

柱と梁の断面高さが等しい T 形柱梁接合部の損傷過程および解析による評価の検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○西村 脩平 中田 裕喜 渡辺 健 田所 敏弥
鉄建建設(株) 正会員 安保 知紀

1. はじめに

鉄道 RC ラーメン高架橋の柱梁接合部は、設計では剛域として設定され、照査は省略されている。しかし、柱や梁の諸元によっては、接合部が相対的に弱点箇所となり、損傷する可能性がある。本研究では、柱と梁の断面高さが等しい T 形柱梁接合部を模擬した試験体の正負水平交番載荷実験を行い、T 形柱梁接合部の損傷過程に関する検討を行った。また、三次元非線形有限要素解析（以下、FEM 解析）を実施し、材料の損傷指標と限界値¹⁾による T 形柱梁接合部の損傷過程の評価の妥当性に関する検討を行った。

2. 実験的検討

図 1 に供試体および載荷装置の概要図を、表 1、2 に供試体および材料の諸元を示す。供試体は、実大の約 50% の縮尺とし、水平部材はラーメン高架橋の縦梁を、鉛直部材は柱を想定しており、載荷点および支点はピン構造により支持した。鉛直部材の軸方向鉄筋は半円形フック（曲げ内半径 3ϕ 、 ϕ ：軸方向鉄筋径）を用いて定着し、帯鉄筋は溶接密閉型とし、水平部材、鉛直部材および接合部に 50mm 間隔で配置した。載荷は正側、負側ともに、鉛直部材の軸方向鉄筋のひずみが降伏ひずみの 1/2 程度に達した時点で 1 回繰返し載荷を行い、その後は既往の研究²⁾の基準変位 $\delta_y=20\text{mm}$ を採用し、 $1\delta_y$ 、 $2\delta_y$ 、 $3\delta_y$ 、…、 $n\delta_y$ （ n は整数）と δ_y の整数倍で各サイクル 3 回繰返し載荷を行った。なお、鉛直部材には軸力を作用させていない。

図 2 に載荷点位置における水平荷重と水平変位の関係を、図 3 に $-2\delta_y$ の 1 回目の載荷終了時の損傷状況を示す。

図 3 に示すように、接合部に斜めひび割れが発生し、 $\pm 2\delta_y$ の 1 回目で最大荷重（正側：236kN、負側：-216kN）となった。その後は、接合部の斜めひび割れが進展し、接合部の側面（ $+2\delta_y$ の 1 回目）および下面（ $+4\delta_y$ の 1 回目）のかぶりコンクリートが剥落し、荷重の低下を確認したため、 $-4\delta_y$ の 1 回目で試験を終了した。なお、載荷終了まで接合部を除く水平部材、鉛直部材では、軽微な曲げひび割れが発生する程度であった。

図 4 に、鉄筋のひずみ分布を示す。帯鉄筋のひずみは、奥行き方向前面の帯鉄筋中心位置に貼付したゲージの値である。図 4 (a) より、鉛直部材の軸方向鉄筋のひずみは、正載荷時に定着部の折曲げ開始点（-365mm）でひずみが顕著に増加したが、供試体が載荷方向に左右対称であるため、正載荷と負載荷で同様の値を示した。 $+2\delta_y$ の 1 回目で鉛直部材基部（-100mm, 0mm）および折曲げ開始点（-365mm）で降伏した。なお、水平部材は、載荷終了まで降伏

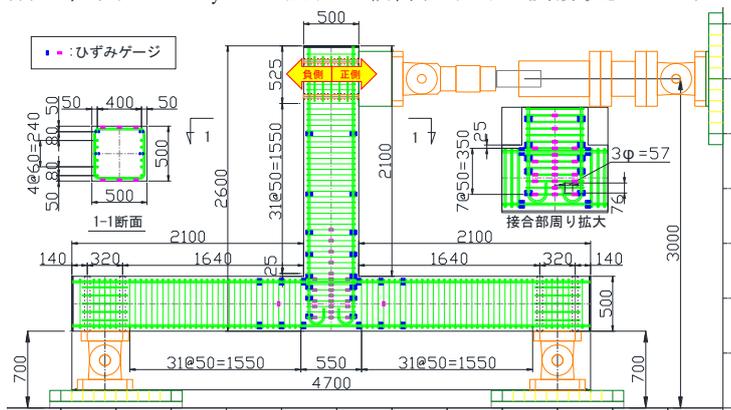


図 1 供試体・載荷装置の概要 (単位:mm)

