

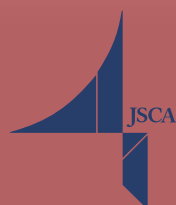
安心できる建物をめざして

J S C A 性能設計

【耐震性能編】

The Guide to Safe Buildings

JSCA PERFORMANCE - BASED SEISMIC DESIGN



一般社団法人

日本建築構造技術者協会

Japan Structural Consultants Association

性能設計の重要性

日本では大地震により建物が倒壊するような被害は少なくなっていますが、建築基準法は人命保護を目的とする最低限の耐震性能を規定しており、地震後の建物の機能維持や事業継続性といったニーズに対しては不十分な場合が多くなっています。今後、巨大地震の発生も危惧されており、建物の総合的な安全性の確保が課題となっています。

建物の耐震性能が異なれば、同じ地震であっても地震後の建物の状態は異なります。建築主の多様化したニーズに応えるためには、建築主との対話を通じて耐震性能を定める性能設計が必要です。

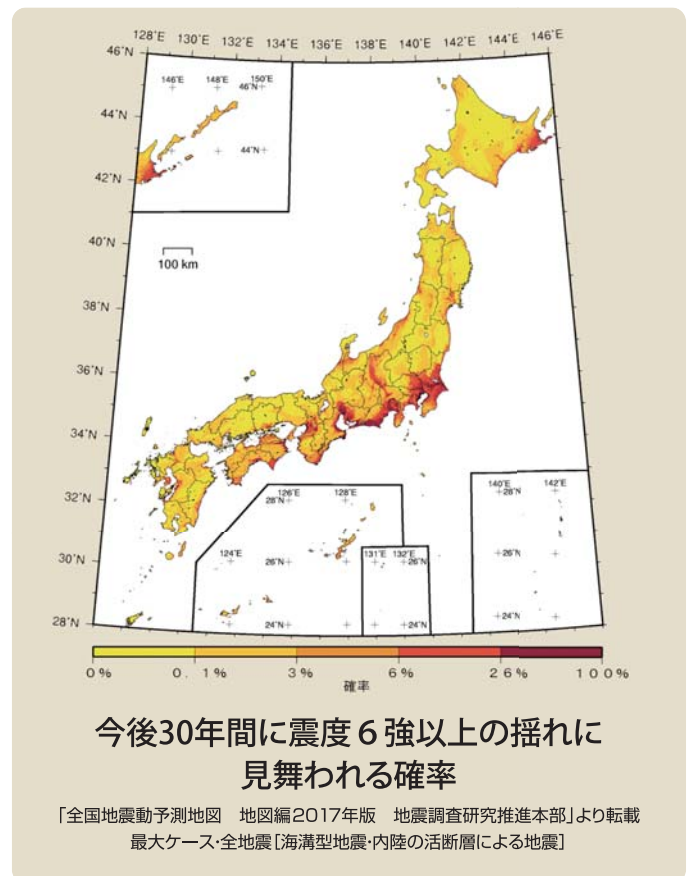


日本が見舞われる地震

日本は海のプレートと陸のプレートがぶつかり合う位置にある世界有数の地震多発国です。2011年東北地方太平洋沖地震に代表される海溝型地震は、規模が大きく広範囲に強い揺れや長周期の揺れを生じさせる場合があります。1995年兵庫県南部地震に代表される活断層による内陸型地震は、比較的浅い位置で発生するため、断層近傍で強く激しい揺れを生じさせます。

地震による建物の被害

地震による被害には、柱や梁などの建物の骨組に生じる損傷だけでなく、壁や天井などの仕上材の破損もあります。揺れによる家具の転倒なども機能維持や継続使用を損なう要因となります。



地震による建物の被害例



建物骨組の損傷
(写真提供・神戸市)



外壁(仕上材)の損傷



家具の転倒による建物機能の損失
(写真提供・神戸市)

■耐震性能を高めた場合のメリット

耐震性能を高めるためには若干建設費が増加するものの損害額の低減、事業継続・早期復旧、ライフサイクルコストの低減などのメリットがあります。建築主と設計者が十分な対話を行い、これらのコスト及びメリットを総合的に判断して、耐震性能を定めていくことが大切になります。

◇損害額の低減

耐震性能を高めることで、地震で被害を受けたときの建物の損害額を少なくすることができます。

震度6強程度の大地震の場合には、建築基準法に示す最低限の耐震性能の建物では中破から大破となりますが、耐震性能を高めた建物では小破あるいは軽微な被害に抑えることが可能です。

