

経験的グリーン関数法を用いた震源のモデル化 - 2018年島根県西部の地震(Mj6.1) -

池田 隆明¹・染井 一寛²・倉橋 奨³・宮腰 研⁴

¹正会員 長岡技術科学大学教授 大学院工学研究科原子力システム安全工学専攻
(〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

E-mail: ikeda@vos.nagaokaut.ac.jp

²地域地盤環境研究所研究員 (〒540-0008 大阪府大阪市中央区大手前2-1-2)

E-mail: somei@geor.or.jp

³正会員 愛知工業大学准教授 工学部土木工学科 (〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草1247)

E-mail: susumu@aitech.ac.jp

⁴地域地盤環境研究所グループリーダー (〒540-0008 大阪府大阪市中央区大手前2-1-2)

E-mail: ken@geor.or.jp

2018年4月9日に島根県西部を震源とするMj6.1の地震が発生した。地震の規模は小さいものの、震源近傍の地表地震観測点では 670cm/s^2 を超える地震動が観測され、島根県大田市では全壊18棟を含む626棟の家屋被害が発生した。この規模の地震は日本国内で多数発生しており、地震発生頻度を考えるとこの規模の地震の地震動予測を高精度に行うことは重要と考えられる。そこで、経験的グリーン関数法を用いたフォワードモデリングにより、島根県西部の地震の震源モデルを構築し、既往の震源のモデル化手法との比較を行った。

Key Words : *the Western Shimane prefecture earthquake, empirical Green's function method, source model, strong motion generation area, scaling law*

1. はじめに

2018年4月9日1時32分頃、島根県西部を震源とするMj6.1の地震が発生した（以下、本地震、もしくは島根県西部の地震と呼ぶ）。余震分布¹⁾およびF-net²⁾のメカニズム解より震源断層は北北西-南南東方向に延びる高角の左横ずれ型と考えられる。地震規模は大きいものではないが震源近傍の大田市では震度5強の揺れが観測され³⁾、島根県内の家屋被害は大田市を中心に全壊18棟、半壊57棟を含む633棟に達した⁴⁾。また、震源近傍のK-NET大田(SMN006)では三成分合成で 670cm/s^2 を超える地震動が観測された⁵⁾。

M6クラスの地震の発生頻度は高く、Mj5.8～Mj6.2で震度5強以上を観測した地震は2010年以降に限定しても19地震にのぼる。2018年6月18日に大阪府北部で発生したMj6.1の地震ではライフラインを中心に被害が発生し都市機能が麻痺したことは記憶に新しい。また2016年4月16日3時55分頃に2016年熊本地震の余震として発生したMj5.8の地震では震度6強を観測している。

1995年兵庫県南部地震(Mj7.3)での未曾有の被害を教訓にM7クラスの大規模地震に対する強震動予測の高精度化に関する研究が精力的に進められてきた。一方、前述のようにM6クラスの地震であっても、震源近傍では強い地震動が生成され被害が生じる場合があることから、将来の地震災害軽減を考える上ではM6クラスの地震に対しても高精度な強震動予測が要求される。

そこで本稿では、2018年島根県西部の地震の震源モデルを経験的グリーン関数法⁶⁾を用いたフォワードモデリング⁷⁾により構築し、震源モデルの震源特性について既往の震源のモデル化手法⁸⁾との比較を行う。

2. 地震の概要

表-1に2018年島根県西部の地震の諸元をF-netに基づき示す。図-1に本震および本震後24時間以内に発生した余震の震央分布¹⁾を示す。本震についてはF-net²⁾のメカニズム解も併せて示す。余震の震央は北北西-南南東

