

名古屋ビル（仮称）



城戸 隆宏
日本郵政株式会社



宮久保 亮一
株式会社石本建築事務所

1 建築計画概要

本建物は地上7階、地下なしの事務所ビルで、平面形状は約79.2m×43.2mの長方形である。7階で南側中央にセットバックした立面となっており、建築面積は3,957m²、延床面積は22,309m²の規模を有している。階構成は、1階にエントランスホール、倉庫および事務室、2階に更衣室、食堂、売店等の共有施設、3～6階は事務室関連諸室、7階は電気室および機械室が計画されている。主要な用途は高セキュリティを有した事務所となっている。

図1に完成予想パースを示す。

【建築概要】

建設地：愛知県名古屋市

用途：事務所

階数：地上7階・地下なし

延床面積：22,309m²

最高高さ：33.3m

構造形式：純ラーメン構造+基礎免震構造

構造種別：PcaPC造+PC-S造・RC造・鉄骨造

免震部材：鉛プラグ入り積層ゴムアイソレーター
弾性すべり支承（ $\mu=0.014$ ）



図1 完成予想パース

基礎構造形式：直接基礎（マットスラブ）

深層混合地盤改良（TOFT工法）

2 構造計画概要

本建物は建物の用途を勘案し、高度な耐震性能値を確保することに加え、南海トラフ沿いの地震対策も視野に、基礎免震構造を採用している。

2.1 上部構造

無柱空間を確保しながら免震効果を最大限発揮させるため、柱の構造種別をPCaPC造、コア部および外周の短スパン梁をPCaPC造として層剛性を確保し、ロングスパン梁をPC-S造とした。すなわち、免震構造を採用することで上部構造への地震力を低減し、入力された地震力は短スパン部のPCaPC造でほとんど抵抗することで、PC-S梁は長期荷重のみを主に負担させる計画とした。

図2に構造伏図、図3に構造軸組図を示す。

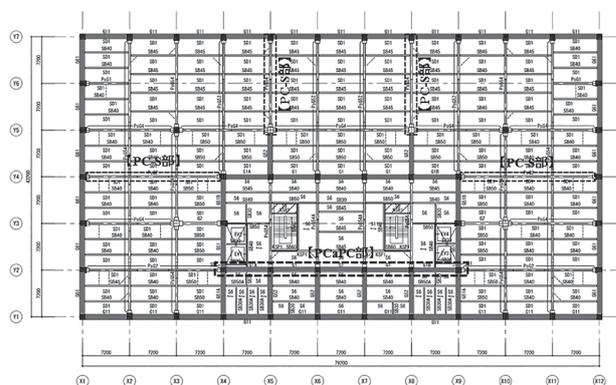


図2 構造伏図（3階）

2.2 PC-S構造

本建物のロングスパン梁（最大スパン21.6m）については、PC-S構造を採用した。PC-S構造とは、RCS構造（柱を鉄筋コンクリート（RC）造、梁を鉄骨（S）

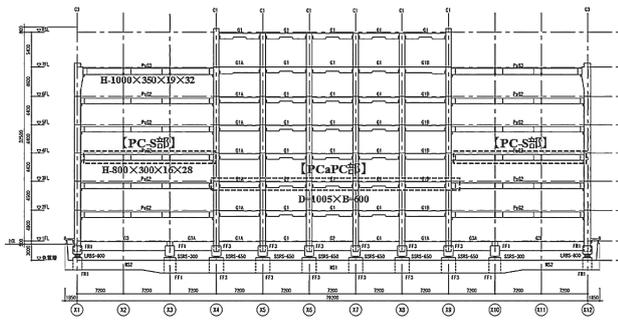


図3 構造軸組図 (Y2 通り)

造とした構造)の形態をもちながら、プレストレス技術を活用して優れた構造となるように開発されたものである。図4、5に本構造の概要を示す。

また、梁端部のディテールはPC圧着関節工法と同様に柱部材にコーベル(アゴ)を設けており、施工上でも想定外の地震に対するフェイルセーフとしても合理性のある工法となっている。

