

超高層 RC 制振「TASS-Flex[®] FRAME」の開発と適用

谷 翼^{*1}・脇田 拓弥^{*2}・欄木 龍大^{*3}・中島 徹^{*4}

Keywords : high-rise building, vibration control, multi-story wall, long-period ground motion, shaking table test

超高層建物, 制振, 連層壁, 長周期地震動, 振動台実験

1. はじめに

2011 年の東北地方太平洋沖地震では、長周期地震動により震源から遠く離れた関東・近畿地方の超高層建物にも大きな揺れが生じた。長周期地震動に対する応答は減衰を付与することで効果的に低減することが可能だが、超高層 RC 造建物では重量・剛性が大きいため必要となるダンパー台数が多く、十分な量の配置が難しい。そこで著者らは、図-1 に示す低層部剛性を低下させ、ダンパーを低層部に集約配置することで大きな減衰が付与できる超高層制振架構 TASS-Flex FRAME（以下、TASS-FF）の提案を行っている¹⁾。

TASS-FF を成立させるには、地震時の応答特性の把握、ダンパー取付け部の耐久性の確認、連層壁脚部の半剛接合の設計、本体建物と連層壁との接合など、諸々の課題が存在する。これらの課題を解決し、実際の建物に TASS-FF を適用するに至ったことから、本稿ではその方策について報告する。

2. 架構概要

2.1 剛性を低下させた低層部

建物の減衰は剛性の平方根に反比例するため、ダンパー設置階の剛性を適切に低下させることで減衰の付与が容易になる。中高層のソフトストーリー架構では剛性を低下させる層数は 1 層または 2 層程度である。また、低剛性層は他の層に比べ許容変形角を大きくする場合が多い。一方、超高層建物では層数が多く、また、低層部の柱の軸力が非常に大きいことから、TASS-FF では低剛性層数は全体の 1/4 程度以上、許容変

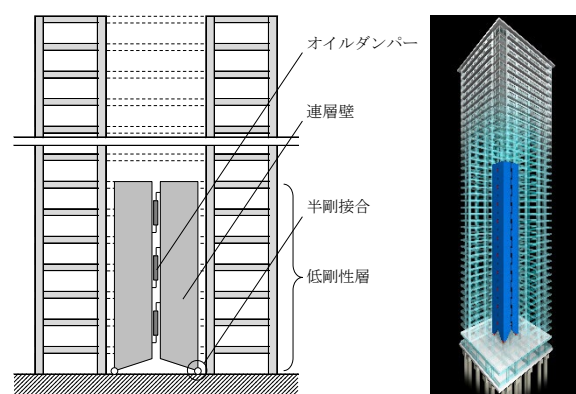


図-1 TASS-Flex FRAME 架構概念図

Fig.1 Conceptual diagram of TASS-Flex FRAME

形角は全層で共通とし、剛性の調整は梁せいにより行う。梁せいを小さくすることで剛性を低下させるとともに、高強度材料を使用することで弾性域を大きくすることが可能となる。柱の断面は軸力で決定されるため、低層部も他の層と同断面とする。

2.2 脚部を半剛接合とした連層壁

長周期地震動に対し、超高層建物では梁降伏先行型で設計されていても、最終的には柱に塑性化が生じて崩壊に至る危険性が指摘されている²⁾。TASS-FFは低層部の剛性を低下させているため、低層部に変形が集中しやすく、その傾向が助長されてしまう恐れがある。そこで、剛性を低下させた低層部に連層壁を設けることで、特定層への変形集中を防止している。連層壁の脚部は半剛接合としており、建物の水平剛性を増加させることなく低層部の層間変形角を均一化することができる。連層壁による層間変形角の均一化の効果の概念図を図-2 に示す。

* 1 技術センター 都市基盤技術研究部 防災研究室

* 2 設計本部 構造設計第三部

* 3 技術センター イノベーション戦略部 技術開発戦略室

* 4 設計本部 工事監理部

2.3 連層壁間に設置したオイルダンパー

建物の水平変位に伴って連層壁間には鉛直変位差が生じる。連層壁の剛性が十分に大きい場合、階高と壁幅の比が水平変位と鉛直変位の比となる。連層壁間にオイルダンパーを設け、壁幅を階高よりも大きくすることで、層間に設置するよりも大きな変位がダンパーに生じることとなる。オイルダンパーのエネルギー吸収効率は変位の二乗に比例するため、変位増幅により大幅に減衰性能を高めることができる。連層壁によるオイルダンパーの変位増幅の概念図を図-3 に示す。

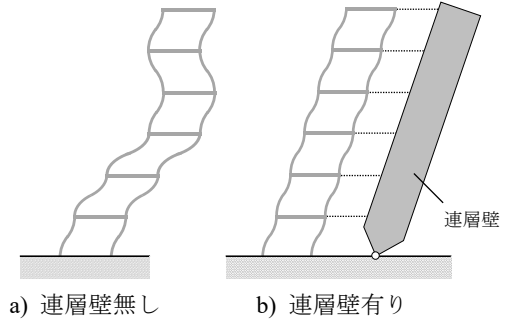


図-2 連層壁による層間変形角の均一化
Fig.2 homogenization of inter-story drift angle

3. 地震時の振動特性

3.1 共振正弦波パルスに対する応答

TASS-FF は、建物の低層部剛性を低下させるソフトストーリーの概念を取り入れている。そのため、減衰による応答低減の効果が薄いパルス性の地震動に対しては低層部の変形が大きくなる恐れがあり³⁾、ダンパーに生じる変位を増幅することで効果を補う必要がある。

