

さまざまな大きさの地震に対応できる制震工法

省スペースに設置でき耐震性能と制震効果を発揮する「クロスダンパー」

岸 浩行・堂 地利 弘・内 海 良 和

中小地震には高い剛性により耐震性能を向上し大地震時には制震効果を発揮する摩擦ダンパーと、中小地震から大地震まで制震に効果的なオイルダンパーを交差して組み合わせた省スペース型のダンパー「クロスダンパー」(以下、本システムと称す)を開発した。設置箇所数を削減できるため、特に工事可能な場所が限定される既存建物の耐震改修工事に有効でコスト低減と工期短縮も実現可能である。これらの特長を有することから、内部に展示施設があり建物内の設置スペースに制約のある熊本城天守閣復旧整備事業における耐震改修工事に採用され、2018年9月現在施工中である。

キーワード：耐震, 制震, 摩擦ダンパー, オイルダンパー, コスト低減, 工期短縮, 熊本城

1. はじめに

1995年の阪神淡路大震災以来、毎年大きな地震が各地で発生し、甚大な被害をもたらしている。最たるものは、2011年の東日本大震災であるが、今年も4月に鳥根県西部、6月に大阪府北部、9月に北海道胆振地方中東部でマグニチュード6を超える地震が発生し、今後も首都直下型地震、南海トラフ地震の発生が危惧されている。

阪神淡路大震災以来、建物の耐震補強が進められてきており、耐震改修実施率は高くなっている。一方で、耐震要素の設置箇所の制限から耐震補強が進められない建物も数多く存在する。また、最近では、大地震時に建物が倒壊せずに人命を守るだけでなく、地震後に建物を継続して利用できることが求められている。

そこで、筆者らは、制震ダンパーを用いた制震補強を目指し、かつ省スペース化を図ることが、ひとつの解決策となりうると考えた。制震ダンパーには、大きなエネルギー吸収が期待できる摩擦系を適用することとし、高橋ら^{1), 2)}などが開発した、皿ばねとブレーキ技術を用いた高力ボルト摩擦接合滑りダンパー(以下、摩擦ダンパーと称す)を用いることとした。

ここで、摩擦ダンパーの基本構成を図-1に示す。この摩擦ダンパーは皿ばねを介した高力ボルトセットで摩擦板(ブレーキ材)とステンレス板の摺動面を締結し、摺動面に一定の面圧を発生させることで安定した滑り摩擦力を発生する。

これまで、さまざまな地震に対応するために、粘

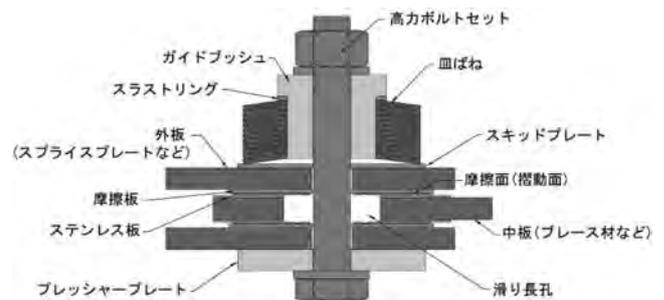


図-1 摩擦ダンパーの基本構成

弾性体と直列に組み合わせたハイブリッドタイプ³⁾、復元力特性を工夫した2段階タイプ^{4), 5)}を開発し、実用化されている。本稿では、これらに続く取組みとして、オイルダンパーと並列に組み合わせた本システムの概要、特長、適用例を紹介する。

2. 本システムの概要

本システムは、中小地震時には高い剛性で耐震性能を向上させ、大地震時には揺れのエネルギーを吸収するダンパーとして有効に働く摩擦ダンパーと、中小地震から大地震までダンパーとして効果を発揮するオイルダンパーを交差して組み合わせた制震工法である。