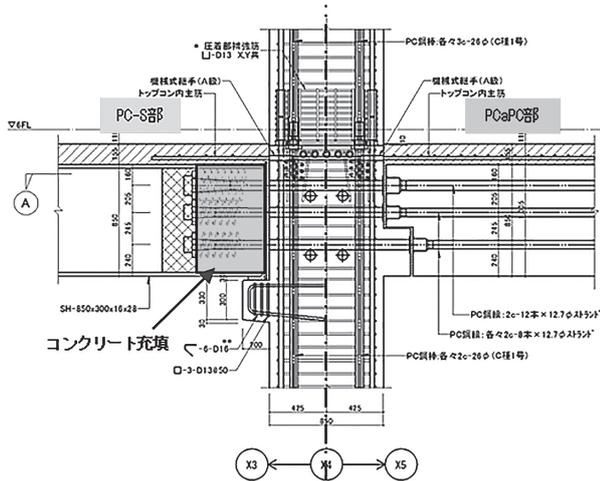


図4 PC-S 構造ディテール

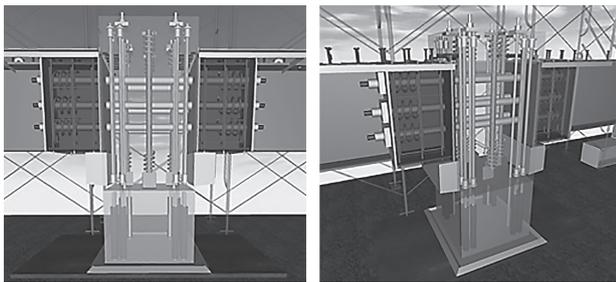


図5 BIMによる納まり検討 (作成:大林組)

2.3 免震計画

使用する免震装置は、鉛プラグ入り積層ゴム支承(34基)、弾性すべり支承(30基)とする。各支承材は柱直下および、1F梁の中間部に合計で64基設置する。設置位置は1階柱直下とし、基礎免震構造とした。免震層のねじれ剛性を高めるため、鉛プラグ入り積層ゴム支承を建物外周部に配置するとともに、偏心率が極力小さくなるように配慮している。また、長

周期化を図るため、建物中央部は全て弾性すべり支承とした。図6に免震装置概要図を表1に免震装置の諸元を示す。

各支承はデバイスメーカーの全数性能検査結果の性能値を反映して再配置し、更なる免震層の最適化を図っている。また、擁壁とのクリアランスは650mm(施工)、600mm(設計)および550mm(最小)以上とし、EXP.J及び設備可動継手は600mmの変位に追従可能な計画とした。

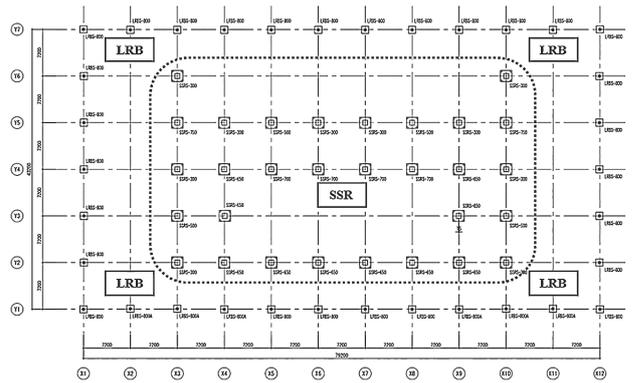


図6 免震装置配置図

表1 免震装置諸元

免震材料の種類	鉛プラグ入り積層ゴム LRB	弾性すべり支承 SSR
符号	LRB-S800/LRB-S800A	SSR-S300, 500, 650, 700, 750
基数	28基/6基	10基/4基/10基/4基/2基
1次形状係数:S1	41.2	35.5~39.1
2次形状係数:S2	4.0	8.3~20.8
ゴム面圧(N/mm ²)	10	20
ゴム-層厚×層数(mm)	5×40=200	35.1~36.0
鉛プラグ径(mm)	130φ/90φ×4	—
被覆ゴム(mm)	10	10
装置高さ(mm)	527.7	166.7~204.3
せん断強度(N/mm ²)	0.392: G4	0.588: G6

