

4. 直下地震による地震動分布の推定方法について

Estimation for Spartial Distribution of Earthquake Ground Motion Caused by Inland Earthquakes

金子史夫, 瀬川秀恭, 早川 讓, 小丸安史

Fumio Kaneko, Shukyo Segawa,

Yuzuru Hayakawa, Yasushi Komaru

Abstract

The 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake occurred in shallow crust directly beneath the city of Kobe, Japan, wreaking unprecedented natural disaster upon the area. Since one of the greatest missions of researchers are to exhaustively investigate these catastrophic earthquake damage, disaster prevention planners and others can incorporate the results in earthquake disaster countermeasure plans and future city planning. Therefore, the study of distribution of earthquake motions for the area should be the most fundamental and realistic part.

First of all, the current situation in Japan of estimating earthquake ground motion for a wide area is reviewed. For the source effects, recently fault planes have been utilized instead of point sources, then the feature of future seismic source including active faults should be studied. Though detailed data of deep geological structure have been presented only limited urban regions, several semi-empirical estimation methods considering fault width, rupture pattern, frequency contents and time history of seismic ground motion are developed. Since data of subsurface ground is very important for analysis, though they are insufficient at many parts of Japan, methodologies for subsurface ground amplification have been inspected. The several main problems for estimating earthquake ground motion for a wide area are shown as follows.

- a) Active fault investigation and probability of future earthquakes are necessary.
- b) Earthquake ground motion at near source region should be clarified.
- c) Simple estimation method without detailed ground data is highly required.
- d) One of the goals are the developing time series of ground motion estimation method.
- e) Since development of totally estimating method is difficult, hybrid methods will be developed.

The key is the combination between data and estimation methods, for the procedure of source, path and especially subsurface ground.

Then two different methodologies are described. First one is simple method for insufficiency of ground data. The other one is, a hybrid method for estimating time series of ground motion, which is produced by taking the predominant points in each of the two current methods; i.e. one is an empirical Green's function method and the other is a semi-empirical spectra composition method.

Since the methodologies can be developed according to the demand and existing data, the data of ground and source etc. should be more investigated. And finally, if these methodologies can be used properly according to aerial condition, they will be able to contribute for the future earthquake disaster prevention plans for cities.

1 はじめに

1995年兵庫県南部地震は、大都市神戸直下の浅い地殻で発生し、未曾有の被害をもたらした。このような近代的な大都市における甚大な地震災害は、その原因を徹底的に糾明し、それを今後の防災対策や都市計画に現実的に反映していくことが、防災関係者の責務であり急務である。このための根幹となるのは、当然のこととして地震の予知もあるが、地域の地震動強さの評価にもとづく被害の軽減が現実的である。

地震動評価の手順としては、まず対象とする震源の評価、深い地盤中の伝播と地震基盤での地震動評価、そして表層地盤での増幅と地表地震動の評価という一連の流れが一般的である。また、その精度は震源および地盤に関するデータと地震動評価手法の組合せによって決定づけられる。

とくに、特定の1地点ではなく、たとえば県や市などの地震防災対策のための、ある広がりを持った地域における面的な地震動分布の評価においては、広域の地盤構造とその物性に関するデータが不可欠である。しかしながら、こうしたデータが整備されている地域はごく限られていることが大きな課題である。したがって、データが不足している場合に簡易的に評価する方法に対する強い要請がある。また、将来の地震動を予測する観点からは、震源像の解明が急務となっているとともに、最終的には、時系列の波形データを評価する方策が望まれている。このために、理論的な方法を含めたハイブリッドな方法が精力的に追求されている。さらには、震源近傍での観測データが不足していたことから、兵庫県南部地震のような都市直下の地震による震源近傍での評価が大きな課題の一つである。

2 広い地域における地震動分布の評価について

地震動予測の一般的な手順は、図-1に示すように、大きく以下の3つの要素からなっている。

- 1) 震源断層の評価
- 2) 地震基盤中の伝播と基盤地震動の評価
- 3) 表層地盤での増幅と地表地震動の評価

したがって、地震動推定の精度の鍵を握っているのは、震源断層、深い基盤構造、表層地盤のデータであり、一方、これらを用いる地震動の予測方法とのバランスが精度を決定づける。

2・1 震源断層の評価

従来の地震動評価においては、対象とする地震を点震源として、観測値にもとづいて作成され、最大加速度を推定するための、いわゆる距離減衰式がよく用いられていた。しかし、技術的な進展にともなって、線震源あるいは面的な震源を評価する方法が工夫されている。このためには、震源断層のパラメータとして、断層の長さ、幅、傾き、走向、深さなどの条件が必要となる。主な既往の歴史地震に関しては、佐藤(1980)によって断層のパラメータが整理されている。1995年兵庫県南部地震の際には、長周期地震動の観測結果から地震発生後1日程度で菊池(1995)によって断層面の様相が明らかにされた。また、地震発生後1日程度の余震分布の範囲をもって震源域とすることも行われている(小林(1995))。さらに、約一年後にはSekiguchi et al.(1996)によって震源周辺の強震動観測結果からかなり正確な震源断面が解明されている。

