

特集 「数値解析技術」

端部をRC造・中央部をS造とするハイブリッド梁のFEM解析と復元力特性

穴 吹 拓 也 杉 本 訓 祥
米 澤 健 次 増 田 安 彦

FEM Analysis and Restoring Force Characteristic for RC-Steel Hybrid Beam

Takuya Anabuki Kuniyoshi Sugimoto

Kenji Yonezawa Yasuhiko Masuda

Abstract

A composite structure comprising a reinforced concrete (RC) column and a steel beam is useful to design of high-rise buildings such as office blocks that require long-span beams. When an RC column is produced using a pre-cast concrete technique, it is advantageous not to embed the steel beam in the RC column. This paper focuses on a hybrid beam whose central part is steel beam and both end parts are covered by RC. Three dimensional nonlinear FEM analyses were conducted to investigate a method for calculating the restoring force characteristic of the hybrid beam and for determining the mechanism governing the transfer of stress between steel and RC. The relationship between the shear force and rotation angle, which is modified to take into account the full plastic moment, agrees well with envelope curves of the experimentally determined relationship and with the results of FEM analysis.

概 要

大スパンの梁が要求される高層オフィスビルへの適用を目的とした、柱をRC造、梁をS造とする構法の開発において、鉄骨梁を柱梁接合部内に埋込まない形式とすることで既往のプレキャスト技術の適用が可能となる。本論文では端部をRC造、中央部をS造とするハイブリッド梁に注目し、既往のハイブリッド梁部材実験を対象とした3次元非線形FEM解析を行い、鉄骨とコンクリート間の応力伝達機構を検討した。解析結果と実験結果の比較より解析手法の適用性を確認した上で、鉄骨降伏先行型としたハイブリッド梁の荷重-変形曲線について弾塑性理論などから導かれた既往の設計モデルの適用性を検討した。その結果、鉄骨の全塑性モーメントより計算した荷重を用いることで、ハイブリッド梁の復元力特性を良好に評価できることが示された。

1. はじめに

高層オフィスビルは従来S造やSRC造等で計画されてきたが、これをRC造とすることで材料費のコストダウンを図ることができる。しかし、オフィスビルは梁に大きなスパンが要求されるため、主に圧縮力を負担する柱にRC造、大スパンが要求される梁にS造を適用する合成構造が合理的である。このとき、鉄骨梁を柱梁接合部内に埋込まない形式とすることで柱のプレキャスト化が容易となり、これまで高層RC造建物に適用してきたプレキャスト技術を応用できる。

本構法においては鉄骨梁のせん断力および曲げモーメントをRC柱に伝達する機構が重要であり、本論文では鉄骨梁端部をRCで巻くハイブリッド梁に着目した。端部をRC造、中央部をS造としたハイブリッド梁についての実験は、例えば、金田ら¹⁾、渡辺ら²⁾、都祭ら³⁾、鈴木ら^{4),5)}等により過去20年程度に渡り報じられている。文献4)では設計時に必要となる復元力特性の導出法について、弾塑性理論等に基づき詳細に述べられているが、梁主筋降伏に対して鉄骨降伏が先行する破壊形式については記述がなく、鉄骨降伏先行型の検討例はまだ少ない。

梁主筋降伏よりも鉄骨降伏を先行させることのメリットとして、RC部分をヒンジとしないことから、柱のプレキャスト化において課題となりやすい梁主筋の継手の配置に制約を生じないことが挙げられる。また、ヒンジ発生による付着劣化を考慮する必要がなく、付着応力度について検討する際の付着長さを大きく取ることができる。更に、梁通し配筋の付着応力度は靱性指針⁶⁾に示される主筋の上限強度算定用強度から計算される付着応力度よりも低い応力度となり、柱梁接合部への入力が小さくなることで接合部の損傷を低減できると考えられる。

本論文は、端部をRC造、中央部をS造としたハイブリッド梁の設計時に鉄骨降伏先行型という選択肢を追加することを目的とし、その復元力特性の作成方法を検討する。まず、既往の実験を対象としてコンクリート構造の非線形FEM解析プログラム「FINAL[®]」を用いた解析を実施し、モデル化手法及び材料構成モデルの選択等、解析手法の適用性を確認する。その上でFEM解析結果と前述の復元力特性とを比較し、鉄骨降伏先行型となるハイブリッド梁に対する復元力特性の適用性を確認する。また、鉄骨とコンクリート間の応力伝達機構について考察し、今後の検討課題などを抽出する。

2. FEM解析手法の適用性

2.1 解析対象

FEM解析手法の適用性を確認するため、既往の実験より2体の試験体を解析対象として選んだ。1体目は都祭ら³⁾の実験シリーズより梁主筋降伏型の破壊形式である試験体No. 1とした。試験体No. 1は鉄骨降伏先行型ではないが、RC梁に埋込んだ鉄骨がエンドプレートのみで定着されており、溶接等の特殊な作業を行わない施工性がよいディテールである。2体目は鈴木ら^{4),5)}の実験シリーズより鉄骨降伏先行型の破壊形式である試験体1-3とした。試験体1-3はRC梁に埋込んだ鉄骨と上下各2本の梁主筋を溶接し、鉄骨梁を定着する特殊なディテールである。Table 1 に各試験体の諸元、Table 2 に鋼材材料試験結果を示す。Fig. 1 に試験体の形状、荷重装置及びRC区間配筋の概要を示す。

2.2 解析概要

2.2.1 解析モデル 試験体No. 1, 1-3のいずれも部材の幅方向について形状、加力条件とも対称であるため、解析モデルは対称条件を適用した1/2モデルとした。実験と同様、梁の固定端にはコンクリートブロックをモデル化し、コンクリートブロックの剛性、梁主筋のすべりや拔出しを考慮した。ただし、コンクリートブロックのモ

デル化範囲は梁芯を中心として高さ1,000mmの範囲のみとした。Fig. 2 に試験体No. 1のメッシュ及び境界条件を示す。試験体1-3のメッシュ及び境界条件は試験体No. 1とほぼ同様であるため記述を省略する。