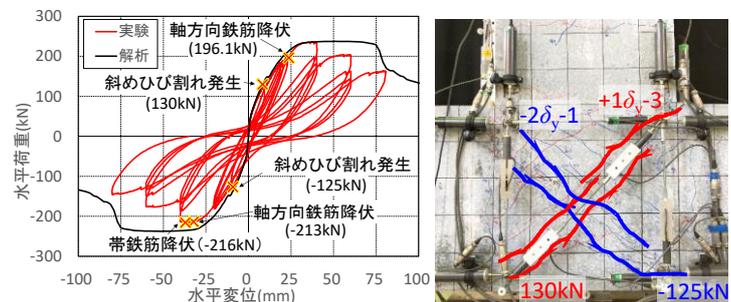


図 2 水平荷重—水平変位関係 図 3 損傷状況 ($-2\delta_y$ の 1 回目)

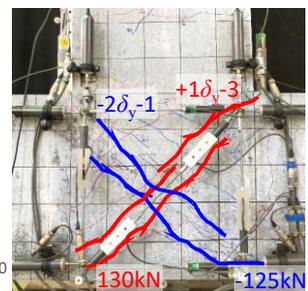


表 1 供試体諸元

部材	断面幅×高さ (mm)	軸方向鉄筋		帯鉄筋	
		使用材料	P_t (%)	使用材料	P_w (%)
水平部材	500×500	D19(SD490)	0.89	D16(SD345)	1.59
鉛直部材	500×500	D19(SD490)	0.89	D10(SD345)	0.57

表 2 材料諸元

コンクリート			規格	呼び名	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)				
21.9	1.92	24.8	SD490	D19	527	195
			SD345	D16	370	186
			SD345	D10	381	177

キーワード RC ラーメン高架橋, T 形柱梁接合部, 正負水平交番載荷実験, 三次元非線形有限要素解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7281

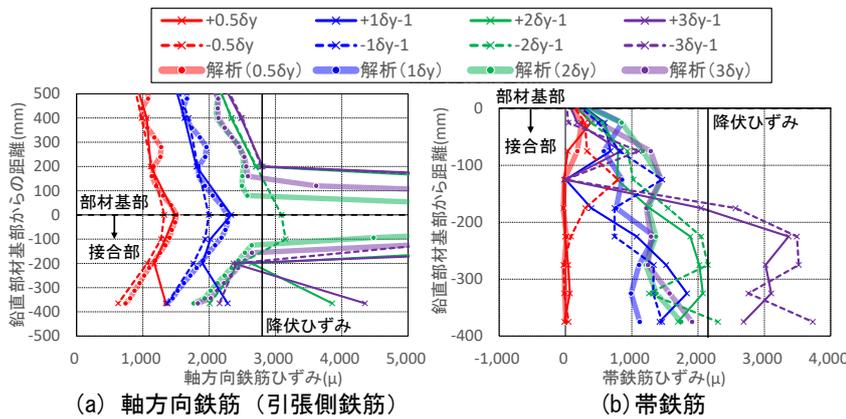


図4 鉄筋のひずみ分布

ひずみに達しなかった。図4(b)より、帯鉄筋のひずみは、 $-2\delta_y$ に達する前に接合部中央(-275mm,-375mm)で降伏した。これは図3に示す斜めひび割れと交差したためと考えられる。なお、水平部材、鉛直部材は、載荷終了まで降伏ひずみに達しなかった。

3. 解析的検討

図5に、解析モデルの概要を示す。解析は、汎用有限要素解析コード DIANA ver.10.3 を用い、FEM 解析を実施した。試験体および材料の諸元は実験と同一であり、モデル化は既往の研究³⁾を基本に、コンクリートと軸方向鉄筋の付着応力は式(1)とした。

$$\tau_d = \alpha \cdot 0.9f'_c{}^{2/3} \left(1 - e^{-40(S/\varphi)^{0.6}}\right) \quad (1)$$