2.4 耐震設計方針

告示平12建告第1461号に示されている稀に発生する地震動のレベルをレベル1、極めて稀に発生する地震動のレベルをレベル2とする。各地震動入力レベルに対して設定した耐震性能の目標値を表2に示す。

表2 耐震性能の目標値

項目	稀に発生する地震動 (レベル1)		極めて稀に発生する地震動 (レベル2)	
	層間変形角	部材応力	層間変形角	部材応力
上部構造	層間変形角	1/300以下	1/200以下	
	部材応力	短期許容応力度以内		
	PC-S部材	圧着部: 離間モーメント以内 ^{※4} 鉄骨梁部: 短期許容応力度以内		
免震層	PCaPC部材	短期許容応力度以内 ^{※3}		
	水平移動量	240 mm以下	480 mm以下 ^{※1}	
	積層ゴム系	せん断歪み	120%以内	240%以内 ^{※2}
	支承	引張応力	生じない	限界引張強度-1.0N/mm ² 以内
基礎構造 (マツトスラブ)	弾性すべり	変形	600mm以下	
	支承	引張力	生じない	
基礎構造 (マツトスラブ)	支持力	短期許容支持力以内		
	部材応力	短期許容応力度以内		

※1: 積層ゴムの終局限界歪み×2/3×ゴム総層厚(=240%×200mm=480mm)で決定する

※2: 積層ゴムの終局限界歪み×2/3(=360%×2/3=240%)とする。

※3: 終局耐力の0.9倍としている。

※4: 上下動を考慮した場合は、圧着部、鉄骨梁部とも終局耐力以内とする。

本計画ではレベル2地震時にPC-S構造の端部において、鉄骨との圧着部の離間を起こさせないことを設計クライテリアの一つとして設定した。

3 時刻歴応答解析概要

3.1 設計用入力地震動

地震時設計用層せん断力の設定は、地震動に対する応答解析を実施して行う。設計に用いる地震動波形は、平成12年建設省告示第1461号に示されている方法から求めた地震動波形3波、既往の観測波3波および建設地の地盤特性を反映したサイト波6波の計12波を選定した。

サイト波に関しては地震環境調査の内容を踏まえ、発生メカニズムとして異なる、海溝型地震1波（南海トラフ5地震）、活断層型地震1波（加木屋断層帯地震）、また調査地との相対的位置で内陸直下型として地震波1波（南海トラフ最大陸側地震）を選定した。サイト波は、統計的グリーン関数法により作成した。表3に採用地震波の一覧を示す。

表3 入力地震動一覧

種類	地震動波形 (略称)	稀に発生する地震動		極めて稀に発生する地震動		解析 時間 (s)
		速度 (cm/s)	加速度 (cm/s ²)	速度 (cm/s)	加速度 (cm/s ²)	
告示 スペクトル 適合波	告示1：八戸位相	13.4	75.6	61.5	332.6	327.68
	告示2：神戸位相	11.8	77.8	58.8	296.8	
	告示3：ランダム位相	10.0	66.4	53.7	291.8	
観測 地震波	El Centro NS	25.0	256.0	50.0	511.0	53.76
	TAFT EW	25.0	249.0	50.0	497.0	
	HACHINOHE NS	25.0	175.6	50.0	348.9	
サイト波	南海トラフ5地震 NS	【海溝型】		30.2	227.0	327.68
	南海トラフ5地震 EW	【海溝型】		29.8	129.0	
	南海トラフ最大陸側 NS	【内陸直下型】		39.0	301.0	327.68
	南海トラフ最大陸側 EW	【内陸直下型】		39.9	283.0	
	加木屋断層帯の地震 NS	【活断層型】		14.7	142.8	163.84
	加木屋断層帯の地震 EW	【活断層型】		11.0	123.0	

