

清水庁舎、静岡庁舎の耐震性解析結果と今後の検討の進め方について

1 発表趣旨

令和 6 年 3 月に、清水庁舎と静岡庁舎の耐震性解析（第 3 段階目の診断＝最終診断）が完了したため、その結果と今後の検討の進め方についてご説明する。

2 経緯

（1）清水庁舎

清水庁舎においては、2011 年 3 月の東日本大震災を契機に現清水庁舎が大規模災害を受けた場合の業務継続に与える影響を把握するために、2012 年度に、第 1 段階目の診断として、日本建築防災協会「既存鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準 同解説」の規定に基づく「第 1 次診断法（柱・壁のコンクリート断面積に基づいて算定された強度によって耐震性能を評価する診断方法）」による診断を実施した。

この結果、耐震性能に問題があることがわかったが、第 1 段階目の診断は簡易的な耐震性能評価であるため、さらに詳細な耐震診断が必要となった。

そのため 2013 年 3 月に、第 2 段階目の診断として、部材（柱と壁）のコンクリート強度だけではなく、鉄筋や鉄骨も含めた強度と粘り強さを考慮した日本建築防災協会「既存鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準 同解説」の規定に基づく「第 2 次診断法」による耐震診断を実施した。

この結果、静岡県が目標とする庁舎に求められる耐震の目標値を下回り、補強が必要であることがわかった。

その後、2023 年 4 月の新市長就任に伴い、2017～2022 年度の清水庁舎の「移転建て替え」「現位置建て替え」「現位置改修」の整備方針の検討経緯を改めて精査した。

その結果、『現時点において、清水駅東口には庁舎の移転先としての十分な用地がなく、かつ、清水庁舎の耐震改修は緊急を要する。ライフサイクルコスト（使用期間【例えば 20 年】の全体を通した整備・維持管理の費用）の観点からは、現位置改修案は最適案ではない。しかし、清水庁舎の利用状況等を考慮し、緊急回避策として現位置改修案を選択することが最も有力な案と考えられる。そのためには、より詳細な耐震診断とそれに基づく

耐用年数と補修費用の関係を明らかにし、その上で清水庁舎の新築又は補修方法の最終判断をする必要がある。』とした。

よって、最適な補強方法を検討するため、地震によって清水庁舎の柱、壁、梁がどのような損傷を受けるのかを把握することとした。

そのため、2023 年度に、第 3 段階目の診断として、建物が地震動によってどのように

揺れるかを数値シミュレーションモデルで詳細に再現し、その揺れによる各部材の変形や損傷の可能性を把握できる解析（時刻歴応答解析）を用いて、建物の耐震性と補修方法について詳細な検討を実施した。

（２）静岡庁舎

静岡庁舎は、1981 年の設計時に時刻歴応答解析を含む検討が行われた上で建設され、現行の耐震基準に適合している。

一方で、近年の「長周期地震動」に関する知見より、2007 年に国土交通省より

「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動への対策について（技術的助言）」（以下「長周期通知」という。）が出された。静岡庁舎は、この対策検討を要する対象地域に該当するため、新たな検討と報告が求められた。

これを受け、2008 年にスクリーニング調査（長周期地震動への対策の再検証が必要となるか否かの調査）を実施した。

その結果、長周期地震動に対し一定の余裕があり、「再検証対象建築物に該当しない」となったが、経年劣化を踏まえた業務継続性の観点から、現況建物を調査し、南海トラフを断層モデルとした地震波等も考慮した検証をすることが望ましいとされた。（しかし、その後、特に検証は行っていなかった。）

2023 年度、清水庁舎の第 3 段階目の診断の機会を活用し、南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策の必要性を確認するため、時刻歴応答解析による診断を実施した。

説明で用いる名称	内容
第 1 段階目の診断	「日本建築防災協会 耐震診断基準・同解説」の規定に基づく「第 1 次診断法」を用いた診断（注：静的な手法）
第 2 段階目の診断	「日本建築防災協会 耐震診断基準・同解説」の規定に基づく「第 2 次診断法」を用いた診断（注：静的な手法）
第 3 段階目の診断	「建築基準法」の規定に基づく「時刻歴応答解析※」（注：動的解析手法） 参考として「日本建築防災協会 耐震診断基準・同解説」の規定に基づく「第 3 次診断法」（注：静的な手法）も実施

