

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信  
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

# 方杖型ダンパーにより 線路上空建築物を耐震補強する

線路上空部分を跨いで構築する「線路上空建築物」は、線路階の高さが高い、柱と柱の間隔が長い、基礎杭の頂部を繋ぐ地中梁がないなどの構造的特徴を有しています。また、列車走行や旅客流動があることや鉄道施設全体の耐震性能の観点から、一般建物よりも高い耐震性能が求められます。このような特徴を有する既存線路上空建築物の大地震対策として、方杖型に設置した制振ダンパーによる補強効果を検証しました。

## はじめに

駅建物には、線路上空部分を跨いで建物を構築するタイプのものがあります。このような建物を「線路上空建築物」と呼んでいます。1階に線路とプラットホーム、2階部分に改札口やコンコースなどがある低層のものが橋上駅(図1)と呼ばれ、さらに上層階を利用した駅ビル併設型もあります。

この線路上空建築物は、一般建物とは異なる構造的特徴を持っています(図2)。まず、線路やプラットホームがある最下階(線路階)の高さは、列車が走行する空間を確保するため、一

般建物の2倍近くあります。また、複数の線路を跨ぐことも多く、柱と柱の間隔が長いことがあります。そして、線路階では、列車走行や旅客流動を阻害しないようにするため、一般建物のような筋交いや壁を設けることが難しい場合があります。さらに、最も特徴的な点として、一般建物にある基礎杭の頂部を地中部で繋ぐ部材(地中梁)が、ほとんどの場合で設置できないことが挙げられます。これは、線路上空建築物では、既に列車が走行している線路の真上に建設されることが多く、線路下や線路近傍部の地盤を掘削



山田 聖治  
Seiji Yamada  
構造物技術研究部  
建築研究室  
主任研究員  
[専門分野] 建築構造



清水 克将  
Katsuyuki Shimizu  
構造物技術研究部  
建築研究室  
副主任研究員  
[専門分野] 建築構造



図1 線路上空建築物(橋上駅)

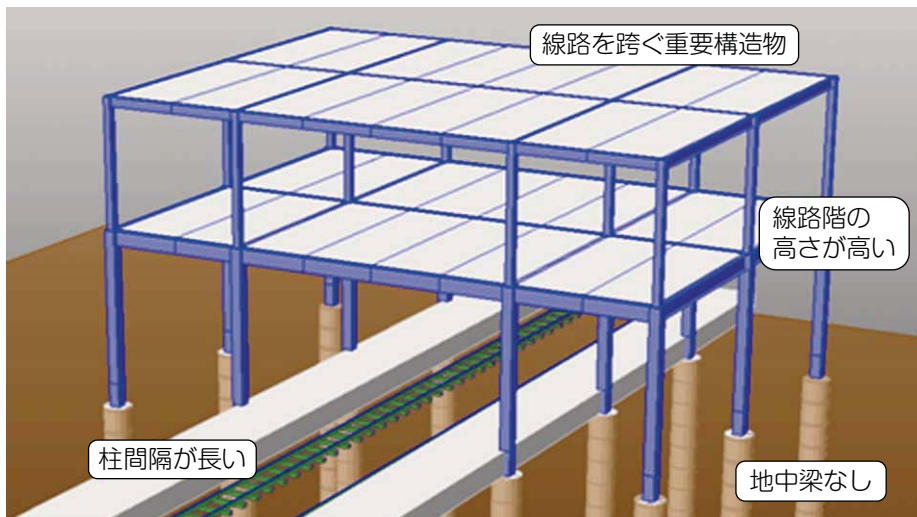


図2 線路上空建築物の特徴



図3 線路上空建築物の設計標準

して地中梁を施工することが、安全性の確保や経済性の面から難しいためです。

用途においても一般建物とは異なる特徴があります。線路階を列車が走行し多くの旅客が利用することや、地震後に迅速な駅機能の復旧が望まれることを考慮して、一般建物よりも高い耐震性能が求められます。また、鉄道施設全体の耐震性能の観点から、高架橋などの鉄道土木構造物との耐震性能の整合を図る必要もあります。

### 線路上空建築物の耐震性能と対策

新設の線路上空建築物では、設計標準(図3)<sup>1)</sup>による高い耐震性能を持つ建物が設計されます。その一方で、古い線路上空建築物の中には、現在定められている耐震基準より性能が低いものがあり、必要に応じて耐震補強が進められています。

建物の耐震補強では、筋交いや耐震壁といった地震に抵抗するための部材を増やすことが一般的ですが、線路上空建築物では、列車運行や旅客流動のために設置が容易ではありません。また、梁や柱のみを補強する方法もあります。いずれの方法においても、上部

