# 論文 柱梁軸方向鉄筋を梁端部の鋼板にナット締め定着した L 形試験体に 関する実験的検討

國井 道浩\*1·築嶋 大輔\*2·倉岡 希樹\*1

要旨:鉄道 RC ラーメン高架橋端部のL 形柱梁接合部において,接合部の耐力を向上させ,かつ配筋を簡素化 する構造として,柱と梁の軸方向鉄筋を梁端部に設置した鋼板にナット締め定着する構造を提案し,縮小試 験体による交番載荷実験を実施した。その結果,鋼板定着することで,接合部が開く側と閉じる側の最大耐 力がほぼ同等となること,接合部の損傷範囲が拡大しても,軸方向鉄筋の定着が確保されることで,耐荷力 の低下が緩やかであること,引張鉄筋の反力が鋼板を介して接合部に圧縮力として作用するため,十字形接 合部に近い状態となること,等が分かった。

キーワード: ラーメン高架橋, 柱梁接合部, 鋼板定着

## 1. はじめに

鉄道 RC ラーメン高架橋の設計においては,駅部の高 架下を開発する場合は,柱間隔の拡大や梁の断面高さを 小さくして高架下空間を広くできる構造が望まれている。 しかし,柱梁接合部(以下,接合部)は,鉄筋が過密な 状態となること,鉄筋の定着長の確保が困難となること, さらに,本来,柱部材や梁部材よりも強くなければなら ない接合部に耐力が不足するなどの問題がある。

図司らは、接合部断面を縮小する場合の対策として、 梁天端に設置した鋼板に柱軸方向鉄筋をナット締め定着 (以下,鋼板定着)することで、接合部内の配筋を簡素 化する構造(図-1)を提案し、現行基準である半円形フ ックにより定着した構造と比較して、接合部耐力が向上 すること、接合部の損傷が進展しても、耐力が急激に低 下しないこと、接合部の各種パラメーターの違いによる 耐荷性能の違い等をT形の縮小試験体による載荷実験に より確認している<sup>1)2)3)</sup>。しかし、高架橋端部に位置す るL形接合部においては、接合部断面を縮小した場合の 耐荷性能に不明確な点が多いことが現状である。

本稿では,高架橋端部の接合部を模擬したL形試験体 を対象に,柱軸方向鉄筋だけでなく,梁軸方向鉄筋も鋼 板定着する構造について,交番載荷実験により,接合部 の耐荷性能に及ぼす影響を把握した。

#### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体形状・諸元

試験体概要を図-2に,試験体諸元を表-1に示す。試 験体は RC ラーメン高架橋端部を模擬した L 形形状とし た。接合部の断面高さを抑えるため, 柱梁の断面寸法は





実構造物の 1/2 程度のスケールを想定し,柱と梁とも同 ーの 400mm とし,接合部に鉛直方向のハンチは設けて いない。柱及び梁の軸方向鉄筋は,接合部内に貫通して 配置し,ネジ加工した鉄筋先端を梁端部に設置した鋼板 にナット締め定着する構造とした。試験体の設計におい ては,接合部の破壊性状を確認するため,接合部で先行 破壊するように,接合部,柱,梁の順に耐力を小さく設 定した。なお,接合部の耐力については,土木には算定 する基準がないため,建築基準である鉄筋コンクリート 造建物の靱性保証型耐震設計指針 4)により算定した。柱 の軸方向鉄筋は D16 (SD490),梁の軸方向鉄筋は D22 (SD490) とし,鋼板定着部で破壊することがないよう に厚さ 22mm (SS400)の鋼板を適用した。

#### 2.2 載荷方法及び測定項目

載荷装置は,載荷用鋼材を介して水平アクチュエータ ーにより水平方向荷重を載荷する構造とした。実構造物 の応力状態を再現するため,載荷用鋼材の上下支点部と 柱下部の支点部は,ピン結合とした。載荷荷重は梁中心 に水平荷重を載荷し,柱に軸力は載荷していない。載荷

\*1 東日本旅客鉄道(株)構造技術センター 工修 (正会員) \*2 東日本旅客鉄道(株)構造技術センター 課長 (正会員)



図-2 試験体概要

ステップは柱の変形角で制御し,0.1~10% (0.1,0.25, 0.5,1.0,1.5,2.0%,以降1.0%毎に載荷)まで繰り返し 回数1回の正負交番載荷を実施した。なお,参考として, 各変形角における載荷点の水平変位は,例えば1.0%載荷 時においては11.5mmとなる。実験では,正側載荷は接 合部が開く方向,負側載荷は閉じる方向とした。測定項 目は,載荷点の水平荷重,水平変位及び軸方向鉄筋等の ひずみである。

