



## 鉄筋コンクリート梁部材のかぶりコンクリート圧壊時の変形性能評価法

胡文靖<sup>1)</sup>、北山和宏<sup>2)</sup>

1) 非会員 首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 建築学域、博士前期課程

e-mail : wenjinghu61@yahoo.com

2) 正会員 首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 建築学域、教授 工博

e-mail : kitak@tmu.ac.jp

### 要 約

近年、建物の耐震設計を性能規定化する働きが活発化しており、2004年に日本建築学会から「鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針（案）・同解説」<sup>1)</sup>が刊行され、鉄筋コンクリート（RC）部材の各種限界状態の評価法が提案された。梁降伏型のRC骨組の梁部材では、かぶりコンクリート圧壊は部材の修復性に影響を与える重要な限界状態である。そこで、本研究では内柱梁接合部を通し配筋される梁主筋の付着性能に対する主要な影響因子である梁主筋降伏強度を実験変数として、RC十字形柱梁部分架構の水平力繰返し載荷実験を新たに行い、既往の実験結果を合せて検討することによって、かぶりコンクリート圧壊時の梁部材の変形性能を評価する手法を提案した。

キーワード： 鉄筋コンクリート十字形部分架構、梁、柱梁接合部、かぶりコンクリート圧壊、変形性能

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート梁部材の耐震性能評価について、2004年に日本建築学会から刊行された「鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針（案）・同解説」<sup>1)</sup>は、RC梁部材の主筋降伏やかぶりコンクリート圧壊等の各種限界状態に対応する変形性能評価手法の一例を示した。その後、鈴木・北山の研究<sup>2)</sup>は梁部材のかぶりコンクリート圧壊時の新しい変形性能評価手法を提案した。その中で、梁変形を(A) ヒンジ領域のせん断変形、(B) 危険断面での梁主筋の抜け出しに寄与する、柱梁接合部の中央での梁主筋滑りによる回転変形、(C) 柱梁接合部の中央から危険断面までの梁主筋の伸び量と梁ヒンジ域での梁主筋の伸び量とが危険断面でのひび割れ開口に集中すると仮定したとき（図6参照）、これによって生じる回転変形、及び(D) 非ヒンジ領域の弾性曲げ変形、の4つの成分に分解してその推移を検討した。4つの変形成分については4章で詳述する。本研究では梁主筋降伏強度を変数として新たに十字形柱梁部分架構の実験を行い、既往の実験結果<sup>2)3)4)</sup>も適宜利用して、柱梁接合部中央での梁主筋の滑り量の評価法及び接合部内梁主筋のひずみ分布を新たに提示する。鈴木・北山の提案<sup>2)</sup>にこの成果を組み込むことでかぶりコンクリート圧壊時の変形性能評価手法を提案する。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体概要

表1に試験体諸元、表2と表3にコンクリートと鋼材の材料特性、図1に試験体の配筋と寸法を示す。今回実験を行った試験体 H-1、H-2 では梁主筋降伏強度を変数とし、既往の実験 (W-1<sup>3)</sup>、W-2<sup>3)</sup>、W-3<sup>4)</sup>、J-2<sup>5)</sup> では梁主筋径と梁せいを変数とした。試験体は全て縮尺約 1/2 の平面十字形柱梁部分架構で、柱断面サイズは 350mm×350mm で共通である。試験体 W-1、W-2<sup>3)</sup>、H-1、H-2 の梁断面は 400×250mm である。試験体 W-3<sup>4)</sup> の梁断面は 250×250mm、試験体 J-2<sup>5)</sup> の梁断面は 350×250mm である。試験体 H-1、H-2 の柱軸力は圧縮一定 700kN (軸力比 0.10)、梁主筋は USD590B の D19 (H-1) 及び SD345 の D19 (H-2) を配筋した。試験体 W-1、W-2、W-3 の柱軸力は圧縮一定 910kN (軸力比 0.14)、梁主筋は SD345 の D22 (W-1、W-3) 及び SD345 の D13 (W-2) を配筋した。J-2<sup>5)</sup> の柱軸力は 0、梁主筋は SD345 の D22 を配筋した。いずれの試験体も梁には 2-D10@100 のせん断補強筋を配筋した (せん断補強筋比 0.57%)。

RC 骨組内の梁部材の変形性能には、内柱梁接合部内を通し配筋される梁主筋の付着性状が大きく影響する。そこで、梁通し筋の柱梁接合部内での付着の良否を判断するために、次に説明する付着指標  $B_I$ <sup>1)</sup> を用いる。付着指標  $B_I$  は柱梁接合部内の梁主筋の付着強度に対する存在し得る最大付着応力度の比であり、式 (1) ~ (3) によって計算される<sup>1)</sup>。付着指標  $B_I$  が 1 以下の場合には接合部内梁主筋の付着性状が良いと判断される。試験体 W-2 の付着指標  $B_I$  は 0.60、H-2、W-1、W-3 はそれぞれ 0.99、1.04、1.06、J-2<sup>5)</sup> と H-1 はそれぞれ 1.34、1.56 であった。これより、W-2 は接合部内梁主筋の付着が良好と考えられるが、H-2、W-1、W-3 は接合部内梁主筋の付着が良好と劣化との中間にあると考えられる。試験体 J-2、H-1 は接合部内梁主筋の付着劣化が顕著に生じると判断した。

$$B_I = \frac{u_{b,av}}{\tau_u} \quad (1)$$

$$u_{b,av} = \frac{3+\gamma}{8} \cdot \frac{\sigma_y \cdot d_b}{D_c} \quad (2)$$

$$\tau_u = 0.7(1 + \frac{\sigma_0}{\sigma_B}) \sigma_B^{2/3} \quad (3)$$

ここで、 $\gamma$  : 梁断面の複筋比で 1 以下、 $\sigma_y$  : 梁主筋の降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $d_b$  : 梁主筋径 (mm)、 $D_c$  : 柱せい (mm)、 $\sigma_0$  : 柱の圧縮軸応力度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $\sigma_B$  : コンクリート圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>) である。

