

能登半島地震を受ける RC 造基礎免震病院の耐震安全性の検証について

中川 肇*

Verification of Seismic Safety of RC Base Isolated Hospital
Under Noto Peninsula Earthquake

Hajime NAKAGAWA

ABSTRACT

This paper presents the structural design and the seismic safety of RC base isolated hospital with 5 stories under Noto peninsula earthquake. The earthquake waves are ISK002 (Shouin) and ISK008 (Hakui). According to the analytical results of base isolated model under L2 (50 cm/s) earthquake, the maximum displacement response at ISK002 (Shouin) and ISK008 (Hakui) are from 26.42 cm to 34.63 cm against NS component. The displacement became less than the allowable value (40cm) of the rubber bearing based on the design criteria for seismic isolation.

If the velocity level of the earthquake is increased from the original level to 75 cm/s, up to 64 cm/s of velocity level, the cumulate plastic energy ratio (E/Vp) of the lead plug is between 90 and 240 MPa and the reduction strength of the lead plug doesn't occur so much. However, if the velocity level becomes over 65 cm/s, the E/Vp increases rapidly from 250 MPa to 530 MPa and the reduction strength of the lead plug decrease rapidly from 0.8 to 0.4. The structural designers must adopt the oil damper in the base isolated layer so as to be within 60 cm (maximum shear strain of rubber bearing 300 %).

KEY WORDS: Seismic safety, Noto peninsula earthquake,
Reduction strength of lead plug, Cumulate plastic energy ratio (E/Vp) of LRB

1. はじめに

2024年(令和6年)1月1日、午後4時10分に石川県能登地方を震源(深さ約16km)とするマグニチュード(M)7.6の地震が発生した。この地震で石川県羽咋郡志賀町と輪島市で最大震度7、珠洲市、七尾市、穴水町、能登町で震度6強、また、能登半島の広い範囲及び新潟県長岡市で震度6弱の揺れが確認された¹⁾。地震による大きな揺れとその後に発生した火災、また大規模に発生した液状化現象や津波による浸水で多くの人的被害、建物被害を受けた。

また、文献2)では、平野、吉敷等の調査グループは、石川県、富山県、新潟県に存在する計24棟の免震建物の調査結果を示している。この24棟の内、

「罫書記録あり」が16棟、「罫書記録なし」が8棟であった。この罫書記録によれば、石川県と富山県では、西方向に最大2~4cm程度変形している。なお、調査を行った建物の内、最も計測震度を記録した七尾市内の免震建物では、南方向に最大19.2cm変形している。一方、新潟県では、免震層の最大変位とその方向にはばらつきが見られ、最も大きい記録では、北東方向に14.4cmであった。方向、ばらつきについては、免震建物の形状や地盤性状の違いが影響していると記述されている。

前報3)では、筆者が能登半島地震の地震動特性を石川、富山、新潟県の3県13地点に対し、解析を行い、長周期成分が卓越する観測地点を把握した。RC造11階建て集合住宅の地震応答解析を行い、最大速度50、75 cm/sの入力地震動に対し免震層が過

*建築学科

大変形せず、基準値に制御できることを示した。

本論は、前報 3) の続編で、その目的は 2 点である。1 点目は、能登半島地震において、防災科学研究所が管理する地震観測網 (K-NET, Kik-net) ⁴⁾ により、石川県、富山県、新潟県内の地震動特性を把握し、長周期成分が卓越する観測地点とその波形を抽出する。2 点目が、文献 2) に示した「罨書」による免震構造物の挙動を把握し、緩和ケア病院の意匠・構造設計及び能登半島地震を受ける基礎免震病院の耐震安全性について、検討することである。

2. 能登半島地震の概要と地震動特性の分析

2-1 地震の概要

2024 年 1 月 1 日、午後 4 時 10 分に石川県能登地方 (北緯 37.5 度、東経 137.3 度) を震源とした M7.6 の大地震 ⁵⁾ が発生した。この地震は、震源深さ約 16km の逆断層型の地殻内地震 (内陸活断層破壊地震) で、能登半島北側には、複数の海底活断層が存在し、石川県珠洲市沖から輪島市沖にかけて伸びる 2 つの活断層帯 (長さ 60km) が連動しずれ動いた可能性が高いと言われている。

表 1 に石川県、新潟県、富山県各地の震度を、表 2 に、この 3 県の人的被害、住家被害を示す。

表 1 石川県、新潟県、富山県各地の震度 ¹⁾

県名	震度	市・町
石川県	震度 7	志賀町、輪島市
	震度 6 強	七尾市、珠洲市、穴水町、能登町
	震度 6 弱	中能登町
	震度 5 強	金沢市、小松市、加賀市、羽咋市等
新潟県	震度 6 弱	長岡市
	震度 5 強	中央区、南区、西区、三条市、柏崎市等
富山県	震度 5 強	富山市、高岡市、氷見市等

