

# 基盤地震動の評価方法について

殿内啓司・金子史夫

## METHODS OF EVALUATING SEISMIC MOTION AT BASE LAYERS

Keiji TONOUCHI and Fumio KANEKO

### Abstract

The forecasting of ground motion due to earthquakes is important from the standpoint of earthquake engineering and earthquake disaster prevention programs. In recent years, prefecture based projects have been carried out with such objectives as forecasting of building damage and human casualties resulting from earthquakes. When forecasting ground behavior due to earthquakes, the usual objective of investigation is propagation of seismic motion from the seismological source, through the base layer and on to the surface. Investigations of this kind have gradually clarified amplification properties of the surface layers during earthquakes. However, there are still many points about the seismological source and properties of movement of base layers that are not understood. These have become the focus of research efforts aimed at increasing the accuracy of forecasts of ground behavior during earthquakes.

There exist a number of papers and proposals concerning methods of evaluation of seismic motion at base layers. According to Shima (1983), the methods described may be generally arranged in the following three categories:

- (1) Adaption of practical formulas to the magnitude of the earthquake and distance from hypocenter to deduce seismic motion.
- (2) Theoretical calculation of seismic motion using a fault model is carried out in accordance with underground structure.
- (3) Postulation of the reoccurrence of a previous earthquake. In this case, data on damage from the previous earthquake is used, the state of attenuation of seismic motion with increasing distance from hypocenter is investigated, and seismic motion is deduced by comparing this information, with the characteristics of ground, including ground where no damage had occurred.

This paper reviews the previously proposed methods included in the above three categories and presents results on ground motion obtained by the authors, using method #3 for 4 earthquakes.

With Method #1, measurement data is used in derived formulas to express the relationships between magnitude of the earthquake, epicentral distance (or hypocentral distance) and amplitude of seismic motion. Many proposals for formulas for this purpose have been proposed worldwide. Table 1 gives the names of the researchers who have proposed such formulas. Appendix 1 summarizes the proposals. Figure 1 shows how seismic motion attenuates with distance when  $M=7.0$ , using formulas that deal with seismic motion of base layers. Differences can be seen between the different formulas, but these differences are due to differences in data used.

With Method # 2, parameters of a fault are set, and theoretical seismic motion is calculated. From the point of view of seismology, this method is mainly concerned with long period earthquake motion, having periods of several seconds. In recent years, engineers have been seeking to explain short period earthquake motion, with periods of one second or less. One method that uses an engineering approach is to divide up a fault plane into small areas. Stacking, according to time domain, of waveforms from aftershocks or small scale earthquakes for each area is then carried out, and the results are treated as data from a single large scale earthquake. Another method similarly divides fault planes into small areas and uses experimental formulas that describe response spectra from each area to determine seismic motion for the entire fault plane. Appendix 2 explains the above two methods.

Method #3 forecasts seismic motion on the basis of data from damage resulting from past earthquakes. Other types of data on the ground is also required, but since the acquisition and arrangement of such data involves time and effort, not a great deal has been accumulated.

The authors used Method #3 to deduce behavior of base layers for four earthquakes: the 1923 Great Kanto Earthquake ( $M=7.9$ ), the 1931 Nishi-Saitama Earthquake ( $M=7.0$ ), the 1962 Northern Miyagi Prefecture Earthquake ( $M=6.5$ ) and the 1978 Miyagi Prefecture offshore Earthquake ( $M=7.4$ ). Figure 2 summarizes the procedure followed.

- (1) Data on damage on past earthquakes was analyzed. Instances of reliable data on damage were classified according to location, type and degree of damage.
- (2) "Vulnerability coefficients" expressing ratio of degree of damage to strength of seismic motion were assigned each type of damage. Data on damage was substituted for strength of seismic motion, and surface acceleration at the point where damage occurred was determined. (See Figure 3.)
- (3) Amplitude characteristics of the ground surface layers at the point where damage occurred was determined. (See Figure 4.)
- (4) Acceleration incidental to the base layer was determined from surface acceleration at the point where damage occurred and amplitude characteristics of the ground surface layers.
- (5) The distance from the hypocenter at the point where damage occurred was determined and the relationship of attenuation with distance of acceleration incidental to the base layer was determined.

Figures 5 through 8 show the results obtained according to the above process for the four earthquakes. These results are summarized in Figure 9. It can be seen that the tendencies of attenuation due to distance of acceleration incidental to the base layer differs according to magnitude of the earthquake and location of the earthquake.

Finally, Table 2 shows the applicability of the above mentioned three methods of forecasting seismic motion at base layers.

Method #1 is simple and convenient, but cannot take into account directionality of seismic motion from the hypocenter.

Method #2 can take directionality into account, but calculations are complex, and there are other disadvantages as well, such as lack of accurateness of the fault model.

Method #3 involves many steps. Also, there is a limit to the applicability of previous earthquakes. However, it is an advantage that the method can be used to deduce ground behavior directly above the hypocenter. The method is especially well adapted for use in projects to deduce the effects of reoccurrences of past earthquakes over wide areas, which are now often undertaken. However, there are still problems with this method, such as the accuracy of the vulnerability coefficient for evaluation of extent of damage, or evaluation of the ground.

In any case, when forecasting seismic motion at base layers, it is important to realize which of the three methods is best suited for the objectives of the particular project.

## 1 はじめに

将来発生する可能性のある地震を想定して、その地震による地震動を予測しておくことは、地震工学や地震防災の立場から重要である。最近では、人的被害や構造物被害の予測のために、県全体というような広域にわたる地域での地震動の予測がしばしば行なわれている。一般に、地表における地震動を予測する場合には、震源から基盤\*を経て地表に達するまでの地震動の伝播過程が考慮の対象になっており、基盤から地表までの表層地盤での地震動の増幅性状については次第に明らかになってきた。しかしながら、震源や基盤における地震動特性については未解明な点が多く、基盤における地震動を精度よく評価することが、地震動予測における重要な課題となってきた。

基盤地震動の評価方法については、従来から数多くの研究、提案がなされているが、嶋(1983)によれば、つぎに示す3つに大別されている。

- (1) 地震の規模と震源距離から、実用公式を用いて、地震動を推定する方法
- (2) 断層モデルを設定し、地下構造を考慮して、地震動を理論的に計算する方法
- (3) 過去に起った地震の再来を考える場合、過去の被害データから地震動を推定し、震源距離による減衰状況を調べ、地盤のデータと比較することによって、被害データの無い地域を含めて、地震動を推定する方法

これらの方法には、それぞれに長所、短所があり、その適用性に限界があるのは勿論である。最近よく実施される広域における地震被害予測に際しては、過去の被害地震の再来を想定する 경우가多く、この際には、当該地震の被害データをもとにして評価する(3)の方法が最も妥当である。しかしながら、この方法は被害データの収集、整理とともに表層地盤の増幅特性をあらかじめ知っておく必要があり、膨大な作業量を伴うことから、いままではほとんど用いられていないのが実情である。

本報文においては、基盤地震動の評価方法に関する上記の分類に従って、その主要なものをレビューし、それぞれの方法の適用性を整理するとともに、被害データに

\*地震工学でいう“地震基盤”のことで、一般に、地震基盤の条件としては、つぎの3つがあげられている。  
 (i) ある広がりをもった地域に共通して分布する地層  
 (ii) 性質がほぼ一様と考えられること  
 (iii) その層より下層での性質の変化が少ないこと

基づいて(3)の方法によって筆者らが実施した基盤地震動の推定結果を述べる。

## 2 地震の規模と震源距離から公式を用いて基盤地震動を推定する方法

この方法は、基本的には計器観測データに基づいて、地震動を推定するための実験公式を導くものである。

1880年代に開発された地震計(変位計)は、1891年濃尾地震、1923年関東大地震による災害を契機にして、日本各地に普及していった。そして1930年代には、日本各地においてかなりの数の地震計によって観測が実施されるようになった。観測記録の蓄積に伴ってその整理が行なわれ、河角(1943)は、地震の規模と震央からの距離によって震度を表わし、その震度と加速度の関係式を提案した。一方、アメリカにおいては、1930年代に加速度計が開発され、各地に普及していった。Gutenberg and Richter (1942)は、震源付近の加速度を地震の規模で表わし、かつ、震源からの距離に対する加速度の減少の割合を表わす標準的な曲線を提案している。その後においても、多くの研究者によって観測記録に基づいた推定公式が提案されているが、これらは表層地盤を介した記録を基にしており、観測地点の表層地盤の増幅特性の相違による影響を含んだものとなっている。

これに対して、1960年代に至ると、基盤に相当する岩盤における観測記録を基にした公式が提案されるようになった。Esteva and Rosenblueth (1963)は、アメリカにおける岩盤上での観測記録に基づいて公式を提案している。また、金井(1969)は、日立鉱山の地下300mの岩盤中における観測記録を基にして公式を提案した。この論文において、金井は、表層地盤の増幅特性を卓越周期を用いて表わすなど、初めて“基盤”と“表層地盤”の考え方を明確にした。金井による公式は、基本的には速度振幅に関するものであり、現在、建築や土木の分野で広く使われている。

基盤地震動を推定する公式としては、日本では上述の金井によるもののほかに、日本各地における岩盤上の記録を基にした佐伯・片山・岩崎(1977)によるもの、大崎・渡部(1977)によるものおよび鬼怒川発電所の地下岩盤中の記録を基にした田村・岡本・加藤(1979)によるものがある。また海外においては、上述のEsteva and Rosenbluethによるもののほかに、Trifunac(1976)、Patwardhan, Sadigh, Idriss and Youngs(1978)、Joyner and Boore(1981)などによる公式がある。これらは主として、カリフォルニアを中心とした岩盤上における観

表-1 地震動推定公式の提案者一覧

Table 1 Researchers who have proposed formulas for forecasting seismic motion

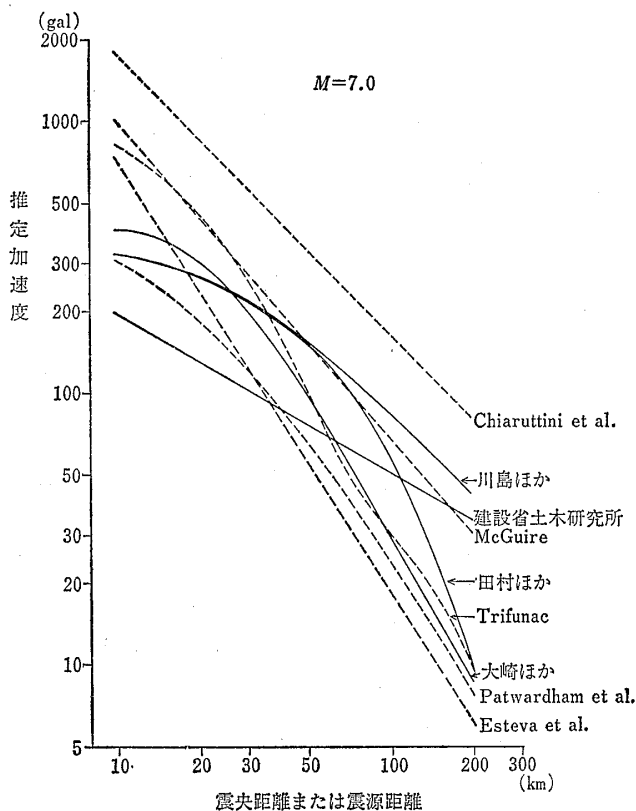
年	日本における実用公式の提案者	外国における実用公式の提案者	記 事
1900			地震計の開発普及
1923			関東大地震
1925			日本各地に地震計普及
~30			
1943	・河角		} { 東南海地震 南海地震 福井地震
1954	・坪井		
1956		・ Gutenberg and Richter	
1963		・ Esteva and Rosenblueth	
1964	・村松		新潟地震
1965		・ Blume	
		・ Housner	
1968		・ Seed, Idriss and Kiefer	十勝沖地震
1969	・金井	・ Milne and Davenport	
		・ Seed and Idriss	
1970		・ Cloud	
1971	・岡本, 田村, 加藤, 小野		
	・渡辺		
1972	・勝又		サンフランシスコ地震
1973		・ Donovan	
		・ Esteva and Villaverde	
		・ Schnabel and Seed	
1974	・片山	・ Oliveira	
		・ Orphal and Lahoud	
1976		・ Duke, Eguchi, Campbell and Chow	
		・ Seed, Muraoka and Idriss	
		・ Trifunac	
		・ Trifunac and Brady	
1977	建設省土木研究所	・ Blume	
	・大崎, 渡部		
1978	・後藤, 亀田, 今西, 橋本	・ Boore, Oliver, Page and Joyner	宮城県沖地震
		・ Donovan and Bornstein	
		・ Faccioli	
		・ Idriss and Ng	
		・ Idriss and Power	
		・ McGuire	
		・ Patwardham, Sadigh, Idriss and Youngs	
1979	・翠川, 小林*	・ Sadigh, Power and Youngs	
	・田村, 岡本, 加藤, 小野	・ Nuttli	
1980	・土田, 稲富, 野田, 上部, 他	・ Boore, Joyner, Oliver and Page	
		・ Espinosa	
1981	・入倉, 村松*	・ Campbell	
	・三雲, 今川*	・ Chiaruttini and Siro	
	・飯田, 伯野, 井上, 紺野*	・ Hasegawa, Basham and Berry	
		・ Joyner and Boore	
1982	・後藤, 亀田, 杉戸	・ Bolt and Abrahamson	
	・田中, 吉沢, 坂上, 大沢*	・ Campbell	
1983	・川島, 相沢, 高橋	・ Casaverde and Vargas	日本海中部地震

\*断層モデルを利用した半実験的方法

測記録を基礎データとしている。また、Schnabel and Seed (1973) は、地震の規模(マグニチュード)をパラメーターとして、岩盤における加速度および卓越周期と震源からの距離の関係を求めている。

以上のほかにも数多くの推定公式が提案されており、これらの公式の提案者を年代順に整理して示すと表一1のようになる。なお、これらの人々による公式の内容および基礎データに関する事項ならびにその文献は、付表に示してある。

以上のように、基盤地震動を推定する公式は数多くあり、それらのすべては、加速度(あるいは速度)が地震の規模と震源からの距離によって表わされている。これらの公式において、地震の規模 $M=7.0$ の場合について、震源(あるいは震央)からの距離に対する加速度の減少状況を比較して示すと図一1のようになる。各曲線の間にはかなりの差異が認められる。このことは、それぞれの公式において基礎データとした観測記録が異なることや、地域的な特性の相違によるものと考えられる。したがって、このような公式を用いる場合には、それぞれの公式の基礎データに基づいて、その適用の範囲内で利用することが肝要である。とくに、震源近傍での観測記録



図一1 岩盤における加速度推定公式の比較

Fig. 1 Comparison of attenuation formulas for seismic acceleration at rock sites

は少なく、震源に近い領域において使用するときには、注意が必要である。

### 3 震源断層モデルを設定して、基盤地震動を計算する方法

震源となる地震断層を各種のパラメーターを用いてモデル化し、伝播経路となる地下構造を考慮して、計算によって地震動を求める方法である。

過去に発生した地震についての地震学的なデータあるいは地殻変動のデータに基づいて、震源断層モデルを設定し、波動理論を用いて地震動を計算し、地震時に観測された記録を定量的に説明しようとする試みは、1960年代後半に始められた。それらの結果によれば、工藤(1980)などにみられるように、周期が数秒から10数秒という、いわゆる長周期領域では、実際の観測記録とよい対応が示されている。しかしながら、周期が1秒以下<sup>\*1)</sup>の領域においては、実際の観測値との対応がよくないといわれている。そして、このことは、震源における複雑な破壊過程を単純なモデルに置き換えていることが原因の1つであろうと考えられている。

このようなことから、工学的な側面からの実用的な手法とするための試みとして、つぎに示すように、実験式を用いる方法が2つ提案されている。

(1) 翠川・小林(1979)によって提案されたものである。この方法は、本震の震源断層面を小領域に分割し、この小領域から発生するインパルス<sup>\*</sup>の寄与を一旦応答スペクトルとして表現し、その結果から波形の最大振幅を推定するものである。この方法を用いて、若干の過去の地震時の地震動分布が求められており、断層面上での破壊の方向を考慮することによって、震源からの距離だけを考慮する場合に比べると、実際の地震動分布の傾向をかなりよく説明できるとしている。

(2) この方法は、本震の震源断層面を小領域に分割する点は上述の方法と同じであるが、この方法においては、分割されたそれぞれの小領域から要素波<sup>\*2)</sup>が発生する

\*1) 工学的観点からは、沖積層、洪積層を表層地盤とし、それらより下位の第三紀層あるいはS波速度が700m/sec以上となる地層を基盤とする。また、基盤地震動としては、原則として基盤における加速度の最大値を採用し、一般構造物への影響という観点から、周期範囲は1秒以下としている。

