

3. 評価手法

3. 1 震源モデル

相模トラフの地震については、東北地方太平洋沖地震の発生を踏まえた新たな相模トラフ沿いの地震活動の長期評価（第二版）が平成 26 年 4 月に公表されています（地震調査委員会、2014）。従来の長期評価は、同じ震源域で同程度の規模の地震が繰返し発生する「固有地震」の考え方に基づいた評価でしたが、新しい評価では、過去に発生したことが確認されていないものの、現在の科学的知見に基づいて起こり得る最大クラスの地震が評価されるとともに、様々なタイプ（規模）の地震が発生する多様性が考慮された評価となりました。このように、将来発生する地震として多様な震源モデル（シナリオ）が想定される中では、少数の限られたシナリオのみを考慮した地震動の評価では不十分であり、ある地点に対して多種多様な地震を考慮して大きな地震動に見舞われる危険度を評価する確率論的な地震動評価の考え方が有効と考えられます。本検討では、対象とする地震として、相模トラフ沿いのマグニチュード 8 クラスの地震のうち、図 3.1、図 3.2 で示した 1923 年大正関東地震を念頭に置いた震源域「T タイプ」（全国地震動予測地図 2014 年版付録-1 の 5.2.1.1 項のモデルにおける領域番号 1 および 2、以下「T1 タイプ」、「T2 タイプ」と表記）と図 3.3、図 3.4 で示した 1703 年元禄関東地震を念頭に置いた震源域「G タイプ」（同領域番号 6、7、以下「G1 タイプ」、「G2 タイプ」と表記）とを設定し、それぞれのタイプの地震に対して不確定性を考慮した長周期地震動を評価しました。

アスペリティ（地震時に大きく滑る領域）配置は震源域内を網羅するように設定しました。中央防災会議（2013）では浅部領域には強震動生成域を配置していませんが、本検討では、G2 タイプの震源域については「浅部」の中央付近にもアスペリティを配置しました（図 3.4-1,2）。ただし 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源インバージョンに関する研究（Suzuki *et al.*, 2011）を参考に、「浅部」でのすべり速度関数は中村・宮武（2000）ではなく smoothed ramp 関数（継続時間は、「ライズタイム」と一致）としました。破壊開始点位置は各領域の隅角部付近に設定し、浅部西端については 1923 年大正関東地震の震央、深部西端については浅部西端に対応した位置としました。また、東側領域、西側領域それぞれの中央付近にも破壊開始点を追加しました。アスペリティ面積と震源断層面積との比は、「中部」領域の 20%（図 3.1～3.4 の赤）を基本としていますが、2003 年十勝沖地震を対象とした検証（地震調査委員会強震動評価部会、2004）からこれまでの検討を踏まえて、「中部」領域の 10%とする（図 3.1～3.4 の緑）場合を追加しました。以上の方針に基づき設定されるケース数を表 3.1 に、主な震源パラメータを表 3.2 に示します。

表 3.1 不確定性を考慮した計算ケース。

地震タイプ	T		G	
	T1	T2	G1	G2
① アスペリティ配置	6	6	6	12
② アスペリティ面積	2	2	2	2
③ 破壊開始点位置	5	5	8	8
ケース数 (①×②×③)	60	60	96	192
歴史地震の例	1923 年大正関東地震		1703 年元禄関東地震	

