B-40

２種の降伏機構を有する複合型露出柱脚に関する研究
その２　強度算定式の検証

A Study on Composite Exposed-type Column Bases with Two Types Yield Mechanism

Part 2　Inspection of Strength Calculation Formula

○寺内将貴[1]，柳田佳伸[1]，新井佑一郎[1]，石鍋雄一郎[2]

*Masaki Terauchi[1], Yoshinobu Yanagita[1], Yuichiro Arai[1], Yuichiro Ishinabe[2]

Abstract: In this paper, compared the experimental results with the strength calculation formula. The strength of the composite exposed-type column bases can be calculated by the combination plus the strength of anchor bolts and base plate. As a result of a comparison calculation values and experimental values were almost fitting. The base plate as a basic performance could be obtained knowledge of increase in strength after a yield.

１．はじめに

本稿では、複合型露出柱脚の強度算定式の検証を実験結果との比較を基に行う。

２．複合型露出柱脚の耐力式

複合型露出柱脚はアンカーボルト（以下 A.bolt）降伏型にベースプレート（以下 BPL）降伏型を組み合わせたものであり、既往の研究[1)]を基に、軸力の効果を加算した単純累加式で柱脚の降伏強度 M_y と終局強度 M_u を表すことができる。

$$M_y = \frac{\sigma_y bBt^2}{dc_{am}} + M_{ay} + M_n = {}_f M_{by} + M_{ay} + M_n \quad \cdot\cdot\cdot (1)$$

$$M_u = s_a \cdot s \cdot {}_f M_{by} + M_{ay} + M_n \quad \cdot\cdot\cdot (2)$$

M_y : 複合型露出柱脚の降伏強度　　S : 形状定数（=1.5）
M_{ay} : アンカーボルト降伏による強度　　s_a : BPL塑性化後の強度上昇係数
M_y : 複合型露出柱脚の降伏強度　　σ_y : BPLの降伏点
M_n : 軸力による付加モーメント　　B : BPL幅

ここで、A.bolt 降伏による強度 M_{ay} と軸力による付加モーメント M_n は、指針[2)]等に示される従来の A.bolt 降伏柱脚の設計と同一の式を用いる。

３．強度式に関する考察

実験結果をもとに、降伏強度の計算式と実験値の対応性、強度上昇係数 s_a の値について検討を行う。

３-１．複合強度算定式の検証

実験結果から評価される柱脚強度と、既往の実験[3)]を基に整理した強度式を比較することで、複合型露出柱脚の強度式の整合性を確認する。

検討に用いる実験結果は、想定モデルに近い挙動をした、9N、16N、16R 試験体[4)]とする。実験結果から得られた柱脚の降伏強度を表 1 に示す。ここで、降伏強度の判断基準は、引張側の内 A.bolt 群の各々に貼り付けられたひずみゲージのうち 1 本が、材料試験より求めた降伏ひずみを超過した点とした。表 1 には式(1)で計算した予測荷重と、実験値に対する計算値の比率を示している。

表 1 実験/計算強度比較(単位 kN.m)

試験体名	方向	計算強度	実験値	実験/計算
9N	＋	205.4	178.9	0.87
	－		−204.3	0.99
16N	＋	125.3	128.2	1.02
	－		−159.5	1.27
16R	＋	125.4	156.9	1.25
	－		−124.2	0.99

比較から、実験値と計算値の比率は 0.87～1.3 程度であり、対応性は概ね良好であることが確認された。

今後、コンクリート基礎を用いた実験による検証も必要であるが、式(1)の実験定数 c_{am}=2.3 とほぼ同値で、複合型露出柱脚の設計が可能であることが示された。

３-２．外 BPL 塑性化後の強度上昇係数 s_a の検証

その 1 で報告した実験結果より、複合型露出柱脚は降伏後も緩やかに強度上昇する傾向が見られた。これは、終局時の耐力が全塑性耐力よりも大きくなることを表し、基礎梁などの周辺部材設計に必要な安全率の設定に影響を及ぼすことが考えられる。

この強度上昇について、軸力による影響がない 16N および 16R 試験体の柱部材角-脚部モーメント頂点関係図で示す（図 1、2）。図 1、2 には各部材角頂点時におけるひずみゲージの値より内 A.bolt に作用した応力と、全体から内 A.bolt 分を差し引き算出した外 BPL に作用した応力の分布をプロットしている。

また、強度上昇の要因は外 BPL の塑性化後の挙動と考えられるため、実験により得られた荷重 M_{CB} から内 A.bolt 負担分 M_a を除去することで、外 BPL の負担荷重 ${}_f M_b$ を求めた。なお、検証は無軸力の 16N, 16R 試験体で行った。${}_f M_b$,s_a の算出式を式(3), (4)に示す。ここで、内 A.bolt 引張力による脚部の曲げモーメント算定では、

１：青木あすなろ建設株式会社　　２：日大理工・教員・建築

$$ {}_fM_b = M_{CB} - M_a = M_{CB} - \sum_{k=1}^{n} \sigma_{ak} \cdot A_{bi} \cdot d_i \qquad \cdot\cdot\cdot (3) $$

$$ s_a = {}_fM_b / (s \cdot {}_fM_{by}) \qquad (s = 1.5) \qquad \cdot\cdot\cdot (4) $$

${}_fM_b$: 外BPL負担荷重　　n : 引張側内A.bolt本数
M_{CB} : 柱脚の全負担荷重　σ_a : 内A.bolt作用応力
M_a : 内A.bolt負担荷重　　d_i : 内A.bolt - 圧縮側支点間距離