RC 骨組の柱梁接合部内梁主筋の付着性状には、柱梁接合部の損傷が影響を与えると考えられる。そこで、柱梁接合部の損傷度を判断するために、次に説明する接合部曲げ余裕度を用いる。接合部曲げ余裕度は梁曲げ終局耐力に対する接合部曲げ降伏耐力の比である。柱梁接合部の曲げ降伏耐力は楠原・塩原の提案<sup>8)</sup>を用いて計算する。試験体 W-2、W-3、H-2 の接合部曲げ余裕度はそれぞれ 2.01、1.91、1.80 で、接合部損傷は軽微と考える。試験体 W-1、J-2、H-1 の接合部曲げ余裕度はそれぞれ 1.60、1.36、1.52 で、接合部の損傷程度は試験体 W-2、W-3、H-2 より大きいと考える。

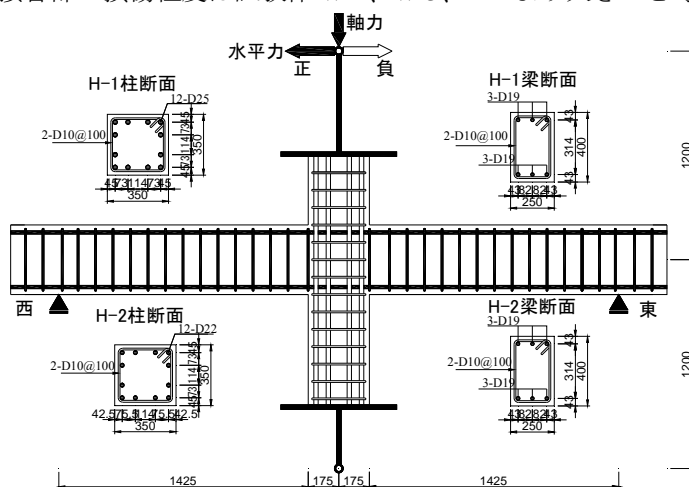


図1 試験体 H-1、H-2 の配筋および柱梁断面

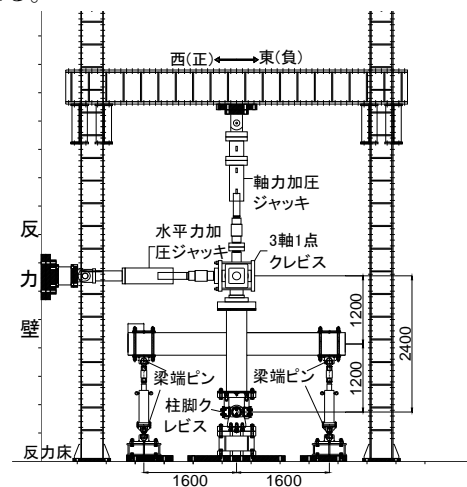


図2 加力装置



### 3.2 梁の復元力特性

図4に各試験体の東梁の曲げモーメント - 部材角関係を示す。図の第1象限は上端引張時、第3象限は下端引張時である。図中の▲、◆、●はそれぞれ梁主筋降伏、観察による梁かぶりコンクリート圧壊及び最大曲げ耐力を示す。水平破線は表1の梁節点曲げ終局耐力を示す。試験体 H-1 では梁主筋が降伏した後、梁かぶりコンクリート圧壊で耐力が決まった。試験体 W-1<sup>3)</sup>では梁主筋が降伏してかぶりコンクリートが圧壊した後、柱梁接合部の破壊で耐力が決まった。試験体 H-1、W-1 の柱主筋は降伏せず、弾性がほぼ保たれた。試験体 W-2、W-3<sup>4)</sup>、H-1、H-2、J-2<sup>5)</sup>では梁主筋が降伏した後、ヒンジ域のかぶりコンクリートの圧壊によって耐力が決まった。試験体 W-2 以外は逆 S 形の復元力特性で、柱梁接合部内の梁主筋の付着劣化により履歴ループのピンチ化と梁付け根コンクリートの圧壊が生じた。表4と図4より、全ての梁かぶりコンクリート圧壊時の耐力は最大耐力とほぼ同等であった。かぶりコンクリート圧壊時の梁部材角と最大耐力時の部材角の差分は0~0.51%であり、両者は一致しない場合もあった。

表4 かぶりコンクリート圧壊時と最大耐力時の東梁の部材角および曲げ耐力

試験体名		部材角, %						耐力, kN・m					
		H-1	H-2	W-1	W-2	W-3	J-2	H-1	H-2	W-1	W-2	W-3	J-2
上端筋引張時	かぶりコンクリート圧壊時	1.82	2.29	2.70	3.15	4.17	—	195	135	139	87	92	—
	最大耐力時	2.10	2.65	2.71	3.20	5.35	3.23	204	138	152	93	98	167
下端筋引張時	かぶりコンクリート圧壊時	1.78	1.76	1.79	3.11	5.33	2.71	193	121	152	98	107	148
	最大耐力時	1.40	2.27	2.41	3.00	5.33	2.87	199	125	159	103	107	158