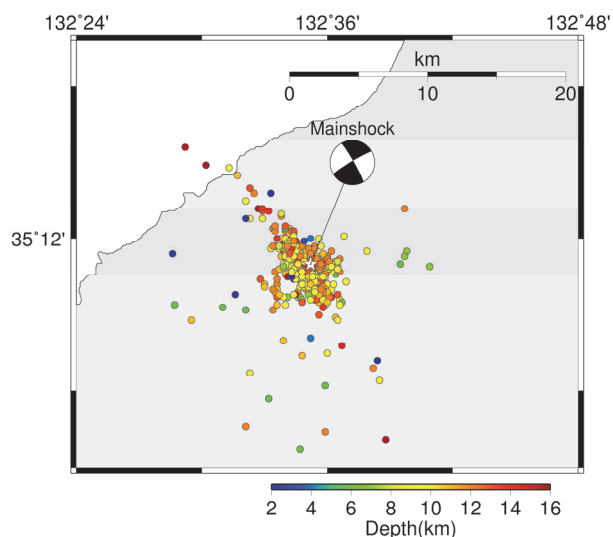


図-1 2018 年島根県西部の地震の震央と余震の震央分布（24 時間以内）

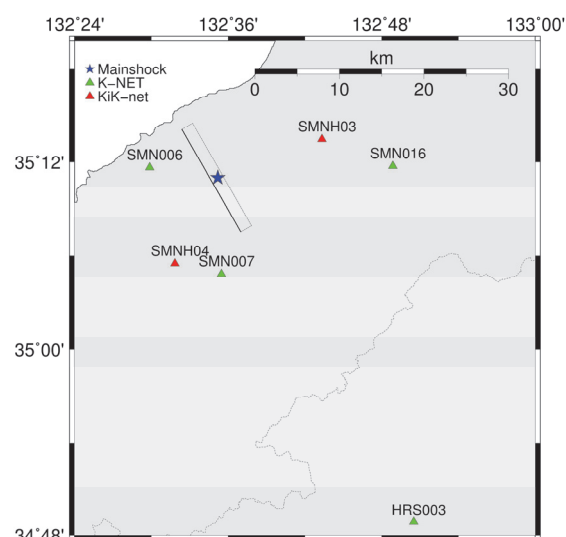


図-2 2018 年島根県西部の震央，震源近傍の地震観測地点，および想定断層面

表-1 2018年島根県西部の地震の概要²⁾

発生日時	2018年4月9日1時32分30.8秒
震央	35.184°N 132.586°E
深さ	12.13km
マグニチュード	$M_j 6.1, M_w 5.6$
地震モーメント	$3.34 \times 10^{17} \text{ N}\cdot\text{m}$
STR/DIP/RAK	330/240/84/85/5/174

方向に分布しており，F-netのメカニズム解のうち 330 度が断層の走向方向と考えられる．余震の深さは $10\text{km} \pm 2\text{km}$ 程度に分布していることがわかる．

3. 震源近傍の地震動とその特徴

本地震における震源近傍を含む広域の地震動記録が防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET，KiK-net）⁵⁾で得られている．図-2に本地震の震央位置と周辺の地震観測地点，および想定断層面を示す．

図-2に示す地震観測地点のうち，震源に近いSMN006，K-NET 邑智（SMN007），KiK-net 佐田（SMNH03），KiK-net 邑智（SMNH04）で観測された地震動の加速度および速度波形を図-3に示す．KiK-net観測記録は地表観測地震動である．速度波形は加速度波形に0.1Hz～10.0Hzのバンドパスフィルターを作用させた後，フーリエ積分により算出した．各観測地点で観測開始時間が異なるため，図-3の時間軸の始点は1時32分34秒に統一している．

最も破壊開始点に近い観測点はSMN006であり，4つの観測地点の中では最も大きい地震動が観測されている．4観測地点での主要動の継続時間は最も距離が離れてい

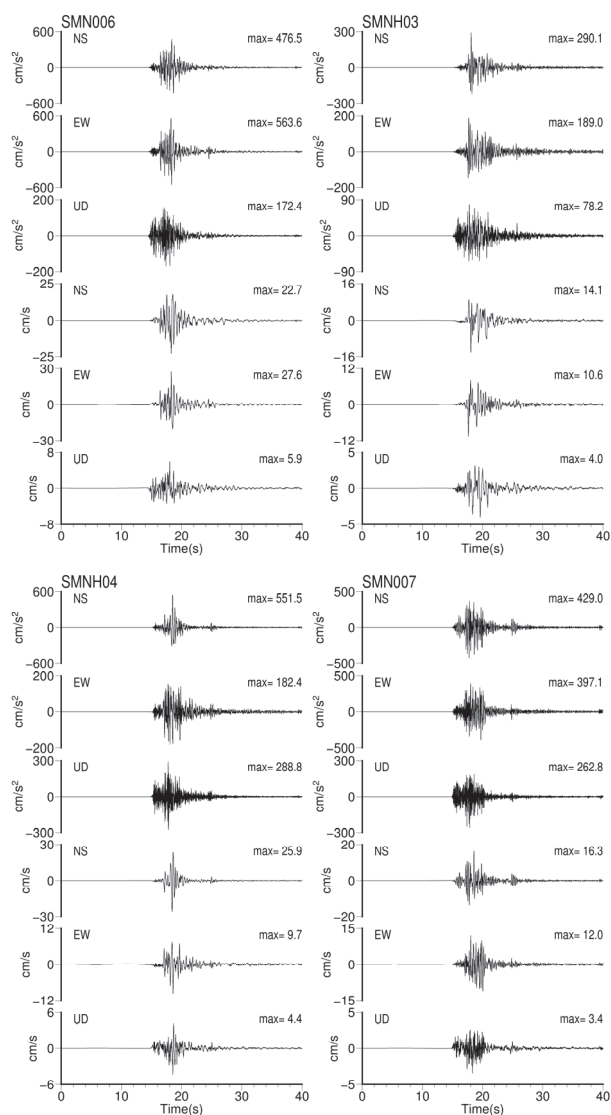


図-3 震源近傍の地震観測地点で観測された 2018 年島根県西部の地震の時刻歴波形

るSMNH03が他に比べて若干長いものの、ほぼ同程度である。

4観測地点とも想定断層の走向方向に相当しないため、断層破壊の指向性効果の影響はほとんど見られていない。断層直交方向に位置するSMNH03の速度波形の初動部にはパルス状の波形が見られるが、パルス幅は0.2~0.3秒程度と短く、断層破壊の指向性効果以外の影響により生じたものと考えられる。

4. 震源のモデル化

(1) 概要

2018年島根県西部の地震に対して釜江・入倉の提案手法⁷⁾に従い、経験的グリーン関数法 (Empirical Green's function method, 以下、EGFMと呼ぶ)⁹⁾によるフォワードモデリングを用いて震源のモデル化を行う。この方法は、波形インバージョン結果を参考に断層面上のすべり量の大きい場所に強震動生成域 (Strong Motion Generation Area, 以下、SMGAと呼ぶ) を配置し、EGFMにより地震観測地点の地震動を合成し、合成地震動と観測地震動との一致度からSMGAの数量、位置、サイズ、応力降下量などのパラメータを定量化するものである。SMGAは矩形とし、かつすべり量も均一な単純なモデル化ながら、SMGAを複数配置することにより震源破壊の不均一性を考慮することができ、M7クラスの内陸地殻内地震の不均一震源モデルとしてその有効性が確認されている^{9) 10)}。断層面のSMGA以外の領域 (背景領域) から地震動を生成するが、震源近傍域の強震動への寄与度が低いことから¹⁰⁾、強震動はSMGAのみから生成されると考え背景領域は考慮しない。