\*2) この場合、余震や前震のような小規模な地震の観測波形を要素波としている。

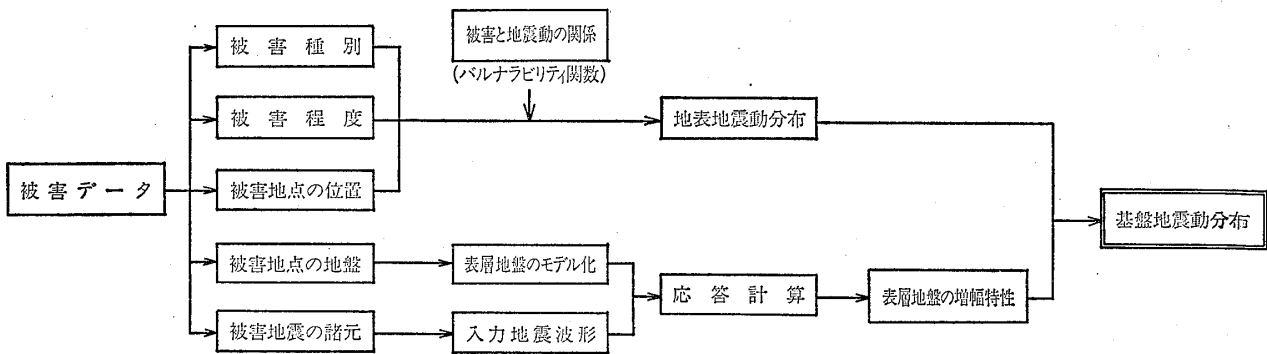


図-2 被害データから基盤地震動を求める方法

Fig. 2 Flow chart on procedure for forecasting seismic motion at base layers using data on damage from previous earthquakes

として、破壊時間や伝播時間の差を考慮して重ね合せ、本震波形を予測する方法である。この方法については、飯田・伯野 (1981), 入倉・村松 (1981), 三雲・今川 (1981), 田中・吉沢・坂上・大沢 (1982) によって、実際の観測波形を用いた検証がほぼ同様な手法を用いて試みられている。しかし、実証例はきわめて限られた地点あるいは地震についてのものであり、より広い範囲への適用に関する検討が進められている。

以上の2つの方法の内容については、付記に示してある。

#### 4 過去の地震による被害データに基づいて基盤地震動を推定する方法

この方法を用いるに当たっては、過去の地震による被害データの収集、整理を行なうとともに、表層地盤の増幅特性をあらかじめ知っていなければならない。そして、膨大な作業を要するために、この種の方法による基盤地震動の推定を行なった例は少ない。宮野 (1982) は1923年関東大地震による木造家屋全壊率から、沖積平野、台地、山地などの地形別に、震度と距離の関係を求めている。したがって、表層地盤の増幅特性は地形の種類として考慮されていることになり、この中の山地として分類されているものが、基盤地震動に相当するとみることができる。また、吉川・岩崎・田居・福田・北野 (1982) は、1891年濃尾地震など4地震について、木造家屋倒壊率と変位量との関係を用い、表層地盤の増幅特性を考慮して、基盤地震動を求めている。これは、震源のごく近傍における地震動の推定を目的としたものであり、距離による地震動の減衰については言及していない。

#### 5 地震による各種の被害と地震動加速度の関係を用いて求めた距離による地震動の減衰

さきに記したように、吉川ほか (1982) は、木造家屋の倒壊率と変位量との関係を用いて、震源近傍における基盤地震動を推定したが、筆者らは、木造家屋の被害のみならず、その他の被害を含めて利用し、地震動加速度との関係を用い、表層地盤の増幅特性を考慮して、基盤地震動の距離による減衰を求めることを試みた。対象とした地震は、1923年関東大地震、西埼玉地震、宮城県北部地震および宮城県沖地震の4地震である。

##### 5-1 推定方法

被害データに基づいて、基盤地震動を推定する方法の流れは図-2に示す通りである。そして、推定の手順は以下ようになる。

- (1) 過去の地震における被害資料を分析し、比較的確実度の高いデータについて、被害の発生地点と被害の種類および程度を明らかにする。
- (2) 被害の程度あるいは構造物のこわれ易さと地震動の強さとの関係 (バルナラビリティ関数と呼ばれている) を被害の種類ごとに与えて、被害データを地震動の強さに換算する (図-3参照)。
- (3) 地震動の強さを加速度に対応づけることにより、被害地点の地表加速度を求める。
- (4) 被害地点の表層地盤をモデル化し、一方、被害地震の特性にみあった地震波形を基盤から入射させて応答計算を行なって、表層地盤の増幅特性を求める (図-4参照)。
- (5) 被害地点の地表加速度と表層地盤の増幅特性から

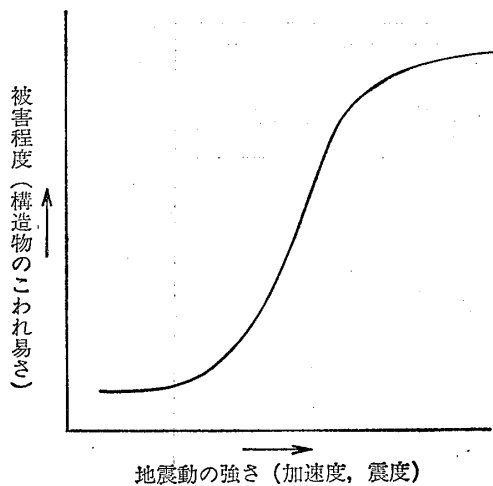


図-3 被害と地震動との関係  
Fig. 3 Relationship between damage and seismic motion

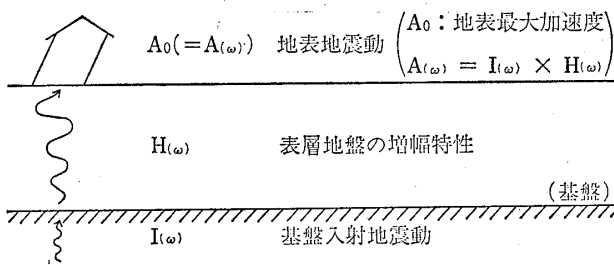


図-4 地表地震動と基盤入射地震動との関係  
Fig. 4 Relationship between seismic motion at ground surface and motion incidental to the base layer

基盤入射加速度を求める。

- (6) 被害地点の震源からの距離を求めて、基盤入射加速度の距離による減衰の関係を求める。

上記の手法による推定を行なうに当たっては、被害の種類としては、木造家屋被害、地変、墓石の転倒などの一般的なものを用い、バクナラビリティ関数としては、木造家屋被害については物部(1926)による全壊率と合震度の関係、地変については震度階との対応関係、墓石の転倒については、大橋・岩崎・川島(1978)、建設省土木研究所(1979)および殿内・兼森・高島(1981)のそれぞれによって提案されている3つの転倒率と加速度の関係式の平均値を用いた。また、被害データの集計単位については、木造家屋被害では市町村単位で資料が整理されており、他の被害データもこれに揃えて地震発生時の行政区分を単位として整理した。

5-2 基盤地震動の推定

(1) 1923年関東大地震の場合

1923年9月1日の関東大地震(M=7.9)による関東各地の市区町村における木造家屋被害率の資料については、殿内・金子・今井(1982)によって整理されたものがあり、この資料を基にして、各市区町村ごとに基盤入射加速度を算出し、一方、距離については、金森・安藤(1973)による震源モデルの断層面からそれぞれの市区町村までの距離を計り、距離に対する基盤入射加速度との関係を求めると、図-5のようになる。ここに、表層地盤に関しては、対象地域が広い範囲にわたっていること、また地盤資料の疎密もあることのために、地震工学的観点から、全域を代表的な地盤タイプに分類し、各市区町村の代表地点の地盤タイプを選定して用いている。なお、基盤入射波としては、1968年の十勝沖地震(M=7.9)の際に八戸港で得られた波形を用い、表層地盤の増幅特性を算出した。

(2) 西埼玉地震の場合

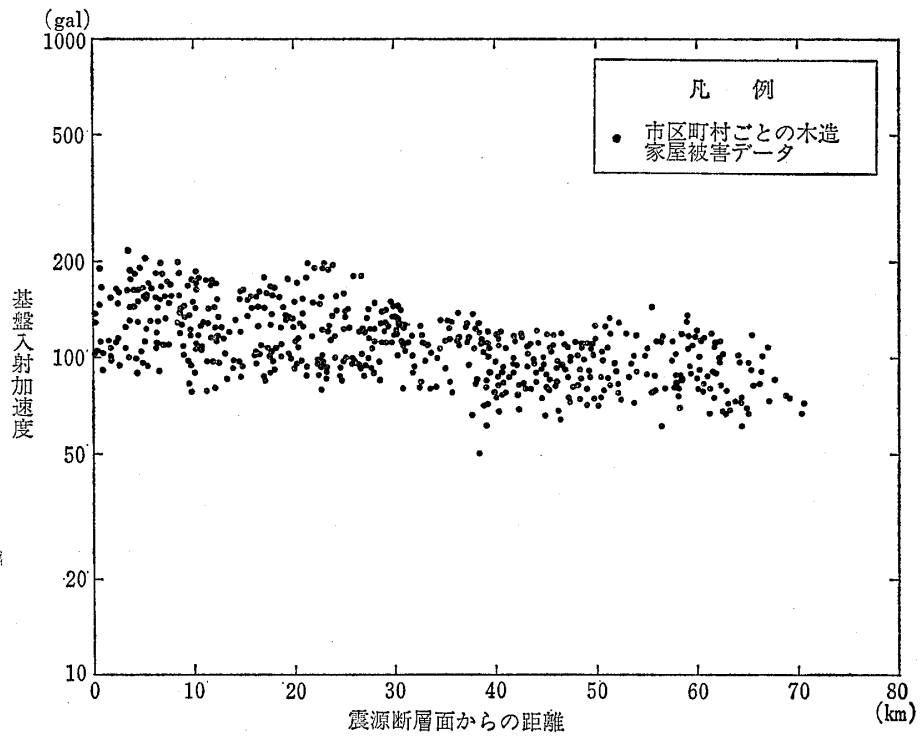
1931年9月21日に発生した西埼玉地震(M=7.0、震源の深さ15km)における熊谷候候所(1931)などの資料による埼玉県下の町村における地変や家屋被害の資料を基にして、町村ごとの基盤入射加速度を計算し、震源からの実距離との関係を求めると、図-6に示すようになる。この場合の応答計算に用いた波形は、1940年にアメリカに発生したImperial Valley地震(M=6.7)によるEl Centroにおける観測波形である。

(3) 宮城県北部地震の場合

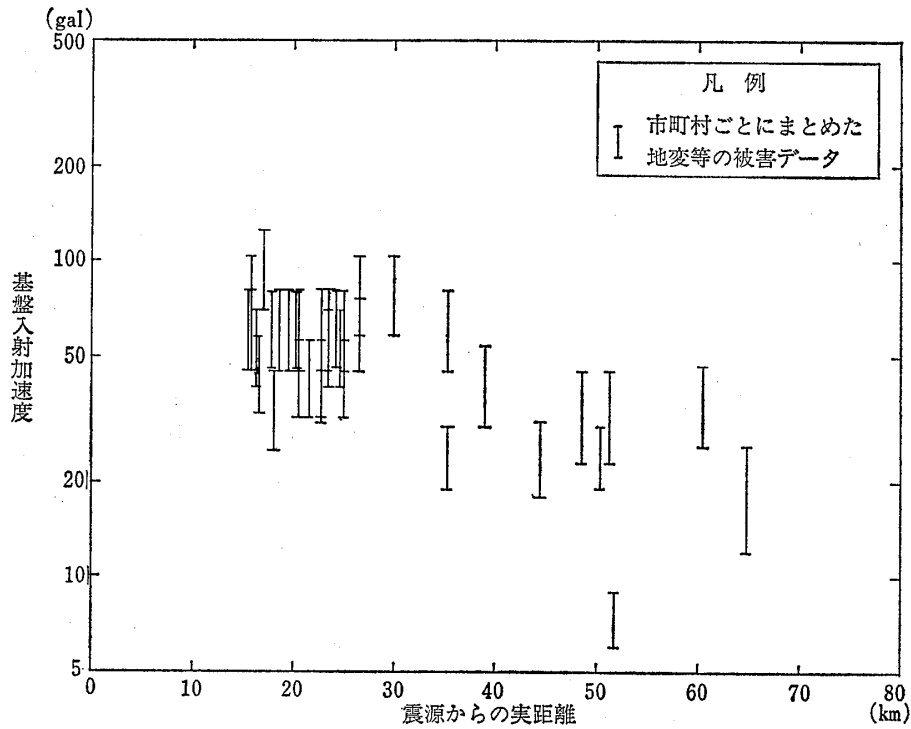
1962年4月30日に発生した宮城県北部地震(M=6.5、震源の深さ0km)による宮城県下の市町村における木造家屋被害、墓石の転倒、気象庁発表の震度階および地震観測記録について、佐藤・松田・柴野(1962)などの資料を整理して計算を実施し、基盤入射加速度と震源からの実距離との関係を求めると、図-7に示すようになる。この場合の応答計算には、同地震の際に東北大学で観測された仙台501の波形を用いた。

(4) 宮城県沖地震の場合

1978年6月12日に発生した宮城県沖地震(M=7.4)による宮城県下の市町村における木造家屋被害、墓石の転倒および強震観測記録について、東北大学理学部地質古生物学教室(1979)をはじめとして、多くの資料を整理して、基盤入射加速度を算出し、瀬野・須藤・江口(1978)による震源モデルの断層面からの距離に対する関係を求めると、図-8に示すようになる。この場合の応答計算に用いた地震波形は、この地震の際に、仙台市中央4丁目にある住友生命ビルにおいて観測されたものである。

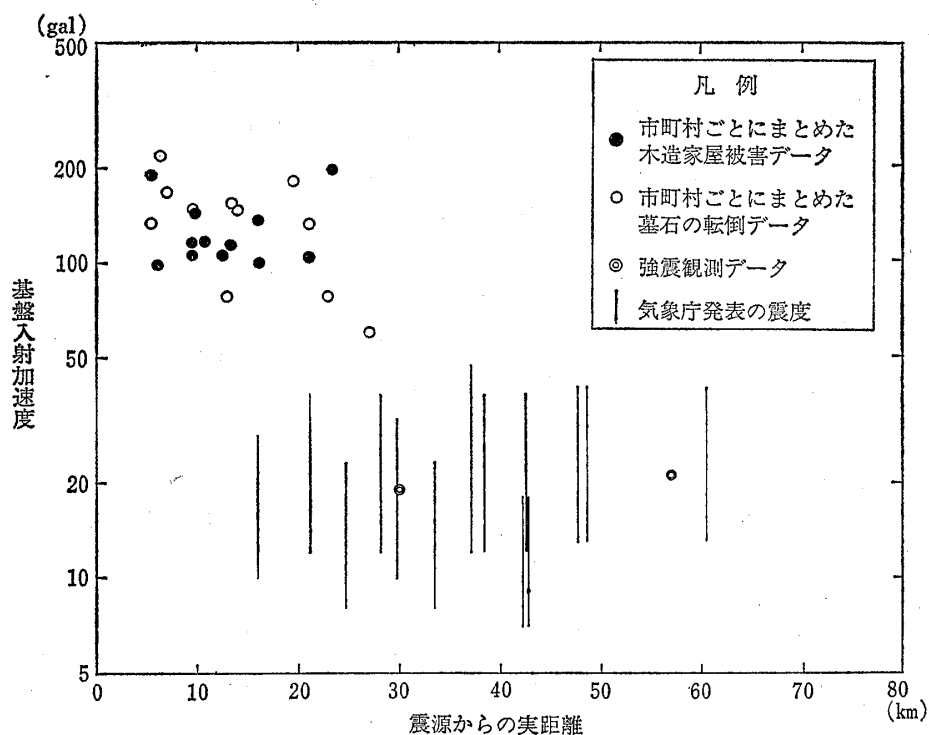


図一五 被害データから求めた基盤入射加速度と震源断層面からの距離との関係 (1923年関東大地震)  
 Fig. 5 Relationship between acceleration incidental to the base layer, estimated from data on damage and distance from fault plane (1923 Great Kanto Earthquake)

