資料2-2-3

令和元年(2019年)8月23日 庁舎整備に関する特別委員会
関係資料より引用

熊本市役所本庁舎について

令和元年 8 月 23 日庁舎整備に関する特別委員会

令和元年 8 月

目　次

1. 防災拠点施設について …… 2

1.1 はじめに …… 2

1.2 機能維持という考え方 …… 2

1.3 防災拠点施設としての熊本市役所本庁舎 …… 5

2. 機能継続に係る目標(設計用地震動の考え方) …… 6

2.1 地震動の特徴について …… 6

2.2 熊本市ハザードマップ …… 6

2.3 設計用地震動の種類 …… 8

2.4 応答スペクトルについて …… 9

2.5 設計用地震動について …… 11

3. 構造体の耐震設計(変形量の低減) …… 12

3.1 建築物の変形量と損傷の程度 …… 12

4. 構造体の耐震設計(基礎の損傷防止) …… 14

4.1 杭・基礎の耐震性について …… 14

5. まとめ …… 15

1. 防災拠点施設について

1.1 はじめに

平成 29 年度の報告書によると、熊本市役所本庁舎(行政棟及び議会棟)は、竣工後 37 年が経過し各所に経年劣化が目立っており、大規模な改修等が必要な時期を迎えている。さらに、耐火被覆材の一部にアスベストが使用されていることが判明しており、必要な改修工事の実施をさらに難しくしている。また防災拠点施設としての耐震目標(耐震安全性の目標Ⅰ類)、特定天井、業務継続性など、様々な対応を迫られている。

平成 29 年度の業務は、熊本市役所本庁舎が防災拠点施設としての耐震性能があるかの検証を行うために、現行法に基づき耐震性能を数値化し、またこの結果を踏まえ、耐震、制震、免震といった手法や増杭による基礎杭の改修方法など、様々な検討を重ねたうえで、耐震改修が現実的に困難という結論に至ったもので、その考え方、手法は妥当と判断される。

図 1.1　市役所全景（熊本市ホームページより）

1.2 機能維持という考え方(「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」)

官庁施設は、来訪者等の安全を確保するとともに、大規模地震発生時に災害応急対策活動の拠点として機能を十分に発揮できるよう、総合的な耐震安全性を確保したものである必要がある。このため、国土交通省では、「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」及び「官庁施設の総合耐震診断・改修基準」を定めるとともに、官庁施設の耐震化の目標を定め、計画的かつ重点的に整備を推進している。

平成 30 年 5 月には、国土交通省より「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」が発行された。本ガイドラインは、平成 28 年の熊本地震において、構造体の損傷、非構造部材の落下等により、

倒壊に至らないまでも、地震後の機能継続が困難となった事例が多く見られたことから、改めて機能継続の考え方を取りまとめたものである。

なお、令和元年 6 月には、「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」の追補版とし、既存建築物向け追加内容が発行された。

防災拠点施設には、新築・既存建物を問わず、有事の際の救護活動や復興支援などが迅速に対応できるよう施設整備することが、国を挙げて求められている。

建築物を機能保持するためには、構造体だけではなく、建築非構造部材や建築設備についても十分な余力を持って設計・運用されていなければならない。

建築物の機能維持の観点から考えられる設計上の留意点は多々あるが、以降、構造体、建築非構造部材および建築設備のうち、代表し、構造体について、「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」に記載された内容を引用しつつ、耐震性安全性の目標を記載する。

① 構造体の耐震設計(目標値の設定)

「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」では、建物の構造体の耐震性能の分類(以下、重要度)が定められている。耐震安全性の目標は、建物の用途に応じ、Ⅰ類～Ⅲ類と定められている。

耐震安全性の目標をⅠ類とすることは、「大地震動後、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」こととなる。

Ⅰ類施設は有事の際でも、初動体制が整い、地域の要として活動できることが求められる。そのため、耐震性能を決定する際は、常に機能維持を念頭に置く必要がある。

表 1.1 「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」における構造躯体の耐震安全性の目標

災害拠点建築物の設計ガイドライン（案）の目標性能（耐震）	官庁施設の総合耐震・対津波計画基準	
	分類	耐震安全性の目標
機能継続に支障となるような損傷を生じない	Ⅰ類	大地震動後、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
	Ⅱ類	大地震動後、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、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られる
	Ⅲ類	大地震動により構造体の部分的な損傷は生じるが、建築物の耐力の低下は著しくないこと。

② 機能継続に係る目標(設計用地震動の考え方)

大地震時の機能継続に係る目標設定にあたって想定する地震動の大きさは、建築基準法で想定する極めて稀に発生する地震動を標準としつつ、建築主と設計者の協議の結果として、「さらに大きな地震動」を想定することも可能である。

「さらに大きな地震動」を想定するあたっては、特に代替施設の確保が困難な場合には、通常の設計よりも余裕を持たせるため、地震地域係数を適用した場合よりも大きな地震力を用いる等により建築物が倒壊・崩壊しないことを確かめ、耐震性の余力を確保することも考えられる。さらに、より頻度の低い大地震を想定することや、周期特性等が異なる複数の地震動を想定することも考えられる。

→「2. 機能継続に係る目標(設計用地震動の考え方)」に詳述

③ 構造体の耐震設計(変形量の低減)

大地震時における機能継続に支障となる損傷を防止するため、構造体の変形をできるだけ抑えることが望ましい。大地震動時に構造体が大きく変形することは、非構造部材や建築設備に、対象建築物の機能継続に支障となる損傷を生じることにつながる。

→「3. 構造体の耐震設計(変形量の低減)」に詳述

④ 構造体の耐震設計(基礎の損傷防止)

大地震時における建築物の機能継続に支障となる損傷、沈下、傾斜を生じさせないものとする。特に杭基礎については、大地震動時の応答を適切に評価するためには、上部構造から基礎に伝達する力の影響に加えて、地盤の変形によって杭体に作用する力の影響も考慮する。

