

●免震構造により災害拠点としての機能を発揮した石巻赤十字病院

東日本大震災の石巻市全体の被害は、死者 3173 名、行方不明者 717 名（9/26 現在）と被災県の市町村の中で最も多い人数で、甚大な被害となりました。亡くなられた方々のご冥福をお祈り申し上げます。

その中で、地域災害拠点病院を目指し免震構造を採用した石巻赤十字病院は、免震構造として性能を十分に発揮し、地震直後においても石巻地区で病院機能を維持することができた唯一の施設として、多くの人命を救うことができた。この内容はテレビや新聞などを通じて報道され、免震構造の効用を広く社会に啓蒙し、今後の普及に大きな寄与する素材となったものである。

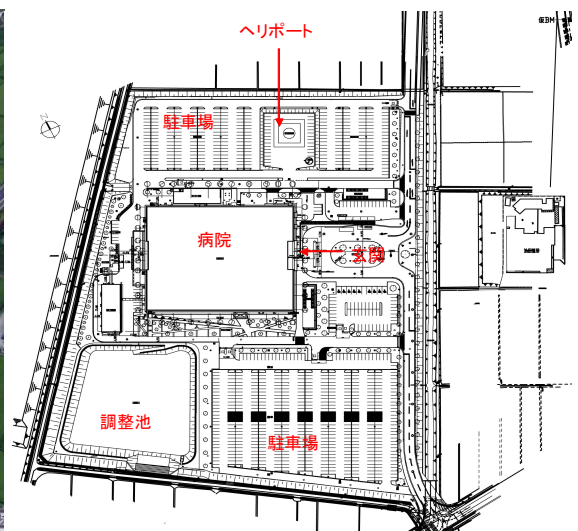
災害拠点病院として設計時に盛り込んだもののうち、特に震災時に功を奏したものは、構造的には、大きく以下の①②があり、建築・設備的には以下の③④がある。

- ①免震構造により床応答加速度が低減して重要医療機器の転倒破損がなく、病院機能維持に大きく貢献。
- ②敷地近傍の旧北上川の洪水対策として盛土をしており、結果的に津波浸水を免れることもできた。また大地震時に液状化の恐れのある地盤のため、建物本体、医療ガス建屋、インフラ引込部分、ヘリポート等の災害時に機能維持が必要な部分には砂杭による地盤改良を採用し、結果的に液状化せずに保持でき、特に、ヘリポートは多くの人命救助移送に役立つことができた。
- ③暴風雪対応として玄関に大庇を配置しており、これが被災者や医療機器等の一時的な雨よけとして対応でき、さらに1階のエントランスホールに医療ガスの予備アウトレットを多く設置したため、1階ホールで簡易的な救急医療行為が可能であった。
- ④電気引込み2系統化と共に、最上階に設けた自家発電機により、インフラ寸断時にも電源供給が可能であった。また、雑水用受水槽は備蓄量を多くするなど、地震時の機能確保に配慮した設備計画が功を奏して、持続的な医療行為が可能であった。これら設備機器も建屋の免震構造化により、機器転倒による機能不全に至らなかったものである。

これら①～④の対策により災害拠点として機能したことをここに示すと共に、今後の貴重な資料として、今後の再使用に関する性能確認を目的として、鋼材ダンパー1台（実物）を取出し、疲労試験を行った結果も最後に示す。必要とされる性能を確保できる結果のため、交換なしに補修のみの対応としている。