損害率は、直接被害額の建設費(再調達価額)に対する比率としています。

◇事業継続・早期復旧

耐震性能を高めることで、建物機能の復旧に要する時間が短くなり、補修を要しない場合には事業継続も可能になります。これは、近年重要性を増しているBCM(事業継続管理)の観点からも非常に有効です。

事務所ビルを想定した場合で、ライフラインの損害、復旧等にかかる時間は別途考慮ください。

◇ライフサイクルコストの低減

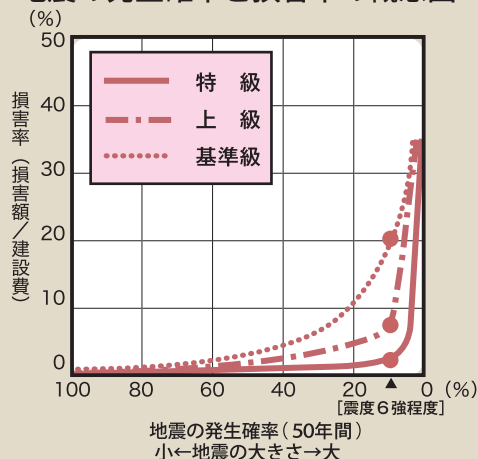
耐震性能を高めることで、建設費は増えますが、修復費を少なくすることができ、ライフサイクルコストが低減します。

ライフサイクルコストは、建設費、修復費のほかに、建物を使用している期間中の運用費、管理費および修繕・更新費を合算したものです。

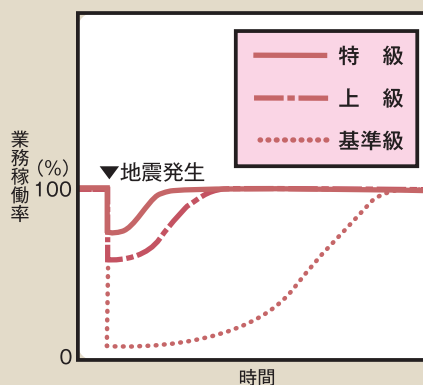
■今後の発生が懸念される巨大地震に備えて

今後発生が懸念されている南海トラフや相模トラフを震源域とする地震や近傍の活断層による地震など、従来の設計では考えていなかった巨大地震を想定する時代となって

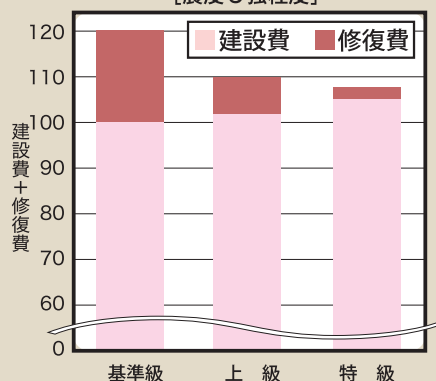
地震の発生確率と損害率の概念図



業務稼働率と復旧に要する時間の概念図



建設費と修復費の概念図 [震度6強程度]



※)本パンフレットは、JSCA性能設計を簡潔に説明するもので、記載している図表は簡略化して表現しています。基準級・上級・特級はJSCA性能設計の耐震性能グレードです。

