

# 経験的サイト増幅・位相特性を用いた東海地方における強震動評価事例

野津 厚<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 独立行政法人港湾空港技術研究所（〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1）  
E-mail: nozu@pari.go.jp

想定東海地震のような、陸地の極近傍で発生する海溝型の巨大地震による震源近傍の強震動については、強震記録が存在しないため、不明な点が多い。本研究では、経験的サイト増幅・位相特性を考慮した統計的グリーン関数法により、想定東海地震の震源近傍における強震動の評価を実施している。強震動の評価に必要なサイト増幅特性はスペクトルインバージョンにより推定し、2001年4月3日静岡県中部の地震（M5.3）の強震記録を利用して強震動評価手法の妥当性を検証した上で、想定東海地震に対する強震動評価を実施している。その結果、震源近傍における地震動はサイト特性に大きく依存し、サイト特性の特に大きい場所では、1995年兵庫県南部地震の観測波を上回る地震動も想定されることがわかった。

**Key Words :** *subduction-zone earthquake, strong ground motion, stochastic Green's function method, site amplification factor, group delay time*

## 1. はじめに

想定東海地震のような、陸地の極近傍で発生する海溝型の巨大地震による震源近傍の強震動については、強震記録が存在しないため、不明な点が多い。土木学会の提言<sup>1)</sup>においても、この型の地震による震源近傍の地震動を解明することが重要な課題として位置づけられている。2003年十勝沖地震は、我が国にK-NET<sup>2)</sup>をはじめとする密度の高い強震観測網が整備されて以来始めて発生した海溝型の巨大地震であり、多数の貴重な強震記録が得られている。しかしながら、この地震の震源断層の深さ<sup>3)</sup>を考慮すると、震源断層から陸地までの最短距離は30km以上であり、最も震源に近い記録でも、断層面最短距離は30km以上である（プレートが陸からやや離れた場所で潜り込んでいるため、陸地の直下ではプレート境界が深いところに位置している）。一方、想定東海地震の場合、中央防災会議の想定による震源断層<sup>4)</sup>から陸地までの最短距離は10km程度である。従って、2003年十勝沖地震が発生した現在においても、海溝型地震の震源断層から極めて近い場所での揺れを想定する上で、直接参考になるような強震記録は、依然として存在していないと言える。

そこで、本研究では、統計的グリーン関数法<sup>5)</sup>を想定東海地震に適用することにより、その震源近傍における強震動の評価を行い、得られた結果に基づき、海

溝型地震の震源近傍における地震動の特性について考察を行うものである。

ただし、統計的グリーン関数法にはサイト特性の考慮の仕方等に応じて様々なバリエーションがあり、いずれの方法を採用するかによって、地震動の評価結果は大きく異なるものとなる。従って、現地での強震記録等に基づいて十分に検証された方法を用いることが重要である。古和田他<sup>6)</sup>は、統計的グリーン関数法のバリエーションの一つとして、2.で述べるように、経験的サイト増幅・位相特性を考慮できる手法を提案している。この方法は、サイト特性が地震動の振幅および位相の双方に及ぼす影響を考慮できるという特徴を有している。本研究では、古和田他<sup>6)</sup>の方法を2001年4月3日静岡県中部の地震（M5.3）に適用し、その精度について検証を行った上で、同様の手法を想定東海地震に適用する。

## 2. 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した統計的グリーン関数法

古和田他<sup>6)</sup>の提案する統計的グリーン関数法は、サイト特性が地震動の振幅および位相の双方に及ぼす影響を考慮できる方法である。本章ではその概要について述べる。

一般に地震動の振幅は震源特性・伝播経路特性・サイト特性の積で与えられる。

$$A^O(f) = A^S(f) A^P(f) A^G(f) \quad (1)$$

一方、地震動の群遅延時間は震源特性・伝播経路特性・サイト特性の和で与えられる<sup>7)</sup>。

$$t_{gr}^O(f) = t_{gr}^S(f) + t_{gr}^P(f) + t_{gr}^G(f) \quad (2)$$

式(1)および(2)において添え字 $O$ は観測点において実際に観測される地震動を、添え字 $S$ は震源特性を、添え字 $P$ は伝播経路特性を、添え字 $G$ はサイト特性を示す。古和田他は、規模と震源距離の十分に小さな地震が対象サイトで観測されている場合、その記録の群遅延時間は、時間軸上での平行移動の分を除けば、ほぼ式(2)の右辺第三項すなわちサイト特性を表現していると考え、このことを利用した手法を考案している。すなわち、まず、想定地震による地震基盤での統計的グリーン関数をBoore<sup>8)</sup>の方法で計算し、これにサイト特性を加味して地表での統計的グリーン関数を求める。具体的には、地震基盤での統計的グリーン関数をいったんフーリエ変換し、振幅を $A^G(f)$ 倍し、さらに、上記の条件を満足する記録を周波数領域で振幅1に調整して乗じ、フーリエ逆変換する。本研究では、上で述べた条件に加え、サイト近傍の堆積層への入射角ができるだけ大地震と共通となるような小地震を選択することを念頭においた。