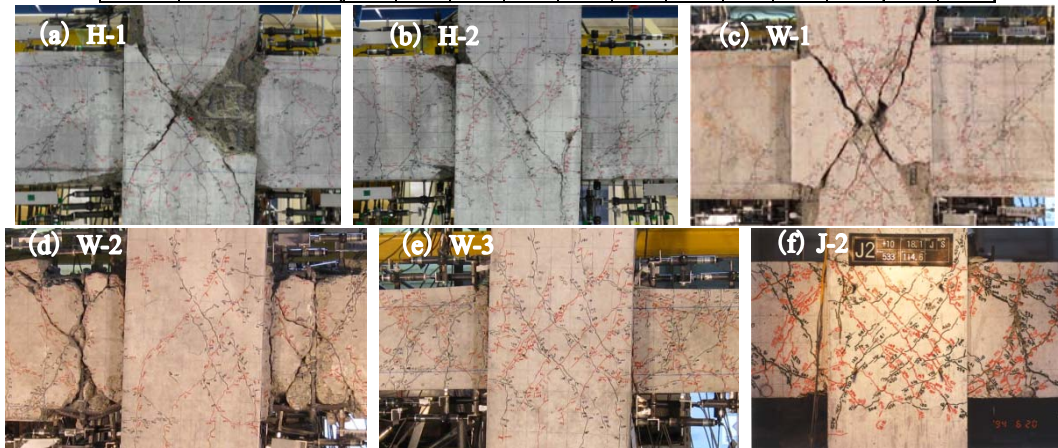


図3 最終ひび割れ状況

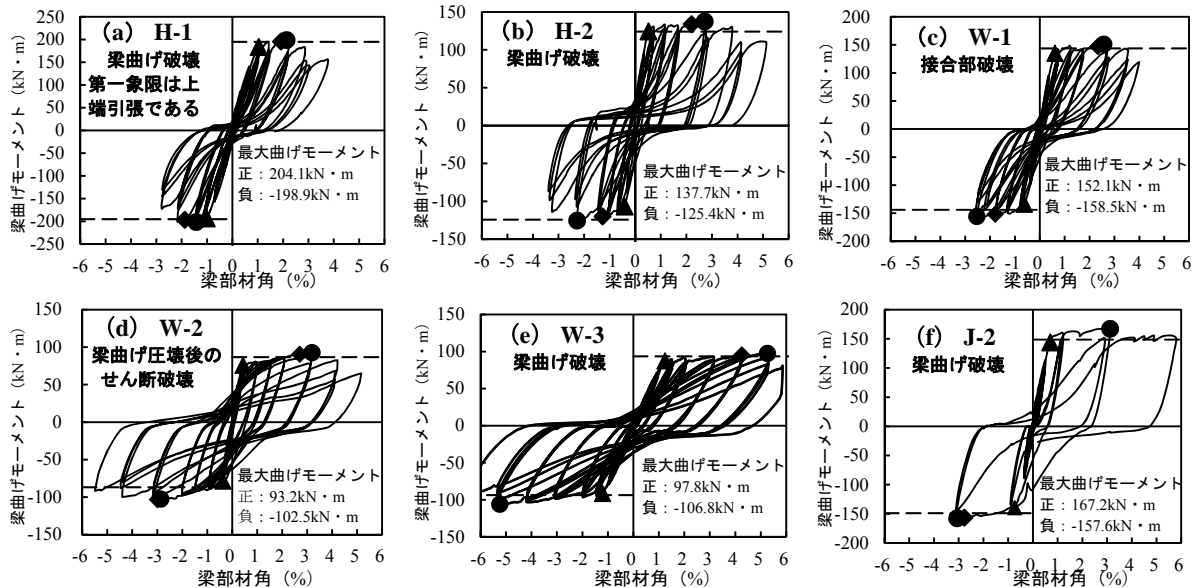


図4 各試験体の東梁の曲げモーメント - 部材角関係

### 3.3 試験体の変形成分と破壊モード

図5に東梁の上端が引張となる正載荷時を対象として、層間変形角に占める柱、梁及び柱梁接合部の各変形成分を示す。最大耐力時の層間変形角を赤の縦破線で示した。図の横軸は直接測定した層間変形角である。試験体H-2とJ-2の梁の変形成分は層間変形角の80%以上を占めたため、破壊モードは梁曲げ破壊と判断した。試験体H-1では、層間変形角5%の時に柱梁接合部の激しい損傷を観察した。柱梁接合部の変形成分は梁の変形成分の1/3に達したが、主要な変形成分は梁であった。そこで、破壊モードは梁曲げ破壊と判断した。試験体W-1は梁主筋が降伏した後、柱梁接合部破壊によって耐力が低下した。試験体W-2は梁主筋が降伏した後、層間変形角2.9%で最大層せん断力に達し、その後で梁上下の曲げひび割れが危険断面を貫通し、梁ヒンジ域でのせん断変形成分の増加に伴って急激な耐力低下を示した<sup>3)4)</sup>。これより梁曲げ圧壊後のせん断破壊と判断した。試験体W-3は梁主筋が降伏した後、層間変形角5%で最大耐力に達し、その後に曲げ変形成分が急増して梁曲げ破壊した<sup>3)4)</sup>。

