

曲線を有する鋼・コンクリート混合箱桁橋の接合部の設計

極東工業 (株) 技術本部 技術部 正会員 ○水野 篤志
 日本道路公団 中部支社 岐阜工事事務所 市川 博康
 日本道路公団 中部支社 岐阜工事事務所 山形 尚裕
 川田工業 (株) 大阪技術部 本摩 敦

1. はじめに

美濃関ジャンクションは、岐阜県美濃市と関市の市境で交差する、東海北陸自動車道と東海環状自動車道を接続するためのインターチェンジである。本工事は、図-1に示すように、東海環状自動車道から東海北陸自動車道南行きに接続する最小半径 $R=110\text{m}$ のEランプ橋と東海北陸自動車道から東海環状自動車道西行きに接続する最小半径 $R=80\text{m}$ のFランプ橋からなる、東海北陸自動車道を跨ぐ跨道橋である。

構造形式は、走行性および耐震性の向上のために、鋼床版箱桁とコンクリート箱桁を接合し一体化させる混合桁構造である。橋種区分は、既に供用されている東海北陸自動車道を跨ぐ跨道部および橋脚が河川に近接する部分を鋼床版箱桁、その他をコンクリート箱桁とした。既に、鋼・コンクリート複合連続桁橋の実績^{1) 2) 3)}は数橋あるが、いずれも直線もしくはほぼ直線の平面線形を有する橋梁である。平面曲線を有する混合桁橋の実績は無いため、本ジャンクション橋の接合部の構造を決定するために種々の検討を行った。本稿では、その概要について報告する。

2. 橋梁概要

美濃関ジャンクション橋工事の橋梁諸元を表-1に、構造図を図-2, 3に示す。

3. 接合部の設計

3. 1 接合部の形式

混合構造の接合部は、一般にコンクリート部材と鋼桁部材では断面構成が大きく異なるため、断面のすりつけを行う必要がある。接合のための構造要素は、支圧板、中詰めコンクリート、ずれ止め、PC鋼材があり

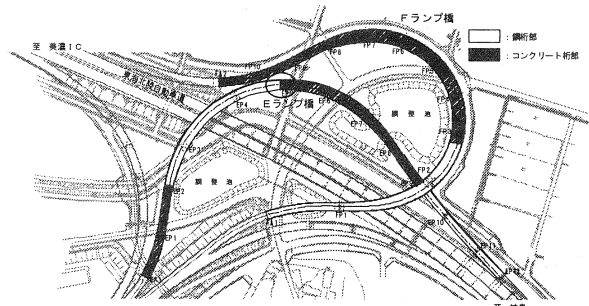


図-1. 平面図

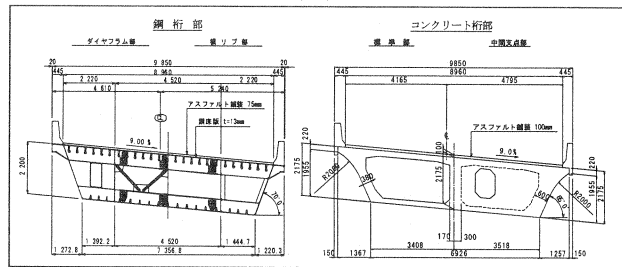


図-2. Eランプ橋断面図

表-1. 橋梁諸元

発注者	日本道路公団 中部支社 岐阜工事事務所	
工事名	東海北陸自動車道 美濃関ジャンクションFランプ橋(鋼・PC複合上部工)工事	
道路規格	ランプ規格 第2級 A規格	
橋名	美濃関ジャンクションEランプ橋	美濃関ジャンクションFランプ橋
構造形式	12径間連続(鋼箱桁+PRC箱桁)複合橋	11径間連続(鋼箱桁+PRC箱桁)複合橋
有効幅員	6.810m~8.960m	6.860m~10.810m
架設工法	クレーン架設および固定支保工架設	

