

1 連動地震の作成方法

経験的グリーン関数法とは、小地震波形の重ね合わせによって大地震波形を予測する手法のひとつである。その際に、小地震波形に対して「すべり速度時間関数」と「短周期レベル」の補正を加えることで震源のスケーリング則を満たすような大地震波形を作成することができる。このうち、「短周期レベル」は、一般的な経験的グリーン関数法において、震源要素の違いによって反映されるものであるが、本調査では小地震と大地震で同一の断層面を想定することから、別途考慮する必要がある。そこで、1997 年入倉孝次郎、香川敬生、関口春子「経験的グリーン関数を使用した強震動予測方法の改良、日本地震学会講演予稿集、1997 年度秋季大会、B25」（以下、「入倉ほか（1997）」という。）による「すべり速度時間関数」の補正を行う段階で、次の手続きによって「短周期レベル」の補正を加えた。

入倉ほか（1997）によるすべり速度時間関数の補正関数 $F(t)$ は次式によって表される。

$$\begin{aligned} F(t) &= \delta(t) + \frac{1}{n'\{1 - \exp(-1)\}} \sum_{k=1}^{(N_D-1)n'} \exp\left(-\frac{k-1}{(N_D-1)n'}\right) \delta\left(t - \frac{(k-1)T}{(N_D-1)n'}\right) \\ &= \delta(t) + \frac{1}{n'\{1 - \exp(-1)\}} \sum_{k=1}^{(N_D-1)n'} \exp\left(-\frac{t_k}{T}\right) \delta(t - t_k) \\ t_k &= \frac{(k-1)T}{(N_D-1)n'} \end{aligned}$$

$\delta(t)$ ：小地震波形、 N_D ：すべりの足し合わせ数※、

n' ：すべりの足し合わせの時間間隔を更に細かくするためのパラメータ、 T ：ライズタイム[sec]

※通常は断層長さ方向の重ね合わせ数 N_L および幅方向の重ね合わせ数 N_W を満たす設定値。

ここで、本調査では小地震と大地震の要素数は同等であることから、 $N_L = N_W = 1$ となり、上式 $F(t)$ のフーリエ変換 $F(\omega)$ を考えた場合に短周期レベル比の条件を満たすことができない。そこで、 $\delta(t)$ に短周期レベルの比を乗ずることで条件を満足できるような補正とした。短周期レベルの比は、1999 年三宅弘恵・岩田知孝・入倉孝次郎「経験的グリーン関数法を使用した 1997 年 3 月 26 日（MJMA6.5）及び 5 月 13 日（MJMA6.3）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、第 51 巻 431-442 頁」より、次の関係を参考とした。

$$\frac{M_0}{m_0} = CN^3, \quad \frac{A_0}{a_0} = CN$$

C ：大、小地震の応力降下量の比、 M_0 、 m_0 ：大、小地震の地震モーメント[Nm]、

A_0 、 a_0 ：大、小地震の短周期レベル[Nm/s²]

地震に関する防災アセスメント調査 資料編

大、小地震の応力降下量の比 C については、単独と連動のパラメータ設定より同等であるとした場合、短周期レベルの比は次の様に考えることができる。

$$\frac{A_0}{a_0} = \left(\frac{M_0}{m_0} \right)^{1/3}$$

また、ライズタイム T については平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震や平成 12 年（2000 年）鳥取県西部地震による解析値（1997 年釜江 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振動シミュレーション，日本建築学会構造系論文集，第 500 号，29-36」、2000 年菊池正幸・山中佳子「遠地実体波解析，10 月 6 日鳥取県西部の地震(M7.3)，EIC 地震学ノート，93」）による 0.6 秒とした。

以上より、本調査で採用した連動地震作成に関わる補正式を次の様に求めた。各区間単独の波形に対して補正を加え、伝播の時間ずれを考慮して足し合わせることによって連動地震の工学的基盤波として取り扱った。

$$F(t) = \frac{A_0}{a_0} \delta(t) + \frac{1}{n' \{1 - \exp(-1)\}} \sum_{k=1}^{(N_D-1)n'} \exp\left(-\frac{k-1}{(N_D-1)n'}\right) \delta\left(t - \frac{(k-1)T}{(N_D-1)n'}\right)$$

ただし、区間単独と連動の震源設定はパラメータのみでなくアスペリティの大きさや配置などの詳細条件が異なるため、あくまで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る。ここでは地震動そのものの規模や大きな特徴を捉えることを目的としており、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。

2 永久変位の想定

陸域の活断層で発生する地震は震源が比較的浅い位置にあり、地表において永久変位を生じることがある。近年の顕著な例では、平成28年（2016年）熊本地震において数mの変位が生じている。そこで、本調査で想定した地震動によって、どの程度の永久変位が生じるかを調査した。

永久変位は時刻歴の変位波形から最終的な変位量を読み取ることで求めた。変位波形の算定は、下記の理由から工学的基盤の地震波形を基準とした。

- ・ 地震動における長周期成分の影響が大きく、かつ、長周期成分については工学的基盤から地表までの増幅が比較的少ないこと。
- ・ J-SHISによる提供波形（工学的基盤波）は速度波形であり、1回積分によって変位波形を求められること。

なお、J-SHISの計算範囲外は本調査において計算範囲内の波形を基に設定していることから対象外とした。

地震波形は南北、東西及び上下の3成分で構成されていることから、水平については南北、東西の結果を合成し、変位の向きを合わせて求めた。

他の想定地震と比較して、地震発生確率が高い「福智山断層帯」及び「警固断層帯南東部」を対象として永久変位を求めた結果を図2-1～図2-3に示した。

平成28年（2016年）熊本地震は、表層の浅い部分（深さ2 kmより浅い部分）が大きく動いたのに対して、今回想定した地震は深さ2 kmより深いところで地震が発生する設定となっている。各地震が実際に発生した際には、熊本地震と同様に表層の浅い部分が大きく動くことによって、より大きな地表変位を生じる可能性がある。

