

支圧板方式鋼ポータルラーメン橋の隅角部構造の設計に関する研究

STUDY ON DESIGN OF RIGID CONNECTION FOR THE STEEL-CONCRETE COMPOSITE PORTAL FRAME BRIDGE WITH A BEARING PLATE

橋梁工学分野 池田 裕哉
Bridge engineering Yuya IKEDA

本研究室では、鋼桁と RC 橋台を剛結することで桁端部に腐食を生じさせない鋼ポータルラーメン橋に注目し、隅角部に孔あき鋼板ジベルと支圧板を用いた支圧板方式を提案している。先行研究では、隅角部の構造実験によりその挙動を確認している。本研究では、隅角部の有限要素解析を実施することにより、隅角部の詳細な荷重伝達機構を明らかにし、その結果をもとに孔あき鋼板ジベルと支圧板の設計方法の提案を行った。

Recently, the number of steel-concrete composite portal frame bridge is increasing for short and medium span length in Japan. For a rigid connection detail of this type of bridge, a new type of the connection detail with a bearing plate and PBL is proposed. In this study, load sharing of the new rigid connection and a delivery mechanism of bearing force by bearing plate are clarified by FEM analysis. And new design method of rigid connection and the bearing plate are proposed. The new design method can reduce steel weight of PBL to 66%.

1. 研究背景と目的

鋼橋では、橋台付近における桁端部の損傷・劣化が数多く報告されている。これらの原因には、伸縮装置からの漏水に起因する鋼桁や支承の腐食、橋座・狹隘部の滞水、土砂体積などが挙げられる。そこで近年、支間 30~50m の中小スパンの単純桁橋において、伸縮装置・支承・落橋防止装置などを省略し、RC 橋台と鋼桁を剛結した鋼ポータルラーメン橋の採用が高速道路会社などで増えてきている。

鋼桁と橋台を剛結する隅角部構造は各種提案されており、我が国では図-1a)に示す桁埋め込み方式が主流となりつつあるが、設計基準や構造の統一化はされていない。また、桁埋め込み方式には、以下のような構造的な課題がある。1)鋼桁とコンクリート境界部に高い支圧力と引張応力が作用する。2)鋼桁埋め込み部の橋台背面側に引張応力が集中する。3)剛結部の配筋と橋台背面付近まで埋め込んだ鋼桁の存在により、隅角部のコンクリート施工性および充填性が悪い。

そのため、本研究室では上記の桁埋め込み方式が抱える課題を解消できる合理的な構造として、図-1b)に示す支圧板方式隅角部構造（以下、支圧板方式）を提案している¹⁾。先行研究では、支圧板方式の構造実験を行い、その力学的挙動と破壊過程を明らかにしている。

支圧板方式の設計方法は実験結果をもとに提案されている（以下、従来設計法）。しかし、実験結果からは隅角部の詳細な荷重分担を把握できないため、従来設計法で設計される隅角部は耐力が過剰な可能性がある。そこで、本研究では支圧板方式の構造実験の FEM 解析を行い、隅角部の詳細な挙動を明らかにする。そして、その結果をもとに従来の設計法を合理化した、新たな設計法を提案することを目的とする。

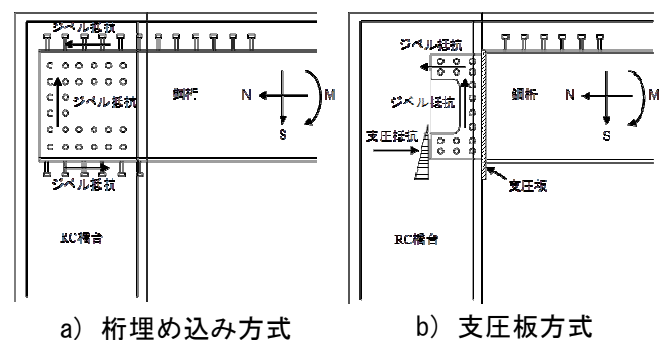


図-1 隅角部構造

2. 支圧板方式の FEM 解析

2.1 支圧板方式の構造実験

図-2, 3 に試験体の詳細図と載荷状況を示す。試験体の設計は、橋長 50m の 2 主桁橋の隅角部の概略試設計をもとに、載荷装置の能力、固定用アンカーの本数、実験室のスペースを考慮して 1/4 スケールに縮小し、

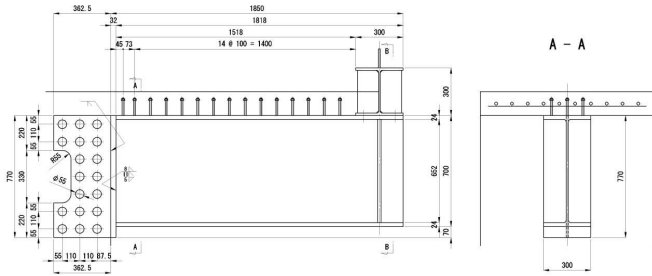


図-2 試験体の詳細図



図-3 荷重状況

断面の応力を合わせている。具体的には、死荷重，活荷重，土圧，クリープ，乾燥収縮を組み合わせる設計断面力を決定しており， $M=-476\text{kN}\cdot\text{m}$ ， $S=280\text{kN}$ となった。この時，終局耐力は床版鉄筋の降伏で決まっている。