表 2 人的・住家被害の状況 ¹⁾

県名	死者(人)	災害関連死(人)	全壊(棟)	半壊(棟)
新潟県	2	2	108	3,866
富山県	0	0	255	783
石川県	339	110	5,910	16,231
合計	341	112	6,273	20,880

表 2 より、震度 7、6 強を観測した石川県では、死者数は 339 人、全壊、倒壊した建物数は、22,141 棟で全体の 76.9 %を示している。特に、木造家屋については、地震及び津波による倒壊、流出である。2007 年 3 月 25 日の能登半島地震以降、耐震補強が

進んでいなかったことが一つの理由であると考えられる。

2-2 地震動特性の分析

本論では、文献 4) を参考に、石川県 11 地点、富山県 1 地点、新潟県 1 地点の計 13 地点の強震動記録を基に、最大速度、卓越周期、卓越周期時の最大速度値を算出する。観測 13 地点の詳細な検討は、文献 3) に紹介しているので、参照されたい。

本論では、4 章で論じる緩和ケア免震病院の入力地震動を考慮し、文献 3) の結果を基に、2 秒以上の長周期成分が卓越する石川県の ISK002 正院、ISK008 羽咋の観測記録を抽出した。

表 3 に観測 2 地点の諸元を、図 1~3 にその地震波形と 5% の速度応答スペクトルを示している。

表 3 ISK002 正院・ISK008 羽咋の諸元

観測点コード	観測点名	成分	最大加速度 (cm/s ²)	最大速度 (cm/s)
ISK002	正院	NS	685.76	98.42
		EW	708.17	119.29
ISK008	羽咋	NS	372.05	44.89
		EW	479.01	66.42

筆者は、文献 3) で記述しているように、能登半島地震波形の最大速度値が 75 cm/s 以上となる地点・成分は、26 成分中の 13 成分で 50%であった。表 3 より、ISK002 正院は、両成分とも 98.42、119.29 cm/s であり、内陸型地震動特有の性質を示していることが判る。

図 3 より、正院、羽咋の卓越周期は、夫々 2.88、3.04、4.2、4.78 秒と長周期成分が卓越している。

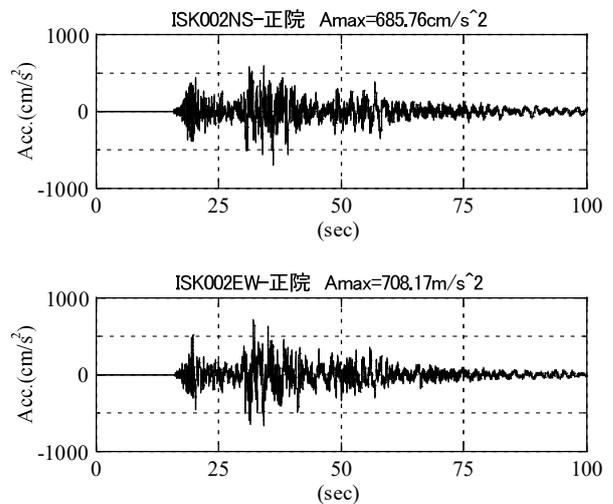


図 1 ISK002 正院 NS-EW

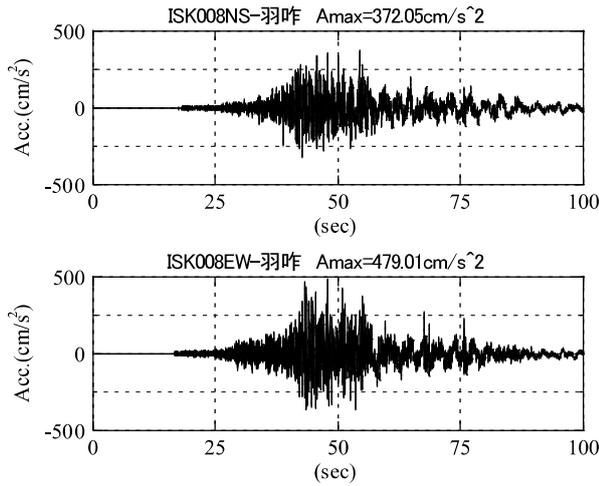
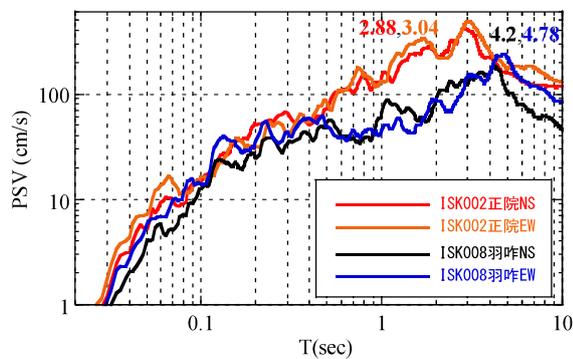


