

駅建物を地震から守る

武居 泰
 構造物技術研究部
 (建築 研究室長)

山田 聖治
 同
 (同 副主任研究員)



たけい やすし やまだ せいじ

はじめに

駅建物は列車に乗降するための場所であり、鉄道施設全体の中でも重要な構造物の一つです。また、最近では都市部を中心に駅建物の中にコンコースなどの駅施設のほか、利便性を高めるため物販店舗やレストランなどの商業施設が併設されることもあり、不特定多数の利用者が滞在する場所にもなりつつあります。そのような駅建物を大地震の揺れから守ることは、人命の確保や鉄道の早期復旧などの面から重要な課題です。そこで、駅建物の耐震設計や地震対策について、今までの取り組みを紹介します。

いろいろある駅建物の形態

駅建物の構造的な形態は、線路との位置関係などから主

に図1のように分類できます。(a)は線路の脇に駅建物があるタイプで地平駅と言います。(b)は高架駅で土木構造物の高架橋の下をコンコースなどの駅施設として用いるタイプです。(c)は地下駅で地下の土木構造物の中に駅施設があるタイプです。(d)は線路上空部分を跨いで建物を構築するタイプで、このような建物を「線路上空建築物」と呼んでいます。2階部分にコンコースなどがある低層の駅建物がいわゆる橋上駅というもので、さらに上層階に商業施設を併設した駅ビルタイプもあります。

このうち(a)、(d)が建築基準法に基づいた設計が求められますが、(d)の線路上空建築物は、一般の建物とは異なる構造的な特徴があるため、特別な設計法を適用して大きな地震の揺れに対しても安全を確保できるようにしています。ここでは、この線路上空建築物の耐震設計法を中心に、話を進めていきます。

線路上空を利用した建物の特徴とは

線路上空を利用した橋上駅や駅ビルは(図2)、土地の有効利用や線路による市街地の分断を避けるのに適した構造形態です。線路を跨ぐことから一般建物と比較して構造上の特徴がいくつかあります(図3)。まず、線路やプラットフォームのある最下階(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倍近くあることや、複数の線路を跨ぐために柱と柱の間隔が長いことが挙げられます。とりわけ特徴的なのが、一般建物では設置され

