

癌研究会有明病院他施設

清水建設
正藤倫宏



同
有田康正



1. はじめに

財団法人癌研究会有明病院は明治41年に発足した、高度な癌研究と治療を総合的に実施する日本を代表する癌専門の財団である。現在大塚にあるベッド数502床の病院では手狭になり、より高度な癌研究を行う施設も求められる状況となったため、新たに臨海副都心有明南地区に、研究所・化療センターとベッド数700床の病院機能を持つ医療施設を新築して、平成17年春に全面移転することとなった。

計画建物はその用途上公共性が高く、東京都に約束した災害時の後方医療施設としての機能が求められる。そのため構造形式を免震構造とし、大地震時の人命確保と共に、診断・治療に必要な医療機器の機能維持も図った。

計画敷地は東京湾デルタ地帯の埋立地であり、GL-6m～GL-18mの沖積層（有楽町層）は大地震時に液状化の可能性がある。本稿では、液状化の可能性がある地盤に計画した免震建物の構造設計概要について報告する。

2. 建物概要

6階建ての研究所と12階建ての病院からなる複合機能を有する建物である。地上部では、研究所と病院の間にホスピタルストリートと呼ばれるアトリウムを配し、建物は一体であるが動線を完全に分離した計画としている。一方、地下部は研究所と病院の両者に必要な検査・設備施設及び駐車場をまとめて計画した。



