1703年元禄関東地震の震度分布と整合的な 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非会員 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非会員 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: Ryouzuke_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年元禄関東地震の実際の震度分布と整合するようなSPGAモデルを作成することを試みた。SPGAの位置、パラメータを、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、概ね震度分布と整合する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

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。このため場所によっては歴史的資料に基づく元禄関東地震の震度分布に比べて、大きな震度を予測することとなり、元禄関東地震の再来を想定して被害予測を行う場合の適切な震源パラメータとはいえない。本論文では、野津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と整合するような震源パラメータを求めることで、元禄関東地震の再来を想定して被害予測を行う際に使用することができるSPGAモデルを作成する。

元禄関東地震の震度の再現方法として、SPGAモデル以外に、SMGAモデルの適用も考えられる。両モデルの適用結果の違いは主に時刻歴波形の違いとして表れ、時刻歴波形の再現性が工学的には非常に重要である。2011年東北地方太平洋沖地震をはじめとして、2003年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震など、強震記録が得られている海溝型巨大地震においては構造物の耐震性等を考える上で非常に重要な強震動パルスが生成しており⁴⁾、両モデルのうちSMGAモデルでは強震動パルスの再現が困難であることが指摘されている¹⁰⁾。一方、元禄関東地震については波形データは得られておらず、有効なデータは震度データのみである。その震度データから、この地震による強震動の生成がSMGAモデルとSPGAモデルのいずれによってより適切に表現できるか判断することは難しい。しかしながら、上述の通り強震記録の得られている海溝型巨大地震では強震動パルスが生成しており、大正関東地震や元禄関東地震でも同様の現象が生じていたと考える方が自然である。あるいは、そのように考えることが少なくとも工学上の判断として適切である。以上より、元禄関東地震の震度分布を再現するための震源モデルとしてはSPGAモデルを用いる。

なお、SPGAモデルは0.2-1Hz程度の帯域で波形の計算精度が良いことが知られているが⁴⁾、SPGAモデルで計算した地震動のフーリエスペクトルは観測波形のフーリエスペクトルを10Hz程度まで良好に再現できることも確認されていることから^(例えば11)、SPGAモデルにより計算された地震動から求めた震度を観測震度と比較することができる。

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

図-1 1703年元禄関東地震の震度分布
(宇佐美⁸⁾をもとに作成)

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¹²⁾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本更津から富津付近、震度6弱～震度6強となっている東京都の東京湾周辺から埼玉県東部では、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、史料が十分に存在する江戸時代の地震であるため、十分に信頼性があるとの立場から、これを対象として検討を進める。

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の高周波レベルの調整

位置だけの調整では元禄関東地震の震度の再現性が十分ではなかったため、高周波レベルの調整も行った。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

a) SPGAの個数

大正関東地震についてはWald and Somerville¹³⁾により遠地実体波と地殻変動データを用いた解析が行われ、震央付近(神奈川県北西部)と三浦半島付近の2箇所にすべりの大きい領域が推定されている。Sato et al.¹⁴⁾の解析でもほぼ同様の場所にすべりの大きい領域が得られている。一方、神田・武村の震度インバージョン解析¹⁵⁾では、大正関東地震に対しては、三浦半島を挟んだ2箇所に短周期地震波発生域が求められている。また、元禄関東地震に対しては、大正関東地震の短周期地震波発生域に対応する領域だけでなく、外房の勝浦付近にも短周期地震波発生域が求められている。

一方、野津らは、海溝型地震のSPGAの個数と地震全体の規模との関係式として次式を提案している¹⁶⁾。

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

元禄関東地震の地震モーメント($M_w=8.2$, 笠原のモデル^{17),18)}において剛性率を $4.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ とすると $M_w=8.2$ が得られる)と式(1)から、SPGAの個数は3個~4個となる。野津⁹⁾はこれらのことを総合的に考慮し、元禄関東地震の震源モデルは3個のSPGAで構成した。

