

2 . 構 造 計 画

(1) 基本方針

本建物は、市庁舎として求められる機能性、快適性、安全性を満足する空間の実現及び経済性、耐久性、施工性を十分に考慮して設計します。

特に安全性に関しては、大地震等の災害時にも建物の損傷を軽微に留めることにより市庁舎の機能を維持し、業務が継続できる高い耐震性能を有する施設造りを目標とします。

(2) 耐震安全性の目標と耐震構造システム

1) 耐震安全性の目標

地震時における耐震安全性は、「官庁施設の総合耐震計画基準」を参考にⅠ類に相当する耐震性を確保します。

官庁施設の総合耐震計画基準における耐震安全性の分類と目標(構造体)

対 象 施 設	分 類	耐震安全性の目標
特に構造体の耐震性能の向上を図るべき施設	Ⅰ 類	大地震後、構造体の補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られている。
構造体の地震性能の向上を図るべき施設	Ⅱ 類	大地震後、構造体の大きな補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全性確保に加えて機能確保が図られている。
建築基準法に基づく耐震性能を確保する施設	Ⅲ 類	大地震により構造体の部分的な損傷は生じるが、建築物全体の耐力の低下は著しくないことを目標とし、人命の安全性確保が図られている。

参考に建物の JSCA 性能メニューの耐震性能グレードと地震時における建物状態の概念図を右に示します。ここでⅠ類の建物は特級（免震）に相当します。

非構造部材の耐震安全性は A 類を確保します。

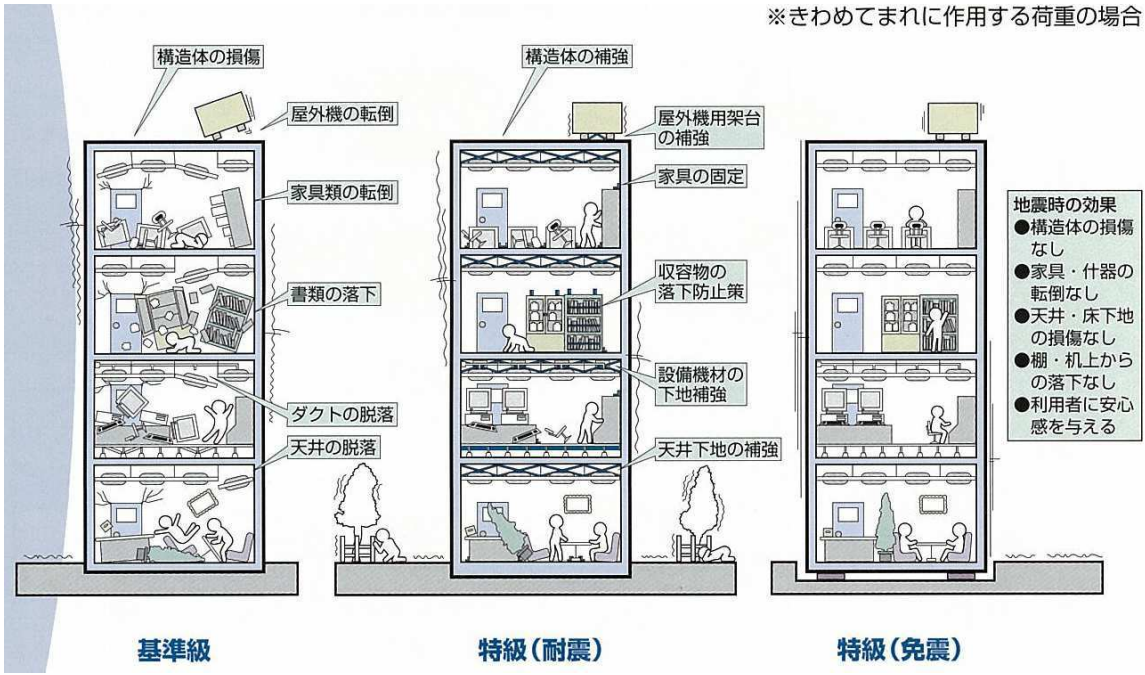
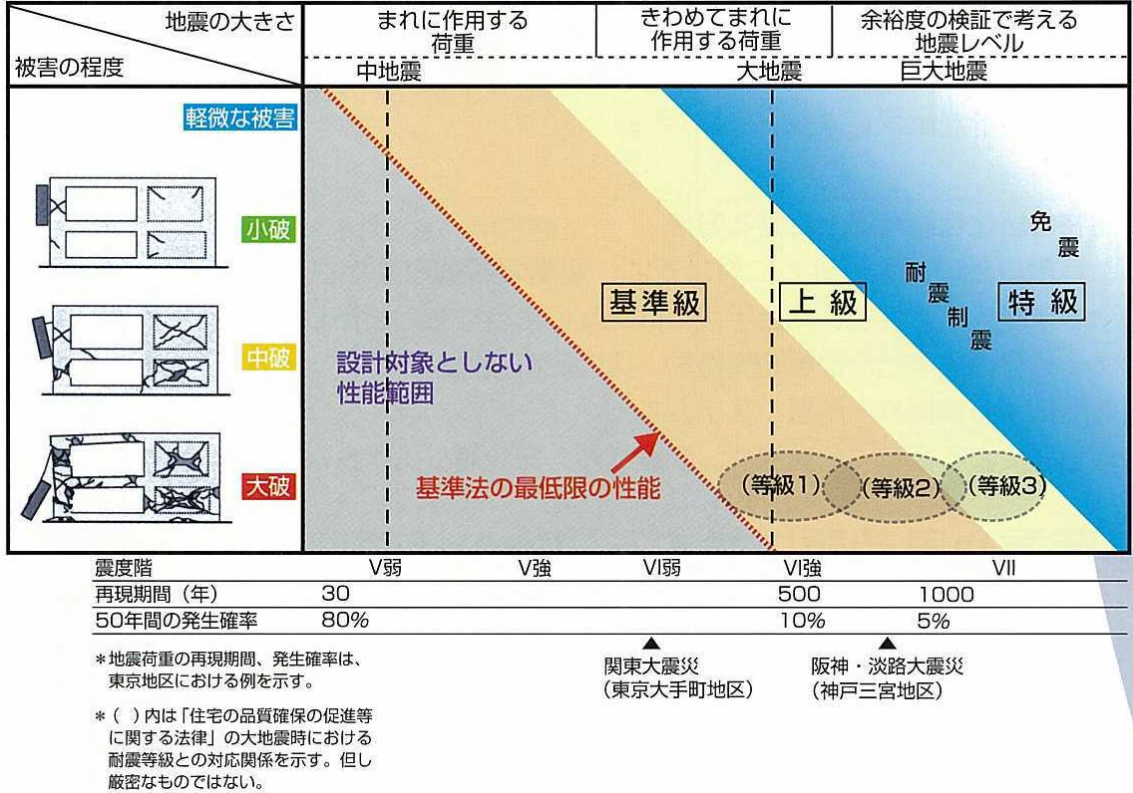
官庁施設の総合耐震計画基準における耐震安全性の分類と目標（非構造部材）