Area-01

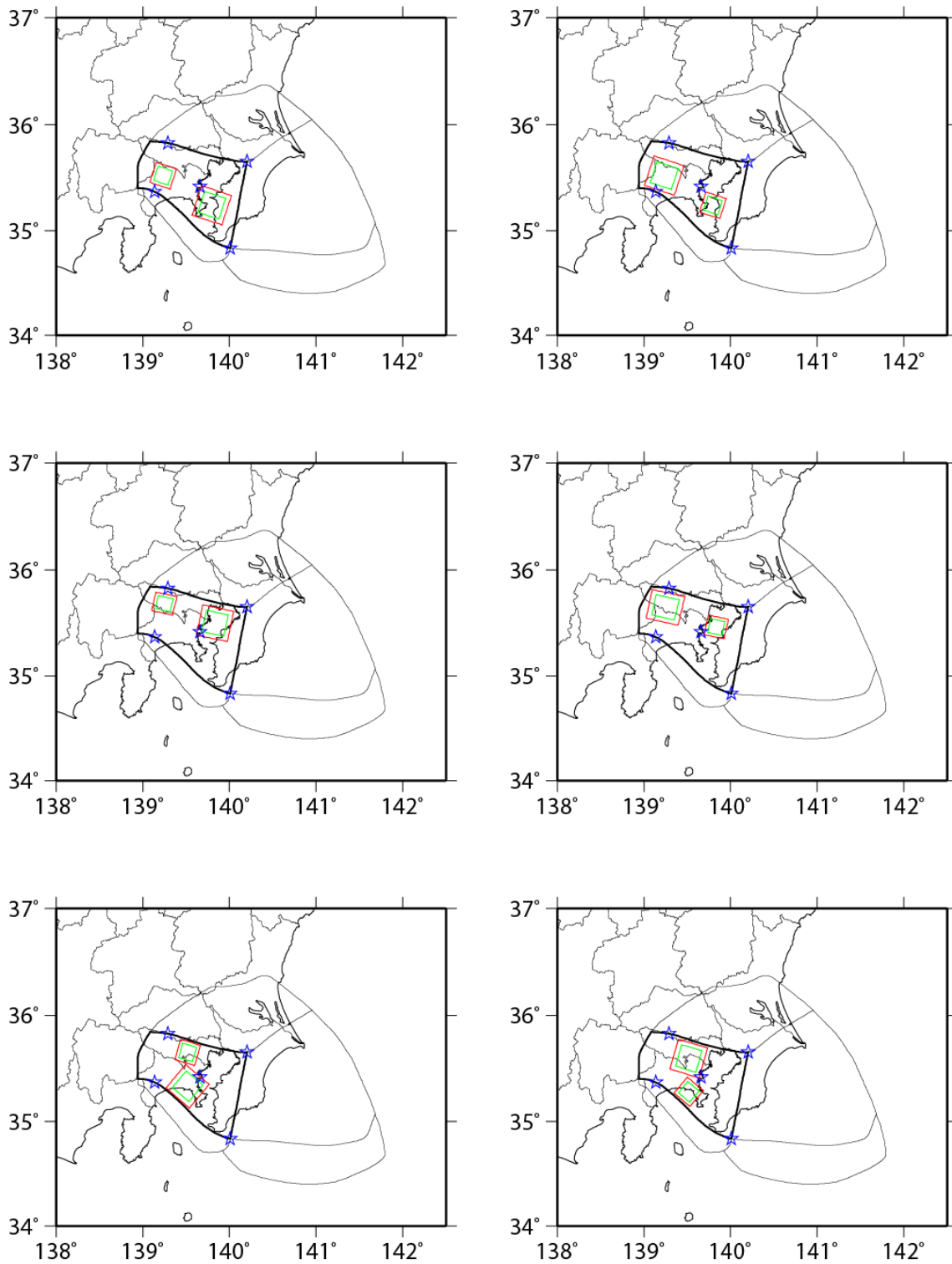


図 3.1 T1 タイプ（黒太線）における基本ケースのアスペリティ（赤および緑）と破壊開始点（青の星印）。

Area-02

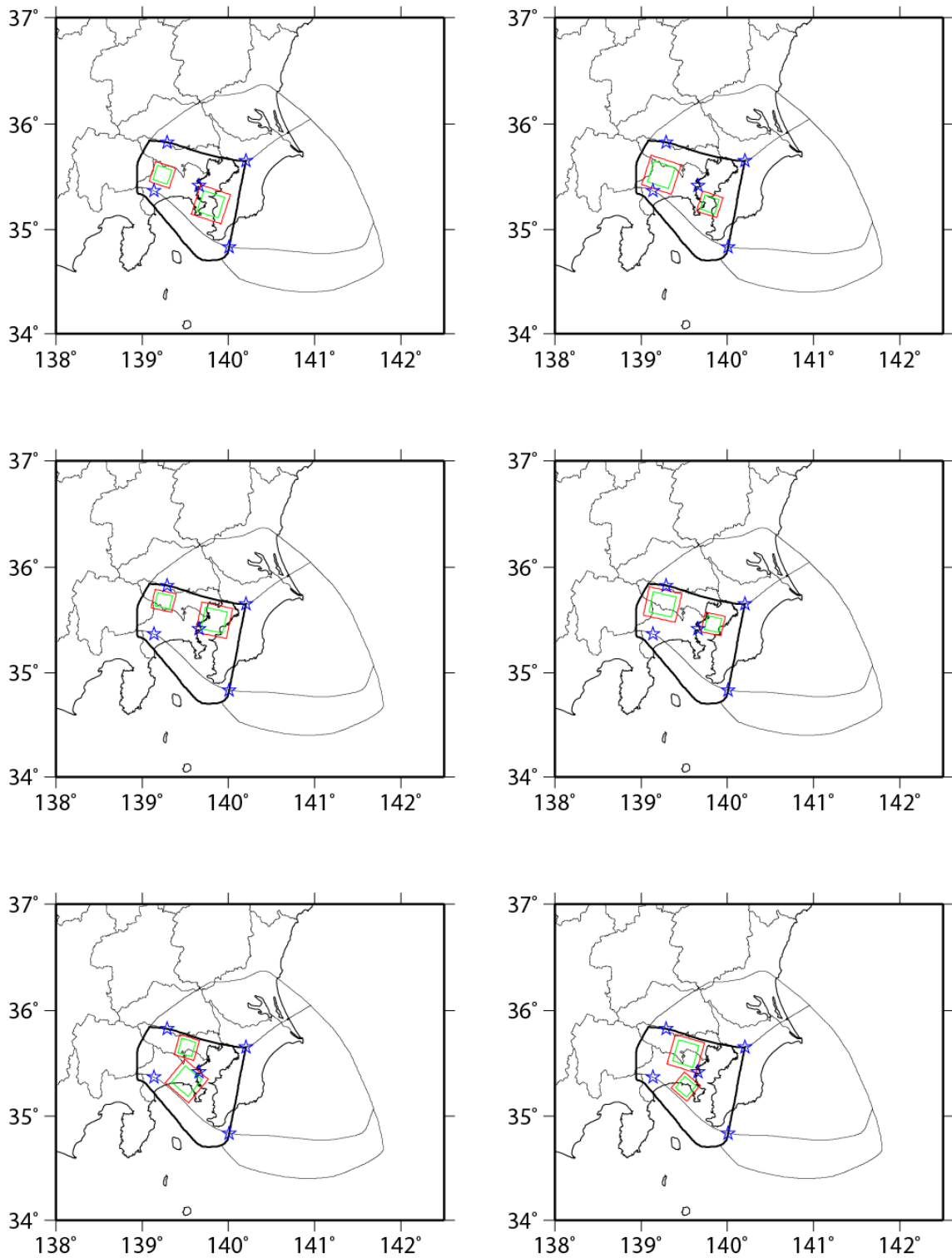


図 3.2 T2 タイプ（黒太線）における基本ケースのアスペリティ（赤および緑）と破壊開始点（青の星印）。

Area-06

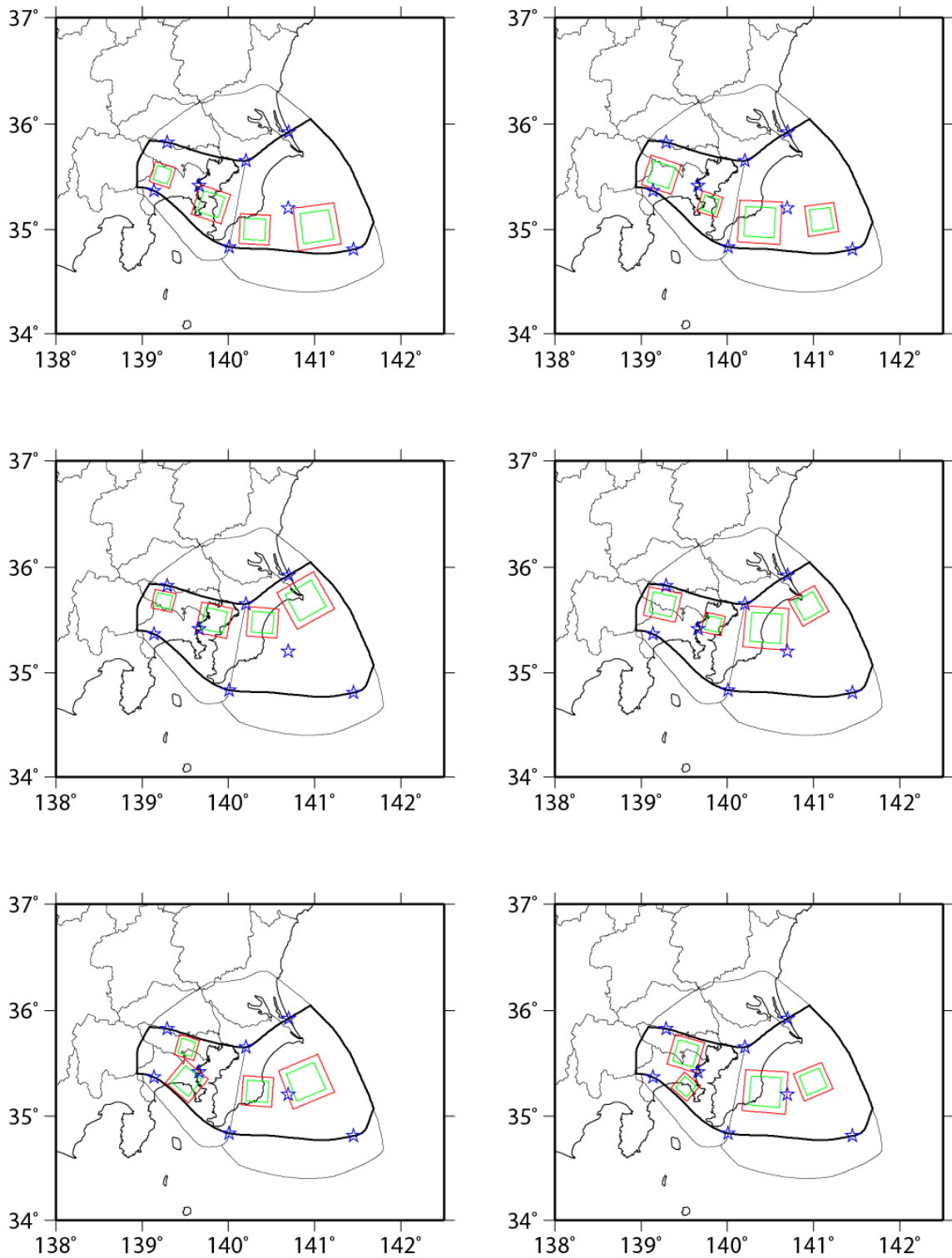


図 3.3 G1 タイプ（黒太線）における基本ケースのアスペリティ（赤および緑）と破壊開始点（青の星印）。