従来、摩擦ダンパーとオイルダンパーを設置する際は、それぞれを柱と梁に囲まれた空間(構面)に設置していたため、二構面の設置スペースが必要であったが、本システムは一構面に設置できるため、設置場所の確保が難しい建物でも高い耐震性能と制震効果が得られる。

また、設置箇所数を削減できるため、特に工事可能な場所が限定される既存建物の耐震改修工事に有効でコスト低減と工期短縮も実現する。

3. 特長

(1) 2つの耐震要素を組み合わせて省スペース化を実現

既存建物の耐震改修では、**図一2**に示すように、構面に耐震用のブレースや制震ダンパーを設置する。人の動線の確保など建物利用の制約を減らすためブレースなどを設置する構面数が最小限となるよう計画するが、建物内にはこれらを設置できる構面が少ないのが一般的である。これまで、耐震用のブレースと制震ダンパーを設置する場合は二構面が必要であり、通路をふさがねばならないなど、既存の動線を阻害することがあった（**図一2**の左図）。

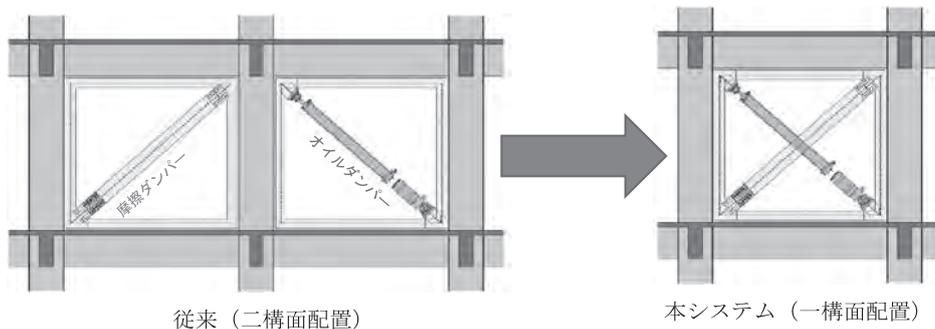
本システムは、2つの異なる機能を持つ耐震要素を一構面に配置することで省スペース化を可能とし、人の動線を阻害することなく耐震性能と制震効果を確保できる（**図一2**の右図）。**写真一1**に示すように、高い剛性を有する摩擦ダンパーの主材部分に貫通孔（**写真一2**）を設け、制震効果を発揮するオイルダンパーを貫通させる。これにより、**図一3**に示すように、柱と各ダンパーの芯が同じ軸線上に配置でき、平面的なねじれが生じない構成となる。



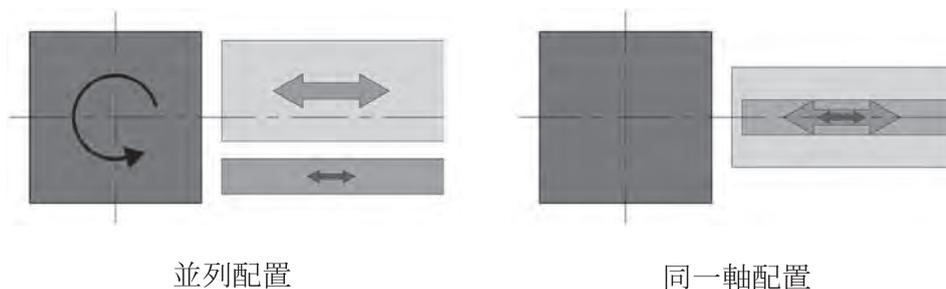
写真一1 本システム



写真一2 貫通部



図一2 本システムのイメージ図



図一3 ダンパーの配置による柱のねじれ

(2) さまざまな大きさ、特性の地震に対応可能

本システムは、中小地震時にはオイルダンパーが揺れを制御し、大地震時にはオイルダンパーに加えて摩擦ダンパーが地震のエネルギーをさらに吸収して揺れを抑えるため、さまざまな大きさの地震に対して優れた制震効果が得られる。