## 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 材料試験結果

載荷試験時における鉄筋及びコンクリートの材料試験 結果を表-2 に示す。コンクリート強度は,接合部先行 破壊型の設計にあたり,耐力算定(建築基準)でパラメ ーターとなるため,低めに設定した。

### 3.2 破壊進展過程

載荷試験における破壊進展過程を図-3に示す。

## (1) 正側載荷(開く方向)

正側載荷(開く方向)の損傷過程として、0.1%載荷時 に接合部の隅角部内側から斜め方向にひび割れが発生し た (a-1)。0.25% 載荷時には、隅角部からのひび割れは、 0.1%載荷時に発生したひび割れに直交する方向に分岐 して進展し(a-2),梁の引張側(下面)には鉛直方向の曲 げひび割れが発生した(a-3)。4.0%載荷時の途中で柱軸 方向鉄筋が降伏し, 接合部隅角部のひび割れ幅が大きく なった(b-1)。さらに、斜め方向のひび割れが接合部全 域にわたって発生し、接合部中央付近でコンクリートの 浮きがみられるようになった。5.0%載荷時に最大荷重と なり, 接合部中央付近におけるかぶりコンクリートの浮 きが進展するとともに剥落した。7.0%載荷時には、接合 部中央付近でかぶりコンクリートの剥落範囲がさらに拡 大することで、荷重が緩やかに低下し始める段階となっ た。その後の載荷では、接合部全域でコンクリートが徐々 に剥落していくものの、鋼板定着により鉄筋の定着が確

表一1 材料諸元

柱			梁			軸方向鉄筋の定差
断面寸法 b×h(mm)	軸方向鉄筋	帯鉄筋	断面寸法 b×h(mm)	軸方向鉄筋	帯鉄筋	(鋼板定着)
400×400	18-D16(SD490)	D13@60 (SD345)	400×400	10-D22(SD490)	D16@120 (SD345)	鋼板 SS400 (400×390×t22)

### 表-2 材料試験結果

鉄筋の降伏強度	コンクリート強度(N/mm <sup>2</sup> )	
D16(SD490)	525/2754	
D13(SD345)	375 / 2023	接合部・柱・梁
D22(SD490)	525 / 2594	15.8
D16(SD345)	377 / 2008	



(d) 負側 0.1%~0.5%

(正側)







(g) 正側載荷終了 10.0%

図-3 接合部の破壊進展過程

保されること急激な荷重低下とはならず載荷を 10.0%で 終了することにした。

## (2) 負側載荷(閉じる方向)

負側載荷(閉じる方向)の損傷過程として,0.1%載荷 時に鋼板端部から柱梁接合部にそれぞれ曲げひび割れが 発生した(d-1)。0.25%載荷時には,鋼板端部からの曲げ ひび割れは進展が続き,梁の引張側(上面)には鉛直方 向の曲げひび割れが発生した(d-2)。0.5%載荷時には, 柱軸方向鉄筋付近から,斜めひび割れが発生した(d-3)。 3.0%載荷時に柱軸方向鉄筋が降伏し,正側載荷時と同様 に斜め方向のひび割れが接合部全域にわたって進展し, 接合部中央付近でコンクリートの浮きがみられるように なった。4.0%載荷時に最大荷重となり,接合部中央付近 におけるかぶりコンクリートの浮きが進展するとともに 剥落が生じた。最大荷重以降は引き続き,接合部全域で コンクリートが徐々に剥落するものの,荷重低下は緩や かであり,正側載荷に合わせて載荷を10.0%で終了した。 3.3 載荷荷重一変形角関係

載荷荷重と変形角の関係を図-4 に示す。柱軸方向鉄 筋の降伏は,正側載荷(開く方向)が 4.0%載荷の途中, 負側載荷(閉じる方向)が 3%載荷終了時となった。荷重



(h) 負側載荷終了 10.0%

履歴において,正側は,降伏時の荷重を9.0%載荷まで維持,負側は5.0%載荷まで維持しており,正側の方が負側より荷重を維持する結果となった。最大荷重は,正側で347kN(5.0%載荷時),負側は323kN(4.0%載荷時)となり,正側と負側でほぼ同じとなった。最大荷重以降,負側については,正側より荷重低下は進んだものの,緩やかであり負側の荷重低下に起因して載荷を終了するまでには至らなかった。