	分 類	耐震安全性の目標
建築 非構造部材	A 類	大地震動後、災害応急対策活動や被災者受け入れの円滑な実施、又は危険物の管理の上で、支障となる建築非構造部材の損傷、移動等が発生しないことを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られている。
	B 類	大地震動により建築非構造部材の損傷、異動などが発生する場合でも、人命の安全確保と二次災害の防止が図られている

2) 耐震構造システム

大地震時の、激しい揺れによる不安感を軽減できる「免震構造」を採用して、大地震後にも庁舎機能を維持できる構造とします。

免震層の位置は全館を免震とすることのできる「基礎免震構造」とします。



建物グレードと地震時の状態
(「JSCA 性能メニュー」(社団法人 日本建築構造技術者協会) より)

平成 26・27 年度千葉県地震被害想定調査報告書によると、下図（想定地震とマグニチュード）に示す①千葉県北西部直下地震(M7.3)、②大正型関東地震 (M7.9)の2つの地震が、影響の大きい地震として波形計算による調査がおこなわれています。

これらの地震はそれぞれ以下のような目的で検討されています。

① 千葉県北西部直下地震：南関東地域で発生する可能性の高い M7 クラスの地震のうち人口が集中し被害が大きくなると想定され、防災・減災対策を主眼に置く県北西部の地震

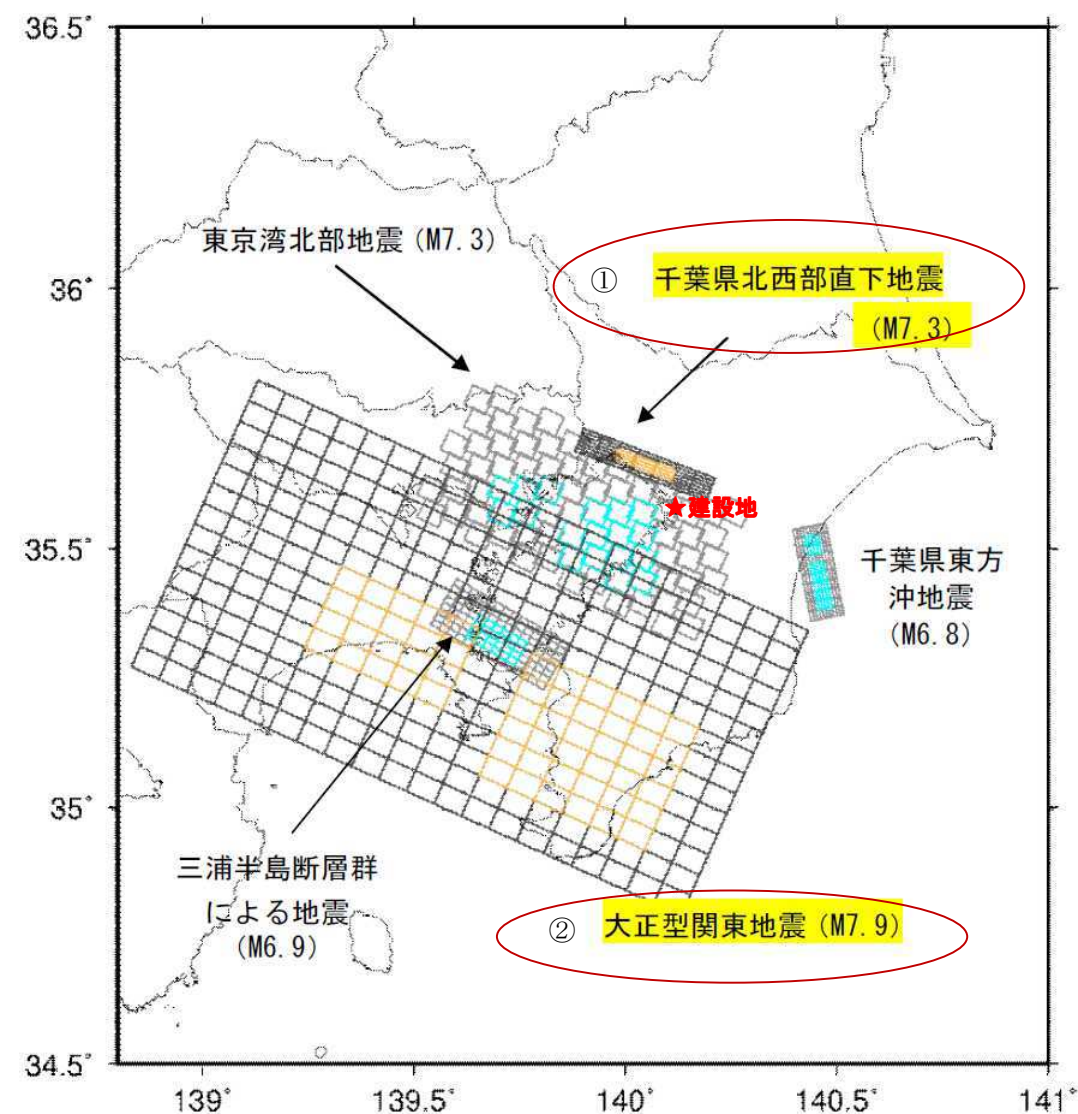
② 大正型関東地震：当面発生する可能性は低いが、長期的視点に立った対策の対象とする地震