建物全景



敷地配置図

●建物概要

概要

建築／延床面積：10173 m²／32486 m²

階数：地下1階地上7階塔屋1階

軒高／最高高さ：21.4 m／26.2 m

構造種別：鉄骨造、免震構造

基礎：節杭地業 RC 造マット基礎

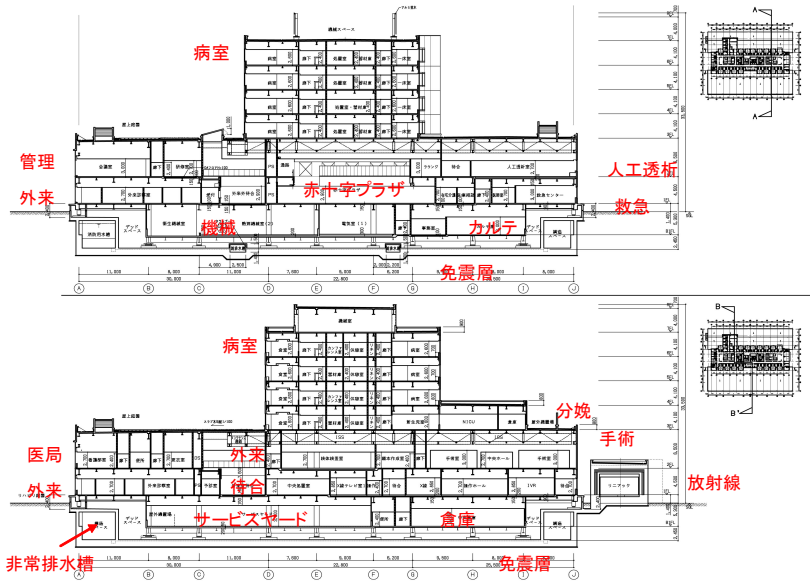
病床数：402 床

建築主：日本赤十字社

設計：日建設計

施工：鹿島建設

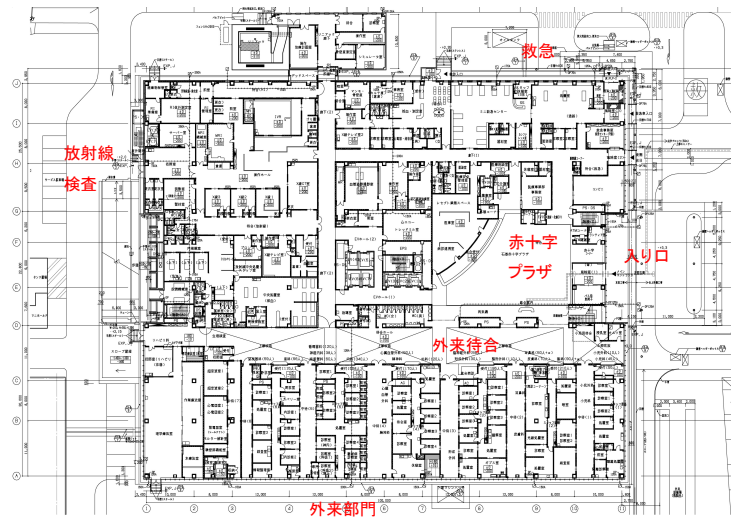
工期：04年8月～06年2月



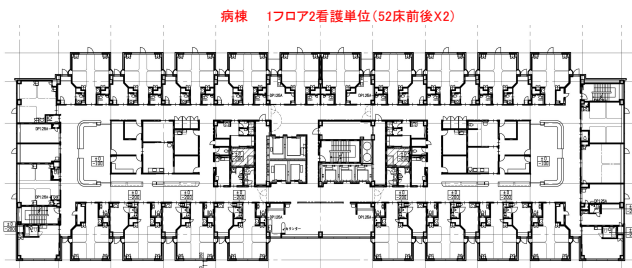
断面図

建物構成は、地下を水槽や機械室等の設備、1階入口に2層吹抜けのエントランスホール（赤十字プラザ）を設け、1階2階は主に外来・診療部門の諸室、3階～6階を主に病室とした諸室を配置し、最上階（7階）には非常用自家発電機などの機械室を配置している。

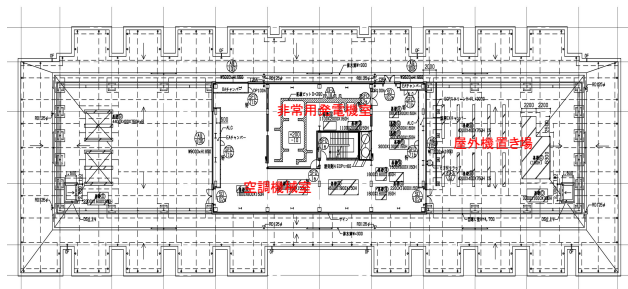
個室的多床室を目的とした病室のスパン割と、下階診療部門で必要とされるスパン割の違いを変換する目的と、病室階および診療部門の各種設備配管等の展開を目的として2階上部にはISS層（トラス梁）を設けているのが、上部構造の特徴である。



