

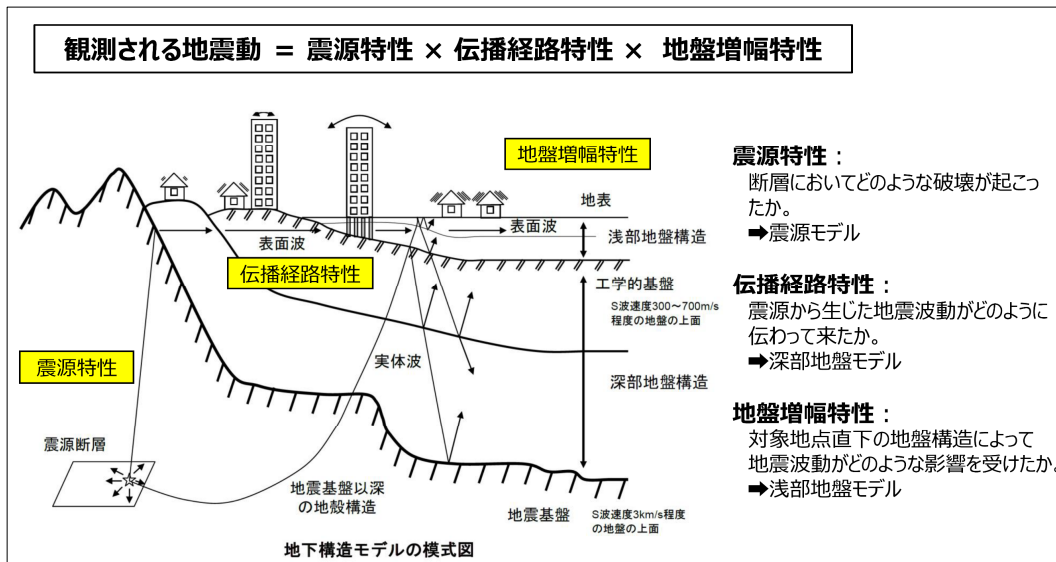
第Ⅱ編 想定地震と被害予測手法  
2.地震動の予測(予測手法、結果)

2. 地震動の予測 (予測手法、結果)

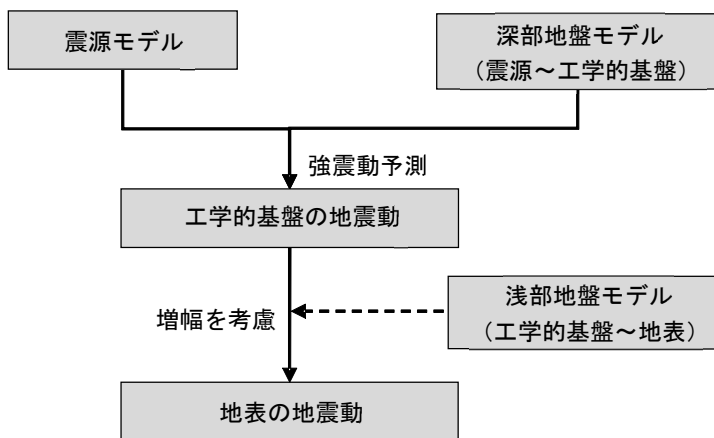
2.1 地震動の予測手法

2.1.1 地震動の予測の流れ

地表で観測される地震動は、一般的に断層のずれなどにより生じた地震波が、地震基盤とよばれる深い位置の堅固な岩盤（S波速度 3.0km/s 程度以上）を伝わり、工学的基盤（S波速度 350～700m/s 程度まで）まで到達し、さらに観測点近傍の浅層地盤の内部（図Ⅱ.2-1の浅部地盤構造内）で増幅したものと考えられている。図Ⅱ.2-1は、これらの過程を模式的に示したものである。これを踏まえ、本調査では、図Ⅱ.2-2の流れで解析を実施した。



図Ⅱ.2-1 地震動伝播の概念図 (レシピより引用、一部追記)



図Ⅱ.2-2 地震動予測の流れ

2.1.2 工学的基盤の地震動予測

(1) 工学的基盤波の作成

工学的基盤波は、統計的グリーン関数法と3次元有限差分法の結果を足し合わせるハイブリッド合成法によって作成した。なお、R6年度防災アセス調査で用いたJ-SHISの計算データについても同様の手法が用いられている。各手法の概要は次の通りである。

○統計的グリーン関数法 (図Ⅱ.2-3)

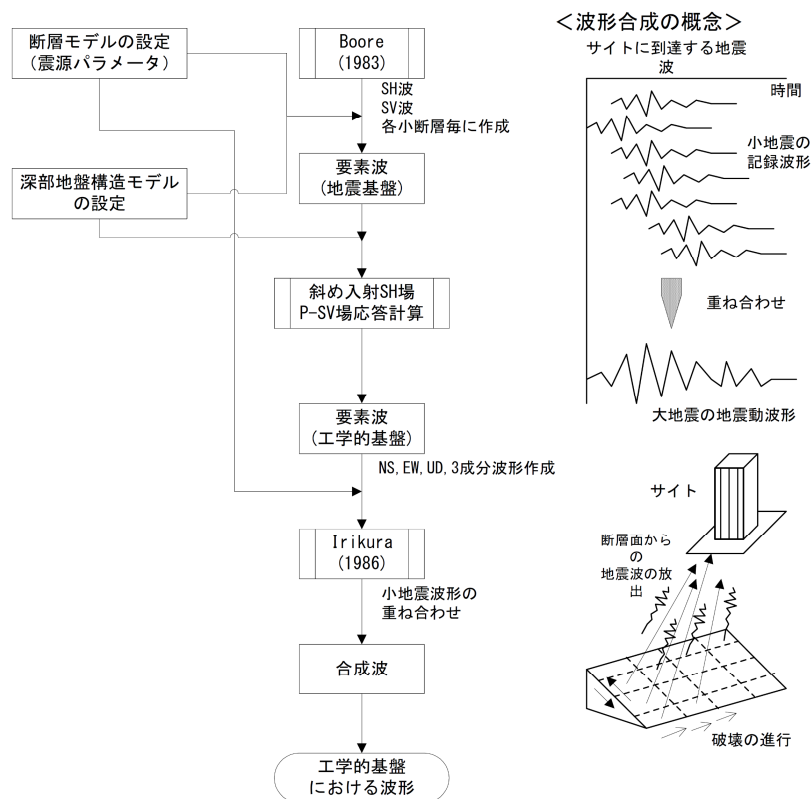
断層面を細かく分割した小断層から生じる小地震を理論的に作成し、波形合成を行うことで地盤の特性を考慮した地震動を予測する。主に周期1～2秒以下を対象としており、内閣府などでも用いられている。

○3次元有限差分法 (図Ⅱ.2-4)

3次元有限差分法は、震源や地盤構造を3次元格子状にモデル化することで、地盤の3次元的不均質性を考慮した地震波の伝播を計算できる手法。主に周期2秒以上の長周期を対象として用いられる。

○ハイブリッド合成法 (図Ⅱ.2-5)

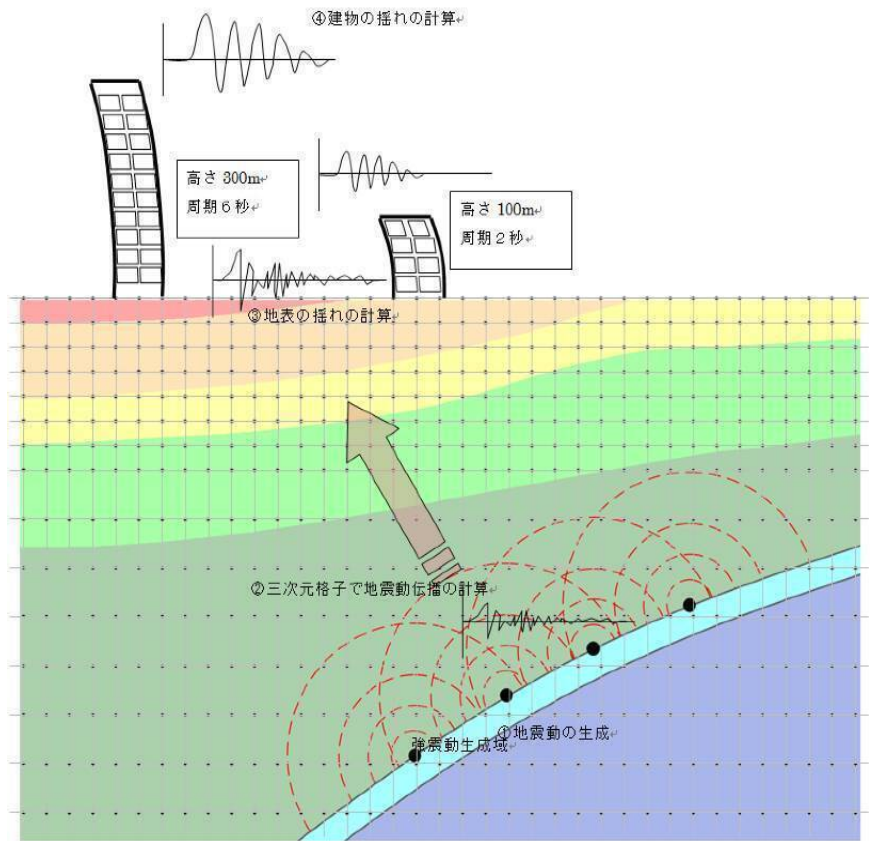
異なる2つの予測手法によって作成された地震波形を足し合わせる方法。各手法で有効とする周期帯を設定し、マッチングフィルターで波形を処理したうえで足し合わせることで、広い周期帯域で高精度に地震動を予測することができる。