鉄骨梁はシェル要素、RC部分はコンクリートを六面体要素、梁主筋及びせん断補強筋はトラス要素でモデル化した。鉄骨梁および梁主筋には接合要素を用いてコンクリートとの相対すべりを考慮し、せん断補強筋は完全付着とした。

コンクリートブロックの脚部における節点自由度を全て固定し、梁端部から所定の位置に鉛直方向強制変位を与え、正負交番漸増繰返し荷重を行った。

2.2.2 材料構成モデル 鋼材の応力-ひずみ関係は降伏強度を折れ点とするbi-linearモデルとし、繰返し荷重時の履歴特性は修正Menegotto-Pintモデル⁷⁾で表した。

コンクリートの応力-ひずみ関係としては、引張側はひび割れまで線形を仮定し、ひび割れ後は長沼らのモデル⁸⁾により引張応力軟化を表した。一方、圧縮側は最大強度および応力軟化曲線に拘束効果を考慮可能な修正Ahmadモデル⁹⁾を用いて表した。Fig. 3 に応力-ひずみ関係の概略を示す。3軸応力下の破壊条件は大沼らの係数を用いた5パラメータモデル¹⁰⁾により決定した。ひび割れ面のせん断伝達特性及びひび割れ後の圧縮劣化特性には文献¹¹⁾に示すモデルを用いた。

Table 1 試験体諸元
Details of Specimen

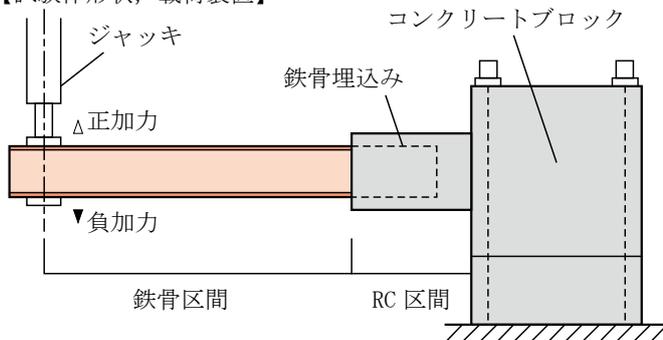
試験体名	No. 1 ³⁾	1-3 ^{4),5)}
鉄骨断面	BH-300×140×9×19	BH-300×140×6×9
鉄骨埋込み長	540 mm	510 mm
RC断面	400 mm × 450 mm	350 mm × 450 mm
コンクリート圧縮強度	56.8 N/mm ²	31.6 N/mm ²
コンクリートヤング係数	(記述なし)	24.4 kN/mm ²
梁主筋	12-D19 (1.13 %)	12-D19 (1.30 %)
せん断補強筋	鉄骨側端部	4-K10×3
	固定端側端部	4-K10×2
	RC部分	4-K6@40 (0.79 %) / 2-K6@100 (0.21 %)
想定する破壊形式	梁主筋降伏	鉄骨降伏先行

※文献5)においては試験体名を RC-SBF としている

Table 2 鋼材材料特性
Steel Material Properties

鋼材種別	降伏応力度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²
試験体No. 1 ³⁾		
鋼板 (SM490)	PL-9	358
	PL-19	157.4
主筋 (SD490)	D19	555.9
せん断補強筋 (KSS785)	K6	987.2
	K10	984.8
試験体1-3 ^{4),5)}		
鋼板 (SM490A)	PL-6	374
	PL-9	383
主筋 (SD490)	D19	528
せん断補強筋 (785N/mm ² 級)	K6	1040

【試験体形状、荷重装置】



【RC区間配筋】

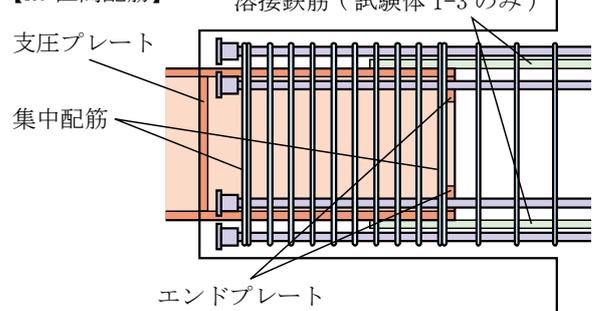


Fig. 1 試験体形状及び荷重装置とRC区間配筋の概要

Summary of Specimen Form, Loading Equipment and Bar Arrangement at RC Part

梁主筋とコンクリート間の付着強度には靱性指針の付着割裂強度⁶⁾を採用した。Fig. 4 に付着応力-すべり関係の概略¹²⁾を示す。

梁鉄骨とコンクリート間の接合要素の特性としては、両者が密着する方向には応力を伝達し、離間する方向には応力を伝達しない特性を定義した。また、すべり方向についてはコンクリートの打設方向の影響を考慮して梁鉄骨の面ごとに付着特性を変えた。フランジ上面とコンクリート間は付着状態が良好であると考えられるため、

付着応力-すべり関係はFig. 5 に示すモデル¹³⁾を適用し、フランジ面と直交方向の応力により生じる摩擦力（摩擦係数0.65）を考慮した。フランジ下面およびウェブ側面は付着状態が良くないと考えられるため、付着応力を生じず自由にすべりを生じるものと仮定した。ただし、フランジ下面は繰返し载荷によりコンクリートと密着する可能性があるため、フランジ上面と同様の摩擦力を考慮した。Fig. 6 に鉄骨とコンクリート間の付着すべり特性の部位分けの概念を示す。

