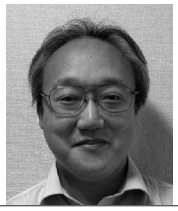
ライオンズ仙台レジデンス
―T字型2棟連結免震構造―



神道　浩　大林組
遠藤　文明　同
西原　愼一　同
熊谷　由章　同

1　はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、東北地方を中心に甚大な被害が発生した。

東北では、建物の耐震安全性および継続使用性などの観点から、新築の集合住宅で免震構造を採用するケースが増加しており、今後も顧客のニーズは増していくものと思われる。

本建物は、T字型に配置された2棟の免震構造マンションについて構造的に連結する計画としており、各階の渡り廊下に設けたEXP.Jのコストダウンを図り、より合理的な構造架構を目指した構造設計事例を紹介する。

2　建物概要

本建物は仙台市宮城野区に計画されており、大臣認定取得済みである。

地上13階のRC造建物であり、1階と2階の間に免震層を設けた中間階免震となっている。建物形状はT字型となっており、各々の建物の境界部分に、EXP.Jを各階に設ける計画としている（図1）。建物用途は集合住宅であり、1階は、エントランス、機械式駐車場、駐輪場、電気室等を配置し、免震層上部の2階から住戸を設ける。

建　築　主：株式会社 大京
意匠設計：株式会社創建設計
設備設計：株式会社創建設計
構造設計：株式会社大林組
施　　工：株式会社大林組

3　構造概要

南棟、北棟ともに、短辺方向を連層耐震壁架構、長辺方向をラーメン架構とする。当初、2棟独立した免震建物として計画していたが、免震建物同士のEXP.Jとする場合、大きなクリアランスが必要と

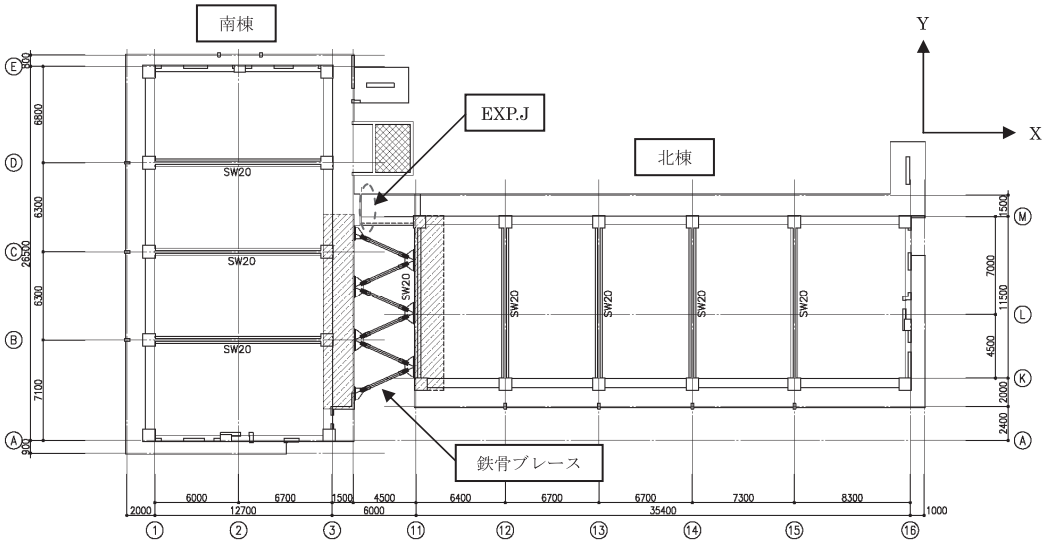


図1　R階伏図

なる。そこで、2階から下部をRC躯体で連結し一体とすることで必要クリアランスを小さくし、通常のEXP.Jを採用しコストダウンを図った。さらに、比較的余裕のある耐震壁方向に応力を負担させ、ラーメン架構の負担せん断力を小さくすることをねらい、意匠上問題にならない範囲でR階頂部を鉄骨ブレースで連結する計画とした(図2)。

免震材料は、軸力が大きな柱下に高減衰ゴム、外周に天然ゴム、フレーム外に跳ね出したRC階段およびEVシャフト下には、基礎梁上レベルに直動転がり支承を設けて、免震層の偏心率が3％以内となるよう配置する。また、減衰量を確保し、免震層の変形を抑えるために、各方向4台ずつオイルダンパーを配置する(図3)。