図Ⅱ.2-3 統計的グリーン関数法を使用した工学的基盤波作成の流れ

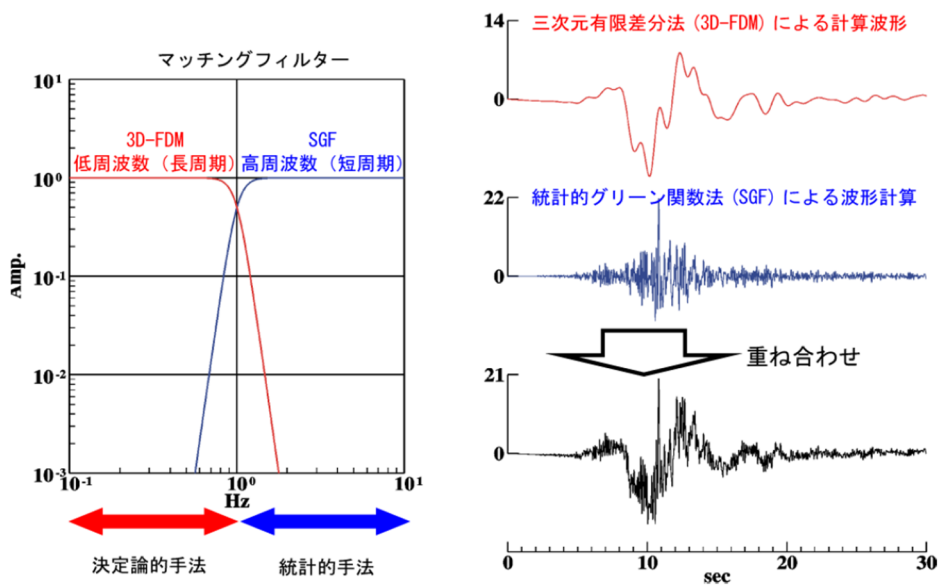
(平成15年12月「中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会(第16回)」より引用)

第Ⅱ編 想定地震と被害予測手法  
2.地震動の予測(予測手法、結果)



図Ⅱ.2-4 3次元有限差分法の概念

(平成 27 年 12 月南海トラフの巨大地震モデル検討会 首都直下地震モデル検討会「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告 別冊③ 三次元差分法を用いた長周期地震動の推計手法」より引用)



図Ⅱ.2-5 マッチングフィルター (左) とハイブリッド法の概念 (右)  
(防災科学技術研究所研究資料第 258 号より引用)

(2) 長周期地震動階級の算定

地震動には、様々な周期の揺れが含まれており、このうち2秒程度より長い周期の揺れを長周期地震動と呼ぶ。強い長周期地震動による代表的な被害としては、石油タンクのスロッシングや、高層ビルの共振現象によるエレベーターの故障ならびに高層階における家具や什器の転倒・移動などがある。近年発生した地震（例：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震や令和6年能登半島地震）では震源から300km以上離れた東京都や大阪府などでも長周期地震動が観測され被害が確認されている。近年、高層ビルの建設が増えていることから、長周期地震動によるリスクを予め把握することは重要と言える。このような背景をもとに、気象庁では平成25年3月28日から気象庁ホームページ上に、令和5年2月1日から（観測情報のオンライン配信を開始）、地震発生後の防災対応等の支援を図ることを目的として、緊急地震速報の発表基準に長周期地震動階級を追加している。

そこで、本調査で想定した地震動について長周期地震動階級を算定した。長周期地震動階級は高層ビルの高層階でどのような揺れになるかを推計したもので、周辺の高層ビル等における建物内の被害状況把握の参考にできるものとしている。ただし、個々の建物の特性や地盤条件などを表現しているものではないことに留意する必要がある。長周期地震動階級の概要及び算定方法を以下に示す。

- ① 地震波形より、絶対速度応答スペクトル $S_{va}$ （減衰定数5%）を求める。
- ② 周期1.6～7.8秒までの間における最大値より、表Ⅱ.2-1に応じて長周期地震動階級を与える。

気象庁による長周期地震動階級の観測情報については、全国を188に区分した地域における長周期地震動階級の最大値が分布として示される。ここでは、市区町村において最大値を使用して分布図を作成した。

**第Ⅱ編 想定地震と被害予測手法**  
**2.地震動の予測(予測手法、結果)**

表Ⅱ.2-1 長周期地震動階級を与える絶対速度応答スペクトル Sva (減衰定数 5%) の範囲 (気象庁「長周期地震動階級および長周期地震動階級関連解説表について」より引用)

	長周期地震動階級	絶対速度応答スペクトルSva (減衰定数5%) の値 (対象周期T 1.5秒 < T < 8.0秒※)
	長周期地震動階級 1	5 cm/s ≤ Sva < 15cm/s
	長周期地震動階級 2	15cm/s ≤ Sva < 50cm/s
	長周期地震動階級 3	50cm/s ≤ Sva < 100cm/s
	長周期地震動階級 4	100cm/s ≤ Sva

※周期 1.6 秒から 7.8 秒において 0.2 秒刻みで計算する。

表Ⅱ.2-2 長周期地震動階級関連解説表 (高層ビルにおける人の体感・行動、室内の状況との関連) (気象庁「長周期地震動階級および長周期地震動階級関連解説表について」より引用)

長周期地震動階級	人の体感・行動	室内の状況	備考
長周期地震動階級 1 (やや大きな揺れ)	室内にいたほとんどの人が揺れを感じる。驚く人もいる。	ブラインドなど吊り下げものが大きく揺れる。	—
長周期地震動階級 2 (大きな揺れ)	室内で大きな揺れを感じ、物につかまりたいと感じる。物につかまらなると歩くことが難しいなど、行動に支障を感じる。	キャスター付き什器がわずかに動く。棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。	—
長周期地震動階級 3 (非常に大きな揺れ)	立っていることが困難になる。	キャスター付き什器が大きく動く。固定していない家具が移動することがあり、不安定なものは倒れることがある。	間仕切壁などにひび割れ・亀裂が入ることがある。
長周期地震動階級 4 (極めて大きな揺れ)	立っていることができず、はわないと動くことができない。揺れにほんろうされる。	キャスター付き什器が大きく動き、転倒するものがある。固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。	間仕切壁などにひび割れ・亀裂が多くなる。

<長周期地震動階級関連解説表の使用にあたっての留意事項>

- 長周期地震動階級関連解説表は、固有周期 1.5 秒程度から 8 秒程度までの一般的な高層ビルを対象として、長周期地震動階級が推計された際に発生する可能性がある被害を記述しており、これより大きな被害が発生したり、逆に小さな被害にとどまる場合もあります。また、それぞれの長周期地震動階級で示されている全ての現象が発生するわけではありません。
- 長周期地震動階級が同じであっても、対象となる建物や構造物の状態、継続時間などの地震動の性質により被害は異なります。
- 長周期地震動階級関連解説表は、主に近年発生した長周期地震動による被害の事例から作成したものです。今後、顕著な長周期地震動が観測された場合には内容を点検し、新たな事例が得られたり、建物・構造物の耐震性の向上等によって実状と合わなくなった場合には変更します。
- 長周期地震動階級関連解説表では、被害などの量を概数で表せない場合に、一応の目安として、次に示す副詞・形容詞を使用しています。
  - わずか：数量・程度が非常に少ない。ほんの少し。
  - 大半：半分以上。ほとんどよりは少ない。
  - ほとんど：全部ではないが、全部に近い。
  - が(も)あるが(も)いる：当該長周期地震動階級に特徴的に現れ始めることを表し、量的には多くはないがその数量・程度の概数を表現できかねる場合に使用。
  - 多くなる：量的に表現できかねるが、下位の階級より多くなることを表す。