1階平面図



病室階（4～6階）平面図



7階（最上階）平面図

● 構造概要

・ 敷地地盤と基礎構造

本敷地地盤は3つの重要な要素がある。約70m以深に洪積層が出現するが、この層からはメタンガスが発生するため、支持杭として掘削するにはリスクが高い。中間部の洪積粘土層は正規圧密程度で、過大な荷重を与えると大きく沈下する。最上層の砂層は最大N値20であるが、その下部は大地震に液状化の恐れがある。

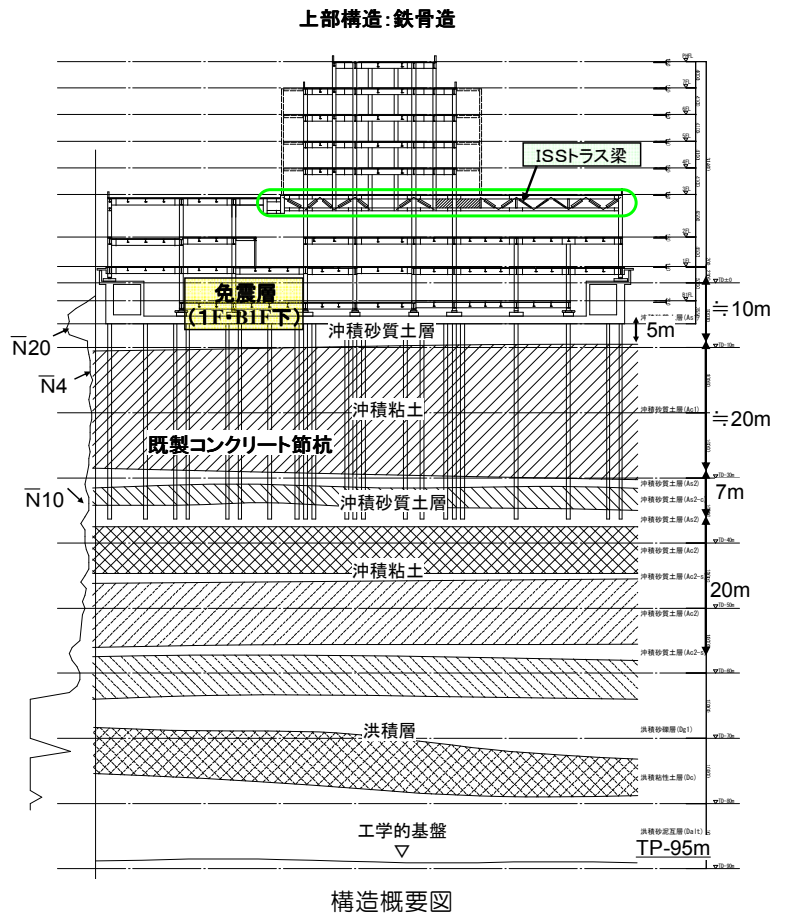
そのため、上部の強度の高い砂層を利用しつつ摩擦杭により中間層で建物を支持するパイルドラフト基礎とした。また、液状化の恐れのある箇所については砂杭により防止している。

・ 上部構造

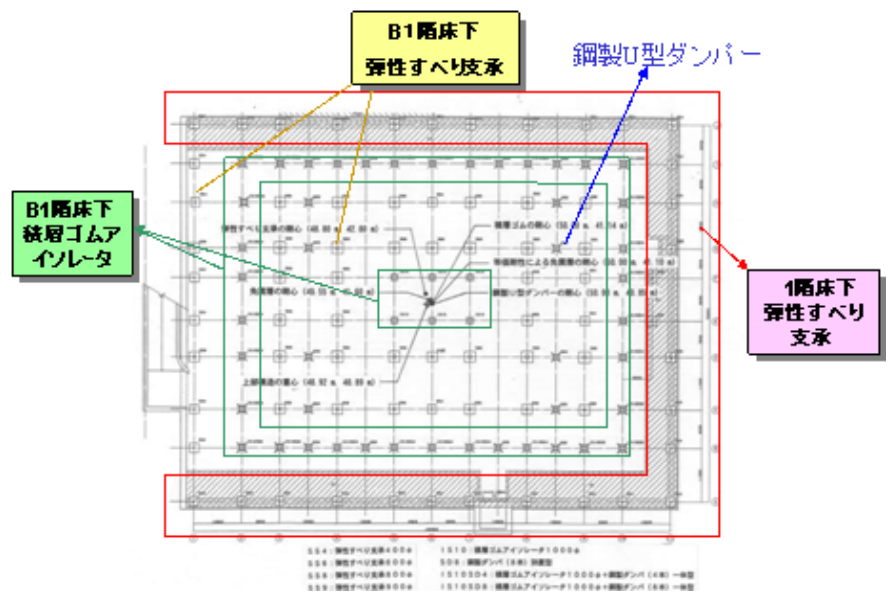
上記地盤条件から極力軽量化を計りたい点、上層階と下層階をISSで結ぶためトラスが必要になる点から鉄骨造で計画した。また建物外周の低層しかない部分は、地下1層分をRC造で、かつ水槽など重量物を配置して、全体の重量バランスに配慮した。

