半田市新庁舎

築谷　朋也　安井建築設計事務所
安田　拓矢　同
伊藤　栄治　同
池田　直子　同

1　はじめに

東日本大震災では、複数の震源域が連動して活動しM9.0の巨大地震となった。今後発生が懸念される南海トラフの地震でも、過去の想定を上回る地震規模となる可能性が指摘されており、中央防災会議により最大クラスの地震に対する被害想定が公表されている。

一方、震災以前から、強震動地震学の進展にともない、告示波を上回るような予測地震波が、各地で提示されてきた（図2）。これらの地震動を免震構造が受けた場合、建設地と震源の位置関係、建設地の地盤特性によっては、想定以上の免震変形が生じる可能性が否定できない。建設地の場所や、建物の重要度によっては、想定を上回る極大地震動に対する変形抑制についての検討の必要性が高まっている。

平成26年12月に新市庁舎が竣工した愛知県半田市は、知多半島の中央に位置し、東海－東南海地震の震源域にごく近い（図1）。新庁舎設計に先立ち、半田市と名古屋大学により作成されていた東海－東南海連動地震の予測地震波は、三の丸波と同様の震源モデルを用いた経験的グリーン関数法によるもので、告示の極稀レベルを大きく上回るものである（図2）。

また半田市新庁舎の建設地は、終戦間際の1944年12月7日に起こった昭和東南海地震において最大の犠牲者153名を出した『中島飛行機半田製作所山方工場』の跡地でもある。建築に携わるものは、単に予測地震波の技術的側面をみるだけにとどまらず、その土地に刻まれた震災の記憶にも真摯に向き合う必要があるのではないかと思う。南海トラフ地震に対する半田市の懸念は大きく、免震構造を採用することとした。

さらに、この半田市新庁舎の免震設計では、告示を大きく上回るような極大地震動時にのみ、高い減衰を付与する『接続型スイッチダンパー』を開発し実用化した。『接続型スイッチダンパー』は名古屋大学の助言受け、㈱カヤバシステムマシナリーと㈱THKと共同開発したものである。

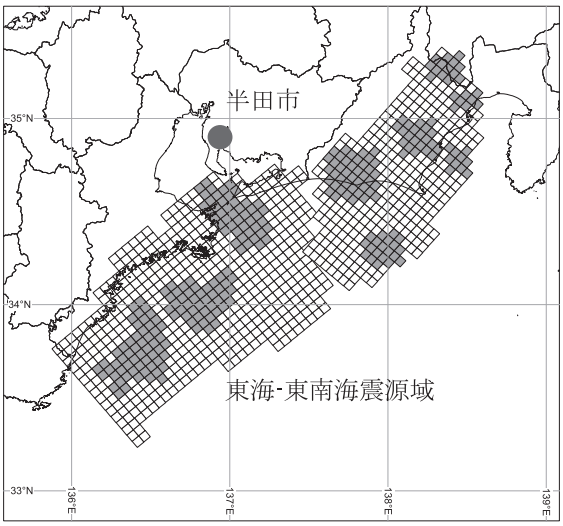


図1　半田市と東海―東南海震源域

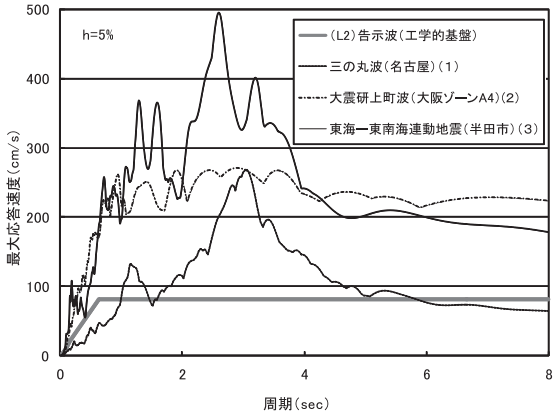


図2　速度応答スペクトル（H=5%）

(1)（財）愛知県建築住宅センター、愛知県設計用入力地震動研究協議会
(2) 大阪府域直下型地震に対する設計用地震動および耐震設計法に関する研究会
(3) 半田市、名古屋大学、新庁舎建設予定地地盤調査その2