3.2 解析モデル

水平動に対する時刻歴応答解析に用いる構造物モデルは、各レベルの地震動に対して共通であり、各方向別に1階以上の各床位置に質量を集中させた8質点の等価せん断モデルとし、1階床下部に免震層をモデル化している。

上部構造および下部構造の減衰は内部粘性型とし、減衰定数は1階床下をそれぞれ固定としたときの1次固有振動数に対して2%とする。なお免震層は、鉛プラグの履歴減衰および弾性すべり支承の摩擦以外の減衰を考慮しない。

3.3 固有値解析結果

各方向の上部構造基礎固定時の免震層の層間変形が2.5cm（微小変形）、15.0cm（レベル1）、45.0cm（レベル2）、50.0cm（余裕度）としたときの等価剛性による固有周期を表4に示す。

表4 固有値解析結果

状態	次数	X方向			Y方向		
		1次	2次	3次	1次	2次	3次
上部構造	固有周期(sec)	0.86	0.30	0.20	0.96	0.34	0.24
(免震層固定)	制振係数	1.82	-0.58	0.48	1.34	-0.64	0.50
2.5cm変形	固有周期(sec)	2.08	0.49	0.26	2.11	0.55	0.29
(12.5%歪)	制振係数	1.10	-0.13	0.04	1.13	-0.16	0.06
15cm変形	固有周期(sec)	3.69	0.51	0.26	3.71	0.57	0.30
(75%歪)	制振係数	1.03	-0.04	0.01	1.04	-0.05	0.02
45cm変形	固有周期(sec)	4.74	0.52	0.26	4.75	0.58	0.30
(225%歪)	制振係数	1.02	-0.02	0.01	1.03	-0.03	0.01
50cm変形	固有周期(sec)	4.97	0.52	0.26	4.98	0.58	0.30
(250%歪)	制振係数	1.02	-0.02	0.01	1.02	-0.03	0.01

3.4 免震材料の力学的変動を考慮した応答解析

免震材料の剛性および降伏荷重は、出荷時の製品誤差・温度変化・経年変化によりばらつきが生じる。本節では、免震層のこれらのばらつきを考慮した場合の時刻歴応答解析を行い、ばらつきを考慮した場合の上部構造および免震層の応答結果が、前述した耐震性能の目標値を全て満足することを確認する。

各免震材料のばらつきをまとめると表5のようになる。これらのばらつきを考慮してHard (CASE1) とSoft (CASE2) の2ケースについて検討を行う。

表5 免震材料のばらつき

項目		Hard (CASE1) (%)				Soft (CASE2) (%)			
		製造	温度	経年	合計	製造	温度	経年	合計
LRB	降伏係数 Kd	10	5	10	25	-10	-3	0	-13
	切片荷重 Qd	10	15	5	30	-10	-7	0	-17
SSR	一次剛性 K1	30	5	15	50	-30	-3	0	-33
	摩擦係数 μ	50	0	0	50	-50	0	0	-50

*想定温度：名古屋市の月別平均気温の最高・最低気温と年平均気温から想定(気象庁HP)
 *(1981~2010年 標準：20.0℃, 最高：27.8℃, 最低：4.5℃)

4 時刻歴応答解析結果

4.1 時刻歴応答解析結果

免震装置のばらつきを考慮した振動解析結果を図7に示す。

最大層間変形角は、X方向で1/714 (3F) <ばらつきHard：El Centro NS>、Y方向で1/532 (4F) <ばらつきHard：El Centro NS>である。

