に伴う道路幅員の変化が生じ、大和台橋においても、山陽道上り線側下部工が建築限界内に入り、これを撤去する必要が生じた。

当初、撤去架替えによりこれに対処する方針であったが、撤去架替えの実施は経済的に著しく不利であり、また周辺への影響を考慮した場合施工的にも困難であることが分かった。このため、プレキャスト部材を使用することにより、現橋を極力利用する形式を開発し設計を行った。本稿では、全体計画及び改築設計のうち、構造系の変化に伴う解析、結合部の設計について報告するものである。

2. 構造概要

本橋の構造概要及び施工概要を示す。図-1に現橋構造を示す。道路拡幅により、斜π橋の片側の圧縮斜材及び下部工を撤去する必要が生じる（図中斜線部）。このため、上部工（PC中空床版）は、片側の中間支点が撤去される形となる。これに対し、プレキャストコンクリート部材を使用して、原型に近い形で支点を復旧しようとするものである。

図-2に補強後の形状を示す。圧縮斜材による支持構造に替え、トラス構造による吊り下げ構造に変更する。現況橋梁の両サイドに、プレキャストコンクリートによるトラス構造を設置し、トラス先端部で既設上部工と一体化することにより、支点的の復旧を行う。

図-3に新旧部材の結合部の構造を示す。既設橋に削孔を行い、PC鋼線で緊結することにより構造の一体化を図る。高速道路上の橋梁であり、施工中に不安定な構造系とならないよう、圧縮斜材撤去前に新旧構造の結合が可能なるよう、両サイドより挟み込む形式とした。

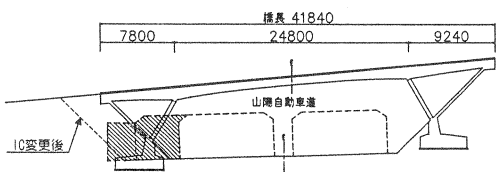


図-1 現況構造

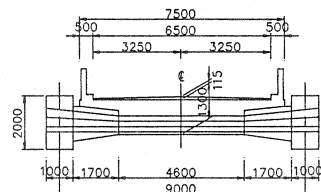


図-3 結合部構造

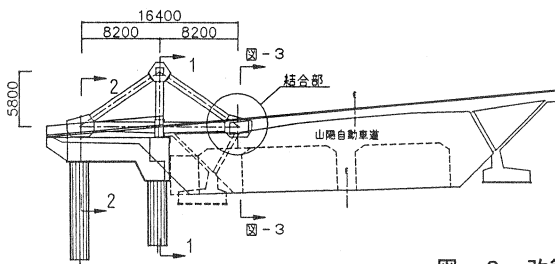
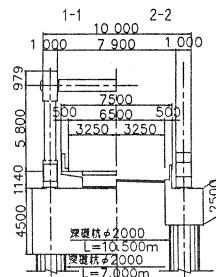