Area-07

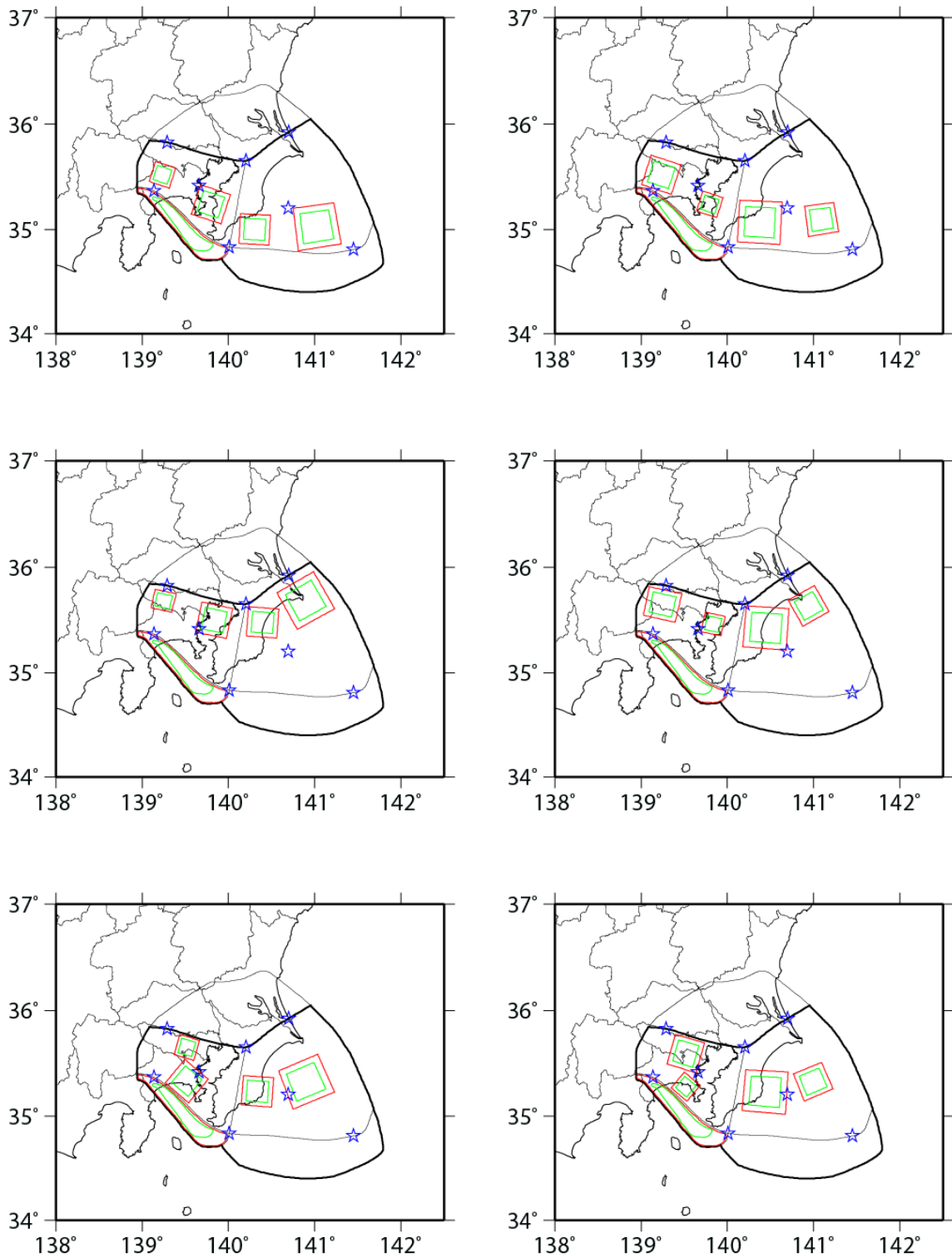


図 3.4-1 G2 タイプ（黒太線）における基本ケースのアスペリティ（赤および緑）と破壊開始点（青の星印）。

Area-07

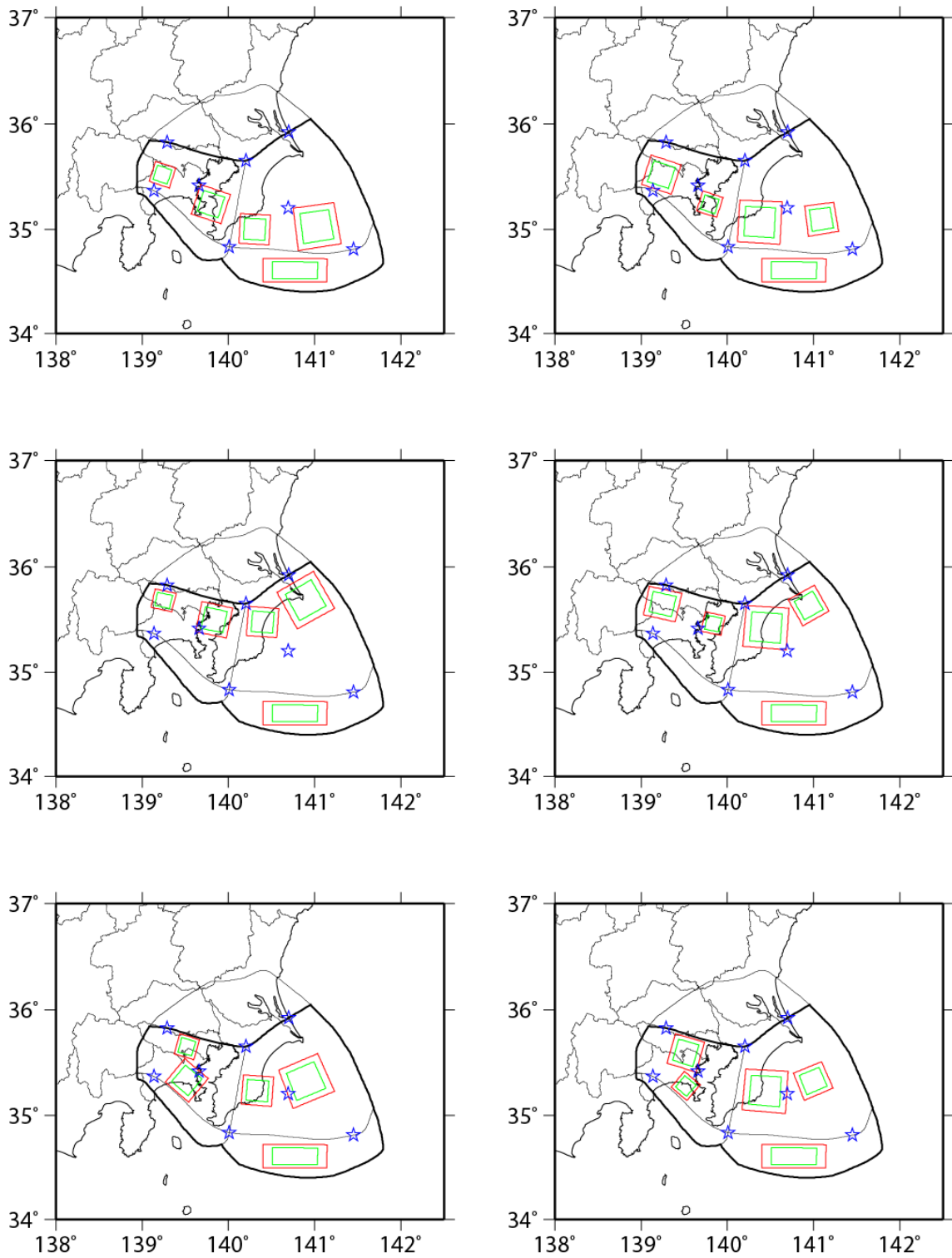


図 3.4-2 G2 タイプ（黒太線）における基本ケースのアスペリティ（赤および緑）と破壊開始点（青の星印）。

表 3.2 主な震源パラメータ。

地震タイプ	T				G				
	T1		T2		G1		G2		
断層面積 [km ²]	7950		9990		23200		31500		
