

層中間型柱脚機構を用いた鉄骨ラーメン構造の設計

A DESIGN APPLICATION OF MID-FLOOR LEVELED COLUMN BASE SYSTEM

金田勝徳 — * 1 竹内 徹 — * 2
高橋邦広 — * 3 得能将紀 — * 4
木村祥裕 — * 5 和田 章 — * 6

Katsunori KANEDA — * 1 Toru TAKEUCHI — * 2
Kunihiro TAKAHASHI — * 3 Masaki TOKUNOU — * 4
Yoshihiro KIMURA — * 5 Akira WADA — * 6

キーワード：
鉄骨ラーメン架構, 全層梁降伏型, 塑性変形性能,
層中間型柱脚機構

Keywords:
Steel moment resisting frames, Beam yielding mechanism, Plastic deformation capacity, Mid-floor leveled column base system

The authors have proposed mid-floor leveled column base system. The first story columns consist of the reinforced concrete downside column and the steel topside column, and their joints with the anchor bolts and the shear plates are supposed to be pinned. In this paper, the building designed by using mid-floor leveled column base system of applicability and seismic performance are studied. In order to compare mid-floor leveled column base system and conventional column base system, the building designed by using exposed type column base and embedded type column base are studied.

1. 序

鉄骨ラーメン構造の最下層柱脚は、一般的に根巻き型柱脚、埋込み型柱脚、露出型柱脚が用いられている。これらはいずれも曲げモーメント分布ないしは機構の耐力の問題から、柱脚部の降伏ないしは損傷を避けることが難しく、それに起因した層崩壊の危険性をはらんでいる。

このことから、著者らはこれまで新しい柱脚機構である層中間型柱脚機構を提案してきた^{1), 2), 3)}。そして、この機構を用いた中低層鉄骨ラーメン構造が最下層の柱脚の損傷を防止し、全層梁降伏型骨組の設計が従来の柱脚機構を用いた場合より容易に実現できることを明確にしてきた。層中間型柱脚機構は最下層柱中間部に接合部(以下、鉄骨柱支点部と言う)を設け、鉄骨柱支点部より下部をRC造、上部を鉄骨造とする機構である。鉄骨柱支点部は曲げモーメントを伝達する必要のない簡易型接合としている。本報では層中間型柱脚機構を用いて設計を行った小規模事務所ビルを通して、層中間型柱脚の実建築物における適用性とその耐震性能についての検討結果を報告する。なお、層中間型柱脚と従来型柱脚機構との比較を行うた

め、本建築物に埋込み型柱脚、露出型柱脚を適用した場合についても検討を行う。

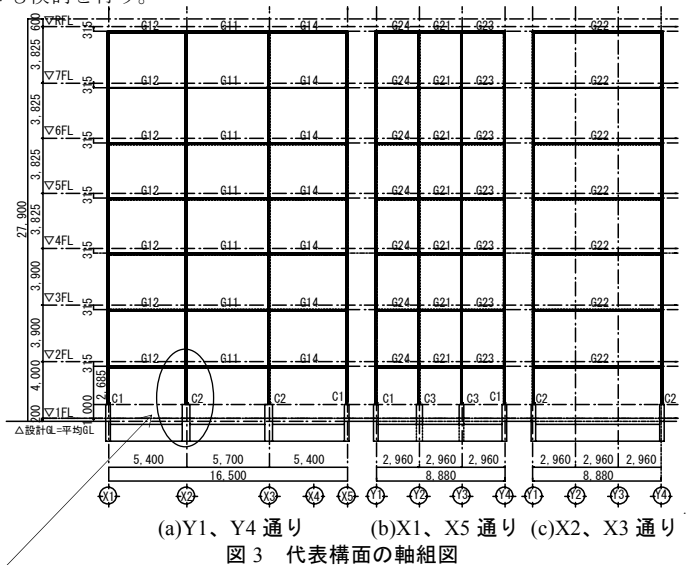


図3 代表断面の軸組図

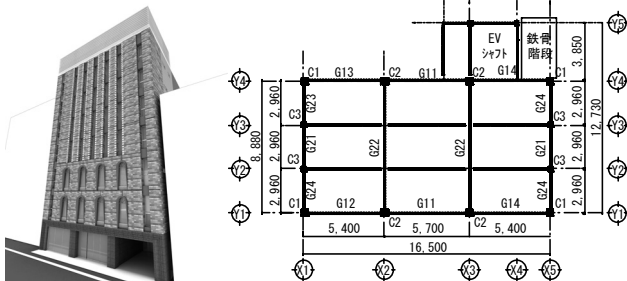


図1 建築物全景

図2 基準階の柱・梁伏図

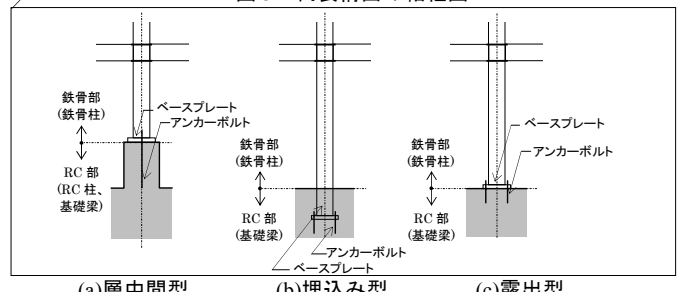


図4 各解析モデルの柱脚形式

¹⁾ 構造計画プラス・ワン代表 日本大学特任教授
(〒102-0081 東京都千代田区四番町 8-13 吉野ビル 3 階)
²⁾ 東京工業大学大学院理工学研究科建築学専攻 教授・博士 (工学)
³⁾ 構造計画プラス・ワン
⁴⁾ 東京工業大学建築学専攻 大学院生
⁵⁾ 東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻 教授・博士 (工学)
⁶⁾ 東京工業大学 名誉教授・工博