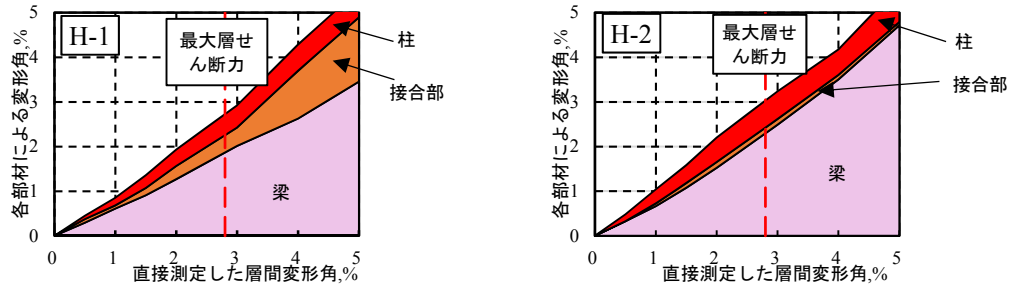


図 5 (a) 試験体 H-1 と H-2 の変形成分

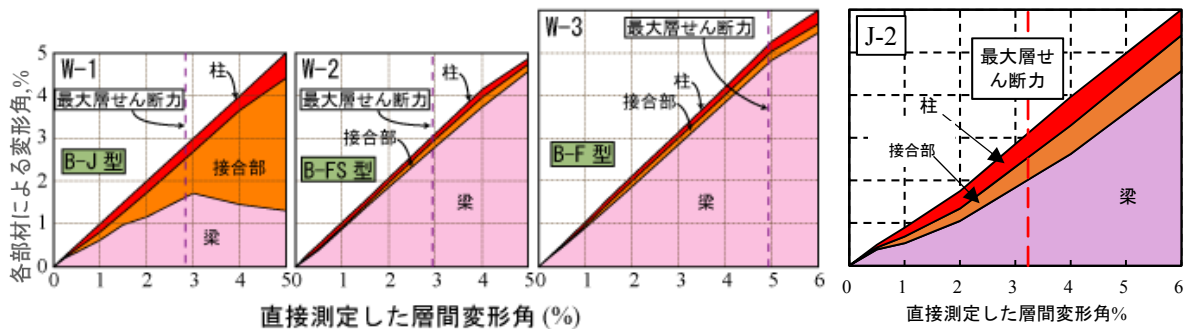


図 5 (b) 試験体 W-1、W-2、W-3、J-2 の変形成分<sup>3)4)5)</sup>

## 4. 梁主筋降伏以後の部材変形性能

### 4.1 梁の変形成分の分解

本研究では、鈴木・北山の提案<sup>2)</sup>と同様、梁主筋降伏からかぶりコンクリート圧壊までの梁部材角を以下の4つの変形成分に分解した。すなわち、(A) ヒンジ領域のせん断変形 $\delta_{u,s}$ による変形角 $R_{u,s}$ 、(B) 柱梁接合部の中央での梁主筋滑り量 $\Delta S_{u,j}$ に起因する回転角 $R_{u,j}$ （以下、主筋滑りによる回転角）、(C) 柱梁接合部の中央から梁ヒンジ領域における梁主筋の総伸び量 $\Delta S_{u,p}$ が危険断面位置に集中すると仮定したときにこれによるひび割れ開口によって生じる回転変形角 $R_{u,p}$ （以下、塑性回転角）、および (D) 非ヒンジ領域の弾性曲げ変形角 $R_{u,f}$ の4つの変形成分である。本研究で用いる変形成分概念図と後述する検証に基づき設定した梁主筋ひずみ分布を図6に示す。

### 4.2 変形成分分解の手法

図7に変形成分の分解に用いた変位計の設置状況を示す。柱梁接合部に埋め込んだ標点から梁端までのたわみ $\delta_u$ 、梁危険断面から1D（D:梁せい）までをヒンジ領域と想定し、同標点からその位置までのたわみ $\delta_u'$ を測定した。これらは梁危険断面でのひび割れ開口に伴う変形成分を含む。柱梁接合部中央において梁隅主筋中央に溶接したねじ棒の直近のコンクリートに対する移動量を変位計で測定し、接合部中央での主筋の滑り量 $\Delta S_{u,j}$ とした。

(1) ヒンジ領域のせん断変形角 $R_{u,s}$

平石の提案した手法<sup>7)</sup>に基づき、図8のヒンジ域せん断変形測定変位計で計測された、4つの節点の対角線方向の伸縮の差からせん断変形角を計算した。

(2) 主筋滑りによる回転角 $R_{u,j}$

柱梁接合部中央で測定した主筋の滑り量 $\Delta S_{u,j}$ が柱面での曲げひび割れ幅の一部を構成すると考え、 $\Delta S_{u,j}$ を梁の回転中心高さ $x_n$ で除したものを主筋滑りによる回転角 $R_{u,j}$ とする。回転中心高さ $x_n$ は梁の上下面に設置した変位計（図7）から梁軸方向変位が零となる点を線形補間で求め、その点から引張主筋までの距離とする。

(3) 塑性回転角 $R_{u,p}$

想定したヒンジ領域に設置した変位計（図7）で計測したヒンジ領域変形 $\delta_u$ から、上記の（1）および（2）で計算した $R_{u,s}$ および $R_{u,j}$ を差し引いたものを塑性回転角 $R_{u,p}$ とする。

(4) 非ヒンジ域の弾性曲げ変形角 $R_{u,f}$

直接測定した梁部材角から（1）～（3）を差し引いた値を非ヒンジ域の弾性曲げ変形角 $R_{u,f}$ とする。

### 4.3 梁主筋降伏以後の変形成分の推移

4.2の方法で分解した、梁主筋降伏からかぶりコンクリート圧壊までの各変形成分の推移を図9に示す。縦軸に各変形成分による梁部材角、横軸に直接測定した梁部材角を示す。□、△、◇及び○はそれぞれヒンジ域のせん断変形角、梁主筋滑りによる回転角、塑性回転角及び非ヒンジ域の弾性曲げ変形角を示す。