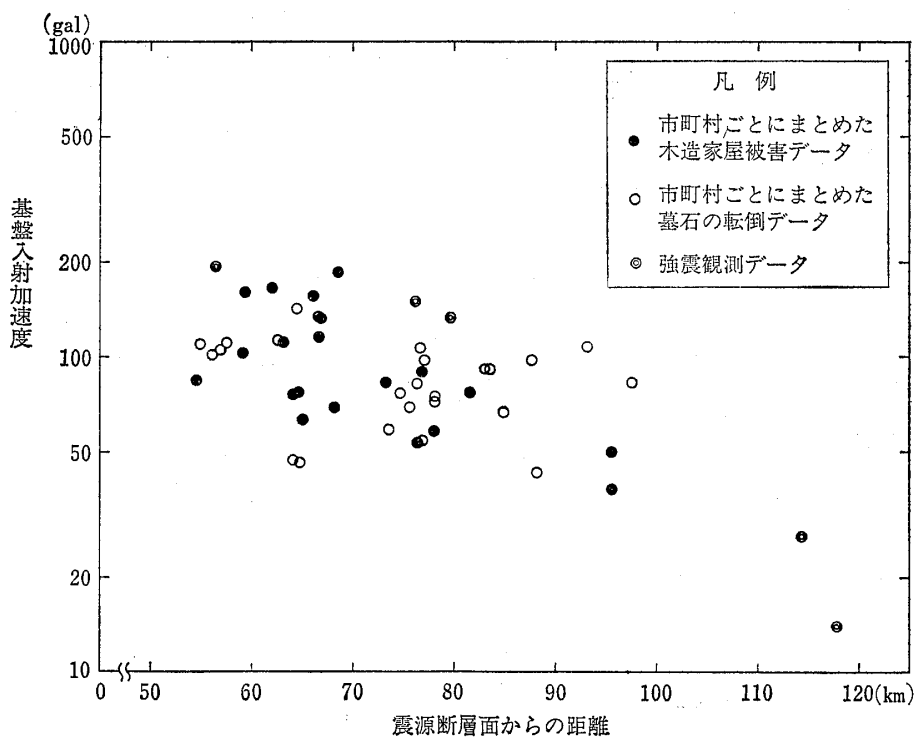


図一六 被害データから求めた基盤入射加速度と震源からの実距離との関係 (1931年西埼玉地震)  
 Fig. 6 Relationship between acceleration incidental to the base layer, estimated from data on damage and distance from hypocenter (1931 Nishi-Saitama Earthquake)





図一7 被害データから求めた基盤入射加速度と震源からの実距離との関係 (1962年宮城県北部地震)  
 Fig. 7 Relationship between acceleration incidental to the base layer, estimated from data on damage and distance from hypocenter (1962 Northern Miyagi Prefecture Earthquake)



図一8 被害データから求めた基盤入射加速度と震源断層面からの距離との関係 (1978年宮城県沖地震)  
 Fig. 8 Relationship between acceleration incidental to the base layer, estimated from data on damage and distance from fault plane (1978 Miyagi Prefecture offshore Earthquake)

5-3 考察

5-2に述べた4つの地震についての基盤地震動を比較するために、それぞれの地震について、震源距離10km区間ごとに基盤入射加速度の平均値を求めて、この平均値と距離との関係の求めた。その結果は、図-9に示す通りである。

内陸で発生した西埼玉地震 (M=7.0) および宮城県北部地震 (M=6.5) においては、地震の規模 (マグニチュード) が大きくなると、震源からの距離の増大に伴って、基盤入射加速度が大きくなる傾向がみられる。

一方、海域に震源をもつ関東大地震 (M=7.9) および宮城県沖地震 (M=7.4) の場合には、内陸の地震に比べて地震の規模が大きく、加速度の距離による減衰の勾配がゆるやかで、はるか遠方まで大きな加速度を示している。また、宮城県沖地震は、関東大地震よりも規模が小さいが、震源距離が約70km以下のところでは、関東大地震よりも加速度が大きくなっており、70km以遠では小さくなっている。このことについては、海野・長谷川 (1984) は、東北地方の太平洋側の地下にQ値が低い構造があることをあげて説明している。また Bolt (1982)

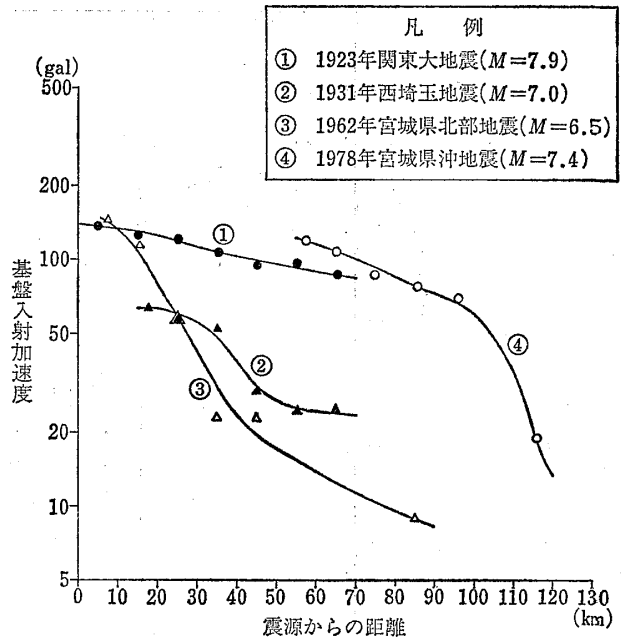


図-9 被害データから求めた基盤入射加速度の比較

Fig. 9 Comparison of incidental acceleration at base layers for four earthquakes, estimated from data on damage

表-2 基盤地震動の評価方法の特徴

Table 2 Applicability of methods of forecasting seismic motion at base layers

評価方法 項目	地震の規模と震源距離から公式を用いて推定する方法。	震源断層モデルを用いて計算する方法。	既往の被害地震について被害データをもとにして推定する方法。
適用地震	一般的、ただし公式の基礎データにより適用範囲がある。	断層モデルの設定できる地震。	過去の被害地震。
必要なデータ	地震の規模と震源からの距離。	震源断層の各パラメーター。	被害データおよび被害地域の地盤データ。
距離の適用性	震源からやや離れた距離で適用、震源に近いところでの適用には注意が必要。	比較的震源に近い距離まで適用可能。	震源直上まで適用可能。
方向性の考慮	震源からの方向性は考慮されない。	震源での破壊形式を取り入れており、方向性を考慮している。	震源からの方向性を考慮することも可能である。
作業性	簡便に利用できる。	比較的煩雑な計算が必要。	被害データ、地盤データの収集整理など、作業量が多い。

によれば、マグニチュードが7以下の地震の場合には、この加速度の距離による減衰曲線の勾配は同じであるが、マグニチュードが大きいほど、図の右側の方に寄り、マグニチュードが7以上の場合には、周期特性の影響によって、およそ100km以内では、曲線の勾配がゆるくなる傾向にあるとしている。

以上のように、いくつかの説明が考えられているが、いずれによるものかについては現在のところ定説はなく、今後の研究に待たねばならない。

## 6 まとめ

以上には、基盤地震動の評価方法について個別に述べてきたが、それぞれの方法についての特徴をまとめて示すと、表一2のようになる。一般的には、推定公式を用いる方法が簡便である。一方、震源として断層モデルを用いて計算する方法では、方向性を考慮することができるが、計算が煩雑であること、また断層モデルには任意性があることなどの不利な点をもっているのが現状である。

近年、広域における地震被害想定を実施するに際し、過去の地震の再来を想定する場合が多い。このための地震動予測においては、基盤地震動の評価が基本的な問題となっている。この場合、一部未解明な点もあるとはいえ、被害データに基づいて推定する方法が有効であり、とくに、震源近傍となる地域を含む場合には、最適な方法であると考えられる。

現状においては、この方法を適用できる地震および地域は限られたものであるけれども、できるだけ多くの地震に適用し、データを蓄積することができれば、一般性のある関係を求めることが可能であると考えている。そのためには、データの蓄積とともに、被害の程度、表層地盤および基盤の評価の面で、それらの精度の向上が必要となる。

## 参考文献

- Bolt, B. A. (1982): Methods of estimating attenuation and effective peak acceleration in the near field, 3rd International Earthquake Microzonation Conference, pp. 131-144.
- 金森博雄・安藤雅孝(1973): 関東大地震の断層モデル  
関東大地震50周年論文集 地震研究所 pp.82—102
- 建設省土木研究所 (1979): 1978年宮城県沖地震による地域別地震動強度の分布に関する調査報告 土木研究所資料 第1512号
- 工藤一嘉 (1980): やや長周期の地震波形予測と周辺問題 日本建築学会第10回地盤震動シンポジウム pp. 57—64
- 宮野道雄 (1982): 1923年関東大地震における震度と震源距離・方向性・地形の関係 土木学会論文報告集 第319号 pp. 43—53
- 物部長穂 (1926): 土木工事震害調査報告, 震災予防調査会報告, 第百号 丁 pp. 1—65
- 大橋昭光・岩崎敏男・川島一彦 (1978): 墓石の転倒状況から推定した1978年伊豆大島近海地震の地震動強度 土木技術資料 Vol. 20 No.11 pp. 9—14
- 埼玉県熊谷測候所 (1931): 西埼玉強震報告 験震時報 第五巻 第二号 pp. 277—317
- 佐藤泰夫・松田時彦・柴野陸郎 (1962): 昭和37年4月30日宮城県北部地震調査報告 地震研究所彙報 第40巻 第3号 pp. 591—612
- 瀬野徹三・須藤研・江口孝雄 (1978): 1978年6月12日宮城県沖地震の発生機構 地震学会秋季大会講演予稿集 p. 36
- 嶋悦三 (1983): 埼玉県における地震動予測の試み 日本建築学会第11回地盤震動シンポジウム pp. 31—36
- 東北大学理学部地質学古生物学教室 (1979): 1978年宮城県沖地震に伴う地盤現象と災害について
- 殿内啓司・兼森孝・高島和美 (1981): 地盤の地震時挙動の予測に関する一考察('78宮城県沖地震を例として) 第16回土質工学研究発表会
- 殿内啓司・金子史夫・今井常雄 (1982): 1923年関東大地震における地盤による建物被害の差異について 応用地質調査事務所年報 No.4
- 海野徳仁・長谷川昭 (1984): 東北日本弧の三次元 $Q_s$ 値構造 地震 第2輯 第37巻 第2号 pp. 213—228
- 吉川宗治・岩崎好規・田居優・福田光治・北野剛人 (1982): 木造家屋の被害分布から推定される断層近傍地震動特性について 第6回日本地震工学シンポジウム pp. 137—144

# 付記 断層モデルを考慮した半実験的な地震動推定方法

## 1 翠川, 小林による方法

断層理論によれば, 断層上のある点から破壊(この破壊が震源である)が始まり, それが広がっていく。したがって, 地震動は移動する小領域の震源からの寄与の総和として考えられる。対象とする短周期領域(周期0.1秒から5秒まで)においては, 地震動の包絡線は, 断層面上の小領域からのインパルスの重ね合わせで表わすことができるものとする。

対象とする短周期領域においては, 地震動は主として実体波(S波)から成るものと考えられる。そこで, 地震動の地震基盤から地盤への入射波の時刻歴に関して, 下記の事項を仮定する。

- (1) 地震動の継続時間( $d$ )は, 破壊が生じてから終了するまでに要する時間( $d_{source}$ )と, 観測点に最も早く伝播してくる波と最も遅く伝播してくる波の到達時刻の差( $d_x$ )との和で示される。すなわち,

$$d = d_{source} + d_x$$

である。また, 地震動の時刻歴は, 初動の到達後, しだいに振幅を増し, 主要動となり, それ以後は振幅が減少する。単純に考えれば, 入射波の包絡線( $E(t)$ )は, 図一付1(a)に示すような形で表わすことができる。

- (2) 小領域からのインパルス( $E'(t)$ )の形状は, 図一付1(b)に示すような形で表わすことができる。すなわち, 小領域において, 破壊が生じてから終了するまでに要する時間( $d'_{source}$ )については, インパルス( $E'(t)$ )は矩形であり, それ以後, 最も遅く伝播してくる波が到達するまでの時間( $d'_x$ )については, インパルス( $E'(t)$ )は直線的に減衰する。

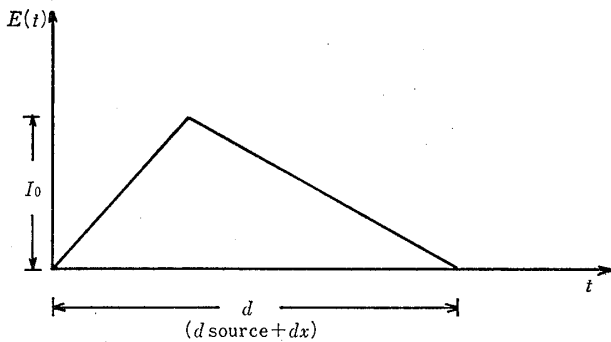
- (3) 1質点系の応答を一種の帯域フィルターとみなすとき, この1質点系の応答包絡線は, その減衰定数が比較的大きい場合には, 入力地震動の応答包絡線と相似である。

上記の3つの仮定に従って, 図一付2に示すように, 断層面( $S$ )を $n$ 個の小領域( $\Delta Si$ )に分割する。これらの小領域からのインパルスの特性は, つぎのように表わすことができる。

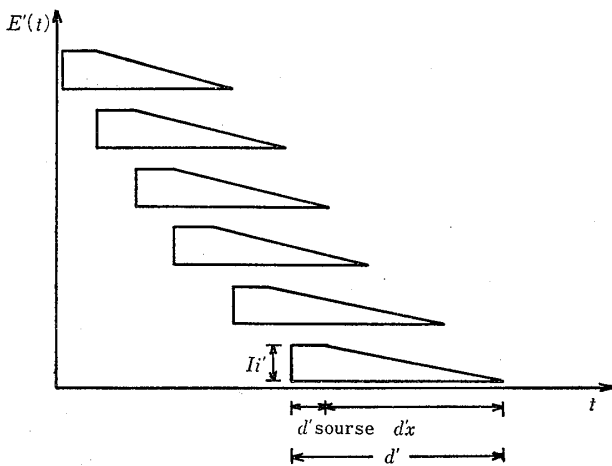
$$d'_{source} = \Delta L / V_R \text{ [sec]} \tag{1}$$

$$d'_x = C \times X_i \text{ [sec]} \tag{2}$$

$$I_i = d \times I_0 / \{n (2d'_{source} + d'_x)\} \tag{3}$$

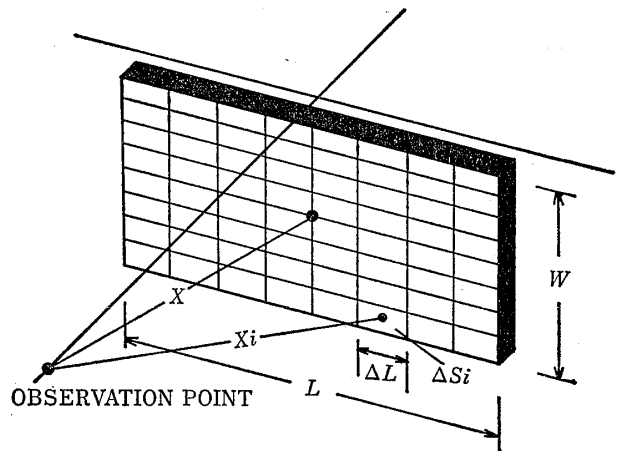


(a)



(b)

図一付1 入射波の包絡線  
Fig. A1 Envelope of incident wave



図一付2 断層面S  
Fig. A2 Fault plane S

- ここに、  $\Delta L=L/n$ : 小領域の長さ [km]  
 $V_R$ : 破壊伝播速度 [km/sec]  
 $X_i$ : 観測点から各小領域までの距離 [km]  
 $I'_i$ : 各小領域のインパルスの強さ  
 $I_0$ : 入射波の包絡線における地震動の強さ

なお、(3)式は入射波のエネルギーが分割数 ( $n$ ) に依存していないので、次式によって求めることができる。

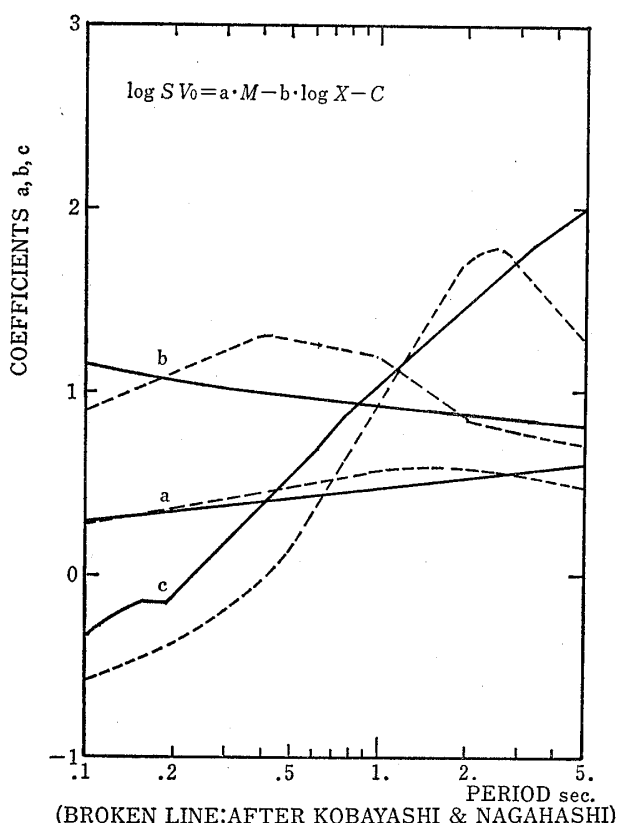
$$\int E(t)dt = \sum_{i=1}^n \int E'_i(t)dt \quad (4)$$