3 時刻歴応答解析

(1) 時刻歴応答解析の概要

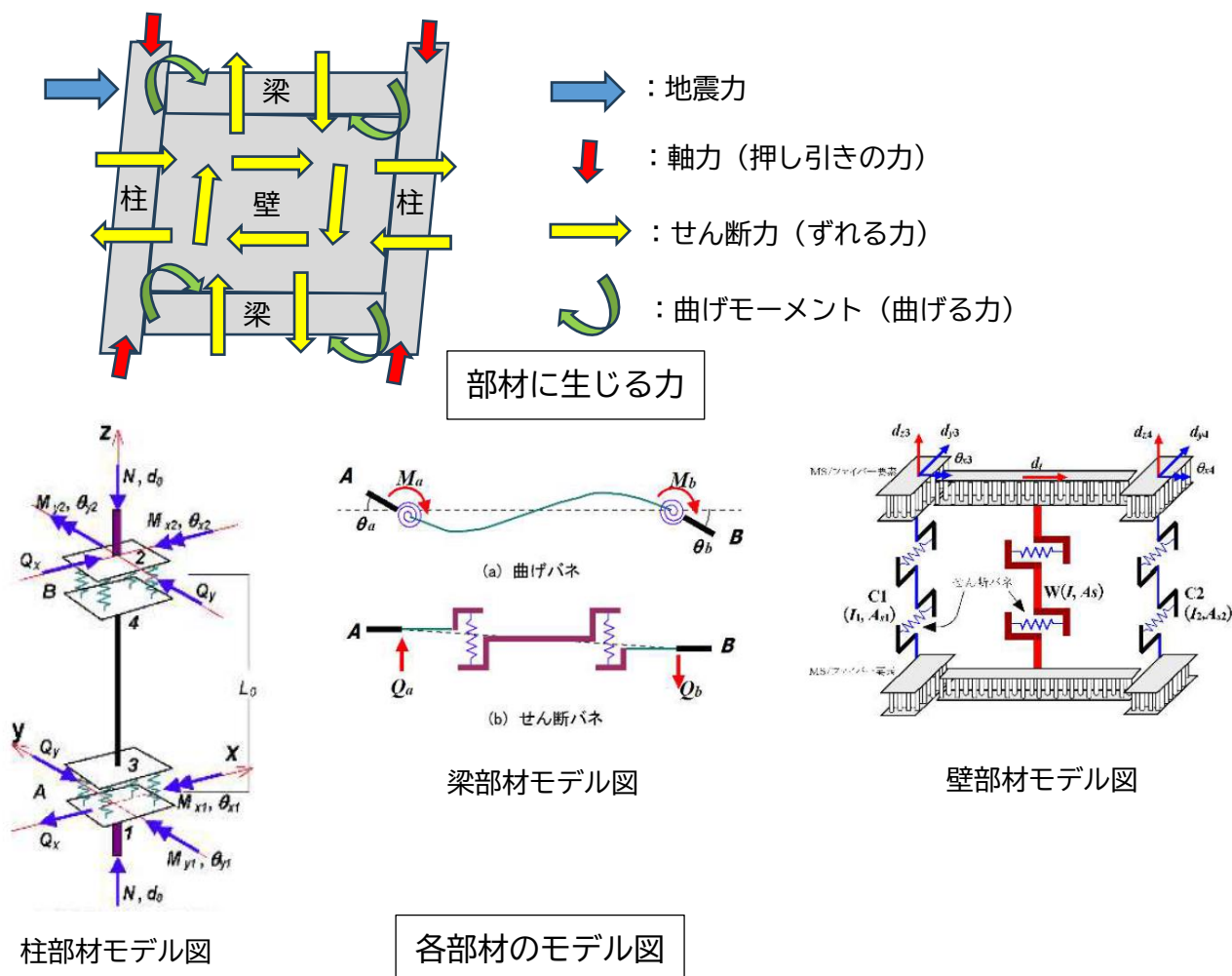
時刻歴応答解析は、建物の耐震性能を把握するために行う解析方法。コンピュータ上で柱・梁・壁をモデル化して、想定される地震波によって建物がどのように揺れるかを数値シミュレーションすることで、建物の各部材（柱・梁・壁）の変形や損傷の可能性を把握できる。今回の清水・静岡両庁舎の解析では、あらゆる形の建物に対応する解析ソフト「株式会社システム SNAP Ver8(8.0.1.3)」を使用した。

(2) 解析の進め方

①建物の地上部分のモデル化

まず、解析を進めるにあたり、建物地上部分の柱・梁・壁といった部材をコンピュータ上でモデル化を行う。今回の解析の場合、部材はコンクリートと鉄筋や鉄骨といった鋼材で作られているため、それら材料の特性を踏まえてモデルを構築する。

解析時に想定する地震波をモデルにあてると、各部材には軸力（部材方向の力）、せん断力（部材と直行方向の力）、曲げモーメント（部材を曲げる力）といった力が加わって変形し、結果的に建物全体も変形する。

