

論文 接合部内の配筋詳細が接合部の耐力に及ぼす影響に関する解析的評価

西村 脩平¹, 草野 浩之², 中田 裕喜³, 田所 敏弥⁴

¹正会員 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)
E-mail:nishimura.shuhei.72@rtri.or.jp

²正会員 JR九州コンサルタンツ株式会社 技術本部 (〒812-0013福岡市博多区博多駅東1-1-14)
E-mail:h.kusano@jrqc.co.jp

³正会員 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)
E-mail: nakata.yuki.71@rtri.or.jp

⁴正会員 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)
E-mail: tadokoro.toshiya.07@rtri.or.jp

本研究では、鉄道ラーメン高架橋の柱と梁の接合部を対象に、梁の軸方向鉄筋の曲げ内半径 r や接合部内の帯鉄筋の有無といった配筋詳細が接合部の耐力等に及ぼす影響を、三次元非線形有限要素解析により検討した。梁の軸方向鉄筋を直角フックで定着している場合、その曲げ内半径 r は圧縮ストラットの形成に影響することがわかった。例えば、接合部が閉じる方向に対しては梁の外側軸方向鉄筋の r が影響し、 $r=3\phi$ に対する $r=10\phi$ の耐力の増加割合は最大58%、接合部が開く方向に対しては梁の内側軸方向鉄筋が影響し、 $r=3\phi$ に対する $r=10\phi$ の耐力の増加割合は最大14%であった。また、接合部内の帯鉄筋は、柱の断面高さに対する梁の断面高さの比が大きいときに、耐力への効果がみられる場合があることがわかった。

Key Words : *rigid frame viaduct, RC column-beam joint, details of reinforcement arrangement, finite element analysis*

1. はじめに

鉄道構造物におけるラーメン高架橋などの柱と梁の接合部（以下、接合部）は、鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）¹⁾や図-1に示す配筋の手引き²⁾などに規定されている配筋の仕様を満足するように設計され、具体的な照査は省略されている。また、接合部に損傷が生じないことを前提に剛域としてモデル化されている。一方、過去の地震において、中層梁と柱の接合部などで、斜めひび割れなどの損傷が少なからず報告されており³⁾、このような接合部の損傷や、接合部の損傷が構造物の性能に与える影響などは明確になっていない。また、近年の耐震設計で考慮すべき地震力の増大に伴い、耐震設計上求められる鉄筋量が増加しており、この過密配筋に対する対策として、軸方向鉄筋の高強度化が挙げられる。高強度鉄筋の適用が普及すると、場合によっては柱や梁部材の断面を縮小することも可能となると考えられる。このとき、接合部においても、寸法が縮小されることとなり、柱や梁の耐力に比べて接合部の耐力が相

対的に小さくなる可能性がある。これにより、部材の降伏よりも接合部での破壊が先行したり、接合部が破壊に至らないとしても、接合部の損傷により隣接する部材の変形性能を十分に発揮できない可能性がある。以上を踏まえると、性能照査型設計法の確立を目指すコンクリート構造分野において、これらを評価できる体系が必要となっている。

筆者らは、ラーメン高架橋の柱と上層縦梁のL形接合部を対象に、正負交番載荷実験および非線形有限要素解析による検討を行っている⁴⁾。ここでは、外側軸方向鉄筋の曲げ内半径や接合部内に配置される帯鉄筋（補強鉄筋）の有無などといった配筋詳細が、接合部の破壊性状や耐力に影響を及ぼすことを明らかにしている。同様に、柱と上層横梁のL形接合部においても内側軸方向鉄筋の曲げ内半径や配筋詳細の違いが接合部の耐力等に影響を及ぼす可能性がある。