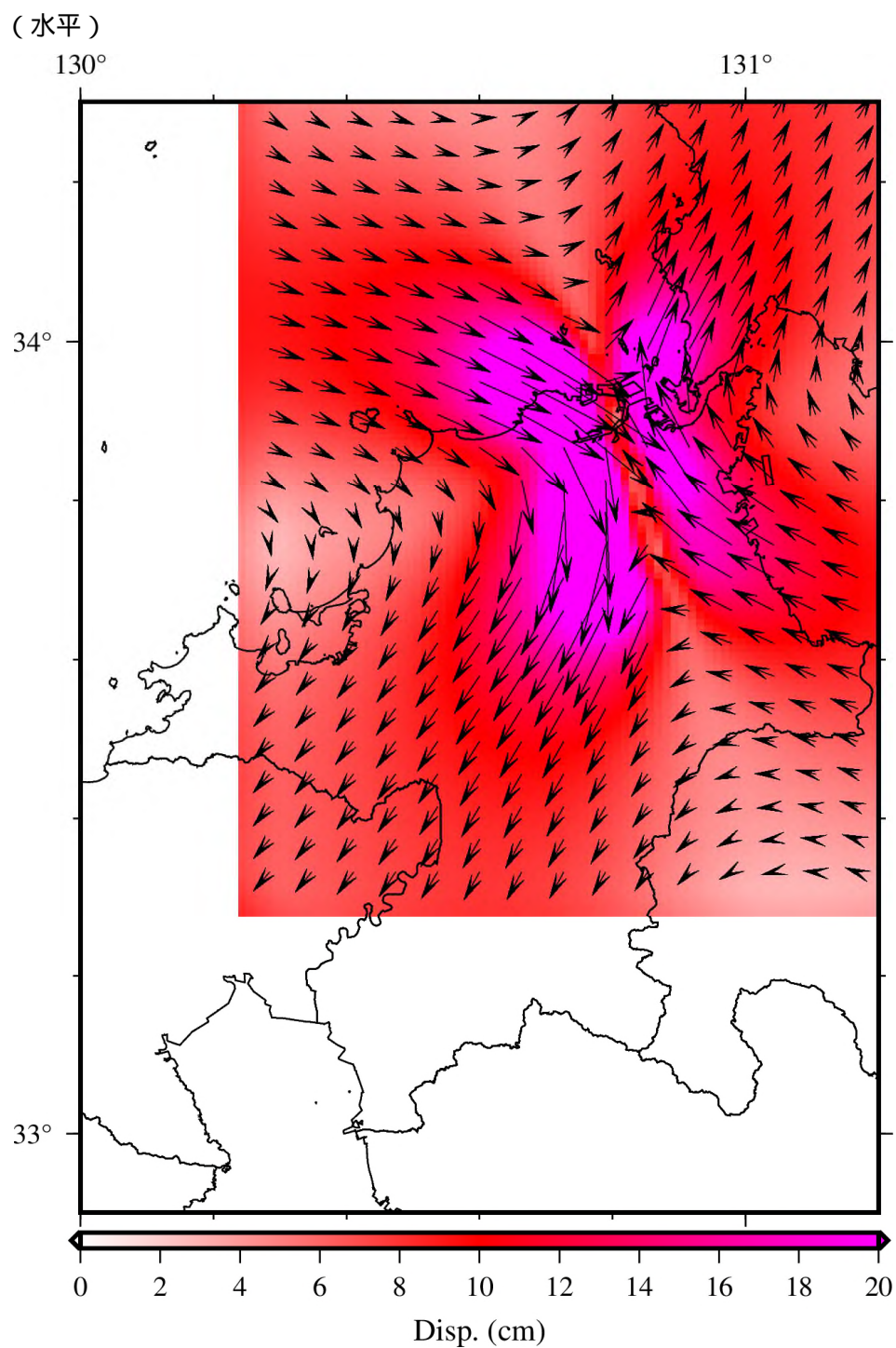


図2-1 永久変位分布図（水平）
福智山断層帯【破壊開始点：北側】

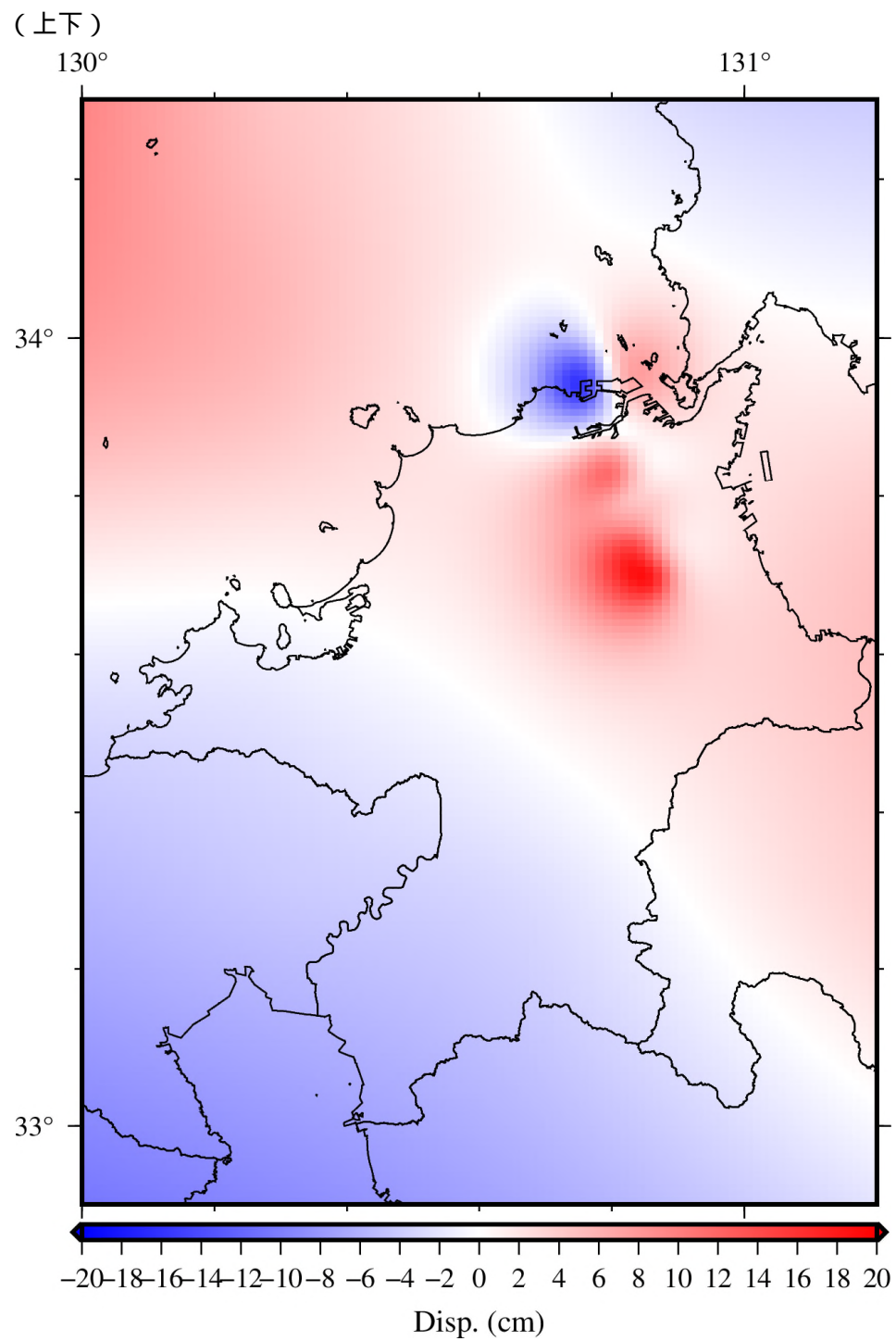


図2-2 永久変位分布図(上下)
福智山断層帯【破壊開始点：北側】

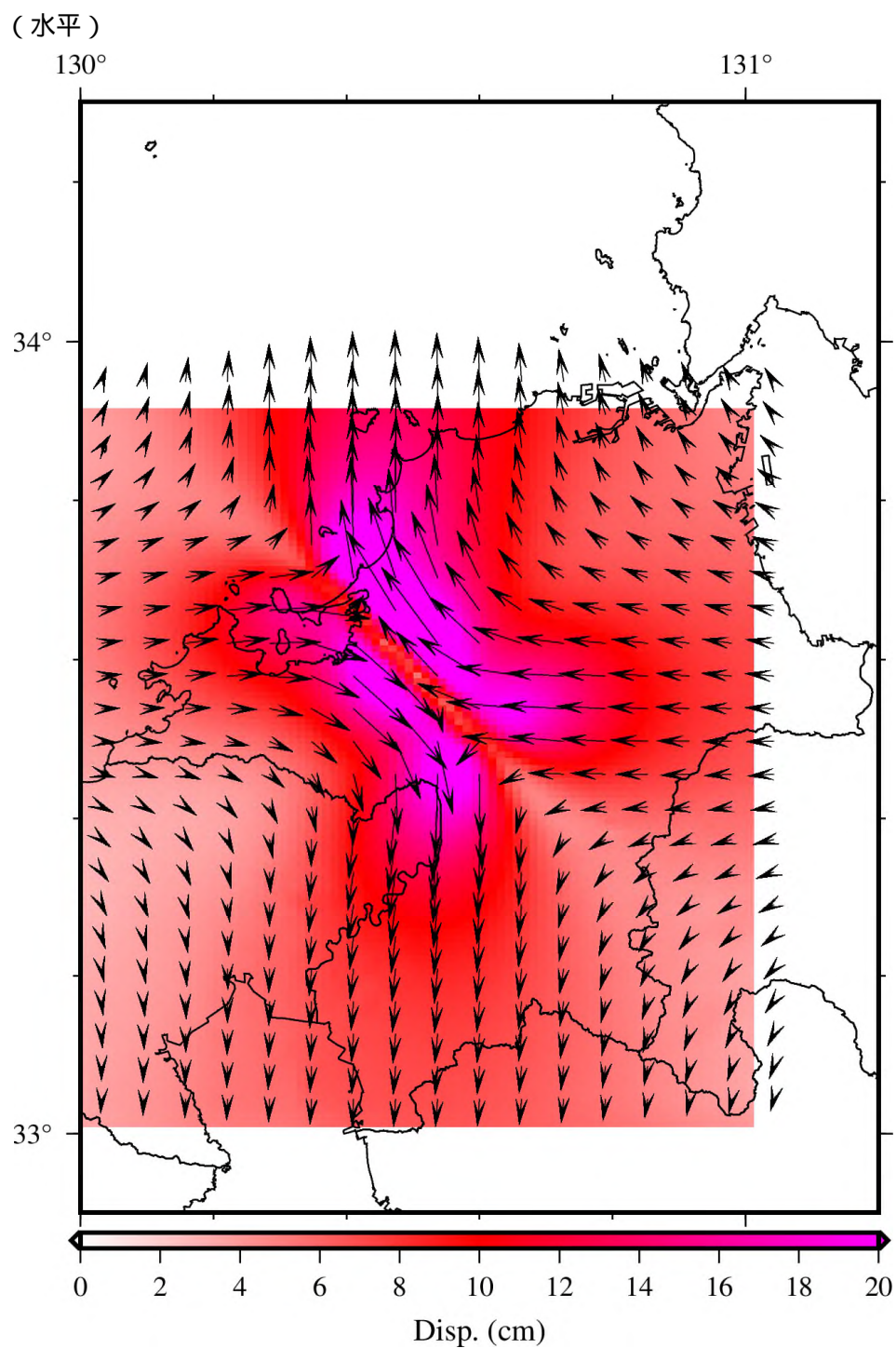


図2-3 永久変位分布図(水平)

警固断層帯南東部【破壊開始点：北側】

警固断層帯南東部の上下動波形についてはJ-SHISで計算されていないため変位を求めている。

3 長周期地震動階級の想定

本編において作成した地表地震動を対象として長周期地震動階級を算定し、本県における高層ビルへの揺れの影響について評価した。

長周期地震動階級は、その場所に高層ビルがあれば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、個々の高層ビル等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。気象庁では、令和5年2月1日より、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。長周期地震動階級の概要及び算定方法を以下に示す。

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。

