

MIZKAN MUSEUM



林 政輝
NTTファシリティーズ



山我 信秀
同



佐藤 和哉
同

1 はじめに

MIZKAN MUSEUMは、自然の恩恵を受けた知多半島・半田を拠点に事業を営み続ける食品メーカーの企業ミュージアムである。

計画地周辺は、ミツカングループ発祥の地として本社機能があるに留まらず、かつては酢づくりに使用された黒塀の建物群が運河沿いに展開し、それらが水面に映る独特の景観と「酢の里」という企業博物館が人気の景勝地であった。200年を超えて、半田とともに育ち、これからも半田を大切にしつつ、企業活動を進めていきたいとの考えがある一方、生産機能の多くを各地に移転させ、地区全体の再整備が必然となっていた。したがって、この地に育まれてきた歴史的な風景をできるだけ継承しながら次の時代を築く新しい機能の充足と、それに相応しい空気感を備える建築が求められた。保存の為の保存や既存風景の焼き直しを行うのではなく、脈々と営まれる企業活動を通して過去と未来をつなぎ地域の歴史的な文脈を形成しようとする試みである。また一方で常に自然に寄り添って行われてきた酢づくりの精神を受け継ぎ、半田のポテンシャルを丁寧に読み込み施設計画に取り込むことを考えた。こうして「伝統」「革新」「環境」の融合をテーマとする施設づくりが行われた。



写真1 建物鳥瞰



写真2 建物外観



写真3 建物内観

所在地：愛知県半田市中村町2-6
 建築主：株式会社Mizkan Holdings
 設計監理：株式会社NTTファシリティーズ
 施工：株式会社竹中工務店
 主要用途：企業博物館
 建築面積：3,288.6㎡
 延床面積：5,173.4㎡
 建物高さ：12.78m
 規模：地上2階、地下なし

構 造：鉄筋コンクリート造 一部鉄骨造
基礎形式：直接基礎

2 構造計画上の課題

MIZKAN MUSEUMを計画するにあたって、3つの課題があった。

1つ目は「歴史的な風景の継承」である。半田運河周辺の景観は、市の景観形成重点地区に指定されており、施設計画において景観は最も重要視された要素の1つである。2つ目は、「複雑な平面形状への対応」である。1つ目の課題同様、設計初期段階からコンセプトを持った展示空間が検討され、建物が複雑な形状を有していた。3つ目は、「大振幅地震への対応」である。半田市で想定されている最大速度130cm/sの巨大地震に対して耐震安全性を確保する必要があった。この3つの課題に対する構造計画について述べる。

3 構造コンセプト

本建物は、2階建てと低層建物であるが、お客様に來訪していただく施設であり、高い耐震安全性を確保しお客様に安心して使用していただけるような施設を目指し、免震構造を採用した。

先に述べた3つの課題に対して、それぞれに対応するだけでなく、その対応が他の課題に対しても有効に働く相乗効果を生むような構造計画を目指した。

①歴史的な風景の継承

市の景観形成重点地区に指定された景観に対して、建て替え前の建物と同様に対岸の建屋より一回り低い建物ボリュームとするべきであり、また歩行者へ威圧感を与えないようにするためにも極力高さを抑える必要があった。建て替え前の建物が木造平屋建てであるが、建て替え後の建物は2階建てである。建物の配置を建て替え前よりもセットバックさせ、階高を極力抑えることで建物ボリュームを抑えることができた。階高を低くするために、2階床をボイドスラブによる梁のないフラットプレート構造とした（図1）。フラットプレート構造を採用することで階高を3300mmにすることができ、建物高さを抑え、旧建屋による町並みと変わらないスケール感を築くことができた。外周部など、梁が存在しても階高や建築計画に影響を及ぼさない箇所については梁を設けて、スラブ端部の拘束効果を付加し、ボイドスラブ厚さを抑制した。また、階高を抑制するためには設備計画との整合が必要となったが、床吹き空調を採用するなどに対応した。