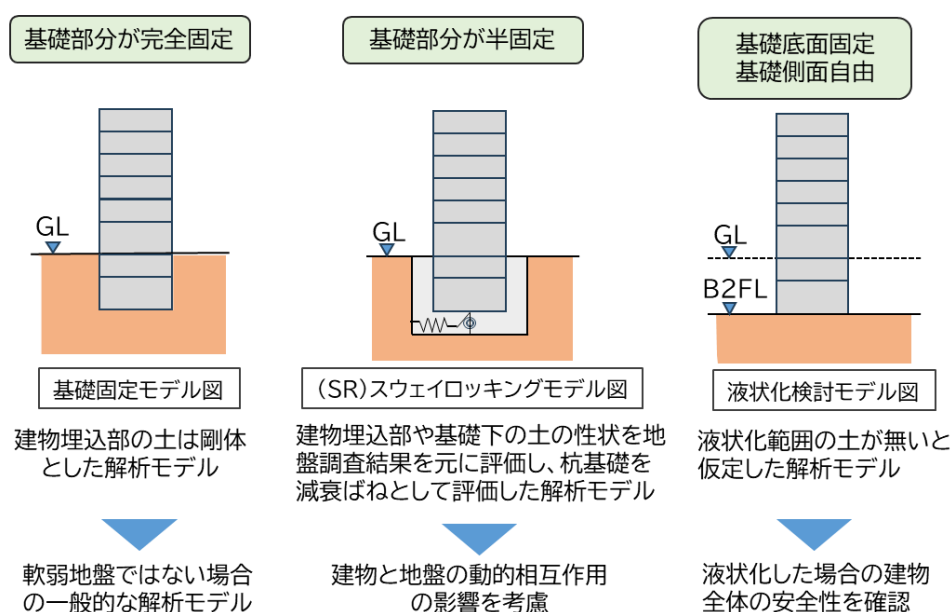


②建物の地下部分のモデル化

次に、建物地下部分のモデル化にあたっては、一般に建物が建築されている地盤の特性を踏まえたモデルの構築を行う。

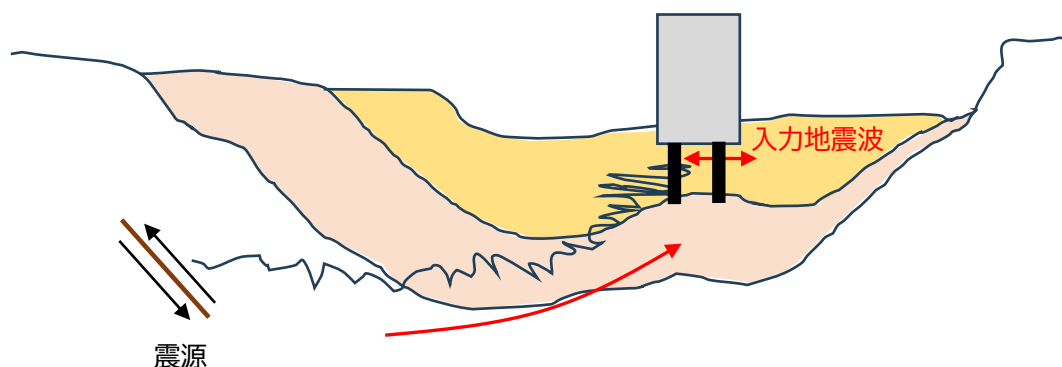
清水庁舎においては、地盤調査によって表層地盤に軟弱な部分があり、かつ、大地震時に液状化する可能性があることがわかった。このため、地盤特性を考慮した「スウェーイロッキング (SR) モデル」と、液状化により地下部分の建物側面が土による抵抗を受けない場合を想定した「液状化検討モデル」の2パターンで解析を行った。

静岡庁舎においては、表層地盤が比較的良好で液状化の危険性がないため、一般的な「基礎固定モデル」にて解析を行った。



③解析に用いる地震波

地震波は、震源から地盤を介して建物に伝わる。そのため、解析時は地震波の値を震源から地盤を通る際の影響を考慮して、建物の基礎底に入力する。



※解析に使用した地震動

今回の時刻歴応答解析は、静岡地方で 30 年以内に発生確率が高い M8.0～9.0 の規模の巨大地震の影響を想定している。そのため、南海トラフ地震を想定した長周期地震動や、建物の立つ場所で想定される大地震の詳細な予測（サイト波）、その他、国内の建物の耐震検討に共通に用いられる地震動（告示波）、実際の地震で観測された地震動などを用いた。

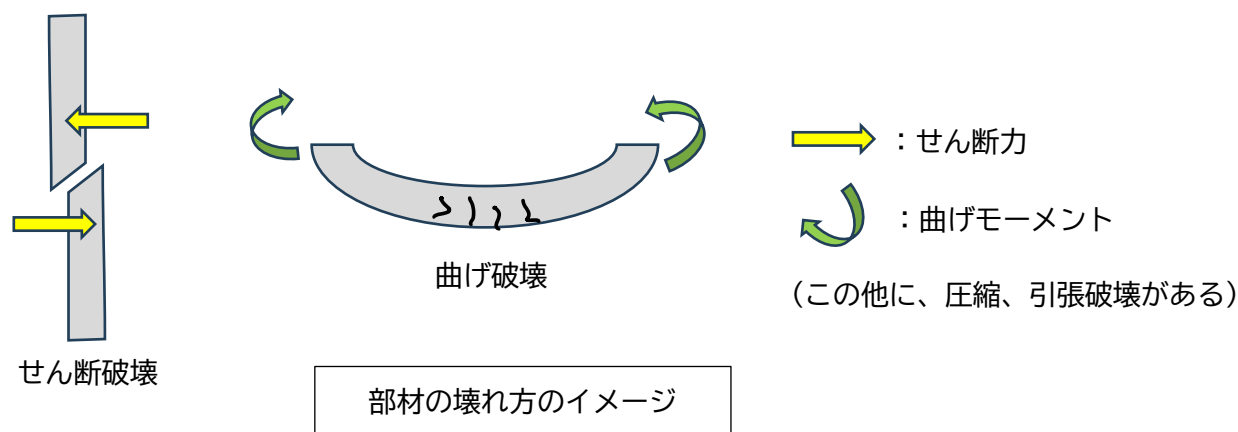
【解析時に入力する地震波】

南海トラフ地震（1波）	南海トラフ巨大地震を想定した模擬地震動 国土交通省より提供された M9.0 程度の地震波形を使用 （東北地方太平洋沖地震と同規模）
サイト波（1波）	富士川河口断層帯の模擬地震波 静岡市付近の活断層のうち最大（M8.0 程度）の地震波
告示波（6波）	建設省告示第 1461 号に基づく模擬地震波
観測波（3波）	日本建築センターから提供されている観測地震波 （過去に観測された最大級の地震波） ① El Centro 1940、②Hachinohe 1968、③Taft 1952