以上の方法で地震動を評価する場合、あらかじめ経験的サイト増幅特性 $A^G(f)$ を評価しておく必要がある。経験的サイト増幅特性を求めるにあたって主に二つの考え方がある。一つは観測された地震動から何らかの方法で「S波部分」を抜き出し、その増幅特性を求める考え方である<sup>例えは9)</sup>。もう一つは、S波だけでなく表面波も解析対象として、波形後半まで含めたフーリエスペクトルの増幅特性を求める考え方である<sup>例えは10)</sup>。いずれの立場をとるかは目的にもよるが、S波のみならず表面波の寄与も考慮して強震動予測を行う場合には後者の立場をとる必要がある。特に、古和田他の方法を用いることを前提に考えると、現地で取得された中小地震記録の群遅延時間にはS波の寄与と表面波の寄与が渾然一体となっていることから、振幅についても両者の寄与を考慮することが必要となる。

### 3. 2001年4月3日静岡県中部の地震 (M5.3) の強震動シミュレーション

2.で述べた手法の東海地域への適用性を検証するため、実際に東海地方に発生した地震による強震動のシミュレーションを実施する。この検証の客観性を保

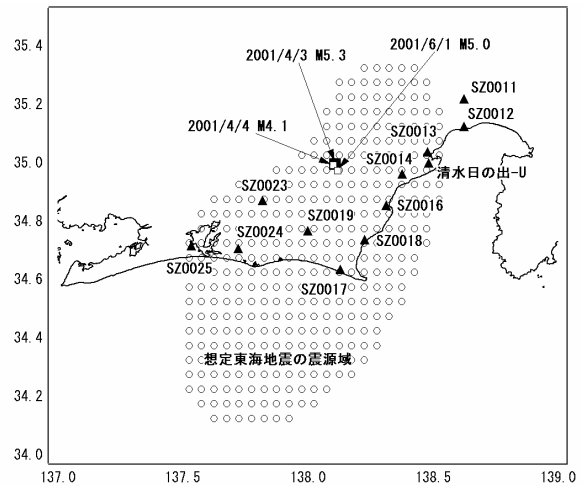


図-1 強震動評価の対象地点

つためには、既往の研究により震源モデルが提案されている地震を選択して用いることが望ましい。2001年4月3日23:57に発生した静岡県中部の地震(北緯34.996°, 東経138.109°, 深さ33.2km, M5.3)については、森川他<sup>11)</sup>により、経験的グリーン関数法を用いて震源モデルが構築されている。そこで、この地震を対象として強震動シミュレーションを実施することとした。対象サイトとしては、想定東海地震の震源域に近い図-1の12地点を選定した。

森川他<sup>11)</sup>はこの地震に対して1個のアスペリティからなる震源モデルを提案しており、そのアスペリティのパラメータは、走向341°, 傾斜36°, 地震モーメント $8.2 \times 10^{16}$ Nm, アスペリティ長さ1.8km, アスペリティ幅1.8km, アスペリティの応力降下量34MPa, ライズタイム0.15sとなっている。破壊開始点はアスペリティの中央である。

ここでは、アスペリティの分割数を $4 \times 4$ とし、アスペリティの地震モーメントを $4^3$ で除すことにより、小地震の地震モーメント $M_0$ を算定した。次に、2.の考え方に従って、小地震による地震基盤での波形(すなわち統計的グリーン関数)を算定した。その際、媒質の物性は $\rho=2.8\text{g/cm}^3$ ,  $V_s=3.82\text{km/s}$ とした<sup>4)</sup>。媒質のQ値は佐藤・巽<sup>12)</sup>のもの(東日本海溝型,  $Q=114 \times \rho^{0.92}$ )を用いた。さらにサイト増幅特性と位相に関する補正を行うことにより地表での統計的グリーン関数を求め、これを重ね合わせるにより地表での波形を求めた。このとき、サイト増幅特性としてはスペクトルインバージョンの結果を用いた。位相の補正に用いる中小地震記録としては、マグニチュードがあまり大きくないが、低周波側でのSN比が低下するほど小さくはないこと、対象サイトからの距離があまり大きくないことを考慮して、「清水日の出-U」以外の地点については2001年4