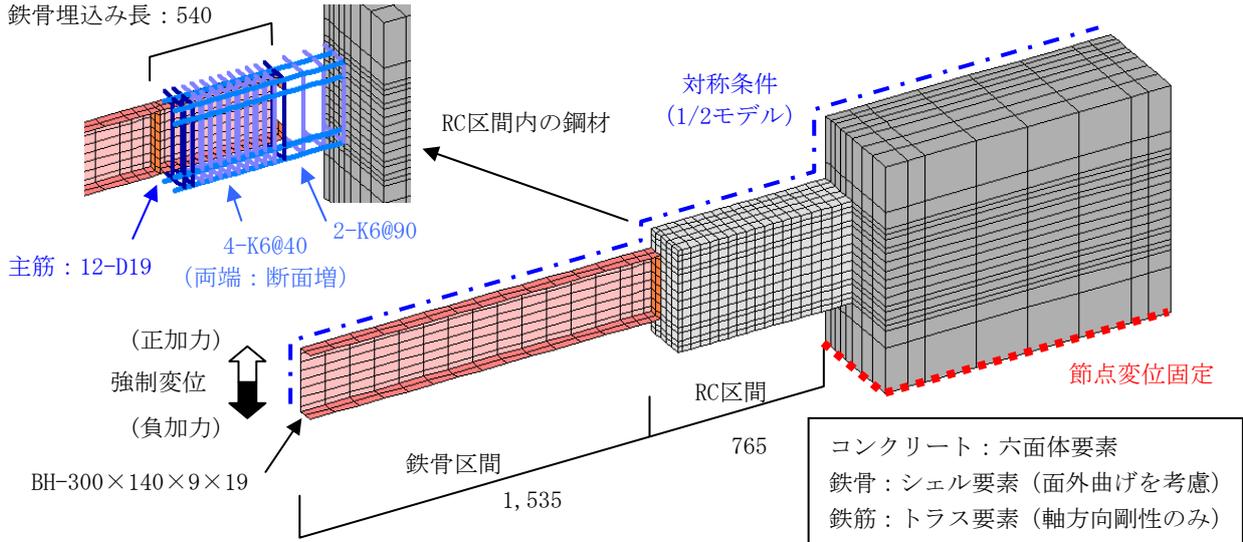


Fig. 2 試験体No.1モデルのメッシュ及び境界条件
Element Meshes and Boundary Condition of Analytical Model for Specimen No.1

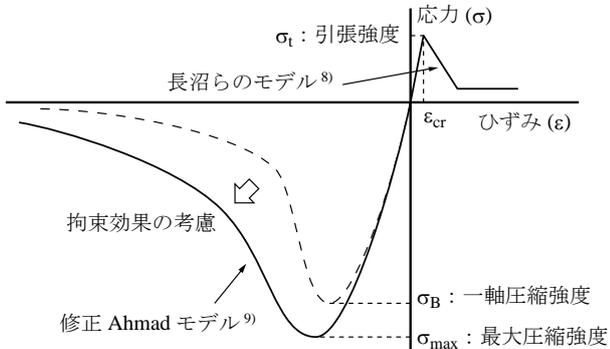


Fig. 3 コンクリート応力-ひずみ関係の包絡線
Stress - Strain Relationship for Concrete

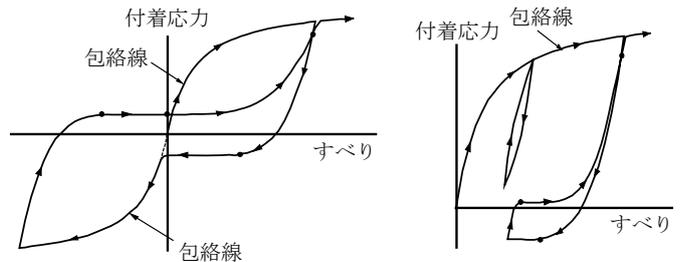


Fig. 4 鉄筋とコンクリート間の付着すべり特性¹²⁾
Bond Stress - Slip Relationships between
Longitudinal Reinforcing Bar and Concrete

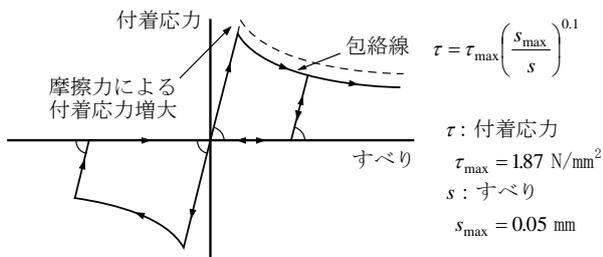


Fig. 5 梁鉄骨フランジ上面とコンクリート間の付着すべり特性¹³⁾
Bond Stress - Slip Relationship between
Top of Flange Plate and Concrete

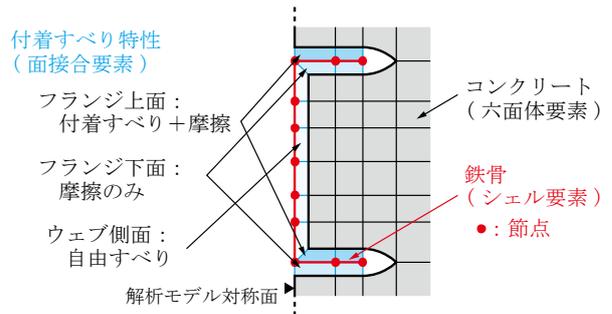


Fig. 6 鉄骨付着特性の部位分け
Bond Characteristics at each Steel Plate Side

2.3 解析結果

2.3.1 荷重-変位関係 Fig. 7 に2つの試験体について実験と解析より得た梁せん断力-部材角関係を示す。

いずれも最大耐力に至るまでの包絡線は解析により実験結果を概ね良好に再現できたが、負サイクル時の包絡線が実験の荷重を過大評価する点が課題として残った。

試験体No. 1については初ひび割れ、梁主筋降伏開始の時期が実験と解析とでよく一致した。試験体1-3については実験結果の非線形挙動に関して詳細な記述がないが、解析も実験と同様に梁主筋降伏よりも鉄骨降伏が先行して全塑性に至った。

2.3.2 損傷状況 Fig. 8 に試験体No. 1の部材角+1/50における梁RC区間側面の損傷状況について実験と解析の比較を示す。解析のひび割れはひずみが概ね1,000 μ を超えるもののみを表示した。+1/50に到達する直前に梁主筋が降伏するため、解析では梁端部の損傷が顕著であった。また、実験においては梁小口近傍で鉄骨せいの内側の領域に損傷が集中する傾向が見られるが、解析においても同様の傾向が再現できた。

