

建設地と建築物に固有な特性を考慮した設計用地震動の策定法

石井 透 (大崎研究室)	横田 治彦 (技術研究所)	奥村 俊彦 (大崎研究室)
佐藤 俊明 (大崎研究室)	石川 裕 (技術研究所)	壇 一男 (大崎研究室)
渡辺 孝英 (大崎研究室)	奈良岡 浩二 (大崎研究室)	片岡 俊一 (技術研究所)
		護 雅史 (大崎研究室)

§ 1. はじめに

高層建築物の耐震設計に際しては、設計用地震動を設定して、動的地震応答解析により建築物の耐震安全性を確認するのが一般的である。設計用地震動には、「標準的な地震動波形」、「地域特性を表わすような地震動波形」、「長周期成分を含む地震動波形」等を採用するとの基本方針が示されている¹⁾。また、この方針は耐震安全性を確認する理念や手法についての自由度を拘束するものではなく、「より詳細な調査研究に基づいた提案」に代え得るとの考え方も明記されている¹⁾。

この方針に沿って高層建築物の設計用地震動を定める際には、従来から El Centro NS や Taft EW 等の既往の地震動波形を、その最大速度振幅によって一律に基準化した波形(設計用標準波)が用いられてきた。一方、地震動の本来の性質は、地震の震源特性、地震波の伝播特性、建設地付近の地盤特性等によって決まる。従って、従来から用いられてきた設計用標準波では、個々の地震や個々の建設地に固有な上述の総合的な特性を十分に反映することはできない。しかし最近、地震や地震動に関する研究の進歩とそこで得られた知見の整理の結果、より合理的な考え方で建設地に影響を及ぼすであろう地震を予想して建設地の実際の地盤震動性状を反映した設計用地震動を作成することも可能になり、その信頼性も向上してきた。また、超々高層建築物・大スパン建築物・免震建築物等、新しいタイプの建築物の検討が進むにつれ、このような地域特性を反映した設計用地震動を作成することの必要性も高まってきた。

ところで、今までに研究・開発された各々の地震動評価方法にはそれぞれ必要情報があり、情報が入手できない場合には地震動が評価できず、仮に入手できてもその質と量に応じて評価精度が異なる。したがって、一般に設計の対象とする建設地や建築物の条件とそこで得られる情報は対象によって様々であることを考えれば、一種類の手法だけを用意して設計用地震動の作成を考えるだ

けでは十分とは言えない。必要情報が少ない方法ほど建設地に固有な地震動の評価精度が低くなる点を踏まえて複数の地震評価方法を整理し、具体的な建設地で得られる情報に応じて最も適切な方法を採用するという考え方が必要となる。

このような背景を踏まえ、ここでは、最新の知見と考え方に基づいて、建設地において得られる情報の質と量に応じて震源・伝播・地盤特性等を十分に考慮することにより建築物の設計用地震動を策定する方法を提案する。なお、ここで策定する地震動波形は、前述の「地域特性を表わすような地震動波形」と「長周期成分を含む地震動波形」を「より詳細な調査研究」に基づいて作成することに相当する。

§ 2. 設計用地震動の策定法の概要

地震によって力を受ける建築物に要求される目標性能を耐震安全性の観点から設定し、これに対応して、建設地における震源・伝播・地盤特性や、建築物の使用状況・固有周期等、建築地と建築物に固有な特性を考慮した設計用地震動を策定する。ここでは、本策定法に関連する用語を定義して説明するとともに、設計用地震動の作成手順の概要を示す。

2.1 構造設計上想定する使用期間

一般には、建築物の企画・計画・設計プロセスを通して、建築物の使用目的とこれに伴う一定の使用状況を想定する。ここでは、その一定の使用状況が継続すると想定できる期間を建築物の設計に当たって設定することにする。