図-2 改築後構造



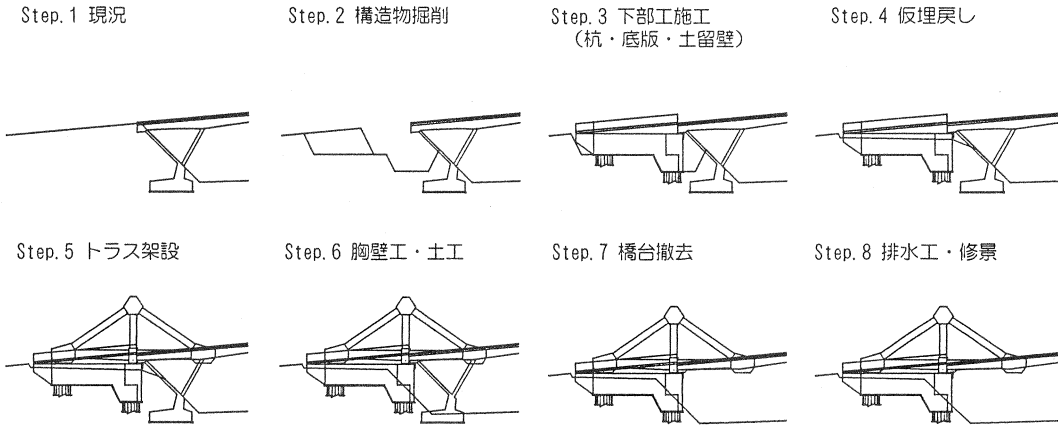


図-4 施工手順

3. 施工概要

図-4に施工手順を示す。各段階の概要は以下のとおり。

- Step.1 : 現況。大和台OV背面の測道沿いは民家であるため、施工は十分に注意を払う必要がある。
- Step.2-4 : 基礎・下部工の掘削・施工。既設橋背面斜材裏を掘削するが、橋梁本体は保全したままで、設計時の構造モデルの変更な無いため、構造的には安定している。
- Step.5 : トラス部材架設。架設には200tクレーンを使用する。この付近は切土区間であり、クレーン設置ヤードは軟岩層（風化花崗岩）となるため、クレーン施工上の問題ない。トラス材の架設は、単材で行うことを原則とするが、下弦材については、プレストレスによる弾性2次力を緩和するため、地組緊張後架設する。
- Step.6 : トラス部材架設完了後に、山陽自動車道の法面をカットする。併せて胸壁工を行う。
- Step.7 : トラス部材より既設桁をジャッキアップし、圧縮斜材による支持をトラス材に受け変える。この状態で間詰めコンクリートを打設し構造を一体化する。一体化後、既設橋斜材を撤去する。反力調整装置を図-5に示す。既設橋と結合する部分のトラス部材格点上よりジャッキを介してH鋼を吊り下げ、このH鋼で既設桁を受け、ジャッキを引き上げる。これにより、撤去する前面斜材の軸力を解放することが可能となる。
- Step.8 : 完成。

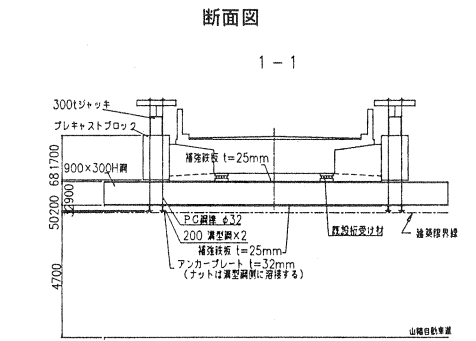
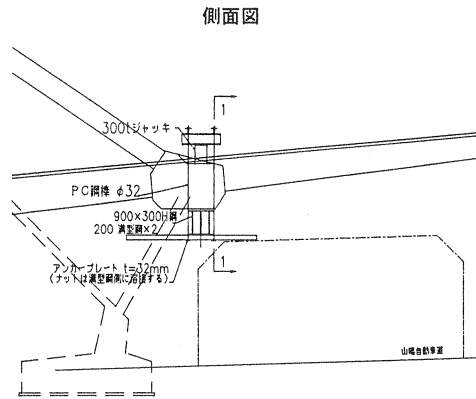


図-5 反力調整装置

4. 改築設計

今回の計画は、プレキャストコンクリート部材と既設PC斜材付きπ型ラーメン橋の一体化による改築設計であり、設計上重要なポイントとなる以下の2点について報告する。

① 施工段階を考慮した設計

構造系の変化を伴う補強方法であり、構造系の変化を考慮した設計、特にコンクリートのクリープによる二次力の評価等が設計上のポイントとなる。

② 新旧部材結合部の設計

本構造の最も重要な部分であり、設計上最も注意を要した箇所の一つである。

4.1 施工段階を考慮した設計

今回の改築は、完成後十数年経過した既設部材を新設のPC部材で構造系を変化させながら実施するものである。そのため、反力調整や斜材撤去などの施工過程により導入された応力が、改築完了後の構造に蓄積されることとなる。

