

# 鋼構造事務所ビルにおける制振構造の設計・施工 —制振間柱に関する設計上の工夫と施工対策—

## Design and Construction of Seismic Damping Systems for Steel Office Building —Design Ideas and Construction Measures for Stud-Type Damper—

小寺 直幸\*      岩松 育弘\*\*  
Naoyuki Kodera      Yasuhiro Iwamatsu  
高橋 孝二\*\*\*      石谷 剛 \*\*\*\*  
Koji Takahashi      Tsuyoshi Ishitani  
佐藤 凌 \*\*\*\*\*  
Ryou Satou

### 要 約

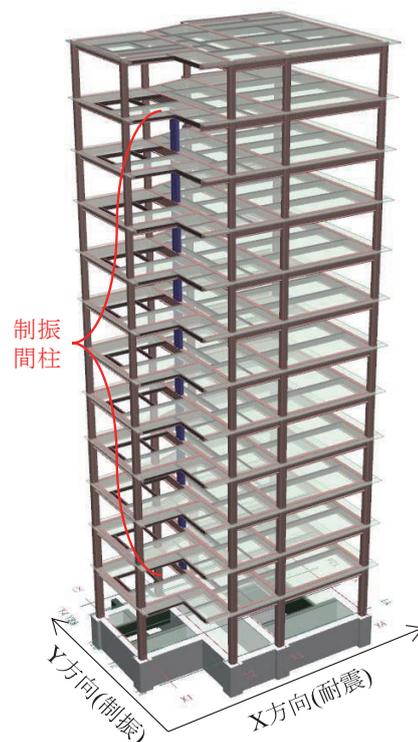
本報告で対象とする建物は鋼構造 12 階建ての事務所ビルであり、合理的に耐震性能を向上させるために制振構造が採用された。しかし、ダンパーの配置形式は平面計画上の制約により間柱型に限定され、更には 12 m 級のロングスパン梁に設置する等の理由から、制振効果を得るためには設計上の工夫が必要であった。施工においては、ダンパーに過度な鉛直軸力を発生させない対策が求められた。本報告では、ハイブリッドダンパーの採用および取付間柱の拡幅補強といった設計上の工夫により、本物件の課題に対応した事例を報告する。また、長期荷重や施工荷重をダンパーに負担させない施工を実施したため、その方法と留意点を報告する。

### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 構造設計
- § 3. 制振間柱の施工
- § 4. まとめ

### § 1. はじめに

本報告で対象とする建物は、建物高さ 56.5 m の鋼構造 12 階建て事務所ビルである。本建物の構造モデルを図一 1 に示す。X 方向は純ラーメンの耐震構造、Y 方向は合理的に耐震性能を向上させるために制振構造で計画しており、間柱型ダンパー（以下、制振間柱）を 2 階から 11 階に配置している。間柱型はその機構上、ブレース型に比べて狭いスペースに設置できる等のメリットがある。しかし、間柱型はブレース型より制振効果が小さく<sup>1)</sup>、本



図一 1 本建物の構造モデル

\* 技術研究所建築技術グループ

\*\* 関東建築（支）建築設計部

\*\*\* 技術研究所

\*\*\*\* 関東建築（支）

物件の場合はロングスパン梁に設置する等の理由から、設計時には制振効果を向上させる工夫が必要であった。また、ダンパーに鉛直荷重が作用する場合はダンパーの性能に影響を及ぼす可能性がある<sup>2)</sup>。そのため、ダンパーに長期荷重や施工荷重を負担させない施工対策が求められた。本報告では、本建物における制振間柱の設計上の工夫と施工対策の事例を報告する。

§2. 構造設計

2-1 設計方針

本建物の原設計は耐震構造で計画が進められており、一般的な事務所ビルより耐震性能を向上させるために、 $Q_u/Q_{um}$  ( $Q_u$ : 保有水平耐力,  $Q_{um}$ : 必要保有水平耐力) を1.5以上確保することが求められた。 $Q_u/Q_{um} \geq 1.5$ を確保するためには、柱や梁の鉄骨断面を大きくする必要があり、鋼材量が増加することになる。設計当時の鋼材単価は上昇傾向で発注時には更に高価となり、鋼材量が増加すると大きなコストアップとなることが懸念された。そこで、制振構造  $Q_u/Q_{um} \geq 1.0$  による計画が提案された。制振構造は中小地震から地震エネルギー吸収効果を期待できるため、耐震構造  $Q_u/Q_{um} \geq 1.5$  と同等以上の耐震性能を確保できる。また、耐震構造  $Q_u/Q_{um} \geq 1.5$  で懸念される鋼材量の増加・単価上昇によるコストアップをダンパーで置換することで合理的な設計となる。