図2 ISK008 羽咋 NS-EW

図3 速度応答スペクトル
(ISK002 正院, ISK008 羽咋)

卓越周期での最大速度値は、羽咋に比べ、正院の方が大きい。これは、入力地震動の速度値が正院の方が1.8～2.19倍大きいためであると推察される。

3. 石川・富山・新潟県での免震建物調査

3-1 既存免震建物の調査概要と報告例

文献2)では、免震建物の罫書調査が示されているが、建築用途の記載がなかった。建築用途が示されている文献を探した結果、文献5)がその該当していた。文献5)、6)より、日本免震構造協会の技術委員会・災害時調査部会において、令和6年1月1日の能登半島地震における石川・富山・新潟県にある免震建物86棟について、部会員及び関係者により調査が実施された。調査内容は、①建物の外観やエキスパンションジョイントを中心とした外周部、②積層ゴムやケガキ(地震時に地面と建物がどれくらい揺れたかの軌跡を罫書く)装置のある免震層、③案内人や現地の人達からの聞き取りで行われ

た。石川県では震度6強と被害甚大だった七尾市を含む半島中部から金沢などの県南部を中心に、病院や消防署、銀行、防災センター等を調査した。その結果、一部で鋼材ダンパーの塗装の剥がれやエキスパンションジョイントの損傷、鉛ダンパーのクラック、外溝のズレ等がみられたものの、いずれの建物も建物躯体の損傷や積層ゴムの残留変形などの被害はなかった。

富山県、新潟県も同様の結果で、建物、免震層での主な被害はなかった。罫書装置の動きからも地震の揺れにしっかりと対応し、免震建物としての機能を果たしたことが分かった。また、罫書記録から、富山県よりも新潟県の一部地域で揺れが大きかったことも報告されている⁵⁾⁶⁾。

ここで紹介したいのが、石川県七尾市にある恵寿総合病院である。この病院は、本館棟(RC造7階建て)と3病棟、5病棟を上空連絡通路で繋いだ免震構造物である。この地震による建物被害は、無被害か軽微で、病院機能を停止することなく、病院事業(診療・手術・出産等)を継続した事例であった。

3県にある免震建物86棟中、病院が22棟(25.6%)、構造種別はRC造が16棟(72.7%)、階数は3～12階であった。

文献7)より、能登半島周辺の石川県では、1981年以前に設計・施工された所謂、既存不適格RC造建築物が現存しており、「1階ピロティ柱のせん断破壊」、「日本海側に傾斜した建物被害」、「基礎ごと転倒した建物被害」の報告が示されている。しかし、免震建物については、免震層に設置されている「罫書記録」の軌跡から分かるように、免震機能が正常に働き、建物に大きな被害は見られなかったと報告されている。

4. RC造基礎免震病院の意匠・構造設計

4-1 意匠・構造設計の概要

文献2)より、石川県を含む3県で罫書記録が観測された免震建物は、RC造4～9階建てであった。建築用途に関する記述はなかったが、文献5)等に建築用途が示されており、巨大地震時の被害防止、免震病院の事業継続性(BCP)の観点から建物の規模に関わらず、その必要性を感じる。

また、日経新聞の調査⁸⁾によれば、75歳以上の独居世帯は、2020年現在で22.4%、2050年では28.9%である。この数値から明らかのように、今後、老人介護施設及び緩和ケア病院の更なる充実性を感じる。

本論では、文献2)、5)および、この文献結果を

踏まえて、RC造5階建て緩和ケア免震病院の意匠・構造設計を実施する。この病院は、1階がエントランスホール、診察室、検査室、医療事務室等を備え、2階以上には、ナースセンター、無料・有料個室、談話室、機械式浴室などを配置している。図4が2階以上の基準階平面図を示している。X方向のスパンは7m、8m、Y方向は7mとする。