またクリープを考えた場合、トラス部材は作用断面力やプレストレスの導入により完成後に各弦材が収縮するのに対し、既設部材ではすでにクリープによる収縮が進行している。基礎の剛性にも左右されるが、トラス部材の収縮は既設主桁に引張力を作用させる結果になる。よって既設橋供用開始～改築完成～∞日の、既設部材と新設部材の材令差、施工段階を考慮したクリープ解析を行い、安全性を確認した。計算ステップを図-6に示す。

Step 1では既設橋供用開始より14年後(トラス部材製作開始)までの、既設橋のプレストレス2次力によるクリープの影響を算出した。Step 3では反力調整による断面力を算出した。Step 5では既設橋A1橋台斜材撤去および改築完了後∞日までのプレストレスの2次力によるクリープの影響を算出した。また改築完了後∞日後の死荷重に、活荷重、温度荷重、地震荷重を加えた際の断面力を、それぞれStep 6～Step 8として添付した。

クリープ係数は道示に示される式により算出した。

クリープ解析は日本電子計算株式会社のACOSTRAを用いた。ACOSTRAはクリープの影響を変位法に取り込んだ算定方法を採用している。

	模式図	段階の概要	日数変化	照査日
Step0		既設橋完成	↓ 5110B	0
Step1		トラス部材製作開始 供用後14年	↓ 100B	5110
Step2		トラス部材組立完成 斜材緊張	↓ 0B	5210
Step3		反力調整100t	↓ 30B	5210
Step4		連結後 A1支承設置	↓ 0B	5240日
Step5		斜材撤去 ∞日	↓ 0B	∞
Step6	〃	死荷重 + 活荷重	-	∞
Step7	〃	死荷重 + 温度	-	∞
Step8	〃	死荷重 + 地震	-	∞

図-6 計算ステップモデル図

施工段階を考慮した設計結果のうち、既設上部工について結果を報告する。図-7に主要照査断面、図-8に既設構造および、補強完成後に上部工に発生する死荷重時曲げモーメント、図-9は同じく既設構造系および補強後の死荷重時変形を示す。図-10、図-11は図-7に示す主要断面における曲げモーメントおよび合成曲げ応力度の変化を示したものである。縦軸は応力あるいはモーメント、横軸は計算ステップを表す。応力度の変化図の図中には計算ステップ毎の許容応力度も描画している(σ_{au} :上縁許容曲げ応力度、 σ_{al} :下縁許容曲げ応力度)。

斜材による支持構造より、トラス構造による吊り構造へ変化する。このため、SEC-1の支点部においては、支点の鉛直剛性が低下し、支点部での沈下が起こりやすい構造になる。これにより、同箇所での曲げモーメントは小さくなり、逆に、SEC-3での曲げモーメントが大きくなることが予想された。これに対し、一体化前に反力調整を行い、事前にSEC-1支点部を吊り上げることで、支点沈下対策および、撤去斜材の応力緩和を図る計画とした。しかしながら、実際は図-8、9に示される通り、支点部の沈下が起こらず、当初の想定とは逆にSEC-1支点部が吊り上げられる結果となった。これは、トラス材斜材に導入されたプレストレスカのクリープによる二次力が卓越し、支点を引き上げたためと考えられる。このため、当初撤去斜材の応力緩和を目的として、3000kNで行う予定であった反力調整の値を見直すことによりこれに対処するものとした。