周期1.6～7.8秒までの間における最大値より、表3-1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となる長周期地震動階級を使用して分布図を作成した。

また、対象は本編における活断層の想定地震より、地震本部による30年以内の地震発生確率が相対的に高い（「第 編-1 想定地震」参照）「福智山断層帯」「警固断層帯南東部」のうち、本県での揺れが大きくなると考えられるケースとした。具体的には、「福智山断層帯（破壊開始点：北側）」及び「警固断層帯（北西部＋南東部）（破壊開始点：中央）」である。

作成した長周期地震動階級分布を図3-1、図3-2に示した。

表 3-1 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

	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	5cm/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 3-2 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。

各市区町村による長周期地震動階級と分布図を以下に示す。

1) 福智山断層帯

破壊開始点：北側

区分		地域
長周期 地震動 階級	4	北九州市若松区、八幡西区、直方市、田川市、中間市、うきは市、東峰村、添田町、福智町、みやこ町
	3	北九州市小倉北区、小倉南区、八幡東区、久留米市、飯塚市、大川市、行橋市、豊前市、小郡市、宮若市、嘉麻市、朝倉市、芦屋町、水巻町、岡垣町、遠賀町、小竹町、鞍手町、大刀洗町、香春町、糸田町、川崎町、大任町、赤村、築上町
	2	北九州市門司区、戸畑区、福岡市東区、博多区、南区、柳川市、八女市、宗像市、古賀市、福津市、篠栗町、志免町、新宮町、久山町、粕屋町、桂川町、筑前町、苅田町、上毛町
	1	福岡市中央区、西区、城南区、早良区、大牟田市、筑後市、筑紫野市、春日市、大野城市、太宰府市、みやま市、糸島市、那珂川市、宇美町、須恵町、大木町、広川町、吉富町
	1未満	なし

2) 警固断層帯（北西部＋南東部）

破壊開始点：中央

区分		地域
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、柳川市、八女市、小郡市、筑紫野市、春日市、太宰府市、うきは市、朝倉市、宇美町、志免町、粕屋町、筑前町、東峰村、大刀洗町
	3	飯塚市、大川市、大野城市、宗像市、古賀市、嘉麻市、糸島市、那珂川市、篠栗町、須恵町、新宮町、久山町、遠賀町、桂川町、大木町、広川町、添田町
	2	北九州市門司区、若松区、戸畑区、小倉北区、小倉南区、八幡東区、八幡西区、大牟田市、直方市、田川市、筑後市、行橋市、豊前市、中間市、福津市、宮若市、みやま市、芦屋町、水巻町、岡垣町、小竹町、鞍手町、香春町、糸田町、川崎町、大任町、赤村、福智町、苅田町、みやこ町、吉富町、上毛町、築上町
	1	なし
	1未満	なし