表-1 計算対象地点と宇佐美⁸⁾の震度分布の対応

計算対象地点	宇佐美の震度整理地点
CHB007	佐倉
CHB015	君津
CHB016	東中滝(小福原)
CHB019	勝山
CHB020	鴨川
CHB029	行徳
KNG001	川崎
KNG002	根岸
KNG005	鎌倉
KNG006	竜頭
KNG007	藤沢
KNG009	厚木
KNG010	平塚
KNG012	秦野
KNG013	小田原
KNG014	川村
KNGH21	大山
SIT010	領家
SIT011	蕨
SZO008	沼津
SZO009	三島
TKY004	八王子
TKY005	町田
TKY006	狛江
TKY014	下平井
TKY024	亀有
TKY028	江戸
品川-G	品川

また野津⁹⁾はこのうち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。ここではSPGAを野津⁹⁾と同様の場所に置くこととし、詳細な位置については後述のように震度分布との整合を見て決めた。

b) 個々のSPGAのパラメータ

個々のSPGAのパラメータは、野津が元禄関東地震と大正関東地震の震度分布を再現した震源モデル⁹⁾から、SPGAの地震モーメント M_{SPGA} (文献16)では低周波レベルと呼んでいる)、各SPGAの高周波レベル A_{SPGA} を後述の表-2の通りに設定した。最大のSPGAは野津⁹⁾と同様に勝浦付近に置いた。

なお、震源付近のS波速度 V_s は 3.7 km/s 、破壊伝播速度 V_r は 2.6 km/s とした。ライズタイムについては、SPGAの幅を $4 \times V_r$ で割った値¹⁹⁾を用いた。

(3) 地震動の計算

地震動を計算する地点としては、宇佐美⁸⁾の震度分布から震度を設定した地点と近く(10km以内)、サイト増幅特性が経験的に得られている²⁰⁾千葉県6箇所、神奈川県11箇所、埼玉県2箇所、静岡県2箇所、東京都6箇所の計27箇所のK-NET、KiK-net観測点²¹⁾、および港湾地域強震観測の品川-G地点²²⁾の合計28箇所とした。計算の対象とした地点と宇佐美⁸⁾の震度整理地点との対応を表-1に、計算地点の位置については後に図-3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^{23), 24)}。伝播経路のQ値は佐藤・巽²⁵⁾による東日本海溝型の値($Q=114 \times f^{0.92}$)を用いた。サイト増幅特性は経験的に得られたもの²⁰⁾を用いた。位相特性評価のための中小地震記録としては、伝播経路の位相特性を考慮するためSPGAの1つを置く神奈川県西部付近で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(Mj5.4)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ら^{9), 26)}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、堆積層における平均的なS波速度の低下率を表すパラメータの ν_1 と、堆積層における平均的な減衰定数の増分を表すパラメータの ν_2 を必要とする。これらのパラメータは野津⁹⁾の提案する以下の式で算出した。

$$\nu_1 = 1/(1 + 0.0082 PGV) \quad (2)$$

$$\nu_2 = h_{\text{max}}(1 - \nu_1^2) \quad (3)$$

ここにPGVは地動最大速度(cm/s)である。式(2)は野津ら

の提案する経験式、式(3)はHardin-Dreenevichモデル²⁷⁾における減衰定数の扱いを参考にした式で、 ν_1 に自乗がかかっているのは、地盤のせん断剛性はS波速度の自乗に比例するためである。また、式(3)の $h_{\max}$ は、文献⁹⁾を参考に $h_{\max}=0.024$ に設定した。この方法では、非線形性パラメータの設定が地動最大速度の計算結果に依存するので、繰り返し計算を行うが、具体的には、線形時のパラメータ ($\nu_1=1$, $\nu_2=0$) を初期値として強震動シミュレーションを行い、計算結果の地動最大速度を用いて式(2)、式(3)により非線形パラメータの値を更新し、再び強震動シミュレーションを行う。このプロセスを、新旧の ν_1 の誤差が5%以内となるまで繰り返す。ただし、式(2)はデータの存在範囲から ν_1 が小さい領域では信頼性がないため、野津⁹⁾と同様に ν_1 が0.84を下回る場合にはそこで繰り返し計算をうち切り、 $\nu_1=0.84$ でのシミュレーション結果を採用した。