図-1 外観パース

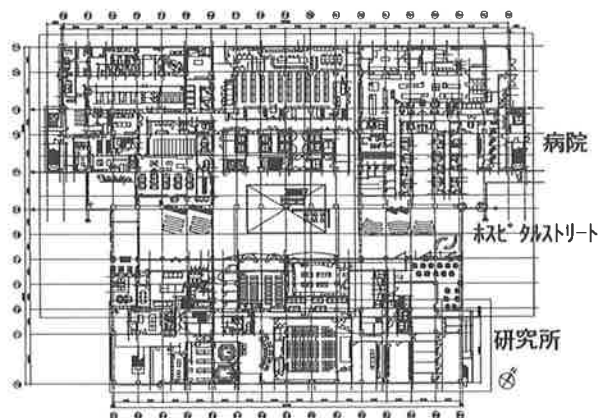


図-2 1階平面図

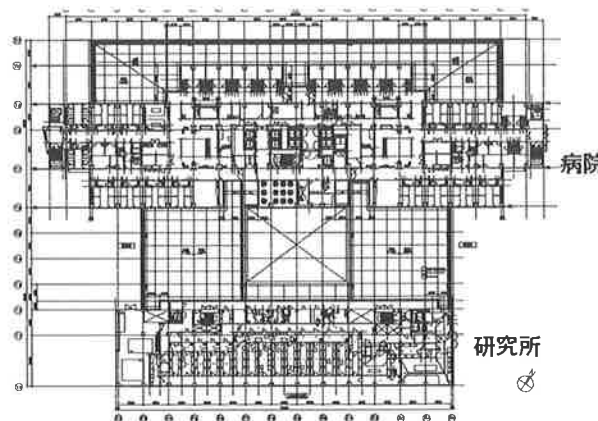


図-3 5階平面図

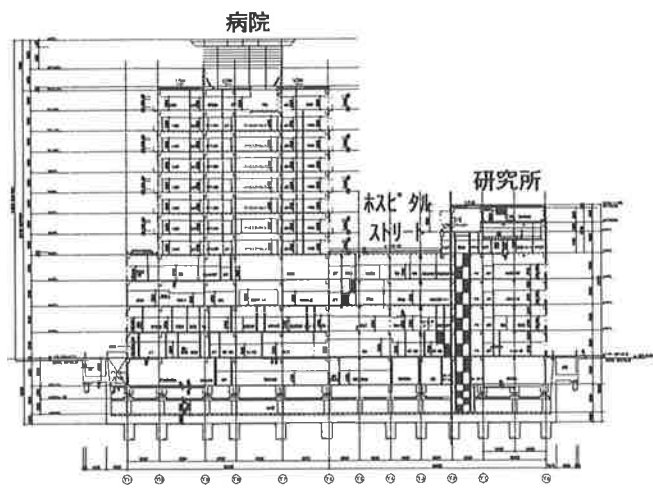


図-4 断面図

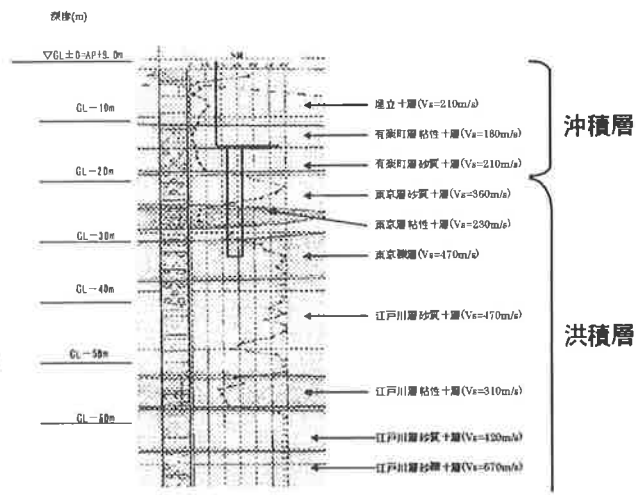


図-5 地層層序図

建築地	東京都江東区有明三丁目1番地1、他
建築主	財団法人 癌研究会
設計監理	丹下健三・都市・建築設計研究所、 清水建設株式会社一級建築士事務所
施工者	清水・大成・鹿島・大林・竹中・銭高・ 不動・三井 建設共同企業体
主要用途	研究所、病院
敷地面積	19,999.89㎡
建築面積	9,203.49㎡
延床面積	77,187.63㎡
階数	地下2階 地上12階 塔屋2階
軒高	設計GL+52.10m
最高部高さ	設計GL+62.00m
構造種別	鉄筋コンクリート造中間階免震構造 (B2階とB1階の間に免震層を設置)
架構形式	B2階～B1階 耐震壁付ラーメン構造 1階～R階 純ラーメン構造
基礎形式	杭基礎(場所打ちコンクリート杭)

3. 地盤概要

計画敷地の地層層序は、第3紀の上総層群を基盤とし、洪積層として下位より江戸川層砂礫土層・砂質土層・粘性土層、東京礫層、東京層粘土層・砂質土層よりなる。これより上層は、沖積層として下位より有楽町層砂質土層・粘性土層及び埋立土層よりなる。支持層はGL-30m以深の東京礫層とする。GL-18mまでの沖積層は大地震時に液状化の可能性がある。

4. 構造計画

立面形状は免震構造の地上12階、地下2階建てとした。これにより液状化層の大半の地層が取り除かれ、大地震に対して杭のみの設計が可能になり、地盤改良が不要となった。免震層は、建物の機能確保とともに躯体の合理化を図るためB2階とB1階の間に配置した。

平面形状は、X方向が6m、Y方向が6・9・12mグリッドの整形な建物で、B1階はマッシュパナリアックの壁と平面的な剛性をバランスさせるため外壁を中心に耐震壁を配置し、1階以上の地上部は計画自由度を高めるため純ラーメン構造とした。

構造種別は鉄筋コンクリート造とし、一部ロングスパン部にはプレストレスコンクリート造を用いた。工業化工法として、床版に配筋付打込型枠デッキプレート、梁にキーストンプレート打込型枠、外壁にPCF版を使用し、工期の短縮と省力化を図った。

免震装置は鉛プラグ入り積層ゴム154基と天然ゴム系積層ゴム24基及びびすべり系支承19基を用いた。免震装置の配置は、ねじれ抵抗を高めるためダンパー機能を持つ鉛プラグ入り積層ゴムを建物外周に設置するなど、建物全体のねじれを小さくするように調整を行った。

基礎はGL-30m以深の東京礫層を支持層とする場所打ちコンクリート杭とし、地盤の液状化を考慮して設計を行った。基礎形式は地下水による浮力を抑えるために、マットスラブ工法を採用した。