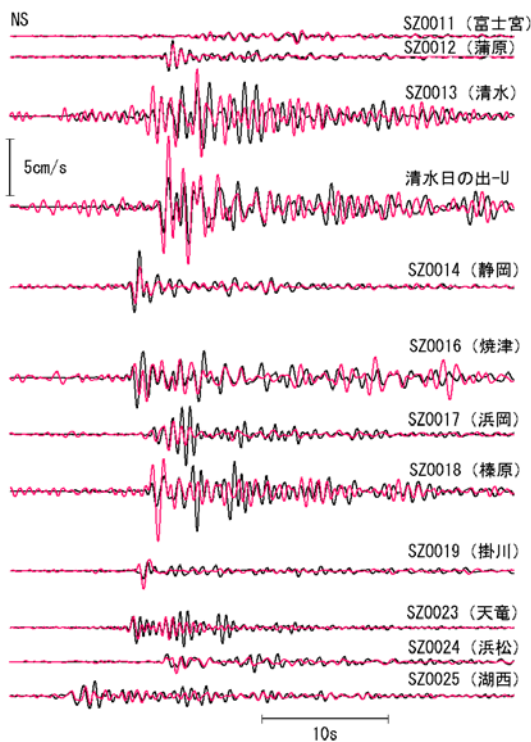


図-2 速度波形 (0.2-2.0Hz, NS成分) の比較

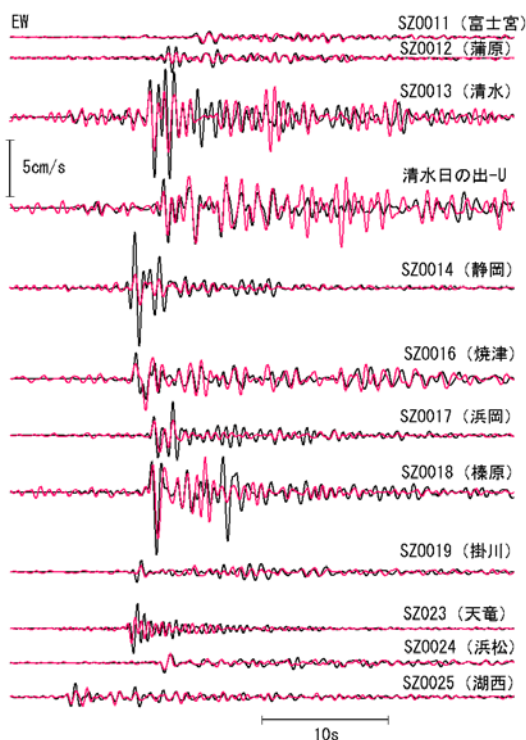


図-3 速度波形 (0.2-2.0Hz, EW成分) の比較

月4日0:04の地震(北緯34.992°, 東経138.102°, 深さ32.8km, M4.1)の記録を用いることとした。「清水日の出-U」については, 上記地震の記録が得られていないため, マグニチュードはやや大きい, 2001年6月1

日0:41の地震(北緯34.973°, 東経138.120°, 深さ32.0km, M5.0)の記録を用いることとした。

観測波と合成波の比較を図-2および図-3に示す(0.2-2.0Hzの速度波形)。ここで, 観測波(実線)と合成波(破線)の比較の方法について詳述する。本手法においては, 地震基盤での統計的グリーン関数を作成する際に乱数を利用するが<sup>8)</sup>, その乱数に初期値に応じて, 地震波の極性は変化しうる。つまり, 本手法は, 地震波の正負までは制御できない手法であるといえる。また, 地震波の絶対時刻についても, 本手法により厳密な制御を行うことができない。そこで, 図-2および図-3において観測波と合成波の比較を行う際には, S波第一波の到来時刻が一致するように合成波を時間軸上で移動させ, なおかつ, 必要に応じて波形全体に(-1)を乗じることにより, 最も観測波と一致する状態で比較を行っている。さて, 図-2および図-3を見ると, 全体として, 観測波の振幅の大小は概ね再現されている。SZ0013(清水), 清水日の出-U, SZ0016(焼津)およびSZ0018(榛原)では, 観測波に顕著な後続の波群が含まれているが, これらの観測点では, 合成波にも後続の波群が顕著に含まれており, また, その一波一波の到来時刻についても, 比較的良く一致している。一方, SZ0014(静岡), SZ0019(掛川)等では, 観測波の継続時間は短くインパルス的な波になっているが, これらの観測点では, 合成波の継続時間も短い。

SZ0013, 清水日の出-U, SZ0016, SZ0018に含まれる顕著な後続位相は, その継続時間の長さを考えると, 盆地生成表面波<sup>13)</sup>など, 2次元~3次元の地下構造の地下構造の影響を受けたものである可能性が高い。このような後続位相については, 従来, 地下構造探査の結果に基づき, 有限差分法<sup>例えば14), 15), 16)</sup>やハイブリッド法<sup>例えば17)</sup>など, 数値シミュレーションによる再現が試みられている。しかしながら, 地下構造探査の結果に基づく数値シミュレーションは, 地下構造情報の多寡に応じて, 適用できる地域や周波数が限定される性質がある。例えば, 本研究で対象としているような, 想定東海地震の震源近傍の地域を例にとると, 防災上重要な地域であるにも関わらず, 数値シミュレーションに必要な地下構造の情報には恵まれていない。従って, 仮に対象地域に有限差分法やハイブリッド法を適用したとしても, 図-2あるいは図-3に匹敵するような波形の再現性を得ることは, 現状では困難であると考えられる。こうした中で, ここで用いている古和田他<sup>6)</sup>の提案による統計的グリーン関数法は, 後続位相まで含めた強震動評価に適用可能な手法として, その有用性は大きいものと考えられる。