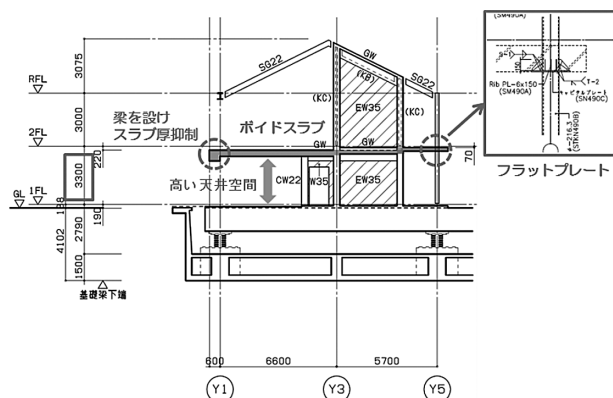


図1 ボイドスラブによる無梁空間

②複雑な平面形状への対応

計画初期段階からコンセプトをもった展示空間が計画されており、5つの展示空間で構成され、コの字形をした複雑な平面形状を有している。エキスパンションを設け、複数棟とすることも考えられるが、エキスパンションジョイントを設けることにより接続部のクリアランスが過大となり外観デザインや雨仕舞への影響が大きいため、エキスパンションジョイントを設けず計画することを考えた。

このような複雑な形状に対して、仮想的に4つのゾーンに分割しそのゾーン毎に耐震壁を設け、その耐震壁のみで地震力全てを負担させ、各ゾーン単独でも成立するようにし、床スラブによる水平力の伝達に期待せず、地震力に抵抗できるようにした。最終的には一体化した剛床モデルにてゾーン毎の力のやり取りを確認し、スラブの移行せん断力がコンクリートの短期許容応力度以下となっていることを確認した。

仮想的に4つのゾーンに分割することで、複雑な形状の建物を単純な形状の建物で検討することが可能となり、主軸が複数存在し、本来であれば解析ケースが増え、形状が複雑なため力の流れも把握しにくい建物であるが、シンプルに検討することが可能となった。

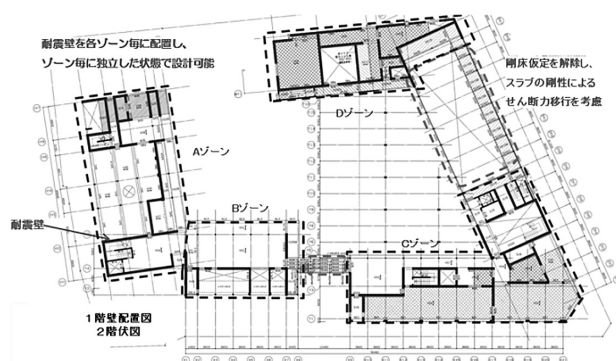


図2 構造伏図とゾーニング

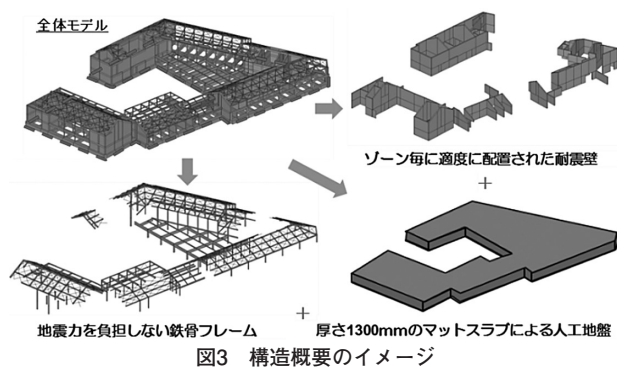


図3 構造概要のイメージ

③大振幅地震への対応

計画地において、南海トラフによる巨大地震動を想定したサイト波の変位応答スペクトルを図4に示す。応答スペクトルからもわかるように、通常の免震構造の周期である3～5秒にピークのある地震波であった。そのため、ピークの周期より長周期化し、免震周期を7秒程度とする必要があった。