2.3.3 ひずみ性状 Fig. 9 に試験体No. 1の梁主筋のひずみ分布について実験と解析の比較を示す。鉄骨が埋込まれた区間においては、解析は実験の主筋ひずみをよく再現したが、実験のように端部の純RC部分においてひずみが圧縮に転じることはなかった。また、主筋降伏を生じた部材角+1/50以降は、梁端部の純RC部分における主

筋ひずみが降伏ひずみを大きく超える値となる定性的な傾向が再現できた。

以上より、本手法によるFEM解析は数点の課題を残したが、ハイブリッド梁が主筋降伏または鉄骨降伏に至るまでの挙動を良好な精度で再現できることを確認した。

2.4 鉄骨からRC梁への力の伝達

Fig. 10 に解析結果より得たNo. 1試験体の部材角+1/50時における鉄骨とコンクリート間の接合要素に作用した垂直応力度の分布を示す。このとき、梁鉄骨フランジがコンクリートから受ける支圧力を集中荷重と考えた場合、分布荷重と考えた場合を比較して示す。鉄骨フランジの支圧応力は鉄骨埋込みの始端および終端で大きくなり、集中荷重と考えた場合の応力状態に近かった。従って、埋込み始端および終端においてRCに伝達される局所的な支圧応力を負担する必要がある。

この支圧応力を集中荷重と考えた場合、Fig. 11 に示すように、鉄骨はRC埋込み始端および終端において(1)式、(2)式より求まる反力 R_1 、 R_2 を受ける。

$$R_1 = \frac{L_s - \mu \cdot D}{L_{src} + 2 \cdot \mu \cdot D} \cdot Q \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{L_0' + \mu \cdot D}{L_{src} + 2 \cdot \mu \cdot D} \cdot Q \quad (2)$$

ここで μ は摩擦係数(0.65を仮定)、 D は上下フランジ間距離である。

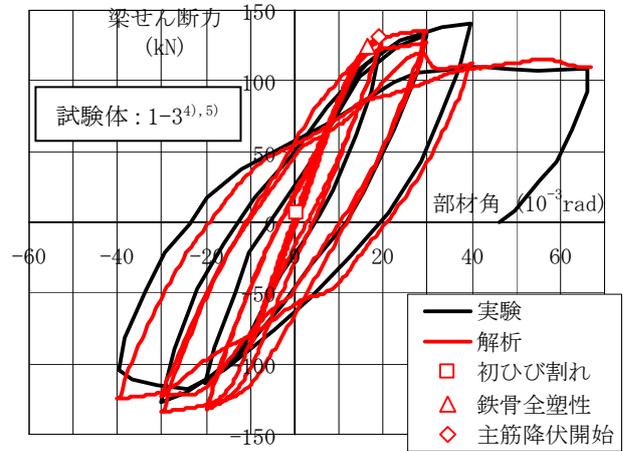
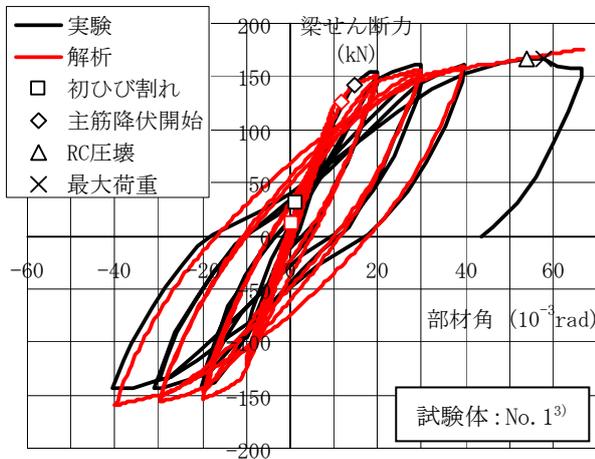


Fig. 7 梁せん断力-部材角関係
Beam Shear Load - Rotation Angle Relationships

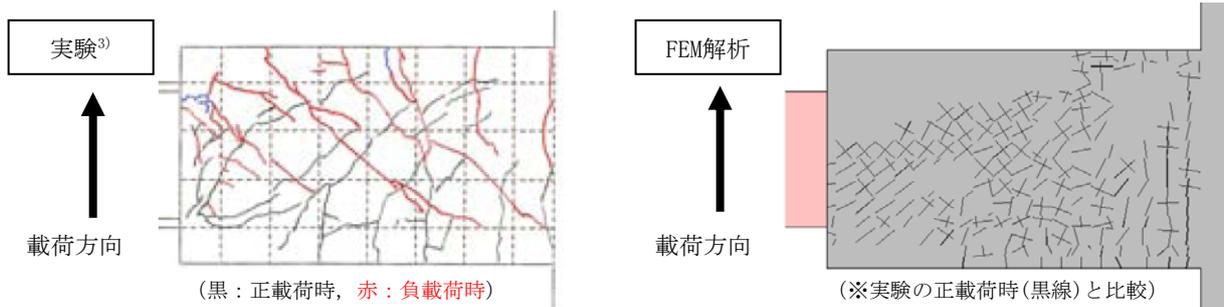


Fig. 8 部材角+1/50時のRC区間損傷状況 (No. 1)
Damage of Beam Concrete at Rotation Angle +1/50 (No. 1)

Fig. 11 に試験体No.1の鉄骨埋込み部における部材角+1/50時のウェブせん断力の分布を示す。文献4)で提案されるようにせん断力の分布は放物線状であった。これを簡易にモデル化するため、同図に鉄骨に生じる支圧力を集中荷重と仮定して求めたウェブせん断力の分布を青線で示す。せん断力(R_1)の大きさは解析より得たウェブのせん断応力の大きさと概ね対応しており、支圧力を集中荷重と仮定する略算モデルの適用性を確認した。ただし、支圧力が集中する範囲(面積)については更に検討を重ねる必要がある。

3. 鉄骨降伏先行型ハイブリッド梁の設計用復元力特性の検討

3.1 検討手順

はじめに、弾塑性理論などに基づき考えられる復元力特性と実験および解析結果から得られた荷重-変位関係との整合性を確認した。次に、鉄骨の定着に溶接を行わない試験体No.1を鉄骨降伏型となるようにパラメータを調整した解析を実施し、荷重-変位関係や破壊モードを確認して、設計用復元力特性の適用性および課題を検討した。