また、(2)式における定数  $C$  は、

$$C = 1/V_{\min} - 1/V_{\max} \quad (5)$$

の意味をもっているもので、経験的に  $C=0.24$  としている。

- ここに、  $V_{\min}$ : 最も遅く伝播する波の速度  
 $V_{\max}$ : 最も早く伝播する波の速度



図付-3 地震基盤における速度応答スペクトルの実験式中の係数の変化

Fig. A3 Variation of the coefficients in the experimental formula of velocity response spectra on seismic bedrock

(3)式を用いて  $I'_i$  を得るためには、 $I_0$  と  $d$  を決定する必要がある。

$I_0$  については、翠川・小林によって提案されている地震基盤からの入射波速度応答スペクトルに関する実験式

$$\log_{10} S_{v0}(T) = a(T) \cdot M - b(T) \cdot \log_{10} X - c(T) \quad (6)$$

を利用している。すなわち、(6)式に地震のマグニチュード ( $M$ ) と断層面から観測点までの距離 ( $X$ ) を代入し、得られた  $S_{v0}(T)$  の値をもって  $I_0$  の値とみなしている。ここに、 $S_{v0}(T)$  は、 $h=0.05$  としたときの地震基盤からの入射波速度応答スペクトル、 $M$  は地震のマグニチュード、 $X$  は震源距離 [km] である。また  $a$ ,  $b$ ,  $c$  は図付3に示すように、周期 ( $T$ ) に依存する係数で、0.1秒から5秒までの周期に対して求められている。なお、地震基盤とは地殻の最上層で、S波速度が3km/sec程度の層を意味している。

一方、 $d$  に関しては、下記のようにして半実験式を求めている。まず、 $d_{\text{source}}$  について、

$$d_{\text{source}} = L/V_R \quad (1 \text{ 方向破壊伝播の場合}) \quad (7)$$

$$= 0.5L/V_R \quad (2 \text{ 方向破壊伝播の場合}) \quad (8)$$

であり、(7)式と(8)式の平均を求めると、

$$d_{\text{source}} = 0.75L/V_R \quad (9)$$

が得られる。ここに、 $L$  は断層の長さ [km] である。そして、 $L$  および  $V_R$  については、

$$L = 0.012 \times 10^{0.5M} \text{ [km]} \quad (10)$$

$$V_R = 0.7 \times 10^{0.08M} \text{ [km/sec]} \quad (11)$$

によって表わされる実験式が得られている。(10)式および(11)式を(9)式に代入すると、

$$d_{\text{source}} = 0.013 \times 10^{0.42M} \text{ [sec]} \quad (12)$$

が得られる。また、 $d_x$  はつぎの式で与えられる。

$$d_x = C \times X \quad (13)$$

したがって、地震動の継続時間 ( $d$ ) は、

$$d = 0.013 \times 10^{0.42M} + 0.24X \text{ [sec]} \quad (14)$$

となり、入射波の継続時間の半実験式が得られる。なお、この半実験式は、前述の仮定から考えて、加速度のレベルで適用できるものである。

以上の手順により、0.1秒から5秒までの周期における1質点系の応答包絡線が得られる。速度応答スペクトルは、各周期における包絡線の最大値に対応する。なお、

断層面の分割数( $n$ )は144としている。

つぎに、上記のようにして求めた地震基盤からの入射波応答スペクトルによって入射波の強さを求めるために、経験的に求めた次式を用いている。

$$A_{\max} = 1.2 \times \text{M.S.I.} \quad (15)$$

$$V_{\max} = 0.3 \times \text{S.I.} \quad (16)$$

ここに、 $A_{\max}$ は最大加速度、 $V_{\max}$ は最大速度振幅を表わし、S.I.はHousnerの減衰定数5%に対するSpectrum Intensityである。また、M.S.I.は、

$$\text{M.S.I.} = \int_{0.1}^{0.5} S_A(T) dT \quad (17)$$

で表わされるModified Spectrum Intensityである。ここに、 $S_A(T)$ は減衰定数5%の加速度応答スペクトルである。

このようにして、地震基盤から地盤への入射波の最大加速度および速度振幅を求めている。

その後、地震のマグニチュード( $M$ )と地震モーメント( $M_0$ )の関係および破壊の立上り時間を考慮して、若干の追加、修正を行なっている。すなわち、 $M$ と $M_0$ 関係式

$$\log M_0 = 1.5M + 16.2 \quad (18)$$

を用いて、(6)式の代りに

$$\log S_{V_0}(T) = a(T) \cdot (\log M_0 - 26.6) - b(T) \log X + 2.36 \quad (6')$$

## 2 飯田、伯野による方法

予想される大地震の震源域とはほぼ同一地域で発生し、任意の観測点で得られた中小地震による実際の記録を要素波に採用し、破壊伝播と波の伝播の時間差だけずらして、要素波を時間領域で加え合せることによって、観測点と同一地点において、予想大地震によって生ずる地震動を予測するものである。

すなわち、要素数は地震モーメント( $M_0$ )の比率によって算定し、表面波マグニチュード( $M_s$ )を介在させて、独自の方法で $M_0$ と気象庁マグニチュード( $M_J$ )との関係を求めている。また、 $M_0$ の分布は、簡単のため、断層面上においては一様であると仮定している。

破壊伝播については、Barrier効果と位相の適度な分散を意図して、方向によって異なる正規分布速度を持っている、いわゆる、ゆらぎのある2次元同心円状破壊伝播とした。一方、波の伝播については、簡単のため、伝

を示し、図一付3に示した係数 $a(T)$ 、 $b(T)$ 、 $c(T)$ に替えて、 $a(T)$ 、 $b(T)$ をつぎの式で表わしている。

$$a(T) = 0.318 + 0.128 \log T \quad (19)$$

$$b(T) = 0.509(\log T)^2 + 0.483 \log T + 1.124 \quad (20)$$

$$= 0.985 - 0.05 \log T \quad \left. \begin{array}{l} (0.1 \leq T \leq 0.3 \text{ sec}) \\ (0.3 \leq T \leq 5.0 \text{ sec}) \end{array} \right\}$$

また、 $c(T)$ に該当する係数は2.36と定数になっている。一方、(1)式の $d'_{\text{source}}$ および(9)式の $d_{\text{source}}$ については、破壊の立上り時間( $T_r$ ) [sec]を導入し、

$$d'_{\text{source}} = \Delta L / V_R + T_r \quad (1')$$

$$d_{\text{source}} = 0.75 \times L / V_R + T_r \quad (9')$$

のように修正している。ここに、

$$T_r = 0.00063 \times 10^{0.5M} \quad (21)$$

である。

## 文 献

- 翠川三郎・小林啓美(1979):地震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第282号 pp. 71~80
- Midorikawa, S. and H. Kobayashi (1982): A Semi-Empirical Method for Estimating Response Spectra of Near-Field Ground Motions with Regard to Fault Rupture, Proceedings of the Seventh European Conference on Earthquake Engineering, pp. 161-168.

播速度( $C$ )を一定とした。また、震源方向の補正については、EW成分とNS成分をRadialとTransversesの両成分に変換し、変換した両成分について補正を行なった。距離減衰の補正は、エレメント単位で、地域性を考慮した方法によって、振幅方向についてのみ行なった。

以上のことを式の形で示すと、つぎのようになる。

$$F_j(t) = \sum_{i=1}^n Z_i \times G_i \times f_j(t - k_i - l_i)$$

ここに、 $F_j(t)$ : 合成波

$f_j(t)$ : 要素波

$k_i$ : 断層破壊による時間遅れ

$l_i$ : 波の伝播による時間遅れ

$Z_i$ : 方向補正係数

$G_i$ : 発生位置の相違による距離補正係数

- $i$ : 震源要素番号
- $n$ : 合成個数
- $t$ : 時間

である。なお、 $G_i$ においては、幾何減衰と非弾性減衰を考慮した。

文 献

3 村松, 入倉による方法

一様な無限弾性体にある矩形の断層において、破壊が一方あるいは同心円状に進行する場合、far-fieldにおける地震動は、断層面内の小領域から発生する地震動の合成として、断層の長さ( $L$ )、断層の幅( $W$ )、破壊進行速度( $V$ )、断層のくい違い量( $D$ )、ライズタイム( $\tau$ )、破壊開始点から小領域までの距離( $\xi$ )などによって表わされる。

そこで、経験的な相似則を利用して、断層面上の小領域の要素数を決定し、前震や余震のような小地震の観測波形を用いて、下記に示すようにして、大地震の波形を求めている。

断層の幅およびくい違い量は、断層の長さに比例するとされており、また、地震モーメント( $M_0$ )は、

$$M_0 = \mu DWL \quad (\mu; \text{剛性率})$$

と表わされることから、地震モーメントは断層の長さの3乗に比例することになる。そこで、

$$n = \sqrt[3]{M_0/M_{0e}} \quad (e \text{ は要素波を表わす})$$

とすると、

$$L = nL_e, \quad W = nW_e, \quad D = nD_e, \quad \tau = n\tau_e$$

となる。ここに、slip velocity ( $D/\tau$ ) は一定であるとしている。また、破壊進行速度が変化しないものとし、さらに、要素数を、

$$\frac{L}{L_e} \times \frac{W}{W_e} = n \times n$$

とすると、大地震の波形 ( $g(t)$ ) は、前震あるいは余震の観測波形 ( $g_e(t)$ ) を合成することによって、つぎのように表わされる。

$$g(t) = \sum_k \sum_l \sum_m^n g_e(t - \tau_{klm})$$

$$\tau_{klm} = (k-1)\tau_e + \frac{\xi_{lm}}{V} + \frac{R_{lm} - R_0}{C}$$

飯田昌弘・伯野元彦・井上涼介・紺野義仁 (1981): 中小地震記録からの大地震加速度波形の合成 第16回地震工学研究発表会 pp. 141~144

飯田昌弘・伯野元彦 (1982): 中小地震記録による大地震加速度波形の合成と震源過程・地盤の分析 第6回地震工学シンポジウム pp. 81~88

- ここに、 $R_{lm}$ : 小領域から観測点までの距離
- $R_0$ : 破壊開始点から観測点までの距離
- $C$ : 媒質における地震動の伝播速度

なお、要素波の震源距離および radiation pattern と、小地震の観測波形のそれらとの間の補正項 ( $A_{lm}$ ) を導入すると、

$$g(t) = \sum_k \sum_l \sum_m^n A_{lm} \cdot g_e(t - \tau_{klm})$$

$$A_{lm} = \frac{R_c(\theta_{lm}, \varphi_{lm}) R_{l_0 m_0}}{R_{c_0}(\theta_{l_0 m_0}, \varphi_{l_0 m_0}) R_{lm}}$$

であり、 $R_c$  は radiation pattern,  $\theta$  および  $\varphi$  はそれぞれ射出角および方位角を表わし、サフィックス 0 は小地震の観測波形を表わす。

また、加速度波形のような短周期成分の補正については、小地震の dislocation 関数としては単純な ramp 関数を、大地震の dislocation 関数としては多少の修正を施した ramp 関数を導入している。

文 献

村松郁栄・入倉孝次郎 (1981): 余震や前震の震動記録から本震の震動記録を合成する方法——その1 震源パラメーターの相似則—— 地震学会講演予稿集 No.1 p. 109

入倉孝次郎・村松郁栄 (1981): 余震や前震の震動記録から本震の震動記録を合成する方法——その2 合成方法および結果—— 地震学会講演予稿集 No.1 p. 110

入倉孝次郎 (1982): 小地震の震動記録を用いて大地震の震動波形を合成する方法——その3 加速度波形—— 地震学会講演予稿集 No.1 p. 195

入倉孝次郎 (1983): 小地震記録を用いた大地震の震動の合成——その4 加速度波形について—— 地震学会講演予稿集 No.1 p. 172

#### 4 三雲, 今川による方法

大地震の断層面付近に起こる前震や余震のような小地震は、この断層面上における点震源とみなすことができる。また、これらの地震記象は、伝播経路や構造の影響を含む Green 関数と考えることができる。したがって、これらの記録と大地震の場合の震源時空間関数とのコンボリューションをとって、大地震の強震地動を予測することになり、観測記録を  $f(t)$  とすれば、

$$f(t) \simeq \dot{u}(t) * S(t) * h(t)$$

と表わされる。

ここに、  $u(t)$ : 震源における時間関数  
 $S(t)$ : 空間関数  
 $h(t)$ : 伝播経路の衝撃応答

である。

そこで、大地震には  $M$  を、小地震には  $A$  を付して表わすとき、大地震の断層面を 1 個の小地震の面積を単位として  $N$  個に分割すると、

$$S_{Mj}(t) = S_A(t-t_j)$$

となる。ここに、 $t_j$  は破壊出発点からの時間おくれであ

#### 5 田中, 吉沢らによる方法

この方法は、村松, 入倉の方法を準用し、短周期の加速度波形に応用するために、若干の変更を行なったものである。すなわち、村松, 入倉の方法において、要素波の radiation pattern および伝播経路に沿う地下構造の波動伝達特性と、小地震の観測波形のそれらとが同じとした場合に、便宜的に震源時間関数に関する項を省略すると、

$$g(t) = \sum_l^n \sum_m^n \frac{R_{l_0 m_0}}{R_{lm}} \cdot g_e \left[ t - \frac{\xi_{lm}}{V} - \frac{R_{lm} - R_0}{C} \right]$$

る。

つぎに、 $f_M(t)$  および  $f_A(t)$  のフーリエ変換の比をとり、さらにこれの逆変換をとれば、

$$f_M(t) = \sum_{j=1}^N g_j(t) * f_j(t-t_j)$$

と表わされる。ここに、

$$f_M(t) = \sum_{j=1}^N f_{Mj}(t)$$

であり、また、 $g_j(t)$  は、単位面積における主震時と余震時の変位時間関数（大きさとライズタイムの差）に対する補正関数を意味する。

#### 文献

三雲健・今川一彦 (1981): 余震記録の合成による大地震時の Near-field での強震地動波形の予測と断層の破壊過程 (1), 地震学会講演予稿集, No. 1 p. 112

となるとしている。ここに、変数は、「村松, 入倉による方法」において用いたものと同じである。

#### 文献

田中貞二, 吉沢静代, 坂上実, 大沢胖 (1982): 小地震記録の合成による強震動加速度波形の推定 地震研究所彙報 Vol. 57 pp. 561-579



付 表 地震動推定式

表中, a は加速度(gal), v は速度(kine), d は変位(cm), R は震源距離(km), Δ は震央距離(km)を標準とする。また, M はマグニチュードである。  
適用地盤の項でAは岩盤, Bは岩盤以外の地盤を示し, ( )内は出典に示された表現である。

(日 本)

No	提案者	年	推 定 公 式	基 礎 デ ー タ		適用地盤	出 典
				地 震	観測データ		
1.	河 角 廣	1943	$a = 0.45 \times 10^{0.51} \text{ または } a = 0.253 \times 10^{0.51}$ $\exp I = (100/\Delta)^2 \cdot \exp \{Mk - 0.00183(\Delta - 100)\}$ $I = Mk + 2 \log(R_0/R) - 2k(\log e) \cdot (R - R_0)$ $(\Delta \geq 100\text{km})$ $(\Delta < 100\text{km})$ I: 気象庁震度階 Mk: $M = 4.85 + 0.5Mk$ (M: 気象庁マグニチュード) R <sub>0</sub> : Δ = 100kmでのR(km) k: 主要動の距離減衰係数 ( $k = 0.0192\text{km}^{-1}$ )	1939年までの地震(震度VI以下)	石本式地震計による観測データ	B	震度と震度階, 地震, Vol.15, pp.6~12
2.	坪 井 忠 二	1954	$\log d = M - 1.73 \log \Delta + 0.83 \quad d (\mu)$	日本付近の浅発地震, 78個	札幌~福岡の6ヶ所における316データ	B	地震動の最大振幅から地震の規模Mを定めることについて, 地震(II), Vol.7, pp.185~193
3.	村 松 郁 栄	1964	$v = C(M) \cdot R^{-1} \cdot \exp(-R/R_c)$ $\log C = 0.655M - 1.719$ $\log R_c = 0.145M + 1.353$ $v = (0.04 \sim 0.13) \times 10^{0.51} \quad I: \text{震度階}$	M = 4.6~8.3の18地震	気象庁による変位, 速度観測結果	B	Magnitude の定義式について, 地震(II), Vol.17, pp.210~221, およびVol.19, pp.282~285
4.	金 井 清	1969	$d = T \times 10^{0.61M - 1.73 \log R - 1.47}$ $T = 10^{0.39M - 1.70} \quad T: \text{地盤の卓越周期 (sec)}$ $v = 2 \pi d / T$ $a = 2 \pi v / T$ $\log v = 0.61M - (1.66 + \frac{3.60}{R}) \log R + (0.631 + \frac{1.83}{R})$	M: 4.1~5.9	日立鉱山地下300m地点 R: 40~200km	A	地震工学, 共立出版
					松代での観測記録(R < 200km)		