5. 時刻歴応答解析

5.1 設計目標

設計目標は免震材料のバラツキ及び上下動の影響を考慮した上で、下記のように設定した。

表-1 耐震性能目標

入力レベル		稀に発生する地震動	極めて稀に発生する地震動
種類		模擬波観測波	模擬波観測波
耐震性能目標	上部構造	許容応力度以下	弾性限耐力以下
	下部構造	許容応力度以下	許容応力度以下
	免震装置	安定変形以下 積層ゴムに引張りは生じない	性能保証変形以下 積層ゴムの引張り面圧 1.0N/mm ² 以下

5.2 設計用入力地震動

建設地の地盤調査によると、PS検層の結果から支持層であるGL-30mの東京礫層以深は $V_s = 400\text{m/s}$ 程度を示す地層が続いていると考えられる。よって、本敷地地盤においてGL-30mの東京礫層を工学的基盤とした。

設計用地震動は、既往の観測波3波と地盤特性にもとづく模擬波6波とした。

模擬波は、平成12年建設省告示1481号にもとづく加速度応答スペクトルから位相を変えて作成した基盤波3波を工学的基盤に与え、表層地盤特性を考慮して得られた地震波とした。基盤の位相特性は、一様乱数(告示波1と呼ぶ)、遠距離地震動特性(告示波2と呼ぶ)、近距離地震動特性(告示波3と呼ぶ)の3種類とした。表層地盤の特性を反映するため、地盤の液状化を含む非線形性を考慮できる有効応力解析モデルを用いて、時刻歴有効応力解析により基盤波から基礎下レベル地盤での模擬波を作成した。但し、液状化現象が不確実性を持つため、地盤モデルは液状化モデルと非液状化モデルの2種類とし、それぞれのモデルごとに3つの基盤波から模擬波を作成した。