最終的には、反力調整を1000kNに低減することにより、図-10に示す通り、既設部材においても許容応力度を満足する値にコントロールすることが可能であった。

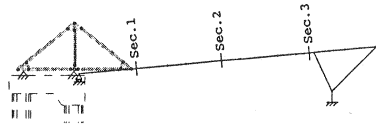


図-7 既設部照査断面

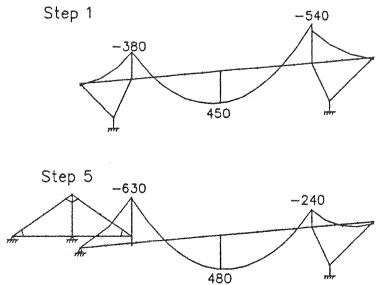


図-8 M図

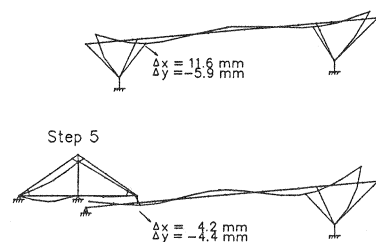


図-9 変形図

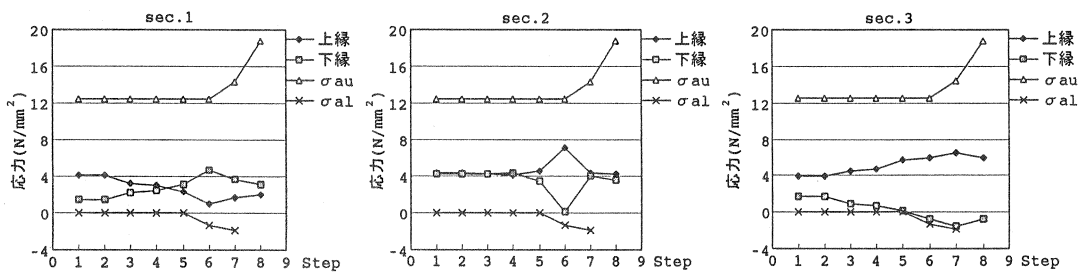


図-10 応力度変化図

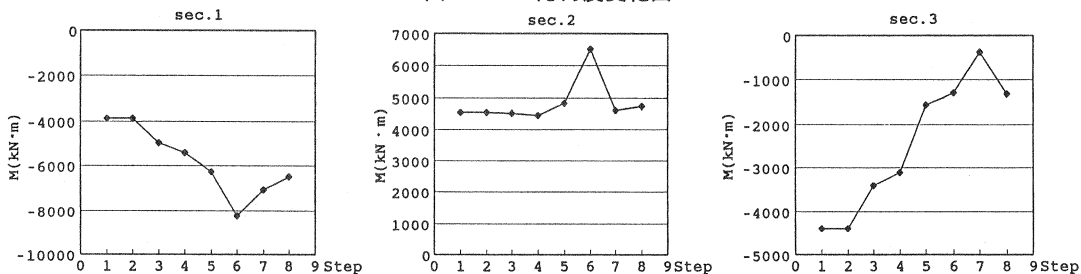


図-11 モーメント変化図

4. 2 結合部構造設計

(1) 結合部の設計概要

新設トラス部材と既設桁との結合は、本改築における最も重要な箇所である。結合部の構造は、図-12に示すように、既設ホロー桁の充実部を削孔し新旧部材をPC鋼線で緊結することにより、構造の一体化を図るものである。トラス格点部材と既設桁との間は、場所打ちコンクリートで充填する。設計は、プレキャスト部材-場所打ちコンクリート-既設部材からなる水平方向の梁として行うものとした。

本部材は、主桁剛結支点部に作用する曲げモーメント及び水平力、鉛直力が水平梁のねじりモーメント、水平方向、鉛直方向のせん断力としてトラス構造に伝達されるものである。同種の構造としては、ラーメン橋脚の梁に上部工が剛結された形式があり、新設構造としての例はあるが、プレキャスト部材を使用した構造としては例をみない。結合部の設計は、水平梁部材として断面力を算定し実施したが、構造の特異性もあり、立体FEM解析により妥当性を確認した。なお水平梁の断面力の算定においては、トラス構造支点部における橋軸方向回りの回転の評価が困難なため、両端支点部の回転を拘束するケースとしないケースで行った（図-13参照）。

