

論文

[2031] 充填型鋼管コンクリート柱に接合される合成梁の実験的研究

正会員 ○岡本 晴彦 (竹中工務店技術研究所)
 正会員 東端 泰夫 (竹中工務店技術研究所)
 正会員 市川 敦史 (竹中工務店技術研究所)
 沢田 博 (竹中工務店)

1. まえがき

本研究は、充填型鋼管コンクリート柱に接合され、施工上の制約から、端部が鉄骨のみの断面で、中央部はプレキャスト鉄骨鉄筋コンクリート（以下SRCと略記）造とする梁を対象とし、鉄骨梁からの剛性向上度の高い合成梁の開発とこのような部材の適切な復元力特性モデルを示すことを目的とする。既報の実験¹⁾では、SRC造端部の梁鉄骨に鋼板（定着板厚さ16mm×コクリート幅×コクリート成）を溶接し、これに梁の主筋を溶接定着する方法が剛性向上の上で有効であることが確認された。しかし、梁の全断面に定着板を設けることには実用上の問題がある。本報告は、鉄骨梁の剛性に対する合成梁の剛性増大比を高めるために、SRC造端部において梁主筋の梁鉄骨への合理的な定着方法を検討することを目的として行なった実験結果について述べるものである。

2. 実験計画

1) 試験体 試験体一覧を表-1に、配筋例を図-1に、梁端部詳細図を図-2に示す。試験体は、柱部分を含む梁の試験体で、シア

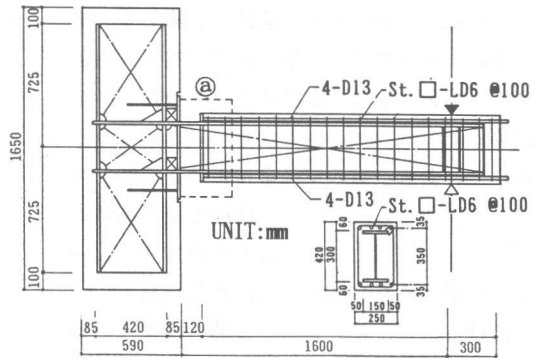


図-1 配筋例 (B-4)

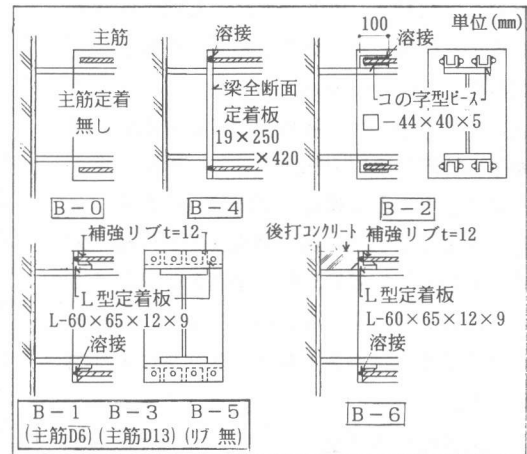


図-2 梁端部①詳細図

表-1 試験体一覧

試験体名	梁 鉄 骨	梁 主 筋	主 筋 の 定 着 方 法
B - 0	H-300×150 ×6×19	4-D13	主筋定着無し
B - 1		4-D6	フランジ外側のL型定着板に主筋を溶接、補強リブ有
B - 2		4-D13	コの字型ピースに主筋を溶接
B - 3			フランジ外側のL型定着板に主筋を溶接、補強リブ有
B - 4			梁全断面定着板に主筋を溶接
B - 5			フランジ外側のL型定着板に主筋を溶接、補強リブ無
B - 6			B-3と同じ、フランジ上部後打コンクリート有

