

# 2003年十勝沖地震による釧路市に建つ免震病院の応答

加藤貴司\*・境 茂樹\*・伊藤嘉朗

釧路市に建つ免震病院において2003年十勝沖地震の地震観測記録が得られた。本報告は当記録を用いて建物の応答性状を分析した結果を示したものである。入力地震動は敷地の地盤構造の影響により周期2～4秒のやや長周期成分が優勢となっており、免震層には最大15cm程度の変形が生じていたが、応答加速度は基礎に対して1階で0.73～0.87倍に低減し、上部構造内での増幅も少なく、良好な免震効果を示していた。観測記録を用いたシミュレーション解析により、設計時に使用した地震応答解析手法の妥当性を確認した。観測記録から算出した免震部材の復元力特性には、本建物で採用している高減衰積層ゴムに特有の性質である最大経験ひずみ依存性が認められた。

キーワード：2003年十勝沖地震，免震建物，地震観測，地震応答解析，高減衰積層ゴム，最大経験ひずみ依存性

## 1. はじめに

2003年十勝沖地震（2003年9月26日）において、釧路市では複数の免震建物が震度5強の揺れを受けた。そのうち5棟の建物で地震観測記録が得られていたことが報告されている<sup>1)～5)</sup>。これだけの数のバラエティに富む免震建物が震度5強の揺れを同時に観測した例はこれまでにないことから、これらの観測記録は、強震時における免震効果の検証のみならず、免震建物設計法の合理化を検討するための貴重な資料であるといえる。

このうちの 하나가、1996年に竣工した当社設計の免震病院において得られた記録である。本稿では、当記録を用いて建物の応答性状を分析した結果を報告する。

## 2. 建物と地震観測システムの概要

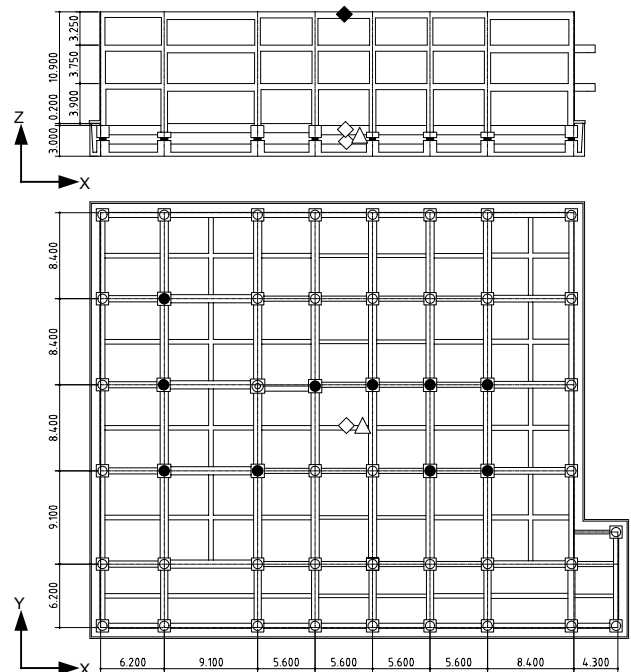
### 2.1 建物概要

本建物は、釧路市の中心部から北西へ6kmほどの地点に建つ脳神経外科病院である。地震時にも医療施設の機能を維持するため、免震構造が採用された。

平面寸法が約45m×40m、延床面積が約5000m<sup>2</sup>の地上3階建てで、1階床下部に配置された計50基の高減衰積層ゴムで支持されている。積層ゴムの外径は600mm～750mm、2次形状係数は3.7～4.6、長期面圧は平均5.9N/mm<sup>2</sup>である。上部構造の構造形式は、鉄筋コンクリート造の一部耐震壁付ラーメン構造である。基礎はベタ基礎で、GL-3mの砂礫層に支持させている。地盤種別は第2種である。

本建物では寒冷地でも免震性能を損なわないよう、設

計上いくつかの配慮がなされている<sup>6)</sup>。積層ゴムは低温域で天然ゴムよりも硬化しにくい高減衰ゴムを選択している。基礎の擁壁頭部に固定したゴムパッキンで犬走り下面との隙間をシールし、免震層内に冷気が入りにくくしている。また、積雪後の氷結が免震性能に障害を与えないよう、地域の積雪量を考慮して、犬走り下面と地表面とのレベル差を30cm以上設けている。