2　接続型スイッチダンパー開発のコンセプト

一般的には、免震層の過大変形制御手法として、免震層の減衰を高める方法が採用される。しかし、極大地震動の変形抑制に必要となる大きな減衰を導入すると、告示レベルの地震動に対しては、上部構造の応答が増大する。より蓋然性の高い告示レベルの地震動に対し、上部構造の応答を大きく低減できる免震最大の特性が阻害されることは好ましいことではない。そこで、告示レベルの揺れまでは過大な減衰を有さず、告示を上回る極大地震動に対してのみ高い減衰性能を発揮するような付加減衰機構の開発が合理的である。

半田市新庁舎の免震構造では、そのような付加減衰機構の実現を目指し、設計環境が極大地震動も予想されることを勘案し、下記のコンセプトを設定した。

1）極大地震動に対して安定した減衰切り替えが可能でシンプルなものであること
2）電気的な制御が不要で、パッシブな機構であり、メンテナンスも不要なこと
3）半田市新庁舎設計期間の短期間に開発可能で、設定に可変性があり、汎用性が高いこと

免震オイルダンパー本体に減衰性能切り替え機構を持つことは、複雑な機構となることが想定され、装置開発・材料認定に多くの時間がかかることが予想された。そこで、免震オイルダンパーにはいっさい手を加えず、接合部にダンパーの減衰発揮タイミングを変えるパッシブなスイッチ機構を接続した『接続型スイッチダンパー』を開発することにした（図3）。このアイデアにより、半田市新庁舎設計期間（概ね2年）内で、実大実験も含めた開発が可能となった。