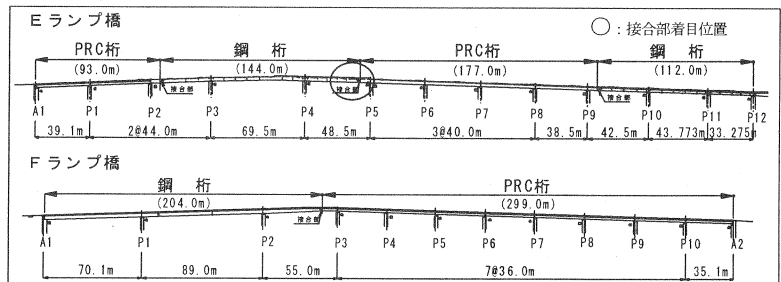


図-3. 側面図

(表-2参照)、この要素の組み合わせにより接合部の構造形式が決まる。本工事の場合、施工実績がある中で採用の多い『中詰コンクリートを後施工とする後面支圧板ずれ止め併用方式』、ずれ止めは『孔あき鋼板ジベル (以下PBL)』を採用した。(図-4参照)。鋼殻セル内はマルチセルタイプにして、PBLのずれ抵抗に対する方向性を橋軸方向となる構造とした(図-5参照)。

3.2 接合部の設計

(1) 接合部の構造

接合位置の選定は、断面力が小さいコンクリート桁側の支間1/5点とした。鋼殻セル形状は、施工性(鋼殻セルの製作、鉄筋およびPC鋼材の配置、中埋コンクリートの打設)や維持管理(桁内マンホールの高さ)を考慮し、最大で高さ600mm×幅1000mm、長さを2000mmとした(図-4, 5参照)。また、鋼殻セル内のPBL形状は、厚さ12mm、高さ100mmの鋼板に100mm間隔で孔径60mmの孔を開けた。PBLに挿入する貫通鉄筋は、D25を使用した。さらに、鋼桁とコンクリート桁の一体化を確実にするために接合用PC鋼材で、プレストレス力を導入する。使用PC鋼材は、主桁と同じプレグラウト鋼材1S28.6で、溶接する鋼殻セルを除き配置した。後打ち部は、中埋めコンクリートの充填性や配筋を考慮して1500mmとした。接合部に配置される橋軸方向鉄筋は、打継ぎ面で機械式継手を用いて連続化した。接合完了後の鉛直変位は、既に共用している東海北陸自動車を跨ぐ鋼桁が大ブロック桁で、鉛直変位の管理が鋼桁の出来形管理に影響を及ぼすため、死荷重時で5mm程度に抑えた。

(2) 接合部の設計

接合部は、橋梁全体の弱点とならないように鋼断面およびコンクリート断面がそれぞれ独自に全断面力を負担できる構造として設計した。以下は、コンクリート桁に対する設計について報告する。

設計断面力は、それぞれに架設ステップを考慮した平面骨組み解析と立体格子解析により算出した。曲げ、せん断、軸力は、主桁自重、プレストレス力、クリープ・乾燥収縮を平面骨組み解析で求め、橋面荷重、活荷重、温度荷重を立体格子解析で算出した。ねじり(主桁自重、橋面荷重、プレストレス、活荷重、温度荷重)はすべて立体格子解析で求めた。接合面における断面力を表-3に示す。

本工事の接合部は、鋼殻セル部を除いたコンクリート部に着目すると、主桁と同等な断面構造である。したがって、基本的に曲げ、せん断、軸力、ねじりの各断面力に対する接合部の設計は、主桁の設計に準じた。表-4に結果を示す。ただし、許容値の変更や追加検討を行っているものを、以下に記述する。コンクリート主桁の曲げに対する設計は、死荷重時には曲げひびわれ幅発生限界制御、設計荷重時以降は曲げひびわれ幅限界

表-2. 接合の構造要素

構造要素	機能, 特徴
支圧板	鋼材部からの集中荷重を分散し、支圧力としてコンクリート部に伝達 プレート位置によって呼称が違う・前面プレート:コンクリート側 ・後面プレート:鋼材側
中詰めコンクリート	支圧板タイプにより機能が変わる ・前面プレート型:前面プレートの補剛機能+ずれ止めを介し応力伝達 ・後面プレート型:ずれ止めと共に鋼材からコンクリート桁への応力分散効果
ずれ止め	せん断により伝達
PC鋼材	鋼材部とコンクリート部の一体化を確実にする