3.2 設計用復元力特性

3.2.1 概要 端部RC造、中央S造のハイブリッド梁の復元力特性は、文献4)に記されるように、弾塑性理論やRC規準¹⁴⁾に基づく手法に基づきモデル化するのが妥当と思われる。ただし、梁主筋降伏よりも鉄骨降伏が先行する破壊形式とするため、第2折れ点はRC梁小口位置において鉄骨が全塑性モーメントに達する際の荷重 Q_p をもって定義する。Fig. 12 に設計用復元力特性の概念を示す。

3.2.2 曲げひび割れ耐力点 復元力特性の第1折れ点は、RC梁端部における曲げひび割れ耐力 Q_c と、そのときの弾性変形 δ_c より定義する。それぞれ、(3)式および(4)式より得られる。

$$Q_c = \sigma_t \cdot r_c Z / L_0 \quad (3)$$

$$\delta_c = r_c \delta_c + r_c \theta_c \cdot L_s + s \delta_c \quad (4)$$

ここで、 σ_t はコンクリートの引張強度、 $r_c Z$ はRC部の断面係数、 L_0 は片持ち梁のせん断スパン、 L_s は鉄骨区間の長さを表し、 $r_c \delta_c$ 、 $r_c \theta_c$ 、 $s \delta_c$ はそれぞれ、ひび割れ耐力時におけるRC区間の変位、RC区間の回転角、鉄骨区間の変位である。Fig. 13 に曲げひび割れ耐力時の変形の概念を示す。各変形成分の算定方法の詳細は文献4)を参照されたい。

3.2.3 鉄骨全塑性モーメント点 復元力特性の第2折れ点は、RC梁小口位置において鉄骨の全塑性モーメントを生じるせん断力 Q_p より定義する。一方、ひび割れ後の剛性はRC部分について菅野が提唱した降伏時の剛性低下率 α_s を用いて求める¹⁴⁾。従って、第2折れ点を定義する手順は、まず梁主筋降伏耐力を表す点を求めて第1折れ点と結び、その線上にせん断力 Q_p の点をとる。RC曲げ降伏耐

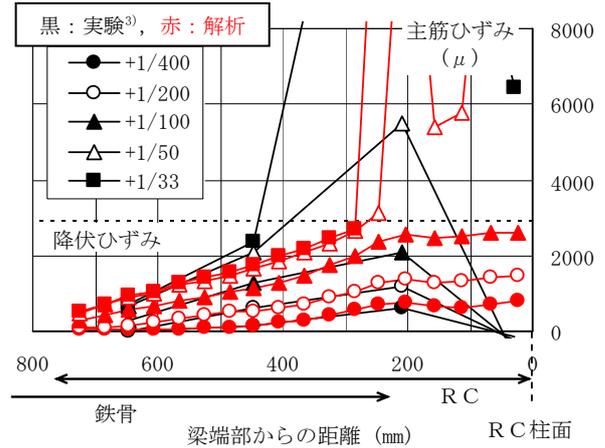


Fig. 9 梁主筋ひずみ分布
Main Bar Strain distributions

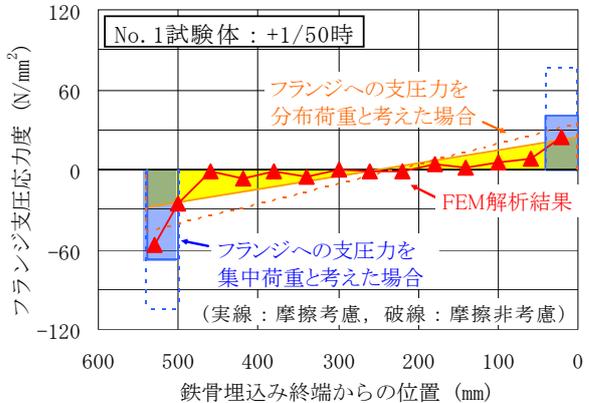


Fig. 10 鉄骨埋込み部の支圧力分布
Bearing Force Distribution of Steel Beam in RC

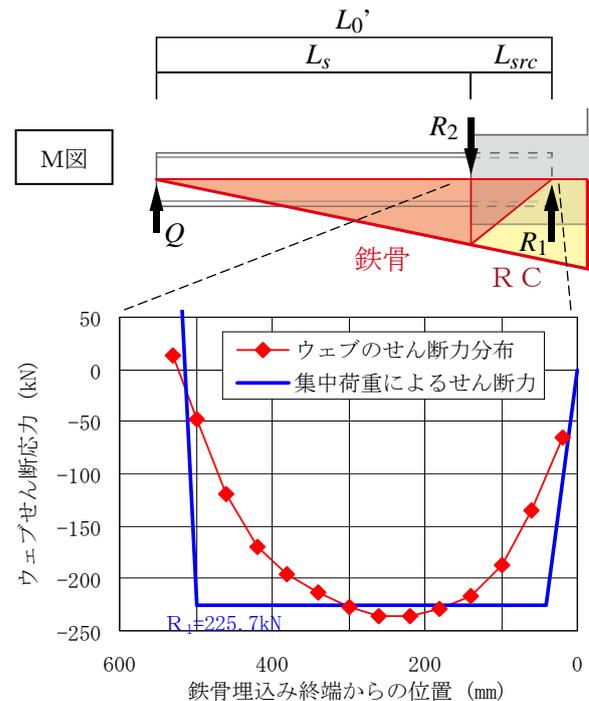


Fig. 11 鉄骨埋込み部の応力分布
Stress Distribution of Steel Beam Embedded in RC

力 Q_y と、そのときの変位 δ_y はそれぞれ(5)式および(6)式より求める。

$$Q_y = 0.9 \cdot a_t \cdot r_c \sigma_y \cdot d / L_0 \quad (5)$$

$$\delta_y = r_c \delta_y + r_c \theta_y \cdot L_s + s \delta_y \quad (6)$$

ここで、 a_t は引張鉄筋の断面積、 $r_c \sigma_y$ は梁主筋の降伏強度、 d は梁の有効せいであり、 $r_c \delta_y$ 、 $r_c \theta_y$ 、 $s \delta_y$ はそれぞれ、RC曲げ降伏耐力時におけるRC区間の変位、RC区間の回転角、鉄骨区間の変位である。各変形成分の算定方法の詳細は文献4)を参照されたい。