本建物の設計クライテリアを表-1に示す。X方向は耐震構造の  $Q_u/Q_{um} \geq 1.5$ 、Y方向は制振構造の  $Q_u/Q_{um} \geq 1.0$  に加えて、地震応答解析による設計クライテリアを満足させる必要がある。なお、本建物は確認申請による設計のため、Y方向は制振間柱を付加した場合と除いた場合の2ケースで  $Q_u/Q_{um} \geq 1.0$  を満足させている。

2-2 主架構の設計

主要部材断面リストを表-2に示す。大梁は鋼構造、柱

はコンクリート充填鋼管構造 (CFT) である。柱内充填コンクリートの設計基準強度  $F_c$  は  $55 \text{ N/mm}^2$  である。パネルゾーンは通しダイアフラム形式、柱脚は露出型弾性固定柱脚工法を採用した。主架構の設計には Super Build/SS3 (ver.1.1.1.45) を用いた。

表-1 設計クライテリア

| 静的設計          |                  |                                |
|---------------|------------------|--------------------------------|
|               | 一次設計             | 二次設計                           |
| X方向 (耐震)      | 許容応力度設計          | 保有水平耐力計算 $Q_u/Q_{um} \geq 1.5$ |
| Y方向 (制振)      | 許容応力度設計          | 保有水平耐力計算 $Q_u/Q_{um} \geq 1.0$ |
| 動的設計 (地震応答解析) |                  |                                |
|               | LV1地震動           | LV2地震動                         |
| Y方向 (制振)      | 層間変形角 1/200rad以下 | 層間変形角 1/100rad以下               |
|               | 層の塑性率 1.0以下      | 層の塑性率 2.0以下                    |

※  $Q_u$ : 保有水平耐力,  $Q_{um}$ : 必要保有水平耐力  
 ※ 静的設計Y方向は、制振間柱を付加した場合と除いた場合の2ケースを設計

表-2 主要部材断面リスト

|     | 主架構          |        |                 |        | 制振間柱                                  |              |
|-----|--------------|--------|-----------------|--------|---------------------------------------|--------------|
|     | 柱(CFT)       |        | 大梁              |        | 取付間柱<br>断面・鋼種                         | ダンパー<br>仕様   |
|     | 断面           | 鋼種     | 断面              | 鋼種     |                                       |              |
| 12階 | □-500×500×16 | BCR295 | H-800×300×14×22 | SN400B | H-900×300×16×22<br>+拡幅補強<br>(SN490B)  | 500kN<br>1基  |
| 11階 |              |        | H-800×350×14×25 |        |                                       |              |
| 10階 |              |        | H-850×350×16×25 |        |                                       |              |
| 9階  |              |        | H-850×350×16×25 |        |                                       |              |
| 8階  | □-500×500×19 | BCR295 | H-850×350×16×28 | SN490B | H-1000×300×19×25<br>+拡幅補強<br>(SN490B) | 750kN<br>1基  |
| 7階  |              |        | H-900×350×16×32 |        |                                       |              |
| 6階  |              |        | H-900×350×16×28 |        |                                       |              |
| 5階  | □-550×550×22 | BCP325 | H-900×350×16×28 | SN490B | H-1000×300×19×25<br>+拡幅補強<br>(SN490B) | 1000kN<br>1基 |
| 4階  | □-600×600×19 |        | H-900×350×16×28 |        |                                       |              |
| 3階  | □-650×650×22 |        | H-900×350×16×25 |        |                                       |              |
| 2階  | □-650×650×22 |        | H-900×350×16×25 |        |                                       |              |

表-3 各種ダンパー性能の例

| ダンパーの種類    | 鋼材ダンパー | 粘弾性ダンパー | 摩擦ダンパー | ハイブリッドダンパー (粘弾性+摩擦) |
|------------|--------|---------|--------|---------------------|
| 中小地震時の制振効果 | △      | ○       | ○      | ◎                   |
| 大地震時の制振効果  | ○      | ◎       | ◎      | ◎                   |
| 温度依存性      | ◎      | △       | ◎      | ◎                   |
| 偏心率への影響    | △      | ◎       | ◎      | ◎                   |
| メンテナンス     | △      | ◎       | ◎      | ◎                   |
| 荷重変形関係     | 疲労懸念あり | 不要      | 不要     | 不要                  |