*梁断面25×42cm、柱断面59×45cm

スパン比3.8のもの7体である。柱と梁の接合面には柱鋼管を模擬した鋼板を設け、これを柱コンクリート内に定着した。主要な実験変数は、SRC造梁の端部における梁主筋の鉄骨への定着方法と梁主筋量である。梁主筋の鉄骨への定着方法による比較は、梁主筋量を同一(4-D13)として行なった。また、性状比較上の基準試験体として主筋が定着されない試験体(B-0)と梁の全断面に定着板を設けた試験体(B-4)を採用した。考案した定着法は、フランジ外側だけにL型定着板を溶接し、梁主筋を溶接定着する方法とフランジ外側の材軸方向にコの字型断面の鉄骨ピースを溶接し、梁主筋を溶接定着する方法(B-2)の2種類に大別される。前者の方法の試験体として補強リブを設けるもの(B-3)と設けないもの(B-5)とがある。梁の主筋量による比較は、4-D13を基本として、少ない鉄筋量での剛性向上度をみるために、B-3と定着方法を同一にして梁主筋を4-D6とした試験体(B-1)を設けて行なった。また、実際の構造物での後打スラブを模擬して端部フランジ上部の梁幅分だけ鉄筋コンクリートにした試験体(B-6)も作製した。梁のせん断補強筋は、全試験体とも□-LD6@100とした。

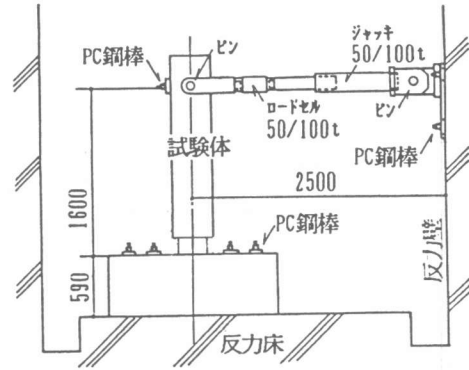


図-3 加力装置

表-2 コンクリートの強度試験結果

圧縮強度 σ_n (kgf/cm ²)	ヤング係数 $E_{1/3}$ (10 ⁸ kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)
334	3.14	26.1

表-3 鉄筋の強度試験結果

径 (mm)	規格	降伏強度 σ_y (kgf/cm ²)	引張強度 σ_u (kgf/cm ²)	降伏歪 (10 ⁻³ %)	伸び (%)
D13	SD35	3600	5190	1960	18.3
D 6	SD30	3560	5480	1800	14.4

表-4 鋼板の強度試験結果

公称厚 (mm)	規格	降伏強度 σ_y (kgf/cm ²)	引張強度 σ_u (kgf/cm ²)	降伏歪 (10 ⁻³ %)	伸び (%)
19	SM50A	3570	5380	1680	27.6
12		3790	5570	1810	27.7
9		4080	5830	1880	24.6
6		4120	5830	1910	23.8

2) 加力方法 加力装置を図-3に示す。試験体の柱部分を反力床に緊結し、油圧ジャッキにより梁に正負繰返し漸増荷重を載荷した。
3) 測定方法 梁の載荷点変位並びに柱・梁接合面での回転変形を柱・梁接合部を基準として測定した(図-4参照)。また、鉄筋と鉄骨の歪をワイヤストレインゲージにより測定した。

3. 実験結果と考察

1) 使用材料の性質

実験に用いたコンクリート、鉄筋並びに鋼板の強度試験結果を表-2~表-4に示す。

2) 試験経過および荷重~変形関係

実験結果一覧を表-5に、梁せん断力Qと柱・梁接合部を基準とした梁部材角Rの関係の例を図-5に示す。各試験体共に梁載荷点の部材角R ≒ (6.5~8.5) × 10⁻³rad. で鉄骨フランジの降伏が生じた。鉄筋の降伏は、主筋が定着されている試験体の全てに生じており、鉄筋径の小さい試験体で最も早くR = 5.75 × 10⁻³rad. で生じ、その他の試験体ではR ≒ (25~28) × 10⁻³rad. で生じた。