4 時刻歴応答解析によりわかること

（１）建物損傷部分（脆弱性がある部材）

時刻歴応答解析では、さまざまな地震波を入力してシミュレーションを行うため、各地震波に対して、どの部材がどのような損傷を受けるのかを把握することができる。一般に部材の破壊には下図のような種類がある。



（２）建物全体の耐震性（層間変形を踏まえた評価）

一般的に建物は各部材の破壊が重なり崩壊する。そして、建物全体が地震発災時に崩壊するか否か（耐震性）は層間変形※で評価することが合理的である。

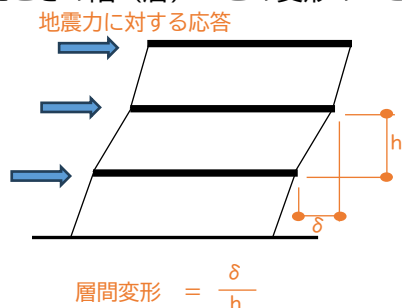
層間変形は、上の階と下の階（層）の間の変形の程度で評価する方法であり、変形が大きいほど層崩壊※などの危険が高くなる。

層間変形を重視するのは、以下の理由からである。

- ・ 建物の部材（柱・梁・壁など）1か所の損傷で建物全体が直ちに危険な状態になることは少ない
- ・ それぞれの階（層）が崩壊すると、建物は危険な状態となる。よって、建物の各層別の変形の程度を評価する必要がある

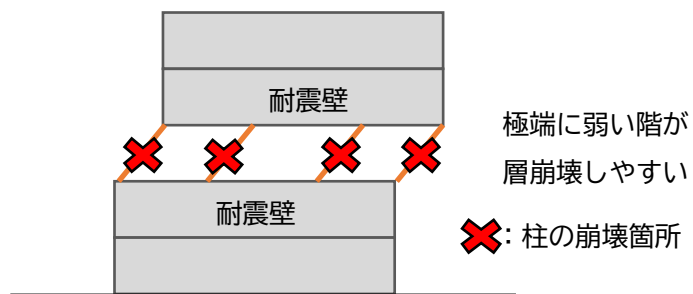
※層間変形とは・・・

地震による水平力より、建物の変形したときの階（層）ごとの変形のこと

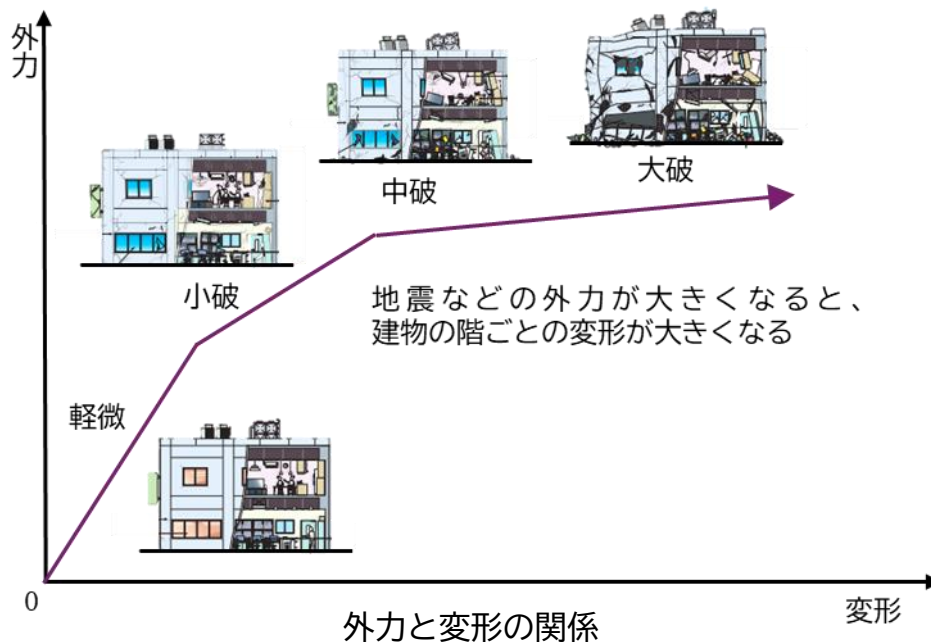


※層崩壊とは・・・

柱や壁など建物の重量を支える部材が特定の階（層）で集中的に壊れ、その階を支えることができない状態



地震の揺れ（外力）を建物が受けると各階は主に水平方向に変形し、柱や梁などが急速に損傷、崩壊することがある。その損傷度合いは次ページ図のように軽微、小破、中破、大破に区分できる。大破した場合には、階（層）全体が崩壊する層崩壊※が起き、人命に関わる危険な壊れ方となる。



イラスト：JSCA 性能設計【耐震性能編】パンフレット P4 より転載

過去の実験や被災状況などから、層間変形を 1/100（小破と中破の間）に抑えれば、余震を含め、倒壊・崩壊の危険が低いとされている（余震による損傷は受けるが、大破には至らない）。よって今回の解析では層間変形が 1/100 以下に収まるかを指標とした。