まず、このような期間を設定する際に考慮すべき要因として、構造のみならず対象建築物全体の総合的な価値にかかわると考えられる以下の三項目が挙げられる。

第一に、所有者(施主)の要望が挙げられる。所有者

から期間に関して具体的な要望が示される場合にはその要望を考慮する。

第二に、一定の使用状況が継続すると考えることが社会一般常識上妥当な期間が挙げられる。建築物においては、近年、各種設備およびそれによって直接生み出される機能・環境の価値が建築物全体の価値に占める重みが増大している。他方で、社会生活とそれに必要な機能の変化のスピードが年々アップしており、それを支える各種設備の（広義の）寿命も短くなってきている。これら様々な要因を考慮のうえ総合的に判断する。

第三に、法規が挙げられる。具体的には、減価償却資産の耐用年数等に関する大蔵省令²⁾がある。これは税法上の規定であり、当該資産（例えば、建物や構築物など）の構造または用途に応じて当該資産の耐用年数および1か年間の償却率を定めたものである。事務所建築の耐用年数を例に挙げると、RC造やSRC造では65年、S造では45年とされている。

ところで、対象建築物全体の総合的な価値は、建築物の構造安全性が満足されて初めて成立する性質のものである。また、竣工後の建築物の実際の使用状況の不確定性を考慮すると、建築物の設計にあたって設定する期間にはある程度のゆとりを持たせる必要がある。

以上のような考え方にに基づき、建築物の設計にあたって、上述の三項目から各々想定される期間を上回る範囲で、建築物の一定の使用状況が継続すると想定できる期間を設定し、「構造設計上想定する使用期間」と呼ぶ。構造設計上想定する使用期間は、設計用地震動を決定するために考慮する期間である。

なお、従来からの一般的な高層建築物の構造設計上想定する使用期間の目安を考えると、おおむね税法上の規定によって決まっているため45～65年程度と考えられる。

2.2 解放支持地盤表面

初期の高層建築物は、地表面下の比較的浅いところに存在する堅固な地盤上に直接基礎を設置している。また、ウォーターフロントのように軟弱な沖積地盤が厚く堆積している地点に建設される高層建築物の場合には、杭基礎や地中連続壁等を採用して堅固な地盤に支持させている。これらの堅固な地盤は、ともに地盤のせん断波速度（S波速度）が400 m/s程度の洪積層（例えば、東京の場合には東京礫層³⁾など）であり、建築物の支持地盤として相当の広がりを持つ共通の地盤といえるものである。

一方、地中や建築物内部で観測される地震動は上昇波

と下降波から構成されており、観測点よりも上方の地盤や構造体の局地的・局所的な影響が含まれている。しかし、地盤が露頭した表面（解放表面）を対象とすれば、そこでの地震動は上昇波のみ（上昇波の2倍）で規定でき、上で述べたような下降波に起因する影響が含まれないという利点がある。

以上のことから、建築物基礎部を支持する堅固な地盤の上面が露頭していると見なしてこの表面で地震動を規定すれば、この支持地盤で浅い局所的な地盤の影響等を受けない地震動を定義出来る。ここでは、建築物基礎部を支持する堅固な地盤が露頭した表面を「解放支持地盤表面」と定義する。

2.3 設計用基準地震動と耐震安全性検討用地震

動的地震応答解析により建築物の耐震性を検討するために用いる地震動、すなわち、建築物の設計用地震動を解放支持地盤表面において定義し、「設計用基準地震動」と呼ぶ。初めに、建設地において設計上考慮すべき地震動を選定する。これに対して、地震の震源特性、地震波の伝播特性、建設地付近の地盤特性等を十分に反映した設計用基準地震動を設定する。このような設計用基準地震動の考え方について図-1に示す。

建築物の耐震安全性を検討するための設計用基準地震動は二段階設定し、各々「レベル1地震動」・「レベル2地震動」と呼ぶ。レベル1地震動・レベル2地震動は各々一種類以上設定する。レベル1地震動・レベル2地震動をもたらすような地震を各々「レベル1地震」・「レベル2地震」と呼び、両者を総称して「耐震安全性検討用地震」と呼ぶ。レベル1地震・レベル2地震も各々一種類以上設定する。設計用基準地震動・耐震安全性検討用地震の定義とそれに対応する建築物の目標性能を表-1に示す。