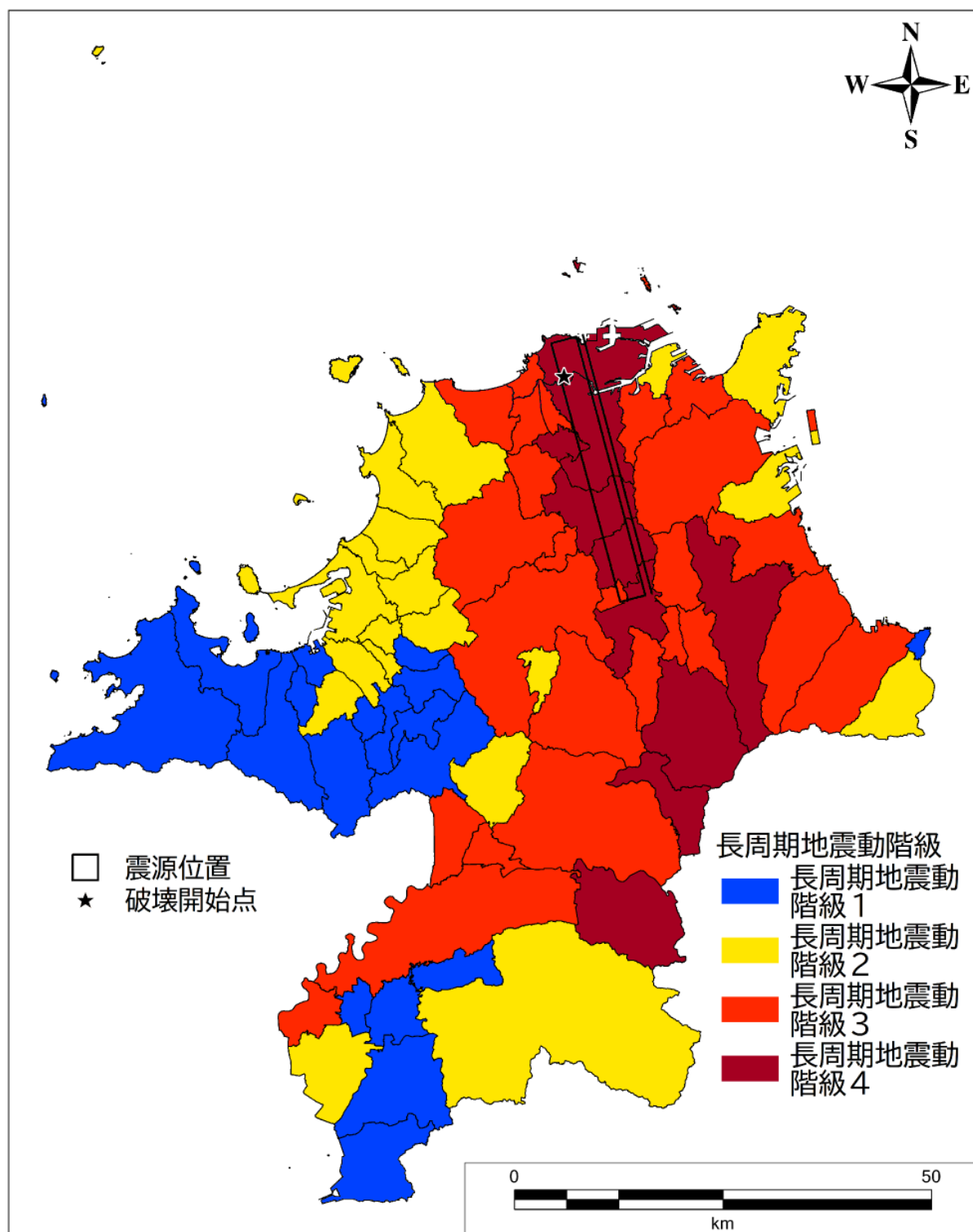


図 3-1 長周期地震動階級分布図
【福智山断層帯（破壊開始点：北側）】

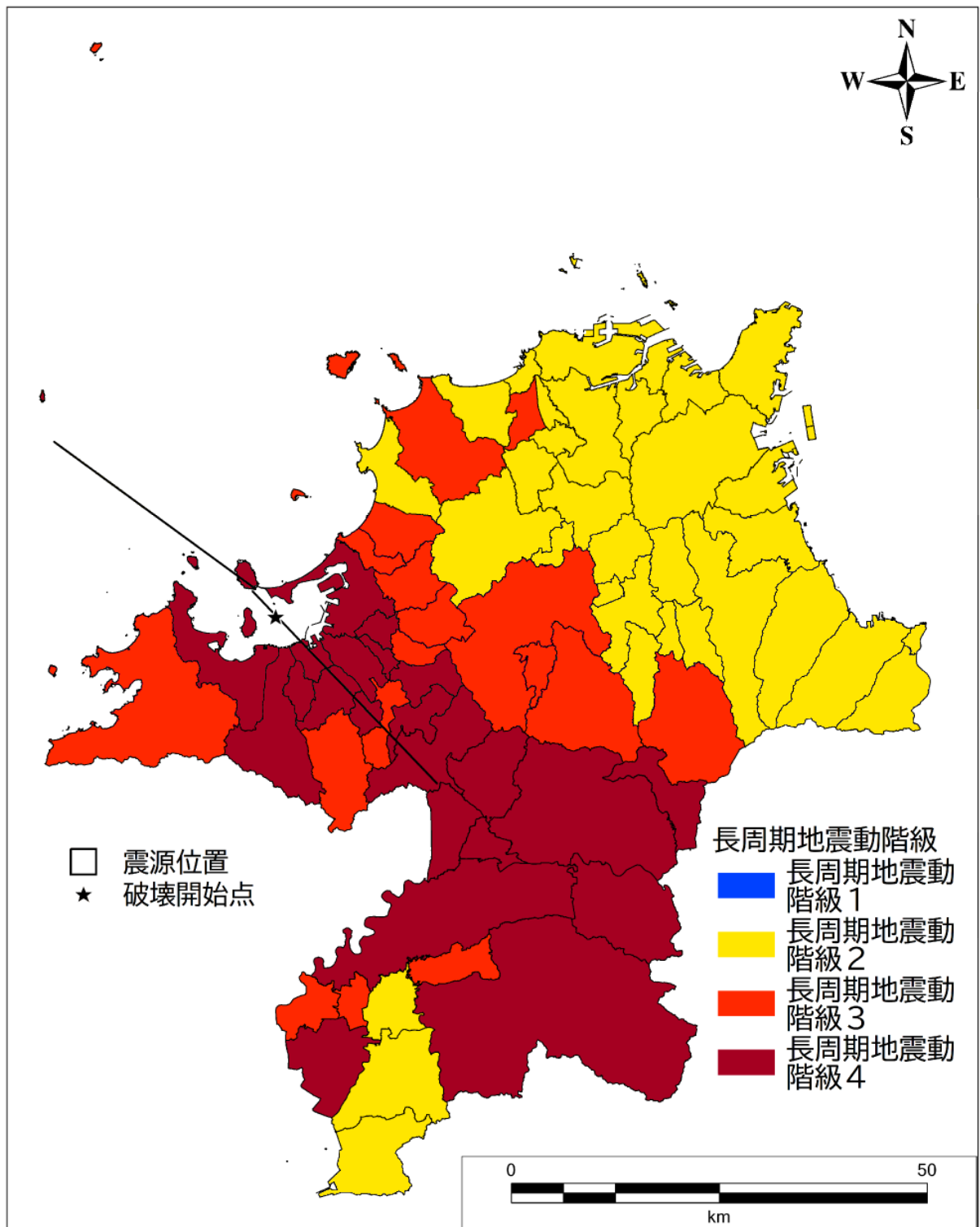


図 3-2 長周期地震動階級分布図