(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、上述の初期モデルを基にしつつ、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⁹⁾も参考にを行った。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.¹⁴⁾による大正関東地震のすべり分布も参考にした3つの強震動生成域(図中、緑■)に行谷ほか²⁸⁾の津波シミュレーション用の波源モデル(房総沖)を加えた図-2に示す震源モデルを設定している。SPGA3の位置は神田・武村の既往研究¹⁵⁾などから勝浦付近と推定されるものの、念のためSPGA3を津波波源モデル上に置いたケースも検討した。結果的に、図-2に示す範囲の中でSPGA1は6箇所、SPGA2は9箇所、SPGA3は5箇所にSPGAを仮定し、各SPGAの位置の組合わせ(270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。震度は、計算で求めた加速度波形から計算した。この時の震源パラメータは表-2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、計算地点28箇所の震度予測の計測震度と宇佐美⁸⁾が求めた震度の相関図を作成し、回帰直線の傾きと両者の相関を評価することで行った。なお、相関図は、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の相関図を作成した。

予測震度と宇佐美⁸⁾が求めた震度のバラツキがある中では、相関係数が大きく、回帰直線の傾きが1に近いケースほど全体的な震度の分布が宇佐美⁸⁾の震度分布と整合していると考えられるので、この条件に近い結果を与えるケースをSPGAの設定位置とした。この時の震度分布を図-3に、宇佐美⁸⁾の震度分布と震度予測結果の相関図を図-4に示す。この時点では全体的に宇佐美⁸⁾の震度

図-2 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-3 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-4 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)

より震度予測結果の方が大きな震度を予測している。また、結果的にSPGA3は房総半島南東沿岸付近に位置し、

図-5 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-6 SPGAの高周波レベル調整後の宇佐美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-2 SPGAの初期設定

	SPGA1	SPGA2	SPGA3
場所	神奈川県西部	三浦半島	外房
M_{0SPGA}	1.6×10^{19} Nm	1.5×10^{19} Nm	2.0×10^{19} Nm
A_{SPGA}	1.9×10^{20} Nm/s ²	8.6×10^{19} Nm/s ²	8.6×10^{19} Nm/s ²
S_{SPGA}	4.5×4.5 km ²	6.4×6.4 km ²	7.4×7.4 km ²
Rise time	0.43 s	0.62 s	0.71 s

表-3 決定したSPGAの設定

	SPGA1	SPGA2	SPGA3
場所	神奈川県西部	三浦半島	外房
M_{0SPGA}	1.6×10^{19} Nm	1.5×10^{19} Nm	2.0×10^{19} Nm
A_{SPGA}	1.4×10^{20} Nm/s ²	6.4×10^{19} Nm/s ²	6.3×10^{19} Nm/s ²
S_{SPGA}	5.24×5.24 km ²	7.45×7.45 km ²	8.62×8.62 km ²
Rise time	0.51 s	0.72 s	0.83 s

これまでの研究成果¹⁵⁾と整合した。

(5) SPGAの高周波レベルの調整

設定したSPGAの位置, 地震モーメント M_{0SPGA} を変え

図-7 野津⁹⁾の震度予測と宇佐美⁸⁾の震度分布との相関図(回帰直線の傾き1.05,相関係数0.69)

ずに各SPGAの高周波レベル A_{SPGA} 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。

各SPGAの地震モーメントと高周波レベルから式(4)によりコーナー周波数 f_c を求め, Brune²⁹⁾の式(5)によりSPGAの面積 S_{SPGA} を求めることができる。

$$f_c = (A_{SPGA} / M_{0SPGA})^{0.5} / 2\pi \quad (4)$$

$$S_{SPGA} = (0.66 V_s / f_c)^2 \quad (5)$$

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, 地震動の高周波成分を調整することにより, 宇佐美⁸⁾の震度分布との全体的な整合性(相関係数が大きく, 回帰直線の傾きが1に近い)を図りながら, 震度を調整することができる。