従って、設計用復元力特性のひび割れ後の剛性 K_p は(7)式により求まる。

$$K_p = \frac{Q_y - Q_c}{\delta_y - \delta_c} \quad (7)$$

一方、鉄骨全塑性時の荷重 Q_p は(8)式より得られる。

$$Q_p = s \sigma_y \cdot s Z_p / L_s \quad (8)$$

ここで、 $s \sigma_y$ は鉄骨梁の降伏荷重、 $s Z_p$ は鉄骨梁の塑性断面係数である。

従って、鉄骨全塑性時の変位 δ_p は(9)式より求まる。

$$\delta_p = \delta_c + \frac{Q_p - Q_c}{K_p} \quad (9)$$

Fig. 14, Table 3 に、梁主筋降伏型の試験体No.1について、上記の設計用復元力特性(計算値)と実験および解析の荷重-変形関係の比較を示す。なお、設計用復元力特性の主筋曲げ降伏後の剛性は初期剛性の1/100とした。Table 3 には、荷重位置の鉛直変位をRC区間の変位($r_c \delta$)、RC区間の回転角($r_c \theta$)による変位、鉄骨区間の変位($s \delta$)に分け、全体変位に対する変位の比率を記した。

設計用復元力特性は実験および解析より得た荷重-変形関係の包絡線とよく一致した。また、曲げひび割れ時においては、RC部分と鉄骨部分の変形の構成比が計算値と解析結果とで良好に対応した。しかし、梁主筋降伏時においては、計算値は解析結果に対してRC区間の回転による鉄骨変位の比率がやや大きかった。

Fig. 15, Table 4 に、鉄骨降伏先行型の試験体1-3について、設計用復元力特性と実験および解析の荷重-変形関係の比較を示す。

鉄骨全塑性耐力を考慮した復元力特性は実験および解析より得られた荷重-変形関係の包絡線とよく一致しており、前述の計算手法が有効であることが示された。ただし、RC部分と鉄骨部分の変位構成比を比較すると、鉄骨全塑性時においては、計算値は解析結果に対してRC区間の回転による鉄骨変位の比率が大きかった。

3.3 試験体No.1モデルによるパラメトリックスタディ

鉄骨降伏先行型かつRCに埋込まれた鉄骨の定着に溶接を行わないケースに対する前述の復元力特性の適用性を検討するため、梁主筋降伏型で溶接のない試験体No.1を $Q_y = 1.5Q_p$ (No.1は概ね $Q_p = 1.5Q_y$) となるように鉄骨フランジおよび主筋の断面積を調整して鉄骨降伏先行型となるモデルを作成した(以下、S-1と称する)。更にS-1モ

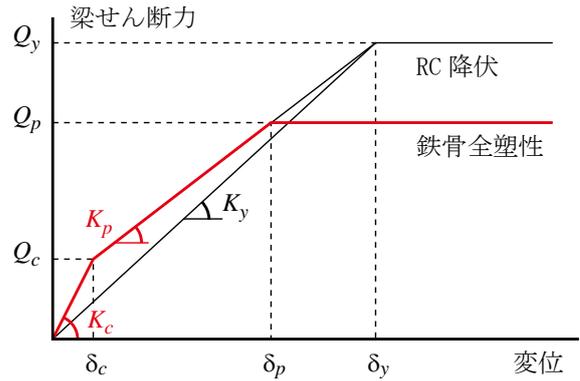


Fig. 12 設計用復元力特性の概念 Load - Displacement Relationship for Design

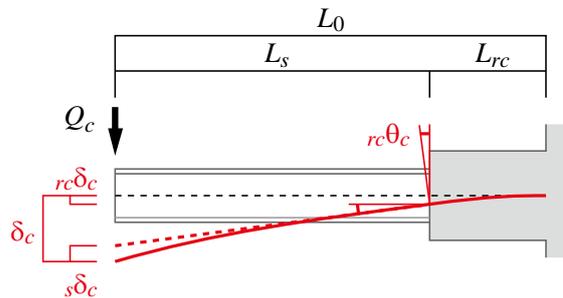


Fig. 13 曲げひび割れ耐力時の変形 Deformation at RC Cracking Strength

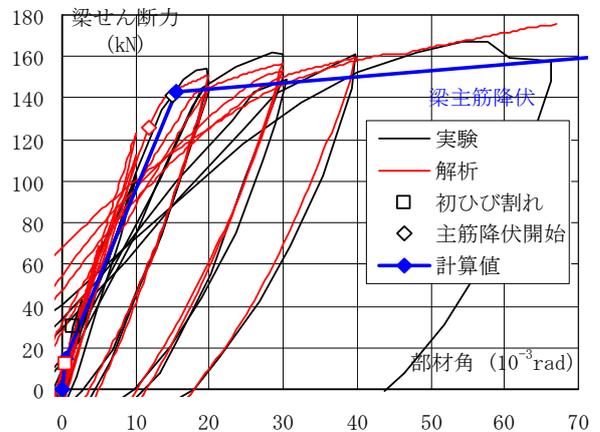


Fig. 14 設計用復元力特性の適用性(No.1) Applicability of Designed Curve (No.1)

Table 3 計算値とFEM解析結果の比較(No.1) Comparison of Calculation and FEM Results (No.1)

	せん断力 (kN)	荷重位置鉛直変位 (mm)	変位構成比		
			$r_c \delta$	$r_c \theta \cdot L_s$	$s \delta$
計算値					
曲げひび割れ	14.6	1.13	0.07	0.25	0.67
梁主筋降伏	143	31.5	0.17	0.59	0.24
解析結果					
曲げひび割れ	12.3	1.14	0.08	0.21	0.70
梁主筋降伏	126	26.8	0.18	0.36	0.46