(3) 連動地震動の作成方法の確認

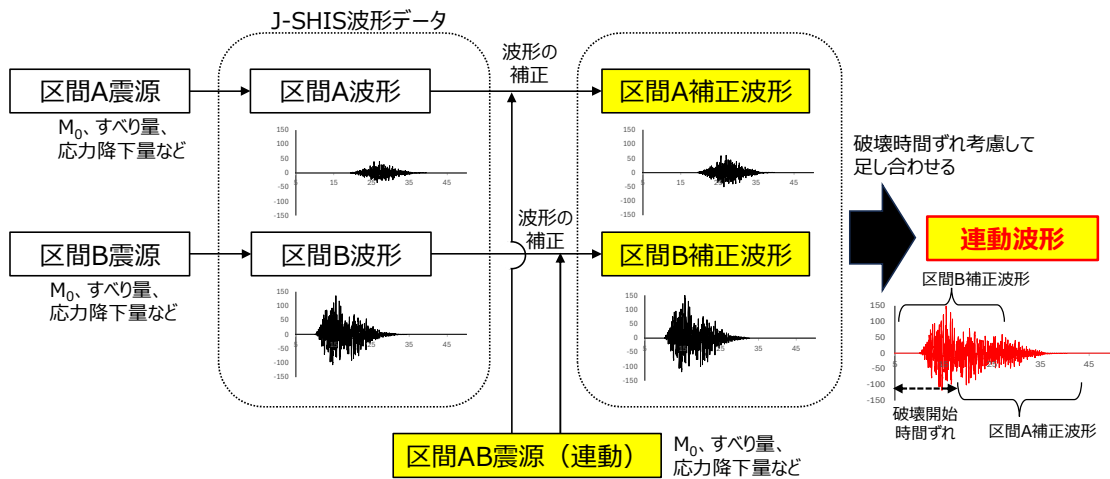
R 6 年度防災アセス調査では、断層帯の複数の区間が連動する場合について、震源断層の違いを踏まえた補正を区間単独の地震波形に適用し、それぞれ足し合わせることで作成した。ただし、この方法は既存波形を活用した連動地震の作成方法として採用するものであり、より詳細な連動地震を予測するためには詳細法による強震動計算を行うことが望ましいとして示している。

本調査では、小呂島近海断層帯と警固断層帯南東部の連動を詳細法（ハイブリッド合成法）により予測を行っているが、前述の R 6 年度防災アセス調査による予測方法を用いた場合に、どのような違いが生じるかの検討を行った。

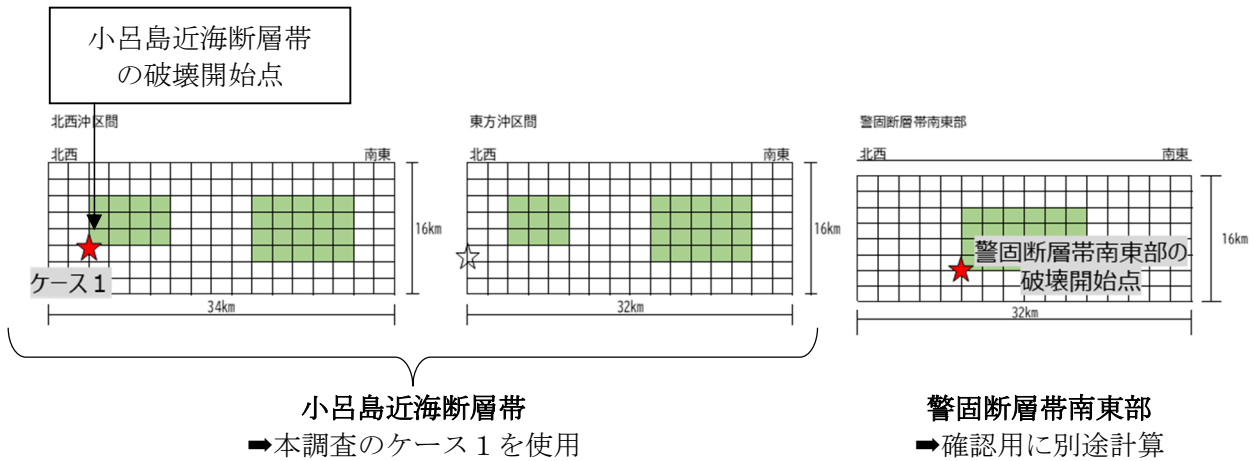
R 6 年度防災アセス調査による予測方法のイメージを図Ⅱ.2-6 に示す。ここで、区間Aを小呂島近海断層帯、区間Bを警固断層帯南東部とする。区間A震源ならびに波形は、本調査のケース1による計算結果を利用し、区間B震源ならびに波形は図Ⅱ.2-7 に示す設定を用いて作成した区間単独の波形を用いた。

表Ⅱ.2-3に、波形の補正に用いた地震モーメントを示した。また、ライズタイム  $t_r$  は、R 6 年度防災アセス調査に合わせて、過去の地震解析に基づく 0.6 秒とした。

第Ⅱ編 想定地震と被害予測手法  
2.地震動の予測(予測手法、結果)



図Ⅱ.2-6 連動波形作成のイメージ図



図Ⅱ.2-7 R6年度防災アセス調査の作成方法に用いる震源設定  
(図Ⅱ.2-6のA区間を小呂島近海断層帯を、B区間を警固断層帯南東部とする)

表Ⅱ.2-3 連動地震動の作成方法の確認に用いたパラメータ (地震モーメント)

区分	小呂島近海断層帯 (北西沖区間+東方沖区間)	警固断層帯南東部
区間単独	$4.36 \times 10^{19}$ [Nm]	$1.47 \times 10^{19}$ [Nm]
R6手法 の連動	$7.19 \times 10^{19}$ [Nm]	$2.45 \times 10^{19}$ [Nm]
	$9.65 \times 10^{19}$ [Nm]	

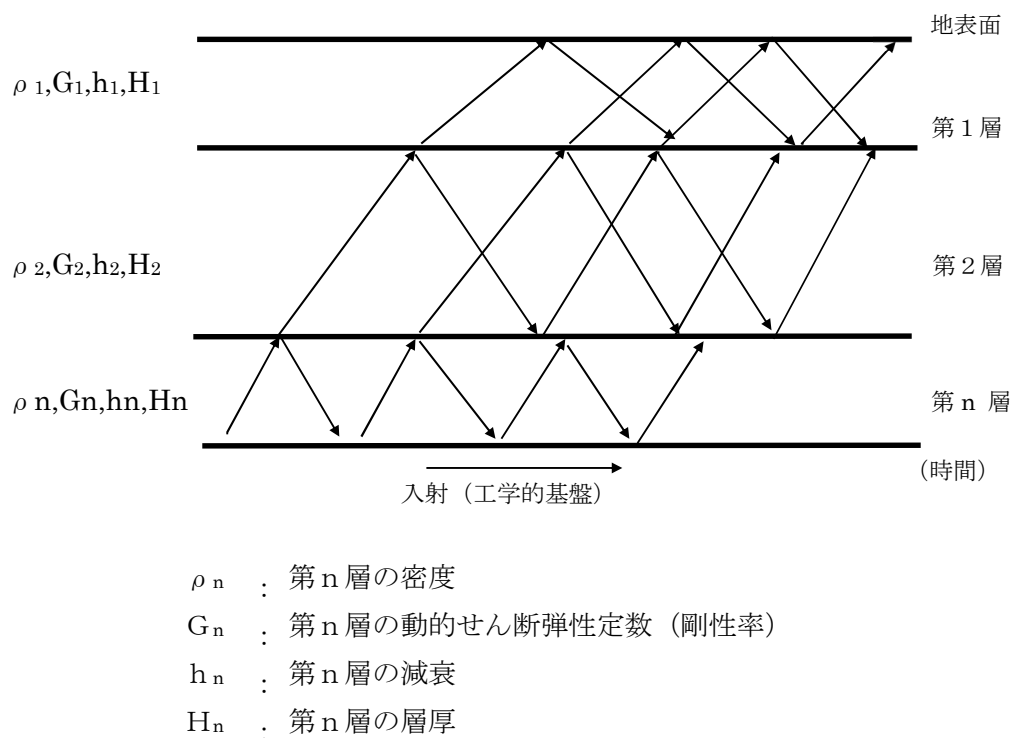
### 2.1.3 地表の地震動予測

#### (1) 表層地盤の応答特性

工学的基盤から地表までの地盤（浅部地盤）の影響は、重複反射理論に基づく応答解析で評価した。重複反射理論は、地盤にS波速度、密度等の物性値を与え、想定した地震に見合った地震波形を工学的基盤に入射し、成層地盤（水平方向に物性が均一に広がる地盤）の中をS波が反射・透過を繰り返しながら地表面の応答波形を形成していくという考え方である。なお、通常の成層地盤においては、表層での地震波はほぼ垂直に上昇すると仮定している。

