

緩衝装置を配置した超高層中間層免震における免震衝突時の検討

その1：緩衝装置の必要配置数の推定

正会員 ○北岡 拓也*

同 周防 尚*

中間層免震	緩衝装置	衝突
超高層	巨大地震	フェイルセーフ

1. はじめに

近年、設計で想定された地震動を上回る巨大地震の発生が懸念されており、基礎免震においては建物に設けられたクリアランスを超える変形を生じて擁壁に衝突する可能性について多くの報告がなされている。中間層免震においては、擁壁の代わりに過大な変形に対するフェイルセーフとして、トリガー機構を設置する必要があると考えられる。図1に示すようなEVや階段等のコア部分を下部構造まで貫通させる建物においては、下部まで連続する躯体をトリガー機構として利用できる可能性がある。このような建物においては、上部構造と下部構造が巨大地震により衝突した場合、各々の構造体に大きな衝撃力が生じるとともに、局所的な加速度の上昇により家具の転倒による人的被害が懸念される。衝突による衝撃力防止・低減のためには大きく2つの方法が考えられる。

- a. クリアランスを大きくし、衝突させない。
- b. 緩衝装置を設置し、衝撃力の低減を図る。

aは免震装置の過大な変形により装置の交換が必要となる可能性がある。またクリアランス範囲の増加によるレントابل比の減少より、事業収益面から望ましくない。bは衝撃力の低減効果を図る為に緩衝装置を設置し、ゴムの圧縮変形によりエネルギーの吸収を図る方法で、aに対して有効な手段である。したがって本論文では新たなトリガー機構を想定した緩衝装置による衝撃力低減効果を明らかにするとともに、必要配置数の提案を行う。

2. 検討条件

2.1 対象建物および免震層の概要

対象建物は中間層免震の集合住宅とし、建物階数は超高層建物を想定して20~40階の鉄筋コンクリート造とする。免震装置には鉛プラグ入り積層ゴムを想定する。

2.2 検討用地震動および耐震クライテリア

検討用地震動は、大地震に相当する模擬地震動（解放工学的基盤、乱數位相）を約2倍（加速度倍率）とし、継続時間は120秒とする。

耐震クライテリアを表1に示す。上部構造と下部構造について、衝突時に生じる最大層塑性率を1.0以下とし弾性限以内とする。免震層の最大変形は免震装置の取り換えを不要とする範囲¹⁾に留めることを想定して、650mm（せん断ひずみ325%）以下をクライテリアとする。

2.3 解析概要

集合住宅を想定し、各階高は3.3mとする。層の剛性分布は最下層に対する最上層の剛性比を1/2とし、直線的に低減させる。初期剛性は軒高Hを用いて $T=0.02H$ から略算した1次固有周期に合致するよう定める。二次剛性比は0.25、三次剛性比0.01とする。降伏耐力 Q_y はベースシア係数を0.12としたAi分布により設定し、ひび割れ耐力 Q_c は Q_y の1/3の値とする。履歴特性はTakedaモデルとする。内部粘性減衰は $h=0.02$ の瞬間剛性比例型とし、免震層の減衰定数は0とする。免震層の復元力特性はノーマルバイリニア型とし、二次剛性比は初期剛性の1/13とする。二次剛性 k_2^i は接線周期が6.0秒となるように設定する。降伏耐力 Q_i^y についてはダンパー量が0.02となるように設定する。緩衝装置についてゴム総厚 H_s は100mmとする。降伏変位はゴム総厚の10%とし、降伏後の剛性は初期剛性の0.1倍とする。またゴム総厚の50%からハードニングするモデルとし、剛性は初期剛性と同じとする（図3）。

