第一層中間型柱脚機構

一階柱脚を降伏させない新構法

金田 勝徳（日本大学特任教授、構造計画プラス・ワン代表）／
木村 祥裕（東北大学教授）／和田 章（東京工業大学名誉教授）

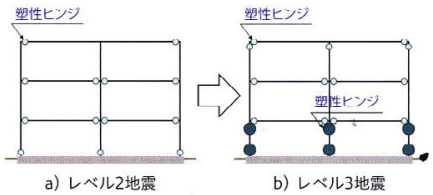
1．中低層鉄骨造の弱点

鉄骨造は高い強度と靭性をもつ鋼材の特質から、優れた耐震性を持つ構造として評価されてきた。しかし、鉄骨造建築物の増加とともに、鉄骨造も地震のたびに他の構造と同様に被害を受け、その様相から今なお多くの教訓を得ている。

鉄骨ラーメン構造における地震被害の多くは、溶接部の破断や一階柱脚部の損傷に見られる。そのうちの溶接部については、近年の溶接技術の進歩と品質管理の改善によって、その信頼性が大きく向上している。

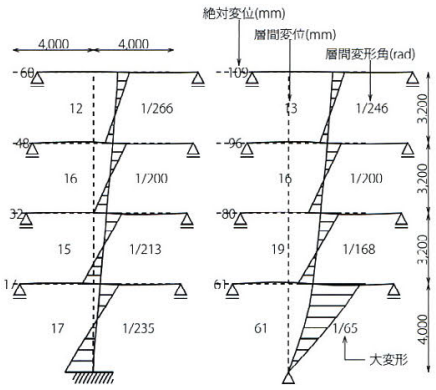
一方、一階柱脚部に関する問題は、より複雑で対策が難しい。その要因は一階柱脚部が骨組の中で最大応力となる個所でありながら、接合される柱と基礎梁が異種構造材であることに加えて、大地震時にその部分の曲げ降伏が避け難いことにある。このうち、異種構造相互の応力伝達にまつわる問題は、1995年の兵庫県南部地震以来、研究者、技術者、メーカーによってそれぞれの柱脚方式に応じた設計規準や製品が研究開発され、広く利用されている。

しかし、一階柱脚部の曲げ降伏は、いまだなお残された問題である。一階柱では、柱・梁の剛性に比べて基礎梁の剛性が圧倒的に高く、実質的に柱脚固定支持となる（図2a）。そのことが地震時に発生する柱脚部の曲げモーメントを大きくし、当該部分の曲げ降伏の防止を困難にしている。ある程度高層の建築物では、下層階の柱などを強く設計することにより、全体的には上層階の梁の曲げ降伏が先行して、終局時まで下層階の柱を降伏させない設計が可能である。しかし、中低層建築物では、全体崩壊形を目指してウィークビーム・ストロングカラムの設計がなされた骨組でも、一階が層崩壊に至る可能性が指摘されている（図1）[*1]。このように一階柱脚が中低層鉄骨造における耐震上の最大の弱点といえる。



a）レベル2地震　b）レベル3地震

図1　崩壊形の形状



a）固定支持　b）ピン支持

図2　骨組の変形及び柱の曲げモーメント（解析例）

2．柱脚を降伏させない新構法

これまで一階柱脚に用いられている主なものに、埋込み型、根巻き型、（半）固定露出型などの柱脚機構がある。これらはそれぞれに特性を持ち、設計する建築物にとって最適なものが選択されている。しかし、いずれも柱自体の曲げ降伏ないしは、アンカーボルトの引張降伏による柱脚の曲げ降伏を防ぐことは困難である。柱脚の曲げ降伏を回避するために、柱脚をピン接合とすると、一階の水平剛性の低下による層間変形角と柱頭の曲げモーメントの増大は避けられない（図2b）。

これらのことを解決する柱脚方式として筆者らは、第一層中間型柱脚機構を提案している。第一層中間型柱脚は一階柱の中間に接合部を設け、接合部より下部の柱を鉄筋コンクリート（以下RC）造として、上部鉄骨柱と近似的にピン接合としている（図3）。

第一層中間型柱脚機構の主な特長は以下の通りである。

・柱中間接合部を任意の高さに設定できるため、一階柱のモーメント分布と骨組の水平剛性を制御しながら、骨組の終局時まで一階柱脚が曲げ降伏をしない設計とすることが　できる（図4）。
・RC柱と鉄骨柱の接合部は曲げモーメントを伝達する必要がないため、ディテールが簡略化され、施工が容易になる。
・柱と基礎梁が同じRC部材であることから、一階柱脚の応力伝達が明解である。
・形状が似た根巻型柱脚では、根巻部の鉄骨柱に発生する逆せん断力により、RC柱が外力の約2倍のせん断力を負担するが、第一層中間型柱脚のRC部分は外力と等しいせん断力を負担すればよい（図5）。
・接合部の簡略化と一階鉄骨柱が短くなることから、使用鋼材が少なくなり躯