そこで、本研究では、L形接合部を対象に、接合部内における配筋詳細が接合部の耐力に及ぼす影響を三次元非線形有限要素解析により検証することとした。

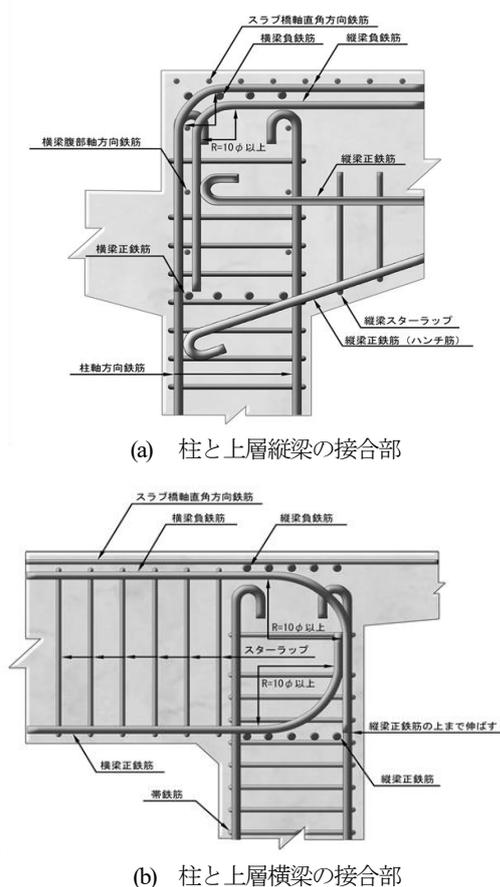
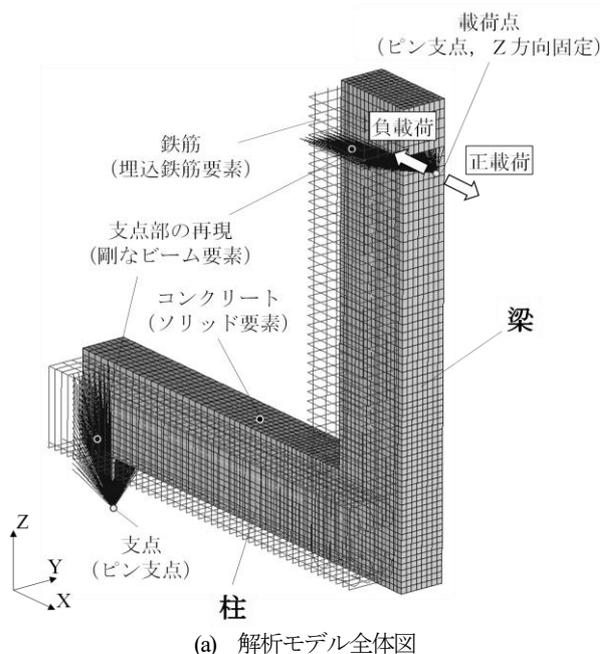
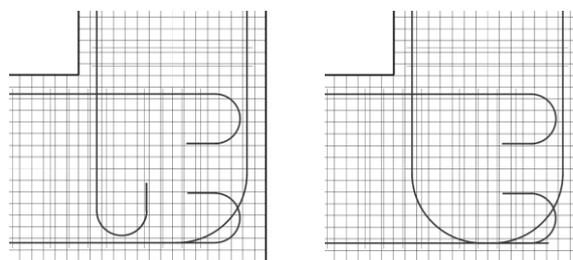


図-1 配筋の手引き²⁾に示される柱梁接合部の配筋詳細



(a) 解析モデル全体図



(b) 縦梁モデル(case4)

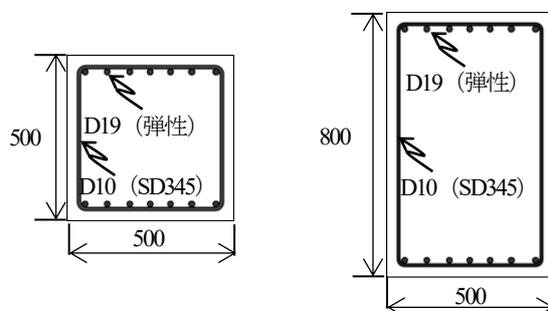
(c) 横梁モデル(case20)

図-2 解析モデルの概要

2. 解析の概要

(1) 解析モデル

図-2に解析モデルを、図-3に断面図を示す。解析モデルは、一般的な鉄道ラーメン高架橋に用いられるL形接合部を50%程度に縮小した既往の実験諸元⁴⁾を基本とした。なお、水平部材は柱を、鉛直部材は梁を模擬している。解析は、汎用有限要素解析コードDIANA ver.10.2を用い、三次元非線形有限要素解析を実施した。なお、図-2は半分のコンクリート要素を非表示としている。コンクリートはソリッド要素、鉄筋は軸方向の剛性のみを考慮した埋め込み鉄筋要素、軸方向鉄筋の折り曲げ部は10mm程度で要素を分割することで折り曲げ定着部の曲線を再現した。既往の実験で用いたピン支点を再現するため、ピン支点の回転中心と水平部材および鉛直部材の支点部のソリッド要素を剛なビーム要素で接続した。コンクリートは圧縮側には軟化を考慮したParabolicのモデル⁵⁾を、引張側は軟化勾配を適用したHordijkのモデル⁶⁾を用いた。なお、コンクリートや鉄筋の強度などは既往の実験を参考に、2. (2)での解析モデルを除いた全ての解析モデルでコンクリートの圧縮強度は27N/mm²、引張強度は2.6N/mm²、弾性係数は25.9kN/mm²とし、軸方向鉄筋は弾性で、弾性係数は200kN/mm²で統一した。なお、軸



(a) 柱および梁 (H/B=1.0)

(b) 梁 (H/B=1.6)

図-3 断面図 (単位: mm)

方向鉄筋を弾性としたのは、柱や梁での曲げ降伏を回避し、接合部の耐力を評価するためである。コンクリートの破壊エネルギーは、最大骨材寸法を13mmとして、既往の文献⁷⁾に基づき算定した。

ひび割れは固定ひび割れモデルとし、ひび割れ面でのせん断力の伝達については、ひび割れ幅によりせん断力が低下するモデルとしてAl-Mahaidiのモデルを適用した。なお、鉄筋とコンクリートとの付着応力は、島ら⁸⁾が提案した付着応力すべり関係の付着応力に対して、付着応力を低減した式(1)を使用することとした。

$$\tau_d = \alpha \cdot 0.9 f_c^{2/3} (1 - e^{-40(S/\phi)^{0.6}}) \quad (1)$$

表-1 実験および解析における諸元

コンクリート			軸方向鉄筋				帯鉄筋				接合部	
圧縮強度 f'_c (N/mm ²)	引張強度 f_t (N/mm ²)	弾性係数 E_c (kN/mm ²)	径	引張強度 f_{sy} (N/mm ²)	弾性係数 E_s (kN/mm ²)	鉄筋比 p_t (%)	径・間隔	引張強度 f_{wy} (N/mm ²)	弾性係数 E_w (kN/mm ²)	鉄筋比 p_w (%)	外側軸方向鉄筋 曲げ内半径 r	帯鉄筋比 p_w (%)
23.9	2.1	24.5	D19	530	189	0.89	D10 etc50mm	367	179	0.57	3φ	0.00