また、コンクリート打継ぎ面においては、せん断伝達応力の照査を行うものとしたが、差し筋を配置することにより、さらに安全性を確保するものとした。梁に作用するねじりモーメントは、立体フレームモデルより算定した。図-12に照査断面図を示す。

(2) 設計結果

Sec. 1、Sec. 2でのせん断伝達耐力および安全率を表-1に示す。表-1は、せん断キー、差し筋を考慮しない結果である。いずれの断面もコンクリートの摩擦のみで耐力を有する。

フレーム解析により求められた、曲げおよびせん断応力度を表-2、3に示す。せん断照査断面は断面積が最小となるSec. 1とした。曲げ応力度照査によりPC鋼材量を決定した。また、設計荷重時における平均せん断応力度が許容値をオーバーする結果となったため、これにより間詰めコンクリート部材の鉄筋量を決定した。

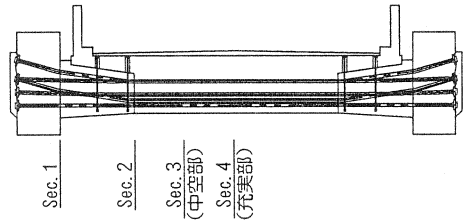


図-12 照査断面

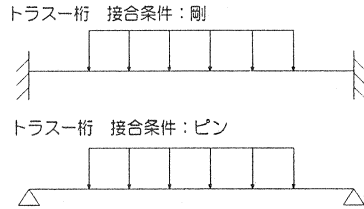


図-13 フレーム計算支点条件

表-1 せん断伝達耐力照査結果

Sec. No (方向)	せん断耐力 (kN)	設計荷重時		終局荷重時	
		せん断力 (kN)	安全率 (≥3.0)	せん断力 (kN)	安全率 (≥1.5)
Sec. 1 (鉛直)	10850	1650	6.6	2630	4.1
Sec. 1 (水平)	10850	1060	10.2	1720	6.3
Sec. 2 (鉛直)	8980	1550	5.8	2540	3.6
Sec. 2 (水平)	8980	1060	8.5	1720	5.2

表-2 曲げ応力度照査結果

荷重状態 照査項目	Sec	設計荷重時		終局荷重時		
		合成曲げ応力度 σ_c (N/mm ²)		破壊抵抗M (kN)	作用M (kN)	曲げ破壊安全度F
		上縁	下縁			
鉛直方向	Sec. 1	2.5	8.5	5440	4570	1.19
	Sec. 3	12.3	4.6	8610	7290	1.18
	Sec. 4	6.9	4.6			
水平方向	Sec. 1	3.3	7.6	10350	3050	3.39
	Sec. 3	14.1	1.9	7890	4890	1.62
	Sec. 4	9.3	2.3			
許容値		0 ≤ σ_c ≤ 17				F ≥ 1.0

表-3 せん断応力度照査結果

荷重状態 照査項目	せん断	終局荷重時	設計荷重時	
		τ_{max} (N/mm ²)	σ_l (N/mm ²)	τ_m (N/mm ²)
鉛直	せん断	0.6 (< 4.6)	0.0 (< 0.9)	0.1 (< 0.5)
	ねじり	1.8 (< 4.6)	-0.2 (< 0.9)	1.3 (> 0.5)
	合計	2.4 (< 5.4)	-0.3 (< 1.2)	1.3 (> 0.5)
水平	せん断	0.9 (< 4.6)	-0.1 (< 0.9)	0.6 (> 0.5)
	ねじり	1.8 (< 4.6)	-0.2 (< 0.9)	1.2 (> 0.5)
	合計	2.7 (< 5.4)	-0.5 (< 1.2)	1.7 (> 0.5)

(3) FEM解析による照査結果

有限要素解析は構造と作用荷重の対称性を考慮して、幅員方向に対して1/2幅のモデルとした。部材は全てソリッド要素とした。モデル化範囲は、着目部に応力の乱れを生じさせない領域を取り出し、モデル化範囲外の影響を加味するために境界力を作用させた。モデル図を図-14に示す。解析は日本電子計算株式会社のDIANAにより実施した。