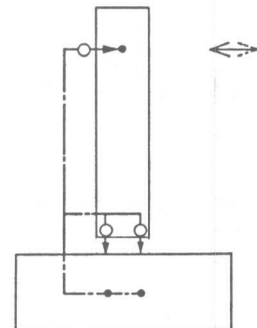


図-4 変位・回転測定方法

履歴性状は、全ての試験体で $R = 50 \times 10^{-3}$

rad. 以降まで安定した復元力特性を示した。鉄骨の曲げ終局耐力計算値からの耐力上昇は、主筋が定着されていない試験体 (B-0) が最も小さく、フランジ上部に後打ちコンクリートを設けた B-6 における、コンクリートが圧縮応力となる載荷方向の場合と梁の全断面に定着板を設けた B-4 が殆ど同じ耐力で最も大きかった。梁主筋の定着方法を変化させた B-2、B-3、B-5 の間では曲げ耐力の差がほとんど見られなかった。L 型定着板を用いた B-1、B-3、B-5 は、最終的に圧縮側の端部鉄骨フランジの曲率がかなり大きくなり、コンクリートが定着板から離れ隙間が生じた。

3) 鉄骨の歪
 図-6 に鉄骨フランジの歪分布測定結果の例を示す。図中に示す計算値は、SRC 梁の鉄骨部分に短期設計荷重時に作用するせん断力 Q を $Q \cdot (1 - \alpha r)$ と仮定して、歪 $\epsilon = M / (E \cdot Z)$ ($\alpha r = r Q_{by} / Q_{bu}$ 、 Q : 梁せん断力、 $r Q_{by}$: RC 部分の曲げ降伏強度計算値、 Q_{bu} : 曲げ終局強度計算値、 M : 梁曲げモーメント、 E : 梁鉄骨の弾性係数、 Z : 梁鉄骨の断面係数) より得たものである。引張フランジの歪は、主筋が定着されていない B-0 の場合に計算値より大であったが、主筋が定着されている試験体では、全て計算値と非常に良く一致していた。圧縮フランジの歪は、B-0 を除いて計算値の 50~60% 程度である。従って、鉄骨降伏以下の荷重領域で、梁のせん断力

表-5 実験結果一覧

試験体	初曲げひびわれ		鉄骨フランジ降伏		鉄筋降伏		最大荷重*	
	Q (t)	R (10^{-3})	Q (t)	R (10^{-3})	Q (t)	R (10^{-3})	Q (t)	R (10^{-3})
B-0	2.8	0.76	18.0	8.26	-	-	30.2	79.50
B-1	3.5	1.06	15.9	6.59	14.4	5.75	30.4**	50.20
B-2	2.9	0.78	19.1	8.01	-23.3	-12.38	31.8**	60.33
B-3	2.0	0.49	18.0	7.22	27.4	28.04	31.5**	74.32
B-4	2.6	0.74	18.6	7.25	28.4	25.03	34.3	87.05
B-5	2.3	0.65	17.0	6.83	26.8	26.07	30.7	87.22
B-6	3.8	1.07	18.5	6.83	28.3	18.00	34.6	80.01