層間変形と被害の程度

層間変形 4/1000～1/100

1/100～2/100

2/100 以上

小 破	中 破	大 破
若干の変形は残るが、余震には耐える。 仕上材等にはある程度の損傷を受ける	耐力に影響する変形が残り、余震により大破に至る危険性がある。仕上材等は相応の損傷を受け、脱落する可能性がある	余震により倒壊する危険は非常に高い。 仕上材等は広範囲にわたり損傷を受け、脱落が生じる
業務などの最低限の活動に必要な機能が確保される。避難所などとして利用はできる	業務などの活動を維持する機能を失う。退避が求められるが、救助活動等の限定的な機能は確保される	建物を使用できず救助活動は困難
骨組み・仕上材等に補修を要するが、緊急性はない。補修により耐力の回復が可能	耐力が低下するため、早急に補修を要する。補修・補強により耐力の回復が可能	補修を行っても以前の耐力に回復することは困難。大規模な補修が必要

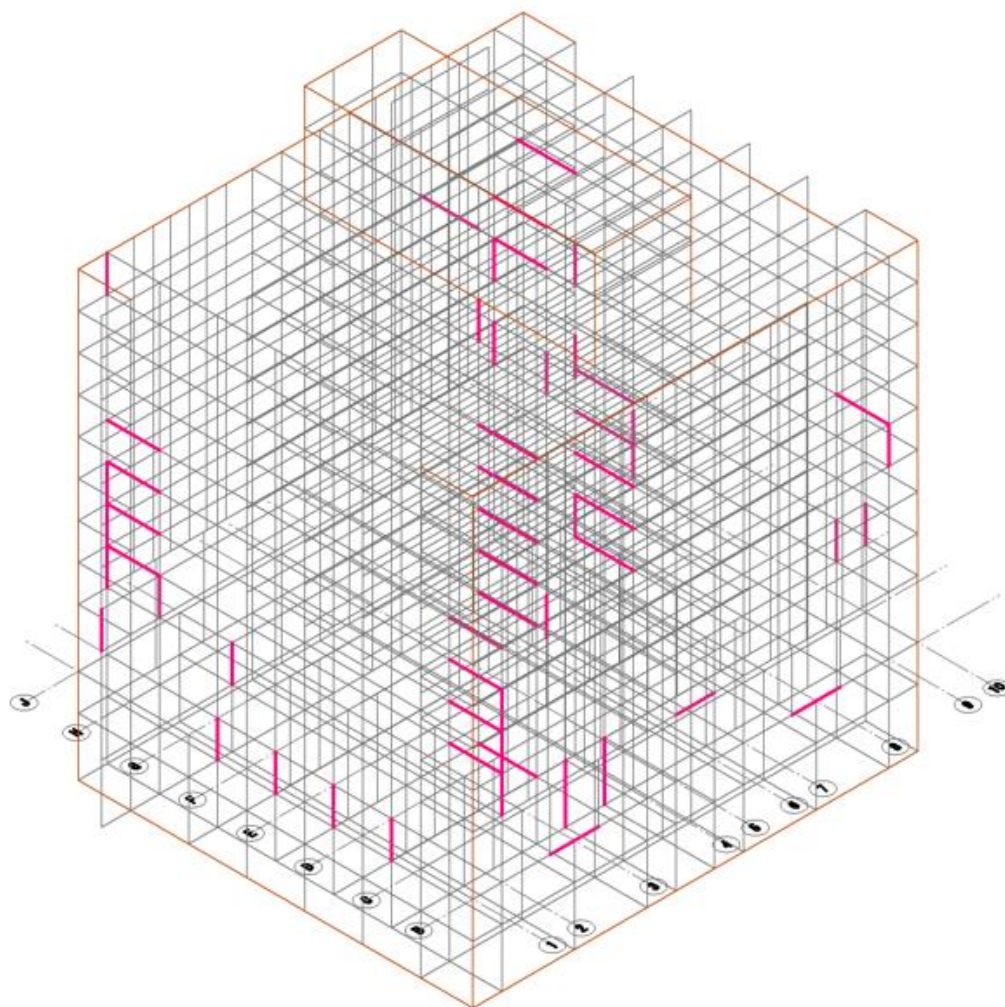
JSCA 性能設計【耐震性能編】パンフレット P4 より転載

5 清水庁舎の解析結果

(1) 地震により損傷する部材

下の図は、清水庁舎の構造部材を線で表したものである。

清水庁舎は入力した地震波のうち南海トラフ地震を受けた際に、部材に大きな損傷を受ける。その際にせん断破壊が生じる部材をピンク色で示している。



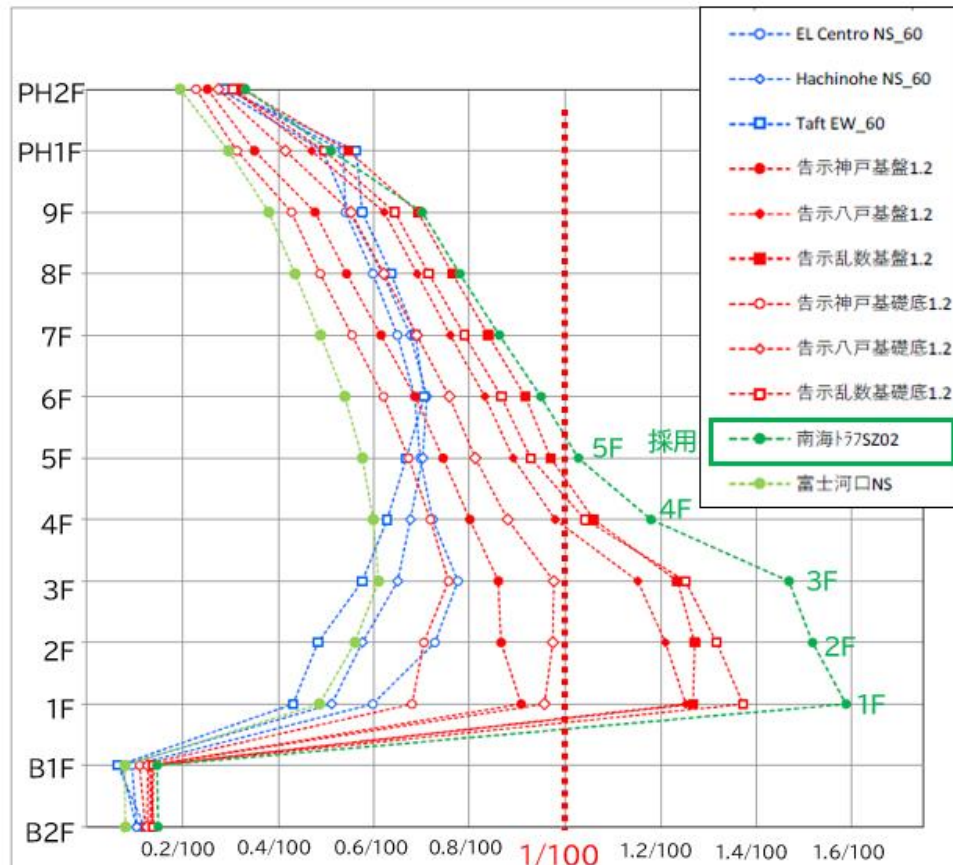
南海トラフ地震を受けた際の各部材の損傷状況
(液状化検討モデルの場合)

※曲げ破壊は、建物が急激に崩壊する危険な破壊ではないため、図示していない。

※軸力により生じる圧縮破壊は、清水庁舎に南海トラフ地震を入れた際、すべての部材で生じなかった。

(2) 層間変形

