

# 長周期・大振幅地震動に対応した 多段すべり支承『TSB』の開発と実装



知多半島総合医療センター（旧半田市立半田病院新病院）  
（撮影：イマージュ企画）

## 概要

今後発生が懸念される南海トラフ地震は、従来の設計想定レベルを大きく超える長周期・大振幅地震動となる可能性が指摘されている。この巨大地震による応答変位や応答速度は、従来の免震装置の性能限界を超え、その採用が困難な事が想定される。

今回開発した多段すべり支承『TSB (Triple frictional Sliding Bearing)』は、免震層の過大応答に対応した免震システムである。摩擦係数が異なる『球面すべり支承 (SSB)』と『平面すべり支承 (PSB)』を直列に組み合わせ、告示レベル (L2) の地震動に対しては摩擦係数が小さい『SSB』のみが摺動し、L2 を大きく超える地震動に対しては『SSB』の限界変形量を超えた後に『PSB』が摺動することで、上部構造の損傷や激しい揺れを防ぐ。

『TSB』は愛知県半田市の新病院に実装され、南海トラフ沿いの長周期・大振幅地震動に対しても災害拠点病院として医療機能を維持できる、高い耐震性能を有した病院が実現した。

## 選評

南海トラフ巨大地震では、設計想定を超える長周期・大振幅の地震動が発生するとされており、従来の免震装置や計画では、積層ゴム支承の変形を超えて、免震装置が損傷、上部構造が擁壁に衝突するなど様々な問題が生じる可能性が高い。一方で、巨大地震対策を主軸にすると、ダンパー量を増し変形を抑える装置を選定することになり、中・大地震に対して十分な効果が発揮できず、本末転倒となってしまう。また、本件で想定されている南海トラフ地震動による免震層の応答速度が 150cm/s 以上、応答変位が 150cm に達すると報告されており、既往の免震計画では設計不可能と言っても過言ではない。このような過酷な条件下でも、小・中地震から巨大地震まで多様な地震動に対して応答低減効果が発揮できる、まさに痒いところに手が届くのが、今回開発された多段すべり支承『TSB』である。TSB 支承は既存の球面すべり支承と摺動機構を組み合わせた装置であり、それぞれが機能する地震動の条件を適切に分担できる優れた開発として高く評価したい。（城所 竜太）

株式会社内藤建築事務所 田山太郎  
株式会社織本構造設計 米本孝志  
日鉄エンジニアリング株式会社 関星宇  
株式会社 PILLAR 林田佑介  
半田市立半田病院 青木賢治

## システム及び特記事項

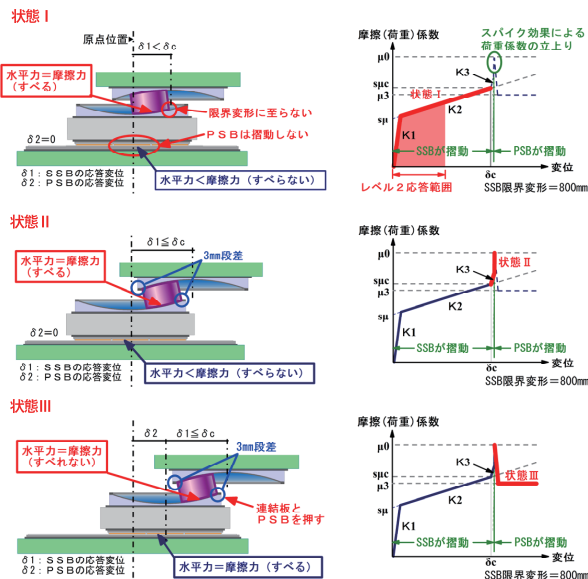
『TSB』は、固有周期 6 秒で摩擦係数 4.3%と 1.3%の『SSB』の下部に、プレキャスト部材である『連結板』を介して、摩擦係数 13.2%の『PSB』を一体化する構成とした。下記の 3 つの状態を遷移して免震効果を発揮する。

【状態Ⅰ】地震時は、まず『SSB』のみが摺動する。『SSB』が限界変形 80cm に達するまでは、『PSB』はスパイク効果による静止摩擦力で下部基礎に固定されており、『SSB』のみで免震効果を発揮する。L2 地震動に対しては、この状態に留まるように設計を行った。