2.2 支圧板方式の解析モデル

図-4 に支圧板方式の解析モデルを示す。解析モデルは，対称性を考慮した 1/2 モデルで作成し，対称面に対称条件を与えた。橋台底面は完全固定とした。試験時の荷重梁は再現せず，張り出し部先端の中立軸位置に強制変位を与えた。

隅角部の孔あき鋼板ジベル（以下，PBL）は，全てソリッド要素でモデル化を行った。PBL プレートと孔内のコンクリートの境界面に接触条件を与え，荷重の伝達を再現している。

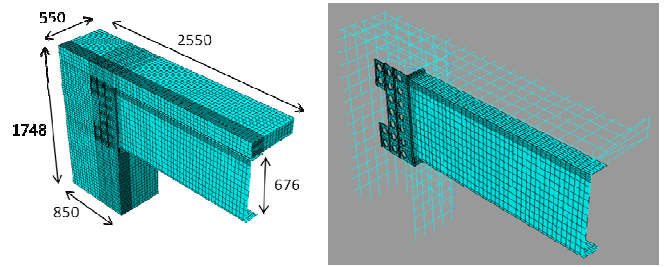
表-1, 2 および図-5 に使用した材料特性とその応力-ひずみ関係を示す。鋼材の材料特性は，実験時の材料特性をもとにバイリニアでモデル化を行った。コンクリートの材料特性は，圧縮側を実験時の圧縮試験をもとにしたバイリニア，引張側をコンクリートのひび割れを考慮したマルチリニアとした。

2.3 解析結果

2.3.1 荷重-変位関係

実験と解析における荷重-変位関係を図-6 に示す。実験結果は，橋台背面頂部に設置した変位計により得られた水平方向の変位を用いて，試験体の回転による影響を除去した。

床版鉄筋の設計許容応力から決まる設計許容荷重 320kN 程度までは実験結果を良好に再現することができた。実験では，320kN 以降コンクリートに細かいひ



a) 鳥瞰図

b) 配筋図

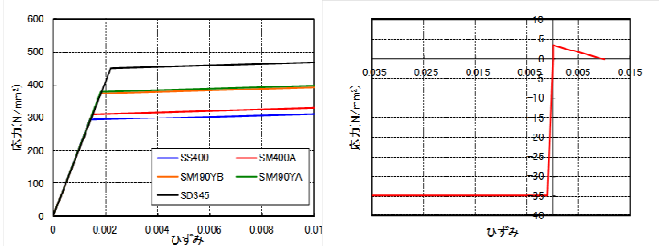
図-4 解析モデル（単位：mm）

表-1 鋼材の材料特性

鋼種	部材	ヤング率(N/mm ²)	降伏点(N/mm ²)	ポアソン比
SS400	鋼桁(B)	2.09×10^5	293.6	0.3
SM400A	鋼桁(G)	2.09×10^5	311.4	0.3
SM490YB	支圧板	2.07×10^5	374.2	0.3
SM490YA	PBL	2.08×10^5	379.9	0.3
SD345	鉄筋	2.03×10^5	451.4	-

表-2 コンクリートの材料特性

圧縮強度(N/mm ²)	引張強度(N/mm ²)	ヤング率(N/mm ²)	ポアソン比
35	2.69	28900	0.163



a) 鋼材

b) コンクリート

図-5 応力-ひずみ関係

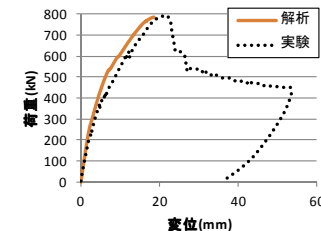


図-6 荷重-変位関係

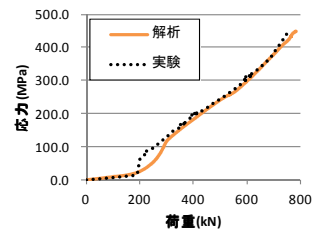


図-7 応力-荷重関係

び割れが発生し，剛性が低下しているが，解析ではコンクリートの細かいひび割れが再現できず，実験よりもやや剛性が高くなった。しかし，最大荷重は良好に再現できており，構造の耐力に関わる大きなひび割れについては再現できていると考えられる。

図-7 は床版鉄筋の応力-荷重関係である。RC 床版にひび割れが発生したと考えられる 200kN 付近は，実験と解析の値がやや異なるが，それ以外は終局状態までの挙動を良好に再現できている。