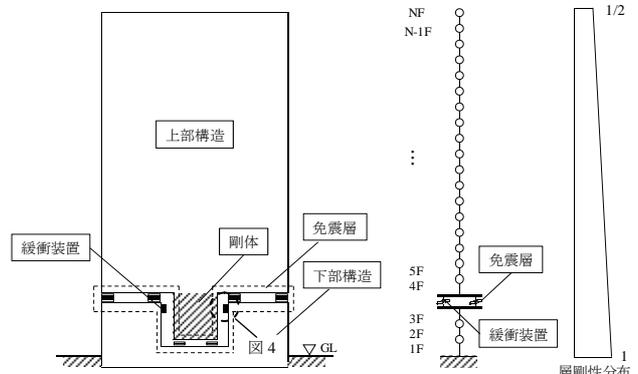


図1 トリガー機構

図2 解析モデル図

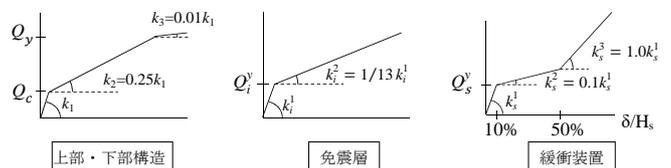


図3 各部の骨格曲線

表1 対象とする衝突時の耐震クライテリア

部位	項目	クライテリア
上部構造	最大層塑性率	1.0以下
免震層	免震層の変形	650mm（せん断ひずみ325%）以下
下部構造	最大層塑性率	1.0以下

3. 緩衝装置の必要配置数の推定

3.1 検討方法

設計変数を様々に変化させ、多数の非線形時刻歴応答解析を行う。建物階数および緩衝装置の降伏荷重 Q_s^y を変数とする(表2)。緩衝装置の Q_s^y については上部構造の総重量で除した降伏荷重比 α を導入し、次式で定義する。

$$\alpha = Q_s^y / \sum_{i=4}^N W_i \quad (1)$$

ここに W_i は i 層の建物重量である。以降では式(1)で定義される α を独立変数の一つとして取り扱う。

3.2 時刻歴応答解析結果

比較ケースは表3に示す通りとする。図4に衝突を考慮した解析ケースの模式図を示す。入力地震動はクライテリア650mmを超えるよう加速度倍率を約2倍とした。

一例として、30階建ての最大応答分布の比較を図5に示す。図5(a)~(c)より α が小さいほど衝突時の応答が小さいことが分かる。しかし図5(d)より α が小さいと免震変形が大きくなるためクライテリアを満たさない。したがって本ケースでは $\alpha=1.5\%$ の緩衝装置を配置すると、免震層の変形が642mm(せん断ひずみ321%)となり、最大層塑性率も1.0以下となる結果となった。図6に時刻歴免震層変位を示す。ここでは緩衝装置には免震層の最大変形時に衝突し、その後は衝突していないことが分かる。

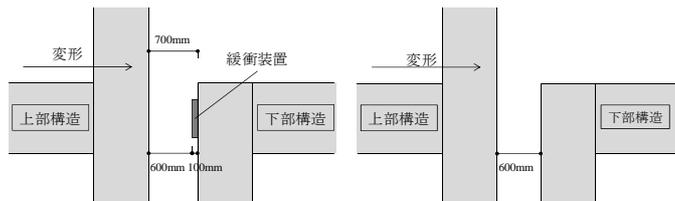
図7にCase②の場合に対するCase①の場合の層せん断力係数の低減率を示す。ここでは上部と下部各々の建物高さの2/3の位置に相当する階の応答を比較する。上段で述べたように α が小さいほど衝突時の応答は小さくなる。図8に5階の絶対加速度の低減率、図9に緩衝装置を配置した際の免震層変形を示す。これより $\alpha=1.0\sim 1.5\%$ 程度であれば、衝突時の加速度の上昇を抑制しつつ、免震変形のクライテリア650mm以下を満たすことが分かる。

表2 設計変数

部位	項目	記号	範囲
主架構	建物階数	N	20, 30, 40
緩衝装置	降伏荷重比(%)	α	0.5, 1.0, 1.5, 2.0

表3 比較ケース

ケース	条件
Case①	免震変形が600mmを超えると緩衝装置($\alpha=0.5\sim 2.0\%$)に衝突する
Case②	免震層の変形が600mmを超えると下部構造に衝突する
参考	入力地震動1.0倍(L2相当)の応答結果