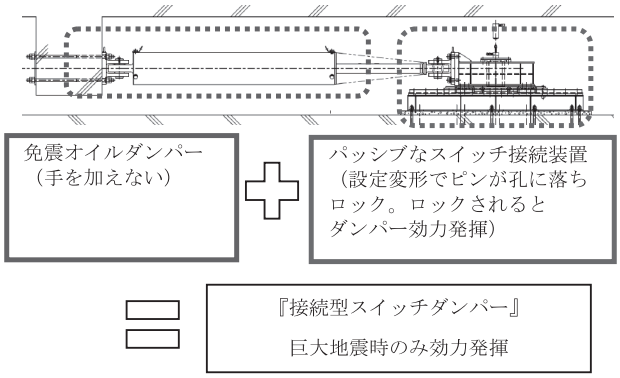


図3　接続型スイッチダンパーのアイデア

3　接続型スイッチダンパーの概要

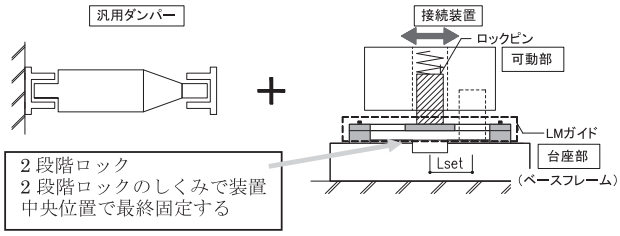


図4　接続型スイッチダンパーの概念図

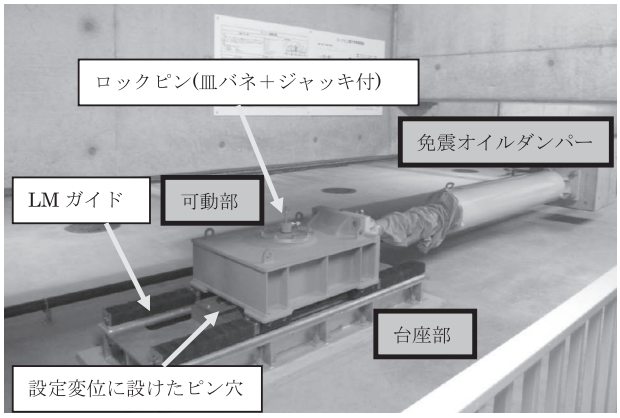


図5　接続型スイッチダンパーの設置写真

ダンパーに接続するスイッチ機構の装置概要を図4、図5に示す。

接続装置は、ダンパーに接続する『可動部』と、下部躯体に緊結する『台座部』で構成され、両者をLMガイドで結合している。また、『可動部』には皿バネで下方向に押し付けられたロックピンを備えている。

通常の告示レベルの地震時までは、LMガイドにより『可動部』はダンパー方向にスライドし、ダンパーは減衰力を発揮しない（スイッチOFF状態）。

極大地震動により免震層が大きく変形し設定した変位に達すると（Lset）、接続装置に設けた孔にロックピンが落ちこみ可動部の水平変位をロックする（スイッチON状態）。

免震層変位が設定変位（Lset）を超えると、ダンパーが効き始め、付加減衰を発揮するシンプルな機構である。

さらに、最初の大変形時に設定変位（Lset）位置で押し込み側はロックされ、次の戻り半振幅で装置中央位置で2段階にロックされ、最終的には装置中央位置でダンパーが固定される仕組みとしている。

また、手動ではあるが、ロックピンは装置に内蔵されたジャッキにより容易に抜くことができる。

4　接続型スイッチダンパーの実大実験

『接続型スイッチダンパー』の作動性能、履歴特性を確認するため、実機を製作し実験を行った。

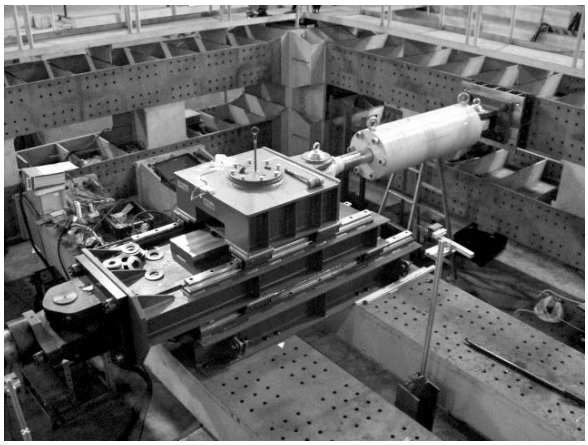


図6　接続型スイッチダンパーの実大実験

まず接続装置のみで、高速下（130cm/s）でも確実に2段階ロックが可能であることを確認した。また、ロックのための最適孔形状、ばね定数等を検証した。衝撃力のかかるロックピンは、別途CAE解析で局所的な強度の確認を行った。

