



平成29年8月17日

巨大地震に対する高層ビルの新しい耐震補強法を開発  
～変位制御型ブレースの20階建て鋼構造骨組への適用～

【本研究成果のポイント】

- ・ 変位制御型ブレース※1を用いて補強した20階建て鋼構造骨組が巨大地震を受けるときの挙動をシミュレーションし、過大な変形を効果的に抑止できることを明らかにしました。
- ・ テンションロッド※2という比較的安価な部材を用いており、都市部に林立している高層ビルの耐震補強促進につながることを期待されます。
- ・ 今後、変位制御型ブレースと制振ダンパーを併用することによる補強法の高度化や、高層ビルのみならず様々な構造形式への応用が期待されます。

【概要】

広島大学大学院工学研究科の田川浩教授の研究グループは、テンションロッドを用いた変位制御型ブレースを設置した20階建て鋼構造骨組の巨大地震時挙動を数値シミュレーションにより分析し、一般のブレース耐震補強時に見られる問題点を克服しつつ効果的に大変形を抑止できることを明らかにしました。ブレース設置により柱に作用する付加軸力を低減できること、応答加速度や残留変形を低減できることなどを確認しました。また、ブレース作用を遅らせ巨大地震時にもブレースが概ね弾性を維持することが、局所層の変形増大を効果的に抑止できる一因であることを明らかにしました。近年、設計時の想定を大きく超える地震動が観測されており、高層ビルに大変形が生じることの社会的影響は大きく効果的な補強方法の構築が喫緊の課題となっています。提案ブレースの挙動特性は、多数の骨組モデルに対し複数の地震動を用いた地震応答解析により検討したものであり、得られたデータは本ブレースを適用していく上で有用な資料となります。

本研究成果をまとめた論文が、Wiley社の学術誌「The structural design of tall and special buildings」に採用され、2017年8月11日にWiley Online Libraryにオンライン掲載されました。

●論文題目：Prevention of story drift amplification in a 20-story steel frame structure by tension-rod displacement-restraint bracing

●著者：Hiroshi Tagawa and Katsuto Inooka

●掲載雑誌：The structural design of tall and special buildings

●DOI：10.1002/tal.1411

●URL：https://doi.org/10.1002/tal.1411

## 【背景】

図1に示すような柱と梁で構成される建築物では、大地震時には部材が塑性変形し地震エネルギーを吸収するように設計され、高層建築物では大地震時に変形が許容値以下であることを数値解析により確認します。しかし、近年、設計時の想定を大きく超える地震動（以下、巨大地震）が観測されており、許容値を超える変形が建物に生じる可能性が指摘されています。高層ビルに大変形が生じることの社会的影響は大きく、低コストで効果的な補強方法の構築が喫緊の課題となっています。耐震補強のため図2に示すようにブレースを設置する場合がありますが、ブレース設置が柱などの既存架構に及ぼす影響を検討する必要があります。そこで、既存架構に及ぼす影響を軽減しつつ大変形を抑止できる図3に示す変位制御型ブレースの高層ビルへの適用性を本研究では検討しています。

## 【研究成果の内容】

本研究では、巨大地震を受ける高層ビルに対する変位制御型ブレースの効果を多角的に検討し、無補強時に発生する局所層への変形増大を抑止しつつ、通常のブレース補強で生じる柱軸力の増大を軽減できることを確認しました。入力地震動は設計時に想定する最大レベルを大きく超える規模に増幅して検討しました。図2中に示す中央1階の柱軸力の推移の例を図4に示します。Rsの値は図3に示すブレースが作用を開始するときの層間変形角です。Rs=0すなわち最初からブレースが作用するケースでは柱軸力がNcrすなわち耐力に達しています。Rs=0.005radのケースでも大きく軸力が増大しますが、Rs=0.01radのケースでは柱軸力の上昇はわずかとなっています。図5に最大層間変形角分布の例を示します。無補強のbare frameでは14階付近の変形が0.02radを超えています。ブレース作用を遅らせたRs=0.01radのケースが最も変形を抑止できていることが確認できます。解析結果を分析したところ、初めからブレースが作用するRs=0や比較的早期にブレースが作用するRs=0.005radのケースでは多数のブレースが降伏するのに対して、Rs=0.01radのケースではブレースが概ね弾性を保つことが確認されました。これが局所層への変形増大を抑止できる一因であると判断できます。当初の目標である局所層の変形増大を抑止することに加え、各層床の応答加速度や残留変形に対する抑止効果があることも確認できました。ブレース特性を変化させた多数の骨組モデルに対して、設計でよく用いられる4種類の地震動を用いて解析を行っており、耐震補強を進めていく上で有益なデータを得ています。