なお、レベル1とレベル2の考え方には従来の設計用

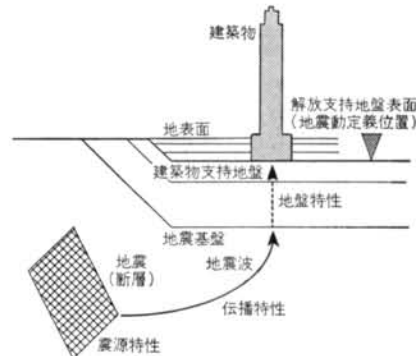


図-1 設計用基準地震動の考え方

地震動¹⁾と共通する点もあるが、従来の設計用地震動のように大きさの相対関係や基準化振幅を与えるのではなく、建築物の構造設計上想定する使用期間に関係づけて各地震動を個別に評価する点がこの方法の特徴である。

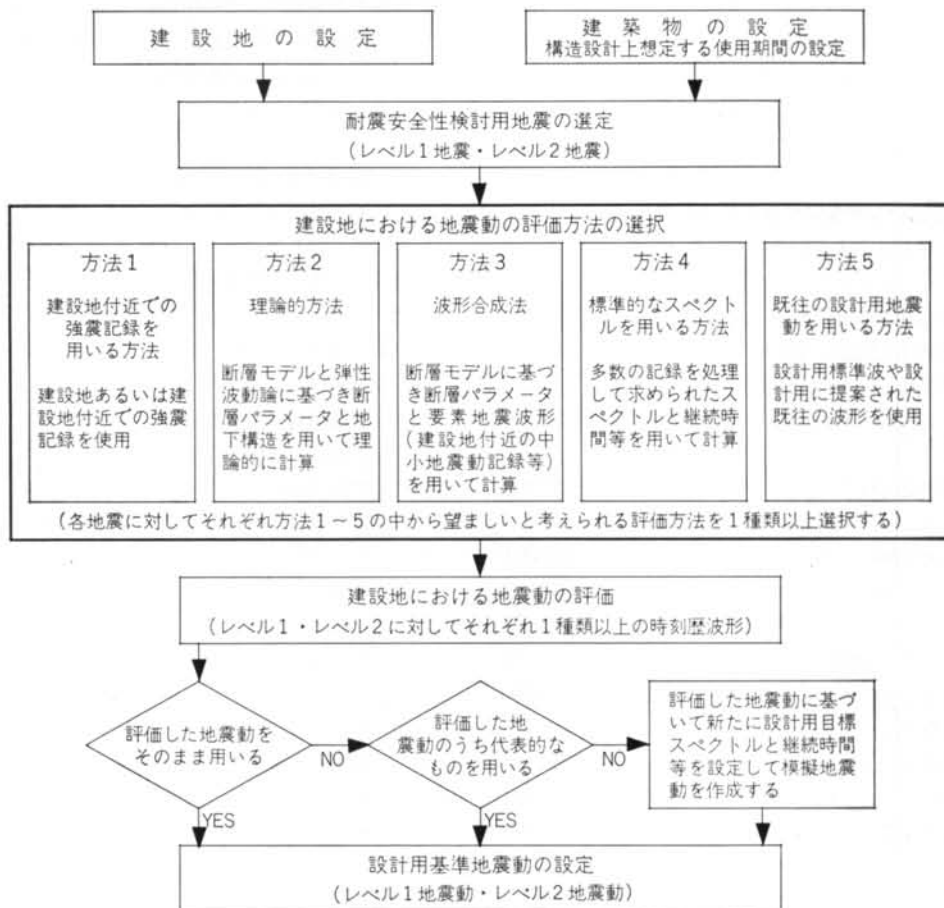
2.4 設計用基準地震動の作成手順

初めに、建築物の建設地と構造設計上想定する使用期

間に基づいて耐震安全性検討用地震動を選定する。次に、選定した耐震安全性検討用地震動に対して時刻歴波形を作成することにより建設地における地震動を評価する。最後に、建設地において評価した地震動を総合的に判断して設計用基準地震動を設定する。このような設計用基準地震動の作成手順を図一2に示す。以下に、設計用基準地震動の作成手順に従って内容を説明する。