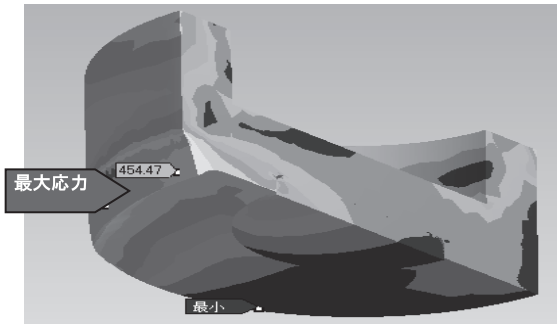


図7　ロックピンのCAE 解析例

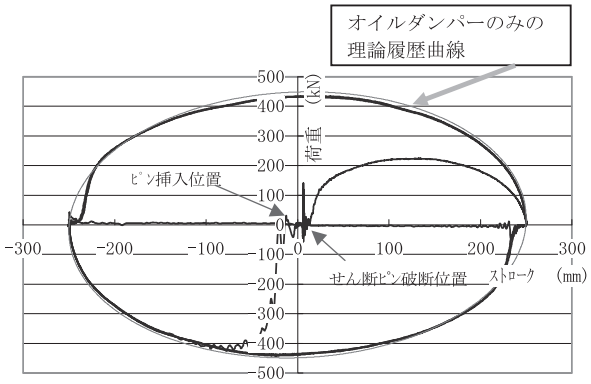


図8　接続型スイッチダンパーの履歴特性

次に接続装置にオイルダンパーをセットし、『接続型スイッチダンパー』全体としての動作安定性と、履歴性状を確認した。図8に接続型スイッチダンパーの履歴特性を示す。ロック時及びせん断ピン破断時に若干の乱れはあるものの、特にロック後のダンパーの履歴特性はほぼ理論通りである事を確認した。

5　半田市新庁舎の設計概要

半田市新庁舎は、蔵の町半田市をイメージしたデザインで、地上5階建て、延べ床面積約14,870m²の規模を有する鉄骨造純ラーメンの基礎免震構造である（図9）。

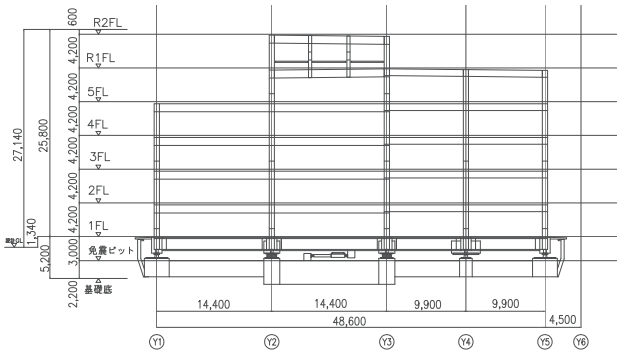


図9　半田市新庁舎概要

『東海―東南海連動地震予測地震波』については、半田市と協議の上、告示を上回る自主検討レベル（レベル3）として安全性を確認することとした。告示で定められた地震動レベルまでは、接続型スイッチダンパーなしで設計することとし、レベル3地震動時には別途クライテリアを設け、接続型スイッチダンパーの減衰が発揮される設計としている（表1）。

免震層は、『5秒超の長周期化（5.1秒, γ=300％時）』『大変形対応の材料選択』を意図した上で、XY各方

表1　設計クライテリア（L2,L3）

	L2（告示極稀）	L3（東海-東南海連動）
上部構造	設計用地震力以下 1/250 以下	概ね弾性限 （層塑性率 1.1 以下） 1/200 程度
免震変形	45 ㎝（γ = 180%）	90 ㎝（γ = 360%）
接続型 スイッチダンパー	OFF（作動しない）	ON（作動する）

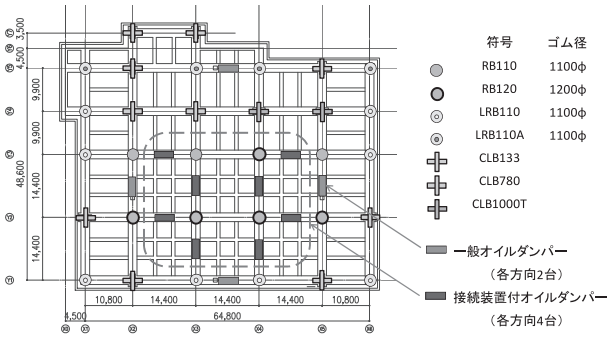


図10　半田市新庁舎免震計画概要

向に、一般オイルダンパー2台、接続型スイッチダンパー4台を設置する計画とした（図10）

接続型スイッチダンパーは、免震層の変形が45cmを超えると、以降は減衰力を発揮する設定とした。参考比較のため、接続型スイッチダンパーなしで一般オイルダンパー2台の場合（図11）と、ダンパーが6台とも一般オイルダンパーの場合（図12）の応答も合わせて示す。