¹⁾ Prof., Nihon Univ., Structural Design PLUS ONE Co., Ltd.
²⁾ Prof., Dept. of Arch. and Building Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
³⁾ Structural Design PLUS ONE Co., Ltd.
⁴⁾ Graduate Student, Dept. of Arch. and Build. Eng., Tokyo Institute of Technology
⁵⁾ Prof., Dept. of Arch. and Building Science, Tohoku Univ., Dr. Eng.
⁶⁾ Prof. Emeritus, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

2. 建築概要

本建築物は東京都中央区八重洲2丁目に建設される主フレームが16.5m×8.88mの平面形状を持つ最高高さ27.9mの地上7階建て店舗兼事務所ビルである。延床面積は1238㎡であり、建築面積は193㎡である。階高は1階が4.0mであり、2階～7階が3.83mである。用途は1階～3階までは店舗、4階～7階までは事務所である。図1に建築物全景を示す。

3. 構造概要

3.1 骨組の形状

架構形式は連続3スパンラーメン構造、Y方向は1スパンラーメン構造とする。ただし、Y方向では架構の水平剛性を確保するため、両妻面の架構に水平荷重時に対する曲げ・せん断抵抗材である曲げ柱を2本ずつ配置する。図2に基準階の柱・梁伏図を示す。図3にXY方向における代表構面の軸組図を示す。基礎方式は杭基礎とし、支持地盤は敷地における地盤調査結果より、GL-19.0m付近に位置するN値50以上の細砂層とする。

図4に比較検討を行う各解析モデルの柱脚形式を示し、図5に本報で提案する層中間型柱脚の鉄骨柱支点部詳細を示す。鉄骨柱支点部の高さは、RC柱が架構の最大層間変形角1/40に達するまで弾性範囲内に納まる曲げモーメント分布になること、最下層の水平剛性が確保できること、現場の作業性などから、IFL+1,000mmの位置とした。この高さは基礎梁芯から2F鉄骨梁芯までの高さの約1/2となっている。隅柱であるC1柱では大きな引拔力を伝達するため、アンカーボルト本数を4本とし、せん断力はシアキャップで伝達する。C2柱では柱軸力をベースプレートで伝達し、せん断力をアンカーボルトで伝達する。鉄骨柱とRC柱の間には、回転性状がピンに近い機構となるようベースプレート下に座金を配置する。座金は端部にテーパを設けて(以下テーパ座金と言う)、テーパ座金の下に円形リング鋼板を配置する。C3柱はC2柱と同様の機構とする。

3.2 解析モデル

表1に解析モデル名称を示す。柱脚形式は層中間型、埋込み型、露出型の3種類とする。使用部材は一次設計時における最大層間変形角の許容値を1/200以内とし、かつ参考文献5)に示す全体崩壊形となるための条件を満たすことを目標として設定した。その結果はA32、B32、C32に示す通りであるが、他に比較のため柱の最大板厚を1ラ

ンク薄くしたA28、B28、C28についても検討を行った。

層中間型柱脚A32、A28は1階の中間にダミー層を設け、鉄骨柱支点部を境に上部を鉄骨柱、下部をRC柱としモデル化を行う。埋込み型柱脚B32、B28及び露出型柱脚C32、C28はダミー層を設けず1階より鉄骨柱とする。

3.3 使用部材

柱は冷間成形角形鋼管を基本とし、曲げ柱及び梁はH形鋼を用いる。表3に鉄骨部材断面概要を示す。鉄骨部材の使用材料は鉄骨柱(BCP325、SN490、SN400)、鉄骨梁(SN490、SN400)とする。層中間型柱脚における鉄骨柱支点部までの1階柱及び基礎梁はRC造とする。断面寸法はB×D=650×650(C1柱)、750×650(C2柱)、柱主筋は20-D29(SD390)とした。コンクリートの設計基準強度はFc36とした。

3.4 構造設計

構造設計は各種基・規準の他に文献5)に準拠し、計算ルートは3

表1 解析モデル名称

柱板厚[mm]	層中間型	埋込み型	露出型
32	A32	B32	C32
28	A28	B28	C28

A32
鉄骨柱板厚: t=32, t=28
A:層中間型、B:埋込み型、C:露出型

表2 鉄骨柱支点部・柱脚の回転剛性

柱符号		回転剛性 K_{BS} (kN・m/rad)	
		X方向	Y方向
層中間型	C1柱	21962	21962
	C2柱	4381	4381
	C3柱	9795	687
露出型	C1、C2柱	412000	412000
	C3柱	39100	106000

表3 鉄骨部材断面概要

(a)柱の断面及び幅厚比(A32、B32、C32)