本建物の建設地は非常に良好な地盤であり、基礎形式はGL-3.5m付近から現れる基盤岩(平均N値30程度)を支持層とする直接基礎とし、一部支持層に達しない範囲については地盤改良を行う。

本建物の耐震性能目標は、稀および極めて稀に発生する地震動について、表1の通りである。

4　振動解析概要

(1)振動解析モデル

振動解析モデル(図4)は、各階床位置を質点とする串団子モデルとし、1階床位置で固定、1階は等価せん断ばねにモデル化する。2階床より上部は、南棟と北棟に各々分岐された曲げせん断系モデルとし、各層ばねは、X・Y方向の水平剛性およびねじり剛性を考慮する。南棟、北棟共に、曲げ変形を弾性とし、せん断変形成分を弾塑性でモデル化し、履歴法則は、ラーメン方向を武田モデル、耐震壁方向を原点指向型とする。内部粘性減衰は、2％の瞬間剛性比例型とする。

免震層の復元力特性は、高減衰ゴムを修正バイリニア型、天然ゴムを弾性、直動転がり支承をバイリニアとする。また、オイルダンパーは、ダンパーの剛性ばねと減衰係数を持つダッシュポット要素を直列に連結したMaxwell型モデルとする。なお、振動

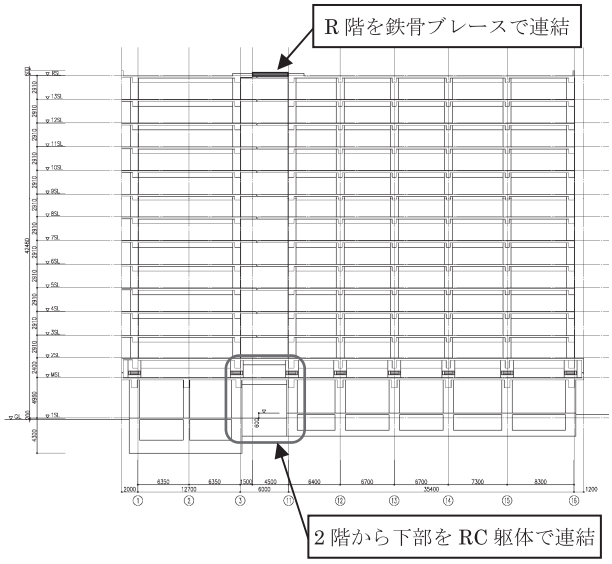


図2　断面図

表1　耐震性能目標

対象部位			稀に発生する地震動	極めて稀に発生する地震動
			(レベル1地震動)	(レベル2地震動)
上部構造		断面設計	—	短期許容応力度以内
		層間変形角	1/400rad以下	1/200rad以下
免震材料	高減衰系積層ゴム 天然ゴム系積層ゴム	変形	安定変形以内	性能保証変形以内
			γ≦116％	γ≦233％
			水平変形233mm	水平変形467mm
		面圧 圧縮	短期許容面圧以内	短期許容面圧以内
		面圧 引張	引張を生じない	引張限界強度1.0N/mm²以下
	直動転がり支承	変形	水平変形500mm	水平変形500mm
		短期 圧縮	短期許容荷重以内	短期許容荷重以内
		荷重 引張	引張を生じない	引張を生じない
	オイルダンパー	速度	リリーフ速度以下	リリーフ速度以下
下部構造 基礎構造		断面設計	—	短期許容応力度以内
		層間変形角	1/400rad以下	1/200rad以下
		接地圧	—	短期許容支持力度以内