きました。このような現状において、巨大地震に対して建物が有している性能に関する情報を建築主と設計者が共有することも重要です。

JSCA 性能設計

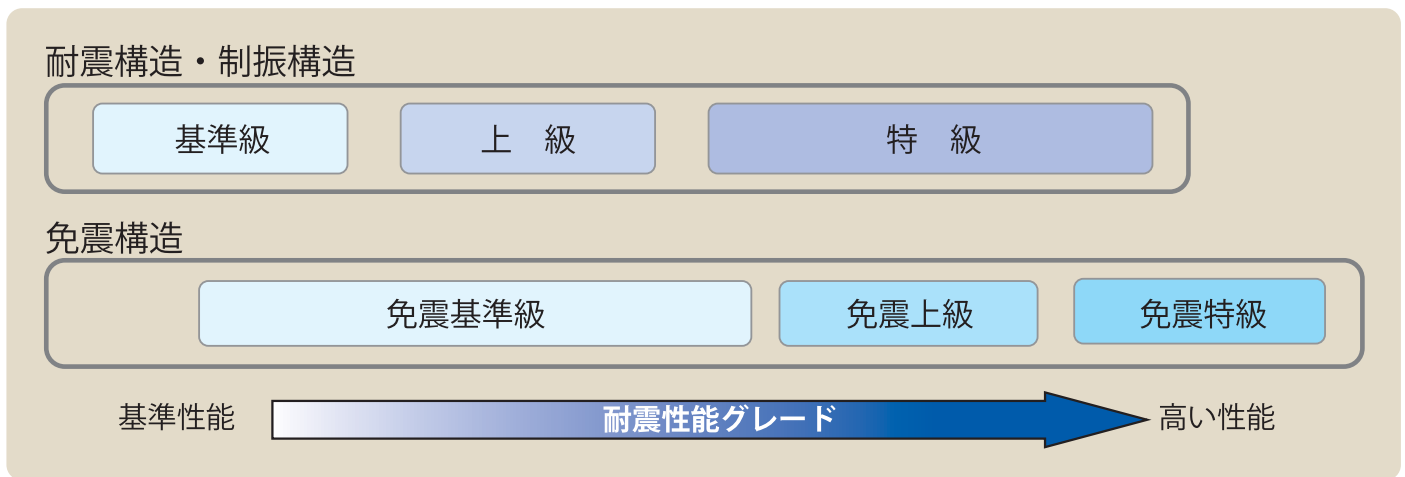
JSCA性能設計は、建築主と設計者が対話しながら安心できる建物を造るために、JSCAが提案する設計手法です。耐震性能編では、地震の大きさ(揺れの強さ)と建物の状態との関係から目標とする耐震性能グレードを定めて設計を行います。

JSCA性能設計では、被害の軽減はもとより機能維持や修復費の低減のため、耐震性能を高めることを推奨すると共に、骨組だけでなく仕上材などの非構造部材の被害や、家具の転倒などの危険性についても軽減を図ることを目指しています。

■耐震性能グレード

耐震性能グレードは、構造方法や種別によって建物の揺れの特性が異なるため、耐震・制振構造と免震構造の各々

で3段階としています。



地震の大きさと建物の状態の関係(概念図)

地震の大きさ	震度5弱 [中地震]	5強	6弱	6強 [大地震]	7 [巨大地震]
建物の状態					
無被害～ 軽微な被害 【主要機能確保】					
小破 【指定機能確保】					
中破 【限定機能確保】					
大破 【機能喪失】					
地震荷重の区分	稀に発生する地震動	かなり稀に発生する地震動	極めて稀に発生する地震動	余裕度検証用の地震動	
想定震度	震度5弱程度	震度5強程度	震度6強程度	震度7程度 *2	
告示波の倍率*1	告示波×0.2	告示波×0.5	告示波×1.0	告示波×1.5	