符号	断面	幅厚比	
		ウェブ	フランジ
C1,C2	□-450×450×25 ~	18.00	
	□-450×450×32	14.06	
C3	H-390×300×10×16	35.80	9.38

(b)柱の断面及び幅厚比(A28、B28、C28)

符号	断面	幅厚比
C1,C2	□-450×450×22 ~	20.45
	□-450×450×28	16.07

注: C3は(a)と同様の断面とする。

(c)梁の断面及び幅厚比(全モデル共通)

符号	断面	幅厚比	
		ウェブ	フランジ
G11	H-500×250×12×22 ~	38.00	5.68
	H-650×300×16×32	36.63	4.69
G12	H-500×200×12×22 ~	38.00	4.55
	H-650×300×16×32	36.63	4.69
G13	H-500×200×12×22 ~	38.00	4.55
	H-450×250×12×28	32.83	4.46
G14	H-500×200×12×22 ~	38.00	4.55
	H-650×250×12×28	49.50	4.46
G21	H-500×250×12×22 ~	38.00	5.68
	H-650×300×16×32	36.63	4.69
G22	H-650×300×16×25 ~	37.50	6.00
	BH-650×400×16×32	36.63	6.25
G23	H-500×200×12×19 ~	38.50	5.26
	H-450×250×12×28	32.83	4.46
G24	H-500×200×12×19 ~	38.50	5.26
	H-650×250×12×28	49.50	4.46

表4 柱梁パネル耐力比 η_k

層	A32、B32、C32		A28、B28、C28	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
7F	2.01	2.18	1.97	1.99
6F	2.07	2.27	1.96	1.99
5F	1.55	2.03	1.46	1.81
4F	1.49	2.10	1.52	1.88
3F	1.68	1.55	1.37	1.36
2F	1.66	1.53	1.34	1.34

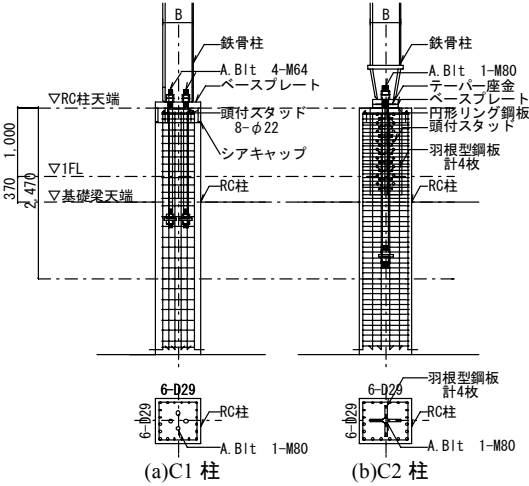


図5 層中間型における鉄骨柱支点部詳細

として行う。表4に各モデルの各層の柱梁パネル耐力比 γ_k を示す。

柱梁パネル耐力比 γ_k は式(1)、(2)より算出する。ここでは、 ΣM_{pc} は層内の柱の全塑性モーメントの総和を示し、 ΣM_{pb} は層内のはりの全塑性モーメントの総和を示し、 ΣM_{pp} は層内の仕口部の全塑性モーメントの総和を示す。

$$\sum M_{p1} = \sum \min(1.5M_{pb}, 1.3M_{pp}) \quad \dots (1)$$

$$\gamma_k = \sum M_{pc} / \sum M_{p1} \quad \dots (2)$$

表4より柱梁パネル耐力比 γ_k の最小値はA28～C28モデルにおいて1.34であり、 γ_k は全てのモデルで1.0を十分上回っている。このため、全ての解析モデルは梁での塑性ヒンジ形成を先行させた全体崩壊形となっていることが確認できる。

4. 静的弾塑性解析による耐震性能評価

4.1 解析方針

解析手法は荷重増分法を用いた静的立体弾塑性解析とする。解析の主な条件は、①外力分布はAi分布、②RC柱の曲げひび割れを考慮、③鉄骨梁の曲げ耐力、曲げ剛性ともスラブの影響を無視、④柱部材はMSモデル(パネの長さは部材長の1/10と部材幅のうち小さい値を採用)として部材種類、柱断面に応じて軸パネに置換、⑤柱軸パネの復元力特性は鉄骨、鉄筋、コンクリートともにノーマルパイリニア型を採用し、曲げ降伏後の回転剛性は 1×10^{-4} 、⑥柱梁接合部パネルの変形は無視、⑦鉄骨梁の復元力特性はノーマルパイリニア型を採用し、曲げ降伏後の回転剛性は 1×10^{-5} 、⑧P-Δ効果は無視、とした。なお、RC柱についてはP-Δ効果により発生する付加曲げモーメントを算定し、これを考慮しても弾性保持していることを確認する。また、層中間型柱脚における回転ばねの回転剛性は文献4)の露出型柱脚の回転剛性算定式より算出した値を用いる。露出型Cモデルの柱脚部はMSモデルとし、柱部材同様に部材種類、断面寸法に応じて軸パネに置換する。既製品の露出型柱脚を用いるため、軸パネはメーカーの設計資料を基に曲げ耐力が等価となるようにモデル化を行う。解析プログラムは(株)構造システムBUS-5を用いる。

