

1703年元禄関東地震の震度分布と統合的なSPGAモデルの作成事例

伊藤 佳洋¹・山田 雅行²・岡部 登³・野津 厚⁴・長尾 毅⁵・高橋 宏彰⁶・水谷 亮祐⁷

¹正会員 (株)ニュージェック 技術開発グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20)
E-mail: itoys@newjec.co.jp

²正会員 (株)ニュージェック 技術開発グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20)
E-mail: yamadams@newjec.co.jp

³正会員 (株)ニュージェック 港湾・海岸グループ (〒136-0071 東京都江東区亀戸1-5-7 日鐵NDタワー13F) E-mail: okabenb@newjec.co.jp

⁴正会員 (独)港湾空港技術研究所 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)
E-mail: nozu@pari.go.jp

⁵正会員 神戸大学教授 都市安全研究センター (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail: nagao@people.kobe-u.ac.jp

⁶東京都港湾局港湾整備部 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1)
E-mail: Hiroaki_1_Takahashi@member.metro.tokyo.jp

⁷東京都港湾局港湾整備部 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1)
E-mail: Ryousuke_Mizutani@member.metro.tokyo.jp

海溝型巨大地震による強震動の波形、スペクトルなどを高精度で再現できる震源モデルとして野津らによりSPGAモデルが開発されている。このモデルで歴史地震の震度データを満足するように震源モデルの作成を行えば、歴史地震の再来を想定した被害予測などに適用することが可能となると考えられる。

そこで本研究では、1703年元禄地震の実際の震度分布を満足するようなSPGAモデルを作成することを試みた。SPGAの位置、パラメタを、実際の震度と計算結果の震度の相関を見ながら選定した結果、概ね震度分布を満足するSPGAモデルを設定することができた。

Key Words : SPGA model, subduction earthquake, historical earthquake, seismic intensity

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震の発生を受け、規模の大きい海溝型地震を対象とする強震動評価が以前にも増して重要となってきた。海溝型巨大地震による強震動の波形、スペクトルなどを高精度で再現できる震源モデルとして野津ら¹⁾²⁾³⁾⁴⁾によりSPGAモデルの開発が行われ、海溝型地震への適用性が検証されている⁴⁾。ここにSPGAモデルとは、海溝型地震に特徴的な強震動パルスを再現するため、パルスの幅と調和的なサイズのサブイベント（これをStrong-motion Pulse Generation Area, SPGAという）を用いて構成した震源モデルのことである。さらに

野津らは、SPGAモデルの予測問題への適用に関する検討を始めている^{例えは5)}。

海溝型巨大地震を対象として強震動評価を実施するとき、歴史地震を上回る規模の地震を対象とすることも多くなってきている。しかしながら、東京都等、関東地域においては相模トラフにおいて1703年元禄関東地震(以下、元禄関東地震と称す)や1923年大正関東地震(以下、大正関東地震と称す)が発生しており、これらの歴史地震の再来を想定して被害予測などを行うケースは今後も少なくないものと考えられる^{例えは6)7)}。こうした、歴史地震の再来を想定するケースでは、震度分布^{例えは8)}と整合するように震源モデルの作成を行うことが望ましい。相

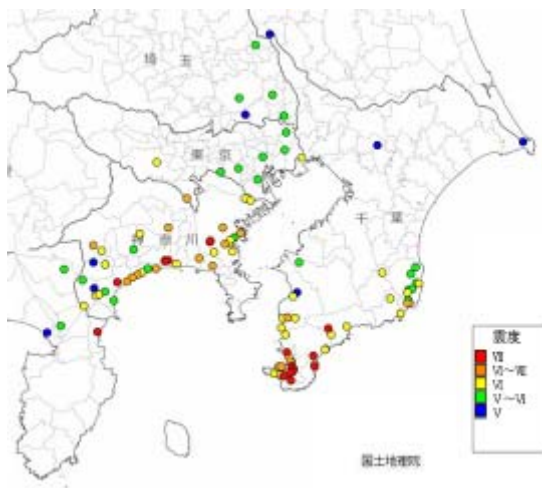


図-1 1703年元禄地震の震度分布
(宇佐美⁸⁾をもとに作成)

模トラフにおいて発生する海溝型地震を対象とし、歴史地震の震度分布を満足するようなSPGAモデルを作成した事例としては野津⁹⁾によるものがある。この事例では元禄関東地震と大正関東地震の震度分布を地域毎に比較して、大きい方の震度をカバーするような震源モデルを作成している。このため、歴史的資料に基づく元禄関東地震の震度分布を対象とした震源パラメータの作成事例とはなっていない。本論文では、文献⁹⁾とは異なり、歴史的資料に基づく元禄関東地震の震度分布を満足するようなSPGAモデルを作成することを試みる。