これは、2013 年の内閣府の調査を受けたものとなっています。

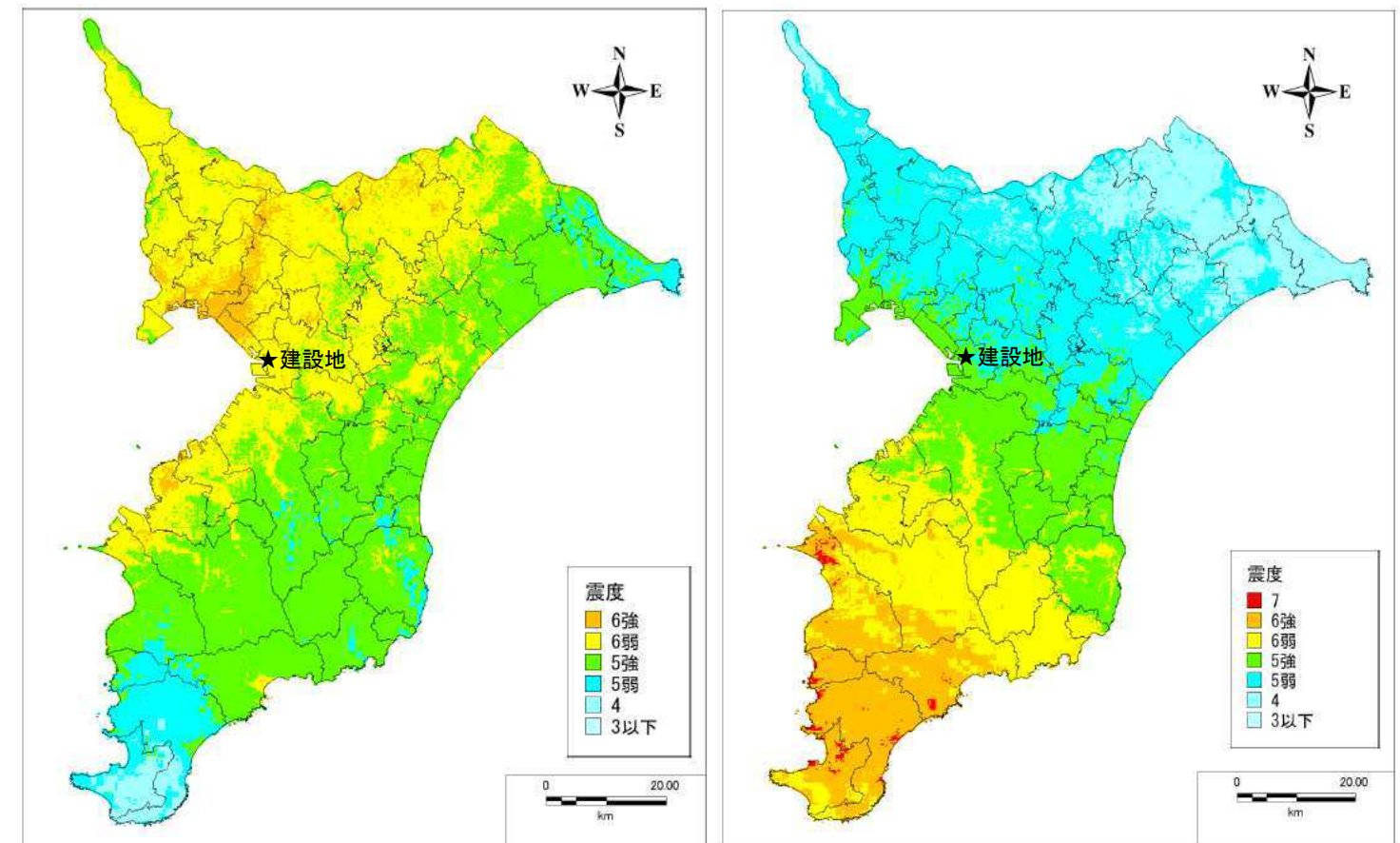
これらの地震による、建設予定地での想定震度はそれぞれ①震度 6 弱、②震度 5 強程度が予測されており、

①千葉県北西部直下地震が本計画の敷地に大きな影響を与えるものと考えられます。

右図に報告書に示される震度分布の図を示します。



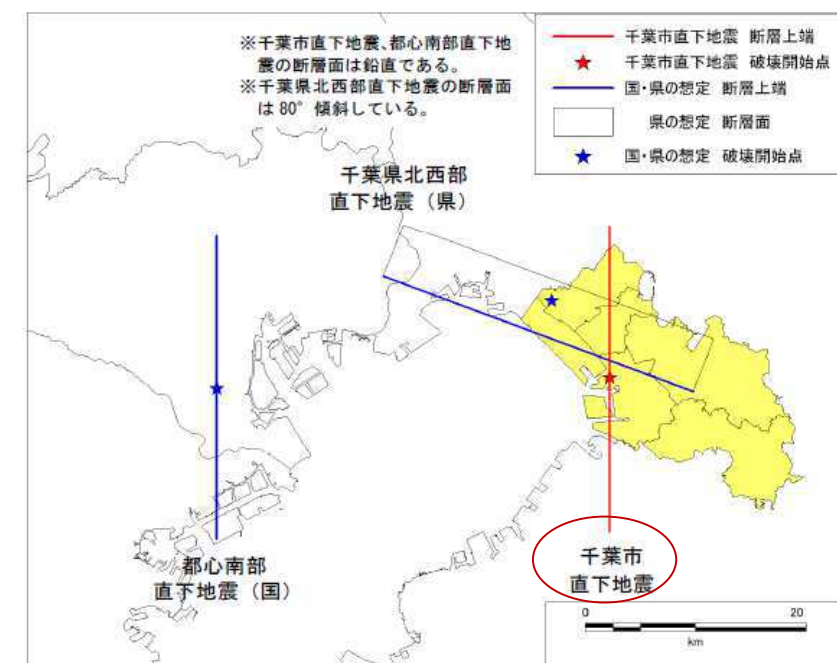
想定地震とマグニチュード



①千葉県北西部直下地震

②大正型関東地震

一方、千葉市地震被害調査報告書 (H29.3)においては下図に示すような千葉市直下地震を検討しています。この地震に関しても直下型の地震として震度 6 強程度の震度が予想されていますが、防災計画用に検討されたもので設計用に供される詳細データは想定されていないことから、本建物では同様に大きな震度が予測される県で想定された①千葉県北西部直下地震をサイト波として検討するものとします。



(4) 地盤概要と基礎計画概要

1) 敷地地盤の概要

敷地地盤は TP-1m 程度まで盛土 (Bs) があり、その下部の TP-19m 付近まで N 値の小さい沖積の砂質土層 (As1,As2)と粘性土層(Ac1,Ac2)が交互に現れています。TP-19m 程度以深から洪積の砂層(Ds1,Ds2)が現れ、この層はN値が高く建物を支持する十分な強度を持った地層となっています。

敷地の水位は TP+1m 程度と高く沖積の砂層 (As1、As2) および表層の表土と盛土 (Bs,Ts)は液状化が懸念される層となっています。下図に建物の基礎および杭と地盤の関係を示した模式図を示します。

2) 液状化対策

建築基礎構造設計指針に基いて地盤の液状化判定を行った結果、浅い部分にある盛土 (Bs)と砂質土層(As1)は大地震時にほぼ全体に液状化の恐れがある結果となっています。また、TP-14~17m 付近の As2 層も液状化の恐れがあるもののその範囲は部分的となります。

