

梁曲げ崩壊型鉄筋コンクリート骨組における梁部材のかぶりコンクリート圧壊時の変形性能評価(その2)

鉄筋コンクリート梁 十字形部分架構 主筋の抜け出し
かぶりコンクリート圧壊

正会員 ○遠藤俊貴*1
同 鈴木清久*2
同 北山和宏*3

1. はじめに

本報では前報に続き、かぶりコンクリート圧壊時の主筋の梁危険断面の主筋の抜け出し量の推定法を提案する。その2では具体的な梁主筋のひずみ分布の推定法および主筋のすべり量の推定法を提案すると同時に、提案法の精度の検証を行う。

2. ひずみ分布の決定法

図-1に今回提案する危険断面の主筋の伸び量の算定法の概念図および、仮定する主筋のひずみ分布を示す。実験において接合部中央において、梁主筋のすべり量を計測していたため、危険断面に集中する主筋の長さを「接合部中央における主筋のすべり量 $\Delta S_{u,j}$ 」と「接合部中央からヒンジ領域における主筋の伸び量 $\Delta S_{u,p}$ 」の和とした。このひずみ分布、および接合部中央における主筋の滑り量を試験体の諸元によって決定することで、危険断面に集中する鉄筋の抜け出し量 $\Delta S(=\Delta S_{u,j}+\Delta S_{u,p})$ を算出する。

3. ひずみ分布の算出法

提案したひずみ分布の詳細な推定法を示す。ひずみ分布は、梁危険断面の主筋のひずみ ϵ_{u1} 、梁部材内の主筋の降伏域と非降伏域の境のひずみ ϵ_y' 、ヒンジ領域長さ l_p 、柱梁接合部内の主筋の降伏長さ l_p' の4つの値より定まると仮定する。図-1に提案するひずみ分布を示す。それぞれの算出法を以下に示す。

(1) 危険断面における主筋のひずみ ϵ_{u1}

繰り返し荷重を受けることで主筋の降伏領域が拡大し、これに伴い主筋の付着劣化が梁危険断面から接合部内および梁部材に拡大し、付着が劣化している範囲で応力が一定となる。前報に示す主筋の最大ひずみの分布では、

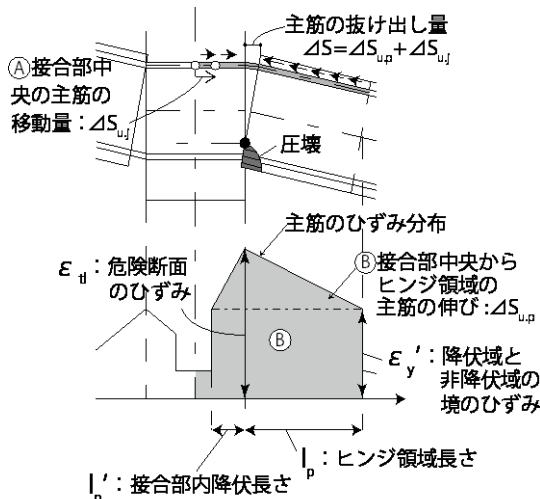


図-1 提案するひずみ分布

主筋のひずみはひずみ硬化開始時ひずみ ϵ_{UL} を下回った。よって本実験では付着劣化範囲全てが、ひずみ硬化開始時ひずみに達するような大変形は生じなかったと言える。以上より、本手法では危険断面における主筋のひずみ ϵ_{u1} は、主筋のひずみ硬化開始時ひずみと同値と仮定する。

(2) 主筋の降伏域と非降伏域の境のひずみ ϵ_y'

(1)の仮定より主筋は降伏と同時に急激にひずみが増加するが、この時のひずみは鉄筋に加わる応力が増加しない限り、降伏ひずみ ϵ_y 以上、ひずみ硬化開始時ひずみ ϵ_{UL} 以下である。また前報図-2で示したひずみ分布より ϵ_y' は全ての試験体において約0.8~1%を示した。これは主筋の降伏ひずみ ϵ_y とひずみ硬化開始時ひずみ ϵ_{UL} の平均値とほぼ同値である。そこで本検討では主筋の降伏域と非降伏域の境のひずみ ϵ_y' は式-1より算出すると仮定する。

$$\epsilon_y' = \frac{1}{2}(\epsilon_y + \epsilon_{UL}) \quad (1)$$

(3) ヒンジ領域長さ l_p 、接合部内の主筋の降伏長さ l_p'