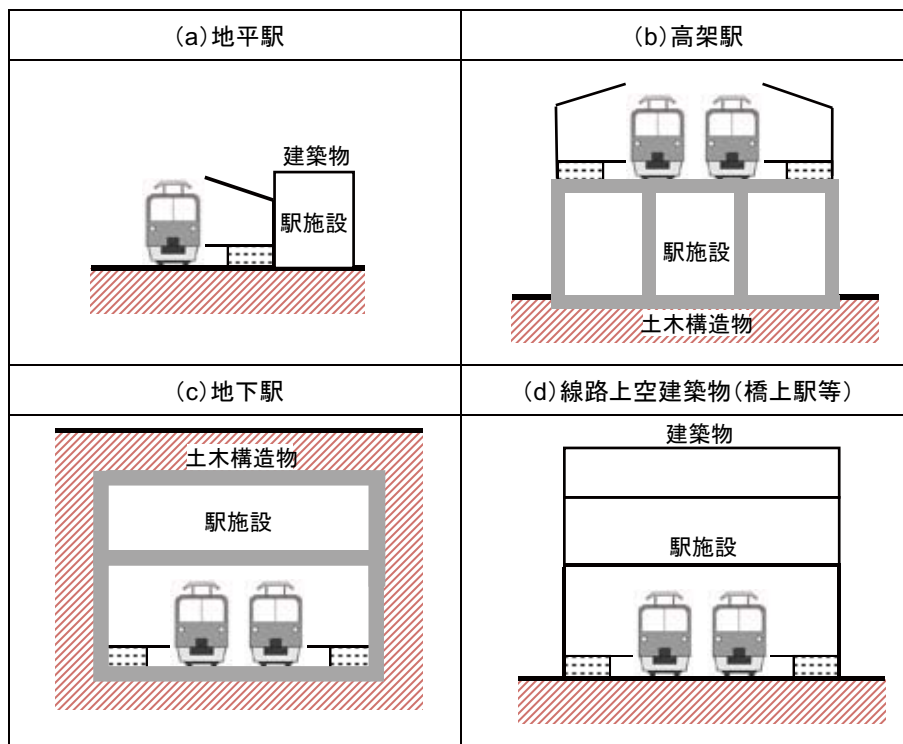


図1 駅建物の構造的な形態分類



図2 線路上空を利用した建物(線路上空建築物)の例

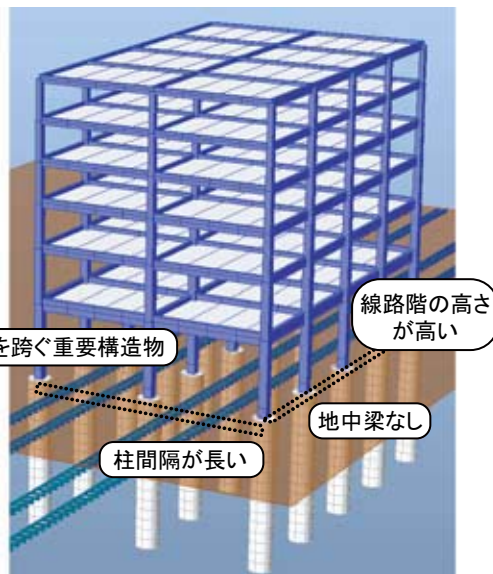


図3 線路上空建築物の特徴

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、省略されることです。この理由は、線路上空建築物は既設の営業線の真上に建設されることが多く、その場合、線路下や線路近接部の地盤を掘削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。

用途上の重要性につ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数の旅客が利用することや、地震後の迅速な駅機能の復旧を考慮すると、耐震性能をより高めた設計が要求されます。また、鉄道施設全体の耐震性能の観点から、高架橋などの土木構造物との耐震性能の整合を図る必要もあります。

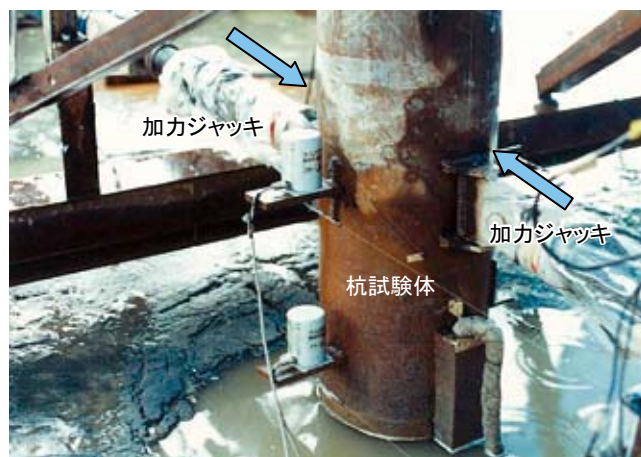


図4 実物大の基礎杭を用いた実験

地震時の挙動をさぐる

地中梁を省略した建物では、基礎杭の挙動が上部構造の挙動に大きな影響を与えます。そのため、砂や粘土質の地盤において実物大の基礎杭を設置し、水平方向に力を加えてその挙動を調べました(図4)。実験結果から、基礎杭の変形や応力状態を確認し、設計に用いる解析モデルの妥当性を検証しました。

また、地震時に地盤と建物は相互に影響を与えますが、特に地中梁が無い建物では、その影響が大きくなることが予想されました。そこで、地盤を分割して質量を持つ点とそれらを繋ぐばねで置換し、ばねを基礎杭に接続することで地盤と建物を一体化した解析モデルを作成しました(図5)。地盤のばねが格子のように見えるので、格子モデル

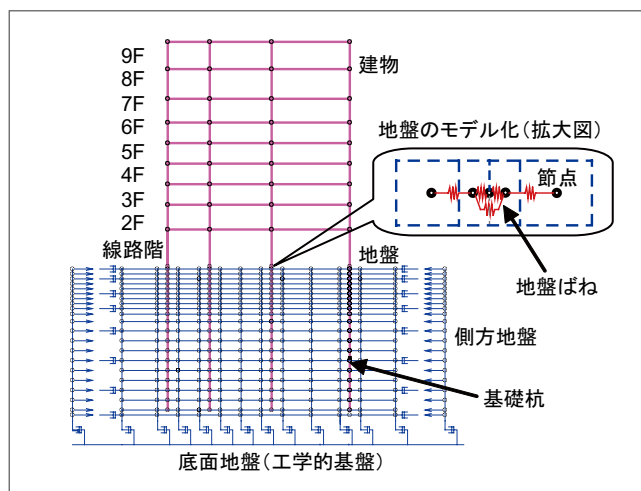


図5 地盤と建物を一体化した解析モデル(格子モデル)