一方、兵庫県南部地震をもたらしたとされるような活断層の解明に関しては、精力的な調査が進められている。都市直下の地震を評価する場合には、こうした活断層を

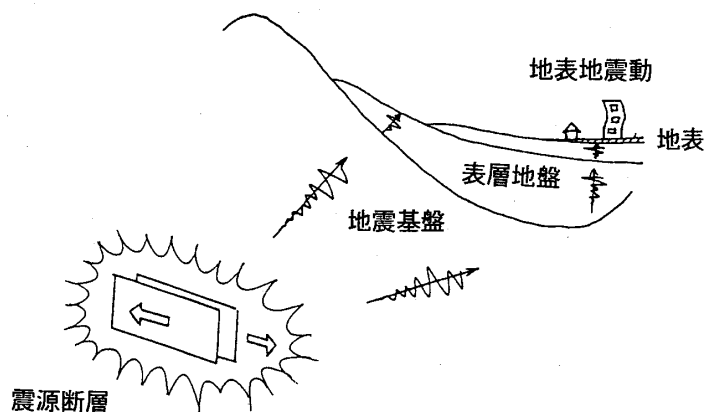


図-1 広い地域の地震動分布評価の一般的な流れ

Fig.1 General flow for evaluation of earthquake ground motion distribution for wide area

評価することも重要である。しかしながら、断層の深さ、幅、活動度などの諸要素が不明なものが多く、連続した断層が動くのか、断層の一部が活動するのかなどのメカニズムも明確にすることがなかなかできず、経験的な方法によって断層モデルを設定することが行われているのが現状である。

したがって、こうした将来の地震像の解明が大いに期待されている(金子(1994a), 工藤(1995))。

2・2 地震基盤中の伝播と基盤地震動の評価

地震基盤中の地震波の伝播および基盤地震動を正確に評価するためには、深い基盤構造のデータが必要である。ここでいう地震基盤とは、およそS波速度3 km/s, P波速度で5~5.5 km/s以上となる地殻の上面を指している。このため、従来、大規模な地震探査が実施され、吉井(1980)によって整理されて、日本全国のマクロな基盤構造がある程度明らかにされている。また、近年は中規模な屈折法地震探査、反射法地震探査、重力探査および深尺のボーリング調査、地質構造解析の結果などを合わせてより詳細な解析がなされている。しかし、このようなデータが豊富に存在している地域は、南関東地域、濃尾平野、大阪平野などに限られている。神戸周辺でさえ兵庫県南部地震後に精力的に調査が行われて、ようやくその構造が解明されつつある。

一方、震源を発生した地震波が深い地盤中を伝播して地震基盤に達した際の地震動を推定する方法としては、波動論による理論的な方法もあるが、地震被害に直接関係するような短周期領域までを正確に表現するまでには至っていない現状にある(工藤(1993))。一般的には、点震源による距離減衰式よりは、観測記録などに基づいた半経験的なスペクトルを推定する方法がよく用いられるようになっている。たとえば、翠川ら(1979)による方法では、震源モデルを与えて地震基盤での応答スペクトルが比較的簡単な計算で求めることができる。ただし、震源近傍の評価が過大となり、その手順がやや物理的に曖昧であるとの指摘もある。

同様に半経験的な手法であるが、小地震の実観測波形を合成して標的とする大地震の波形を推定する方法(Irikura(1983)など)がある。この方法は、適切な小地震波形があれば、地盤構造によらないで地震基盤上であっても、地表であっても推定が可能である。しかし、難点は適切な小地震波形が実際には入手しにくいことである。ただし、兵庫県南部地震後には小地震波形の得られない場合に適用する試みがなされているし(入倉(1996))、強震観測点が圧倒的な増加を見せている。

これらの方法は長所も短所もあるが、それぞれの長所を組み合わせたハイブリッドな方法が工夫されている。

2・3 表層地盤の評価と地表地震動

地表での地震動の強さは、表層地盤の地層構成にも大きく左右されることは、従来よりよく知られている事実である。したがって、表層地盤の地層構成と各地層の物性値を明らかにすることが、地震動推定における大きな鍵を握っている。