【警固断層帯（北西部＋南東部）（破壊開始点：中央）】

4 孔内水位の整理

ボーリングデータに基づき、孔内水位の頻度分布を微地形区分ごとに整理した。

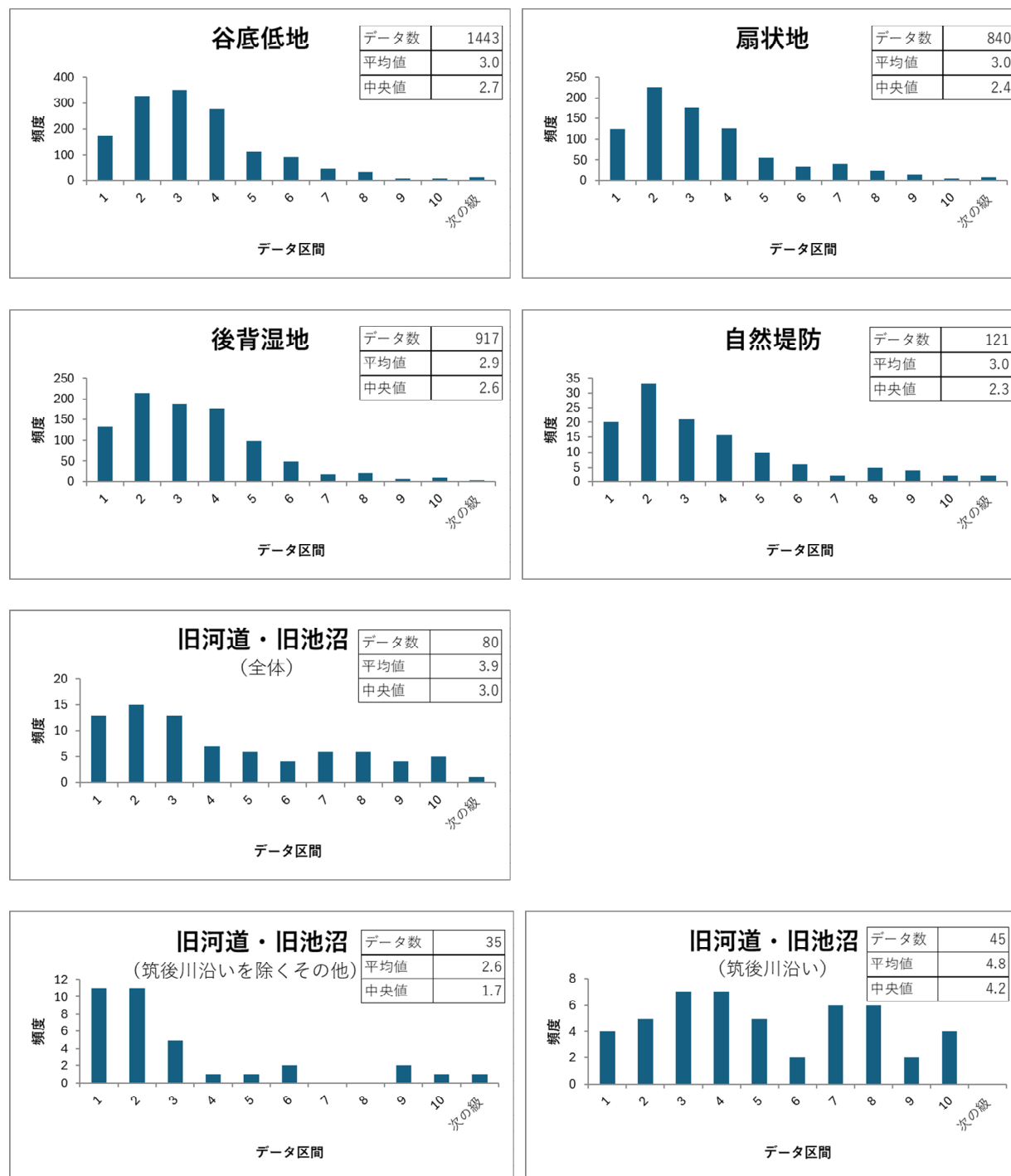


図 4-1 微地形区分ごとの孔内水位の頻度分布図 (1/2)