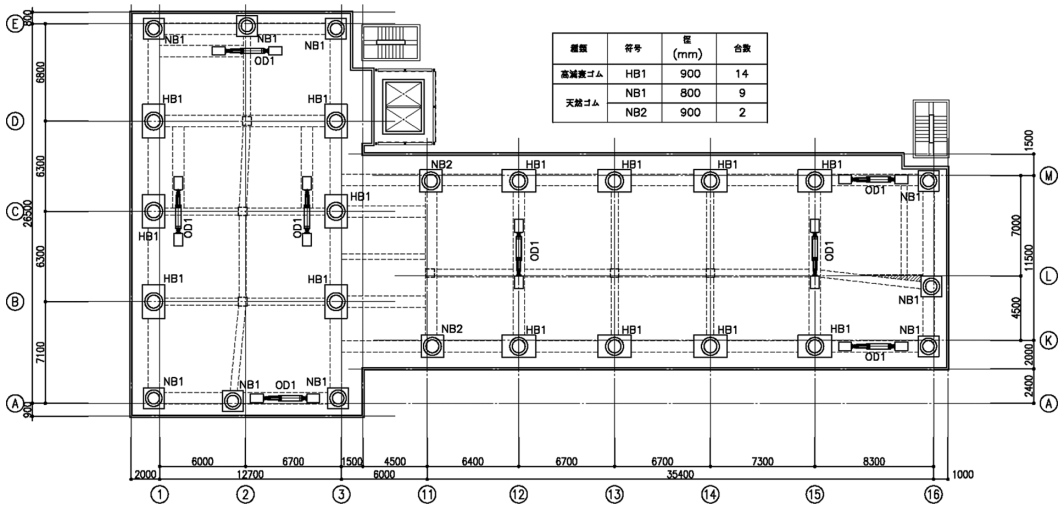


図3　免震材料配置

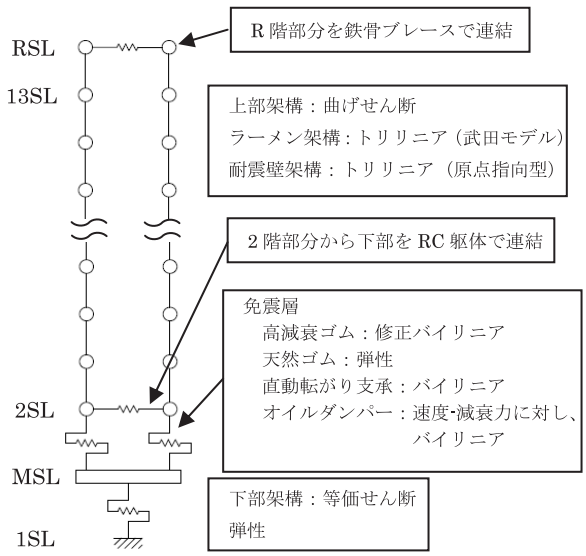


図4　振動解析モデル

解析において､免震材料の特性変動を考慮しており、免震層の剛性が通常の場合（標準）、硬い場合（上限）、柔らかい場合（下限）の3ケースについて検討している。

R階頂部を鉄骨ブレースで連結している影響を考慮するため、ブレースを線材に置換し、各棟の串団子をR階部分で連結する。

免震層固定時および免震層γ＝250％変形時の固有値解析結果を表2、表3に示す。免震層固定時の固有周期は、X方向0.68（s）、Y方向0.71（s）であり、免震ゴムひずみ250％のときの等価固有周期は、X方向Y方向ともに4.4（s）となっている。また、等価

減衰定数は20％程度となっている。

（2）連結部材の剛性

R階頂部の鉄骨ブレース（合計6本）の部材サイズはφ216.3×12.7とし、本体との接合部アンカーボルトは、アンカーボルトにPC鋼棒を使用し緊張力を導入することで、引張力およびせん断力が生じても圧縮軸力が残るようにし、せん断力を摩擦力で伝達する設計している。連結部材の剛性は、X方向、Y方向各々について、ブレースの取り付け角度を考慮してモデル化する。

十分な余力を確保するために、振動解析による最大応力を1.5倍した設計用応力に対して、ブレース材および接合部の設計を行う。

図5に、連結部材の剛性を変化させた場合の各棟の負担せん断力とその合計について、連結しない場合の負担せん断力に対する割合を示す。ここでは、告示神戸EW波について、Y方向加力時（上限）の2階せん断力の結果について示す。所定の剛性を確保すれば、負担せん断力の割合は一定に収束する傾向が見られる。

（3）設計用入力地震動

設計用入力地震動は、建築基準法告示に示されている解放工学的基盤における加速度応答スペクトルから作成した模擬地震動波形（El Centtro位相、神戸EW位相、ランダム位相）を3波と既往の観測波形（最大速度で基準化）を3波用いる。設計用入力地震動の最大加速度と最大速度を表4に示し、減衰5％のときの擬似速度応答スペクトルを図6に示す。