Q : 梁せん断力 R : 柱・梁接合部に対する梁部降伏

* : 全試験体とも耐力上昇途上で載荷を終了させている。

** : 梁のねじれのため加力を中絶した試験体の中絶時の荷重

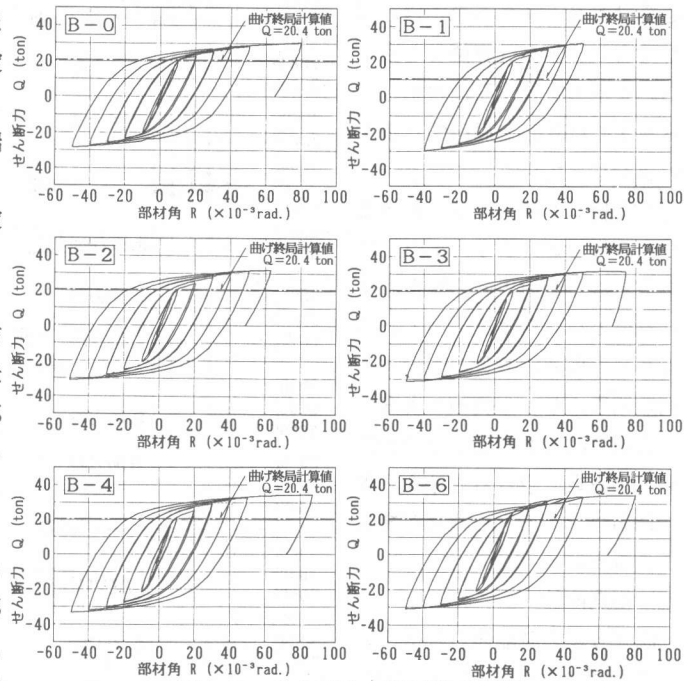


図-5 せん断力～部材角 R 関係

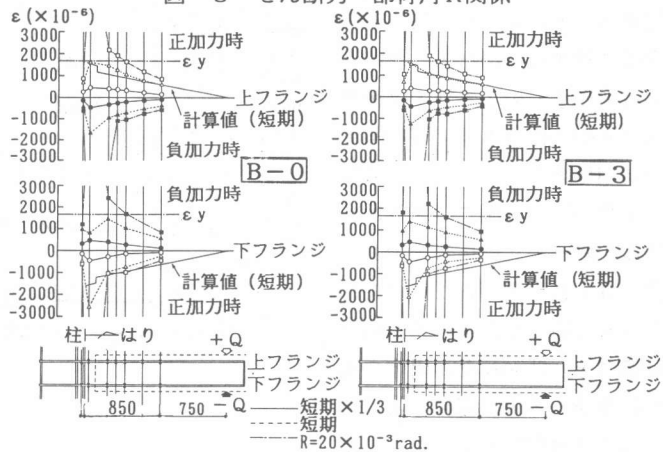


図-6 鉄骨フランジの歪分布

の内、本比率 $(1 - \alpha_r)$ 程度あるいはそれ以下の比率のせん断力を鉄骨部分が負担しているものと推定される。

4) 鉄筋の歪

図-7に鉄筋の歪分布測定結果を示す。図中に示す引張側主筋の応力計算値は、SRC梁の鉄筋コンクリート部に短期設計荷重時に作用するせん断力 Q_r を $Q \cdot \alpha_r$ と仮定して、歪 $\epsilon = M / (E \cdot a_t \cdot d_m)$ (a_t :引張鉄筋断面積、 d_m :梁の有効せい)より得たものである。引張側の主筋の歪は、主筋が定着されていないB-0のSRC部の端部でかなり小さく、鉄筋に応力がほとんど発現されていない。L型定着板を用いた試験体(B-3、B-5)とコの字型断面の試験体(B-2)では、引張側主筋の歪は梁の全断面に定着板を設けたB-4のものと同様であり、また計算値とも良好な対応を示した。主筋径の小さいB-1では端部で局所的に歪が大きくなっている。フランジ上部に後打コンクリートを設けたB-6は、コンクリートが圧縮応力となる荷重方向の場合には計算値と良好な対応を示している。これらと前述の鉄骨の歪分布の測定結果より、本実験で考案した定着方法であれば、梁の全断面に定着板を設ける方法と同等に鉄筋コンクリート機構が発現されるといえる。

5) 初期剛性

図-8に各試験体の降伏以下の荷重に対するせん断力と梁部材角($R - R_e$ 、 R :柱・梁接合部に対する梁部材角、 R_e :接合部の変形による柱・梁接合部の回転に伴う梁部材角)関係の初期部分の比較、図-9に鉄骨梁の剛性計算値に対する各試験体の剛性の比の比較を示す。図-8中に端部が鉄骨で中央部をSRC造とした梁の弾性剛性計算値と全断面鉄骨の場合の剛性計算値を示す。荷重が鉄骨部の2/3(短期応力レベル)まで