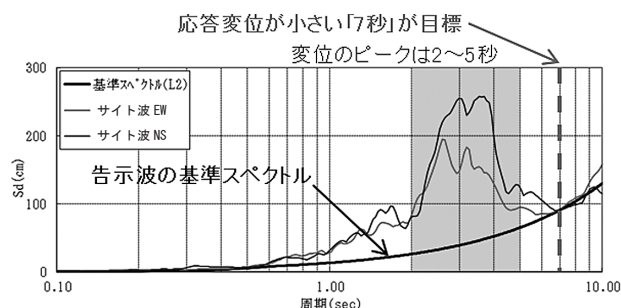


図4 サイト波の変位応答スペクトル

2階建ての建物で周期7秒を確保する場合、水平剛性がほとんどない転がり支承やすべり支承のみで計画することになり、免震クリアランスは900mm程度必要となった。本建物は敷地を有効に活用し、展示スペースと中庭空間を最大限確保するため、クリアランスはできる限り小さい方がよく、900mmのクリアランスは望ましくない。また、免震エクspansionsや免震部材のコストアップにつながるため、クリアランスを小さくする必要があると考えた。そこで1階床を人工地盤とし、フラットスラブとすることで重量を確保し、変形量を抑えた7秒の周期をもつ免震構造を計画することができた。その結果、応答変位を700mm程度に抑えることができ、免震材料の剛性を調整した場合に比べ、クリアランスを150mm縮小することができた。この1階床の人工地盤は高い剛性を有するため、免震の周期を伸ばすだけでなく、展示空間に合わせてどこにでも耐震壁を配置することを可能にし、展示空間の設計の自由度を高めることにも貢献している。

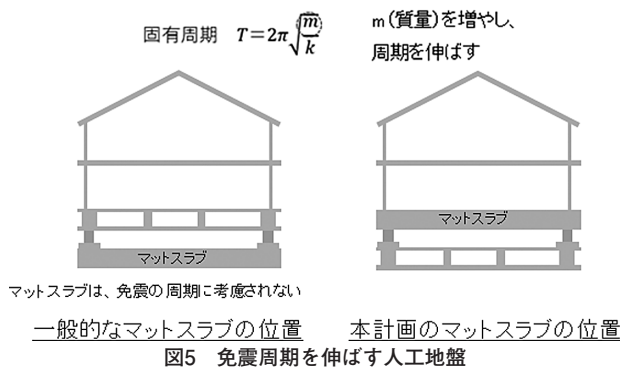


図5 免震周期を伸ばす人工地盤

4 構造計画概要

4.1 上部構造

上部構造は、建物外周部や展示空間に必要な壁を耐震壁により地震力に抵抗する架構とした。2階床にボイドスラブを採用し、1階階高の抑制を行っている。2階の屋根については、山形状のフレームとなるため、施工しやすいよう鉄骨フレームにて構成している。複雑な形状をしており、部分的にしかスラブが接続していない箇所もあるが、それぞれのゾーニング範囲にて耐震壁を確保し、ゾーン相互の相対変位が生じないようにしているためエクspansionsジョインを設けていない。

