

免震建築物の地震時応答特性に関する研究 ~名古屋大学医学部付属病院中央診療棟を対象とした各種影響検討~

名古屋大学工学部社会環境工学科建築学コース
飛田研究室 木村憲司

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、耐震性能に対する社会の要請は、従来の人命の保護のみならず、地震被害による経済損失や地震後の機能損失の防止をも目的とするようになってきた。このような高度な要求を達成することのできる耐震工法のひとつとして免震構造があり、近年急速に普及している。また、2000年の免震構造物関連告示により、それまで大臣認定を必要としていた免震設計が、一般の建物と同様に通常の建築手続きで建設することが可能となり、今後さらなる増加が予想される。しかしながら、これによって大臣認定を得る際に必要であった地震応答解析を行わない免震建築物が増加することになり、免震建築物の地震時応答特性を詳細に把握することが重要となってくる。このような観点から、本論では名古屋市昭和区に建設予定の名古屋大学医学部付属病院中央診療棟を対象として、質点系モデルで様々なパラメータを設定して地震応答解析を行い、免震建築物の地震時応答特性の把握を試みた。

2. 対象建物及び地盤概要

2.1 対象建物概要

対象建物は鉄骨鉄筋コンクリート造純ラーメン構造で、地上7階地下2階建の病院である。長辺方向9.0m×13スパン、短辺方向7.2m×7スパンのほぼ長方形で、一部吹き抜け、柱抜けがあるが整形な建物である。免震装置はアイソレータとして天然ゴム系積層ゴムの34基、鉛プラグ入り積層ゴムの72基、減衰装置としてオイルダンパーを8基(長辺方向4基、短辺方向4基)設置し、免震層を地下1階の下に配置している。免震装置の復元力特性は Tri-linear 型で、第1、第2降伏点は2種類の鉛プラグ入り積層ゴムの降伏変位(10.8mm、12.6mm)に対応している。

2.2 地盤概要

建設地及びその近傍では、地震防災上の観点から地盤調査が多数行われている。常時微動計測や強震観測記録などの分析から、建設地の表層地盤の卓越周期は3.5秒付近であると考えられる。

3. 解析モデル

解析モデルは、上部構造を一層一質点系の等価せん断バネに、免震層は各免震装置ごとにせん断バネに置換する。解析モデルを図1に示す。上部構造の履歴法則は、地下1階はRC耐震壁が主な耐震要素であることから原点指向型、1~7階は純ラーメン構造であることから修正武田型とする。上部構造の固有周期及び想定変形40cmにおける全体系の固有周期を表1に示す。また、免震層の復元力特性を表2に、上部構造の復元力特性を図2及び表3に示す。

4. 検討項目及び解析パラメータ

本論は、表4に示す4つの項目について検討する。項目

1では入力波の位相特性や振幅レベルによる影響を、項目2では建設地地盤の周期特性の影響を、項目3では上部構造の剛性や減衰タイプによる影響を、項目4では免震層の固有周期や免震装置の種類による応答の変化を検討する。

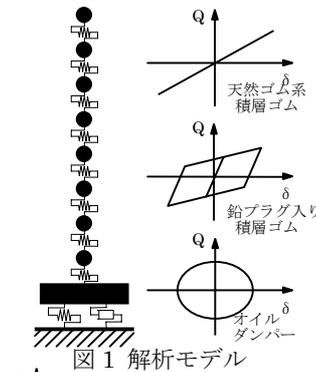


図1 解析モデル

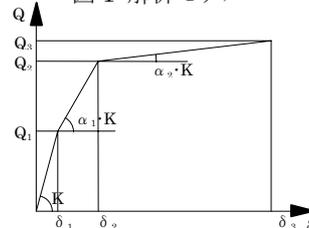


図2 上部構造の復元力特性

表1 解析モデルの固有周期

次数	上部構造の固有周期 sec
1	0.777
2	0.285
3	0.179
全体系の固有周期 sec	
1	4.072
2	0.526
3	0.257

表2 免震層の復元力特性

	第1折点	第2折点
降伏荷重 (kN)	17634.7	20518.3
降伏変位 (mm)	10.8	12.6
初期剛性 (kN/mm)	1632.9	
接線剛性 (kN/mm)	176.8	