【状態Ⅱ】『SSB』のスライダが限界変形に達すると、すべり板端部の 3mm 段差がストッパーとなりスライダがロックされる。

【状態Ⅲ】さらに入力が増大し、負担水平力が『PSB』の静止摩擦力を超えると『PSB』が摺動する。

『TSB』全体で最大 165cm の応答変位に対応可能であり、長周期・大振幅地震動に対しても有効な免震システムである。



多段すべり支承『TSB』(撮影：イマージュ企画)と地震時の挙動

# 巨大地震時の過大な水平変位を抑制する変位検知型性能可変オイルダンパー (VOD<sup>®</sup>) の開発と適用

株式会社奥村組

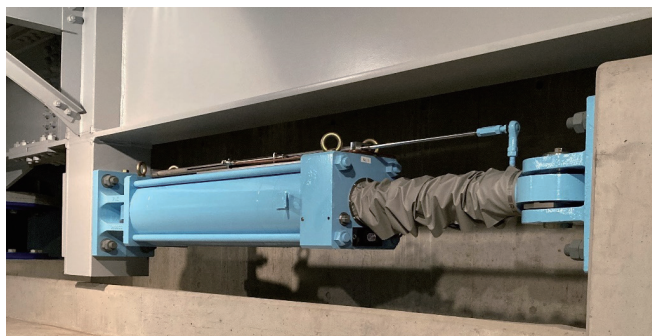
小山慶樹、舟木秀尊

有限会社シズメテック

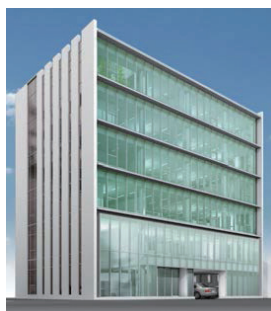
鎮目武治

東北大学

五十子幸樹、井上範夫



奥村組名古屋支店に設置した VOD (撮影：株式会社奥村組)



奥村組名古屋支店

## 概要

免震建物は、巨大地震時に免震層の変位が過大となり、擁壁衝突や免震部材の損傷が懸念されている。そこで、免震層の変位に依存して減衰係数をパッシブに切替え、免震層の変位を制御する「変位検知型性能可変オイルダンパー (以下、VOD)」を開発・実用化した。その技術を活用して、巨大地震時に擁壁衝突の懸念があった奥村組名古屋支店(基礎免震構造)において、既存のオイルダンパーを開発した VOD へ全数交換し、大地震までは従来の免震性能を維持しつつ、巨大地震時の擁壁衝突を回避する対策を実施した。

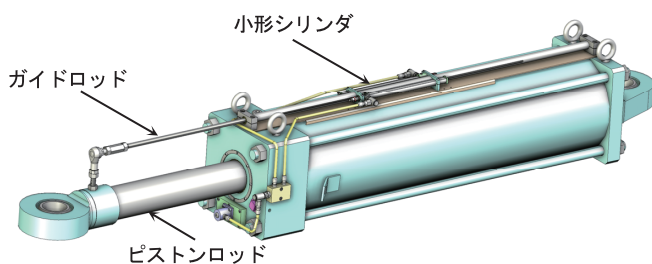
## 選評

免震建物では、長周期地震動によって免震層の水平変位が過大になるリスクがあり、建物の設計者にとって悩みの種となっている。この課題を解決するために、一定の変位を超えると変形を抑える仕組みがいくつか研究されてきたが、本技術では、オイルダンパーに可変減衰機構を組み込むことで問題解決を図った。独創的な点は、オイルダンパーに併設した小形シリンダが免震層の変位を検知し、設定変位を超えると油圧を上昇させ、その変位に応じて減衰係数がパッシブに無段階で増加し、地震が収まった後は元の減衰性能に自動回復する機構にある。通常のオイルダンパーに比べて部品点数が多くなるが、十分な回数の試験で安定した性能と耐久性が確認されている。このダンパーは、既設ダンパーの接合部をそのまま利用して交換でき、供用中の免震建物の長周期地震動対策として実装された。本技術は新築・既存を問わず利用でき、免震建物のストック拡大に役立つ技術である。適用事例を増やし、汎用技術として定着することを期待する。(榎間 隆之)

