

2. 一般的な要件（簡易改修と体系的改修）

2.1. 範囲

ここでは、本ガイドラインにおける既存建物改修の一般的な要件を示す。要件を定める枠組みをあえて広くとっているのは、多くの異なるタイプの建物に対応するとともに、広範な性能レベルを満たし、米国とその領土の地震危機の多様性を考慮に入れるためである。

建物の耐震改修に関する以下の一般的な問題について、その基準を本章に記す。

- **改修目標：**所与の地震強度レベルに対して希望する耐震性能レベルの選択
 - **耐震性能レベル：**設計用地震波における建物の予想挙動を、構造体と非構造体が受ける損傷の限界レベルによって定義したもの
 - **地震災害：**設計用地震波および立地災害（地滑りや液状化、圧密沈下など）の決定
- **建設時の特性：**既存建物の基本的建設特性と保有耐震力の決定
- **改修方法：**簡易改修法か体系的改修法の選択
- **改修戦略：**改修の基本戦略の選択、例えば、横力を負担する構造要素（架構等）の付加、または免震、建物質量の軽減など
- **解析と設計の手順：**体系的改修であれば、線形静的、線形動的、非線形静的、非線形動的手順のいずれかを選択
- **一般的な解析と設計：**指定した部材の評価に用いる応力と変形の設定および構造部材の接続に関する最低設計基準の指定
- **建物の相互作用：**隣接する構造物と構造要素（架構等）を共用する建物、および近隣の構造物の存在によって性能に影響を受ける建物に関する指針
- **品質保証：**施工過程で設計意図が適切に実行されることを保証するための指針
- **代替の材料と方法：**本ガイドラインに明記されていない構造部材の評価と設計のための指針

2.2. 基本的アプローチ

耐震改修設計の基本的アプローチは、次に示す段階的手順に従う。この段階的手順は、改修過程で一般に行われる順序で列記しているが、実際にこの手順を実行するにあたっての指針の説明は、考え方が分かりやすいように、若干、順序を変えている。

- 建物に関する建設時の情報を入手し、建物が歴史的価値を有するか否かを含めて、その特性を割り出す。（2.7 節参照）
- 建物の改修目標を選択する。（2.4 節）
- 適切な改修方法を選択する。（2.8 節）
- 簡易改修法を適用する場合は、10 章の手順に従う。
- 体系化改修法の場合は、以下に従う。
 - 改修戦略を選択し（2.10 節）改善策の予備設計を行う。
 - 適切な解析法を選択する。（2.9 節）
 - 選択した耐震改修目標に適合しているか否かを検証するため、改善策を含め、建物の解析を実行する。（3 章）
 - 設計が不適切なら、改善策に手を加えるか、戦略を変更し、受け入れ可能な設計解が得られるまで、解析を繰り返す。

改修計画に着手する前に、建物がそのままの状態希望する地震耐力レベルを有するか否かを評価しなければならない。FEMA178 (BSSC, 1992) はこの目的に利用可能な評価手法の例である。しかし FEMA178 は、50 年間の超過確率が 10% (10%/50 年) の地震に対する人命安全性能レベル以外の目標を扱っていない。これに対して本ガイドラインはその他の性能レベルと地動基準についても利用することができる。FEMA178 は損傷制御性能範囲を加えるために改訂中である。

表 2-1 は、2 章における指針と基準、および他の章に記されている指針や基準との関係をまとめたものである。

表 2-1 2 章に示す指針と基準、および他の章に記されている指針と基準との関係

作 業	2 章に記す基準		他の章に記された詳細な実施基準	
	節	内容	章	内容
改修目標の選択	2.4 節	詳細な指針		
性能レベルの選択	2.5 節	詳細な指針		
振動危険度の選択	2.6 節	詳細な基準		
他の地震災害の評価	2.6 節	一般的な検討	4 章	評価方法と軽減方法
施工完了時の情報の入手 (歴史性を含む)	2.7 節	詳細な指針	4-8 章, 11 章	材料特性指針 検査指針
改修方法の選択 簡易手法 体系的手法	2.8 節 2.11 節	改修方法 一般的な解析・設計 基準	10, 11 章 3-9 章, 11 章	詳細な指針 体系的手法の実施
解析手法の選択	2.9 節	詳細な基準		
数学モデルの作成	2.11 節	一般的な解析・設計 基準	3 章 4-9 章, 11 章	詳細な要件 部材のスティフネスと強度
応力と変形の評価の 実行	2.11 節	一般的な解析・設計 基準	3 章	詳細な基準
部材の許容基準の適用	2.9 節	一般的な基準	3 章 4-9 章, 11 章	詳細な基準 部材の強度と変形の基準
品質保証の適用	2.12 節	詳細な指針		
代替の建設材料 建設方法の利用	2.13 節	詳細な指針		

2.3. 設計基準

本ガイドラインは、全国的に適用可能な建物の耐震改修手順の提供を目指している。ガイドラインに従って改修された建物はおおむね、設計地震が作用したとき、希望したレベルの範囲内で挙動すると予想される。しかし、ガイドラインに従っても、そのような性能が保証されるわけではない。地震工学の実務は急速に進歩しており、強震時の建物の挙動の把握もその挙動の予測も進歩している。将来、新たな知識と技術によってこのような目標を達成するためのより信頼性の高い方法が提供されるであろう。

ガイドラインに記す手順は、特に既存建物の改修に適用されるが、一般的に、新築の建物の耐震設計を対象とする建築基準法より適切であろう。建築基準法は主として新築時の設計と施工の規制を目的としている。したがって、望ましい耐震性能にとって重要な特性、例えば均一な構成、構造体の連続性、靱性の詳細設定、適切な品質の材料など、を用いた設計を促す条項が数多く含まれている。既存建物はこのような特性を考慮せずに設計・建設されたものが大半で、不良な構成や不十分な仕様など、建築基準法の耐震改修への適用を妨げる特徴を有している。

本ガイドラインの規定を使用するために、改修設計の基礎となる改修目標を選択しなければならない。各改修目標は地震強度（危機レベル）と対応する損傷状態（建物の耐震性能レベル）を組み合わせで設定する。本ガイドラインに示す基本的安全目標（BSO）の性能レベルと危険度は、米国において従来、許容されてきた地震リスクと一致している。また、基本的安全目標より低いレベル（限定的目標）の性能や、より高いレベル（高度な目標）の性能についても記述している。

基礎も含めて、建物の各構造部材と構造要素（架構等）は主要素か2次要素に分類される。一般的な建物では、多くの非構造部材を含めてほぼ全ての構造要素は、建物の剛性および質量、減衰、そして結果的に地震に対する応答に寄与する。しかし、全ての構造要素が、強い地震動を受けた建物の倒壊を食い止める力を左右するものではない。例えば、外壁の仕上げや内部の間仕切りは構造体の初期剛性には大きく加算されるが、一般にこの剛性は、新しい建物の設計時にはこれらの構造要素の横方向強度は小さいので、横力に抵抗するとは考えない。同様に、耐力壁建物の床組と柱の相互作用は、若干、剛性を上げるが、耐力壁の剛性に比べて小さいので通常、設計者は無視する。本ガイドラインに示す手順では、一般に横力の抵抗要素として考慮されないものでも、建物の横力応答に加わるすべての部材と構造要素の挙動を考慮する。これは各構造要素が受けるであろう損傷の大きさを評価するためである。主要素と2次要素に分類することで、技術者は、倒壊に対する抵抗力を左右する要素にとって必要な性能と、そうでない要素の性能を区別することができる。

- 主構造要素と主構造部材は、地震が誘発する地動を受けたとき、倒壊を食い止める構造体全体の抵抗力となる。この主構造要素に損傷が生じたり、強度や剛性が若干、低下することがあったとしても、倒壊に対する主構造要素全体の抵抗力は譲歩してはならない。
- 既存建物のその他の部材や構造要素は2次要素とする。ある構造性能レベルで、2次要素の横力抵抗スティッフネスや強度の大幅な劣化が許容されるのは、設計用地動に対する建物全体の抵抗力を妨げないからである。しかし、設計用地震によって建物に最大変形が生じたとき、2次要素は重力を支える力は保持しなければならない。

性能レベルを指定した場合、主要素は2次要素より許容基準の制限が大きい（すなわち、損傷に対する許容幅が小さい）のが一般的である。

基本的な安全目標（BSO）もしくは高度な改修目標を満たすために、改修建築物は、地動による地震力をその作用点から最終抵抗点に伝えるための十分な強さと剛性に加えて、連続的な荷重経路を備えていなければならない。構造体のすべての主要素と2次要素が、適用する性能レベルにおいてガイドラインの許容基準内で、地震危険度に相当する力と変形に抵抗できることを示す必要がある。また、非構造体要素と建物の内容物も、適用する性能レベルの許容基準に従って損傷を制御するために、適切に構造体に固定されなければならない。

2.4. 改修目標

前述のとおり、設計の基盤となる改修目標の選択が必要となる。改修目標とは、建物が指定する強度の地震動を受けたときに（2.6節）建物にどのような性能を望むかを述べたものである（2.5節）。

建物の性能を質的に表現するためには、地震時およびその後に、居住者に提供する安全性、建物を地震の前の状態に戻ることができるかどうか、その可能性と費用、または、修理のため建物を利用できない期間の長さ、地域社会に与える経済的、建築的、歴史的影響を評価する。このような性能上の特性は、建物が耐えうる損傷の範囲に直接、関係している。

ガイドラインでは、建物の損傷範囲を建物性能レベルで分類する。改修目標の選択にあたって、性能レベルの範囲を広くとることもありうる。性能レベルは、構造体が許容できる損傷を定義する構造体性能レベルと、非構造部材と内部造作が許容できる損傷を定義する非構造体性能レベルから構成される。

2.5.1 節では、改修目標計画を立てる際に用いる 3 段階の構造体性能レベル - 即時使用可能 (S-1)、人命安全 (S-3)、倒壊防止 (S-5) - を定義する。また、性能レベルで示す損傷状態の中間にある状態を対象として設計できるように 2 段階の性能範囲 - 損傷制御 (S-2) と限定的安全 (S-4) - を定義している。更に、非構造体のみ修復する状態を示すため「構造体性能の非考慮」S-6 の指定がある。

2.5.2 節では、3 段階の非構造体性能レベル - 運用可能性能レベル、即時使用可能性能レベル (N-B)、人命安全性能レベル (N-C) - を定義する。また、危険低減レベル (N-E) と非構造体の損傷に制限のない 5 番目のレベル・分類 (N-E) がある。

2.5.3 節では、建物性能レベルを指定するために、どのように構造体と非構造物の性能レベルを組み合わせるかを示す。数値は構造体性能レベル、文字は非構造体性能レベルを表している。建物の改修目標を立てる際に使用する 4 段階の性能レベル、すなわち、運用可能性能レベル (1-A)、即時使用可能レベル (1-B)、人命安全性能レベル (3-C)、崩壊防止性能レベル (5-E) について記述する。

2.6 章の「地震災害」では、必要な地震動の判定方法と、液状化や地滑りなどの地震災害を考慮する方法を示す。地震動の大きさは、選択した解析手順によって、地動の応答スペクトルやスペクトルを決める個々のパラメータ、地動の時刻歴で表現される。地盤破壊の可能性が大きい立地については、予期される永続的特質的な地盤変形との関連でも、地震動の大きさを表現しなければならない。

地震動の大きさは、その原因となる断層に対する建物所在地の関数であり、地域と立地の地質特性、耐震改修目標において選択する地動危険度レベルである。ガイドラインでは、危険度レベルを確率的基準か、決定論的基準のいずれかで決めることができる。確率的危険度は、50 年間にさらに強い地震動が起きるであろう確率 (超過確率) で定義する。決定論的地震動は、信頼できる範囲内で、特定断層での特定マグニチュードの事象で定義するが、これは、主要活断層から数マイル以内に位置する建物にもっとも適している。本ガイドラインでは確率的危険度レベルを使用することが多いが、平均再現期間 (同程度の地震間の平均年数) は下記のとおり。

地震の超過確率	平均再現期間 (年)
50%/50 year	72
20%/50 year	225
10%/50 year	474
2%/50 year	2,475

これらの平均再現期間は通常、それぞれ 75, 225, 500, 2500 年に丸める。ガイドラインで頻繁に言及するのは、改修目標の設定に特に有用な 2 つの地震危険度レベルである。これらは確率的手法と決定論的手法の双方で定義する。基本的安全地震 1 (BSE-1) と基本的安全地震 2 (BSE-2) と呼ばれている。BSE-1 と BSE-2 の地震は、通常、近くに大きな活断層のある地域を除いて、10%/50 年と 2%/50 年の事象と理解されている。近くに活断層のある地域では、BSE-1 と BSE-2 を、この断層における地震の決定論的予測に基づいて定義することができる。地震危険度については 2.6 節で詳しく取り上げる。

設計の基礎として選択する改修目標は、改修プロジェクトの費用と実現の可能性を大きく左右する。もとより、安全性向上の点から得られる利点や損失財産の減少、また将来の地震発生によって生じる利用障害をも左右する。表 2.2 は、本ガイドラインで用いる多様な改修目標を示すマトリクスである (建物の性能レベルの定義については 2.5.3 節を参照)。このマトリクスの各セルは、ひとつの改修目標に相当する。改修プロジェクトのゴールは、ひとつの改修目標、例えば、「BSE-1 地震で人命安全を満たす」であったり、あるいは複数の改修目標、例えば、「BSE-1 地震で人命安全、BSE-2 地震で倒壊防止、50 年に 50% の超過確率の地震で即時使用可能を満たす」である場合もある。特定の解析評価によって、改修設計がゴールとして選んだ改修目標を満足することを確認しなければならない。

表 2 - 2 改修目標

		建物性能レベル			
		運用可能性能 レベル (1 - A)	即時使用可能性能 レベル (1 - B)	人命安全性能 レベル (3 - C)	倒壊防止性能 レベル (5 - E)
地震 危険 度 レ ベル	50%/50 年	a	b	c	d
	20%/50 年	e	f	g	h
	BSE-1 (~ 10%/50 年)	i	j	k	l
	BSE-2 (~ 2%/50 年)	m	n	o	p

k + p = B S O (Basic Safety Objective: 基本的安全目標)

k + p + a, e, i, m あるいは b, f, j, n のいずれか = 高度な目標

o = 高度な目標

k 単独 または p 単独 = 限定的目標

c , g , d , h = 限定的目標

2.4.1. 基本的安全目標

耐震改修の望ましいゴールは基本的安全目標 (BSO) を達成することである。そのために、改修は「BSE-1 地震の人命安全性能動レベル (3-C)」と「BSE-2 地震の倒壊防止レベル (5-E)」の両方を達成する設計でなければならない。建物が National Building Code (BOCA , 1993 年) や Standard Building Code (SBCC, 1994) \ Uniform Building Code (ICBO, 1994) の最新の基準と、その中で適用可能な耐震条項に従って設計、施工されていれば、基準実施機関は BSO を満たすものと判断するだろう。

B S O に則して設計する耐震改修は、立地に影響を与える地震に対して危険リスクを低く押さえることを目的としている。B S O は従来、米国において許容可能とされてきた人命安全地震リスクにほぼ近い。B S O に適合する建物は、比較的頻繁に起こる中規模の地震では損傷は殆ど受けないが、滅多に起きない大きな地震に遭遇した時には、かなり甚大な損傷を受けると予想される。

B S O で改修した建物の損傷レベルは、適切に設計施工を行った新築の建物で予想されるものより大きいかも知れない。

建物が、B S O で想定されるより軽微な損傷の耐震性能を希望する場合は、2.4.2 節に示す高度な改修目標を一つ以上設定して改修設計を行う必要がある。

2.4.2. 高度な改修目標

B S O を上回る性能を目指す改修目標を高度な目標という。高度な目標は BSE-1 や BSE-2 で BSO で指定する性能より高い性能を備えることになる。高度な性能は二つの方法によって得ることが可能である。

- 直接的には、BSE-1 地震や BSE-2 地震で設計する。例題には、BSE-1 で人命安全より高い性能レベルの設計、また BSE-2 では倒壊防止より高い性能レベルの設計が含まれている。
- 間接的には、BSE-1 地震や BSE-2 地震で BSO をより高い性能を示すレベルと危険度を選択して設計する。例えば、50% / 50 年の事象で即時使用可能レベルを設定して、変形を BSO で許されている値より小さくすることにより改修の許容基準を制御できれば、その設計は高度な目標を達成していると考えられる。

本ガイドラインには「高度な改修目標」に関する正規の手順は組み込まれていないが、様々な性能レベルの考え方を議論しやすくするため、その定義を本ガイドラインと解説編に記している。

2.4.3. 限定的改修目標

耐震性能が B S O を満たさないものはすべて限定的目標という。限定的目標は部分的改修（2.4.3.1）もしくは不完全改修（2.4.3.2）の何れかからなる。限定的改修目標は次の条件を満たせば認められる。

- 改修によって構造体に不規則性が生じない、または既存構造体の不規則性が大きくなるしない。
- 改修によって構造体の横力や変形に対する抵抗能力が小さくなることのない。
- 改修によって、地震力に対して適切な抵抗能力のない部材において、構造体全体の性能を考慮して、その部材の挙動が許容可能である場合を除いて、地震応力が大きくなることのない。
- 新しい、または改修した構造要素（架構等）が、ガイドラインの要求する仕様で既存構造体と接合する。
- 改修によって安全でない状態が生じたり、安全性がさらに損なわれることのない。
- 地域で実施されている建築法規が、限定的改修を容認している。

2.4.3.1. 部分的改修

構造体の横力抵抗能力への対処が完全ではない耐震改修を部分改修という。部分改修の対象となった箇所は、改修目標に合わせて設計し、後の改修でその改修目標を完全に達成できるように計画を立てる。

2.4.3.2. 不完全改修

不完全改修は建物全体の横力抵抗能力に対処するが、BSO で要求されるレベルを満たしていない。不完全改修は次のような目標に従って設計される。

- BSE-1 より危険ではない（確率は高い）地震での人命安全性能レベル（3-C）
- BSE-2 より危険ではない（確率は高い）地震での倒壊防止性能レベル（5-E）
- BSE-1 や、BSE-1 より危険ではない（確率は高い）地震での性能レベル 4-C , 4-D , 4-E , 5-C , 5-D , 5-E , 6-D , 6-E

2.5. 性能レベル

建築物の性能は、構造部材と非構造部材の性能を組み合わせたものである。表 2-3 に、ガイドラインに示すレベルに沿って改修した建物で予期される構造体と非構造体の損傷レベルを示す。比較のため、新築建物に BSE-1 レベルの地震が作用した場合に推測される性能を示している。このような性能の記述は、正確な予測というより推定であり、同じ性能レベルの建物であっても相違があるのは言うまでもない。

構造部材と非構造部材の性能定義はそれぞれ独立している。本ガイドラインでは、構造体の性能レベルを、2.5.1 節の名称と数値識別子（S-に続く）によって示す。非構造体の性能レベルは、2.5.2 節の名称と文字識別子（N-に続く）によって示す。