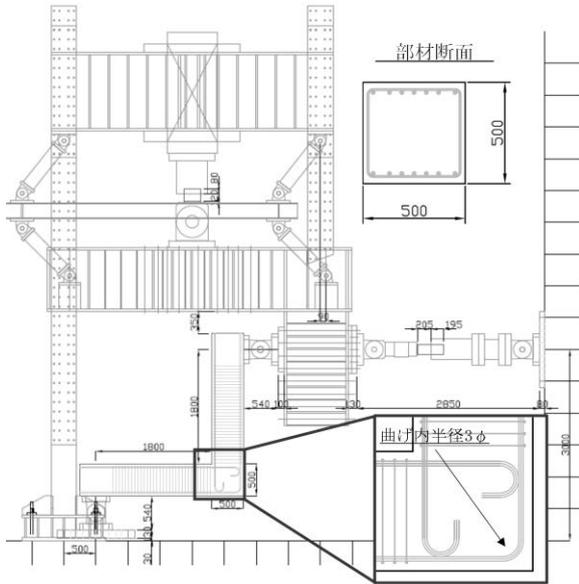


図-4 載荷実験概要図 (単位: mm)

ここに、 α : 付着応力の低減を考慮するための係数、 τ_d : 付着応力、 f'_c : コンクリートの圧縮強度、 S : 鉄筋とコンクリートの相対変位、 ϕ : 鉄筋の直径である。

載荷方向は、図-2の鉛直方向は固定し、右方向 (L形接合部が開く方向) を正載荷、左方向 (L形接合部が閉じる方向) を負載荷とし、解析では正載荷方向もしくは負載荷方向のそれぞれに対して一方向に載荷した。

(2) 解析モデルの再現性の検証

図-4に、解析モデルの評価に用いた既往の研究⁴⁾における載荷実験の概要図を示す。また、表-1に実験 (文献4)におけるNo.3) および解析の諸元を示す。ここでは、柱と梁の外側軸方向鉄筋を曲げ内半径 3ϕ の一本ものとしている。

実験は正載荷、負載荷ともに、接合部にひび割れが発生した時点で1回繰返しを行い、その後、 $+1\delta_y = 39.5\text{mm}$ 、 $-1\delta_y = -38.5\text{mm}$ として $\pm 1\delta_y$ の整数倍で3回ずつ繰返し載荷を行った。

図-5に、実験および解析より得られた水平荷重と水平変位の関係を示す。解析では、付着応力の低減を考慮するための係数 α の評価として $\alpha = 1.0, 0.4, 0.1$ の場合を併記した。図-5から $\alpha = 0.4$ のとき、実験の斜めひび割れ発生荷重 V_a および最大水平荷重 P_{\max} を比較的精度よく評価できていることがわかる。このことから、本研究では $\alpha = 0.4$ として検討することとした。

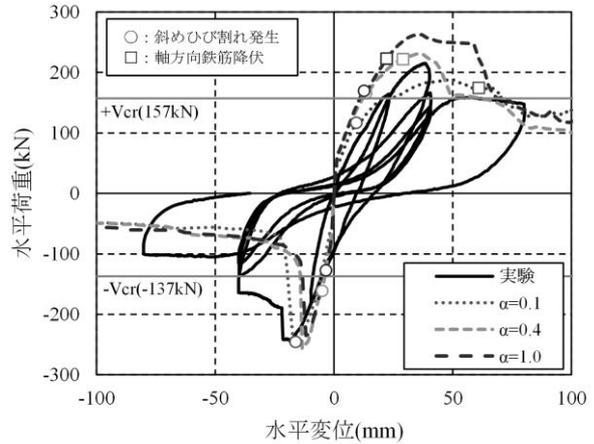


図-5 水平荷重と水平変位の関係 (実験, 評価モデルの解析)

(3) 解析ケース

表-2に、解析ケースを示す。解析はいずれもL形接合部を対象としたが、接合部の箇所 (縦梁または横梁)、軸方向鉄筋の曲げ内半径 r 、梁の断面高さ H 、帯鉄筋比 p_w をパラメータとし、合計16ケースを実施した。

柱は断面高さ $B = 500\text{mm}$ 、梁は断面高さ $H = 500\text{mm}$ または $H = 800\text{mm}$ とし、支点および載荷点から接合部基部までの長さ $L = 1,800\text{mm}$ とした。柱と梁の高さの比 H/B は、 $H/B = 1.0$ のケースは既往の実験諸元⁴⁾と同一であり、 $H/B = 1.6$ は実構造物における H/B 相当としている。

接合部内の配筋は、柱と縦梁の接合部を模擬した縦梁モデルと柱と横梁の接合部を模擬した横梁モデルとし、配筋の手引き (図-1) を基本とした。また、鉛直部材は、縦梁モデルでは外側軸方向鉄筋、横梁モデルでは外側および内側軸方向鉄筋の曲げ内半径を 3ϕ または 10ϕ とし、その他の軸方向鉄筋は半円形フックとした。