そこで、連層壁を有する低層部のモードを 1 次関数、連層壁の無い高層部のモードを 5 次関数で近似した連続体を用い、共振正弦波パルスに対する最大層間変形角をモーダルアナリシスにより求めた⁴⁾。考慮する次数は 2 次までとし、1 次と 2 次の最大変形角の絶対値和と二乗和平方根の平均値を応答値としている。このとき、最大層間変形角が剛性を低下させる前と等しくなるために必要なダンパー変位の増幅率を図-4 に示す。低層部剛性の低下の度合いが大きくなるにつれて必要となるダンパー変位の増幅率も大きくなる。また、付加するダンパー量が多くなると必要となるダンパーの変位増幅率は小さくなる。

3.2 振動台実験による検証

TASS-FF の応答特性を確認するため、振動模型を用いた実験を行う。比較のため、試験体は TASS-FF モデルに耐震モデル、制振モデルを加えた計 3 体とする。本実験における TASS-FF モデルのダンパー変位増幅率は 1.875 としており、共振正弦波パルスに対して最大応答層間変位が概ね制振モデルと等しくなる設定としている。各モデルの振動模型を図-5 に、試験体諸元を表-1 に示す。

入力波として、長周期地震動の成分を多く含む基盤促波 OS1 と、2016 年の熊本地震において観測されたパルス性の強い益城観測波を用いる。実際の建物周期 (3.0s 程度) と耐震モデルの周期 (1.2s 程度、予備応答

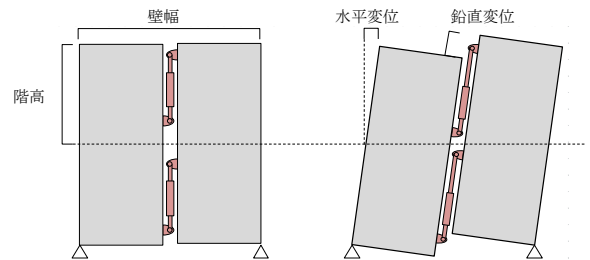
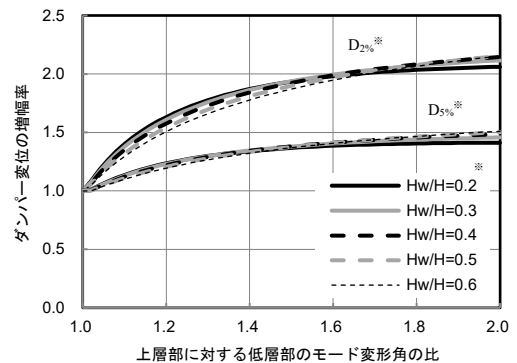


図-3 連層壁によるオイルダンパーの変位増幅
Fig.3 Amplification of oil-damper displacement



※ H_w/H : 建物高さに対する連層壁高さの割合
 D_h : 剛性比例配置した場合に付加される減衰定数が h となるダンパー量

図-4 必要ダンパー変位増幅率

Fig.4 Required damper displacement amplification ratio

解析結果による) の差を考慮し、時間軸を $1/2.5 (=1.2/3.0)$ に縮めて加振を行うものとする。入力レベルは試験体の最大応答値に応じて調整を行う。

各モデルにおける最大応答層間変位を図-6 に示す。基盤促波 OS1 に対し、使用しているダンパー台数は等しいにもかかわらず、TASS-FF モデルは制振モデルよりも変形が大幅に小さくなっている。益城観測波に対しては TASS-FF モデル、制振モデルともに同程度の変形となっており、低層部の剛性低下による変形の増大を、ダンパーの変位増幅により抑えられることがわかる。

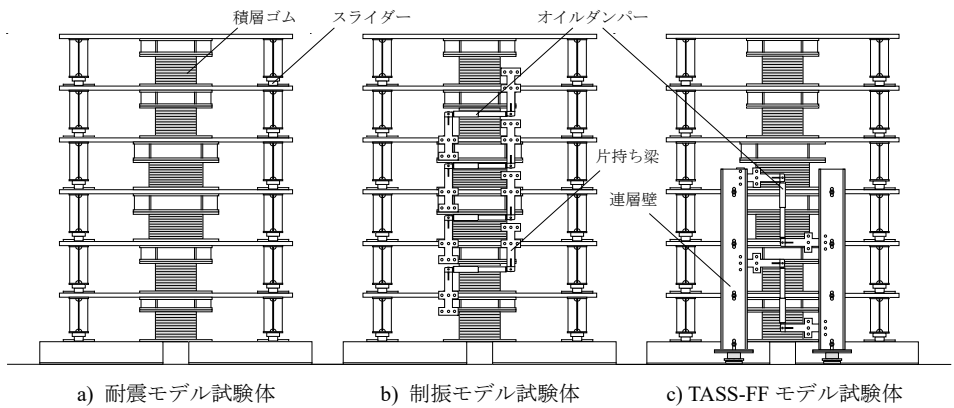
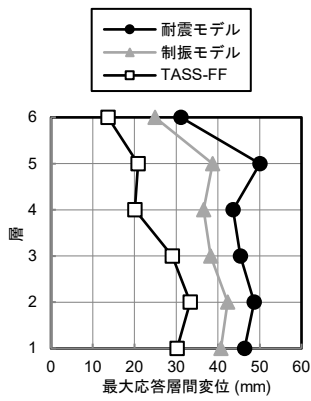