2.5.1. 構造体の性能レベルと性能範囲

3 段階の構造体性能レベルと各レベルの中間にある 2 段階の構造体性能範囲を定義する。許容基準は、既存、新築ともに建物の種々の構造要素の許容可能な地震応力と変形に関係し、構造体の性能レベルや性能範囲に直結している。

建築主は構造体の性能要件が幅広く織り込まれることを希望するだろう。本ガイドラインで 3 段階の構造体性能レベルを選択したのは、最も一般的に指定される構造体性能要件と関連づけるためである。その他の要件を望む利用者が改修目標を個々の要望にあわせて設定できるように 2 段階の構造体性能範囲を設けている。

構造体性能レベルは、即時使用可能レベル（S-1）、人命安全レベル（S-3）、倒壊防止レベル（S-5）である。表 2-4 は、横力抵抗として作用する鉛直材の限界損傷状態と性能レベルの関連を示している。表 2-5 は、横力抵抗として作用する水平材の限界損傷状態と構造体性能レベルの関連を示している。本ガイドラインでは、既知の地震動について構造体性能レベルを達成するために、いろいろな部材の変形と応力の計算限界値として推奨する設計パラメータ（ m 係数、部材の耐力、塑性変形）を指定している。

表 2-4 に示す層間変位の値は、種々の性能レベルと関連する構造体の応答を示すための標準値である。この標準値はガイドラインの層間変位限界仕様として記述しているわけではなく、5 章から 9 章及び 11 章に規定した、特定の層間変位限界、あるいは、関係する構造要素（架構など）や部材の変形限界に取って代ることはない。表に記述した地震後の建物の状態は、設計目的のためであり、地震後の安全評価過程で用いてはならない。

構造体性能範囲には損傷制御範囲（S-2）と限定的安全範囲（S-4）がある。この中間的な性能範囲の設計には、特定の許容基準は設定されていない。この性能範囲の設計を望む場合は、技術者が適切な許容基準を決定する。損傷制御範囲の性能に対する許容基準は、即時使用可能レベルと人命安全レベルの許容基準を内挿して得られる。限定的安全範囲の許容基準は、人命安全と倒壊防止レベルの性能に対する許容基準を内挿して得られる。

2.5.1.1. 即時使用可能レベル（S-1）

構造体性能レベル S-1、すなわち「即時使用可能」は、地震後、構造体に非常に限られた損傷が生じる状態を意味する。建築物の基本的な、鉛直・水平方向の抵抗システムは、ほぼ地震前と同じ強度とスティフネスを保有している。構造的損傷の結果として、命に関わる負傷の危険性は低く、若干の構造的修復を行った方がよいかもしれないが、一般に、使用にあたっての修復の必要性はない。

2.5.1.2. 人命安全性能レベル（S-3）

構造体性能レベル S-3、すなわち「人命安全」は、地震後、構造体に大きな損傷を受けるが、部分的、全体的な倒壊に対してある程度の余裕を残している状態を意味する。構造要素（架構等）や構造部材は深刻な損傷を受けるが、そのために建物の内外に大きな破片が落下する危険はない。地震で負傷者は出るかもしれない。しかし構造的損傷の結果として、人命にかかわる負傷の危険性は低いと予測される。構造物の修復は可能であるが、経済的な理由から実行できないかもしれない。損傷した構造体は切迫した倒壊の危険はないが、使用するにあたって、構造的に修復するか、または一時的にブレース材を設置する方が賢明である。

2.5.1.3. 倒壊防止性能レベル（S-5）

構造体性能レベル S-5、すなわち「倒壊防止」は建物が部分的、全体的倒壊の寸前の状態にあることを意味する。構造体に相当な損傷が生じる。可能性としては、横力抵抗システムのスティフネス及び強度の大きな劣化、構造体の大きな永久変形、限定的範囲ではあるが鉛直荷重耐力の劣化が考えられる。しかし、重力荷重抵抗システムの主要な部材は、重力荷重を支え続ける必要がある。構造破片の落下によって負傷者が出る危険性は大きい。構造体の修復は技術的には不可能で、余震が倒壊を引き起こすこともありうるので、使用は安全でない。

2.5.1.4. 損傷制御性能範囲（S-2）

構造体性能範囲 S-2、すなわち「損傷制御」では、損傷は「人命安全」で定義した程度より小さいが、「即時使用可能」より大きい。損傷制御性能のための設計は、修理時間や使用不能状態を短縮するときに望ましい。高価な設備や中身を保護する手段の一つとして、あるいは「即時使用可能」レベルの設計費用が高価に過ぎる時、重要な歴史的 작품을保存する場合などに望ましいかもしれない。「損傷制御範囲」の許容基準は即時使用可能レベル（S-1）と人命安全（S-3）レベルの値を内挿して得ることができる。

2.5.1.5. 限定的安全性能範囲 (S-4)

構造体性能範囲 S-4、すなわち「限定的安全」は人命安全レベルと倒壊防止レベルの間の損傷状態を意味する。この範囲の設計パラメータは人命安全 (S-3) と倒壊防止 (S-5) レベルで用いる値を内挿して得ることができる。

2.5.1.6. 構造体性能の非考慮 (S-6)

改修計画で非構造体の脆弱性への対応を望む建主もいる。例えば、パラペットの補強や危険な材料の貯蔵容器の固定などで、構造体そのものの性能は取り上げない。このような改修は比較的費用をかけずに地震リスクを大きく低減できるので、注目される場合もある。ガイドラインの要件に関する実際の構造体性能は不明で、範囲は、倒壊の危険性から即時使用可能性能レベルを満たす構造体までと考えられる。

2.5.2. 非構造体性能レベル

本ガイドラインでは4段階の非構造体性能レベルを定義し、表 2-6 から 2-8 に要約する。この性能レベルで扱う非構造部材には、間仕切、外装、天井のような建築意匠要素、および冷暖房空調設備や給排水、消火設備、照明などの機械・電気設備要素が含まれる。収容動産、備品（在庫品やコンピュータなど）はあるレベルの表に含まれていることもあるが、一般に本ガイドラインの具体的な仕様には含まれない。人命安全性能レベルで非構造部材を改修するための設計手順と許容基準は11章に記す。他の性能レベルについては一般的ガイダンスのみを示す。

2.5.2.1. 運用可能性能レベル (N-A)

非構造体性能レベル A、すなわち「運用可能」は、地震によって損傷を受けたとき、非構造部材が建物本来の機能を維持できる状態を意味する。この性能レベルでは、建物の通常使用に要求される非構造体システム（照明、給排水、冷暖房空調設備、コンピュータシステムなど）は、一部、簡単な清掃や修理が必要かもしれないが、適切に機能する。この性能レベルで求められる検討内容は、構造技術者だけで決められるものではない。非構造部材が適切に取り付けられ、固定されていることを保証したうえで、この性能レベルを達成するために、緊急用予備の電気・ガス・水道設備の準備が必要になる。また、強震時、またはその後に、主要な電気・機械設備の性能について厳密な確認試験を行う必要もあるだろう。

この性能レベルに関する具体的な設計手順や許容基準は本ガイドラインには含まれない。このレベルでの設計を希望する利用者は、機械・電気系統の性能を確保するために、そうした機器のメーカーのデータなど、他の情報源から適正な基準を調べる必要がある。

2.5.2.2. 即時使用可能レベル (N-B)

非構造体性能レベル B、すなわち「即時使用可能」は、地震後の損傷状態が、限定的な非構造体損傷に限られるものを意味する。電力が供給されていれば、ドアや階段、エレベーター、非常用照明、火災報知器、消火設備を含む基本的な出入口と人命安全システムは機能する状態にある。窓が多少破損したり、一部の部材に軽い損傷が生じる場合もある。建物は構造的に安全であると仮定して、通常の利用には多少の支障があり、清掃や検査が必要であっても、住人はその建物に安全に留まることができる予想される。一般に、建物の機械・電気系統の要素は構造的に安全で、必要な共用サービスが利用可能なら機能する。しかし、要素によっては変形や内部損傷によって機能不全になるものもあるかも知れない。電力、給水、ガス、通信回線、その他、通常の建物利用に必要なサービスは利用できないかも知れない。非構造体の損傷によって人命が脅かされる危険性は極めて低い。

2.5.2.3. 人命安全レベル (N-C)

非構造体性能レベル C、すなわち「人命安全」では、地震後、非構造部材に深刻な、損害も多額に及ぶ損傷が生じるが、建物の内外で、非構造部材が外れたり、落下したり、人命を脅かすことはない。建物内部で出口への通路は広くふさがれてはいないが、軽量の破片が障害となるかもしれない。冷暖

房空調設備や給排水設備、消火設備が故障し、機能不全となると同時に、局部的な浸水も起こりうる。地震時に、非構造部材の破損によって負傷することもあるが、全体的に人命を脅かすような負傷の危険性は極めて低いと予測される。非構造部材の復旧には多大な労力を要する。

2.5.2.4. 危険要素低減レベル (N-D)

非構造体性能レベル D、すなわち「危険要素低減」は、地震後に、非構造部材に甚大な損傷が生じるが、人々を下敷きの危険にさらすような大きく、重い物、たとえばパラペット、被覆材、重いプラスタ天井、収納棚などが落下することはない。例外的に破片の落下で重症者が出ることはあっても、構造物の内外で多くの人々が負傷するような損傷は防止する。出口、消火システム、同様の人命安全問題はこの性能レベルでは対象としない。

2.5.2.5. 非構造体性能非考慮 (N-E)

時として非構造部材の脆弱性を検討せずに耐震改修を行う決定がなされる場合もある。建物の運用を妨げることなく改修を行う場合は、こうした方法が望ましいかもしれない。場合によっては、建物の外側から全面的な構造的改修を行うことができるが、非構造部材の改修は通常の運用が不可能な状態を招く。また、構造物の脆弱性を放置すると人命安全に対して極めて深刻な危険性が生じるので、地方自治体が構造改修のみを必要とする耐震改修条例の採用を望むこともある。

2.5.3. 建物の性能レベル

建物の性能レベルは構造体と非構造体の性能レベルを組み合わせである。多数の組み合わせが可能である。建物の性能レベルは、構造体のレベルを表す数値と、非構造体のレベルを示す文字の組み合わせで指定する（例：1-B, 3-C）。表 2-9 に可能な組み合わせを示し、設計の基本となる可能性が高いものに名称を付している。よく用いられる性能レベルを下記に示す。

2.5.3.1. 運用可能レベル (1-A)

この建物性能レベルは、構造体の即時使用可能レベルと非構造体の運用可能レベルの組み合わせである。この性能レベルを満たす建物は、構造部材と非構造部材の損傷がないか、あってもごくわずかであることが予想される。多少の機能低下はあるかもしれないが建物の通常どおりの使用が可能である。電力や水、その他必要な資源は非常用設備から供給される。本質的でないシステムが一部機能しないかもしれない。この性能レベルを満たす建物は人命が危険にさらされる可能性は極めて低い。

非常に低いレベルの地震動あれば、ほとんどの建物はこの性能レベルを満たすか、上回る必要がある。しかし通常、きわめて高いレベルの地震動をもとに、この性能で設計することは、必要不可欠なサービスを提供する場合を除き、経済的に実用的でない。

2.5.3.2. 即時使用可能レベル (1-B)

この建物性能レベルは構造体と非構造体の即時使用可能レベルの組み合わせである。この性能レベルを満たす建物は、構造要素の損傷はないか、あってもごくわずかで、非構造部材の損傷も最小限であると予想される。この性能レベルを満たす建物であれば、大地震後すぐに利用しても安全ではあるが、電力不足や機器の内部損傷によって、非構造系統が機能しないかも知れない。したがって、建物の即時使用は可能であるが、通常どおり建物が機能する前に、清掃や修理を行ったり、公共サービスの復旧を待つこともある。この性能レベルでは人命安全に対する危険は非常に低い。

建築主の多くは、中程度の地震地動で、この性能レベルの達成を望むであろう。更に建築主によっては、強い地震動に際しても、非常に重要な建物であれば、この性能レベルを望むかも知れない。このレベルでは、「運用可能レベル」とほぼ同じ保護が得られるが、予備の電気・ガス・水道設備を設置して設備の性能の厳格な耐震認定を行うための費用は生じない。

2.5.3.3. 人命安全レベル（3-C）

この建物性能レベルは、構造体および非構造体の人命安全レベルの組み合わせである。このレベルを満たす建物は、構造部材や非構造部材に広範な損傷が生じるかも知れない。再使用の前に建物の修理が必要となり、さらに修理が経済的に不可能な場合もある。この性能を満たす建物では人命の危険性は低い。

この性能レベルは、設計用地震が作用したとき、新築の建物が耐震性に関して適切に設計・施工された場合に予想されるより、幾分大きな損傷を生じる。建築主の多くは、強いレベルの地震動に対して、この性能レベルを満たすことを望む。

2.5.3.4. 倒壊防止レベル（5-E）

この建物性能レベルは、構造体の倒壊防止レベルを基本とし、パラペットや重い付属物の改修を除いて、非構造部材の脆弱性は考慮しない。この性能レベルを満たす建物は、非構造部材の破損によって、人命安全が大きく脅かされる危険性がある。しかし、建物そのものは倒壊しないので、大勢の死者は避けられるだろう。このレベルの建物は完全に経済的価値を失う。

このレベルは、比較的低コストで、危険性が高い人命安全危機を軽減するので、地方自治体によって制定される強制的耐震改修の基本として選択されることがある。

表 2 - 3 損傷制御と建物の性能レベル

	建物性能レベル			
	倒壊防止レベル	人命安全レベル	即時使用可能レベル	運用可能レベル
損傷全般	深刻	中程度	軽微	ごく軽微
概要	剛性・強度はほとんど残っていないが、荷重を支える柱や壁は機能している。大きな永久層間変位がある。出口が一部ふさがれている。充填材とブレースのないパラペットが損壊、建物は倒壊間近。	全ての階で一定の剛性と強度が残っている。重力荷重を支持する構造要素が機能している。壁の面外破損はない。パラペットの転倒はない。多少の永久層間変位がある。パーティションが損傷を受ける。修理は少額の費用では不可能。	永久層間変位はない。構造は実質的に初期の剛性と強度を保持。構造体、外壁や間仕切り、天井に小さな亀裂。エレベータ再始動可。防火装置運転可。	永久層間変位はない。構造は実質的に初期の剛性と強度を保持。構造体、外壁、間仕切り、天井に小さな亀裂。通常運用に重要なシステムは全て機能する。
非構造部材	広範な損傷が発生	落下物による危険性は少ないが、多くの意匠、機械、電気系統が損傷を受ける	設備および収容物は保護されるが、機械の故障や共用サービスの不通により稼働しない場合もある。	ごくわずかな損傷。電力その他の共用サービスは利用可能。予備の供給源が利用されることもある
NEHRP 条項に従って設計された建物で想定される性能との比較	損傷もリスクも著しく大きい	損傷はやや大きく、リスクも若干高くなる	損傷はかなり小さく、リスクも低くなる	損傷はかなり小さく、リスクも低くなる

表 2 - 4 構造体の性能レベルと損傷¹ - 鉛直要素

構造要素	タイプ	構造体性能レベル		
		倒壊防止レベル S-5	人命安全レベル S-3	即時使用可能レベル S-1
コンクリート架構	主要素	靱性構造要素の広範な亀裂と降伏ヒンジ発生。非靱性柱に限定的亀裂と断裂。短柱に重度の損傷。	梁に広範な損傷。靱性柱に被覆の剥離とせん断亀裂（幅 1/8 インチ未満）。非靱性柱に軽微な剥落。接合部亀裂は幅 1/8 インチ未満。	軽微なヘアクラック。数箇所に限定的な降伏の可能性。圧壊はない（歪みは 0.003 未満。）
	2 次要素	柱（限定的な縮小）と梁に大きな剥離。重大な接合部損傷、鉄筋の座屈	靱性構造要素に大きな亀裂と降伏ヒンジ。非靱性柱に限定的亀裂および断裂。短柱に重大な損傷。	靱性の柱梁の一部小破。柱梁に曲げ亀裂。接合部のせん断亀裂は 1/16 インチ幅未満。
	層間変位 ²	過渡 4 %、または永久	過渡 2 %、永久 1 %	過渡 1 %、永久変形微小
鉄骨モーメント架構	主要素	柱梁パネルの大きな劣化。モーメント接合部に多くの断裂があるが、せん断接合部は無傷。	ヒンジ形成。梁構造要素の一部に局部座屈。接合部に重度の劣化。孤立したモーメント接合破断が生じるが、せん断接合部は無傷。一部の構造要素で部分破断の可能性あり。	数箇所に小さな局部的降伏。破断はない。部材に軽微な座屈、または目に見える永久歪み。
	2 次要素	主要素に同じ。	柱梁パネルの大きな劣化。モーメント接合部に多くの破断があるが、せん断接合部は無傷。	主要素に同じ。
	層間変位 ²	過渡 5 %、または永久	過渡 2.5 %、永久 1 %	過渡 0.7 %、永久変形微小
鉄骨ブレース架構	主要素	ブレースの広範な降伏と座屈。多くのブレースとその接合部が破損。	多くのブレースが降伏又は座屈するが全体的には破損しない。多くの接合部が破損。	ブレースの軽微な降伏または座屈。
	2 次要素	主要素に同じ	主要素に同じ	主要素に同じ
	層間変位 ²	過渡 2 %、または永久	過渡 1.5 %、永久 0.5 %	過渡 0.5 %、永久歪みなし。

構造要素	タイプ	構造体性能レベル		
		倒壊防止レベル S-5	人命安全レベル S-3	即時使用可能レベル S-1
コンクリート壁	主要素	大きな曲げ及びせん断亀裂と空隙。接合部で滑り。広範な鉄筋の圧壊と座屈。開口部周辺の破損。甚大な境界構成要素の損傷。カップリング梁は大破し、実質的に崩壊。	鉄筋の限定的な座屈を含む境界構成要素の疲労。接合部の一部が滑動。開口周囲が損傷。一部圧壊と曲げ亀裂。カップリング梁は広範なせん断・曲げ亀裂、一部圧壊するが、コンクリートは定着。	壁に微細なヘアクラック、幅 1/16 インチ未満。カップリング梁の亀裂は幅 1/8 インチ未満。
	2 次要素	パネルは大破し、実質的に崩壊。	大きな曲げ及びせん断亀裂。接合部の滑動。広範な圧壊。開口部周辺の破損。境界構成要素の甚大な損傷。カップリング梁は大破し、実質的に崩壊。	壁に微細なヘアクラック。接合部に滑動痕跡。カップリング梁亀裂の幅は 1/8 インチ未満。微細な剥落。
	層間変位 ²	2 % 過渡、または永久	1 % 過渡、0.5 % 永久	0.5 % 過渡、永久歪みなし
無筋組積造充填壁	主要素	広範な亀裂と圧壊；段表面の部分的剥離	広範な亀裂と部分的圧壊はあるが、壁は定着。落下する部分はない。開口部隅の装飾の広範な破碎や剥落。	組積造の充填と装飾の軽微なクラック（幅 1/8 インチ未満）。開口部隅仕上げの剥落。
	2 次要素	主要素に同じ。	主要素に同じ。	主要素に同じ。
	層間変位 ²	0.6 % 過渡、または永久	0.5 % 過渡、0.3 % 永久	0.1 % 過渡 永久歪みなし
無筋組積造壁(非充填)	主要素	広範な亀裂。仕上げ材剥落。顕著な面内面外移動。	広範な亀裂。組積造に顕著な面内移動と僅かな面外移動。	装飾材に僅かな亀裂（幅 1/8 インチ未満）。開口部隅仕上げの剥落。目だつ面外移動なし。
	2 次要素	非支持パネル落下。	主要素に同じ。	主要素に同じ。
	層間変位 ²	1 % 過渡または永久	0.6 % 過渡、0.6 % 永久	0.3 % 過渡、0.3 % 永久
鉄筋組積造壁	主要素	圧壊。広範な亀裂。開口周囲および隅に損傷。一部落下。	壁全面に分布する広範な亀裂（幅 1/4 インチ未満）。一部圧壊。	わずかな亀裂（幅 1/8 インチ未満）。面外への移動なし。
	2 次要素	パネルの破碎、事実上崩壊状態。	圧壊。広範な亀裂。開口周囲および隅に損傷。一部落下。	主要素に同じ。
	層間変位 ²	1.5 % 過渡、または永久	0.6 % 過渡、0.6 % 永久	0.2 % 過渡、0.2 % 永久