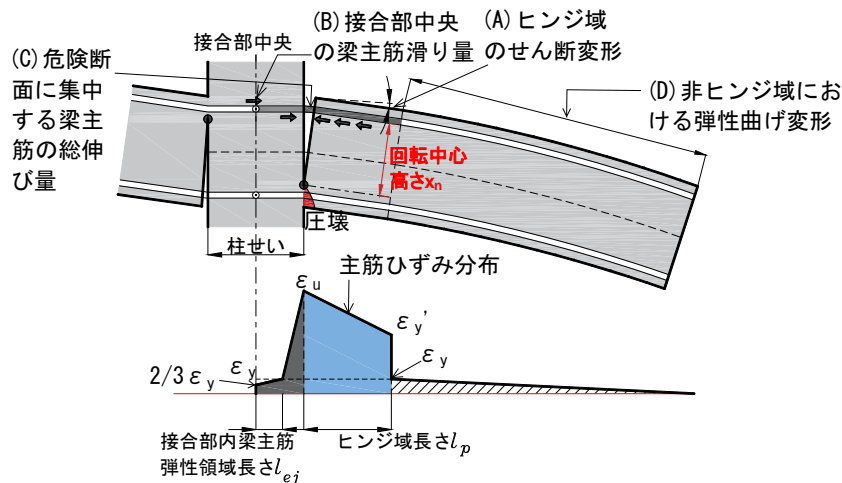


図6 変形成分の概念図と仮定する梁主筋ひずみ分布

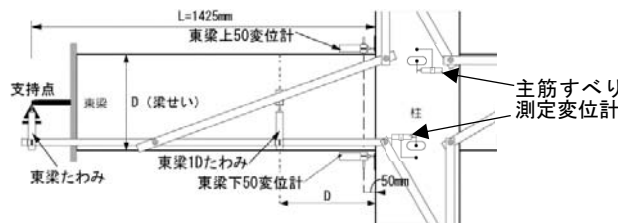


図7 変位計設置図

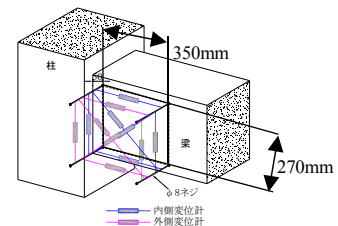


図8 せん断変形測定用の変位計の設置

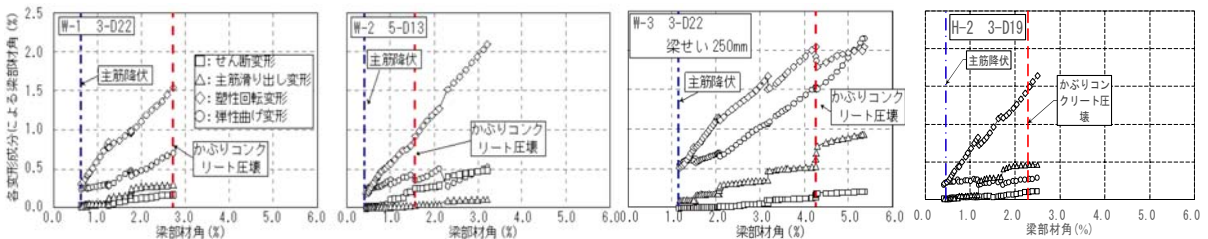


図9 (a) 上端筋引張時の主筋降伏から下端かぶりコンクリート圧壊までの変形成分の推移

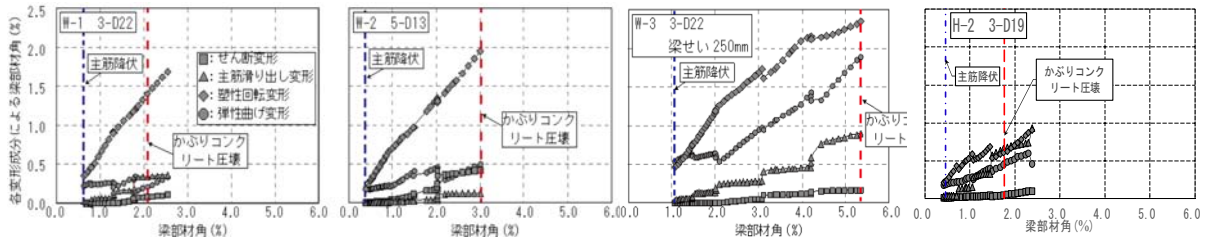


図9 (b) 下端筋引張時の主筋降伏から上端かぶりコンクリート圧壊までの変形成分の推移

試験体W-1では、塑性回転角が梁部材角の60%~67%を占めた。かぶりコンクリート圧壊時には梁主筋滑りによる回転角が梁部材角の15%を占めた。梁主筋に5-D13を用いた付着が良い試験体W-2では、かぶりコンクリート圧壊時には塑性回転角が梁部材角の50%を占めた。梁主筋滑りによる回転角は主筋降伏時には全変形のおよそ5%を占めるに過ぎず、それ以後ほぼ一定に推移した。これより梁主筋の付着が良好に維持されたことを確認した。せん断スパン比が大きい試験体W-3では、かぶりコンクリート圧壊時には塑性回転角が梁部材角の48%を占めたが、非ヒンジ領域における弾性曲げ変形角も梁部材角の38%を占めた。これは想定したヒンジ域長さが1Dであるのに対し実験では1.5Dとなった為、塑性回転角の一部が非ヒンジ域の弾性曲げ変形角に含まれた可能性が考えられる。梁主筋に3-D19 (SD345)を用いた試験体H-2では、かぶりコンクリート圧壊時には塑性回転角と梁主筋滑りによる回転角とはほぼ同等であった。梁主筋降伏からかぶりコンクリート圧壊に至る間、塑性回転角は部材角の35%~60%を占め、梁主筋滑りによる回転角は部材角の20%~35%を占めた。上記二つの変形成分のほか、下端引張時にかぶりコンクリートが圧壊する時では、弾性曲げ変形角は部材角のほぼ25%を占めた。

## 5. 梁部材のかぶりコンクリート圧壊時の変形性能評価

### 5.1 変形性能評価の前提

鈴木・北山<sup>2)</sup>は梁部材のかぶりコンクリートが圧壊する時の変形性能を評価する手法を提案したが、接合部中央での梁主筋の滑り量と接合部内梁主筋のひずみ分布の評価には、実験結果との比較により改善の余地が認められた。そこで本論ではこの両者を修正した評価手法を提案する。鈴木・北山<sup>2)</sup>と同様、主筋に沿った付着劣化によって生じる接合部中央での梁主筋の滑り量 $\Delta S_{u,j}$ 、及び柱梁接合部中央からヒンジ域までの主筋の総伸び量 $\Delta S_{u,p}$ が全て梁危険断面に集中すると仮定する。ヒンジ域における弾性曲げ変形角及び、非ヒンジ域におけるせん断変形角は微小とし無視した。梁主筋の総伸び量 $\Delta S_{u,p}$ は (a) 接合部中央から危険断面までの梁主筋の伸び量 $\Delta S_{u,p,j}$ 、および (b) 梁部材ヒンジ域の主筋の伸び量 $\Delta S_{u,p,b}$ に分解する (図6参照)。これより、梁危険断面に集中する鉄筋の総伸び量は $\Delta S_{u,p} = \Delta S_{u,j} + \Delta S_{u,p,j} + \Delta S_{u,p,b}$ で算出する。 $\Delta S_{u,p,j}$ は本論の提案で算出し、 $\Delta S_{u,p,b}$ は鈴木・北山の提案<sup>2)</sup>で算出する。