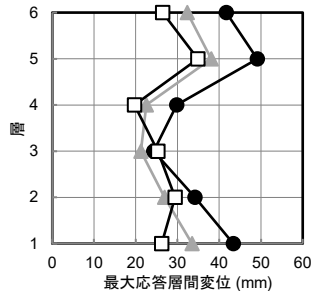
図-5 振動模型図
Fig.5 Specimen for vibration test

表-1 振動試験用試験体諸元
Table 1 Specification of specimen for vibration test

層	耐震			制振			提案建物		
	重量 (kN)	ばね定数 (kN/m)	ダンパー (台)	重量 (kN)	ばね定数 (kN/m)	ダンパー (台)	重量 (kN)	ばね定数 (kN/m)	ダンパー (台)
6	5.01	146	-	5.01	146	-	5.01	146	-
5	5.43	163	-	5.43	163	1	5.43	163	-
4	5.69	245	-	5.69	245	1	5.69	245	-
3	5.99	280	-	5.99	280	1	5.99	280	-
2	6.35	292	-	6.35	292	1	5.73	145	計4
1	6.47	327	-	6.47	327	-	5.46	165	



a) 基盤促波 OS1



b) 益城観測波

図-6 最大応答層間変位
Fig.6 Maximum inter-story drift

4. ダンパー取付け部の耐久性

制振建物の応答解析を行う場合、周辺部材の変形等を考慮してダンパーに生じる変形を正しく評価しなければならない。特に、RC 造建物においてはダンパー取付け部が異種材料間の接合となるため評価が難しく、実験や解析による性能の確認が不可欠である。

RC 造建物へのダンパー接合方法として、柱梁接合部に鋼材を埋め込む方法や⁵⁾、コッターによるせん断抵抗を利用した方法等が提案されている⁶⁾。いずれの方法においても設計変位あるいは設計荷重を超える载荷試験がなされているものの、加力回数は全加力を合わせても 20 サイクル程度であり、近年発生が懸念されている長周期・長時間地震動を想定した場合に十分ではない。そこで、TASS-Flex FRAME の連層壁とオイルダンパーとの接合部を対象とした多数回の繰返し加力実験を行い、接合部の剛性及び耐久性能を確認する⁷⁾。

4.1 試験体

最大減衰力 1500kN のダンパーが取り付けくことを想定した実大スケールの試験体を用いる。試験体を図-7 に、ひずみゲージの配置を図-8 に、試験体諸元を表-2 に示す。ダンパーは連層壁先端に設けた接合部に PC 鋼棒に

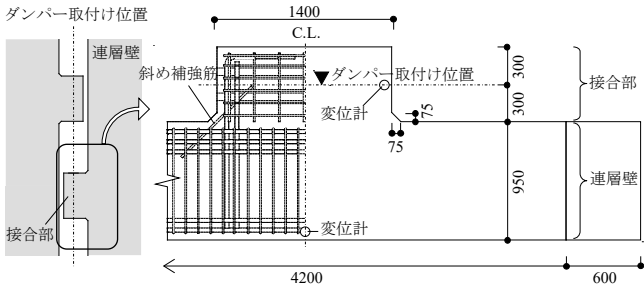


図-7 接合部試験体
Fig.7 Specimen for durability test

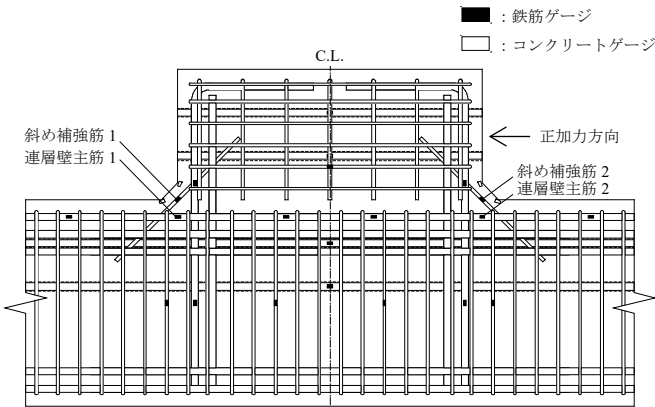


図-8 ひずみゲージ配置
Fig.8 Arrangement of strain gauges

より圧着することで接合する。ダンパー接合部および連層壁の厚さは 450mm で、接合部と連層壁との入り隅部分にはテーパを設けている。

4.2 加力方法

加力装置を図-9 に示す。水平に配した左右の加力用ジャッキのうち一方を引張、もう一方を圧縮として、それぞれが載荷力の半分を負担するよう制御することで水平力を与える。水平荷重が 1500kN を超える場合のみ引張側ジャッキの性能が不足するため、圧縮側と引張側の載荷力の比を 5 : 4 としている。ジャッキは実際のダンパーの取付け状態を模擬して PC 鋼棒により接合部に圧着されており、最大荷重時にも離間が生じないようにしている。

接合部の剛性、繰返しに対する耐久性能および最大荷重以降の特性を確認するため、3 種類の試験を実施した。表-3 に加力プログラムを示す。試験体ごとに、剛性確認として水平力±250kN、±500kN、±1000kN、±1500kN と漸増させ各 3 サイクル、次に耐久性能確認として水平力±1500kN を 100 サイクル、最後に最大荷重以降の特性確認（以降、最大荷重試験）として水平力±1800kN を 5 サイクル与える。最大荷重試験において、当初は水平力±2000kN を予定していたが、安定した加力が難しかったため±1800kN とした。そのため、2 サイクル目のみ±2000kN となっている。

