

神奈川大学 23号館（免震棟）の地震時挙動
その2．免震層の地震時復元力特性

免震棟 地震観測 鉛入り積層ゴム
復元力特性 等価せん断剛性 等価減衰定数

正会員 ○内山 正次*1 正会員 安達 直人*1
同 引田 智樹*1 同 大熊 武司*2

1．はじめに

神奈川大学に新築された23号館（免震棟）において2000年12月に振動性状の基本的データの収集を目的に常時微動測定、起振機による定常加振・自由振動実験を実施し、その結果は既に構造設計概要を含めて報告されている^{1)~3)}。これより固有振動数、減衰定数に強い振幅依存性が顕著に見られた。この振幅依存性は免震層に起因するものと考え、免震層の復元力特性を明らかにした。しかしながら振動実験で得られた免震層の最大相対変位は設計で鉛ダンパが降伏する変位の約1/400であり設計との連続性を見るには限界がある。当該建物は2001年4月より地震観測を実施しており⁴⁾本報告では、これまで観測された地震観測記録に基づき地震時の免震層の復元力特性を検討した。

2．建物および地震観測

23号館は、地下2階、地上8階、塔屋2階のRC造でB2階とB1階の間に積層ゴムと鋼棒・鉛ダンパーのみで2つの階がつながる免震層を有する中間免震構造となっている。設置した地震計はサ・ボ型加速度計（一部速度計）で8,6,3,B1,B2階の5箇所に各設置階ともに、ほぼ同位置に設置してある。本報告ではこれまでに観測された地震のうち比較的加速度の大きく、かつ全観測点において記録の得られた表1に示す4地震を対象とした。

3．免震層の復元力特性

3．1 建物の1次固有振動数による評価

振動実験結果より明らかなように加振力レベルが大きくなるに従い1次固有振動数が低下する²⁾。実験時の振幅レベルでは建物の剛性は線形であり、この要因として免震層の剛性低下で良く説明できる³⁾。そこで地震時の免震層を含めた1次固有振動数を得るため、4地震、各方向の8F/B2Fの伝達関数を求め図1に重書きで示した。NS、EW方向とも加速度が大きくなるとピーク振動数が低下する傾向が見られる。8,B1,B2階の最大加速度、1次ピーク振動数、免震層の最大相対変位、等価せん断剛性を表2に示した。表中に示すように振動実験における1次ピーク振動数と等価せん断剛性が分かっており、振動数の比の2乗より等価せん断剛性を算定した。免震層の相対変位は免震層の上下階であるB1,B2階の加速度記録を2階積分して変位を求めその差より算定した（図4に一部掲載）。図2に免震層の相対変位と等価せん断剛性の関係を示した。図中に起振機実験時に実施した自由振動実験のヒステリシスから得られた値と図3に示す設計で想定した解析モデルから得られる値を比較して示した。対象地震のうち最も大きい加速度を示したNo.4地震でもQ1の振幅レベルの約1/10であるが実験値、設計値との連続性を良く示していると言える。

表1 検討対象地震

No.	観測日時	震源	緯度・経度	M
1	2001.06.25 01:27	神奈川県東部	N35.6° W129.5°	3.9
2	2001.07.20 06:02	茨城県南部	N36.2° W139.8°	5.1
3	2001.07.26 03:33	茨城県南部	N36.1° W139.8°	4.5
4	2001.09.18 04:24	東京湾	N35.4° W139.8°	4.4