検討ケースの中から相関係数が大きく, 宇佐美⁸⁾の震度と予測震度のグラフ上での回帰直線の傾きが1に近づくような高周波レベル A_{SPGA} を元禄関東地震の震源パラメータとして選定した。ただし, 設計地震動の観点から, 回帰直線が1:1の直線を下回らないことにも配慮した。決定した震源パラメータを表-3に, 求めた震度分布を図-5に, 相関図を図-6に示す。相関図は宇佐美⁸⁾の震度との相関が良く, 全体的に元禄関東地震の震度と整合する震度分布となっている。

また, 神奈川県の震度の大きい地域, 東京都の海岸線から埼玉県東部にかけての地域等の震度も比較的良く一致している。

図-7に本研究の初期パラメータである野津⁹⁾が設定したパラメータで計算した予測震度と宇佐美⁸⁾の震度分布の相関図を示す。図-6と図-7を比較すると図-6の方が宇佐美⁸⁾の震度と予測震度の関係が1:1の線に近く, 本論文で設定した震源パラメータの方が宇佐美⁸⁾の震度分布と

の整合性が高いことがわかる。

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⁹⁾の歴史地震を再現したパラメータを参考としながら、震度分布および相關図から実際の震度分布との整合性が高いSPGAの位置を設定し、高周波レベルの値を調整することで、宇佐美⁸⁾の震度分布と整合する震源パラメータを設定することができた。元禄関東地震の再来を想定した被害予測を行う必要がある場合の震源パラメータを提示することができたと考えられる。

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

- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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.L-872-L-888，2013。
- 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）。
- 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）。
- 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。
- 野津厚：1703 年元禄地震の震度分布と整合的な SPGA モデルの作成事例，土木学会論文集 A1，Vol.70，No.4，pp. I-1089- I-1095，2014。
- 野津厚：強震動パルスの生成に着目した海溝型巨大地震の震源モデル，第 41 回地盤震動シンポジウム，pp.11-20，2013。
- 野津厚，若井淳：東北地方太平洋沖地震を対象とした震源モデルの検証—震源モデル作成時に対象としていなかった地点での地震動の計算結果—，日本地震工学会大会-2012概要集，pp.76-77，2012。
- 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。
- Wald,D.J. and Somerville, P.G.: Variable slip rupture model of the Greet 1923 Kanto, Japan, earthquake: geodetic and body-waveform analysis, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.85, pp.159-177, 1995。
- Sato, H., Hirata, N., Koketsu, K., Okaya, D., Abe, S., Kobayashi,R., Matsubara, M., Iwasaki, T., Ito, T., Iwata, T., Kawanaka, T., Kasahara, K. and Harder, S.: Earthquake source fault beneath Tokyo, Science, Vol.309, No.5733, pp.337-520, 2005。
- 神田克久，武村雅之：震度データから推察される相模トラフ沿いの巨大地震の震源過程，日本地震工学会論文集，Vol.7，No.2（特集号），pp.68-79，2007。
- 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。
- 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。
- 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。
- 片岡正次郎，日下部毅明，村越潤，田村敬一：想定地震に基づくレベル 2 地震動の設定手法に関する研究，国土技術政策総合研究所研究報告，No.25，2003。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 若井淳，野津厚：2011 年東北地方太平洋沖地震の際に見られた表層地盤の非線形挙動の概略的傾向，港湾空港技術研究所資料，No.1272，2013。
- Hardin, B.O. and Drenevlch, V.P., Shear modulus and danping in soils: design equations and curves, Proc. of the American Society of Civil Engineers, Vol.98, No.SM7, pp.667-692, 1972。
- 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.

30) Brune, J.N.: Correction, J. Geophys. Res., Vol.76, p.5002, 1971.

(2014.11.12受付, 2015.3.11修正, 2015.3.13受理)

29) Brune, J.N.: Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquake, J. Geophys. Res., Vol.75, pp.4997-5009, 1970.

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 Ryouzuke MIZUTANI

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 Genroku (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.