具体的な予測手法としては土の非線形性を考慮した等価線形計算法を使用した。これは、土層の剛性率（G）や減衰（h）は、土層の歪（ $\gamma$ ）の大きさにより変化するという土の非線形特性を考慮するため、計算された応答波形の最大歪みの65%で逐次Gとhを修正していく方法である。

なお、地震動計算における入力波は、「2.1.2 工学的基盤の地震動予測」で設定した工学的基盤波を使用した。



図Ⅱ.2-8 重複反射理論の概念（平成23年度調査より引用）

#### (2) 震度階級の算定方法

予測した地震動による震度階級は、地表面の加速度波形をもとに気象庁による計測震度の算出方法ならびに震度階級との対応に準拠して求めた。

## 第Ⅱ編 想定地震と被害予測手法

### 2.地震動の予測(予測手法、結果)

#### 2.2 地震動の予測結果

##### (1) 地震動の予測結果

各想定地震について、「最大加速度 400cm/s<sup>2</sup> 以上、最大震度 6 弱以上、長周期地震動階級 4」と予測される市区町村を以下に示す。

##### ケース 1

区分		地域
最大 加速度 [cm/s <sup>2</sup> ]	800～	福岡市東区、博多区、西区、新宮町
	600～800	福岡市中央区、南区、城南区、早良区、宗像市、古賀市、糸島市、篠栗町、久山町、粕屋町
	400～600	北九州市若松区、久留米市、小郡市、筑紫野市、春日市、大野城市、太宰府市、福津市、宇美町、志免町、須恵町、岡垣町、遠賀町、鞍手町
最大 震度	震度 7	なし
	震度 6 強	福岡市東区、西区、久留米市、大川市、小郡市、新宮町、大刀洗町
	震度 6 弱	福岡市博多区、中央区、南区、城南区、早良区、柳川市、宗像市、朝倉市、糸島市、粕屋町
長周期 地震動 階級	4	福岡市東区、博多区、中央区、南区、西区、早良区、久留米市、柳川市、八女市、筑後市、大川市、小郡市、宗像市、うきは市、朝倉市、みやま市、水巻町、遠賀町、東峰村、大刀洗町、大木町、みやこ町

##### ケース 2

区分		地域
最大 加速度 [cm/s <sup>2</sup> ]	800～	福岡市東区、中央区、西区、糸島市、新宮町
	600～800	福岡市博多区、南区、城南区、早良区、宗像市、古賀市、篠栗町、久山町、粕屋町
	400～600	北九州市若松区、小郡市、筑紫野市、春日市、福津市、那珂川市、志免町、須恵町、岡垣町、遠賀町
最大 震度	震度 7	なし
	震度 6 強	福岡市東区、西区、久留米市、小郡市、新宮町、大刀洗町
	震度 6 弱	福岡市博多区、中央区、南区、城南区、早良区、柳川市、大川市、朝倉市、糸島市、粕屋町
長周期 地震動 階級	4	福岡市東区、中央区、西区、早良区、久留米市、柳川市、八女市、大川市、小郡市、うきは市、朝倉市、大刀洗町

第Ⅱ編 想定地震と被害予測手法  
2.地震動の予測(予測手法、結果)

ケース3

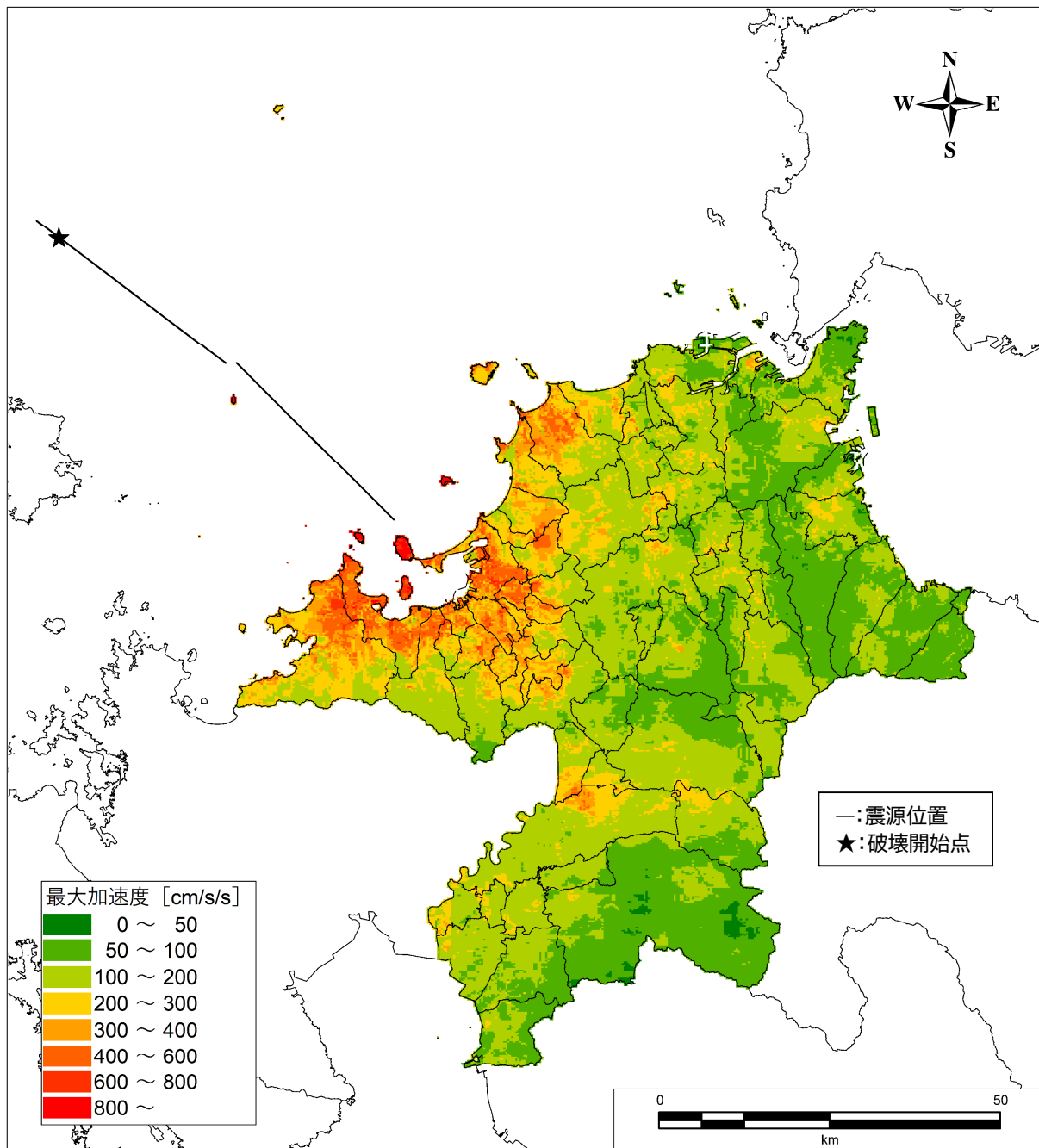
区分		地域
最大 加速度 [cm/s <sup>2</sup> ]	800～	福岡市東区、博多区、中央区、南区、西区、城南区、早良区、久留米市、小郡市、筑紫野市、春日市、大野城市、太宰府市、朝倉市、糸島市、那珂川市、宇美町、篠栗町、志免町、須恵町、新宮町、久山町、粕屋町、筑前町
	600～800	飯塚市、田川市、宗像市、古賀市、うきは市、宮若市、嘉麻市、大刀洗町、添田町、福智町
	400～600	北九州市若松区、戸畑区、八幡西区、直方市、八女市、筑後市、大川市、行橋市、福津市、みやま市、岡垣町、遠賀町、小竹町、桂川町、大木町、広川町、糸田町、川崎町、大任町
最大 震度	震度7	福岡市東区、博多区、中央区、南区、西区、城南区、早良区、久留米市、小郡市、筑紫野市、春日市、大野城市、太宰府市、朝倉市、那珂川市、志免町、粕屋町、大刀洗町
	震度6強	柳川市、大川市、宗像市、糸島市、宇美町、篠栗町、須恵町、久山町
	震度6弱	飯塚市、八女市、古賀市、うきは市、新宮町、筑前町、大木町
長周期 地震動 階級	4	福岡市東区、博多区、中央区、南区、西区、城南区、早良区、久留米市、飯塚市、柳川市、八女市、筑後市、大川市、豊前市、小郡市、筑紫野市、春日市、大野城市、宗像市、太宰府市、うきは市、朝倉市、みやま市、那珂川市、宇美町、篠栗町、志免町、須恵町、新宮町、久山町、粕屋町、水巻町、遠賀町、筑前町、東峰村、大刀洗町、大木町、広川町、添田町、みやこ町