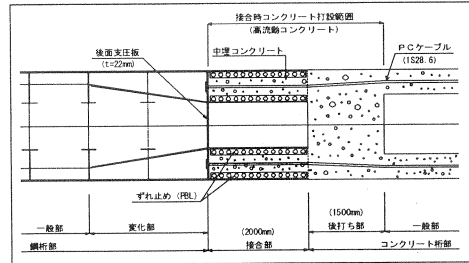


図-4. 接合部付近モデル図

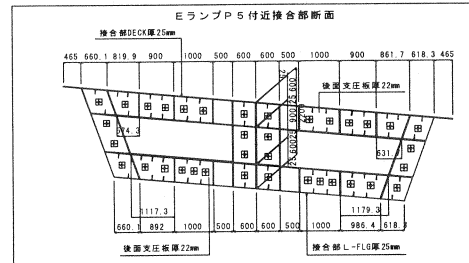


図-5. P5接合部鋼殻セル断面図

表-3. P5接合面の断面力

		曲げ	せん断力	ねじり
		モーメント	(kN)	モーメント
設計荷重時	Mmax	7,926	-1,005	-3,777
	Mmin	-1,851	-3,035	-

ねじりは最大値のみ

表-4. P5接合面の計算結果

合成曲げ応力度		(単位: N/mm ²)		
	接合時	構造系完成時	死荷重時	設計荷重時
			L-Max	L-Min
上縁	2.04	2.54	1.69	2.45
下縁	1.92	1.32	1.14	0.24

曲げ破壊安全度	
安全度	荷重ケース
2.673	1.30+2.5L/F

斜引張応力度		(単位: N/mm ²)	
	計算値	許容値	荷重ケース
せん断のみ	-0.112	1.880	死荷重時
ねじりのみ	-0.038	1.880	設計荷重時(L-Max)
せん断+ねじり	-0.669	2.507	設計荷重時(L-Min)+温度

表-5. 接合面の直接せん断に対する検討

検討項目	振動断面(有効断面)	耐力要素	照査荷重項目
接合面における主クランプ部のコンクリート部断面の直接せん断抵抗	・コンクリートのせん断耐力 ・主方向PC鋼材のせん断耐力 ・橋軸方向鉄筋のせん断耐力	・設計荷重時(1.48) ・終局荷重時(1.45)	
プレストレス力による縦断抵抗	・中詰コンクリート全断面 ・有効プレストレス力($\mu=0.3$)	・設計荷重時(2.52+1.50)	

(*)内は安全率

制御とする PRC 構造であるが、接合部は安全性を考慮し、プレキャストセグメント継目部の設計と同様に、設計荷重時に引張応力を発生させないフルプレストレス構造とした。

せん断の検討は、「接合面の直接せん断」に対する検討を追加した。ここでは、ウェブを有効断面とする接合面における主桁断面の直接せん断抵抗に対する検討と、全断面を有効断面とするプレストレス力による摩擦抵抗に対する検討を行った (表-5 参照)。以上の結果より、本工事で決定した接合面の断面配筋図を図-6に、側面配筋図を図-7に示す。

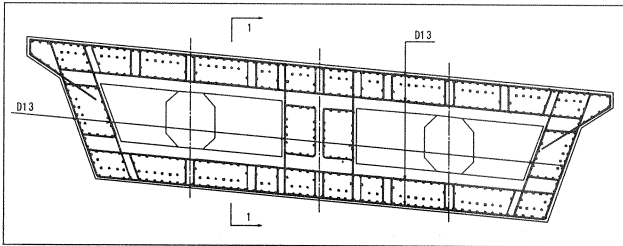


図-6. 断面配筋図

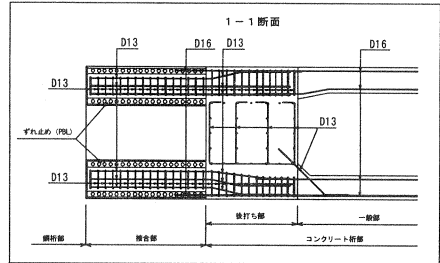


図-7. 側面配筋図

3. 3 接合部 FEM 解析

本工事の接合部は、立体格子解析を用いて曲線によるねじり挙動で発生する断面力を算出し設計した。しかし、格子解析を用いた設計では、表-6に示す課題の確認が不可能なため、3次元 FEM 解析を用いて接合部構造の妥当性を確認した。解析結果は、接合部構造と設計に反映させて、接合部構造を最終決定している。