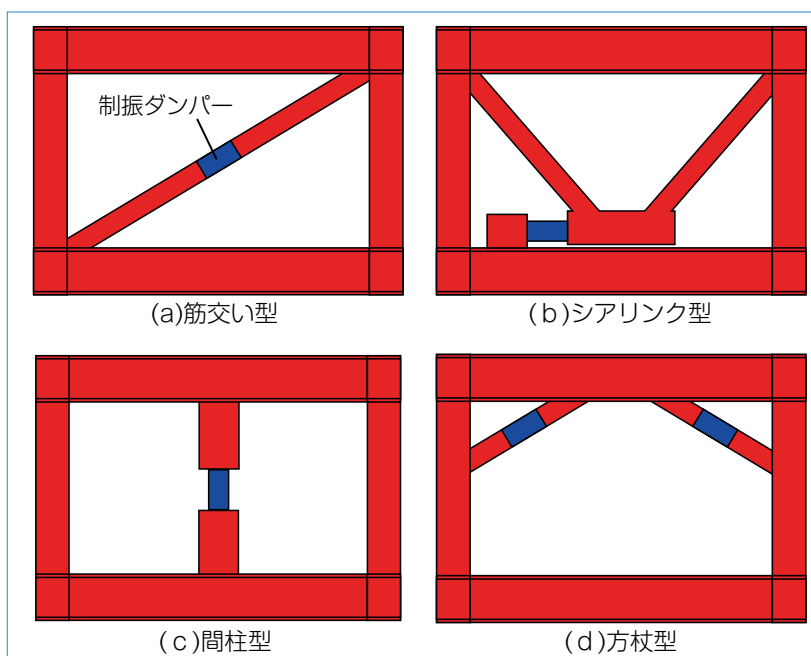


図4 制振ダンパーの主な設置位置

構造の部材や架構の強度を高めすぎると、補強しなかった部分に地震時の力が集中する可能性があり、補強の難しい基礎杭に作用する力が增大する恐れがあります。線路上空建築物では基礎杭を繋ぐ地中梁がないことから、基礎杭を健全な状態に保っておくことが重要なため、耐震補強において下部構造への影響を十分考慮する必要があります。

そこで、制振ダンパーを設置することによって、地震時のエネルギーを消

費する方法について検討しました。制振ダンパーとは、材料特性などをいかして建物に減衰を与えるもので、一般建物では主に図4のように設置されます。ダンパーに建物の応答(変位、速度など)が伝わることで効果を発揮しますので、値の大きい層間の応答(層間変位や速度)を直接ダンパーに入力できるように設置できれば、より高い効果を得ることができます。そのため、筋交い型(図4(a))やシアリンク型(図4(b))などの設置方法が一般建物

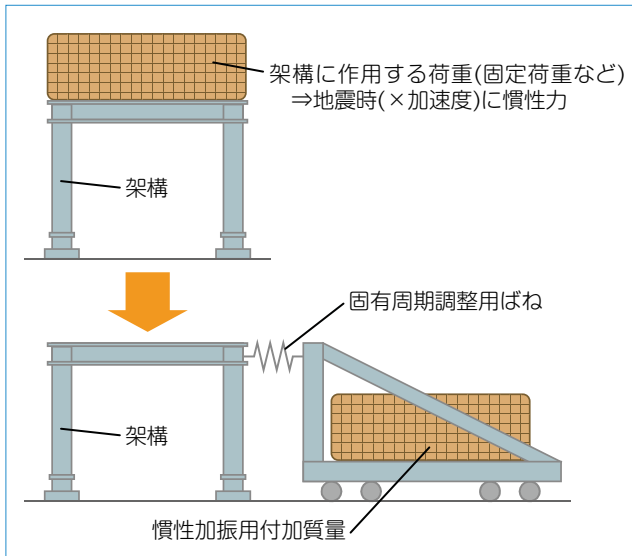


図5 慣性力加振方法の概要

では望ましいと考えられますが、線路上空建築物での採用は困難です。また、間柱型(図4(c))では上記の制約の影響は小さいですが、線路やホームに支障する可能性があります。そのため、線路上空建築物を対象とした最も汎用性の高い設置位置は、方杖型(図4(d))であると考えられます。ただし、方杖型では、主架構との幾何関係からダンパーに建物の応答が伝わりにくいデメリットがあり、これまでにあまり研究開発されていませんでした。

そこで鉄道総研では、既存線路上空建築物の大地震対策として、方杖型に設置した制振ダンパー(以下、方杖型ダンパー)の補強効果を検証するための大型試験体による振動台実験を行いました<sup>2)</sup>。以下ではその実験について簡単に紹介します。