・ 免震構造

地盤卓越周期が1.40秒と長いので、免震固有周期と合致し励起しないように考え、比較的長い固有周期をもつ免震層の設計を考えた。結果として、NRB、弾性滑り支承、鋼製ダンパーを用いることとし、固有周期を初期剛性時で1.45秒、極稀時(49cm)で3.73秒、アイソレータのみの場合で5.39秒の免震層とした。ダンパー量は建物重量に対し約5%とした。



構造概要図



免震部材配置図

①免震構造 床応答と免震層の状況

・地震時の変形

罫書き板の計測結果では、最大変形量 26 cm (東西方向) であった。これは設計時に想定した極めて稀に起こる地震時の最大応答値約 49 cm の半分程度の数値となっている。

設計時に想定した極めて稀に起こる地震時の東西方向の病室最上階(6階)の床応答加速度は約 300gal であるため、地震時にはおおよそ半分程度の 150gal 程度の加速度が生じたと考えられる。

・地震直後の6階の状況

6階や上階の設備階においても重要な設備・医療機器の転倒はなかった。しかし、150gal 程度の加速度が生じたと推定できるため、写真のように机上の書類や扉のない棚に置かれた書類などは滑動し床面に落下したが、怪我もなく、書類などを整理するだけで直ぐに医療活動に復帰できている。



6階 地震直後の状況

・地震後の免震層の状況

鋼材ダンパーのほぼ全数で塗装の剥がれがみられ、多くの部分でダンパー取り付けボルトの緩みがみられた。しかしダンパーの形状変化とそれに伴う塗装の剥がれから、所定の性能を十分発揮したと考えられる。なお、アイソレータ・弾性すべりには塗装の剥がれが数か所みられた程度でボルトのゆるみは確認されなかった。

必要個所の増し締め等の応急処置により 3/11 以降の余震にも十分に耐えている。



免震部材配置図

②地盤対策 震災の状況

- ・津波浸水の状況

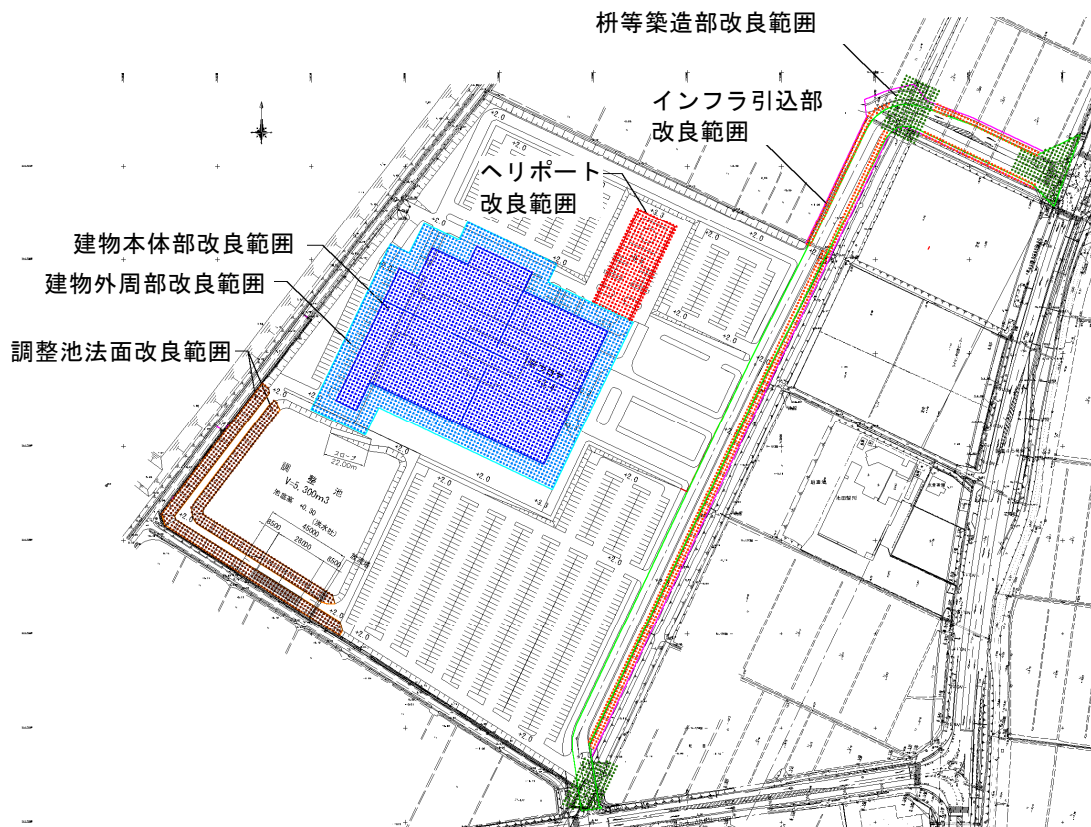
敷地近傍は津波浸水があったが、本敷地は旧北上川の洪水対策として高い部分で3m近い盛土をしており、結果的に津波浸水を免れた。