解析対象は、幅員が狭く半径が小さい E ランプ橋 P 5 橋脚付近の接合部を選定した。モデル化は、接合部と接合部付近の応力の確認を目的としているため部分モデルを用いた。モデル化の範囲は、後面支圧板を中心に鋼桁一般部からコンクリート桁橋脚部までの 19.4m 区間とした。解析モデル図を図-8に示す。

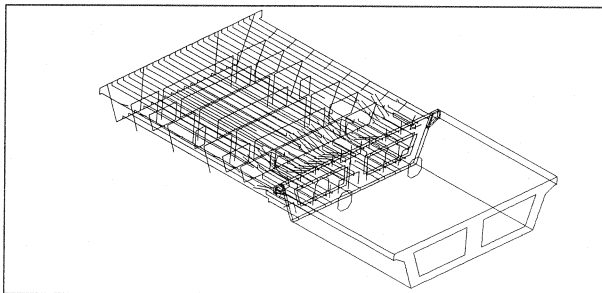


図-8. FEM 解析モデル図

モデルの構成要素は、鋼部材を厚肉シェル要素、コンクリート部材をソリッド要素、PBL を線形ばね要素としている。鋼とコンクリートの接触には、接合部の構造を忠実に再現するため、非線形接触要素であるギャップ要素 (図-9 参照) で結合した。

載荷荷重は各着目点に応じて表-7のように設定した。載荷方法は、着目点である接合部に所定の断面力が作用するように、1)モデル両端部に剛な面を設け剛な棒で結ぶ、2)コンクリート桁側端部拘束条件を完全固定とする、3)立体骨組み解析により

表-6. ねじり挙動に対する確認項目

1. ずれ止め (PBL) 発生バネ力の橋軸方向分布
2. ずれ止め (PBL) 発生バネ力の橋軸直角方向分布
3. ずれ止め (PBL) の橋軸直角方向板曲げ応力度
4. ずれ止め (PBL) と後面支圧板の荷重分担率
5. 鋼殻セルを構成する鋼板の応力状態
6. 接合面のコンクリート応力状態

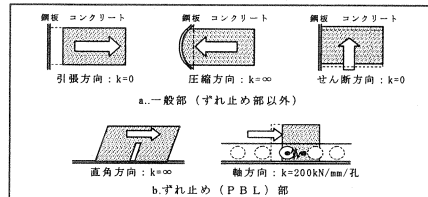


図-9. ギャップ要素

・鋼とコンクリートの接触条件 (ギャップ要素)
ギャップ要素とは、異なる引張、圧縮およびせん断剛性をもつ非線形要素である。本解析では、一般部 (ずれ止め部以外) とずれ止め部の2タイプのギャップ要素を使用している。

表-7. 解析断面力ケースと着目点

解析ケース	解析断面力ケース	着目点
Case-1	最大ねじりモーメント発生ケース	・鋼桁側発生応力 ・コンクリート桁側発生応力
Case-2	水平回転曲げモーメント発生ケース	・後面支圧板と PBL の荷重分担率 ・鋼殻セル長の妥当性
Case-3	最大ねじりモーメント発生ケースから、ねじりモーメントの影響 ねじりモーメント除去した場合	(Case-1 と比較する)
Case-4	プレストレス導入時	・プレストレス導入時の安全性

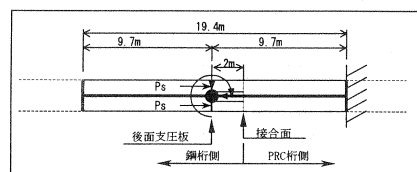


図-10. 載荷方法のイメージ図

得た断面力を剛な棒の後面支圧板位置に載荷, する (図-10 参照) という手法を用いた。また、プレストレスは、後面支圧板の鋼材位置に集中荷重として載荷した。載荷断面力は、接合部鋼殻セル両端の後面支圧板側と接合面側の断面力を比較し、断面力の大きい値を用いた。(表-8 参照)

表-8. 載荷断面力

解析ケース	軸力	せん断力			ねじりモーメント	
		FX(kN)	FY(kN)	FZ(kN)	MX(kN-m)	MY(kN-m)
Case-1	-128.3	39.9	-2,215.4	-4,166.0	8,662.8	-221.3
Case-2	-128.9	37.9	-772.5	-1373.8	14,673.5	-145.5
Case-3	-128.3	39.9	-2,215.4	0.0	8,662.8	-221.3
Case-4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