吉岡ら¹⁾はヒンジ領域長さ l_p をシアスパン比より算出する手法を提案した。これは柱単体を対象とした結果であり、梁のヒンジ領域長さを算出する際は柱梁接合部からの主筋の抜け出しを考慮する必要がある。また柱梁接合部内の主筋の降伏長さ l_p' は、梁部材のヒンジ領域長さ l_p の拡大に伴い縮小することが姜ら²⁾により示された。図-2にシアスパン比とかぶりコンクリート圧壊時の梁部材のヒンジ領域長さ関係を、図-3にシアスパン比と接合部内の主筋の降伏長さ関係を示す。試験体は本研究で検討した試験体3体と、姜ら²⁾が行った十字形試験体2体および、梁部材の両側に十字形接合部を有するサ形試験体4体の計9体を対象とする。ヒンジ領域長さ及び接合部内主筋の降伏長さはそれぞれ、梁せい、柱せい(Dc)で除して正規化する。ヒンジ領域長さは主筋の降伏に伴う急激なひずみの増加を確認した範囲とした。対象試験体のシアスパン

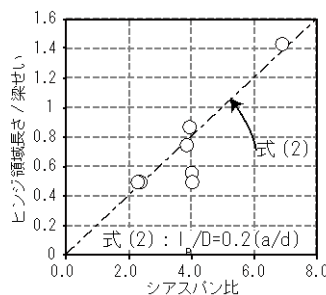


図-2 梁ヒンジ領域長さ

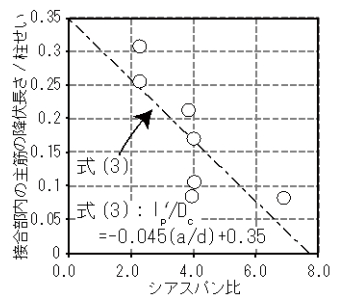


図-3 柱梁接合部内の主筋の降伏長さ

ン比は 2.3~6.9 である。図-2 では吉岡ら¹⁾の検討同様、塑性ヒンジ長さがシアスパン比の増加に伴って長くなる傾向が見られた。また図-3 では姜ら⁵⁾の検討同様接合部内の主筋の降伏長さが、シアスパン比の増加に伴い短くなる傾向が見られる。9 体について最小二乗近似により求めた回帰直線(式(2), (3))より、梁部材内のヒンジ領域長さ l_p 、および接合部内の主筋の降伏長さ l_p' を定式化する。

$$l_p = 0.2(a/d) \cdot D \quad (2)$$

$$l_p' = (-0.045(a/d) + 0.35) \cdot D_c \quad (3)$$

4. 柱梁接合部中央におけるすべり量 $\Delta S_{u,j}$

柱梁接合部中央における主筋のすべり量 $\Delta S_{u,j}$ は、接合部内の主筋の付着の良否に大きく左右される。そこで本研究で検討した試験体 3 体と、姜ら²⁾の試験体 6 体について、付着指標 B_1 と、かぶりコンクリート圧壊時における接合部中央の主筋のすべり量 $\Delta S_{u,j}$ の関係を図-4 に示す。この図から付着指標が大きくなるに従って、接合部中央の主筋の滑り量 $\Delta S_{u,j}$ が増加する傾向が見られる。同図について最小二乗近似による回帰直線(式(4), (5))を求め、これにより接合部中央における上端筋の滑り量 $\Delta S_{u,j,t}$ 、下端筋の滑り量 $\Delta S_{u,j,b}$ を定式化する。

$$\Delta S_{u,j,t} = 1.04B_1 - 0.06 \quad (4)$$

$$\Delta S_{u,j,b} = 0.41B_1 + 0.28 \quad (5)$$

5. 精度の検証

本研究対象の試験体 3 体の危険断面に集中する鉄筋の伸び $\Delta S_{u,p}$ 及びすべり量 $\Delta S_{u,j}$ (図-1)について、本論文で提案した推定法による計算値と実験値、および指針¹⁾の計算値の比較を図-5 に示す。指針³⁾の計算値は仮定条件が異なるため、上記の 2 つの和 $\Delta S = (\Delta S_{u,p} + \Delta S_{u,j})$ のみを示す。本手法による危険断面に集中する鉄筋の伸び $\Delta S_{u,p}$ の推定値は、全試験体で実験値の 84~94%と精度良く評価できた。一方で接合部中央における主筋の滑り量 $\Delta S_{u,j}$ は基準試験体の W-1 で、実験値の 84%と精度良く評価できたが、梁主筋に 5-D13 を用いた試験体 W-2 では計算値が実験値の 137%となり、過大評価となった。シアスパン比の大きい試験体 W-3 では、 $\Delta S_{u,j}$ の計算値が実験値の 42%となり、過小評価となった。総抜け出し量 ΔS の推定値は、本手法