2.3.2 隅角部の応力状態

図-8 に終局時における隅角部の応力状態を示す。床版，橋台頂部，橋台背面は，実験で大きなひび割れが発生した位置で引張応力が低下しており，コンクリートの主要なひび割れを再現できたと考えられる。床版

鉄筋も実験と同様の位置で降伏していた。また、橋台背面鉄筋は降伏しておらず、橋台背面に損傷を発生させない支圧板の特徴を確認できる。

2.3.3 隅角部の荷重分担

設計断面力作用時 ($M=-476\text{kN}\cdot\text{m}$, $S=280\text{kN}$) における隅角部の荷重分担の整理を行う。解析における鋼部材とコンクリート間の接触力を各部材の抵抗力として評価した。

(1) 水平方向抵抗力

隅角部に作用する水平方向抵抗力として、次の4成分が考えられる。①床版コンクリートおよび床版鉄筋の断面力、②支圧板の支圧力、③PBL孔の水平方向せん断力、④PBLプレートコバ面の支圧力。なお、今回の検討では鋼とコンクリートの付着、および摩擦による分担は無視することとする。

表-3に水平方向抵抗力4成分を示す。床版鉄筋とコンクリートの抵抗力は断面の応力の平均から算出した。全ての水平抵抗力の合計は -20.6kN と解析収束計算の誤差によりややマイナスが大きくなったが、水平力のプラス方向の合計とマイナス方向の合計の比は0.97であり、ほぼ全ての水平方向抵抗力を抽出できたと考えられる。

表-4にPBLに作用する水平せん断力が従来の設計値の何%であるかを示す。PBLの水平せん断力の多くは設計値の50%以下しか抵抗していなかった。しかし、下フランジ背面のPBLは設計値の60%の荷重を分担しており、他の行よりやや高かった。

(2) 鉛直方向抵抗力

隅角部の鉛直方向抵抗力として、次の2成分が考えられる。①PBL孔の鉛直方向せん断力、②PBLプレートコバ面の支圧力。

表-5に鉛直方向抵抗力2成分を示す。全ての鉛直抵抗力の合計/荷重は95.3%であり、ほぼ全ての鉛直方向抵抗力を抽出できた。誤差は、解析収束計算の誤差と床版が分担するせん断力であると考えられる。

表-6に荷重に対するPBL孔とPBLプレートコバ面の鉛直方向の抵抗率を示す。設計ではPBLが全ての鉛直力を分担するとされているが、PBL孔の鉛直方向せん断力の分担率は55%にとどまり、その代わりにPBLプレートコバ面が40.3%の鉛直力を分担していることがわかった。また、PBL孔の抵抗力分担は橋台前面側であるC3の列が52.3%と高く、C1とC2はそれぞれ-3.2%、5.8%となった。

表-7にPBLに作用する鉛直せん断力が従来の設計値の何%であるかを示す。C3のPBLは設計値の2倍程度、C2は設計値の25%程度のせん断力を分担していることがわかった。

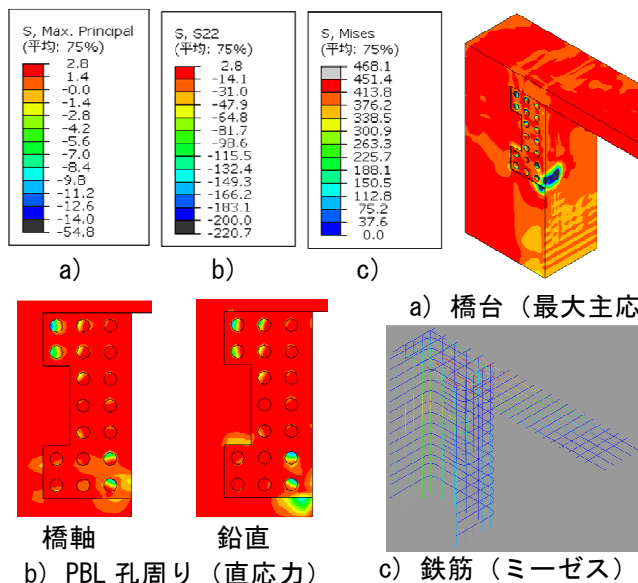


図-8 隅角部の応力状態 (終局時)

表-3 各水平方向抵抗力

	PBLの水平方向せん断力(kN)			
	C1	C2	C3	行合計
L1	9.4	11.9	19.6	40.8
L2	9.4	11.7	15.3	36.5
L3	-	6.5	6.1	12.6
L4	-	0.4	-2.9	-2.5
L5	-	-4.2	-7.0	-11.2
L6	-7.0	-8.2	-8.3	-23.5
L7	-11.0	-18.8	-19.2	-49.0
列合計	0.8	-0.7	3.5	3.6
プラス側合計	90.2			
マイナス側合計			-86.6	
誤差				4.0%

支圧板とプレートコバ面の支圧力(kN)				
B	E-U	E-M	E-L	合計
-551.8	0.0	-12.5	-36.5	-600.7

床版鉄筋とコンクリートの断面力(kN)	
床版鉄筋	コンクリート
230.9	345.5

合計(kN)			プラス/ マイナス
水平抵抗力	プラス方向	マイナス方向	
-20.6	666.7	-687.3	0.970

抵抗部の名称						
P-UU						
L1C1	L1C2	L1C3				
L2C1	L2C2	L2C3				
P-UL			L3C2	L3C3		
E-M			L4C2	L4C3		
P-LU			L5C2	L5C3		
E-L			L6C1	L6C2	L6C3	
			L7C1	L7C2	L7C3	
P-LL						

表-4 設計値に対する抵抗率 (水平せん断力)

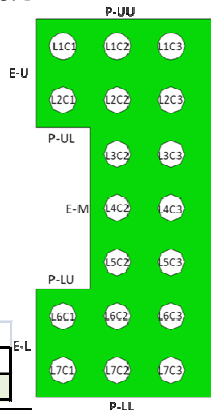
	PBLの水平方向せん断力/設計せん断力				設計せん断力 (行合計)	設計せん断力 (1孔)
	C1	C2	C3	行合計		
L1	19.7%	25.0%	41.1%	28.6%	142.6	47.5
L2	27.4%	34.1%	44.7%	35.4%	103.0	34.3
L3	-	20.4%	19.3%	19.8%	63.4	31.7
L4	-	3.8%	-26.9%	-11.5%	21.8	10.9
L5	-	44.9%	76.0%	60.4%	-18.5	-9.25
L6	37.8%	44.4%	44.9%	42.4%	-55.4	-18.5
L7	35.2%	60.3%	61.5%	52.3%	-93.7	-31.2

(3) 荷重分担率

表-3, 5に示した各抵抗力に中立軸からの距離を乗じて曲げ抵抗に換算し、隅角部に作用するモーメントに対するそれぞれの抵抗力の分担率を求めた。その結果を図-9, 曲げ抵抗の概念図を図-10に示す。なお、中立軸はPBLに作用するせん断力から求めた。また、作用モーメントは(荷重) × (载荷点からPBLの鉛直せん断力の中立軸までの距離)で求めた。抵抗モーメントの和は $545.2\text{kN}\cdot\text{m}$ であり作用モーメント $548.6\text{kN}\cdot\text{m}$ の99.4%とよく一致していた。水平方向の抵抗力の分担率が全体の90%程度となることがわかった。

表-5 各鉛直方向抵抗力

	PBLの鉛直方向せん断力(kN)			
	C1	C2	C3	行合計
L1	-1.32	1.9	11.0	11.6
L2	-3.02	1.0	14.3	12.3
L3	-	1.0	18.4	19.4
L4	-	1.6	21.7	23.3
L5	-	3.9	24.7	28.6
L6	-3.033	4.6	28.2	29.8
L7	-1.509	2.2	27.9	28.6
列合計	-8.9	16.3	146.2	153.6
プラス側合計	マイナス側合計			
	162.5	-8.9		



プレートコバ面の鉛直方向抵抗力(kN)				
P-LL	P-LU	P-UL	P-UU	合計
129.9	-8.7	0.0	-8.5	112.7

合計(kN)			抵抗力合計/ 作用せん断	抵抗部の名称
鉛直抵抗力	プラス方向	マイナス方向		
266.4	275.2	-8.9	95.3%	

表-6 荷重に対する抵抗率(鉛直方向)

	PBL鉛直方向せん断力の分担率			
	C1	C2	C3	行合計
L1	-0.5%	0.7%	4.0%	24.9%
L2	-1.1%	0.4%	5.1%	26.4%
L3	-	0.4%	6.6%	62.5%
L4	-	0.6%	7.8%	75.1%
L5	-	1.4%	8.8%	92.2%
L6	-1.1%	1.7%	10.1%	64.0%
L7	-0.5%	0.8%	10.0%	61.3%
列合計	-3.2%	5.8%	52.3%	55.0%

プレートコバ面の鉛直方向抵抗力の分担率				
P-LL	P-LU	P-UL	P-UU	合計
46.5%	-3.1%	0.0%	-3.0%	40.3%

表-7 設計値に対する抵抗率(鉛直せん断力)

	PBLの鉛直方向せん断力/設計せん断力				設計せん断力 (行合計)	設計せん断力 (1孔)
	C1	C2	C3	行合計		
L1	-8.5%	12.1%	71.1%	24.9%	46.6	15.5
L2	-19.5%	6.6%	92.0%	26.4%		
L3	-	6.7%	118.4%	62.5%		
L4	-	10.4%	139.8%	75.1%		
L5	-	25.4%	158.9%	92.2%	46.6	
L6	-19.5%	29.7%	181.9%	64.0%		
L7	-9.7%	14.0%	179.7%	61.3%		