4.2 解析結果

図6にX方向における各階の一次設計時層間変形角を示す。同図は板厚 $t=32$ モデルのみを示す。図中●は層中間型柱脚において1F階高を鉄骨柱支点部から2FLまでとした場合である。図6より、骨組の層間変形角はベースシア係数 $C_0=0.2$ のとき、最大層間変形角 $1/200$ 以下となることを確認できる。板厚 $t=28$ モデルについては最大層間変形角 $1/197$ となった。一次設計時における曲げの余裕率 σ/F_a 及びせん断の余裕率 τ/F_a の最小値はそれぞれ $t=32$ モデルで1.06、1.37、 $t=28$ モデルで1.05、1.30である。図7に代表モデルとして、A32における崩壊メカニズム図を示す。これよりX方向、Y方向ともに層間変形角 $1/30$ に達した時点でほぼ全体崩壊メカニズムに達していることを確認した。この際、せん断破壊部材が生じないことを確認している。降伏形状は鉛直荷重を負担しない曲げ柱を除いて全てが梁降伏となっている。他のモデルにおいても層間変形角 $1/30$ に達した時点でほぼ同様な全体崩壊メカニズムに達していることを確認した。これらの上部構造の設計は文献2)、3)で示した崩壊形の条件を満たしたものとなっている。また、RC柱はP-Δ効果により発生する付加曲げモーメントを考慮しても弾性保持しており、P-Δ効果による柱の曲げモーメントの増加は1%程度と小さいことを確認した。

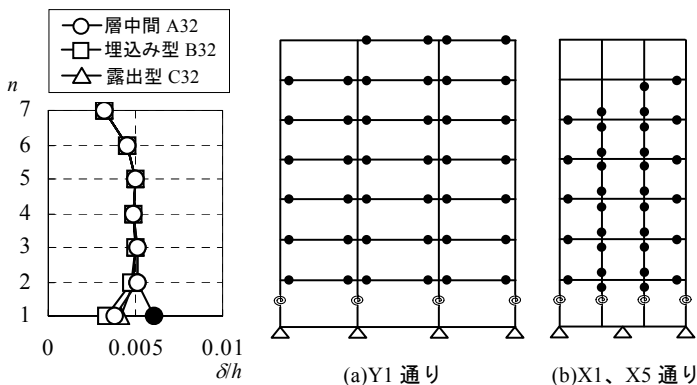


図6 層間変形角($C_0=0.2$) 図7 層中間型A32の崩壊メカニズム図

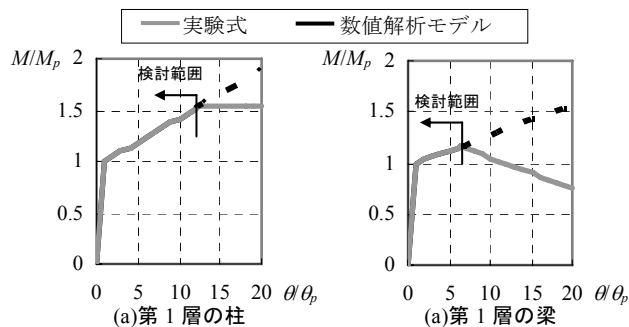


図8 鉄骨部材の骨格曲線

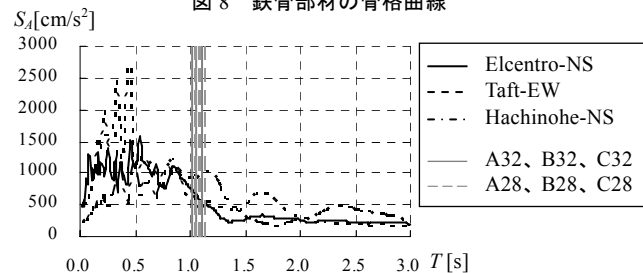


図9 地震応答スペクトル(最大速度振幅50kine、減衰定数 $h=0.02$)

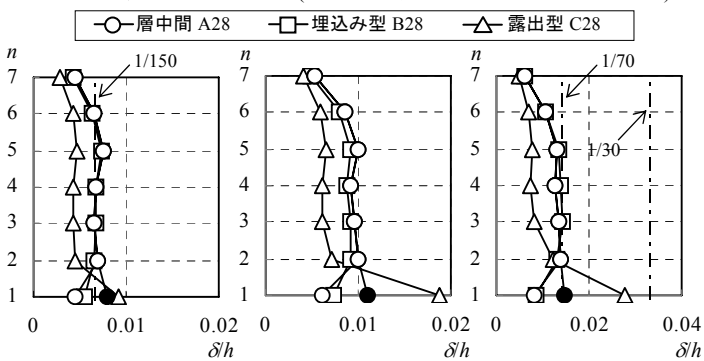


図10 X方向の層間変形角(Hachinohe EW)

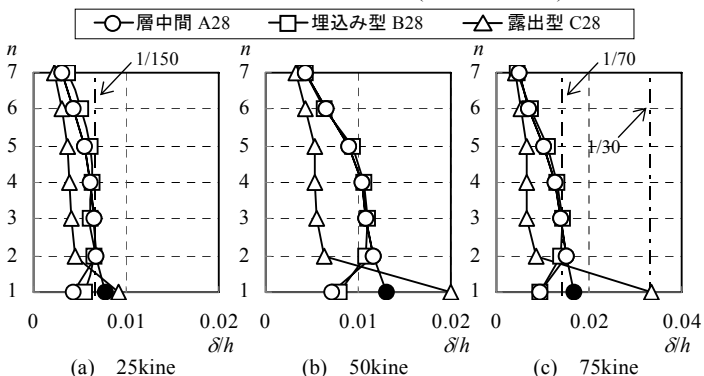


図11 Y方向の層間変形角(Hachinohe EW)