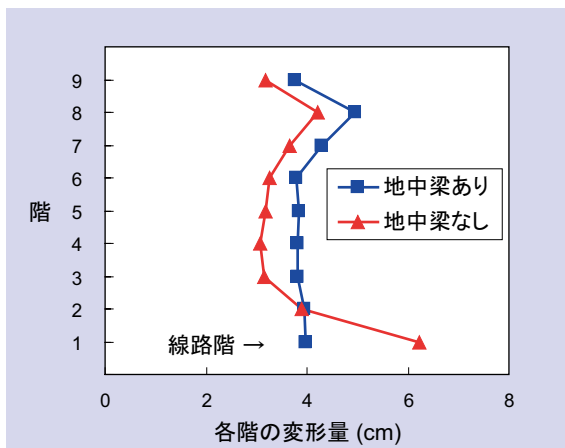


図6 地震時に生じる各階変形量の推定例

ルと呼ばれています。このモデルに地震動を入力し、そのときの挙動を解析した例を図6に示します。地中梁が無いと、線路やプラットフォームのある線路階に変形が集中してしまうため、線路階の設計には特に注意を払う必要があることがわかりました。

地震の揺れから守るためには

建物の設計においては、建築基準法という守るべき法律がありますが、これは一般建物を対象とした必要最低限の規定を示しているとも言えます。そのため、特殊な構造形式と重要な用途を併せ持つ線路上空建築物では、建築基準法を基本として、建物の特徴を踏まえたより高い耐震性能の確保が必要となります。そこで、線路上空建築物に対しての設計法を作成し、設計実務に活用しています。この設計法の基本的な考え方を以下に示します。

(1) 目標とする耐震性能

線路上空建築物の設計において目標とする耐震性能を表1に示します。特に線路階については、列車が運行する空間を覆うシェルターとしての重要性を考慮しています。建物の存続期間中に数回起きると予測される中小規模の地震には建物としての機能を保証し、耐用年数中に一回遭遇するかどうかの大地震には線路階を軽微な損傷に留め列車の運行が確保できることを目標としています。また、極めて頻度の少ない最大級地震に対しても人命に被害の出るような崩壊・倒壊には至らないことおよび地震後に列車運行の早期復旧が可能であることを目標としています。

(2) 建物の損傷制限

どんな地震に対しても全く壊れない建物が実現できれば理想的ですが、部材の損傷により建物に入力する地震エネ

表1 耐震性能目標

地震動レベル	人命	列車運行	機能
中小地震	○	○	○
大地震	○	○	△
最大級地震	○	△	×

○：保証できる △：保証できない場合もある

×：保証できない

表2 設計標準の変遷

1987年版	2002年版	2009年版
<ul style="list-style-type: none"> ・高さ20m, 4層以下 ・1方向地中梁なし ・地震力の割増し 	<ul style="list-style-type: none"> ・2方向地中梁なし ・非線形解析の適用 ・必要耐力の割増し ・最大級地震動に対する検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・適用範囲を拡張 (高さ20→31m) ・動的解析の適用 (高さ20m超)

ルギーを吸収することや経済性の観点から、無損傷の建物を設計することは一概に合理的であるとは言えません。また、想定を少し上回る地震に対してすぐに崩壊してしまうような余裕のない建物でも困ります。したがって、どのように損傷させればより安全に対する信頼性が増すかということが設計において特に重要となります。

まず、建物の損傷発生パターンですが、線路階より上の階が先に損傷すると、損傷した部位でエネルギー吸収することもあり、線路階に作用する地震力は大きくなりません。従って、列車が走行する線路階の重要性を考慮し、線路階を上層階より先に損傷させない設計を推奨しています。また、梁は柱より一般的に荷重が作用したときの变形能力が高く、損傷しても建物全体の崩壊・倒壊に至る可能性が低いため、梁を柱より先に損傷させるほうが好ましい設計と言えます。さらに、基礎杭の損傷は、地中梁が無い場合には建物の崩壊・倒壊を引き起こす恐れが高いため、地震動の大きさに応じて基礎杭の損傷を制限する必要があります。

(3) 土木構造物との整合

鉄道に関連する構造物は駅建物以外にも多数ありますが、例えば、高架橋は土木構造物として扱われます。そのため、

その設計には鉄道土木構造物の耐震基準が適用されます。ところが、土木と建築の基準では、対象とする地震動の大きさが異なり、土木のほうが建築より大きな地震動を想定しています。つまり、高架橋と線路上空建築物では、双方とも鉄道システムの一部を担う構造物でありながら、大きさの異なる地震に対して安全性を評価することになります。そこで、土木構造物の耐震設計に用いられる地震動(L2地震動)を最大級地震動として定め、その地震動に対して線路階が崩壊しないことを確認しています。この検討により、同じ鉄道関連施設として、耐震性能評価の整合を取れるようにしています。