4.3 試験結果

各試験におけるダンパー取付け位置での水平力-水平変位関係を図-10 から図-12 に示す。水平変位は左右のダンパー取付け位置の表面および裏面の計 4 か所の平均値と試験体底の変位の差（図-7）とした。繰返し加力により 1 サイクル目より若干の剛性の低下が見られる（図-10）。また、水平変位 0.2mm 付近から硬化型の特性を示す（図-11、図-12）。

最大荷重の違いによる水平剛性の変化を図-13 に示す。剛性確認試験および最大荷重試験の各荷重レベルでの 3 サイクル目の水平力-水平変位関係に対し最小二乗法による直線近似を行い、その傾きを水平剛性とした。最大荷重の増加に伴い、剛性が線形に低下する。ダンパーの最大減衰力に相当する 1500kN での接合部の変形は、0.5mm 程度である。地震時に TASS-FF の連層壁間に生じる変位差は 60mm 程度を想定しており、ダンパー両側の接合部の変形によるダンパー変位の減少は 1.7%程度と小さい。

繰返し載荷に伴う水平剛性の変化を図-14 に示す。水平剛性は耐久性能確認試験における各サイクルの値を用い、前述の方法により算出した。繰返し加力により

表-2 耐久性試験用試験体諸元

Table 2 Specification of specimen for durability test

コンクリートの圧縮強度		78.4MPa
コンクリートのヤング係数		38,700MPa
配筋	接合部	主筋: 5-D32 あばら筋: D13-□-@100 斜め補強筋: 2-D13
	連層壁	主筋: 8-D32 せん断補強筋: D13-□-@100

※ 鉄筋種別: D32(SD390), D13(SD298A)

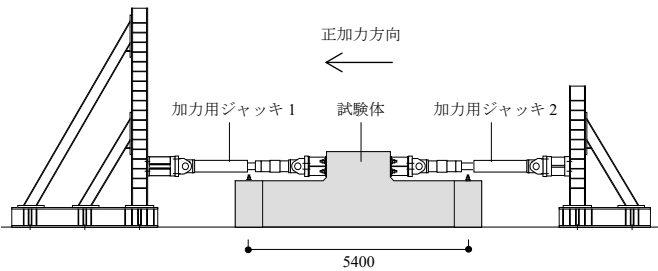


図-9 加力装置
Fig.9 Loading device

表-3 加力プログラム

Table 3 Loading program

No.	確認内容	加力内容
1	剛性	±250, 500, 1000, 1500kN 各3サイクル
2	耐久性能	±1500kN × 100 サイクル
3	最大荷重以降の特性	±1800kN × 5 サイクル※

※ 2サイクル目のみ±2000kN

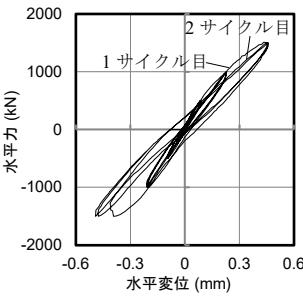


図-10 水平力-水平変位関係
(剛性確認試験)
Fig.10 Force-displacement
relation on stiffness test

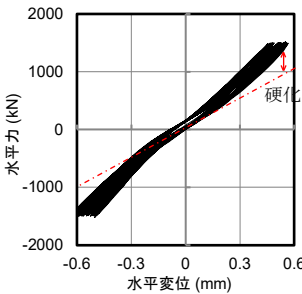


図-11 水平力-水平変位関係
(耐久性能確認試験)
Fig.11 Force-displacement
relation on durability test

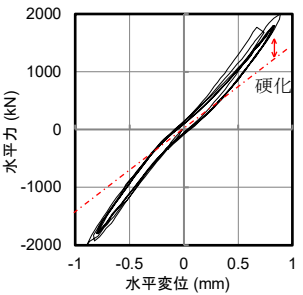


図-12 水平力-水平変位関係
(最大荷重以降の特性確認試験)
Fig.12 Force-displacement
relation on after maximum loading test

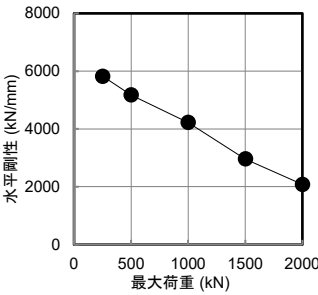


図-13 剛性の変化
Fig.13 change in stiffness

25%程度の剛性低下が生じるが、概ね一定値に収束している。25%の剛性低下を考慮しても、接合部の変形によるダンパー変位の減少は 2.2%程度と小さいことから、ダンパー接合部として十分な耐久性能を有しているといえる。

5. 実施適用

某超高層造RC集合住宅に対して、TASS-FFを適用した。実施設計においては、連層壁脚部の半剛接合構法、本体建物と連層壁との接合方法、ダンパー取付け部の仕様について建物特性や施工性を考慮した構法とした。以下の各節で、詳細について述べる。

5.1 建物概要

実施建物は地上 23 階（最高高さ約 88m）・地下 1 階の超高層 RC 造集合住宅である。図-15 に基準階（6F, 11F）略伏図および代表略軸組図を示す。建物の中央コア部に位置する機械式駐車場の周囲に L 型の連層壁を 4 枚設け、各壁の間に縦方向のオイルダンパーを配置した（写真-1）。壁高さは建物高さの約 40%である 36.75m（1FL～11FL）とし、オイルダンパーはコアの 4 面に各 5 台ずつ、計 20 台を配置した。建物本体架構と連層壁は、6FL および 11FL に各層 8 台ずつ設けた境界梁と呼ばれる部材により接続し、地震力の伝達を行った。連層壁の周囲には本体架構の大梁から片持ちスラブが跳ね出しており、スラブ先端と連層壁との間には 50mm の離隔が設けられている。スラブ先端の一部は 6FL および 11FL において連層壁と接触させており、連層壁のねじれ止めの役割を担っている。