緩衝装置あり (Case①) 緩衝装置なし (Case②)

図4 衝突を考慮した解析ケース

まとめ

想定された地震動を上回る巨大地震に対して、中間層免震における新たなトリガー機構を提案した。非線形時刻歴応答解析を行い、緩衝装置による衝撃力低減効果を明らかにするとともに緩衝装置の必要配置数を示した。

参考文献

- 小林正人, 服部龍太郎, 藤森智: 津波荷重に対する免震建物の構造安全性評価基準の提案, 日本建築学会技術報告集, 第23巻, 第53号, pp.71~76, 2017.2

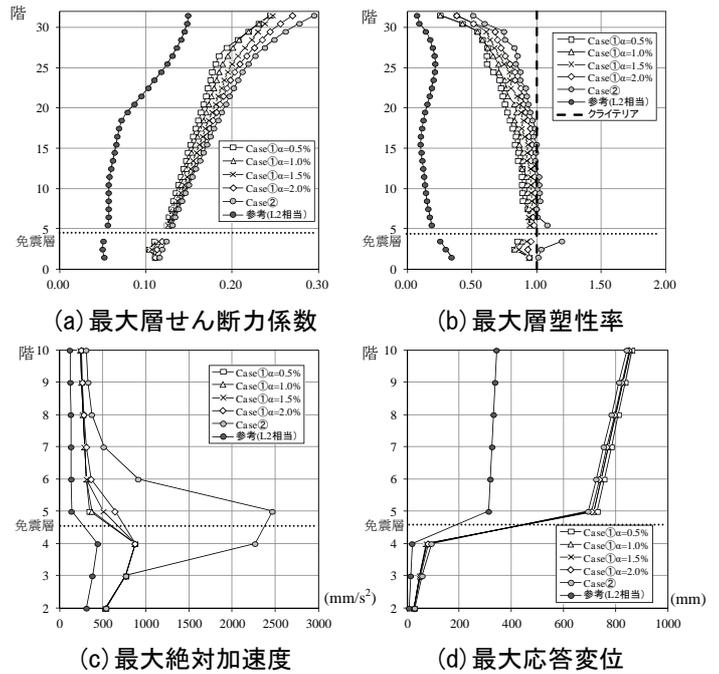


図5 最大応答分布の比較 (30階建て)

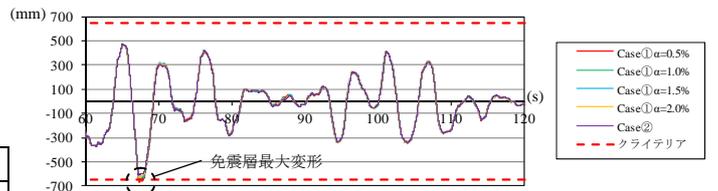


図6 時刻歴免震層変位

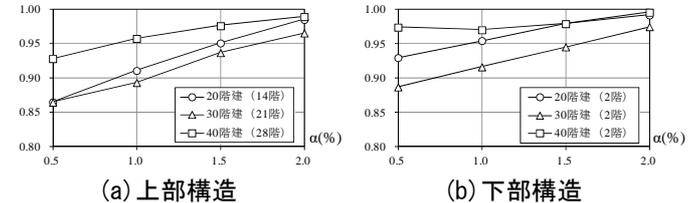


図7 層せん断力係数低減率

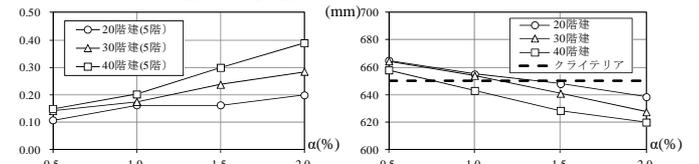


図8 絶対加速度低減率

図9 免震層変形