3. 柱と縦梁の接合部 (case1~8) に関する検討

(1) 曲げ内半径 r の影響

図-6に、曲げ内半径 r を除く諸元が同一である柱と縦梁の接合部 (case1~8) の組合せのうち、case2およびcase4の水平荷重と水平変位の関係を示す。また、図-7および表-2にcase1~8の最大水平荷重 P_{\max} を示す。図-7では、横軸を曲げ内半径 $r = 3\phi$ であるモデルの P_{\max} を、縦軸を曲

表-2 解析モデルの諸元一覧および解析結果

No.	接合部の箇所	軸方向鉄筋		部材寸法			接合部内帯鉄筋比 p_w (%)	計算結果		解析結果	
		曲げ内半径 $r^{*1,2}$	鉛直部材断面高さ H (mm)	水平部材断面高さ B (mm)	H/B	柱の曲げ耐力時の水平荷重 V_{mi} (kN)		最大水平荷重 P_{max} (kN)			
						正載荷		負載荷	正載荷	負載荷	
case1	柱と縦梁	3φ	500	500	1.0	0.00	761	720	281	321	
case2	柱と縦梁	3φ	500	500	1.0	0.57	762	720	291	329	
case3	柱と縦梁	10φ	500	500	1.0	0.00	762	709	287	486	
case4	柱と縦梁	10φ	500	500	1.0	0.57	762	709	289	489	
case5	柱と縦梁	3φ	800	500	1.6	0.00	814	744	432	538	
case6	柱と縦梁	3φ	800	500	1.6	0.57	820	740	517	604	
case7	柱と縦梁	10φ	800	500	1.6	0.00	813	736	424	661	
case8	柱と縦梁	10φ	800	500	1.6	0.57	819	733	506	705	
case17	柱と横梁	3φ	500	500	1.0	0.00	762	720	285	329	
case18	柱と横梁	3φ	500	500	1.0	0.57	762	719	287	331	
case19	柱と横梁	10φ	500	500	1.0	0.00	763	707	311	521	
case20	柱と横梁	10φ	500	500	1.0	0.57	765	708	327	501	
case21	柱と横梁	3φ	800	500	1.6	0.00	818	744	481	545	
case22	柱と横梁	3φ	800	500	1.6	0.57	820	739	519	616	
case23	柱と横梁	10φ	800	500	1.6	0.00	823	734	548	688	
case24	柱と横梁	10φ	800	500	1.6	0.57	822	733	538	704	

※1: 対象軸方向鉄筋は, case1~8では鉛直部材の外側軸方向鉄筋, case17~24では鉛直部材の内側および外側軸方向鉄筋

※2: φは軸方向鉄筋の径

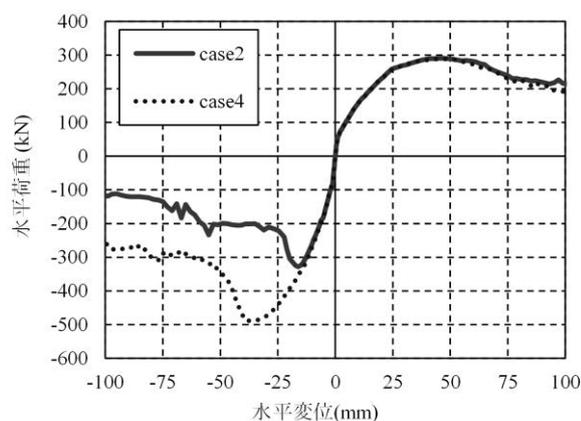


図-6 水平荷重と水平変位の関係 (case2, 4)

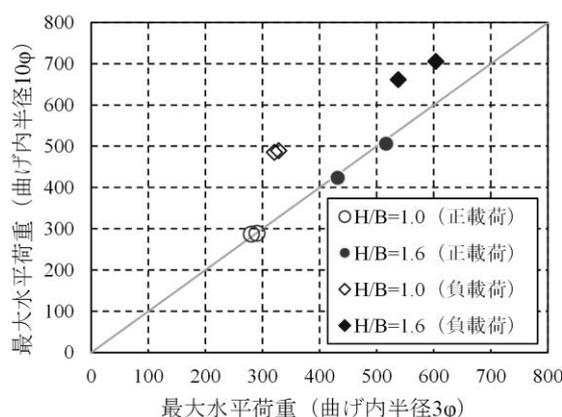


図-7 曲げ内半径 r が最大水平荷重 P_{max} に及ぼす影響 (case1~8)

