

高層PCaPC免震建築物の地震挙動について

(その2 動的解析検討)

(株)ピーエス三菱 ○正会員 傅 金華

同 上 正会員 大迫一徳

同 上 正会員 浜田公也

同 上 正会員 林 三雄

1. はじめに

本報(その2)では、前報(その1 計画法と静的解析検討)で実施した静的解析の結果より作成した振動モデルを対象に、建告第1461号で規定される加速度応答スペクトルを概ね満足するNewRC 3波および標準3地震波を用いて建物各方向に対する地震応答解析を実施した。解析結果と目標性能の比較から建物の対地震安全性の検証結果を報告する。

2. 地震応答解析による検討

超高層建築物および免震或いは制振システムを伴う高層建築物の対地震安全性は、地震応答解析による検証が基本となる。これら建物の検証に対する技術基準は、建告1461(超高層建築物の構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件)で、常時荷重、積雪荷重および風荷重と共に地震動に対する各基準が定められている。

地震動の規模は、1)稀に発生する地震動、および2)極めて稀に発生する地震動の2種類で、それぞれ建物の損傷限界、および安全限界を確かめるよう定められている。地震動は、何れも工学的基盤(解放工学的基盤で、せん断波速度が400m/sec以上の基盤)における加速度応答スペクトル(減衰定数 $h=5\%$)で定められている。このため、建物の基礎より加速度波を入力する場合、表層地盤の影響による増幅を適切に考慮する必要がある。また、地震動の継続時間は60秒以上で必要な地震動数を用意することと規定されている。

表2.1 加速度応答スペクトル(告示1461)

周期(sec)	加速度応答スペクトル(m/sec ²)	
	稀に発生する地震動	極めて稀に発生する地震動
$T < 0.16$	$(0.64 + 6T)Z$	$(3.2 + 30T)Z$
$0.16 \leq T < 0.64$	1.6Z	8.0Z
$0.64 \leq T$	$(1.024/T)Z$	$(5.12/T)Z$

極めて稀に発生する地震動に対する加速度応答は、稀に発生する地震動に対する加速度応答の5倍と定められている。
Tは、建物の1次周期を表す。Zは、令88条第1項に規定する地域係数。

これら地震動数は、一般に3波程度とされる。また、建告第1461号で定められる地震動以外に標準3地震波によるレベル1およびレベル2地震動による検討も行われる。標準波は、一般にEl centro NS 1940, Taf

t EW 1952, およびHachinohe NS 1968の3記録が用いられる。ただし、標準波のレベル1および2とは、地表の最大速度25cm/secおよび50cm/secに規準化した波を示す。建告第1461号で規定される地震動の加速度応答スペクトルを表2.1に示し、動的応答に対して設定した免震建物の目標性能を表2.2に示す。

表2.2 動的応答に対する目標性能

	上部構造		免震層
	層間変形角	層せん断力	
稀に発生する地震動	1/400	層のひび割れ耐力以内	—
極めて稀に発生する地震動	1/200	層の弾性耐力以内	・安定変形56.0cm ($\gamma=200\%$)以内 ・引抜力が生じない

2.1 解析モデル

上部建物の解析モデルは、建物各方向毎に実施した非線形漸増荷重解析結果における層せん断力一層間変形および曲げ変形関係より作成した質点系の等価曲げせん断型モデルとする。等価せん断ばねは、層のひび割れ耐力および降伏耐力を折れ点とするトリリニア型とし、等価な曲げばねは弾性とした。

振動モデルは、各層1質点および各階1等価曲げせん断ばねから成る23質点および22等価曲げせん断ばねモデルとした。免震層は、鉛プラグ入りの積層ゴムの荷重一せん断変形関係を用いたトリリニア型の等価せん断モデルとした。振動モデルの弾性1次周期は、長辺方向が1.73秒、短辺方向で2.15秒であった。また、大地震時における免震周期 ($\gamma=200\%$ 変形時) を4.50秒に設定した。

