特集：鉄骨造建築の制振・免震

球面すべり支承 NS-SSB

その特徴と実プロジェクトへの適用

市川　康
新日鉄住金エンジニアリング　建築・鋼構造事業部

1. はじめに

球面すべり支承は、球面状のプレートの上を所定の摩擦係数を持つスライダーを滑らせることで、建物周期の長周期化と摩擦による減衰により、地震応答を抑制する免震装置である。日本では、天然ゴムなどと鋼板を交互に重ねた積層ゴムによる支承を中心とした免震装置が主流であり、球面すべり支承はこれまで比較的小さい荷重を対象として実用化されてきた。一方、欧米では大型建造物を含め、球面すべり支承が採用されているようである。

球面すべり支承の特長としては、以下の点が挙げられる。

・安定した固有周期

支承による固有周期が球面形状で決定されるため、積載荷重などが変化しても支承による固有周期は変化せず、また球面形状の高い精度により小変形から大変形までバラつきの少ない安定した固有周期が得られる。その結果、安定した免震効果が実現できる。

・容易な長周期化の実現

これまでの免震装置では積層ゴムと平面系のすべり支承を適宜配置することで長周期化を実現してきたが、球面すべり支承では球面の曲率半径を大きくすることで長周期化が容易に実現でき、簡易な免震層の設計が可能である。

・免震層のコンパクト化

球面すべり支承はゴムと鋼板の積層による積層ゴム支承と比べて、装置の構成要素が球面状のすべり板とスライダーであるため、背の低い支承が実現でき、免震層のコンパクト化が可能である。

また、主として鋼材を使用するため、積層ゴムに比べて大きな面圧が可能である。

2. NS-SSBの概要

NS-SSBは上下に球面状のコンケイブプレートを設け、その間にスライダーを配置したいわゆるダブルペンデュラムと言われる球面すべり支承である。装置の概要を図1に、仕様を表1に示す。図2は面圧60MPa、限界変形である振幅±600mmまでの漸増載荷試験の結果であり、安定した履歴を示している。

図3は摩擦係数の各種依存性であり、面圧60MPa、速度400mm/sec、温度20℃を基準としている。面圧60MPa前後、速度200mm/sec以上では安定した摩擦係数を示している。周辺温度については低温では摩擦係数は高くなるが、図4に示すように繰り返しによる温度上昇が顕著なため、周辺温度の影響は小さいと考えられる。バラつきとしては、球面を機械加工しているため支承による固有周期のバラつきは無視できる範囲である。

表1　NS-SSBの仕様

項目	仕様	
固有周期	4.5sec	6sec
曲率半径	2,500mm	4,500mm
摩擦係数	0.047（ばらつき±0.01）	
基準面圧	60MPa	
スライダー径	φ200～500mm@50	
長期鉛直支持力	1,885～11,781kN	
限界変形	600mm	

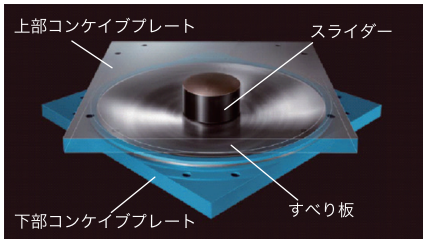

図1　NS-SSB

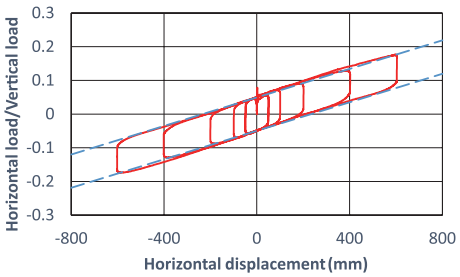

図2　荷重－変形関係

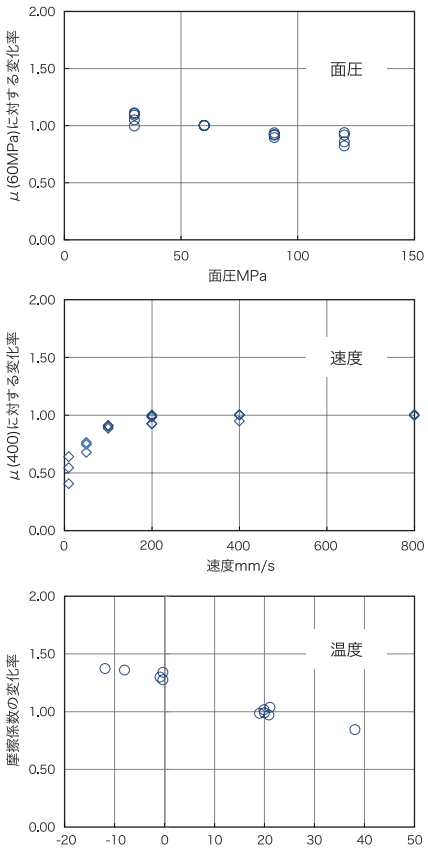

図3　摩擦係数の各種依存性

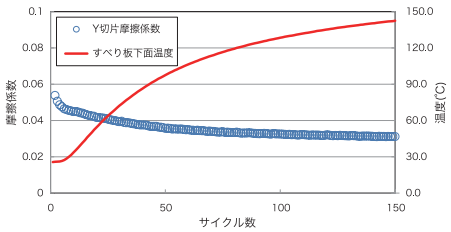

図4　繰り返し回数と摩擦係数

表2　建物概要

用途	倉庫
建物規模	7階建て、延床面積約30,000m²
構造種別、架構	鉄骨造、ブレース付ラーメン架構
基礎構造	直接基礎
高さ、階高(m)	31.4m、3.55～7.15m
平面グリッド	12m×10m
設計・監理	新日鉄住金エンジニアリング(株)一級建築士事務所
施工	新日鉄住金エンジニアリング(株)