表2　固有周期（免震層固定時）

モード	固有周期T（s）	
	X方向	Y方向
1次	0.681	0.715
2次	0.360	0.379
3次	0.261	0.293

表3　固有周期（免震層γ＝250％変形時）

モード	固有周期T（s）	
	X方向	Y方向
1次	4.441	4.441
2次	0.452	0.526
3次	0.347	0.356

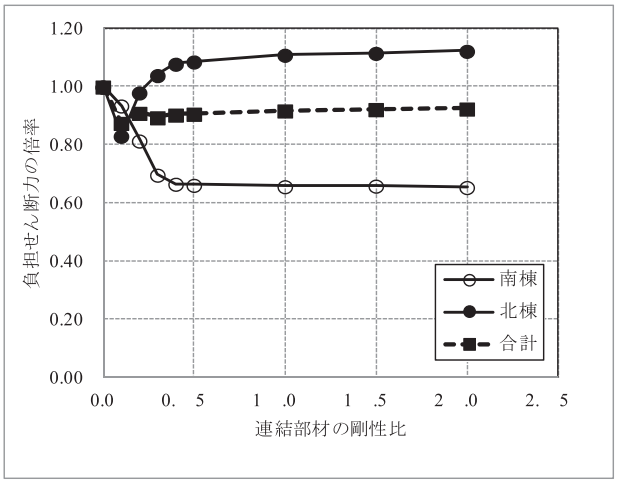


図5　連結部材の剛性による各棟負担せん断力の変化（Y方向加力時、告示KBEW、上限状態）

表4　設計用入力地震動の最大加速度、最大速度

波形名称	最大加速度（cm/s²）	最大速度（cm/s）
告示-ELNS	345.0	54.2
告示-KBEW	454.0	61.6
告示-RN1H	326.0	48.4
EL CENTRO 1940 NS	510.0	50.0
TAFT 1954 EW	497.0	50.0
HACHINOHE 1968 NS	333.0	50.0

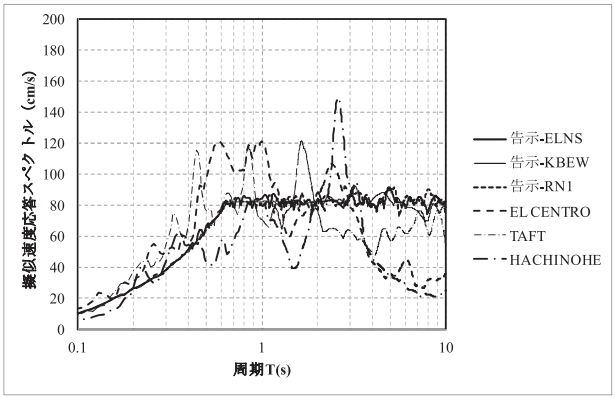


図6　擬似速度応答スペクトル（h＝5%）

(4) 振動解析結果

免震層の最大応答変形について、免震材料の特性変動を考慮した各ケースを比較して図7に示す。なお、同図中に免震層のせん断力と変形の関係曲線を併せて示す。免震層の最大応答変形は380mm程度となっており、設計クリアランス以内に収まっている。

また、各棟の最大応答層間変形角を図8に示す。ここでは、上限状態におけるX方向加力時の応答結果を示す。鉄骨ブレースで連結しているR階の応答が若干大きくなっているが、最大応答層間変形角は、

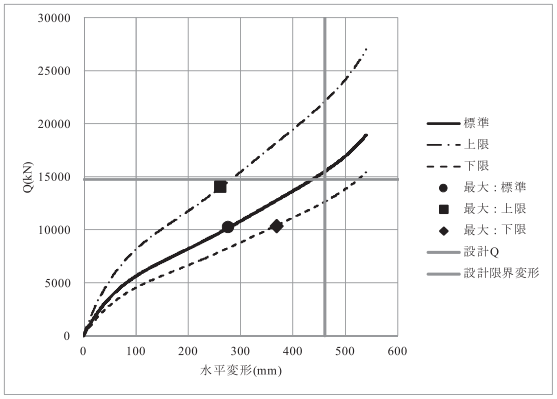


図7　免震層の最大応答変形

耐震性能目標である1/200radに収まっている。地震波により多少のばらつきはあるものの、同様の傾向を示している。

5　連結による応答低減効果

最後に、R階頂部を連結することによる建物の応答性状について、R階頂部を連結しない場合（2階より下部は連結）の応答結果と比較する。ここでは、免震材料の状態を標準とし、X方向加力時の場合の告示KBEW波についての応答結果を示す。