免震部材			地震計、温度計	
記号	ゴム外径[mm]	台数	記号	測定項目
○	600	39	◇	加速度 (XYZ)
●	700	10	◆	加速度 (XY)
◎	750	1	△	温度

図-1 建物概要と地震計配置

\* 技術研究所

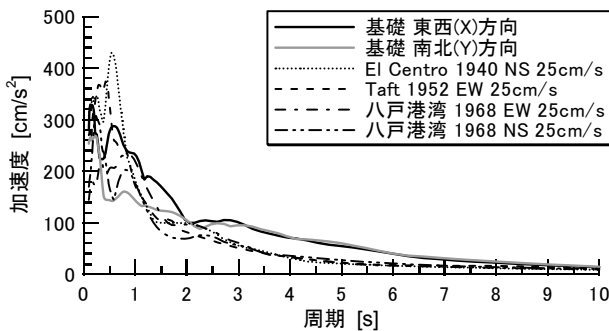
## 2.2 地震観測システム概要

地震計の設置位置は、基礎、1階、屋上の3箇所で、設置方向は建物の構面方向に合わせ、X方向が東西方向(EW)、Y方向が南北方向(NS)に対応している。基礎および1階ではX、Yの水平2方向と鉛直方向(Z)の各3成分を計測し、屋上ではX、Yの2成分を計測している。また、積層ゴムの復元力特性に与える温度の影響を考慮して免震層の温度を計測し、合計9チャンネルの集録を行っている。図-1中に地震計、温度計の配置を示す。

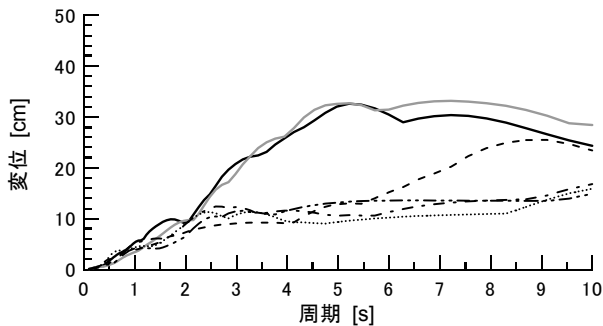
## 3. 2003年十勝沖地震による観測建物の応答

### 3.1 入力地震動特性

図-2に基礎の水平方向記録から算出した応答スペクトルを、設計時のレベル1入力地震動と比較して示す。1秒以下の周期帯域では、本建物の記録が基礎上的のものであるので単純な比較はできないものの、十勝沖地震記録による応答はレベル1入力地震動と同程度あるいは下回るレベルである。一方、免震構造の強震時における一次固有周期が存在する2秒以上の帯域では十勝沖地震による応答が大きくなっている。よって、今回の地震は免震建物にとってやや不利な特性を有する地震波であったと言える。これは、文献7)に示されたように、敷地の地盤構造の影響により、やや長周期の成分が卓越したためであると推察される。なお、設計時にはレベル2入力地震動による地震応答解析の際に、敷地の地盤特性を考慮した人工地震波を使用して安全性を確認している。



(a) 加速度応答スペクトル



(b) 変位応答スペクトル

図-2 基礎の記録の応答スペクトル (減衰20%)

### 3.2 免震効果

図-3に水平方向加速度の最大値分布を示す。免震建物にとって不利な周期特性を有する入力地震波であったが、1階の最大加速度は基礎に対して0.73~0.87倍に低減し、免震効果が認められた。また、1階と屋上の値を比較すると、上部構造内での増幅は5%以下と僅かであった。