3. 4 接合部 FEM 解析結果

PBL の橋軸方向発生バネ分布は三角形分布となり、その比率を「後面支圧板側 : 接合面側」で表すと、上床版側は 1 : 10、下床版側は 3 : 1 となった。発生バネ力は最大 29kN/箇所、耐力 320kN/箇所の 10%以下であった。橋軸直角方向発生バネ分布は、ほぼ均等分布となった。ねじりモーメントによって発生する PBL の橋軸直角方向の板曲げ応力度は、上床版側は 2N/mm² 以下で下床版側は 6N/mm² 以下であった。PBL と後面支圧板の荷重分担率は、圧縮側 (上床版側) セルで 0.55 : 0.45、引張側 (下床版側) セルで 0.97 : 0.03 となった。

鋼殻セルを構成する鋼板の応力状態は、全体的に 20N/mm² 程度である。後面支圧板の PC 鋼材定着部で 149N/mm² 程度、下床版側鋼殻セル出口で 34N/mm² 程度の応力集中が見られるが、鋼板の許容応力は 140N/mm² であるため問題とはならない。

接合面のコンクリート応力状態は、上下床版およびウェブの鋼殻セル仕切り板付近で、最大で 3.6N/mm² 程度の応力集中が見られた。(図-11 参照)

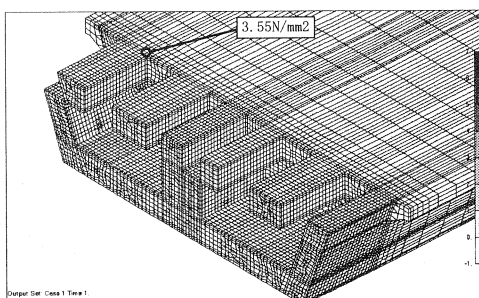


図-11. コンクリート部の応力状態

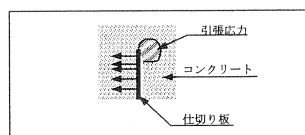


図-12. 引張応力の発生状況

6. おわりに

本工事の場合、接合部構造に対するねじりモーメントの影響は小さいことを確認した。ただ、極めて狭い範囲ではあるが、ねじりモーメントにより発生する偶力によって、鋼殻セルの仕切り板が接合面のコンクリートに引張応力を発生させた (図-12 参照)。対策として、図-13 のように仕切り板を接合面より 500mm 控えることで、コンクリート引張応力の発生位置を耐力に余裕のある鋼殻セル内に移すことで、接合面の安全性を確保した。また、この対策によって、鋼桁からコンクリート桁へ断面力が段階的に伝達される構造になり、接合面でのコンクリート応力は全体的に緩和された。

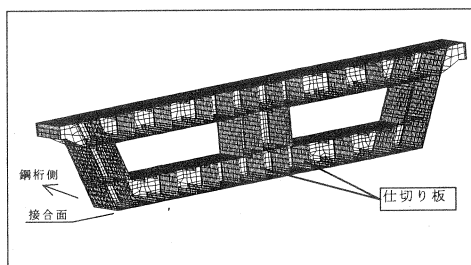


図-13. 変更後の鋼殻セル構造

参考文献

- 1) 山岸和彦, 西本 聡, 矢野保広: 生口橋主桁接合部の設計・施工, 本四技報 Vol.15-No.58, pp.14-22, 1991.
- 2) 藤原 亨, 森山 彰, 川西直樹: 多々羅大橋上部工の実設計, 本四技報 Vol.22-No.88, pp.12-27, 1998.
- 3) 望月秀次, 山田 稔, 安藤博文, 縄田俊文, 高田嘉秀, 宮地真一: 鋼・PC 混合桁 (新川橋) の設計と施工, 橋梁と基礎 Vol.34-No.11, pp.2-8, 2000.
- 4) 西村宣男, 水口裕之, 大谷恭弘, 角谷 務, 多久和 勇: 平成 11 年度 高松自動車道 鋼・コンクリート混合橋の設計施工に関する詳細検討報告書, (財) 高速道路技術センター, 平成 12 年
- 5) 平 陽兵, 天野玲子, 大塚一雄: 孔あき鋼板ジベルの疲労特性, 土木学会第 52 回年次学術講演会概要集, pp.238-239, 1997.
- 6) 複合構造物の性能照査指針 (案), 土木学会, 平成 14 年 10 月.