## 部分骨組架構を用いた振動台実験

### (a) 振動台の概要

鉄道総研が所有する大型振動試験装置は、振動台の大きさ5m×7m、最大積載質量50tであり、最大加速度2000gal、最大振幅±100cmで動かす

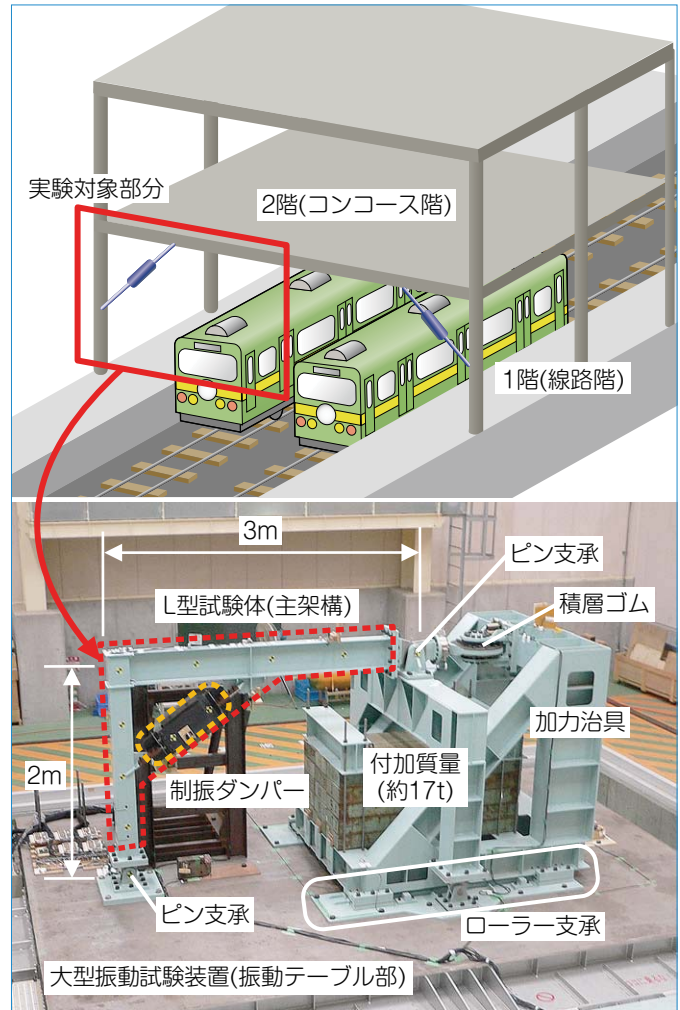


図6 実験全体写真

ことができます。

### (b) 実験方法の特徴

本実験に限らず、実験に使用する試験体を縮小模型とすることがしばしばありますが、形状をそのままに縮小した場合には、相似則の影響を考慮する必要があります。そこで、本実験においては、相似則の影響が少なくなるように、極力大きいサイズの試験体にする実験方法を計画しました。

まず、検討したのは安全機構です。実験時には、試験体の破損や試験装置の誤動作に対応するため、転倒防止などの安全機構を設ける必要があります。しかし、試験体が大型になるにつれて、安全機構も大がかりになる可能性があります。そこで本実験では、加振方法

として慣性加振方法<sup>3)</sup>を採用しました。

この手法は、図5に示すように、架構の上部に作用する荷重に相当する質量をローラー支持した状態で床面におき、架構と繋ぐことで地震時の慣性力を与える方法です。この方法により、試験体がトップヘビーにならず、安全装置を簡素なものにすることができました。

次に、方杖型ダンパーが取り付け主架構については、梁中央と柱の途中位置で切断したL型部分骨組架構(以下、主架構)としました。切断した位置は、部材に作用する曲げモーメントがゼロになる点で、ピン支持とすることで切断前の挙動を模擬しています。