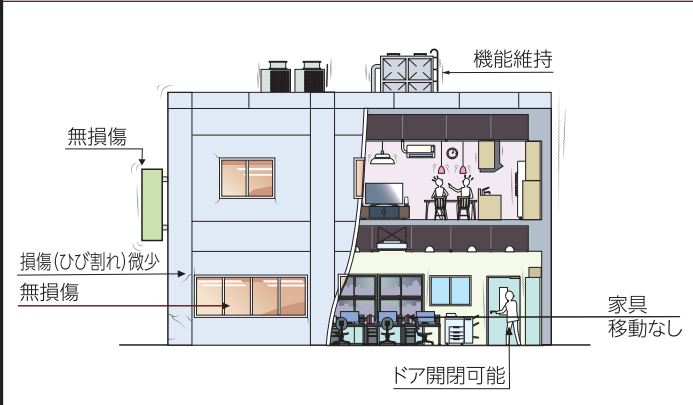
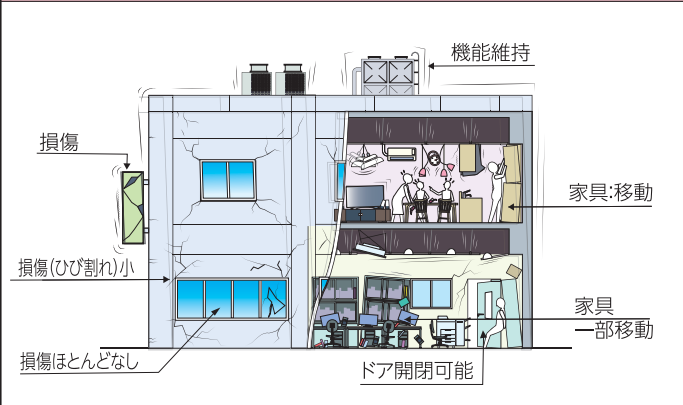
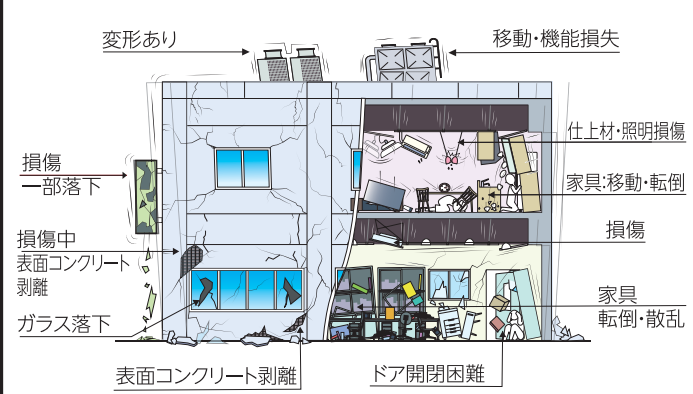
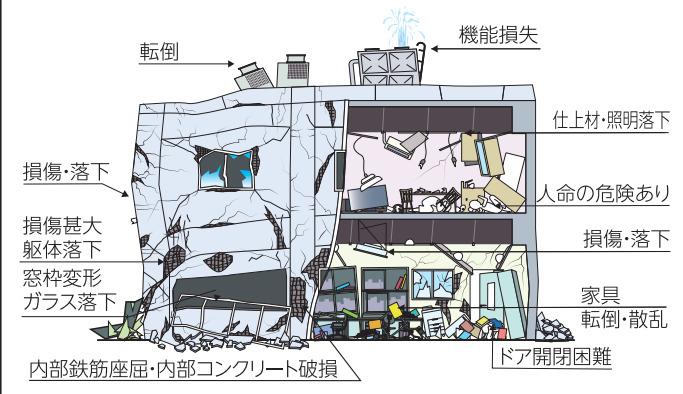
* 1) 告示波とは、平12建告第1461号の極めて稀に発生する地震動の加速度応答スペクトルに適合した模擬地震波とし、建設地の表層地盤による増幅を考慮します。 * 2) 震度7程度の地震動は、1995年兵庫県南部地震程度を想定しています。

■建物の状態

地震による建物の状態は、無被害や軽微な被害から大破までの4段階の被害で代表され、機能維持の程度、要する修復の程度と関連性があります。

建物の被害は、柱や梁などの骨組の状態だけでなく、壁や天井などの仕上材(非構造部材)の状態も含めて総合的に考える必要があります。

地震による建物の状態(RC造の場合)

軽微な被害		小 破	
ほとんど変形が残らない 仕上材等は若干の損傷を受けるが、ほとんど使用性は損なわれない		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	
			
主要機能確保	業務遂行などの主要な機能が確保される	指定機能確保	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
軽微な修復	骨組の補修は不要だが、仕上材等は補修が必要な場合がある	小規模修復	骨組・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
中 破		大 破	
耐力に影響する変形が残る、余震により大破に至る危険性がある 仕上材等は相当の損傷を受け、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	
			
限定機能確保	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	機能喪失	建物を使用できず救助活動は困難
中規模修復	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	修復困難 (大規模修復)	補修を行っても以前の耐力に回復することは困難 大規模な補強が必要

■地震の大きさ

JSCA性能設計に用いる地震の大きさ(揺れの強さ)は、中地震から巨大地震までの4段階としています。中地震と大地震の間はかなり稀に発生する地震動は、地震の大きさを細分化するために定めた地震動です。余裕度検証用の地震動は、巨大地震に対する性能を把握するための地震動です。

長周期地震動を含む海溝型地震や近傍の活断層による地震など建設地特有の地震動(サイト波)は、遭遇する頻度や大きさが異なることから、耐震性能グレードを判定する地震とはしていませんが、建築主との協議に応じてサイト波を採用し、総合的な安全性の判断に用いることが推奨されます。