建物各方向における振動モデルを表2.3に示す。

表2.3 振動モデル

層	重量 (kN)	X方向						Y方向					
		曲げ剛性 EI(kN・m ²)	せん断剛性				曲げ剛性 EI(kN・m ²)	せん断剛性					
			初期剛性 K1(kN/m)	第1折れ点 D1(m)	Q1(kN)	第2折れ点 D2(m)		Q2(kN)	初期剛性 K1(kN/m)	第1折れ点 D1(m)	Q1(kN)	第2折れ点 D2(m)	Q2(kN)
23	9807	3.041E+10	2.180E+06	0.00256	5571	0.02580	6685	2.358E+10	1.611E+06	0.00311	5010	0.02286	6100
22	8826	5.669E+10	2.495E+06	0.00278	6929	0.02101	9041	3.075E+10	1.861E+06	0.00304	5659	0.01567	8476
21	8826	7.255E+10	2.548E+06	0.00295	7528	0.01935	11141	3.263E+10	1.903E+06	0.00386	7334	0.01957	10758
20	8826	8.669E+10	2.578E+06	0.00315	8114	0.02007	13121	3.398E+10	1.916E+06	0.00383	7343	0.01831	12814
19	8826	9.377E+10	2.597E+06	0.00320	8315	0.02022	14922	3.477E+10	1.922E+06	0.00467	8979	0.02191	14855
18	8826	9.840E+10	2.614E+06	0.00344	8992	0.02184	16708	3.489E+10	1.926E+06	0.00446	8590	0.02093	16633
17	8826	1.009E+11	2.628E+06	0.00342	8996	0.02198	18325	3.493E+10	1.930E+06	0.00520	10032	0.02344	18436
16	8826	1.017E+11	2.642E+06	0.00365	9634	0.02324	19915	3.541E+10	1.933E+06	0.00547	10572	0.02399	20007
15	8826	1.012E+11	2.655E+06	0.00371	9837	0.02360	21351	3.544E+10	1.937E+06	0.00615	11906	0.02588	21581
14	8826	1.005E+11	2.667E+06	0.00397	10578	0.02467	22764	3.554E+10	1.938E+06	0.00618	11980	0.02566	22799
13	8826	9.949E+10	2.679E+06	0.00395	10575	0.02438	23917	3.554E+10	1.935E+06	0.00669	12949	0.02712	24102
12	8826	9.854E+10	2.690E+06	0.00418	11257	0.02506	25138	3.550E+10	1.924E+06	0.00669	12863	0.02684	25021
11	8826	9.706E+10	2.702E+06	0.00428	11577	0.02509	26170	3.551E+10	1.890E+06	0.00718	13560	0.02809	26089
10	8826	9.611E+10	2.716E+06	0.00446	12109	0.02541	27174	3.538E+10	1.797E+06	0.00901	16182	0.03361	27849
9	8826	9.455E+10	2.735E+06	0.00449	12289	0.02532	27984	3.573E+10	1.719E+06	0.00945	16256	0.03388	28768
8	8826	9.978E+10	2.767E+06	0.00434	12013	0.02493	28548	3.754E+10	1.718E+06	0.01014	17416	0.03502	29713
7	8826	9.810E+10	2.778E+06	0.00431	11977	0.02479	29041	3.762E+10	1.747E+06	0.01029	17973	0.03454	30417
6	8826	9.709E+10	2.789E+06	0.00452	12604	0.02523	29841	3.783E+10	1.833E+06	0.01024	18766	0.03437	31011
5	8826	9.544E+10	2.801E+06	0.00466	13054	0.02517	30450	3.768E+10	1.930E+06	0.00888	17134	0.03007	30830
4	8826	9.393E+10	2.813E+06	0.00487	13713	0.02533	30955	3.768E+10	1.981E+06	0.00907	17967	0.03036	31388
3	8826	9.258E+10	2.837E+06	0.00508	14416	0.02477	31213	3.769E+10	2.042E+06	0.00913	18643	0.03026	31794
2	9022	9.233E+10	2.427E+06	0.00722	17515	0.03081	31609	3.844E+10	1.732E+06	0.01465	25373	0.06013	32876
1	12749				免震ゴム						免震ゴム		