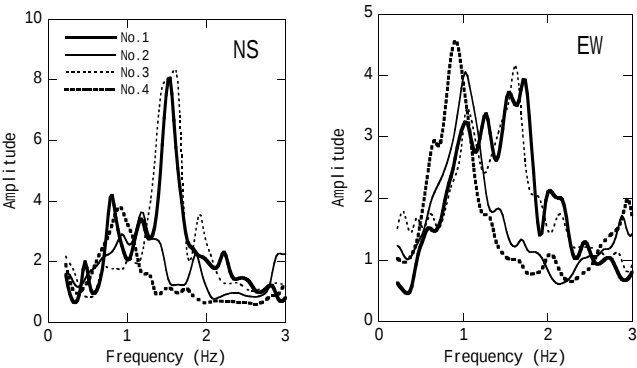


図1 地震観測記録による伝達関数

表2 最大加速度と1次固有振動数・等価せん断剛性

地震No.	方向	最大加速度(cm/s ²)			1次ピーク f ₁ (Hz)	相対変位 (μm)	等価せん断剛性 (×10 ⁶ kN/m)
		8F	B1F	B2F			
No.1	NS	1.50	1.87	1.80	1.54	27.8	6.5
	EW	1.82	1.97	2.97	1.71	72.2	5.6
No.2	NS	2.54	2.38	3.22	1.17	205.9	3.8
	EW	2.16	2.13	2.32	1.03	265.0	2.0
No.3	NS	1.39	1.37	1.31	1.61	35.1	7.1
	EW	1.05	1.10	1.49	1.61	38.9	4.9
No.4	NS	6.81	6.37	12.47	0.90	582.3	2.2
	EW	7.47	9.66	9.15	0.90	641.8	1.6
振動実験	NS	(レベル3の1次ピーク)			1.54	22.6	6.5
	EW	(レベル3の1次ピーク)			1.38	29.6	3.6

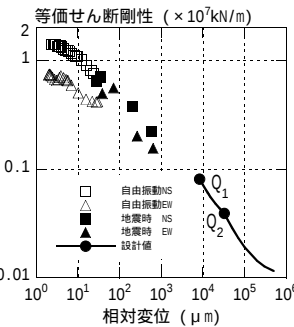


図2 1次固有振動数による等価せん断剛性

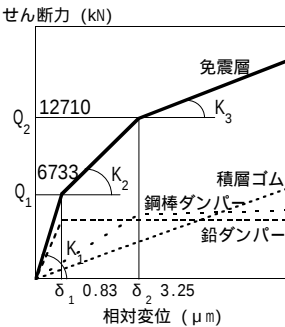


図3 免震層の復元力特性

3.2 免震層のヒステリシスによる評価

地震時の免震層の等価せん断剛性と減衰定数は慣性力と相対変位が分かればヒステリシスより評価できる。地震観測は免震層より上部に4箇所の加速度計が設置され地震時の慣性力を推定することが可能である。

図4に加速度が小さいNo.1と最大加速度を示したNo.4地震の場合の各観測点に代表される慣性力とその総和Pならびに相対変位 δ のタイムヒストリ-を示した。このうち相対変位が大きく、1周期が把握される部分のヒステリシスを図5に示した。No.1は等価せん断剛性が大きくNo.4は小さくなっている。図中破線で示した部分は減衰定数を推定するために近似したル-ブである。図6a)に相対変位と等価せん断剛性の関係を示し、図6b)に相対変位と等価減衰定数を示した。図中には自由振動実験から得られた値と解析モデルから得られる値を比較して示した。等価せん断剛性については伝達関数より評価した図2と良く対応している。減衰定数は設計では鉛ダンパ-の降伏するQ1レベル以前は線形であるが振動実験や中小地震レベルにおいてもかなり大きな減衰定数を有する。微小振幅では鉛ダンパ-の寄与が大きく、剛性・減衰の評価には留意を要する。

文献⁵⁾では鉛入り積層ゴムの復元力モデルに言及しているがその時の加力実験デ-タを用いて同様な整理を試みた。図7に実験結果と設計モデル、図8に等価せん断剛性と減衰定数を示す。等価せん断剛性は加力実験と設計値は良く対応している。減衰定数はQ1レベル以前で大きな値を示し、かつ極大値を有する傾向は図6b)と同様である。大地震を想定したレベルでは設計モデルの妥当性を示唆していると言えよう。

4. まとめ

地震の免震層の復元力特性を評価し、以下の知見を得た。
(a) 免震層の等価せん断剛性を建物の1次固有振動数の変化が免震層に起因すると仮定した場合と地震時の免震層のヒステリシスより評価したが、両者の結果はよく整合しており、かつ振動実験と設計モデルとの連続性が見られた。
(b) 免震層の等価減衰定数は設計時の第1勾配降伏点Q1以前にもかなり大きな値を示し、中小地震の解析や風応答解析における減衰定数評価には有意な結果が得られた。

謝辞 本報告をまとめるにあたり、鹿島技研・飯塚真巨氏から貴重な鉛入り積層ゴム加力実験デ-タを提供して頂き、またヒステリシスの剛性・減衰評価では同・清田芳治氏に協力頂きましたことを記して謝意を表します。