性能設計のプロセス

JSCA性能設計では、建築主が求める耐震性能を満足する建物を造るために、性能設計のプロセスとして3つのステップを設定しました。各ステップにおいて建築主と設計者

が建物の耐震性能を共有し、求める耐震性能の建物を実現します。

性能設計のプロセス

ステップ1

耐震性能の設定

建築主と設計者が地震後に許容される建物の状態を設定し、目標とする耐震性能グレードを定めます

性能メニュー

	稀	かなり稀	極 稀	余 裕 度
特 級	無被害	無被害	軽微	小 破
上 級	無被害	軽微	小 破	中 破
基準級	無被害	—	中 破	—

ステップ2

耐震性能の作りこみ

設計者が耐震性能グレードを満足する建物を設計し検証します

性能数値表*

	稀	かなり稀	極 稀	余 裕 度
特 級	≤1/300	≤1/200	≤1/150	≤1/100
上 級	≤1/200	≤1/150	≤1/100	≤1/75
基準級	≤1/200	—	≤1/75	—

ステップ3

耐震性能の共有

建築主と設計者が性能カルテを用いて総合的な耐震性能を共有します

性能カルテ

地震の大きさ	稀	かなり稀	極 稀	余 裕 度
告示波の倍率	0.2	0.5	1.0	1.5
被害の程度	無被害	軽微	小破	中破
判定基準値	≤1/200	≤1/150	≤1/100	≤1/75
応答値	1/476	1/235	1/113	1/78
性能余裕度	2.38	1.57	1.13	1.04
耐震性能グレード	上 級			
所見	震度6強程度の大地震では小破におさまり上級の耐震性能グレードを有しています。			

*) JSCA性能設計説明書2017年版では、高さ20m以上の建物に対して建物規模・構造種別・形式ごとに性能数値表を作成し、参考となる判定基準値を示しています。

ステップ1 耐震性能の設定

性能メニューを用いて建築主と設計者が話し合い、地震の大きさごとに建築主が求める建物の状態(被害の程度、機能維持の程度)から目標とする耐震性能グレードを定めます。性能メニューは建築主が耐震性能を理解しやすいよ

うに、地震の大きさ・建物の状態・耐震性能グレードの関係をまとめています。建設地特有の地震動(サイト波)については、目標とする建物の状態を設定します。

性能メニュー

構 造	耐震性能 グレード	地震の 大きさ			
		稀に 発生する地震動 [震度5弱程度]	かなり稀に 発生する地震動 [震度5強程度]	極めて稀に 発生する地震動 [震度6強程度]	余裕度 検証用の地震動 [震度7程度]
耐震・ 制振	特 級	無被害 機能維持	無被害 機能維持	軽微な被害 主要機能確保	小破 指定機能確保
	上 級	無被害 機能維持	軽微な被害 主要機能確保	小 破 指定機能確保	中破(~大破) 限定機能確保
	基準級	無被害 機能維持	—	中破(~大破) 限定機能確保	—
免 震	免震特級	無被害 機能維持	無被害 機能維持	軽微な被害 主要機能確保	軽微な被害 主要機能確保
	免震上級	無被害 機能維持	無被害 機能維持	軽微な被害 主要機能確保	小 破 指定機能確保
	免震基準級	無被害 機能維持	—	軽微な被害 主要機能確保	—

■ステップ2 耐震性能のつくりこみ

設定した耐震性能グレードを満足する建物を設計し、性能数値表に基づき検証するステップです。地震時に生じる建物の変形や加速度を評価するため、検証には時刻歴応答解析などにより求まる建物の応答値を用います。