2. 震度データ

本論文では歴史的資料に基づく元禄関東地震の震度分布として宇佐美⁸⁾によりとりまとめられた震度分布を参考とした。図-1に宇佐美⁸⁾により取りまとめられた震度分布を示す。なお、震度を表す点としては、宇佐美⁸⁾が震度を整理した地点が現在属する市町村の役場の座標を用いた。武村¹⁰⁾が求めた大正関東地震の震度分布と比較すると、大正関東地震において震度6弱～震度7となっている三浦半島や千葉県の木更津～富津付近、震度6弱～震度6強となっている東京都から埼玉県の東京湾周辺の低地で、元禄関東地震の震度は小さい。本研究では、こうした点を含め、宇佐美⁸⁾の示した震度分布は十分に信憑性があるとの立場から、これを対象として検討を進めた。

3. 震源モデルの作成方法

(1) 震源モデルの作成方針

本論文では、まず、歴史地震の震度を再現した野津⁹⁾によるSPGAモデルを初期モデルとし、これを修正する

ことにより、最終的な震源モデルを設定した。

震源モデルの修正は次の手順で行った。

①SPGAの位置の検討

②SPGAの高周波レベルの設定

SPGAの位置、高周波レベルを変えて行った複数の検討ケースから、宇佐美⁸⁾の震度分布と整合する震源パラメータを決めた。

以下においては、先ず、初期モデルについて述べ、続いて、地震動の計算方法について述べる。その上で、震源モデルの修正過程について述べる。

(2) 初期モデル

野津は、SPGAの個数と地震全体の規模との関係式(式1)¹¹⁾および元禄地震の地震モーメント($M_w = 8.2$ 、笠原のモデル¹²⁾¹³⁾において剛性率を $4.0 \times 10^{10} \text{Nm}$ とすると $M_w = 8.2$ が得られる)から、SPGAモデルを3個のSPGAで構成した。

$$\log_{10}(\text{SPGAの個数}) = 0.5 M_w - 3.55 \quad (M_w \geq 7.9) \quad (1)$$

このうち2つは大正関東地震の震源域に含まれる神奈川県西部と三浦半島付近に置き、残りの1つは元禄関東地震だけに見られる外房付近に置いた。

各々のSPGAのパラメータは、表-1の通りに設定している。また、 V_s (震源付近のS波速度)は 3.7km/s 、 V_r (破壊伝播速度)は 2.6km/s としている。これらのパラメータを初期値として設定した。

(3) 地震動の計算

地震動を計算する地点としては、東京都の24箇所、神奈川県19箇所、埼玉県の17箇所、千葉県の29箇所、静岡県の13箇所の計102箇所のK-NET、KiK-net観測点¹⁴⁾、および港湾地域強震観測の品川-G地点¹⁵⁾、東京都港湾局地震計新有明地点の合計104箇所とした。計算の対象とした地点については後に図-4において震度分布とともに示す。

地震動の計算には、野津らがSPGAモデルの構築に利用してきたものと同じ、経験的サイト増幅、位相特性を利用した強震動評価手法を用いた¹⁶⁾¹⁷⁾。伝播経路のQ値は佐藤・巽¹⁸⁾による東日本海溝型のQ値を用いた。サイト増幅特性は経験的に得られたもの¹⁹⁾を用いた。位相特性評価のための中小地震記録としては、2012年1月28日7:43に発生した山梨県東部・富士五湖の地震($M_j 5.4$)の記録を用いた。

また、表層地盤の非線形挙動の影響を考慮するため野津⁹⁾により提案された非線形パラメータを用いてグリーン関数を補正する簡便な方法を用いた。この方法では、非線形パラメータの設定を地動最大速度の繰り返し計算によ

り求めることができるため、非線形挙動の影響を考慮した震度を予測することができる。

(4) SPGAの位置の検討

まず、SPGAの位置の検討を行った。この検討は、東京都総務局の被害想定における元禄関東地震の震源モデル⁶⁾をもとに行った。東京都では被害想定において元禄型関東地震の強震動シミュレーション用の震源モデルとして、Sato et al.²⁰⁾による大正関東地震の強震動生成域の位置と行谷ほか²¹⁾の津波シミュレーション用の波源モデルから図-2に示す震源モデルを設定している。このモデルの強震動生成域内にSPGAを置くこととし、図-2に示す範囲の中でSPGA1は4箇所、SPGA2は9箇所、SPGA3は5箇所をSPGAを仮定し、各SPGAの位置の組み合わせ(180ケース)で震度を計算して震度分布との整合性が高い位置を検討した。なおこの時の震源パラメータは表-1に示す初期値に固定して行った。また、震度分布との整合性の判断は、震度予測地点104箇所のうち宇佐美⁸⁾の震度