従来、工学的にはN値50回以上となるような硬質な地層(S波速度300~500 m/s程度)をもって基盤としてきた。しかし、最近では地震基盤としてより古い第三紀層(S波速度600~700 m/s)を採用することが多くなっている。地表からこうした硬質な地層までの比較的に柔らかい地層の構成や物性値を広い地域にわたって面的に評価することは非常に膨大な資料(ボーリング資料など)の収集と整理および分析の作業が必要となる。技術的な割り切りを行い、一次元の等価線形応答計算法によって表層地盤の応答特性を評価する方法が多く採られている(Kaneko et al.(1992), 金子(1994b))。しかし、このようにデータが存在する場合は少なく、一般にはデータがあっても場所による粗密が激しく、あるいは分布がごく限られている場合が通常である。

一方、データが少ない場合を考慮して、推定の精度はやや低いにしても全国一律に得られるデータを活用し推定する方法が試みられている(松岡ら(1993))。これは、国土数値情報の地形などのデータを利用するものである。基本的に、地中方向の地層構成のデータを用いず、嶋(1980)の考え方を応用したものである。つまり、一様な基盤があった場合に地表での応答値あるいは表層地盤の増幅度は、表層の第一層のS波速度に関連づけることができるとするものである。

なお、表層地盤の影響に関しては、このほかに、地盤の非線形性の問題、二次元および三次元的な効果などの問題も山積しており、表層地盤の評価方法に関する国際的な研究も精力的に進められている現状にある(Kudo(1995))。しかし、まだ簡単に結論の出るような容易な課題ではない。

3 やや簡易な地震動推定方法

広い地域の地震動分布を推定しようとする際に必要となる、震源、地盤の状況および観測記録などが十分に得られている場合は少なく、通常はこうした資料や情報が限られている。こうしたことを考慮し、一般的に得られるような条件を用いて広い地域での地震動分布を、精細

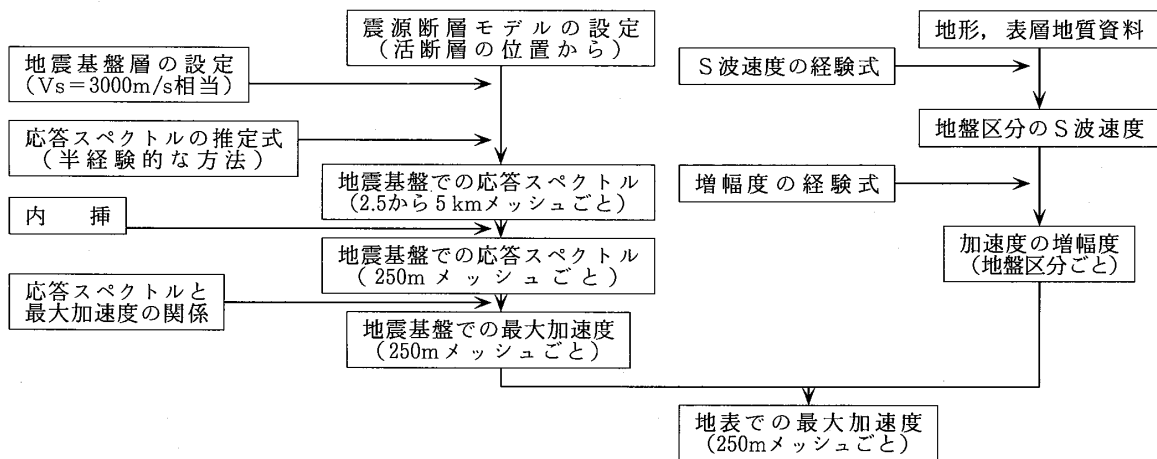


図-2 やや簡易な地震動分布推定方法の流れ

Fig. 2 Flowchart of proposed relatively easy method for estimating ground motion distribution

ではないが、やや簡易に表層地盤の増幅を評価し、地表地震動分布を推定する方法が提案されている（松岡ら(1993)）。この方法を援用しながら、阪神地域を例にとって兵庫県南部地震における地震動分布の試算を行った。

3・1 方法の概要

ここで設定した面的な地震動分布のやや簡易な推定方法の流れを、図-2に示す。この方法では、地形と表層地質の区分を与えれば、内陸の活断層のように震源が平面上の位置（線状）のみ判明している状況でも、地震動分布の推定が可能である。ただし、その推定精度は使用できるデータの質と量に依存している。

3・1・1 震源モデルと地震基盤での地震動

震源モデルについては、実際に発生した兵庫県南部地震を想定しているため、本震発生後の24時間以内の余震分布から設定している（小林(1995)）。事前に推定する場合には、一般的には活断層やその他の資料から断層モデルを設定することになる。