→「4. 構造体の耐震設計(基礎の損傷防止)」に詳述

1.3　防災拠点施設としての熊本市役所本庁舎

熊本市役所本庁舎は「特に構造体の耐震性能の向上を図るべき施設」として、市有建築物耐震対策基本方針に基づきⅠ類とすること」とされている。

そのため、「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」「官庁施設の総合耐震診断・改修基準」あるいは「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」の考え方を十分に反映させた検討が重要となる。

建築基準法は、建築物に関する最低限の基準であり、大地震動時には建築物の倒壊等の防止を目標とするのに対し、防災拠点建築物には、これに留まらず、大地震動後に機能継続できるためのより高い性能が求められる。今回の業務では、地震地域係数を適用し設計してあるが、国や他都市の事例では、建物の重要度に応じ、適宜、設計用地震力を割り増して設計を行う場合もある。

過去の震災を教訓とし、将来可能性のあるリスクに備え、冗長性と復旧性に優れた、高い耐震性能を確保することが重要となる。

【引用・参考文献】

https://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku_taisin_taisin.htm
http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_tk_000088.html

2.　機能継続に係る目標(設計用地震動の考え方)

2.1　地震動の特徴について

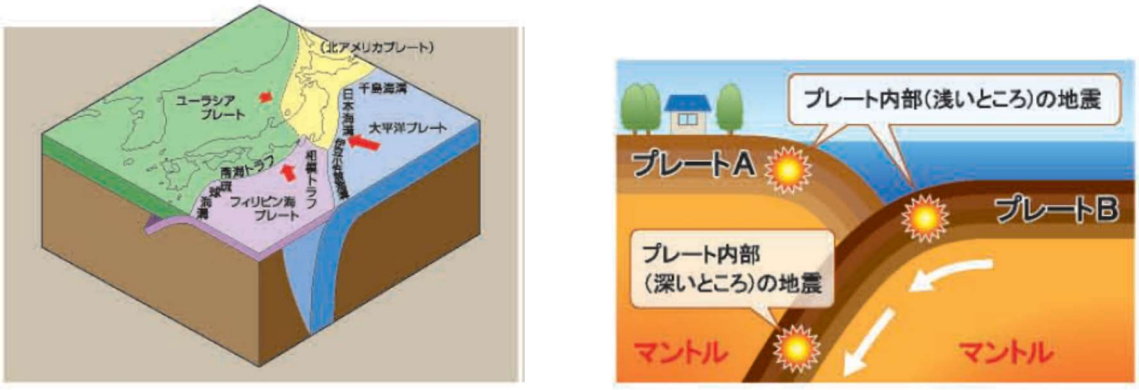
地震動は海溝型と内陸型に大別される。

①　海溝型地震

海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込み、両者がひずみを蓄え、それらが開放されたときに発生するといわれている地震。

②　内陸型地震

海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込みに伴い、内陸部の岩盤にもひずみが生じ、活断層の動きが活発になることで発生するといわれている地震。



(a)　海溝型地震　　(b)　内陸型地震

図 2.1　地震動の種類

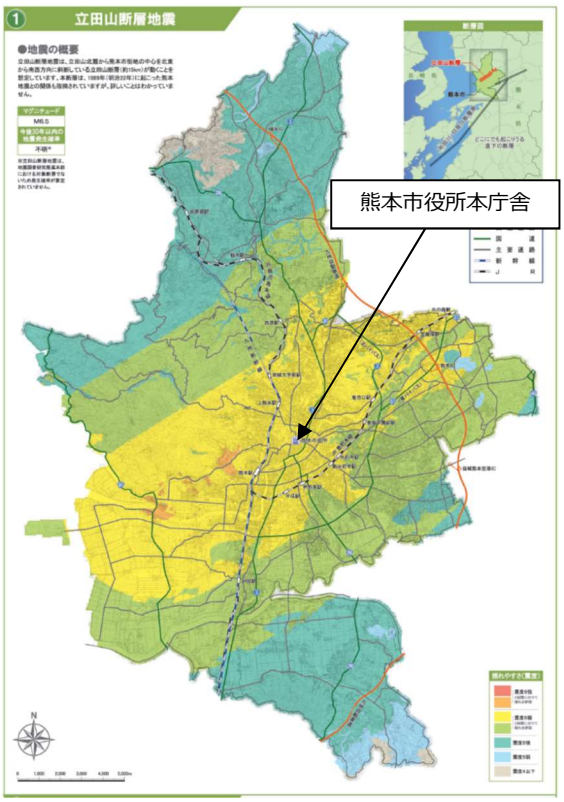
2.2　熊本市ハザードマップ

熊本市ハザードマップでは内陸型地震とし、①「立田山断層」②「布田川・日奈久断層帯」③「どこにでも起こりうる直下の地震」を想定している。

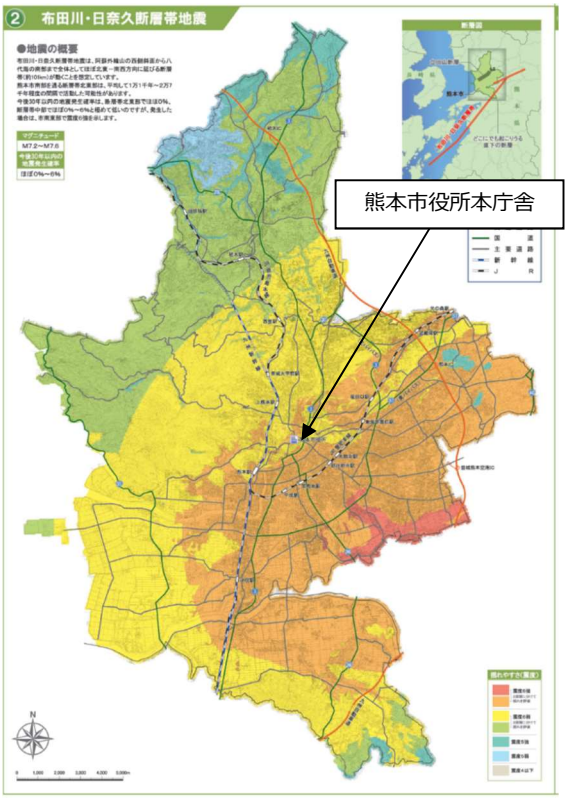
ここで、①「立田山断層」は、地震調査研究推進本部における対象断層ではなく、詳細は不明となっている。③「どこにでも起こりうる直下の地震」は、まだ確認されていない活断層が地下に潜在している可能性を含め、熊本市に仮想の断層を設定し、被害予測をしている。