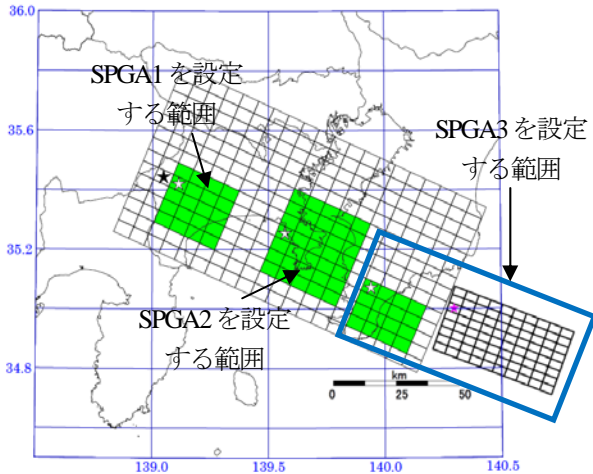


図-3 東京都の1703年元禄型関東地震の震源モデル
(緑は強震動生成域の位置、★は各断層や強震動生成域の破壊開始点を示す)



図-2 相関図の作成に使用した予測地点

分布から震度を設定した地点と近い(10km以内)観測点28箇所を抽出して(図-3)、予測震度と宇佐美⁸⁾が求めた震度の相関を作成し、回帰直線の傾きと両者の相関から予測結果を評価した。なお相関図作成は、宇佐美⁸⁾の震度VIIを7、震度VI~VIIを6.5、震度VIを6、震度V~VIを5.5、震度Vを5として、震度予測の計測震度と相関図を作成した。

SPGAの位置を変えて震度分布を計算した中から、宇佐美⁸⁾の震度分布との相関係数が大きく、回帰直線の傾きが1に近いケースをSPGAの設定位置とした。この時の震度分布を図-4に、宇佐美⁸⁾の震度分布と震度予測結果の相関図を図-5に示す。この時点では全体的に宇佐美⁸⁾の震度より震度予測結果の方が大きな震度を予測している。

(5) SPGAの高周波レベルの設定

次に各SPGAの高周波レベルについて検討した。設定

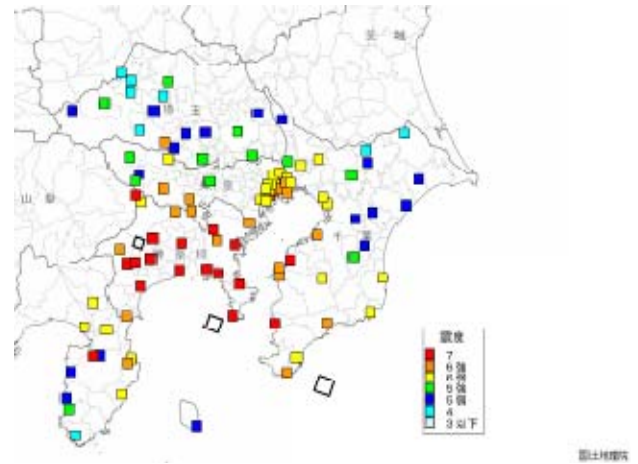


図-4 SPGAの位置を設定した時のSPGAの位置と震度分布
(□はSPGAの位置、色付■は震度予測地点震度)

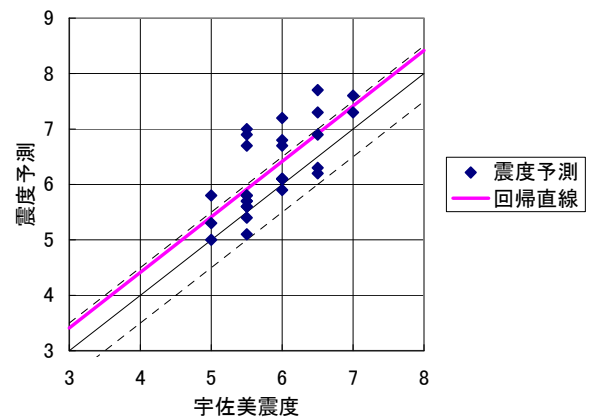


図-5 SPGAの位置を設定した時の宇佐美⁸⁾の震度分布との相関図 (回帰直線の傾き1.0,相関係数0.73)