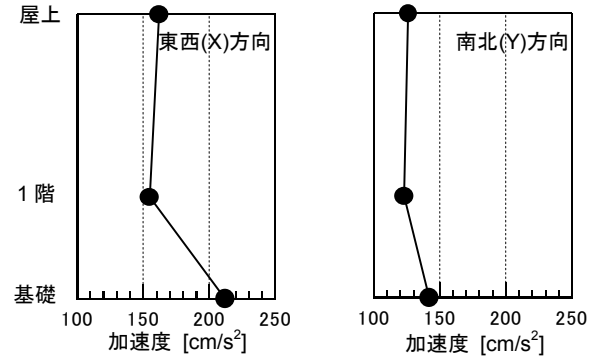


図-3 加速度最大値分布

### 3.3 免震層の変形

基礎と1階の加速度波形をFFT法で二階積分した変位波形から算出した免震層の相対変位の水平面内軌跡を図-4に示す。この図から、地震時の免震層の動きは、主に南東-北西方向に振動したことが認められ、免震層の最大変位は北西方向に15cm程度、免震部材のせん断歪としては90%程度(ゴム層総厚さ16.2cm)生じていたことが分かる。

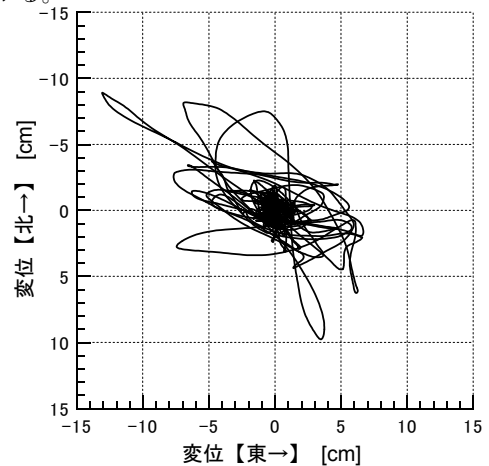


図-4 免震層相対変位の水平面内軌跡

### 3.4 地震応答解析

#### (1) 解析方法

設計時に作成した地震応答解析モデル(設計用解析モデル)に今回観測された基礎加速度を入力し、解析結果と観測結果を比較した。

設計用解析モデルは基礎固定の4質点せん断型モデル

である。上部構造の重量は層ごとに質点に集中させ、その間を立体骨組モデルの静的増分解析により得られたせん断力-層間変形関係から算定した等価せん断ばねで結合している。なお、等価せん断ばねは弾性とし、せん断力-層間変形関係の初期剛性を使用している。

免震層のせん断ばねにはメーカーから提示された修正バイリニア型の復元力特性（株式会社ブリジストンKL302）を使用した。高減衰積層ゴムの復元力特性には温度依存性があるので、メーカー提示式では20℃の場合を標準特性とし、他の温度に対しては標準特性値に補正係数を乗ずることになっている。しかし、今回の観測時における免震層の温度は、ちょうど20℃程度であったため、解析の際には標準特性をそのまま使用した。なお、設計時には-15℃の地震応答解析も行い安全性を確認しているが、これまでの地震発生時の温度記録によれば、外気温（気象庁アメダスによる釧路市屋外気温）が-10℃～20℃であったのに対し免震層内は8～15℃と安定的であった。これは本建物が入院設備を有する病院であるため24時間を通じて空調が稼働していることと、前述の免震層保温対策の効果であると考えられる。