5. 地震応答解析による耐震性能評価

5. 1 解析方針

静的弾塑性解析と同様に柱脚形式、柱板厚を変化させたモデルを用いて地震応答解析を行う。図8に解析に用いた鉄骨柱、鉄骨梁の骨格曲線の一例を示す。縦軸は、材端の作用曲げモーメント M を全塑性曲げモーメント M_p で除した M/M_p である。横軸は材軸の回転角 θ を全塑性曲げモーメント時の材端の回転角 θ_p で除した θ/θ_p である。各部材の骨格曲線は文献(6)、(7)で示される実験式を用いて求め、移動硬化則を採用した。鉄骨ラーメン架構の粘性減衰は初期剛性比例型とし、減衰定数は2%とする。ここで、露出型柱脚は曲げ降伏後の回転剛性を1/50としたバイリニアモデルとしている。実際の露出型柱脚の履歴特性はスリップ型の履歴特性を有するため、後述する露出型Cモデルの応答性状は過小評価となる。その他の解析条件は静的増分解析時と同様である。解析プログラムは(株)構造システムSNAPを用いる。

5. 2 採用地震動と固有周期

採用地震動は標準的なものとして EL Centro NS、Taft EW、Hachinohe EW の3種類とし、最大速度振幅を25kine、50kine、75kine、125kine で基準化した地震動を用いる。各地震動の最大加速度は最大速度振幅50kineで基準化した場合、EL Centro NS $A_{max}=458.65\text{cm/s}^2$ 、Taft EW $A_{max}=507.07\text{cm/s}^2$ 、Hachinohe EW $A_{max}=232.37\text{cm/s}^2$ である。図9に最大速度振幅50kine、減衰定数 $\eta=2\%$ とした採用地震動の加速度応答スペクトルを示す。同図中の縦線は各解析モデルのX方向の一次固有周期を示す。各解析モデルの一次固有周期はA32が1.02sec、B32が1.05sec、C32が1.11sec、A28が1.06、B28が1.09、C28が1.15secである。図9より各解析モデルにおける応答加速度はほぼ同じであるため、各解析モデルの地震応答解析結果は同程度の入力地震動の大きさに対する応答結果と考えられる。

5. 3 解析結果

地震応答解析を行った結果を、各柱脚機構の違いが顕著に出たHachinoheEW入力時で柱の最大板厚28mmの場合について以降に示す。図10にX方向における各階の層間変形角を、図11にY方向における各階の層間変形角を示す。図中●は層中間型柱脚において第1層の階高を鉄骨柱支点部から2FLまでとした場合である。最大速度振幅25kineにおいては図10(a)、図11(a)に見るように層中間型A28と埋込み型B28の層間変形角は1/150程度であり、ほぼ同じ層間変形角となる。露出型C28では第1層の層間変形角が上層では1/230程度であるのに比べ1/100と大きく、最下層に変形が集中していることが分かる。X方向の最大速度振幅50kineにおいては図10(b)に見るようにA28とB28の層間変形角は1/100以下となり、A28がB28よりわずかに大きい。Y方向の最大速度振幅50kineにおいては図11(b)に見るようにA28とB28の層間変形角は1/100とほぼ同じ値となる。これ等に対して露出型C28では第1層の層間変形角が上層では1/160程度であるのに比べ1/50と大きく、最下層に変形が集中する性状が顕著に表れている。一方、余裕度レベルの最大速度振幅75kineにおいては図10(c)に見るようにA28とB28の層間変形角は1/70以下となる。ただし、層中間型A28は埋込み型B28よりわずかに小さくなり、50kineの場合とは逆転する。これより、X方向では最大速度振幅が大きくなるにつれて、B28の層間変形角がA28より大きくなる傾向が見られる。一方、露出型C28では25kine、50kine

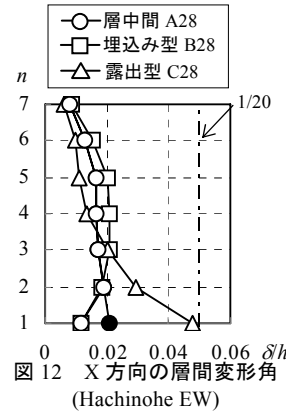


図12 X方向の層間変形角 (Hachinohe EW)

表5 各モデルにおける梁の最大塑性率 θ/θ_p の比較

	A28	B28	C28
R	-	-	-
7	2.26	2.61 (1.15)	1.67 (0.74)
6	3.63	4.28 (1.18)	2.45 (0.67)
5	4.43	5.83 (1.32)	3.00 (0.68)
4	5.09	6.53 (1.28)	5.35 (1.05)
3	4.88	5.75 (1.18)	7.28 (1.49)
2	6.25	4.66 (0.75)	11.31 (1.81)