木造間柱壁	主要素	接合部の緩み。部分的な釘の抜け落ち。部材やパネルの部分的割れ。仕上げ材剥離。	接合部の中程度の弛み、部材のわずかな割れ。	石膏及びプラスター仕上げに僅かなヘアクラック分布。
	2 次要素	被膜材剥離。筋違の破断及び座屈。間柱崩壊。	接合部の緩み。部分的な釘の抜け落ち。部材やパネルの部分的割れ。	主要素に同じ。
	層間変位 ²	3 %過渡、または永久	2 %過渡、 1 %永久	1 %過渡、0.25 %永久
プレキャストコンクリート接合部	主要素	接合部が破損するが、構造要素は定着。	接合部で局部的圧壊と剥落が生じるが、接合部全体は損傷なし。	接合部の機能低下；接合部の亀裂は幅 1/16 インチ未満
	2 次要素	主要素に同じ	接合部が破損するが、構造要素は定着。	接合部にわずかな亀裂と剥落。
基礎	一般	大きな沈下と傾き	合計沈下量は6インチ未満。不動沈下は 30 フィートにつき 1/2 インチ未満。	沈下量僅少、ごくわずかな傾き。

1. 本表の損傷状態は、構造物が構造体性能レベルの定義に合致する場合、各種構造要素に生じる損傷の大きさを理解するためのものである。ここに示す損傷状態は地震後の損傷評価、または安全判定に使用することを意図したものではなく、地震後の構造物に必要な修繕レベルを示すものでもない。
2. 本表の層間変位や不動沈下等の値は、本ガイドラインの解析手順に基づく改修設計において、許容値評価の合否判定に用いることを意図したものではない。むしろ、掲載した構造要素からなる構造物が、種々の性能レベルで応答するときの層間変位の範囲を示している。改修構造物の変位制御は非構造体部材を保護するための要求仕様に依って決まることが多い。基礎の沈下や移動の許容レベルは、上部構造の施工に大きく依存する。表の値は、各レベルに合致する構造物の近似的挙動の定性的記述を意図している。
3. 充填架構の架構構造要素の限界損傷については、コンクリート架構や鉄骨架構の欄を参照のこと。

表 2 - 5 構造体の性能レベルと損傷 - 水平要素

構造要素	構造体性能レベル		
	倒壊防止レベル S-5	人命安全レベル S-3	即時使用可能レベル S-1
メタルデッキ床ダイヤ	部材の座屈および多くの溶接部と接合部の破砕による大きな歪み。	架構とデッキ、およびパネル間の溶接接合部の局部的損傷。デッキの軽微な局部座屈	デッキと架構の接合部は健全。微細な歪み。
木製床ダイヤ	釘の部分的抜け落ち、と構造要素の広範な破断による永久大変形。	接合部の破断。仕上げ材の緩み。留め金の抜け落ち。架構及び仕上げ材の破断。	留め金の緩みや抜け落ちは見えない。仕上げ材や架構の破断はない。
コンクリート床ダイヤ	広範な圧壊およびズレの目立つ多くの亀裂。	広範な亀裂（幅 1/4 インチ未満）。局部的な圧壊と破砕。	ヘアクラック分布。一部に大きな亀裂（幅 1/8 インチ未満）。
プレキャスト床	部材間の接合部崩壊。部材の相対的移動。接合部の圧壊と破砕。	広範な亀裂（幅 1/4 インチ未満）。局部的な圧壊と破砕。	一部接合部に沿って僅かな亀裂。

表 2 - 6 構造体の性能レベルと損傷 - 建築要素

部材	構造体性能レベル			
	危険度低減レベル N-D	人命安全 N-C	即時使用可能 N-B	運用可能 N-A
仕上げ材	接合部と仕上げ材に重度の損傷。多くのパネルの緩み。	接合部に極度の歪み。仕上げ材に亀裂、曲がり、圧壊、破断が分布。仕上げ材が破砕するが、パネルの落下はない。	接合部降伏。微細な亀裂（幅 1/16 インチ未満）または湾曲。	接合部降伏。微細な亀裂（幅 1/16 インチ未満）または湾曲。
ガラス	全体にガラスが粉々に割れ、枠が曲がる。破片が飛散する危険性がある。	ガラスの亀裂は広範囲に及ぶが、壊れたガラスはほとんどない。	一部パネルに亀裂が入るが、壊れない。	一部パネルに亀裂が入るが、壊れない。
間仕切	多くの場合、重度の破損と損傷。	損傷分布；場所によっては重度の亀裂、圧壊、損傷。	開口部に 1/16 インチ幅程度の亀裂。隅に軽度の圧壊と亀裂。	開口部に 1/16 インチ幅程度の亀裂。隅に軽度の圧壊と亀裂。
天井	殆どの天井は損傷。軽い釣り天井は落下。固い天井に重度の亀裂	広範な損傷。釣り天井のタイル落下。固い天井に中程度の亀裂。	軽度の損傷。釣り天井のタイルの部分的小破。一部パネルの落下。固い天井に軽微の亀裂。	全般的に無視できる程度の損傷。単独釣りパネルの位置ズレ、または固い天井に亀裂。
バラベット及び装飾	広範な損傷。非居住部分に落下する場合もある。	広範な損傷。非居住部分に落下する場合もある	小破。	小破。
天蓋、庇	広範な歪み	中程度の歪み	小破。	小破。
煙突、棚	広範な損傷。崩壊なし。	広範な損傷。崩壊なし。	軽度の亀裂。	無視できる程度の損傷。
階段、避難階段	広範な破壊。使用不能。	スラブに部分的損傷と亀裂、使用可。	小破。	無視できる程度の損傷。
照明設備	広範な損傷。落下危機発生。	多くの照明設備の破損。重い（20 ポンドを超える）照明設備の落下危機は回避。	小破。つり下げの照明器具破損。	無視できる程度の損傷。
ドア	損傷分布。多くのドアが損壊し、開かない。	損傷分布。損壊し、開かないドアがある。	小破。ドア操作可。	小破。ドア操作可。

表 2 - 7 非構造体の性能レベルと損傷 - 機械・電気・給排水システム / 部材

システム / 部材	非構造体性能レベル			
	危険度低減レベル N-D	人命安全 N-C	即時使用可能 N-B	運用可能 N-A
エレベーター	運転停止。カウンターウェイト脱線。	運転停止。カウンターウェイト所定位置。	運転可。電源が入れば利用可。	運転可。
HVAC(冷暖房空調)設備	殆どの機器が運転停止。大半が滑動、または転倒。一部釣り機器落下。	機器が滑動して、接続ダクトやパイプ、コンジェットを破壊するが落下することはない。	機器は安全な状態にあり、電源と必要なガス・水等が供給されれば殆どが運転可。	機器は安全な状態にあり、機能する。必要なら、予備の電力やその他ガス・水を供給する。
ダクト	ダクトが壊れて機器やルーバーから外れる。一部のサポートが破損。一部ダクト落下。	ダクト間接合部と機器との接合部に軽度の損傷。一部支持に損傷、ダクトは落下しない。	接合部に軽微な損傷、ダクトは使用可能。	無視できる程度の損傷。
配管	一部ラインの破裂、サポート破損、配管の部分的落下。	接合部に漏洩を伴う軽微な損傷。サポートは損傷を受けるが、配管の落下はない。	数箇所の接合部に軽微な漏洩。	無視できる程度の損傷。
スプリンクラー	天井崩壊によって多数のスプリンクラーヘッド損傷。カップリングで漏洩発生。分岐線で損傷。	天井移動により一部スプリンクラーヘッド損傷。カップリングで漏洩。	ヘッド及びパイプ接合部に僅少な漏洩。システムは操作可能。	無視できる程度の損傷。
火災報知器	天井埋め込みセンサー損傷。システムは動作不可。	動作しないこともある。	動作可。	動作可。
非常灯	一部照明落下。電源の利用ができない場合もある。	動作可。	動作可。	動作可。
配電装置	装置は移動または転倒し、接続導管は破裂。無停電電源システムは停止。ジェゼル発電機はスタートしない。	装置は架台上を移動し、運転不能。緊急電源の発電機がスタート。公共電源停止。	装置は安全な状態にあり、通常、運転可。非常用発電機が始動するが、すべての電力需要を満たすことができない場合もある。	装置は機能する。必要に応じ予備電力が供給される。
給排水設備	一部取り付け器具破損。ライン破損。本管は元で破損。	一部取り付け器具破損。本管は元で破損。	取り付け器具及び配管は使用可能。しかし公共サービスが利用不能の場合もある。	動作可。必要なら自家給水する。

表 2 - 8 非構造体の性能レベルと損傷 - 収容動産

収容動産の種類	非構造体性能レベル			
	危険度低減レベル N-D	人命安全 N-C	即時使用可能 N-B	運用可能 N-A
コンピュータシステム	機器は横転して転倒、ケーブルは外れる。二重床崩壊。	機器が移動し、ケーブルが外れることもあるが、転倒はない。電源停止。	機器は安全な状態にあり、接続保持。電源停止で操作不能の可能性、軽微な内部損傷発生の可能性あり。	機器損傷無く、運転可。電源の利用可能。
製造設備機器	機器は滑動して転倒。電源切断。重い機器は再接続と再配置が必要となる。精密な機器は機能しない場合もある。	機器は滑動するが、転倒しない。電源利用不能。運転のために再配置が必要。	機器は安全な状態にあり、電源や公共資源が供給されれば、ほぼ操作可。	機器は安全な状態にあり、操作可。電気、ガス、水道等利用可。
机上備品	机上から滑落。	一部、机上から滑落。	一部、机上から滑落。	机上に残り、使用可能。
ファイルキャビネット	転倒し、内容物散乱。	引き出しが開く。キャビネットは傾く。	引き出しが開く。キャビネットが傾くことはない。	引き出しが開く。キャビネットが傾くことはない。
本棚	書棚は転倒し、棚上のは散乱。	書物は棚から滑落。	書籍は棚を滑る。	書籍は棚に残る。
危険物・有害物	甚大な損傷。しかし大量の危険物放出はない。	損傷は僅少。偶発的な危険物流出。ガス類はこぼれない。	無視できる程度の損傷。危険物は容器に収容されている。	無視できる程度の損傷。危険物は容器に収容されている。
芸術品	落下、水漏れ、埃により損傷。	落下、水漏れ、埃により損傷。	一部落下により損傷。	被害無し。

表 2 - 9 構造体の性能レベル / 性能範囲

非構造体性能レベル	構造体の性能レベル / 性能範囲					
	S-1 即時使用可能	S-2 損傷制御可能	S-3 人命安全	S-4 限定的安全範囲	S-5 倒壊防止	S-6 非考慮
N-A 運用可	運用可 1-A	2-A	非推奨	非推奨	非推奨	非推奨
N-B 即時使用可能	即時使用可能 1-B	2-B	3-B	非推奨	非推奨	非推奨
N-C 人命安全	1-C	2-C	人 命 安 全 3-C	4-C	5-C	6-C
N-D 危険度低減	非推奨	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E 考慮せず	非推奨	非推奨	非推奨	4-E	5-E 倒壊防止	非改修

2.6. 地震災害

建築物が受ける地震被害の要因としてもっとも一般的で、重大なものは地震動である。従って、地盤震動の影響が、耐震設計に関わる建築基準法の要件の基礎となる。2.4 節に記したように、ガイドラインの BSO（基本的安全目標）を満たすために、2つのレベルの地震動を使用している。それぞれ基本的安全地震 1（BSE-1）と基本的安全地震 2（BSE-2）と呼ばれている。BSE-2 地震動は、最大想定地震（MCE）とも呼ばれ、1997 NEHRP Recommended Provisions（BSSC,1997）で MCE として定義したものに類似している。米国内の殆どの地域で、BSE-2 地震動は 50 年で 2%の超過確率（2%/50 年）である。ズレ率が大きく、マグニチュード 6.0 を超える特徴的地震が発生する断層に近い地域では、そうした特徴的な事象の結果として起こりうる震動を控えめに推測（減衰中央値の 150%）することによって、BSE-2 地震動を制限している。この方法で測定する地震レベルは、通常、2%/50 年より大きい超過確率に対応している。BSE-1 も同様だが、NEHRP 条項に記されている設計用地震の考え方と同一ではなく、50 年で 10%の超過確率の地震動（10%/50 年）として定義している。BSE-1 の地動は新築の場合の地動を超える必要はない。新築の建物については、BSE-2 の 2/3 と定義されている。

BSE-1 と BSE-2 レベルの地動に加えて、耐震改修目標は、特定の超過確率を有する地震動を考慮したり、特定の断層の決定論的な地震動を基にして、設定することもある。

ガイドラインでは、応答スペクトルを使って、建物に必要な地震震動の特性を示す。耐震改修設計に使用する地動応答スペクトルは 2.6.1 の一般的手順が、2.6.2 の立地特有の手順に従って決定する。地震帯は 2.6.3 で定義する。他の地震危機（例えば流動化現象）は 2.6.4 で取り上げる。

一般的手順では、地震動の強さを（ground shaking hazard）利用可能な加速度応答スペクトルマップから決定する。ガイドラインに付随する、短周期（0.2 秒）と長周期（1 秒）応答に対して 5%減衰応答スペクトルで示されたマップは、BSE-1 及び BSE-2 又はそれ以上の確率の地震に対する設計用地震動を作成するのに節 2.6.1 の一般的手順では直接利用できる。代わりに、望む地震応答周期に対する地震動を代表するものとして作成した 5%減衰応答スペクトルと立地土壌の種類を考慮して、他のマップと他の手順を使うことができる。立地特有の手順に於いては、断層と震源に生じた地震によって引き起こされる立地の地震動の性格に影響を与える地域特性と地質条件と同様に、地震危険度を立地に影響を及ぼす断層と震源帯の特性の研究を使用して決定する。

一般的手順は如何なるビルに対しても利用できる。立地特有な手順も又どのようなビルに対しても利用でき、次のどれかに適応しているかを考慮しなければならない。

- 改修を節 2.4.2 で定義したような強化耐震改修目標として計画する。
- ビルの立地が活断層から 10 キロメートル以内にある。
- ビルがタイプ E 土壌の上に（節 2.6.1.4 で定義）位置し、2.0g を越える短周期（ S_s ）における BSE-2 加速度応答スペクトル地図にある。
- ビルが節 2.6.1.4 で定義したようなタイプ F 土壌にある。
例外：節 2.6.1.1 に従って定義した S_s が $<0.2g$ の時、タイプ E 土壌と仮定して良い。
- ビルの時系列応答解析が設計の一部として実行される。

ビルに損傷を引き起こす他の立地特性地震危機が含まれる。

- 表面断層亀裂
- 基礎材料の不動沈下
- 地滑り
- 流動化
- 開口亀裂
- 洪水

もし与えられた立地にこれらのいずれか又は他の地震危機に対して可能性があるなら、節 2.6.4 と 4 章に従って、耐震改修設計に考慮しなければならない。

2.6.1. 一般的地震動作成手順

本節の一般的手順は次の危険度レベルの夫々に対する加速度応答スペクトルを決める為に用いる。

- 基本的安全地震 1 (BSE-1)
- 基本的安全地震 2 (BSE-2)
- 50 年に決めた確率を越える地震

決めた断層上に生じる特定のマグニチュードの地震に対して求める加速度応答スペクトルの地震危険度の決定論的推定は、節 2.6.2 の特殊立地手順を用いて行うべきである。

応答スペクトルを求める基本的なステップは以下の手順である。

1. ガイドラインの地動危険度マップにおける必要な危険度レベルを決定する。10%50 年以上の確率の危険度に対すると同様に BSE-2 地動危険度に対するマップが添付されている。
2. もし、地図中の危険度レベルの一つに対応する必要な危険度レベルなら、節 2.6.1.1 に従って地図から直接応答スペクトルのパラメータを求める。
3. もし必要危険度レベルが BSE-1 なら、節 2.6.1.2 に従って地図から応答スペクトルのパラメータを求める。
4. もし、希望危険レベルが地図上の危険度レベルに対応していない場合には、利用できる地図から加速度応答スペクトルのパラメータを求め、節 2.6.1.3 に従って、論理的に内捜又は外捜して、それらを必要危険度レベルに修正する。
5. 調整した地図によって設計用加速度応答スペクトルのパラメータか、節 2.6.1.4 に従って立地分類効果に対する修正をしてマップした加速度応答スペクトルのパラメータを求める。
6. 加速度応答スペクトルのパラメータを用いて、節 2.6.1.5 に従って応答スペクトルを作成する。

2.6.1.1. BSE-2 及び 10%/50 応答加速度パラメータ

BSE-2 地動危機に対して地図化された短周期応答加速度パラメータ S_s と 1 秒周期で地図化された応答加速度 S_1 は、ガイドラインと共に配布された地図から直接得られる。10%/50 年地動危機に対する地図化された短周期応答加速度パラメータ S_s と 1 秒周期で地図化された応答加速度 S_1 は、同じくガイドラインと共に配布された地図から直接得られる。

パラメータ S_s と S_1 は適応する地図上の立地側の応答加速度等高線に示された値を内捜するか、立地の高い方の隣の等高線に示される値を用いるかして得られる。

2.6.1.2. BSE-1 応答加速度パラメータ

BSE-1 地震危機に対する地図化された短周期応答加速度パラメータ S_s と 1 秒周期で地図化された応答加速度 S_1 は、次の小なる値を取る。

- 節 2.6.1.1 に従って 10%/50 年地震危機に対してそれぞれ決めたパラメータ S_s と S_1 の値
- 節 2.6.1.1 に従って BSE-2 地震危機に対してそれぞれ決めたパラメータ S_s と S_1 の値

2.6.1.3. 他の確率を超える地図上の応答加速度パラメータの補正

地図化された BSE-2 短周期応答加速度パラメータ S_s が 1.5g より小なる時、2%/50 年と 10%/50 年の間を越える確率に対する地図化された短周期応答加速度パラメータ S_s と 1 秒周期で地図化された応答加速度 S_1 は、方程式から得られる。

$$\ln(S_i) = \ln(S_{i10/50}) + [\ln(S_{iBSE-2}) - \ln(S_{i10/50})][0.606 \ln(P_R) - 3.73] \quad (2-1)$$