図 2.2 に代表して「立田山断層」「布田川・日奈久断層帯」を想定した場合の震度予測を示す。

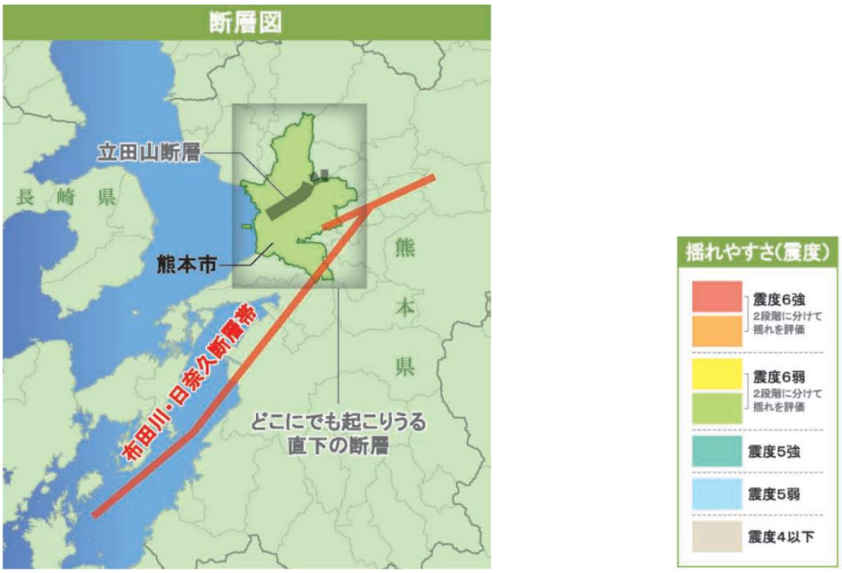
ハザードマップでは、過去を教訓に未来への備えが重要と位置づけ、様々なタイプの地震を想定し、将来可能性のあるリスクに対して備えをすることとされている。



① 「立田山断層」



② 「布田川・日奈久断層帯」



熊本市発行の地震ハザードマップ。「布田川・日奈久断層帯」のうち、布田川断層帯が熊本市に近く、日奈久断層帯は熊本市よりも南部に位置する。熊本地震は、布田川断層帯と日奈久断層帯の交わる益城町付近を震源として発生した地震。

図 2.2 「立田山断層」「布田川・日奈久断層帯」を想定した場合の震度予測

【引用・参考文献】

https://www.city.kumamoto.jp/common/UploadFileDsp.aspx?c_id=5&id=2121&sub_id=1&flid=11478

2.3　設計用地震動の種類

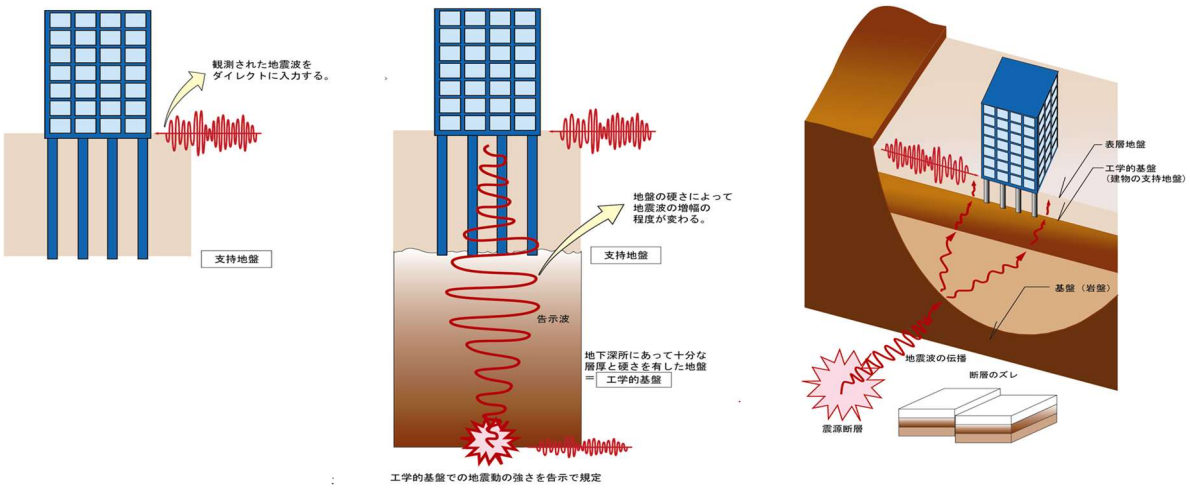
建物高さが 60m を超える建築物は、地震動を時々刻々と建物に直接作用させ、建物の安全性を確認する「時刻歴応答解析」と呼ばれる手法を採用することが国土交通省より定められている。ここで用いられる地震動を「設計用地震動」という。

地震動には「短い間隔で激しく揺れる地震」「長い間隔でゆっくり揺れる地震」など、様々なタイプがある。また、熊本地震のように数日の間に大きな地震動が連続して発生する地震動もある。