次に, 観測波と合成波から算定した計測震度の比較

表-1 計測震度の比較（水平2成分から算定）

	観測波	合成波
SZO011(富士宮)	2	2
SZO012(蒲原)	3	3
SZO013(清水)	4	4
清水日の出-U	4	4
SZO014(静岡)	4	3
SZO016(焼津)	4	3
SZO017(浜岡)	4	3
SZO018(榛原)	4	4
SZO019(掛川)	3	3
SZO023(天竜)	4	4
SZO024(浜松)	3	3
SZO025(湖西)	3	3

を表-1に示す．合成波に関しては鉛直成分が得られていないため，ここでは観測波，合成波とも水平2成分から計測震度を算定している．表-1から，SZO014（静岡），のように計測震度がやや小さめに算定されている観測点もあるが，全体として，観測波と合成波の計測震度は良く一致している．

なお，計測震度の算定において上下動を無視することの影響について検討するため，2003年十勝沖地震によるK-NET358地点の強震記録について，上下動を考慮して算定した計測震度と，上下動を考慮せずに算定した計測震度との比較を実施した．その結果を図-4に示すが，プロットはほぼ1:1の直線上に載っている．このことから，計測震度の算定における上下動の影響はごく小さいことがわかる．

図-2～図-3および表-1の結果から，2.で述べた手法およびサイト増幅特性について，一応の検証ができたと考えられるので，次章においては，同様の手法およびサイト増幅特性を用いて，想定東海地震に対する強震動シミュレーションを実施する．

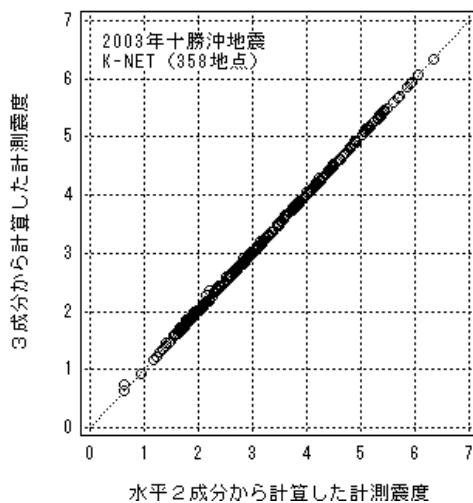


図-4 計測震度算定における上下動の影響

#### 4. 想定東海地震の強震動シミュレーション

ここでは，想定東海地震に対する震源モデルとして，中央防災会議<sup>4)</sup>により提案されている震源モデルを用いる．これは，図-5に示すように，6つのアスペリティと背景領域からなるモデルである．中央防災会議のモデルには，各アスペリティの応力降下量を一定としているモデルと，各アスペリティの変位量を一定としているモデルがあるが，ここでは，地震調査研究推進本部の最近の考え方<sup>18)</sup>に基づき，応力降下量を一定としているモデルを用いる．破壊開始点は，中央防災会議による二通りの破壊開始点を考える（図-5）．表-2に震源モデルのパラメタ<sup>4)</sup>を示す．

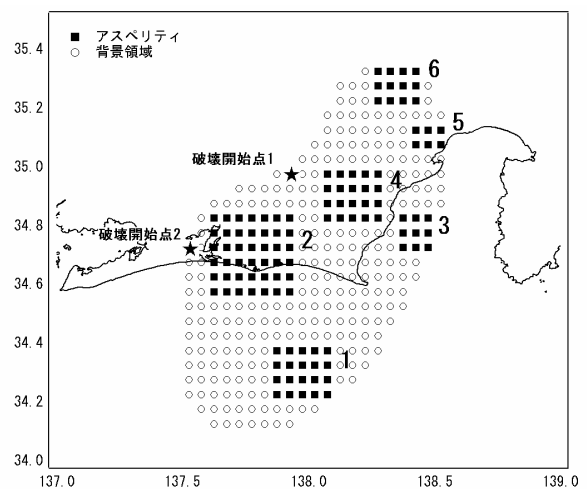


図-5 想定東海地震の震源モデル<sup>4)</sup>

図-5および表-2の震源モデルに対し，3.と同様の手法で，対象地点における地震動を算定する．ただし，算定される地震動は振幅の大きな地震動となるため，表層地盤の非線形挙動の影響を考慮することが必要となる．そこで，以下においては，いったん地表で合成された波を，線形時の物性を用いて工学的基盤まで引き戻し，等価線形化手法による1次元の地震応答計算（FDEL<sup>19)</sup>）により，地表での波を再度計算する．ここで対象としている観測点ではボーリングデータが公開されているので，その情報に基づいて地盤モデルを作成した．ただし，観測点によっては工学的基盤と見なすことのできる地層までボーリングが届いていないところもある．その場合には，調査のされている範囲で最もS波速度の大きい地層まで波を引き戻し，その地層より上の地層の非線形挙動だけを考慮して地表での波を算定した．各地点において，引き戻し計算時の最下端の地層のS波速度を表-3に示す．また，ここでは振幅の大きな地震動を入力して地震応答計算を実施してい