ここに、

$\ln(S_i)$ = 望む確率を超えるスペクトル加速度パラメータの自然対数
(i は短周期に対しては s 、1 秒周期に対しては 1)

$\ln(S_{i10/50})$ = 10%/50 年を超える確率のスペクトル加速度パラメータの自然対数
(i は短周期に対しては s 、1 秒周期に対しては 1)

$\ln(S'_{iBSE-2})$ = BSE - 2 危機レベルに対するスペクトル加速度パラメータの自然対数
(i は短周期に対しては s 、1 秒周期に対しては 1)

$\ln(P_R)$ = 望む危機レベルを越える確率に対応する平均 return 周期の自然対数
(i は短周期に対しては s 、1 秒周期に対しては 1)

望む確率を超える平均再来周期は次式から計算する。

$$P_R = \frac{1}{1 - e^{0.02 \ln(1 - P_{E50})}} \quad (2-2)$$

ここに P_{E50} は望む危機レベルの 50 年の発生率を超える確率である。

地図化された BSE-2 短周期応答加速度パラメータ S_s が 1.5g を越えるとき、2%/50 年と 10%/50 年の発生率を超える確率に対する短周期応答加速度パラメータ S_s と 1 秒周期で地図化された応答加速度 S_1 を次式から決めて修正する。

$$S_i = S_{i10/50} \left(\frac{P_R}{475} \right)^n \quad (2-3)$$

ここに S_i 、 $S_{i10/50}$ 、 P_R は上記のとおりで、 n は表 2-10 から得ることができる。

表 2-10、表 2-11、表 2-12 は 5 地域を指定している。そのうち 3 地域、山岳部、US 中央部、US 東部については未だ明確に定義されていない。地域の境界の近くにある州や区域は、注意が必要である。

地図化された BSE-2 短周期応答加速度パラメータ S_s が $1.5g$ より小なる時、 $10\%/50$ 年を越える確率に対する修正した地図化短周期応答加速度パラメータ S_s と修正した 1 秒周期地図化応答加速度 S_1 は、方程式 2-3 から得られ、指数 n は表 2-11 から得られる。

地図化された BSE-2 短周期応答加速度パラメータ S_s が $1.5g$ と等しいか大なる時、 $10\%/50$ 年を越える確率に対する修正した地図化短周期応答加速度パラメータ S_s と修正した 1 秒周期地図化応答加速度 S_1 は、方程式 2-3 から得られ、指数 n は表 2-12 から得られる。

表2-10 危機レベル $10\%/50$ 年と $2\%/50$ 年の間における
加速度応答パラメータの決定に対する指数 n の
値； BSE-2 の値 $S_s \geq 1.5g$ の立地

地域	指数 n の値	
	S_s	S_1
カリフォルニア	0.29	0.29
太平洋北西部	0.56	0.67
山岳部	0.50	0.60
US 中央	0.98	1.09
US 東部	0.93	1.05

表2-11 危機レベル $10\%/50$ 年以上の確率における
加速度応答パラメータの決定に対する指数 n の
値； BSE-2 の値 $S_s < 1.5g$

地域	指数 n の値	
	S_s	S_1
カリフォルニア	0.44	0.44
太平洋北西部 及び山岳部	0.54	0.59
US 中央及び東部	0.77	0.80

表2-12 危機レベル $10\%/50$ 年以上の確率における
加速度応答パラメータの決定に対する指数 n の
値； BSE-2 の値 $S_s \geq 1.5g$

地域	指数 n の値	
	S_s	S_1
カリフォルニア	0.44	0.44
太平洋北西部	0.89	0.96
山岳部	0.54	0.59
US 中央	0.89	0.89
US 東部	1.25	1.25

2.6.1.4. 立地クラスに対する補正

設計用短周期スペクトル応答加速度パラメータ S_{XS} 及び設計用 1 秒周期スペクトル応答加速度パラメータ S_{X1} は式 2 - 4 及び 2 - 5 からそれぞれ求める。即ち

$$S_{XS} = F_a S_s \quad (2 - 4)$$

$$S_{X1} = F_v S_1 \quad (2 - 5)$$

ここに F_a 及び F_v は表 2 - 13 と表 2 - 14 から立地クラスと応答加速度パラメータ S_s と S_1 の値に基づいてそれぞれ求める係数である。

表2-13 立地クラス及び地図化短周期加速度応答スペクトル S_s の関数として F_a の値

短周期 S_s における加速度応答スペクトル					
立地 クラス	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	*
F	*	*	*	*	*

注： S_s の間は直線補間を使用。

* 立地特有の地質調査及び動的立地応答解析を実行する。

表2-14 立地クラス及び地図化 1 秒周期加速度応答スペクトル S_1 の関数として F_a の値

短周期 S_1 における加速度応答スペクトル					
立地 クラス	$S_s \leq 0.1$	$S_s = 0.2$	$S_s = 0.3$	$S_s = 0.4$	$S_s \geq 0.50$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	*
F	*	*	*	*	*

注： S_1 の間は直線補間を使用。

* 立地特有の地質調査及び動的立地応答解析を実行する。

立地クラスは次のように決める。

- クラス A : セン断波速度 $\bar{v}_s > 5,000 \text{ ft/sec}$ の堅い岩
- クラス B : $2,500 \text{ ft/sec} < \bar{v}_s < 5,000 \text{ ft/sec}$ の岩
- クラス C : 非常に密な土及び $1,200 \text{ ft/sec} < \bar{v}_s < 2,500 \text{ ft/sec}$ 又は N 値 50 以上又は乾燥せん断強度 $s_{ui} > 2,000 \text{ psf}$ の柔らかい岩
- クラス D : $600 \text{ ft/sec} < \bar{v}_s < 1,200 \text{ ft/sec}$ 又は $15 < \bar{N} \leq 50$ 又は $1,000 \text{ psf} \leq \bar{s}_u < 2,000 \text{ psf}$ の硬い土
- クラス E : 塑性指数 20 以上又は含水比 40%以上乾燥時せん断強度 500psf 以下せん断波速度 600ft/sec 以下の土として定義する柔らかい粘度の 10ft 以上の層
- クラス F : 立地特有の土質調査を要求される土壌
 - 潜在的に地震荷重の基では崩壊もしくは破壊の為傷つきやすい土壌即ち液状化、quick-and-sensitive-clay、collapsible-weakly-cemented-soil。
 - 泥炭及び有機化合物粘土 (H>10feet の泥炭及び有機化合物粘土、H は土壌の厚み)
 - 非常に高い塑性粘土 (H>25feet、PI>75%)
 - 非常に厚い柔らかいか中程度の固さの粘土 (H>120feet)

パラメータ $\bar{v}_s$, $\bar{N}$ 及び $\bar{s}_u$ はそれぞれ、立地上部 30 メートルの土壌のせん断波速度、貫入試験の N 値乾燥時せん断強さの平均値である。これらの値は下記 2-6 式により計算できる。

$$\bar{v}_s, \bar{N}, \bar{s}_u = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}, \frac{d_i}{N_i}, \frac{d_i}{s_{ui}}} \quad (2-6)$$

ここに

N_i = 土層 i の N 値

n = 土層数

d_i = i 層の厚み

s_{ui} = i 層の乾燥時せん断耐力

v_{si} = i 層のせん断波速度

及び

$$\sum_{i=1}^n d_i = 100 \text{ ft} \quad (2-7)$$

立地に対して利用できる信頼性のある v_s データは、立地の識別に利用すべきである。そのようなデータを利用できないとき、粘着性のない土質（砂質土）には N 値を、粘性土には s_u を用いる。クラス B 及び C における岩に対しては、せん断波の速度 v_s を基に識別する。クラス A の識別は立地そのものかそれに近い岩のせん断波の速度 v_s を用いるべきである。そうでない場合には、クラス B とする。クラス A か B の土壌は、表層とビルの基礎底面の間に 3 メートル以上の土層が必要である。

2.6.1.5. 一般的応答スペクトル

一般的な水平応答スペクトルは図 2-1 に示すように、スペクトル加速度対構造周期領域における二つの関数をプロットして作成する。垂直応答スペクトルが必要な場合には、水平応答スペクトルに対して求めた各周波数におけるスペクトルの座標の 2/3 をとって作成する。

$$S_a = (S_{XS} / B_S)(0.4 + 3T / T_0) \quad (2 - 8)$$

$$0 < T \leq 0.2T_0$$

$$S_a = (S_{XI} / (B_I T)) \quad (2 - 9)$$

$$T > T_0$$

ここに T_0 は次式で求める。

$$T_0 = (S_{XI} B_S) / (S_{XS} B_I) \quad (2 - 10)$$

ここに B_S 及び B_I は表 2-15 から求める。

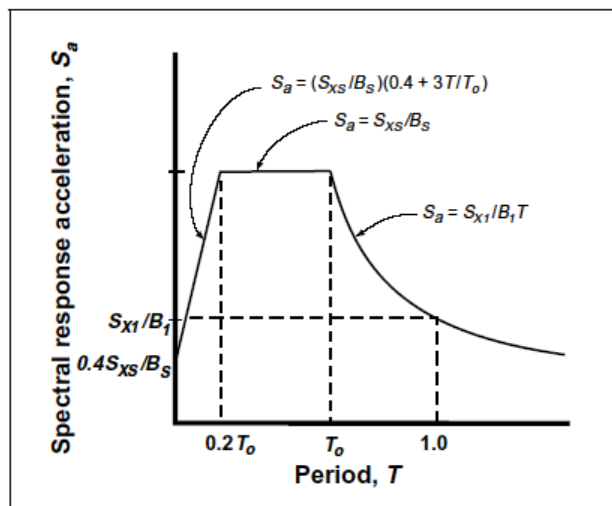


Figure 2-1 General Response Spectrum

表 2 - 15 有効減衰 β の関数としての減衰係数 B_S 及び B_I

有効減衰比 β (臨界減衰との比%) ¹	B_S	B_I
<2	0.8	0.8
5	1.0	1.0
10	1.3	1.2
20	1.8	1.5
30	2.3	1.7
40	2.7	1.9
>50	3.0	2.0

1. 減衰係数は有効減衰から内捜して求める

通常ビルや構造物の耐震改修設計には 5%減衰の応答スペクトルを用いることを推奨している。例外は次の場合である。

- 外壁のない構造物に対しては、有効な粘性減衰比 β を 2% とする。
- 木造の間仕切りと数多くの内部間仕切り及び間仕切り高さに十字の壁を持つ構造物は 10% の粘性減衰比 β を用いる。
- 免震技術やエネルギー散逸技術を用いた耐震改修構造物には等価な有効減衰比 β を 9 章の手順で計算しなければならない。

ガイドラインの 9 章には免震やエネルギー散逸技術を用いた構造耐震改修の為の解析的手順が BSE-2 地震と使用者が特に設定する地震危機の評価の参考になる。その章にはパラメータ S_{aM}, S_{MS}, S_{MI} は BSE-2 危機レベルに対して評価するスペクトル応答加速度の値 S_a, S_{XS}, S_{XI} をそれぞれ参照し、9 章のパラメータ S_{aD}, S_{DS}, S_{DI} は使用者指定の設計地震危機レベルに対して評価するパラメータ S_a, S_{XS}, S_{XI} をそれぞれ参照する。

2.6.2. 立地特有の地震動危険度

耐震改修設計の基礎として用いる立地特有の地震動特性は本節に従って作成する。

2.6.2.1. 立地特有の応答スペクトル

立地特有の応答スペクトルの作成は地質学、地震学、立地に関連する土質特性を基にしなければならない。応答スペクトルは 5% の等価粘性減衰比で作成する。追加のスペクトルは、節 2.6.1.5 で論じるように、指定した構造体の挙動に適合する他の減衰比に対して作成する。5% 減衰の立地の特性スペクトルが汎用応答スペクトルのスペクトル振幅の 70% より少ない時には、独立した地震動評価の専門家によって構成する第三者の検証が必要である。

立地特有な応答スペクトルを作成し、ガイドラインの他節のスペクトル応答パラメータ S_{XS}, S_{XI}, T_0 の値が必要なとき、本節に従って求めることができる。短周期設計用スペクトル応答加速度の値 S_{XS} は立地スペクトルの 0.2 秒周期から得られる応答加速度として得られる。ただし、その値が全周期を通じた最大応答加速度の 90% を下回らないようにするべきである。設計用応答加速度パラメータ S_{XI} の値を求めるために、式 $S_a = S_{XI} / T$ の曲線を各周期に求めて、立地特有スペクトルに重ね、スペクトルの 90% を下回らない値の S_a を求める。 T_0 の値は式 2-11 から求める。節 2.6.1 から求める値はこれら全てに対して用いることができる。

$$T_0 = S_{XI} / S_{XS} \quad (2 - 11)$$

2.6.2.2. 加速度時刻歴

加速度時刻歴解析は、選んだ適当な時刻歴地震記録で少なくとも 3 個のデータセット（2 個の水平成分と必要なら鉛直成分）で実行する。適当な時刻歴はマグニチュード、断層からの位置及び設計用地震に影響する震源メカニズムから決める。適当な時刻歴地震動が 3 個揃わない時、必要な数だけの模擬地震波を作成する。各データセットに対して、水平成分の 5% 減衰の立地特有スペクトル SRSS（自乗和の平方根）を計算する。データセットは SRSS の平均値が 0.2T 秒から 1.5T 秒（T はビルの 1 次固有周期）の間の周期に対する設計用地震波の 5% スペクトルの 1.4 倍以下にならないように倍率をかけるべきである。

3 個のデータセットは構造物の解析に用い、各応答パラメータ（部材の応力、指定レベルの変位）の最大値は設計容認を決定するために用いられる。7 個又はそれ以上の時刻歴データセットを用い、各応答パラメータの値の平均値を設計容認の決定に用いることもできる。

2.6.3. 地震地域

ガイドラインでは次のように地震地域を決めている。

2.6.3.1. 地震活動度の高い地域

設計用短周期応答加速度 S_{XS} が 0.5g 以上の確率が 10%/50 年又は設計用 1 秒周期応答加速度 S_{XI} が 0.2g 以上の確率が 10%/50 年の地域に建つビルは地震活動度の高い地域に位置していると考えられるべきである。

2.6.3.2. 地震活動度の中庸な地域

設計用短周期応答加速度 S_{XS} が 0.167g 以上で 0.5g に満たない確率が 10%/50 年又は設計用 1 秒周期応答加速度 S_{XI} が 0.067g 以上で 0.2g に満たない確率が 10%/50 年の地域に建つビルは地震活動度の中庸な地域に位置していると考えられるべきである。

2.6.3.3. 地震活動度の低い地域

節 2.6.3.1 及び節 2.6.3.2 で定義したように、地震活動度が高いか中庸かのどちらでもない地域に建つビルは地震活動度の低い地域と考えて良い。

2.6.4. 他の地震危機

地動に加えて、地震被害は地表面の亀裂、液状化、lateral spread、断層、地滑りによる地盤崩壊も含まれる。地震が引き起こした洪水、津波、seiche（静振）、護岸壁の崩壊はビルの立地に対する被害といえることができる。ビル改修の過程は大地震が引き起こした洪水被害か地盤崩壊か又は他の改修費用に含まれる被害費用とは別個のものかどうかの了解を基にしなければならない。4章で述べ、これらと他の立地及び敷地外の地震被害を評価及び軽減するためのガイダンスを用意している。

2.7. 建設時の情報

既存ビルの地震時挙動に関する特性 — 構成、タイプ、詳細、材料強度、基礎と接続部を含む種々の構造及び非構造要素の状態を含む — は本節に従って決めなければならない。プロジェクトの計算は図面や写真、適当な記述文書による補足によるこれら特性の記述を含まなければならない。ビルと立地の特性の存在は大略次の資料から得られる。

- 現地調査での外観と構成
- 利用可能な建設記録、技術解析、報告書、地質調査書、試験資料、保守履歴及び製造記録並びに試験記録
- 5章から8章において述べる建設時期の参照基準及び法規
- 選んだビル部材の破壊もしくは非破壊試験
- ビルのオーナー、テナント、マネージャー、設計者、構造設計者、建設業者及び役所担当官との面接調査

ビルの構成、立地と地理的な位置、および隣接する構造物に関する出版物に関する詳細な情報を得るためにそして、利用可能な建設記録が現在の状態を表しているかどうかを確認する為に最低一度は現場を訪ねなければならない。

ビルが歴史的なものであれば、歴史的に重要なものや装飾の部分の位置を特定することも大切である。設計と調査における過程でこれらのものに働く衝撃を最小化することに注意しなければならない。第1章に記した内務長官「歴史的資産の取り扱いに関する基準」を参照のこと。

2.7.1. ビルの構成

既存ビルの構成はタイプと既存構造要素と鉛直及び水平荷重に抵抗する組み合わせの構成要素と非構造要素の配置からなる。構造部材と構成要素について、節 2.3 に述べた方法で、地震挙動に影響を及ぼす潜在的に構造耐力の欠ける主材と2次部材を確認し、識別する。

ビルの構成の確認で荷重抵抗要素と構成要素及び有効な要素と構成要素の双方を計算することが重要である。建築規準に順応した構造要素、非構造要素及び原設計者の意図にかかわらず、実際に鉛直、水平あるいはその両方に抵抗する非構造要素が含まれる。建設当時から存在する荷重経路を認識し、変更（追加、交換、改修、削除）の効用を考えるべきである。横力作用に対するビル応答に有害となる行為と同様に元々の不連続や弱い接続もまた認識するべきである。FEMA178（BSSC,1992）はビル評価の方法に対するガイダンスを提示している。

2.7.2. 構成要素特性

ビルの確かな地震時挙動と信頼できる改修設計の重要な構造解析に既存構成要素（梁、柱、壁など）と接合状況、材料特性（耐力、変形性能、靱性）を把握する必要がある。既存の構成要素の耐力（許容応力度）と変形性能は 4 から 9 及び 11 章に示すように、調査した材料特性と詳細な要素の知識に基づいて計算しなければならない。既存要素の耐力は次の二つの基本的な目的に対して決定しなければならない。一つは他の構成要素と要素に対する荷重を引き出す計算をするため、もう一つはそれらの抵抗力と変形能力の大きさを決定する為である。

要素の変形能力を、全ての要素とビルの変形の検証及び設定耐震改修目標に対する許容能力の把握の為に計算しなければならない。一般に、要素の能力は歪硬化と変形の確かな影響と同様に平均材料耐力に対する計算の期待値として計算する。例外は殆ど靱性（荷重制御挙動）を持たない要素力作用の適正を評価する為に用いる応力の計算である。これらの評価に対して低い限界の応力度推定 - 材料強度の可能な変化量のうち - を能力の決定に使用する。これらの期待される、低い限界値をどのようにして求めるかについては、通常使用する構造材とシステムに対して 5 章から 8 章に用意している。