平成 29 年度の業務では、表 2.1 に示す設計用地震動を設定している。

表 2.1　設計用地震動の種類

地震波	特徴	備考
観測波	・これまで観測された地震波。 ・各地の地表面で観測された地震波。	建物の高さ(剛さ・柔らかさ)によって揺れの大きさがばらつく。
告示波	・建築基準法で決められた人工的な地震波。 ・観測波よりも深い地盤を考慮して決定される地震波。	建物の高さ(剛さ・柔らかさ)によって揺れの大きさがほぼ均一。
サイト波	・地域ごとの地震リスク評価によって作成される人工的な地震波。 ・観測波よりも深い地盤を考慮して決定される地震波。	建物の高さ(剛さ・柔らかさ)によって揺れの大きさがばらつく。
サイト波 (長周期波)	・地域ごとの地震リスク評価によって作成される人工的な地震波。 ・告示波よりもさらに深い地盤を考慮して決定される地震波	非常にゆっくりと揺れる。揺れる時間が長い。



2000 年法改正以前　　2000 年法改正以後　　2016 年法改正以後(対象地域のみ)

(a)　観測波　　(b)　告示波・サイト波　　(c)　長周期波

図 2.2　設計用地震動のイメージ図

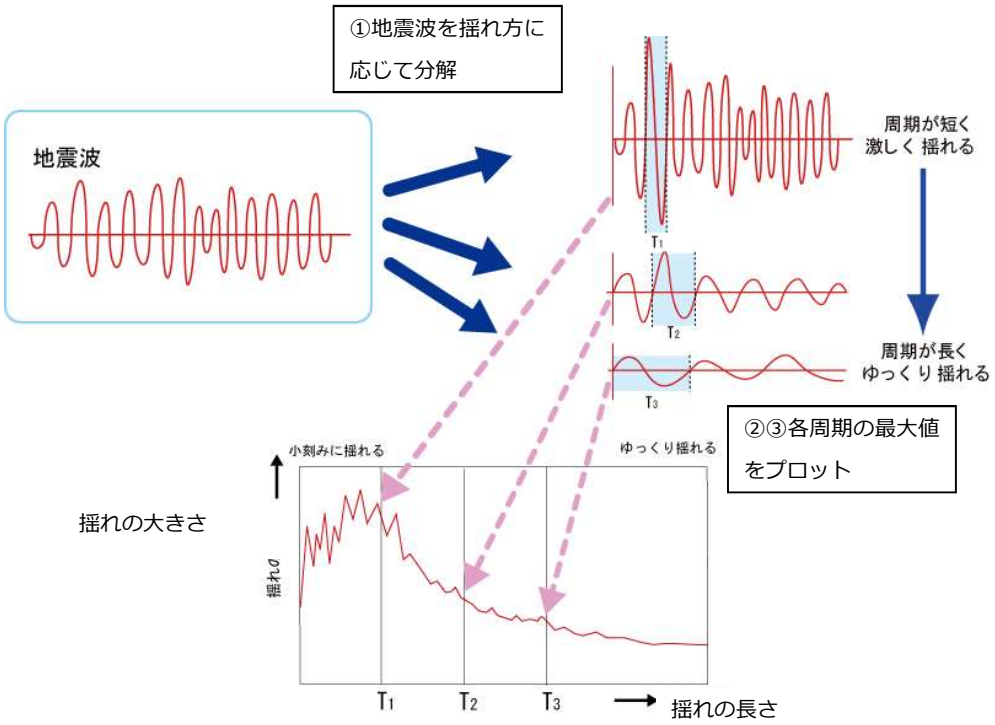
2.4　応答スペクトルについて

地震動はその波形から直接的に特性を判断するのは困難である。そこで地震動を波形解析し、応答スペクトルに置き換えて特性を把握することが行われる。

応答スペクトルとは、ある地震動がどの周期※1で揺れやすいか把握するためのグラフである。

図 2.3 に概念図を示す。また、図 2.4 に具体的な事例を示す。地震の揺れと建物の揺れが一致すると、共振現象を引き起こし、建物が揺れやすくなる。

図 2.5 に告示波の応答スペクトルと意義を示す。観測波やサイト波は周期特性の依存度が高いが故に、特定の周期帯で地震動が小さく評価される場合がある。告示波は、こうした設計用地震動の偏りを防止することや、建設地の地盤特性を活かした設計をするために 2000 年の建築基準法改正に伴って登場した人工的な地震動である。