### 5.2 各値の算出方法

梁主筋のひずみ分布を決定するには、以下の値を評価する必要がある。すなわち、図6に示す梁危険断面での主筋のひずみ $\epsilon_u$ 、梁部材内の主筋のヒンジ域と非ヒンジ域の境界のひずみ $\epsilon_y'$ 、ヒンジ域長さ $l_p$ 、柱梁接合部内梁主筋の弾性領域長さ $l_{ej}$  (詳細は後述) および接合部中央における滑り量 $\Delta S_{u,j}$ である。それぞれの算出法を以下に示す。

#### (1) 梁部材内および柱梁接合部内での梁主筋のひずみ分布

鈴木・北山の提案<sup>2)</sup>に従って、梁危険断面での主筋のひずみは材料実験で得られたひずみ硬化開始ひずみ $\epsilon_u$ とする。梁部材内の主筋のヒンジ域と非ヒンジ域の境界のひずみ $\epsilon_y'$ は式(4)で計算する。梁部材のヒンジ域長さ $l_p$ は式(5)で計算する。

$$\epsilon_y' = \frac{1}{2}(\epsilon_y + \epsilon_u) \quad (4)$$

$$l_p = 0.2(a/d) \cdot D \quad (5)$$

ここで、 $a$ :シアスパン (mm)、 $d$ :梁有効せい (mm)、および $D$ :梁せい (mm) である。

かぶりコンクリート圧壊時の試験体 H-1、H-2 の上端引張時と下端引張時の接合部内梁主筋のひずみ分布を図 10 に黒破線で示す。赤い点線は梁主筋の降伏ひずみである。上端及び下端の 3 本の梁主筋ごとに正・負両載荷時を対象として合計 6 本のひずみ分布（破線）を同一図内に示した。

同図より柱梁接合部中央付近では梁主筋が弾性に留まる領域が存在する。接合部中心に対して左右対称のひずみ分布とみなし、この領域の半分の長さを弾性領域長さ $l_{ej}$ と定義する。接合部中央位置の梁主筋ひずみは降伏ひずみのほぼ 2/3 であった。危険断面位置（すなわち柱面で接合部中央から $\pm 175\text{mm}$ のところ）の梁主筋ひずみはほぼひずみ硬化開始ひずみに達した。

以上より、かぶりコンクリート圧壊時の接合部内梁主筋のひずみ分布を図6のように設定した。図の中で、 $\varepsilon_y$ :梁主筋降伏時ひずみ、 $\varepsilon_u$ :梁主筋ひずみ硬化開始ひずみである。図10に設定したひずみ分布を薄色の太線で示す。弾性領域長さ $l_{ej}$ を経験的に定めるために、梁せん断スパン比 $a/d$ を付着指標 $B_f$ で除した指標 $(a/d/B_f)$ との関係を図11に示す。横軸の指標 $a/d/B_f$ が増大するほど弾性領域長さ $l_{ej}$ が大きくなった。これより弾性領域長さ $l_{ej}$ を最小二乗近似で同図の破線で示す式(6)のように評価した(単位: mm)。ここで、 $D_c$ :柱せい (mm) である。塑性回転角はひずみ分布の積分を平面保持を仮定した断面解析で算出した中立軸高さ $x_n$ で除すことによって求めた。

$$l_{ej} = \left(0.036 \frac{a/d}{B_f} + 0.25\right) \cdot 0.5D_c \quad (6)$$

### (2) 柱梁接合部中央位置での梁主筋の滑り量

弾性領域長さ $l_{ej}$ と柱梁接合部中央での梁主筋の滑り量（実験値）の関係を図12に示す。ここで、接合部内梁主筋の弾性領域長さ $l_{ej}$ は接合部内主筋の付着性状を評価できる指標のひとつと考えた。同図よりばらつきはあるものの、弾性領域長さ $l_{ej}$ が増大する（すなわち、接合部内での梁主筋付着が良好に維持される）と、接合部中央での梁主筋滑り量は減少した。そこで、上端筋と下端筋の滑り量を最小二乗近似で式(7)のように評価した(単位: mm)。主筋滑りによる変形角は式(7)で得た滑り量を平面保持を仮定した断面解析で算出した中立軸高さ $x_n$ で除すことによって求めた。

$$\begin{aligned} \text{上端筋} : \Delta S_{u,j,t} &= -0.0218l_{ej} + 2.73 \\ \text{下端筋} : \Delta S_{u,j,b} &= -0.0098l_{ej} + 1.68 \end{aligned} \quad (7)$$