既存要素の構成、施工の品質、物理的な条件及び構造構成要素の接続の知識は、耐力と変形的能力を計算するのに必要である。この知識は、適切に、状況の視覚的な調査、破壊及び非破壊検査、および現地実測調査から得なければならない。知識を最大化するための徹底的な努力を以ってしても、計算した構成要素の応力と変形能力に関して、不確定要素は残る。不確定な知識の要因、 κ 、を能力評価に用いる。利用可能な知識の信頼性に基づいて、 κ に対する二つの可能な値がある。 - 最小もしくは包括的な分類として -

知識の最低レベルのみ利用できるとき、 κ の値を 0.75 として構成要素の能力と変形解析に含める。次の各項は構造物の構成の知識を得る努力の最小必要なレベルをあらわしている。

- 構造と意匠の図面を含む建設及び改修時の記録は通常利用できる。構造図がない場合、鉛直及び横力の系に関する記録図、スケッチのセットを準備する。
- 主構成要素及び要素のサイズ、配置、構成要素の接合部を記録に示すように、視覚的な検査を行う。
- 5 章から 8 章に示すように、材料特性、要素の状態、観察できるだけの代表的な主材サイズ定量化の為に、現地での検査を行う。代わりに用いる 5 章から 8 章に用意した暗黙値は、これら材料の観察結果を勘定に入れる為に材料強度として用いる。もし、材料の試験などで大きな変化が見つかった時、グループ内の変動係数として 30% を超えない同類の状態もしくは特性を持つ要素にグループ化することを考えるべきである。
- 立地に関する知識—隣接構造物との衝突、境界壁、液状化を含む土壌土質問題—は現地調査から得られる。
- ビルの挙動を左右する試験と知識、4 章から 8 章における立地に関連する特殊な基礎及び材料関連

実際に何時でも全てのビルの要素や架構に対する一つの κ 値の使用を許す為の調査は十分に周到でなければならない。もし、ある要素に対して共通の κ 値を使用できない事情がさる場合には、個々の要素の適当な利用可能な知識によって、複数の κ 値を解析に使用しなければならない。非線形手順を採用する時、調査のレベルは構造体（ $\kappa = 1.0$ ）の包括的な知識を十分に得なければならない。

2.7.3. 立地特性と土質情報

立地における基礎の構成も含めた、表面又は表層下の状態に関するデータを、解析に用いる為に得なければならない。データは既存の記録、視察による立地の調査、土質調査の資料から得られる。もし適当な土質データを過去の調査から得られなければ、流動化、地割れもしくは地すべりを起こす地域の立地に対して、又強化耐震改修目標の全てのビルに対して、立地特有の土質調査の計画を考慮しなければならない。立地特性及び土質調査に対するガイドラインは4章に含まれている。

立地調査は常に実行しなければならない。この調査の過程でビルの図面との差に注意を払わなければならない。そのような差は既存の記録に示されていない基礎の変更も含まれる。荷重が掛かったり、構造体の横力支持のレベルが減少したりするビルに含めるか、等級にかかわる立地外の変動には、注意しなければならない。貧弱な基礎挙動の指標 - 将来地震が発生した時にビルの挙動に影響する痛みを暗示する床板、基礎又は側壁の沈下のような - に注意しなければならない。

2.7.4. 隣接ビル

耐震改修したビルの地震時の挙動に影響を及ぼす潜在的な存在の隣接構造物の要素構成データを収集しなければならない。下記に指定する相互作用を起こす解析をできるまで、十分でなければならない。ある場合には、十分意味のある評価ができる隣接構造物に関する適切な情報を得られないかもしれない。そのような場合、オーナーに相互作用の潜在的な危険性を注意しておかなければならない。

2.7.4.1. ビルの衝突

隣接ビルとの間隔がビル高さの4%より近いと、衝突の危険をはらむ位置にあるので、ビル衝突の影響を調査をできるだけ隣のビルのデータを収集しなければならない。ビルの衝突は隣接ビルから追加の慣性荷重とエネルギーを受け、地震時の基本応答を変える。特殊な場合には、衝突した構造体の要素に大きな損傷の危険もある(2.11.10 参照)

2.7.4.2. 共有部材状態

ビルと共有している要素がある場合には、隣接ビルの全てのデータを収集しなければならない。間仕切り壁のようなビル共有要素は幾つかの問題点を抱えている。もしビルが独立に動こうとすれば、一つのビルが要素を他のビルから要素を離そうと引き、その結果部分的な崩壊を起こすかもしれない。もしビルが合成したものとして振舞えば、一つの構造体の追加質量と慣性荷重が他方の横力抵抗システムに極端な作用をもたらす結果になる(節2.11.9 参照)

2.7.4.3. 隣接ビルからの被害

化学物質の漏洩、火災又は爆発のような崩壊したガラクタ又は他の地震のもたらす物理的な被害でビルが損傷する全ての構造体のデータを収集しなければならない。

隣接構造物から受けるガラクタ又は他の被害による衝撃の可能性のあるビルの部分の損傷を考慮しなければならない。ビルの直接占有が望ましいが、ビルへの侵入路がそのような危機によって妨げられるかも知れないので、ビルへの適切な進入路を用意しておかなければならない。化学物質の漏洩、火災又は爆発のような危機の性質のような予備調査の評価をさせる隣接構造物についての情報は十分に収集しなければならない。FEMA154(迅速な視覚による地震被害の検証)にこれと同じような評価はこの目的に適している。ハンドブック(ATC,1988)

2.8. 改修方法

選択した改修目標に合致するビルの構造体変更及び修正の展望は本節に述べる方法の一つに従って決定する。加えて、歴史的なビルの改修は1章の議論に従って注意深く考えなければならない。

2.8.1. 簡略化手法

簡略化手法は地震に対してビル全体の応答解析を行わない改修方法である。この手法は全てのビルには適用できず、限定改修目標（節 2.4.3）を達成する為にのみ使用できる。

簡略化手法は、次の条件全てに合致するビルの、BSE-1 地震に対する生命安全挙動レベル（3-C）の改修目標を達成するのに利用できる。

- 表 10-1 に示すモデルビルタイプ一つであること、この表中に示す階数、規則性、地震ゾーンの全ての制限条件を満足する。
- FEMA178(BSSC ,1992)に従った完全なビルの評価を実行し、評価中に示した全ての欠陥が、簡略化手法を利用できる条件であること。

節 2.4.3 の制限に従って、簡略化手法を用いる限定改修目標を達成する部分改修を行うことができる。

簡略化手法は、BSO 又は強化耐震改修目標を行うビルには使用できない。これらや他の簡略化手法の制限に合致しないビルに対しては、システムティック法を使用すべきである。

2.8.2. 体系的手法

節 2.8.1 の簡略化手法の資格を有しないビル及び目標に対する改修プログラムは、本節に従って設計しなければならない。基本的なアプローチは次を含む。

- ビルが選択した改修目標への合致が適当か、特定の欠陥があって不適当かを決める解析を行う。もし初期の解析が構造物の主架構もしくは要素が許容応力に不足するとき、より詳細で精度の高い解析手順を用いて、許容力を明らかにすることができる。節 2.9 は代替の解析手順について述べている。
- 予備評価で欠落を確認する一つもしくはそれ以上の改修戦略を作成する必要がある。代替の改修戦略については、節 2.10 に述べる。
- 予備の改修設計は改修戦略に矛盾しないものを作成しなければならない。
- 構造物と予備改修法は改修する構造物が選んだ改修目標に適合する改修かどうかを決定する為の解析を行う。
- その過程は選択した改修目標に合う設計解を、解析によって得られるまで、繰り返さなければならない。

2.9. 解析手順

構造物の解析は選択した耐震改修目標に対応する地震動及び他の地震危機によって構造体に誘導される力と変形の分配を決定する為のふるまいである。解析は地震需要と構造体を構成する全ての構成要素に対する地震に抵抗する性能の双方を用いる。

- 構造体（主構成要素）の横方向の安定は必須；又は
- ビルの縦方向の荷重伝達を行えるは必須；又は
- 耐震改修目標に合致する限界並びに地震動に対するビルの応答結果としての損傷に耐える

解析手順は次の一つである。

- 線形静的解析 (LSP) (節 3.3.1) 及び線形動的解析 (LDP) (節 3.3.2) を含む節 3.3 に従った線形解析で以下を含む。
 - 応答スペクトル解析 (節 3.3.2.2C 参照)
 - 線形時刻歴解析 (節 3.3.2.2D 参照)
- 非線形静的解析 (NSP) (節 3.3.3) 及び非線形動的解析 (NDP) (節 3.3.4) を含む節 3.3 に従った非線形解析。
- 代わりになる合理的解析

これらの手順の利用に関する制限は、節 2.9.1、2.9.2、2.9.3 にある。解析の結果、ビルに対する挙動を受け入れられるか否かを決定するのに用いる基準は節 2.9.4 で議論する。

2.9.1. 線形手順

線形手順が節 2.10 に含まれる耐震改修戦略のどれかに用いられる。但し、戦略がエネルギー散逸及び何らかの免震の利用を組み入れる場合を除く。これらの改修戦略に利用できる特殊な解析手順に対しては 9 章を参照のこと。非常に不規則な構造系のビルや、ほぼ弾性範囲内で設計用地震に応答しないビルに対して用いる時には、線形解析手順は正しい結果にならない。従って線形解析手順を非常に不規則な構造系のビルやビルにおける地震靱性が低くない場合に用いてはならない。

2.9.1.1. 線形手順の適応決定の方法

本節に示す方法はビルが線形手順で十分な精度で解析できるかどうかの決定に用いる。基本的アプローチは節 3.3.1 か 3.3.2 で定義する荷重を用いた線形解析を実行し、解析の結果を検証することである。横力抵抗集合要素の各要素に生じる非線形化の大きさと配分の均一性を確認する。非線形化の大きさと配分は以下に示すように許容応力 (及び変形) 率 (DCR) によって確認する。これらの DCR は要素挙動の許容性の決定には用いないことに注意。構造要素と集合要素の適正は 3 章に示す手順と 4 章から 8 章までに用意した許容値を用いて評価しなければならない。DCR は構造体の正規性を決定する為にのみ用いる。開口のある耐震壁を有するビルのような複合構造に対しては線形手順の使用を許容する十分な規則性を持つかどうかを確認するよりも、非線形解析手順の一つを用いる方が楽であることに注意すべきである。

既存と追加の要素に対する DCR_s は次の方程式に従って計算する。

$$DCR = \frac{Q_{UD}}{Q_{CE}} \quad (2 - 12)$$

ここに

Q_{UD} = 重力と節 3.3 の地震の元で、節 3.4 に従って計算した応力

Q_{CE} = 要素又は集合要素の期待された応力、5 章から 8 章に従って計算

DCR_s は各要素の各制御応力 (軸力、モーメント、せん断力) に対して計算する。要素の計算した全ての制御応力が 1.0 以下なら評価する地震動に対して弾性範囲で応答することが期待できる。もしどれか一つ以上の要素に対する DCR が 1.0 を超えていれば、地震動に対して非線形の応答することが予想される。最大の DCR が要素に対する限界応力を決める。即ち最初に降伏する要素である。この DCR を限界要素の DCR と呼ぶ。集合要素が複数の要素で構成されているとき、最大の DCR が要素に対する限界要素となる。即ち集合要素の中で最初に降伏する要素となる。ある階における集合要素にある要素に対する最大の DCR を層の限界集合要素の DCR と呼ぶ。主架構 (主集合要素) の要素 (梁、柱、壁、ブレース及び接合部) の全ての限界応力 (軸力、曲げモーメント、せん断力) の全

てに対して計算した DCR が 2.0 より小ならば、規則性の考慮にかかわらず、線形手順が利用できる。どれかの DCR が 2.0 を超えていれば、線形手順を使用してはいけない。

- 横力抵抗システムの主架構に平面内不連続がある場合。横力抵抗架構が一つの層にあり、しかし連続しなかったり、すぐ下の層でずれていたりする時は何時でも、システム面内不連続が生じる。図 2 - 2 は、そのような状態を表している。方程式 3 - 15 の係数 J は 1.0 を取る時、限界を適応する必要はない。

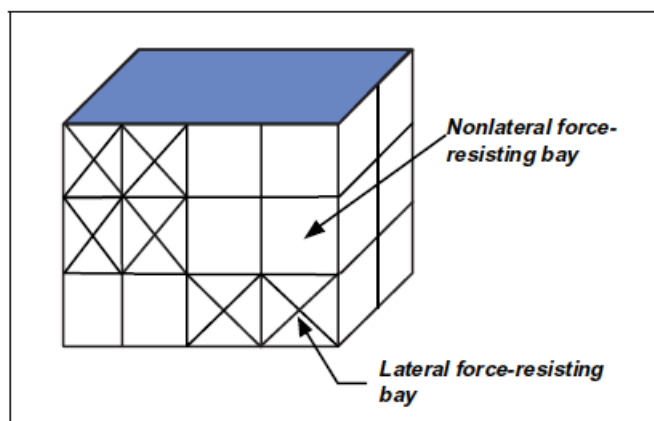


Figure 2-2 In-Plane Discontinuity in Lateral System

- 横力抵抗システムの主架構に平面外不連続がある場合。一つの層における架構が隣接する層におけるその架構連続性が図 2 - 3 の示すようにずれている時、面外不連続が生じる。方程式 3 - 15 の係数 J は 1.0 を取る時、限界を適応する必要はない。
- ビルのある方向におけるある層に非常に弱い不規則層がある。ある層に対する平均せん断力 DCR と上下の層の比が 125%を超える時、非常に弱い不規則層があると考えられる。層に対する平均 DCR は次の方程式で計算する。

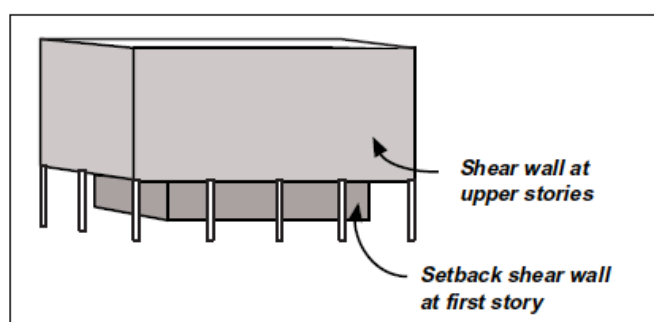


Figure 2-3 Typical Building with Out-of-Plane Offset Irregularity

$$\overline{DCR} = \frac{\sum_{i=1}^n DCR_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (2 - 13)$$

ここに

$\overline{DCR}$ = 層に対する平均 D C R

DCR_i = 架構 i に対する限界作用力

V_i = 地震応答下の架構 i に入る合計計算横せん断力

n = 層の合計架構数

柔軟な床のあるビルに対しては、各通り毎に独立に架構を評価しなければならない。

- 層に厳しいねじれを生じる不規則性があるビル。厳しいねじれを生じる不規則性は、層の上部の床が剛床の時、その層の指定の方向に関して重心から片側の主架構の限界架構 DCRs と反対側主架構の限界架構 DCRs の比が 1.5 を越える層がある場合である。

上記指針から線形手順が適切であれば、下記に該当する場合を除いて、LSP または LDP を使うことができる。下記に該当するものがある場合は、LSP は使用してはならない。

- ビルが 30 m を超える場合。
- 各層の幅と上下の層の幅の比が、1.4 を超える場合（ペントハウスを除く）。
- 各層に大きなねじれ剛性の不規則性があるビル。解析の結果、平均層間変位の 150 % 以上の変位を生じた層がある場合、大きなねじれ剛性の不規則性があるという。
- 質量が剛性に不規則性があるビル。各層における平均値を上下に 150 % 超える層がある場合、質量が剛性に不規則性があるという。
- 直交に横力抵抗システムを持たない場合。

2.9.2. 非線形手順

非線形解析手順は節 2.10 に含まれる如何なる戦略に対しても用いることができる。非線形解析手順は特に節 2.9.1.1 に特定するような不規則性を有するビルの解析に対して推奨する。NSP は主として高次モードの卓越しないビルに対して適している。NDP は節 2.9.2.2 に制限に支配される如何なる構造物にも適している。

2.9.2.1. 非線形静的手順（NSP）

NSP はどのような構造物にも、どのような改修目標に対しても、次の例外と制約を除いては、用いることができる。

- NSP は高次モードの影響が卓越する構造物に対して又、LDP 評価が実行できなければ、用いてはならない。高次のモードが卓越しているか否かを決定する為に、90%質量を含めて、十分なモードを用いたモーダル応答スペクトル解析を実行し、1 次だけで無く 2 次応答スペクトル解析を実行しなければならない。90%質量を含めた全モードを考慮したモーダル解析から計算した層せん断力が、1 次モード応答のみ考慮した解析結果の 130% を超えるようなら、高次のモードの影響が大きいと考えるべきである。高次モードの影響が大きい構造物に対して、NSP に加えて NDP を実行する時、変位制御応力（ m 値）に対する許容値は 5 章から 9 章に用意し、1.33 倍となる。
- 節 2.7.2 に示すような構造物に対する包括的な知識を得られない場合には、NSP を用いてはならない。

2.9.2.2. 非線形動的手順（NDP）

次の例外と制約を除いて、NDP はどのような構造物にも、どのような改修目標に対しても用いることができる。

- NDP を木造架構構造物に用いてはならない。
- 節 2.7.2 に示すような構造物に対する包括的な知識を得られない場合には、NDP を用いてはならない。
- 解析と設計は独立した第三者団体の耐震設計と非線形解析の経験豊富な専門技術者によって再吟味を受けなければならない。

2.9.3. 代替合理的解析

ガイドラインには、合理的な技術的力学及び振動学の基本原理に基づいた代替解析手順の利用を妨げるものは何もない。そのような代替解析をガイドラインに含めて受け入れ規準に採用する場合には、その利用に際して十分な再吟味をしなければならない。代替合理的解析手順を用いた全てのプロジェクトは独立した第三者団体の耐震設計と非線形解析の経験豊富な専門技術者によって再吟味を受けなければならない。

2.9.4. 許容基準

解析手順は、構造物全体の変位と同様に、ビルの設計用地震に対する応答と、種々の要素に生じる応力と変形を示している。LSP か LDP 解析を実行すれば、要素挙動の許容力は靱性（変形制御）作用に対する式 3-18 と非靱性（荷重制御）作用に対する式 3-19 を用いて各要素に生じる応力に対して評価する。図 2-4 は各要素の種々のタイプに対する典型的な理想化した応力変形曲線を示している。

タイプ 1 曲線は典型的な靱性挙動を表している。弾性範囲（0 点から 1 点）、塑性範囲（1 点から 2 点）及びピークの応力より大きく低下するがまだかなりの大きさの残存応力を残している応力低下範囲（2 点から 3 点）によって特徴づけられている。この挙動を明白に表している主架構に対する許容力は通常挙動レベルに応じて 1 と 2 の間の弾性範囲か塑性範囲である。2 次架構はどの範囲にあっても良い。この挙動で表される主要素の作用は、歪み硬化又は応力軟化範囲が十分大きく $e > 2g$ なら変位制御で考え、そうでなければ加重制御で考える。この挙動で表される 2 次要素の作用は、通常変位制御で考える。