設計目標値の1/200を満足し、応答せん断力係数は設計用層せん断力係数以下である。X方向、Y方向共にいずれの階においても各部材が短期許容応力度以下となっている。

以上より、免震材料のばらつきを考慮した状態においても耐震性能目標を満足しており、安全性は確保されているものと判断する。

また応答値は、Q-δ曲線上の線形領域にあり、免震構造の上部構造の復元力特性を線形としたモデルに問題がないことを確認した。

免震層においては、免震材料の力学的変動を考慮したレベル2地震動に対する最大応答変位は、X方向39.35cm<ばらつきSoft：告示波(神戸)>、Y方

向39.87cm、<ばらつきSoft：告示波（神戸）>により生じており、目標値の48cmを十分下回っている。

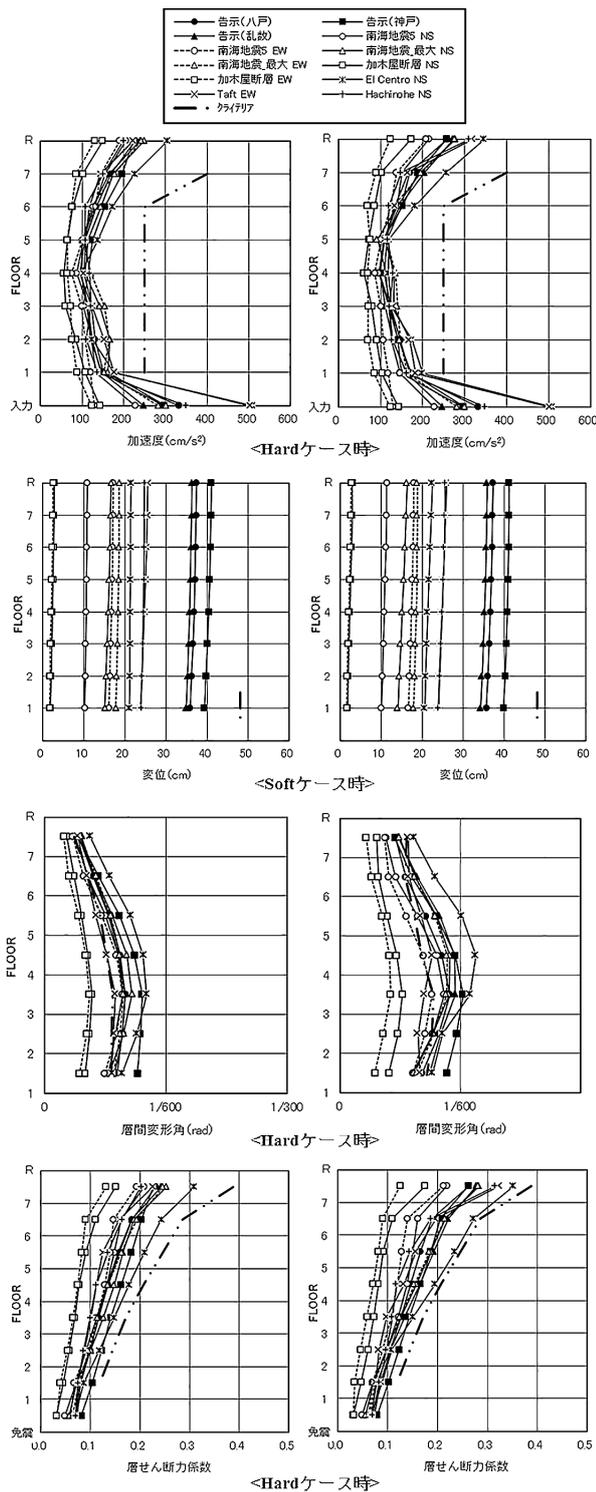


図7 ばらつきを考慮した振動解析結果
(左側：X方向、右側：Y方向)

4.2 サイト波の方向性について

本建物はほぼ東西南北方向の平面的傾斜もなく配置されている。サイト波（南海トラフ5地震、南海トラフ最大陸側地震）についてはNS方向とEW方向を設定しているが、免震層変位オービットによる地