図-16 に、実施建物の地震応答解析結果（最大応答層間変形角）の一例を示す。比較として、純ラーメンモ

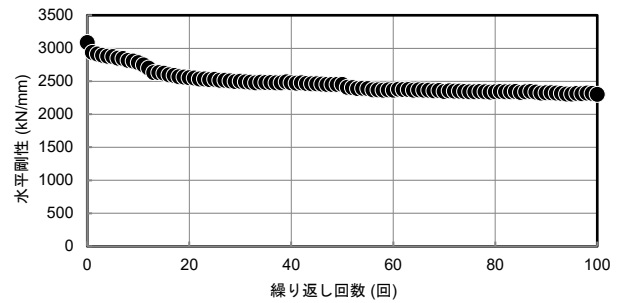


図-14 繰返し回数の違いによる剛性の変化

Fig.14 Stiffness-cycle number relation

デルおよびオイルダンパーを除いて連層壁のみを配置したモデルの結果も示す。連層壁により低層部各階の変形が均一化され、また、オイルダンパーの効果により建物に生じる変形が大きく低減されており、TASS-FF が大きな制振効果を有していることが確認できる。

5.2 連層壁の設計及び解析モデルの妥当性の確認

本建物の設計において、連層壁の壁板部分は連層の 3 本柱モデル、壁脚部は三角形状部分を斜め柱部材としてモデル化した。また、壁脚と基礎の接合部には後述の「大成式杭頭半剛接合構法」に基づいた回転ばねを配置した。本モデル化に基づく終局設計時（架構設計変形時）の解析応力に対して、曲げは連層壁の側柱のみを考慮、せん断は側柱を除いた壁板部のみを考慮して、それぞれ短期許容応力度以下となることを確認している。

TASS-FF の連層壁のように、柱梁に囲まれない L 型の連層壁の挙動が構造計算プログラムで用いられる 3 本柱モデルにより精度よく表現できるかは定かではない。そこで設計に先立ち、FEM 解析との比較を行った。下記に検討例を示す。3 本柱モデルと FEM モデルそれぞれについて連層壁の 2FL～11FL（最頂部）部分を取

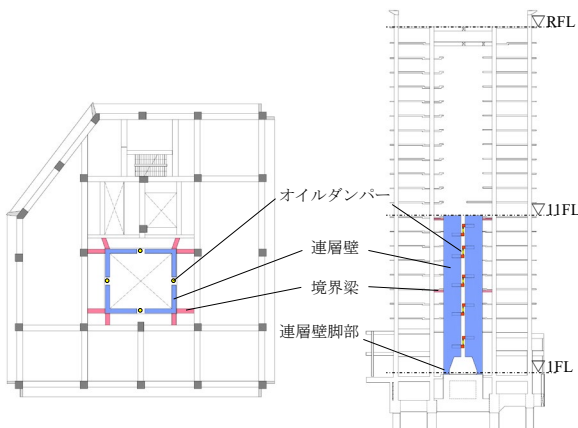
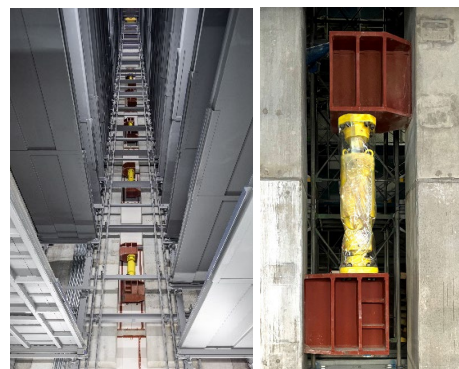


図-15 基準階略伏図（6F,11F）および代表略軸組図
Fig.15 Standard floor plan (6F, 11F) and Standard framing elevation



a) 機械式駐車場内部から b) 室内側から

写真-1 オイルダンパー設置状況
Photo.1 Setting up of oil-dampers

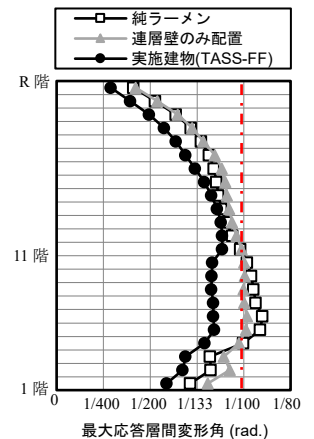


図-16 最大応答層間変形角
Fig.16 Maximum inter-story drift angle of the building

り出し、2FL をピン支持、11FL をピンローラー支持とし、境界梁を有する 6FL の位置で 100kN の水平力加力を行った。図-17 に解析モデルおよび解析結果を示す。最大変位は、3 本柱モデルで 0.485mm、FEM モデルで 0.506mm となり、3 本柱モデルでやや剛性を大きく評価しているものの、概ね一致している。