タイプ 2 曲線は他のタイプの靱性挙動を表している。弾性範囲と塑性範囲の後、急速に完全に応力を失うことによって特徴づけられている。塑性範囲が十分に大きければ（ $e > 2g$ ）変位制御に分類され、そうでなければ加重制御に分類される。この挙動で表される主要素と 2 次要素の許容応力度は、挙動レベルに応じて弾性範囲か塑性範囲になる。

タイプ 3 曲線はもろい靱性のない挙動を表している。弾性範囲の後、急速に完全に応力を失うことによって特徴づけられている。この挙動を示す要素作用は常に荷重制御の分類である。この挙動で表される主要素及び 2 次要素に対する許容力は常に弾性範囲である。

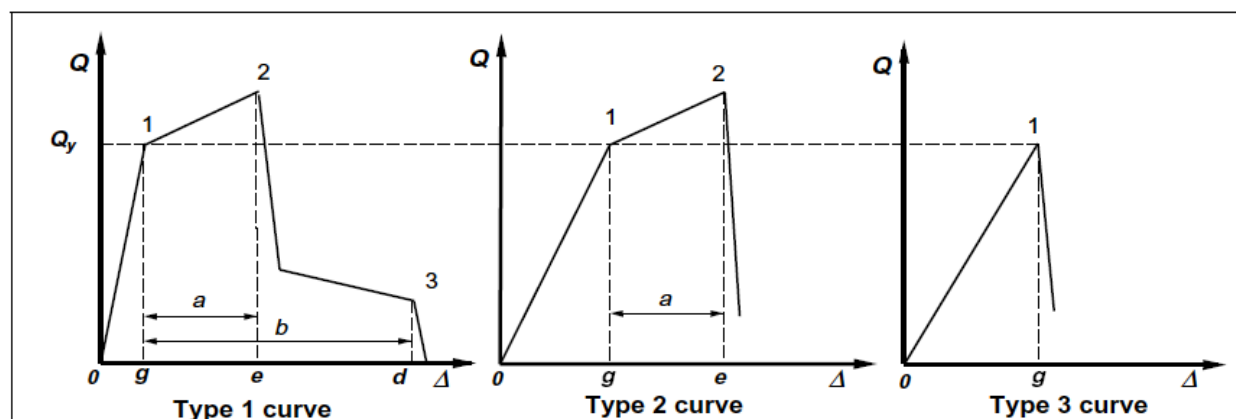


Figure 2-4 General Component Behavior Curves

図 2-5 は、材料の 4 つの基本タイプ全てに対して、変位制御要素と架構作用に対する許容力を決める為に、ガイドラインを通じて用いている理想化した応力・変形曲線を示している。点 A（無応力）と有効降伏点 B の間は線形応答を表している。B から C への傾斜は通常弾性の傾斜に比して小さな比率（0-10%）で、歪み硬化のような現象も含んでいる。C は要素の応力を表す縦座標と、大きな応力度低下（線 CD）の始まる変位に等しい横座標である。D 点を超えると要素は点 E まで応力の実質的な減少の応答をする。E 点を越える変形では要素応力はゼロになる。

図 2-4 では、 Q_y は要素の降伏応力を示している。実際の構造物では、個々の架構の降伏力は類似する幾つかの変化がある。これは製造時の工程による材料の応力構成の変動に基づく。変位制御要素の挙動を評価するとき、降伏応力 Q_y よりむしろ期待する応力 Q_{CE} が用いられる。歪み硬化や塑性断面の作成のような現象と同様に上に述べた変化の状態も含めて Q_{CE} 期待する変位レベルにおける抵抗力の平均値として定義する。荷重制御要素の挙動を評価するとき、要素応力 Q_{CL} の低い領域評価が考えられる。 Q_{CL} は従って同種要素全体の降伏応力 Q_y の平均値より 1 標準偏差分低い値を採る。

他に対しては変形比の項で許容値を与える方がより便利であるが、ある要素に対して、変形 (θ 又は Δ) の項で許容力を記述する方が便利な場合がある。このことを含めて、図 2-5 (a) と (b) に示すように、ガイドラインでは理想化した力と変形曲線の二つのタイプを用いている。図 2-5 (a) は正規化した力 (Q/Q_{CE}) 対変形 (θ 又は Δ) 及びパラメータ a, b, c である。図 2-5 (b) は正規化した力 (Q/Q_{CE}) 対変形比 ($\theta/\theta_y, \Delta/\Delta_y$ 又は Δ/h) 及びパラメータ d, e, c である。要素のモデル化に際して利用できる弾性スティブネスとパラメータ a, b, c, d, e は 5 章から 8 章で述べる。

図 2-5 (c) は、理想化した応力変形曲線と関連した近似的な変形又は変形比を示している。それは、直接占有 (IO)、生命安全 (LS)、崩壊防止 (CP) に対する主要素 (P) と二次要素 (S) それぞれのガイドラインで許容できると思われる値である。全てのタイプの要素と架構に対する許容値は 5 章から 8 章に記述する。

非線形解析を用いるとき、要素能力は変位制御要素に対して許容される非線形変形量及び荷重制御要素に対する許容力とによって構成される。線形手順を使用するとき、要素能力は変位制御要素に対してはファクター m と期待応力 Q_{CL} の積として、また荷重制御要素に対しては許容応力として決める。表 2-16 及び 2-17 はこれら能力の要約である。この表の中の κ は、節 2.7.2 で定義する知識ベースファクター、 σ は材料強度の標準偏差である。個々の要素の応力と変形能力の計算についての詳細なガイドラインは個々の材料について次の各章を参照のこと。

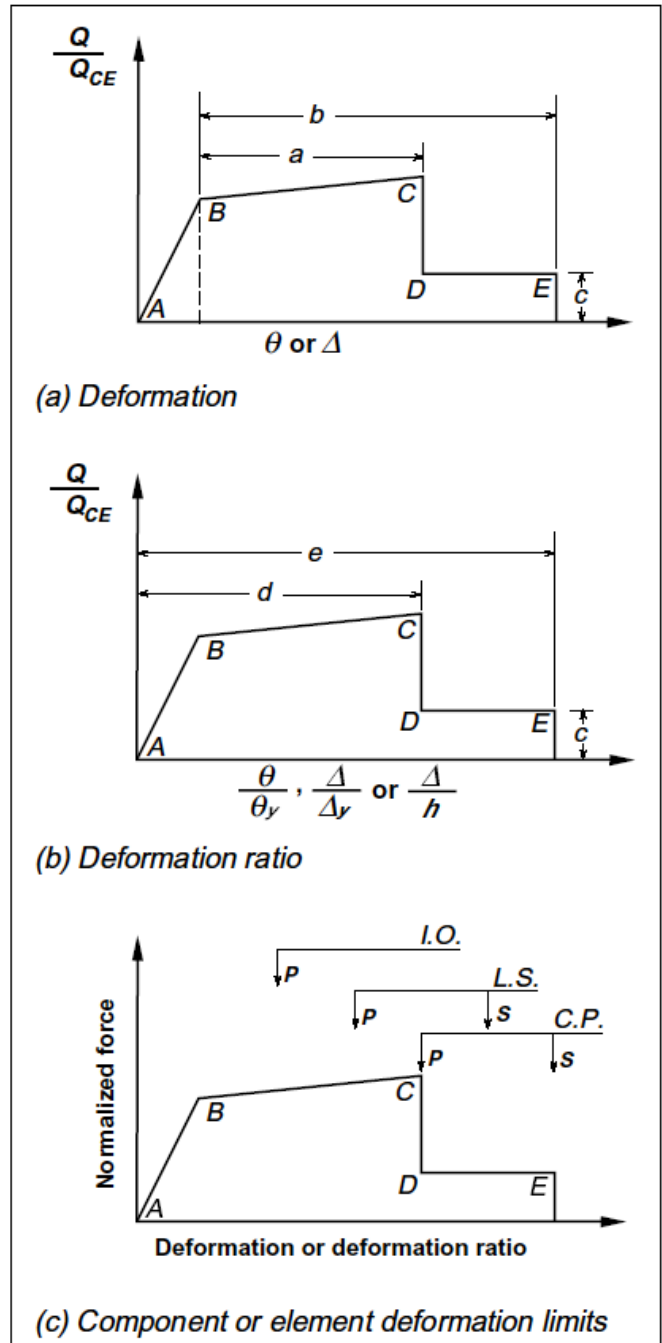


Figure 2-5 Idealized Component Load versus Deformation Curves for Depicting Component Modeling and Acceptability

- 基礎—4 章
- 鋼及び鉄鋼からなる要素及び架構—5 章
- 鉄筋コンクリートからなる要素及び架構—6 章
- 鉄筋又は無筋煉瓦からなる要素及び架構—7 章
- 木造、軽量メタル、石膏からなる要素及び架構—8 章
- 免震システム及びエネルギー散逸システム - 9 章
- 非構造要素（意匠、機械、電気）—11 章
- 合成材による架構又は要素—各材料に関連する各章

表2-16 要素作用性能の計算 - 線形手順

パラメータ	変形制御	荷重制御
既存材料耐力	応力硬化に対して 許容する期待平均値	下限限界値 (大略 1 σ レベル)
既存耐力	$\kappa \cdot Q_{CE}$	$\kappa \cdot Q_{CE}$
新材料耐力	期待材料耐力	指定した材料耐力
新耐力	Q_{CE}	Q_{CE}

注：性能低減係数（ θ ）は通常性能の評価における単位として取る

表2-17 要素作用性能の計算 - 非線形手順

パラメータ	変形制御	荷重制御
変形性能 —既存要素	κ ・変位限界	N/A
変形性能 —新要素	変位限界	N/A
耐力 —既存要素	N/A	κQ_{CE}
耐力 —新要素	N/A	Q_{CE}

注：性能低減係数（ θ ）は通常性能の評価における単位として取る

ガイドラインにない応力の架構や要素に対する許容応力は節 2.13 の手順に従って、認定試験を行って決定しなければならない。

2.10. 耐震改修戦略

ビルの改修は本節で指定する戦略の一つもしくはそれ以上によって達成される。どの戦略でも、適当なレベルの余剰力をもつことは、局部的な損傷が部分的崩壊や不安定を引き起こさないから、改修されたビルの横力抵抗系に対して有益である。このことを耐震改修の設計を行うときに考慮するべきである。

2.10.1. 要素の部分的変更

既存ビルが堅牢な耐力と剛性を備えている場合でも、一部の要素が改修目標を満足させる為の耐力、粘り強さ或は変形性能に欠けることがある。そのような構造物に対する適切な戦略は、ビルの横力抵抗システムの基本構成をそのまま残して、不適切な部材の部分的な補修を行うことが望ましい。部分改修は要素接続性の改善、要素耐力及要素変形能力を含めて考慮することができる。この戦略は、ビルのうちのわずかな要素のみが不適切な場合に、最も経済的なアプローチである。

局所的な強化は、解析によって予見できる外力に抵抗する 1 個或はそれ以上の低い強度の構成要素又は接合部に、構造体の全体応答に影響を及ぼすことなく施せる。これは、鋼構造の梁、柱にカバークラップを付加したり、或は板張りの床にベニヤ板を張りつける方法も含まれる。このような方法は、架構や要素の耐力を増加させ、損傷を受ける前に地震力に抵抗することができるようになる。

要素の変形性能又は靱性を改善する部分的訂正方法は、必要な強度を増やすことなく、損傷の総量を減少して大変形に抵抗できる。このような方法の一つは鉄筋コンクリート柱に締め付けの包帯を巻き、破片が飛び散らず、鉄筋が切れないようにする。他の方法は、柔軟性と応答変形性能を増すように構造要素の断面を減少する。

2.10.2. 既存不規則性と不連続性の除去もしくは縮小

剛性、質量、及び耐力の不規則性は通常思わぬ地震挙動を引き起こす。線形解析の結果を評価する時、構造体の変位と DCR の配分をチェックして不規則性を発見できる。非線形解析の結果を評価する時、構造体の変位と非線形変位状態の配分をチェックして不規則性を発見できる。

解析によって予測できる構造体変位、DCR、又は非線形状態の値がアンバランスで、ある層又はビルの片側に高い値が大きく集中するなら、不規則性が存在する。このような不規則性は、構造体に不連続があれば、常にではないがしばしば生じる。例えば、耐震壁の周囲が 1 層で切れている場合である。不規則性を単純に許容レベルに対する解析によって現象の縮小を予知できる。非連続性の除去は歴史的ビルの場合には適当でなく、重要な歴史的なものの交換は十分注意しなければならない。

軟らかなもしくは弱い階不規則性と不連続性の除去もしくは縮小の有効な訂正方法は、ブレース付き架構又は耐震壁付き架構をその層に入れることである。捩れの不規則性はモーメント架構、ブレース架構、又は耐震壁付き架構をその層に剛性又は質量のバランスよい配置の為に追加して修正する。エキスパンションジョイントを入れて、一つの不規則ビルを二つの規則性のあるビルにすることができるが、衝突などの発生には十分注意を要する。

2.10.3. 全体構造剛性強化

限界要素や架構が、地動の揺れが引き起こす構造体の横変形に抵抗する為の適切な靱性又は強度を持たない軟弱な構造物は地震時に貧弱な挙動をする。そのような架構によって構成される構造物に対して、挙動を改善する有効な方法は、応答の横変形を減少させるように構造体を剛にすることである。新たにブレース付き架構や耐震壁を既存構造体に追加することは、剛性を加える有効な方法である。

2.10.4. 構造物全体の強度強化

横力に抵抗する力が適当でない既存ビルがある。そのような構造物は非常に低いレベルの地震動で塑性挙動を示す。そのようなビルの解析は構造物全体を通じて大きな DCR_s (非線形変位能力)を示す。そのようなビルの横力抵抗システムを補充する力を用意すれば、損傷の始まる地震動の敷居値を上げることができる。耐震壁とブレース付き架構はこの目的に対して有力な構成要素である。しかしながら、補強する構造体よりも遙かに大きな剛性を持つので、構造体の横力抵抗の殆ど全てを負担するような設計が必要である。モーメント抵抗架構はより柔軟で、既存構造体の構成要素と融合し易いかもしれない。しかしながら、そのような柔軟性の高い構成要素は、既存ビルの剛性の高い部分が損傷するまでビルの応答に効果はない。

2.10.5. 質量低減

地震力によって構造物に入る力と変形の総量を制御するふたつの主要な特性は、質量と剛性である。質量を減じると地震によって生み出される力と変形の双方の総量を減らす結果になるので、力と剛性の代わりに用いることができる。質量は上部の層を取り壊したり、重い外壁や間仕切壁を取り換えたり、重い倉庫と荷物を取り去ることで減じることができる。

2.10.6. 免震

構造物を免震にすると、自由に動くベアリングを上部構造体と基礎の間に挿入する。これはベアリングの上部の構造体を殆ど剛体に近い変形の基礎応答の系にする。自由に動くベアリングによって地動を切り離れた構造物変位の殆どは、免震位置に集中するように設計される。殆どのベアリングは又優れたエネルギー散逸特性（減衰）を持つ。同時に構造体の既存構成要素の応力を、内容物や非構造要素も含めて、大きく減じる結果となる。この理由で、免震は屡々、歴史的建造物、壊れやすい内容物や設備或いは重要な操作と機能を持つビルの保護を含めた、強化耐震改修目標を達成する戦略に適合する。この技術は、比較的低い剛で大きな質量のビルに対して効果が大きい。軽く、柔軟なビルには効果が低い。

2.10.7. 追加するエネルギー散逸

構造物の変位を減少させる特殊な装置—油圧ダンパー、降伏プレート、摩擦台のような—の作用を通じて制御する方法で散逸された地震動によって構造物にエネルギー伝達する数多くの技術が利用できる。最も普通の器具は、摩擦、履歴現象、粘弾性過程を通じてエネルギーを散逸する。十分なエネルギーを散逸するために散逸機器は、構造物が体験する大きな横変位より大きな変形に耐えなければならない。従って、それらのシステムは相対的に柔らかで、非線形の相対変位能力を持つ構造物に最も効果がある。エネルギー散逸は、最も普通にはブレース架構の要素として構造体に導入される。機器の特性に従って、エネルギー散逸（減衰）と同様に、静的又は動的スティッフネスが構造物に加えられる。ある場合には、構造物の変形は減少するけれども、構造物に入る力を実際に増加させることもある。

2.11. 一般的解析と設計要求仕様

本節の詳細なガイドラインは、BSO 又はどの強化改修目標を達成するための全ての改修するビルに適用する。しかし、限定改修目標に対しては、本節のガイドラインの遵守を求めないので、そのような遵守は考えなければならない。他に注意することがなければ、全ての生命安全挙動レベルに適用する数値は、直接占有に適用する数値の 1.25 倍しなければならない。

2.11.1. 方向性の影響

横力抵抗システムは水平方向に横力を発生させる地動に応答することが可能なことを示さなければならない。直交する抵抗の主軸を持つビルに対して、二つの直交する方向のそれぞれに抵抗する力に対する構造体の応答を評価して、チェックすることができる。最小限直交する二つの方向それぞれ単独に構造体の応答の影響を調べる。更に加えて、節 3.2.7 の適用手順に従って、双方向同時応答影響も考慮するべきである。

2.11.2. P-Δ効果

地震時応答によって生じる横変形が重力の基で不安定な状態にならないことを保証する為の調査をしなければならない。各層に於いて変形角 θ_i を下式のように、各方向の応答に対して計算しなければならない。

$$\theta_i = \frac{P_i \delta_i}{V_i h_i} \quad (2 - 14)$$

ここに

P_i = i 層の柱、支持壁に作用する自重、永久積載荷重及び 25%の過渡的積載荷重を含む構造物全体の一部。

V_i = 構造物が弾性範囲にあることを想定し、地震応答によって i 層の対象とする方向における計算横せん断力

h_i = i 層の階高、上下層の床厚の中心間、上下階の床の上面間、又は類似の共通参照点間距離。

δ_i = i 層の対象とする方向の横方向層間変位。剛芯で計り、階高と同じ単位を用いる。

どの層も θ_i が 0.1 以下であれば、安定性を追求する必要はない。層における θ_i が 0.1 を越える場合には、節 3.2.7 の適応手順に従って、構造解析に $P-\Delta$ 効果を考慮しなければならない。 θ_i が 0.33 を越える場合には構造物は基本的に不安定であり、層の計算水平変位を減少するために改修設計の変更をしなければならない。

2.11.3. ねじれ

ビルの地震応答を評価に用いる解析モデルは、剛床における重心位置での変位と剛芯の位置での変位の差から生じるねじれ応答の効果を計算しなければならない。

2.11.4. 転倒

構造物の各層における転倒の影響は構造物のトップからベースに至る累積で評価される。(コメントリと補足の「転倒問題と代替手段」参照)

2.11.4.1. 線形手順

線形手順を続けるとき、構造物の各レベルにおける各主架構を考慮しているレベルより上に作用する地震力の転倒に対する安定度を調べなければならない。転倒の影響は自重の安定性を通じて、又は下層の構造要素と集合要素のプラスの接点を通じて抵抗できなければならない。