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典
				地	観測データ		
5.	渡辺晃	1971	$\log v = 0.85M - 1.73 \log R + 2.50 \quad (R < 200\text{km})$ $\log v = 0.85M - 1.73 \log R + 2.50 + 0.0015(R - 200)$ $\quad (R \geq 200\text{km})$ $v \text{ [}\mu\text{kine]}$ $\log d = M - 2.31 \log R + 1.38 \quad (R < 40\text{km})$ $d \text{ [}\mu\text{]}: \text{水平2成分の自乗和の平方根 (中振幅)}$	(微小地震) M: 0~8	阿武山観測所 R: 10~300km および 200~1000km	A	近地震のマグニチュード, 地震 [II], Vol.24, pp.189~200
6.	勝又護	1972	$\log a = \log a_0 - \beta \log R'$ $a_0: \text{震源域端における加速度 (=400gal)}$ $\beta = -0.125M + 2.4$ $R' = R/r \text{ (実効距離 [km])}$ $\log r = 0.5M - 2.25 \text{ (r: 震源域半径 [km])}$	M: 3~4	阿武山観測所 R: 5~30km	B (平均地盤)	地震動の最大加速度の推定, 地震 時報, Vol.37, pp.79~87
7.	片山恒雄	1974	$\log a = 0.982 - 1.290 \log \Delta + 0.466M$ $\log a = 2.308 - 1.637 \log(R + 30) + 0.411M$	(日本の地震)	地盤上の330記 録	B	Statistical Analysis of Peak Accelerations of Recorded Earthquake Ground Motions, 生 産研究, Vol.26, No.1, pp.18~20
8.	建設省土木研究所	1977	(第1種地盤 $a = 28.5 \times 10^{0.207M} \times \Delta^{-0.598}$ 第2種地盤 $a = 13.2 \times 10^{0.330M} \times \Delta^{-0.806}$ 第3種地盤 $a = 32.1 \times 10^{0.254M} \times \Delta^{-0.757}$ 第4種地盤 $a = 6.47 \times 10^{0.430M} \times \Delta^{-0.977}$ 全体 $a = 18.4 \times 10^{0.302M} \times \Delta^{-0.800}$ (第1種地盤 $a = 46.0 \times 10^{0.208M} \times (\Delta + 10)^{-0.686}$ 第2種地盤 $a = 24.5 \times 10^{0.333M} \times (\Delta + 10)^{-0.924}$ 第3種地盤 $a = 59.0 \times 10^{0.261M} \times (\Delta + 10)^{-0.886}$ 第4種地盤 $a = 12.8 \times 10^{0.432M} \times (\Delta + 10)^{-1.112}$ 全体 $a = 34.1 \times 10^{0.308M} \times (\Delta + 10)^{-0.925}$	(日本の地震) M ≥ 5.0 深さ60km以浅 M 5.0~5.9 6.0~6.9 7.0~7.4 7.5~7.9	301記録 データ数 65 81 42 50	A, B [第1種: 岩 盤 第2種: 洪 積地盤 第3種: 沖 積地盤 第4種: 沖 積軟弱地盤]	昭和51年度総合技術開発プロジェクト 耐震技術に関する研究開発 総合報告書, pp.119~202

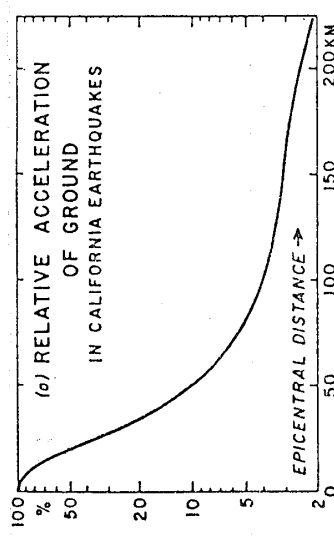
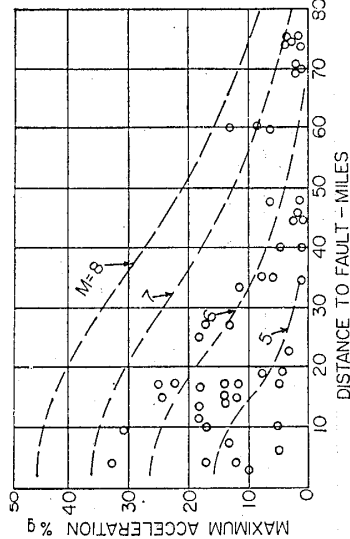
No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典
				地震	観測データ		
9.	大崎順彦 渡部丹	1977	$\log a = 0.472M - (1.97 - \frac{1.8}{R}) \log R + (2.2 - \frac{11.1}{R})$ $\log v = 0.607M - 1.19 \log R - 1.4$	(日本の地震)	75組 (22組は上下動を含む)	A (硬質地盤)	地震動の最大値について, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.2015~2016
10.	後藤尚弘 亀田直修 今西本修 橋	1978	$a = 10^{2.33+0.178M / (\Delta+30)^{0.751}}$ (計器補正後) $\bar{a} = 10^{2.01+0.160M / (\Delta+30)^{0.752}}$ $\bar{v} = 10^{0.696+0.200M / (\Delta+30)^{0.530}}$ $\bar{d} = 10^{-0.865+0.303M / (\Delta+30)^{0.433}}$	(日本の地震) M: 4.3~7.8	45成分 Δ: 10.6~247km a: 41.3~431gal v: 1.17~39.14 kine d: 0.12~20.12cm	B (第3種地盤)	強震記録の補正効果を考慮した地震動パラメーターの統計的性質, 第5回日本地震工学シンポジウム, pp.45~56
11.	田村重四郎 岡本舜三 加藤勝行 小野公一郎	1979	$\log \frac{a}{1000} = \frac{\Delta+50}{100} (-4.93+0.89M-0.043M^2)$	(アメリカの地震)	56成分 a: 24~249gal v: 1.19~35.64 kine d: 0.34~25.84cm	B (Soil site) (alluvium)	岩盤地帯の地震動の最大加速度について, 第15回地震工学研究発表会, pp.181~184
	田村, 岡本, 加藤	1971	$\log \frac{a}{640} = (-0.1036M^2 + 1.7244M - 7.604) \times (0.4 + \Delta)$	~1978.6までの 299地震(M>4)  M 6~6.9 7~	鬼怒川発電所地 下67.5m Δ: 50~280km a>0.4gal データ数 29 13	A	岩盤地帯における地震動, 第11回地震工学研究発表会, pp.53~56