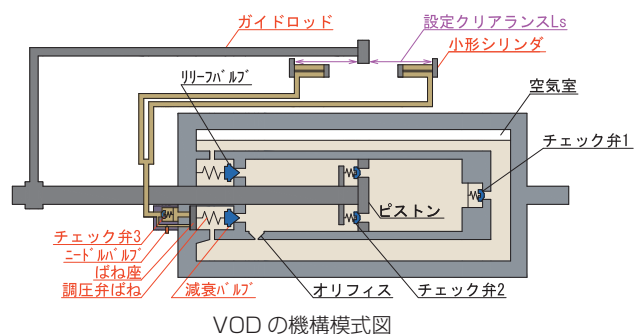
## システム及び特記事項

一般に免震層の変位を低減するためには、免震層に剛性や減衰を付加する方法があるが、これによって上部構造の応答加速度が増加し、免震性能が損なわれる可能性がある。そこで、小地震から大地震までの間は応答加速度を従来の免震性能と同等に保ちながら、巨大地震時に生じる免震層の過大な変位を抑制する VOD を開発した。VOD の特徴は、「免震層の変位を自動検知」、「変位が閾値を超えるとその変位量に応じてパッシブに減衰力が増加」、「地震中は増加した減衰力を維持、地震終了後は自動で変化前の性能に戻る」点である。ユニフロー式のオイルダンパーの外側に、オイルが充填された小形シリンダが設置されており、ガイドロッド端部とその両側の小形シリンダとの間隔を設定クリアランス  $L_s$  と称し、 $L_s$  以上の変位が VOD に生じるとピストンロッドの変位に追従したガイドロッドが小形シリンダを作動させ、小形シリンダの吐出するパイロット油が減衰バルブのばね座を押し込み、増加した免震層変位に比例して自動的に減衰力が増加する。なお、地震終了後は、性能変化前の減衰特性に戻り、余震に対して備えることが可能である。

今後は、巨大地震時の変位抑制効果を活かし、狭小敷地に計画される免震建物などに VOD を適用していきたい。



変位検知型性能可変オイルダンパーの外観パース



VOD の機構模式図





建物外観（撮影：川澄・小林研二写真事務所）

## 建築概要

建設地：北海道北広島市Fビレッジ1番地  
 建築主：ファイターズ スポーツ&エンターテインメント  
 設計：大林組、HKS（設計協力）  
 施工：大林・岩田地崎 特定建設工事共同企業体  
 建築面積：48,219.53m<sup>2</sup>  
 延床面積：122,399.20m<sup>2</sup>  
 階数：地上6階、地下2階 最高高さ：71.3m  
 構造種別：鉄筋コンクリート造  
 一部、鉄骨造 鉄骨鉄筋コンクリート造

## 選評

日本のベースボールフィールドを支える施設として、観客に見せるだけのベースボールエンターテインメントだけでなく、選手を育てる、ゲームの作戦を練る、チームを経営することを含めて、様々な工夫を元にベースボールの文化を支える為の施設の誕生だと感じました。チームを強くするために建築の力が役だっている姿を感じさせました。

通常、多くはドーム型となるベースボールフィールドを北海道の原風景に合わせた切妻屋根として、打球の制限範囲を上手にクリアしながら、必要な構造体を効率的に用意することが可能になった。天然芝を育成するための大開口を成立させた上、外気を入れるための開閉式の屋根を成立させて、照明をはじめとする多くの吊り物の落下防止を支える免震屋根は、既成のデバイスを利用しており、その発想は工夫に満ちていました。巨大な屋根を開閉する仕組みに関しても、リーズナブルなランニングコストと安全性に関する工夫をされており、免震構造と開閉式の切妻大屋根をうまく成立させた施設として敬意を評したい。

（小林 仁）

建築主：株式会社ファイターズ スポーツ&エンターテインメント  
 設計者：株式会社大林組 長屋圭一、佐藤朋成、木村寛之、  
 柏俣明子、田中嘉一  
 施工者：大林・岩田地崎特定建設工事共同企業体