下のグラフは、各地震波を入れた際に建物の各階（縦軸）にどれだけの層間変形が生じるか（横軸）を示したものである。



液状化検討モデルにおける清水庁舎時刻歴応答解析結果
(清水庁舎の時刻歴応答解析における各階の最大層間変位)

(3) 地震を受けた際の被害

解析結果（P8、P9）を見ると、液状化検討モデルにおいて、南海トラフ地震を受けた場合が最も被害が大きい。各部材を見ると、主に低層階の柱と梁にせん断破壊が生じることがわかった。また、1～5階で、最大1.6/100の層間変位が見られ、被害の程度としては、「中破」程度の被害が出ることが想定される。これらの総評として

- ・本震直後の崩壊は免れるため、地震直後の退避は可能。
- ・地震後に変形が残り、その後の余震によって大きな被害を受けて大破に至り、安全確保が困難になる可能性がある。
- ・地震の揺れにより、天井や什器などの室内被害も甚大となり、機能維持が困難な状態が予想される。
- ・建物全体でみると、4階以下の低層階が弱い。

※什器…机や椅子等のオフィス家具、書棚等の収納家具、パーテーションやカウンター等

6 清水庁舎の補修方法の検討の進め方について

以上の解析結果を踏まえて、今年度は解析結果で判明した部材の損傷と層間変形に対する具体的な耐震補強方法を検討する。

具体的には、

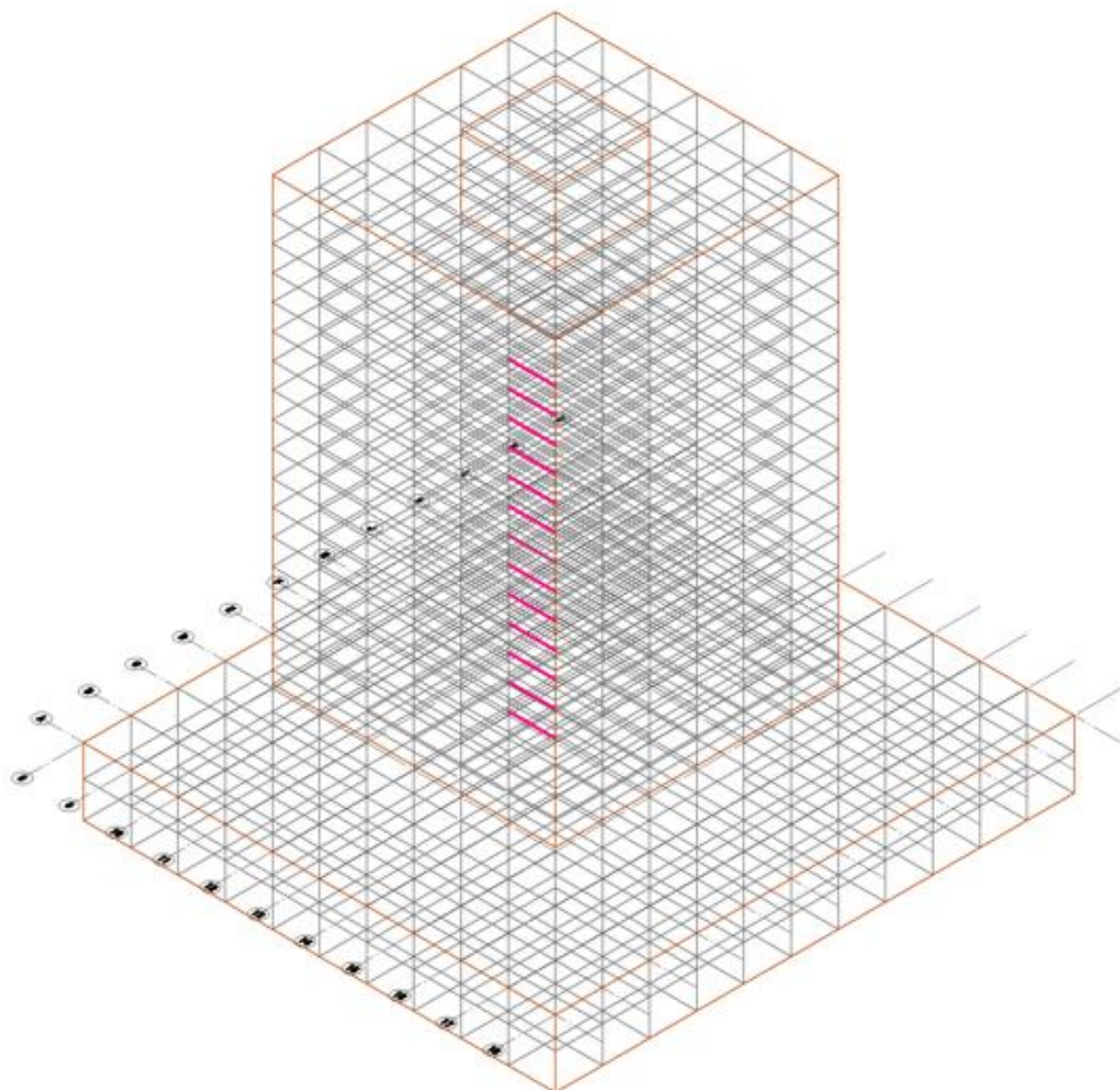
- ①弱点となっている部分の部材の補強や構造的な補強、利用制限による軽量化等により層間変形や被害を抑える方法を検討し、シミュレーションにより層間変形を算出する。
- ②層間変形を十分低減できないときは、揺れを抑える制振ダンパー等を使用した方法など、複数の方法を検討し、層間変形を抑える。
- ③様々な補修方法の費用対効果を比較し、最適な補強方法を決定する。