### (3) ヒンジ域におけるせん断変形角および弾性曲げ変形角

文献<sup>1)</sup>の式(付5.18)および式(付5.17)を用いて算出する。

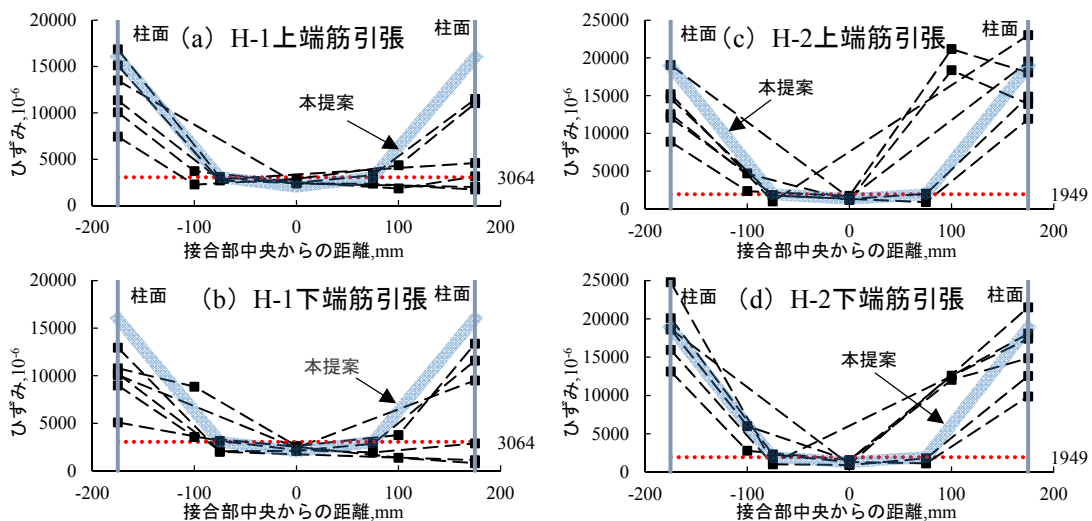


図 10 柱梁接合部内での梁主筋のかぶりコンクリート圧壊時のひずみ分布（実験値）



## 6. 精度の検証

表1に示す試験体6体のかぶりコンクリート圧壊時の梁部材角を対象として、本論で提案した手法による計算値と実験値との比較を図13に示す。塑性回転角と主筋滑りによる回転角の計算値と実験値との比較を図14に示す。試験体W-1、W-3、H-2、J-2の部材角の評価精度はほぼ良好と判断した。提案手法で求めた塑性回転角及び主筋滑りによる回転角は、試験体W-1、W-3及びH-2の実験値をほぼ良好に再現した。

接合部内での梁主筋付着が良好だった試験体W-2の梁部材角計算値は実験値を平均35%過小評価した。これは塑性回転角を過小評価したためである。梁部材角の実験値と計算値の差分は1.20%（上端引張）と1.73%（下端引張）であった。そのうち、塑性回転角の実験値と計算値の差分は1.25%（上端引張）と1.57%（下端引張）であり、梁部材角の実験値と計算値の差分はほぼ塑性回転角の差分により決まった。

高強度梁主筋を用いた試験体H-1の梁部材角の計算値は実験値を平均40%過大評価した。この原因として、梁部材のヒンジ領域での梁主筋ひずみ分布の評価に問題があると考えられる。試験体H-1のかぶりコンクリート圧壊時における梁ヒンジ域の主筋ひずみ分布を図15に示す。図15の縦軸はひずみゲージにより直接測定したひずみ、横軸は梁の危険断面からの距離である。赤い点線は梁主筋の降伏ひずみ、黒い破線は実験値の包絡線、緑の一点鎖線は鈴木・北山の提案<sup>2)</sup>である。危険断面での主筋ひずみはひずみ硬化開始ひずみに達しており、鈴木らの提案<sup>2)</sup>と同じであった。しかし、危険断面から100~200mmでのひずみは降伏ひずみよりもわずかに大きい3500 $\mu$ に留まり、鈴木・北山の提案<sup>2)</sup>で計算したヒンジ領域長さ320mmよりも実際のヒンジ域長さは大幅に小さくなった。このため、計算による塑性回転角が過大に評価された。