まず、地震基盤をVs=3000m/s相当層（新鮮な花崗岩）とし、ここでの地震動は、震源モデルおよび翠川ら(1979)による半経験的な方法を用いて加速度応答スペクトル(Sa(T); h=5%)を2.5~5km程度の間隔で計算し、これから式(1)の経験式を用いて最大加速度(A; gal)に変換した。さらにこれを約125mメッシュでの値に内挿している。

$$A = 0.3 * \int_{0.1}^{2.5} Sa(T) dT \dots\dots\dots (1)$$

ここで、Tは周期(s)である。

また、対象範囲内での地震基盤の深さについては、最近までに物理探査などの調査によって花崗岩の上面の深

さの分布がかなり判明して来ており、これを導入すればさらに的確な地震動分布が得られることが期待できる。しかし、ここではあくまでも地盤資料が不足している場合に適用することを考慮して、一様に深度1kmとして計算している。

このようにして求めた地震基盤での入射加速度の分布を図-3に示す。点震源では表現のできない、線状（あるいは面的）に広がっている震源の影響による地震動の広がり具合をよく表している。すなわち、震源直上の六甲山地南縁で大きく、大阪湾側と有馬側で小さくなっているほか、震央から北東および南西側に破壊が進んだことを反映し、いわゆるドップラー効果によって断層の北西端側で大きくなっている状況を再現している。

3・1・2 表層地盤の評価と地表地震動

表層地盤については、ある程度の広さを持った地域全体として一般的に得られる情報として、地形分布および表層地質の分布の資料を用いた。また、最終的な地震動の計算結果を、実際の被害状況と照合することを意識して、細かいメッシュ（約125m×125m）で表わし、図-4に示した。ただし、一般には国土数値情報において約1kmメッシュごとの全国的なデータが整備されており、この精度で足りるとするならば、そのまま用いることができる。

さらに、表層地盤の地震動の増幅度については、まず松岡ら(1993)による表-1を参考に、地形区分ごとに既往の実測値から平均的なS波速度を設定した。つぎに、翠川ら(1980)によるS波速度と加速度増幅度の関係式(2)より、地形区分ごとの増幅度を設定した。この増幅度は、Vs=3000m/s相当層を基準としたものである。



図-3 推定基盤入射加速度分布 (阪神地域)

Fig. 3 Estimated incident acceleration distribution at seismic bed layer in Hanshin Area

$$\left. \begin{array}{l} \text{Amp} = 5.5 \quad (\text{AVS} \leq 200) \\ \text{Amp} = 40 \cdot \text{AVS}^{-0.374} \quad (\text{AVS} \geq 200) \end{array} \right\} \dots\dots (2)$$

ここで、Ampは加速度の増幅度、AVS (m/s) は表層から深度30mまでの平均的なS波速度である。

なお、ポートアイランドなどの埋立地は、主に六甲花崗岩のマサ土を主体としていて、表-1の根拠となっている関東地方の埋立地よりはやや強度の高い材料であるので、この地区のS波速度資料をもとにして新たに値を設定している。

ただし、この方法は、同種の地震基盤が一樣に分布する地域において、表層地盤の増幅度は表層付近の平均的なS波速度によって近似的に表されるとする嶋 (1980) の考え方を踏襲していることになる。したがって、この方法では、ボーリング資料などに基づく地層構成とその物性、地震基盤から地表までの厚さおよび二次元的、三次元的な構造は基本的には考慮していないことになる。

3・2 試算結果

地震基盤での入射加速度と表層地盤の増幅度を掛け合わせることによって、地表での加速度分布を算出する。この結果を図-5に示す。兵庫県南部地震によって最も手ひどい被害を被った、震災の帯と呼ばれる六甲山地と大阪湾に挟まれた阪神地域の細長い地区で、最も推定加速度が大きくなっている。また、埋立地では陸上部に比

表-1 地形区別の平均S波速度

Table 1 Average S-wave velocities for geographical types

表層地質	地形区分	データ数	AVS(m/s)
沖積層	三角洲性低地	108	205
	砂州・自然堤防	30	238
	扇状地性低地	21	274
	上記以外の地形	4	222
洪積層	ローム台地	92	328
	小起伏丘陵地	15	347
	砂礫台地	11	414
	上記以外の地形	11	349
埋立地 人工改変地		104	205
		7	330

べてやや加速度が小さくなっている。さらには震源域からは東側にはずれた伊丹や西宮方面でも加速度が大きく推定されているなど、震源の破壊方向や地盤の状況を反映し、全体としては阪神地域での実際の被害状況を説明するに足るような分布傾向が表わされている。しかし、細かく見ると、神戸市中央区の元町周辺での被害の少ない地域、あるいは大阪方面での加速度大きさなど必ずしも合致しない点もかなり見られる。これらの原因としては、地盤資料およびその解析結果の不足とともに、地震基盤での地震動強さ、特に震源域近傍での評価の問題があり、瀬川 (1997) により改良が試みられている。