本敷地（左）と浸水状況（右）

- ・地盤液状化対策

下図に示すように、建物本体、医療ガス建屋、インフラ引込部分、ヘリポート、の災害時に機能維持が必要な部分には動的締固め砂杭工法による地盤改良を採用し、結果的に液状化せずに保持できた。



地盤改良体配置図

③災害拠点対策 震災時の状況

・ヘリポートの様子

ヘリポートも地盤改良体を設けており、液状化しなかった。多くの人命を救うことができた。



ヘリポートと玄関前大庇



ヘリポートの様子

・大庇廻りの様子

暴風雪対応として玄関に大庇を配置しており、これが被災者や医療機器等の一時的な雨よけとして有効に機能した。この大庇を外部の拠点として多くのテントが張られ、救急医療の機能を発揮できた。



玄関前庇、テントの状況



③災害拠点対策 震災時の状況

・ 1階の状況(1)

1階エントランスホールは、大規模災害時の活動拠点として機能できるように可動式の家具什器で構成している。震災時には、設計時の想定通りに椅子等を頻度の少ない中待合に片付けてオープンなスペースを構成し、軽傷患者の受け入れと簡易的な救急医療行為を行うことができた。



1階エントランスホール（赤十字プラザ）の通常時（左）と地震発生後（右）の様子

・ 1階の状況(2)

1階エントランスホールに隣接する外来待合も、大規模災害時の活動拠点としての機能を盛り込んでいた。特に外来待合の壁面には医療ガスの予備アウトレットを多く設置し、やや重症の患者まで対応できることとしていた。震災時は中傷患者の救急医療行為を行えた。



1階外来待合の通常時（左）と地震発生後（右）の様子

④災害拠点対策 設備の状況

・電気設備の概況

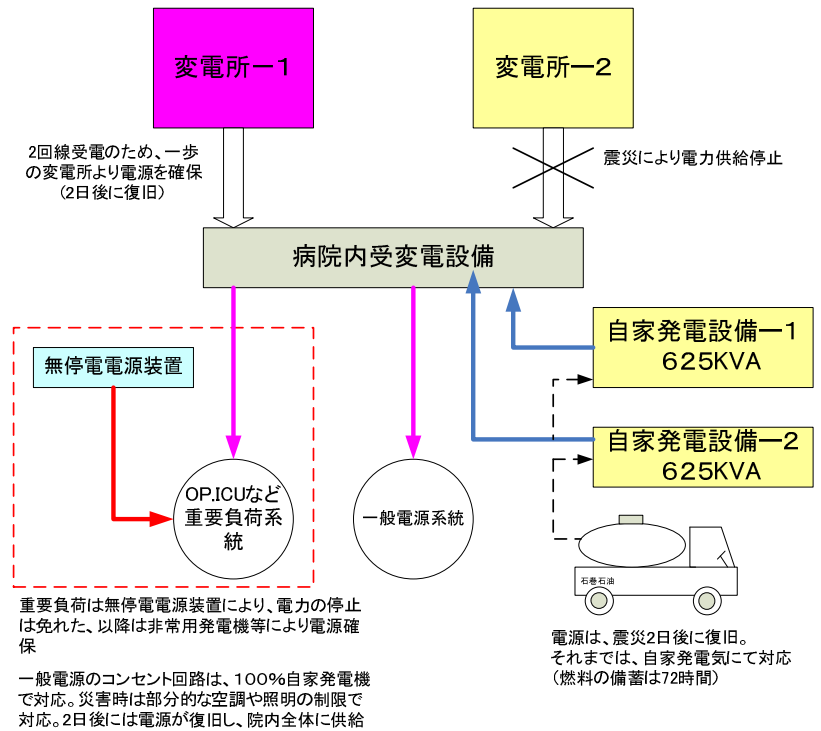
受変電は別の変電所からの2系統としており（右図）、2日後の電力復旧に大いに役に立っている。