## 第Ⅱ編 想定地震と被害予測手法

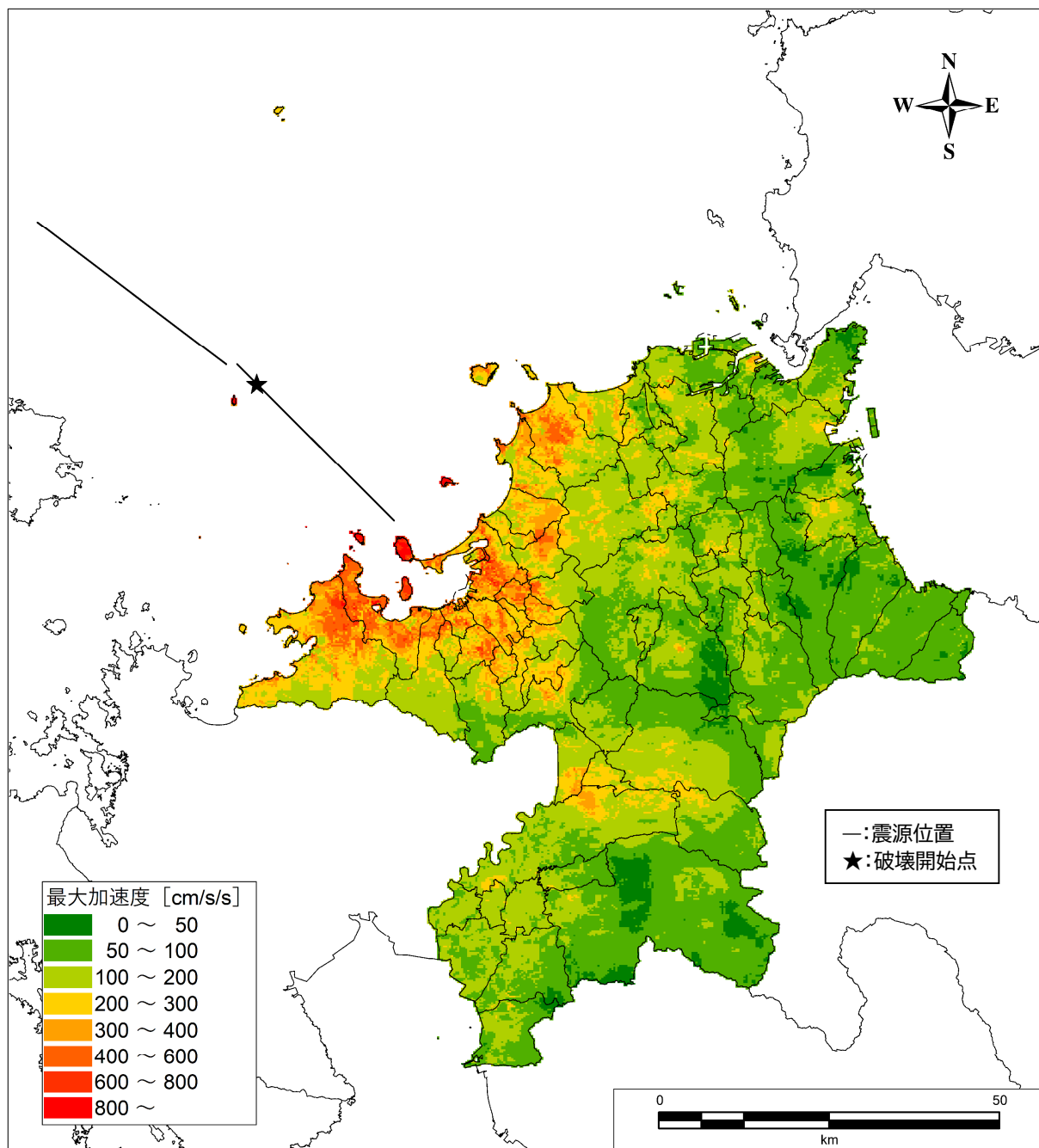
### 2.地震動の予測(予測手法、結果)

#### (2) 地震動の予測結果図

地震動の予測結果について、地表加速度分布を図Ⅱ.2-9～図Ⅱ.2-11、震度分布を図Ⅱ.2-12～図Ⅱ.2-14に、長周期地震動階級分布図を図Ⅱ.2-15～図Ⅱ.2-17に示す。

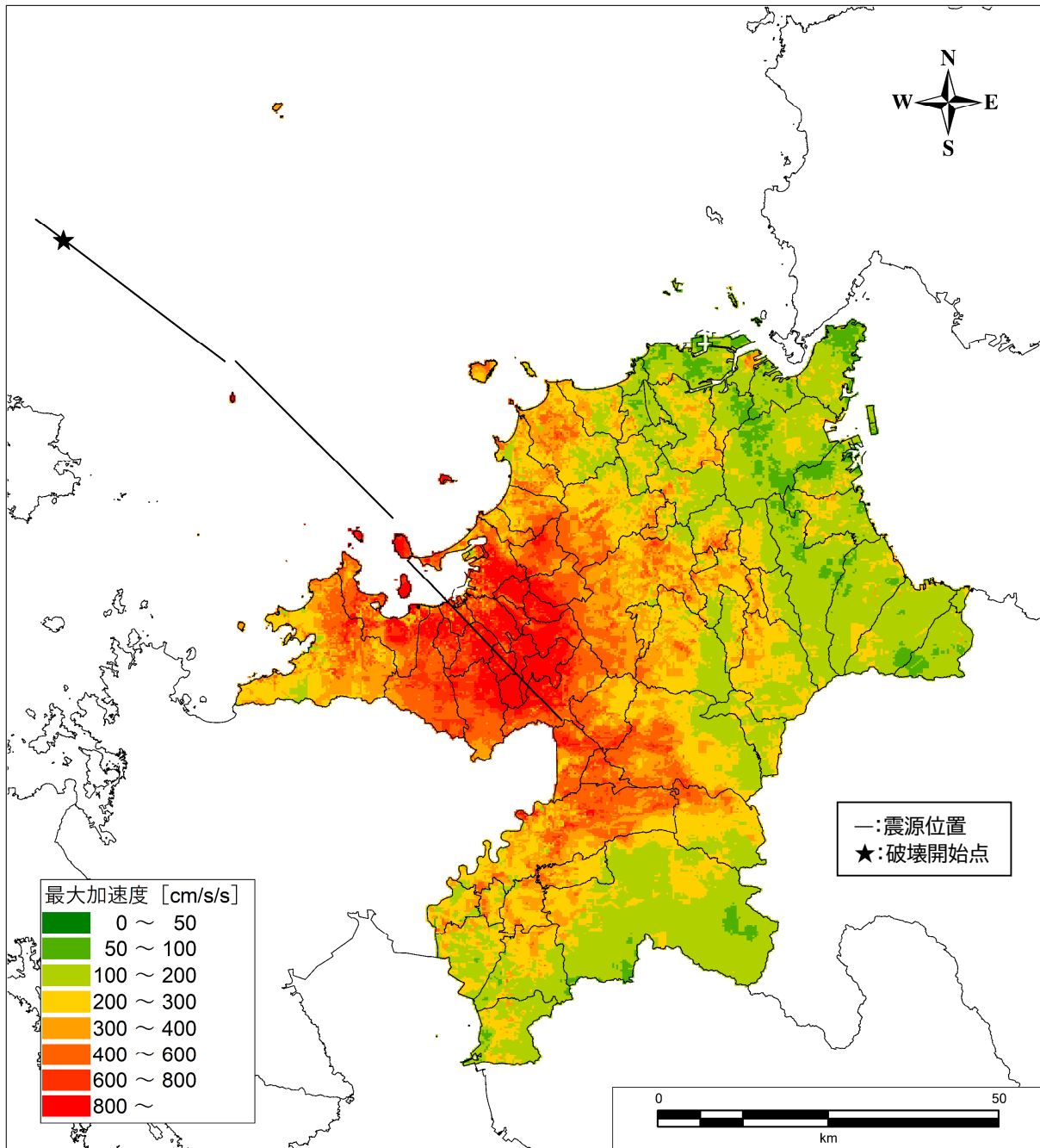


図Ⅱ.2-9 地表加速度分布図：ケース1

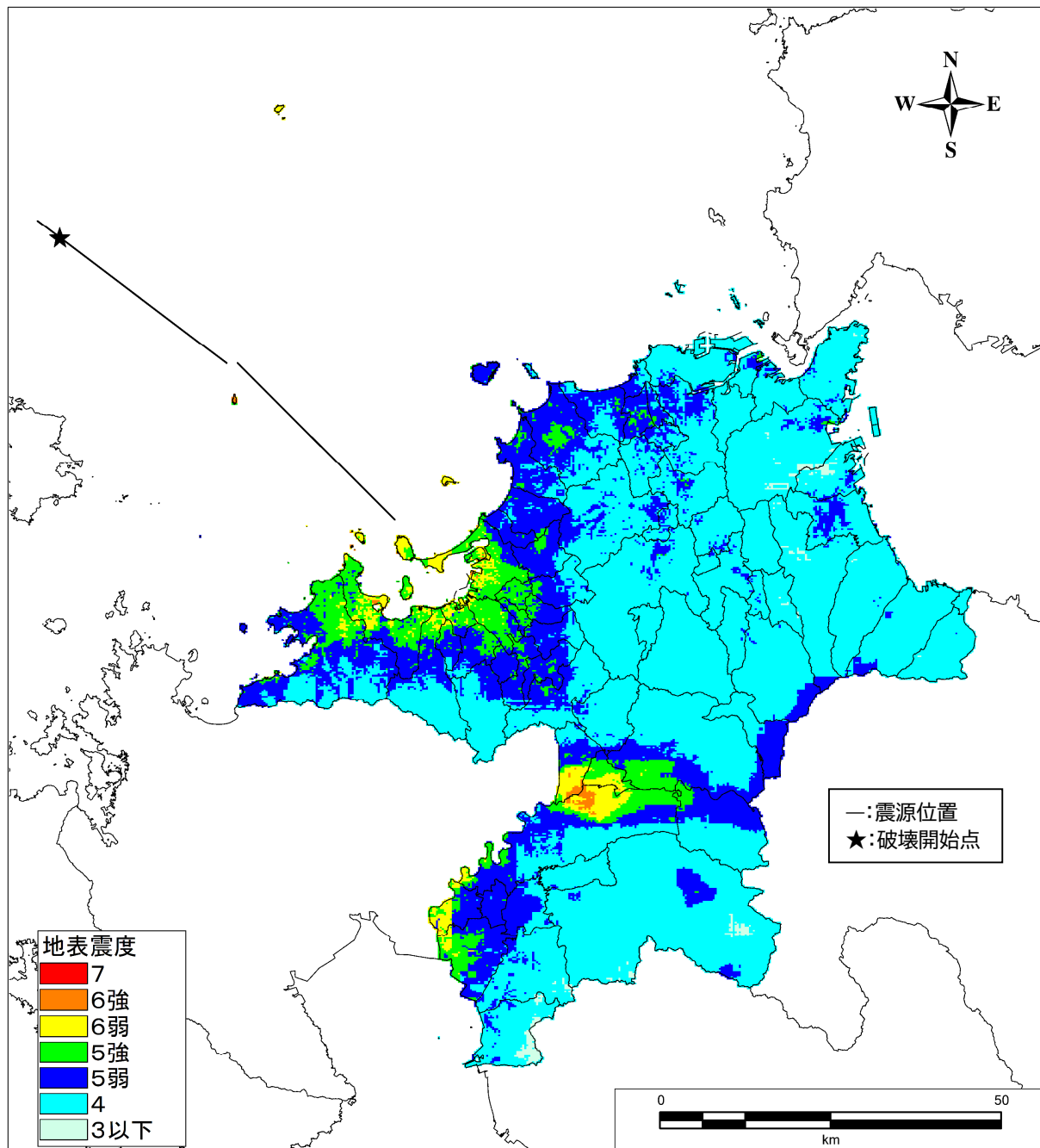


図Ⅱ.2-10 地表加速度分布図：ケース2

第Ⅱ編 想定地震と被害予測手法  
2.地震動の予測(予測手法、結果)