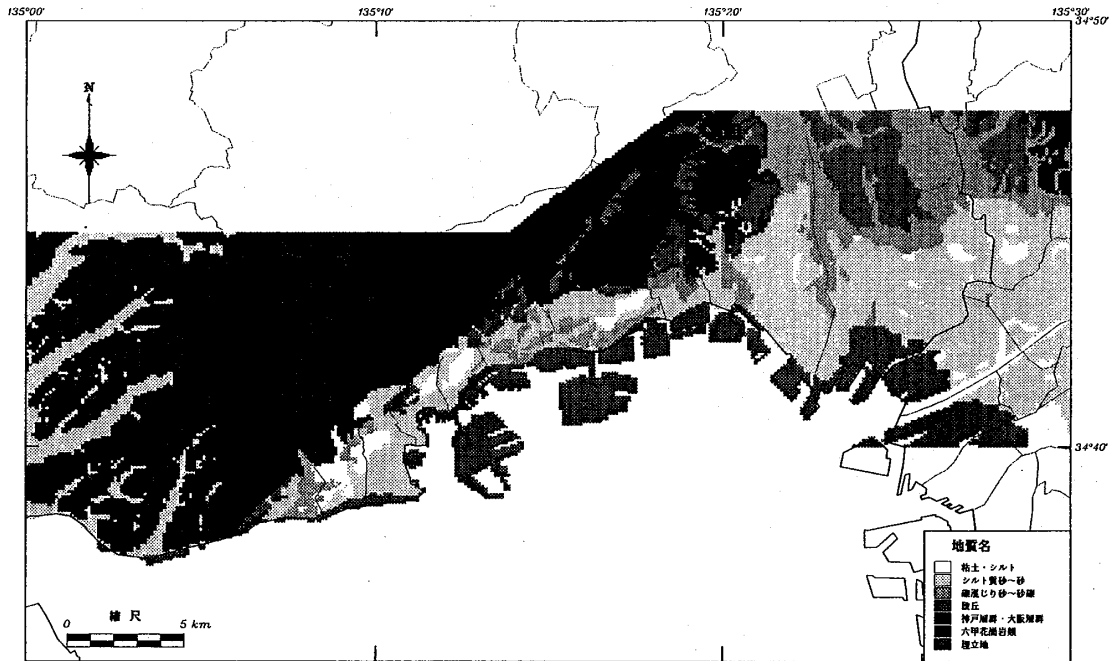


図-4 表層地盤区分 (阪神地域)

Fig.4 Subsurface ground and geographical distribution in Hanshin Area

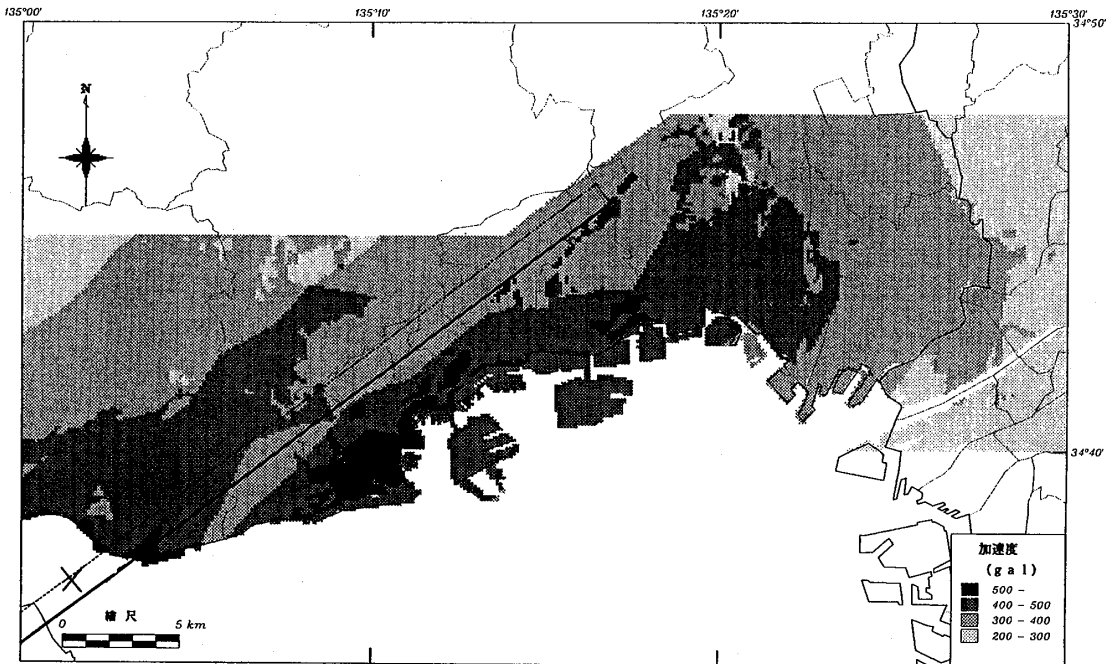


図-5 推定地表加速度分布 (阪神地域)