た。床版鉄筋と床版コンクリートの分担率が全体の49.1%と最も高かった。これは、床版が中立軸から最も離れているためであると考えられる。支圧板の分担率は30.2%であり、床版に次いで分担率が高くなった。PBLの分担率は水平、鉛直方向を合わせても13.3%にとどまった。また、設計で考慮されていないPBLコバ面が7.4%の荷重を分担していることがわかった。

2.3.4 支圧板の挙動

図-11に終局時の支圧板の鉛直方向直応力を示す。下フランジからの軸力により、支圧板に曲げが発生することがわかった。支圧板中央の下フランジ位置の応力が最も高かった。

2.3.5 橋台前面の支圧力

図-12に設計荷重時の橋台前面の支圧力(MPa)を示す。支圧板の縁端で支圧力が高くなることがわかった。コンクリートの圧縮強度以上の支圧力が発生しているが、実験では損傷は発生しておらず、コンクリートの拘束力により強度が上昇していると考えられる。また、

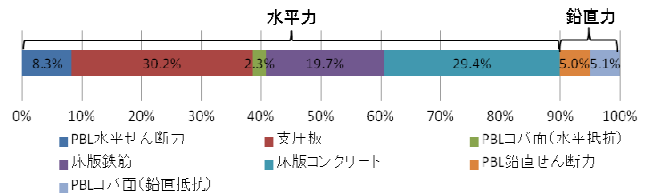


図-9 曲げ抵抗の分担率

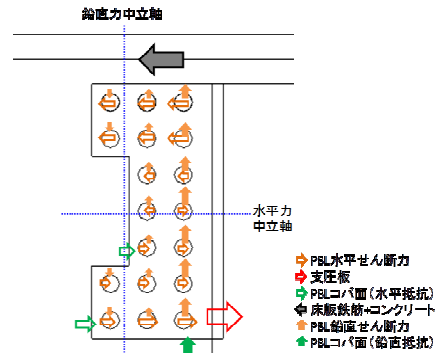


図-10 曲げ抵抗の概念図

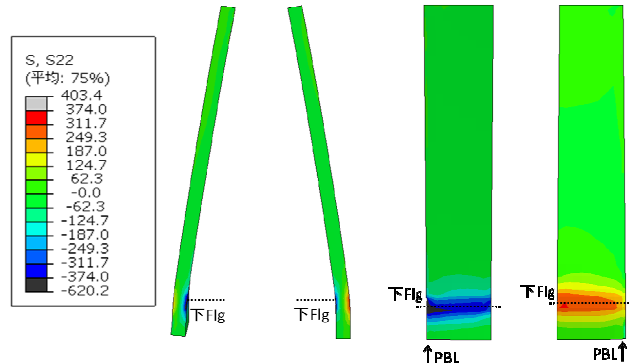


図-11 支圧板の直応力(終局時)

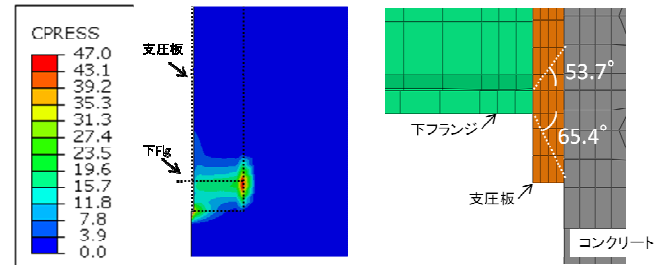


図-12 橋台前面の支圧力

図-13 支圧力の広がり

下フランジから上側に53.7°、下側に65.4°の範囲に下フランジからの軸力の98.9%の接触力が分布していることがわかった(図-13)。

3. 隅角部の設計法の提案

3.1 従来の設計法

構造実験の結果をもとに定められた従来の設計法をまとめ、その課題を抽出する。

3.1.1 PBLの従来設計法

PBLは、図-14に示す計算で作用せん断力を求め、それが複合構造標準設計法²⁾に定められる許容値以内になるように設計される。鉛直力は全てのPBLで均等に分担、水平力は各行で均等に分担すると仮定されて

いる。しかし、上述した解析結果より、PBLの荷重分担は均等でないことがわかっている。

3.1.2 支圧板の従来設計法

支圧板の要求性能は、下フランジからの軸力を橋台に適切に伝達することである。従来の設計では、下フランジ板厚との比で支圧板の板厚を決定し、それに伴う有効面積を定めている。そして、それらの値を用いて橋台前面の支圧力と支圧板の耐力の照査を行っている。以下に設計と照査の流れを示す。

①支圧板厚の設計：支圧板厚は $t_b \geq 0.67 \cdot t_{lf}$ かつ 22mm 以上とする。

②支圧板の有効高さ：図-15 に示すように、支圧板厚により有効高さを定める。

③②の有効高さを用いて支圧板の有効面積を求め、橋台前面に作用する支圧力を式(1)で求める。支圧力の照査は道路橋示方書IV4.2 コンクリートの許容支圧応力度式(4.2.2)で行う。