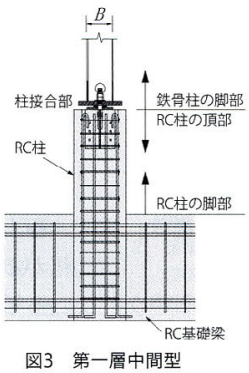


図3　第一層中間型柱脚機構の形状

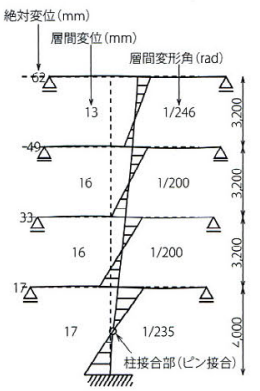


図4　第一層中間型柱脚機構の変形と柱の曲げモーメント（解析例）

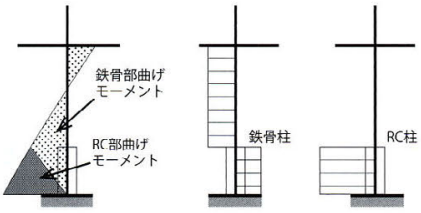


図5　根巻き型柱脚の応力分布

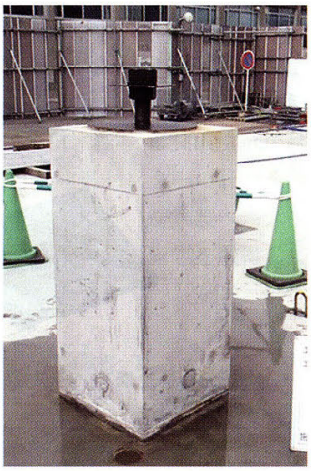


写真1　RC柱完成

体コストの縮減が図れる。
・埋込み型柱脚では基礎梁工事の前に鉄骨建方工事をしなければならないが、第一層中間型柱脚では床スラブを除くすべてのRC工事の後に鉄骨建方工事を行うため、鉄骨製作期間確保のための工期延長の可能性が少ない。
・地下階を地上階との連続性のためにSRC造とする必要がなく、容易にRC造とすることができる。
・設計上の新しい知見を要さずに、これまでの設計方法が使える。

3. 第一層中間型柱脚の設計と施工

第一層中間型柱脚の設計上の留意点として以下のような事項が挙げられる。
・RC柱は曲げ降伏をしない強度を持った設計とする。
・RC柱のサイズと、鉄骨柱の耐火被覆などの仕上げを含めたサイズとの調整に注意する。
・アンカーボルトの平面的な精度は慎重な墨だしによって確保されるが、鉛直方向の精度確保のために上下方向のアジャスト機能をアンカーボルトに付加する。
・アンカーボルトが基礎梁に埋め込まれる長さになると、施工手順が煩雑になり、アンカーボルト位置の精度確保にも手間が掛かるため、可能な限りアンカーボルト長さは基礎梁上端位置までとする。

写真2　柱脚ボルト締め付け用開口

写真3　開口に蓋をして接合部完成

以上が主な留意点であるが、第一層中間型柱脚の適用範囲は、概ね9階建て以下の中低層建築物と考えられる。これは前述したように高層建築物では、一階の層崩壊の危険性の少ない設計が可能であることと、柱接合部で伝達すべき応力が大きくなり、その部分のディテールが複雑になるためである。

これまでの実施例の範囲では、いずれも施工性がよく経済的であるとの評価が得られている。施工方法は一様ではないが、その一例を写真1～写真4に示す。

4. おわりに

第一層中間型柱脚機構の詳細は参考文献2)～6)、接合部の応力伝達に関する実験結果は参考文献7)～9) をそれぞれ参照いただきたい。

写真4　建方完了

現在、シヤキーの合理的な大きさ、スタットジベルの必要性、RC柱帯筋の効果的な形状などについて実験を重ねている。それらの結果を踏まえた設計マニュアルの作成も来年度末の完成を目途に進めている。より高い安全性を経済的に実現する、第一層中間型住脚機構の早い普及を願っている。

参　考　文　献

1) 吹田啓一郎他：E-ディフェンス鋼構造建物実験研究　その21～24，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），C-1，pp.833-840、2008.9
2) 金田勝徳，木村祥裕，濱崎慎一，和田章：全層梁降伏型を目指し中低層鉄骨ラーメン構造構築のための新しい柱脚機構の提案，日本建築学会構造系論文集，Vol.75，No.654，pp.1537-1546，2010.8
3) 金田勝徳，木村祥裕，宮原直樹，和田章：新しい柱脚機構を有する中低層鉄骨ラーメン架構の終局耐震性能，日本建築学会構造系論文集，vol.76，No.661，pp.649-658，2011.3
4) 金田勝徳，竹内徹，高橋邦広，得能将紀，木村祥裕，和田章：層中間型柱脚機構を用いた鉄骨ラーメン構造の設計，日本建築学会技術報告集，第39号，2012.06
5) 木村祥裕，金田勝徳，和田章：新しい柱脚支持機構を有する鉄骨ラーメン骨組の終局耐震能力及び柱の要求性能評価に対する魚骨形骨組の適用，日本建築学会構造系論文集，第77巻675号，pp.765-773，2012.5
6) 木村祥裕，金田勝徳，和田章：新しい柱脚機構を有する鉄骨ラーメン骨組の終局耐震能力と鉄骨柱支点部の作用力の算定法，日本建築学会構造系論文集，第78巻688号，pp.1149-1158，2013.6
7) 金田勝徳，木村祥裕，六倉賢太，角屋治克，渡辺亨，高橋邦広：全層梁降伏型中低層鉄骨ラーメン構造構築のための柱脚機構に関する部分架構モデルによる基礎実験，日本建築学会構造系論文集，vol.76，No.665，pp1357-1366，2011.7
8) 高橋邦広，渡辺亨，六倉賢太，木村祥裕他：下部RC柱と上部鉄骨柱で構成される最下層柱接合部の圧縮荷重に対する応力伝達機構　その1～3，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），C-1、pp.1117-1122，2012.9
9) 高橋邦広，藤井俊二，古川幸，木村祥裕他：下部RC柱と上部鉄骨柱で構成される最下層柱梁接合部のせん断耐力と破壊メカニズム　その1～3，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、C-1，pp.897-902，　2013.9