(4) 設計指針

以上述べてきた線路上空建築物の耐震設計法を取りまとめた設計指針が「線路上空建築物(低層)構造設計標準」¹⁾です(表2)。この指針は、昭和62年に当時の国鉄により初版が制定されましたが、その後、鉄道総研が主体となって二度の改訂を行っています。現在では高さ31mまでの建物に適用できるようになり、JRをはじめ多数の鉄道事業者にも活用されています。

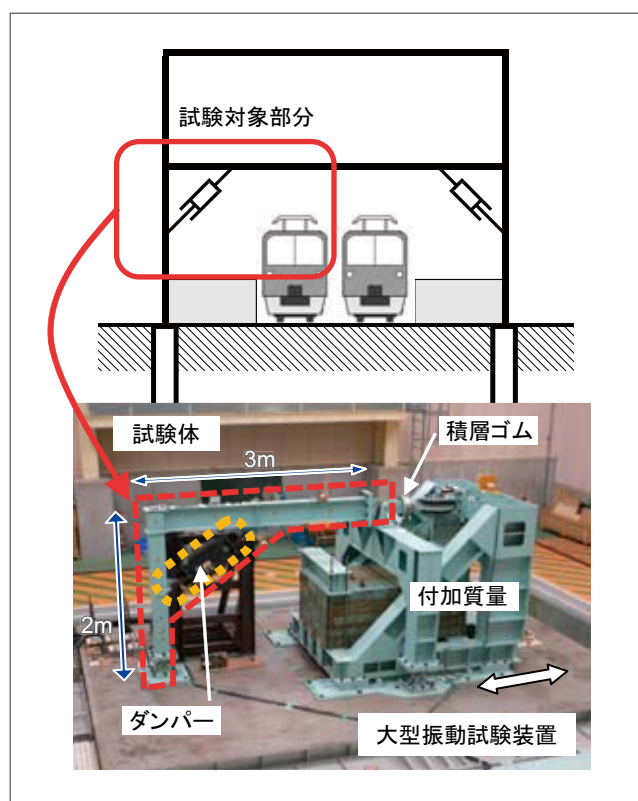


図7 大型振動台実験

既設の駅建物の地震対策

古い橋上駅の中には耐震性の低いものもあり、必要に応じて耐震補強が進められていますが、線路階では列車走行や旅客流動を阻害するため、一般建物のように筋交いを入れたり壁を増設したりするには制約があります。また、梁や柱を補強して強度を高めすぎると、地震時に基礎杭に作用する力が増大する恐れがあります。そこで、合理的な耐震補強法として、柱と梁の接合部付近に方杖状にダンパーを設置して、そこで地震エネルギーを吸収させるような工法を開発しています。ダンパーには特殊な鋼材や粘性材などを用いることができます。大型振動台での実験(図7)や地震応答解析により、ダンパーが有効に作用し部材の変形や応力が小さくなることが確認できました(図8)。この工法は、新設の駅建物にも適用できます。

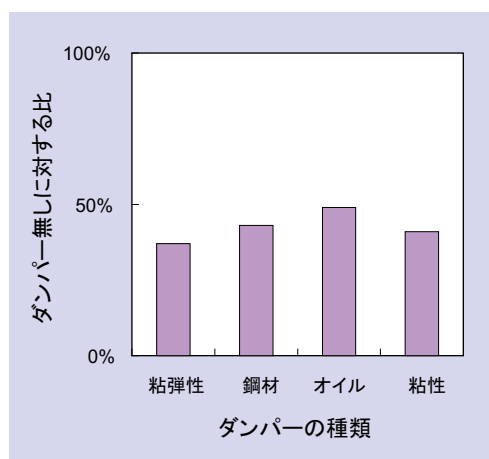


図8 各種ダンパー設置による変形量の低減効果(大型振動台実験結果)

おわりに

線路上空を利用した駅建物(線路上空建築物)の耐震設計の考え方について述べてきましたが、このほかにも駅の設備や天井・仕上げ材などの耐震性向上も重要です。さらに、地震時の旅客の避難誘導などソフト面についても取り組む必要があると考えています。今後も、より地震に強い駅を目指して、研究開発を進めていきます。RRR

文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：線路上空建築物(低層)構造設計標準 2009, (社)鉄道建築協会, 2009