## 【今後の展開】

今後の研究展開としては、オイルダンパーなどの制振装置と変位制御型ブレースを併用することで、変形量をより小さいレベルにまで低減する補強法を検討します。また、本研究では20階建の平面骨組を用いて分析していますが、高さが異なる骨組や立体骨組に適用した場合の挙動特性や補強効果を検討します。

## 【用語解説】

※1 変位制御型ブレース：ブレースとは、構造物の横力に対する強度を持たせるための筋交のことです。変位制御型ブレースは、図3に示すように初期状態では弛めておき水平力が作用し層間変形が指定した量に達した時点で作用するブレースです。2008年に田川らにより日本建築学会論文集に基本モデルが発表されています。既往の研究において、ケーブルを用いたものや本研究で採用したテンションロッドを用いたものが載荷実験（図6参照）により性能確認されています。変位制御型ブレースは建物の揺れが小さいうちは作用せず、大地震時の大きな揺れに対して作用することで過大な変形を抑止します。ブレースが柱梁架構よりも早期に抵抗することによる既存

架構への影響を軽減するとともに、大変形領域においてもブレースが弾性を維持することを可能にします。

※2 テンションロッド：体育館の屋根構造などで使用される引張力に抵抗する部材です。通常の耐震補強に用いられることもあります。端部の接合形式には複数種類がありますが、本研究ではリングジョイント（図6e参照）と呼ばれる部材を用いることでターンバックルによるブレース作用開始点の調整を容易にしています。