()内はA28との比を示す

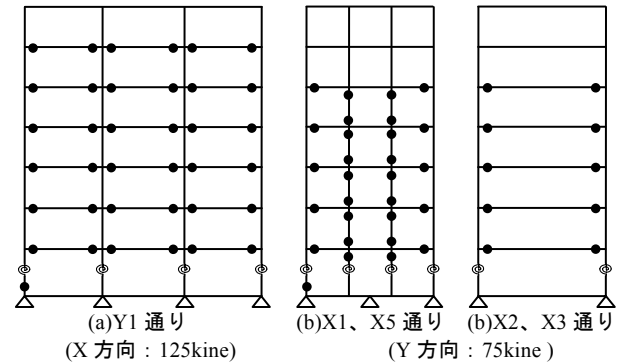


図13 Hachinohe EW 時

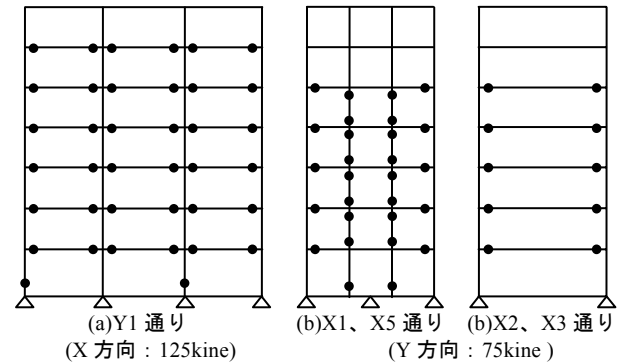


図14 Hachinohe EW 時

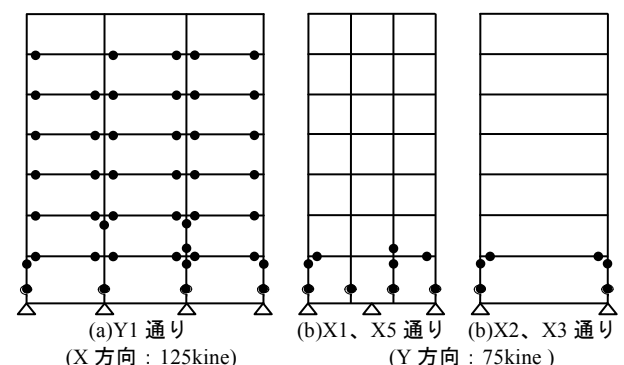


図15 Hachinohe EW 時

の場合と同様に第1層の層間変形角が上層に比べ大きく、その値は1/36に達し最下層崩壊の性状を呈している。C28は第1層の層間変形角が過大となり、これに伴い第2層の層間変形角も大きくなる傾向が見られた。

これらの特性の普遍性を確認するため、X方向のみ最大速度振幅125kineで地震応答解析を行った。図12にX方向における各階の層間変形角を示す。図12に見るように最大速度振幅125kineにおいて

A28 と B28 の層間変形角はいずれも 1/50 以下となった。C28 では最下層の層間変形角が上層に比べ過大となりその値は 1/21 に達する。これに追従するように 2 層目の層間変形角も大きくなる。表 5 に各解析モデルにおける梁の最大塑性率 θ/θ_p を示す。これより B28 の塑性率は A28 に比べ、最大で 1.3 倍程度大きくなることが分かる。C28 については塑性率 11.31 と大きく、図 8 で示した骨格曲線の負勾配である崩壊曲線部まで到達していることから、最下層で層崩壊が始まっていると考えられる。また、静的解析と同様に RC 柱は P- Δ 効果による付加曲げモーメントを考慮しても弾性保持しており、柱の曲げモーメントの増加は 2% 程度と小さいことを確認した。

図 13 に A28 の降伏ヒンジ図を、図 14 に B28 の降伏ヒンジ図を、図 15 に C28 の降伏ヒンジ図を示す。各ヒンジ図の最大速度振幅は X 方向 125kine、Y 方向 75kine である。図 13 に見るように、A28 における RC 柱柱脚の降伏ヒンジは各方向とも引抜き力の大きな隅柱 1 箇所のみが発生しており、他の柱に降伏ヒンジが見られないため、まだ安定的な振動性状にあると判断できる。図 14 に見るように、B28 における埋込み柱脚部の降伏ヒンジは X 方向において 2 箇所発生しているが、Y 方向については発生していない。図 15 に見るように、C28 における露出型柱脚部の降伏ヒンジは X 方向、Y 方向共に全箇所発生している。これに加え、1 階鉄骨柱柱頭部に降伏ヒンジが発生している。これから見ても露出型柱脚の場合は、架構の不安定、倒壊に至っていると考えられる。

以上見てきたように、本報で検討した範囲では層中間型柱脚機構は、同程度の施工性を有する露出型柱脚よりはるかに高い耐震性を示し、埋込み型柱脚とはほぼ同等以上の耐震性能を有し、余裕度レベルの地震動入力に対してはより高い耐震性を示した。

