

# 経時特性に着目した強震動予測手法の 違いに関する一考察

仲野健一<sup>\*1</sup>

免震や超高層建物への影響が危惧される南海トラフ巨大地震に備えるため、同地震で発生する強震動の予測が数多く試みられている。強震動の計算においては、計算手法毎に用いられる位相特性が異なるため、最終的な計算波形が大きく異なる。本研究では、南海トラフ巨大地震の強震動シミュレーションを異なる複数の計算手法で実施し、各計算手法で得られた波形の非定常スペクトルや継続時間を比較した。その結果、合成波形の経時特性が顕著に異なることを明らかにした。この原因としては計算手法毎に用いる要素波形の作成方法の違いが大きく影響しており、経験的に得られる経時特性を利用することの有用性を指摘した。

キーワード：南海トラフ地震、強震動予測、半経験的手法、経時特性、非定常スペクトル、継続時間

## 1. はじめに

南海トラフ沿いの巨大地震においては、一般建造物の他、免震や超高層建物等への甚大な構造的被害ならびに人的被害につながる可能性が高い。また、巨視的な視点から被害後20年間で約1,410兆円の経済的な被害が推計されている<sup>1)</sup>。この推計には建造物の損傷や人的被害、また、それらに伴う経済活動の低下等の様々な要因が含まれる。その前提として南海トラフ沿いの巨大地震で発生する地震動（強震動）の強さによるところが大きいことから、最新の科学的知見や社会的要求を反映しつつ、適切な強震動を計算する手法を模索していくことは大変重要である。

一般的な強震動を評価する計算手法としては、有限差分法（FDM）等の数値計算手法（および短周期域を対象にした計算手法とのハイブリッド手法）もしくは半経験的手法（経験的グリーン関数法や統計的グリーン関数法）が用いられることが多い<sup>例え2)</sup>。経験的グリーン関数法（EGF）では中小地震の実地震観測波形を要素波形として直接用いることから、実務において信頼性の高い手法とされている<sup>6)</sup>。一方、統計的グリーン関数法（SGF）は人工的に作成する要素波形を作成することで任意の建設地点に適用できることから、EGFを補完する形で提案された手法である。構造設計実務では、計算精度と簡便性のバランスから半経験的手法（EGFやSGF）が用いられることが多い。

しかしながら、上記の半経験的手法においては、その計算手法の枠組みの中でどのような要素波形を用いるか（もしくは作成するか）によって、最終的な地震波形が大きく異なることが指摘されている<sup>例え2)</sup>。南海トラフ

巨大地震では、長周期・長時間地震動による繰り返しの影響が懸念されており、それは地震波形の経時特性（位相特性）に依存する<sup>例え3),4)</sup>。

以上のことから、本研究では、半経験的手法（EGFやSGF）を対象として、南海トラフ巨大地震の強震動シミュレーションを異なる複数の条件で実施する。各ケースで得られる波形の非定常スペクトルや継続時間を比較し、強震動予測における経時特性のモデル化について考察する。

## 2. 計算条件

### 2.1 断層モデル

本稿では、地震動の計算手法として半経験的手法（SGF及びEGF）を用いることから、特性化震源モデルを設定する必要がある。南海トラフ地震を対象として巨視的パラメータに相当するものは具ら<sup>5)</sup>の断層モデルを参照することとし、微視的パラメータに相当するものは具ら<sup>5)</sup>及び内閣府<sup>6)</sup>を参照して設定した<sup>7),8)</sup>（図-1）。

SGFについては要素波形を任意に作成できるが、EGFについては適切な要素波形の選定が重要となる。九州地方においては、南海トラフ地震の想定震源域に被る日向灘沿いでプレート境界地震が発生している。一方、四国地方においては、同想定震源域でのプレート境界地震の発生は明確には確認されていない（マグニチュードMが4程度以上のイベントに関して）。そこで、表-1に示す2種類の地震で得られた観測記録を要素波形として使用する。一つは日向灘沖で発生したプレート境界地震と判断できるイベントで得られた地震波形で、もう一つはプレート境界地震と断定はできないが四国沖で発生したイ

\*1 研究開発推進部

メントである。両者のメカニズム解はF-net<sup>9)</sup>で推定されたものを参照した(走向・傾斜角・すべり角は2組推定されるがそのうち第1節面を記載)。表-1の断層タイプはShearer et al.<sup>10)</sup>の基準で判断している。図-1には弘瀬ら<sup>11)</sup>のプレート境界面を参考として示す。