5.3 連層壁脚部の設計

連層壁の脚部は本体架構の変形に追従して柔軟に回転変形するピンもしくは半剛接合であることが望ましい一方、地震時のオイルダンパーの伸縮による大きな圧縮および引張力に抵抗する必要がある。この点を考慮し、実施建物では壁脚の設計を「大成式杭頭半剛接合構法」(F.T.Pile 構法) に準じて行う事とした。すなわち、壁脚部に円形のテーパ部を設けて上下逆転した半剛接合の杭頭と見做し、壁脚の下部に位置する基礎躯体を杭頭フーチングと見做して設計を行った。図-18 に壁脚部の配筋詳細を示す。壁脚接合面 (A 断面) は円形にテーパを設け、断面外周に軸力・曲げ抵抗の主筋、中心部に引張軸力時のせん断抵抗用鉄筋を配筋した。圧縮軸力時のせん断力は摩擦により伝達する設計とした。

5.4 本体架構と連層壁との接合部 (境界梁) の設計

前節で述べたように、オイルダンパーによる圧縮および引張力に対しては壁脚部で抵抗するため、本体架構と連層壁を接続する部材は純粋に本体架構に生じる水平力のみを連層壁に伝達させることとした。この時、接続部材と建物本体架構および連層壁とを剛接合の梁で接続、もしくは連層壁と周囲の片持ちスラブをダボ筋で接続するなどの形式とすると、接続部材には個材としての曲げせん断、地震力伝達に伴う軸力もしくはせん断力、連層壁の回転に伴う曲げせん断およびねじれ変形、これらが同時に作用することとなり、部材の設計が極めて困難となる。そのため、接続部材は大きな圧縮・引張軸力を伝達でき、かつ、完全な両端ピン接合に極力近づけることが望ましい。この点を考慮し、実施建物では接続部材として「アンボンド RC 境界梁構法」を新たに開発し、適用した。図-19 に「アンボンド RC 境界梁構法」の概要図を示す。本構法の特長として以下の 3 点があげられる。

①境界梁躯体内で主筋にアンボンド処理 (絶縁材巻き付け) を施しており、コンクリートとの付着を切っている。そのため平面保持が成立せず、RC 部材としての曲げ・せん断が生じない。コンクリート部は主筋の上に載っている状態だが、スパンが短いため部材応力等への影響は極めて小さい。

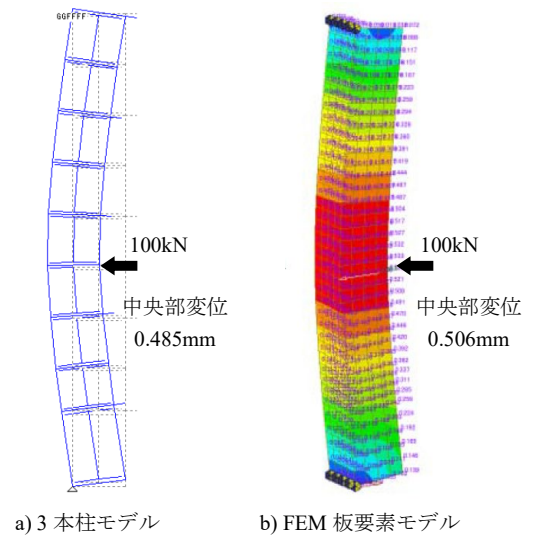


図-17 連層壁のモデル化による違い
Fig.17 Difference between 3 beams model and FEM model

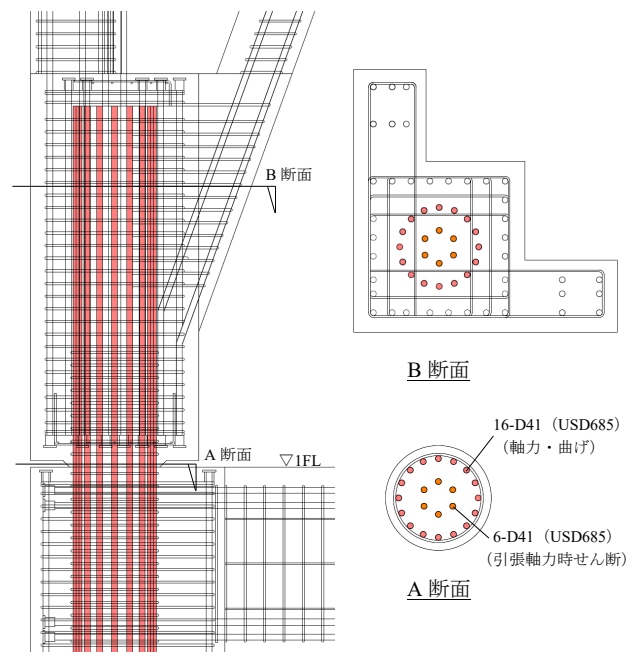


図-18 連層壁脚部配筋概要図
Fig.18 Outline of rebar arrangement at the bottom of multi-story wall

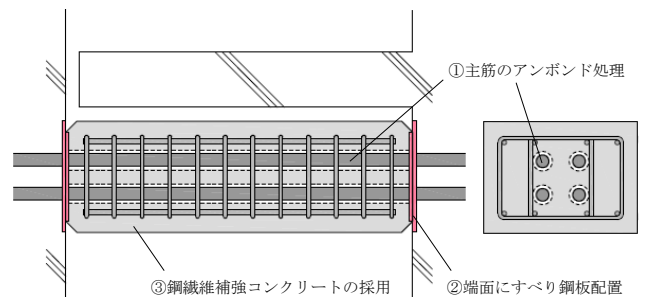


図-19 アンボンド RC 境界梁構法概念図
Fig.19 Conceptual diagram of unbonded RC boundary beam construction method

②境界梁端面、および本体躯体と連層壁が境界梁に接触する面にすべり鋼板を配置した。これにより、地震時のねじれ変形による境界梁応力を極力小さくし、また接触面の欠け等を防止している。