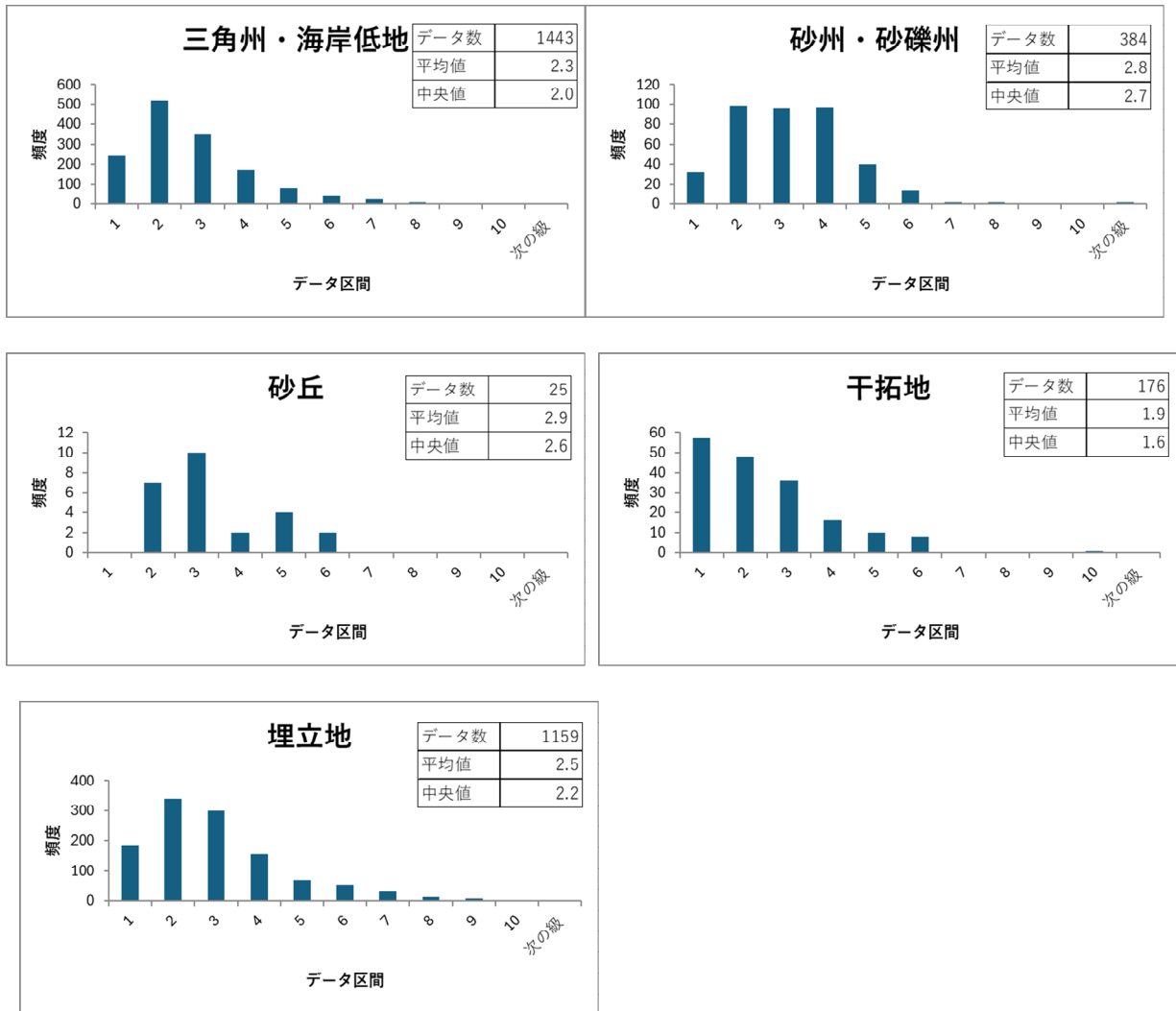


図 4-2 微地形区分ごとの孔内水位の頻度分布図 (2/2)

5 用語説明

(地震調査研究推進本部ほかより引用)

用 語	説 明
第Ⅱ編 1. 想定地震	
活断層	最近の地質時代に繰り返し活動し、将来も活動することが推定される断層のこと。
断層帯	日本には約2,000の活断層が分布していると推定されているが、これらの断層のうち複数の断層が近接してある地域に帯状に分布しているものもある。そのような複数の断層をまとめたものを断層帯という。
強震動予測レシピ	震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）。地震調査委員会において実施してきた強震動評価に関する検討結果から、強震動予測手法の構成要素となる震源特性、地下構造モデル、強震動計算、予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定にあたっての考え方について取りまとめたもの。
強震動生成域/背景領域	震源となる断層面のなかで特に強い地震波（強震動）を発生させる領域を強震動生成域と言う。また、その他の領域を背景領域と言う。
第Ⅱ編 2. 地震動の予測	
距離減衰式	「距離減衰」とは、地震が発生した場所から遠くなればなるほど、地震の揺れが弱くなる現象のことである。例えば、震源に近いところの震度は大きくても、遠い場所では震度が小さくなるのは、この距離減衰のためである。「距離減衰式」とは、この地震の揺れの強さと震源からの距離との関係を式に表したものの。
地震基盤	「地震基盤」は地盤の影響を大きく受けない地盤で、S波速度が毎秒3km程度の堅硬な岩盤を指す。震源からの距離がそれほど違わなければ、地震基盤に入射する波はどこでもほぼ同じと考えられる。
工学的基盤	「工学的基盤」は構造物を設計する際に、地震動設定の基礎とする良好な地盤で、S波速度が毎秒300～700m程度の地層を指す。
強震動生成域/背景領域	震源となる断層面のなかで特に強い地震波（強震動）を発生させる領域を強震動生成域と言う。また、その他の領域を背景領域と言う。
等価線形	成層地盤を対象とした一次元重複反射理論による地盤震動解析手法で、地盤の非線形性を近似的に線形化して扱う。ひずみレベルの設定範囲は 10^{-2} (1%)程度である。
強震動予測レシピ	震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）。地震調査委員会において実施してきた強震動評価に関する検討結果から、強震動予測手法の構成要素となる震源特性、地下構造モデル、強震動計算、予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定にあたっての考え方について取りまとめたもの。
第Ⅲ編 1. 建物被害	
全壊	住家が滅失したもので、具体的には住家の損壊した部分の床面積が、その住家の延べ面積の70%以上に達するもの、または住家の主要構造部の被害額が、その住家の時価の50%以上に達する程度のもの。
半壊	住家の損壊が著しいが、補修すれば元通りに使用できるもので、具体的には損壊部分が、その住家の延べ面積の20%以上70%未満のもの、または住家の主要構造部の被害額がその住家の時価の20%以上50%未満のもの。