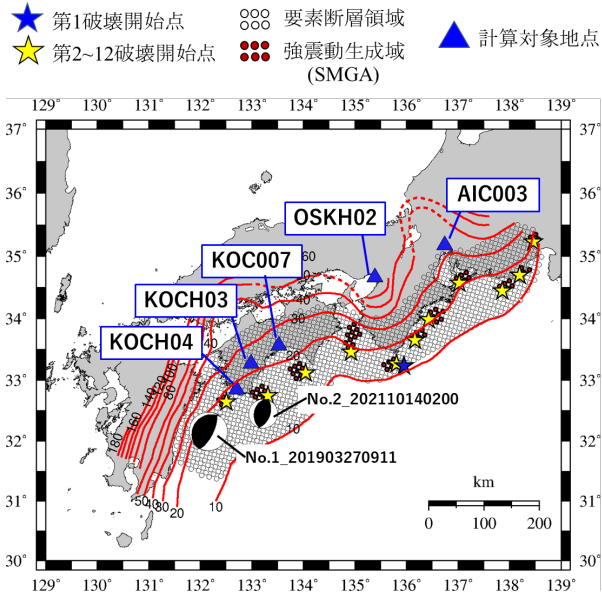


図-1 断層モデルと計算対象地点およびEGFの要素地震

## 2.2 計算条件

表-2に本稿で設定した計算ケースの一覧を示す。SGFでは経時特性(位相)の計算条件を変えることで合計2ケースを設定した。Case01ではBoore<sup>12)</sup>の包絡形関数を、Case02ではスペクトルインバージョン(GIT)で評価された群遅延時間に基づく位相スペクトル<sup>13)</sup>をそれぞれ地震波形の計算に用いた(振幅は仲野・川瀬<sup>13)</sup>に基づき経験的な震源・伝播・地盤増幅特性を使用)。EGFでは壇・佐藤<sup>14)</sup>の経験的グリーン関数法を採用した。しかし、要素波形選定の影響が大きいことから複数の要素波形を比較することとして、Case03では表-1に示すNo.1の地震波形を、Case04ではNo.2の地震波形をそれぞれEGFの要素波形として用いた。計算対象地点は図-1に示す通りである。Case05は佐藤ら<sup>3)</sup>の経験的手法に基づき、大川ら<sup>4)</sup>によって算出された計算波形であり、比較のために既報で公開されている波形を使用する。

表-2 計算ケースと計算対象地点一覧

ケース	計算手法の分類	経時特性	計算対象地点				
			KOCH03	KOCH04	KOC007	OSKH02	AIC003
Case01	半経験的手法(SGF)	包絡形関数(Boore, 1983)	○	○	○	○	○
Case02	半経験的手法(SGF)	群遅延時間(仲野・川瀬, 2021)	○	○	○	○	○
Case03	半経験的手法(EGF)	表1のイベントNo.1	○	○	-	-	-
Case04	半経験的手法(EGF)	表1のイベントNo.2	○	○	-	-	-
Case05	経験的手法	群遅延時間(大川ら, 2013)	-	-	○	○	○

地表面波形を扱う場合、南海トラフ地震のような巨大地震においては特に表層地盤の非線形特性による影響を考慮する必要がある。しかし、本稿では各計算条件が計算波形の経時特性(位相)に与える影響のみに着目していることから、以下においては地盤の非線形性は考慮しない。

表-1 地震リスト(EGFの要素地震)

No.	Date	Lat.	Lon.	Dep. (km)	Strike	Dip	Rake	M0 (N.m)	Fault Type*
1	2019/03/27, 09:11	32.1530	132.1552	14.60	221	21	104	8.08e+16	Reverse
2	2021/10/14, 02:00	32.4447	133.2185	19.62	189	38	80	1.09e+15	Reverse

## 3. 非定常スペクトルを用いた計算結果の分析

地震工学の分野では、非定常スペクトル解析によって地震波形の周波数特性の時間変化を推定する試みがなされている(例えば<sup>15), 16)</sup>。その目的からすれば、一定幅のタイムウィンドウ毎にFFTを実施し、そのFFTを時間毎に並べたいわゆるランニングスペクトルを用いることもある。しかし、地震波形に注目する場合、5~10秒等の長周期成分が検討対象範囲に入るので、同周期成分が十分に入るタイムウィンドウを設定すると解像度が著しく低下する点に注意が必要である。

特定の帯域通過フィルターのインパルス応答 $h_n(t)$ を用いれば、帯域通過フィルターに入力した波形 $f(t)$ の出力波形 $g_n(t)$ は、式(1)~式(3)で表現できる<sup>15)</sup>。

$$g_n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)h_n(t-\tau)d\tau \quad (1)$$

$$h_n(t) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} H_n(\omega)e^{i\omega t}d\omega \quad (2)$$

$$H_n(\omega) = \begin{cases} \exp\left[-\alpha\left(\frac{\omega-\omega_n}{\omega_n}\right)^2\right] & \text{if } (1-\beta)\omega_n \leq \omega \leq (1+\beta)\omega_n \\ 0 & \text{if } \omega < (1-\beta)\omega_n \\ & \text{or} \\ & \text{if } \omega > (1+\beta)\omega_n \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 $H_n(\omega)$ は中心振動数 $\omega_n$ を有する帯域通過フィルターであり、 $(1-\beta)\omega_n \leq \omega \leq (1+\beta)\omega_n$ の範囲では $\exp[ ]$ の値をとり、 $\omega < (1-\beta)\omega_n$ または $\omega > (1+\beta)\omega_n$ の範囲では0をとる。また、 $\alpha$ と $\beta$ は定数であり、 $\beta$ は計算効率のために導入されたパラメータである。これらの

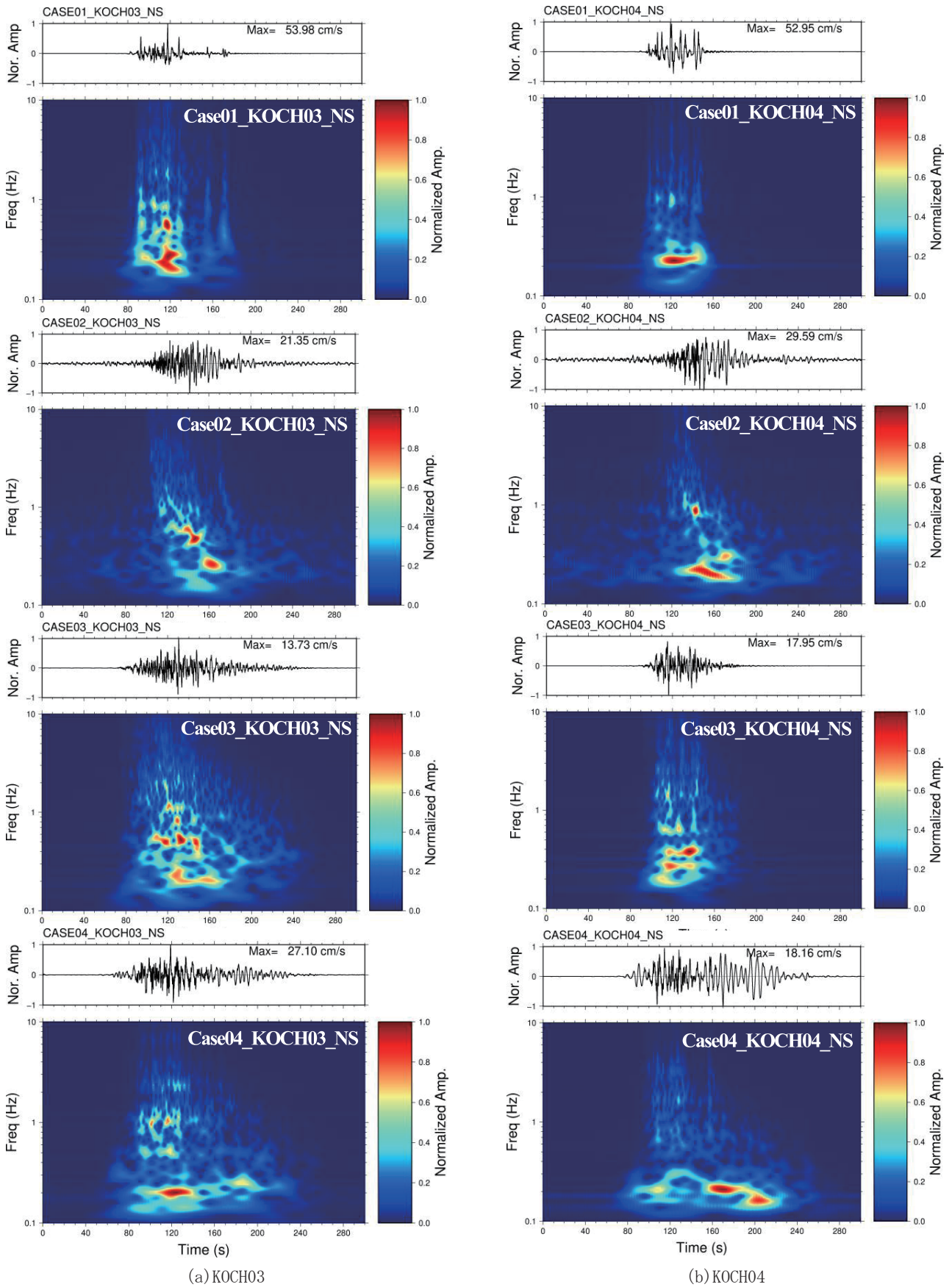


図-2 KOCH03及びKOCH04における非定常スペクトルの比較(非定常スペクトルと速度波形の振幅値は最大値で基準化している)



値は解析対象ごとに試行錯誤的に設定されるべきものであるが、ここでは、神山<sup>15)</sup>に従い、 $\alpha = 50$ 、 $\beta = 0.15$ と設定した。上記の手順で中心振動数 $\omega_n$ 毎に求めた $g_n(t)$ を、まとめて周波数軸と時間軸の2次元配列として表現したものは、 $\omega_n$ を $\omega$ として一般化すれば、いわゆる非定常スペクトル $F(\omega, t)$ として定義される。

図-2に、Case01～Case04の非定常スペクトルの比較を示す。なお、各ケースの計算波形の妥当性については既報にて別途検証済みである<sup>7),8)</sup>。図-2(a)はKOCH03の計算結果、同図(b)はKOCH04の計算結果である。

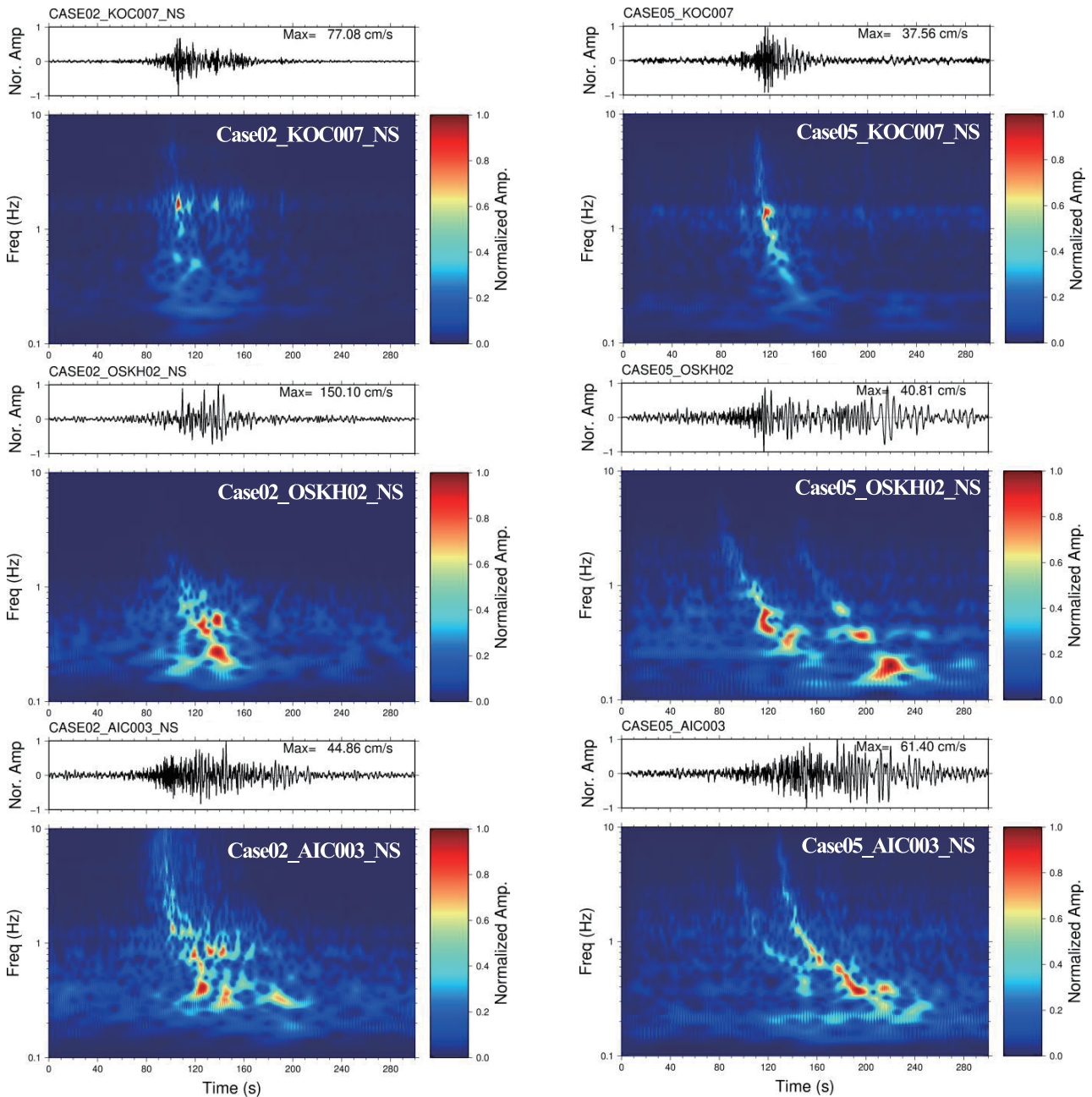
各図において縦にCase01からCase04までの非定常スペクトルを並べている。また、非定常スペクトルと併せて速度波形を示している。ここでは、EGFの要素地震No.2が比較的地震規模が小さいため、有効周波数を勘案して0.2～10Hzのバンドパスフィルタを全ての波形に施した。なお、水平2成分の平均値を用いているCase05を除いて比較にはNS方向の結果を示す。

これらの図を見れば明らかなように、Case01では他のケースに比べて、全体的に各周波数成分の経時的な変化は小さいことがわかる。このことはBoore<sup>12)</sup>の包絡関数関数が震源におけるパルス性の波形形状のみをモデル化しているためであり、その適用範囲については注意を払う必要がある。一方、Case02については、KOCH03およびKOCH04ともに周波数領域の振幅が大きい領域が、1Hzから0.1Hzにかけて経過時間とともに移動しているように見える。このような経時的な特徴は自然地震においてはよく見られる傾向である<sup>例えば<sup>13)</sup></sup>。巨大地震や浅い地殻内地震においては、震源から観測点に直接到来する実体波成分とは異なり、特に表面波として比較的長い伝播距離で振幅が成長しながら到来することが多いことから、実体波の到来する時間から遅れて長周期成分が卓越する傾向にある。従って、Case02ではそのような傾向が適切に反映されていると考えられる。しかし、後述するように、そのような傾向の“強さ”については様々な要因に左右される点に注意が必要である。Case03およびCase04はEGFによって算出された計算波形であるが、特にKOCH04において、両者の経時特性は大きく異なっていることがわかる。Case03のKOCH04ではCase01と同様に周波数振幅の経時的な変化はほとんど見られないが、Case04では実体波の到達と考えられる100秒よりも後ろの160～200秒にかけて非常に大きな振幅を有していることがわかる。このことはEGFの要素波形の選定に起因しており、観測波形の再現性という観点において以前から重要な課題であったが<sup>例えば<sup>2),8)</sup></sup>、今回の比較を通じて経時特性に注目した検討を行う際にも注意すべき点であることが改めて確認できた。このことは、後述す

るように、構造物の地震応答問題への適用を前提としたフォワード型の強震動予測において強く意識する必要があると考えられる(計測震度の予測問題では重要視されないことも多い)。

次に、比較的自然地震を模擬していると判断されるCase02を、Case02と同様に群遅延時間を用いた大川ら<sup>4)</sup>の手法で求められた計算波形(Case05)と比較する。図-3に、Case02とCase05の非定常スペクトルの比較を示す。比較にはKOC007、OSKH02、AIC003を用いた。Case05については建築研究所のWebページ<sup>17)</sup>の公開波形を直接使用した(OSKH02、AIC003は地表面相当の波形、KOC007は工学的基盤相当の波形)。

KOC007およびAIC003においては、両者とも概ね同様の周波数帯の振幅が卓越していること、Case02に比べてCase05の方が周波数振幅の経時変化がやや大きいものの顕著ではなく、同様の経時特性を有していると言えよう。ただし、速度波形の形状としては明らかに異なっていることがわかる。このような差異が構造物の地震応答解析に与える影響については継続的に検討していきたい。一方、OSKH02においては概ね同様の周波数帯が卓越しているが、その経時変化は顕著に異なっていることがわかる。この差異については計算手法の違いに起因している。まず、仲野・川瀬<sup>13)</sup>においては、Nakano et al.<sup>18)</sup>で構築された強震記録のデータベースに近年の強震記録を追加した上でスペクトルインバージョン法(GIT)を適用してフーリエ振幅スペクトルと群遅延時間の平均的な予測モデルを構築し、それらに基づく強震動計算手法を提案している。ただし、Nakano et al.<sup>18)</sup>においては、データベースに $M_{\text{JMA}}4.5 \sim 8$ までの幅広い地震記録を含んでいるが、解析精度の観点から震源距離200km以内のデータに限定してGITを実施している。従って、例えば後続動で表面波が特異に卓越するような事象の地震波形記録(いわゆる盆地転換表面波が顕著な地震波形記録)のデータベースへの収録数は限定的である。Case02で採用した仲野・川瀬<sup>13)</sup>は平均的な強震動の評価に資することを目的として、波形合成に用いるための適切な要素波形の推定を試みている。大川ら<sup>4)</sup>は佐藤ら<sup>3)</sup>と同様に群遅延時間に対して設定した回帰モデルを最小二乗法で解いているため、仲野・川瀬<sup>13)</sup>と物理的背景は異なるものの、アプローチとしては異種のものではない。ただし、大川ら<sup>4)</sup>は海溝型の巨大地震への適用を前提としており、回帰分析に用いる強震記録のデータベースには、後続動が卓越した特定のイベントにおける強震記録が主に含まれている。そのため、当該データベースに基づいて構築された経験的手法を用いた場合、継続時間の長い地震動が計算されやすい。また、巨大地震への適用のために異なる複数のセグメントで生成された6つ



(a) 仲野・川瀬 (2021) の方法 (Case02)

(b) 大川ら (2013) の方法 (Case05)

図-3 Case02 と Case05 の非定常スペクトルの比較

の波形を時間領域で重ね合わせており、このことは特に地震波形の長周期成分の経時特性に大きく影響を与える要因として指摘されている<sup>19)</sup>。上記のような計算手法の違いから、OSKH02の比較で見られる差異が生じていると考えられる。

#### 4. SR 継続時間を用いた計算結果の分析

ここでは、地震動の波形形状 (位相) に関する特性を示す指標の一つとして継続時間を扱う。能島<sup>20)</sup>は、5%~95%までの全パワーで正規化された地震動波形の累積パワー曲線における占有時間で定義されるSR継続時間

(Significant Relative Duration) を継続時間の回帰モデル構築に用いた。本稿では能島<sup>20)</sup>の回帰モデルを用いて、KOC007, KOCH03, KOCH04の3地点を対象にして各ケースの計算波形の継続時間を推定・比較する。なお、能島<sup>20)</sup>の回帰モデルの利用で特定地点のサイト特性に関して必要なZ1.4 (S波速度  $V_s = 1400\text{m/s}$  上面深さ) とAVS30 (地表から30mまでの平均S波速度) については、JIVSM<sup>21)</sup>とK-NET及びKiK-net<sup>22)</sup>のPS検層データを参照して設定した (Z1.4はZ1.5で代用)。

図-4に、SR継続時間の比較を示す。同図 (a), (b), (c)はそれぞれKOC007, KOCH03, KOCH04のSR継続時間である。図中の白抜き丸印は各計算ケースで求められ

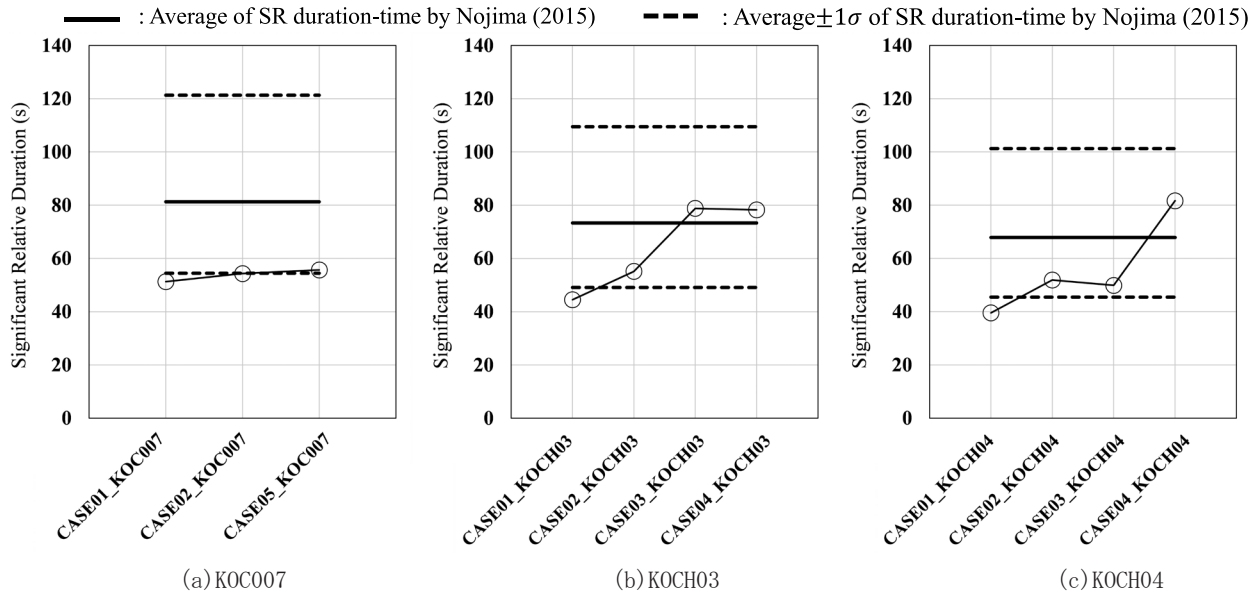


図-4 SR 継続時間の比較

た SR 継続時間を、黒色の実線は能島による回帰モデルの平均値、黒色の点線は平均値  $\pm 1\sigma$  を示す ( $\sigma$  は対数標準偏差). KOC007 では Case01, Case02, Case05 の計算結果を示しているが、本研究の SR 継続時間は平均値  $-1\sigma$  のラインと概ね一致している。従って、この地点では、継続時間はモデル化によって変動しにくいことを示唆している。このことは図-3 の非定常スペクトルが示す傾向を支持する結果と言える。ただし、能島<sup>20)</sup> の回帰モデルとの整合性という観点からは、継続時間が延びにくい地点であるかどうか引き続き調査する必要がある。図-4 (b) において、KOCH03 では Case01, Case02, Case03, Case04 の計算結果を示している。同図を見れば明らかなように、Case03, Case04 は能島の回帰式の平均値と概ね調和的である。この 2 ケースは EGF による計算結果であり、SR 継続時間に関しては適切に推定できていると判断できる。Case02 については平均値と平均値  $-1\sigma$  のラインの間に入っているものの、やや継続時間が短い傾向にある。一方、Case01 については継続時間が平均値  $-1\sigma$  のラインよりも短くなっている。このことから、少なくとも、Boore の包絡形関数を使う場合、長い継続時間を表現することは難しいことが指摘できる。図-4 (c) において、KOCH04 では Case01, Case02 については図-4 (b) と概ね同様の傾向である。Case03 の継続時間は平均値  $-1\sigma$  と概ね一致しているが、Case04 の継続時間は平均値と平均値  $+1\sigma$  の間に入っている。これらのケースの違いは要素波形の違いによって生じていることから、SR 継続時間の観点からも、要素波形として用いる地震波形の選定が重要であることが改めて示唆される。

強震動予測において EGF の適用性が高いことは多くの

既往研究によって確かめられており、4 章で得られた結果はそれらに調和的である。一方で、3 章で示した非定常スペクトルの分析の範囲においてははあるが、経時特性に関して言えば、EGF の結果が必ずしも自然地震で経験的に得られている知見と整合しないケースが認められた。その観点からは、Case02 で採用した計算手法のように経験的に得られる経時特性をモデル化することで安定して既往の知見と調和的な地震波形を算出できる可能性があることを指摘できる。ただし、本稿で示したのは限定的なケースであり、特に EGF では前述のように要素波形の選定の影響が大きいことから、継続的な検討が必要である (この点が EGF を構造設計実務で利用する上での課題と捉えることもできよう)。

## 5. まとめ

本稿では、半経験的手法である EGF と SGF を対象にして経時特性と継続時間を分析した。

経時特性の分析には非定常スペクトルを用いた。その結果、EGF では要素波形として用いる地震波形の選定の影響が大きく、要素波形によって経時特性が大きく変動することが確認できた。EGF では通常過去の地震観測記録を用いることから、地震活動が低い地域の対象地点と想定震源域を結ぶ経路上で適切に地震記録が得られない場合、EGF を採用して強震動を予測することの難しさを改めて示唆した。一方、SGF では包絡形関数ではなく、Case02 で採用した経験的に得られる経時的特性をモデル化した位相スペクトルを用いる方が、自然地震で得られた知見と調和的な地震波形が得られる可能性があることがわかった。



地震動の波形形状（位相）に関する特性を示す指標の一つとして継続時間に着目して分析を行い、能島<sup>20)</sup>の回帰モデルと比較することで各計算手法の適用性を検証した。その結果、EGFでは要素波形選定の影響は存在するものの、平均的なSR継続時間を与える可能性の高い手法であることがわかった。一方で、SGFでは、Boore<sup>12)</sup>の包絡関数を使う場合、長い継続時間を表現することは難しく、例えば仲野・川瀬<sup>13)</sup>のように経験的な経時特性モデルを利用した位相スペクトルを用いた方が能島の回帰モデルの平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲と対応する地震波形となることが期待できる。

以上のことから、非正常スペクトルとSR継続時間等の経時的な特性の観点から、EGFの適用が難しい場合の代替手法として、経験的な経時特性モデルを利用した位相スペクトルを用いることで、SGFでも適切な地震波形を求められる可能性がある。今後、非正常スペクトルの経時特性とSR継続時間の指標が、構造物の地震応答とどのように関連付けられるか、継続的に検討を進めたいと考えている。そのような検討を踏まえて、フォワード型の強震動波形の計算結果の妥当性を確認する手段を開発していきたい。