るため、イタレーションの仮定で算定されるひずみが3%を超える場合がある。その場合には、その時点で計算を打ち切り、その時点での等価な剛性と減衰定数から地表での地震動を算定した。そのため、これらの観測点では、地表での地震動の算定精度に問題点が残されているものと考えられる。計算の打ち切りを行った観測点を表-3に示す。なおSZ0019(掛川)では、工学的基盤と見なすことのできる地層が露頭しているため、引き戻し計算は実施しなかった。

表-2 想定東海地震の震源モデルのパラメタ<sup>4)</sup>

巨視的断層パラメタ	
断層面積	約9400km <sup>2</sup>
S波速度	3.82km/s
密度	2.8g/cm <sup>3</sup>
平均応力降下量	3.0MPa
地震モーメント	1.10E+21Nm
平均滑り量	2.85m
微視的震源パラメタ	
アスペリティの数	6
アスペリティの総面積	約2900km <sup>2</sup>
アスペリティの平均滑り量	5.25m
アスペリティでの総モーメント	6.27E+20Nm
応力降下量	22MPa
背景領域の面積	約6500km <sup>2</sup>
背景領域の平均滑り量	1.78m
背景領域のモーメント	5.01E+20Nm
背景領域の応力降下量	2.3MPa
その他のパラメタ	
破壊伝播速度	2.7km/s
ライズタイム	1.9-5.6s
Fmax	6Hz

表-3 表層地盤の地震応答計算(FDEL)の計算条件

最下地の地層のS波速度 打ち切りの有無		
SZ0011(富士宮)	570m/s	-
SZ0012(蒲原)	400m/s	-
SZ0013(清水)	150m/s	有り
清水日の出-U	450m/s	有り
SZ0014(静岡)	400m/s	-
SZ0016(焼津)	260m/s	-
SZ0017(浜岡)	430m/s	-
SZ0018(榛原)	470m/s	-
SZ0019(掛川)	工学的基盤が露頭	-
SZ0023(天竜)	250m/s	-
SZ0024(浜松)	440m/s	-
SZ0025(湖西)	290m/s	-

図-6に破壊開始点1を仮定した場合(ケース1とする)の地表における速度波形(0.2-10.0Hz, EW成分)を、図-7に破壊開始点2を仮定した場合(ケース2とする)の地表における速度波形(0.2-10.0Hz, EW成分)をそれぞれ示す。各波形に添えられた数字は最大速度の値(cm/s)を示す。最大速度の値は地点毎に大きく異なるものとなっている。旧清水市内の二カ所(SZ0013と

清水日の出-U)とSZ0018(榛原)では、200cm/sを超える非常に強い地震動が算定されている。それに対して、最大速度が小さい観測点もある。サイト増幅特性の大きくないSZ0011(富士宮)、SZ0012(蒲原)、SZ0014(静岡)、SZ0019(掛川)では、最大速度の値は70cm/s以下となっている。

地震動の継続時間にも、地点毎に大きな違いが見られる。振幅の特に大きい3地点では、後続位相が発達しており、継続時間も長くなっている。この結果を図-2および図-3と比較すると、中小地震に対して継続時間の長い観測点では、想定東海地震に対しても継続時間の長い結果となっていることがわかる。

表-4には水平2成分から求まる計測震度を示す。SZ0013(清水)、清水日の出-U、SSZ0018(榛原)では、ケース1、ケース2とも震度7と算定されている。一方、サイト増幅特性の大きくないSZ0011(富士宮)、SZ0012(蒲原)、SZ0014(静岡)、SZ0019(掛川)では、ケース1、ケース2とも震度6強以下となっている。ケース1とケース2を比較すると、破壊伝播方向の影響で異なる震度が算定されている観測点も一部見られるが、大半の観測点では、ケース1とケース2の震度は等しい。なお、計測震度の算定において上下動を考慮しないことの影響は、3.で述べたように大きくないものと考えられる。

清水市内の二カ所(SZ0013と清水日の出-U)とSZ0018(榛原)において特に強い地震動が算定されている理由について考察を行う。今回対象とした12の地点の断層面およびアスペリティからの最短距離は表-4にまとめられる通りである。想定東海地震の断層面は西に向かって傾斜しているため、全体的な傾向としては、震源域の東側に位置する観測点の方が断層面およびアスペリティからの距離は小さくなる傾向にある。また、破壊開始点が震源域の西寄りに想定されているため、震源域の東側に位置する観測点では、フォワードディレクティビティの影響も多少受けることになる。清水市内の二カ所とSZ0018(榛原)で大きな地震動が算定された要因には、このような震源に関する要因もあるものと考えられる。しかしながら、SZ0013(清水)とSZ0018(榛原)の間に位置するSZ0014(静岡)で比較的小さい地震動が算定されているように、震源に関する要因に注目するだけでは、地震動の大きさを十分に説明することはできず、サイト増幅特性が地震動の大きさを決める重要な要因となっているものと考えられる。

海溝型地震による強震動の評価を実施する場合、過去に同一地域で発生した海溝型地震の震度データにより、強震動評価結果の検証を行うことが望ましいとされている<sup>18)</sup>。そこで、表-4では、計算された震度を、