表3 上部構造の復元力特性

層	W kN	H cm	K kN/cm	Q ₁ kN	δ ₁ cm	α ₁	Q ₂ kN	δ ₂ cm	α ₂	Q ₃ kN	δ ₃ cm
7	73894	380	82213	7868	0.10	0.52	15727	0.28	0.28	26348	0.74
6	82070	430	86151	16926	0.20	0.39	33822	0.70	0.25	56701	1.77
5	87384	430	100545	21341	0.21	0.38	51189	1.00	0.22	85778	2.54
4	93457	430	111541	28220	0.25	0.34	67673	1.30	0.21	113440	3.22
3	86018	430	123003	33549	0.27	0.31	80482	1.50	0.21	134864	3.63
2	88807	480	134325	38248	0.29	0.33	91731	1.50	0.21	153754	3.66
1	98817	480	186139	42766	0.23	0.37	102612	1.10	0.23	171884	2.76
BI	140229	550	1899583	97828	0.05	0.43	141828	0.11	0.23	194664	0.54

表4 検討項目及び解析パラメータ

検討項目	解析パラメータ
1.入力地震波の影響	入力地震波 告示波-乱数(レベル1~3), 告示波-八戸(レベル1~3), 告示波-神戸(レベル1~3), 想定名古屋浅発地震, 想定新東海地震
2.表層地盤の周期特性の影響	地点 ARM(名工建設有松総合事務所), CHC(中電火力センタービル), NST(名古屋駅), NUN(名大新1号館), NUT(名大鶴舞キャンパス), OYO(応用地質中部支社), SDB(志段味出張所), SJB(水上出張所), TTB(富田出張所)
3.上部構造特性の影響	上部構造の剛性 0.5倍, 1.0倍, 2.0倍
	減衰定数 1%, 3%, 5%, 10% 減衰タイプ 剛性比例型, 歪エネルギー比例型
4.免震層特性の影響	固有周期 3秒, 4秒, 5秒
	等価減衰定数 10%, 20%, 30% 免震装置の種類 鉛プラグ入り積層ゴム, 天然ゴム系積層ゴム, オイルダンパー, 天然ゴム系積層ゴム, 鋼棒ダンパー, 鉛ダンパー

5. 入力地震波

解析には、建設省告示 1461 号の加速度応答スペクトルに適合した模擬地震動(以下告示波)と、愛知県設計用入力地震動研究協議会で作成された地震動を使用した。告示波の位相特性は、JMA 神戸 1995NS、Hachinohe1968NS、ランダム位相とした。項目 1 では告示波と想定新東海地震、名古屋浅発地震(名大鶴舞キャンパス地点の地震波)を、項目 2 では名古屋 9 地点での名古屋浅発地震を、項目 3、4 では神戸及び八戸位相の告示波(レベル 2)を入力波とした。

6. 解析結果

ここでは、検討項目 2 及び検討項目 3 の解析結果を示す。

6.1 検討項目 2 (表層地盤の周期特性の影響)

対象建物が図 3 に示すような名古屋の 9 地点に建設された場合を想定し、各地点における想定名古屋浅発直下型地震を入力波として解析を行った。想定として各地点から約 15km 離れた伏在断層の中心から、横ずれ断層型の地震が発生した場合を設定する。各地点における地盤の卓越周期と地形分類を表 5 に示す。また、解析結果を図 4 に示す。加速度、変位ともに CHC、SJB、TTB など地盤の卓越周期が建物の固有周期 4 秒に近いか、あるいはそれ以上の周期の地点において応答が大きくなった。地盤の卓越周期が 1.39 秒の OYO 地点や、1.23 秒の SDB 地点など解析モデルの固有周期から離れている地点では、他の地点に比べ応答値がかなり小さく抑えられている。地盤分類では、干拓地など軟弱地盤において応答が大きくなっている。

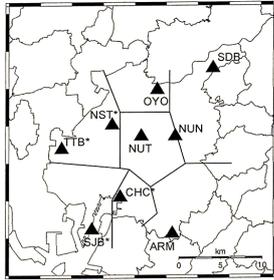


図 3 9 地点位置図

表 5 地形分類及び卓越周期

地点記号	地形分類	地盤の卓越周期 sec	最大加速度 cm/sec ²
ARM	丘陵地	3.26	963.5
CHC	干拓地	4.08	384.2
NST	埋立地・干拓地	4.08	244.7
NUN	砂礫台地	2.92	402.1
NUT	砂礫台地	3.56	405.2
OYO	三角州	1.39	641.8
SDB	砂礫台地・段丘	1.23	873.0
SJB	埋立地・干拓地	4.30	303.0
TTB	干拓地	5.11	236.9

