

【研究ノート】

## 鋼構造建築物の露出柱脚における回転剛性の考察

伊藤つばめ<sup>1</sup>, 永野康行<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科, 大学院生

<sup>2</sup> 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科, 教授 博士 (工学)

本研究は, 鋼構造建築物の露出柱脚に着目し, 柱脚回転剛性の算定式および既製品との回転剛性の比較を行った. 平成7年(1995年)兵庫県南部地震(以下兵庫県南部地震)では, アンカーボルトの伸びやベースプレートの損傷が報告されているが露出柱脚の設計における回転剛性はアンカーボルトの伸びに基づく簡略式による評価が一般的で, 損傷後の性能低下による露出柱脚の回転剛性は主にアンカーボルトの伸びで評価されている. アンカーボルトの伸びを基準とした簡略式を整理し, 代表的な既製品である露出柱脚のハイベースのカタログに書かれている実験値と比較した. その結果, 計算値とハイベースの回転剛性には差異が見られた.

キーワード: 鋼構造建築物, 露出柱脚, 回転剛性

### 1. はじめに

兵庫県南部地震では, 新耐震設計基準で設計された建物において震度6強~7の地震動によるアンカーボルトの破断や伸び, ベースプレートの曲げなどの損傷が報告されている<sup>1)</sup>が, 多くの柱脚は仕上げ材などに覆われており外部から損傷を判別しにくい. しかし, 現行の目視で行う住家の被害認定調査は目視検査が中心であり, 内部損傷の有無が潜在的に残存している可能性がある. その結果, 内部損傷を有する建物が無自覚のまま利用され, さらなる大地震時に予期せぬ危険を招くことに繋がる.

露出柱脚を用いた鋼構造建築物では, 柱脚の回転剛性や最大耐力が建物の応答に影響を及ぼしている<sup>2)</sup>. 一方, 露出柱脚の設計では回転剛性を求めるような簡略的な計算式<sup>3)</sup>が用いられている. しかし, この評価式はアンカーボルトの伸びに依存しており地震時に実際に生じるアンカーボルトの破断やベースプレートの伸びのような変形を十分に反映していない. そこで, 本研究では露出柱脚の回転剛性の計算式の理解, 及び既製品の回転剛性との比較をすることで今後の研究に繋げていく.

## 2. 露出柱脚の回転剛性の計算式

露出柱脚の回転剛性  $K_{BS}$  は、アンカーボルトが引張力を受けて伸びることにより生じる抵抗として評価され、式(1)で表される。

$$\text{柱脚回転剛性 } K_{BS} = \frac{E \cdot n_t \cdot A_b (d_t + d_c)^2}{2 l_b} \quad [\text{kN} \cdot \text{mm} / \text{rad}] \quad (1)$$

- $E$  [kN/mm<sup>2</sup>] : アンカーボルトのヤング係数
- $n_t$  [本] : 引張側アンカーボルトの本数
- $A_b$  [mm<sup>2</sup>] : 1本のアンカーボルトの軸断面積
- $d_t$  [mm] : 柱断面図心より引張側アンカーボルト断面群の図心までの距離
- $d_c$  [mm] : 柱脚断面図心より圧縮側のフランジ外縁までの距離
- $l_b$  [mm] : アンカーボルトの長さ