地震モーメント [Nm]	8.7E+20		1.2E+21		4.4E+21		6.9E+21		
Mw	7.9		8.0		8.4		8.5		
平均すべり量 [m]	2.7		3.8		4.6		5.4		
静的応力降下量 [MPa]	3.0		3.0		3.0		3.0		
破壊伝播速度 [km/s]	2.7		2.7		2.7		2.7		
ア ス ペ リ テ イ	面積 [km ²]	1100	550	1100	550	1100	550	1100	550
	すべり量 [m]	6.7	6.7	7.5	7.5	9.2	9.2	10.4	10.4
	実効応力 [MPa]	14.8	29.7	18.6	37.2	14.8	29.7	14.8	29.8
	面積 [km ²]	510	250	510	250	510	250	510	250
	すべり量 [m]	4.5	4.5	5.1	5.1	6.2	6.2	7.0	7.0
	実効応力 [MPa]	14.8	29.7	18.6	37.2	14.8	29.7	14.8	29.8
	面積 [km ²]	—	—	—	—	2020	1010	2020	1010
	すべり量 [m]	—	—	—	—	12.4	12.4	14.0	14.0
	実効応力 [MPa]	—	—	—	—	14.9	29.8	14.8	29.8
	面積 [km ²]	—	—	—	—	1030	510	1030	520
	すべり量 [m]	—	—	—	—	8.9	8.9	10.1	10.1
	実効応力 [MPa]	—	—	—	—	14.9	29.8	14.8	29.8
面積 [km ²]	—	—	—	—	—	—	1700	850	
すべり量 [m]	—	—	—	—	—	—	12.9	12.9	
実効応力 [MPa]	—	—	—	—	—	—	14.8	29.8	
背 景 領 域	面積 [km ²]	6340	7150	8370	9180	18540	20870	25140	28320
	すべり量 [m]	1.9	2.4	4.2	2.7	3.2	4.0	3.8	4.7
	実効応力 [MPa]	2.2	3.9	1.2	4.5	1.6	2.9	1.4	2.5

