

地震動等予測の検討状況について

1 地震動

- (1) 想定地震と震源モデル
- (2) 深部地盤モデル
- (3) 浅部地盤モデル
- (4) 地震動の予測手法
- (5) 長周期地震動の影響調査

2 液状化

- (1) 液状化の予測手法
- (2) 液状化の履歴調査

3 土砂災害

- (1) 土砂災害の予測

1 地震動

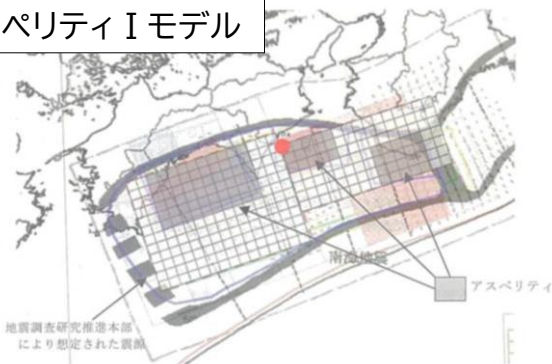
(1) 想定地震と震源モデル

①基本方針

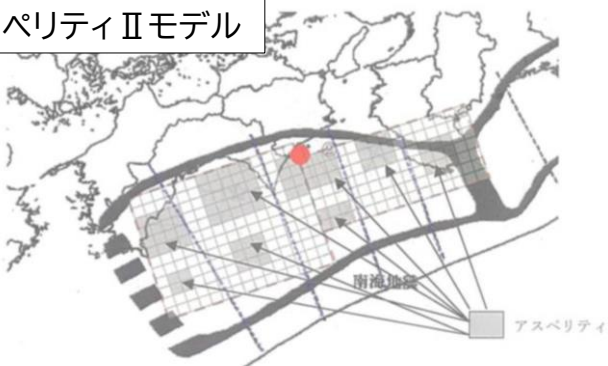
- 発生頻度の高い一定規模の地震[L1]については、これまでの対策を反映し、被害量を比較することを目的として、前回調査（H24）で想定した「高知県モデル」を用いて、耐震化などの対策効果を確認する。また、前回調査では、前々回調査（H16）*1の深部地盤を対象とした地震動の解析結果を使用した応答計算によって地震動予測を行っていることから、今回調査でも同様に行う。
- 最大クラスの地震[L2]については、前回調査や内閣府（R7）*2で採用した「南海トラフの巨大地震」の4つのケース（基本、東側、西側、陸側）を想定する。

L1「高知県モデル」の震源モデル設定

アスペリティⅠモデル

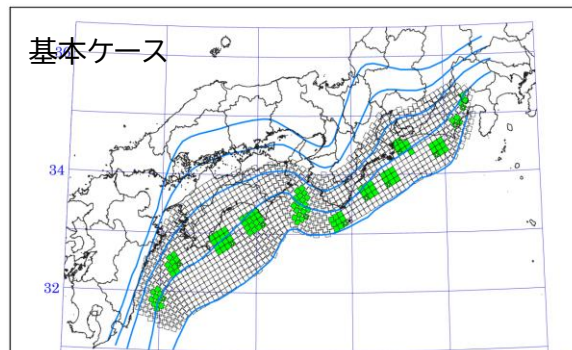


アスペリティⅡモデル

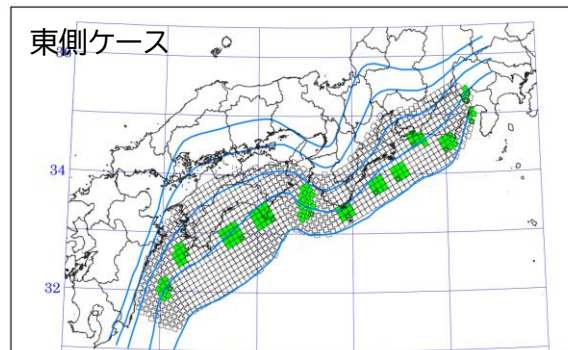


L2「南海トラフの巨大地震」の震源モデル設定

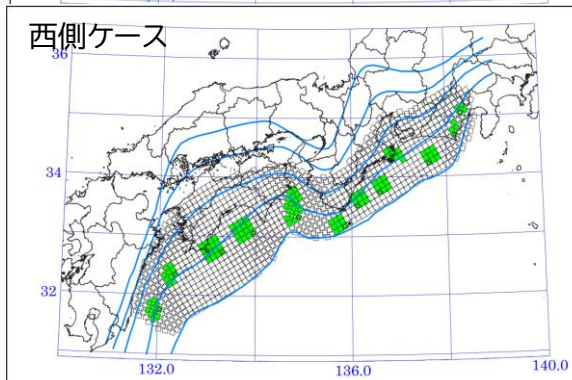
基本ケース



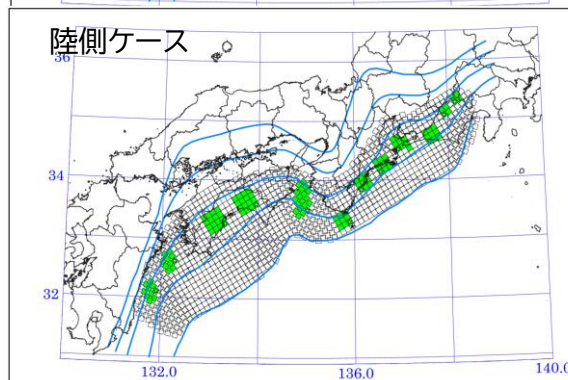
東側ケース



西側ケース



陸側ケース

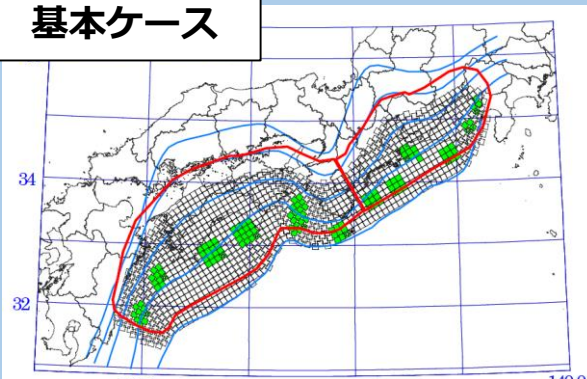


②時間差をおいて発生する地震（半割れ）

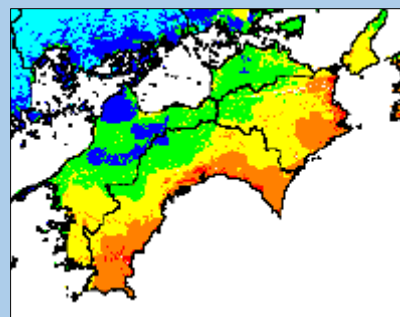
- 内閣府（R7）では、南海トラフ地震の想定震源域内の一部が、**時間差をおいて地震が発生する場合**を想定した地震動推定を新たに実施している。震源の領域については様々なパターンが考えられるが、領域を**西側、東側に区分した「半割れ」**を想定地震としている。
- 震度分布より、高知県では東側半割れによる揺れの影響は比較的少ない。**西側半割れは、全体が同時に活動する場合（県想定のL2）と同等の揺れが生じる可能性がある。**
- 半割れの地震動予測を実施し、被害シナリオを整理する。