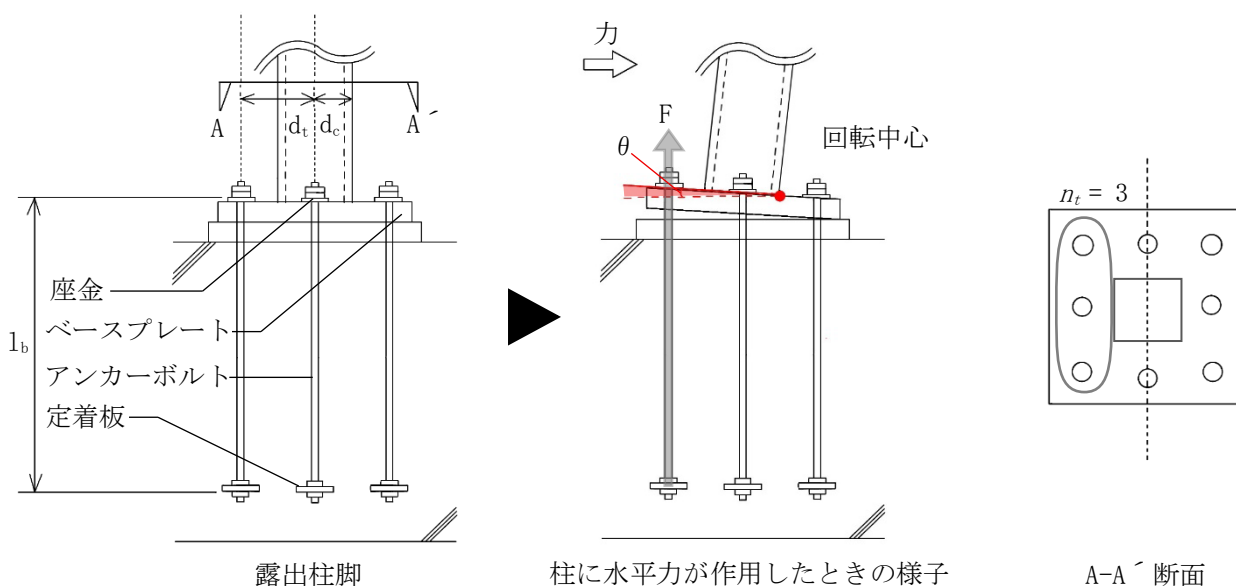


図1 露出柱脚をもつ柱の回転の様子とベースプレートのアンカーボルト位置

図1は、柱が水平に力を受けたときに圧縮側の柱の外縁の根本を支点として、柱が回転する様子を表している。

アンカーボルトの有効長さ  $l_b$  [mm] を座面の上端から定着板の下端としている。また、引張側アンカーボルトの本数  $n_t$  は図1の場合では3本となる。柱が回転するに従ってアンカーボルトが一樣に伸びていると仮定し、その力を  $F$  [kN] で表す。そこで、アンカーボルトの伸びに従ってベースプレートが僅かに浮き上がる。回転中心を圧縮側柱の外縁としたときの  $\theta$  [rad] は十分に小さい値のため、 $\tan \theta \approx \theta$  と近似できる。

以下に露出柱脚の回転剛性式の導出過程を示す.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{E}{A} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (4)$$

$\sigma$  [kN/mm<sup>2</sup>] : 応力度  
 $\varepsilon$  : 伸びひずみ

式(2), (3), (4)を用いて,

$$\frac{F}{A_b \cdot n_t} = E \cdot \frac{(d_t + d_c) \cdot \theta}{l_b} \quad (5)$$

$$\frac{F}{\theta} = \frac{E \cdot n_t \cdot A_b (d_t + d_c)}{l_b} \quad (6)$$

$$\frac{F \cdot (d_t + d_c) [kN \cdot mm]}{\theta [rad]} = \frac{E \cdot n_t \cdot A_b (d_t + d_c)^2}{l_b} = K_{BS} \quad [N \cdot mm / rad] \quad (7)$$

式(7)では式(1)と異なり分母の定数「2」が「1」となっている. これは、「2」がベースプレートの剛性に依存する係数であり, 剛性が高いほど「1」に近づくためである. この式はアンカーボルトの伸びのみを変数としており, アンカーボルトの破断やベースプレートの曲げなどは考慮されていない.

### 3. 既製品(ハイベース)と計算式の回転剛性の比較

代表的な既製の露出柱脚製品として, センクシア社のハイベース(カタログ値)の回転剛性<sup>4)</sup>と, 同様のアンカーボルトの本数や軸断面積などを前章で示した式に代入した際の計算値との比較を行った.