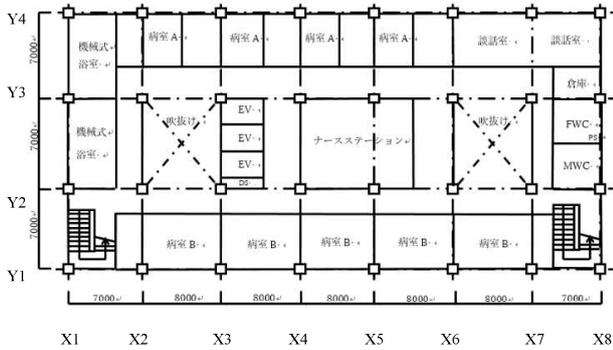


図4 緩和ケア病院 (基準階平面図)

意匠階高は、免震階が3m、1階が4.5m、2階以上が3.6mで、建築面積が1,134m²、延床面積が5,334m²である。

図4に示す構造部材断面として、柱は750×750mm、大梁はX方向が550×750mm、Y方向が500×700mm、スラブ厚は200mm、階段周辺の耐力壁は180mmとする。地中梁はD29 (SD390)、柱・大梁の主筋はD25 (SD345)、せん断補強筋はD13 (SD295)とする。配筋設計について、柱は上階ほど本数を減らすが、1階の主筋が24-D25、せん断補強筋がXY方向とも4-D13@100、2階X方向の大梁主筋が上下8-D25、せん断補強筋が4-D13@150、Y方向のそれは、上下8-D25、せん断補強筋が3-D13@150とする。また、コンクリートの設計基準強度F_cは、各階とも24N/mm²とする。

表4に基準階の荷重表を示す。

表4 基準階の荷重表 (T.L.) 単位: kN/m²

室名	床スラブ用	ラーメン用	地震用
EH	8.3	7.2	6.2
病室・談話室	7.5	7.0	6.3
事務室等	8.3	7.2	6.2

注) EHはエントランスホールを示す。

本論では、許容応力度設計、保有耐力設計ともBuilding Editor Ver.5.13を使用し、静的応力解析を実施した。

4.2 許容応力度設計、保有耐力設計の結果

本節では、3.1節の免震病院において、実施した許容応力度設計及び保有耐力設計の結果を示す。

許容応力度設計の結果より、柱の曲げ検定比は、各階によって若干異なるが、0.38~0.76、大梁のそれは、柱同様に、各階によって若干異なるが、0.55~0.85であった。図5に、図4に示すY2通りに保有耐力時の崩壊メカニズム状態を示し、図5に荷重増分解析に基づくX方向の荷重と層間変位との関係を示す。

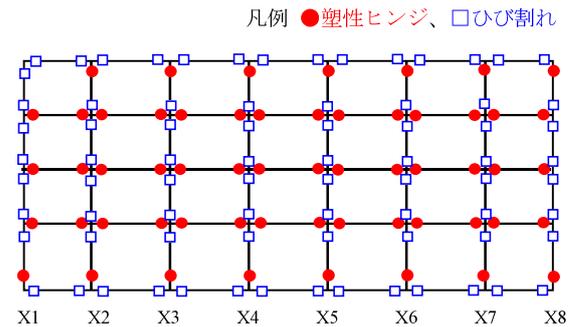


図5 崩壊メカニズム (保有耐力時のY2フレーム)

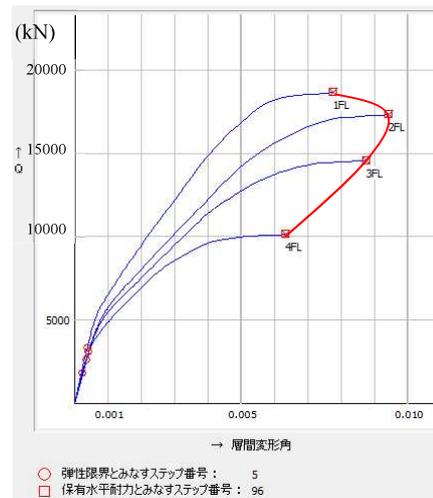


図6 荷重増分解析結果 (X方向)

図5より、X1通りの最上階柱頭、1階柱脚に塑性ヒンジは発生していないが、それ以外の最上階と1階の柱、大梁の両端部に塑性ヒンジが発生し、崩壊メカニズムを形成していると考えられる。

図6より、X方向の荷重・変形関係より、1階の意匠階高が4.5mで他階より大きく、柱断面を750mm角としたが、若干、靱性が得られなかったように思う。

X、Y方向の必要保有水平耐力に対する保有水平耐力の比(Q_u/Q_{lim})は、正方向、負方向において、

夫々1.38、1.24倍であり、構造部材は全てFA部材で、両方向とも、構造特性係数Dsは0.3となった。

4-3 基礎免震層の設計及び基礎免震病院の固有値解析

4.2節の解析結果を基に、地中梁（基礎免震系で言う1階梁）下での支点反力と免震装置上部基礎重量を計算し、この軸力に対し、面圧が6~10N/mm²となるG4丸形、ゴム層総厚200mm（せん断歪100%）のLRB⁹⁾の直径φを算出する。表5に、その結果を示す。