2.2 地震応答解析

応答計算は、Newmarkの β 法 ($\beta=0.25$)による数値積分とする。減衰マトリクスは、初期剛性に比例すると仮定して弾性1次モードに対する減衰定数を3%、高次モードに対しては振動数に比例すると仮定した。

2.3 検討用地震波

動的検討用地震波は、建告1461号で規定される地震動の加速度応答スペクトルに概ね一致するNewRC3波 (Eq1, Eq2, Eq3) および標準3地震波 (El centro NS 1940, Taft EW 1952, およびHachinohe NS 1968) とした。使用地震波の最大加速度、速度および継続時間を表2.4に示す。また、規定される加速度応答スペクトルに概ね一致する代表的なNewRC3波の加速度応答スペクトルを、図2.1に示す。

表2.4 使用地震波 (単位:cm/sec², cm/sec, sec)

入力地震動名	最大加速度	最大速度	最大入力加速度		継続時間
			レベル1	レベル2	
New RC (Eq1)	394.65	50.81	—	394.65	60
Nem RC (Eq2)	407.15	56.10	—	407.15	120
New RC (Eq3)	400.68	48.97	—	400.68	60
El Centro NS 1940	341.70	33.45	255.38	510.76	50
Taft EW 1952	175.90	17.71	248.38	496.75	50
Hachinohe NS 1968	225.00	34.08	165.06	330.11	35

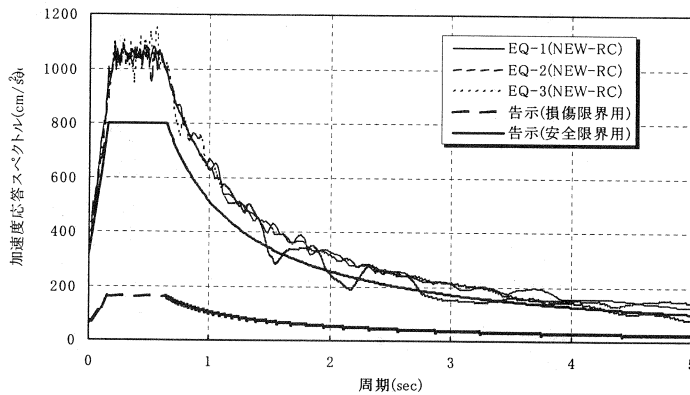


図2.1 加速度応答スペクトル(h=5%)

2.4 使用履歴モデル

上部建物構造の振動モデルにおける履歴特性モデルは、等価せん断ばねを非線形弾性モデル、等価曲げばねは弾性として扱う。また、免震層は、修正バイリニアモデルとする。

各履歴特性モデルの概要を図2.2に示す。

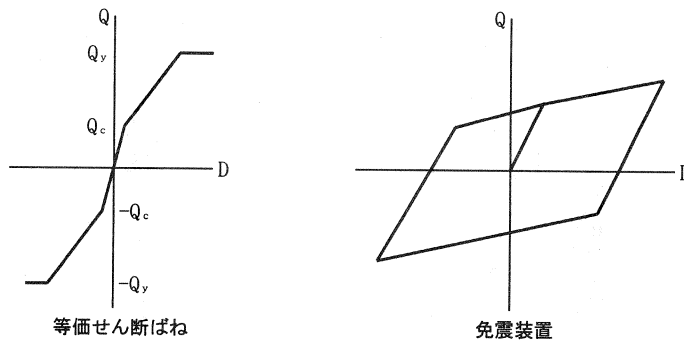


図2.2 履歴特性モデル

2.5 地震応答解析結果

地震応答解析の結果を表2.5に示す。解析結果は、各地震動に対する目標性能を概ね満足している。また、解析結果の内、建物各方向における各地震波（レベル2）に対する最大応答層間変形および最大応答層せん断力を図2.4、図2.5に示す。