本計画では、H27.3 月の基本計画と同様に、液状化対策工法は静的締固め砂杭工法とし大地震時に液状化の程度が軽微となることを目標とします。

表層の Bs 層と As1 層を改良すれば、As2 層の部分的な液状化の影響はわずかであるため、TP-9m 程度までの液状化層を改良することとします。

改良深さとピッチは建物の範囲により深さ 10.5m(ピッチ 1.6m)と 12.5m(ピッチ 2.0m) とります。下図に本計画の改良範囲を示します。

3) 基礎形式

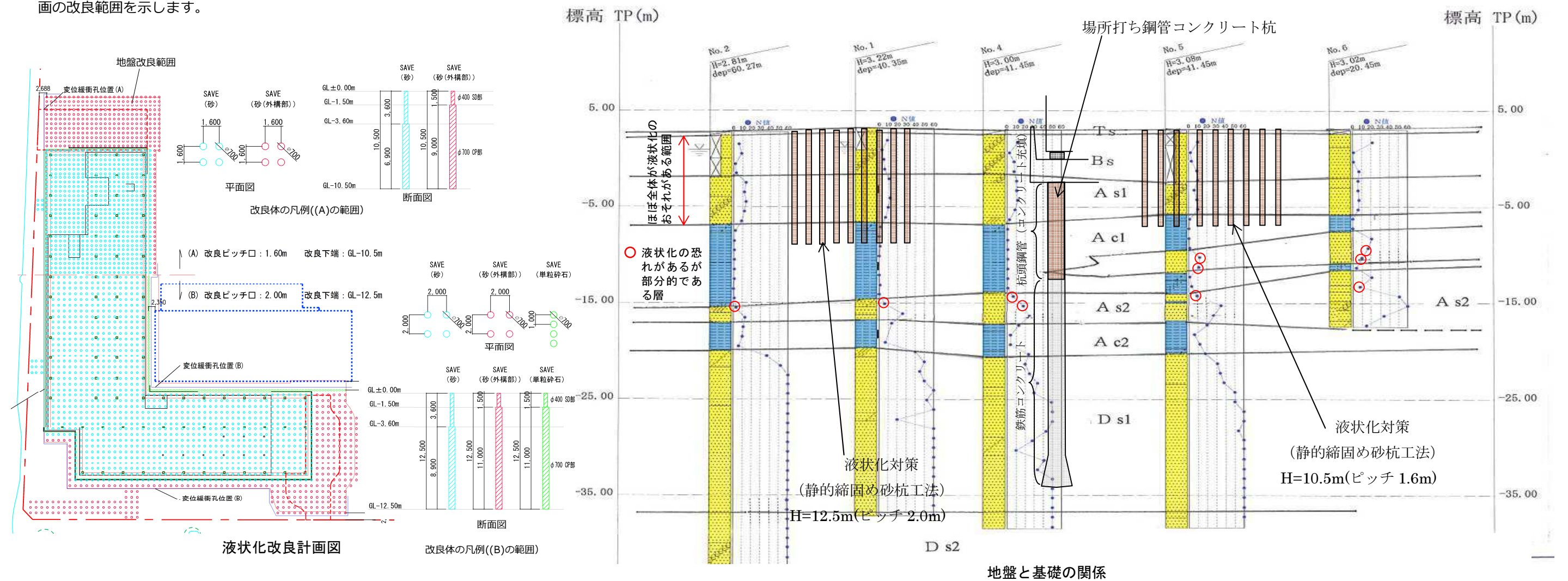
建物の基礎は TP-19m(GL-22m)程度以深の洪積の砂層 (Ds1) を支持層とする杭基礎とし、杭先端位置は安定して 50 以上のN値が現れる TP-34m(GL-37m)程度とします。

4) 杭種

本建物は大地震時にも機能維持が要求される免震構造の建物であるため、杭が抵抗する地震力も大きくなります。また、建物規模も大きく 15000kN 程度の荷重を支持する必要があるため、杭種は以下が想定されます。

- a) 場所打ちコンクリート杭 (アースドリル拡底工法)
- b) 場所打ち鋼管コンクリート杭 (アースドリル拡底工法、杭頭鋼管巻き)
- c) 鋼管杭 (先端翼付き回転貫入鋼管杭工法)

これらの比較検討により、本計画では b) 場所打ち鋼管コンクリート杭とします。



(5) 設計用入力地震動

本建物は免震構造の建物であり、建築基準法施行令 1461 号に基づき、「時刻歴応答解析法」により構造計算を行い、大臣認定を取得する設計ルートとします。

設計に用いる入力地震動は、告示波 3 波、観測波 3 波、長周期地震 1 波および前述の千葉県北西部直下地震とします。

1) 告示波

平 12 建告第 1461 号のスペクトルに適合する模擬地震波で、位相特性には、

a) 遠距離型地震動 (kokuji-H) : Hachinohe 1968 EW の位相

b) 近距離型地震動 (kokuji-K) : JMA Kobe 1955 NS の位相

c) 一般的な地震動 (kokuji-R) : 一様乱数で決めた位相

を採用します。また、地盤調査結果に基づき、 $V_s = 400\text{cm/s}$ 程度となる工学的基盤より上の表層地盤による増幅を考慮します。

2) 観測波

過去に観測された地震動から代表的な地震波で、

a) El Centro 1940 NS

b) Taft 1952 EW

c) Hachinohe 1968 NS

を採用します。

最大速度 25cm/sec で基準化したものを「稀に発生する地震動」とし、 50cm/sec で基準化したものを「極めて稀に発生する地震動」とします。これらは、性能評価の審査で検討することが決められています。