表5 LRBの面圧(N/mm²)、直径(mm)と配置

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
Y4	4.21	5.39	5.59	5.88	5.90	5.90	5.57	4.21
	600	600	600	600	600	600	600	600
Y3	6.92	8.48	8.28	9.67	9.86	9.18	8.70	6.93
	700	800	800	800	800	800	800	700
Y2	6.46	8.54	8.57	9.67	9.86	9.18	8.61	6.73
	700	800	800	800	800	800	800	700
Y1	3.76	5.46	5.88	5.88	5.90	5.90	5.48	3.86
	600	600	600	600	600	600	600	600

注)1段目が面圧、二段目が直径を示す。

LRB内の鉛プラグの直径は文献9)に従い、600~800φに対し90、110、120mmとし、鉛プラグの降伏せん断力 Q_d を計算し、免震構造物の全重量(60134.81kN)に対する降伏せん断力の比 α は0.035となる。

免震層の荷重・変形関係は、Bi-linear型履歴特性、上部構造物は、5章で解析結果を示すが、弾性域を振動するために、荷重・変形関係は、線形とする。

上記の結果を考慮し、基礎免震系の固有値解析結果、1次固有周期は3.45秒であった。本論では、積層ゴムは、オイレス工業㈱のLRBを採用している。どの積層ゴムメーカー（例えば、㈱ブリヂストン）でも同じで、推奨面圧、1次係数、2次係数の関係で、最小直径は600mmであり、低層、中層基礎免震構造の場合、1次固有周期を4秒以上にすることに限界があることを、ここで説明させて頂く。

5. 基礎免震病院の応答解析結果

本論では、2章で説明した能登半島地震ISK002正院NS、ISK008羽咋NS成分を入力地震動とする。

解析を実施する前に、最大速度50cm/s、75cm/s（以下、レベル2、レベル3地震動）に相当する免震層の最大変位応答および、絶対加速度応答の基準

値（閾値）を以下の通りで規定する。

【1】L2地震動に対し、免震層の最大変位応答は、積層ゴムの最大せん断歪200%（ゴム総厚20cm）の40cm以下、絶対加速度応答は300cm/s²以下とする。

【2】L3地震動に対し、免震層の最大変位応答は、積層ゴムの最大せん断歪300%（ゴム総厚20cm）の60cm以下、絶対加速度応答は500cm/s²以下とする。

5-1 レベル2地震動による応答解析結果

表6には、ISK002正院NS、ISK008羽咋NSの最大層間変位応答、絶対加速度応答を示している。

表6 L2地震動の基礎免震病院の応答解析結果（左：正院、右：羽咋）

階	変位(cm)	加速度(cm/s ²)	変位(cm)	加速度(cm/s ²)
4	0.13	168.52	0.11	140.83
3	0.24	167.76	0.20	140.13
2	0.36	166.39	0.20	138.91
1	0.43	164.48	0.35	137.26
免震層	34.63	162.30	26.42	135.43

表6より、両入力地震動とも、上部構造物の層間変位応答は0.11~0.43cmで、層間変形角 θ は1/4167~1/847で完全に弾性域を振動している。免震層の最大変位応答は夫々34.63cm、26.42cmで、その閾値40cm以下であることが判る。

一方、絶対加速度応答は162.30~168.52cm/s²で、免震層、上部構造物ともほぼ一定となることが判り、その閾値以内である。

5-2 地震動レベルが免震層の応答特性に及ぼす影響

筆者が既往の研究、例えば、文献10)、11)で、長時間、長周期振動を鉛入り積層ゴム(LRB)を構成する鉛プラグが受けた場合、プラグ内の温度が上昇し、せん断耐力低下が発生することを指摘している。

文献12)、13)に従い、簡易法による耐力低下後の鉛プラグの降伏せん断力 Q'_d 及び耐力低下率 ρ を次式のように定義する。

$$Q'_d = \rho \cdot Q_d ; Q_d = \alpha \sum w_i \quad (1)$$

$$\rho = \frac{8.33}{7.967} \times \left\{ -0.06 + 1.25 \times \exp \left(-\frac{rE}{360V_p} \right) \right\} \quad (2)$$