ここに、死荷重は転倒に抵抗し、次式を満足する。

$$M_{ST} > M_{OT} / (C_1 C_2 C_3 J) \quad (2 - 15)$$

ここに

M_{OT} = その層及び上層に作用する地震力によって集合要素に引き起こされるトータル転倒モーメント

M_{ST} = 集合要素に作用する死荷重によって生じる抵抗転倒モーメント。各分離された死荷重と水平距離

C_1, C_2, C_3 = 節 3.3.1.3 で定義する係数

J = 式 3-17 で定義する係数

非線形を受け入れる構造応答の期待強さによって制限されるので、数量 M_{OT} / J 架構に作用する転倒モーメントを越える必要はない。構成要素を転倒する足元の圧縮の影響に対して評価しなければならない。構成要素の足元の圧縮に対しては、荷重制御作用を考慮するべきであり、節 3.4.2.1 の手順に従って評価しなければならない。転倒に関する基礎に対する影響を特に考慮する場合には、4 章を参照のこと。

構成要素に作用する自重が安定に不十分なとき、考慮している層の上下に位置する構造体に加える付加構成要素を用意すべきである。付加するものは、5章から8章に用意した適応するガイドラインに従って、荷重制御又は変位制御作用で評価しなければならない。

2.11.4.2. 非線形手順

非線形手順を行うとき、ロッキングを生じたときは何時でも、地震が引き起こす架構のロッキングの影響を、非線形自由度として解析モデルに取り入れなければならない。ロッキングを生じたレベルの上下に位置する適正な架構は、基礎も含めて、節 3.4.3 の手順に従って、このロッキングの結果として生じる荷重の再配分に対して評価しなければならない。

転倒問題と代替手段

地震地動に対する応答は、構造物及び構造物の個々の鉛直構成要素が基礎で転倒する傾向を招く。実際の転倒は非常に稀であるが、転倒効果は局部的、全体的損傷を引き起こす原因となる大きな応力結果となる。新築ビル設計において、転倒を含む地震効果は、実際に構造物に発生するであろうものから大きく低減（R - 係数）した横力に対して評価する。

鉄筋コンクリート壁のような単体として挙動するレベル間にプラスのアタッチメントを付けた構成要素は要素力（壁の基礎の曲げと剪断）に分解され、構成要素は低減した応力レベルから転倒効果に抵抗する適正な強度に配分される。

木造剪断壁及び基礎のようなある構成要素は、レベル間プラスアタッチメントにはならない。これらに対して、転倒安定チェックを行う。構成要素が、設計横荷重の転倒効果の元で安定を保つに十分な死荷重と、下層への十分な剪断接合を有しているとき、設計は適正であると思われる。しかし、安定には不十分な死荷重の時、下支え、杭、又は他のタイプの引き上げアンカーを、設計力によって引き起こされる残余の転倒に抵抗するように備えなければならない。

ガイドラインの線形及び非線形手順において、新築ビルのように横力をR係数によって低減しない。従って、計算した転倒効果は新築ビルに対するより大きい。新築ビルに対して使用する手順は合理的ではないが、良い挙動を示す。従って、構造物と構造物の構成要素が、線形手順で用いる全横力に対して安定を維持することを必要とすることは不適正に感じる。代わりに、設計者は、プラスの直接アタッチメントを転倒効果に抵抗するために使用するか、死荷重を用いるかを、決定しなければならない。プラスの直接アタッチメントを使用するとき、このアタッチメントは他の構成要素や要素の応力と同じように扱う。

しかし、死荷重のみ転倒に用いるなら、転倒は荷重 - 制御挙動として扱い、転倒需要は構成要素に伝達できる実際の転倒需要の推定を、構造物の全限界強度を考慮して低減する。

観測した挙動に矛盾しないことを示す、転倒効果に対して構成要素を設計し評価する為の合理的な手法はない。ガイドラインに述べた手法は合理的であるが、新築ビルに対して使用する手順には矛盾する。損傷制御を改善するために、ガイドラインの手法は生命安全より高い挙動レベルに対して許容性をチェックする為に推奨できる。

崩壊防止又は生命安全挙動レベルに対する安定性を備える死荷重の適正を評価するために、下記に記単純化した代替は新築ビルに使用するものと類似手順を使用する。

荷重組み合わせは下記で表す。

$$Q = 0.9Q_D + \frac{Q_E}{R_{OT}}$$

ここに、 Q_D 及び Q_E は逆負号で、 R_{OT} は崩壊防止に対して 7.5、生命安全に対して 6.0 を死荷重のみの適正評価に使用する。死荷重が不適正なときに、必要な下支え、杭又は他の引き上げアンカーの設計をガイドラインに従って実行する。要素の許容性基準は $m = 1$ として 5章から8章から取る。

耐震改修における転倒を制御するパラメータについてはその他の研究が必要である。これら代替手法は試験的で、将来の研究を待つ。

2.11.5. 連続性

構造体の全ての架構は、次のような地震力のビルの応答によって生じる横力に対する完全な道筋を作るように、完全に又全体的に相互に緊結しなければならない。

- 外に建つ袖壁のような構造物の各小部分は、もし、構造物の独立部分が自立できず、地震結合されていないなら、構造物の小部分重量の最低 $0.133 S_{XS}$ 倍、水平力に抵抗する能力の要素の全てとして、構造物に緊結しなければならない。
- 各要素は、最低要素自重の $0.08 S_{XS}$ 倍以上、各方向の水平力に抵抗するように、構造物に接続しなければならない。集中荷重に抵抗する接合点に対しては、最低 1120 ポンド (508kg) を用いなければならない。
- 要素の端部が滑支持なら、ベアリングの長さは要素の支点との期待相対変位差を十分カバーしなければならない。

2.11.6. 床ダイヤ

床板をビルの質量を横力抵抗機構の主鉛直材に接続するように、構造物の各レベルに備えなければならない。ビルの解析に用いる解析モデルは、「解析手順」に示すように力と変形を評価するべく、床板の挙動に対して勘定しなければならない。更に次の各項を適用する。

- **床ダイヤの弦材：**ガイドラインの 8 章で用いる「弦材のない」床板を除いて、要素は床板の端部で水平せん断応力を伝達するよう準備しなければならない。この要素は、連続床板端弦材、連続な壁又は架構又は連続な壁、架構及び弦材架構の組み合わせで構成する。床板境界として作用するこれらの要素及び架構における集積された力は、適正な評価で考慮しなければならない。床板の凹んだ角及び床板の開いた角において、床板弦材は床板の延長した弦材を通して境界の応力を伝えなければならない。
- **床ダイヤ収集装置：**床ダイヤの取り付け各鉛直構成要素において、床ダイヤによって直接伝達できない床ダイヤの計算した応力を鉛直架構に伝達するように考慮しなければならない。床ダイヤ収集装置は、必要な応力を十分に伝達できるように床ダイヤに緊結しなければならない。
- **床ダイヤ緊結：**床ダイヤは、弦材又は境界との間に連続した引張緊結材を備えなければならない。緊結材は長さの 3 倍を越えない間隔でなければならない。緊結材は、隣接する緊結材又は端部との中間点の床ダイヤ重量の $0.4 S_{XS}$ に等しい引張力に対して設計しなければならない。木材、石膏、金属デッキ構造の床ダイヤは煉瓦もしくはコンクリート構造の壁に対して横方向の支持を用意し、緊結材は床ダイヤ緊結材に応じて壁の面積に対して、節 2.11.7 に示すような力で設計しなければならない。

2.11.7. 耐震壁

耐震壁は、本節に述べるように構造体に緊結し、5 章から 8 章に指定するように面外慣性力に対して評価しなければならない。

- 耐震壁は壁に対して横の支持もしくは壁によって垂直に支持される全ての床板に緊結しなければならない。耐震壁の横架材間隔は 8 フィートを越えてはならない。ただし、耐震壁が縦方向の支持間隔に対して適する耐力を有することを立証できる場合はその限りではない。壁の 1 フィート当たり $400 S_{XS}$ ポンドとアンカーの負担する壁重量の χS_{XS} 倍の大なる力で緊結しなければならない。ここに χ は表 2-18 に示す値を取る。緊結力は床板で受ける。柔構造床板の場合には、緊結力を上記の 3 倍取り連続する床板にも伝達できなければならない。この目的のために床ダイヤを 2 次床ダイヤに区切る場合もある。2 次床ダイヤは耐震壁のせん断力を連続する耐震壁まで伝達できなければならない。2 次床ダイヤの長さとの厚みの比は 3 以下である。壁パネルを間柱などによって面外挙動を補剛する場合には、アンカーは壁アンカーと床板に面外力を

分配するために補剛材毎に取り、床ダイヤ緊結材は補剛の影響を考慮しなければならない。壁アンカーの接続は荷重制御で考えなければならない。

表 2 - 1 8 面外壁力の計算のための係数 χ

挙動レベル	χ
崩壊防止	0.3
生命安全	0.4
直接占有	0.6

- 壁の単位荷重と面積の積の 0.4 倍の面外荷重に耐える強度を有する壁

2.11.8. 非構造要素

仕上げ材や機械、電機設備機器要素を含む非構造要素は 1 1 章に従って構造材に接続しなければならない。これら要素の挙動レベルに対して要求される地震後の操作性に関しては 1 1 章の要求仕様と耐震改修目標に従って準備しなければならない。

2.11.9. 共有構成要素

区切りの壁や柱のように複数のビルが共有する構成要素で、BSO 又は強化耐震改修目標を望む場合、次のアプローチに従わなければならない。

- 構造体は不可欠の単位として振る舞うように互いに緊結した場合。各層における構造体の緊結部は節 2.11.5 に示す力に対して設計しなければならない。地震力に対するビルの応答解析は構造体を連結して解析し、総合的に評価しなければならない。
- 構造物間を地震ジョイントによって完全に隔てる場合。各構造体が独立に横力抵抗システムを持たなければならない。ローラー支持で各構造体の水平移動の独立性が保たれ、片方の地震荷重を他方に遮断できる場合を除き、地震ジョイントの各サイドに独立鉛直支持材を持たなければならない。このような場合構造物がお互いに異なる位相で動くことを考慮しなければならない。元々の共有構成要素は節 2.11.5 の要求仕様に従って構造体の一つに緊結しなければならない。

2.11.10. ビルの分離

2.11.10.1. 概要

BSO 又は強化目標に合致するようなビルは、設計用地震に対する応答の間における衝突を防ぐ為に、節 2.11.10.2 に示すものを除き、隣接構造物から i 層のビル間の距離を下式の s_i 以上に離さなければならない。

$$s_i = \sqrt{\Delta_{i1}^2 + \Delta_{i2}^2} \quad (2 - 16)$$

ここに

Δ_{i1} = ビル 1 の i 層の地盤に対する横方向相対変位の推定値

Δ_{i2} = ビル 2 の i 層の地盤に対する横方向相対変位の推定値

2-16 式で計算した値 s_i は衝撃を受ける部分のビル高さの 0.04 倍を超える必要はない。

2.11.10.2. 特別配慮

節 2.11.10.2 の分離要求仕様に合致しないビルが、次の条件に従えば、BSO に合致した耐震改修することもできる。

- 構造物のダイアフラムが同じ高さにあり、衝突の衝撃を伝える能力があることを立証できる。
- 構造物が、構造物の衝撃によって酷く損傷した各架構と要素のそれぞれの垂直及び水平力に要求した全ての抵抗能力があることを立証できる。(損傷した部分を補う能力が残存部分にある)

2.11.11. 垂直地震の影響

地震に対する構造物の垂直応答の影響は次の場合には考慮しなければならない。

- 片持ち架構、要素の構造物
- プリストレス架構、要素の構造物
- 自重及び永久積載荷重が通常決められた要素能力の 80 % を越える構造要素

2.12. 品質保証

全てのビル、全ての改修目標に対する耐震改修工事の品質保証は、最低限本節推奨に順応しなければならない。これら推奨を補う推奨試験と参照基準に含まれる査察要求仕様は 5 章から 11 章に挙げる。特定のビルの耐震改修に対する設計専門家の責任はより厳密もしくはより詳細な要求仕様を決めるに妥当なものでなければならない。このような追加の要求仕様は強化耐震目標を行うビルには特に適している。

2.12.1. 建設品質保証計画

設計技術者の責任として、全体建設計画の一部として担当部局に提出する為の品質保証計画書(QAP)を用意しなければならない。QAP は特別品質管理要求仕様に従う地震力抵抗構成要素、要素又はシステムを決めなければならない。QAP には最低限次の各項を含まなければならない。

- 請負業者に品質制御手順を要求する。
- 設計専門技術者建設品質保証サービスを要求する。以下が含まれるが、この限りではない。
 - 要求した請負提出書の再吟味
 - 要求した調査報告書と試験結果の監視
 - 建設図書の意図に沿って請負者に要求されているような建設指導
 - 建設中に現地で発見される予見できなかった事象を反映する為の建設図書の修正に対する手順
 - 節 2.12.2.1 に従った建設工事の監視
- 要求される特殊な点検と試験要求仕様。

2.12.2. 建設品質保証要求仕様

2.12.2.1. 構造設計専門家の要求仕様

責任を負う設計技術者又は責任を負う設計技術者から指名された設計技術者は建設図書に示す改修処置の構造監視を実行しなければならない。工事監視は設計時に想定した状況の一般的順応性に対し、又建設図書を受け入れる為の一般的順応性に対する構造システムの視覚による監視を含まなければならない。構造監視は大きな工事段階毎に、又構造耐震改修システムの完了時点で実行しなければならない。構造工事の監視はガイドラインの他の章に要求される点検に対しての責任を含まない。

このような構造監視に続いて、構造工事監視はオーナーの代表、特別点検者、請負者及び役所の担当官に対する書類に、監視した欠陥事項の報告をしなければならない。構造工事監視は現地視察を行ったビルの担当官に記録の承認を受け、構造工事監視者の知識が最良であり、報告書に未解決又は未調

整がないことの確認を得なければならない。

2.12.2.2. 特別点検者

オーナーは次の工事作業に対する QAP に従って地震力抵抗システムの工事を監視する特別点検者を雇わなければならない。

- 1994 年及び 1997 年 NEHRP 推奨条項 (BSSC , 1995 , 1997) の節 1.6.2.1 から 1.6.2.9 に指定する項目。
- 設計専門技術者による特別点検に対する全ての構成要素及び要素。
- 行政担当官の要求する全ての構成要素及び要素。

2.12.2.3. 試験

特別点検者は特別試験要求仕様が、QAP に記述されているように、次に示す地震力抵抗システムにおける作業のタイプに対する試験担当官の承認によって実行されたかを証明する責任を負わなければならない。

- 1994 年及び 1997 年 NEHRP 推奨条項 (BSSC , 1995 , 1997) の節 1.6.3.1 から 1.6.3.6 に記述される全ての作業。
- 設計専門技術者による試験に対して指定された他の作業タイプ
- 行政担当官の要求する全ての他の作業タイプ

2.12.2.4. 報告と遵守手順

特別検査官は規制担当官、設計専門技術責任者、オーナー、QAP を準備する担当及び請負者に欠陥がない様に訂正した、及び前回報告書の欠陥部分の訂正した進行監視報告書のコピーを渡さなければならない。発見した欠陥部分の全ては訂正の為に請負者に直接注意しなければならない。

工事の完成時に特別監視官は規制担当官、オーナー及び設計専門技術責任者に、承認した施工計画書に従って監視を完了したの最終報告書を、監視範囲を示して提出しなければならない。遵守しなかった全ての仕事も記載しなければならない。

2.12.3. 規制担当局の責任

耐震改修を行うビルの工事を所管する規制担当官は、その改修によって表面化する公共性の防御を強化し推進する為に行動するべきである。これらの行為は次に示す各事項を含んでいる。

2.12.3.1. 提出された建設図書—許可

認可の過程の一部として、規制担当官は提案された耐震改修方法の施工許可の為に、施工計画書の提出を求めなければならない。施工計画書は改修の設計基準の条項、図面（又は適切な詳細図）、構造耐震計算及び節 2.12.1 で推奨する QAP を含まなければならない。もし、構造要求仕様が図面上の注意書きで適切に定義していなければ、適当な構造施工仕様を推奨する。

規制担当官は耐震改修方法が地方のビル規制、州の設計基準、ガイドラインの意図及び技術原理に従って行われていることを示すように（設計計算、第三者機関による検討又は他の方法で）要求しなければならない。規制担当官は、新築ビルに対する建築基準の規定又はガイドラインで要求する条項を遵守できないことに気が付かなければならない。規制担当官が新たに工事の構造要求仕様の提出を求めることを意図するものではない。

規制担当官は許可した耐震改修方法の施工の過程の一部として提出された工事計画書の公的ファイルを永久に保存しなければならない。

2.12.3.2. 建設段階における役割

耐震改修方法の工事を所管する規制担当官は、QAP の実行を監視しなければならない。特に次に挙げる行動をとらなければならない。

- 検査報告書のファイルを工事の完了と建物使用許可証の発行の後、決められた期間保存しなければならない。これらのファイルには節 2.12.2.2 のようにオーナーに雇われた特別検査官によって提出された報告書と規制担当局によって雇われた検査官によって提出された報告書の双方が含まれる。
- 建物使用許可証の発行に先立ち、規制担当官は、報告された不適合部分が全面的に改修されていることを確認するか、あるいは、指摘された不適合部分が「代替措置として容認可能であり、設計図書の総合的目的に整合する」と担当の設計専門家が了承していることを確認する。
- 節 2.12.1.3 に従って準備した試験報告書のファイルは建設の完了と建物使用許可証発行後、決められた期間保存しなければならない。

2.13. 代替の材料と建設方法

既存ビルもしくは耐震改修計画が本ガイドラインに含まれていない構造モデル化のパラメータ及び許容応力の架構や要素を含んでいるとき、本節に従って決定し、実験的に導いた組立材の応答特性に基づかなければならない。構造要素の実験と実験から設計用パラメータの誘導の知識を持つ独立な第三者の検閲を、本節に従って受けなければならない。本節は新材料と耐震改修の為の適性を評価するシステムの適応法を用意する。

2.13.1. 実験準備

構造体の部分的組立材（構成要素又は要素）に対する非線形外力変形挙動に関する適切なデータがない時、データは代表的な組立材の物理的な実験からの経験に基づいて取得しなければならない。各組立材は構造架構や要素の部分と構造解析の一部としてモデル化する剛性に同一性がなければならない。実験の目的は異なる荷重増分における、望む挙動レベルに対する同一の耐力と変形性能の、組立材に対する変形性能横力—変形関係（剛性）の推定を行う為でなければならない。これらの特性は地震動に対する構造物の応答の解析モデルを作成し、予期する挙動の許容性を判定する時に用いる。限界耐力と変形性能は、独自の設計構成に対して実行した3回の同じもしくは類似の実験の平均値からの、実験的プログラムから決定しなければならない。

実験的なセットアップは実際の大きさ、現実の施工詳細、支持条件及びビルに予想される荷重条件を模擬するものでなければならない。特に、軸力、モーメント、せん断力の影響は、ビルに大きいことが予想されるなら実験で模擬されなければならない。実大実験を推奨する。載荷は変位増分レベルで全荷重の繰り返し載荷が必要である。数多くの繰り返しと変位レベルに対する実験の観察記録は一般に受け入れられる手順に従わなければならない。増分は組立材が、水平及び自重の抵抗力を失い、完全に崩壊を示すまで続けなければならない。