・上水の概況

上水は行政指導で0.5日分の容量しか保管できない。そのため、地下1階の上水層に給水車から送ることによって急場を凌いでいる。

・ガスの概況

海岸沿いの中圧ガス基地が津波により配送不可能となった。そのため、敷地にガス圧送設備を設置し、タンクローリーからこの設備を介して病院内にガスを送ることで対応をした。これも、敷地内インフラの液状化対策、免震構造により建物内配管の損傷無しであったため、可能となった。



給水車（左）と地下1階受水槽（右）の様子



臨時ガス圧送設備時（左）とタンクローリー（右）の様子

⑤鋼材ダンパー震災の状況

・疲労試験の計画

本病院は 3/11 までに震度 5 弱以上の地震を既に 2 回受けており、大変形した鋼材ダンパーが今後も十分なエネルギー吸収能力を確保できているかを調べるため、8 本組外付けタイプ 1 体を取り出し（新品と交換し）、疲労試験を行うこととした。試験体は 2 本組の 4 体、試験は以下の 2 種類とした。

試験(1) 3 体は罫書き板の最大変形振幅(下図 $\delta_1 = \pm 213 \text{ mm}$)を与えて破断までのループ回数を計測する。

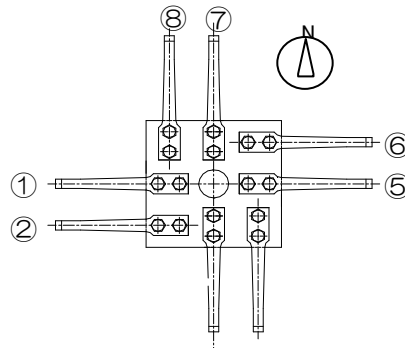
Miner 則によって鋼材の低サイクル疲労を評価できる方法はよく知られているが、今回の地震は継続時間が長く、罫書き板は半径 80 mm 以内の部分は罫書き線が重なり真っ黒の状態であったため、この部分がどの程度疲労しているかを精度よく考慮するために 3 体の試験を行った。

試験(2) 残る 1 体は設計許容変形(49 cm)の振幅を与えて破断までのループ回数を計測することとした。

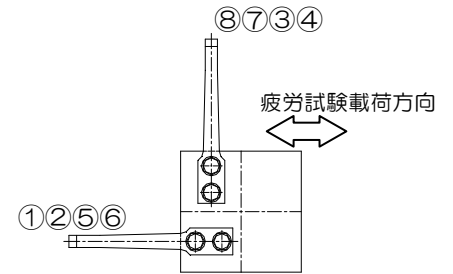
これは設計仕様（初期性能）として「設計許容変形（490 mm）×10 ループ分」を総エネルギー吸収能力として求めているが、再使用にあたりこの値を満足しているかを確認する目的で行った。



(取出した)鋼材ダンパー試験体写真(左)



ダンパー番号(中央)



試験番号(右: ①+⑧...など 4 体)