震波の方向性確認を行うとともに、解析手法の妥当性を確認する。

図8にサイト波における免震層変位のオービットを示す。EW方向が最も卓越しており、当該検討で採用した地震波の方向性についての妥当性を確認した

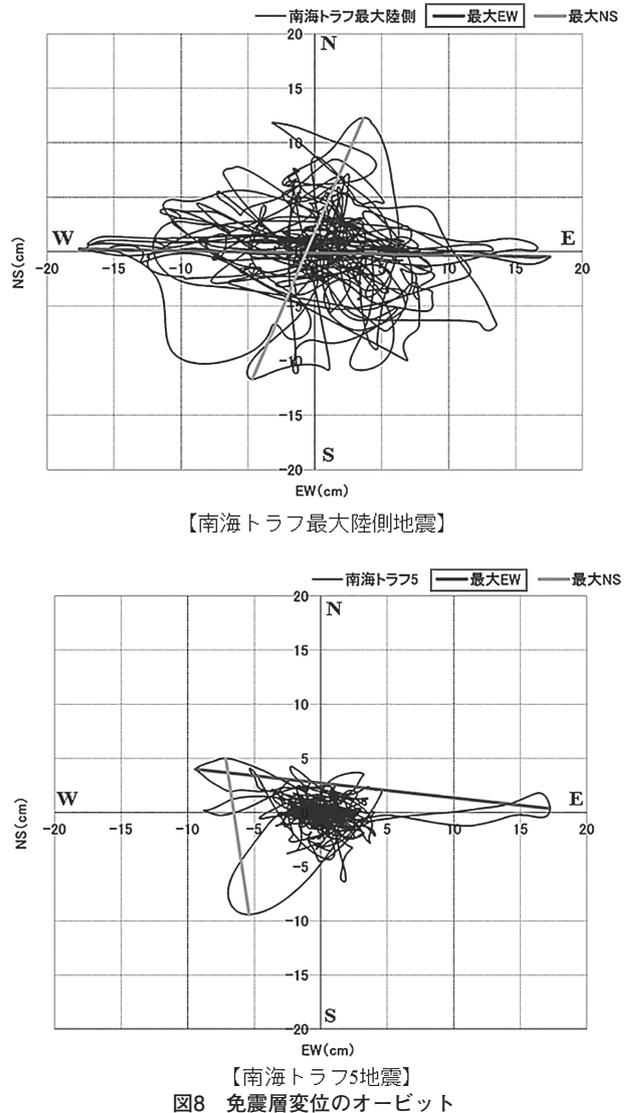


図8 免震層変位のオービット

5 長周期地震動の検討

5.1 解析概要

平成28年6月24日付けで、国住指第1111号「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策について（技術的助言）」が示された。本計画においては申請時期が本年の1月31日であったため、長周期地震動の検討義務については発生していなかったが自主的な検討を行い、参考波扱いとして日本建築センターの性能評価に提出した。検討内容としては技術的助言にもとづく検証のうち、長時間の繰り返し累積変形により免震材料の特性が変化する可能性について確認した。

南海トラフ地震における長周期地震動を対象とした内閣府「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告（2015）」を受け、国土交通省が公表した「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策案について（2016）」において示された地震動を採用した。中部圏の計算には内閣府（2015）における宝永地震モデルが用いられている。名古屋市中区のほぼ全域がゾーン区分のうちCH3に属している（図9）。本計画における工学的基盤面はGL-38.8mであり、工学的基盤面から基礎底レベルまで増幅させている。図10に基礎底盤レベルまで増幅させた疑似速度応答スペクトルを示す。