【参考図】

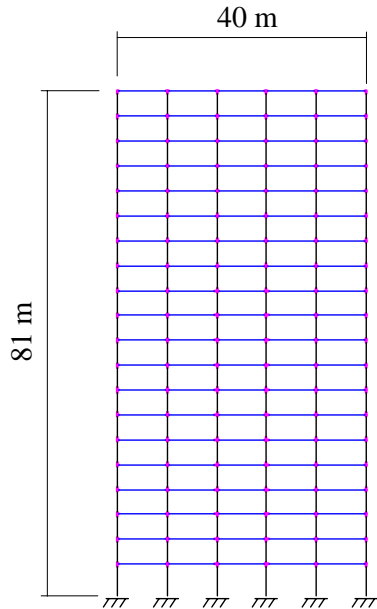


図1 20層骨組

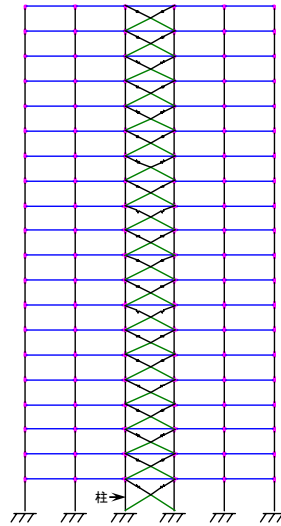


図2 ブレース補強

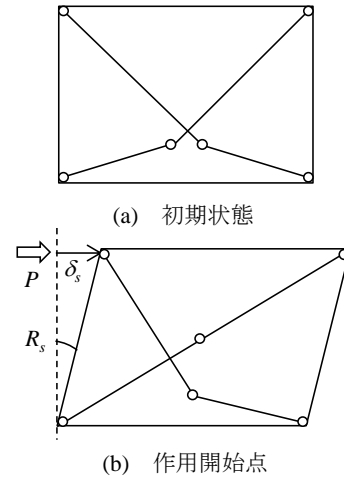


図3 変位制御型ブレース

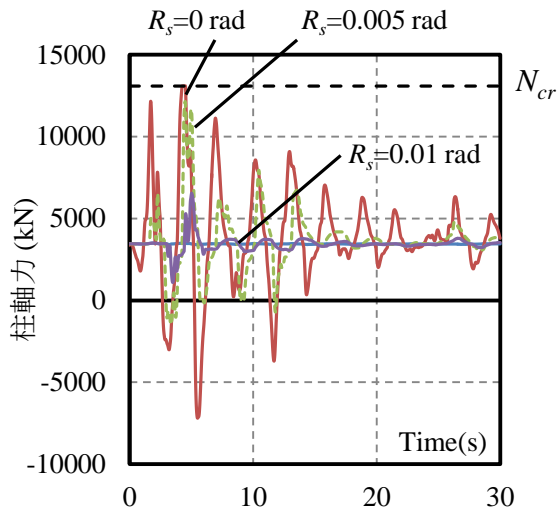


図4 1階柱の軸力の変動

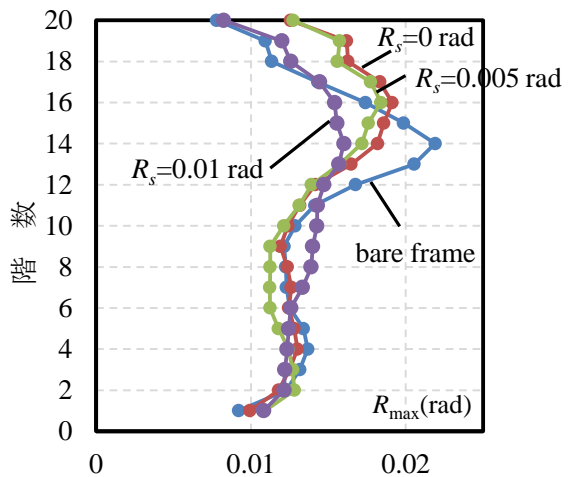
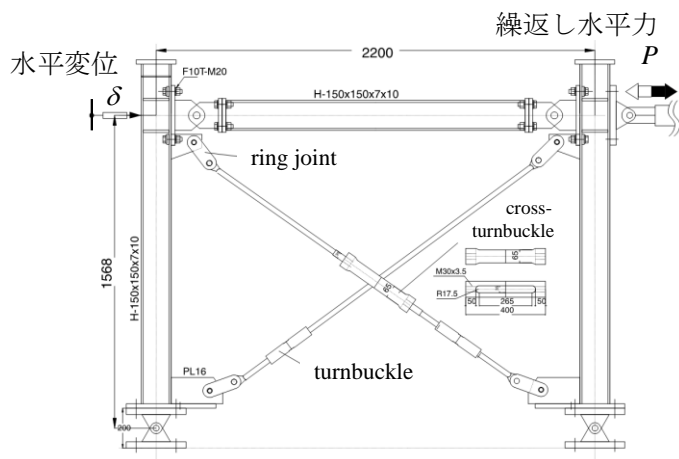
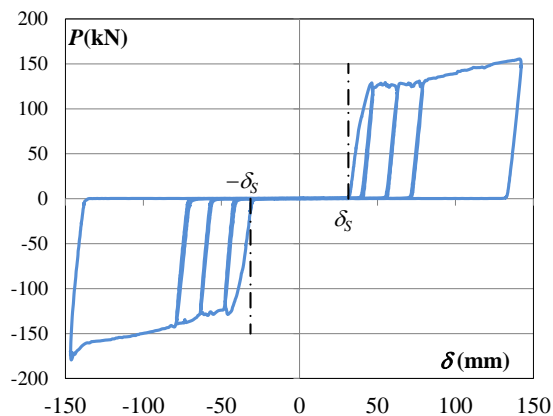


図5 最大層間変形角



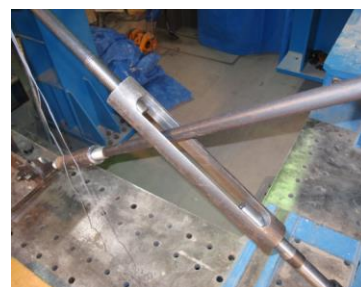
(a) 試験体【初期状態】  
(柱梁接合部と柱脚部はピン接合)



(b) 水平力～水平変位関係  
(指定変位 $\delta_s$ でのブレース作用を確認)



(c) 右方向の水平荷重に抵抗時の変形状態



(d) ブレース交差部



(e) リングジョイント

図6 変位制御型テンションロッドブレースの載荷実験

【お問い合わせ先】

大学院工学研究科 教授 田川 浩  
 Tel/Fax : 082-424-7799  
 E-mail : htagawa@hiroshima-u.ac.jp  
 発信枚数 : A4版 4枚 (本票含む)