3) 長周期地震動

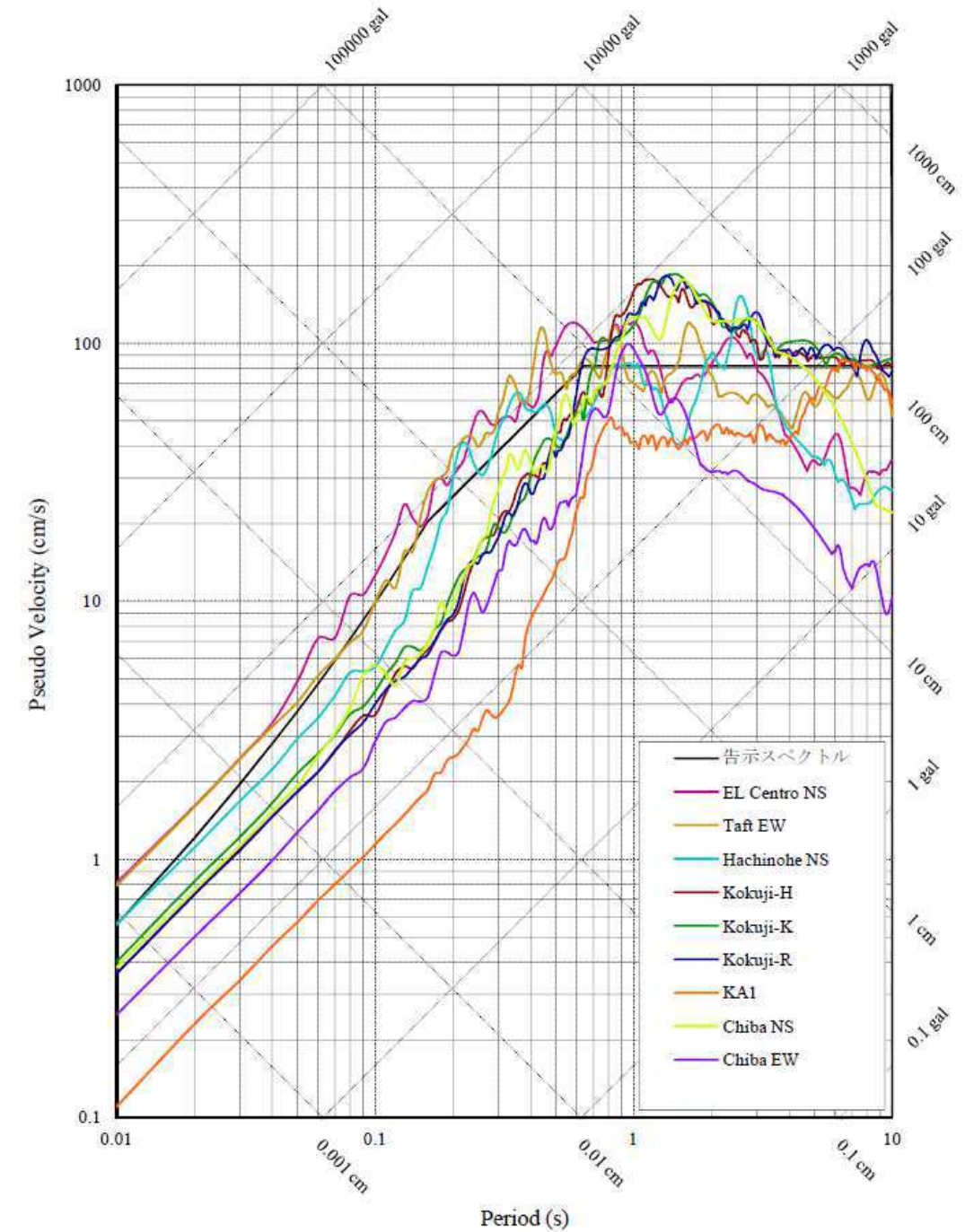
H28.6 に国土交通省より提示された「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震対策について（技術的助言）」において検討を該当地域に建設される免震建物に義務づけられた模擬地震波 KA1 を長周期地震動として検討します。右図に該当地域の図を示します。 $V_s = 400\text{cm/s}$ 程度となる工学的基盤より上の表層地盤による増幅を考慮します。



4) サイト波

「平成 26・27 年度千葉県地震被害想定調査報告書」で建設敷地に影響の大きい地震として調査された地震で千葉県より提供された波形データを用います。 $V_s = 400\text{cm/s}$ 程度となる工学的基盤より上の表層地盤による増幅を考慮します。

右図に表層地盤の増幅を考慮した地震波のスペクトルを示します。



疑似速度応答スペクトル (h=0.05)

1) 耐震性能目標

耐震設計目標は、想定する地震動の大きさをその発生頻度に応じて二段階に分け設定し、下表に示す目標値を満足することを確認します。

耐震設計目標

地震動のレベル	性能目標		
	上部構造	免震部材	基礎構造
稀に発生する地震動 (レベル 1)	部材：短期許容応力度以内 (上下動を考慮した場合は弾性限耐力以内) 層間変形角：1/200 以下	安定変形曲線以内 (せん断歪 \leq 133%) 支承材に引抜力が生じない	部材：短期許容応力度以内 支持力：短期許容支持力以内
極めて稀に発生する地震動 (レベル 2)		性能保証変形曲線以内 (せん断歪 \leq 266%) 支承材の引抜力は 1N/mm ² 以内	

2) 地震荷重

平成 12 年建設省告示第 1461 号による「稀に発生する地震動」と「極めて稀に発生する地震動」を用いて建物の時刻歴応答解析を行い、その結果に基づき設計用地震荷重を設定します。時刻歴応答解析に用いる地震動は「(5) 設計用入力地震動」に示す地震動とします。

3) 風荷重

風荷重は、平成 12 建設省告示 1461 号第三号および建築基準法施行令第 87 条に定められた方法で設定します。

- ・基準風速：Vo=36m/s (千葉県千葉市)
- ・地表面粗度区分：Ⅲ

4) 積雪荷重

積雪荷重は、平成 12 建設省告示 1461 号第二号および建築基準法施行令第 86 条に定められた方法で設定します。

- ・垂直積雪量：30cm
- ・積雪の単位荷重：20N/ (cm・m²)

5) 床荷重

床荷重(積載荷重)は、「建築基準法施行令第 85 条」および「国交省 建築構造設計基準 (H25)」(以下国交省基準と称す)に基づいて設定します。代表的なものを以下に示します。

単位[N/m²]

室名	床小梁	架構用	地震用	備考
屋根 (常時人が使用する)	1800	1300	600	令 85 条の住宅の居室、国交省基準
議場、傍聴席、正庁	2900	2600	1600	令 85 条の固定席の公会堂
委員会室、議長室等	2900	1800	800	令 85 条の事務室
執務室ゾーン、会議室、廊下など	2900	1800	800	令 85 条の事務室
売店、市民センター、市政情報室	2900	2400	1300	令 85 条の店舗の売場
食堂、カフェ	4900	2400	1300	国交省基準の機械室
マルチゾーン (書庫)、集密書架	11800	10300	7400	国交省基準の移動書架
マルチゾーン (書庫以外)	4900	1800	800	令 85 条の事務室の床小梁を割増
倉庫	7800	6900	4900	国交省基準の倉庫
車庫	5400	3900	2000	令 85 条の車庫
正庁ロビー、エントランス	3500	3200	2100	令 85 条の固定席でない公会堂
主機械室、屋外機置場	6000	4500	3000	※ 1
空調機械室など	4900	2400	1300	国交省基準の機械室※ 1

