

角形鋼管柱を用いた方杖ダンパー接合構造の試設計と地震応答解析

方杖ダンパー
試設計角形鋼管
地震応答解析

塑性設計法

正会員 ○ 河合 大*
同 聲高裕治**
同 吹田啓一郎**
同 井上一朗***

1. はじめに

方杖ダンパー接合構造は、座屈拘束型の方杖（以下、方杖ダンパー）を介して柱と梁を高力ボルト接合することにより、鋼構造建築物に安定した施工品質と高い塑性変形能力を付与することを意図して開発された柱梁接合形式である¹⁾。これまでに、柱に H 形断面部材を用いた場合の構造性能を実験と解析によって確認し、一部実用に供されている。本接合形式は柱弱軸曲げ方向の梁をピン接合としているため、溶接接合形式の 2 方向ラーメンと比べて鋼材重量が約 2 割増加する²⁾。本論では、柱に角形鋼管を用い、2 方向ラーメンを構成するのに適した方杖ダンパー接合構造³⁾の開発の一環として、この接合形式を適用した骨組の設計法を提案し、試設計例題を通じて骨組の鋼材重量および地震応答性状を確認する。

2. 方杖ダンパー接合構造の部材断面算定法

方杖ダンパー接合構造を適用した骨組（以下、方杖接合骨組）では、崩壊機構形成時の塑性化部位を方杖ダンパーと最下層柱脚だけに限定し、柱と梁を弾性に保つことを前提としている¹⁾。本論では、H 形断面柱を用いた場合の初期断面算定手順⁴⁾に、45° 方向地震入力時における柱の 2 軸曲げを考慮した断面算定の考え方を加えた角形鋼管柱を用いた場合の部材断面算定法を提案する。

方杖ダンパーは、梁・柱せいおよび梁・柱の反曲点位置を仮定して求められる崩壊機構形成時の骨組の層せん断力（保有水平耐力）が 2 次設計用地震荷重を上まわるように降伏軸力を決定する。

梁にはボルト孔欠損を考慮した降伏曲げモーメントが保有水平耐力到達時に生じる梁の最大曲げモーメント $M_i^{\max}$ （図 1 参照）以上となる断面を選定する。

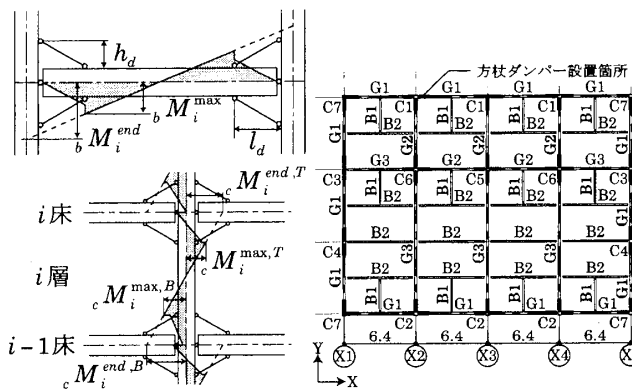


図 1 曲げモーメント分布

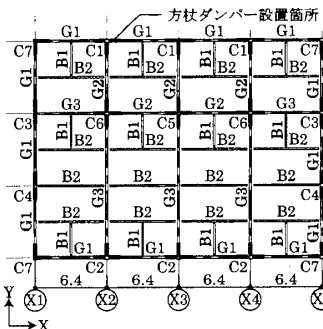


図 2 基準階図 (単位: m)

柱の選定では 45° 方向地震入力を想定する。2 軸曲げを受ける柱（方杖が両方向に取り付く柱）には、軸力を考慮した全塑性曲げモーメントが各方向の保有水平耐力到達時に生じる柱の最大曲げモーメント $M_i^{\max, T}$ 、 $M_i^{\max, B}$ （図 1 参照）の 1.5 倍以上となる断面を選定する。2 軸曲げを受けない柱には、軸力を考慮した降伏曲げモーメントが各方向の保有水平耐力到達時に生じる柱の最大曲げモーメント以上となる断面を選定する。

上述の方法に基づく部材断面を適用した骨組が 1 次設計の層間変位角制限値 R_{eq} を満たさない場合は、その層の 2 次設計用地震荷重を ${}_1R_i^e/R_{eq}$ 倍（ここで、 ${}_1R_i^e$ は上述の方法に基づく部材断面を適用した骨組の 1 次設計用地震荷重に対する層間変位角である）し、部材断面を選定し直す。