ここで、 α 、Eは、LRBの降伏せん断力係数、温

度上昇による鉛プラグの耐力低下が生じない応答解析によって得られた免震層の累積塑性エネルギー量 ($N \cdot mm$)、 V_p は免震層全体の鉛プラグの体積 (mm^3) を示す。 E/V_p は、免震層の累積吸収エネルギー比と呼ぶ。

(2)式中の免震層全体の鉛プラグの体積 V_p 、 r は、次式のように与えられる。

$$V_p = \frac{Q_d}{\sigma_{pd}} \cdot H = \frac{\alpha \sum w_i}{8.33} \cdot H \quad (3)$$

$$r = 0.001214 \times D_p + 0.5698 \quad (D_p < 354mm) \quad (4)$$

ここで、 σ_{pd} 、 H 、 D_p は夫々鉛プラグの降伏せん断応力(N/mm^2)、LRBの総高さ (=523.4mm) 及び鉛プラグの直径(mm)である。ただし、(2)式で示す鉛プラグの耐力低下率 ρ が1を超えた場合は、1.0とする。

本節では、入力地震動をISK008羽咋NSとし、最大速度を44.89 cm/s~75 cm/sまで1 cm/s刻みに変動させ、鉛プラグの累積吸収エネルギー比 (E/V_p)、その耐力低下率¹⁰⁾ ρ 、免震層の最大変位応答、絶対加速度応答、入力地震動に対する免震層の応答低減率を求める。

図7、8には、入力地震動レベルに対する鉛プラグの累積吸収エネルギー比 (E/V_p)、耐力低下率 ρ 及び免震層の最大層間変位応答、絶対加速度応答が描かれている。

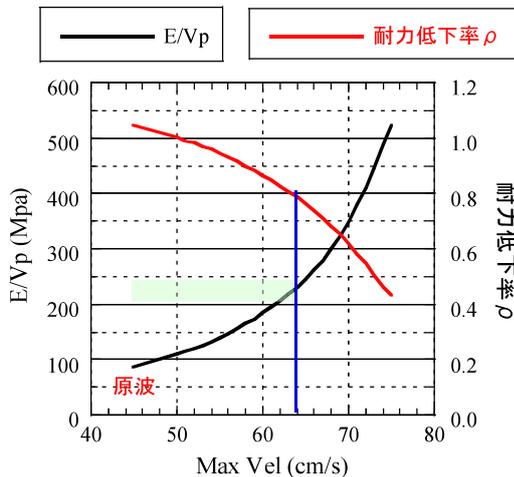


図7 鉛プラグの累積塑性エネルギー比、耐力低下率 ρ

図7より、入力地震動の速度レベルを原波から徐々に増加させると、 E/V_p が87.0から523.0 Mpaまで急激に増加する傾向にある。筆者は、文献13)に記述しているように、 E/V_p が200~250 MPa程度(図中の緑の箇所を示す)であると鉛プラグの耐力低下

は0.8程度に留めることは可能である。ISK008羽咋NS波は、最大速度64.5 cm/sまでは設計可能である。

過去、筆者が宝永南海地震において、基礎免震構造物、特に鉛プラグの累積吸収エネルギー比 (E/V_p) を250 MPa以下となるLRBを選定することで、鉛プラグの耐力低下率 ρ を設計可能な領域に留めることはできる^{10),11)}と指摘している。

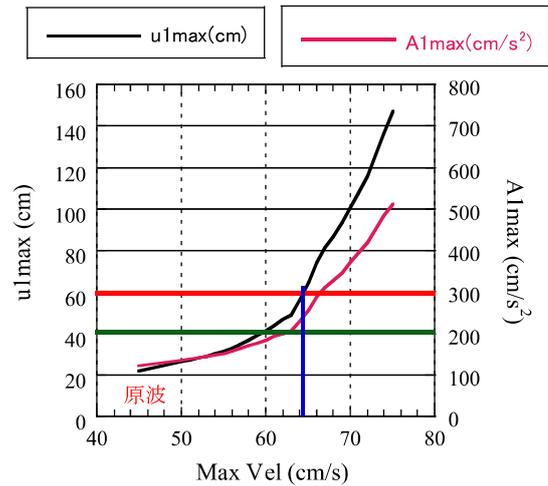


図8 免震層の最大層間変位、絶対加速度応答の推移

図8より、図7に示した通り、最大速度64.5 cm/sまでは免震層の最大変位応答は緩やかに増加しているが、それ以降、鉛プラグの耐力低下が顕著に発生し、最大変位応答は急激に増加する傾向がある。積層ゴムの最大せん断歪が200%に制御できる速度レベルは59.5 cm/s、最大せん断歪300%に制御できる速度レベルは64.5 cm/sであることが分かる。つまり、基礎免震構造物の実施設計で要求されるレベル3地震動相当の75 cm/sでは、鉛プラグに耐力低下を生じるため、LRBのみでは制御できず、一部、オイルダンパーを併用することが望ましい。