6 参考文献

文 献 名 称	内 容
第Ⅰ編 調査概要	
平成23年度調査	平成24年3月 福岡県「福岡県地震に関する防災アセスメント調査報告書」
第Ⅱ編 1. 想定地震	
内閣府（2012）	平成24年8月 内閣府中央防災会議「南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）」
J-SHIS	地震本部ならびに防災科学技術研究所「地震ハザードステーション J-SHIS」
第Ⅱ編 2. 地震動の予測	
司・翠川（1999）	平成11年 司宏俊・翠川三郎「断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式」日本建築学会構造系論文集，第523号，pp. 63-70
藤本・翠川（2006）	平成18年 藤本一雄・翠川三郎「近接観測点ペアの強震観測記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係」日本地震工学会論文集，Vol. 6，No. 1，pp. 11-22
藤本・翠川（2005）	平成17年 藤本一雄・翠川三郎「近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法」地域安全学会論文集，No. 7，241-246
第Ⅱ編-3. 液状化の予測	
松岡（2011）	平成23年5月 松岡昌志・若松加寿江・橋本光史「地形・地盤分類 250mメッシュマップに基づく液状化危険度の推定方法」日本地震工学会論文集，第11巻，第2号，pp. 20-39
若松・松岡（2020）	令和2年6月 若松加寿江・松岡昌志「地形・地盤分類250mメッシュマップの更新」Bulletin of JAEE，No. 40
道路橋示方書（2017）	平成29年11月 日本道路協会「道路橋示方書・同解説 耐震設計編」
岩崎ほか（1980）	昭和55年4月 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進「地震時地盤液状化の程度の予測について」土と基礎，Vol. 28，No. 4，23-29
建築基礎構造設計指針（2019）	平成31年11月 日本建築学会「建築基礎構造設計指針」
第Ⅲ編 1. 建物被害想定	
内閣府（2025）	令和7年3月 内閣府中央防災会議「南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要」
消防システム	消防庁消防大学校 消防研究センター「建物1棟単位のシミュレーションが可能な消防力最適運用支援情報システム」
第Ⅲ編 2. 人的被害想定	
家具転倒率、家具転倒防止対策実施率	平成8年7月 北浦かほる、静木美絵、延与祐三子、岡田奈美枝、谷みや子「阪神淡路大震災住宅内部被害の総合的分析（1）家具のプロポーシオン、（2）住宅内部被害平面図」日本建築学会近畿支部研究報告集
東京都（1997）	平成9年8月 東京都防災会議地震部会「東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書」
静岡県（2000）	平成13年5月 静岡県「第3次地震被害想定結果」
第Ⅲ編 3. ライフライン被害想定	
川上（1996）	平成8年11月 川上英二「道路交通システムの形状と連結確率との関係，第1回都市直下地震災害総合シンポジウム，pp. 169-172」

**地震に関する防災アセスメント調査
資料編**

文 献 名 称	内 容
能島ら (2012)	平成24年 能島 暢呂、加藤 宏紀「供給系ライフラインの地震時機能評価モデルの検証 ―東日本大震災の被災事例に基づく―」地域安全学会論文集、No. 18、pp. 1-11
丸山ら (2010)	平成22年 丸山喜久・山崎文雄「近年の地震データを考慮したマクロな配水管被害予測式、第 30 回土木学会地震 工学研究発表会論文集」
国交省 (2005)	平成17年12月 国土交通省「大規模地震による下水道被害想定検討委員会資料」
内閣府 (2004)	平成17年 2 月 内閣府防災担当「首都直下地震に係る被害想定手法について」首都直下地震対策専門調査会 (第 1 5 回)
関沢ら (2003)	平成15年 5 月 関沢愛ら「大都市大震災軽減化特別プロジェクト平成14年度成果報告書 IV 耐震研究の地震防災への反映 3. 2. 9 地方自治体の災害対策本部における応急対応支援システムの開発 IV 耐震研究の地震防災への反映 3. 2. 9 地方自治体の災害対策本部における応急対応支援システムの開発」
第Ⅲ編 4. 交通施設被害想定	
ICHII (2004)	平成16年 8 月 Koji ICHII「FRAGILITY CURVES FOR GRAVITY-TYPE QUAY WALLS BASED ON EFFECTIVE STRESS ANALYSIS (13th WCEE)」
第Ⅲ編 7. 経済被害想定	
島根県 (2018)	平成30年 3 月 島根県「島根県地震・津波被害想定調査報告書」
鳥取県 (2018)	平成30年12月 鳥取県「鳥取県地震・津波被害想定調査報告書」
中央防災会議 (2005)	平成17年 2 月 内閣府中央防災会議 (首都直下地震対策専門調査会) 「第15回首都直下地震対策専門調査会資料 首都直下地震に係る被害想定手法について」