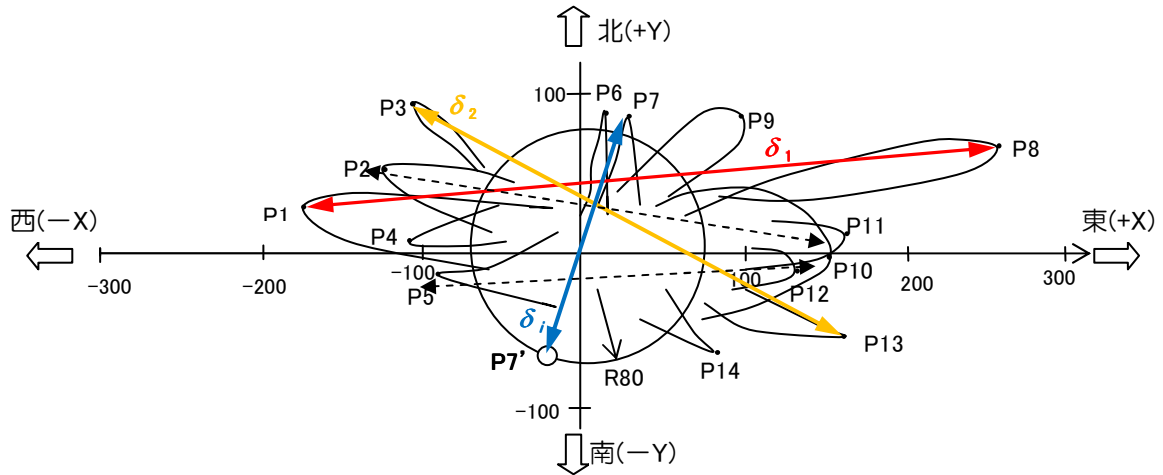


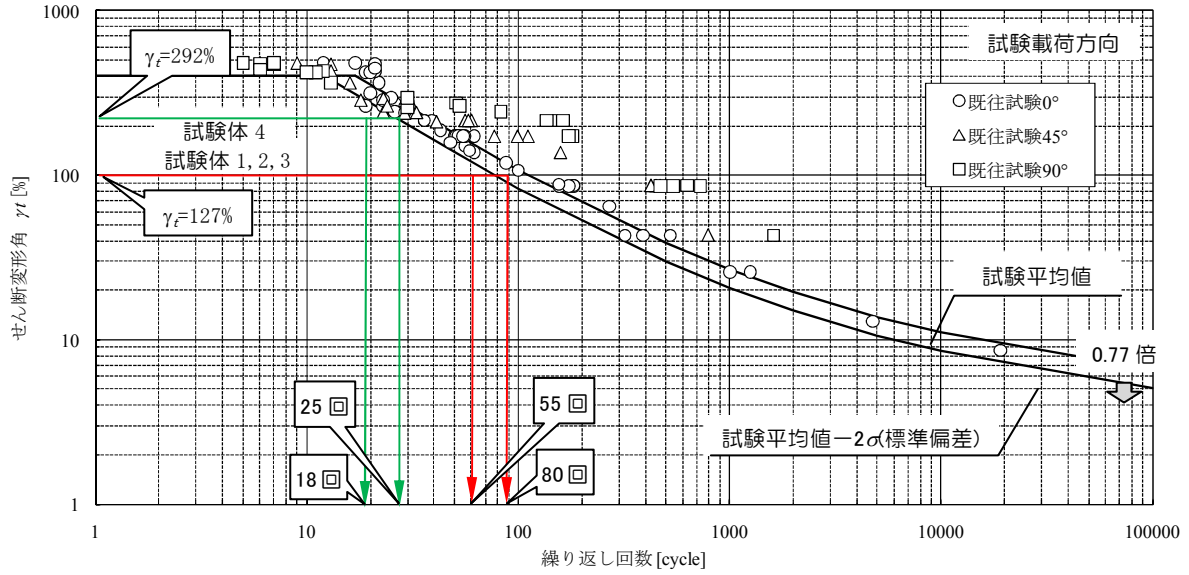
図: 罫書き板 No.1 の様子

・疲労試験の予測と結果

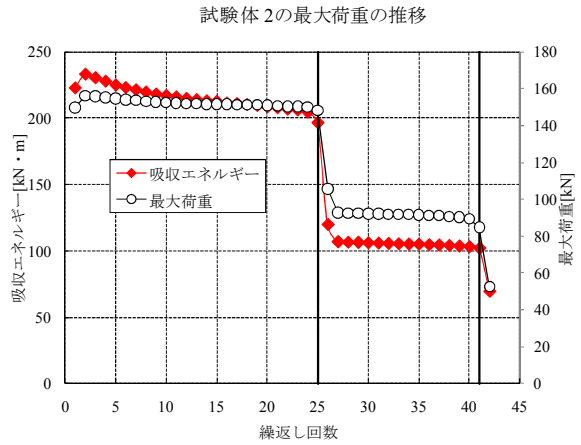
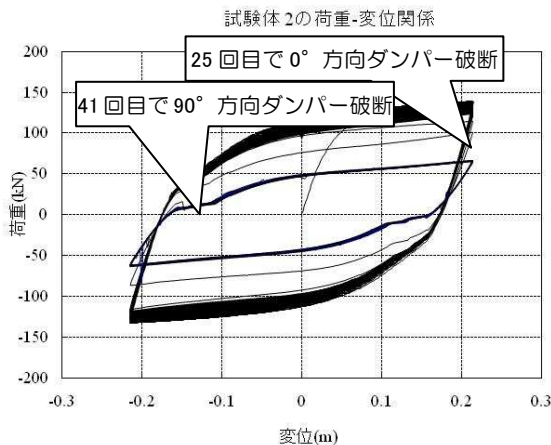
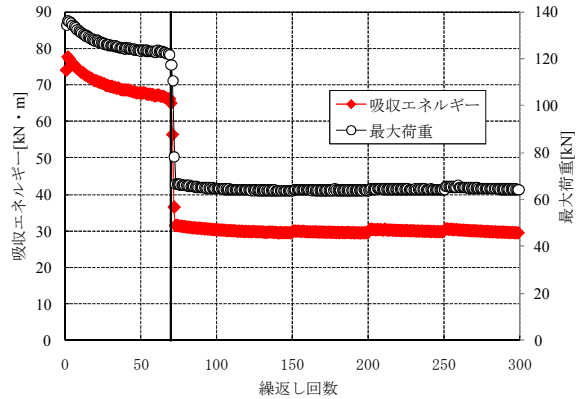
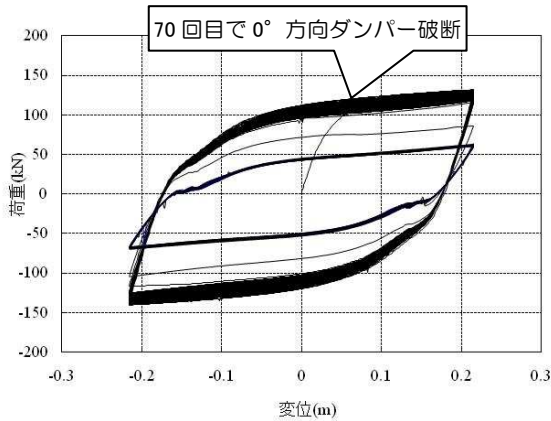
試験(1)の $\pm 213 \text{ mm}$ ($\gamma_t=127\%$)、試験(2)の $\pm 490 \text{ mm}$ ($\gamma_t=292\%$)、各々の既往の試験結果による破断ループ回数予測値を別図に示す。試験結果を下表に示す。試験結果より以下の 2 点があった。

| | 平均値 | 平均値 - 2σ | 試験結果 | 要求値(試験(2)のみ) |
|-------|------|----------|-------------------|--------------|
| 試験(1) | 76 回 | 51 回 | ①76 回 ②70 回 ③77 回 | |