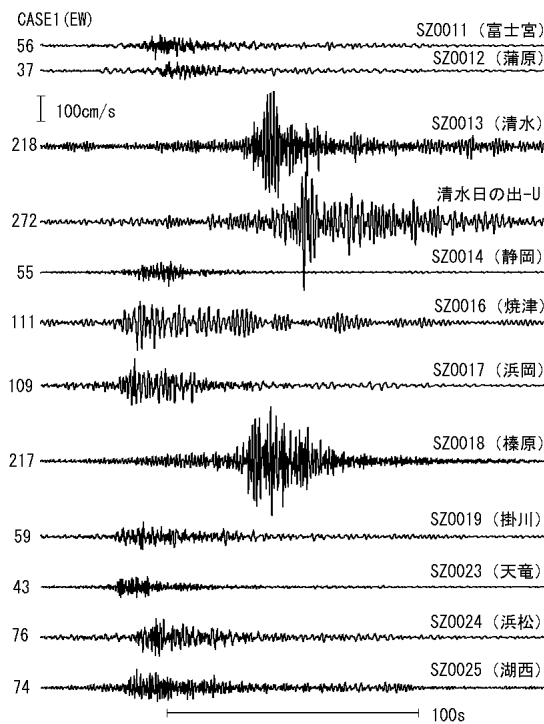


図-6 ケース1の速度波形 (0.2-10.0Hz, EW成分)

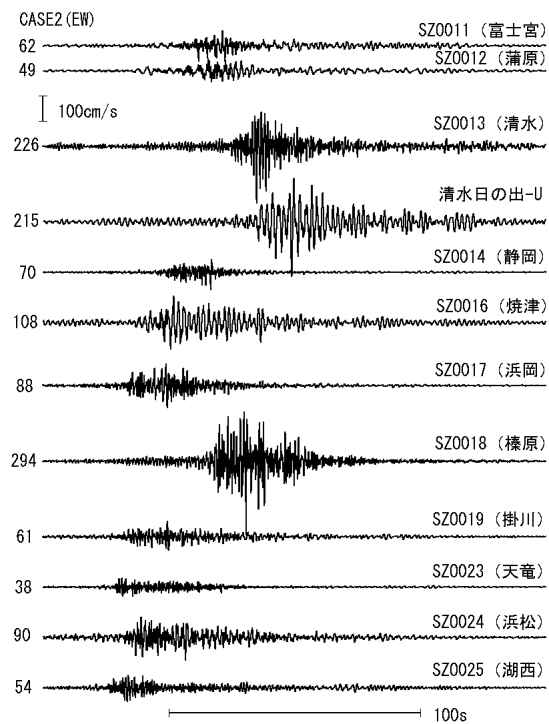


図-7 ケース2の速度波形 (0.2-10.0Hz, EW成分)

表-4 宝永地震および安政東海地震の震度分布との比較

観測地点	断層面 最短距離 (km)	アスぺリティ			安政東海地震
		ケース1	ケース2	宝永地震	
		最短距離 (km)			
SZO011(富士宮)	15.1	17.7	6強	6強	6(大宮)
SZO012(蒲原)	14.3	14.3	6弱	6強	5-6(蒲原)
SZO013(清水)	11.7	12.4	7	7	7(清水)
清水日の出-U	11.7	14.3	7	7	7(清水)
SZO014(静岡)	16.1	20.5	6強	6強	6(駿府)
SZO016(焼津)	17.3	17.3	6強	6強	-
SZO017(浜岡)	19.5	28.5	6強	6強	-
SZO018(榛原)	18.8	19.9	7	7	-
SZO019(掛川)	24.0	25.5	6強	6強	6-7(掛川)
SZO023(天竜)	23.9	23.9	6強	6弱	-
SZO024(浜松)	24.5	25.5	7	6強	6-7(浜松)
SZO025(湖西)	29.1	31.1	6強	6強	6-7(新居)・7(白須賀)
					7(新居)

過去に駿河トラフで発生した海溝型地震である宝永地震と安政東海地震の震度分布<sup>19)</sup>と比較している。宝永地震と安政東海地震の両者に対して、文献19)に震度の記されている地点の中で、できるだけ強震観測地点に近い場所を選び、そこでの震度の値を示している。対象としている観測点は、SZO012(蒲原)とSZO013(清水)を除いては、古くからの市街地に設置されている例が多く、文献19)において震度が推定されている地点との対応は比較的良好であると考えられる。ただし、SZO018(K-NET榛原)には相良を対応させているが、両者は6km程度離れている。またSZO023(K-NET天竜)には浜北を対応させているが、両者は10km程度隔たってい

る。SZO025(K-NET湖西)の周辺では、宝永地震の震度が新居と白須賀について示されているが、両者はSZO025(湖西)からほぼ等距離にあるため(5km程度)、両者の震度を示している。

表-4によると、ケース1、ケース2とも震度7と算定された算定されたSZO013(清水)、清水日の出-U、SZO018(榛原)では、対応する歴史地震の震度はすべて7となっており、良い対応が見られる。SZO013(清水)に比べ、隣接するSZO014(静岡)では小さめの震度が算定されているが、宝永地震の震度は清水より静岡の方が小さめである。また、SZO018(榛原)に比べ、隣接するSZO016(焼津)とSZO017(浜岡)では小さめの震度が