したSPGAの位置を変えずに各SPGAの高周波レベルを初期値から同じ割合で変動させて、宇佐美⁸⁾の震度分布に近くなるパラメータを検討した。

検討ケースの中から相関係数が大きく、回帰直線の傾きが宇佐美⁸⁾震度と震度予測の1:1の線に近く、かつ回帰直線が1:1の直線を下回らない(震度予測の平均が宇佐美⁸⁾の震度の平均より大きくなる)高周波レベルを元禄関東地震の震源パラメータとした。これは、構造物の耐震性評価や防災計画の検討の際に用いる安全側の地震動を設定する観点からの処置である。決定した震源パラメータを表-2に、求めた震度分布を図-6に、相関図を図-7に示す。神奈川県の高震度の大きい地域から東京都から埼玉県の海岸線に近い地域等の震度も比較的良く一致している。また相関図も宇佐美⁸⁾の震度との相関が良く、全体的に元禄関東地震の震度を良く再現できたものと考えられる。

4. まとめ

本論文では1703年元禄関東地震の実際の震度分布を対象として、震源モデルを構成するサブイベントとしてSPGAを用い、かつ震度分布を満足するような震源モデルの作成を行った。SPGAのパラメータは野津の歴史地震を再現したパラメータを参考としながら、震度分布および相関図の整合性が高いSPGAの設定位置、高周波レベルの値を選定することで、宇佐美⁸⁾の震度分布を再現する震源パラメータを求めることができた。

謝辞：防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netのデータを使用しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 野津厚：海溝型巨大地震の特性化震源モデル作成におけるこつ，日本地震学会講演予稿集，D004，2006。
- 2) 野津厚：海溝型巨大地震による周期 1-5 秒の帯域の地震動の予測手法について，日本地震学会講演予稿集，B12-04，2010。
- 3) 野津厚：東北地方太平洋沖地震を対象とするスーパーアスペリティモデルの提案，日本地震工学会論文集，Vol.12，No.2，pp.21-40，2012。
- 4) 野津厚，山田雅行，長尾毅，入倉孝次郎：海溝型巨大地震における強震動パルスの生成とその生成域のスケーリング，日本地震工学会論文集，Vol.12，No.4（特集号），pp.209-228，2012。
- 5) 野津厚：南海トラフの地震（Mw9.0）を対象としたモデルによる強震動評価事例，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.69，No.4（地震工学論文集第32巻），pp.1_872-I_888，2013。
- 6) 東京都総務局：首都直下地震等による東京の被害想定，2012，<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/taisaku/1000902/1000401.html>（2014年8月1日閲覧）。
- 7) 首都直下地震モデル検討会：首都の M7 クラスの地震及び相模トラフ沿いの M8 クラスの地震等の震源

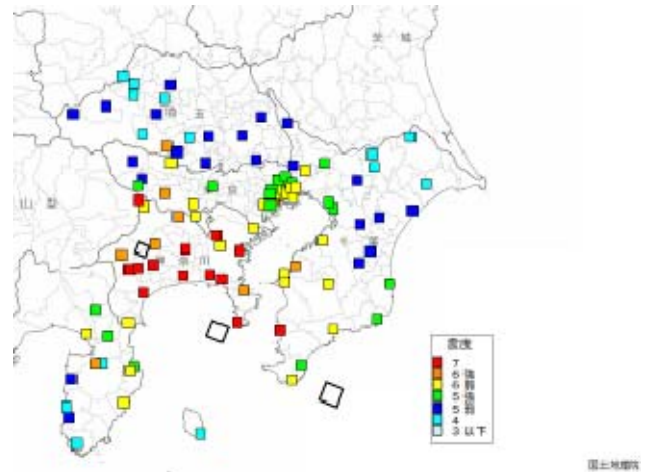


図-6 SPGAの高周波レベルを設定した時のSPGAの位置と震度分布(□はSPGAの位置，色付■は震度予測地点震度)

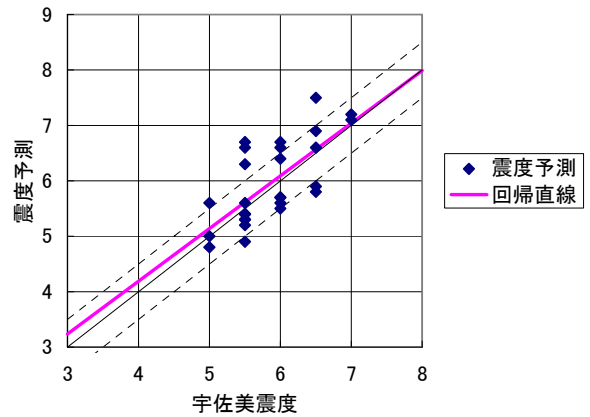


図-7 SPGAの高周波レベルを設定した時の宇佐美⁸⁾の震度分布との相関図(回帰直線の傾き0.95,相関係数0.71)