※破壊伝播速度、すべり量については、不均質性（ゆらぎ）を考慮する基準の値

アスペリティや破壊開始点の配置は、可能性のあるあらゆる配置パターンを網羅している訳ではありません。したがって、必ずしも個々のメッシュ単位で地震動の多様性を網羅している保証はありませんが、設定した配置から劇的に応答が変わるような配置パターンが無く、ある程度マクロに見た場合には地震動の多様性が網羅されるような設定にしています。

特性化震源モデル（強震動を再現するために必要な震源の特性を主要なパラメータで現した震源モデル）のように震源パラメータがアスペリティサイズ以下の不均質性を持たないモデルを用いる場合、アスペリティサイズと破壊伝播特性によって規定される卓越周期よりも短周期側の地震動が適切な量だけ生成されないため、特に巨大地震の場合には工学的に重要な周期帯域の地震動が過小評価される可能性があることが指摘されています（例えば関口・吉見, 2006）。この問題に対処するため、本検討では、関口・吉見(2006)の方法により震源破壊過程に不均質性を導入しました。不均質性を与えるパラメータは、2003 年十勝沖地震による長周期地震動の検証結果（付録 1 参照）から破壊伝播速度、すべり量およびすべり角としました。不均質性は、表 3.3 に示す範囲で一様（分布に従う）乱数を用いて設定しました。また、各計算ケースでは異なる乱数（初期値）を用いました。

表 3.3 震源破壊過程の不均質性の考慮。

パラメータ	考慮するゆらぎの範囲
すべり量の不均質性	$\pm 0.5 D_{ave}$ (D_{ave} は平均すべり量)
破壊伝播速度の不均質性	$\pm 400\text{m/s}$
すべり角の不均質性	$\pm 45^\circ$

3. 2 地下構造モデル

今回の長周期地震動評価では、対象とする周期の下限をこれまでの 3.5 秒から 2 秒まで拡張することを大きな目標としています。このため、長周期地震動の計算に用いる地下構造モデルは、こうした比較的短い周期帯域の地震動を評価できるように構築された、浅部・深部統合地盤構造モデル（先名・他, 2015）を使用しています※。

このモデルの構築においては、まず、自治体等から収集したボーリングデータを用い、関東全域において統一的な観点で地層の連続性を考慮した浅部地盤構造モデルを作成し、それらと、深部地盤構造モデルである全国 1 次地下構造モデル（暫定版）との接続を行い、初期浅部・深部統合地盤構造モデルが作成されています。

さらに、この初期モデルに対して、関東全域を対象に実施した、290 地点あまりの微動アレイ探査の測定データと近傍の強震観測点での観測データを用いて速度構造のチューニングが行われています。また、東京湾と陸域との接合では、埋め立て地など沿岸域のボーリングデータに加え、海域の音波探査のデータを利用して工学的基盤面を設定し、東京湾と陸域とが滑らかに接続したモデルを作成しています。

図 3.5 に、工学的基盤以深（S 波速度 $V_s=350\text{m/s}$ 以深）の各速度層上面深度をそれぞれ示します。

※今回用いた浅部・深部統合地盤構造モデルは、総合科学技術・イノベーション会議の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理人：JST）において作成されており、ここでは工学的基盤以深の構造を利用しています。