ここに、 τ_d :付着応力 (N/mm²)、 f'_c :コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)、 S :鉄筋とコンクリートの相対変位 (mm)、 φ :鉄筋径 (mm)、 α :低減係数 (本研究では $\alpha=0.4$) である。なお、載荷は一方向載荷とした。

図2, 4に、解析結果を併記する。帯鉄筋のひずみが実験よりも小さいものの、水平荷重-水平変位関係の包絡線および軸方向鉄筋のひずみをよく再現している。また、図6, 7に材料の損傷指標^りである平均化した偏差ひずみ第2不変量 $\sqrt{J_2}$ および正規化累加ひずみエネルギー \bar{W}_n の分布および推移を示す。なお、平均化長さは $L=150\text{mm}$ とし、 $\sqrt{J_2}$ は図3に示す斜めひび割れ箇所限定した。図6より、 $\sqrt{J_2}$ が斜めひび割れの発生箇所を、 \bar{W}_n が水平・鉛直部材での損傷が軽微であり、接合部の損傷過程を捉えていることが確認できる。また、図7より損傷指標と荷重の関係を見ると、 $\sqrt{J_2}=1000\mu$ では134kN、 $\bar{W}_n=1500\mu$ では233kNであり、実験で得られた斜めひび割れ発生荷重および最大荷重を評価できることを確認した。

4. おわりに

本研究の諸元の範囲において、柱と梁の断面高さが等しいT形柱梁接合部では、柱や梁の損傷は軽微な曲げひび割れが発生する程度であり、接合部が損傷し破壊に至ることを実験および解析で確認した。また、FEM 解析により、初期剛性や最大荷重および鉄筋のひずみ分布を再現することが可能であり、さらには、材料の損傷指標と限界値($\sqrt{J_2}=1000\mu$:ひび割れ発生、 $\bar{W}_n=1500\mu$:圧縮破壊)を用いることで、棒部材の評価^りと同様に、T形柱梁接合部の損傷過程の評価が可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編 [2017年制定]，2017。
- 2) 草野浩之，中田裕喜，田所敏弥，幸良淳志，西村脩平，安保知紀：T形柱梁接合部におけるRC柱部材の変形性能に関する実験的検討，土木学会第74回年次学術講演会概要集，V-63，2019。
- 3) 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。

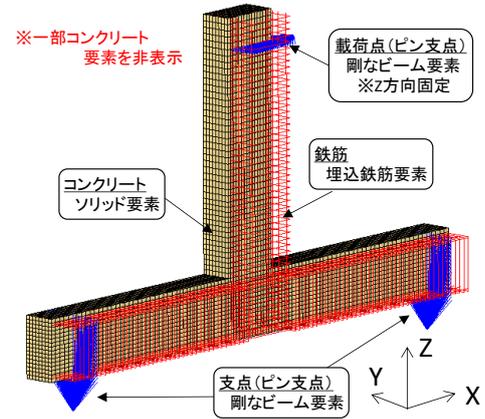


図5 解析モデルの概要

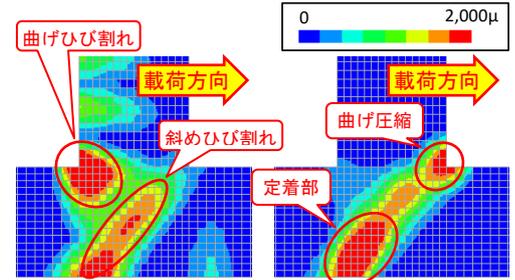


図6 損傷指標($\sqrt{J_2} \cdot \bar{W}_n$)の分布

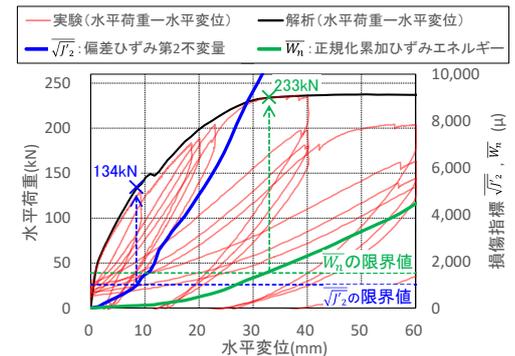


図7 損傷指標($\sqrt{J_2} \cdot \bar{W}_n$)の推移