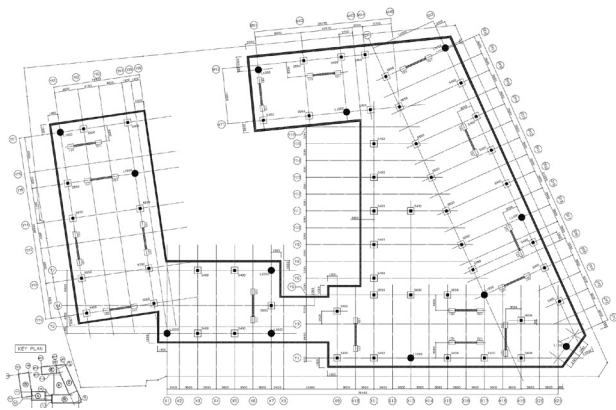
4.2 免震概要

先に述べたように、高い耐震安全性を確保し、お客様に安心して使用していただけるような施設を目指し、免震構造を採用している。

免震部材は、鉛プラグ入り積層ゴム支承、弾性すべり支承及び増幅機構付き減衰装置を採用した。図6に免震部材の配置図を示す。複雑な平面形状を有しているが、免震層の偏心率は、2%以下（200%歪時で1.55%）に抑えることで、ねじれ振動が生じないように配慮している。免震層の周期は、200%歪時で6.7秒となっている。

鉛プラグ入り積層ゴムは、せん断弾性係数 $G=0.34\text{N/mm}^2$ の柔らかいゴムを採用し免震層の周期を伸ばす工夫をしている。また、ゴム層総厚は272mmを採用し、500mmを超える大きな変形にも追随可能にしている。

弾性すべり支承は、角型の装置を用い、面圧 20N/mm^2 タイプを採用することで免震部材サイズを抑え、装置のコストに配慮している。



免震装置リスト			
	記号	符号	基数
鉛プラグ入り積層ゴム支承	●	L1000	12
弾性すべり支承	■	S400	28
		S450	1
		S500	6
		S550	10
		S600	3
		S650	1
		S700	1
		RDT100	16
減衰装置	▨		

図6 免震部材配置図



写真4 免震層

5 時刻歴応答解析

5.1 設計クライテリアと設計用入力地震動

表1に設計クライテリアを示す。極めて稀に発生する地震動に対して上部構造は短期許容応力度以下、免震層の変位を性能保証変形量以下とした。

表2に設計用入力地震動一覧を示す。極めて稀に発生する地震動（レベル2地震動）として、告示波3波及び既存観測波3波（50cm/secに基準化）を採用した。

厳しい地震環境の中でも十分安全な耐震性能を備えた建物を設計する目的で、設計用地震動に加えて余裕度検証用（レベル3）として、南海トラフによる巨大地震を想定した、長周期地震動の特性をもったサイト波（表3）による建物の性能確認を行った。

表1 設計クライテリア

入力レベル		レベル1	レベル2
		稀に発生する地震動	極めて稀に発生する地震動
建物	部材応力度	短期許容応力度以下	短期許容応力度以下
	層間変形角	1/1000 以内	1/500 以内
免震層	変形（歪）量	安定変形量以下かつ 125%歪以下 (30 cm以下)	性能保証変形量以下かつ 250%歪以下 (65 cm以下)
	鉛プラグ入り積層ゴム支承	引張力は生じない	引張面圧は1.0N/mm ² 以内とする。
	弾性すべり支承	引張力は生じない	引張力は生じない
	減衰装置	85 cm/s 以下	150 cm/s 以下
基礎	部材応力度	短期許容応力度以下	短期許容応力度以下
	支持力	短期許容支持力以下	短期許容支持力以下

表2 設計用入力地震動

波形名称	レベル1		レベル2		継続時間 (sec)
	加速度 (cm/s ²)	速度 (cm/s)	加速度 (cm/s ²)	速度 (cm/s)	
EL CENTRO-NS	255.4	25.0	510.8	50.0	54.0
TAFT-EW	248.4	25.0	496.8	50.0	54.0
HACHINOHE-NS	163.5	25.0	327.0	50.0	120.0
KOKUJI nKS(告示波)	70.5	12.6	409.2	64.2	81.9
KOKUJI nHS(告示波)	78.0	11.6	388.6	55.1	81.9
KOKUJI nRS(告示波)	64.2	10.2	363.3	54.1	81.9/163.8

表3 安全余裕度検証用地震動

波形名称	レベル3		継続時間 (sec)
	加速度 (cm/s ²)	速度 (cm/s)	
サイト波 EW	1137.0	116.7	327.68
サイト波 NS	993.8	129.1	327.68