| 試験(2) | 24 回 | 15 回 | ④25 回 | 10 回 |

- 半径 80mm 部分を除いた疲労損傷度と本試験結果はよく合っていたため、半径 80mm 部分の影響は小さく、大きな変位のみを対象に検討することで、十分な疲労損傷度の推定が可能であるといえる。なお本試験では、試験結果の平均値-2σのばらつきを考慮しても十分安全側に疲労損傷推定ができた。
- U 型ダンパーは、疲労損傷しているものの設計要求性能を満たしており、継続的に使用可能である。



図：U型ダンパーの疲労性能曲線



上段：振幅±213mm($\gamma_f=127\%$)の試験体 2、下段振幅±490mm($\gamma_f=292\%$)の試験体 4

・おわりに

大地震時に免震構造による床応答の低減により被害を相当減らすことができたことは、震災後の機能維持を目的とする場合には免震構造採用が最も現実的な回答であることを示したものである。本病院が大規模な震災でも機能維持し続けた代表例として、今後多くの施設で免震構造が採用されることに大きく弾みをつけるものとなったと考える。

本施設においても震災直後から医療活動を継続するには、多くの困難な状況があったが、関係者の熱意と努力で乗り切ってきたと伺っております。病院関係者の皆様方のご尽力に深く敬服致します。