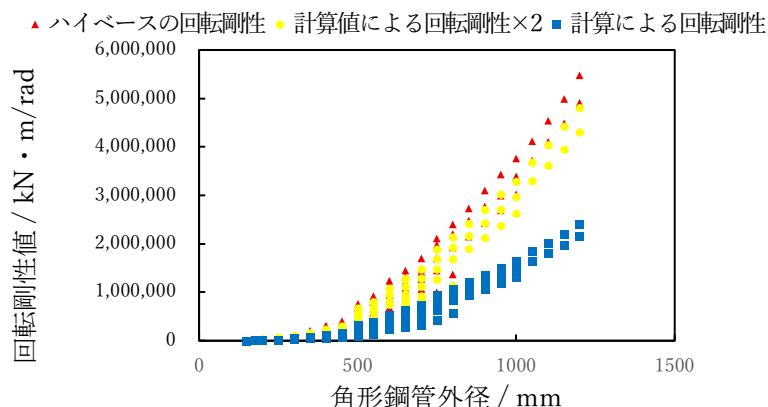


図2 ハイベースのカタログと計算値の回転剛性の比較

図2の通り、ハイベースの回転剛性に比べて、計算式による回転剛性が小さくなっている。そこで、露出柱脚の回転剛性式の分母の「2」がベースプレートの剛性に依存する数字であることから、ハイベースのベースプレートの剛性が極めて大きいと仮定し、それに伴う計算式の分母にある「2」を「1」に置き換えた回転剛性を○で示した。すると、おおよそハイベースの回転剛性に近づくことが確認された。また、松下ら<sup>5)</sup>は露出柱脚の回転剛性は軸剛性に代表される各因子により総合的に決定されることを述べており、簡略的な計算式のみで柱脚性能を正確に把握するには限界があることが確認できた。

#### 4. まとめ

本研究では、露出柱脚の回転剛性の式の理解、及び既製品（ハイベース）との比較を通じて、露出柱脚の回転剛性に関する比較を行った。地震時にはアンカーボルトの破断やベースプレートの曲げなどの損傷が報告されており、回転剛性の低下が建物全体の耐震性能に影響を及ぼす可能性がある。しかし、回転剛性の簡略式は実務で広く使われているものの、既製品（ハイベース）との比較から実験値との違いが確認され、おおよそその値を2倍すると実験値に近づくことが分かった。これは、主としてアンカーボルトの伸びにより求められる簡易的な式によるものだからである。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会：1995年南部地震鉄骨造建築物被害調査報告書，日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会，1995.5，pp. 98-108
- 2) 山西央朗，高松隆夫，玉井宏章：低層鋼構造物の露出柱脚の弾性回転剛性について，日本建築学会大会学術講演梗概集，No. 2016，pp. 1175-1176，2016.
- 3) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，日本建築学会，pp. 292-293，2015.
- 4) センクシア社：ハイベース工法総合カタログ，2025.  
[https://www.senqcia.co.jp/dcms\\_media/other/download\\_catalog\\_kz\\_pdf\\_all.pdf](https://www.senqcia.co.jp/dcms_media/other/download_catalog_kz_pdf_all.pdf)(参照 2025-07-16)
- 5) 松下貴雄，山西央朗，高松隆夫，玉井宏章：アンカーボルト降伏型露出柱脚のベースプレート面外曲げ変形と弾性回転剛性，日本建築学会中国支部報告集，No. 40，pp. 267-270，2017

Note:

## **Evaluation of Rotational Stiffness in Exposed Column Bases of Steel Structures**

Tsubame Ito<sup>1</sup>, Yasuyuki Nagano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo, Graduate Student

<sup>2</sup> Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo, Professor, Dr. Eng.

### **Abstract**

This study focuses on exposed column bases in steel structures and examines both the analytical expressions for rotational stiffness and their comparison with commercially available products. In the 1995 Southern Hyogo Earthquake, damage such as elongation of anchor bolts and deformation of base plates was reported. However, in current design practice of exposed column bases, rotational stiffness is generally evaluated using a simplified formula based on the elongation of anchor bolts, and post-damage performance degradation is also mainly assessed through bolt elongation. In this research, the simplified rotational stiffness equations—derived from the elongation behavior of anchor bolts—were organized and compared with the experimental stiffness values provided in the catalog of “High Base,” a representative prefabricated exposed column base. The results revealed notable differences between the calculated stiffness and the experimental values of the High Base system.

Keywords: steel structures, exposed column base, rotational stiffness