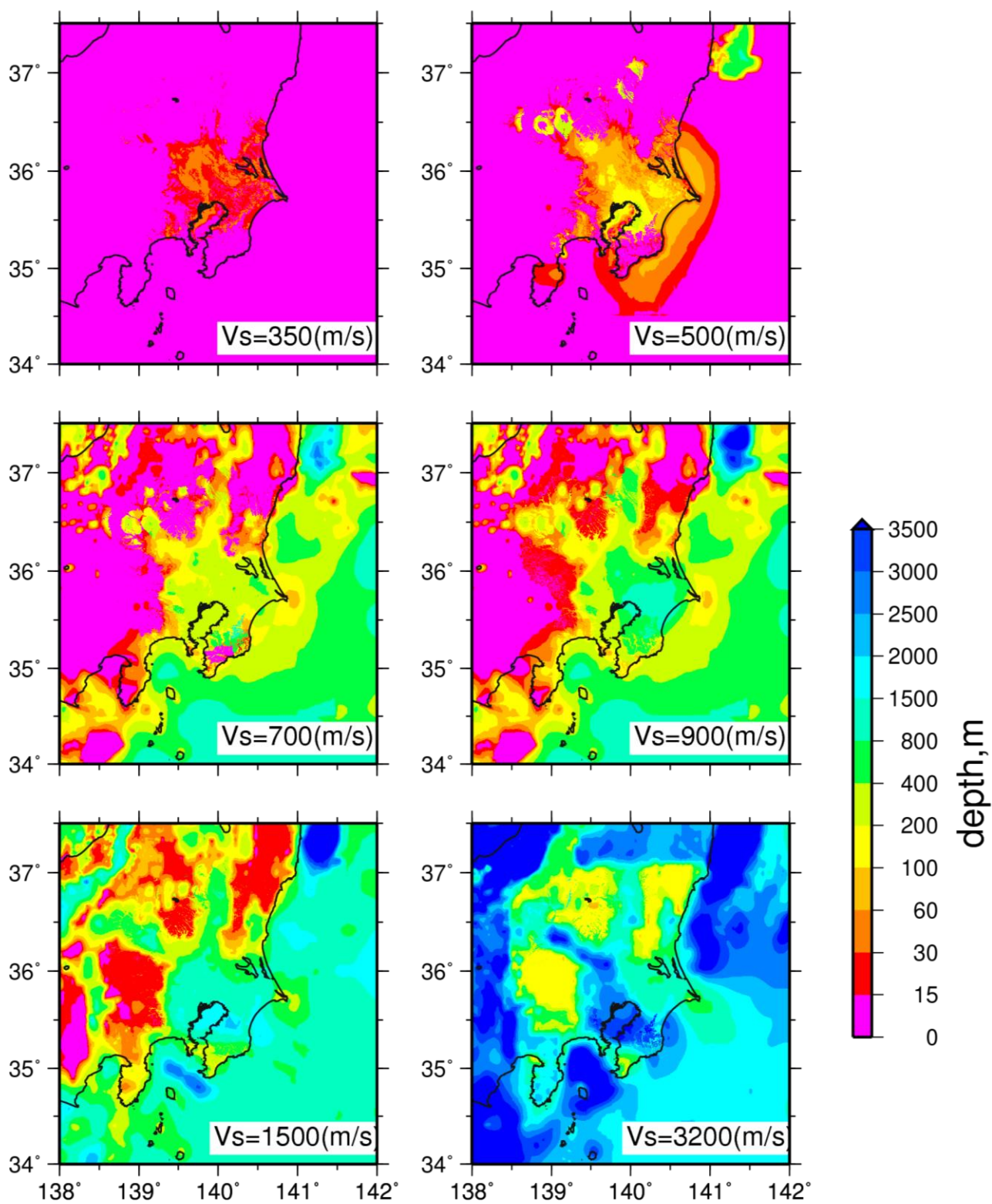


図 3.5 浅部・深部統合地盤構造モデルの各速度層 ($V_s=350\sim 3200$ (m/s)) 上面深度。

3. 3 計算の概要

計算には三次元差分法（GMS：青井・他、2004）を用いています。計算に用いる浅部・深部統合地盤構造モデルでは工学的基盤以浅の浅部地盤がモデル化されていますが、差分法の計算では浅部地盤の強震時の非線形性挙動を適切に評価することが難しいことや、浅部・深部統合地盤構造モデルでは既往のモデルに比べて工学的基盤面が適切に設定されていると考えられることから、浅部地盤をはぎ取った解放工学的基盤（ $V_s=350\text{m/s}$ 層）上での地震動評価を行いました。表 3.4 の格子間隔で速度構造をモデル化しました。解析周期帯域は周期 1.2 秒以上です。（計算領域は図 4.8 ほかの分布図参照）

表 3.4 差分法による計算の概要。

速度構造モデル（浅部・深部統合地盤構造モデル）		
格子数	第 1 領域	3,525 × 3,177 × 151
	第 2 領域	1,175 × 1,059 × 617
格子間隔	第 1 領域	100m（水平）、50m（鉛直）
	第 2 領域	300m（水平）、150m（鉛直）
計算条件		
時間間隔（秒）	0.0041667（=240Hz）	
タイムステップ数	96,000（=400 秒）	