合成地震動との比較には図-3で時刻歴波形を示した4地点に加え、K-NET掛合 (SMN016)、K-NET三次 (HRS003) の6地点の観測記録を使用した。KiK-netの観測記録は地盤の非線形特性の影響を受けにくい地中観測記録とした。K-NETの観測記録は地表の地震動であり強震時には表層地盤の非線形特性の影響を受けやすい。EGFMでは経験的グリーン関数イベントに用いる小地震時での地盤の非線形状態で大地震時の地震動を評価することから、合成地震動は観測地震動に比べ振幅を大きめに評価し、かつ短周期成分が卓越することが知られている¹⁰⁾。そのため、本検討ではフォワードモデリングの拘束地点はKiK-netの2地点のみとし、K-NETの4地点は参考地点の扱いとし、継続時間や包絡形状の評価を行う参考地点とする。図-2に各観測地点の位置を示す。K-NETの地盤情報を確認すると、SMN006は地表近傍まで比較的硬質な地盤であるため地盤の非線形性

の影響は表れにくいと考えられるが、その他の観測地点については表層にN値が低い地盤が確認されている。

(2) 断層面の設定

図-1に示した余震分布およびF-netのメカニズム解に基づき平面からなる断層面を設定した。断層面の諸元は断層面基準点が35.1255N, 132.6166E, 走向330度, 傾斜84度の東傾斜の断層面を設定した。図-2に設定した想定断層面を示す。断層面のサイズは14km×14kmとしているが、前述のように背景領域からの地震動生成を考慮していないため、断層面の大きさは震源のモデル化に影響を与えない。

(3) 経験的グリーン関数イベントに用いる小地震の選定と震源パラメータの設定

EGFMは、予測対象の大地震と経験的グリーン関数イベントとして用いる小地震 (以下、要素地震と呼ぶ) の地震の相似則と震源スペクトルの相似則に基づき、大地震動を要素地震動の線形な重ね合わせで表現する。その

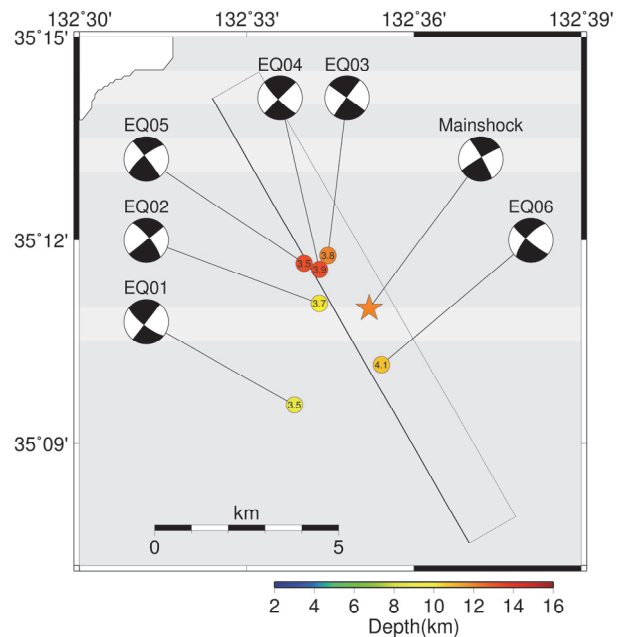


図-4 2018 年島根県西部の地震の震源近傍で発生した地震の震源分布

表-2 2018年島根県西部の地震の震源近傍で発生した地震の諸元

EQ	Date & Time	M _j	Epicenter	Depth(km)
01	2014/04/44 15:23:29	3.5	35.1595N, 132.5643E	8.76
02	2018/04/09 03:46:29	3.7	35.1845N, 132.5717E	10.20
03	2018/04/09 06:38:48	3.8	35.1962N, 132.5743E	12.01
04	2018/04/03 10:59:13	3.9	35.1928M, 132.5718E	13.26
05	2018/04/14 07:48:22	3.5	35.1943N, 132.5672E	13.23
06	2018/04/23 01:01:50	4.1	35.1695N, 132.5903E	10.80

ため、EGFMの精度は要素地震の選定、および要素地震の震源パラメータの設定精度に影響を受ける。

図-4に想定断層面が含まれる北緯35.13度～35.23度、東経132.53度～132.63度の範囲に震央を有した地震のうち、マグニチュードが $M_j3.5 \sim M_j4.5$ の範囲にあり、合成地震動との比較に用いる6地点での地震動記録およびF-netのメカニズム解が得られている地震の震源分布を示す。条件に該当する地震は6地震である。表-2に6地震の諸元を示す。平面的に想定断層面上に位置する地震はEQ03, EQ04, EQ06の3地震である。このうち、震源深さがほぼ同じであること、多くの地震観測地点で地震動が得られていること、震源メカニズムの類似性等の条件から、本検討ではEQ06を要素地震とする。