③境界梁には鋼繊維補強コンクリートを採用した。これにより、万が一のひび割れ発生時においても、ひび割れの進展の防止が可能となった。躯体表面には防錆塗装を施し、部材表面の鋼繊維の発錆を防止した。

以上の3点により、RC部材としてほぼ完全な両端ピン接合を実現し、TASS-FFにおいて最も重要な部材である境界梁について十分な余裕度を確保して設計することができた。また、境界梁の配置についてパラメトリックスタディを行い、境界梁台数、境界梁設計応力、建物変形の観点から最適な境界梁配置を採用した。

5.5 オイルダンパーおよび取り付け部の設計

2.3 節に示す通り、TASS-FF のオイルダンパーには建物の層間変形に比して大きな伸縮が生じる。実施建物におけるレベル 2 地震応答時のオイルダンパーの荷重－変位関係および地震入力エネルギーの時刻歴をそれぞれ図-20、図-21 に示す。

オイルダンパーに生じる最大変位は 55mm であった(限界変位±80mm)。また、入力エネルギーに対する

オイルダンパーによる吸収エネルギーの比率は約 40% となっており、RC 造建物としては非常に大きな値を実現している。一方、長周期地震動も含めたすべての L2 地震動に対してオイルダンパーの温度上昇値は最大でも 15℃と、オイルダンパーの性能が確認されている限界値である 80℃を大きく下回っており、性能に影響を及ぼさないことが確認できている。

実施建物では、オイルダンパーは連層壁躯体内に埋め込んだ鉄骨ブラケットに取り付いている。RC 部材としても設計は可能であったが、ひび割れ発生による剛性の低下を極力避けるため、および壁プレキャスト(以下、PCa)部材割付の観点から取り付け部を極力小さくするため、鉄骨ブラケットを採用した。

5.6 施工計画・施工状況

施工計画に際し、TASS-FF 関係部材は、躯体精度確保・工期短縮等の観点から、極力 PCa 化する計画とした。図-22 に TASS-FF 関連部材の PCa 化概要および壁板 PCa 部材の写真を示す。壁脚部および境界梁はフル PCa 化、壁板部と壁板直角部は各階ごとに分割して PCa 化し、横筋を重ね継手した上で現場打設により一体化した。壁縦筋は機械式継手により接続した。各部材の施工状況を写真 2 から 5 に示す。