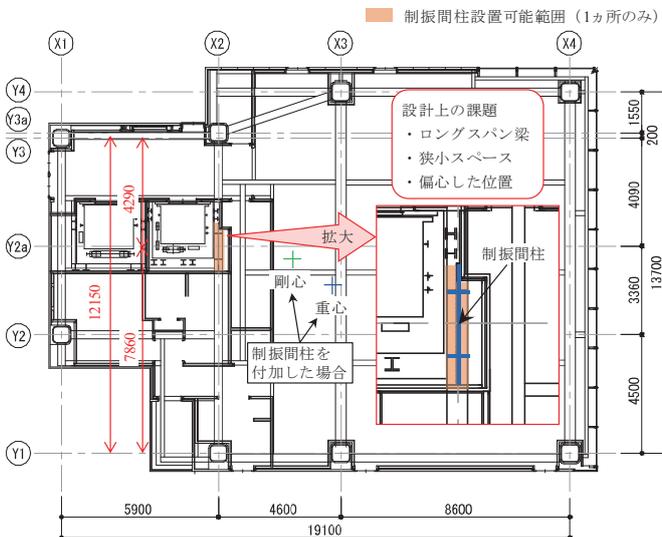


図-2 本建物における制振間柱の設計上の課題

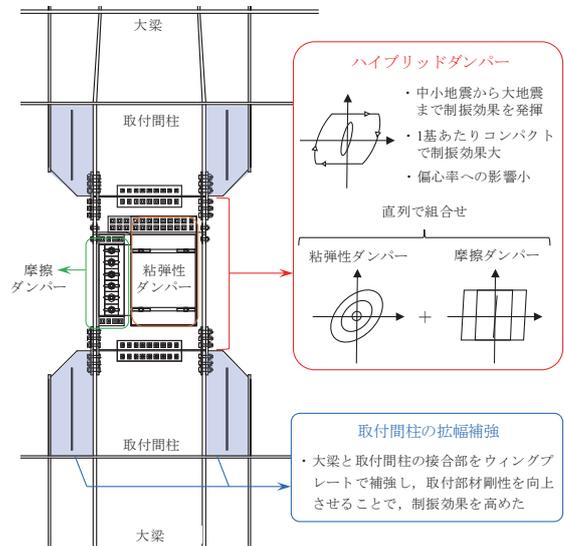


図-3 設計した制振間柱の概要

2-3 制振間柱の計画

(1) 設計上の課題

本建物の場合、平面計画上の制約からダンパーを設置できるスペースが極めて限定的であった。図-2より、ダンパーを設置できるスペースはEVシャフト際の1ヵ所のみであることから、ダンパーの配置形式は制振効果が小さい間柱型<sup>1)</sup>で限定されるほか、3つの設計上の課題があった。

a) 12 m 級ロングスパン梁

間柱型は大梁と間柱を介して層間変位をダンパーに伝達させることになるため、大梁と間柱の剛性に大きく依存する。12 m 級ロングスパン梁は通常の梁より剛性が小さいことから、制振効果が十分に得られない。

b) 狭小スペース

制振効果を高める方法として、ダンパーの設置数を増やす方法が挙げられる。本建物の設置スペースは奥行1.5 m 程度しかないため、ダンパーの設置数を増やせない。

c) 平面的に偏心した位置

本建物は制振間柱を1ヵ所しか設置できないことから、制振間柱を付加した場合の偏心率が比較的大きい。静的弾性剛性が大きい鋼材ダンパーや摩擦ダンパー等を選定したり、制振効果を高めるために制振間柱が取付く大梁剛性を大きくし過ぎると、建物全体の性能が低下する可能性がある。

(2) 設計上の工夫

前述した3つの課題を解決するために、本建物ではダンパーの選定と取付間柱ディテールの設計に注力した。各種ダンパー性能の例<sup>1)</sup>を表-3に、設計した制振間柱の概要を図-3に示す。

ダンパーは、摩擦ダンパーと粘弾性ダンパーを直列で組合せた「ハイブリッドダンパー」を選定した。ハイブリッドダンパーは、1基あたりの制振効果が大きく、サイズがコンパクト(1000 kN タイプで奥行1 m)である特徴を有する。また、小変形領域は粘弾性ダンパーの性能で決まることから、偏心率への影響が比較的小さい。

制振効果を向上させるために、取付間柱と大梁の接合部にはウイングプレートを設けて、設置スペース内に納まる範囲で補強を実施した。ウイングプレートの両端には応力伝達のためのフランジプレート、中間には局部座屈防止のためのスチフナを設けている。

2-4 地震応答解析モデルの作成

地震応答解析モデルは12質点系の等価せん断棒モデルとした。本建物は制振間柱を付加した場合の偏心率が最大でも0.15程度であったため、立体解析モデルによる検討は行っていない<sup>3)</sup>。地震応答解析モデルを図-4に示す。主架構と制振間柱は履歴則や応答量を分けて評価するため、付加系分離型<sup>4)</sup>とした。付加系分離型は、主架構ばねと付加系(ダンパー+取付部材剛性)を並列で組合せたモデルである。