減衰行列は剛性比例型とし、上部構造自体の1次固有周期に対して2%を上部構造に設定し、免震層は0%とした。

地震応答解析はNewmark-β法（β=0.25）による時刻歴応答解析とし、解析時間刻みは0.005秒とした。

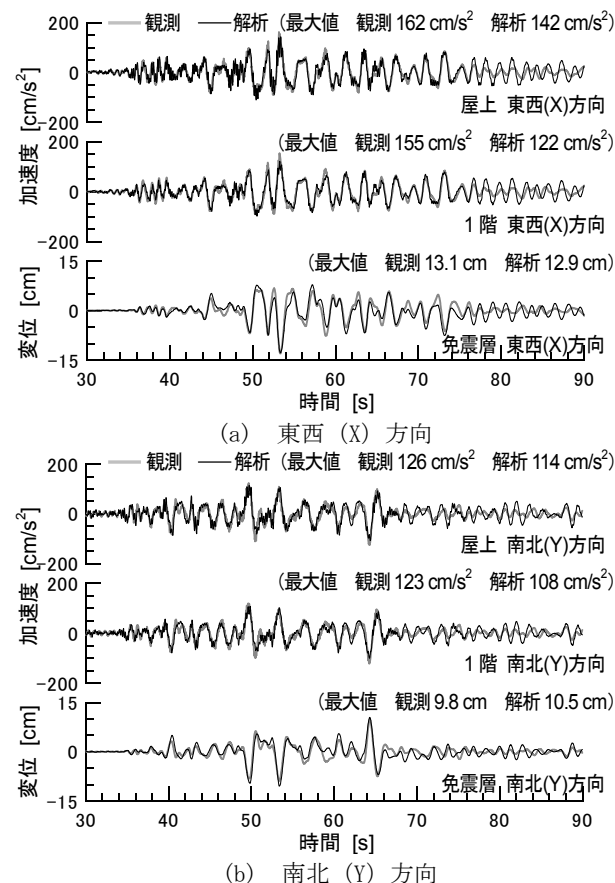


図-5 解析結果と観測結果の比較

## (2) 解析結果

図-5に水平方向の加速度応答と免震層の相対変位を示す。解析において免震層復元力特性に使用した修正バイリニア型モデルは、振幅の減少方向に向かう時に特性を変化させない。そのため、主要動後半から解析と観測の合致度が悪くなっている。しかし、主要動までは概ね合致しており、最大応答を評価する設計用解析モデルとしての妥当性は確認できた。

## 3.5 免震層の復元力特性

図-6に免震層のせん断力-層間変形関係を示す。免震層せん断力は、観測波形から以下の式により算出した。

$$\begin{aligned} \text{免震層せん断力} = & (1 \text{ 階質量} + 2 \text{ 階質量}) \times 1 \text{ 階加速度} \\ & + (3 \text{ 階質量} + \text{屋上質量}) \times \text{屋上加速度} \end{aligned}$$

高減衰積層ゴムは、同じ加振せん断ひずみであっても過去に経験した最大せん断ひずみの大きさによって、力学特性が異なってくる性質を有している。解析用復元力特性は、加力実験結果に基づく初期加力時の特性値と大変形経験後の特性値の平均値を設計用として関数化したものである。メーカー資料<sup>8)</sup>によれば、初期加力後にせん断弾性係数が低下するが、時間経過とともに回復する傾向をもち、最終的には初期加力時と大変形経験後の平均値に収束するとのことである。図-6中に初期加力時、

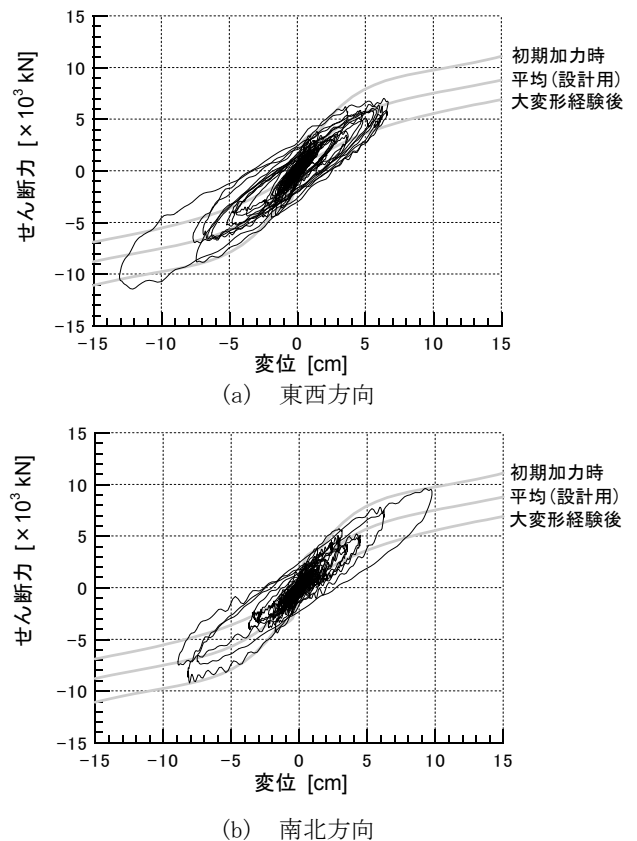


図-6 免震層の復元力特性

大変形経験後、およびこれらの平均値である設計用のスケルトンカーブを合わせて示すが、今回の観測記録による加力曲線は概ね初期加力時と設計用の間の範囲に位置している。設置前製品検査におけるせん断ひずみ200%までの加力後、約7年半経過していたが、この間にせん断ひずみ5%を超えるような変形を経験しておらず、5%以上の領域におけるせん断弾性係数が初期加力時相当程度の特性にまで回復していたものと推察される。