要素地震の震源パラメータとして面積および応力降下量を設定する。二つのパラメータは要素地震のコーナー振動数より式(1)に示すBruneの式^{11,12)}と式(2)に示す円形クラックの式¹³⁾からそれぞれ評価する。

$$r_a = \frac{2.34 \cdot \beta}{2 \cdot \pi \cdot f_{ca}} \quad (1)$$

$$\Delta\sigma_a = \frac{7}{16} \frac{M_{0a}}{r_a^3} \quad (2)$$

ここで、 r_a は要素地震を円形とみなした場合の見かけの半径(km)、 f_{ca} は要素地震のコーナー振動数(Hz)、 β は当該地点の岩盤のせん断波速度(km/s)、 $\Delta\sigma_a$ と M_{0a} は要素地震の応力降下量(MPa)と地震モーメント(N・m)である。本検討では $\beta=3.5$ km/sとした。

要素地震のコーナー振動数は三宅ら¹⁴⁾によるSource Spectral Ratio Fitting Method (以下、SSRF法)により評価する。SSRF法は同一地点で観測された大地震動と小地震動の観測震源スペクトル比にBruneの ω^2 スペクトルに基づく大地震と小地震の震源スペクトル比関数^{11,12)}をフィッティングさせ大地震と小地震の地震モーメントの比、および大地震と小地震のコーナー振動数を求め、そこから波形合成の重ね合わせ数 N と大地震と小地震の応力降下量の比 C を評価する。震源スペクトル比関数を式(3)に示す。

$$SSRF(f) = \frac{M_{0M}}{M_{0m}} \frac{1 + \left(\frac{f}{f_{cm}}\right)^2}{1 + \left(\frac{f}{f_{cM}}\right)^2} \quad (3)$$

$SSRF(f)$ が震源スペクトル比関数である。 f は振動数(Hz)、 M_{0M} と M_{0m} は大地震と小地震の地震モーメント、 f_{cM} と f_{cm} は大地震と小地震のコーナー振動数(Hz)である。比を取

るため、地震モーメントの単位は大地震と小地震で同じであれば制限はない。

この震源スペクトル比関数を大地震と小地震の観測震源スペクトル比にフィッティングさせ^{14,15)}、 f_{cM} と f_{cm} を評価する。なお、小地震の長周期成分を高精度に計測することが難しいため、本検討では式(3)の M_{0M}/M_{0m} はパラメータとせず大地震と小地震の地震モーメントの比で拘束する。具体的な手続きは文献14)と15)に詳しい。

本検討では大地震に鳥取県西部の地震を、小地震に要素地震を適用し、要素地震のコーナー振動数を評価する。観測地震動は長周期側の精度を確保するため広帯域地震計STS-2で得られた3成分の速度波形とし²⁾、震源を囲むようにSAG (西郷)、YSI (吉田)、YZK (山崎)、OKW (大川)、TGW (玉川)、NSK (錦)の6地点を選定した。なお、YSIは地震計の最大振幅を超えたため強震計VSE-355G3の速度波形を使用した。図-5に各観測地点の位置を示す。

時間領域の解析区間はS波部分までとし、本検討では一律20秒とした。観測震源スペクトル比を計算する前に中心振動数の20%の幅の平滑化を行った。伝播経路の補正は幾何減衰と媒質の Q 値 ($Q(f)=131f^{0.68}$)¹⁶⁾による減衰を考慮した。なお、大地震と小地震の震源が近い場合、使用する Q 値特性が観測震源スペクトル比に及ぼす影響は小さい¹⁵⁾。

本検討で使用する要素地震は地震規模が小さく、長周期側の有効周期が短いことが想定されたため、S/N比から有効周期の検討を行った。その結果、長周期側有効周期は2秒弱であった。そのため観測震源スペクトル比と震源スペクトル比関数のフィッティング範囲は0.6Hz～10.0Hz、分割数^{14,15)}は $M=6$ とした。

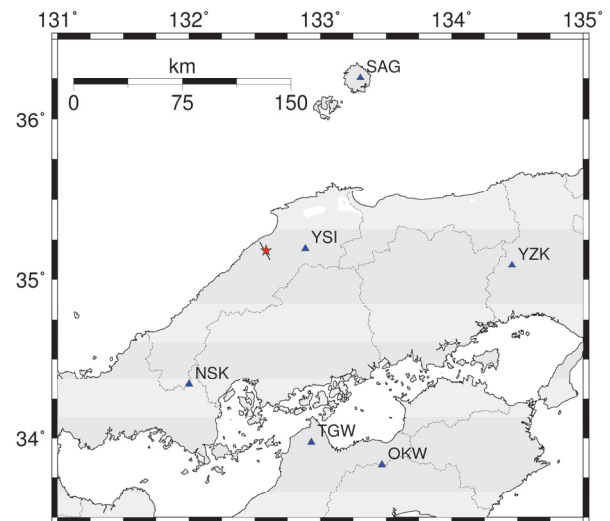


図-5 要素地震のパラメータ評価に用いる観測震源スペクトル比を求める地震観測地点

図-6に震源スペクトル比関数のフィッティング結果を示す。要素地震のコーナー振動数は1.81Hzと評価された。表-3にコーナー振動数から算出した要素地震の面積と応力降下量を示す。地震規模に比べてコーナー振動数が低いため、応力降下量は0.33MPaと同規模の既往地震と比べかなり小さめの値となっている。