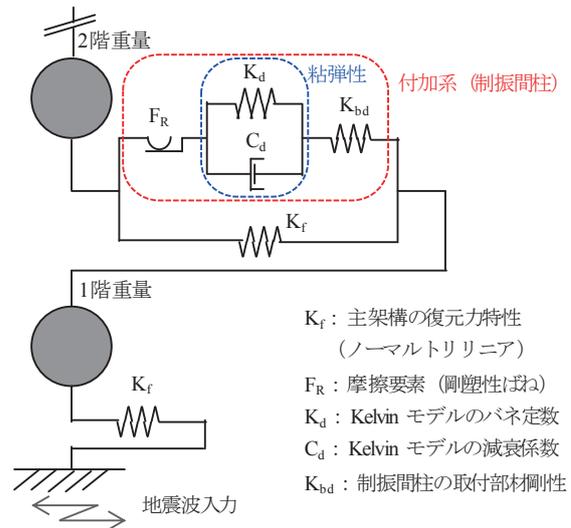


図-4 地震応答解析モデル (付加系分離型)

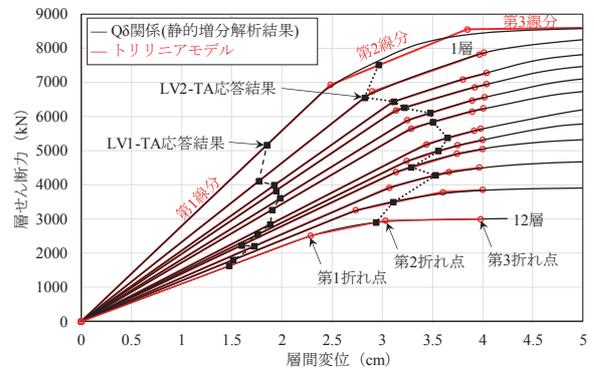


図-5 主架構のQδ関係とトリリニアモデル

|  |                                       |   |  |  |   |
|--|---------------------------------------|---|--|--|---|
| 2.134435X<br>0.064316Y<br>-0.00120965Z | 2.133074X<br>0.072113Y<br>0.00196385Z | 2.132356X<br>-0.066225Y<br>-0.00120102Z | 1.063163X<br>0.064690Y<br>-0.00047936Z | 1.062160X<br>0.054631Y<br>-0.00034809Z | 1.06124X<br>-0.066522Y<br>-0.00052639Z  |
| 1.553408X<br>0.050801Y<br>-0.00122678Z | 1.552628X<br>0.081237Y<br>0.00022928Z | 1.552216X<br>-0.052709Y<br>0.00122771Z  | 0.813147X<br>0.051201Y<br>-0.00047674Z | 0.811739X<br>0.062315Y<br>-0.00033302Z | 0.811557X<br>-0.053138Y<br>-0.00052957Z |
| 0.969362X<br>0.035017Y<br>-0.00120603Z | 0.968663X<br>0.087017Y<br>0.00026040Z | 0.968295X<br>-0.036926Y<br>-0.00120454Z | 0.564611X<br>0.035427Y<br>-0.00046941Z | 0.561943X<br>0.068127Y<br>-0.00031468Z | 0.563042X<br>-0.037368Y<br>-0.00050912Z |
| 0.430445X<br>0.019968Y<br>-0.00111677Z | 0.430764X<br>0.085603Y<br>0.00027995Z | 0.430932X<br>-0.021877Y<br>-0.00110983Z | 0.306302X<br>0.020319Y<br>-0.00062498Z | 0.317167X<br>0.070105Y<br>-0.00015712Z | 0.310099X<br>-0.022261Y<br>-0.00040868Z |
| 状態N                                    |                                       |   | 状態R                                    |  |   |
| -0.00004757S                           | 0.002120Y<br>0.00000628S              | -0.00003935S                            | -0.00004217S                           | 0.001791Y<br>0.00000561S               | -0.00003440S                            |

図-6 取付部材剛性 Kbd 算出のための状態 NR 解析

主架構の復元力特性は、静的増分解析から得られた重心位置のQδ関係をトリリニアモデルに置換した(図-5)。トリリニアモデルへの置換はSS21/Dynamic復元力特性モデル(ver.3.22)を用いた。第1線分は初期剛性、第2線分は層間変形角1/100 radまでのQδ関係とトリリニアモデルのエネルギー吸収量が等しくなるものとし、第3線分は層間変形角1/100 radにおける接線とした。なお、第1折れ点は当該層でファーストヒンジが発生した時点とし、安全側にこの点を塑性率の基点とした。

付加系におけるダンパーモデルは文献5)に従って設定した。取付部材剛性は状態NR解析<sup>4)</sup>により求めた(図-6)。状態NR解析にはSuper Build/FA1(ver.3.50)を用

いた。制振間柱がある状態（状態 R）から制振間柱がない状態（状態 N）の剛性差から取付部材剛性を求めた。なお、文献4）では1層1スパンによる検討例が示されているが、本物件は制振間柱を連層配置するため、全層モデル化してその影響を反映させた。水平荷重分布はAi分布に基づいた。本物件の取付部材剛性は、上層から下層にかけて563~1730 kN/cm程度であった。