以上の検討によって、試験体の主架構を、想定した橋上駅線路階の約2/5

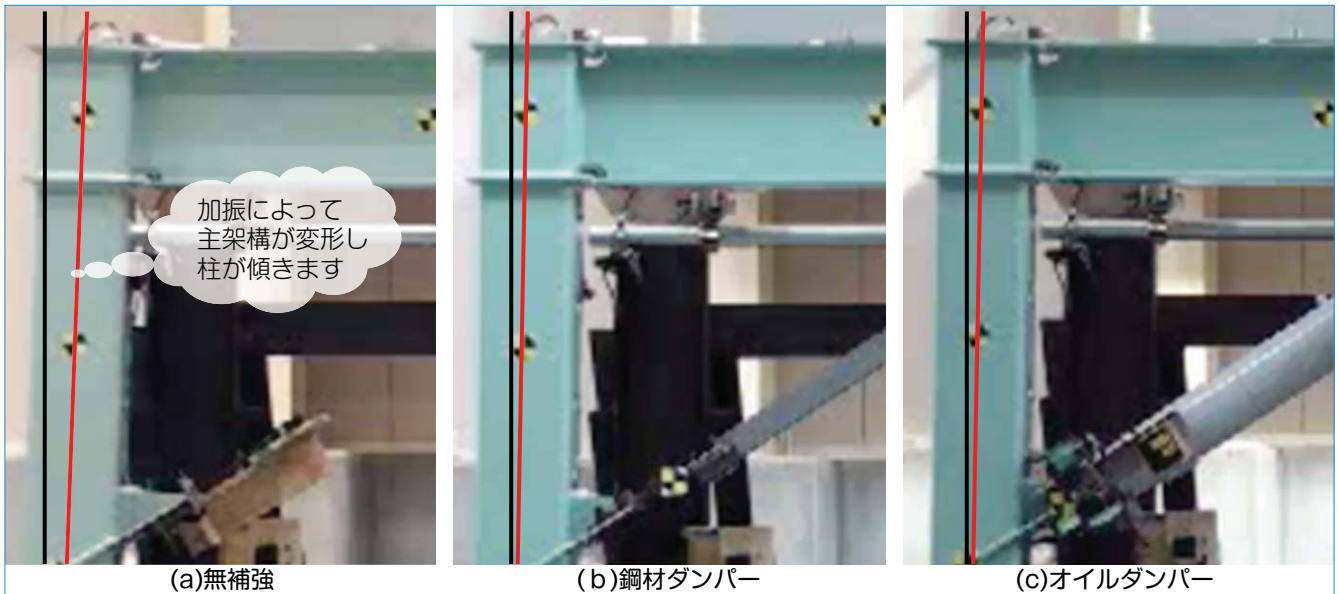


図7 実験結果の一例(黒線：加振前の柱の中心線，赤線：最大変位時の柱の中心線)

サイズに縮小した大型模型とすることができました(図6)。

#### (c) 方杖型ダンパー

方杖型ダンパーは、主架構の隅角部に設置しました。柱と梁の接合部からの距離は、柱側が1m、梁側が1.5mです。制振ダンパーには鋼材ダンパー、粘弾性ダンパー、オイルダンパー、慣性質量効果を持つ粘性ダンパーの4種類を使用しました。

制振ダンパーと主架構の接合部は、主架構の応答を制振ダンパーへ伝達する重要な部分ですので、主架構や制振ダンパーより先に壊れてはいけません。また、既存建物への方杖型ダンパーの設置を考慮した場合には、現場での施工が極力容易であることが望まれます。そこで、本実験では、方杖型ダンパーが柱や梁に対して斜め方向に取り付くことから、柱とダンパーの取付部材であるダイヤフラムを柱に対して傾斜して溶接接合する形式としました<sup>4)</sup>。

#### (d) 計測における注意点

実験は試験体の状態を計測しながら行いますが、本実験のような動的な実験では、計測器が動いたり、外れたりする可能性があります。そこで、高速

度カメラを利用した画像解析システムを併用するなどして、変位・加速度の計測を多重系にしています。

#### (e) 実験結果と解析

実験結果の一例として、主架構の変位応答を図7に示します。図では、黒い線が加振前の柱の中心線、赤い線が加振中最大変形時の柱の中心線を示しており、より傾いている方がより変形が大きいことを示しています。この結果では、無補強(図7(a))の時に比べて、方杖型ダンパー(図7(b)(c))を設置することで、40~50%程度の変形量に低減されています。また図示していませんが、主架構に発生する力も大きく下がっていることが確認できました。

そして、本実験では杭への影響を確認できませんので、実験結果の解析結果を踏まえて、実際の駅を想定した解析を実施しました。その結果、部材や架構の強度を高める従来型の補強に比べて、杭に作用する力の上昇を抑制できることも確認できており、方杖型ダンパーによる補強効果が発揮されることがわかりました。

#### おわりに

線路上空建築物を対象とした方杖型ダンパーによる耐震補強について紹介しました。

本記事は既存建物への適用を念頭に置いて記載していますが、方杖型ダンパーを使った構造形式は新設建物への適用も可能です。今後は、線路上空建築物の合理的な設計体系に組み入れていきたいと考えています。RRR

#### 文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：線路上空建築物(低層)構造設計標準2009, (社)鉄道建築協会, 2009
- 2) 山田聖治, 他2名：方杖型制振ダンパーによる線路上空建築物の耐震補強効果, 鉄道総研報告, Vol.25, No.2, pp.29-34, 2011.2
- 3) 秋山宏, 他5名：慣性加力装置を用いた構造要素の実大振動台実験方法, 日本建築学会構造系論文集, No.505, pp.139-146, 1998
- 4) 武居泰, 他6名：制震ブレースを用いた線路上空利用建物の耐震補強法 その7, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C1, pp.973-974, 2000.9