#### 4. まとめ

2003年十勝沖地震の際に釧路市に建つ免震建物において観測された強震記録について、建物の応答性状の分析を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1) 入力地震動は敷地の地盤構造の影響により周期2～3秒のやや長周期成分が優勢となっており、免震層には最大15cm程度の変形が生じていたが、応答加速度は基礎に対して1階が0.73～0.87倍に低減し、上部構造内での増幅も5%以下と少なく、良好な免震効果を示していた。
- (2) 観測記録を用いたシミュレーション解析により、設計時に用いた地震応答解析手法の妥当性を確認した。
- (3) 観測記録から算出した免震層の復元力特性には、高減衰積層ゴムに特有の最大経験ひずみ依存性が認められた。

本観測記録は、高減衰積層ゴムの最大経験ひずみ依存性や、水平面内二方向連成などを考慮した詳細な復元力モデルの検討にも利用できると思われる、これらについては今後の課題としたい。

謝辞：弊社の地震観測に対してご協力をいただいている関係者の方々に深く感謝をいたします。

#### 参 考 文 献

- 1) 鹿嶋俊英, 藤田久志, 伊藤昭浩, 関弘義, 羽沢昭宗: 2003年十勝沖地震における釧路合同庁舎の地震時応答(その1)～(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.265-268, 2004
- 2) 伊澤清治, 寺田均, 大西良弘: 2003年十勝沖地震における釧路市内の免震病院の挙動(その1)～(その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.269-274, 2004
- 3) 松本喜代隆, 関弘義, 羽沢昭宗, 藤堂正喜, 千葉脩, 石丸修二: 釧路市に建つ免震建物の2003年十勝沖地震時の動的挙動(その1)～(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.275-278, 2004
- 4) 鈴木芳隆, 漆崎隆, 竹中康雄, 斎藤一, 金子修平, 五味正, 川口澄夫: 2003年十勝沖地震における釧路市内免震事務所ビルの地震時挙動について(その1)～(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.279-282, 2004
- 5) 加藤貴司, 境茂樹, 伊藤嘉朗: 2003年十勝沖地震による釧路市に建つ免震病院の応答, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.283-284, 2004
- 6) 杉山誠, 伊藤嘉朗, 木本幸一郎, 加藤貴司: 寒冷地に建つ免震病院の地震観測(その1)～(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.809-812, 1999
- 7) 境茂樹, 伊藤嘉朗: 釧路地域における強震記録と免震建物の応答, ハザマ研究年報, Vol.36,2004
- 8) ブリジストン: 高減衰積層ゴム技術資料「水平復元力特性の振幅依存性」
- 9) 境茂樹, 伊藤嘉朗, 木本幸一郎, 大井裕: 釧路市に建つ免震病院の強震記録—2003年十勝沖地震の観測記録【速報】一, ハザマ研究年報, Vol.35,pp.33-36, 2003

---

### Earthquake Response of Base Isolated Hospital Building in Kushiro City During the 2003 Tokachi-Oki Earthquake

Takashi KATO, Shigeki SAKAI and Yoshio ITO

Strong motion records of the Tokachi-oki earthquake in 2003 are obtained at a base isolated hospital building in Kushiro-city. In this paper, the dynamic response of the building is studied using the records. The spectrum of the input earthquake motion has a peak in the periodic range between 2 - 4 seconds, and the maximum shear deformation of rubber bearings was about 15cm. However, response acceleration on the first floor was reduced from 0.73 to 0.87 times to that on the foundation and the amplification within upper structure was little, showing the good isolation effect. As a result of the simulation analysis, it was confirmed that the analytical model for the seismic design was appropriate as the model to evaluate the maximum response by the main shock. The restoring force characteristics of the rubber bearings showed the experienced shear strain dependency of high-damping rubber.