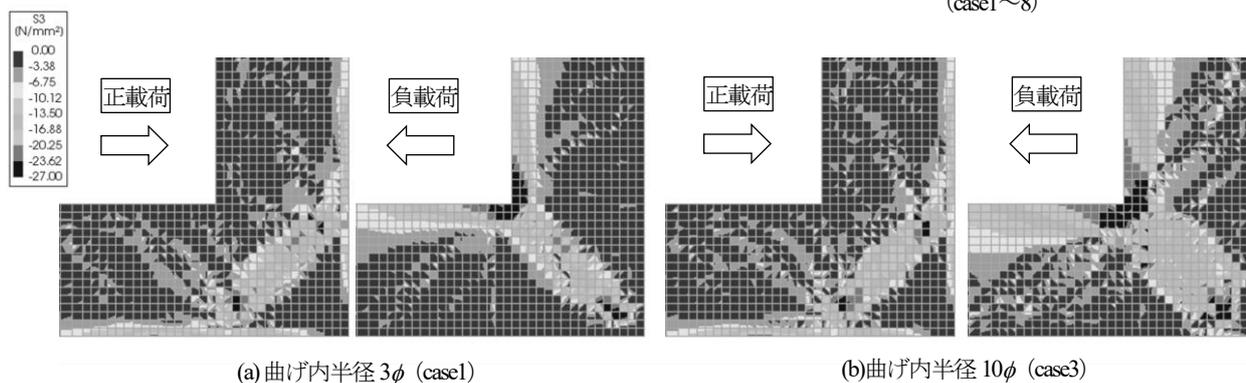


図-8 曲げ内半径 r が異なる最小主応力分布 (奥行き方向中心位置)

げ内半径 $r = 10\phi$ であるモデルの P_{max} とした。なお、柱が曲げ耐力に達したときの水平荷重 V_{mi} に対する最大水平荷重 P_{max} の比 P_{max}/V_{mi} は 0.37~0.96 (表-2参照) である。

負載荷側では、曲げ内半径 3ϕ に対して 10ϕ の P_{max} は大きい結果となった。その増加割合は、 $H/B = 1.6$ の場合が 16~23% であるのに対して、 $H/B = 1.0$ の場合が 48~52% とその傾向が顕著となった。一方、正載荷側では、 H/B に関係なく、曲げ内半径 r の違いによる P_{max} の増加割合

は 0~3% とほとんど変わらなかった。

図-8に、case1とcase3の最小主応力分布を示す。負載荷側では、曲げ内半径が大きくなると圧縮ストラット幅も大きくなるが、正載荷側では曲げ内半径の違いによる圧縮ストラット幅に顕著な違いがないことが確認できる。これは既往の研究⁴⁾と同様の傾向であり、負載荷側では外側軸方向鉄筋に作用する引張力が折り曲げ部を介して圧縮ストラットの方向に作用するため、外側軸方向鉄筋

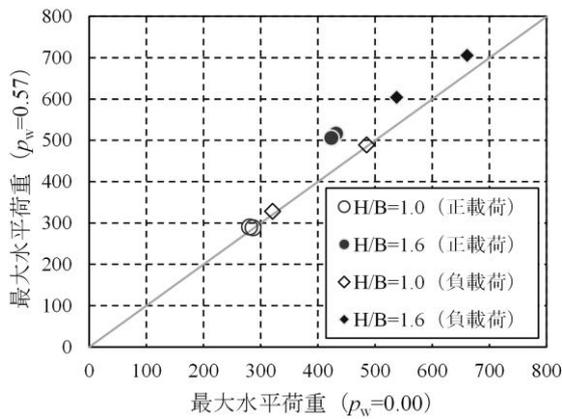


図-9 帯鉄筋比 p_w が最大水平荷重 P_{max} に及ぼす影響 (case1~8)

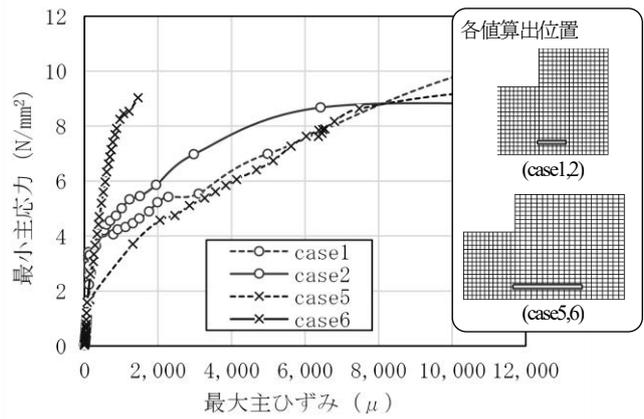
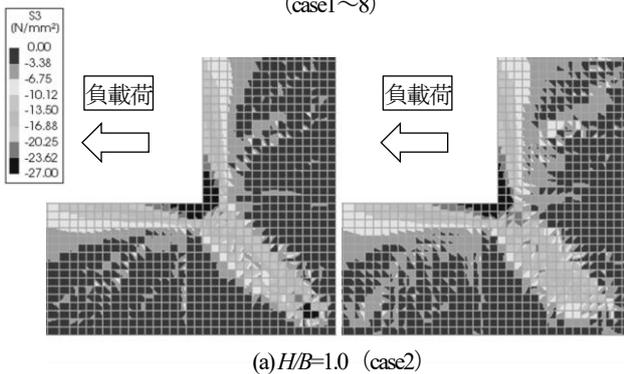
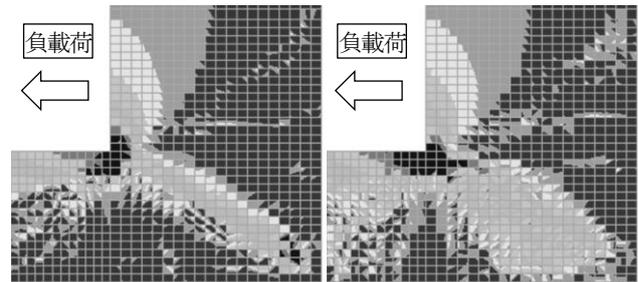