5.2 振動解析モデル

本計画のように、複雑な形状の建物を振動解析する場合はモデル化が重要となる。本設計においては、静的解析同様に、建物全体での剛床仮定が成立しないものとし、剛床仮定が成立するゾーン毎（3ブロック）に剛床を設定した多剛床の立体モデルを採用した。（図7、図8）1階のフラットスラブによる人工地盤上に3棟の建物が載るモデルである。剛床2と剛床3の間のスラブの幅が小さい箇所は、等価なブレースに置換し、スラブ剛性を考慮した。上部構造の内部粘性減衰は、上部構造の1次固有周期に対して2%の剛性比例型とした。

免震層は、鉛プラグ入り積層ゴムは歪依存型 Bi-Linear、弾性すべり支承を Bi-Linear とし、増幅機構付き減衰装置を速度依存型非線形モデルとした。鉛プラグ入り積層ゴム及び弾性すべり支承は、水平二軸のどの方向に対しても同じ非線形特性となるように、一軸の非線形特性を有する多数のバネを水平面内に等角度で配置した MSS モデルとした。

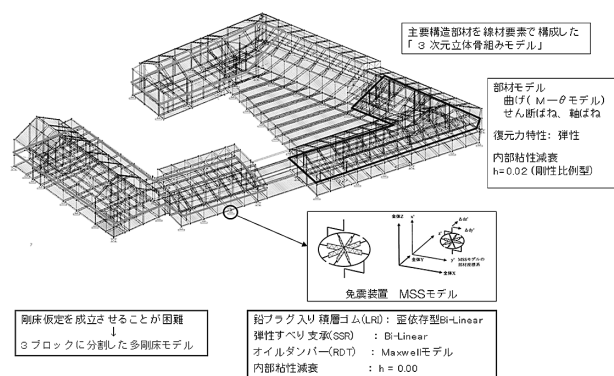


図7 振動解析モデル

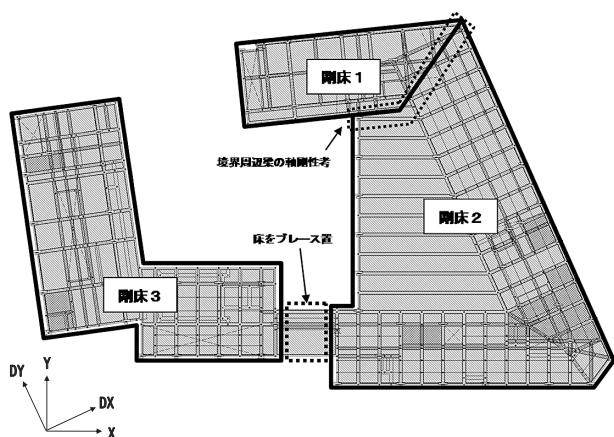


図8 剛床の範囲

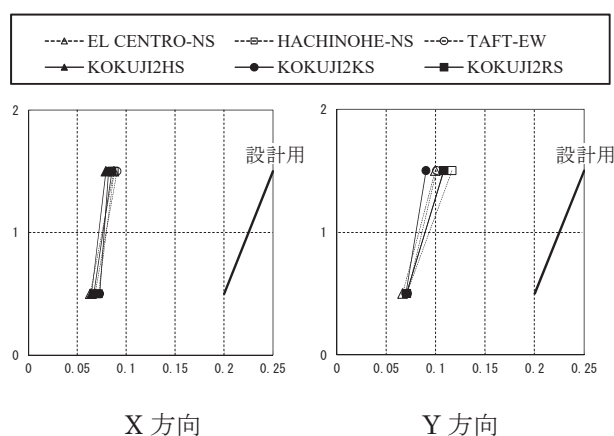


図9 最大応答せん断力係数

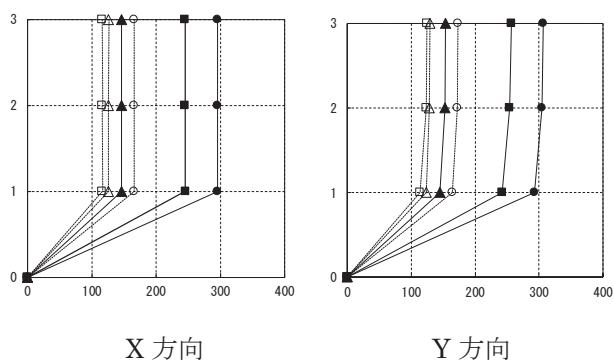


図10 最大応答変位 (mm)

5.3 地震応答解析結果

レベル2地震動に対する免震材料標準状態での応答解析結果のうち、剛床2ゾーンの最大応答せん断力係数を図9、最大応答変位を図10に示す。

免震層の最大変形は295.7mmで、設計クライテリア650mmに対して約46%である。なお、上下動を考慮した場合においても免震材料には引張力は生じていない。免震材料のばらつきを考慮した場合の最大応答変位は368mmで、設計クライテリア650mmの約57%である。