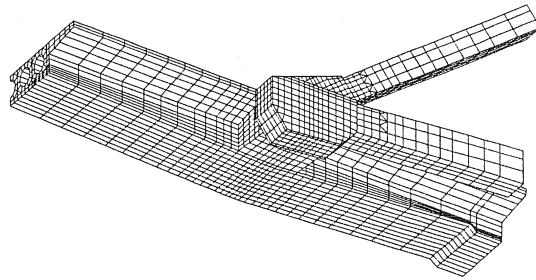


図-14 FEMモデル図

表-4、表-5に、Sec.1における平面、立体フレーム解析およびFEM解析から得られた合成曲げ圧縮応力度、せん断応力度を比較したもの示す(断面内比較位置は図-15参照)。結果は以下の通りである。

M1	S1	M2
S3	Sec. 1	S4
M3	S2	M4

図-15 Sec.1内応力度比較位置

1. 曲げ、せん断とも、FEM解析結果はフレーム解析結果に近似しており、解析の妥当性が確認できた。
2. 曲げ応力度に対してFEM解析結果は、ピンおよび剛結支点としたフレーム解析結果の中間に位置すると想定されたが、若干はずれる箇所があった。これは、FEMでは実構造の通り照査断面を菱形として解析しているのに対し、フレーム解析では長方形として断面力を算定した結果によるものと想定される。
3. 結合部せん断応力度は、ねじりによる影響が卓越している。結合部のねじりに対する結合は、実際は回転バネ結合であるが、フレーム解析は剛結合としている。FEM解析結果との差が小さく、ひびわれの入らない状態では、剛結合に近い挙動をすると考えられる。

表-4 合成曲げ応力度比較表

		位置 No.			
		M1	M2	M3	M4
フレーム	鉛直荷重による応力度(N/mm ²)	-5.2	-5.2	5.2	5.2
	水平方向による応力度(N/mm ²)	2.3	-2.3	2.3	-2.3
	プレストレスによる応力度(N/mm ²)	7.8	7.8	3.6	3.6
合成応力度(N/mm ²)		4.8	0.3	11.1	6.6
剛結	鉛直荷重による応力度(N/mm ²)	2.5	2.5	-2.5	-2.5
	水平方向による応力度(N/mm ²)	-1.7	1.7	-1.7	1.7
	プレストレスによる応力度(N/mm ²)	7.8	7.8	3.6	3.6
合成応力度(N/mm ²)		8.6	12.0	-0.6	2.7
FEM	合成応力度(N/mm ²)	6.3	12.2	3.1	7.2

表-5 せん断応力度比較表

	方向	水平		鉛直	
	位置 No.	S1	S2	S3	S4
フレーム	せん断による応力度(N/mm ²)	-0.1	-0.1	-0.6	-0.6
	ねじりによる応力度(N/mm ²)	1.3	-1.3	1.2	-1.2
	合力による応力度(N/mm ²)	1.2	-1.4	0.7	-1.8
FEM	合力による応力度(N/mm ²)	0.6	-1.5	0.9	-1.5

6. おわりに

高速道路の拡幅に対して既設跨道橋をプレキャストコンクリート部材で改築することにより、現橋を撤去することなく利用する形式を開発し設計を行った。設計上の課題として、材令差のある新旧部材を一体化することにより発生するクリープによる不静定力の評価、新旧部材結合部構造の特殊性等があったが、施工段階を考慮した設計、立体FEM解析による照査等により問題をクリアーできたと考える。

今後の課題として、実橋の耐荷力や耐久性の精査、さらに施工上の課題として新旧部材一体化確保のための模型実験等を検討している。

参考文献

- 1) 社団法人土木学会：コンクリート標準示方書 設計編 平成8年
- 2) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I・III・IV 平成8年12月