図-11 負荷荷時の最小主応力と最大主ひずみの関係 (case1,2,5,6)



(a) $H/B=1.0$ (case2)



(b) $H/B=1.6$ (case6)

図-10 帯鉄筋比 p_w が異なる最小主応力分布 (左: 奥行き方向中心位置, 右: 奥行き方向表面位置)

の曲げ内半径 r が圧縮ストラットの形成に寄与し、その結果、接合部の耐力に影響したと考えられる。

(2) 接合部内の帯鉄筋比 p_w の影響

図-9に、case1~8の最大水平荷重 P_{max} を示す。図-9では、横軸を接合部内の帯鉄筋比 $p_w=0\%$ であるモデルの P_{max} 、縦軸を接合部内の帯鉄筋比 $p_w=0.57\%$ であるモデルの P_{max} とした。正載荷側および負載荷側ともに、 $H/B=1.0$ の場合は、帯鉄筋を配置することで P_{max} は増加するものの、その増加割合は0~6%と小さい。一方、 $H/B=1.6$ の場合は、増加割合は6~20%となり、 $H/B=1.0$ の場合と比較して大きくなった。

図-10に、case2とcase6の負荷荷時の奥行き方向中心位置と表面の最小主応力分布を示す。 $H/B=1.0$ の場合、表面の圧縮ストラット幅は、奥行き方向中心位置と比較して若干大きい傾向にはあるものの、 $p_w=0\%$ であるcase1(図-8(a))と比較しても、顕著な差はみられなかった。一方、 $H/B=1.6$ の場合には、帯鉄筋の効果により奥行き方向中心位置に比べて表面の圧縮ストラット幅が明らかに大きくなっていることがわかる。

図-11に、case1, case2, case5およびcase6の最小主応力と最大主ひずみの関係を示す。なお、各値は図中に示す位置の平均値とした。 $H/B=1.0$ であるcase1とcase2と $H/B=1.6$ であるcase5とcase6のいずれの場合においても、接

合部内に帯鉄筋を配置することで、最小主応力が等しいときの最大主ひずみが小さくなることがわかる。特に、最小主応力が大きい領域においては、 $H/B=1.6$ において、帯鉄筋による効果がより顕著であった。これは、 $H/B=1.6$ の場合、ひび割れのなす角度(図-10においては圧縮ストラットと直交する方向)が、帯鉄筋の軸剛性の方向に近づくため、ひび割れに対してより効果的に働いたと考えられる。

4. 柱と横梁の接合部 (case17~24) に関する検討

(1) 曲げ内半径 r の影響

図-12および表-2にcase17~24の最大水平荷重 P_{max} を示す。図-12では、横軸を曲げ内半径 $r=3\phi$ であるモデルの P_{max} を、縦軸を曲げ内半径 $r=10\phi$ であるモデルの P_{max} とした。なお、水平部材が曲げ耐力に達したときの水平荷重 V_{mi} と、最大水平荷重 P_{max} の比 P_{max}/V_{mi} は0.37~0.96(表-2参照)である。

負荷荷側では、縦梁モデルと同様に曲げ内半径 3ϕ に対する 10ϕ の P_{max} は大きい結果となった。その増加割合は $H/B=1.6$ の場合が14~27%、 $H/B=1.0$ の場合が51~59%であり、 $H/B=1.0$ の場合の方がより顕著であった。一方、正載荷側では、 H/B に関係なく、曲げ内半径 r の違いによ

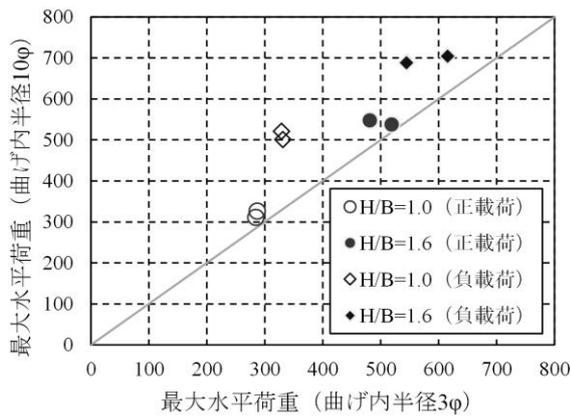


図-12 曲げ内半径 r が最大水平荷重 P_{\max} に及ぼす影響 (case17~24)

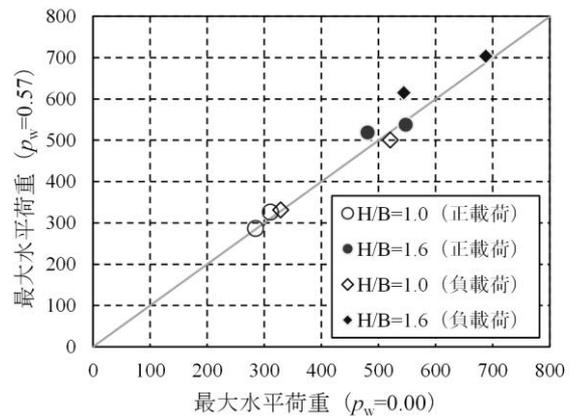
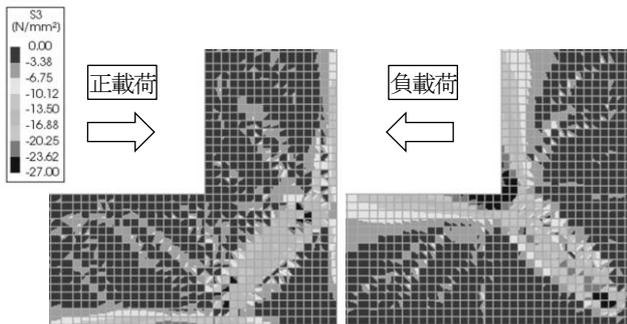
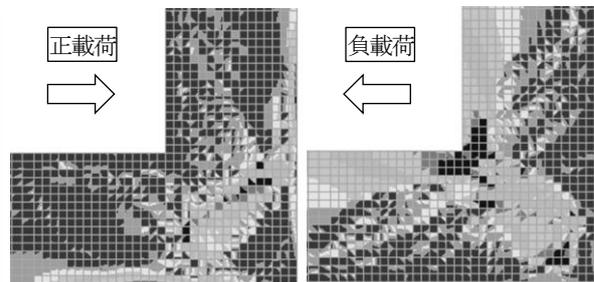


図-14 帯鉄筋比 p_w が最大水平荷重 P_{\max} に及ぼす影響 (case17~24)

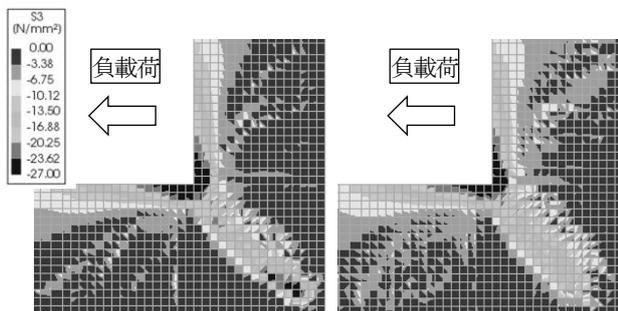


(a) 曲げ内半径 3ϕ (case17)

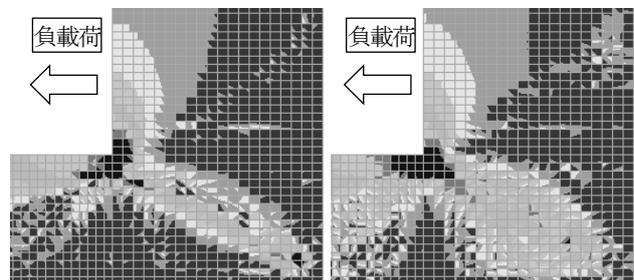


(b) 曲げ内半径 10ϕ (case19)

図-13 曲げ内半径 r が異なる最小主応力分布 (奥行き方向中心位置)



(a) $H/B=1.0$ (case18)



(b) $H/B=1.6$ (case22)

図-15 接合部内の帯鉄筋比 p_w が異なる最小主応力分布 (左: 奥行き方向中心位置, 右: 奥行き方向表面位置)

る P_{\max} の増加割合は3~14%となり、負荷側ほどの増加割合ではないが、やや大きくなる結果となった。これは縦梁モデルには見られなかった傾向である。

図-13に、case17とcase19の最小主応力分布を示す。負荷側では、縦梁モデルと同様に曲げ内半径が大きくなると圧縮ストラット幅も大きくなっていることがわかる。正荷側では負荷側ほど顕著ではないが、内側軸方向鉄筋の曲げ内半径が大きくなると圧縮ストラット幅も大きくなった。なお、負荷時は、外側軸方向鉄筋の引張力に大きく依存して圧縮ストラットが形成されるが、正荷時においては、柱と梁の曲げ圧縮応力を結ぶように圧縮ストラットが形成されるため、曲げ内半径の影響は相対的に小さくなったものと思われる。

(2) 接合部内の帯鉄筋比 p_w の影響

図-14に、case17~24の最大水平荷重 P_{\max} を示す。図-14では、横軸を接合部内の帯鉄筋比 $p_w=0\%$ であるモデルの P_{\max} 、縦軸を接合部内の帯鉄筋比 $p_w=0.57\%$ であるモデルの P_{\max} とした。正荷側および負荷側ともに、 $H/B=1.0$ の場合は、帯鉄筋を配置することで P_{\max} は増加するが、その増加割合は0~5%と小さい。 $H/B=1.6$ の場合は、縦梁モデルでは、増加割合は大きくなったが、横梁モデルの正荷側では、増加割合は0~8%と差はほとんど生じなかった。

図-15に、case18とcase22の負荷側の奥行き方向中心位置と表面の最小主応力分布を示す。図-10と同様に、 $H/B=1.0$ の場合、表面の圧縮ストラット幅は、奥行き方