(4) 震源のモデル化

図-3に示す震源近傍での地震観測記録には複数のイベントの影響が見られなかったことから、震源破壊は複雑ではないと考え、破壊開始点周辺にSMGAを1つ配置した初期モデルを作成した。次に、EGFMにより6地点の地震動を合成し、SMNH03とSMNH04の地中地震動と観測地震動の時刻歴波形および擬似速度応答スペクトル ($k=0.05$, 以下、応答スペクトル) が一致するようにSMGAの位置、大きさ、破壊開始点を変更する。最後に4地点のK-NETの観測地点の観測地震動と比較し、継続時間や包絡形状の一致度を確認し震源モデルとした。

図-7に設定した震源モデルを示す。SMGAは縦長の矩形で、震源とそれよりも浅い部分に設置した。SMGAの破壊開始点は震源に設置し、同心円状に破壊が広がると仮定した。表-4に強震動生成域の諸元を示す。

図-8に前述の6地点における観測地震動とEGFMにより

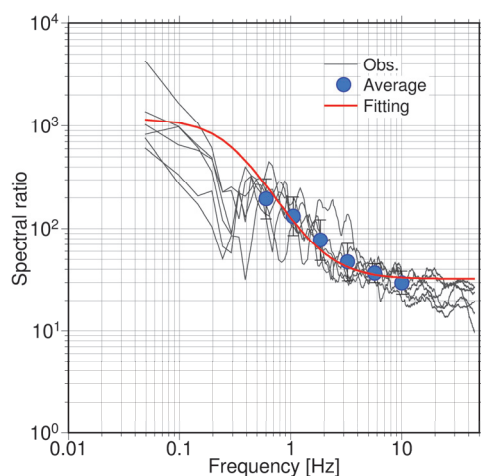


図-6 観測震源スペクトル比と震源スペクトル比関数とのフィッティング状況

表-3 経験的グリーン関数イベントとして用いる地震の諸元

発生日時	2018年4月9日6時38分48.71秒
震央	35.1962N 132.5743 E
深さ	12.01km
マグニチュード	$M_f 3.8, M_w 3.6$
地震モーメント ⁽¹⁰⁾	$2.82 \times 10^{14} \text{ N}\cdot\text{m}$
STR/DIP/RAK ⁽¹⁰⁾	246; 156/88; 90/-180; -2
コーナー振動数	1.81Hz
応力降下量	0.33MPa
面積	1.63km ²

評価した合成地震動（加速度波形、速度波形、変位波形）の比較（NS成分）を示す。また、図-8に応答スペクトルと加速度フーリエスペクトル（以下、フーリエスペクトル）を比較して示す。波形合成における有効振動数帯は、要素地震のS/N比や変位スペクトルのフラットレベルを検討しSMN007とHRS003が0.3Hz～10Hz（0.1秒～3.3秒）、それ以外の地点は0.2Hz～10Hz（0.1秒～5秒）とした。なお、観測地震動にも同様のバンドパスフィルターを作用させている。

SMNH03では観測地震動に見られるパルス状の波形が再現できている。特に速度波形と変位波形の特徴が良く再現できている。応答スペクトルとフーリエスペクトルもよく一致している。SMNH04では加速度波形振幅は若干小さめの評価となっているが、速度波形および速度波形は再現できている。応答スペクトルでは0.4秒付近の振幅を小さめに評価していることが加速度波形振幅を小さめに評価した原因と考えられる。

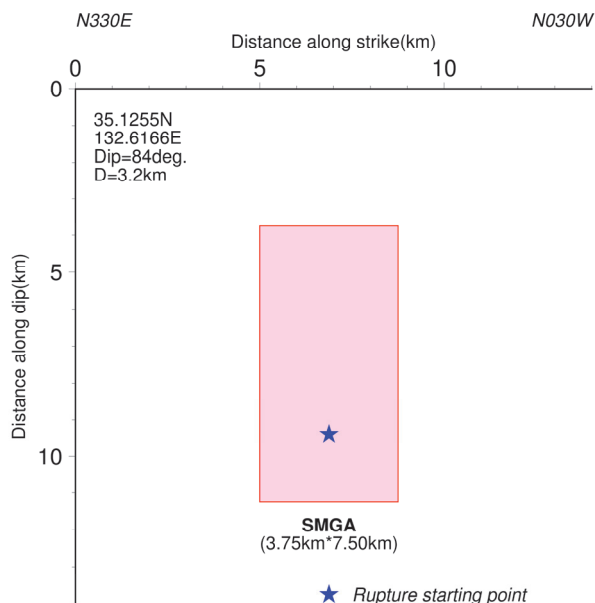


図-7 経験的グリーン関数法を用いたフォワードモデリングにより評価した震源モデル

表-4 震源モデルの強震動生成域の諸元

		SMGA
面積	km ²	28.125 (3.75km×7.5km)
重ね合わせ数		3×6×4.24
地震モーメント	N·m	2.15×10^{17}
上端深さ	km	6.93
応力降下量	MPa	3.3
破壊伝播速度	km/s	2.7
ライズタイム	s	0.4