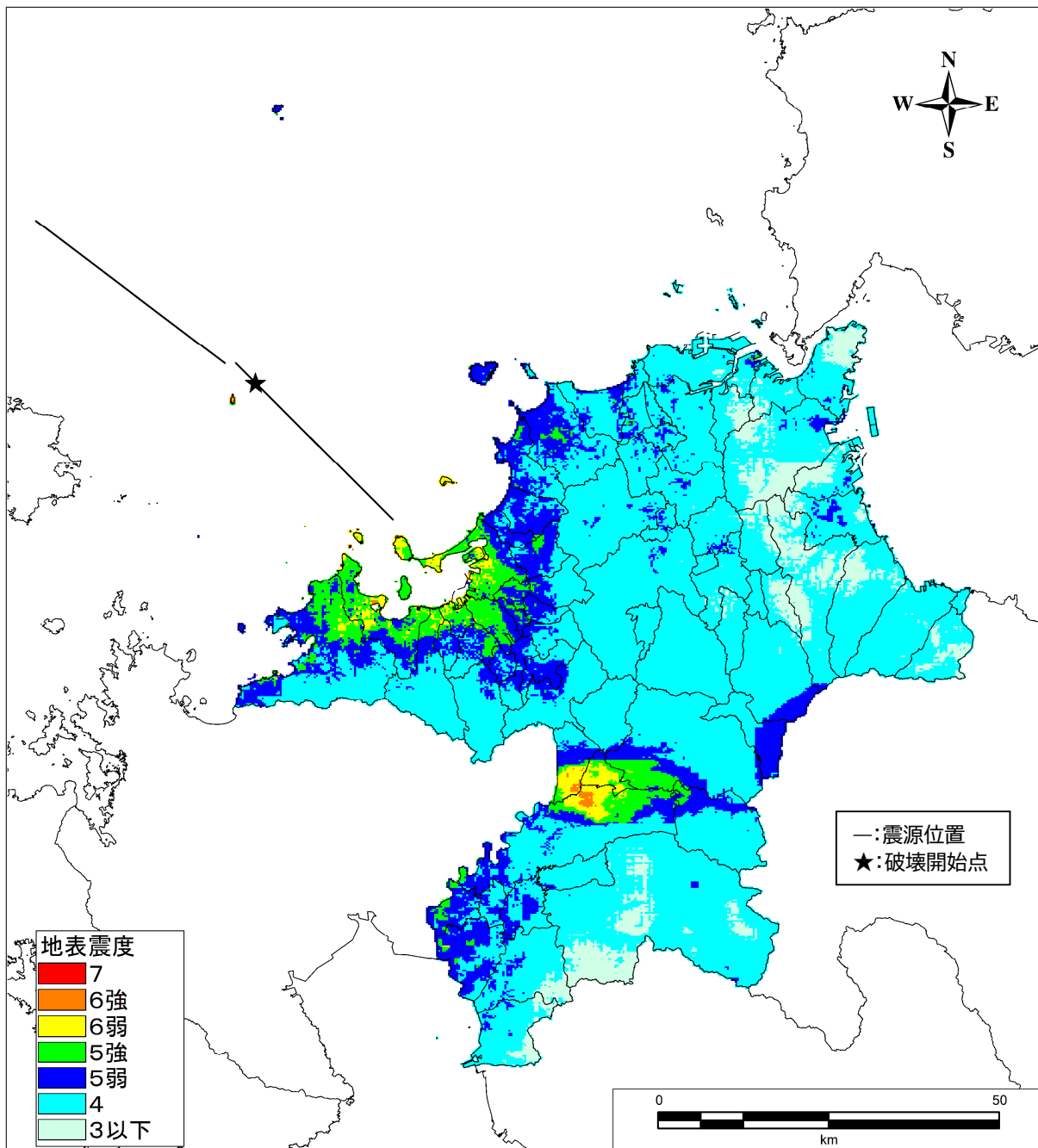


図Ⅱ.2-11 地表加速度分布図：ケース3

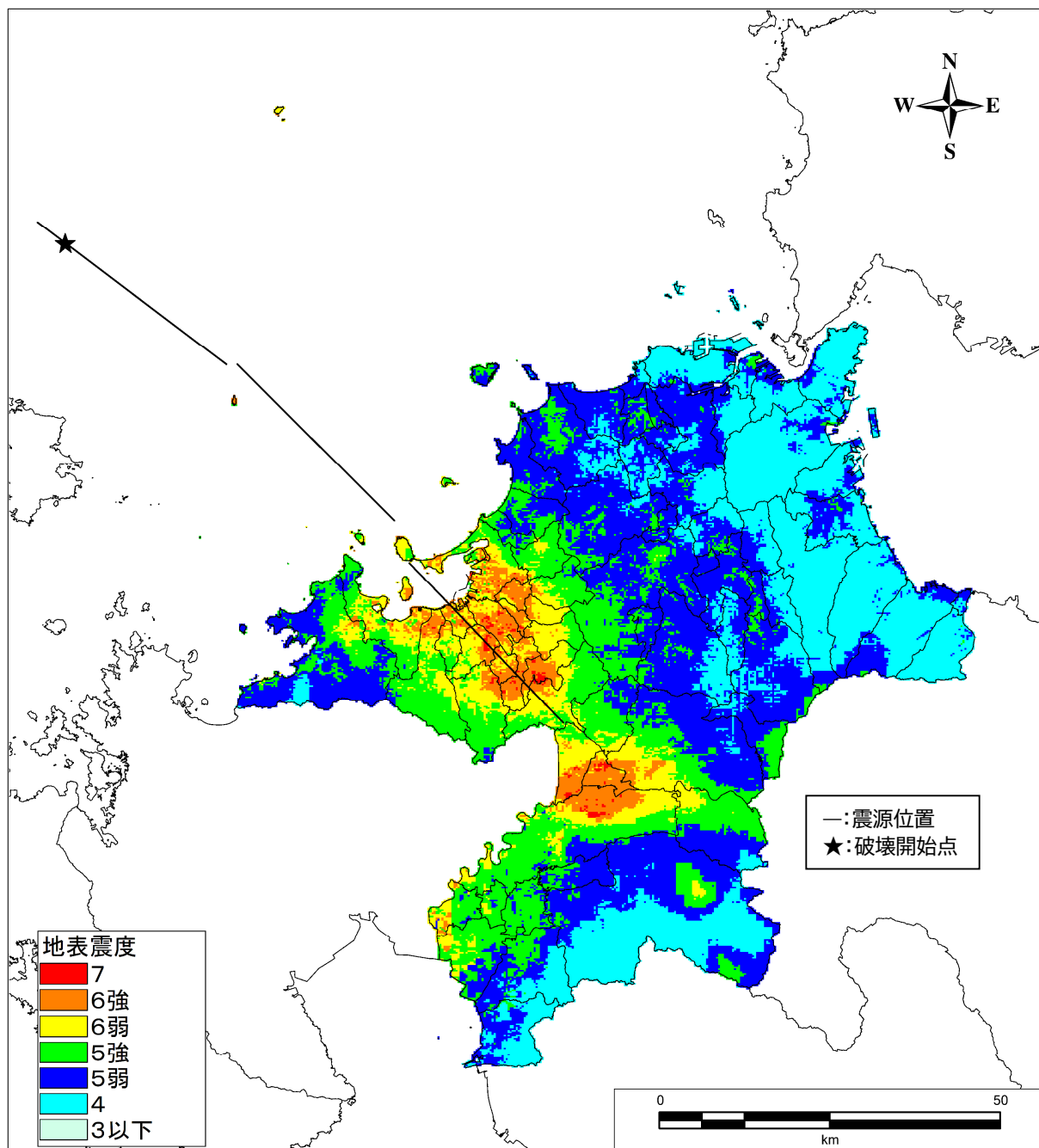


図Ⅱ.2-12 地表震度分布図：ケース1

第Ⅱ編 想定地震と被害予測手法  
2.地震動の予測(予測手法、結果)