また、建物が変形する大きさにより効果が変化する摩擦ダンパーと、建物が変形する速度により効果が変化するオイルダンパーは、それぞれ最大の効果を発揮するタイミングが異なるため、さまざまな特性の地震に対して柱・梁に過大な力が作用することを防ぐことができる。

通常の耐震改修では、大地震時に建物が倒壊せず人命が確保できることを目標耐震性能としているが、これに加えて本システムの持つ優れた制震効果により建物の持続的な利用が可能となる。

その性能は、実大モデルによる実証実験と数値解析モデルによるシミュレーションにより検証、確認⁶⁾している。図-4に、正弦波（周期2.0 sec、振幅±40 mm）载荷による実験結果（荷重—変形関係）の一例を示す。左から架構全体、摩擦ダンパー、オイルダンパーの荷重—変形関係である。中央の図には、摩擦ダンパーの軸方向の滑り荷重の計算値（600 kN）とその±10%の荷重、右の図には、オイルダンパーの軸方向の最大減衰力の計算値とその±10%の荷重を併記している。

同図によると、架構全体の水平荷重の最大は最大変形時よりも少し手前のタイミングで生じていることがわかる。また、架構全体の荷重—変形関係は、若干角部が丸みを帯びたバイリニア型に近い形状の履歴ループを安定して描いている。摩擦ダンパーの軸方向荷重—変形関係は、剛塑性型の履歴ループを描いており、滑り荷重は概ね計算値±10%の範囲に収まっている。オイルダンパーの軸方向荷重—変形関係は、楕円型の履歴ループを描いており、最大減衰力は概ね計算値±10%の範囲に収まっている。

(3) 設置工事の縮減によるコスト低減・工期短縮

一般的に既存建物の耐震補強工事にかかる費用は、設置場所となる構面の解体復旧や耐震用ブレースや制震ダンパーといった耐震要素の設置などに関する工事費が大部分を占める。特に構面の四辺の枠材を既存の柱・梁と一体化する作業に手間がかかりコストや工期の増大を招くうえ、それに伴う騒音・振動・粉じんといった環境への対策にも苦慮していた。これに対し本システムは、設置構面数を従来よりも半減できるため、コストの大幅な削減と工期の短縮が可能となり、さらに耐震改修工事における建物利用者の環境も改善できる。

4. 本システムの適用例

従来の技術と比較して、非常に省スペースに設置できることから、図-5に示すように、平面形状が小さく、内部に展示施設があり設置スペースに制約のある熊本城天守閣復旧整備事業における耐震改修工事に採用された。

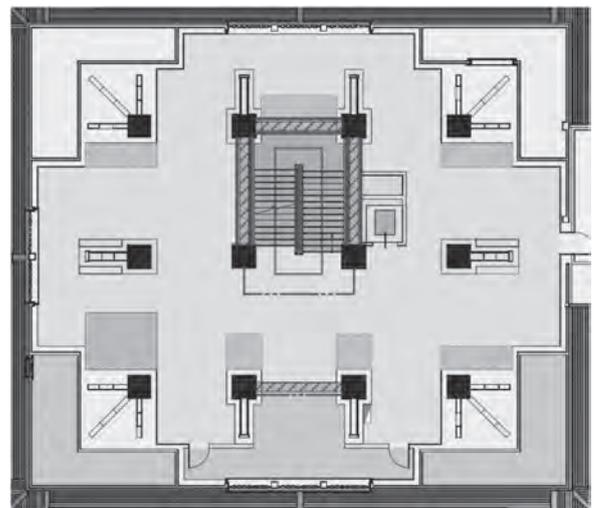


図-5 熊本城天守閣の2階平面図イメージ
( : 本システム)