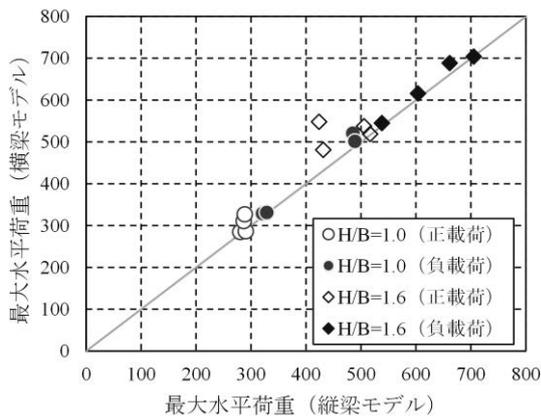


図-16 梁内側軸方向鉄筋の端部定着方法が最大水平荷重 P_{max} に及ぼす影響

向中心位置比較して若干大きい傾向にはあるものの、顕著な差は見られなかった。一方、 $H/B=1.6$ の場合には、帯鉄筋の効果により奥行き方向中心位置に比べて表面の圧縮ストラット幅が明らかに大きくなっていることがわかる。これは縦梁モデルと同様、 $H/B=1.6$ に対して $H/B=1.6$ の場合、ひび割れのなす角度が、帯鉄筋の軸剛性の方向に近づくため、ひび割れに対してより効果的に働いたと考えられる。

(3) 縦梁モデルと横梁モデルの比較検討

図-16に、梁の内側軸方向鉄筋の端部定着の方法を除く諸元が同一である柱と縦梁の接合部 (case1~8) と柱と横梁の接合部 (case17~24) の最大水平荷重 P_{max} を示す。図-16では、横軸を縦梁モデルの P_{max} 、縦軸を横梁モデルの P_{max} とした。負荷側では、縦梁モデルと横梁モデルで最大水平荷重に違いがないが、正荷側では、特に $H/B=1.6$ において横梁モデルの方が最大水平荷重が大きいことがわかる。

縦梁モデルと横梁モデルの違いは、梁の内側軸方向鉄筋のみであり、梁の内側軸方向鉄筋は正荷側の耐力に影響を及ぼすことを確認した。

5. おわりに

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 柱と縦梁の接合部において、梁の外側軸方向鉄筋の曲げ内半径の影響は、接合部が閉じる方向に対して大きい。これは、外側軸方向鉄筋に作用する引張力が折り曲げ部を介して圧縮ストラットの方向に作用するため、曲げ内半径が大きくなると、接合部内に形成される圧縮ストラット幅が大きくなり、接合部の耐力が向

上するためと考えられる。一方、接合部が開く方向に対しては影響が小さく、曲げ内半径によらず、接合部内に形成される圧縮ストラット幅および接合部の耐力はほとんど変わらないことがわかった。

- (2) 柱と縦梁の接合部において、接合部内帯鉄筋による影響は、荷重方向によらず柱の断面高さ B と梁の断面高さ H の比 $H/B=1.0$ の場合よりも $H/B=1.6$ の場合の方が大きいことがわかった。
- (3) 柱と横梁の接合部において、梁の外側軸方向鉄筋の曲げ内半径の影響は、接合部が閉じる方向に対しては柱と縦梁の接合部と同様の傾向を示すことがわかった。接合部が開く方向に対しては柱と梁の曲げ圧縮応力を結ぶように圧縮ストラットが形成されるため、梁の内側軸方向鉄筋の曲げ内半径の影響は相対的に小さくなるが、曲げ内半径を大きくすることで接合部の耐力は向上しており、曲げ内半径の大きさが接合部の耐力に少なからず影響することがわかった。
- (4) 柱と横梁の接合部において、接合部内帯鉄筋による影響は、接合部が閉じる方向に対しては柱と縦梁の接合部と同様の傾向を示すが、接合部が開く方向に対しては接合部内帯鉄筋の影響がほとんどないことがわかった。

参考文献

- 1) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造、丸善、2004。
- 2) (公財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造 配筋の手引き、2005.10。
- 3) 東日本旅客鉄道株式会社：SED 第 37 号「東北地方太平洋沖地震と鉄道構造物」、2011
- 4) 草野浩之、中田裕喜、田所敏弥、安保知紀：接合部内の配筋諸元が L 形 RC 柱梁接合部の破壊性状に及ぼす影響、第 15 回日本地震工学シンポジウム、pp.51-60、2018。
- 5) Feenstra, P. H.: Computational Aspects of Biaxial Stress in Plain and reinforced Concrete PhD thesis, Delft University of Technology, 1993.
- 6) Hordijk, D. A.: Local Approach to Fatigue of Concrete. PhD thesis, Delft University of Technology, 1991.
- 7) Nakamura, H. and Higai, T. : Compressive fracture energy and fracture zone length of concrete, seminar on post-peak behavior of RC structures subjected to seismic loads, *JCI-C51E*, Vol. 2, pp. 259-272, 1999.
- 8) 島弘、周礼良、岡村甫：マッシュなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係、土木学会論文集、第 378 号/V-6、pp.165-174、1987。

(2019.4.5 受付)

ANALYTICAL EVALUATION ON THE INFLUENCE OF THE DETAIL OF REINFORCEMENT ON THE CAPACITY OF THE JOINT

Shuhei NISHIMURA, Hiroyuki KUSANO, Yuki NAKATA and Toshiya TADOKORO

In this study, we estimated the influence of the detail of reinforcement on the capacity of joints consist of columns and beams in railway rigid frame viaducts using 3D finite element method. In the case of longitudinal bars of beams with rectangular hook, we indicated that their inside radius of bend for the hook had an effect on the figuration of compression strut, that is, the capacity in the joint. In addition, it was found out that there were the effect of ties in the joint when the ratio of cross-section height of beam to that of the column was large.