	設計用基準地震動の定義	建築物の目標性能	耐震安全性検討用地震動の定義
レベル1	建築物の建設地において建築物の構造設計上想定する使用期間内に一度以上生じる可能性が高い最大級の地震動を「レベル1地震動」と呼ぶ	建築物は損傷を受けることなく主要構造体は概ね弾性的な挙動で応答すること	レベル1地震動をもたらす地震を「レベル1地震」と呼ぶ
レベル2	建築物の建設地において将来生じると想定することが工学的に妥当と考えられる最大の地震動を「レベル2地震動」と呼ぶ	建築物は倒壊あるいは人命に損傷を与える可能性のある破損を生じないこと	レベル2地震動をもたらす地震を「レベル2地震」と呼ぶ

表一1 設計用基準地震動・耐震安全性検討用地震動の定義と建築物の目標性能



図一2 設計用基準地震動の作成手順

§ 3. 耐震安全性検討用地震の選定

耐震安全性検討用地震の諸元は、震源特性の地域性や地震の発生メカニズム等の違いを必要に応じて考慮のうえ設定する。ここで、地震の諸元とは、マグニチュード・震央位置・震源深さ・震央距離・震源距離・断層パラメータ⁹⁾等を指し、後述する地震動の評価方法に応じて必要なものを設定する。

地震諸元の設定方法には、建設地における確率・統計的な地震危険度解析を行なう確率論的な方法と、地震学的・地質学的知見に基づいて個々の地震を考える確定論的な方法とがある。地震の発生には多くの不確実性が含まれることや、日本付近では過去数百年間にわたり地震発生データ^{5)~8)}が得られていること等から、ここでは原則として、建設地における確率・統計的な地震危険度解析結果に基づいてレベル1地震の諸元を設定する。地震学的・地質学的知見に基づいて個々の地震を考慮することができる場合には、レベル1地震の諸元を確定論的に設定することも可能である。一方、レベル2地震の諸元を設定するには地震発生データの情報のみでは不十分であり、多くの地震学的・地質学的知見を必要とするため、原則としてレベル2地震の諸元は確定論的に設定する。

3.1 確率論的な地震諸元設定の考え方

確率論的に地震諸元を設定する場合の標準的な設定手順は次の通りである。

- ①地震危険度解析の実施
- ②構造設計上想定する使用期間に対応する最大地動振幅の設定
- ③設定した最大地動振幅をもたらすような地震諸元の設定

地震危険度解析に用いるデータには、地震発生（歴史地震）データ^{5)~8)}と活断層データ⁹⁾¹⁰⁾とがある。

地震危険度解析の手法には、大きく分けて二種類の手法がある。一方は、個々のデータに対して距離減衰式（アテニュエーション式）を適用することにより対象建設地における最大地動振幅を推定し、それらを順序統計量として扱うことにより、ある期間における最大地動振幅の確率分布を求める手法¹¹⁾である。他方は、データに基づいて地震の発生頻度・規模・位置等の特性の確率モデルを設定し、それと距離減衰式とを組み合わせることにより対象建設地における最大地動振幅の発生確率を求める手法¹²⁾である。解析手法や解析条件の違いが結果に及ぼす影響の度合いは解析対象地点によって異なるため、両手法による解析結果の違いについて比較検討し¹³⁾、違

いが大きい場合にはそれらの平均を採用する等の工夫をする必要がある。

地震危険度解析に用いる地震動指標は標準的には従来から良く用いられている最大速度振幅とし、距離減衰式は金井式¹⁴⁾等を使用する。ただし、建築物の固有周期によっては、最大変位振幅やその周期に対応する応答スペクトル値を地震動指標として用いる必要がある。