※ 1：実施設計において、機器の仮定荷重を反映し、実状に応じた荷重を設定します。

(7) 架構計画概要

1) 架構概要

- 構 造：免震構造（1 階床下に免震層を配置した基礎免震）
規 模：地上 11 階
構造種別：柱部材：鉄骨造
梁部材：鉄骨造（1F の梁（免震層の直上の梁）のみ SRC 造）
床版：鉄筋コンクリート造（普通スラブ、合成スラブ）
プレストレストコンクリート床版（執務室無天井部分）
基礎・土圧壁：鉄筋コンクリート造（RC 造）
構造形式：ブレース付きラーメン構造
基礎形式：杭基礎 場所打ちコンクリート杭（頭部鋼管巻き）、液状化対策の地盤改良併用

2) 使用材料

- 主な使用材料を示します。
コンクリート：Fc21(地上部)、Fc36(1F の梁、床など)、Fc36(基礎部)
Fc50(プレストレストコンクリート床版部分)
鉄 筋：SD295A (D10～16)、SD345 (D19～25)、SD390 (D29 以上)
鉄 骨：柱(BCP325,SN490,TMCP385,TMCP325)、大梁(SN490,TMCP385)、小梁など(SN400)
免 震 部 材：支承部材（積層ゴム支承、弾性すべり支承、直動転がり支承）
ダンパー（鋼材ダンパー、オイルダンパー） [全て大臣認定品]

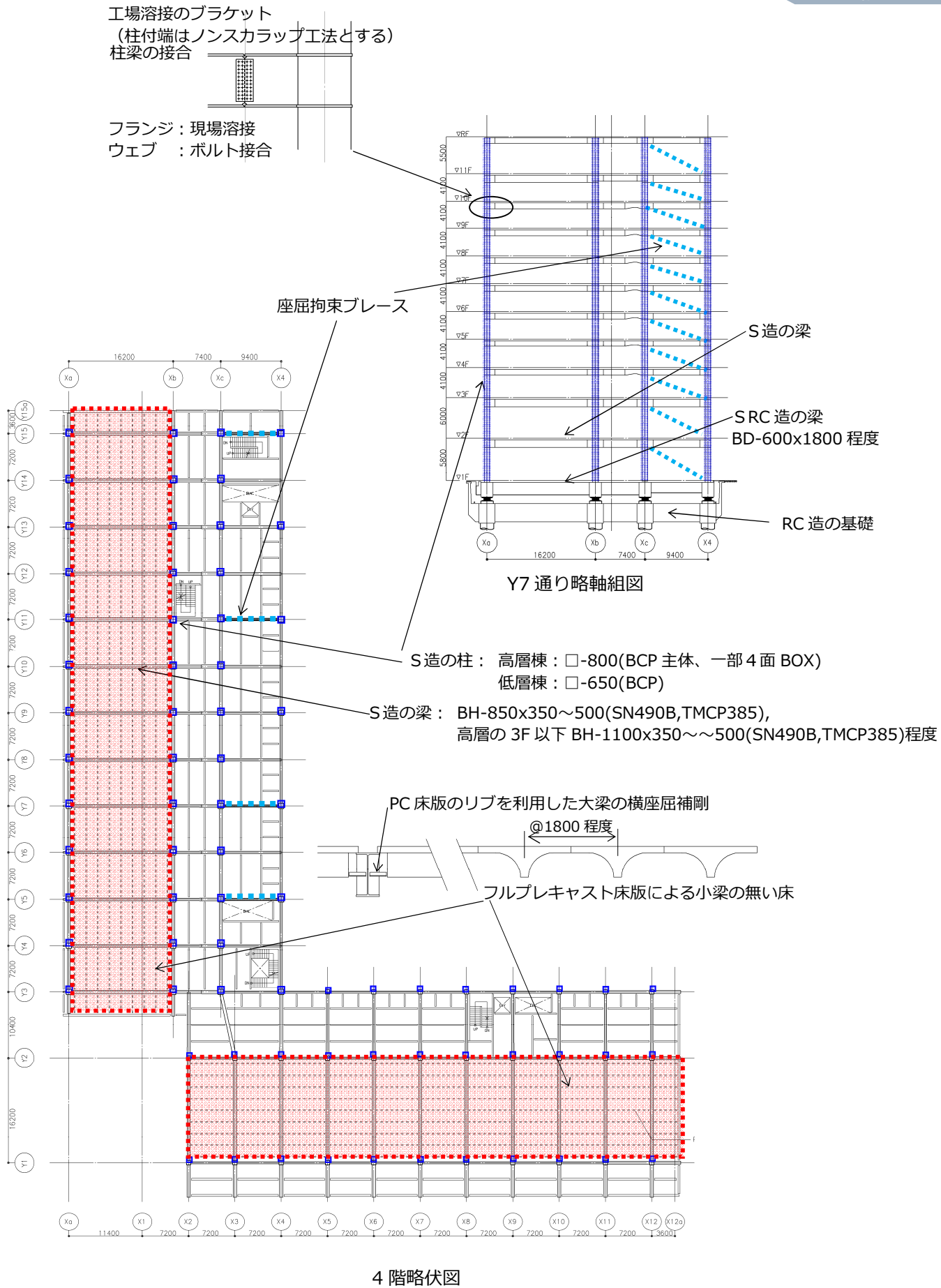
3) 架構計画の概要

a) 主体構造

- 建物のスパン計画は 7.2mx16.2m グリッドを基調にし、高さも 55m 程度と比較的大きな高さ・スパン構成となっています。以下に上部構造の架構の概要を示します。
- 高さ 45m を越える比較的高層の建物であり、スパンも 16.2 m と大きいため地上階は鉄骨造（S 造）とします。
 - 高層部のロングスパン方向（X 方向）は耐震要素として座屈拘束ブレースを配置し高層の大きな地震力を効率よく負担させ、耐震性を高めるとともに経済性にも配慮した架構計画とします。
 - 柱梁の接合はブラケット形式とします。
 - 大きな平面の執務室は無天井化による小梁のない計画を行うため、フルプレキャストのリブ付きプレストレストコンクリート床版（ST 版または DT 版、PC 床版と呼ぶ）を用いて小梁の無い床とします。（11F 床は在来工法）
 - 小梁のない P C 床版部分の大梁の横補剛は、PC 床版のリブを利用することとし、大梁と床版のリブの間に鉄骨の束材を入れ、梁の横座屈を補剛することとします。
 - まちかど広場の屋根を受ける柱は柱頭と柱脚にピン接合の金物（ユニバーサルジョイントなど）を設置して免震建物の変形に追従する構造とします。

b) 下部構造

- 免震層下部の構造体は、鉄筋コンクリート造(R C 造)により基礎梁、基礎、ピットおよび土圧壁として計画します。鉄筋コンクリート造とすることで、基礎構造と免震構造を堅牢な構造体で連結します。
右図に構造計画を説明する図を示します。