3. 骨組の試設計

3.1 対象骨組と設計条件

試設計の対象は文献 2)に示されている 8 層骨組とする。図 2 に基準階図、図 3 に内部構面軸組図を示す。外周構面はすべての梁の上下に方杖ダンパーを配置している。

設計条件を以下に示す。1 次設計用地震荷重（ $C_0=0.2$ ）に対して、方杖ダンパーは弾性で、層間変位角が 1/180rad 以下とする。保有水平耐力が 2 次設計用地震荷重（ $C_0=1.0$ ， $D_s=0.25$ ）を上まわることを確認する。方杖ダンパーの寸法は $l_d=1000\text{mm}$ ， $h_d=600\text{mm}$ （図 1 参照）とし、標準ラインアップ⁵⁾より選定する。また、大梁せいと方杖ダンパーは各床レベルで同一とする。

3.2 静的増分解析

解析モデルは文献 1)に示されたものとし、各部材の降

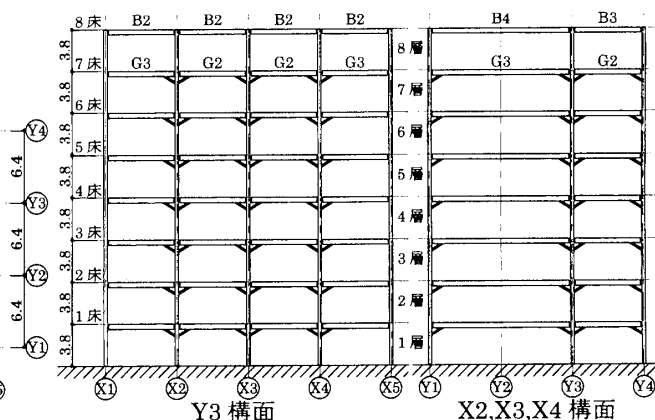


図 3 内部構面軸組図 (単位: m)

Design method and dynamic analysis of weld-free steel structure with knee brace damper using square tube column

KAWAI Dai, KOETAKA Yuji, SUITA Keiichiro and INOUE Kazuo

伏応力は基準強度の 1.1 倍、材料特性は歪硬化係数が 1% の Bi-Linear 型とする。

図 4 に、2 章に示す部材断面算定法を適用した骨組の層せん断力と層間変位角の関係 (Y 方向) を示す。この骨組はすべての設計条件を満たすことを確認している。

表 1、表 2 に各部材リスト、表 3 に鋼材重量を示す。比較のため、文献 2) の H 形断面柱を用いた方杖接合骨組と溶接接合形式の従来型骨組の鋼材重量を併記する。本設計骨組の鋼材重量は、H 形断面柱を用いた方杖接合骨組と比べて約 1 割低減し、従来型骨組と比べて約 1 割増加している。

3.3 時刻歴応答解析

粘性減衰を 1 次の減衰定数が 0.02 の初期剛性比例型とし、解析の時間増分を 0.01 秒とする。表 4 に入力地震動を示す。

図 5 に最大層間変位角の高さ方向分布、図 6 に方杖ダンパーの累積塑性変形倍率の高さ方向分布を示す。比較のため、文献 2) に示されている H 形断面柱を用いた方杖接合骨組の解析結果を併記する。

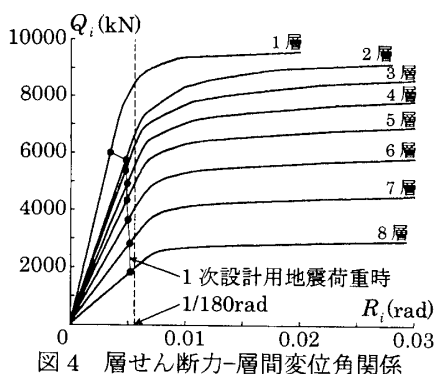


図 4 層せん断力-層間変位角関係

表 1 柱リスト

層	C1, C2	C3	C4	C5	C6	C7
8	□-450×12	□-450×9	□-450×9	□-450×9	□-450×9	□-450×9
7						
6	□-450×16	□-450×12	□-450×12	□-450×16	□-450×16	
5		□-450×16	□-450×16			□-450×12
4				□-450×19	□-450×19	
3	□-450×19			□-450×22	□-450×22	□-450×16
2						□-450×19
1	□-450×22	□-450×19				□-450×22