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
				地	観測データ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
12.	土田 隆昌 稲野 節達 野上 生田 柳村 彦治 利忠	1980	<p>等価線型の応答計算により基盤加速度を求めたもの 実効距離(D)は、勝又による震源域外縁からの距離[km] log D=0.5M-2.25</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">実効距離 (D) km</th> <th colspan="6">マグニチュード(M)</th> </tr> <tr> <th>6.0</th> <th>6.5</th> <th>7.0</th> <th>7.5</th> <th>7.9</th> <th>8.5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>400.0</td><td>400.0</td><td>400.0</td><td>400.0</td><td>400.0</td><td>400.0</td></tr> <tr><td>5</td><td>302.0</td><td>318.0</td><td>333.0</td><td>355.0</td><td>368.0</td><td>378.0</td></tr> <tr><td>10</td><td>238.0</td><td>268.0</td><td>298.0</td><td>318.0</td><td>341.0</td><td>356.0</td></tr> <tr><td>15</td><td>208.0</td><td>239.0</td><td>270.0</td><td>298.0</td><td>318.0</td><td>335.0</td></tr> <tr><td>20</td><td>187.0</td><td>219.0</td><td>248.0</td><td>272.0</td><td>298.0</td><td>320.0</td></tr> <tr><td>25</td><td>170.0</td><td>201.0</td><td>230.0</td><td>250.0</td><td>282.0</td><td>305.0</td></tr> <tr><td>30</td><td>155.0</td><td>187.0</td><td>215.0</td><td>239.0</td><td>268.0</td><td>293.0</td></tr> <tr><td>35</td><td>139.0</td><td>175.0</td><td>203.0</td><td>225.0</td><td>254.0</td><td>282.0</td></tr> <tr><td>40</td><td>123.0</td><td>163.0</td><td>192.0</td><td>214.0</td><td>243.0</td><td>272.0</td></tr> <tr><td>45</td><td>107.0</td><td>150.0</td><td>181.0</td><td>203.0</td><td>231.0</td><td>261.0</td></tr> <tr><td>50</td><td>91.0</td><td>138.0</td><td>169.0</td><td>194.0</td><td>222.0</td><td>251.0</td></tr> <tr><td>55</td><td>78.0</td><td>126.0</td><td>158.0</td><td>184.0</td><td>211.0</td><td>241.0</td></tr> <tr><td>60</td><td>66.0</td><td>116.0</td><td>150.0</td><td>175.0</td><td>202.0</td><td>234.0</td></tr> <tr><td>65</td><td>56.0</td><td>105.0</td><td>140.0</td><td>167.0</td><td>193.0</td><td>225.0</td></tr> <tr><td>70</td><td>48.0</td><td>96.0</td><td>131.0</td><td>158.0</td><td>184.0</td><td>217.0</td></tr> <tr><td>75</td><td>40.0</td><td>86.0</td><td>123.0</td><td>150.0</td><td>176.0</td><td>209.0</td></tr> <tr><td>80</td><td>35.0</td><td>78.0</td><td>115.0</td><td>143.0</td><td>168.0</td><td>202.0</td></tr> <tr><td>85</td><td>30.0</td><td>69.0</td><td>107.0</td><td>136.0</td><td>161.0</td><td>195.0</td></tr> <tr><td>90</td><td>26.0</td><td>61.0</td><td>99.0</td><td>129.0</td><td>155.0</td><td>189.0</td></tr> <tr><td>95</td><td>23.0</td><td>56.0</td><td>91.0</td><td>122.0</td><td>149.0</td><td>183.0</td></tr> <tr><td>100</td><td>21.0</td><td>51.0</td><td>84.0</td><td>116.0</td><td>143.0</td><td>177.0</td></tr> <tr><td>105</td><td>20.0</td><td>46.0</td><td>77.0</td><td>110.0</td><td>138.0</td><td>172.0</td></tr> <tr><td>110</td><td>19.0</td><td>42.0</td><td>70.0</td><td>104.0</td><td>133.0</td><td>167.0</td></tr> <tr><td>115</td><td>18.0</td><td>39.0</td><td>64.0</td><td>99.0</td><td>128.0</td><td>162.0</td></tr> <tr><td>120</td><td>17.0</td><td>36.0</td><td>58.0</td><td>95.0</td><td>123.0</td><td>158.0</td></tr> <tr><td>125</td><td>16.5</td><td>32.0</td><td>52.0</td><td>89.0</td><td>119.0</td><td>153.0</td></tr> <tr><td>130</td><td>16.0</td><td>30.0</td><td>48.0</td><td>84.0</td><td>115.0</td><td>148.0</td></tr> <tr><td>135</td><td>15.5</td><td>27.0</td><td>45.0</td><td>79.0</td><td>111.0</td><td>145.0</td></tr> <tr><td>140</td><td>15.0</td><td>25.0</td><td>41.0</td><td>74.0</td><td>107.0</td><td>141.0</td></tr> <tr><td>145</td><td>14.5</td><td>23.0</td><td>38.0</td><td>70.0</td><td>103.0</td><td>137.0</td></tr> <tr><td>150</td><td>14.0</td><td>21.0</td><td>36.0</td><td>66.0</td><td>100.0</td><td>134.0</td></tr> <tr><td>155</td><td>13.5</td><td>20.0</td><td>33.0</td><td>62.0</td><td>96.0</td><td>130.0</td></tr> <tr><td>160</td><td>13.0</td><td>19.0</td><td>31.0</td><td>58.0</td><td>93.0</td><td>127.0</td></tr> <tr><td>165</td><td>12.8</td><td>18.0</td><td>29.0</td><td>55.0</td><td>90.0</td><td>123.0</td></tr> <tr><td>170</td><td>12.6</td><td>17.0</td><td>27.0</td><td>51.0</td><td>87.0</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>175</td><td>12.4</td><td>16.5</td><td>26.0</td><td>48.0</td><td>84.0</td><td>118.0</td></tr> <tr><td>180</td><td>12.2</td><td>16.0</td><td>24.0</td><td>45.0</td><td>81.0</td><td>115.0</td></tr> <tr><td>185</td><td>12.0</td><td>15.5</td><td>23.0</td><td>43.0</td><td>78.0</td><td>112.0</td></tr> <tr><td>190</td><td>11.8</td><td>15.0</td><td>22.0</td><td>41.0</td><td>76.0</td><td>109.0</td></tr> <tr><td>195</td><td>11.6</td><td>14.5</td><td>21.0</td><td>39.0</td><td>73.0</td><td>107.0</td></tr> <tr><td>200</td><td>11.4</td><td>14.0</td><td>20.0</td><td>37.0</td><td>71.0</td><td>104.0</td></tr> <tr><td>205</td><td>11.2</td><td>13.8</td><td>19.5</td><td>35.0</td><td>68.0</td><td>102.0</td></tr> <tr><td>210</td><td>11.0</td><td>13.6</td><td>19.0</td><td>34.0</td><td>66.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>215</td><td>10.8</td><td>13.4</td><td>18.0</td><td>33.0</td><td>64.0</td><td>98.0</td></tr> <tr><td>220</td><td>10.6</td><td>13.2</td><td>17.5</td><td>31.0</td><td>62.0</td><td>96.0</td></tr> <tr><td>225</td><td>10.4</td><td>13.0</td><td>17.0</td><td>30.0</td><td>60.0</td><td>94.0</td></tr> <tr><td>230</td><td>10.2</td><td>12.8</td><td>16.5</td><td>29.0</td><td>58.0</td><td>92.0</td></tr> <tr><td>235</td><td>10.0</td><td>12.6</td><td>16.25</td><td>28.0</td><td>56.0</td><td>90.0</td></tr> <tr><td>240</td><td>9.8</td><td>12.4</td><td>16.0</td><td>27.0</td><td>54.0</td><td>88.0</td></tr> <tr><td>245</td><td>9.6</td><td>12.2</td><td>15.75</td><td>26.0</td><td>53.0</td><td>86.0</td></tr> <tr><td>250</td><td>9.4</td><td>12.0</td><td>15.5</td><td>25.5</td><td>51.0</td><td>84.0</td></tr> <tr><td>255</td><td>9.2</td><td>11.8</td><td>15.25</td><td>25.0</td><td>49.0</td><td>82.0</td></tr> <tr><td>260</td><td>9.0</td><td>11.6</td><td>15.0</td><td>24.0</td><td>47.0</td><td>80.0</td></tr> <tr><td>265</td><td>8.8</td><td>11.4</td><td>14.75</td><td>23.5</td><td>45.0</td><td>78.0</td></tr> <tr><td>270</td><td>8.6</td><td>11.2</td><td>14.5</td><td>23.0</td><td>43.0</td><td>76.0</td></tr> <tr><td>275</td><td>8.4</td><td>11.0</td><td>14.25</td><td>22.5</td><td>41.0</td><td>74.0</td></tr> <tr><td>280</td><td>8.2</td><td>10.8</td><td>14.0</td><td>22.0</td><td>40.0</td><td>72.0</td></tr> <tr><td>285</td><td>8.0</td><td>10.6</td><td>13.75</td><td>22.0</td><td>38.0</td><td>70.0</td></tr> <tr><td>290</td><td>7.8</td><td>10.4</td><td>13.5</td><td>22.0</td><td>36.0</td><td>68.0</td></tr> <tr><td>295</td><td>7.6</td><td>10.2</td><td>13.25</td><td>22.0</td><td>34.0</td><td>66.0</td></tr> <tr><td>300</td><td>7.4</td><td>10.0</td><td>13.0</td><td>22.0</td><td>33.0</td><td>65.0</td></tr> </tbody> </table>	実効距離 (D) km	マグニチュード(M)						6.0	6.5	7.0	7.5	7.9	8.5	0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	5	302.0	318.0	333.0	355.0	368.0	378.0	10	238.0	268.0	298.0	318.0	341.0	356.0	15	208.0	239.0	270.0	298.0	318.0	335.0	20	187.0	219.0	248.0	272.0	298.0	320.0	25	170.0	201.0	230.0	250.0	282.0	305.0	30	155.0	187.0	215.0	239.0	268.0	293.0	35	139.0	175.0	203.0	225.0	254.0	282.0	40	123.0	163.0	192.0	214.0	243.0	272.0	45	107.0	150.0	181.0	203.0	231.0	261.0	50	91.0	138.0	169.0	194.0	222.0	251.0	55	78.0	126.0	158.0	184.0	211.0	241.0	60	66.0	116.0	150.0	175.0	202.0	234.0	65	56.0	105.0	140.0	167.0	193.0	225.0	70	48.0	96.0	131.0	158.0	184.0	217.0	75	40.0	86.0	123.0	150.0	176.0	209.0	80	35.0	78.0	115.0	143.0	168.0	202.0	85	30.0	69.0	107.0	136.0	161.0	195.0	90	26.0	61.0	99.0	129.0	155.0	189.0	95	23.0	56.0	91.0	122.0	149.0	183.0	100	21.0	51.0	84.0	116.0	143.0	177.0	105	20.0	46.0	77.0	110.0	138.0	172.0	110	19.0	42.0	70.0	104.0	133.0	167.0	115	18.0	39.0	64.0	99.0	128.0	162.0	120	17.0	36.0	58.0	95.0	123.0	158.0	125	16.5	32.0	52.0	89.0	119.0	153.0	130	16.0	30.0	48.0	84.0	115.0	148.0	135	15.5	27.0	45.0	79.0	111.0	145.0	140	15.0	25.0	41.0	74.0	107.0	141.0	145	14.5	23.0	38.0	70.0	103.0	137.0	150	14.0	21.0	36.0	66.0	100.0	134.0	155	13.5	20.0	33.0	62.0	96.0	130.0	160	13.0	19.0	31.0	58.0	93.0	127.0	165	12.8	18.0	29.0	55.0	90.0	123.0	170	12.6	17.0	27.0	51.0	87.0	121.0	175	12.4	16.5	26.0	48.0	84.0	118.0	180	12.2	16.0	24.0	45.0	81.0	115.0	185	12.0	15.5	23.0	43.0	78.0	112.0	190	11.8	15.0	22.0	41.0	76.0	109.0	195	11.6	14.5	21.0	39.0	73.0	107.0	200	11.4	14.0	20.0	37.0	71.0	104.0	205	11.2	13.8	19.5	35.0	68.0	102.0	210	11.0	13.6	19.0	34.0	66.0	100.0	215	10.8	13.4	18.0	33.0	64.0	98.0	220	10.6	13.2	17.5	31.0	62.0	96.0	225	10.4	13.0	17.0	30.0	60.0	94.0	230	10.2	12.8	16.5	29.0	58.0	92.0	235	10.0	12.6	16.25	28.0	56.0	90.0	240	9.8	12.4	16.0	27.0	54.0	88.0	245	9.6	12.2	15.75	26.0	53.0	86.0	250	9.4	12.0	15.5	25.5	51.0	84.0	255	9.2	11.8	15.25	25.0	49.0	82.0	260	9.0	11.6	15.0	24.0	47.0	80.0	265	8.8	11.4	14.75	23.5	45.0	78.0	270	8.6	11.2	14.5	23.0	43.0	76.0	275	8.4	11.0	14.25	22.5	41.0	74.0	280	8.2	10.8	14.0	22.0	40.0	72.0	285	8.0	10.6	13.75	22.0	38.0	70.0	290	7.8	10.4	13.5	22.0	36.0	68.0	295	7.6	10.2	13.25	22.0	34.0	66.0	300	7.4	10.0	13.0	22.0	33.0	65.0	<p>32地震(日本) M: 4.0~7.9</p> <p>21観測点 (港湾)</p> <p>A (基盤加速度)</p>	<p>港湾・海岸施設耐震調査手法につ いて、港湾技研資料, No.336, pp.26 ~27</p>
実効距離 (D) km	マグニチュード(M)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	6.0	6.5	7.0	7.5	7.9	8.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
5	302.0	318.0	333.0	355.0	368.0	378.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
10	238.0	268.0	298.0	318.0	341.0	356.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
15	208.0	239.0	270.0	298.0	318.0	335.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
20	187.0	219.0	248.0	272.0	298.0	320.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
25	170.0	201.0	230.0	250.0	282.0	305.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
30	155.0	187.0	215.0	239.0	268.0	293.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
35	139.0	175.0	203.0	225.0	254.0	282.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
40	123.0	163.0	192.0	214.0	243.0	272.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
45	107.0	150.0	181.0	203.0	231.0	261.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
50	91.0	138.0	169.0	194.0	222.0	251.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
55	78.0	126.0	158.0	184.0	211.0	241.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
60	66.0	116.0	150.0	175.0	202.0	234.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
65	56.0	105.0	140.0	167.0	193.0	225.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
70	48.0	96.0	131.0	158.0	184.0	217.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
75	40.0	86.0	123.0	150.0	176.0	209.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
80	35.0	78.0	115.0	143.0	168.0	202.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
85	30.0	69.0	107.0	136.0	161.0	195.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
90	26.0	61.0	99.0	129.0	155.0	189.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
95	23.0	56.0	91.0	122.0	149.0	183.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
100	21.0	51.0	84.0	116.0	143.0	177.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
105	20.0	46.0	77.0	110.0	138.0	172.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
110	19.0	42.0	70.0	104.0	133.0	167.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
115	18.0	39.0	64.0	99.0	128.0	162.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
120	17.0	36.0	58.0	95.0	123.0	158.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
125	16.5	32.0	52.0	89.0	119.0	153.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
130	16.0	30.0	48.0	84.0	115.0	148.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
135	15.5	27.0	45.0	79.0	111.0	145.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
140	15.0	25.0	41.0	74.0	107.0	141.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
145	14.5	23.0	38.0	70.0	103.0	137.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
150	14.0	21.0	36.0	66.0	100.0	134.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
155	13.5	20.0	33.0	62.0	96.0	130.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
160	13.0	19.0	31.0	58.0	93.0	127.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
165	12.8	18.0	29.0	55.0	90.0	123.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
170	12.6	17.0	27.0	51.0	87.0	121.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
175	12.4	16.5	26.0	48.0	84.0	118.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
180	12.2	16.0	24.0	45.0	81.0	115.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
185	12.0	15.5	23.0	43.0	78.0	112.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
190	11.8	15.0	22.0	41.0	76.0	109.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
195	11.6	14.5	21.0	39.0	73.0	107.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
200	11.4	14.0	20.0	37.0	71.0	104.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
205	11.2	13.8	19.5	35.0	68.0	102.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
210	11.0	13.6	19.0	34.0	66.0	100.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
215	10.8	13.4	18.0	33.0	64.0	98.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
220	10.6	13.2	17.5	31.0	62.0	96.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
225	10.4	13.0	17.0	30.0	60.0	94.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
230	10.2	12.8	16.5	29.0	58.0	92.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
235	10.0	12.6	16.25	28.0	56.0	90.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
240	9.8	12.4	16.0	27.0	54.0	88.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
245	9.6	12.2	15.75	26.0	53.0	86.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
250	9.4	12.0	15.5	25.5	51.0	84.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
255	9.2	11.8	15.25	25.0	49.0	82.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
260	9.0	11.6	15.0	24.0	47.0	80.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
265	8.8	11.4	14.75	23.5	45.0	78.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
270	8.6	11.2	14.5	23.0	43.0	76.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
275	8.4	11.0	14.25	22.5	41.0	74.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
280	8.2	10.8	14.0	22.0	40.0	72.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
285	8.0	10.6	13.75	22.0	38.0	70.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
290	7.8	10.4	13.5	22.0	36.0	68.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
295	7.6	10.2	13.25	22.0	34.0	66.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
300	7.4	10.0	13.0	22.0	33.0	65.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
13.	後藤 尚弘 亀田 戸真 杉 行太	1982	$a = 78.0 \times 10^{0.316M} / (\Delta + 30)^{1.087}$ $\begin{cases} M \geq 6.6 & a = 10.0 \times 10^{0.439M} / (\Delta + 30)^{1.083} \\ M < 6.6 & a = 375.0 \times 10^{0.217M} / (\Delta + 30)^{1.138} \end{cases}$ $\begin{cases} \Delta \leq 119\text{km} & a = 175.4 \times 10^{0.283M} / (\Delta + 30)^{1.166} \\ \Delta > 119\text{km} & a = 41.5 \times 10^{0.360M} / (\Delta + 30)^{1.098} \end{cases}$ $\begin{cases} a \geq 39\text{gal} & a = 61.0 \times 10^{0.275M} / (\Delta + 30)^{0.891} \\ a < 39\text{gal} & a = 67.9 \times 10^{0.216M} / (\Delta + 30)^{0.789} \end{cases}$ <p>計器補正後  <math>\bar{a} = 202 \times 10^{0.178M} / (\Delta + 30)^{0.666}</math>  <math>\bar{v} = 1.17 \times 10^{0.232M} / (\Delta + 30)^{0.300}</math>  <math>\bar{d} = 0.0288 \times 10^{0.356M} / (\Delta + 30)^{0.219}</math></p>	<p>M: 5.0~7.9 深さ: 0~60km</p> <p>346成分 Δ: 10~500km</p> <p>84成分 39gal以上</p> <p>28地震</p>	<p>地震動の最大地動予測におけるN 値を用いた地盤条件の評価法につ いて、土木学会論文報告集, No.317, pp.69~78</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典
				地	観測データ		
14.	亀田 弘行 後藤 尚真 杉 戸 真 太	1982	$a = U_{Ta} \cdot U_{La} \cdot C_a(S_n) \cdot \bar{a}(M, \Delta)$ $\left\{ \begin{array}{l} \bar{a}(M, \Delta) = 349 \times 10^{0.232M} / (\Delta + 30)^{0.959} \\ \quad (M \leq 6.0 \text{ or } \Delta \geq \Delta_o(M)) \\ \quad (M > 6.0 \text{ and } \Delta < \Delta_o(M)) \\ \bar{a}(M, \Delta) = 330 \\ \Delta_o(M) = 1.06 \times 10^{0.242M} - 30 \\ v = U_{Tv} \cdot U_{Lv} \cdot C_v(S_n) \cdot \bar{v}(M, \Delta) \\ \bar{v}(M, \Delta) = 2.65 \times 10^{0.360M} / (\Delta + 30)^{0.893} \\ \quad (M \leq 6.0 \text{ or } \Delta \geq \Delta_o(M)) \\ \quad (M > 6.0 \text{ and } \Delta < \Delta_o(M)) \\ \bar{v} = 2.52 \times 10^{0.144M} \\ U_{Ta}, U_{Tv} : \text{震源特性に係る補正係数} \\ U_{La}, U_{Lv} : \text{地点に係る補正係数} \\ C_a(S_n) = \begin{cases} 2.09^{S_n} & S_n \leq 0.6 \\ 1.56 & 0.6 < S_n < 1.0 \end{cases} \\ C_v(S_n) = 2.23^{S_n} \\ S_n = 0.264SI - 0.883 \\ SI = \int_{ds}^X \exp\{-0.04N(X)\} \exp(-0.14X) dX \\ N(X) : N\text{値} \\ X : \text{深度} \\ ds : N\text{値のプロファイルのある深度} \end{array} \right.$	(日本の地震)	346成分	B (N値により評価)	Microzonation and Simulation of Spatially Corrected Earthquake Motions, 3rd International Earthquake Microzonation Conference, pp.1~12

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典
				地震	観測データ		
15.	川島一彦 相沢興之 高橋和之	1983	$\log X(M, \Delta, G_i) = \log a(G_i) + b(G_i)M + c \log(\Delta + 30)$ X Amax [gal] Vmax [cm/sec] Dmax [cm]	90地震(日本) (浅発...60km以浅)	197組 (水平2成分)	B・A (2.3種)(1種) (1種は、 道路橋示方 書でいう1 種地盤、2 種は、2種・ 3種地盤、 3種は、4 種地盤にそ れぞれ相当 する。)	最大地震動の予測式、第17回地震 工学研究発表会、pp.37~40
		1982	$\log X(M, \Delta, G_i) = \log a(G_i) + b(G_i)M + c \log(\Delta + 30)$ X Amax [gal] Vmax [cm/sec] Dmax [cm]				最大地震動および地震応答スペク トルの統計解析、第6回日本地震 工学シンポジウム、pp.305~312

(海外)

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典
				地震	観測データ		
1.	Gutenberg, B. Richter, C.F.	1956	$\log a = 2.1 + 0.81M - 0.027M^2$ (震央付近の加速度) 	南Californiaの地震 深さ15km以浅		B	Earthquake magnitude intensity, energy and acceleration (second paper), B.S.S.A., Vol.46, pp.105~146
2.	Esteve, L. Rosenblueth, E.	1963	$a = 2000 \exp(0.8M) / R^2$ または $a = 110 \exp(0.8M) / R^{1.5}$			A (hard ground)	Espectros de temblores a distancias moderadas y grandes, Proc. Chilean Conf., Seismology and Earthquake Engineering
3.	Housner, G.W.	1965		カリフォルニア, ワシントンでの地震 M: 5.0~7.7	Δ: 2.3~80miles	A (firm ground)	Intensity of earthquake ground shaking near the causative fault, Proc. 3rd W.C.E.E.
4.	Milne, W.G. Davenport, A.G.	1969	$a = \{0.69 \exp(1.64M)\} / \{1.1 \exp(1.10M) + \Delta^2\}$		Δ > 20km	B	Distribution of Earthquake Risk in Canada, B.S.S.A., Vol.59, pp.729~754

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典
				地震	観測データ		
5.	Cloud, W.K.	1970	$\log(a/G) = 3.0 - 2\log(\Delta + 43) \dots \dots \dots$ 平均 $\log(a/G) = 3.5 - 2\log(\Delta + 80) \dots \dots \dots$ 大きめ G: 重力加速度 (980gal)	M: 5.8~8.3		B	Comments on earthquake records and analysis, Proc. 1st U.S.-Japan panel on wind and seismic effects.
6.	Donovan, N.C.	1973	$a = 1080 \exp(0.5M) \cdot (R+25)^{-1.32}$	M: 4~8	678データ $\Delta: 10 \sim 400\text{km}$ 日本 100データ S.F.Earthquake 214データ 300gal ~ 17 200~300gal 40 150~200gal 59 100~150gal 82 50~100gal 121 10~50gal 206 ~10gal 153	B	A Statistical Evaluation of Strong Motion Data Including the February 9, 1971 San Fernand Earthquake, 5th W.C.E.E., pp.1252~1261
7.	Esteva, L. Villaverde, R.	1973	$a = 5600 \exp(0.8M) \cdot (R+40)^{-2}$ $v = 32 \exp(M) \cdot (R+25)^{-1.7}$ $S \exp S$ a 0.64 1.90 v 0.74 2.10 S: standard error				Seismic Risk, Design Spectra, and Structural Reliability, Proceedings. 5th W.C.E.E., Vol.2, pp.2586~2597



No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典
				地震	観測データ		
8.	Schnabel, P. Seed, H.B.	1973	<p>実記録をもとに、計算により、加速度および卓越周期と距離の関係を求めている。</p>	M: 6.5~8	A	Acceleration in Rock for Earthquakes in the Western United States, B.S.S.A., Vol.63, No.2, pp.501~516	
9.	Oliveira, C.S.	1974	$y = b_1 \exp(b_2 M) \cdot [f(R)] - b_3$ <p> <math>y</math>   <math>b_1</math>   <math>b_2</math>   <math>b_3</math>   <math>f(R)</math>  <math>a</math>   1230   0.8   2.0   <math>R+25</math>  <math>v</math>   <math>\left\{ \begin{array}{l} 16 \\ 15 \end{array} \right.</math>   1.0   1.7   <math>R+25</math>  <math>d</math>   0.128   1.2   1.0   <math>R+0.17 \exp(0.59M)</math>  <math>R^{-1/4} + 150R^{-2}</math> </p>	M: 1.6~8.5	B	Seismic Risk Analysis. E.E.R.C.,74-1	