ゾーン毎にルート1の壁量を満足する耐震壁を設けているため、ねじれ振動やゾーン間での過度なせん断力の移行は生じていない。渡り廊下部など、大きな水平力の移行が期待できない箇所についてもスラブの面内せん断力を短期許容応力度以下に納められている。また、1階のマットスラブにより3棟がばらばらに振動せず、マットスラブに合わせて同様に振動している。

5.4 ねじれ振動への配慮

本建物は、平面形状が複雑であるためねじれ振動に配慮する必要があった。本建物の免震材料の配置計画は、静的設計において免震材料の各歪みレベルにおける免震層の偏心率を小さくし、ねじれ振動を極力発生させない設計としている。また、増幅機構付き減衰装置、鉛プラグ入り積層ゴムを建物外周部に配置しねじれ振動に対しても抵抗力を向上させている。しかし免震層を固定とした場合の上部構造各方向の固有周期を比較すると、並進方向の固有周期(6.7秒)とねじれ方向の固有周期(6.2秒)の差は大きいとは言えず、上部構造の振動性状により免震層にねじれ振動が誘起される可能性があった。

そこで、図11示す立体解析モデルの隅部の節点の応答変位を確認し、免震層の各点の最大応答値が概ね同様の値であり、ねじれを含んだ免震材料の最大変形量は、重心位置と比較し9%程度の増減であることを確認した。建物外周部では、重心位置に比べ変位が大きく、ねじれが生じているが、ねじれを考慮した場合においても性能保証変形以下となっており、ねじれによる免震層への影響はないことを確認した。

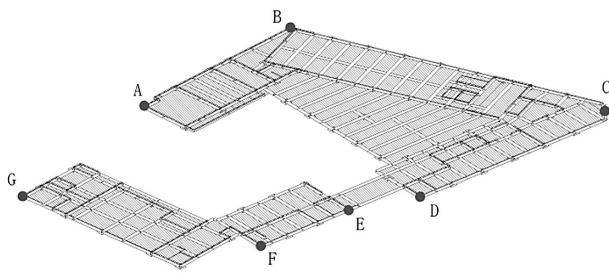


図11 ねじれ振動の確認位置

表4 各点の最大応答の比較

	重心	A	B	C	D	E	F	G
最大変位応答(mm)	292.5	283.6	302.8	314.7	292.3	285.8	275.6	265.0
重心位置との比		0.97	1.04	1.08	1.00	0.98	0.94	0.91
重心の回転角(rad)		0.000259	0.000258	0.000436	0.000001	0.000271	0.000419	0.000474