表 2 方杖ダンパー・大梁リスト

床	No.	降伏軸力	G1	G2	G3
8	No.1	395kN	H-400×200×9×12		
7	No.2	451kN	H-450×200×9×22	H-450×200×9×12	H-450×200×9×16
6	No.3	508kN	H-500×200×9×22	H-500×200×9×12	H-500×200×9×16
5	No.5	714kN	H-550×250×9×22	H-550×200×9×16	H-550×200×9×22
4					
3	No.6	804kN	H-600×200×12×28	H-600×200×9×19	H-600×200×12×22
2					
1					

表 3 鋼材重量 (ton)

部位	角形鋼管柱の 方杖接合骨組	H 形断面柱の 方杖接合骨組	従来型骨組
	鋼種 重量	鋼種 重量	鋼種 重量
柱	BCR295 103.7	SM490A 107.6	BCP325 110.2
梁	SM490A 119.6	SM490A 105.0	SN490B 172.2
	SS400 54.2	SS400 115.9	SS400 44.7
方杖		76.5	67.0
計	354.0	395.5	327.1

表 4 入力地震動

地震波	最大加速度 (m/s ²)	解析時間 (s)
El Centro NS	5.11	50
Taft EW	4.96	50
Hachinohe NS	3.30	50
BCJ L2	3.56	120

杖接合骨組よりわずかに大きくなる傾向が見られるが、大略的にこれらの応答には有意な差異が見られない。

4. まとめ

- [1] 本論で対象とした角形鋼管柱を用いた方杖接合骨組は、文献 4) の初期断面算定手順を活用して、設計条件を満たす部材断面を選定できる。
- [2] 角形鋼管柱を用いた方杖接合骨組の鋼材重量は、H 形断面柱を用いた方杖接合骨組と比べて約 1 割低減し、従来型骨組と比べて約 1 割増加する。
- [3] 角形鋼管柱を用いた方杖接合骨組と H 形断面柱を用いた方杖接合骨組の地震応答性状には、有意な差異が見られない。

参考文献

- 1) 吹田啓一郎, 井上一朗, 竹内一郎, 宇野暢芳: 座屈拘束された方杖ダンパーによる柱梁高力ボルト接合構造の力学挙動, 日本建築学会構造系論文集, 第 571 号, pp.153-160, 2003.9
- 2) 貝谷淳一, 張シシュン, 白髪誠一, 椿英頭, 多賀謙蔵, 北條稔郎, 永谷芳郎, 井上一朗: 方杖ダンパー接合構造の設計例 (その 2), 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 46 号・構造系, pp.249-252, 2006.6
- 3) 聲高裕治, 福智康之, 井上一朗, 吹田啓一郎, 宇野暢芳: 方杖ダンパー接合構造の角形鋼管柱への適用と検証実験, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 50 号・構造系, pp.189-191, 2010.6
- 4) 多賀謙蔵, 張シシュン, 貝谷淳一, 白髪誠一, 椿英頭, 北條稔郎, 永谷芳郎, 井上一朗: 方杖ダンパー接合構造の設計例 (その 1), 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 46 号・構造系, pp.245-248, 2006.6
- 5) 井上一朗, 寺島雄一郎, 聲高裕治, 吉田文久: 方杖ダンパーの標準仕様と性能確認実験, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 46 号・構造系, pp.241-244, 2006.6

○ 角形鋼管柱の方杖接合骨組 ● H 形断面柱の方杖接合骨組

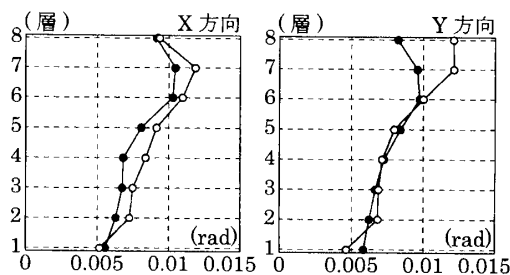


図 5 最大層間変位角 (El Centro NS)

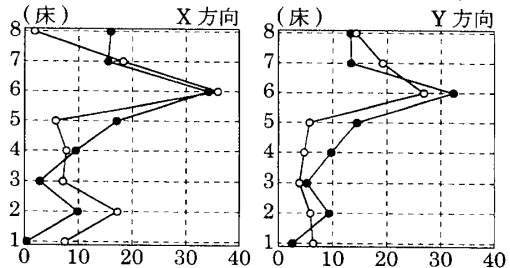


図 6 方杖ダンパー累積塑性変形倍率 (El Centro NS)

*大阪工業大学大学院工学研究科建築学専攻

**京都大学大学院工学研究科建築学専攻

***日本建築総合試験所

*Major in Architecture Graduate school of Eng., Osaka Institute of Technology

**Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Kyoto Univ.

***General Building Research Corporation of Japan