表2.5 応答解析結果

	最大応答せん断力 (Cs)		最大応答層間変形角		最大応答加速度 (cm/sec ²)	
	長辺方向	短辺方向	長辺方向	短辺方向	長辺方向	短辺方向
レベル1	0.0461 (Taft)	0.0487 (El Centro)	1/749 (Taft, 16F)	1/458 (El Cen, 8F)	215.1 (Taft, RF)	226.7 (El Cen, 1F)
レベル2	0.0735 (NewRC Eq1)	0.0769 (NewRC Eq3)	1/407 (Eq3, 12F)	1/306 (El Cen, 11F)	331.3 (El Cen, 1F)	355.0 (El Cen, 1F)

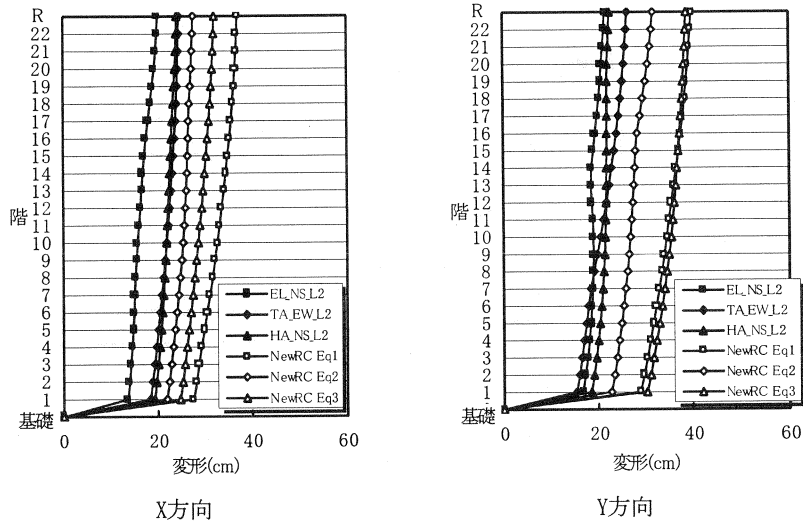


図2.4 最大応答変形

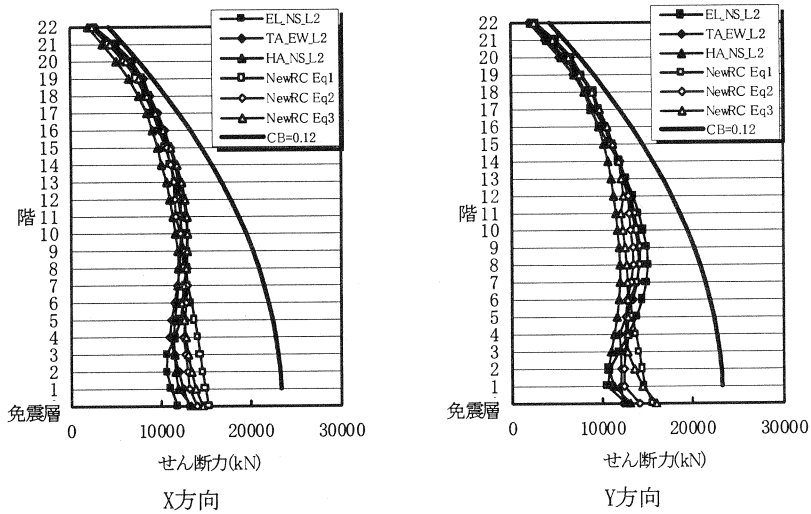


図2.5 最大応答せん断力

3. まとめ

架構における履歴エネルギーの消費が少ないPC圧着構法による超高層建築構造の計画は、一般には困難と考えられていた。そこで、免震システムを有効に利用することにより板状の超高層PC架構を計画し、これを対象に地震応答解析による検討を実施した。地震応答解析の結果から超高層PC架構について、次の事柄を纏めることができた。

- a) 免震システムを有効に利用すれば、大スパンの超高層PCaPC板状住宅建物を計画することができる。
- b) PCaPC架構の地震応答は、免震化により十分に制御することができる。
- c) 免震システムを利用した超高層PCaPC建築物は、十分な対地震安全性を有することが確認できた。

参考文献

- 1) 林, 岡本, 小谷, 加藤, 博, "PC部材の履歴特性とPC造建物の地震応答性", PC技術協会誌, Vol. 37, No. 4, Jul., pp57-67, 1995.