【応答スペクトルの作成手順】

① 地震波を「短い間隔で激しく揺れる成分」「長い間隔でゆっくり揺れる成分」など揺れ方に応じて分解する。

② ①で分解した地震波のうち、最大の値を縦軸にプロット→揺れの大きさを示す。

③ ①で分解した地震波のうち、周期(建物が一往復するのにかかった時間)を横軸にプロット→揺れの長さを示す。

④ ②③より、地震動がどの建物高さの建物を揺らしやすい地震動であるかが判る。

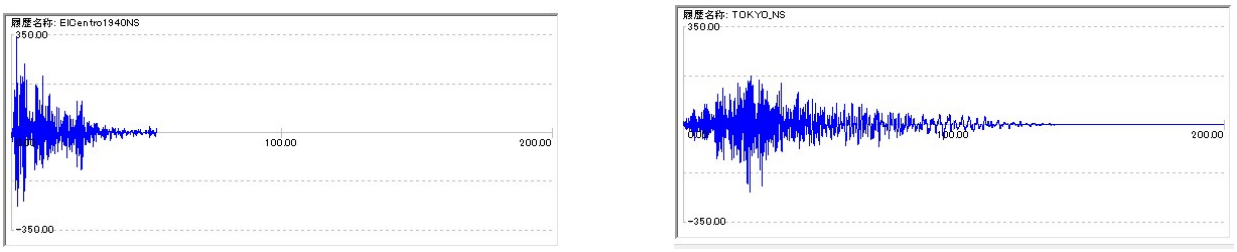
図 2.3　応答スペクトルの概念図

【用語解説】

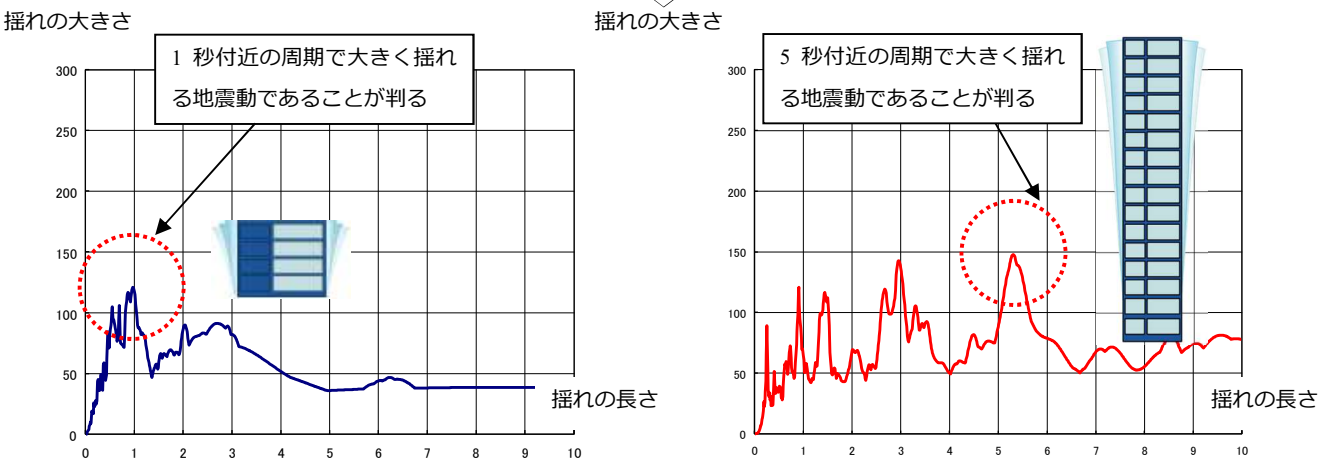
※1 周期

一往復するのにかかった時間。建物周期は、周期が長い(短い)ほど、柔らかい(硬い)あるいは高層(低層)建物と言える。

地震波のみでは特性が判らない



波形解析



(a) 観測波：EL CENTRO NS

(b) 長周期波：TOKYO NS

※1 (a)は、1940 年にカリフォルニアで観測された内陸型地震

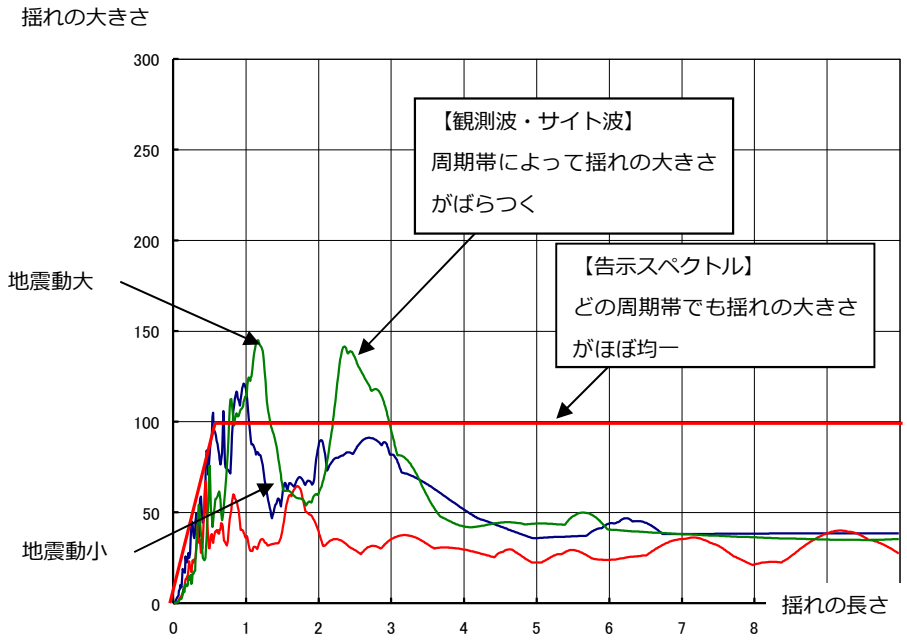
※2 (b)は、新宿区を対象に国土交通省の提案する方法によって作成した長周期地震動

※3 地震の揺れと建物の揺れが一致すると、共振現象を引き起こし、建物が揺れやすくなる。

→(a)の地震は 1 秒程度の周期で揺れる低層建物と共振して揺れが大きくなる可能性がある。

→(b)の地震は 5 秒程度の周期で揺れる高層建物と共振して揺れが大きくなる可能性がある。

図 2.4 地震動と応答スペクトルの例



ここでは代表的な観測波を示す。

青線：EL CENTRO NS

緑線：HACHINOHE NS

赤線：TAFT EW

告示波は建物の高さ(剛さ・柔らかさ)によって揺れの大きさがほぼ均一。料来のリスクに備え、様々な設計用地震動を複数採用し、周期特性に依存しにくい冗長性に優れた建物を設計することが重要。