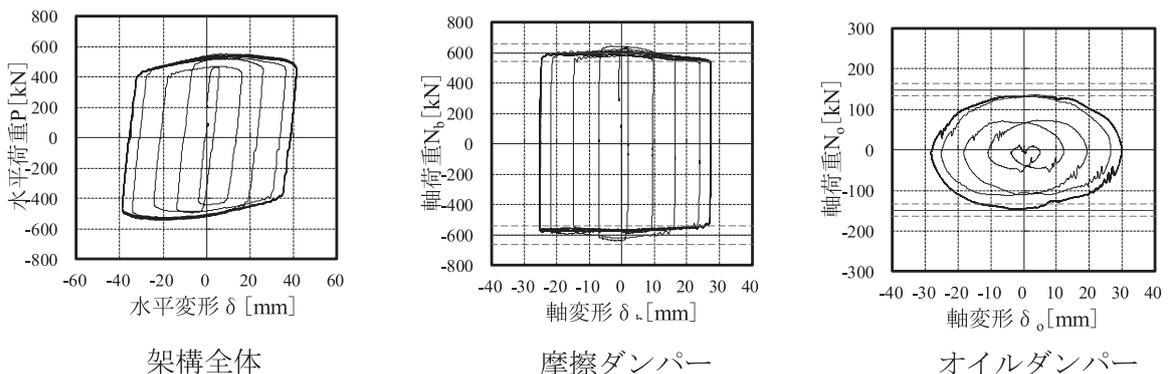


図-4 正弦波载荷による荷重—変形関係の例



写真—3 熊本城天守閣外観（施工中）



写真—4 本システム設置状況（施工中）

2016年の熊本地震で損傷を受けた天守閣の耐震改修工事では、地震時の揺れを効果的に低減することが求められており、展示施設を有する天守閣内の限られたスペースの中でも、高い耐震性能と制震効果が得られる本システムが高く評価された。本システムの設置工事は現在進行中である。写真—3に、2018年9月時点での熊本城天守閣の外観、写真—4に、本システムの設置状況を示す。四辺の枠材、摩擦ダンパーの主材、オイルダンパーのエクステンションを設置後、摩擦ダンパーの組立と締付、オイルダンパーの取付の順で施工した。

5. おわりに

さまざまな大きさの地震に対応できる制震工法として本システムを紹介した。特に、耐震改修工事において有効性を発揮すると思われる。

阪神淡路大震災以来、耐震補強が進められてきており、耐震改修実施率は高くなっている。一方で、耐震要素の設置箇所の制限から耐震補強が進められない建物も存在する。本システムがそれらの一助となれば、幸いである。

JICMA

《参考文献》

- 1) 高橋泰彦・他：高力ボルト摩擦接合滑りダンパーの開発 その1～その7, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.979-992, 2000.9
- 2) 佐野剛志・他：高力ボルト摩擦接合滑りダンパーの開発 その17～その19, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1261-1266, 2017.8
- 3) 徳山純一郎・他：粘弾性体と摩擦ダンパー（ブレーキダンパー）の直列接合からなる制振装置 その8～その9, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.553-556, 2010.9
- 4) 中塚光一・他：1000 N/mm²級鋼と2段階滑りタイプの高力ボルト摩擦接合滑りダンパーの実建物への適用 その1～その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.679-682, 2013.8
- 5) 鈴井康正・他：多様な要求性能を実現する「ブレーキダンパー[®]」, 大林組技術研究所報, No.76, 2012.12
- 6) 堂地利弘・他：高力ボルト摩擦接合滑りダンパーとオイルダンパーを交差させたブレース型ダンパーの構造性能 その1～その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.255-258, 2018.9

【筆者紹介】



岸 浩行（きし ひろゆき）
 ㈱大林組
 本社設計本部 構造設計第四部
 副部長



堂地 利弘（どうち としひろ）
 ㈱大林組
 本社設計本部 構造設計第四部
 担当課長



内海 良和（うつみ よしかず）
 ㈱大林組
 本社建築本部 特殊工法部
 副部長