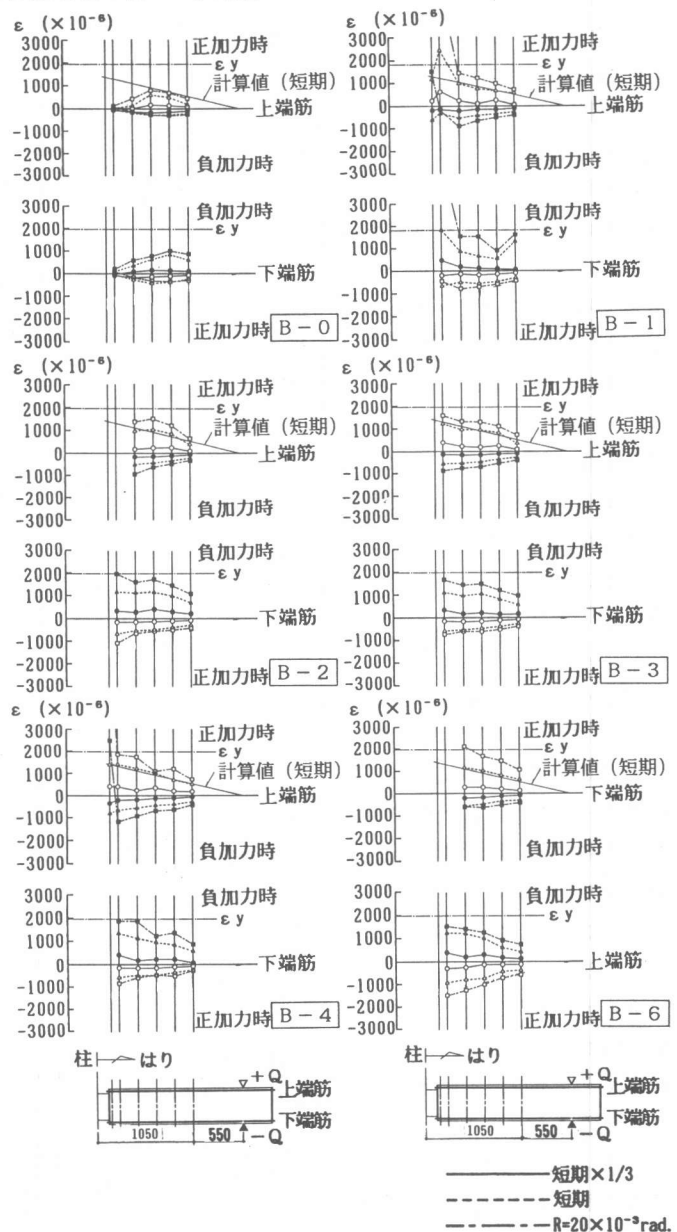


図-7 鉄筋の歪分布

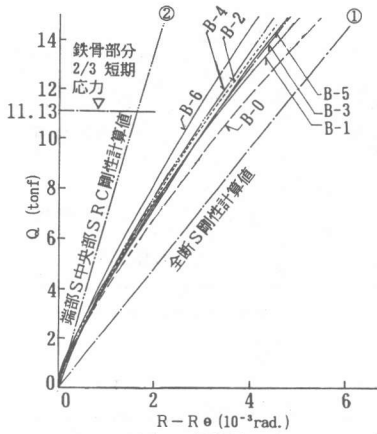
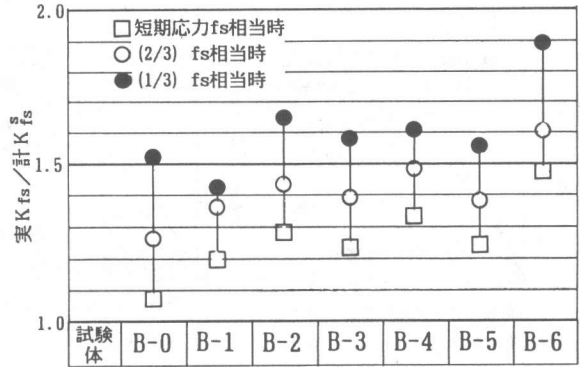