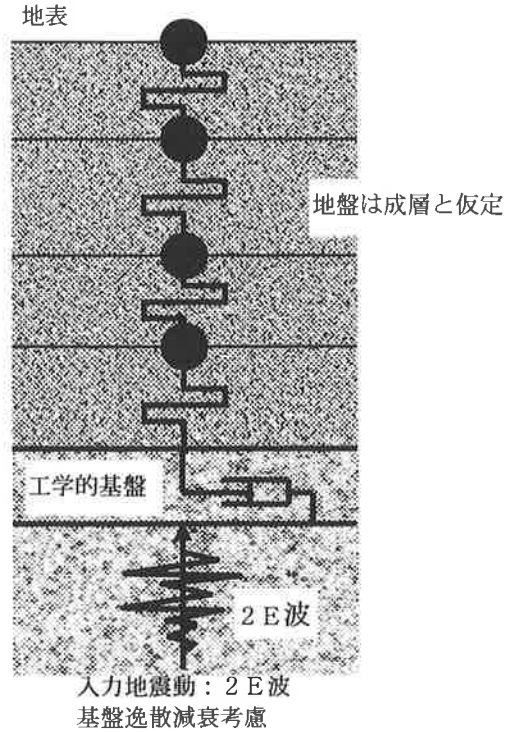


図-6 自由地盤解析モデル

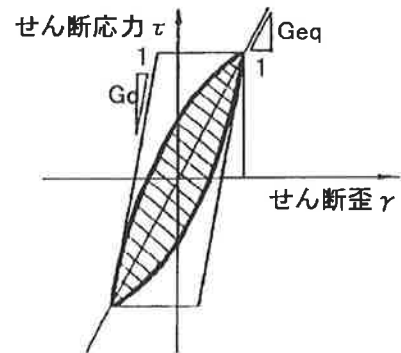


図-7 地盤のせん断応力-せん断ひずみ関係

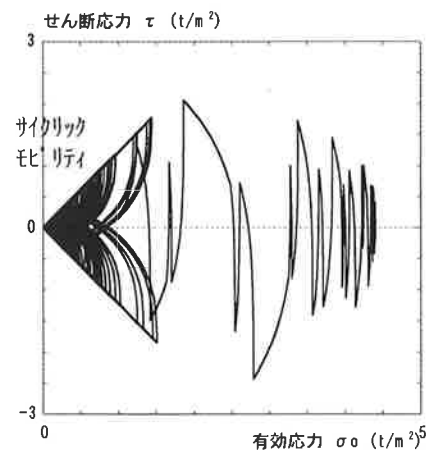


図-8 液状化した場合の時刻歴有効応力経路モデル

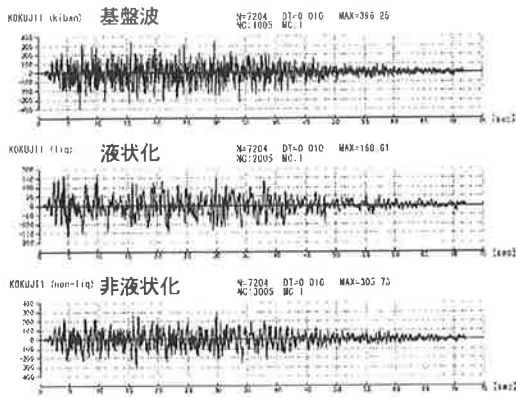


図-9 告示波1の加速度波形

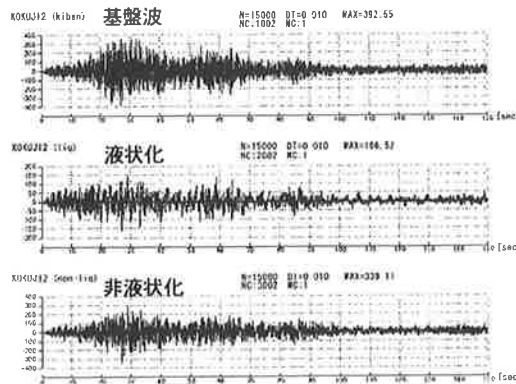


図-10 告示波2の加速度波形

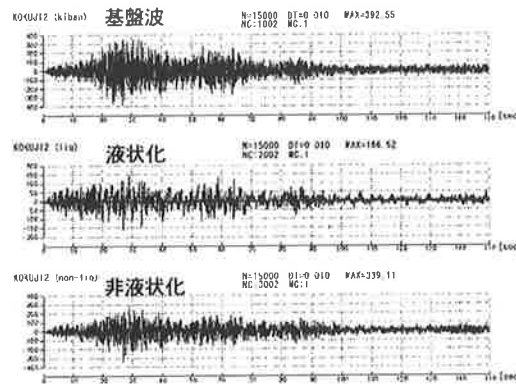


図-11 告示波3の加速度波形

表-2 入力地震動諸元一覧

レベル	稀に発生する地震動		極めて稀に発生する地震動	
	A max	V max	A max	V max
地震動の最大値				
EL CENTRO 1940 NS	255.6cm/s ²	25.0cm/s	511.2cm/s ²	50.0cm/s
TAFT 1952 EW	248.4cm/s ²	25.0cm/s	496.8cm/s ²	50.0cm/s
HACHINOHE 1968 NS	165.1cm/s ²	25.0cm/s	330.2cm/s ²	50.0cm/s
告示波1 (液状化)	61.1cm/s ²	11.8cm/s	168.6cm/s ²	49.8cm/s
告示波2 (液状化)	67.8cm/s ²	9.1cm/s	166.5cm/s ²	37.3cm/s
告示波3 (液状化)	80.6cm/s ²	9.3cm/s	206.5cm/s ²	40.7cm/s
告示波1 (非液状化)	61.1cm/s ²	11.8cm/s	305.7cm/s ²	59.1cm/s
告示波2 (非液状化)	67.8cm/s ²	9.1cm/s	339.1cm/s ²	45.5cm/s
告示波3 (非液状化)	80.6cm/s ²	9.3cm/s	403.0cm/s ²	46.4cm/s