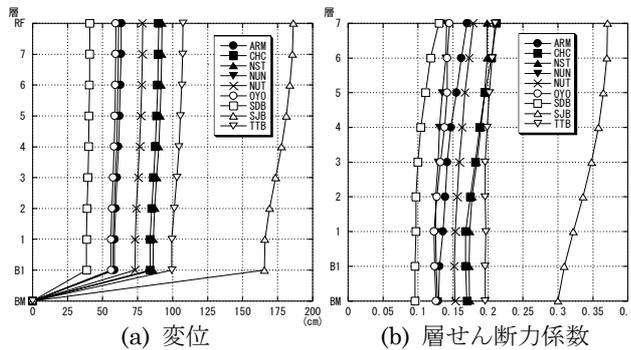


図 4 表層地盤の周期特性の影響

6.2 検討項目 3 (上部構造特性の影響)

図 5 は、上部構造の剛性を 0.5 倍としたときの固有値解析によって得たモード形状を示したものである。1 次の刺激関数の値がほぼ 1 であるのに対し、高次の値は非常に小さくなっている。一方、図 6 は免震層を除いた層間変形の刺激関数をプロットしたものである。下層部では高次に比

べ 1 次が大きな値を示しているが、上層部では 2 次が 1 次の値を上回っており、最上階では 3 次も 1 次より大きな値を示している。これにより、層間変形でみると高次の影響も無視できないことがわかる。

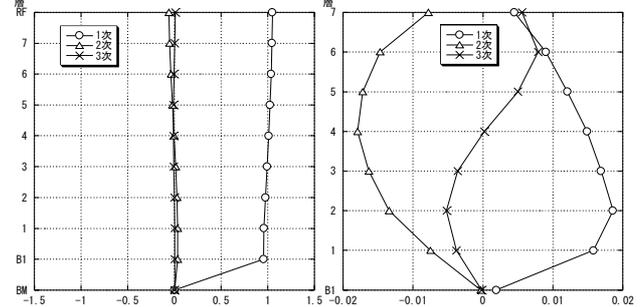


図 5 刺激関数

図 6 層間変形の刺激関数

図 7 は、上部構造の剛性を 0.5 倍、減衰定数を 3%、10%、減衰タイプを剛性比例型、歪エネルギー比例型とした時の神戸位相の告示波を入力した場合の解析結果である。減衰定数の大小によらず、層間変形角、層せん断力係数において、剛性比例型減衰の応答が小さく抑えられている。また、図 8 に示す上部構造剛性 0.5 倍、減衰 10% 時の RF/B1 の伝達関数と比較すると、2 次、3 次など短周期側において、剛性比例型減衰の方がかなり値が小さくなっているのがわかる。これは、歪エネルギー比例型減衰が振動数に依存しない減衰を与えているのに対し、剛性比例型減衰は 1 次振動数によって減衰が決まっているため、高次における減衰を過大評価してしまっているためだと考えられる。

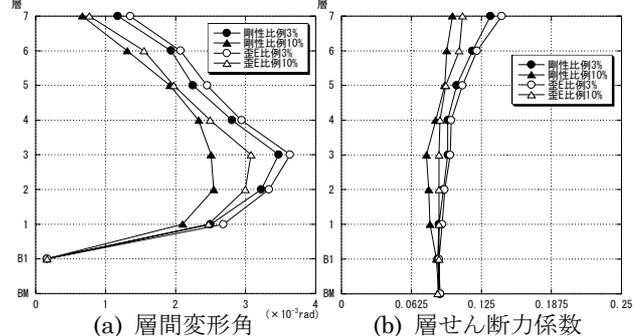
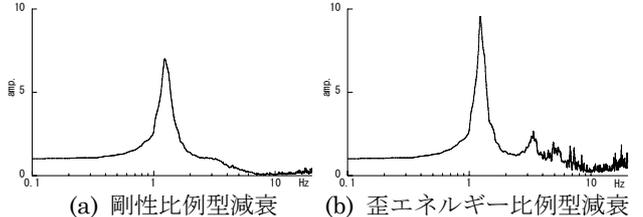


図 7 上部構造特性の影響検討



(a) 剛性比例型減衰

(b) 歪エネルギー比例型減衰

図 8 RF/B1 の伝達関数の振幅値

7. まとめ

本論では、免震構造物をモデル化し、各種条件に対して地震応答解析を行った。それにより、免震建物の応答に建設地の地盤の周期特性が深く関わっていることが確認された。そして、一般に免震建物の応答では 1 次モードが支配的だと考えられているが、建物の上層部ではむしろ高次モードの影響の方が大きいことを示した。また、剛性比例型減衰は高次における減衰を過大評価しており、正確な減衰評価が必要だと思われる。