Fig.5 Estimated acceleration distribution at ground surface in Hanshin Area

4 ハイブリッドな地震動推定方法

地震動の強さの表現としては、究極的には時系列の波形が理想である。しかし、広域に対する事前の防災対策を立案し、対象とする地域全域についての地震動の強さ

を推定する場合には、多数の離れた地点について同じ精度で評価することが要求される。したがって、作業の膨大さとデータの実在性を考慮すると、現状は、面的に時系列の地震動波形の正確な推定するための複雑な計算手法の採用は、なかなか困難である。

最近、震源断層の広がりや破壊様式を考慮して、スペクトルを推定する半経験的な方法や経験的グリーン関数を用いて小地震波形記録から大地震波形を合成する手法が提案され、実用化されてきている。しかし、それぞれに長所と短所がある（殿内（1984）など）。

ここでは、内陸における活断層による影響の評価を念頭において、震源直近での地震動の評価を含めた広い地域での地震動予測を行うに際し、上記手法のそれぞれの長所を取り入れたハイブリッドな地震動分布の推定方法について検討する。

4・1 方法の概要

翠川ら（1979）により提案されている、半経験的に応答スペクトルを推定する方法はすでに3.1.1で述べたように、震源断層を小領域に分割し、各小領域から観測点へ到達する地震波の包絡形状をマグニチュードと距離をパラメータとした経験式から計算し、これを周期ごとに行うことによって、包絡形状の最大値を連ねて地震基盤での速度応答スペクトルを得る。このスペクトルから経験式(1)により、速度、加速度の最大値を得るというものである。この方法では、位相のずれを十分に考慮することができず、とくに震源近傍では過大評価となる。

一方、経験的グリーン関数を用いた推定方法では、予測しようとする大地震の震源域の近傍で発生した小地震記録には、大地震記録と同じ震源メカニズム、伝播経路と観測点の影響が全て含まれていると考え、小地震記録

を重ね合わせることによって大地震による波形を予測するものである。この方法では地下構造のモデル化を必要としないが、震源域で発生した地震の対象地点での観測記録が不可欠となる。また、Irikura（1983）に示されているように、大地震と小地震の震源要素と震源スペクトルの相似則が ω^2 モデルが満足されるようにして重ね合わせる必要があるし、小地震波形の発震メカニズムが標的となる大地震のそれと同種である制限がある。この経験的グリーン関数法では、震源近傍での過大評価の問題は少ないが、広い地域において一様に観測記録が存在することは、現状では一般的ではないので、そのままでは採用することができない。

そこで図-6のような流れで、地震基盤でのスペクトルを算出したうえで、統計的な手法により小地震記録を作成し、これを用いて波形合成を行うなどの工夫をすれば、ハイブリッドな地震動分布（波形）の推定方法として実用的となるものと考えられる。

4・2 応答スペクトルの実験公式と要素波形

経験的グリーン関数法による波形合成を行うためには、各地点での小地震観測記録が必要である。しかし、現実的には、兵庫県南部地震以降に実施されている強震計の全国的な配備状況をもってしても、せいぜい10~30kmに1台程度の密度であり、一般に地域の地震動分布を評価する際に用いられている250m~1km四方に1カ所の密度は将来的にも到底望めない。