## 免震・制振化した経緯及び企画設計等

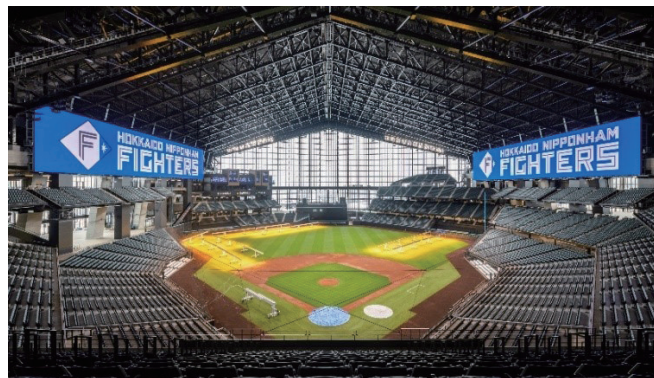
エスコンフィールド HOKKAIDO は、日本初の開閉式屋根を持つ天然芝球場である。積雪寒冷地という天然芝にとって厳しい環境を、シーズン中に毎日でも開閉できる可動屋根と、屋根が閉じた状態でも高度が低い朝日を取り込む南東側一面のガラス壁によって克服している。屋根やガラス壁の架構は、免震・制振技術を軸とした工夫により、機能性と合理性をより高めている。

## 技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

可動屋根は、野球のプレー環境や天然芝の育成に必要な太陽光の獲得を考慮し、最もシンプルな切妻形状を採用している。この形状を活かし、軸力効果が利用できる3ヒンジトラス架構を採用することで、建物の高さを最小限に抑え、周辺環境との調和を図っている。3ヒンジの追従性により、温度変化や屋根位置による境界条件の変化が走行台車に及ぼす負荷を最小限に抑え、安定した走行を実現している。架構の要となる頂部ヒンジ部分や走行台車には、オイルダンパーなどの免震・制振技術を用いた地震対策が施されている。

もう一つの大屋根である固定屋根は、客席上部のスペースを利用してトラスせいを確保し、免震屋根としている。これにより、温度応力を解放するとともに、屋根から吊るされた設備の落下に対する安全性を向上させている。採用した球面すべり支承は、トラス脚部に生じる水平および回転の変位を共に吸収する。

ガラス壁は、トラス柱を用いた片持ち構造により、自立した高さ70mの架構を実現している。庇などの建築要素を利用した立体的なアーチによってトラス柱を水平に拘束し、壁の水平剛性を高めている。この力の伝達経路には、座屈拘束ブレースを配置し、大地震時の力を制御することで、より多くの太陽光を透過する架構を実現している。



建物内観（撮影：川澄・小林研二写真事務所）



建物外観（撮影：株式会社エスエス 彦坂武徳）

## 建築概要

建 設 地：愛知県名古屋市中区丸の内一丁目  
 建 築 主：清水建設株式会社  
 富国生命保険相互会社  
 清水総合開発株式会社  
 設 計：清水建設株式会社一級建築士事務所  
 施 工：清水建設株式会社  
 建築面積：3,318.02m<sup>2</sup>  
 延床面積：47,963.16m<sup>2</sup>  
 階 数：地上 16 階 高 さ：83.31m  
 構造種別：鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）

## 選評

コアウォールと外殻格子架構の全体構成に対して、免震構造と組み合わせることで実現したスレンダーな外殻格子のグリッドフレームが特徴的な作品。外殻格子は柱・梁とも PC 部材とし、2 層分・2 スパン分の部材を千鳥格子状に建て込んで行く特徴的なシステムにより、積み木を組み上げて行くような施工サイクルの単純化とオフサイト施工による省人化を実現している。

外殻架構の PC 部材は構造応力的に合理性を持ったムクリを付けており、その形状が外観デザイン上のアクセントにもなっている。加えて完全なアウトフレームとすることで、室内に柱型の一切出ない使い勝手の良いオフィスを生み出しながら、陰影のあるアウトフレームが日射抑制としても機能し、意匠・構造・設備・施工が一体となった作品に仕上がっている。基準階の四隅には外部に出られるバルコニーが配せられ、共用廊下部の吹抜や屋上庭園、エントランス廻りの県産木材利用、輻射空調の採用等、入居するワーカーのウェルビーイングにも配慮が行き届いている点も特筆したい。

免震＋コアウォール＋外殻構造の組み合わせは今後も増えて行く傾向にあると思われるが、その中でも総合的な合理性と作品性の高さを、卓越した技術力で実現した建築作品として高く評価できる。（大西 宏治）

建築主：清水建設株式会社  
 富国生命保険相互会社  
 清水総合開発株式会社  
 設計者：清水建設株式会社 国立篤志  
 石倉 敦、小嶋一輝、木内佑輔  
 施工者：清水建設株式会社 松本昭二郎