(8) 免震構造計画概要

1) 免震構造システム

免震構造は、建物と地盤（基礎または下部構造）の間に免震部材（免震層）を設置する架構形式で、安全に建物を支持するとともに、地震時には水平方向に柔らかい免震部材が変形することで地震エネルギーの大部分を吸収し、建物に伝わる地震エネルギーを大幅に低減する構造システムです。

免震部材に要求される機能を以下に示します。また、代表的な免震部材の種類を右表に示します。

- ① 地震の揺れが建物に伝わらないように縁を切る「絶縁機能」
- ② 地震の揺れを受けても常に安定して建物重量を支える「支持機能」
- ③ 地震の揺れ幅を少なくする「減衰機能」
- ④ 地震後に、建物が元の位置に戻るための「復元機能」

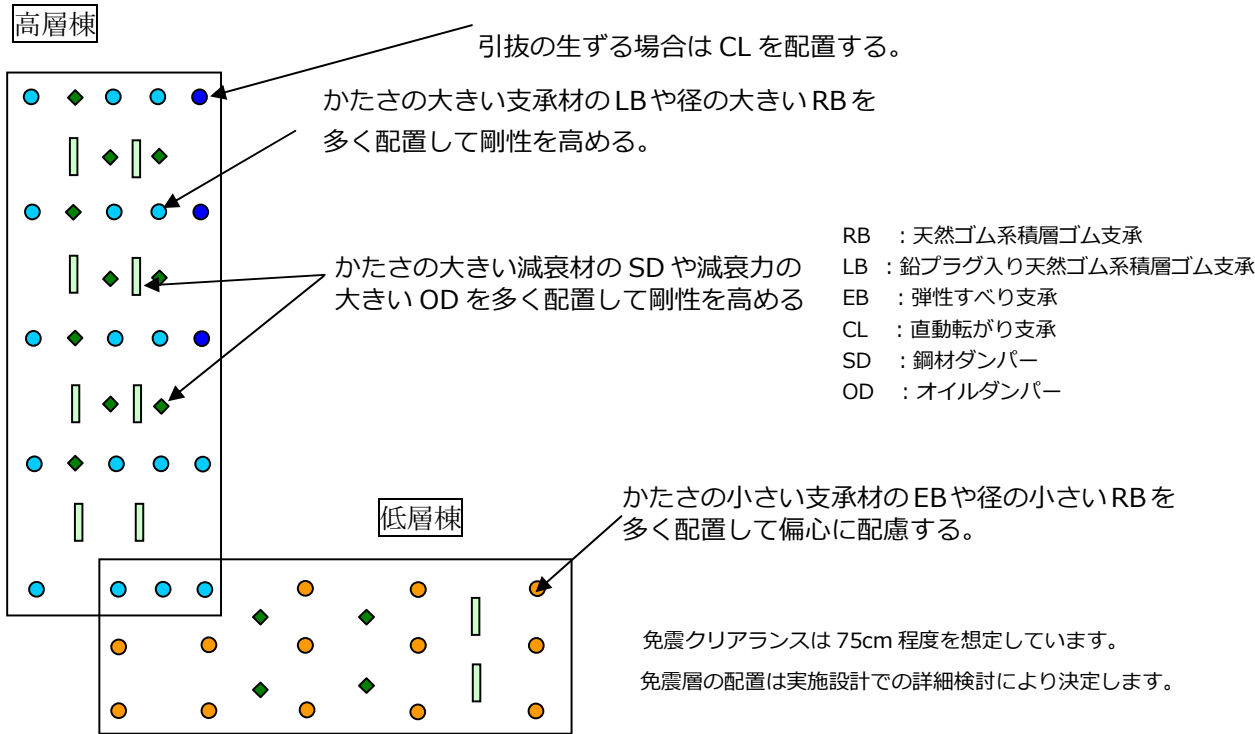
免震部材を上記の機能で分けると、①、②、④の機能を満たす「アイソレータ（支承）」（種類によっては③の機能を併せ持つ）と、③の機能を満たす「ダンパー（減衰材）」の2種類となり、これらを最適に組み合わせることで大きな免震効果が得られます。

2) 免震構造計画方針

本計画では、1階床下に免震層を設ける基礎免震構造とします。免震部材の配置計画の方針を以下に示します。

- ① 柱の直下には積層ゴムアイソレータまたは弾性すべり支承を配置します。ただし、引張力が生ずる場合は直動転がり支承を配置し引張力に抵抗することとします。
- ② 免震層の変形が小さいときから地震のエネルギーを吸収し、免震層のねじれ剛性を高める目的で、鉛を組み込んだ鉛入り積層ゴムアイソレータを配置します。
- ③ 変形が大きくなる大地震時に有効で経済性の高いダンパーとして、鋼製ダンパーを配置します。
- ④ 減衰効果が高く、免震層の変形が小さいときから地震エネルギーを吸収できるダンパーとして、オイルダンパーを配置します。
- ⑤ ダンパーの配置は免震層がねじれが生じないように偏りがない配慮をします。

L型平面のねじれに配慮した免震部材配置のイメージ



種 類	特 徴	免震部材の形状 (注)
R B 天然ゴム系積層ゴム アイソレータ	・天然ゴムと鋼板の薄板を多層に重ねたもので、鉛直方向に高い剛性、水平方向に柔らかい剛性を有しており、線形性に富んでいる。 ・エネルギー吸収能力はないので、他のダンパーと組み合わせることで様々な設定が可能である。	
L B 鉛プラグ入り 積層ゴム アイソレータ	・積層ゴムの中央に設けられた円形の中空孔に鉛または錫を封入し、水平変形時にその塑性変形によりエネルギーを吸収するダンパー内蔵型の積層ゴム。 ・ダンパーが一体型であるため、省スペースで施工上の利点がある。	
E B 弾性すべり支承	・端面にテフロン（四フッ化エチレン）樹脂のすべり材がついた積層ゴムとすべり板（ステンレス板に表面処理したもの）を組合せた支承。 ・すべることにより免震層の長周期化が図れる。	
CL 直動転がり支承	・ボールベアリングを用いたスライダーを十字に組み合わせたもので、摩擦係数が極めて小さいため、免震層の長周期化が図れる。 ・引抜き抵抗があるため、引抜きが生ずる箇所にも使用できる。	
S D 鋼製ダンパー	・鋼板をU型に加工したものを組合せたもので、必要に応じて4本～8本を1箇所を設置する。 ・鋼材の塑性変形によりエネルギーを吸収する。	
O D オイルダンパー	・オイルが密閉されたシリンダーの中をピストンが押し引きされる際に生ずる減衰力によりエネルギーを吸収する。 ・吸収したエネルギーは熱として放出される。	