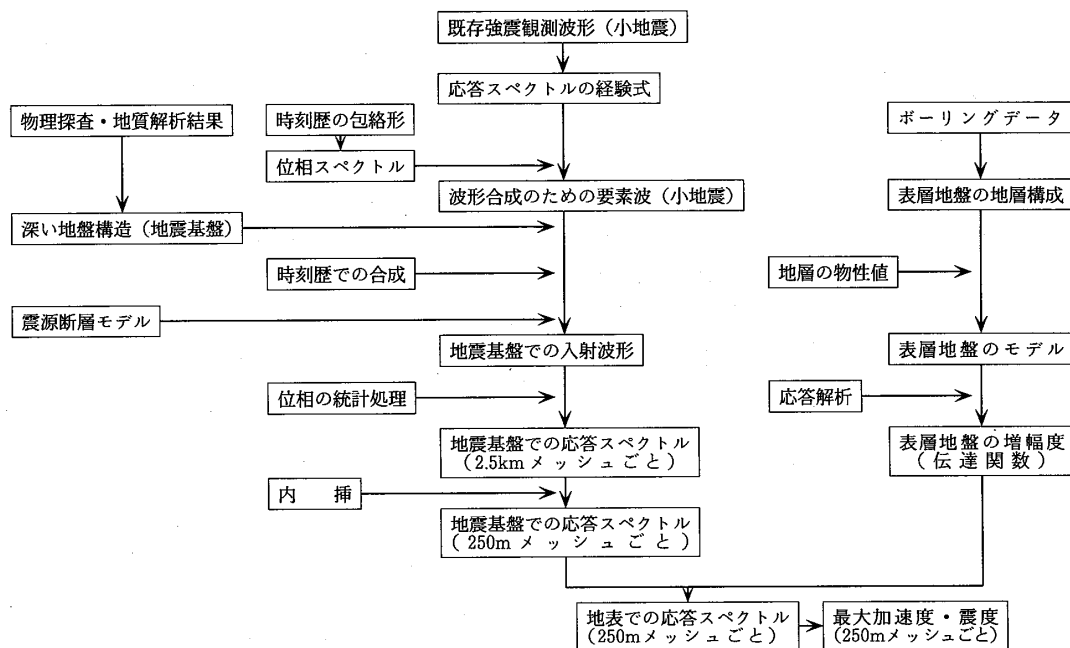


図-6 ハイブリッドな地震動分布推定方法の流れの例

Fig. 6 An example of flowchart of proposed hybrid method for estimating earthquake ground motion distribution

ここで仮に、予想されている震源断層域の近傍で強震観測が行われ、岩盤上での応答スペクトルの実験公式がある場合には、これを利用することが考えられる。しかし、往々にしてこうした実験公式は、震源距離100km以内、マグニチュード6未満のデータにもとづくようなケースが多いため、これを外挿してマグニチュード7の地震のスペクトルを求めることが必要となる。そこで、まず実験公式からマグニチュード5程度の地震による応答スペクトル(減衰 $h=5\%$)を求める。

この場合、速度応答スペクトル($h=0\%$)は近似的に加速度フーリエ・スペクトルとみなせることから、上記で求めた応答スペクトルの減衰を経験式によって $h=5\%$ に変換後、位相スペクトルを与えれば要素波形が得られる。ところで、大崎ら(1978)によれば、フーリエ・スペクトルの位相差分の分布は波形の時刻歴の包絡形状と相似であることが示されている。そこで、翠川(1989)による距離とマグニチュードを変数とした、地震動波形の包絡形状に関する経験式を用いて、フーリエ位相スペクトルを設定できる。

これらの振幅スペクトルと位相スペクトルから、たとえば、マグニチュード5、震源距離5~60kmでの要素波形を作成することが可能となる。

ただし、このように応答スペクトルの実験公式ばかりでなく、観測波形もない場合を考慮して、入倉(1996)は断層モデルを設定して波形を求める方法を提案しているが、震源メカニズムの設定の任意性に問題が残されている。今後、この種の方法が一般的に適用できるようになることが大いに期待される。

4・3 基盤地震動

地震基盤において作成した要素波形をマグニチュード5クラスの小地震記録として、Irikura(1986)の方法に準拠して、標的とする大地震記録(マグニチュード7クラス)の波形の合成を行う。ただし、位相差分の分布から位相スペクトルを作成する際には任意性がある。この影響を低減させるためには、たとえば10通りの要素波形のセットを用いた計算を行い、各地点で得られた複数波形のフーリエ・スペクトルの平均化操作を行うといった統計的な方法が有効である。

ついで、対象地域をある程度の大きさのメッシュに分割したうえで、上述の手順によって、各メッシュでの地震基盤からの入射波形を求め、これより応答スペクトルを算出する。なお、ここで応答スペクトルから最大加速度を求める際には経験式(前出の式(1))より求めることができる。

4・4 表層地盤、地表地震動の評価

表層地盤の評価をすることによって、上記の地震基盤での地震動から地表地震動を求めることができる。この場合、先の簡易的な方法よりも詳細な、以下に示すような手法が、精度のレベルからして適切である。

まず、対象地域内のボーリング資料などをもとに代表的な地盤タイプに分類し、地盤タイプごとに等価線形法によるS波の重複反射による応答計算を行って、各タイプの周波数特性を考慮した伝達関数を求める。次いで、対象地域を細かいメッシュに分割し、各メッシュに適合する地盤タイプを当てはめる。これと、上記の基盤入射地震動を掛け合わせて地表での地震動を算出する。このようにして、各メッシュでの波形の推定が可能である。

対象とした地域での歴史的な被害状況が判明している、あるいは観測記録の存在する地震があれば、上記の方法で求めた震度分布を比較し、面的に地震動の強さの分布をよく表わしていることが明らかにできれば最良の実証となる。こうした一例を、工藤(1993)が示している。

5 おわりに

従来から地震による被害が現実に出現したことを教訓として地震工学や耐震工学に関する技術が進展してきたことは、残念ながら否めない事実である。今回の兵庫県南部地震は、内陸の活断層をはじめとする都市直下での地震防災問題に大きな衝撃を与え、早急かつ効果的な対策の推進を各方面に促がした。