このような地震危険度解析に基づいて、建築物の構造設計上想定する使用期間に対応する最大地動振幅を設定する。最大速度振幅を地震動指標として用いる場合には、最大速度振幅の上記期間における最大値の平均値 μ と標準偏差 σ とを求め、これらを用いて基準最大速度 V_{st} を次式により定義する。

$$V_{st} = \mu + \beta\sigma \quad (\text{レベル1に対しては通常 } \beta=1)$$

さらに、歴史地震^{5)~8)}の諸元、活断層⁹⁾¹⁰⁾の諸元、地震地体構造¹⁵⁾等の情報を参考にしながら、基準最大速度 V_{st} をもたらすような地震の諸元を設定する。もしも適切な情報が得られていない場合には、石川・亀田の方法¹⁶⁾により確率論的に設定するか、あるいは適当なマグニチュードを設定して距離減衰式により震源距離を逆算する等の方法を採用する必要がある。

3.2 確定論的な地震諸元設定の考え方

確定論的に地震諸元を設定する場合の標準的な設定手順は次の通りである。

- ①過去に発生した地震の調査
- ②活断層の調査
- ③地震地体構造の調査
- ④調査結果に基づく地震諸元の設定

まず、歴史地震に関する資料^{5)~8)}に基づき、建設地周辺において過去に発生した地震を調査する。ここでは、建築物の建設地において過去に生じたことのある地震動のうち最強と考えられるものを与えるように地震について検討する。それらの結果を踏まえて、将来においてもその発生を想定しておくべき地震の諸元を設定する。基本的には、歴史地震のマグニチュードや震源位置等を参考にして地震諸元を設定する。ただし、より大きなマグニチュードが想定されている場合や、震源の移動などが想定されている場合には、それらの知見を参考にする。

次に、活断層に関する資料⁹⁾¹⁰⁾に基づき、建設地周辺に存在する活断層の諸元や特徴について調査する。それらの結果を踏まえて、活断層の位置、長さ、活動度、確実度等を参考に、将来においてもその発生を想定しておくべき地震の諸元を設定する。その際、断層の長さ L (km)と地震のマグニチュード(気象庁マグニチュード)

Mとの関係については、松田が提案¹⁷⁾した次の式を用いる。

$$\log L = 0.6M - 2.9$$

さらに、地震地体構造に関する資料¹⁸⁾に基づき、地体構造的に考慮すべき地震規模を設定する。地震の震源位置を設定するのは難しいため、過去に発生した地震の震源や活断層の位置を参考にする。

地震の諸元は、以上の検討結果に基づいて決定する。地震の諸元として断層パラメータが必要な場合には、断層パラメータに関する資料⁹⁾等を参照して決定する。

§ 4. 建設地における地震動の評価

各々の耐震安全性検討用地震に対して、その地震の震源特性、地震波の伝播特性、建設地付近の地盤特性等を

反映した時刻歴波形を作成することにより、建設地における地震動を評価する。原則として、評価する地震動は水平地震動二成分および上下地震動とし、その評価位置は解放支持地盤表面とする。

4.1 建設地における地震動評価方法及び必要な資料

地震学・地震工学の最新の研究成果のうち、地震動評価への適用性を考慮して、ここでは図-2および表-2に示す「方法1」から「方法5」までの5種類の方法を、建設地における地震動の評価方法とする。表-2には各種の地震動の評価方法の概要を示す。その際に併せて、地震の震源特性、地震波の伝播特性、建設地付近の表層地盤の増幅特性の取り扱い方を、以下のように分類して示す。