図 2.5 告示波の応答スペクトルと意義

2.5　設計用地震動について

①　告示波の採用について

告示波は、建築基準法で定められた設計用地震動の最低限の大きさを設定している。また、建設地の地盤状況を反映し、地震動の大きさを決定している。

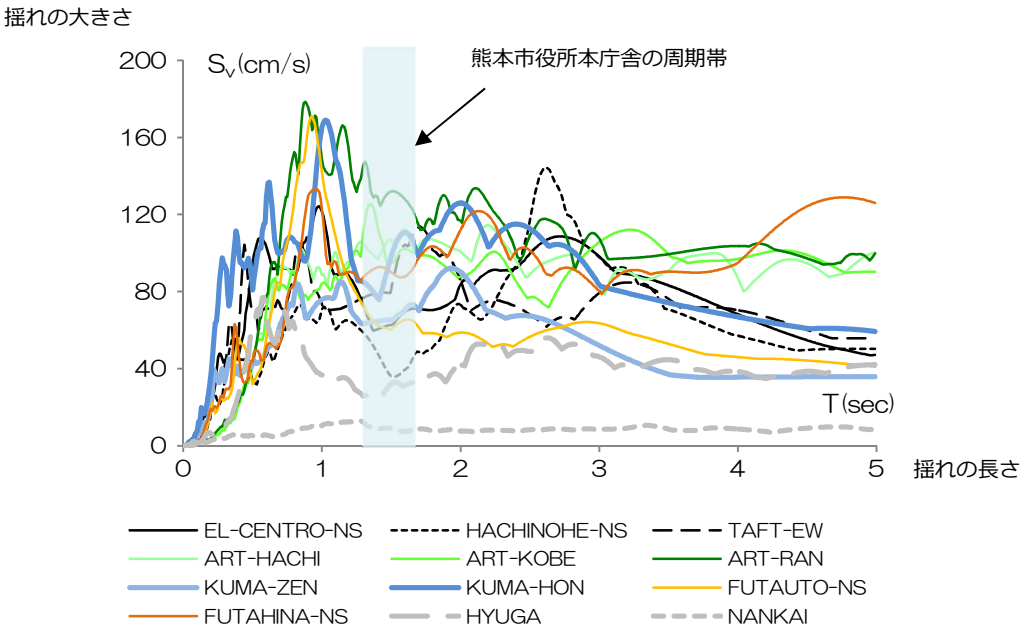
平成 29 年度の業務では、様々なタイプの特性を持つ地震動を複数設定し、設計用地震動が過小評価とならないこととしている。

一方、官庁施設の営繕を実施するための基準とし、国土交通省が制定した「建築構造設計基準の資料」において、設計用地震動は「告示波"及び"サイト波で 3 波以上、加えて観測波で 3 波以上」「特定のスペクトルに偏らないよう注意が必要」とされており、告示波とサイト波の併用が義務付けられている。

②　熊本地震について

平成 28 年に発生した熊本地震に対し、熊本市役所本庁舎は大きな損傷はなかった。ただ、熊本地震の震源は益城町であった。もしも震源が熊本市内であれば、本庁舎も耐えられなかった可能性がある。

過去に発生した地震に対して損傷がなかったことが、将来的なリスクを回避したことにはならない。防災拠点施設として在るためには、より頻度の低い大地震を想定することや、揺れ方の異なる複数の地震動を想定するなどし、建築物の機能保持を目的とし、将来可能性のあるリスクに備えることが重要となる。



観測波：EL CENTRO NS、HACHINOHE NS、TAFT EW、KUMA ZEN、KUMA HON

告示波：ART HACHI、ART KOBE、ART RAN→告示スペクトルから地震波を作成

サイト波：FUTAUTO NS、FUTAHINA NS、HYUGA

長周期波：NANKAI

図 2.6　入力地震動 12 波の速度応答スペクトル(h=5%)

3. 構造体の耐震設計(変形量の低減)

3.1 建築物の変形量と損傷の程度

大地震動時の構造体の変形については、できるだけ抑えることが望ましい。大地震動時に構造体が大きく変形することは、非構造部材や建築設備に、対象建築物の機能継続に支障となる損傷を生じることにつながる。また、大地震動時に建築物の変形が進むと、大地震動後も部材に変形が残った状態となる。

① 大地震動時の建物の変形と塑性化について

建物高さが 60m を超える超高層建築物の構造方法に対する指定確認検査機関の業務方法書では、各階の応答層間変形角※2 が 1/100rad.、部材の応答塑性率※3 が 4.0 を超えないこととされている。

一方、官庁施設の営繕を実施するための基準とし、国土交通省が制定した「建築構造設計基準の資料」において、大地震動時の層間変形角の制限値は、鉄骨造で 1/100rad.と規定されている。

なお、「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」では設計目標の設定に際し、既往文献の「日本建築構造技術者協会(JSCA)、性能メニュー」も参考として記載されている。これによれば、発注者との協議で設計目標のさらなるランクアップをすることも推奨されている。

熊本市役所本庁舎は、中間層で応答層間変形角 1/100rad.、応答塑性率 4.0 を超え、変形が集中する傾向にあり、現行法の耐震性能の基準を満たしていない。図 3.1~3.2 に応答層間変形角と応答塑性率を示す。

② 外装材について

外装材は、外装材メーカーに確認し、最小値で 1/225rad.まで変形追従可能であることを確認してある。建物の応答層間変形角が外装材の変形追従に対する許容値 1/225rad.を超えているため、大地震動時に外装材の落下等が懸念される。

応答値の評価は、極力、不確定要素を少なくし、検討段階での予測を明確にすることが重要である。そのうえで、防災拠点施設としての適切な変形性能と耐力を確保することが必要となる。