今回、広い地域を対象として、直下で発生する地震による地震動の強さの分布を想定するに適した、2つの方向性の全く異なる手法を紹介した。

まず、地盤などのデータが不足している場合でも、一般に得られる可能性の高い地形や表層地質の資料のみで、やや簡易な手法ではあるがかなりの的確さで地震動分布の推定が可能であることを示した。また、一方では、ハイブリッドな地震動分布推定方法を提案し、ある程度充分な資料さえあれば、細かいメッシュごとの地震波形(時刻歴)までの推定が可能であることも示した。

これらの方法では、最終結果に至るまでのさまざまな段階において各種の経験式や仮定が用いられており、適切な評価を行えば、また詳細な資料があればその分だけ正確さを増すことができる。実際の過去の被害地震があればその実例と比較することで実証が可能である。しかし、地震動の評価方法は工夫できるが、震源や地盤に関するデータはあまりにも不足しており、また整理されておらず、この方面でのさらなる努力が必要である。

現在、地震予知も確実ではないと言われ、活断層の活動度の本格的な調査についても全国的な作業が開始されたような状況である。今後、上記のような手法は、二次元的、三次元的な影響の考慮の課題などを残しているものの、とくに活断層をはじめとした直近の地震、都市直下の地震に対しての対策を進めていく上で非常に重要な武器となることが明らかである。

参 考 文 献

- Irikura, K. (1983) : Semi-empirical Estimation of Strong Ground Motions during Large Earthquake. *Buil. Disas. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ.* Vol.33 pp.63-104.
- Irikura, K. (1986) : Prediction of Strong Ground Motions using empirical Green's Function. *Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp.* pp. 151-156.
- 入倉孝次郎 (1996) : 大阪およびその周辺地域の地震防災のための想定地震と強地震動の予測 第24回地盤震動シンポジウム 日本建築学会 pp.91-100.
- Kaneko, F., K. Tonouchi (1992) : A Study on Seismic Ground Motion Evaluation Method for Seismic Microzoning. *Proceedings of the ESG 1992 International Symposium* pp.245-250.
- 金子史夫 (1994a) : 震度、被害分布の早期推定について 地球惑星科学関連学会1994年合同大会予稿集 No.1 A31-11, p.37.
- 金子史夫 (1994b) : サイズミックマイクロゾーニングにおける地震動評価の現状 第22回地盤震動シンポジウム 日本建築学会 pp.3-12.
- 菊池正幸 (1995) : 破壊はこう進んだ 地震科学最前線 科学朝日緊急増刊号 pp.9-10.
- 小林啓美 (1995) : 兵庫県南部地震1995の地震動強さの検討 土と基礎 Vol.43 No.11 pp.55-58.
- 工藤一嘉 (1993) : 神奈川県西部地震から予想される強地震動 地学雑誌 Vol.102 No.4 pp.471-481.
- Kudo, K. (1995) : Practical Estimates of Site Response. *State of the Art Report Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation* pp.1878-1907.
- 松岡昌志, 翠川三郎 (1993) : 国土数値情報を利用した地盤のS波速度の推定 日本建築学会論文報告集 No.443 pp.65-71.
- 翠川三郎, 小林啓美 (1979) : 断層を考慮した地震動スペクトルの推定 日本建築学会論文報告集 No. 273 pp.71-81.
- 翠川三郎, 小林啓美 (1980) : 震源域およびその周辺での地表面最大加速度分布の推定 日本建築学会論文報告集 No.290 pp.83-94.
- 翠川三郎 (1989) : 小地震動の加速度包絡波形の合成による大地震の最大加速度の推定 日本建築学会論文報告集 No.398 pp.23-30.
- 大崎順彦, 岩崎良二, 大川出, 政尾亨 (1978) : 地震波の位相特性とその応用に関する研究 第5回日本地震工学シンポジウム pp.201-208.
- 佐藤良輔編 (1990) : 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック 390p.
- 瀬川秀恭 (1997) : 直下地震の震源近傍における地震動強さの評価 応用地質技術年報兵庫県南部地震特集号.
- Sekiguchi, H., K. Irikura, T. Iwata, Y. Kakehi and M. Hoshiba (1996) : Minute Location of Fault Planes and Source Process of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake from the Waveform Inversion of Strong Ground Motion, submitted to *Journal of Physics of the Earth* Vol.44 No.5 pp.473-487.
- 嶋 悦三 (1980) : 地域地震危険度の評価—震害予測のための地震力推定 第8回地盤震動シンポジウム pp.37-41.
- 殿内啓司, 金子史夫 (1984) : 基盤地震動の評価方法について 応用地質調査務所年報 No.6 pp 1-35.
- 吉井敏勉 (1980) : 日本の地殻構造 UP Earth Science 2 東京大学出版会 121p.