図-5 せん断カー変形角関係 ()(半円形フック)



図-6 水平荷重-水平変位関係"(半円形フック)

L 形接合部に関する研究は建築分野で進んでおり,正 側載荷(開く側)と負側載荷(閉じる側)の加力の方向 による強度差が指摘されている<sup>5)</sup>。また,土木分野でも 接合部に関する構造性能が着目され,L 形接合部を対象 とした接合部の性能把握と配筋の簡略化を目的とした構 造実験<sup>6)</sup>,接合部の配筋仕様が破壊性状に及ぼす影響に ついての実験的検討<sup>7)</sup>がなされている。これらの文献で は,軸方向鉄筋を現行の半円形フックによる定着とした 配筋の最大耐力は,負側載荷(閉じる側)より正側載荷

(開く側)の方が小さくなり,最大耐力以降の耐荷力低下が大きくなる傾向がある(図-5,図-6)。今回の載荷 実験では,正側載荷(開く側)と負側載荷(閉じる側) の最大耐力はほぼ同じで,耐荷力の低下も緩やかである ことから,鋼板定着により,接合部の耐荷機構が異なる ことが考えられる。

#### 3.4 鉄筋のひずみ

# (1) 柱軸方向鉄筋のひずみ

柱軸方向鉄筋のひずみ計測位置を図-7 に、ひずみ分 布を図-8 に示す。ひずみ分布については、正側載荷(開 く側),負側載荷(閉じる側)とも引張側のひずみを最大 荷重時(正側)の5.0%載荷時までを示している。



図-7 ひずみ計測位置(柱軸方向鉄筋)



(a) 正側(開く側)計測位置 No. 1~No. 5



(b) 負側(閉じる側)計測位置 No. 6~No. 10図-8 ひずみ分布(柱軸方向鉄筋)

柱軸方向鉄筋のひずみは、4.0%載荷時まで、正側・負 側載荷ともひずみが大きく増加しており、ひび割れの進 展が顕著となった,正側は接合部の隅角部(No.2,3),負 側は鋼板端部(No.7)付近において降伏している。鋼板 定着部に近い計測位置(正側はNo.5,負側はNo.10)に おいて,ひずみは増加しており,鋼板定着することで鋼 板からの反力として接合部内に圧縮力が入っていること が確認できる。ひずみの増加は正側載荷の方が負側載荷 より大きくなっていることから,正側載荷でより大きな 圧縮反力が接合部に作用していることが確認できる。

### (2) 梁軸方向鉄筋のひずみ

梁軸方向鉄筋のひずみ計測位置を図-9 に,ひずみ分 布を図-10に示す。ひずみ分布については,正側載荷(開 く側),負側載荷(閉じる側)とも引張側のひずみを最大 荷重時(正側)の5.0%載荷時までを示している。

梁軸方向鉄筋のひずみは,正側載荷では,載荷初期に ひび割れが進展した接合部の隅角部付近(No.3)でひず みが大きくなり,4.0%載荷時以降は降伏している。負側 載荷では,計測位置によるひずみ増加の大きな違いはみ られず,一様にひずみが増加している。最大荷重時(4.0% 載荷時)には,すべての計測位置で降伏以下である。鋼 板定着部に近い計測位置(正側は No.1,負側は No.7)に おいて,ひずみは増加しており,柱軸方向鉄筋と同様, 鋼板からの反力として接合部内に圧縮力が入っているこ とが確認できる。ひずみの増加は負側載荷の方が正側載 荷より大きくなっていることから,負側載荷でより大き な圧縮反力が接合部に作用していることが確認できる。

### 4. 接合部耐力の検討

鋼板定着により接合部内へ作用する圧縮力の影響から, 接合部の耐荷性能が通常と異なると考え,接合部耐力に ついて検討した。最大荷重(実験値)と接合部耐力荷重 (計算値)の関係を表-3に示す。接合部耐力は,土木 には算定する基準がないため,建築基準である鉄筋コン クリート造建物の靱性保証型耐震設計指針 4により算定 した。式(1)により,接合部水平せん断強度 Vju を算定 し,接合部が水平せん断強度 Vju となる時の水平荷重 Pvju を接合部耐力荷重とした。