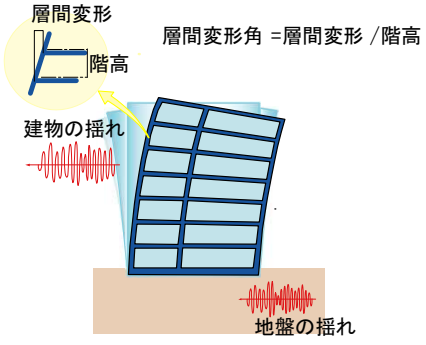
【用語解説】

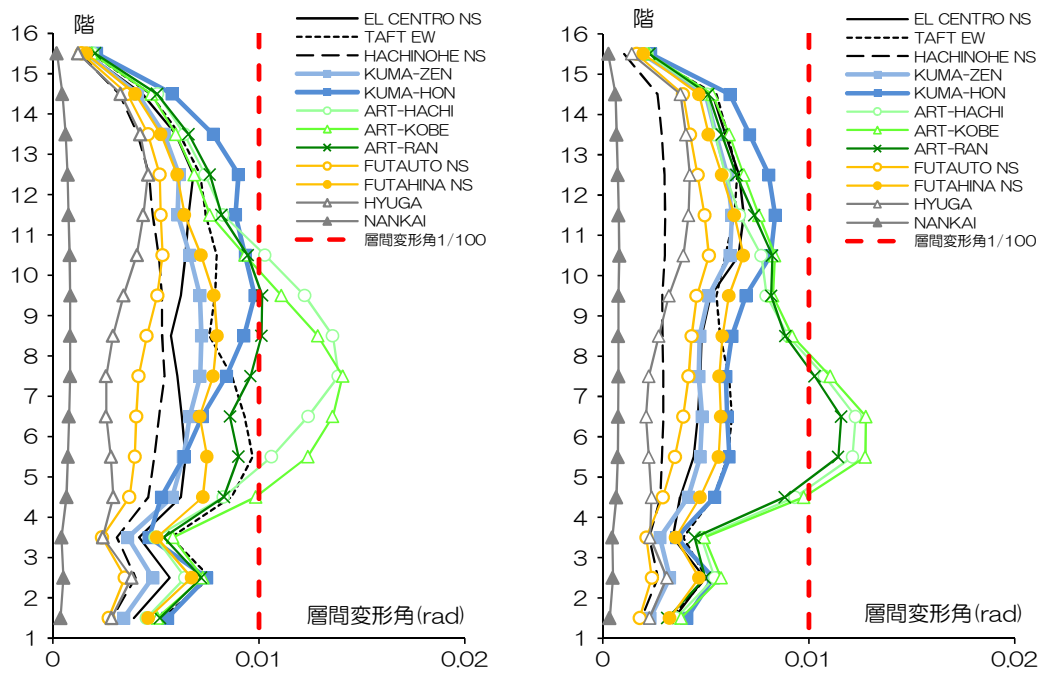
※2 層間変形角

各層に生じる変形(層間変形)を各層の高さ(階高)で除した値。右図参照。

※3 塑性率

部材に生じる変形が限界値を超え、力が作用しなくなっても元に戻らなくなる状態を塑性化といい、塑性率は塑性化の程度を示す指標。

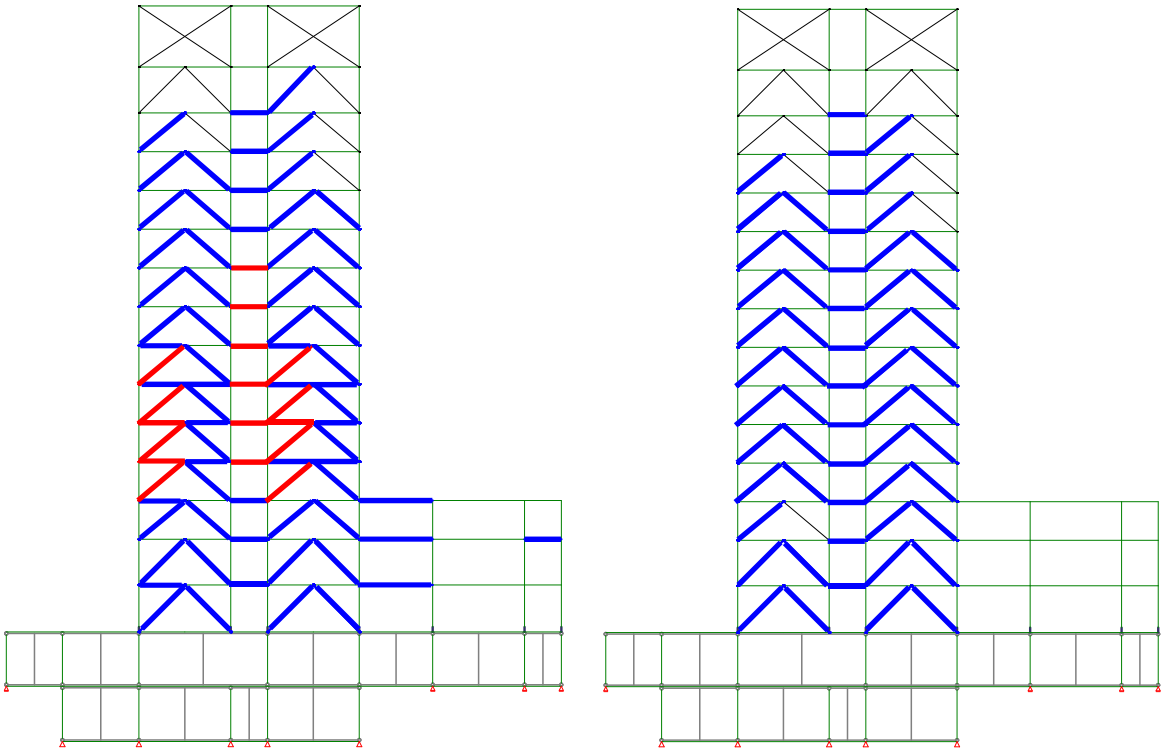




(a)　X 方向(南北方向)　　(b)　Y 方向(東西方向)

赤点線は層間変形角 1/100rad.を示す。

図 3.1　応答解析結果(応答層間変形角)