2.13.2. データ整理と報告

報告書は各実験について作成する。報告書には次の項目を含まなければならない。

- 実験する組立材の記述
- 実験装置の記述、次を含む
 - － 組立材の製作詳細
 - － 実験の場所と日時
 - － 使用した機械類の詳細
 - － 実験責任者の名前
 - － 供試体の写真
- 使用した載荷手順
 - － 作用させる荷重（変位）増分
 - － 作用荷重の比率
 - － 各段階の荷重の間隔
- 実験中に観察した重要な挙動に対する影像記録及び限界変形値などの記述。
 - － 有効スティッフネスの弾性範囲報告
 - － 塑性範囲
 - － 組の外見上の損傷
 - － 水平抵抗力の喪失
 - － 鉛直抵抗力の喪失
 - － 組立材の荷重変形のプロット（種々の挙動状態でなく）
 - － 限界挙動状態の記述と破壊形

2.13.3. 設計パラメータと許容基準

経験的データに基づく小組立品に対する設計パラメータと許容基準の作成には次の手順に従わなければならない。

1. 理想化した応力変形曲線は実験及び各方向の荷重を単一に載荷した実験データから作成しなければならない。曲線は単一象限（プラス荷重にプラス変位、マイナス荷重にマイナス変位）プロットしなければならない。曲線は次のように作成しなければならない。
 - a 横力—変位からの適当な象限のデータは実験レポートのプロットから取らなければならない。
 - b 平滑化した基本曲線は、図 2-6 に示すように全ての I ステップに対して、第一サイクルの i 番目の変位ステップと第二サイクルの $i-1$ 番目の変位ステップの交点を結んで曲線を作成しなければならない。
 - c 基準線は従って直線の連続で近似でき、図 2-4 に示すタイプの一つに一致する折れ線で描ける。
2. 小組立部品を含む全ての実験から誘導した近似の折れ線を比較し、小組立品の挙動を代表する平均の折れ線の代表を作成しなければならない。合成した折れ線の各部分を実験に対する近似折れ線の一部と類似する平均剛性（プラス側及びマイナス側）とする。合成曲線の各部は種々の実験の終了に対する近似折れ線変形レベルの平均の終端とする。

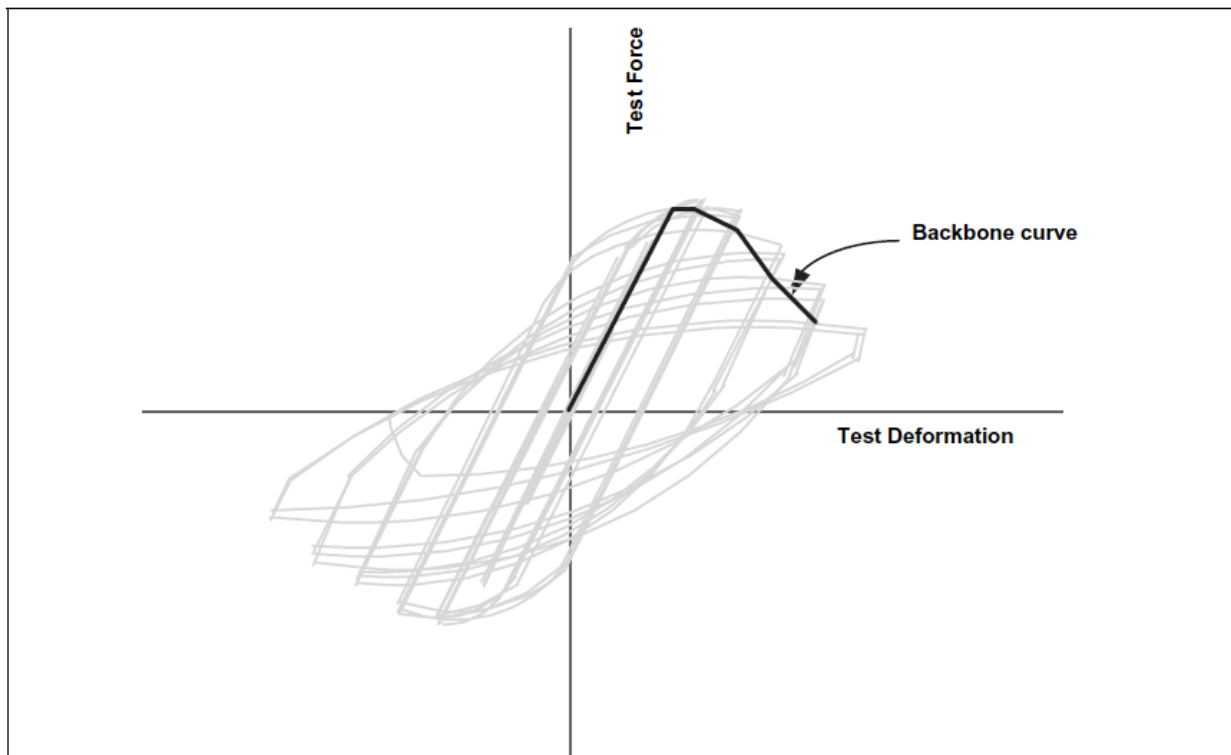


Figure 2-6 Backbone Curve for Experimental Data

3. 線形手順で利用する小架構の剛性は剛性曲線の最初の勾配を用いる。
4. 許容限界を決定する為に荷重制御又は変形制御のいずれかで分類する。次のいずれかに適応しなければ荷重制御として分類する。

- 組立部材に対する合成折れ線の力—変形曲線は、図 2-4 に示したようなタイプ 1 又はタイプ 2 に順応させた上記 (2) に従って決定し、図 2-4 に示す変形パラメータ e は図 2-4 に示すように最小変形パラメータ g を 2 倍する。

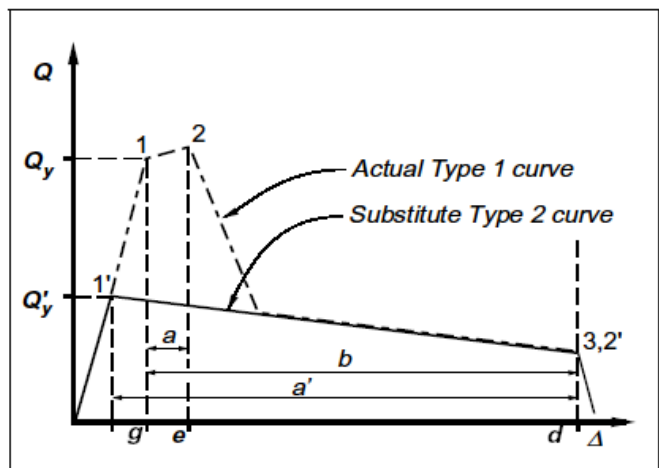


Figure 2-7 Alternative Force Deformation Curve

- 組立部材に対する合成折れ線の力—変形曲線は、図 2-4 に示したようなタイプ 1 に順応させた上記 (2) に従って決定し、図 2-4 に示す変形パラメータ e は変形パラメータ g の 2 倍より小とし、変形パラメータ d は最低変形パラメータ g の 2 倍とする。この場合許容値は図 2-7 に示すように点 2 と点 3 から最初の直線上の点 1' に向かって戻った原曲線の部分を持つタイプ 2 のような力—変形曲線を再描画して決定する。パラメータ a' と Q'_y は図 2-7 に示すように取り、図 2-4 の a と Q_y の代わりに用いる。
5. 線形もしくは非線形手順を用いて評価した荷重制御架構に対する耐力 Q_{CL} は次のように取らなければならない
 - 如何なる挙動レベル又は範囲に対しても、代表的な組立材の実験から決定した最小の耐力 Q_y 。

6. 非線形手順を用いる変形制御の組み立て材に対する許容値は、図 2-4 の曲線上の次の点に対応する変形でなければならない。
- a 主構成要素
 - 直接占有：実験で生じた大きな、永久的な、目に見える損傷の変形
 - 生命安全：曲線上の点 2 の 0.75 倍の変位
 - 倒壊防止：タイプ 1 曲線の 3 点の 0.75 倍で点 2 を超えない
 - b 2 次要素
 - 直接占有：実験で生じた大きな、永久的な、目に見える損傷の変形
 - 生命安全：タイプ 1 曲線上の点 2 の変位で点 3 の 75%を超えない
 - 倒壊防止：タイプ 1 曲線の 3 点
7. 線形手順における変位制御組み立て材に対する許容値として用いる m 値は上記 6 に与える許容変位の 0.75 倍で、図 2-4 に示す曲線の変位パラメータ g で表す降伏変位を取らなければならない。

2.14. 用語定義

Acceptance criteria：与えられた挙動レベルにおける要素の挙動の限界を決める為に用いる変位、要素応力、非弾性変形のような特性の許容値

Action：時には一般化した力と呼ばれ、最も普通には単一の力もしくはモーメント。Action は力とモーメントの組合わせ、分布荷重、又はさまざまな力とモーメントの組合わせにも用いる。Action は常に変位もしくは変形を生じるか引き起こす。例えば梁に掛かる曲げモーメント Action は梁に撓み角を引き起こし、柱の軸方向 Action は柱に軸変形を引き起こす。ビルに作用するねじれ Action はビルにねじれ変形を引き起こす。

Assembly：二つもしくはそれ以上の接続された要素

BSE-1：基本安全地震 - 1 立地における 10%/50 年地震又は立地の最大地震（MCE）の 2/3 より小さい地震。

BSE-2：基本安全地震 - 2 立地における MCE

BSO：基本安全目標。生活安全挙動レベルが BSE-1 に対して、崩壊防止挙動レベルが BSE-2 に対して達成する耐震改修目標。

Building Performance Level：改修目標の定義に用いる構造又は非構造ビル要素に関する「限定損傷の状態」。

Capacity：要素に作用する力に対する許容の応力又は変形

Coefficient of variation：資料データにおける平均値に対する標準偏差の比

Components：梁、柱、スラブ、ブレース、基礎、複合梁、接続部のような、ビルを構成する基本的構造部材。柱、梁などの部材を組み合わせる構造要素（架構など）が構築される。

Corrective measure：（弱点の矯正）ビルの弱点を減少する意図で要素や構成要素もしくは構造物全体の変更

Critical action：構造物に対する変位もしくは荷重の最も低いレベルでの弾性限界に達する要素作用

Demand : 構成要素や部材にかかる力や変位の総量

Diaphragm : 横力抵抗系の垂直要素に力を配分するのに用いられる水平(又は水平に近い)構造要素。スラブ、水平ブレース等。床ダイヤ

Diaphragm chord : 引張及び圧縮に抵抗する diaphragm の縁にせん断力を発生するように用意した diaphragm 要素。

Diaphragm collector : 横力抵抗系の垂直要素又は diaphragm の他の部分に diaphragm からの横力を伝達する為に用意した diaphragm 要素。

Element : モーメントに抵抗する架構、ブレースつき架構、耐震壁、床ダイヤ(水平剛性材)などのような横力に抵抗に協同作用する構造要素の集合体

Flexible diaphragm : 節 3.2.4 に示すスティッフネス特性を持つ床ダイヤ

Hazard level : 確率的又は確定論的に決定する指定した厳しさの地震動

Lateral-force-resisting system : 構造体が不安定ならないように、基本的横方向耐力と剛性をそなえた構造体の要素集合体

Maximum Considerable Earthquake(MCE) : 耐震改修目標に使用する最大地震危機レベル (BSE-2 参照)

Mean return period : 指定した厳しさの地震発生平均期待周期年数。

Nonstructural Performance Level : 耐震改修目標に使用する非構造体ビル要素に対する限界損傷状態

Primary component : ビルの横力抵抗系の部分として要求される要素(二次部材に対比)

Primary element : 地震が引き起こす変形に抵抗する能力を有する構造要素

Rehabilitation Method : ビルの地震被害を減少する為の手順

Rehabilitation Objective : 通常、オーナー、技術者、担当の役所によって選択された、与えられた地震波に対する損傷又は損害の望ましい限界

Rehabilitation strategy : 地震に対する弱点を減少するビルに対する耐震改修方法の技術的アプローチ

Secondary component : 横力抵抗に対して期待されない要素(主要素に対比)。実際には抵抗する場合もあるし、抵抗しない場合もある。

Secondary element : 地震の引き起こす変形に抵抗する構造体の能力に影響のない要素群。

Seismic demand : 通常、地動の応答スペクトルの形式で表現する地震危機レベル。予想される地面の永久変位も含まれる。

Simplified Rehabilitation Method : 地震危機に対する全体ビルの応答の解析を要求されないビルのタイプと改修目標に適応するアプローチ

Strength : 要素によって抵抗可能な最大軸力、せん断力、又はモーメント

Stress resultant : 構造体要素の断面に入る軸力、せん断力、又はモーメント

Structural Performance Level : 耐震改修目標の定義に用いる限界構造体損傷状態

Structural Performance Range : 耐震改修目標の定義に用いる構造体損傷状態の範囲

Subassembly : 集合体の一部

Systematic Rehabilitation Method : 地震動に対するビルの応答の完全な解析を実行する耐震改修のアプローチ

2.15. 記号

B_s	粘性減衰の影響の為に、短周期応答スペクトルの調整に用いる係数
B_1	粘性減衰の影響の為に、1 秒周期応答スペクトルの調整に用いる係数
C_1	節 3.3.1.3 に従って計算する、線形弾性応答計算した変位を期待最大非弾性応答変位に修正する係数
C_2	節 3.3.1.3 に従って計算する、最大応答変位の履歴形状の影響を表す修正係数
C_3	節 3.3.1.3 に従って計算する、2 次効果に基づく変位増加を表す修正係数
DCR	式 2-12 に従うか式 2-13 に要求されるように計算する応力 - 性能比
$\overline{DCR}$	式 2-13 に従って計算する層の平均応力 - 性能比
F_a	立地クラスに対する短周期範囲における加速度スペクトル調整係数
F_v	立地クラスに対する 1 秒周期における加速度スペクトル調整係数
H	土層厚、フィート
J	要素が維持し、他の要素に伝達し得る最大地震力を推定する為の線形手順に用いる係数
LDP	線形動的手順 - 横応答解析の手法
LSP	線形静的解析 - 横応答解析の手法
M_{ST}	構成要素に掛かる死荷重の合計を死荷重の作用線と要素の支点間距離を乗じて計算する構成要素に対する安定モーメント
M_{OT}	構成要素に作用する横力の合計を横力の作用線と構成要素の支点間距離を乗じて計算する構成要素に対する転倒モーメント
N	標準貫入試験から得る土壌の打撃回数、N 値
$\bar{N}$	式 2-6 に従って計算する土壌の上部 100 フィートの平均打撃回数
NDP	非線形動的手順 - 横応答解析の手法
NSP	非線形静的手順 - 横応答解析の手法
P_{E50}	50 年以内に起きる最大確率
PI	液状限界と塑性限界における土壌の含水量の差として決定する土壌の塑性指標
P_i	層 i の柱及び耐震壁に作用する死荷重、長期活荷重及び過渡荷重の 25%を含む構造物の合計重量
P_R	平均回帰周期
Q_{CE}	変形制御作用における対象とする変形レベルにおける要素及び構成要素の期待強度
Q_{CL}	荷重制御作用における対象とする変形レベルにおける要素及び構成要素の下限期待強度
Q_D	死荷重に基づく要素の計算応力
Q_E	要素の計算地震応力
Q_{UD}	要素に掛かる死荷重
Q_y	要素の降伏強度
S_s	加速度応答地図から得られる短周期加速度応答スペクトル、g

S_{XS}	ある危機レベル及びある減衰に対する短周期加速度応答スペクトル、g
S_{X1}	ある危機レベル及びある減衰に対する 1 秒周期加速度応答スペクトル、g
S_a	加速度スペクトル、g
S_{aD}	周期 T における設計用 BSE-1 加速度応答スペクトル、g
S_{aM}	周期 T における設計用 BSE-2 加速度応答スペクトル、g
S_1	応答加速度地図から求める 1 秒周期加速度応答スペクトル、g
T	対象とする方向におけるビルの基本周期
T_o	設計スペクトルの定加速度及び定速度領域が交差する周期
V_i	構造体が弾性であると仮定した、地震応答による層 i における合計計算横せん断力
d_i	同じ特性を持つ、地表面 100 フィート内に位置する土層厚、フィート
h_i	各上及び下レベルにおける床架構の中心間距離、各上及び下レベルのスラブ上端間距離又は同様に共通参照点を取る i 層の高さ、フィート
m	要素作用の利用可能靱性を示す、変形 - 制御要素又は構成要素の許容基準に用いる修正係数
s_i	衝突が起きるかも知れない高さの隣接ビル間水平距離、フィート
s_u	土の乾燥せん断強度、ポンド/ft ²
$\bar{s}_u$	式 2-6 に従って計算する、地表 100 フィートの乾燥せん断強度の平均値、ポンド/ft ²
v_s	土のせん断波速度、フィート/sec
$\bar{v}_s$	式 2-6 に従って計算する、地表 100 フィートの土の平均せん断波速度、フィート/sec
w	土の単位体積当たりの水の重量と土の単位体積当たりの土の重量の比をパーセンテージで表す土の含水量
β	モーダル減衰比
Δ_{i1}	レベル I におけるビル 1 の地盤面との相対変位
Δ_{i2}	レベル I におけるビル 2 の地盤面との相対変位
δ_i	i 層の剛性中心の横層間変位
θ_i	重力及び地震が引き起こす横変形下の安定性を示すパラメータ
κ	要素特性についての知識の質に基づく既存要素の強度低減に用いる信頼性係数（節 2.7.2 参照）
σ	材料強度のバラツキの標準偏差
ϕ	材料強度、断面サイズ及び建設品質のバラツキを考慮した新たな要素の設計強度低減に用いる性能低減係数
χ	構造壁を床ダイヤに肯定する為に必要な面外力決定に用いる係数

2.16. 参考文献

ATC, 1988, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook, prepared by the Applied Technology Council (Report No. ATC-21) for the Federal Emergency Management Agency (Report No. FEMA 154), Washington, D.C.

BOCA, 1993, National Building Code, Building Officials and Code Administrators International, Country Club Hill, Illinois.

BSSC, 1992, NEHRP Handbook for the Seismic Evaluation of Existing Buildings, developed by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report No. FEMA 178), Washington, D.C.

BSSC, 1995, NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, 1994 Edition, Part 1 : Provisions and Part 2: Commentary, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report Nos. FEMA 222A and 223A), Washington, D.C.

BSSC, 1997, NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, 1997 Edition, Part 1: Provisions and Part 2 Commentary, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report Nos. FEMA 302 and 303), Washington, D.C.

ICBO, 1994, Uniform Building Code, International Conference of Building Officials, Whittier, California.

Kariotis, J. C., Hart, G., Youssef, N., Guh, J., Hill, J., and Ng, D., 1994, Simulation of Recorded Response of Unreinforced Masonry (URM) Infill Frame Buildings, SMIP 94-05, California Division of Mines and Geology, Sacramento, California.

SBCC, 1994, Standard Building Code, Southern Building Code Congress International, Birmingham, Alabama.