支点を内 BPL の圧縮側はね出し部の中央と仮定し、本実験では d_i=35cm とした。

内 A.bolt の作用応力は、ひずみゲージ計測値をもとに、材料試験により得られた応力 - ひずみ曲線に対応する値とした。内 BPL 負担荷重の計算値は、$s \times {}_fM_{by}$ の値である。$s \times {}_fM_{by}$ と実験結果から式(4)に示す方法で、強度上昇率 s_a を求める。比較は、十分塑性化が進んだ柱部材角 1/33, 1/25, 1/17 サイクルの正負 1 回目で行った。比較結果を表 2、3 に示す。

比較結果から、変形量が増加するにつれ M_a, ${}_fM_b$ の値が増加した。全体荷重 M_{CB} に対する外 BPL 負担荷重 ${}_fM_b$ の割合は、16N で 0.6 程度、16R で 0.66 程度と、サイクルによらず一定の値となった。強度上昇率 s_a は 16N で 2 程度、16R で 2.3 程度となり、リブ板を設けたほうが高い値となった。

以上の結果より、必要最大回転角を 1/25rad とすると、外 BPL の強度上昇率 s_a は 2.0 程度を設計時に見込めばよいと考えられる。

4．まとめ

本論では、従来の A.bolt 降伏型柱脚に BPL 降伏型の要素を取り込んだ、複合型露出柱脚の強度式を提案し、実験結果と比較した。得られた知見を以下に示す。

1）BPL と A.bolt の 2 種類の弾塑性ばねで構成された複合型露出柱脚について、BPL 降伏強度と A.bolt 降伏強度の単純累加で耐力式を構築した。

2) 実験による試験体耐力と耐力式で評価した耐力を比較した結果、対応性は概ね良好であることが確認された。コンクリート基礎を用いた試験体で再確認が必要だが、既往の研究 [1)]で設定した実験定数 c_{am}=2.3 と同等の値で、複合型露出柱脚の設計が可能であることが示された。

3）外 BPL の降伏後耐力上昇係数 s_a は、実験結果から 2.0 程度と設定することで設計が可能であることが示された。

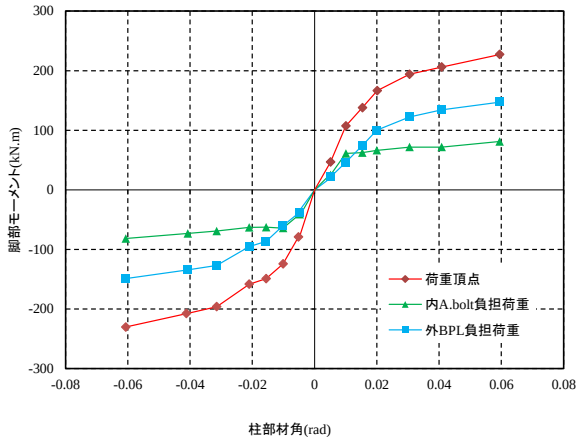

図 1　16N 試験体　柱部材角-脚部モーメント関係図（荷重頂点）

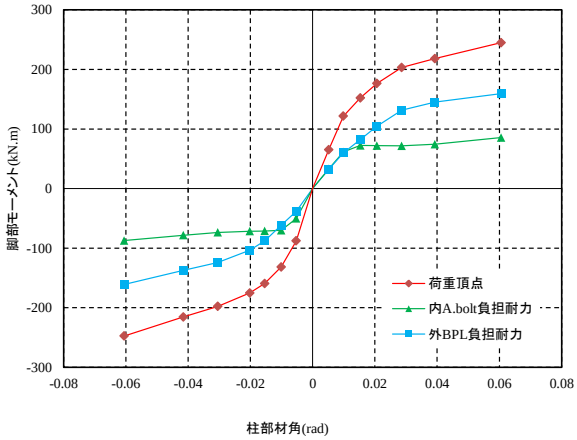

図 2　16R 試験体　柱部材角-脚部モーメント関係図（荷重頂点）

表 2 柱部材角-s_a の比較（16N 試験体　単位 kN.m)

柱部材角	正負	M	M_{ay}	${}_fM_b$	外BPL負担率	計算値	s_a
1/33	＋	190.4	71.8	122.2	0.63	70.4	1.74
	－	−196.1	−69.2	−126.9	0.65		1.80
1/25	＋	206.0	71.8	134.2	0.65		1.91
	－	−207.8	−73.3	−134.6	0.65		1.91
1/17	＋	227.2	81.0	147.2	0.65		2.09
	－	−230.3	−81.8	−149.1	0.65		2.12

表 3 柱部材角-s_a の比較（16R 試験体　単位 kN.m)

柱部材角	正負	M	M_{ay}	${}_fM_b$	外BPL負担率	計算値	s_a
1/33	＋	203.3	71.5	131.8	0.65	69.5	1.87
	－	−197.8	−72.1	−125.7	0.64		1.79
1/25	＋	218.2	72.0	146.2	0.67		2.08
	－	−215.6	75.3	−140.3	0.65		1.99
1/17	＋	244.9	82.5	162.4	0.66		2.31
	－	−247.6	85.6	−162.0	0.65		2.30

今後は、基礎コンクリートを模擬した試験体による実大実験および、外 BPL のより詳細な挙動を確認するための要素実験を行い、設計式の構築を行う予定である。

【参考文献・補注】
1）柳田佳伸,複合型露出柱脚の提案,平成 25 年度日本大学理工学部学術講演会論文集 2013,12 p.71-72
2）鋼構造接合部設計指針，日本建築学会, 2012.3
3）柳田佳伸,半貫敏夫,秋山宏,露出型鉄骨柱脚の履歴特性に関する実験的研究,日本建築学会構造工学論文集 vol.51B,2005 年 3 月
4）試験体名は数値が外 BPL の厚さ、N はリブ無、R はリブ有の試験体であることを意味する