④図-16 に示すように、支圧板の下フランジからの張り出し部を片持ち梁としてモデル化し、許容応力度法により支圧板の板曲げ応力を照査する。この時、PBLプレートによる支圧板の補剛効果を考慮してよいとし、その有効補剛長さはPBLプレート板厚の4倍とする。

3.1.3 従来設計法の課題

上述した従来設計法の課題をまとめる。

(1)PBLの設計法の課題

2章の解析結果より、PBL各孔の荷重分担は均等でないことがわかっている。従来の設計法では水平方向のせん断力を過大評価しており、橋台最前列の鉛直方向せん断力は過小評価されている。また、2章で示したように、PBL以外の部材も隅角部の荷重を分担している。そこで、隅角部の荷重分担を考慮してPBLの設計を行うこととした。

(2)支圧板の設計法の課題

支圧板の設計法は、構造実験の結果より定められている。しかし、①支圧板の有効面積の実際の大きさ、②片持ち梁モデルにおける作用荷重の大きさ、③PBLプレートの補剛長さ、は実験結果だけでは明らかでない。

3.2 PBLの設計法の提案

3.2.1 設計水平方向せん断力の計算

表-4の結果より、PBLに作用する水平せん断力を従来の1/2とし、図-14に示す計算で各行の水平せん断力を求める。また、下フランジ背面のPBLは、他の行よりせん断力が大きくなることから、図-14の計算で求めた値を1.4倍とすることとした。

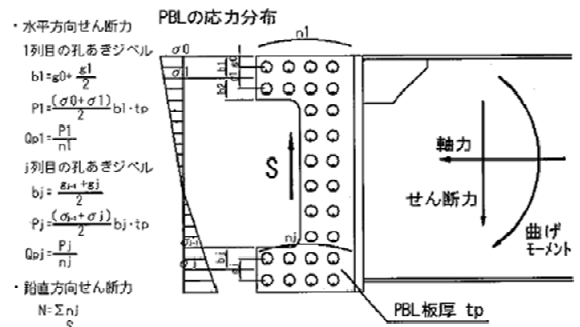


図-14 PBLのせん断力の計算

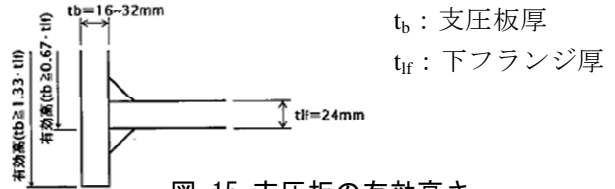


図-15 支圧板の有効高さ

$$\sigma = N_{lf} / A \quad (1)$$

ここに、 σ : 橋台前面に作用する支圧力(N/mm²)

N_{lf} : 下フランジからの軸力(N)、 A : 有効面積(mm²)

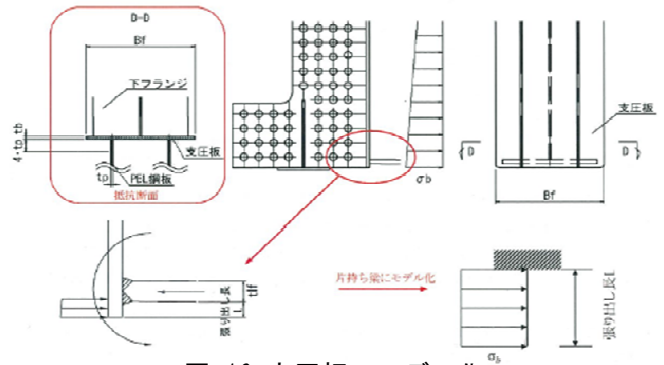


図-16 支圧板のモデル化

3.2.2 設計鉛直せん断力の計算

表-6の結果より、PBLに作用する鉛直方向せん断力は構造物に作用するせん断力の60%とする。また、表-7より、PBLは橋台前面側から1/2の列までの孔で鉛直せん断力を分担することとし、分担せん断力を行ごとに变化させることとした。PBLに作用する鉛直せん断力の求め方を式(2)に示す。また、孔位置による係数の求め方を式(3)に示す。

$$Q_c = k_c \cdot S_p / N_p \quad (2)$$

ここに、 Q_c : 橋台前面からc列目のPBLに作用する鉛直せん断力、 S_p : PBLが分担する鉛直せん断力の合計、 N_p : 鉛直せん断力に抵抗するPBL孔の合計、 k_c : c列目の係数

$$k_c = 1.75 \left(1 - \frac{x}{0.5l} \right) + 0.25 \quad (3)$$

ここに、 x : 最前面PBL孔からの距離、 l : 最前面PBL孔から最背面PBL孔までの距離

3.2.3 合成力の照査

求めた水平せん断力と鉛直せん断力の合成力を孔ご

とに求め、複合構造標準示方書に定められる許容せん断耐力を満たすことを確認する。

3.3 支圧板の設計法の提案

3.3.1 支圧板の有効面積の計算

図-13の結果から、下フランジからの軸力に起因する橋台前面に作用する支圧力は、下フランジから上側に 53° 、下側に 65° の範囲に分散されると定め、この範囲を支圧板の有効面積として従来の設計法と同様に橋台前面の支圧力の照査を行うこととした。

3.3.2 支圧板の耐力照査

解析結果より、設計荷重時に支圧板の下フランジ張り出し部に作用する荷重は、下フランジからの軸力の56.9%の338.6kNであることがわかった。また、解析における支圧板両面の応力分布と平面保持の仮定を用いてPBLが支圧板を補剛する長さを求めた結果、PBL板厚の4.2倍である50.4mmとなり、実験と同様の結果となった。支圧板の耐力照査方法を以下にまとめる。
 ①支圧板の耐力照査は、図-15に示す片持ち梁モデル化を用いて基部の応力を求め、許容応力度法で行う。
 ②荷重は下フランジからの軸力の60%とする。
 ③PBLが支圧板を補剛する有効長さはPBL板厚の4倍とする。

3.4 提案設計法による再設計

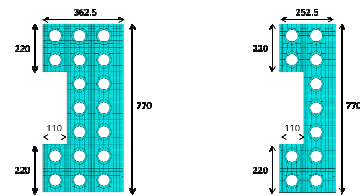
提案した設計方法により、先行研究で行われた支圧板方式隅角部の構造実験の試験体のPBLプレート再設計し、提案設計法と従来設計法の比較を行う。図-17に従来の設計法と提案設計方法により設計したPBLプレートの形状、表-5に提案設計法で設計したPBLに作用するせん断力を示す。PBLプレートが小型化され、かつ全てのPBL孔の設計せん断力が設計許容せん断力72.2kNを下回っていることが確認できる。また、表-6に提案設計法と従来設計法によるPBLの鋼重の比較を示す。提案設計法は従来の66%に鋼重を削減できた。

図-18に提案設計による隅角部の解析結果を示す。従来設計の隅角部と変わらない性能であることがわかる。表-7に解析から得られた提案設計PBLのせん断力を示す。全ての孔が設計せん断力72.2kNを越えていないことが確認できる。

3.5 まとめ

支圧板方式隅角部のFEM解析を行い、隅角部の詳細な挙動を明らかにし、隅角部の設計法を提案した。得られた結果を以下に示す。

1) 隅角部における各部材の抵抗率を求めた。PBLコ



a) 従来設計 b) 提案設計
図-17 支圧板のモデル化

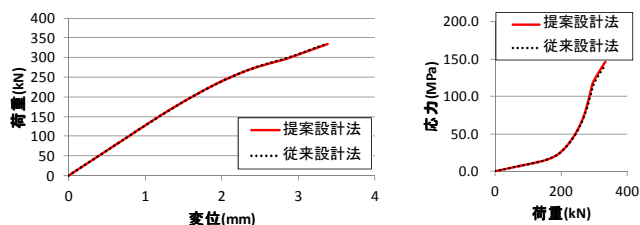
表-5 提案設計法によるPBLの設計せん断力

	旧設計せん断力 (kN)	新設計せん断力 (kN)	設計せん断力/許容せん断力	必要孔数 (個)	水平せん断力 (kN/個)
1列目	142.6	71.3	0.99	2	35.7
2列目	103.0	51.5	0.71	2	25.8
3列目	63.4	31.7	0.44	1	31.7
4列目	21.8	10.9	0.15	1	10.9
5列目	-18.5	-9.25	-0.13	1	-9.3
6列目	-55.4	-27.7	-0.38	2	-13.9
7列目	-93.7	-65.6	-0.91	2	-32.8

荷重 (kN)	分担荷重 (kN)	鉛直せん断力(kN/個)		合成せん断力 (kN)		
		1行目	2行目	1行目	2行目	
280	168	3.8	30.5			
				1列目	2列目	
				35.9	46.9	
				2列目	26.0	40.0
				3列目	31.9	44.0
				4列目	11.5	32.4
				5列目	10.0	31.9
				6列目	14.4	33.5
				7列目	33.0	44.8

表-6 提案設計と従来の比較

	旧設計法	提案設計法	経済性 (提案/旧)
鋼重(kg)	18.8	12.4	66.0%



a) 荷重-変位関係 b) 床版鉄筋の応力

図-18 提案設計隅角部の解析結果

表-7 提案設計隅角部のせん断力

	PBLの水平方向せん断力(kN)				PBLの鉛直方向せん断力(kN)		
	C1	C2	行合計		C1	C2	行合計
L1	32.1	38.3	70.5	L1	-0.3	15.1	14.8
L2	27.1	30.2	57.3	L2	-1.0	15.1	14.1
L3	-	17.6	17.6	L3	-	20.9	20.9
L4	-	4.0	4.0	L4	-	28.1	28.1
L5	-	-6.6	-6.6	L5	-	32.2	32.2
L6	-9.3	-9.8	-19.2	L6	1.8	36.1	37.9
L7	-22.9	-23.7	-46.7	L7	1.2	35.3	36.5
列合計	27.0	49.8	76.8	列合計	1.8	182.9	184.6

バ面、床版、支圧板がよく抵抗しており、PBL孔に作用する荷重を低減できることがわかった。

- PBLの荷重分担率を考慮した設計法を提案した。その結果、PBLの鋼重を66%に削減できることがわかった。
- 支圧板による支圧力伝達面積と支圧板に作用する曲げ荷重を明らかにし、従来設計法を補足した。

参考文献

- 山田貴男, 川元悠平, 山口隆司, 山田金喜, 曾田信雄, 水上善晴, 佐合大, 谷一成: 支圧板方式を用いた複合ポータルラーメン橋剛結部に配置された孔あき鋼板ジベルの力学的挙動に関する実験的研究, 第10回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, 2013.11
- 土木学会: 2009年制定 複合構造標準示方書, 土木学会, 平成21年12月

討議

討議 [角掛 久雄 准教授]

下フランジからの軸力が支圧板により橋台に伝達される角度は一般化されたものなのか。

回答

現在は一般化できていない。今回の支圧板の寸法は、下フランジ厚、下フランジ幅により決まっており、その比を満たす場合のみ適用できる結果と考えている。今後、下フランジからの軸力作用部の部分モデルを作製するなどし、パラメトリックな解析を行うことで一般化をする必要がある。

討議 [角掛 久雄 准教授]

解析において、鋼とコンクリートの付着はモデル化しているか。

回答

設計法を提案する上で、安全側の検討を行うために付着のモデル化は行わなかった。しかし、支圧方向の接触はモデル化を行っている。

討議 [角掛 久雄 准教授]

温度変化による軸力の影響はどのように考えているか。

回答

隅角部を剛結している本構造形式では、温度変化による軸力の影響を考慮することは重要である。温度上昇時は、支圧板と床版コンクリートが軸圧縮力に抵抗するため、支圧板の設計に影響を与え、温度低下時は、引張側 PBL に影響を与えられられる。今回の解析では、温度荷重が作用しない場合について検討を行ったが、今後は温度応力作用時の隅角部の挙動についても検討する必要がある。

討議 [鬼頭 宏明 教授]

実験におけるコンクリートのひび割れと、解析のひび割れの比較は行っているか。解析において橋台背面にひび割れは発生していないか。

回答

解析では、コンクリートにひび割れが発生した場合、引張応力が低下する構成則を用いている。引張応力の低下部から、解析におけるコンクリートのひび割れ位置を求めた結果、床版コンクリートの大きなひび割れは実験と解析で一致していた。また、設計荷重レベルでは橋台背面にひび割れは発生していなかった。

討議 [鬼頭 宏明 教授]

PBL の貫通鉄筋を用いた評価は行っているか。

回答

今回の解析では、PBL は弾性範囲内であったため、孔内の貫通鉄筋をモデル化していない。そのため、貫通鉄筋を用いた評価は行っていない。

討議 [谷口 与史也 教授]

設計法の検討において、せん断スパン比はパラメータに入れていないのか。

回答

今回の検討では、せん断スパン比はパラメータに入れていない。解析では、死荷重、活荷重、土圧、クリープ、乾燥収縮を組み合わせる設計断面力決定しており、隅角部に大きな曲げモーメント作用する荷重（せん断スパン比が大きい状態）を与えている。せん断スパン比が小さくなると、隅角部に作用する曲げモーメントが小さくなるが、その場合、PBL に作用する水平せん断力は小さくなる。つまり、隅角部に作用する曲げモーメントが大きい方が、PBL には厳しい条件となるため、現在の載荷ケースで PBL の設計方法を検討してよいと考える。

討議 [谷口 与史也 教授]

終局状態はどのように設定しているか。

回答

終局状態は床版鉄筋の降伏と設定している。

討議 [山口 隆司 教授]

解析で求めた PBL の耐力の余裕度は何に対するものか。

回答

複合構造標準示方書に定められる PBL の設計せん断耐力に対するものである。

討議 [山口 隆司 教授]

PBL コバ面の支圧力は実施工でも期待できるのか。

回答

実施工では PBL コバ面とコンクリートの接触が十分に得られない可能性があり、コバ面の支圧力を期待するのは危険な場合があると考えられる。そのため、コバ面の支圧力を除いた隅角部の解析を実施し、その場合でも提案設計法が成立するかを確認する必要がある。