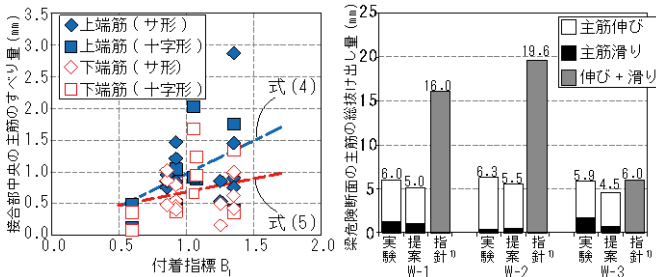


図-4 柱梁接合部中央の主筋のすべり量

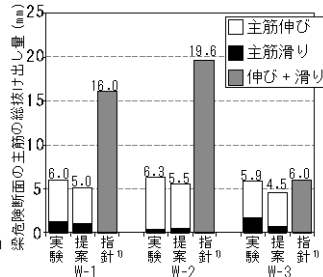


図-5 精度の検証

は指針の提案法に比べ精度は向上したが、実験値の 77~88%となり過小評価となった。これは本手法では危険断面における主筋のひずみ $\epsilon_{u,i}$ を頂点とする台形のひずみ分布を仮定したが、実際はより広い範囲でひずみ硬化開始時ひずみに達したためと考えられる。ただしこれは、かぶりコンクリート圧壊時の変形を小さく見積もるため安全側の評価であるとも言える。

6. まとめ

「鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説」で提案された、RC 梁部材のかぶりコンクリート圧壊時における、梁危険断面に集中する主筋の抜け出し量の算出法は過大評価となった。そこで梁危険断面への主筋の抜け出し量を『接合部中央から梁ヒンジ領域までの主筋の伸び量』と『接合部中央における主筋のすべり量』の和として算出する手法を提案した。上記の 2 つを定量化するため、かぶりコンクリート圧壊時の引張側主筋のひずみ分布と、柱梁接合部中央における主筋のすべり量について、それぞれ新たな推定法を提案した。

ひずみ分布は実験結果より、主筋の降伏とともに急激にひずみが増加する、梁危険断面を頂点とした台形のモデルと仮定した。この形を①梁危険断面のひずみ、②降伏域と非降伏域の境のひずみ、③ヒンジ領域長さ、および④接合部内の主筋の降伏長さ、の 4 つのパラメータより決定する。①と②は主筋のひずみ硬化開始時ひずみより算出した。③と④はシアスパン比より算出した。

接合部中央における主筋のすべり量は接合部内の付着性状を示す指標である付着指標より算出した。

本手法による危険断面に集中する鉄筋の伸び量の推定値は、全試験体で実験値の 84~94%と精度良く評価できた。一方で、接合部中央における主筋のすべり量の推定値は、実験値の 42~137%と非常に精度が悪かった。危険断面からの鉄筋の総抜け出し量の推定値は実験値の 77~88%と約 20%過小評価となった。これは本手法では危険断面における主筋のひずみ $\epsilon_{u,i}$ を頂点とする台形のひずみ分布を仮定したが、実際はより広い範囲でひずみ硬化開始時ひずみに達したためと考えられる。今回は本研究で用いた 3 体の試験体のみ精度の検証を行ったが、今後は様々な変数の試験体で、本手法の精度の検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 吉岡研三, 岡田恒男, 武田寿一: 鉄筋コンクリート柱の変形性能向上に関する研究-第 2 報-破壊機構並びに補強筋の歪分布について, 日本建築学会論文報告集, N0.282, pp.37-44, 1977.8
- 2) 姜柱, 北山和宏: 鉄筋コンクリート梁の降伏変形推定法, 日本建築学会構造系論文集, No.501, pp.85-92, 1997, 11
- 3) 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

*1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 助教・博士(工学)
 *2 住友林業ホームテック株式会社 修士(工学)
 *3 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 教授・工博

*1 Assistant Prof., Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng.
 *2 Sumitomo Forestry Hometech Co. Ltd., Mr.Eng.
 *3 Prof., Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng.