

# 想定地震に基づくレベル2地震動の試算

片岡正次郎<sup>1</sup>・田村敬一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) 国土交通省国土技術政策総合研究所地震防災研究室 (〒305-0804 つくば市旭1)

<sup>2</sup>正会員 工博 独立行政法人土木研究所耐震研究グループ (〒305-8516 つくば市南原1-6)

東京湾口部及び伊勢湾口部を対象としたレベル2地震動の試算を行った。まず、1923年関東地震及び1944年南海地震に対して推定されている断層面をもとに、各断層パラメータ間の関係式等を用いて断層モデルを設定した。ただし、震源位置及びアスペリティ位置については事前に想定することが困難なため、断層面内で系統的に設定した。次に、K-net観測点のうちI種地盤で得られた地震記録を用いて作成した加速度応答スペクトルと加速度波形の経時特性の推定式から、小地震による地震動を作成し、それを重ね合わせることで、想定地震に対するレベル2地震動の試算を行った。得られた結果は、長い継続時間や固有周期約1秒より長周期側でも大きな加速度応答を示すなど、全体的には海溝型巨大地震による地震動の特徴を示した。

**Key Words :** scenario earthquake, source fault model, stochastic Green's function method, level 2 earthquake motion

## 1. はじめに

地表で観測される地震動の特性は、地震波を発生させる震源断層の特性、伝播経路の特性、表層地盤の増幅特性の影響を受けている。レベル2地震動の設定に際しては、これらの影響を的確に評価する必要がある<sup>1)</sup>ことから、対象地点周辺で発生する地震を想定地震として特定し、その想定地震によって対象地点で発生する地震動を推定することにより、レベル2地震動を設定する試みが始められている<sup>2),3)</sup>。しかしながら、そのような事例は数少なく、今後も種々の手法を用いた試算、検討事例の積み重ねが必要であると考えられる。

本稿では、国土交通省で検討を行っている断層モデルの設定手法及び統計的グリーン関数法に基づく地震動推定手法<sup>4)</sup>を用いて、東京湾口部及び伊勢湾口部を対象としたレベル2地震動の試算を行った結果について報告する。まず、1923年関東地震及び1944年南海地震に対して推定されている断層面をもとに、海溝型地震を対象とした断層モデルの設定手法<sup>4)</sup>にしたがって断層モデルを設定した。次に、K-net観測点のうちI種地盤で得られた地震記録を用いて作成した加速度応答スペクトルと加速度波形の経時特性の推定式<sup>5)</sup>から、小地震による地震動を作成し、断層の不均一な破壊を考慮した波形合成法を用いて重ね合わせることで、想定地震に対するレベル2地震動の試算を行った。

## 2. 東京湾口部を対象とした試算

### (1) 断層モデルの設定

ここでは、1923年関東地震と同タイプの地震を対

象とするが、その際に次のように仮定する。また、試算対象地点は東京湾口部 (35.25N, 139.75E) である。

- ①断層面の位置と大きさ、形状は図-1に示す1923年関東地震と同一とする。すなわち、走向 $\phi = 290[\text{deg}]$ 、傾斜角 $\delta = 25[\text{deg}]$ 、断層長さ $L = 130[\text{km}]$ 、断層幅 $W = 70[\text{km}]$ 、断層面上端深さ $d = 2[\text{km}]$ とする<sup>6)</sup>。
- ②震源域での平均的な地盤の物性値は、せん断剛性率 $\mu = 3.85 \times 10^{11}[\text{dyne/cm}^2]$ 、密度 $\rho = 2.8[\text{g/cm}^3]$ 、S波速度 $\beta = 3.71[\text{km/s}]$ とする<sup>7)</sup>。
- ③アスペリティは2個とする。

残りのパラメータについては海溝型地震を対象とした断層モデルの設定手法<sup>4)</sup>にしたがって定めた。設定したパラメータをまとめて表-1に示す。ただし、

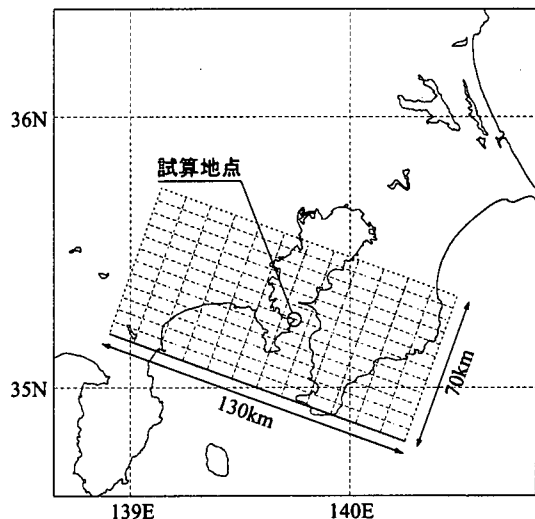


図-1 試算に用いた1923年関東地震の断層モデル

表-1 設定した関東地震の断層パラメータ

パラメータ	設定値
走向 $\phi$ [deg], 傾斜角 $\delta$ [deg]	290, 25
断層長さ $L$ [km]	130
断層幅 $W$ [km]	70
地震モーメント $M_0$ [dyne $\cdot$ cm]	$1.06 \times 10^{28}$
平均くい違い量 $D$ [cm]	303
立ち上がり時間 $\tau$ [s]	4.35
破壊伝播速度 $v$ [km/s]	3.0
アスペリティ(大)面積 $S_{a1}$ [km $^2$ ]	1517
アスペリティ(小)面積 $S_{a2}$ [km $^2$ ]	758
アスペリティ(大)くい違い量 $D_{a1}$ [cm]	673
アスペリティ(小)くい違い量 $D_{a2}$ [cm]	476
背景領域くい違い量 $D_b$ [cm]	202
アスペリティ応力降下量 $\sigma_a$ [MPa]	16
背景領域応力降下量 $\sigma_b$ [MPa]	2

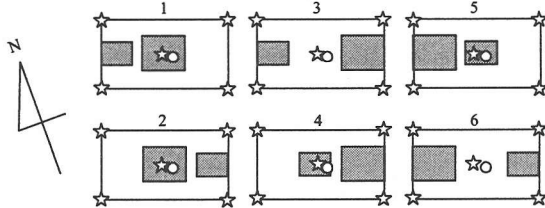


図-2 設定した断層モデルの震源及びアスペリティの位置 (☆: 震源、○: 試算地点)

アスペリティと震源の位置は事前に想定することが困難であるため、ここでは図-2に示す6ケースのアスペリティ位置、5ケースの震源位置を用いて計30ケースの断層モデルを設定した。

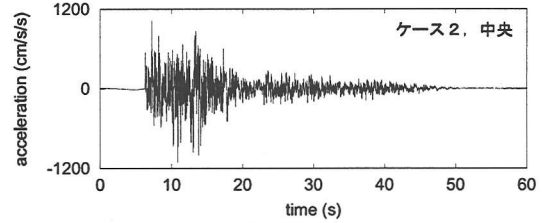
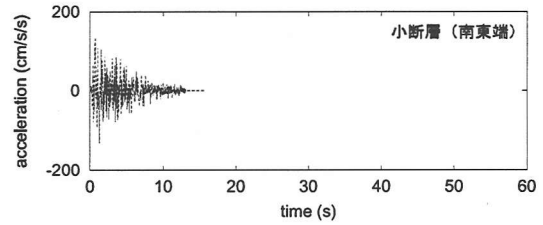
### (2) 小地震のパラメータ

Irikura(1988)<sup>8)</sup>による断層の不均一な破壊を考慮した波形合成法を用いて大地震の際の地震動を推定する。大地震と小地震の地震モーメント  $M_0$ 、 $M_0e$  には次の関係が成り立つ<sup>9)</sup>。

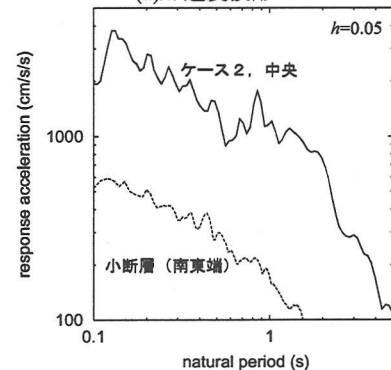
$$M_0e = M_0/cN^3 \quad (1)$$

ここで、 $N$  は分割数、 $c$  は大地震と小地震の応力降下量の比である。ここでは分割数  $N=12$  とする。大地震の平均応力降下量は  $\sigma = 16 \times 0.25 + 2 \times 0.75 = 5.5$  [MPa] となる。また、ここで用いる加速度応答スペクトルの評価式の元になっている地震（東日本で発生した海溝型地震）の応力降下量の平均的な値を推定し、小地震の応力降下量  $\sigma_e = 20$  [MPa] とした。したがって、 $c = 0.275$  である。以上の値を式(1)に代入すると、小地震の地震モーメントは  $M_0e = 2.23 \times 10^{25}$  [dyne $\cdot$ cm] となる。

小地震による地震動は、K-net 観測点のうち I 種地盤で得られた地震記録（水平 2 成分、S 波初動部とそれ以降）を用いて作成した推定式<sup>9)</sup>から得られる加速度応答スペクトルと経時特性にフィッティングさせて作成する。ここでは、小地震による地震動に含まれる種々の不確定性を考慮するため、各固有周期について算出されている標準偏差だけ大きくした加速度応答スペクトルを用いて小地震による地震



(a) 加速度波形



(b) 加速度応答スペクトル

図-3 試算した加速度波形とその応答スペクトルの例

動を作成した。この加速度応答スペクトルは、平均的な加速度応答スペクトルよりも 1.6~1.8 倍大きい加速度応答値をもっている。

海溝型地震（東日本）に関する  $M_0$  と  $M_J$  の関係式は、

$$\log M_0 = 1.217 M_J + 17.830 \quad (e=0.208)$$

となっている。ただし、 $e$  は標準偏差である。ここでは  $M_0$  から  $M_J$  を求める際に、この標準偏差の値を定数項から差し引いた式

$$\log M_0 = 1.217 M_J + 17.622$$

を用いた結果、小地震のマグニチュード  $M_{Jc} = 6.3$  となった。

### (3) 試算結果

試算した 30 ケースでは、最大加速度が 330~1100 [cm/s $^2$ ] の範囲となった。これらのうち、最大加速度が最も大きいケース（図-2 のアスペリティ位置 2、震源位置中央）について、加速度波形及び加速度応答スペクトルを図-3 に示す。なお、これらの図には断層面の南東端に位置する小断層による地震動についても示してある。また、図-4 には 30 ケースの加速度応答スペクトルを、各固有周期において非超過確率 90% の応答スペクトルとともに示す。図-4 から分かるように、試算結果は周期 0.1~5 秒の範囲で周期が長くなるとほぼ単調に加速度応答が小さくなっている。これは、図-3(b) に示したように、小断層から発生した地震動として用いた統計的

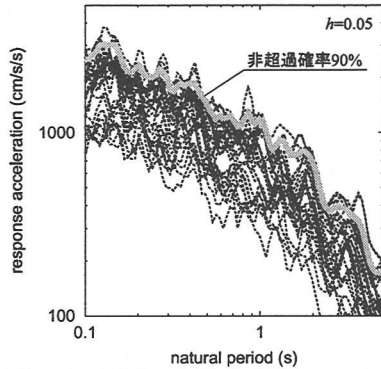


図-4 試算した地震動の加速度応答スペクトルの変動

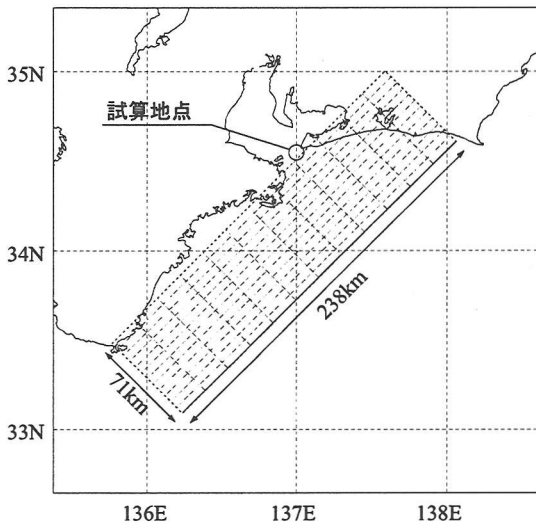


図-5 試算に用いた1944年南海地震の断層モデル

グリーン関数の応答スペクトル特性が現れているものと考えられる。ただし、試算結果は長い継続時間や周期約1秒より長周期側でも大きな加速度応答を示すなど、全体的には海溝型巨大地震による地震動の特徴を示していることが分かる。

### 3. 伊勢湾口部を対象とした試算

#### (1) 断層モデルの設定

ここでは、1944年南海地震と同タイプの地震を対象とするが、その際に次のように仮定する。また、試算対象地点は伊勢湾口部(34.55N, 137.00E)である。

- ① 断層面の位置と大きさ、形状は、Inouchi and Sato(1975)<sup>10)</sup>が提案した2つのセグメントからなる断層モデルを、図-5に示すように1つのセグメントに簡略化したものを用いる。すなわち、 $\phi = 225[\text{deg}]$ 、 $\delta = 30[\text{deg}]$ 、 $L = 238[\text{km}]$ 、 $W = 71[\text{km}]$ 、 $d = 0[\text{km}]$ とする。
- ② 震源域での平均的な地盤の物性値は、 $\mu = 5.00 \times 10^{11}[\text{dyne/cm}^2]$ <sup>11)</sup>、 $\rho = 3.1[\text{g/cm}^3]$ 、 $\beta = 4.00[\text{km/s}]$ とする。
- ③ アスペリティは2個とする。

残りのパラメータについては2.と同様に、海溝型地震を対象とした断層モデルの設定手法<sup>4)</sup>にしたがって定めた。設定したパラメータをまとめて表-2

表-2 設定した南海地震の断層パラメータ

パラメータ	設定値
走向 $\phi$ [deg]、傾斜角 $\delta$ [deg]	225, 30
断層長さ $L$ [km]	238
断層幅 $W$ [km]	71
地震モーメント $M_0$ [dyne·cm]	$2.69 \times 10^{28}$
平均くい違い量 $D$ [cm]	319
立ち上がり時間 $\tau$ [s]	5.93
破壊伝播速度 $v$ [km/s]	3.2
アスペリティ(大)面積 $S_{a1}$ [km <sup>2</sup> ]	2816
アスペリティ(小)面積 $S_{a2}$ [km <sup>2</sup> ]	1408
アスペリティ(大)くい違い量 $D_{a1}$ [cm]	708
アスペリティ(小)くい違い量 $D_{a2}$ [cm]	501
背景領域くい違い量 $D_b$ [cm]	214
アスペリティ応力降下量 $\sigma_a$ [MPa]	16
背景領域応力降下量 $\sigma_b$ [MPa]	2

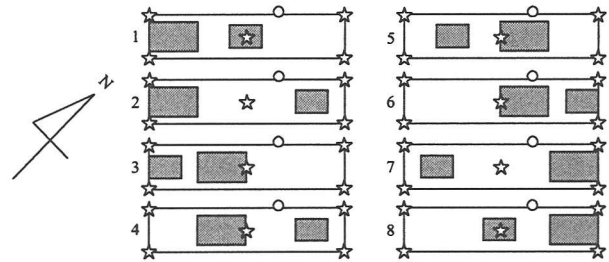


図-6 設定した断層モデルの震源及びアスペリティの位置(☆:震源、○:試算地点)

に示す。ここでは、図-6に示す8ケースのアスペリティ位置、5ケースの震源位置を用いて計40ケースの断層モデルを設定した。

#### (2) 小地震のパラメータ

2.と同様に小地震の地震モーメントとマグニチュードを計算すると、 $M_0 = 5.66 \times 10^{26}[\text{dyne} \cdot \text{cm}]$ 、 $M_e = 6.7$ となった。また、加速度応答スペクトルと経時特性の推定式は2.と同一のものを用いる。

#### (3) 試算結果

試算した40ケースでは、最大加速度が180~790[cm/s<sup>2</sup>]の範囲となった。これらのうち、最大加速度が最も大きいケース(図-6のアスペリティ位置6、震源位置右上)について、加速度波形及び加速度応答スペクトルを図-7に示す。なお、これらの図には断層面の東端に位置する小断層による地震動についても示してある。また、図-8には40ケースの加速度応答スペクトルを、各固有周期において非超過確率90%の応答スペクトルとともに示す。

図-8と図-4を比較すると、周期0.1~5秒の範囲で周期が長くなるとほぼ単調に加速度応答が小さくなっている点は共通している。また、図-8の非超過確率90%の応答スペクトルは図-4と比較して短周期側のピーク値が1/2程度になっているものの、長周期側ほどその差は小さくなっている。図-8の応答スペクトルが全体的に図-4よりも小さい理由としては、断層面と試算地点との距離の違いが挙げられる。断

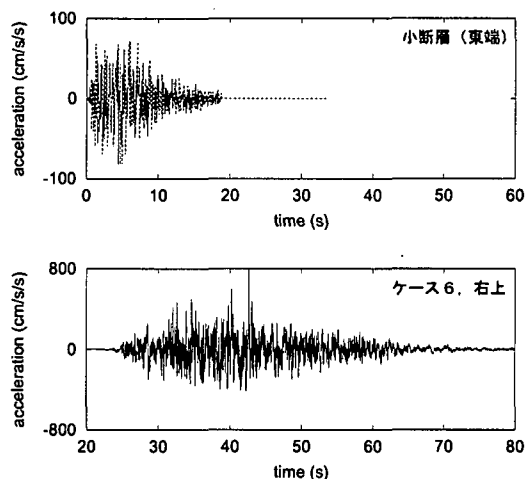


図-7 試算した加速度波形とその応答スペクトルの例  
 (a)加速度波形  
 (b)加速度応答スペクトル

層面から試算地点までの最短距離をとると、ここでは31[km]であるが、2. では15[km]である。また、長周期側ほどその差が小さくなるのは、ここで用いた小地震の規模 $M_{je}=6.7$ が2. で用いた小地震の規模 $M_{je}=6.3$ よりも大きく、長周期成分がより卓越している地震動を重ね合わせているためである。

#### 4. まとめ

本稿では、1923年関東地震及び1944年東南海地震に対して推定されている断層面をもとに断層モデルを設定し、統計的グリーン関数法により東京湾口部及び伊勢湾口部を対象としたレベル2地震動の試算を行った。地震動の重ね合わせに際しては、断層破壊の不均一性を考慮した波形合成法を用いた。得られた結果は、長い継続時間や周期約1秒より長周期側でも大きな加速度応答を示すなど、全体的には海溝型巨大地震による地震動の特徴を示した。

今回の試算に必要な情報は基本的には断層面の位置と大きさ、試算地点の位置のみであり、任意の海溝型地震を対象として任意の地点における地震動を推定することが可能である。

ただし、ここではS波と表面波を全く同様に扱っているほか、I種地盤で得られた地震記録から得られた加速度応答スペクトル、経時特性の推定式を用いて統計的グリーン関数を作成しているため、試算結果には観測地点ごとの表層地盤の影響が平均化さ

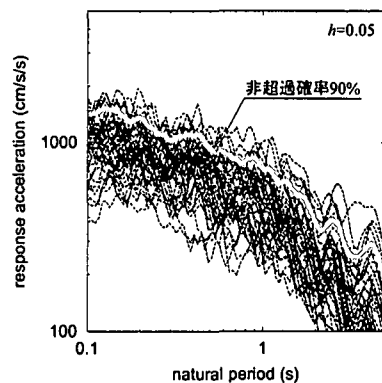


図-8 試算した地震動の加速度応答スペクトルの変動

れ、推定誤差として含まれている。これらの点について、今後さらに検討を進めていく予定である。

謝辞：本研究の実施に当たっては、土木研究所に設置された「レベル2地震動の設定手法に関する技術検討会（座長：大町達夫東京工業大学教授）」において、ご指導、ご助言を賜った。また、防災科学技術研究所によるK-net観測記録を使用した。ここに記して、深甚なる謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 地震工学委員会レベル2地震動研究小委員会：レベル2地震動の明確化に向けて、土木学会論文集，No.675/I-55，15-25，2001。
- 2) 土岐憲三，橋本徳昭，川西正夫，山田雅行：周辺活断層を考慮したダムの耐震設計について，大ダム，162，55-63，1998。
- 3) 秦健作，徳林宗孝，水谷治弘：活断層特性を考慮した入力地震動の検討，阪神高速道路公団技報，19，45-52，2001。
- 4) 田村敬一，片岡正次郎：想定地震に基づくレベル2地震動の設定手法について，第26回地震工学研究発表会講演論文集，2001（掲載予定）。
- 5) 佐藤智美，片岡正次郎，田村敬一，奥村俊彦：K-net強震記録を用いた加速度応答スペクトルと経時特性の推定式の検討，第26回地震工学研究発表会講演論文集，2001（掲載予定）。
- 6) Wald, D. J. and Somerville, P. G.: Variable-slip rupture model of the great 1923 Kanto, Japan, earthquake: Geodetic and body-waveform analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, 159-177, 1995.
- 7) 壇一男，佐藤俊明：断層の非一様すべり破壊を考慮した半経験的波形合成法による強震動予測，日本地震学会構造系論文集，509，49-60，1998。
- 8) Irikura, K.: Estimation of near-field ground motion using empirical Green's function, *Proc. 9th World Conf. Earthq. Eng.*, VIII, 37-42, 1988.
- 9) 横井俊明，入倉孝次郎：震源スペクトルのScaling則と経験的Green関数法，地震2，44，109-122，1991。
- 10) Inouchi, N. and Sato, H.: Vertical crustal deformation accompanied with the Tonankai earthquake of 1944, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, 21, 10-18, 1975.
- 11) 相田勇：1944年東南海地震津波の波源モデル，東京大学地震研究所彙報，54，329-341，1979。