算定されているが、この結果は安政東海地震の震度分布と調和的である。SZ0023（天竜）の周辺では、安政東海地震の際の震度が7（浜北）とされている点が計算では再現できていないが、前述のように計算を行った地点と震度データが得られている地点は10km程度離れているため、この不一致は地盤条件の違いによるものである可能性が高い。全体として、ここでのシミュレーション結果は、ケース1、ケース2とも、宝永地震および安政東海地震の震度分布を概ね再現していると言える。

## 5. 考察

以上の結果に基づいて、ここでは次の二点について考察を行う。一点目は、複数の地点で200cm/sを越える非常に強い地震動が算定されていることの妥当性について、二点目は、算定された地震動に地点間の差異が大きいことの有する意義についてである。

まず、一点目の考察を行う。上記のシミュレーションでは、SZ0013（清水）、清水日の出-U、SZ0018（榛原）の3地点において、最大速度は200cm/s以上と算定されている。この値は、兵庫県南部地震の震源近傍における強震記録と比較しても、かなり大きい。例えば、兵庫県南部地震で記録された最も大きい最大速度はJR鷹取の123cm/s（0.2-10.0Hz）である（計測震度は6強）。また、強震記録の取得されなかった震度7の「震災の帯」の中での地震動について、経験的グリーン関数法による推定値は約130cm/sとなっている<sup>20)</sup>。ここで算定された地震動の最大速度はそのいずれをも上回っている。台湾集集地震では石岡において最大速度約400cm/sの地震動が記録されているが<sup>21)</sup>、これは震源断層の動きそのものを反映したfling stepであると考えられており<sup>21)</sup>、震源断層から10km以上隔たった清水や榛原における地震動とは、その生成メカニズムが異なるため、直接比較の対象とすることは難しいと考えられる。

海溝型地震の震源断層に比較的近い位置での強震記録としては、2003年十勝沖地震の震源付近の強震記録がある。そのうち、最大速度の比較的大きかったHKD086（K-NET直別）とHKD098（K-NET大樹）での速度波形を図-8に示す。同図に示すように、これらの地点での最大速度は、積分の方法にもよるが、100cm/sをやや越える程度である。前記の三地点で算定された地震動は、これらの記録と比較しても、かなり大きいことがわかる。最近、2003年十勝沖地震の震源域付近では、プレート境界面の深度の推定精度の向上が図られてい

るが、その結果<sup>3)</sup>によると、HKD086（直別）およびHKD098（大樹）からプレート境界面までの最短距離は約60kmおよび約40kmと推定される。それに対して前記の三地点はいずれも想定東海地震の震源断層から20km以内に位置している。したがって、前記三地点とHKD086（直別）およびHKD098（大樹）における最大速度の違いは、距離の違いによるものとして、十分に説明可能である。

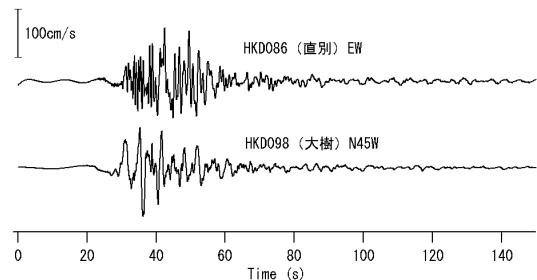


図-8 2003年十勝沖地震の速度波形のうち比較的震源に近いものの例

次に、算定された地震動に地点間の差異が大きいことの意義について考察を行う。図-6～7および表-4に示すように、想定東海地震の震源近傍といえども、あらゆる場所で強い地震動が想定されるわけではない。地震動の評価を行った12地点のうち、100cm/sを越える地震動が算定されたのは5地点のみである。いくつかの地点ではピンポイント的に200cm/sを越える極めて強い地震動が算定される結果となったが、それらの地点は、サイト増幅特性の大きい場所である。このことは、当該地域における地震対策を効果的に推進する上で重要な意義を有するものと考えられる。

例えば、防災上重要な機能を有する施設を建設する際に、特に強い揺れの想定されるエリアをさけて設置することが考えられる。また、重要なライフラインについては、特に強い揺れの想定されるエリアを迂回させることにより、大きな効果を得ることができるものと考えられる。さらに、人的被害軽減のために既存不適格建物の耐震補強をすすめることは重要な課題であるが、その際、対策を効果的に進めるためには、特に強い揺れの想定されるエリアを特定し、優先的に耐震補強を進めることが必要である。兵庫県南部地震の際、震度7の「震災の帯」に人的被害が集中したことは記憶に新しいところである。

以上のことを実現するためには、当該地域におけるサイト増幅特性を詳細に把握して、きめ細かいゾーニングを行うことが急務である。すでに述べたように、想定東海地震の震源近傍の地域は、防災上重要な地域