5.3 解析モデル

解析モデルは、B2階床位置を固定(入力位置)とし、B1階床とB2階床の間に免震層を持つ17質点系モデルとする。本建物は5、6階部分で2棟に別れていることから、質点系モデルもその部分で2箇所に分けて評価している。

免震層の水平バネは、鉛プラグ入り積層ゴムと天然ゴム系積層ゴム及びすべり系支承の並列バネとする。また、各免震装置の鉛直方向の剛性から算出されるロッキングバネを考慮する。

鉛プラグ入り積層ゴムと天然ゴム系積層ゴムの解析モデルは修正バイリニアモデルをより実験結果に近く評価した菊池モデルとし、すべり支承はバイリニアモデルとした。

上部構造の復元力特性は武田モデルとし、その折れ点は弾塑性荷重増分解析結果より設定した。減衰は内部粘性型とし、フレーム部分の1次固有振動に対する減衰定数を $h=0.02$ とする瞬間剛性比例型とした。

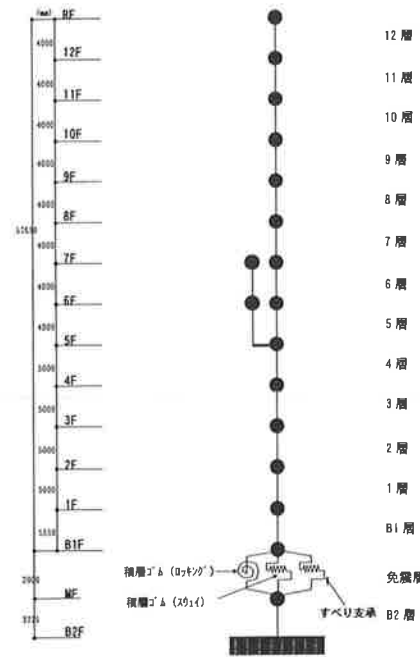


図-12 振動解析モデル

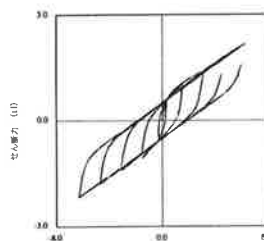


図-13 積層ゴムモデル

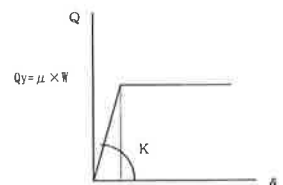


図-14 すべり支承モデル

5.4 固有値解析結果

基礎固定時及び上部建物の最下階床 (B1階床) を固定とした時の固有値解析結果を示す。

表-3 固有値解析結果

ケース	X方向	Y方向
上部建物 B1階床位置固定	1.104 s	1.239 s
基礎固定時 (ゴムひずみ 50%)	3.010 s	3.036 s
基礎固定時 (ゴムひずみ 100%)	3.543 s	3.565 s
基礎固定時 (ゴムひずみ 200%)	3.962 s	3.981 s