(1) 層せん断力

各棟の層せん断力を図9に示す。R階頂部を連結しない場合、各々の2階の層せん断力は同程度であり、層せん断力係数は0.10～0.12程度となっている。一方、R階頂部を連結した場合、連結部材を介して、ラーメン架構側から耐震壁架構側へ応力が伝達し、ラーメン架構側の負担せん断力は減少し、耐震壁架構側の負担せん断力は増加する傾向となる。

X方向について、耐震壁架構側（南棟）の負担せん断力は1.2倍程度に増加し、ラーメン架構側（北棟）の負担せん断力は0.6倍程度に減少する。なお、図は省略するが、Y方向について、耐震壁架構側（北棟）の負担せん断力は1.2倍程度に増加し、ラーメン架構側（南棟）の負担せん断力は0.7倍程度に減少する。X方向の場合に比べて、Y方向の場合に各棟の負担せん断力の変化が少なくなるのは、建物が多少ねじれることにより、連結部材に生じる応力が少なくなるためと考えられる。

(2) 絶対変形

各棟の絶対変形を図10に示す。耐震壁架構側の絶対変形は、R階頂部を連結した場合と連結しない場合の差はほぼ見られない。一方、ラーメン架構側

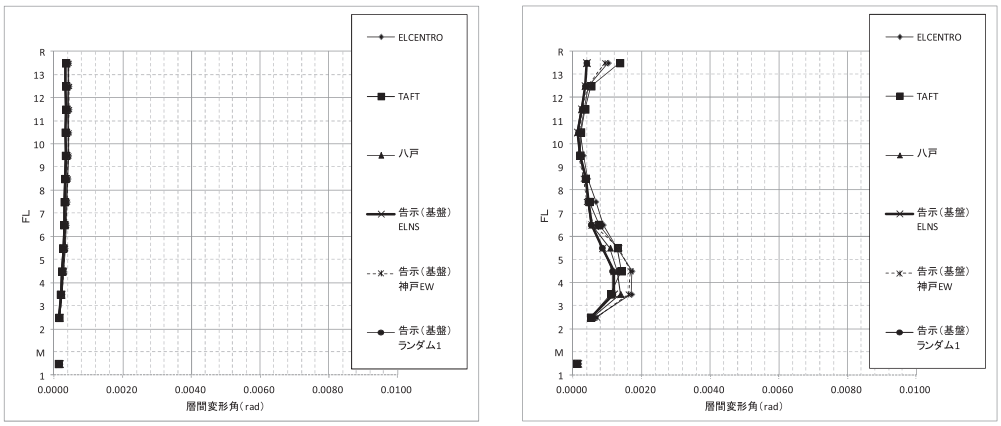


図8　最大応答層間変形角（X方向加力時、上限、左：南棟、右：北棟）

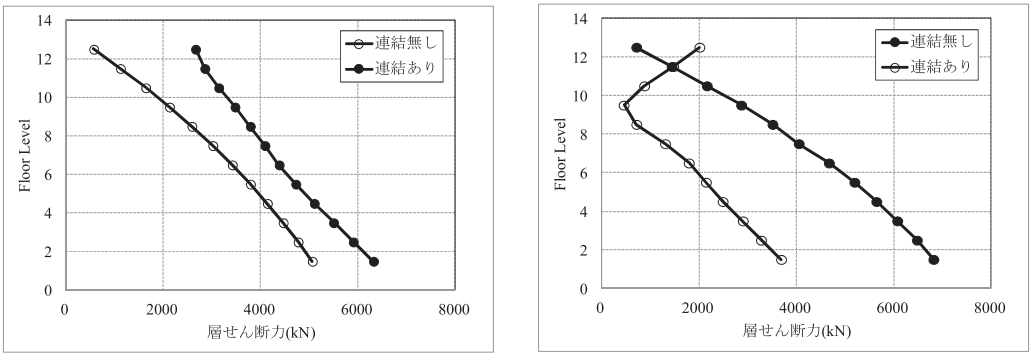


図9　応答最大層せん断力の比較（X方向加力時、標準、左：南棟、右：北棟）

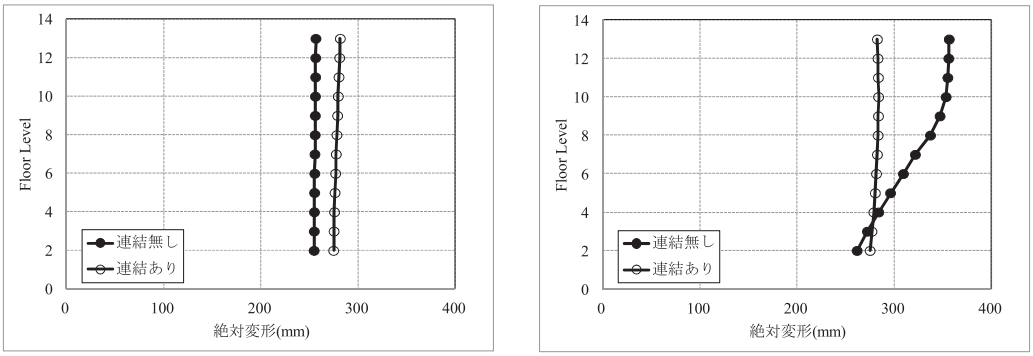