2-5 地震応答解析

(1) 解析条件

減衰タイプは初期剛性比例型とし、一次固有周期に対する減衰定数は2%とした。制振間柱は構造減衰に含めないものとした。解析プログラムはSS21/DynamicPRO (ver.7.12)を用いた。LV2入力地震動の諸元を表-4に示す。入力地震動は観測波3波と告示波3波とした。観測波はLV1地震動では最大速度25 cm/s, LV2地震動では最大速度50 cm/sに基準化した。観測波HACHINOHE NSは翠川らにより再数値化された波形<sup>6)</sup>を用いた。

表-4 入力地震動の諸元 (LV2)

| 波形名称                | 略称    | 最大加速度 (cm/sec <sup>2</sup> ) | 最大速度 (cm/sec) | 継続時間 (sec) |
|---------------------|-------|------------------------------|---------------|------------|
| EL CENTRO NS (1940) | EL    | 510                          | 50            | 50         |
| TAFT EW (1962)      | TA    | 497                          | 50            | 50         |
| HACHINOHE NS (翠川版)  | HA    | 350                          | 50            | 231        |
| 告示波 HACHINOHE NS    | 告示HA  | 683                          | 81            | 327        |
| 告示波 JMA 神戸 NS       | 告示JMA | 600                          | 67            | 163        |
| 告示波 乱数              | 告示RAN | 557                          | 61            | 163        |

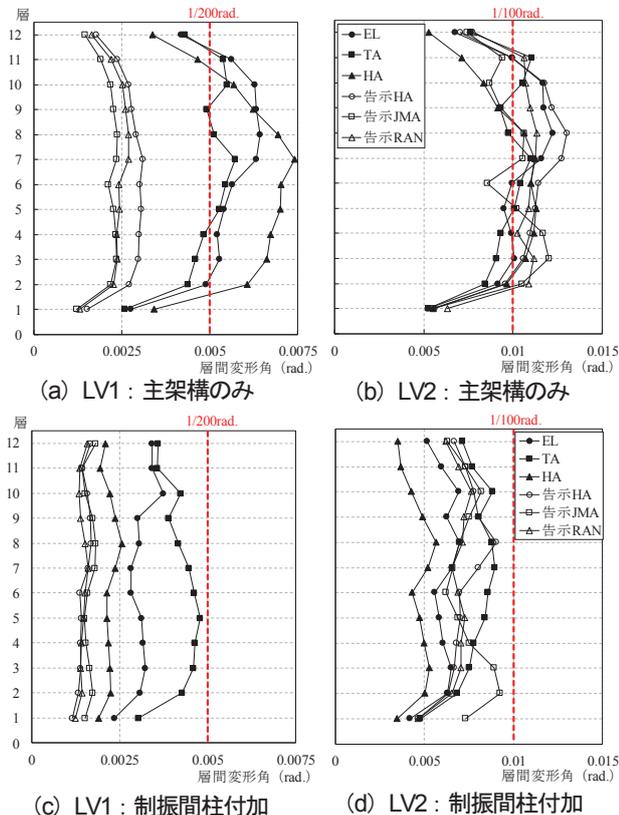


図-7 地震応答解析結果 (制振間柱有無の比較)

(2) 制振間柱有無の比較

地震応答解析結果を図-7に示す。図-7の制振間柱付加の解析結果は粘弾性体温度20℃の場合である。固有値解析による一次固有周期は主架構のみで1.99 sec, 制振間柱付加で1.67 secであった。主架構のみにおける最大層間変形角は、設計クライテリアの1/200 rad., 1/100 rad.を超えていた。一方、制振間柱付加の場合はLV1地震動で1/209 rad., LV2地震動で1/108 rad.で、設計クライテリアを満足した。制振間柱を付加することで応答変形を最大40%程度抑制できた。制振間柱付加におけるエネルギー時刻歴を図-8に示す。入力エネルギーに対する制振間柱吸収エネルギーは、最大60%程度であり、大きな制振効果を発揮したことが分かる。

(3) 応答解析に影響する因子の比較

ハイブリッドダンパーは粘弾性ダンパーと摩擦ダンパーで構成されたダンパーであることから、応答解析結果に及ぼす因子が多い。粘弾性体温度、粘弾性体の製造バラつき、摩擦部滑り荷重（導入軸力）のバラつきといっ

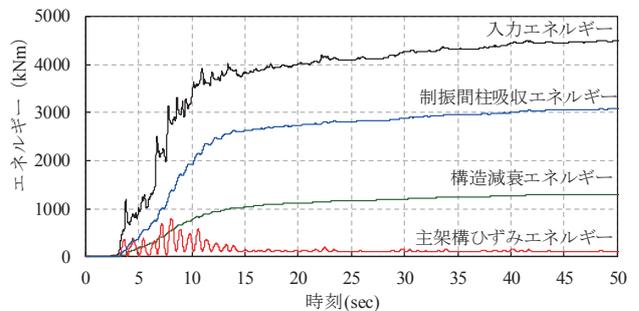


図-8 エネルギー時刻歴 (LV2・TA)