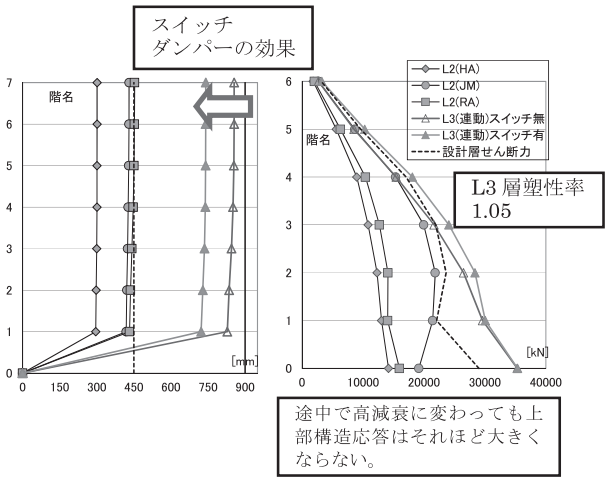
【図11　接続型スイッチダンパーなしとの比較】

L2地震動時の免震変形は45cm以下となり、接続型スイッチダンパーは作動しない。すなわちL2地震動時までは、上部構造応答を増大させることなく、L3地震動時のみ効果的に免震層の変形を低減している。L3地震時での上部構造せん断力は若干大きくなるが層塑性率は1.05であり、概ね弾性といえる範囲である。

【図12　最初から一般のオイルダンパーを6台設置した場合との比較】

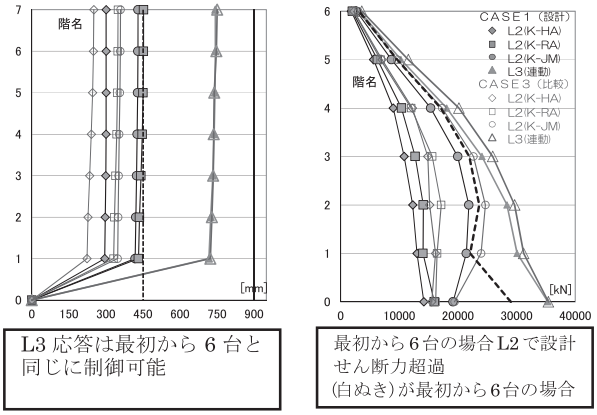
スイッチダンパーが作動するL3での最大変形は、最初から6台オイルダンパーを設置した場合と同等まで免震層の変形を低減している。一方で、最初から6台設置した場合には、L2地震動時に上部構造の設計用せん断力を超える応答となっている。

なお､擁壁とのクリアランスは900mmを確保した。接続型スイッチダンパー付免震の応答結果からは、もう少し小さくすることも可能だったが、実免震建物への最初の適用ケースでもあり、万が一、所定の効力が発揮されない場合や、ロック解除の前に大きな余震を受けた場合でも大きく安全性を損なうことがないことを配慮した。



最大応答変形（免震応答）　最大応答せん断力（上部応答）

図11　接続型スイッチダンパーなしとの比較



最大応答変形（免震応答）　最大応答せん断力（上部応答）

図12　最初から一般オイルダンパー6台との比較

6　おわりに

蓋然性の高い地震動レベルの免震性能を損なうことなく、極大地震動時に大きな減衰を与え変形を抑制することのできる『接続型スイッチダンパー』を開発し実用化した。

一般のオイルダンパーに、シンプルでパッシブなスイッチ機構の接続装置をつなぐというアイデアを採用することで、短期間で検証・実現し、工期に制約のあった半田市新庁舎建設事業に適用することができた。既存のオイルダンパーが利用でき、極大地震動下でも安定した性能を発揮し、メンテナンスも不要であることに特徴がある。

さらにこの装置は、スイッチプレートの孔の位置を変えるだけでロックする変位を自由に設定できるので、汎用性も高い。極大地震動が予測される新築免震建築物だけでなく、長周期長時間地震動等により新たに対策が必要となった既存免震建築物への適用も有効であると考えている。