図-8 せん断力～部材角 (R-Rθ) 関係



実 K_{fs} : (R-Rθ) 実験値の剛性
計 K_{fs}^s : 全断面鉄骨断面の(曲げ) + (せん断) 変形剛性計算値

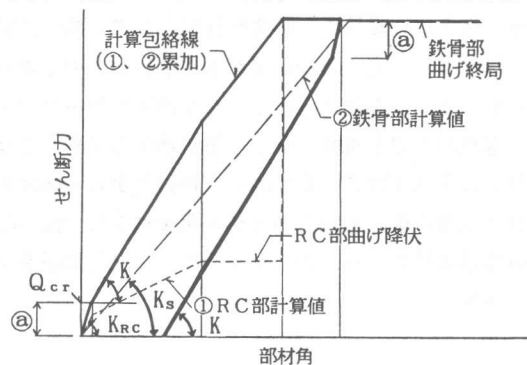
図-9 鉄骨梁に対する剛性の増大比

の各試験体の剛性は、全試験体とも端部が鉄骨で中央部をSRC造とした梁の弾性剛性計算値の0.43～0.55倍であり、また全断面鉄骨の剛性計算値の1.25～1.60倍になっている。定着方法を変化させた試験体の間では、梁の全断面に定着板を設けたB-4の剛性とコの字型鉄骨ピースに主筋を溶接したB-2の剛性が殆ど同じで最も高くなっている。L型定着板で補強リブの有無の影響を見たB-3とB-5は、剛性にほとんど差が無い。この2体の定着板の応力測定値は設計荷重に対する応力計算値に比べかなり小さかったことよりリブの効果が発揮されなかったものと考えられる。B-6は、後打コンクリートが圧縮応力となる載荷方向の場合の剛性を示しており全試験体中で最も高くなっているが、後打コンクリートが引張応力となる載荷方向の場合の剛性は定着方法、配筋の同じB-3とほとんど差が無い。鉄筋径の小さいB-1の剛性は、定着方法が同じで鉄筋径が大のB-3のものより小さくなっているが、主筋が定着されていないB-0の場合より大きく、主筋径が小さくとも主筋と鉄骨が定着されていれば剛性は向上するといえる。

4. 復元力特性のモデル化の検討

図-10に除荷時の勾配まで含めた復元力特性のモデルと実験結果との比較を示す。図-11にモデルの計算方法を示す。すなわち、Q-R関係の剛性Kは、RC部分の剛性 K_{RC} と鉄骨部分の剛性 K_s の累加とし、 K_{RC} は、ひびわれ荷重計算値までは、RC全断面有効の弾性剛性計算値とし、それ以降は、降伏時塑性剛性に低下しているものとした。これは、 K_{RC} を低荷重域から降伏時塑性剛性に低下しているものとした既報の実験^{1) 2)}における復元力特性のモデル化よりも精度良く、除荷時の勾配まで含めてモデル化しているものである。

L型定着板を用いた試験体 (B-3、B-5) とコの字型断面の試験体 (B-2) は、全てモデルと良く一致している。鉄筋径の小さいB-1はモデルより2次剛性が高くなっている。フランジ上部に後打コンクリートを設けたB-6においては、コンクリートが圧縮応



Q_{cr} : 曲げひびわれ発生荷重
剛性①: RC部分 $\alpha_y \cdot$ (全断面有効とした剛性) *
 α_y : 降伏時の剛性低下率
 $\alpha_y = (0.043 + 1.64nPt + 0.043a/D) \left(\frac{D}{d}\right)^2 \dots (3)$
剛性②: 鉄骨部分 弾性剛性 *
* (曲げ変形) + (せん断変形)