デルを $Q_y = 1.25Q_p$ となるように鉄骨フランジ断面積を調整したモデル (S-2), 主筋断面積を調整したモデル (S-3) を作成し, 最大耐力時近傍の挙動を確認した。

Fig. 16, Table 5 に, S-1の荷重-変形関係と設計用復元力特性(計算値)の比較を示す。復元力特性は鉄骨全塑性点まで解析結果の包絡線とよく一致した。ただし, 鉄骨全塑性点においては, 計算値は解析結果に対してRC区間の回転による鉄骨変位の比率が大きかった。

Fig. 17 にS-2とS-3の荷重-変形関係を示す。両者は鉄骨降伏と主筋降伏の耐力比が同程度であるが, フランジ断面を調整し Q_p を Q_y に近づけたS-2はRC部への入力が大きくなり, 損傷がRC部全体に広がり耐力低下に至った。一方, S-3は梁端部に損傷を生じるものの, 解析終了時変形 ($67 \times 10^{-3} \text{rad}$) まで安定した履歴を描いた。

鉄骨降伏と主筋降伏の耐力比が小さい場合は, RC部のせん断耐力や支圧耐力との関係により梁の靱性に影響する可能性があることに留意する必要がある。

3.4 鉄骨とコンクリートの相対すべりの影響

試験体No. 1, 1-3及びS-1の3つの解析ケースに共通して, 梁主筋降伏または鉄骨全塑性時におけるRC区間の回転による鉄骨変位は, 計算値と解析結果では解析結果の方が全体変位に占める割合が小さい傾向があった。

Fig. 18 にNo. 1及びS-1の解析結果について, RC梁小口位置における回転角をRC梁の節点変位から算定した場合 (${}_{rc}\delta$) と, 鉄骨の節点変位から算定した場合 (${}_s\theta$) とで回転による鉄骨梁の変位を比較した。最初のサイクルを超えた点から2つの変位の差が大きくなり, 鉄骨降伏先行型のS-1の方がその傾向がより顕著であった。 ${}_{rc}\theta$ と ${}_s\theta$ の差は鉄骨とコンクリートの相対すべりにより生じており, 鉄骨降伏先行型の復元力特性をより精緻なものとするためには鉄骨とコンクリート間の相対すべりの影響を考慮する必要がある。一方, 梁主筋降伏型 (No. 1) は鉄骨降伏先行型 (S-1) に比べて大変形時における2つの回転角の差が小さい。これはNo. 1の主たる塑性領域がRC梁の小口位置ではなく梁端部にあるためと考えられる。

4. まとめ

中央部をS造, 端部をRC造としたハイブリッド梁について, 本論文で述べたモデル化手法のFEM解析により, 既往の実験結果を梁主筋降伏あるいは鉄骨降伏に至るまで良好な精度で再現できることを確認した。

鉄骨とコンクリート間の応力伝達に関して, 鉄骨フランジの支圧応力度は鉄骨の埋込み始端および終端位置において急激に増大していることをFEM解析結果より確認した。従って, 埋込み始端および終端においてはRCに伝達される局所的な支圧応力を負担する必要があり, 既往の実験のように両端にせん断補強筋を集中配筋することは有効であると思われる。ただし, 支圧応力が補強筋によりどの程度負担されているのか, また, 支圧応力の作用長さ (せん断補強を配する領域) を定量化する方法な

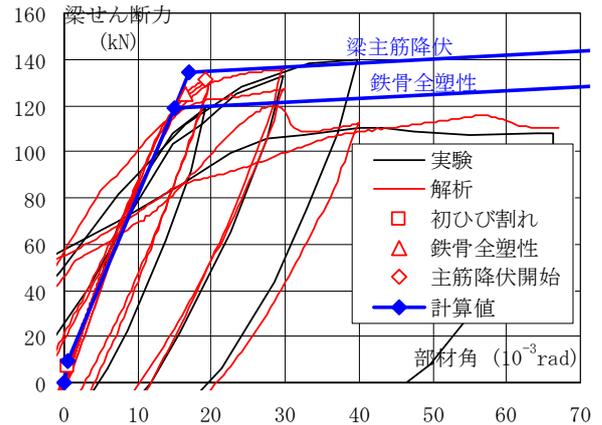


Fig. 15 設計用復元力特性の適用性(1-3)
Applicability of Designed Curve (1-3)

Table 4 計算値とFEM解析結果の比較(1-3)
Comparison of Calculation and FEM Results (1-3)

	せん断力 (kN)	载荷位置鉛直変位 (mm)	変位構成比		
			${}_{rc}\delta$	${}_{rc}\theta \cdot L_s$	${}_s\delta$
計算値					
曲げひび割れ	9.53	1.30	0.05	0.20	0.74
鉄骨全塑性	119	34.6	0.14	0.51	0.34
解析結果					
曲げひび割れ	6.72	1.15	0.09	0.24	0.67
鉄骨全塑性	125	38.0	0.16	0.34	0.51

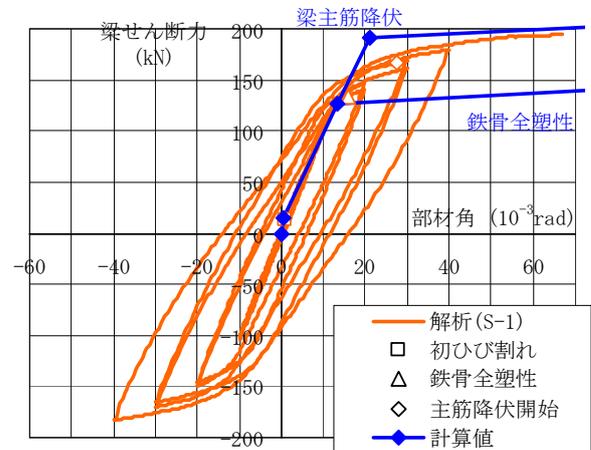


Fig. 16 梁せん断力-部材角関係
Beam Shear Load - Rotation Angle Relationships

Table 5 計算値とFEM解析結果の比較(S-1)
Comparison of Calculation and FEM Results (S-1)