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典
				地	観測データ		
10.	Orphal, D.L. Lahoud, J.A.	1974	$a = 6.6 \times 10^{-2} \times 10^{0.42M} \times R^{-1.39}$ $v = 7.26 \times 10^{-1} \times 10^{0.52M} \times R^{-1.34}$ $d = 4.71 \times 10^{-2} \times 10^{0.57M} \times R^{-1.18}$ $a[G], R^2 = \Delta^2 + 15^2, \sigma: \text{標準偏差}$	California M: 4.1~7.0 深さ15km以内	27地点	B	Prediction of Peak Ground Motion from Earthquake, B.S.S.A., Vol.64, No.5, pp.1563~1574
11.	Duke, C.M. Eguchi, R.T. Campbell, K.W. Chow, A.W.	1976	(Soil Site ①, ②) $\ln y = A - E \ln \Delta$ (Rock Site ③, ④) $\ln y = A - E \Delta$ パラメーター Site A E S exp(S) ① 7.9443 0.9060 0.40 1.49 ② 12.5877 2.1137 0.29 1.34 ③ 6.1095 0.0327 0.33 1.39 ④ 6.2737 0.0345 0.37 1.45 a ① 6.9160 1.1568 0.08 1.08 ② 6.5419 0.9787 0.12 1.13 v ③ 4.0647 0.0357 0.29 1.34 ④ 3.2103 0.0318 0.39 1.48 ① 7.0870 1.4095 0.41 1.51 ② 4.2114 0.4815 0.21 1.23 d ③ 3.2723 0.0297 0.43 1.54 ④ 2.0084 0.0261 0.51 1.67 S: standard error	San Fernando 地震(1971) (M16.4, Ms6.6 Mb6.2)	① Soil (表層60ftまで低いVs) 11データ ② Soil 17データ ③ Sedimentary Rock 10データ ④ Basement Rock 10データ	A, B	Effects of Site on Ground Motions in the San Fernando Earthquake, Report No. UCLA-ENG-7688, University of California, Los Angeles, August
12.	Seed, H.B. Muraoka, R. Lysmer, J. Iuriss, I.M.	1976	$a = K\Delta^n$ $\Delta(\text{km})$ a { ① 0.55 0.42 0.33 0.19 0.105 0.07 0.05 ② 0.50 0.38 0.30 0.18 0.115 0.09 0.063 ③ 0.39 0.27 0.22 0.16 0.105 0.09 0.065 v { ① 34 22 8.0 4.4 ② 54 34 11.5 6.0 ③ 54 34 11.5 6.0	1934~1971のアメリカの8地震 M: 6~6.6 (平均6.5)	① Rock 25データ ② Stiff Soil 30データ ③ Deep Cohesionless Soil 20データ	A, B ① Vs>75(m/s) ② 表層45m以内 ③ 表層75m以上	Relationships of Maximum Accelerations, Maximum Velocity, Distance from Source and Local Site Conditions for Moderately Strong Earthquakes, B.S.S.A., Vol.66, No.4, pp.1323~1342

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典																																																																																																																																																
				地	観測データ																																																																																																																																																		
13.	Trifunac, M.D.	1976	$\log y = M + \log A_0(R) - \log \{y_0(M, p, s', v')\}$ p: 信頼限度 $p = 0.5$ (中央値), $p = 0.8$ (84%値) s': 地盤条件 (右欄参照) R 震央距離 v': 成分 $v' = 0$ (水平), $v' = 1$ (上下) $\log y_0 = a'p + b'M + c + d's' + e'v' + f'M^2$ パラメーター	57地震 M: 3~7.7 M 4~4.9 5~5.9 6~6.9 7~7.9	データ数 s' (0) (1) (2) 3 2 0 24 15 2 82 34 12 7 0 0	A, B (s'=0: alluvium s'=1: medium s'=2: basement rock)	Preliminary Analysis of the Peaks of Strong Earthquake Ground Motion—Dependence of Peaks on Earthquake Magnitude Epicentral Distance, and Recording Site Conditions, B.S.S.A., Vol.66, No.1, pp.189~220																																																																																																																																																
$\log_{10} A_0(R)$ VERSUS EPICENTRAL DISTANCE $R^*$																																																																																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th><math>R</math> (km)</th> <th><math>-\log_{10} A_0(R)</math></th> <th><math>R</math> (km)</th> <th><math>-\log_{10} A_0(R)</math></th> <th><math>R</math> (km)</th> <th><math>-\log_{10} A_0(R)</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.400</td><td>140</td><td>3.230</td><td>370</td><td>4.336</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.500</td><td>150</td><td>3.279</td><td>380</td><td>4.376</td></tr> <tr><td>10</td><td>1.605</td><td>160</td><td>3.328</td><td>390</td><td>4.414</td></tr> <tr><td>15</td><td>1.716</td><td>170</td><td>3.378</td><td>400</td><td>4.451</td></tr> <tr><td>20</td><td>1.833</td><td>180</td><td>3.429</td><td>410</td><td>4.485</td></tr> <tr><td>25</td><td>1.955</td><td>190</td><td>3.480</td><td>420</td><td>4.518</td></tr> <tr><td>30</td><td>2.078</td><td>200</td><td>3.530</td><td>430</td><td>4.549</td></tr> <tr><td>35</td><td>2.199</td><td>210</td><td>3.581</td><td>440</td><td>4.579</td></tr> <tr><td>40</td><td>2.314</td><td>220</td><td>3.631</td><td>450</td><td>4.607</td></tr> <tr><td>45</td><td>2.421</td><td>230</td><td>3.680</td><td>460</td><td>4.634</td></tr> <tr><td>50</td><td>2.517</td><td>240</td><td>3.729</td><td>470</td><td>4.660</td></tr> <tr><td>55</td><td>2.603</td><td>250</td><td>3.779</td><td>480</td><td>4.685</td></tr> <tr><td>60</td><td>2.679</td><td>260</td><td>3.827</td><td>490</td><td>4.709</td></tr> <tr><td>65</td><td>2.746</td><td>270</td><td>3.877</td><td>500</td><td>4.732</td></tr> <tr><td>70</td><td>2.805</td><td>280</td><td>3.926</td><td>510</td><td>4.755</td></tr> <tr><td>80</td><td>2.920</td><td>290</td><td>3.975</td><td>520</td><td>4.776</td></tr> <tr><td>85</td><td>2.958</td><td>300</td><td>4.024</td><td>530</td><td>4.797</td></tr> <tr><td>90</td><td>2.989</td><td>310</td><td>4.072</td><td>540</td><td>4.817</td></tr> <tr><td>95</td><td>3.020</td><td>320</td><td>4.119</td><td>550</td><td>4.835</td></tr> <tr><td>100</td><td>3.044</td><td>330</td><td>4.164</td><td>560</td><td>4.853</td></tr> <tr><td>110</td><td>3.089</td><td>340</td><td>4.209</td><td>570</td><td>4.869</td></tr> <tr><td>120</td><td>3.135</td><td>350</td><td>4.253</td><td>580</td><td>4.885</td></tr> <tr><td>130</td><td>3.182</td><td>360</td><td>4.295</td><td>590</td><td>4.900</td></tr> </tbody> </table>								$R$ (km)	$-\log_{10} A_0(R)$	$R$ (km)	$-\log_{10} A_0(R)$	$R$ (km)	$-\log_{10} A_0(R)$	0	1.400	140	3.230	370	4.336	5	1.500	150	3.279	380	4.376	10	1.605	160	3.328	390	4.414	15	1.716	170	3.378	400	4.451	20	1.833	180	3.429	410	4.485	25	1.955	190	3.480	420	4.518	30	2.078	200	3.530	430	4.549	35	2.199	210	3.581	440	4.579	40	2.314	220	3.631	450	4.607	45	2.421	230	3.680	460	4.634	50	2.517	240	3.729	470	4.660	55	2.603	250	3.779	480	4.685	60	2.679	260	3.827	490	4.709	65	2.746	270	3.877	500	4.732	70	2.805	280	3.926	510	4.755	80	2.920	290	3.975	520	4.776	85	2.958	300	4.024	530	4.797	90	2.989	310	4.072	540	4.817	95	3.020	320	4.119	550	4.835	100	3.044	330	4.164	560	4.853	110	3.089	340	4.209	570	4.869	120	3.135	350	4.253	580	4.885	130	3.182	360	4.295	590	4.900
$R$ (km)	$-\log_{10} A_0(R)$	$R$ (km)	$-\log_{10} A_0(R)$	$R$ (km)	$-\log_{10} A_0(R)$																																																																																																																																																		
0	1.400	140	3.230	370	4.336																																																																																																																																																		
5	1.500	150	3.279	380	4.376																																																																																																																																																		
10	1.605	160	3.328	390	4.414																																																																																																																																																		
15	1.716	170	3.378	400	4.451																																																																																																																																																		
20	1.833	180	3.429	410	4.485																																																																																																																																																		
25	1.955	190	3.480	420	4.518																																																																																																																																																		
30	2.078	200	3.530	430	4.549																																																																																																																																																		
35	2.199	210	3.581	440	4.579																																																																																																																																																		
40	2.314	220	3.631	450	4.607																																																																																																																																																		
45	2.421	230	3.680	460	4.634																																																																																																																																																		
50	2.517	240	3.729	470	4.660																																																																																																																																																		
55	2.603	250	3.779	480	4.685																																																																																																																																																		
60	2.679	260	3.827	490	4.709																																																																																																																																																		
65	2.746	270	3.877	500	4.732																																																																																																																																																		
70	2.805	280	3.926	510	4.755																																																																																																																																																		
80	2.920	290	3.975	520	4.776																																																																																																																																																		
85	2.958	300	4.024	530	4.797																																																																																																																																																		
90	2.989	310	4.072	540	4.817																																																																																																																																																		
95	3.020	320	4.119	550	4.835																																																																																																																																																		
100	3.044	330	4.164	560	4.853																																																																																																																																																		
110	3.089	340	4.209	570	4.869																																																																																																																																																		
120	3.135	350	4.253	580	4.885																																																																																																																																																		
130	3.182	360	4.295	590	4.900																																																																																																																																																		
* Only the first two digits may be assumed to be significant.																																																																																																																																																							

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典
				地震	観測データ		
14.	Blume, J.A.	1977	$a = 0.318 \exp(1.03M) \cdot 29^x \cdot (R+25)^{-x}$ ( $M \leq 6.5$ ) $a = 26 \exp(0.432M) \cdot 29^y \cdot (R+25)^{-y}$ ( $6.5 < M$ ) $X = 1.14b$ , $Y = 1.22b$ , $b = 0.5 \log(\rho Vs)$ $b$ : Site factor, $\rho$ : 密度( $g/cm^3$ ), $Vs$ : S波速度( $f/s$ )	1933~1970の795個の地震記録 2713個の原簿記	B ( $\rho Vs$ により評価)	Earthquake Ground Motion and Engineering Procedures for Important Installations near Active Faults, 3rd W.C.E.E., pp. IV-53~71	
15.	Boore, D.M. Oliver, A.A. Page, R.A. Joyner, W.B.	1978	$\log a = A + E \log \Delta$ a(G) S: standard error (水平) class 1 M A E S exp(S) $\log v = A + E \log \Delta$ (水平) class 1 M A E S exp(S)	19地震 class 1 class 2 R S R S M5~5.7 8 11 0 5 ( $\Delta = 5 \sim 30km$ ) (M6~6.4 7 9 6 22) ( $\Delta = 15 \sim 55km$ ) San Fernando 10 12 0 18 ( $\Delta = 15 \sim 100km$ ) M7.1~7.7 3 6 1 4 ( $\Delta = 40 \sim 150km$ ) R: Rock S: Soil	B 建物基礎 class 1: 1.2階建の基礎 class 2: 高層ビルの基礎	Estimation of Ground Motion Parameters, Open-File Report No.78~509, U.S. Department of the Interior Geological Survey	
			class 1 M A E S exp(S) $\log d = A + E \log \Delta$ (水平) class 1 M A E S exp(S)	class 1 M A E S exp(S) 5.3~5.7 1.81 -1.15 0.83 2.29 6.4 1.48 -0.55 0.69 2.00 7.1~7.7 2.34 -0.86 0.51 1.66 全データ M A E S exp(S) 5.3~5.7 1.60 -1.03 0.78 2.19 6.4 1.91 -0.77 0.64 1.91 サンプルナンド A E S exp(S) R1 2.72 -1.52 0.58 1.78 S1 2.07 -0.90 0.58 1.78 S2 2.09 -0.76 0.44 1.55 (上下) class 1 M A E S exp(S) class 1 M A E S exp(S) 5.3~5.7 1.22 -0.93 0.67 1.95 6.0~6.4 1.36 -1.70 0.46 1.58 7.1~7.7 1.55 -1.58 0.48 1.62	class 1 M A E S exp(S) 5.3~5.7 1.81 -1.15 0.83 2.29 6.4 1.48 -0.55 0.69 2.00 7.1~7.7 2.34 -0.86 0.51 1.66 全データ M A E S exp(S) 5.3~5.7 1.60 -1.03 0.78 2.19 6.4 1.91 -0.77 0.64 1.91 サンプルナンド A E S exp(S) R1 2.72 -1.52 0.58 1.78 S1 2.07 -0.90 0.58 1.78 S2 2.09 -0.76 0.44 1.55 (上下) class 1 M A E S exp(S) class 1 M A E S exp(S) 5.3~5.7 1.22 -0.93 0.67 1.95 6.4 1.86 -0.80 0.41 1.51	class 1 M A E S exp(S) 5.3~5.7 1.81 -1.15 0.83 2.29 6.4 1.48 -0.55 0.69 2.00 7.1~7.7 2.34 -0.86 0.51 1.66 全データ M A E S exp(S) 5.3~5.7 1.60 -1.03 0.78 2.19 6.4 1.91 -0.77 0.64 1.91 サンプルナンド A E S exp(S) R1 2.72 -1.52 0.58 1.78 S1 2.07 -0.90 0.58 1.78 S2 2.09 -0.76 0.44 1.55 (上下) class 1 M A E S exp(S) class 1 M A E S exp(S) 5.3~5.7 1.22 -0.93 0.67 1.95 6.4 1.15 -0.53 0.32 1.38	

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		通用地盤	出典
				地	観測データ		
16.	Donovan, N.C. Bornstein, A.E.	1978	$a = A \exp(BM) \cdot (R+25)^{-E}$ $A = 2,154,000(R)^{-2.1}$ $B = 0.046 + 0.445 \log R$ $E = 2.515 - 0.486 \log R$ S : standard error Peak Horizontal Acc.	M 5.0~5.6 6.0~6.6 7.7 (R 5km~)	Rock 6 14 1 計 49データ	B	Uncertainties in Seismic Risk Procedures, Journal of the Geotechnical Engineering Division, A.S.C.E., Vol.104, No.GT7, pp.869~887
17.	Faccioli, E.	1978	$\log y = \log A + BM - E \log(R+25)$ y a v d 108.6 0.265 0.808 1.72 1.48 0.282 0.425 1.79 0.10 0.479 0.691 1.79 S : standard error	23地震 M 4.9~5.6 6.0~6.8 7.4~7.8 8.0 d <20km 30~80km 100km	a v d 9 7 4 23 17 11 13 11 11 2 2 0 (47) (37) (26) 7 39 } 計47データ 1	B (Soft Soil)	Responce Spectra for Soft Soil Sites, Proceedings, Speciality Conference on Earthquake Engineering and Soil Dynamics, A.S.C.E., Vol.1, pp.441~456

No.	提案者	年	推定公式	基礎震		観測データ		適用地盤	出典						
				地	震	観測データ	観測データ								
18.	Idriss, I.M. Ng, E.	1978	$\ln y = \ln A + E \ln(\Delta + 20)$ $\ln y = \ln A' + E \ln(\Delta + 20)$ (上下動) Rock Site y            A            A'            E            S            exp(S) a{G}        1,188    1,255    -2.4    0.33    1.39 v            42,100    46,800    -2.3    0.46    1.58 d            22,360    25,600    -2.3    0.52    1.68 Stiff Soil Site y            A            A'            E            S            exp(S) a{G}        363        375        -2.1    0.26    1.30 v            6,385     6,700     -1.7    0.31    1.36 d            3,245     3,450     -1.7    0.35    1.42 S: standard error	3地震 M ~6.5	Rock 22地点 Stiff Soil 40地点 Δ5 km~	A (硬質地盤 岩盤)	Peak Horizontal Accelerations, Velocities and Displacements on Rock and Stiff Soil Sites for Moderately Strong Earth- quakes, Submitted to B.S.S.A. for possible publication, April								
								$\ln y = \ln A + E \ln(\Delta + 20)$ $\ln y = \ln A' + E \ln(\Delta + 20)$ Rock Site y            A            A'            E            S            exp(S) a{G}        930        980        -2.2    0.32    1.38 v            32,410    35,865    -2.1    0.45    1.57 d            17,060    20,810    -2.2    0.63    1.88 Stiff Soil Site (沖積200ft以内) y            A            A'            E            S            exp(S) a{G}        199        207        -1.8    0.28    1.32 v            6,950     7,250     -1.5    0.29    1.34 d            2,150     2,440     -1.4    0.50    1.65 S: standard error	3地震 M~6.4, 6.5	Rock 22地点 Stiff Soil 40地点 GL-5 m以浅 Δ5 km~70km	A, B	Peak Horizontal Accelerations, Velocities and Displacements on Rock and Stiff Soil Sites for Moderately Strong Earthquakes, Submitted to B.S.S.A. for possible publication, April			
													19.	Idriss, I.M. Power, M.S.	1978