## 免震・制振化した経緯及び企画設計等

3 つの事業者が保有する土地を統合し、大規模オフィスを建設する共同事業である。事業者からは、事業継続を可能とする耐震安全性の確保に加え、多様な場所づくりのニーズに応える執務空間の実現と、環境に配慮したネットゼロオフィスの実現が求められ、名古屋市内の大規模オフィスでは前例のない免震構造の採用により、それらを実現した。

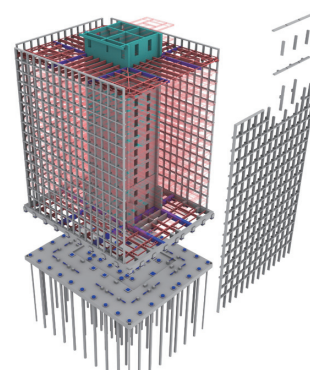
## 技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

基礎免震構造を採用した上で、建物中央に芯棒としてコアウォールを据えた。外殻格子と呼ぶ外周のグリッドフレームで建物四面を囲い、コアウォールと外殻格子を鉄骨単純梁で接続する。最大 20.9m スパンの単純梁を主とした鉄骨床組により架構の自由度を高めたことで、上下階を貫く吹抜などを含む多様な働き方に応える豊かな空間構成を創出した。

この地域の歴史を継承し、豊かな街づくりに貢献するという想いを込めた外殻格子は、棒状の部材を組木のように千鳥に組み上げる互いに支えあう構造であり、意匠性、構造性能、環境性能を兼ね備えた上で、新たなものづくりの形として施工性にも配慮したものとし、完全な PC の乾式工法で実現した。



外殻格子外観



構造架構パース



前面道路の銀杏並木と繋がる 2 層吹抜の開放的なエントランス空間  
 （撮影：株式会社エスエス 彦坂武徳）





建物外観（撮影：エスエス東京）

## 建築概要

建設地：東京都港区東新橋2丁目  
 建築主：富士ソフト株式会社  
 設計：株式会社竹中工務店  
 施工：株式会社竹中工務店  
 建築面積：約 2,128.67m<sup>2</sup>  
 延床面積：約 20,215.95m<sup>2</sup>  
 階数：地上9階、地下1階  
 高さ：42.45 m  
 構造種別：SRC・S・RC造

## 選評

浜松町駅から新橋方面へ向かうと、雑居ビルを抜けた先に突如イタリア街が現れる。ポツ窓のある装飾的な壁面が並ぶ中、本建築は千鳥状に積まれた PCa ブロックの隙間が開口を形成し、下層部の連続アーチがそれを支える構成となっており、一際存在感を放っている。

汐留イタリア街の外観規制、建築主の要件、下層部の災害対策といった厳しい制約の中で、本建築は免震構造を活かし、「現代の組積造」という独自の解決策を提示した。その結果、制限を逆手に取った優れた建築へと昇華しており、賞賛に値する。また、省人化や低コスト化、ライフサイクル CO<sub>2</sub> 削減など、業界や環境課題にも応答し、免震建築の新たな可能性を示唆する点も高く評価できる。

一方で、下層部のアーチ空間を街へ開く意図や高潮対策を考えると、免震層の位置には若干の疑問が残る。しかし、それを踏まえても、本建築はイタリア街の表層的模倣にとどまらず、組積造とコンクリート・アーチを介して古代ローマ建築との対話をも試みた、意欲的な作品であり、作品賞にふさわしいものと高く評価できる。（小林 恵吾）