	せん断力 (kN)	载荷位置鉛直変位 (mm)	変位構成比		
			${}_{rc}\delta$	${}_{rc}\theta \cdot L_s$	${}_s\delta$
計算値					
曲げひび割れ	14.6	1.61	0.05	0.17	0.79
鉄骨全塑性	127	28.0	0.17	0.59	0.24
解析結果					
曲げひび割れ	12.2	1.72	0.05	0.14	0.81
鉄骨全塑性	134	36.5	0.10	0.30	0.60

どに今後検討の余地がある。

弾塑性理論などから導かれたハイブリッド梁の復元力特性は実験や解析から得られた荷重-変形関係の包絡線とよく一致しており、実用上は十分な適用性があることを確認した。

参考文献

- 1) 金田和浩, 他: RC積層工法による超高層骨組の構造実験(その8 材端部RC、中央部鉄骨で構成される複合構造梁の荷重試験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp. 305~306, (1987)
- 2) 渡辺秀仁, 他: 端部RC造中央部S造の複合梁の研究開発 その1 予備実験-鉄筋の溶接実験, その2 部材実験-実験概要, その3 部材実験-実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造III, pp. 977~982, (1995)
- 3) 都祭弘幸, 他: 梁端部RC造・中央部S造とした複合梁の開発 その1 実験概要, その2 実験結果及び考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp. 445~448, (2008)
- 4) 鈴木英之, 他: 材端部RC造中央部鉄骨造で構成される複合構造梁のせん断耐力と変形性能, 日本建築学会構造系論文集, 第73巻, 第631号, pp. 1673~1680, (2008)
- 5) 崎浜博史, 他: 鉄筋コンクリートおよび鉄骨で構成される複合梁の実験的研究 その1 端部RC・中央Sの複合梁の実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造III, pp. 1079~1080, (2001)
- 6) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, pp. 18~20, 26, 175~190, 255~258, (1999)
- 7) Ciampi, V., et al.: Analytical Model for Concrete Anchorages of Reinforcing Bars Under Generalized Excitations, Report No. UCB/EERC-82/23, Univ. of California, Berkeley, (1982)
- 8) 長沼一洋, 他: 面内せん断応力下におけるテンションスティフニング特性のモデル化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp. 649~650, (1990)
- 9) 長沼一洋: 三軸圧縮下のコンクリートの応力~ひずみ関係, 日本建築学会構造系論文集, 第474号, pp. 163~170, (1995)
- 10) 大沼博志, 他: 三軸圧縮応力下におけるコンクリートの強度特性, 電力中央研究所報告, No. 381021, (1981)
- 11) 長沼一洋: 平面応力場における鉄筋コンクリート板の非線形解析モデル 鉄筋コンクリート壁状構造物の非線形解析手法に関する研究(その1), 日本建築学会構造系論文報告集, 第421号, pp. 39-48, (1991)
- 12) Naganuma, K., et al.: Simulation of Nonlinear Dynamic Response of Reinforced Concrete Scaled

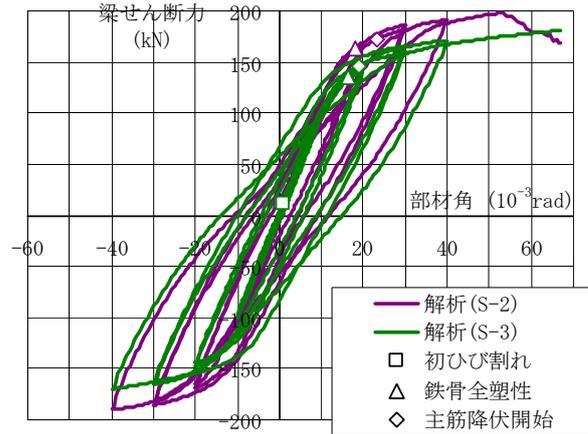


Fig. 17 梁せん断力-部材角関係
Beam Shear Load - Rotation Angle Relationships

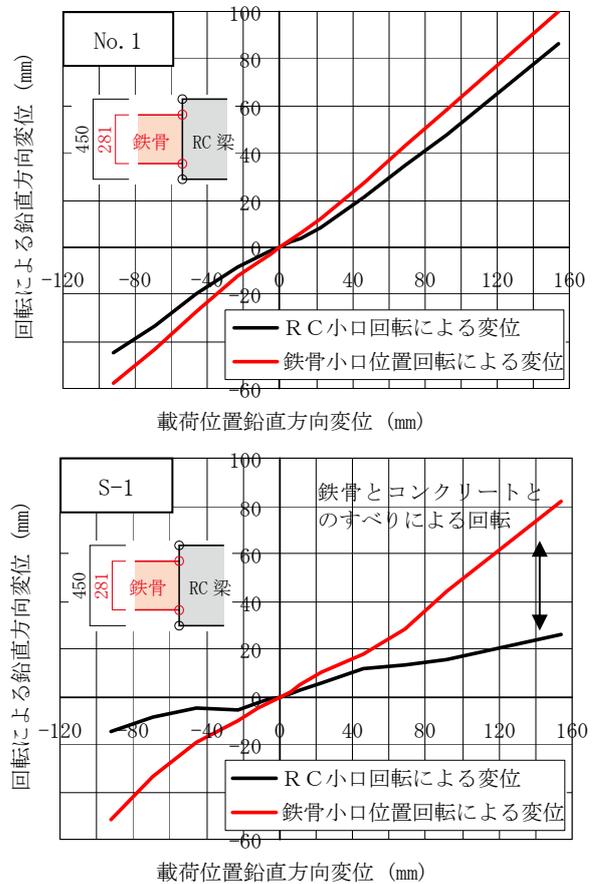


Fig. 18 鉄骨の回転による変位の比較
Comparisons of Steel Beam Rotation Displacement

Model Using Three-Dimensional Finite Element Method, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 586, (2004)

- 13) 穴吹拓也, 他: SRC造内柱梁接合部におけるせん断応力分担に関する非線形有限要素解析, コンクリート工学年次論文集, Vol. 27, No. 2, pp. 403~408, (2005)
- 14) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, pp. 56~59, (1999)