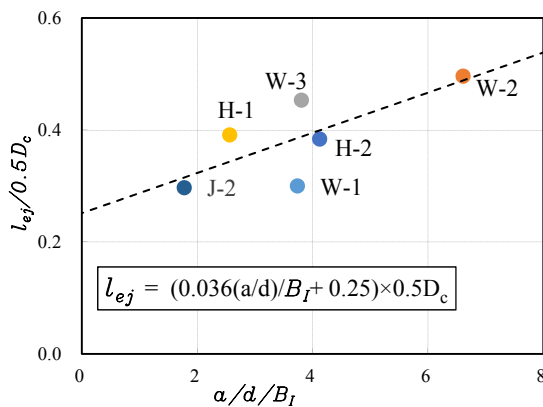


図11 弾性領域長さ $l_{ej}$ と $a/d$ 、 $B_t$ の関係

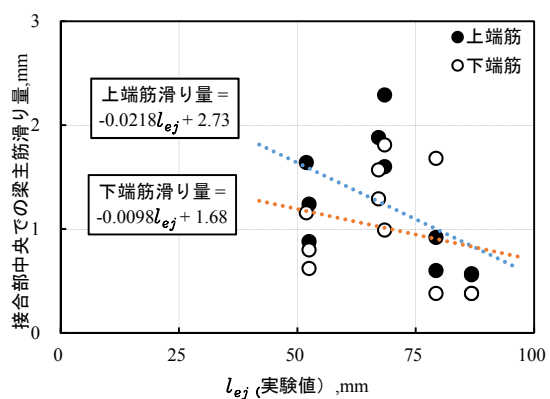


図12 弾性領域長さ $l_{ej}$ と主筋滑り量の関係

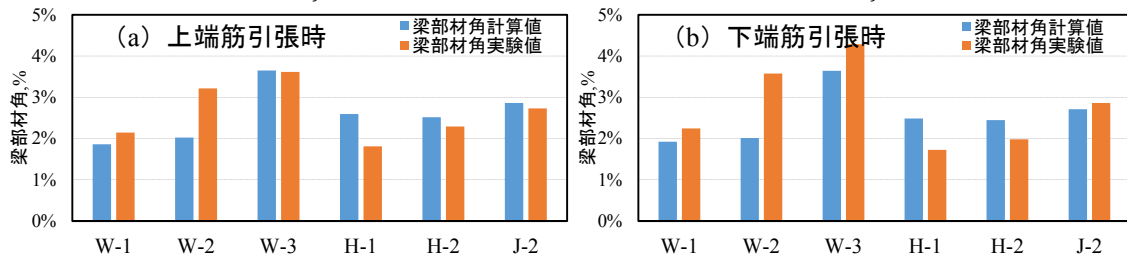


図13 提案手法の精度の検証

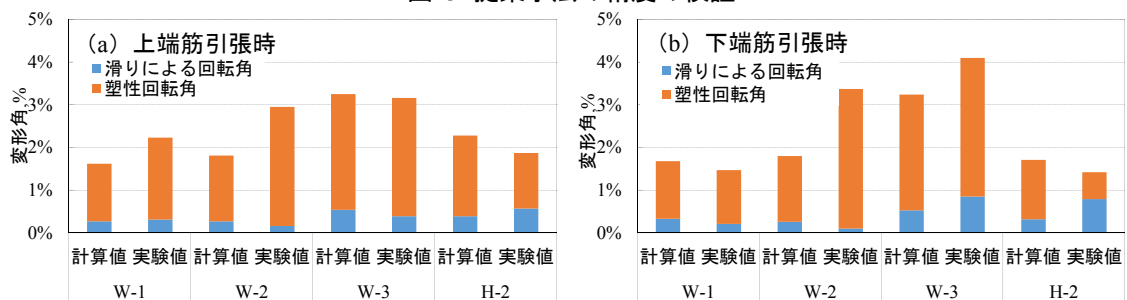


図14 塑性回転角と主筋滑りによる回転角の精度

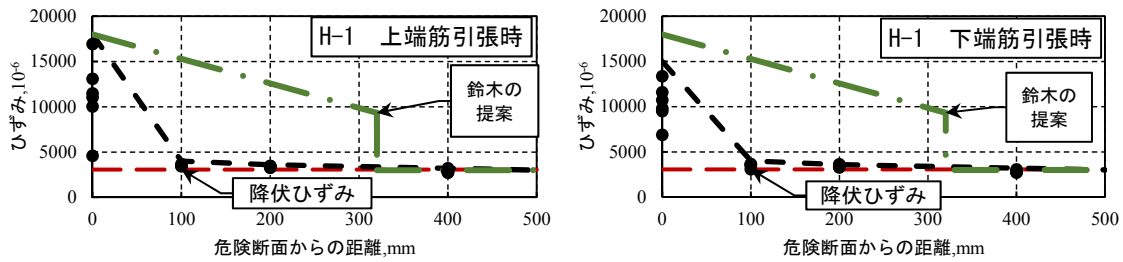


図 15 試験体 H-1 のヒンジ域での梁主筋ひずみ分布 (実験値)

## 7. 結論

本研究の目的は、鉄筋コンクリート骨組内の梁部材において梁端部のかぶりコンクリートが圧壊する時の変形性能を精度よく評価することである。そのために、梁主筋の降伏強度を変数としたRC十字形部分架構の水平載荷実験を行った。既往の試験体<sup>3)</sup>を含めて、梁部材角を、梁ヒンジ領域のせん断変形角、柱梁接合部中央での梁主筋滑りに起因する回転角、柱梁接合部の中央から梁ヒンジ領域における梁主筋の総伸び量が危険断面位置に集中すると仮定したときにこれによるひび割れ開口によって生じる回転角、および梁の非ヒンジ域の弾性曲げ変形角の4つの変形成分に分解し、主筋降伏からかぶりコンクリート圧壊までの各変形成分の推移を求めた。検討した4体の試験体では柱梁接合部の中央から梁ヒンジ域における梁主筋の総伸び量に起因する回転角が梁たわみの35%~67%と最も多くの変形を占めた。柱梁接合部中央での梁主筋滑りに起因する回転角はかぶりコンクリート圧壊時には、付着指標 $B_f$ が小さく接合部内梁主筋の付着が良好な場合には梁たわみに占める割合は0~5%、付着指標 $B_f$ が大きく付着劣化が生じる場合には17%~35%と大きく変化した。シアスパン比が大きい梁ではその非ヒンジ域の弾性曲げ変形角が全変形の34%~38%を占めた。

かぶりコンクリート圧壊時の梁部材角を上記の4つの変形成分の和として推定するため、鈴木・北山の提案<sup>2)</sup>に基づいて、柱梁接合部中央での梁主筋の滑り量を定量化する手法と接合部内梁主筋のひずみ分布を提案した。今回は6体の試験体を対象として提案手法の精度の検証を行った。そのうち、4体の試験体の平均精度はほぼ良好であった。ただし、高強度梁主筋を有する梁の部材角の計算値は実験値を平均40%過大評価し、柱梁接合部内において梁主筋の付着が良好な場合の梁部材角の計算値は実験値を平均35%過小評価した。これは柱梁接合部の中央から梁ヒンジ域における梁主筋の総伸び量に起因する回転角の評価が不十分であったためであり、さらなる検討が必要である。

## 謝 辞

本研究のために新規に実験した試験体 (H-1、H-2) の作製では朝日工業株式会社から鉄筋の提供を受け、高周波熱錬株式会社からは全般に渡って援助を得た。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針 (案)・同解説、2004年
- 2) 鈴木清久、北山和宏：鉄筋コンクリート骨組における梁部材の主筋降伏以降の変形性能評価、コンクリート工学論文集、Vol.35、No.2、2013年、pp.199-204
- 3) 鈴木清久、北山和宏、王磊：梁主筋の付着性状に着目した鉄筋コンクリート梁の各種限界変形性能に関する研究、コンクリート工学論文集、Vol.34、No.20、2012年、pp.235-240
- 4) 王磊、北山和宏、見波進：RC 十字形部分架構内の梁部材の耐震性能評価に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2 構造IV、2011年8月、pp.425-426
- 5) 姜柱、北山和宏：RC 骨組内の柱・梁接合部の入力せん断力と梁通し筋の付着に関する研究、日本建築学会構造工学論文集、Vol.42B、1996年3月、pp.169-179.
- 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、1999年
- 7) 平石久廣：耐震壁のせん断変形と曲げ変形の算定方法、日本建築学会論文報告集、No.333、1983年11月、pp.55-62
- 8) 楠原文雄、塩原等：鉄筋コンクリート造十字形柱梁接合部の終局モーメント算定法、日本建築学会構造系論文集、第75巻、第657号、2010年11月、pp.2027-2035