表-1 SPGAの初期設定

	SPGA1	SPGA2	SPGA3
場所	震央付近	三浦半島	外房
Moment	$1.6 \times 10^{19} \text{Nm}$	$1.5 \times 10^{19} \text{Nm}$	$2.0 \times 10^{19} \text{Nm}$
Area	$4.5 \times 4.5 \text{km}^2$	$6.4 \times 6.4 \text{km}^2$	$7.4 \times 7.4 \text{km}^2$
Rise time	0.43s	0.62s	0.71s

表-2 決定したSPGAの設定

	SPGA1	SPGA2	SPGA3
場所	震央付近	三浦半島	外房
Moment	$1.6 \times 10^{19} \text{Nm}$	$1.5 \times 10^{19} \text{Nm}$	$2.0 \times 10^{19} \text{Nm}$
Area	$5.24 \times 5.24 \text{km}^2$	$7.45 \times 7.45 \text{km}^2$	$8.62 \times 8.62 \text{km}^2$
Rise time	0.51s	0.72s	0.83s

- 断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書，2013，<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinmodel/>（2014年8月1日閲覧）。
- 8) 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。
 - 9) 野津厚：歴史地震の震度と整合的な SPGA モデルの作成事例，第 33 回地震工学研究発表会講演論文集，pp. -, 2013。
 - 10) 武村雅之：関東大震災-大東京圏の揺れを知る-，鹿島出版会，2003。
 - 11) 野津厚，長尾毅：海溝型巨大地震による地震動の予測のための震源パラメーターの経験式-強震動パルスの生成に着目して-，港湾空港技術研究所資料，No.1257，2012。
 - 12) 笠原慶一，山田重平，安藤雅孝：南関東の地殻変動-展望と作業仮説-，関東大地震 50 周年論文集，pp.103-116，1973。
 - 13) 佐藤良輔編：日本の地震断層パラメーターハンドブック，鹿島出版会，1989。
 - 14) Okada, Y., Kasahara, K., Hori, S., Obara, K., Sekiguchi, S., Fujiwara, H. and Yamamoto, A.: Recent progress of seismic observation networks in Japan -Hi-net, F-net, K-net and KiK-net -, Earth Planets Space, Vol.56, pp.xv-xxviii,2004.
 - 15) 野津厚，若井淳，長坂陽介：港湾地域強震観測年報（2012），港湾空港技術研究所 資料 1283，2014。
 - 16) 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。
 - 17) 野津厚，長尾毅，山田雅行：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法の改良-因果性を満足する地震波の生成-，土木学会論文集 A，Vol.65，No.3，pp.808-813，2009。
 - 18) 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，556，pp. 15-24，2002。
 - 19) 野津厚，長尾毅：スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等の強震観測地点におけるサイト増幅特性，港湾空港技術研究所資料，No.1112，2005。
 - 20) Sato, H., N. Hirata, K. Koketsu, D. Okaya, S. Abe, R. Kobayashi, M. Matsubara, T. Iwasaki, T. Ito, T. Ikawa, T. Kawanaka, K. Kasahara, and S. Harder.:Earthquake source fault beneath Tokyo, Science, Vol. 309, 462-464, (2005).
 - 21) 行谷佑一，佐竹健治，宍倉正展：南関東沿岸の地殻上下変動から推定した 1703 年元禄関東地震と 1923 年大正関東地震の断層モデル，活断層・古地震研究報告，第 11 号，pp. 107-120，2011。

DEVELOPEMENT OF AN SPGA MODEL FOR THE GENROKU (1703) KANTO EARTHQUAKE WITH CONSIDERATION OF SEISMIC INTENSITY

Yoshihiro ITO, Masayuki YAMADA, Noboru OAKBE, Atsushi NOZU, Takashi NAGAO, Hiroaki TAKAHASHI and one more author

Nozu et al. have been developing the SPGA model, which is suitable for the simulation of strong ground motions for subduction earthquakes. When the model is applied to a historical earthquake, it is desirable to construct an SPGA model which is consistent with seismic intensity data. In this study, as an example of the application of the SPGA model to a historical earthquake, an SPGA model was developed for the Gneroku (1703) Kanto earthquake taking into account seismic intensity data. The position of SPGA and the parameters were determined using the correlation diagram of seismic prediction and seismic intensity distribution. Proposed source model was found to well explain the seismic intensity data.