6. 施工性、工事費、工期の比較

6.1 施工性の評価

最後に本建築物について鉄骨建方工事における施工性を確認した。図 16 に建方工事写真を示す。建方手順については、層中間型柱脚は露出型柱脚と大きな差は無く、埋込み型柱脚と比して簡便な施工が可能である。層中間型柱脚の建方手順はアンカーボルトの設置、柱鉄筋組立て、型枠建込み、RC 柱打設、コンクリート養生、鉄骨建方の順である。図 17 に C2 柱のアンカーボルト写真を示す。アンカーボルト設置の際は、配筋作業の邪魔にならないよう仮設架台を設けた。図 18 に C1 柱施工写真を、図 19 に C2 柱施工写真を示す。柱配筋に先立ちアンカーボルトを設置しているが、柱脚機構全体が露出型柱脚金物に比べて小さいため、柱鉄筋施工時に大きな障害とはならなかった。図 20 に C1 柱建方工事写真を、図 21 に C2 柱建方工事写真を示す。柱形内にアンカーボルトがあるものの、前述と同様の理由から通常の RC 柱と大差なく打設を行うことが可能である。C1 柱は鉄骨柱支座位置後にモルタルを圧入し、C2 柱は図 5 に示した円形リング鋼板までコンクリートを打設する。このため、RC 柱上面の精度の確保は鉄骨建方に大きな影響を与えず、RC 柱の打設の際の精度は通常の RC 造と変わらぬに行えた。C1 柱はシアキャップ内に高強度モルタルを圧入することにより鉄骨柱支座位置と RC 柱を一体とし、C2 柱は鉄骨柱支座位置にベースプレートを設置する。以上の様に層中間型柱脚の施工は他の工法に比べて、少ない鋼材量でより簡便に行えるものと言える。



図 16 鉄骨建方工事写真

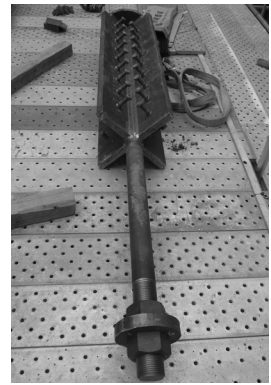


図 17 C2 柱アンカーボルト写真



図 18 C1 柱施工写真



図 19 C2 柱施工写真

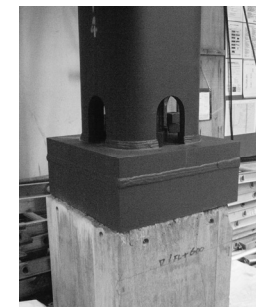


図 20 C1 柱建方工事写真



図 21 C2 柱建方工事写真

表 6 層中間型と露出型の工事費比較表(単位：円)

	層中間型	露出型
コンクリート工事 (鉄筋、型枠含む)	78,766	—
鉄骨柱	— (FL+1,000 以下は鉄骨無し)	83,101 (FL+1,000 以下の鉄骨)
アンカーボルト	45,735 (仮設架台含む)	— (柱脚金物に含む)
層中間型柱脚	127,180	— (同上)
柱脚金物	—	323,000 (アンカーセット、 モルタル充填含む)
合計(柱 1 本当り)	251,681	406,101

注)いずれも材・工事共の価格を示す。

6.2 工事費の比較

本建築物は本報投稿時点で施工中であることから十分なデータが得られないため、層中間型柱脚を使用した他の建築物の場合についてコストと工期の比較を行う。比較を行う建築物は鉄骨ラーメン構造の 4 階建工場である。建物規模は建築面積 1,902m²、延床面積 8,436m² である。柱脚には本建築物の C1 柱脚と同様の層中間型柱脚を用いており、1 階鉄骨柱断面は □-500×500×32(BCP325)、RC 柱断面は B×D=800×800 である。

層中間型柱脚と既製品を用いた露出型柱脚の FL+1,000mm の高さ

以下にかかわる工事費の比較を行う。表 6 に工事費比較表を示す。層中間型柱脚は RC 柱の施工による鉄筋工事、型枠工事、コンクリート工事が発生するため、露出型柱脚金物を使った場合にはないコストが発生する。しかし、一般的に使われている露出型柱脚では、鉄骨柱長さが層中間型柱脚より長くなることと柱脚金物が高価なことから、層中間型柱脚は露出型柱脚より柱 1 本当り 154,420 円減額となった。柱本数は 41 本であるため、建築物全体では 6,331,220 円の減額となった。結果的に地上部の躯体工事費は層中間型柱脚を採用することにより露出型柱脚に比べて 1~2%程度低減した。

6.3 工期の比較

鉄骨構造において柱脚形式の違いは関連する基礎・基礎梁の施工に関連するため、建築物の工期に大きな影響を与える。このため、層中間型柱脚とその他の在来型柱脚について工期の比較を行う。工期の比較は工事費と同様に前述の工場について行う。

図 22a)に層中間型柱脚の工期を、同図 b)に埋込み型柱脚の工期を、同図 c)に露出型柱脚の工期を示す。いずれの柱脚機構においても鉄骨製作から土間スラブの施工が始まるまで約 5 ヶ月必要となる。その間に層中間型柱脚と露出型柱脚では、基礎・基礎梁・1 階 RC 柱の工事を行うことが可能である。それに対して埋込み型柱脚は鉄骨建方後に基礎・基礎梁の工事を行わなければならないため層中間型柱脚に比べ、この例では一ヶ月半ほど工期が長くなる。

7. まとめ

本報では層中間型柱脚を実際の建築物に適用した場合の適用性と耐震性能について検討を行うとともに、従来の柱脚機構である埋込み型柱脚、露出型柱脚と比較を行った。本検討で得られた結論を以下に述べる。