参考文献 1)吉田,大熊,常木: 神奈川大学 23号館(免震棟)および新1号館の振動実験(その1)23号館の構造設計概要、日本建築学会大会、2001.9、2)引田,安達,内山,大熊: 同(その2)23号館の振動実験結果、日本建築学会大会、2001.9、3)安達,引田,内山,大熊: 同(その3)23号館免震層の復元力特性、日本建築学会大会、2001.9、4)栗山,山本,荏本: RC造免震構造物の地震観測結果に基づく動的挙動の検討、第一回日本地震工学研究発表・討論会梗概集、2001.11、5)竹中,山田,吉川: 免震用積層ゴム支承の曲線型履歴復元力モデル:「修正HDモデル」、日本建築学会技術報告集、2001.12

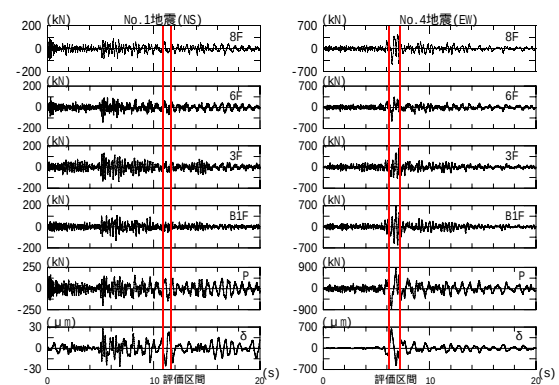


図4 免震層上部の慣性力と免震層の相対変位

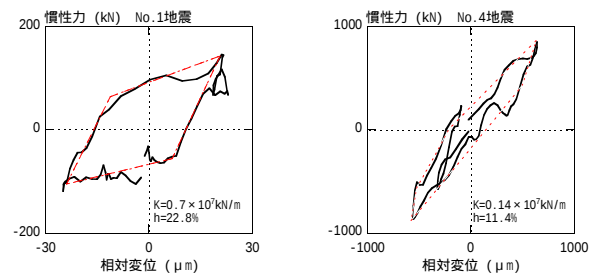


図5 地震時のヒステリシスループ

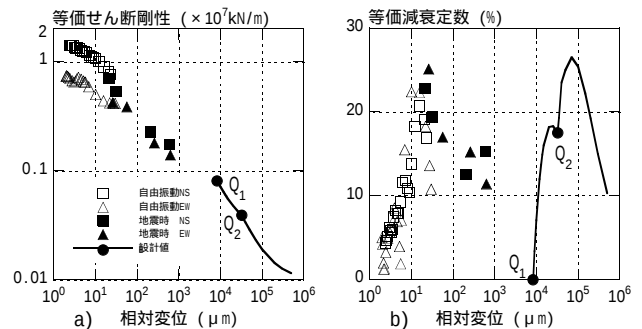


図6 ヒステリシスによる等価せん断剛性と等価減衰定数

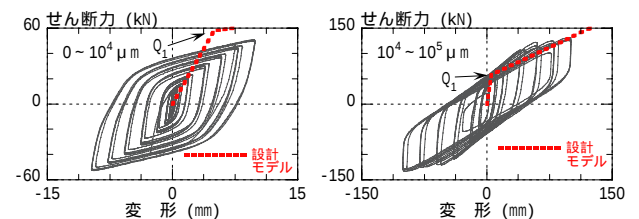


図7 鉛入り積層ゴムの加力実験と設計モデル

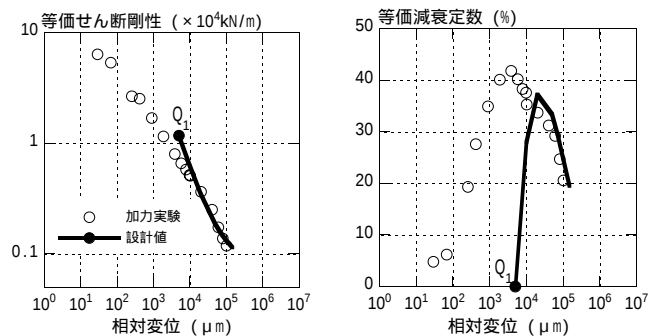


図8 鉛入り積層ゴムの等価せん断剛性と等価減衰定数

*1 鹿島技術研究所

*2 神奈川大学教授

*1 Kajima Technical Research Institute

*2 Prof. of Kanagawa University