図-11 復元力特性モデルの計算方法

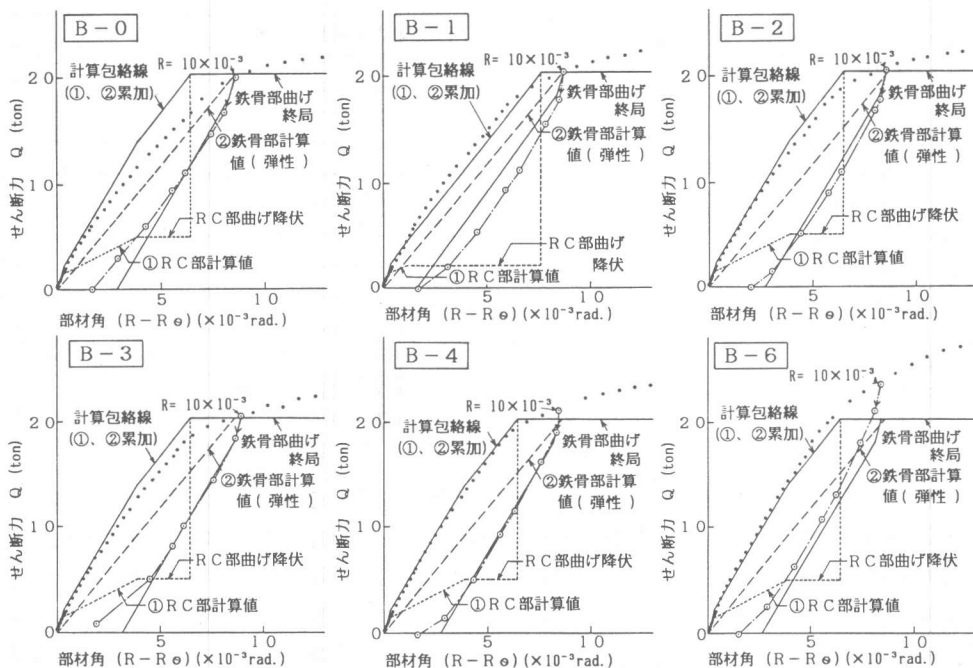


図-10 復元力特性のモデルと実験結果の比較

力となる載荷方向の場合について示しており、RC部曲げ降伏後の剛性は、モデルより実験値の方が大きくなっている。主筋が定着されていないB-0は、低荷重域から明らかにモデルより剛性が低くなっている。除荷時の勾配については、各試験体ともモデルとよく対応しているが、残留変形は、モデルより実験値の方が小さくなっている。従って、主筋と鉄骨が定着されていれば本実験の範囲内では、合成部材が降伏を示す近傍以下の変形においてこの復元力特性のモデル化は妥当であるといえる。

5. まとめ

充填型鋼管コンクリート柱に接合される梁を対象とし、鉄骨梁からの剛性向上度が高く、かつ施工性の良い剛性梁の開発を目的として、梁の主筋の各種の定着方法による影響を検討する実験を行なった。明らかとなった主な事項は次のとおりである。

- 1) 梁フランジ外側に溶接されたコの字型ピースに梁主筋を溶接する定着法と梁フランジ外側に溶接されたL型定着板に梁主筋を溶接する定着法を採用した合成梁は、梁の全断面に定着板を設けたものとはほぼ同等の比較的高い鉄骨梁からの剛性の向上を示した。
- 2) 合成梁の復元力特性のモデル化を試みた。提示したモデルは、主筋が鉄骨に定着されていれば荷重除荷時までを含めたせん断力-部材角関係を実用上の目的に適用する精度で表示することが可能である。

参考文献

- 1) 岡本、東端、沢田他：充填型鋼管コンクリート柱に接合される合成梁に関する実験的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、1989、pp.1597～1598
- 2) 岡本、東端、沢田：鋼管コンクリート柱に接合される鉄骨鉄筋コンクリート梁の基礎性状に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、1989、Vol.11-2、pp.51～56
- 3) 菅野他：鉄筋コンクリート構造物の塑性剛性について-その1、日本建築学会関東支部研究発表会、1967