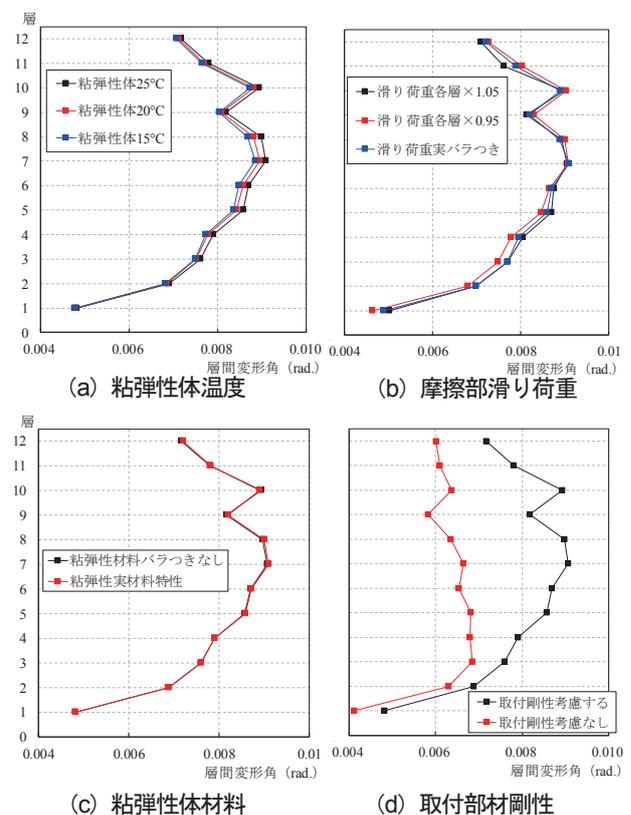


図-9 応答解析に影響する因子の比較 (LV2・TA)

た3つのパラメータを設計時に適切に考慮した上で設計クライテリアを満足させる必要がある。応答解析に影響する因子の比較を図-9に示す。滑り荷重実バラつきおよび粘弾性実材料特性は、製品検査時に得られたデータを反映させた結果である。例えば、図-9(a)は粘弾性体温度の影響を示しており、温度20℃に対して温度25℃は、最大2%程度応答変形が大きくなっている。ハイブリッドダンパーの場合、最大荷重は摩擦部滑り荷重で決まって頭打ちとなるため、粘弾性ダンパーより温度の影響が小さいと考えられる。

また、ハイブリッドダンパーに限った因子ではないが、参考として取付部材剛性の影響を図-9(d)に示している。取付部材剛性考慮なしに対して考慮ありは、最大40%程度応答変形が大きくなっている。取付部材剛性は応答解析結果に大きな影響を及ぼすことが分かる。また、拡幅補強しない(取付部材剛性を高めていない)制振間柱の場合、応答変形は40%より更に大きくなることに注意する。

2-6 制振間柱付加による主架構の設計

(1) 制振間柱の設定方法

制振間柱の仕様決定後、制振間柱による付加応力および付加剛性を主架構に考慮した設計を行う。一貫構造計算への制振間柱設定方法と確認事項を図-10に示す。

本物件の場合、制振間柱を1本の柱部材として入力した。柱部材は取付間柱の断面性能を設定することで、曲げ剛性および曲げ耐力は取付間柱の諸元とした。せん断耐力は、主架構にとって安全側の設計となるように、ダンパー設計荷重(表-2)を20%割増した値を直接指定し、せん断降伏後の解析が保持続行されるものとした。せん断剛性は、取付間柱のせん断剛性とダンパーのせん断剛性を直列結合した等価剛性とし、剛度増大率で設定した。ダンパーのせん断剛性は、文献7)に従って、温度20℃、固有周期1.67s(制振間柱付加)の場合の貯蔵せん断剛性から求めた。拡幅補強部分は他部分に比べて十分な剛性があると判断し、剛域で設定した。また、柱部材として入力しているが実際は軸力を負担させないことから、軸剛性は限りなく小さくなるように剛度増大率で設定した。

(2) 確認事項

制振構造のY方向について示す。一次設計では制振間柱のせん断検定を除き、各部材が許容応力度設計を満足することを確認した。偏心率は最大でも0.15程度であった。二次設計では制振間柱の有無に関わらず $Q_u/Q_m \geq 1.0$ であることを確認した。また、制振効果を有効に発揮させるため、大梁中央部および取付間柱に降伏ヒンジが発生しないことを確認した。その他、制振間柱の付加応力が生じた場合でも柱や柱脚の設計が満足することを確認した。本物件のように制振間柱があるフレームに斜め梁が取付くと、制振間柱からの付加応力が隣のフレーム