建築主：富士ソフト株式会社

設計者：株式会社竹中工務店 三橋幸作、田井 暢、小田島暢之、和田純一、平尾雅之

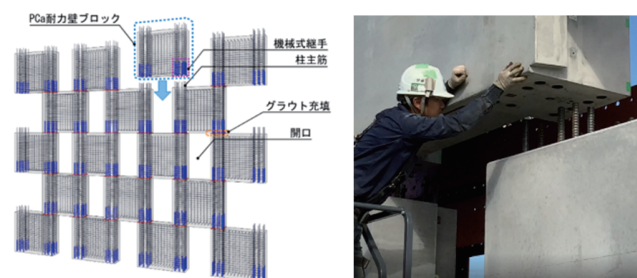
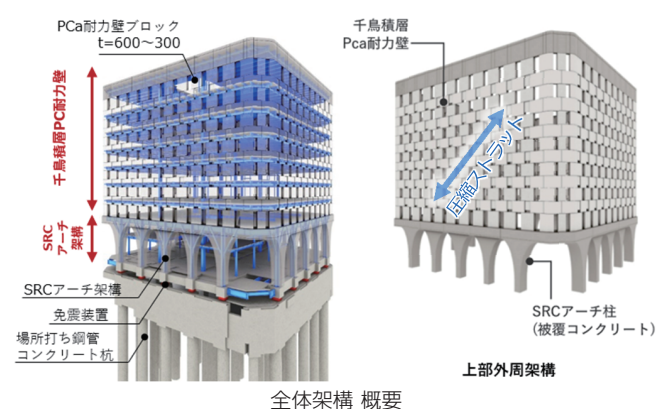
施工者：株式会社竹中工務店

## 免震・制振化した経緯及び企画設計等

本建物は「汐留イタリア街」に位置するデータセンター対応型オフィスビルである。イタリア街のデザインコードに対し、「現代の組積造」を設計コンセプトとし、新規開発した「千鳥積層プレキャスト (PCa) 耐力壁」を外殻架構とすることで、建築・構造・設備をインテグレートした建築を目指した。千鳥積層 PCa 外殻架構の高い水平剛性と免震構造を組合せた高性能免震により、汐留という超軟弱地盤地域で、データセンター対応として、極稀地震時の水平応答加速度を 200gal 以下に抑えた。

## 技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

「千鳥積層 PCa 耐力壁」は、水平力に対し千鳥状に配置された壁全体で斜めの圧縮ストラットを形成することで、建物全体に高い水平剛性を与える事ができる架構である。PCa 壁同士の接合は、免震構造の採用により、納まりを最大限簡略化することが可能となった。「千鳥積層 PCa 耐力壁」の外殻架構と免震構造の組み合わせは、高い構造性能だけでなく、高密度なコア計画、高い環境性能 (ZEB Ready 及び CASBEE S ランク取得)、高い施工効率などを同時に実現しており、建築・構造・設備・施工の全てが高度に統合された新たな建築システムである。



プレキャスト耐力壁の接合要領

## 令和6年能登半島地震被災時にも機能の維持・医療活動の継続を可能とした免震構造 ～恵寿総合病院本館～

社会医療法人財団董仙会 / 恵寿総合病院 神野 正博  
神野 厚美  
株式会社竹中工務店 岡田 純一

## 選評

「災害でも医療を止めない」。この言葉通り、石川県七尾市に立つ中核病院である恵寿総合病院は2024年1月の能登半島地震において、能登地域の医療を支え続けた。震度6強の揺れに見舞われた七尾市では多くの建物が倒壊、断水も長期化した。免震構造を採用した本館は建物機能を維持。病院は本館を中心として、刻々と変化する状況に対応しながら医療活動を継続、避難所支援などにも取り組み、地域に安全・安心を提供した。

迅速な災害対応には建物のハード面の備えに加え、自前のBCM（事業継続マネジメント）マニュアルの整備など運営面の備えがあった。被災時の重要施設のあり方を示す貴重な事例であり、免震建物の普及の足がかりになるものとして評価できる。

また発災後、病院を経営する社会医療法人の理事長、常務理事は、テレビや新聞などのメディアに積極的に対応。建築や医療の一般向けセミナーに登壇するなど、実体験に基づく説得力ある情報発信で、免震構造の有効性やBCP・BCMの重要性を建築や医療の専門家のみならず、広く社会に啓発した。以上の功績により、本年度の普及賞に選定した。

（佐々木 大輔）

令和6年元日に発生した能登半島地震では、石川県七尾市では最大震度6強を観測した。被災地域の中で、恵寿総合病院本館は軽微な損傷を受けたが、事業継続し地域医療を支え続けた。これは病院関係者皆様の「災害でも医療を止めない」の強い意志を免震建物である本館が支え実現できた。メディア等にも多数紹介され、「能登の奇跡」と称賛されている。世間一般にも免震構造の効果が広く認知されることになり、「備えあれば憂いなし」を体現した恵寿総合病院の例がアピールとなり今後の免震建物の普及に大いに貢献することが期待される。そして今後発生する地震の被害の軽減につながることを強く願う。