①記録：地震観測記録を用いる

②統計：多数の地震観測記録の統計解析結果を用いる

地震動評価方法	地震動評価方法の特徴と解説	諸特性の扱い
方法1： 建設地付近での強震記録を用いる方法	建設地、あるいは、建設地と類似の地盤条件を有する地点で得られた、耐震安全性検討用地震と対応する過去の地震の強震記録を用いる。必要に応じて、観測地震と耐震安全性検討用地震のマグニチュードおよび震源距離に関する補正を施す。建設地と地震に固有な諸特性を最も良く反映しているが、実際に強震記録が得られていることは稀である。	震源：記録 伝播：記録 地盤：記録
方法2： 断層モデルと弾性波動論に基づく理論的方法	断層モデルの理論に基づいて耐震安全性検討用地震の震源特性（震源から放出される地震波の特性）を求め、弾性波動論に基づいて地震波の伝播特性と表層地盤の増幅特性とを理論的に計算し、建設地における強震動を評価する。実際には、諸特性のモデル化に必要な情報の入手が困難であり、また、現状では短周期帯域での地震動評価精度が悪い。	震源：理論 伝播：理論 地盤：理論or統計
方法3： 経験的グリーン関数を用いる波形合成法	建設地付近で得られた小地震観測記録に含まれる表層地盤の影響やノイズ等を除去した波形を要素地震波とし、断層モデルの考え方に基づいてこれを多数重ね合わせて大地震時の地震動を評価する。建設地に固有な諸特性を比較的良く反映している方法であり、使用可能な観測記録があれば、現在のところ、実用上最も適切に地震動評価が可能である。このような小地震観測記録が得られていない場合には、他地点において得られた多数の地震観測記録を処理して求められたスペクトルと経時特性を用いて小地震に対応する模擬地震動を作成して要素地震波とし、断層モデルの考え方に基づいてこれを多数重ね合わせて大地震時の地震動を評価する。スペクトルと経時特性が規定された地盤と解放支持地盤表面との間に地盤増幅特性を考慮する必要がある場合には、それを考慮する。	震源：理論&統計 伝播：記録 地盤：記録 または、 震源：理論&統計 伝播：統計 地盤：理論or統計
方法4： 標準的なスペクトルを用いる方法	多数の地震観測記録を統計的に処理して求められたスペクトルと経時特性を用いて模擬地震動を作成し、それに建設地の表層地盤の増幅特性を考慮する。スペクトルと経時特性が規定された地盤と解放支持地盤表面との間に地盤増幅特性を考慮する必要がある場合には、それを考慮する。実用性が高い方法であるが、建設地に固有な諸特性の評価精度は方法3よりも低い。	震源：統計 伝播：統計 地盤：理論or統計
方法5： 既往の設計用地震動を用いる方法	従来の高層建築物の設計に用いられている設計用標準波、あるいは、設計用入力のために提案された既往の波形を用いる。建設地に固有な震源・伝播・表層地盤の各特性が必ずしも十分に反映されないため、参考波として用いる場合あるいは方法1～4のいずれかと併用して用いる場合にのみ採用する。	必ずしも十分には反映されない

表-2 建設地における地震動評価方法の分類

③理論：理論を適用する

また、建設地以外の地点、あるいは建設地で解放支持地盤表面とは深さの異なる点で得られた観測記録を利用して、建設地の解放支持地盤表面での地震動を求める場には、原則として一次元波動論に基づいて求める。

ところで、方法1に必要な強震記録が得られていることは稀であり、方法2における諸特性のモデル化に必要な情報の入手も一般には困難である。このような現状では、方法3の「経験的グリーン関数を用いる波形合成法」¹⁸⁾が実用上最も適切な地震動評価が可能な方法であろう。方法3の概念を図-3に示す。

4.2 地震動評価方法の選定と時刻歴波形の作成

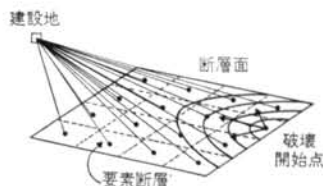
表-2に示した5種類の地震動評価方法について、必要情報が十分にあるかどうか、対象建築物の応答に主要な影響を与える周期範囲、耐震安全性検討用地震の地震規模や建設地からの距離、建設地の地盤条件等が評価方法の適用範囲に該当するかどうかを検討する。次いで、レベル1およびレベル2に対して、各々、方法1~5の中から望ましいと考えられる方法を選択する。必要と判断される場合には複数の方法を選択する。選択した方法を用いて、レベル1およびレベル2に対して各々時刻歴波形を作成する。