図5　建物外観

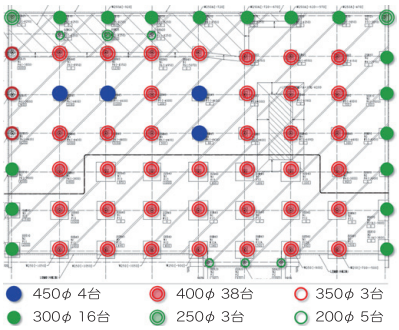

図6　免震装置の配置

3. NS-SSBを用いた実物件

NS-SSBを適用した山九物流倉庫の概要を表2に示す。外観を図5に示す。積載荷重15kN/m²、7階建て（振動解析では5階建てにモデル化）の大型物流倉庫である。同一平面内や高さ方向の積載荷重の偏在があった場合でも免震効果への影響を最小限にすること、浅い免震層を実現することを目指し、NS-SSBを採用した。

(1) 構造概要

基礎は直接基礎、上部架構は免震層直上の1階を含めて鉄骨造であり、高い階高と大きな積載荷重でも剛性を確保できるようにブレースを適宜配置している。図6が装置の配置であり、6秒タイプのスライダーを69基配置している。最大支点反力は約9,500kN、スライダー径は200～450mmである。

面圧が高いため、RC造となる支承下部には高さ500mm、コンクリート強度60MPaの礎柱を設け、基礎部への応力緩和を図っている。

(2) 地震応答解析

採用地震波は図8に示す8波、振動モデルは質点系の6質点モデルである。

免震層は図9に示すような69基のNS-SSBを集約しバイリニアモデルにモデル化している。第1折れ点は摩擦力(μ・Pv)、2次剛性は球面の曲率半径Rs、鉛直荷重Pvから求まる剛性である。

さらに摩擦力の速度依存性を考慮するために、ばねとダッシュポットを直列配置した要素をバイリニアモデルに付加している。

摩擦係数は、製造バラつきを考慮し、3.7%～5.2%の範囲としている。摩擦係数の上限値は製品仕様の上限5.7%よりもやや厳しい値としており、出荷前の製品検査により全製品の平均値が5.2%以下であることを確認している。

スライダーがすべり板の外周部に接触する場合を限界変形、その70%を許容変形とし、レベル2地震による応答が許容変形以内となるよう設定している。本建物では装置の限界変形、免震層クリアランスともに500mmとしている。

鉛直振動は0.3gとし、水平振動との組み合わせで免震装置に浮き上がりが発生しないようにしている。

摩擦係数4.7%での地震応答解析結果を図10に示す（サイト波である六甲・淡路島、有馬・高槻は応答が比較的小さかったため省略）。免震層の変形で約23cmである。摩擦係数のバラつきを考慮した結果が図11である。下限となる3.7%でも免震層の変位は約25cmであり、摩擦力による応答変位の変化は小さい。

建物全体としては、レベル2応答に対して許容応力度設計をしていること、レベル2の応答変位は限界変位の1/2程度であることから、余裕のある設計となっている。

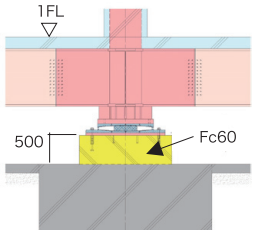

図7　免震装置周辺部

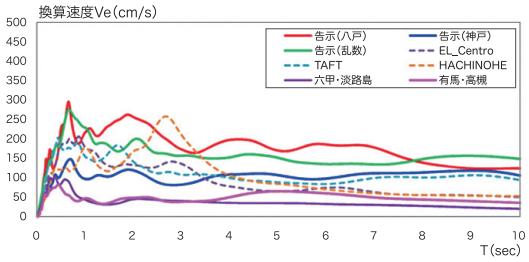

図8　採用地震波

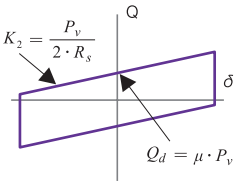

図9　免震層のモデル化

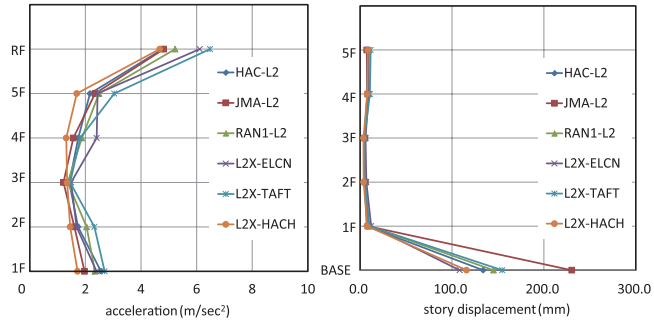

図10　応答解析結果

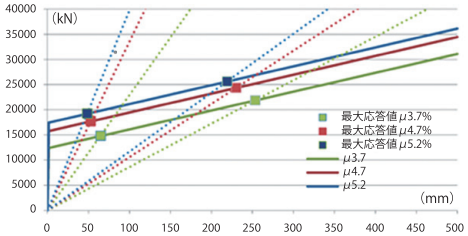

図11　摩擦係数のバラつきの影響

4. まとめ

球面すべり支承NS-SSBは免震層の長周期化が容易で、コンパクト化も可能である。特に積載荷重の変化が大きい建物には適した免震システムであると言える。今後、上記のような建物を中心として積極的な適用を図っていきたい。