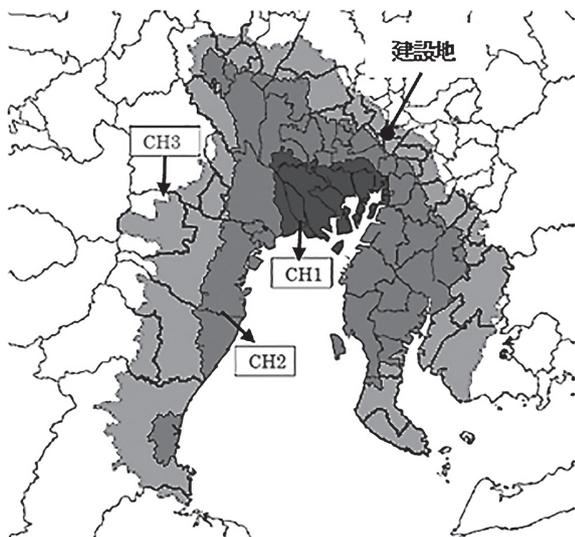


図9 中京地域における長周期地震動区分

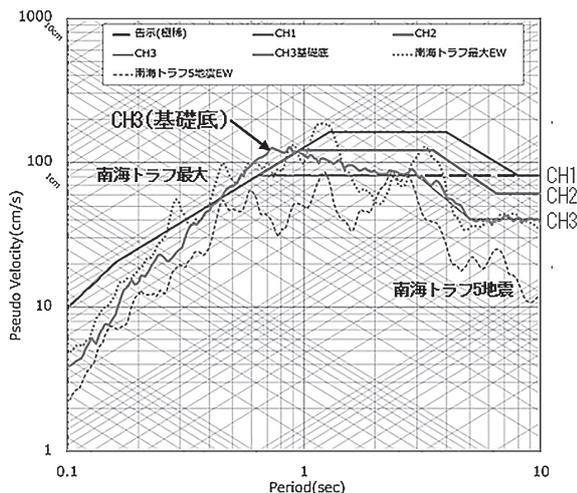


図10 疑似速度応答スペクトル

5.2 繰返し地震動における免震デバイスの検討

長周期地震動による繰返しでは、免震材料がSoft側に変化することが考えられる。各免震材料の繰返しの評価方法を以下に示す。

■SSR（弾性滑り支承： $\mu=0.014$ ）

参考文献1)の「1.3.5 弾性滑り支承（低摩擦）」の一連の実験結果より、 $\mu=0.01$ タイプのSSRの最少摩擦係数は0.005（規格値の50%）以上と推測される。また、直動転がり支承（CLB）の転がり摩擦係数の最小値は0.0048~0.009（カタログ値）であった。一般に滑り摩擦係数>転がり摩擦係数であることを考慮すると、今回使用したSSR（ $\mu=0.014$ ）の各種条件が重なった場合（製造ばらつき、繰返し等）の最小摩擦は0.0048以上かつ $0.014 \times 0.5 = 0.007$ 以上となる。また、SSRは応答解析時の摩擦係数のばらつきとして $\pm 50\%$ を考慮している。従って、Soft時の応答計算では繰返しの影響はなしとする。

■LRB

参考文献1)の「評価方法2」(pVI-1.3.1-4)の方法を使用して Q_d の低下率 $_{LRB}k_{min}$ を計算し、得られた低下率を用いて Q_d を再設定して地震応答解析を行う。このとき、基準となる Q_d は製造バラツキを考慮する。また、温度依存性は繰返しの評価に含まれるものとする。従って、標準状態に対するSoft時の繰返しの評価を考慮した Q_d は製造ばらつき0.9を考慮して以下になる。
 $Q_d(-) = Q_d_{標準状態} \times 0.9 \times _{LRB}k_{min}$
 表6に免震材料のばらつき、表7に解析ケースを示す。繰返し地震動に対するLRBのバラツキは20%程度で、応答性状に大きな影響を与えるレベルではないことがうかがえる。

表6 免震装置のばらつき（長周期地震動検討用）

項目	Soft時 (%)					
	製造	温度	経年	繰返し	合計	
LRB	降伏後剛性 Kd	-10	-3	0	0	-13
	切片荷重 Qd	LRB-S800	-10	0	0	-20.5
LRB-S800A		-10	0	0	-17.3	-27.3
SSR	一次剛性 K1	-30	-3	0	0	-33
	摩擦係数 μ	-50	0	0	0	-50

表7 ばらつきを考慮した解析ケース

ケース	製造	温度	経年	繰返し
繰返し無視	○	○	○	×
繰返し評価	○	×	○	○

5.3 応答解析結果

図11に長周期地震動の応答結果を変位について示す。なお、東海地域のサイト波である南海地震最大、南海地震5を比較のために併せて示す。

長周期地震動における免震層の変位は18cmであり、レベル2時の設計クライテリアを満足している。また免震デバイスに関しては、以下を確認した。