5.5 レベル2応答解析結果

レベル2地震応答解析 (標準状態) より得られたX、Y方向の解析結果を図-15~図-16に示す。また、地震応答解析のまとめを表-4に示す。

本建物は表-4の結果に示すように、目標耐震性能を満足することが確認された。

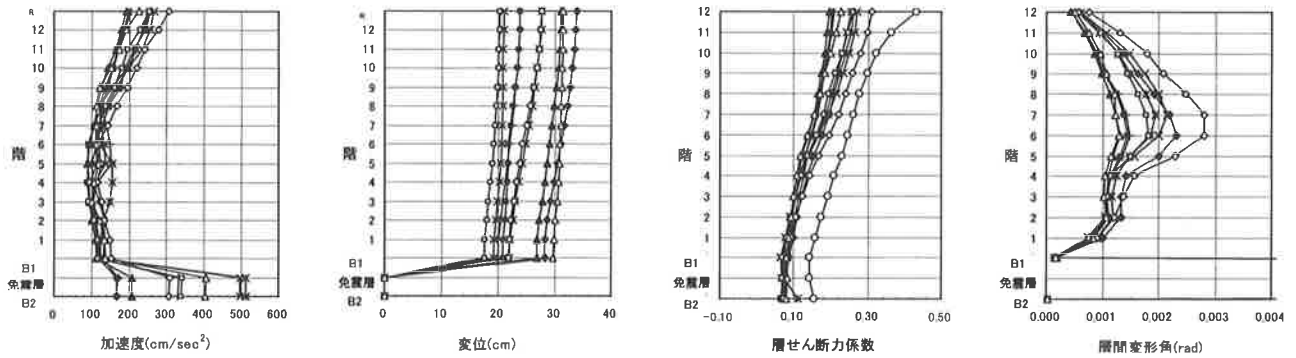


図-15 X方向地震応答解析結果 (標準状態)

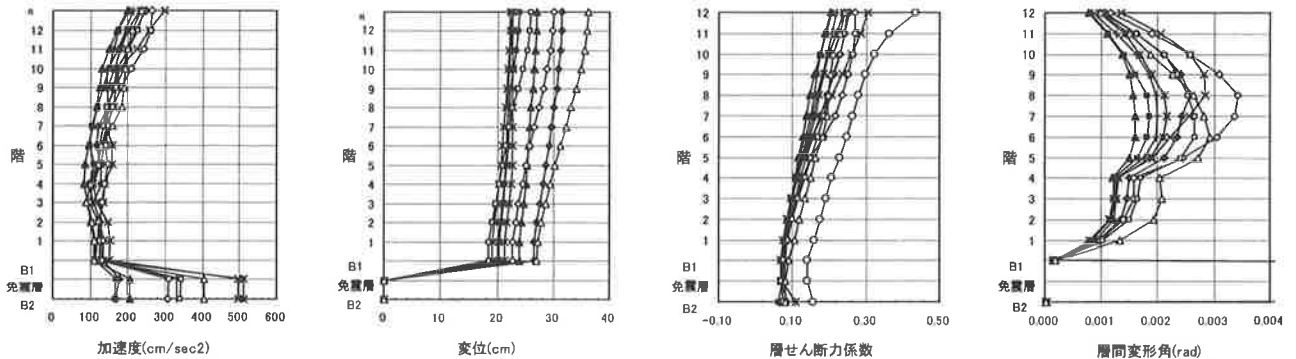


図-16 Y方向地震応答解析結果 (標準状態)

- ◆ 告示波1(液状化) ◇ 告示波1(非液状化) ※ EL CENTRO NS
- 告示波2(液状化) □ 告示波2(非液状化) × TAFT EW
- ▲ 告示波3(液状化) △ 告示波3(非液状化) † HACHINOHE NS
- 弾性限耐力

表-4 地震応答解析結果の評価 (免震材料のパラツキを考慮)

入力レベル	耐震性能目標	確認内容	X 方向		Y 方向		
			目標値	最大応答値 (免震材料のパラツキを考慮)	目標値	最大応答値 (免震材料のパラツキを考慮)	
耐震	上部構造	弾性限耐力以下	B1階層せん断力係数	0.142以下	0.106 (告示波3 非液状化)	0.144以下	0.107 (告示波3 非液状化)
	下部構造	許容応力度以下	B2階層せん断力係数	0.156以下	0.097 (告示波3 非液状化)	0.159以下	0.124 (EL CENTRO 1940 NS)
性能 目標	性能保証変形以下 積層ゴムの引張り 面圧 1.0N/mm ² 以下	最大せん断ひずみ 積層ゴム 最小面圧		225%以下 -1.0N/mm ² 以上	169% (告示波1 液状化) 0.7N/mm ² (告示波1 液状化+上下動)	225%以下 -1.0N/mm ² 以上	165% (告示波1 液状化) 0.9N/mm ² (告示波1 液状化+上下動)