なお、建築物の被害に結び付くような強震動が発生する場合には、地震の規模が大きい場合か、地震の規模が大きくなくてもその震源と建設地との距離が近い場合が多い。そのような場合に、方法2や方法3を用いれば震源の面的な広がり(断層モデル)を適切に考慮することができる。震源の面的な広がりを考慮する必要がある場合は、およそ以下に示すような場合と考えられる。

地震のマグニチュード 建設地と断層中心との距離

M6.5	10~20km以内
M7.0	20~30km以内
M7.5	30~50km以内
M8.0	約50~100km以内

また、方法1や方法3には地震観測記録が必要である。得られた地震観測記録が適用対象として相応しいかどうかは、個別のケースに応じて適切に判断する必要がある。その一応の目安として、観測記録の有効周期帯域が対象建築物の検討周期帯域をカバーすること、建設地と観測地の局所的な地盤特性の類似性が確保されていること、耐震安全性検討用地震と観測地震との間で震源特性や波動伝播特性の類似性が確保されていることが挙げられよう。



要素断層からの地震波
(中小地震の観測記録に平均食い違い量と実効応力の差を補正して作成)

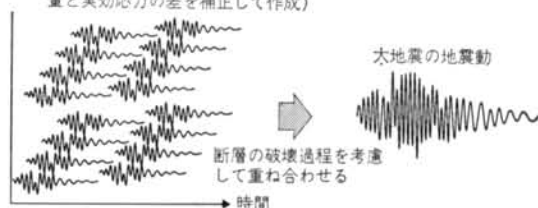


図-3 経験的グリーン関数を用いる波形合成法の概念

§ 5. 設計用基準地震動の設定

建設地において評価した地震動を総合的に判断して設計用基準地震動を設定する。設計用基準地震動の設定方法は以下に説明する三種類とし、図-2の流れに従い最も望ましいと考えられる方法を採用する。採用した方法に従って、レベル1地震動およびレベル2地震動を各々設定する。

5.1 評価された地震動をそのまま用いる方法

評価された全ての地震動をそのまま設計用基準地震動として用いる。

5.2 評価された地震動のうち代表的なものをを用いる方法

評価された全ての地震動について、時刻歴と応答スペクトルによって地震動特性を比較・検討する。応答スペクトルは、対象建築物の検討周期帯域を含む範囲で求めて比較・検討する。また必要に応じて、その他の地震動解析・評化手法を用いて比較・検討した結果も参考にする。その上で、設計に用いることが妥当であると判断される代表的な地震動を選び出して設計用基準地震動とする。

代表的な地震動の選択方法は個々の設計事例によって異なる。そのための判断の目安としては、対象建築物の検討周期帯域で一方の応答スペクトルが他方を概ね上回っている場合、前者の時刻歴継続時間が後者とほぼ同程度以上である場合には、前者によって代表させる。また、地震動特性がほぼ同程度である場合には、対象建築

物の応答が概ね小さめにならないと判断されるものによって代表させる。

5.3 評価された地震動に基づいて模擬地震動を作成する方法

評価された地震動の応答スペクトルを求め、それに基づいて設計用目標スペクトルを作成する。さらに、評価された地震動の経時特性や対象建築物の検討周期等に配慮しつつ、模擬地震動の経時特性を設定する。設定した経時特性を持つ波形の応答スペクトルが設計用目標スペクトルに適合するように収束計算を行なうことにより、模擬地震動を作成する。

設計用目標スペクトルは、通常、評価された地震動のスペクトルの平均にある程度の余裕を上乗せしたレベルを目安に、複数の線分あるいは曲線を用いて設定する。設計用目標スペクトルは、対象建築物の検討周期帯域を含む範囲で設定する。