- 1)静的解析により、骨組が梁降伏型の崩壊メカニズムとなることを確認した。これにより層中間型柱脚を採用することにより、柱梁パネル耐力比 γ_k が 1.0 より十分上回っていれば最下層柱脚部の損傷を防ぎ、従来の設計法より容易に梁降伏型の崩壊メカニズムとすることが可能であることを示した。
- 2)動的解析により、層中間型柱脚は最大速度振幅 25kine~75kine において埋込み型柱脚とした場合とほぼ同様の層間変形角となることを示した。
- 3)余裕度レベルの地震動である最大速度振幅 125kine の場合、露出型柱脚とした場合は 1 層目で層崩壊が生じる。これに対し、層中間型柱脚は最大層間変形角 1/50 以下に留まり、埋込み型柱脚に比べても、層間変形角が小さく、塑性率も小さい結果となった。
- 4)層中間型柱脚の施工手順は、露出型柱脚と大きく変わらなく、アンカーボルトの本数と重量が大幅に低減できることから仮設構台等がより簡便であることが確認できた。
- 5)層中間型柱脚では鉄骨柱脚部のアンカーボルトが少ないため、従来の柱脚に比べて鉄骨建方の初期段階における柱の安定性が劣る。このことから、一架構分の柱梁組立てが終わるまで別途柱の倒れ防止のための仮設が必要となる。
- 6)層中間型柱脚と既成品を用いた露出型柱脚について工事費の比較を行い、層中間型柱脚は露出型柱脚より鉄骨柱長さが短くなることと柱脚部が簡便で廉価なことから、層中間型柱脚は露出型柱脚より躯体工事費の低減が可能であることを示した。

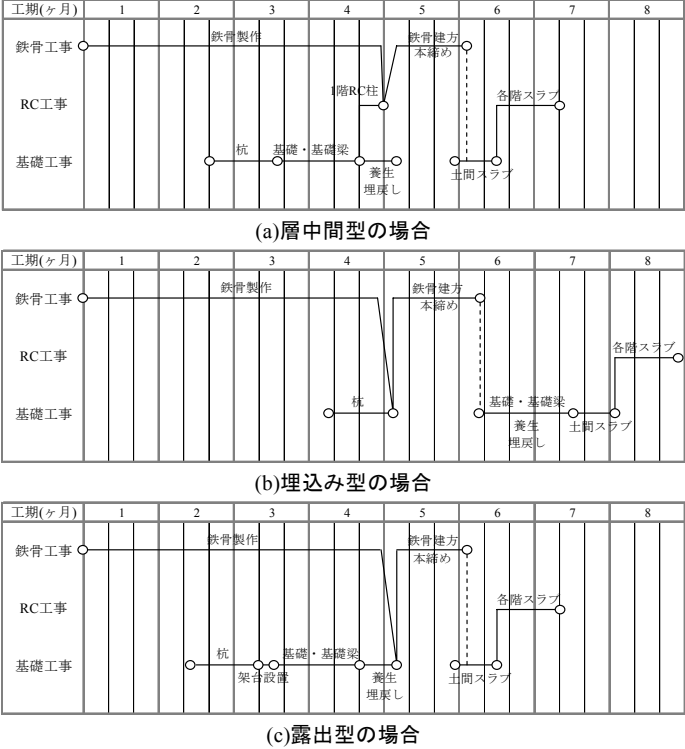


図 22 柱脚形式による工期の比較

7)工期に関しては、層中間型柱脚は埋込み型柱脚と比べ工期を短縮可能であり、露出型柱脚と比べてもほぼ同じ工期で施工可能であることを示した。

以上より、本報で検討した範囲では新しい柱脚機構である層中間型柱脚機構を用いた骨組が従来の柱脚形式に比べて同等以上の優れた耐震性能を有していることが検証できた。また、設計上も施工上も特に新しい知見や技術を要することなく、コストの削減や工期の短縮を図ることができることも併せて検証することができた。

謝辞

本報作成に当たり、設計者である(株)大藪元宏建築研究所 大藪元宏氏の協力を得ました。施工性の評価では鹿島道路(株)、コスト・工期の比較では東急建設(株)、柱脚部の開発・製作では岡部(株)の協力を得ました。ここに記して深謝の意を表します。

参考文献

1)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た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、第 75 巻第 654 号、pp.1537-1546、2010.8

2)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能力、日本建築学会構造系論文集、第 76 巻第 661 号、pp.649-658、2011.3

3)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、第 76 巻第 665 号、pp.1357-1366、2011.7

4)日本建築学会：鋼構造設計基準—許容応力度設計法—、2008

5)独立行政法人建築研究所監修：2008 年度版 冷間成形角形鋼管設計・施工マニュアル、全国官報販売協同組合、2008

6)加藤勉、秋山宏、帯洋一：局部座屈を伴う H 形断面材の変形、日本建築学会論文報告集、第 257 号、P.49-58、1977.7

7)加藤勉、秋山宏、北沢進：局部座屈を伴う箱形断面材の変形、日本建築学会論文報告集、第 268 号、pp.71-76、1978.6

[2011 年 10 月 20 日原稿受理 2011 年 12 月 13 日採用決定]