7 静岡庁舎の解析結果

(1) 地震により損傷する部材

下の図は、静岡庁舎の構造部材を線で表したものである。

静岡庁舎は、入力した地震波のうち、観測波八戸地震を入れた際に、部材に大きな損傷を受ける。その際にせん断破壊が生じる部材をピンク色で示している。



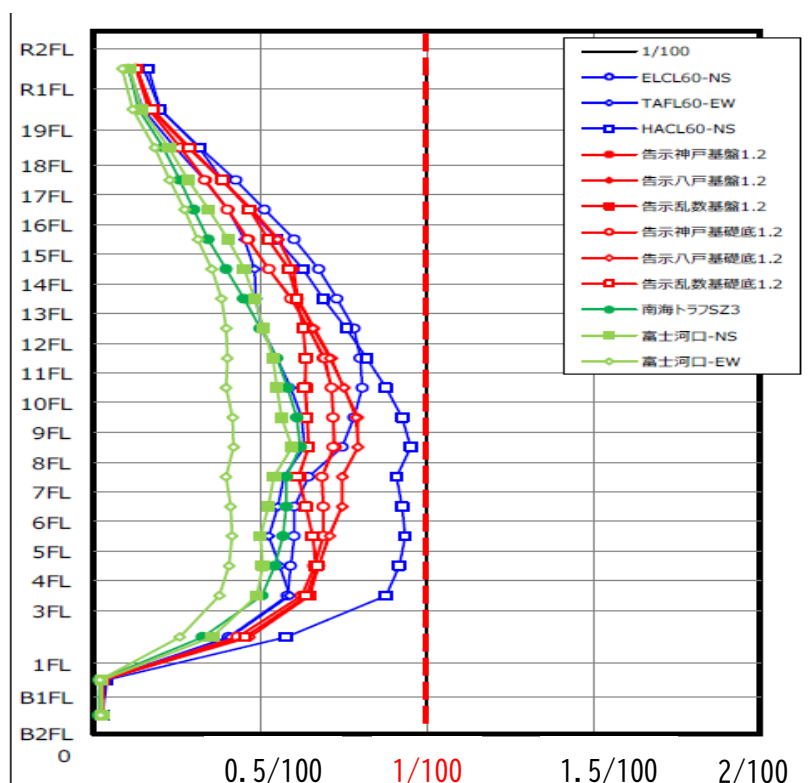
観測波八戸地震を受けた場合の各部材の損傷状況

※曲げ破壊は、建物が急激に崩壊する危険な破壊ではないため、図示していない。

※軸力により生じる圧縮破壊は、静岡庁舎が観測波である八戸地震を入れた際、すべての部材で生じなかった。

(2) 層間変形

下のグラフは、各地震波を入れた際に建物の各階（縦軸）がどれだけの変位が生じるか（横軸）を示したものである。



静岡庁舎時刻歴応答解析結果
(静岡庁舎の時刻歴応答解析における各階の層間変位)

(3) 地震を受けた際の被害

解析結果を見ると、観測波の1968年の八戸地震を入力した際に、最も被害が大きい結果となった。部材に関しては、低、中層階の大梁にせん断破壊が生じ、柱・壁については、せん断破壊は生じないことが分かった。