図10　応答最大絶対変形の比較（X方向加力時、標準、左：南棟、右：北棟）

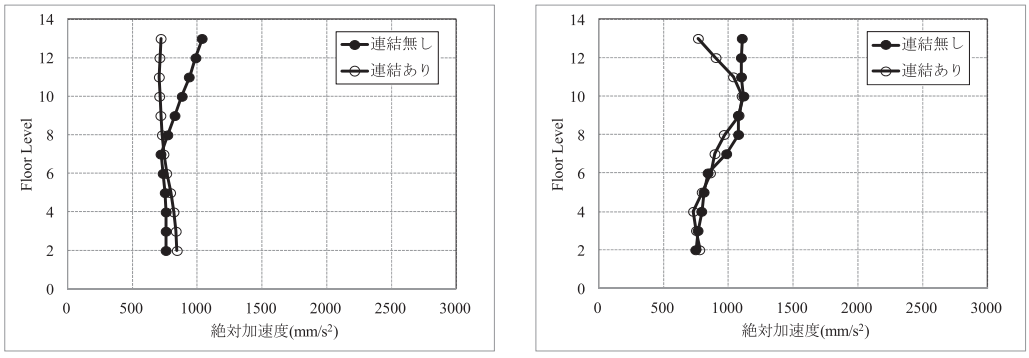


図11　応答最大絶対加速度の比較（X方向加力時、標準、左：南棟、右：北棟）

については、R階頂部を連結することで、特に上階の変形を小さく出来ることが分かる。

(3) 絶対加速度

各棟の絶対加速度を図11に示す。各棟ともに、R階頂部を連結することで、11～13階の絶対加速度は小さくなる傾向にある。免震材料の状態や地震波によってばらつきはあるものの、0.7～0.8倍程度小さくなることを確認した。

6　まとめ

本建物は、T字型に隣接する2棟の免震建物を構造的に連結する計画であり、意匠的および構造的なメリットを以下に列挙する。

① 2棟を連結することで、境界部分のEXP.Jに生じる変形を小さくし、免震用ではなく通常のEXP.Jとすることでコストダウンを図った。

② R階のみ鉄骨ブレースで連結した本計画において、耐震壁架構側に応力を伝達し、ラーメン架構側の負担応力を十分に低減出来るため、ラーメン架構のコンクリート強度および主筋強度をより小さくし、コンクリート量、鉄筋量の削減につながり、コストダウンを図ることが出来る。

なお、本計画においては、意匠上の採光計画およびコストメリットの観点から、R階のみ連結する計画としているが、構造性能上より有利となる最適な連結方法は他にもありえるものと考えている。今後、知見を蓄えて、機会があれば、積極的により合理的な構造計画を提案していきたい。