5.6 杭の検討

レベル2地震時に地盤が液状化すると、大きな地盤変位を生ずる可能性がある。従って、杭の設計用応力はChangの式で計算する慣性力による応力と、地盤の強制変位で生じる応力(応答変位法)の重ね合わせとした。慣性力は地盤が液状化した場合のレベル2の最大応答せん断力とし、応答変位法での地盤の強制変位量は液状化した地盤モデルでの時刻歴有効応力解析で得られた最大応答変位量とした。

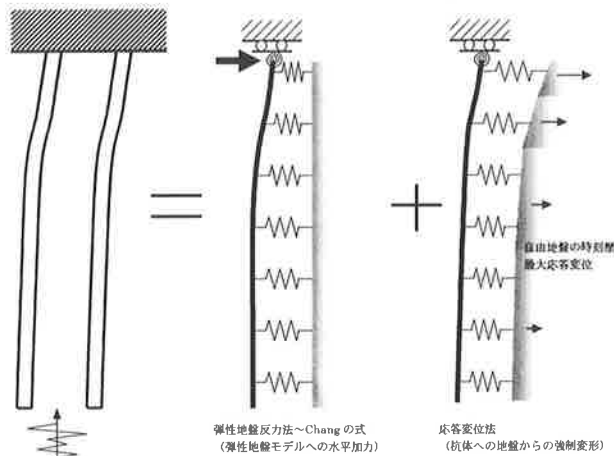


図-17 応答変位法の概念説明

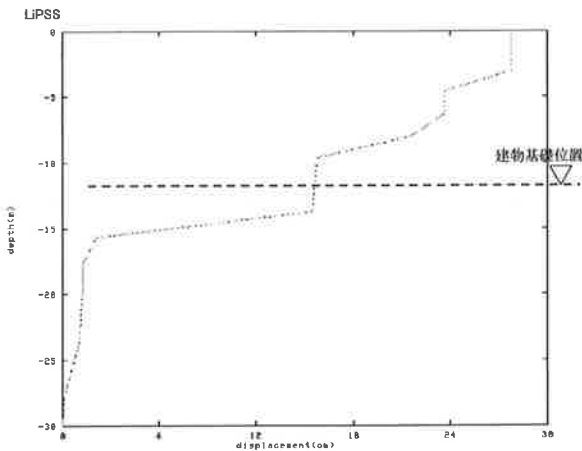


図-18 自由地盤の時刻歴最大応答変位

表-5 抗体の設計用応力

杭の設計用せん断力と抗頭モーメント

軸径 (mm)	杭設計用せん断力 Q_d (kN)	抗頭固定モーメント① (慣性力による応力) (kNm)	抗頭固定モーメント② (強制変位による応力) (kNm)	①と②とのRMS (kNm)
2300	1867	11297	3996	11983
1900	1288	7131	2588	7586
1400	652	3079	1983	3662

①と②とのRMS * : $\sqrt{①^2 + ②^2}$

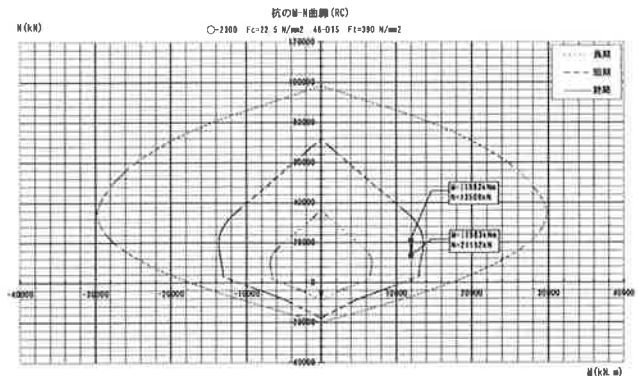


図-19 抗体の断面算定

6. おわりに

大規模な敷地を確保する上で、これからもウォーターフロントは建設地として有望な地域である。一方で、臨海地域は液状化の危険性が高い場所でもある。

本報告書は液状化の危険性が高い地盤に免震構造の建物を設計する一手法を提示した。しかしながら、液状化地盤における免震構造の設計はまだ実例も少なく、設計者の創意と工夫による新たな設計法の構築が望まれる。