判定基準値は、設計者が建物の構造特性等を踏まえて設定します。以下は代表的な評価項目です。

① 層間変形角

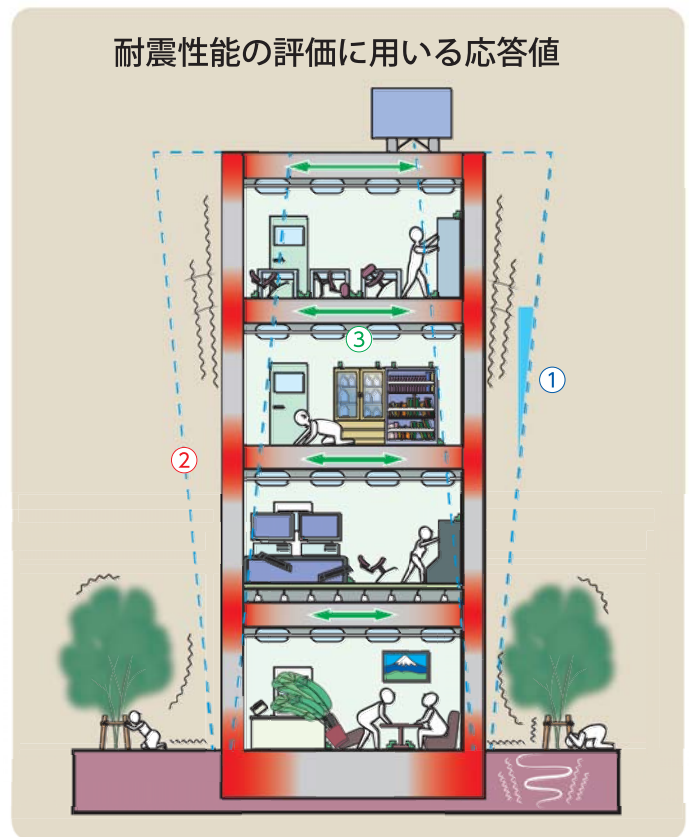
⇒ 地震時に各階に発生する変形を階高で割ったもの
骨組や仕上材の被害の程度の評価に用います

② 部材の損傷度

⇒ 塑性率などの損傷程度を表す尺度
骨組の健全性や耐力低下の度合いの評価に用います

③ 床加速度

⇒ 地震時に床に発生する加速度
天井や設備機器の損傷、家具の転倒の評価に用います



■ステップ3 耐震性能の共有

性能カルテを用いて地震に対する建物の被害や機能維持の程度を建築主に説明し、総合的な耐震性能を共有します。地震の大きさごとの応答値と判定基準値を性能カルテに

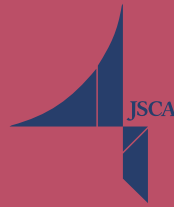
まとめ、耐震性能グレードを提示します。サイト波に対する検討を行った場合は、その建物の状態もあわせて提示します。

性能カルテ(高層S造建物「上級」の例)

地震動	大きさ	稀に発生する地震動 [震度5弱程度]	かなり稀に発生する地震動 [震度5強程度]	極めて稀に発生する地震動 [震度6強程度]	余裕度 検証用の地震動 [震度7程度]	建設地特有の地震動 (サイト波) [震度6強程度]	
	地震波名称 最大速度	告示波 × 0.2 (神戸位相) 8.4cm/s	告示波 × 0.5 (神戸位相) 21cm/s	告示波 × 1.0 (神戸位相) 42cm/s	告示波 × 1.5 (神戸位相) 63cm/s	首都直下地震 62cm/s	
建物の状態	被害の程度	無被害	軽微な被害	小破	中破	中破	
	機能維持の程度	機能確保	主要機能確保	指定機能確保	限定機能確保	限定機能確保	
	要する修復の程度	修復不要	軽微な修復	小規模修復	中規模修復	中規模修復	
判定基準値	層間変形角	1/200 以下	1/150 以下	1/100 以下	1/75 以下	1/75 以下	
	層塑性率 μ	—	—	$\mu \leq 2.0$	$\mu \leq 3.0$	$\mu \leq 3.0$	
応答値	層間変形角	1/476	1/235	1/113	1/78	1/89	
	層塑性率 μ	—	—	$\mu \max = 1.54$	$\mu \max = 2.86$	$\mu \max = 2.10$	
性能余裕度*		2.38	1.57	1.13	1.04	1.18	
耐震性能グレード		上級					
所見		目標とする上級の耐震性能グレードを有した建物となっています。震度6強程度の大地震では小破におさまり、制限のあるものの業務活動を継続することが可能です。発生確率は低いものの最大の地震として想定した首都直下型地震でも中破となり業務活動を維持できませんが、補修により耐震性能が回復できると考えられます。					

*) 性能余裕度：各レベルの評価項目(判定基準値/応答値)の最小値

SCRS



一般社団法人

日本建築構造技術者協会

Japan Structural Consultants Association

102-0075 東京都千代田区三番町 24 番地 林三番町ビル

TEL : 03-3262-8498 FAX : 03-3262-8486

E-MAIL : info@jsca.or.jp

WEB SITE : <http://www.jsca.or.jp>