に伝達されるため、制振間柱フレームだけでなく隣接フレームの柱や柱脚の設計確認が必要である。

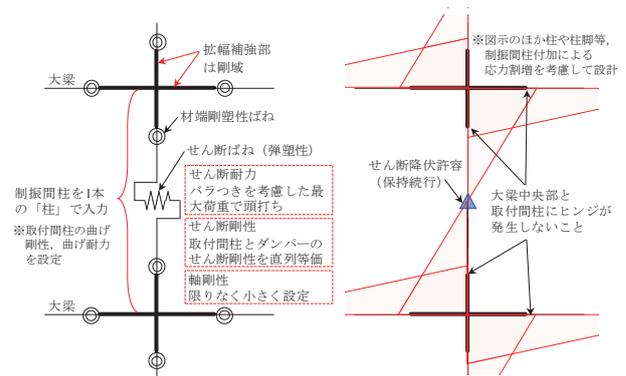


図-10 一貫構造計算への制振間柱設定方法と確認事項

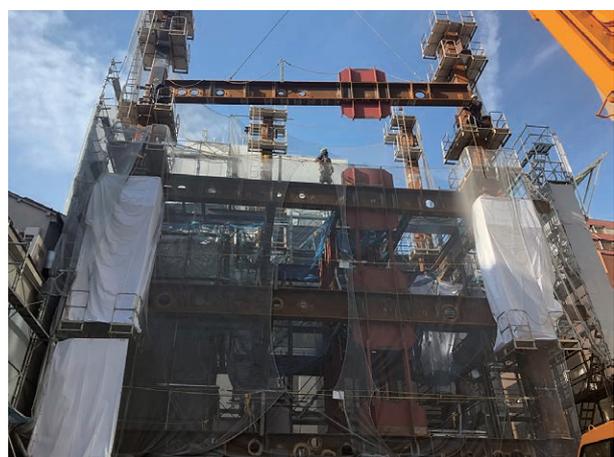


写真-1 鉄骨建方状況(鉄骨ピース揚重)



写真-2 鉄骨建方状況(最上階まで)

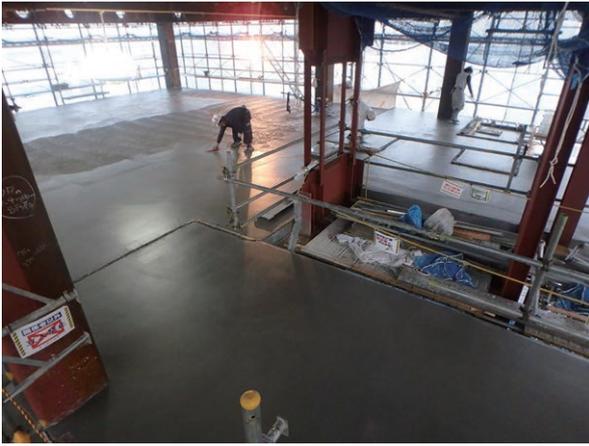


写真-3 床スラブコンクリート打設状況

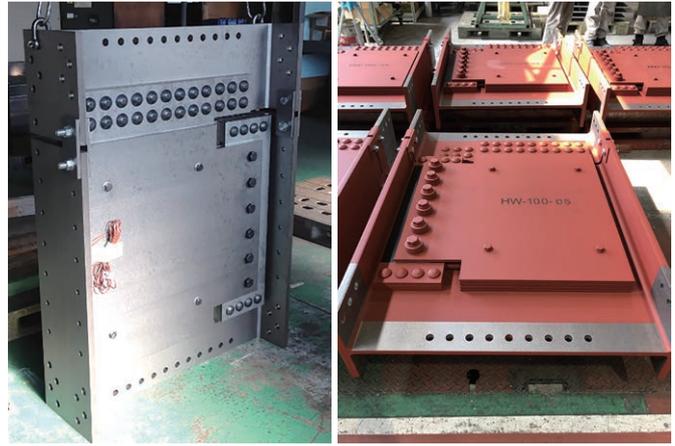


写真-4 ダンパー製造完了 (左：塗装前、右：塗装後)



写真-5 取付間柱とダンパーの接合状況



写真-6 ダンパー本締め完了

### §3. 制振間柱の施工

#### 3-1 施工計画

制振間柱の施工では、制振間柱が制振効果を有効に発揮させるための施工計画と管理が重要となる。本建物では、長期荷重および施工荷重をダンパーに負担させない施工計画とした。鋼構造建物において、長期荷重および施工荷重をダンパーに負担させない施工手順は、参考となる実施例が少ないことから、設計監理者、現場職員、協力会社との綿密な事前打合せにより決定した。施工手順は、鉄骨建方、CFT柱へのコンクリート圧入、床スラブコンクリート打設後、ダンパーを取付ける手順とした。ダンパーを取付ける時点の工程では、耐火被覆工事、外装工事、内装工事も進めているため、これら専門業者との事前周知・打合せも必要となる。