であるにも関わらず，強震動に影響を及ぼす地下構造に関する情報の詳細さという点において，恵まれた地域とは言えない．従って，地下構造の情報に基づいて詳細なゾーニングを行うことには，現状では困難を伴うものと考えられる．こうした中で，強震観測を実施している地点では，良質の中小地震記録もしくは遠方の大地震の記録に基づいて，サイト増幅特性を詳細に把握することが可能である．従って，今後は強震観測を最大限に活用するとともに，それによってもたらされる情報を他の情報，すなわち地形・地質や微動観測結果と組み合わせることにより，詳細なゾーニングを行うことが必要であるものと考えられる．

## 6. おわりに

本研究では，経験的サイト増幅・位相特性を考慮した統計的グリーン関数法<sup>6)</sup>を東海地域に適用し，当該地域で発生した中小地震のシミュレーションを通じて手法の妥当性を確認した後，当該手法を想定東海地震に適用し，海溝型地震の震源近傍における地震動の特性について考察を行った．本研究の主な結論は以下の通りまとめることができる．

2001年4月3日静岡県中部の地震(M5.3)の強震動シミュレーションを実施したところ，0.2-2Hzの帯域での速度波形および計測震度を概ね再現でき，当該手法の適用性を確認することができた．

同様の手法により想定東海地震に対する強震動シミュレーションを実施したところ，対象地域における各地の震度は宝永地震および安政東海地震の震度分布を概ね再現するものとなった．算定された地震動は地点依存性が大きく，100cm/sを下まわる地点も半分以上存在する一方で，サイト増幅特性の大きいいくつかの地点では200cm/sを上回る強い地震動が想定される結果となった．

今後，当該地域での地震災害対策を進めるにあたり，地震動の地点依存性を十分に考慮することが必要であると考えられる．

謝辞：本研究では独立行政法人防災科学技術研究所のK-NET，KIK-NETのデータを利用させていただきました．ここに記して謝意を表します．

## 参考文献

1) 土木学会：土木学会耐震基準等に関する提言集，1996．

- 2) Kinoshita, S.: Kyoshin Net (K-NET), *Seim. Res. Lett.*, Vol. 69, pp.309-332, 1998.
- 3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版)について，2004．
- 4) 中央防災会議：東海地震に関する専門調査会報告，2001．
- 5) 釜江克宏，入倉孝次郎，福知保長：地震のスケ-リング則に基づいた大地震時の強震動予測，日本建築学会構造系論文報告集，第430号，pp.1-9，1991．
- 6) 古和田明，田居 優，岩崎好規，入倉孝次郎：経験的サイト増幅・位相特性を用いた水平動および上下動の強震動評価，日本建築学会構造系論文集，第514号，pp.97-104，1998．
- 7) 澤田純男，盛川 仁，土岐憲三，横山圭樹：強震動の位相スペクトルにおける伝播経路・サイト特性の分離，第10回日本地震工学シンポジウム，pp.915-920，1998．
- 8) Boore, D.M.: Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.73, pp.1865-1894, 1983．
- 9) 岩田知孝，入倉孝次郎：観測された地震波から震源特性，伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み，地震2，第39巻，pp.579-593，1986．
- 10) 鶴来雅人，田居 優，入倉孝次郎，古和田明：経験的サイト増幅特性評価手法に関する検討，地震2，第50巻，pp.215-227，1997．
- 11) 森川信之，笹谷 努，藤原広行：経験的グリーン関数法によるスラブ内地震の震源モデルの構築，日本地震工学シンポジウム(CD-ROM)，2002．
- 12) 佐藤智美，巽 誉樹：全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性，日本建築学会構造系論文集，第556号，pp.15-24，2002．
- 13) 川瀬 博：表層地質による地震波の増幅とそのシミュレーション，地震2，第46巻，pp.171-190，1993．
- 14) Frankel, A.: Three-dimensional simulation of ground motions in the San Bernardino Valley, California, for hypothetical earthquakes on the San Andreas Fault, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.83, pp.1020-1041, 1993.
- 15) Wald, D.J. and Graves, R.W.: The seismic response of the Los Angeles Basin, California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.88, pp.337-356, 1998.
- 16) Sato, T., Graves, R.W. and Somerville, P.G.: Three dimensional finite difference simulation of long period strong motions in the Tokyo metropolitan area during the 1990 Odawara earthquake and the great 1923 Kanto earthquake in Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.89, pp.579-607, 1999.
- 17) Kamae, K., Irikura, K. and Pitarka, A.: A technique for simulating string ground motion using hybrid Green's function, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.88, pp.357-367, 1998.
- 18) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：海溝型地震の強震動評価のレシビ，2004．
- 19) 杉戸真太，合田尚義，増田民夫：周波数依存性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察，土木学会論文集，493/I-27，pp.49-58，1994．
- 19) 宇佐美龍夫：[最新版]日本被害地震総覧[416]-2001，東京大学出版会，2003．
- 20) 釜江克宏・入倉孝次郎：1995年兵庫県南部地震の断層モデルと震源近傍における強震動シミュレーション，日本建築学会論文報告集，第500号，pp.29-36，1997．
- 21) 久田嘉章：震源域の強震動と被害，2004年度建築学会大会(北海道)振動部門PD資料，2004．