絶対加速度応答については、層間変位応答ほど顕著ではないが、64 cm/s以降、増加する傾向にある。また、ISK002正院NSにおいても、類似のやや強い傾向を示した。

5.3 オイルダンパーを付加時の鉛プラグの耐力低下を考慮した場合の基礎免震病院の解析結果

前節では、地震動の最大速度を原波から75 cm/sまで変動させた場合、鉛プラグの耐力低下率 ρ 、免震層の累積吸収エネルギー比 (E/V_p)、最大層間変位応答及び絶対加速度応答の推移について検討した。

本節では、地震動レベルが 65 cm/s 以上の場合、免震層の過大変形が生じるため、その変形を制御するために、750 kN 用のオイルダンパー（Y2、Y3 通りの X2-3、X6-7 間に各 2 基の計 4 基）を設置した場合の解析結果を表 7 に示す。なお、本論で採用した免震用オイルダンパーは、文献 14) に示す KYM-750-800B で、1 次粘性減衰係数を $C_d=75 \text{ kN s/cm}$ 、リリース速度を $\dot{u}_{cr} = 32 \text{ cm/s}$ であり、1 基あたりのリリース速度での最大減衰力 Q_d は 600 kN である。

表 7 の「レベル 3 地震動」は、最大速度 75 cm/s の地震動を示している。

表 7 L3 地震動の基礎免震病院の応答解析結果

階	オイルダンパーなし		オイルダンパーあり	
	変位(cm)	加速度(cm/s^2)	変位(cm)	加速度(cm/s^2)
4	0.40	523.17	0.13	164.72
3	0.75	521.93	0.23	163.07
2	1.10	519.59	0.34	161.92
1	1.32	516.08	0.41	162.31
免震層	147.40	511.80	31.34	163.87

表 7 より、オイルダンパー（750kN 用を 4 基）を設置することで、免震層の最大層間変位応答、絶対加速度応答は、夫々、31.34 cm、164.87 cm/s^2 まで低減することが可能である。また、上部構造物の最大層間変位応答、絶対加速度応答は、0.41~0.13 cm、162.31~164.73 cm/s^2 で、層間変位応答、絶対加速度応答とも増幅は全く見られない。5 章の最初に示した基準値（閾値）以下となっていることが判る。能登半島地震 ISK008 羽咋 NS 成分において、十分な制震・免震性能を発揮している。

6. まとめ

本論は、前報 3) の続編で、①2024 年 1 月 1 日の能登半島地震の地震動特性の分析、3 件の免震建物調査及び、この地震で観測された免震建物の野書記録を参考に、RC 造 5 階建ての基礎免震病院の意匠・構造設計を行った。②能登半島地震の ISK002 正院、ISK008 羽咋の観測記録を用いて、基礎免震病院の耐震安全性について、論じた。解析結果から得られた工学的な知見は、以下の通りである。

- 1) 能登半島地震の振動特性の分析結果より、ISK002 正院は、両成分とも 98.42、119.29 cm/s であり、内陸型地震動特有の性質を示している。ISK008 羽咋の最大速度値は、夫々 44.89、66.42 cm/s であった。また、正院、羽咋の卓越周期は、夫々 2.88、3.04、4.20、4.78 秒とやや長周期、長

周期地震動である。

- 2) 最大速度 50 cm/s のレベル 2 地震動を受ける応答解析結果より、ISK002 正院 NS、ISK008 羽咋 NS での免震層の最大変位応答は夫々 34.63 cm、26.42 cm と閾値 40 cm（積層ゴムの最大せん断歪 200 %）以下で、絶対加速度応答は夫々、162.30、135.43 cm/s^2 で閾値の 300 cm/s^2 以下である。また、上部構造物は弾性域に留まっており、加速度応答の増幅も見られない。
- 3) ISK008 羽咋 NS 成分の最大速度値を原波 (44.89) ~75 cm/s まで増加し、基礎免震病院の地震応答解析を実施すると、免震層の累積吸収エネルギー比 (E/V_p) が 250 MPa 以下では、鉛プラグの耐力低下は見られず、耐力低下率 ρ は 0.8 である。しかし、最大速度値が 65 cm/s 以上となると 250.0~523.0 MPa まで急激に増加し、鉛プラグの耐力低下が顕著に見られる。
- 4) ISK008 羽咋 NS 成分における最大速度 75 cm/s 入力地震動に対し、鉛プラグの耐力低下を考慮した場合の基礎免震病院において、免震層のオイルダンパーを 750 kN 用を 4 基採用することで、免震層の過大変形はなくなり、免震層の最大層間変位応答、絶対加速度応答は、夫々、31.34 cm、163.87 cm/s^2 となり、免震層の閾値以下で設計可能である。