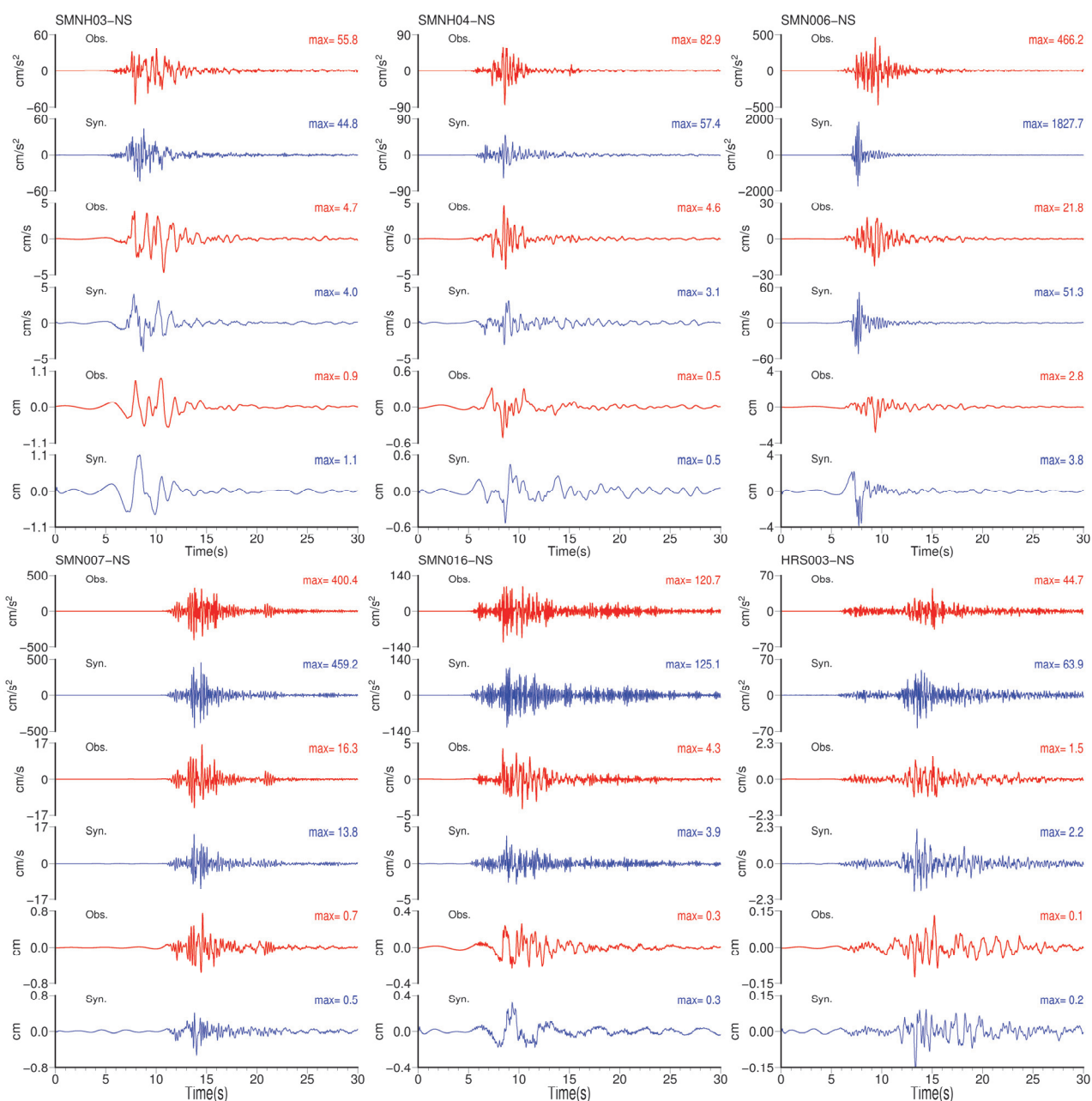


図-8 観測地震動と合成地震動の時刻歴波形の比較 (赤線：観測，青線：合成)

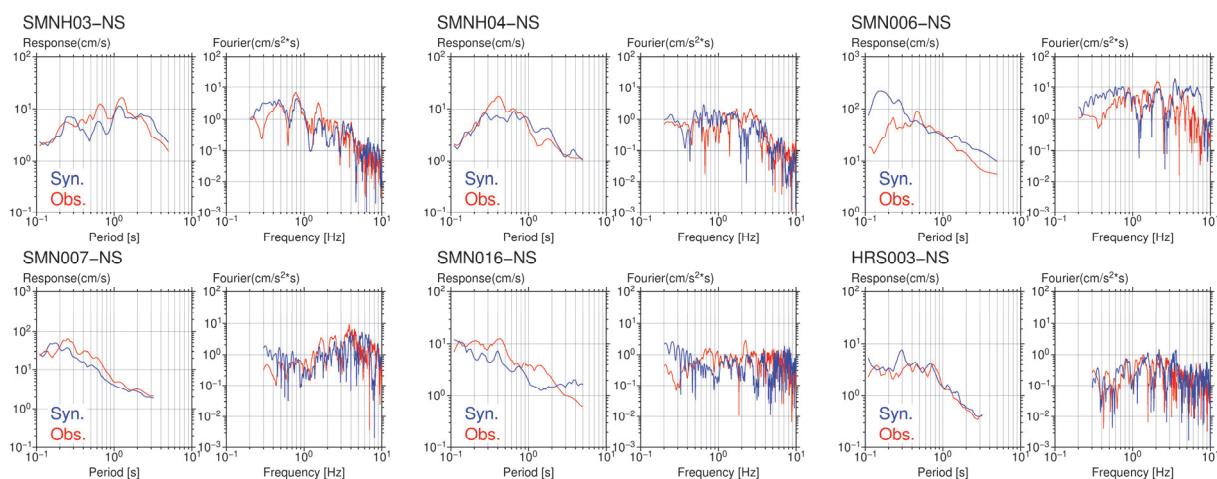


図-9 観測地震動と合成地震動の擬似速度応答スペクトル ($h=0.05$) と加速度フーリエスペクトルの比較 (赤線：観測，青線：合成)

SMN006では合成地震動と観測地震動の一致度は低く、応答スペクトルからわかるように合成地震動は短周期領域において観測地震動を過大評価している。一般的には地盤が軟弱でその非線形性を考慮しない場合に見られるような現象であるが、前述の通り当該地点は比較的硬質な地盤条件を有する。時刻歴波形を比較すると、主要動の前半部分で大きな振幅が計算されており、観測地震動とは包絡形状が異なることから、要素地震動の精度に影響を受けた可能性がある。SMN007, SMN016, HRS003の一致度はKiK-netの地中地震動と同程度である。SMN016とHRS003は最大加速度が 100cm/s^2 を上回る程度であり、表層地盤は顕著な非線形挙動を行わなかったことが理由と考えられる。一方、SMN007の最大加速度は 400cm/s^2 を超えており、表層地盤は非線形化する地震動レベルである。この原因を明らかにするため、当該地点の地盤調査について再評価を行う必要がある。

本検討で構築した震源モデルの震源パラメータを震源断層を特定した強震動予測手法（以下、レシピ）⁸⁾に基づく推定値と比較する。比較する震源パラメータは、地震モーメント、ライズタイム、加速度震源スペクトルのレベル（以下、短周期レベル）である。なお、レシピにおけるアスペリティとSMGAは等価と考える。

構築した震源モデルのSMGAの地震モーメントの総和は全体の64%となる。レシピでは、アスペリティの面積を震源断層全体の1/4、アスペリティの平均すべり量が震源断層全体の平均すべり量の2倍とすると、震源断層全体に対するアスペリティの地震モーメントの割合は50%となる。そのため、地震モーメントの割合は本モデルの方がやや大きめである。

レシピでは短周期レベルは式(4)に示す壇ら¹⁷⁾のスケーリング則により地震モーメントから式(5)で評価する

$$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3} \quad (4)$$

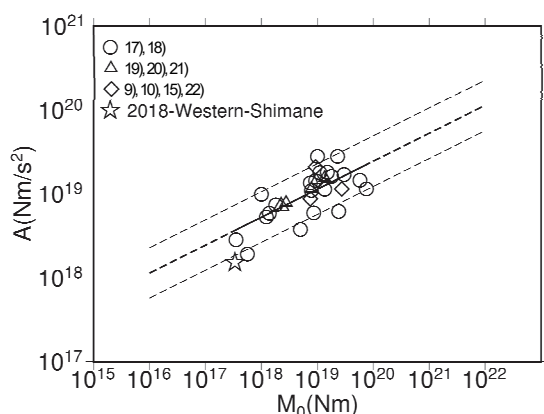


図-10 地震モーメント (M_0) と加速度震源スペクトルの短周期レベル (A) との関係

A は短周期レベル ($\text{N}\cdot\text{m/s}^2$) , M_0 は地震モーメント ($\text{N}\cdot\text{m}$) を示す。図-12にスケーリング則を示す。図中の細い破線はスケーリング則の0.5倍と2.0倍を示す。

$$A = 4\pi \cdot r_{SMGA} \cdot \Delta\sigma_{SMGA} \cdot \beta^2 \quad (5)$$

r_{SMGA} はSMGAを円形とした時の半径 (km) , $\Delta\sigma_{SMGA}$ はSMGAの応力降下量 (MPa) , β は震源域における岩盤のS波速度である。図-10に式(5)から得られた短周期レベルと地震モーメントの関係を☆印で示す。図中には参考として他の内陸地殻内地震のフォワードモデリングから算出された短周期レベル^{9), 10), 15), 17), 18), 19), 20), 21), 22)}を併せて示す。図からわかるように本検討で構築した震源モデルの短周期レベルは既往のスケーリング則¹⁷⁾よりも小さめである。島根県西部の地震の最大加速度と最大速度は既往の距離減衰式よりもやや大きいことが指摘されており²³⁾, SMGAの応力降下量が小さめに評価された点も含め今後の検討課題である。

5. まとめ

2018年島根県西部の地震 ($M_j6.1$) を対象に震源近傍を含む周辺域で観測された地震動記録を用い、震源モデルを経験的グリーン関数法を用いたフォワードモデリングにより評価し、破壊開始点とその浅い部分にかけてSMGAが位置する震源モデルを構築した。

震源モデルの加速度震源スペクトルの短周期レベルは既往のスケーリング則よりも小さく評価された。今後、SMGAの応力降下量が小さめに評価されたことを含めて詳細な検討を行い、 $M6$ クラスの地震の震源のモデル化手法に反映させていきたい。

謝辞：本研究では防災科学技術研究所の強震観測網K-NETおよびKiK-netの地震動記録と関連データ、F-netのメカニズム解、気象庁の震源データを使用させていただきました。本研究は科研費基盤研究(B) 18H01519（研究代表者：池田隆明）の一部として実施いたしました。最後に記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁：震源リスト,
https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/daily_map/index.html (2018.8.4 閲覧)
- 2) 防災科学技術研究所：広帯域地震観測網, F-net,
<http://www.fnet.bosai.go.jp> (2018.8.4 閲覧)
- 3) 気象庁：震度データベース,

- <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php> (2018.8.4 閲覧)
- 4) 総務省消防庁：島根県西部を震源とする地震（第 15 報・H30.7.27 更新），
<http://www.fdma.go.jp/bn/2018/detail/1039.html>
(2018.8.4 閲覧)
 - 5) 防災科学技術研究所：強震観測網（K-NET，KiK-net），<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
(2018.8.4 閲覧)。
 - 6) Irikura, K.: Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, *Proceedings of the 7th Japan Earthquake Engineering Symposium*, pp.151-156, 1986.
 - 7) 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，日本建築学会構造系論文集，No.500，pp.29-36，1997.
 - 8) 地震調査研究推進本部：震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」），
http://www.jishin.go.jp/evaluation/strong_motion/
(2018.8.4 閲覧)
 - 9) 池田隆明，釜江克宏，三輪 滋，入倉孝次郎：経験的グリーン関数法を用いた 2000 年鳥取県西部地震の震源のモデル化と強震動シミュレーション，日本建築学会構造系論文集，No. 561，pp.37-45，2002.
 - 10) 池田隆明，釜江克宏，入倉孝次郎：経験的グリーン関数法を用いた震源のモデル化と地盤の非線形性を考慮した地震動評価，2005 年福岡県西方沖の地震と 2007 年能登半島地震への適用，日本建築学会構造系論文集，No.665，pp.1253-1261，2011.
 - 11) Brune, J. N.: Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, Vol.75, pp.4997-5009, 1970.
 - 12) Brune, J. N.: Correction, *Journal of Geophysical Research*, Vol.76, p.5002, 1971.
 - 13) Eshelby, J. D.: The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, Vol.241, Issue 1226, pp.376-396, 1957.
 - 14) 三宅弘恵，岩田知孝，入倉孝次郎：経験的グリーン関数法を用いた 1997 年 3 月 26 日 ($M_{JMA}6.5$) 及び 5 月 13 日 ($M_{JMA}6.3$) 鹿児島県北西部地震の強震動シミュレーションと震源モデル，地震，第 2 輯，Vol.51, No.4, pp.431-442, 1999.
 - 15) 池田隆明，染井一寛，倉橋奨，宮腰研，釜江克宏，高瀬裕也，小島由記子：経験的グリーン関数法を用いた 2016 年鳥取県中部の地震の震源のモデル化，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.74，（登載決定）
 - 16) 佐藤智美：KiK-net 強震記録に基づく鳥取県西部地震とその余震のラディエーションパターン及び f_{max} の評価，日本建築学会構造系論文集，No.556，pp.25-34，2002.
 - 17) 壇一男，渡辺基史，佐藤俊明，石井透：断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化，日本建築学会構造系論文集，No.545，pp.51-62，2001.
 - 18) 壇一男，武藤真菜美，石井やよい，阿比留哲生：内陸地震の断層タイプ別にみた各種マグニチュードの関係とそれに基づく断層モデルの設定と強震動の試算，日本建築学会構造系論文集，Vol.75，No.650，pp.741-750，2010.
 - 19) Kamae, K., Ikeda, T, and Miwa, S.: Source model composed of asperities for the 2004 Mid Niigata Prefecture, Japan, earthquake ($M_{JMA}=6.8$) by the forward modeling using the empirical Green's function method, *Earth Planets Space*, Vol.57, pp.533-538, 2005.
 - 20) 釜江克宏，川辺秀憲：2007 年新潟県中越沖地震 ($M_j6.8$) の震源のモデル化と強震動シミュレーション，
<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/jishin/kenkyunaiyou.html>
(2018.8.4 閲覧)
 - 21) 釜江克宏：2008 年岩手・宮城内陸地震($M_j7.2$)の震源のモデル化（暫定版），
<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/jishin/kenkyunaiyou.html>
(2018.8.4 閲覧)
 - 22) 池田隆明，小長井一男，釜江克宏，佐藤京，高瀬裕也：2014 年長野県北部の地震の被害調査と震源のモデル化，土木学会論文集 A1（構造地震工学），Vol.72，No.4，pp.I_975-I_983，2016.
 - 23) 西村利光（私信）

SOURCE MODELING OF THE MID-SCALE EARTHQUAKE
USING THE EMPIRICAL GREEN'S FUNCTION METHOD
- 2018 SHIMANE-KEN SEIBU EARTHQUAKE (MJ6.1) -

Takaaki IKEDA, Kazuhiro SOMEI, Susumu KURAHASHI and Ken MIYAKOSHI

Research for source modeling and strong ground motion prediction method were being vigorously advanced after the 1995 Hyogo-Ken Nambu earthquake. "Recipe for strong ground motion prediction" was constructing based on several research findings. Effectiveness of the recipe was verifying by applying to a large earthquake which was generated recently. Generally, damage by mid-scale earthquake was not so serious, but that earthquake is often generated and caused some damage. So it is important to study of source modeling against the mid-scale earthquake. In this study, we attempted to make a source model of mid-scale earthquake. The earthquake of Mj6.1 which occurred in western Shimane prefecture in Japan on 18th June 2018 was selected for target earthquake. Strong ground motions were generated near source area and caused severe damage to many houses. We constructed a source model by the forward modeling using empirical Green's function method. The source parameters of strong motion generation area were determined from the comparisons of the synthesized broad-band ground motions with the observed ones at several stations including near source. Resultantly, we proposed source model with single strong motion generation areas located in shallow part of hypocenter. The relationship between seismic moment and short period level was underestimated against a scaling law of the past study.