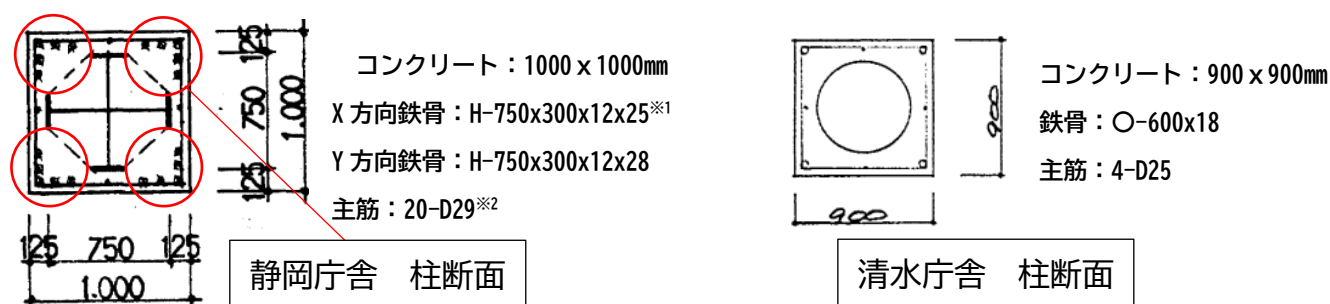
層間変形に関しては、様々な地震動に対する揺れを検討した結果、いずれの場合も層間変形の最大値は1/100を超えず、建物全体として一定の耐震性能（「小破」）を有することが確認された。

また、地震の揺れによる室内や設備に被害が生じる恐れがある。

※静岡庁舎の変形が清水庁舎と比べ小さかった理由

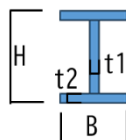
清水庁舎の1階の柱断面はコンクリートの外形は900mm×900mm、鉄骨は丸形鋼管で直径600mm、厚さ18mmを配置しているのに対し、静岡庁舎の1階の柱断面はコンクリートの外形は1000mm×1000mm、鉄骨はH形鋼の750mm×300mmを十字に配置しており、静岡庁舎は清水庁舎よりもコンクリート断面が大きく、内蔵している鉄骨部材も大きい。静岡庁舎（19階建）は清水庁舎（9階）と構想であるものの、各階の変形が小さくなる結果となった。なお、静岡庁舎は、構造設計時に時刻歴応答解析を実施しており、当時から揺れに対する検証を行った結果、強固な柱としたものと考えられる。

※静岡庁舎：昭和57年2月設計 新耐震基準 清水庁舎：昭和56年4月設計 旧耐震基準



※1…鉄骨（H型鋼）の寸法

（H-「高さ（H）」×「幅（B）」×「厚み（t1）」×「厚み（t2）」）



※2…鉄筋コンクリートの詳細

（「数字1」-D【数字2】）

「数字1」はコンクリートに使用される鉄筋の本数
（コンクリート柱面図で赤い円で囲まれた部分が鉄筋）
「数字2」は、鉄筋の径を表す。

8 静岡庁舎の今後の検討について

今年度は、解析によって判明した損傷が予想される梁の補強や、被災後にも庁舎の機能を継続して利用できるようにするために、建物全体の揺れをさらに抑える補強方法の検討を行う。また補強範囲を考慮し、設備等の更新時期の見直しを併せて実施する。

9 清水庁舎と静岡庁舎の解析結果概要

清水庁舎と静岡庁舎の解析結果の概要は以下のとおりである。

	地震直後の 倒壊・崩壊	余震への 耐震性	建物被害	被災後に被災前の庁舎機能を 維持できるか
清水庁舎	しない	低い（被害大）	中破程度	困難
静岡庁舎	しない	高い（被害小）	小破程度	業務など最低限必要な 機能は維持できる

10 その他（利用上の安全安心）

清水庁舎においては、巨大地震が発生しても、第一震では建物は破損に至らない。よって現時点においても、物の落下や転倒への備えは必要なものの、安心してご利用いただける。

しかし、余震により大破に至る可能性が否定できないため、地震時の適切な避難誘導方法を早急にまとめる。

静岡庁舎については、余震が生じても、小破にとどまるため、物の落下や転倒防止対策を進める。

11 参考

（１）第３次診断法による耐震診断について

清水庁舎においては、時刻歴応答解析とあわせて第３次診断法による耐震診断を行った。

第３次診断法とは、第２次診断法（各階の柱と壁の水平方向の耐震性能を考慮する診断法）に、梁の変形や損傷を加えて考慮する診断方法であり、清水庁舎の構造は、柱と梁の材質が異なることから、梁の損傷を考慮した第３次診断を行った。

建物全体としては、 I_s 値が 0.6 程度の階が多く、第２次診断法による耐震診断結果と比較すると全体に I_s 値が低い傾向が認められた。

なお、第３次診断では、どの程度建物の耐震性があるかの指標値はわかるが、時刻歴応答解析のような部材ごとの詳細な損傷状況や層間変形が把握できないため、今後は時刻歴応答解析の結果を基に補強方法を検討していく。

（２）耐震性能を理解する上での留意点

動的解析や耐震診断は、現行の耐震基準と整合するよう指標が決められているが、実際には様々な要因により幅がある。加えて最大クラスの地震の想定や、被災による機能維持の状況も考慮して、解析・診断結果を総合的に検討し、適切な対応を検討する必要がある。

今回の解析においては、名古屋大学の飛田潤^{とびたじゅん}教授に解析の進め方や結果の捉え方についてもご意見をいただいた。

担当：財政局管財課(221-1602)