5.5 安全余裕度（レベル3）の検討

通常設計に用いられる25～50kine相当の観測波や、告示1461号に示される告示波に対する検討を行い、応答が十分に設計目標を下回ることを確認した。しかし本計画地では、地震発生確率が高いと考えられている南海トラフの影響によって、上記以上の巨大地震が発生することも想定されていた。

よって計画地周囲の広域的な地盤構造を考慮して作成されたサイト波（レベル3）を安全余裕度検討用地震動とする地震応答解析を実施し、本建物の安全性や余裕度について検証を行った。なおサイト波は、計画地近傍の半田市庁舎の新築計画のため半田市及び名古屋大学が作成したもので、半田市への情報公開請求を経て入手している¹⁾。

サイト波の疑似速度応答スペクトルを図12に示す。

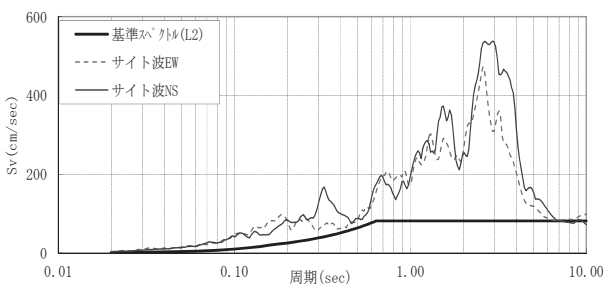


図12 サイト波の疑似速度応答スペクトル

サイト波の応答解析結果のうち剛床2ゾーンの最大応答せん断力係数を図13、最大応答変位を図14に

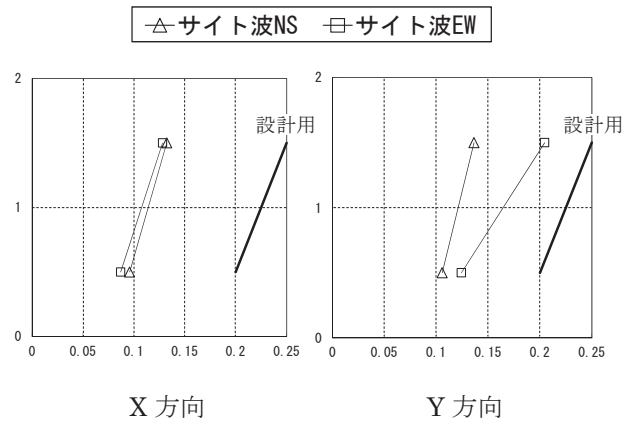


図13 最大応答層せん断力係数

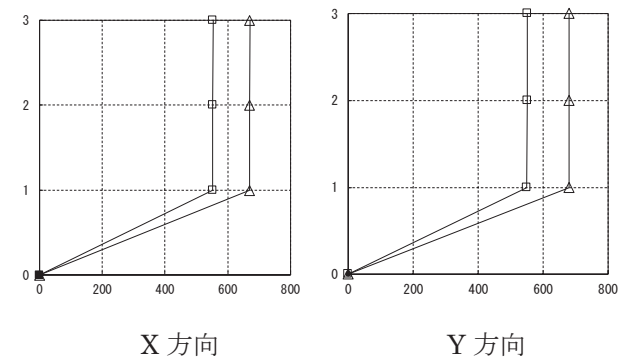


図14 最大応答変位 (mm)

示す。免震層の最大変形量は概ね650mmであり、免震クリアランス750mmに対して約87%である。よって、余裕度検討用地震動に対して、安全性を確保していると判断した。

6 おわりに

フラットプレート構造、ゾーン毎の耐震壁、1階人工地盤による長周期化した免震構造により、3つの課題に対応することができ、歴史的な風景を継承し、高い安全性を確保することができた。

本建物の設計当初より、多大なるご理解、ご協力をいただきました株式会社Mizkan Holdings様、施工者である株式会社竹中工務店様にこの場をお借りして厚く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 半田市・名古屋大学：新庁舎建設予定地地盤調査委託 その2報告書、2007