(注) 代表的な形状例を示す。

(8) 免震構造計画概要

3) 免震構造の維持管理

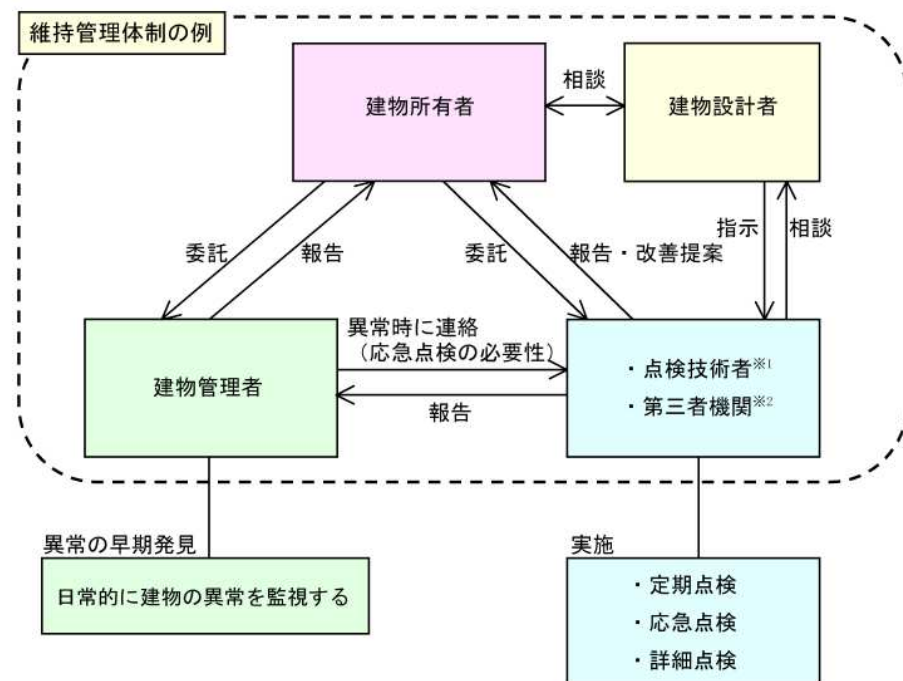
免震建物に限らず、建築物は建築基準法第 8 条の規定により適切に管理されなければなりません。免震建物における免震部材は建物の支持性能及び耐震性能を左右する重要な装置であり、専門技術者を要する適切な維持管理体制を設ける必要があります。

以下に免震装置の維持管理を行う上で必要な点検の種別、目的、実施時期等に関して、点検内容の概要、維持管理体制の例を示します。

この例は「(社)日本免震構造協会 免震建物の維持管理基準-2014-」に準じたものです。

- ・竣工時検査 : 今後の点検に必要な初期値を測定する目的で、建物の竣工時に施工者及び工事監理者の立会いのもとに実施します。
- ・定期点検 : 定期的に異常の有無を検出する目的で行います。毎年免震層の見回りを実施するほか、建物竣工後 5 年、10 年、以後 10 年毎に計測を含めた点検を実施し記録に留めます。
- ・応急点検 : 災害に迅速に対応する目的で行います。概ね震度 5 弱以上の地震または台風により免震層に大きな変位を生じた場合及び火災、浸水などの災害の影響が免震層に及んだ場合に、災害を受けた直後に目視を中心とした見回りを実施します。
- ・詳細点検 : 定期点検あるいは応急点検で免震装置の異常が認められた場合に、原因の把握と対応を検討するために、計測を含めた詳細検討を実施します。

各種点検の他に、積層ゴムの経年による特性変化の程度を確かめる目的で別置試験体を設置し、必要に応じて特性試験等を行う場合もあります。また、本建物の地震時における免震装置の挙動を推定し、実施する点検項目を定める際の目安とするために、地震計や変位計などを設置し計測を行うことを検討します。



維持管理体制（例）

免震部材の点検項目（例）

点検の種類				定期点検		定期点検（応急点検）	
実施時期				1 回/年程度		竣工後 5、10 年、以降 10 年毎 （応急点検は被災時）	
位置		点検項目		調査箇所	調査方法	調査箇所	調査方法
免震部材	積層ゴム系	積層ゴムの外観	傷	全数	目視	目視は全数 計測は 指定箇所	目視・計測
		鋼材部の状況	腐食（発錆）		目視		目視
			取付部		目視		目視
		積層ゴムの変位	鉛直変位		—		計測
			水平変位		—		計測
	すべり系	すべり板	汚れ・異物付着	全数	目視	目視は全数 計測は 指定箇所	目視
			腐食（発錆）		目視		目視・計測
			傷		目視		目視・計測
		装置の変位	鉛直変位		—		計測
			水平変位		—		計測
		鋼材部の状況	腐食（発錆）		目視		目視
			取付部		目視		目視
			防塵カバー		目視		目視
	転がり系	転がり面	汚れ・異物付着	全数	目視	目視は全数 計測は 指定箇所	目視
			腐食（発錆）		目視		目視
			傷		—		計測
		装置の変位	鉛直変位		—		計測
			水平変位		—		計測
		鋼材部の状況	腐食（発錆）		目視		目視
			取付部		目視		目視
			防塵カバー		目視		目視
	ダンパー	弾塑性系	状況（外観）	全数	目視	目視は全数 計測は 指定箇所	目視
			腐食（発錆）		目視		目視
			取付部		目視		目視
			形状		—		計測
		流体系	状況（外観）	全数	目視	目視は全数 計測は 指定箇所	目視
			腐食（発錆）		目視		目視
			取付部		目視		目視
			装置の変位		—		計測
			粘性体・オイル		目視		目視
免震層・建物外周部	建物	建物外周部の状況	減衰		—		必要に応じて計測
			減衰係数		—		
			クリアランス		目視		計測
			建物位置標識		—		目視
免震層・建物外周部	免震部材	免震層の状況	建物位置	指定位置	—	指定位置	計測
			不同沈下		—		必要に応じて計測
			クリアランス		目視		計測
			可燃物		目視		目視
配管・配線・可撓部	設備管	可撓継手部	排水状況	免震層全体	目視	免震層全体	目視
			取付状況・液汚れ		目視		目視
			傷・亀裂		目視		目視
			余長		目視		目視
その他	配電線気	変位吸収部	避雷針・アース	全数	—	全数	目視
			初期値		—		目視
			位置・個数		—		目視
			ばね係数・等価減衰係数		—		必要に応じて計測

なお、別置き試験体については、メーカー保有の別置き試験体のデータにて予測することを前提に設置を省略する場合があります。

※ 1 （社）日本免震構造協会が認定した資格技術者

※ 2 （社）日本免震構造協会など

出典 （社）日本免震構造協会「免震建物の維持管理基準」