図：震災後の被災状況と対応

| 地震発生  |                             |        |                          |
|-------|-----------------------------|--------|--------------------------|
| 1月 1日 | 患者さん（113名）本館へ移送<br>井水への切り替え | 1月 5日  | 5病棟一部再開<br>クラウドファンディング開設 |
| 1月 2日 | 本館にて出産、緊急手術                 | 1月 6日  | 建物調査報告書<br>血液浄化センター再開    |
| 1月 3日 | 自衛隊給水（透析）<br>物資運搬           | 1月 11日 | 5病棟復旧                    |
| 1月 4日 | 本館外来オープン（予定通り）              |        |                          |

表：震災関係情報公開の一例

| 種別        | 発表日   | 媒体                            | タイトルまたは内容                                          |
|-----------|-------|-------------------------------|----------------------------------------------------|
| メディア      | 1月11日 | 日経建設工業新聞                      | 能登半島地震／恵寿総合病院（石川県七尾市）、免震構造採用で医療継続に                 |
|           | 1月17日 | 日経メディカル                       | 恵寿総合病院、100人以上が生活する避難所への巡回バスによるケアを開始                |
|           | 1月25日 | 日経新聞                          | 能登地震／医療、人手と水の確保が課題 恵寿病院理事長 能登地震 トップが語る             |
|           | 2月2日  | 中日新聞                          | 医療を継続できたのは「免震構造のおかげ」 病院は耐震を満たすだけでは不十分？             |
|           | 2月13日 | NHK                           | 聴知事が志賀町の工業団地や七尾市の民間病院を視察                           |
|           | 2月14日 | 中日新聞                          | 職員被曝の医療現場確認 七尾・恵寿総合病院 知事が視察                        |
|           | 2月8日  | 日経アーキテクチュア                    | 能登半島地震 震度7の衝撃～免震建物の実力／「発災直後でも医療を止めない」 震度6強に耐えた免震病院 |
|           | 2月29日 | 東海テレビ                         | 地震発生10時間後に元気な声…「井戸水」で医療機能維持した七尾の病院 過去の大地震教訓に「水の備え」 |
|           | 3月4日  | WEB防災情報新聞                     | 恵寿総合病院の地域・災害医療貢献を称賛、「免震構造」の実効性も再認識                 |
|           | 3月14日 | CBCテレビ                        | 災害拠点病院は「耐震より免震」 能登半島地震ではほぼ無傷だった病院の教訓 南海トラフ巨大地震への備え |
| 発表（一般）    | 3月15日 | 日経新聞                          | 能登半島地震の被災病院、準備で築いた「想定外なし」                          |
|           | 5月1日  | BCPLReaders                   | 医療機能の維持を可能にした徹底的なハード対策 非常時の代替ラインはチェック表で管理 恵寿総合病院   |
|           | 7月2日  | 日経新聞                          | 恵寿総合病院 震災時の奇跡の音声                                   |
|           | 複数    | m3.com                        | 神野正博・董仙会理事長、正隆・理事長補佐に聞く                            |
|           | 5月22日 | リスク対策.com危機管理塾                | 災害でも医療を止めない！ 令和6年能登半島地震これまでにこれから                   |
| 発表（学術系）   | 6月1日  | けいじゅヘルスケアシステム2023業績集          | 特集 能登半島地震クロノロジー                                    |
|           | 多数    | YouTube恵寿総合病院チャンネル            | 直接より多数発信                                           |
|           | 多数    | 理事長 神野様ブログ                    | 直接より多数発信                                           |
| 学術報告等への掲載 | 4月4日  | 免震構造協会「令和6年能登半島地震 免震建築物調査報告書」 | 災害でも医療を止めない：平時の備えと有事の対応                            |
|           | 4月30日 | 恵寿総合病院医学雑誌                    | 当院における令和6年能登半島地震発災後の約2か月間                          |
|           | 1月9日  | 東北大学災害科学国際研究所                 | 令和6年能登半島地震に関する速報会                                  |
|           | 6月24日 | 国土交通省HP                       | 免震動的性能検証制度                                         |
| その他       | 1月24日 | 日本建築構造協会（JASCA）会誌STRUCUTERE   | 免震建物の被災状況～免震病院の被害と震災対策～                            |
|           | 1月5日  | READYFOR(クラウドファンディング)         | 活動報告の中で紹介                                          |



テレビ報道特集（CBC テレビ）