#### 3-2 施工状況および留意点

##### (1) 鉄骨建方および床スラブ打設

制振間柱フレーム面における鉄骨建方の状況を写真-1および写真-2に示す。現場溶接を減らして施工の合理化・品質確保を図ることから、大梁と取付間柱は工場溶接とした。1つの吊り上げピースは、大梁と取付間柱

が接合されたものである。大梁と取付間柱の1ピース化は、運搬車両に収まるのが前提であることに留意する。

床スラブコンクリート打設状況を写真-3に示す。鉛直軸力をダンパーに発生させない計画のため、取付間柱にはダンパーを接合していない。その代替として仮止め材（アングル）を設けている。仮止め材は断面積が大きいものを用いる場合、軸剛性が大きくなり、長期および施工荷重に対する支配面積が大きくなる。仮止め材は、前述した事項を満たし、座屈しない部材を選定する必要がある。

##### (2) ダンパーの製品検査

ダンパーの製造完了を写真-4に示す。本建物に用いる全てのダンパーについて、製品検査で各種性能や寸法が合格基準に達することを確認したほか、本物件では製作バラつきを考慮したダンパーの最適配置の検討を行った。写真-4(右)の通り、製造されたダンパーには「HW-100-05」といった製品番号が示される。100は1000kNタイプ、05は個々の番号である。

2-5節でも示したように、ハイブリッドダンパーには製造に関するバラつきとして、粘弾性体材料特性、摩擦部滑り荷重（導入軸力）がある。これらのバラつきは製造した製品個々により異なり、例えば同じ1000kNタイ

でも応答性状は異なる。本建物では層間変形角を設計段階より多少でも小さくすることを目的とし、製品検査後に地震応答解析を行い、個々の配置を決定した。

#### (3) 取付間柱とダンパーの接合

取付間柱とダンパーの接合状況を写真-5に、ダンパー本締め完了を写真-6に示す。ダンパーはチェーンブロックにより仮吊りし、接合はダンパーと取付間柱をスプライスプレートおよびフィラープレートで挟み込み、高力ボルト摩擦接合とした。

本建物では取付間柱の僅かな傾きにより、ダンパーの接合が煩雑となった。取付間柱には仮止め材を設けているが、これはダンパーを接合するボルト孔間距離を確保する目的で使用しており、取付間柱を拘束する目的ではなかった。拘束力を高める場合、仮止め材の剛性を大きくすると、(1)で述べたように長期荷重および施工荷重の支配面積が大きくなり、取外しが困難となる。結果的にはスプライスプレートとフィラープレートの調整により、問題なく接合することが出来たが、この調整に大きな検討時間を費やした。対策として、取付間柱にダンパー設置調整のための継手を設けることが挙げられる。多少のコストアップは生じるが、総合的に最善の対策だと考えられる。

#### §4. まとめ

本報告では、制振構造で設計・施工した鋼構造12階建て事務所ビルについて、制振間柱に関する設計上の工夫点および施工対策を示した。

- (1) 制振間柱設置において、12 m級ロングスパン梁、狭小スペース、平面的に偏心した位置といった制振効果が得られにくい条件であったが、ハイブリッドダンパーの採用および拡幅補強した取付間柱により、制振構造を成立させた。
- (2) 制振間柱を付加することにより、LV2地震動における層間変形角は主架構のみに対して最大40%

程度小さくなり、地震応答変形の大きな低減効果が得られた。

- (3) 応答解析に影響する制振間柱の因子を変動させた結果、特に制振間柱の取付部材剛性は応答解析結果に大きく影響することを示した。
- (4) ダンパーの性能確保・施工の合理化の観点から、ダンパーは鉄骨建方および床コンクリート打設完了後に設置する施工手順とし、取付間柱にはダンパー接続調整用の継手を設けておくことが推奨される。

**謝辞.** 本建物の設計・施工にあたり、ハイブリッドダンパーの製作販売会社であるスリーエムジャパン株式会社の所健様には多くのご助言を頂きました。ここに記し、深い謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 一般社団法人日本免震構造協会：パッシブ制振構造設計・施工マニュアル第3版，2013
- 2) 高橋孝二ほか：再開発における開発技術の適用－制振間柱およびソイルセメント本設杭の施工－，西松建設技報，vol. 29, 2006
- 3) 日本建築センター：評価・評定を踏まえた高層建築物の構造設計実務，2000
- 4) 日本建築学会：鋼構造制振設計指針，2014
- 5) 笠井和彦ほか：粘弾性体と弾塑性体の直列結合からなるパッシブ制振装置の挙動に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第556号，pp. 51-58, 2002
- 6) 翠川三郎ほか：1968年十勝沖地震の八戸港湾での強震記録の再数値化，日本地震工学会論文集，第10巻，第2号，2010
- 7) 笠井和彦ほか：粘弾性体の温度・振動数・振幅依存を考慮した構成則（その1），日本建築学会構造系論文集，第543号，pp. 77-86, 2001