## 謝辞

本論の作図にあたってはGMT<sup>23)</sup>を利用しました。また、EGFの要素地震としてK-NET及びKiK-net<sup>22)</sup>を活用させて頂きました。ここに記して御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 土木学会：「国難」をもたらす巨大災害対策についての技術検討報告書，土木学会，平成29年度会長特別委員会レジリエンス確保に関する技術検討委員会，2018.
- 2) 日本建築学会：最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法，2009，164p.
- 3) 佐藤智美，大川出，西川孝夫，佐藤俊明，関松太郎：応答スペクトルと位相スペクトルの経験式に基づく想定地震に対する長周期時刻歴波形の作成，日本建築学会構造系論文集，第75巻，第649号，2010，pp.521-530，doi:10.3130/aijs.75.521.
- 4) 大川出，佐藤智美，佐藤俊明，藤堂正喜，北村春幸，鳥井信吾，辻泰一，北村佳久：超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討—南海トラフ4連動地震による超高層・免震建物の応答解析—，No.147，2013，324p.
- 5) 具典淑，壇一男，宮腰淳一，小穴温子，藤原広行，森川信之：南海トラフ沿いの巨大地震による東海・近畿地方の地震動評価，2019年度日本建築学会大会（北陸）構造部門（振動）パネルディスカッション，2019，pp.3-12.
- 6) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会において検討された震度分布・浸水域等に係るデータ提供について，2012，<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/>
- 7) 仲野健一：経験的に得られたフーリエ振幅・経時特性モデルに基づく大阪湾周辺を対象とした南海トラフ地震動の推定，日本地震工学会第16回年次大会，B-2-2，T2021-003，2021.
- 8) 仲野健一：南海トラフ巨大地震における四国・九州地方を対象とした強震動予測と免震建物応答推定，第16回日本地震工学シンポジウム，2023（印刷中）
- 9) National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience: NIED F-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2019, doi:10.17598/NIED.0005.
- 10) Shearer, P. M., G. A. Prieto, and E. Hauksson: Comprehensive analysis of earthquake source spectra in southern California, *J. Geophys. Res.*, Vol.111, B06303, doi:10.1029/2005JB003979.
- 11) 弘瀬冬樹，中島淳一，長谷川昭：Double-Difference Tomography法による西南日本の3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定，地震2，第60巻，第1号，pp.1-20，2019，doi:10.4294/zisin.60.1.
- 12) Boore, D. M.: Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiation spectra, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 73, pp.1865-1894, 1983, doi:10.1785/BSSA07306A1865.
- 13) 仲野健一，川瀬博：経験的に得られたフーリエ振幅・経時特性モデルに基づく統計的グリーン関数を用いた強震動予測手法の提案と適用性の検証，日本地震工学会論文集，第21巻，第2号，pp.130-153，2021，doi:10.5610/jae.21.2\_130.
- 14) 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，日本建築学会構造系論文集，第63巻，第509号，1998，pp.49-60，doi:10.3130/aijs.63.49\_2.
- 15) 神山眞：強震地震動の非正常スペクトル特性とその波動論的考察，土木学会論文報告集，第284号，1979，doi:10.2208/jscej1969.1979.284\_35.
- 16) Dziewonski, A., Bloch S., Landisman M.: A technique for the analysis of transient seismic signals, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.59, No.1, pp.427-444, 1969, doi:10.1785/BSSA0590010427.
- 17) 建築研究所：長周期地震動の予測手法，<https://smo.kenken.go.jp/long/>（参照2023-10-06）
- 18) Nakano, K., Kawase, H. and Matsushima, S.: Statistical properties of strong ground motions from the generalized spectral inversion of data observed by K-NET, KiK-net, and the JMA shindokey network in Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.105, No.5, pp.2662-2680, 2015, doi:10.1785/0120140349.
- 19) 小阪宏之，田中良一，仲野健一，前川利雄，畑義雄，山崎康雄，石川理人，久田嘉章：南海トラフを対象とした改良経験式に基づく設計用入力地震動策定における留意点，日

本地震工学会論文集, 第 20 巻, 第 3 号, pp. 3-115, 2020,  
doi:10.5610/jaee.20.3\_96.

- 20) 能島暢呂: 累積パワーに基づく地震動継続時間の経験的予測式の構築, 日本地震工学会論文集, 第 15 巻, 第 6 号, 2015, pp. 25-43, doi:10.5610/jaee.15.6\_25.
- 21) 地震調査研究推進本部: 「長周期地震動予測地図」2012 年試作版 付録 2, 全国 1 次地下構造モデル (暫定版), 2012, [https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic\\_hazard\\_map/lpshm/12\\_choshuki/](https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/12_choshuki/) (参照 2021-09-16) .
- 22) National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience: NIED K-NET, KiK-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2019, doi:10.17598/NIED.0004.
- 23) Wessel, P. and Smith, H.F.W.: New, improved version of Generic Mapping Tools released, Eos Trans. AGU, Vol. 79, No. 47, p. 579, 1998, doi:10.1029/98E000426.

---

---

## A study on the differences in strong ground motion prediction methods focusing on temporal characteristics

Kenichi NAKANO

In order to prepare for the Nankai Trough mega-earthquake, which is likely to have an impact on seismic isolation and high-rise buildings, many attempts have been made to predict the strong ground motions that will occur in the earthquake. When calculating strong ground motions, the phase characteristics used differ depending on the calculation method, so the final calculated waveforms differ greatly. In this study, we conducted strong motion simulations of the Nankai Trough mega-earthquake using multiple different calculation methods, and compared the unsteady spectra and duration of waveforms obtained with each calculation method. The results revealed that the temporal characteristics of the synthesized waveforms were significantly different. The reason for this is largely due to the difference in the method of creating the element waveforms used for each calculation method, and it was pointed out that it is useful to use the temporal characteristics obtained empirically.