模擬地震動の経時特性は、継続時間と時刻歴包絡形状を直接設定することによって与える方法と、位相特性を与える方法がある。前者の場合には、フーリエ位相を一樣乱数によって与え、評価された地震動の経時特性や対象建築物の検討周期等に配慮しつつ継続時間と時刻歴包絡形状を設定して模擬地震動を作成する。後者の場合に

は、評価された地震動の位相、観測記録の位相、シミュレーションされた位相等によってフーリエ位相を与え、模擬地震動を作成する。

§ 6. まとめ

建設地と建築物に固有な特性を考慮した設計用地震動を策定する方法を提案した。最新の知見と考え方に基いて建設地に固有な震源・伝播・地盤特性等を十分に考慮することや、複数の地震動評価方法の中から建設地において得られる情報の質と量とに応じて適切な方法を採用することが、本提案の特徴である。

本提案の地震動評価の精度は得られる情報の質と量に依存するため、個別の建設地における調査の重要性はもちろんのこと、使用可能な地震動記録の全国的蓄積が今後の課題である。また、各地において実際に地震動の作成事例を積みながら、方法と結果の妥当性に関して検証していく必要がある。

謝辞 設計用地震動の策定法全般にわたって貴重な御意見をいただきました当社の渡部 丹専務取締役と稲田泰夫構造技術研究部長に感謝致します。

<参考文献>

- 1) 財団法人日本建築センター・高層建築物構造評定委員会：“高層建築物の動的解析用地震動について”ビルディング レター No.203 (1986年) pp.49~50
- 2) 出口敏正：“新訂・固定資産の税務と経理”税務研究会出版局 (1981年)
- 3) 榎並昭：“大規模構造物基礎と地盤—事例—1 超高層ビル”土と基礎 Vol.40, No.3 (1992) pp.61~64
- 4) 佐藤良輔編著：“日本の地震断層パラメーター・ハンドブック”鹿島出版会 (1989年)
- 5) 宇佐美龍夫：“新編日本被害地震総覧”東京大学出版会 (1987年)
- 6) 宇津徳治：“日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表：1885年~1980年”地震研究所彙報 Vol.57 (1982年) pp.401~463
- 7) 気象庁：“改訂日本付近の主要地震の表 (1926年~1960年)”地震月報別冊第6号 (1982年)
- 8) 気象庁：“地震月報” (1961年~)
- 9) 活断層研究会編：“新編日本の活断層—分布図と資料—”東京大学出版会 (1991年)
- 10) 松田時彦：“最大地震規模による日本列島の地震分帯図”地震研究所彙報 Vol.65 (1990年) pp.289~319
- 11) H. Kawasumi：“Measures of Earthquake Danger and Expectancy of Maximum Intensity throughout Japan as Inferred from the Seismic Activity” Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol.29 (1951) pp.469~482
- 12) C.A. Cornell：“Engineering Seismic Risk Analysis” Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.58, No.5 (1968) pp.1583~1606
- 13) 石川裕，壇一男，奥村俊彦：“異なった手法による日本各地の地震危険度解析”日本建築学会大会学術講演梗概集B (1992年) pp.163~164
- 14) K. Kanai & T. Suzuki：“Expectancy of the Maximum Velocity Amplitude of Earthquake Motions at Bedrock” Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol.46 (1968) pp.663~666

- 15) 萩原尊禮編：“日本列島の地震—地震工学と地震地体構造—” 鹿島出版会（1991年）
- 16) 石川裕， 亀田弘行：“地震危険度解析に基づく想定地震の設定法” 第8回日本地震工学シンポジウム 論文集（1990年） pp. 79～84
- 17) 松田時彦：“活断層から発生する地震の規模と周期について” 地震， 第2輯， 第28巻（1975年） pp. 269～283
- 18) K. Dan, et. al.：“A Semi-empirical Method to Synthesize Earthquake Ground Motions based on Approximate Far-field Shear-wave Displacement” Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of the Architectural Institute of Japan), No.396 (1989) pp.27～36