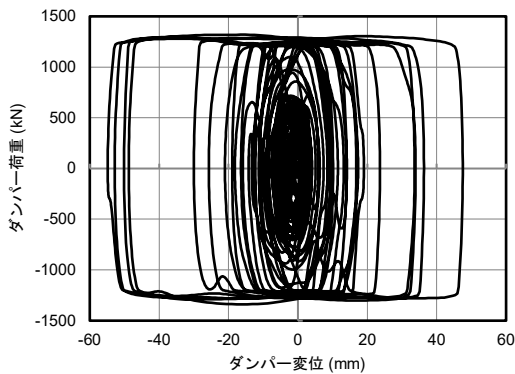


図-20 オイルダンパーの荷重－変位関係
Fig.20 Force-displacement relation of oil-damper

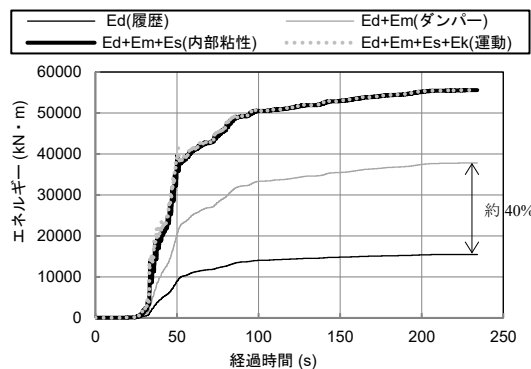


図-21 地震入力エネルギーの時刻歴
Fig.21 Time history of seismic input energy

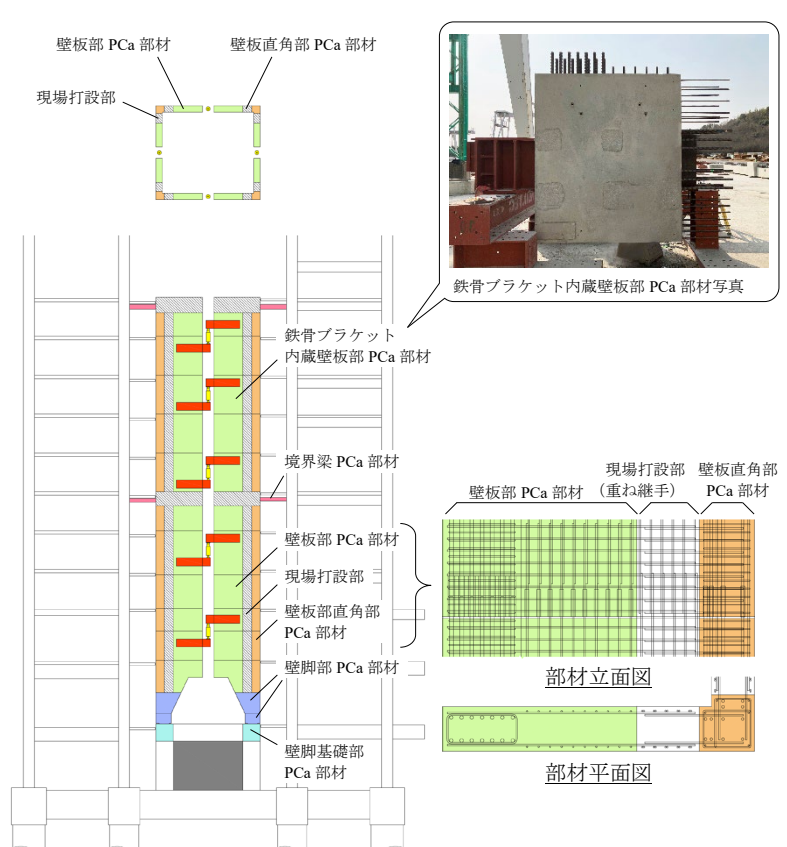


図-22 TASS-FF 関連部材 PCa 化概要
Fig.22 Outline of Pre-Cast members related to TASS-FF



写真-2 壁脚接合部 PCa 部材形状および取り付け状況
Photo.2 Shape of Pre-Cast member of wall bottom joint and its installation



写真-3 壁脚部 PCa 部材設置状況

Photo.3 Setting up of Pre-Cast member of wall bottom

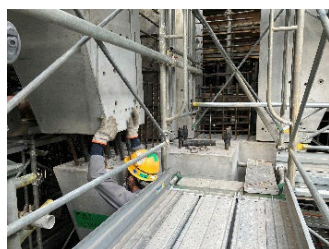


写真-4 壁板 PCa 部材取り付け状況
Photo.4 Installation of Pre-Cast member of wall

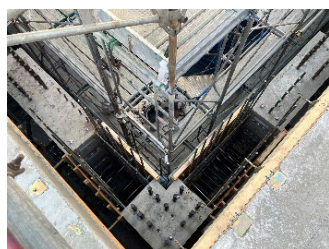
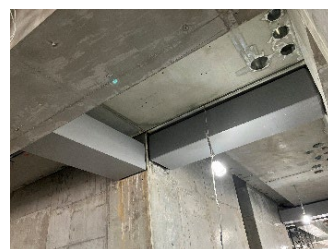


写真-5 境界梁 PCa 部材取り付け状況

Photo.5 Installation of Pre-Cast member of boundary beam



6. まとめ

本稿では、超高層 RC 造建物に大きな減衰を付与するため、低層部剛性を低下させ、連層壁とダンパーを低層部に集約配置した超高層制振架構 TASS-Flex FRAME の実現に向け、各種の検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- ・連層壁によりダンパー変位を増幅させることで、低層部剛性を低下させた場合においても、1 次モードに共振する正弦波パルスに対する応答を剛性低下前より小さくすることができる。

- ・接合部の剛性は最大荷重の増加に伴い低下するが、ダンパーの最大減衰力を超える荷重に対しても十分な剛性を保持できる。また、繰り返し回数の増加によっても剛性の低下が生じるが、一定値に収束し剛性は保持されるため、長周期・長時間地震動による多数回の繰り返し加力に対して十分な耐久性能を有している。

- ・実施建物において、連層壁による各層の層間変形角の均一化効果、およびオイルダンパーによる応答低減効果を確認した。また、オイルダンパーが高いエネルギー吸収性能を安定的に発揮できていることを確認した。

- ・連層壁脚部の構法として「大成式杭頭半剛接合構法」(F.T.Pile 構法)を準用し、また、本体架構と連層壁を接続する部材として新規開発した「アンボンド RC 境界梁構法」を、オイルダンパー取り付け部として壁板 PCa 部材に埋め込んだ鉄骨ブラケットを採用すること

で、構造性能と施工性を両立した架構とした。

- ・TASS-FF 関係部材は極力 PCa 化する計画とし、製作・現場作業ともに高い精度を確保しつつ短工期で施工する事が出来た。

参考文献

- 1) 谷翼, 中島徹, 欄木龍大, 日比野浩: RC 高層住宅向け高減衰架構「TASS-Flex FRAME」の開発, 大成建設技術センター報, 第 49 号, 論文番号 05, 2016.
- 2) 金紋廷, 荒木慶一, 山川誠, 田川浩, 五十子幸樹: 極大地震動に対する純ラーメン超高層鋼構造骨組の動的応答に及ぼす P- Δ 効果の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 644 号, pp.1861-1868, 2009.
- 3) 安井雅明, 西影武知, 見上知広, 亀井功, 鈴木恭平, 林康裕: パルス地震動に対する 1 自由度系最大応答理論解と応答特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 650 号, pp.731-739, 2010.
- 4) T.Tani, R.Maseki, I.Takewaki: Innovative seismic response controlled system with shear wall and concentrated dampers in lower stories, Frontiers in Built Environment (Specialty Section: Earthquake Engineering), Volume 3: Article 57, 2017.
- 5) 小川雄一郎, 磯田和彦, 北村佳久, 神野靖夫: RC 造建物に鋼材系制震ダンパーを組み込んだハイブリッド架構の構造性能に関する研究 その1~その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.1227-1230, 2004.
- 6) 毎田悠承, 吉敷祥一, 野々山昌峰, 曲哲, 前川利雄, 濱田真, 坂田弘安, 和田章: 座屈拘束筋違を取り付けるための接合部を有する RC 部分架構の実験, 日本建築学会構造系論文集, 第 681 号, pp.1737-1746, 2012.
- 7) 谷翼, 中島徹, 欄木龍大: RC 高層住宅向け高減衰架構「TASS-Flex FRAME」の開発 連層壁とダンパーとの接合部の繰り返し加力実験, 大成建設技術センター報, 第 50 号, 論文番号 035, 2017.