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典
				地震	観測データ		
20.	McGuire, R.K.	1978	$\ln y = A + BM + E \ln R + GYs$ $y \quad A \quad B \quad E \quad G \quad S \quad \exp(S)$ $a \quad 3.40 \quad 0.89 \quad -1.17 \quad -0.20 \quad 0.62 \quad 1.86$ $v \quad -1.00 \quad 1.07 \quad -0.96 \quad 0.07 \quad 0.64 \quad 1.90$ $d \quad -2.72 \quad 1.00 \quad -0.63 \quad 0.12 \quad 0.69 \quad 1.99$ $Ys = \begin{cases} 0 : \text{Rock Site} \\ 1 : \text{Soil Site} \end{cases} \quad S : \text{standard error}$	39地震 M 4.5 5~5.9 6~6.6 7.7 データ数 140 Rock Soil 2 0 12 64 8 44 0 10 (沖積10m以上)	A, B	Seismic Ground Motion Parameter Relations, Journal of the Geotechnical Division, A.S.C.E., Vol.104, No.GT4, pp.481~490	
21.	Patwardhan, A. Sadigh, K. Idriss, I.M. Youngs, R.	1978	$\ln y = \ln A + BMs + E \ln(R+C)$ $C = 0.864 \exp(0.463Ms)$ (Shallow Focus) Rock Site $y \quad A \quad B \quad E \quad S \quad \exp(S)$ $a \quad 157 \quad 186 \quad 1.04 \quad -1.30 \quad 0.58 \quad 1.79$ $v \quad 0.604 \quad 0.718 \quad 1.22 \quad -1.47 \quad 0.59 \quad 1.80$ Stiff Soil Site $y \quad A \quad B \quad E \quad S \quad \exp(S)$ $a \quad 191 \quad 224 \quad 0.823 \quad -1.56 \quad 0.57 \quad 1.77$ $v \quad 0.836 \quad 1.03 \quad 1.22 \quad -1.43 \quad 0.65 \quad 1.92$ (Subduction Zone) $y \quad A \quad B \quad E \quad S \quad \exp(S)$ $a \quad 284 \quad 363 \quad 0.587 \quad -1.05 \quad 0.70 \quad 2.01$ $v \quad 5.33 \quad 6.66 \quad 0.720 \quad -1.05 \quad 0.67 \quad 1.95$ $S : \text{standard error}$	Shallow Focus データ数 63 Stiff Soil Rock Soil 3 8* 3 10* 15 23 0 1 7.7 25地震 (カリフォルニア, 日本, マナグア, ニカラグア, インド) * : 3データずつ日本 Subduction Zone データ数 32 Stiff Soil Rock Soil - 8 - 8 - 16 23地震 (日本, 南米)	A, B	Attenuation of Strong Ground Motion—Effect of Site Conditions, Transmission Path Characteristics, and Focal Depths, to be submitted to the B.S.S.A. for possible publication	

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典																																																		
				地震	観測データ																																																				
22.	Sadigh, K. Power, M.S. Youngs, R.	1978	$\bar{y} = \bar{\alpha}(\Delta + 20)^\beta$ $a \text{ (G) } \begin{matrix} H & \bar{\alpha} & \beta & S \\ V & 76.5 & -1.6 & 0.45 \\ & 232 & -2.0 & 0.35 \\ H & 3140 & -1.3 & 0.41 \\ V & 2340 & -1.4 & 0.47 \\ H & 810 & -1.1 & 0.50 \\ V & 265 & -1.0 & 0.53 \end{matrix}$	11地震 ML 6.3~6.5 depth. 20km以浅	19記録 deep soil sites (表層200ft以上) Δ10~200km	B	Peak Horizontal and Vertical Accelerations, Velocities and Displacements on Deep Soil Sites during Moderately Strong Earthquake, 2nd International Conference on Microzonation, pp.801~811																																																		
23.	Nuttli, O.W.	1979	$a = A_0 e^{1.5 M_0 \Delta^{-\frac{5}{6}} e^{-\gamma \Delta}}$ $A_0: A (\Delta = 1 \text{ km})$ $\gamma: \text{coefficient of anelastic attenuation}$	アメリカ中西部の地震		B	The Relations of Substained Maximum Ground Acceleration and Velocity to Earthquake Intensity and Magnitude, State-of-the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, Misc Paper S-73-1, Rept.16																																																		
24.	Boore, D.M. Joyner, W.B. Oliver, A.A. Page, R.A.	1980	$\log a = \alpha + \beta \log \Delta$ <table border="0"> <tr> <td>M</td> <td>Δ</td> <td>α</td> <td>β ± σ</td> <td>データ数</td> </tr> <tr> <td>5.0~5.7</td> <td>5~30km</td> <td>0.2</td> <td>-0.9 ± 0.5</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td></td> <td>15~55km</td> <td>1.0</td> <td>-1.2 ± 0.3</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td></td> <td>40~150km</td> <td>2.6</td> <td>-2.0 ± 0.4</td> <td>9</td> </tr> </table> $\log v = \alpha + \beta \log \Delta$ <table border="0"> <tr> <td>M</td> <td>Δ</td> <td>α</td> <td>β</td> <td>データ数</td> </tr> <tr> <td>5.3~5.7</td> <td>5~30km</td> <td>2.4</td> <td>-1.2 ± 0.6</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>6.4</td> <td>15~55km</td> <td>1.9</td> <td>-0.6 ± 0.4</td> <td>14</td> </tr> </table> $\log d = \alpha + \beta \log \Delta$ <table border="0"> <tr> <td>M</td> <td>Δ</td> <td>α</td> <td>β</td> <td>データ数</td> </tr> <tr> <td>5.3~5.7</td> <td>5~30km</td> <td>1.8</td> <td>-1.2 ± 0.6</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>6.4</td> <td>15~55km</td> <td>1.5</td> <td>-0.6 ± 0.5</td> <td>14</td> </tr> </table>	M	Δ	α	β ± σ	データ数	5.0~5.7	5~30km	0.2	-0.9 ± 0.5	19		15~55km	1.0	-1.2 ± 0.3	16		40~150km	2.6	-2.0 ± 0.4	9	M	Δ	α	β	データ数	5.3~5.7	5~30km	2.4	-1.2 ± 0.6	11	6.4	15~55km	1.9	-0.6 ± 0.4	14	M	Δ	α	β	データ数	5.3~5.7	5~30km	1.8	-1.2 ± 0.6	11	6.4	15~55km	1.5	-0.6 ± 0.5	14	19地震 M 5~7.6	204記録 Δ15~100km	B	Peak Acceleration, Velocity and Displacement from Strong Motion Records, B.S.S.A., Vol.70, No.1, pp.305~321
M	Δ	α	β ± σ	データ数																																																					
5.0~5.7	5~30km	0.2	-0.9 ± 0.5	19																																																					
	15~55km	1.0	-1.2 ± 0.3	16																																																					
	40~150km	2.6	-2.0 ± 0.4	9																																																					
M	Δ	α	β	データ数																																																					
5.3~5.7	5~30km	2.4	-1.2 ± 0.6	11																																																					
6.4	15~55km	1.9	-0.6 ± 0.4	14																																																					
M	Δ	α	β	データ数																																																					
5.3~5.7	5~30km	1.8	-1.2 ± 0.6	11																																																					
6.4	15~55km	1.5	-0.6 ± 0.5	14																																																					



No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典
				地震	観測データ		
25.	Espinosa, A.F.	1980	$\log a = M_L - 2.96 - 0.11 \log \Delta - 0.5 (\log \Delta)^2$ $\Delta \leq 10 \text{ km} \quad \log a = M_L - 3.29 - 0.06 \log \Delta$ $10 \leq \Delta \leq 60 \text{ km} \quad \log a = M_L - 1.76 - 1.59 \log \Delta$ $60 \leq \Delta \leq 300 \text{ km} \quad \log a = M_L + 0.61 - 1.93 \log \Delta$ ML: 表面波マグニチュード	64地震 (カリフォルニア 57 モンタナ 5 ワシントン 2) ML 4.0~7.5	$\Delta$ 5~300km	B	Attenuation of Strong Horizontal Ground Accelerations in the Western United States and their Relation to ML B.S.S.A., Vol.70, No.2, pp.583~616
26.	Campbell, K.W.	1981	$a = 0.0159 \exp(0.868M) (R + 0.0606 \exp(0.7M))^{-1.09}$ a: [G]			B	Near-Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration, B.S.S.A., Vol.71, No.6, pp.2039~2070
27.	Chiarruttini, C. Siro, L.	1981	$\log a = 0.04 + 0.24 (\pm 0.05) X_{AN} + 0.23 (\pm 0.05) X_{AB}$ $+ 0.41 (\pm 0.03) M_L - 0.99 (\pm 0.08) \log R$ a: [G/100] $X_{AN} = \begin{cases} 1: \text{アンコナ} \\ 0: \text{以外} \end{cases}$ $X_{AB} = \begin{cases} 1: \text{アルピデ帯} \\ 0: \text{以外} \end{cases}$ $\log a = 0.57 - 0.25 (\pm 0.09) X_{AI} + 0.39 (\pm 0.06) M_L$ $- 1.04 (\pm 0.17) \log R$ $X_{AI} = \begin{cases} 1: \text{①, ③ 沖積} \\ 0: \text{② Rock} \end{cases}$ ML: 表面波マグニチュード	1976 フリウリ 地震(F) 1972 アンコナ 地震(AN) アルピデ帯の 地震(AB)	ML 3.6~6.2 120 3.4~4.7 40 2.7~4.8 64 計 224 地盤条件(XAI) ①沖積層20m以上 F: 36 ②Rock F: 24, AB: 25 ③沖積層20m以内 F: 60	A, B	The Corelation of Peak Ground Horizontal Acceleration with Magnitude, Distance and Seismic Intensity for Friuli and Ancona, Italy and the Alpiide Belt, B.S.S.A., Vol.71, No.6, pp.1993~2009
28.	Hasegawa, H.S. Basham, P.W. Berry, M.J.	1981	$a = 10.0 \exp(1.3M) R^{-1.5}$	カナダ西部		B	Attenuation Relations for Strong Ground Motion in Canada, B.S.S.A., Vol.71, No.6, pp.1943~1962

No	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典																																			
				地	観測データ																																					
29.	Joyner, W.B. Boore, D.M.	1981	$\log a = -1.02 + 0.249M - \log R - 0.00255R + 0.26P$ $a : (G)$ $R^2 = d^2 + 7.3^2 \quad (5.0 \leq M \leq 7.7)$ $P = \begin{cases} 0 : 50\% \text{値} \\ 1 : 84\% \text{値} \end{cases}$ $d : \text{震源深さ (km)}$ $\log v = -0.67 + 0.489M - \log R - 0.00256R + 0.17S + 0.22P$ $R^2 = d^2 + 4.0^2$ $S = \begin{cases} 0 : \text{Rock Site} \\ 1 : \text{Soil Site} \end{cases}$	23地震 10 北米のM>5.0 深さ20km以浅	182記録(加速度) 62 (速度)	A, B	Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Strong-motion Records including Records from the 1979 Imperial Valley, California, Earthquake, B.S.S.A., Vol.71, No.6, pp.2011~2038																																			
30.	Bolt, B.A. Abrahamson, N.A.	1982	$a = a' \{ (\Delta + d)^2 + 1 \}^c \cdot e^{-b(\Delta + d)}$ Standard <table border="1"> <thead> <tr> <th>M</th> <th>a'</th> <th>b</th> <th>c</th> <th>d</th> <th>error</th> <th>intercept</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5 &lt; M &lt; 6</td> <td>1.2</td> <td>0.066</td> <td>0.033</td> <td>23</td> <td>0.06G</td> <td>0.34G</td> </tr> <tr> <td>6 ≤ M &lt; 7</td> <td>1.2</td> <td>0.044</td> <td>0.042</td> <td>25</td> <td>0.10G</td> <td>0.52G</td> </tr> <tr> <td>7 ≤ M &lt; 7.7</td> <td>0.24</td> <td>0.022</td> <td>0.10</td> <td>15</td> <td>0.05G</td> <td>0.30G</td> </tr> <tr> <td>6 ≤ M &lt; 7.7</td> <td>1.6</td> <td>0.026</td> <td>-0.19</td> <td>8.5</td> <td>0.09G</td> <td>0.57G</td> </tr> </tbody> </table> $a : \text{effective acceleration (G)}$	M	a'	b	c	d	error	intercept	5 < M < 6	1.2	0.066	0.033	23	0.06G	0.34G	6 ≤ M < 7	1.2	0.044	0.042	25	0.10G	0.52G	7 ≤ M < 7.7	0.24	0.022	0.10	15	0.05G	0.30G	6 ≤ M < 7.7	1.6	0.026	-0.19	8.5	0.09G	0.57G	10地震 M 5.3~7.4	59記録 Δ 0.6~122km	B	New Attenuation Relations for Peak and Expected Accelerations of Strong Ground Motion, B.S.S.A., Vol.72, No.6A, pp.2307~2322
M	a'	b	c	d	error	intercept																																				
5 < M < 6	1.2	0.066	0.033	23	0.06G	0.34G																																				
6 ≤ M < 7	1.2	0.044	0.042	25	0.10G	0.52G																																				
7 ≤ M < 7.7	0.24	0.022	0.10	15	0.05G	0.30G																																				
6 ≤ M < 7.7	1.6	0.026	-0.19	8.5	0.09G	0.57G																																				

No.	提案者	年	推定公式	基礎データ		適用地盤	出典																																										
				地震	観測データ																																												
31.	Campbell, K.W.	1982	$a = 0.0137e^{0.77M}(R + 0.012e^{0.895M})^{-0.797}e^{-\gamma R}$ $\gamma_c = \frac{0.006}{T^{0.45}} \quad \gamma_u = \frac{0.0018}{T^{0.8}}$ $T = \begin{cases} -0.229 + 0.0650M + (0.000556M - 0.00172)R & M \geq 7.0 \\ -0.043 + 0.0382M + (0.000556M - 0.00172)R & M < 7.0 \end{cases}$ <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>M</th> <th>R (km)</th> <th><math>\gamma_c</math></th> <th><math>\gamma_u</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">5.5</td> <td>25</td> <td>0.0130</td> <td>0.0065</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>0.0124</td> <td>0.0058</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0.0103</td> <td>0.0047</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">6.5</td> <td>25</td> <td>0.0118</td> <td>0.0054</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>0.0103</td> <td>0.0047</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0.0091</td> <td>0.0038</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">7.5</td> <td>300</td> <td>0.0079</td> <td>0.0022</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>0.0106</td> <td>0.0045</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>0.0093</td> <td>0.0039</td> </tr> <tr> <td></td> <td>100</td> <td>0.0082</td> <td>0.0031</td> </tr> <tr> <td></td> <td>300</td> <td>0.0060</td> <td>0.0018</td> </tr> </tbody> </table> <p>サフィックスの c は California, u は North Central Utah</p>	M	R (km)	$\gamma_c$	$\gamma_u$	5.5	25	0.0130	0.0065	50	0.0124	0.0058	100	0.0103	0.0047	6.5	25	0.0118	0.0054	50	0.0103	0.0047	100	0.0091	0.0038	7.5	300	0.0079	0.0022	25	0.0106	0.0045	50	0.0093	0.0039		100	0.0082	0.0031		300	0.0060	0.0018	アメリカの27地点 M 5.0~7.7	162記録	B	A Preliminary Methodology for the Regional Zonation of Peak Ground Acceleration, 3rd International Earthquake Microzonation Conference, pp.365~376
M	R (km)	$\gamma_c$	$\gamma_u$																																														
5.5	25	0.0130	0.0065																																														
	50	0.0124	0.0058																																														
	100	0.0103	0.0047																																														
6.5	25	0.0118	0.0054																																														
	50	0.0103	0.0047																																														
	100	0.0091	0.0038																																														
7.5	300	0.0079	0.0022																																														
	25	0.0106	0.0045																																														
	50	0.0093	0.0039																																														
	100	0.0082	0.0031																																														
	300	0.0060	0.0018																																														
32.	Casaverde, L.A. Vargas, J.N.	1982	$a = 68.7e^{0.8M}(R + 25)^{-1.0}$ $v = 13e^{1.0M}(R + 25)^{-1.5}$ $d = 0.41e^{1.2M}(R + 25)^{-1.3}$	ペルーの27地震		B	Preliminary Map of Seismic Zonification of Peru, 第6回日本地震工学シンポジウム, pp.17~24																																										