$Vju = \kappa \cdot \phi \cdot Fj \cdot bj \cdot Dj$	(1)
ここに、Vju:接合部水平せん断強度	
κ:接合部の形状による係数	
κ=0.4 (L形), 1.0 (十字形)	
φ:直交梁の有無による補正係数	
φ=0.85(直交梁無)	
Fj:接合部のせん断強度の基準値	
$Fj=0.8\times \ \sigma \ {}_{B}^{0.7}  (N/mm^2)$	
<b>σ</b> B: コンクリートの圧縮強度	
bj:接合部の有効幅で柱幅と梁幅の平均	
Dj:柱せい	
最大荷重(実験値)Pmaxと接合部耐力荷重(計算	値)



図-9 ひずみ計測位置(梁軸方向鉄筋)



Pvjuの比率において,鋼板定着することで,L形接合部 ではなく十字形接合部と考えた場合,計算値と実験値が 近くなっている。接合部耐力は,正側載荷(開く側)が 負側載荷(閉じる側)より小さくなることはなく,鋼板 定着による耐力向上の効果が確認できる。これは,梁の 外側で鋼板定着することで,接合部での応力状態,配筋 状況が十字形に近くなっていることが考えられる。

図-11 に L 形接合部(鋼板定着の有無)と十字形接合 部における接合部の力の伝達機構の関係を示す。

正側載荷(開く側)において、L 形接合部の鋼板定着 の有無では、接合部に作用する力の伝達機構が異なる。 鋼板定着することで、軸方向鉄筋のひずみ分布でも確認 できたように、鋼板を介して圧縮の反力が接合部内に作 用することで、十字形接合部に近い応力状態になってい ることが考えられる。

負側載荷(閉じる側)において,鋼板定着するL形接 合部の場合では,正側載荷と同様,鋼板を介して接合部 内に圧縮力が作用する。しかし,鋼板定着しないL形接 合部でも,接合部外側の軸方向鉄筋の曲げ加工部からの 支圧による影響で圧縮力が作用することで,接合部の耐 荷機構が類似していることが考えられ,正側載荷より, 鋼板定着による耐力向上の影響が小さかったと考える。



### 表-3 接合部耐力の検討

## 5. まとめ

今回の載荷実験の範囲で得られた知見を以下に示す。

- (1) L形接合部においても、既往の研究のT形接合部と 同様に、鋼板定着により、接合部の損傷範囲が拡大 しても軸方向鉄筋の定着が確保されていることで 載荷に伴う耐荷力の低下は緩やかであった。
- (2) 鋼板定着により、鋼板からの反力として接合部内に 圧縮力が作用することで、耐力向上の効果があり、 最大耐力は正側載荷(開く側)と負側載荷(閉じる 側)でほぼ同じであった。
- (3) 接合部の耐力を検討したところ、鋼板定着すること で最大荷重(実験値)は、十字形接合部の耐力(計 算値)に近い結果となり、これは鋼板を介して接合 部内に圧縮力が作用することで接合部内の応力状 態が十字形接合部に近くなることが考えられる。

## 参考文献

- 図司英明,渡部太一郎,井口重信,築嶋大輔:柱主 筋を鋼板にナット締め定着した柱梁接合部構造に 関する実験的検討,コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.343-348, 2016.7
- 2) 國井道浩,渡部太一郎,倉岡希樹,築嶋大輔:柱主 鉄筋を梁上面の鋼板にナット締め定着した柱梁接 合部構造に関する実験的検討,コンクリート工学年 次論文集, Vol.39, No.2, pp.223-228, 2017.7
- (倉岡希樹, 築嶋大輔, 國井道浩:梁高を縮小して柱 主鉄筋を鋼板にナット締め定着した柱梁接合部に おける実験的検, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.2, pp.199-204, 2018.7.7
- 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の靭性保証 型耐震設計指針・同解説,丸善,pp244,245,1999.8
- 5) 辛勇雨,塩原等:鉄筋コンクリートL字型柱梁接合 部のせん断終局強度の解析,構造工学論文集, Vol.50B, pp.87-96, 2004.3
- 6) 吉武謙二,小川晃,小倉大季,前之園司:梁および 柱の軸方向鉄筋の定着仕様が接合部性能に及ぼす 影響,コンクリート工学年次論文集,Vol.34,No.2, pp.541-546,2012.7
- 7) 草野浩之,中田裕喜,田所敏弥,幸良淳志,角野拓 真:L型RC柱梁接合部の配筋仕様が破壊性状に及 ぼす影響,土木学会第73回年次学術講演会,V-556, pp.1111-1112,2018