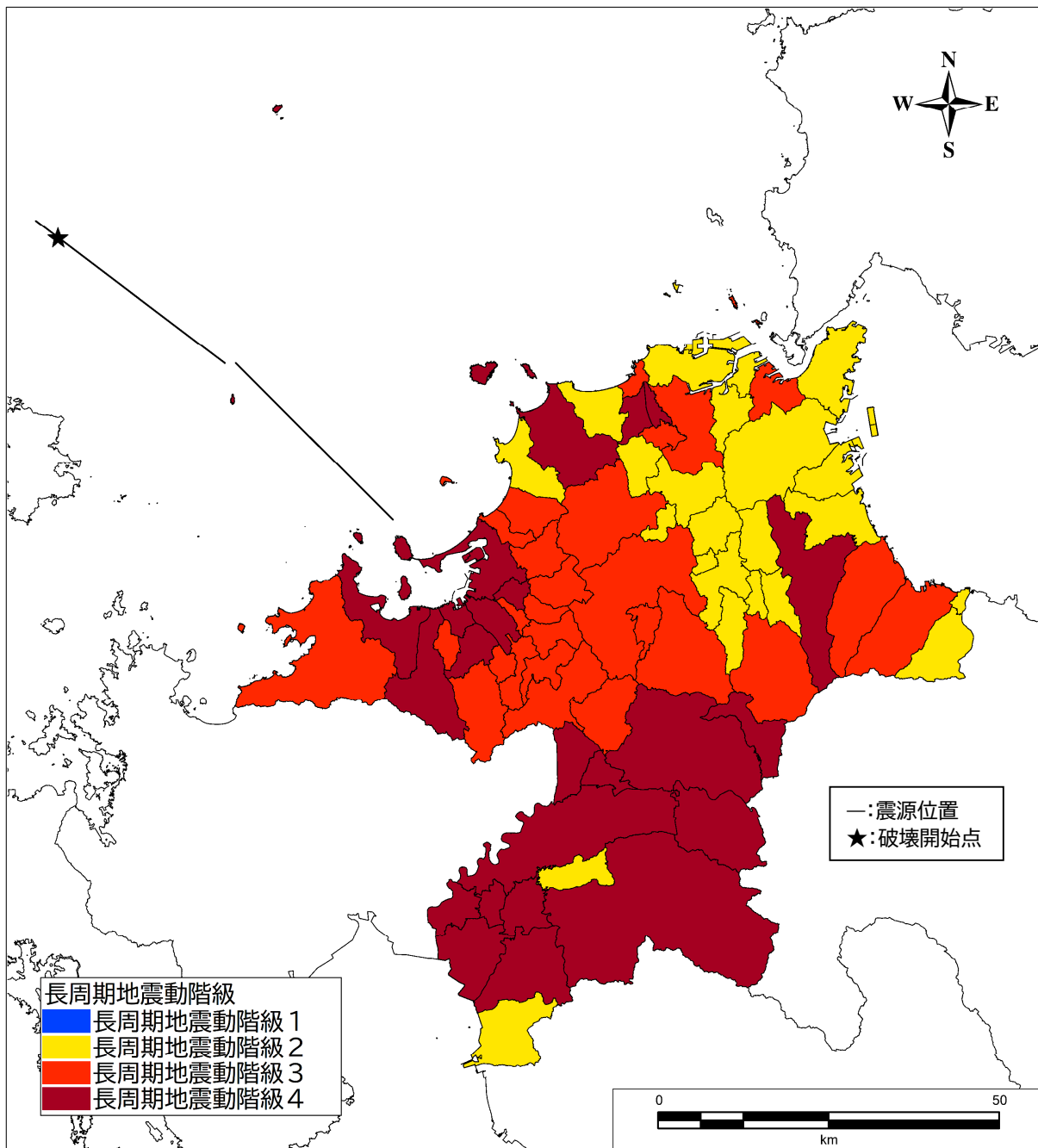


図Ⅱ.2-13 地表震度分布図：ケース2

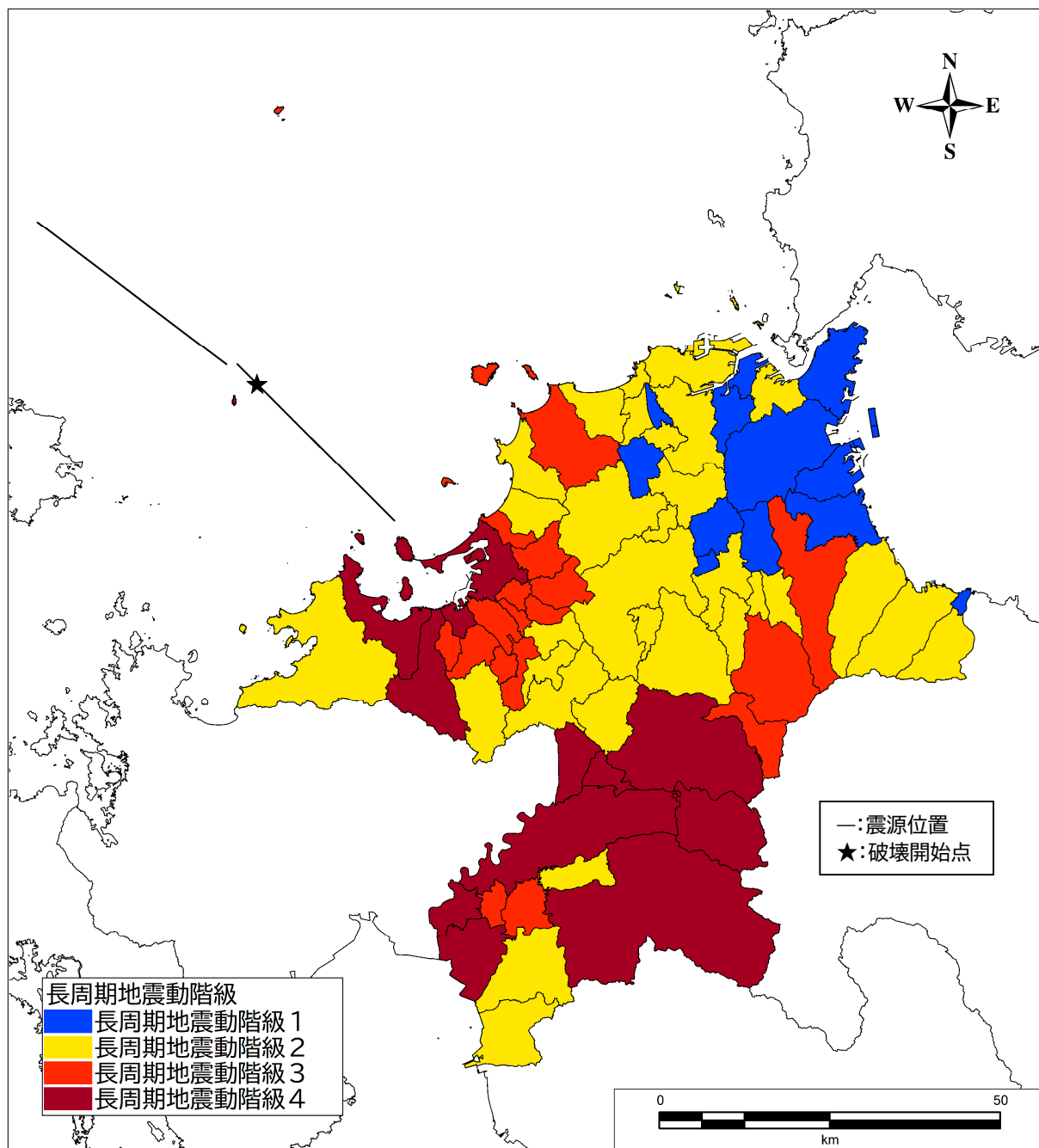


図Ⅱ.2-14 地表震度分布図：ケース3

第Ⅱ編 想定地震と被害予測手法  
2.地震動の予測(予測手法、結果)

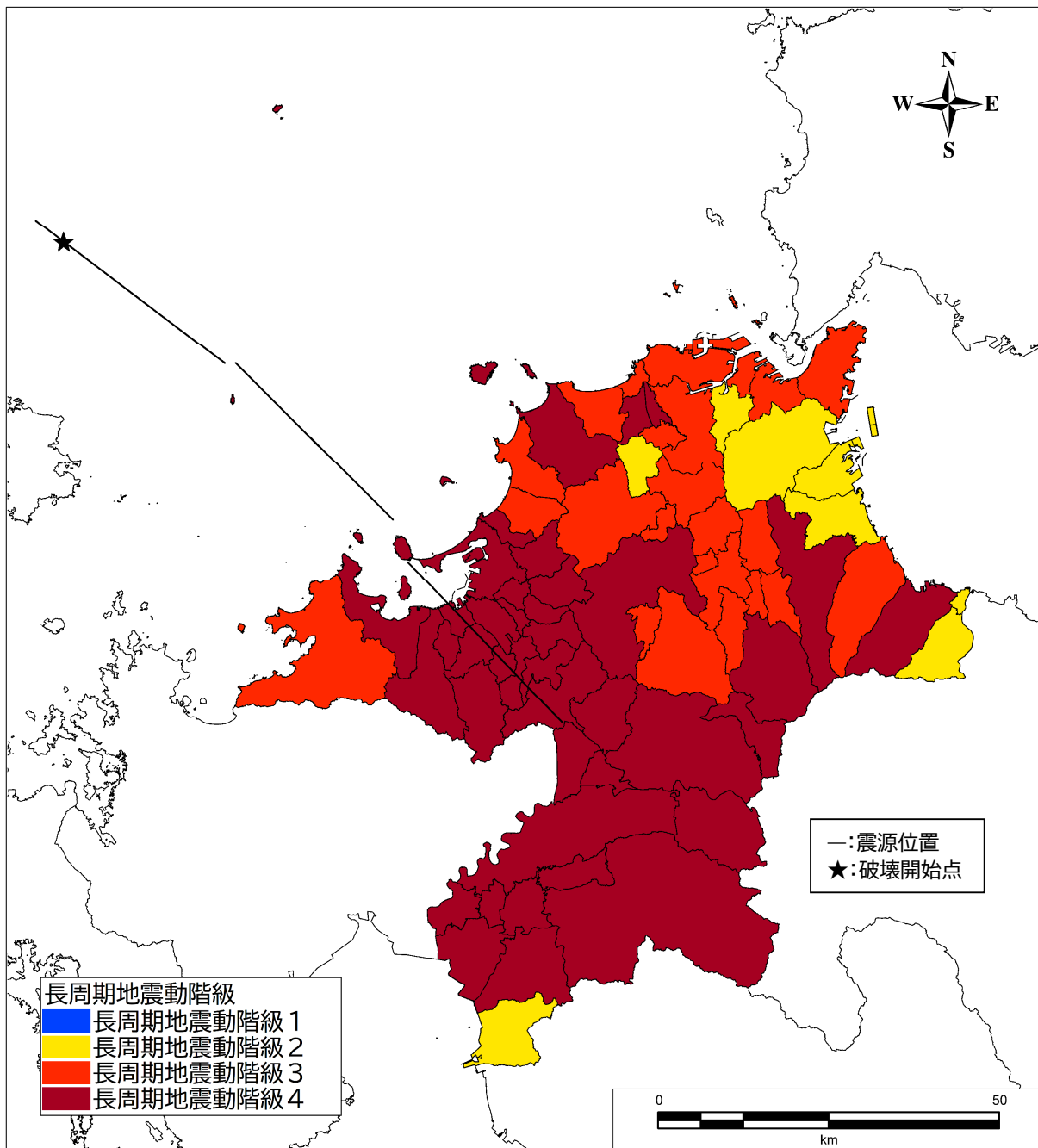


図Ⅱ.2-15 長周期地震動階級分布図：ケース1



図Ⅱ.2-16 長周期地震動階級分布図：ケース2

第Ⅱ編 想定地震と被害予測手法  
2.地震動の予測(予測手法、結果)



図Ⅱ.2-17 長周期地震動階級分布図：ケース3