(a)　告示波 ART-KOBE(JMA 神戸位相)　　(b)　サイト波布田川日奈久連動型地震

Y 方向(東西方向)地震動時の代表構面(X8 通)の塑性化の状況。

青線は塑性化が生じている部材。塑性率 4.0 以上の部材は赤線で表示。

図 3.2　応答解析結果(応答塑性率)

4.　構造体の耐震設計(基礎の損傷防止)

4.1　杭・基礎の耐震性について

杭基礎は鉛直力、水平力及び地盤の変形に対して十分安全な構造とすることが、「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」に記載されている。

①　杭の耐震性について

当初設計では、杭は鉛直力に対して設計されており、水平動(地震動)に対する設計はされていない。そのため、杭が損傷しやすい状況にある。また、熊本市役所本庁舎の建設地は、硬い地層(砂礫等)と柔らかい地層(粘土等)が互層で構成されているため、相対的に柔らかい地層に変形が集中・損傷しやすい状況にある。

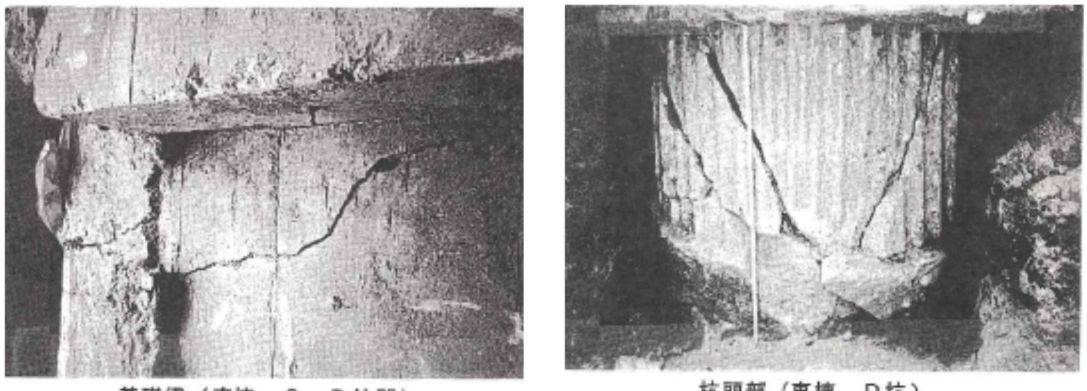
多数の大口径杭が使用されていることが、ただちに安全と言えるものではなく、大口径の場所打ちコンクリート杭であっても、過去には杭被害も報告されている。

なお、杭にあっても上部構造と同じく、熊本地震等、過去に発生した地震に対して損傷がなかったことが、将来的なリスクを回避したことにはならない。

②　地震動の入力低減等について

杭が多数あることに対する地震動の入力低減や、損傷の程度との因果関係について、定量的に把握できる手法は確立されていないことが実情である。また、多数の杭や山留壁が地盤変形を拘束する点についても同様である。なお、既存構造図によれば、地下躯体と山留壁は鉄筋等で一体化されていない。

建築物の耐震性に関する冗長性を確保する点で、上述した不確定要素は定量化が困難なことから、防災拠点施設の耐震性の検討に考慮していない。



基礎梁（東棟、Ｃ－Ｄ杭間）　　杭頭部（東棟、Ｄ杭）

兵庫県南部地震による建築基礎の被害調査事例報告書，日本建築学会，1996 年 7 月

図 4.1　場所打ちコンクリート杭の被害事例

5. まとめ

●総評

① 平成 29 年度の業務は、熊本市役所本庁舎が防災拠点施設としての耐震性能があるかの検証を行うために、現行法に基づき耐震性能を数値化し、またこの結果を踏まえ、耐震、制震、免震といった手法や増杭による基礎杭の改修方法など、様々な検討を重ねたうえで、耐震改修が現実的に困難という結論に至ったもので、その考え方、手法は妥当と判断される。

●防災拠点施設について

② 熊本市役所本庁舎は「特に構造体の耐震性能の向上を図るべき施設」として、市有建築物耐震対策基本方針に基づきⅠ類とすること」とされている。

③ 耐震安全性の目標をⅠ類とすることは、「大地震動後、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」こととなる。

④ 建築基準法は、建築物に関する最低限の基準であり、大地震動時には建築物の倒壊等の防止を目標とするのに対し、防災拠点建築物には、これに留まらず、大地震動後に機能継続できるためのより高い性能が求められる。

●機能継続に係る目標(設計用地震動の考え方)

⑤ 過去に発生した地震に対して損傷がなかったことが、将来的なリスクを回避したことにはならない。防災拠点施設として在るためには、より頻度の低い大地震を想定することや、揺れ方の異なる複数の地震動を想定するなどし、建築物の機能保持を目的とし、将来可能性のあるリスクに備えることが重要となる。平成 29 年度の報告書では、告示波をはじめとし、様々なタイプの特性を持つ地震動を複数設定し、設計用地震動が過小評価とならないこととしている。

●構造体の耐震設計(変形量の低減) (基礎の損傷防止)

⑥ 大地震動時における機能継続に支障となる損傷を防止するため、構造体の変形をできるだけ抑えることが望ましい。熊本市役所本庁舎は、中間層で応答層間変形角 1/100rad.、応答塑性率 4.0 を超え、変形が集中する傾向にあり、現行法の耐震性能の基準を満たしていない。

⑦ 大地震動時の応答を適切に評価するためには、上部構造から基礎に伝達する力の影響に加えて、地盤の変形によって杭体に作用する力の影響も考慮する。熊本市役所本庁舎の建設地は、硬い地層(砂礫等)と柔らかい地層(粘土等)が互層で構成されているため、相対的に柔らかい地層に変形が集中・損傷しやすい状況にある。

⑧ 応答値の評価は、極力、不確定要素を少なくし、検討段階での予測を明確にすることが重要である。そのうえで、防災拠点施設としての適切な変形性能と耐力を確保することが必要となる。