本論では、終末医療として重要な緩和ケア免震病院の意匠・構造設計および耐震安全性評価について、論じた。日経新聞の調査⁸⁾によれば、表 8 に示すように後期高齢者の独居率が 22.4%（2020 年）から 28.9%（2050 年）に増加する。特に、兵庫県では、25.7%から 32.4%まで増加すると予測されている。

表 8 後期高齢者の独居率

順位	地域	2050 年	2020 年
	全国	28.9	22.4
1	東京	35.7	29.9
2	大阪	33.5	28.0
3	兵庫	32.4	25.7
17	山梨	28.3	20.4

2022 年度の宝塚市介護保険事業報告書¹⁵⁾によれば、兵庫県宝塚市内には、53 か所の介護施設付き老人ホーム等が存在する。要支援 1~要介護 5 に該当する住民は、9,562 名（女性）、4,519 名（男性）である。筆者は、2050 年の後期高齢者の独居率 32.4%に関する対策として、現在、53 か所の訪問調査（構造・

階数、平面構成）を把握した上で、介護施設付き高齢者免震住宅の意匠・構造設計を行い、宝永南海地震（宝塚市小浜地区、関西圏4地点、中京圏1地点）・能登半島地震（ISK002 正院、ISK008 羽咋）に対する耐震安全性評価を行う予定で、研究を進めている。

この研究は、SDGs9（産業と技術革新の基盤をつくろう）および11（住み続けられるまちづくり）に関連しており、老人介護施設、デイケアサービス付き高齢者住宅の更なる充実と免震構造の採用が重要であると考えている。

この課題・検討結果について、次報で報告したいと思う。

参考文献

- 1) 内閣府非常災害対策本部：令和6年能登半島地震に係る被害状況等について、2024.1.2、2024.8.21（2024.1.5 および 8.22 閲覧）
- 2) 平野一郎、吉敷祥一ほか：令和6年能登半島地震における石川県・富山県・新潟県の建物調査その1：免震建物の調査報告、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）B-2、243～244頁、（2024）
- 3) 中川肇ほか：2024年能登半島地震の地震動特性と基礎免震構造物の耐震安全性について、明石高専研究報告、第1号、7～16頁、（2025）
- 4) 防災科学技術研究所：令和6年能登半島地震による強震動、強震観測網（K-NET, Kik-net）、<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoushin/>（2024.1.6 閲覧）
- 5) 日本免震構造協会・技術委員会（災害時調査部会）：能登半島地震の免震建物調査報告、ゴム報知新聞、（2024）
- 6) 国立研究開発法人建築研究所：令和6年能登半島地震における建築物構造被害の原因分析を行う委員会 中間とり纏め、（2024）
- 7) 技術研究所・地震被害調査チーム：令和6年能登半島地震 被害調査報告、大林組技術研究所報、No.88、（2024）
- 8) 日経新聞：
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA11690>、（2025.7.22 閲覧）
- 9) オイレス工業株式会社：鉛プラグ挿入積層ゴム支承カタログ（認定番号：MVBR-0355）、（2009）
- 10) 中川肇ほか：宝永南海地震を受ける鉛プラグの耐力低下を伴う超高層基礎免震構造物をどのように設計すべきか、第32回鋼構造年次報告集、726～735頁、日本鋼構造協会、（2024）
- 11) 中川肇：宝永南海地震・能登半島地震を受ける基礎免震構造物の耐震安全性の検証について、日本建築学会大会学術講演会（九州）、B-2、969～970頁、（2025）
- 12) 国立研究開発法人建築研究所：免震部材の多数繰り返し特性と免震建築物の地震応答性状への影響に関する研究、No.170、（2016）
- 13) 脇島健二：長周期地震動に対する免震材料の性能評価（その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、B-2、153～154頁、（2018）
- 14) 株式会社川金コアテック：KYM 免震用オイルダンパー、（2021）
- 15) 宝塚市：宝塚市介護保険事業報告書 令和4年度実績（2023年10月）、
<https://www.city.takarazuka.hyogo.jp/kenkofukushi/kaigohoken/1008585/1054696.html>、（2025.7.22 閲覧）