内閣府（R7）による半割れ（西側、東側）の震源設定と半割れ、南海トラフの巨大地震による四国の震度分布図

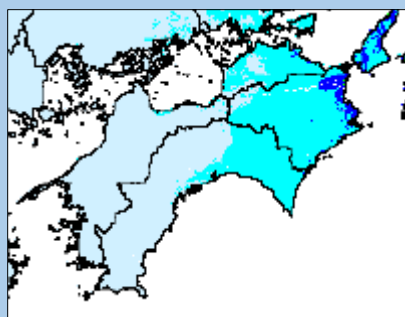
基本ケース



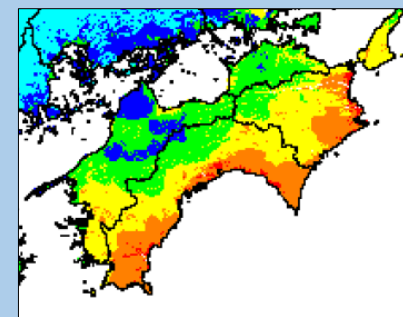
西側半割れ



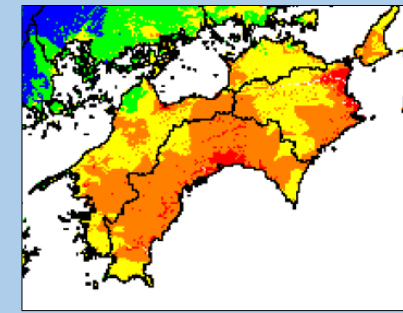
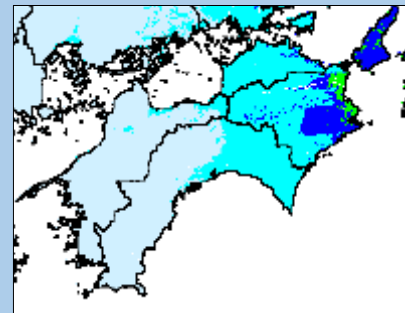
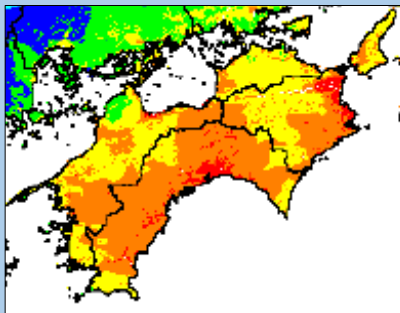
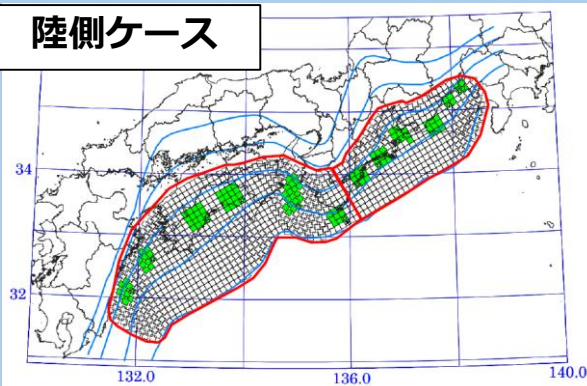
東側半割れ



全割れ（南海トラフの巨大地震）



陸側ケース

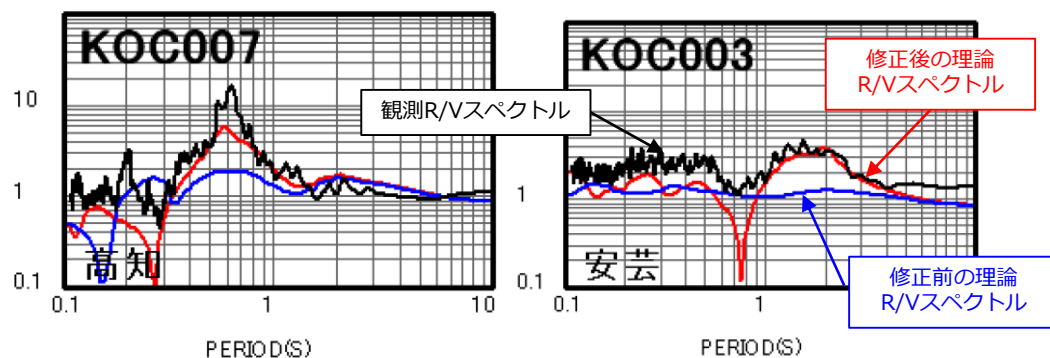


① 深部地盤モデルの設定の基本方針

- 高知県の前回調査（H24）では、内閣府（H24）の深部地盤モデルを基本に、観測データを用いた詳細な**モデルチューニング***1によって**県独自の深部地盤モデルを構築している。**
- 前回調査以降に国などから示された深部地盤モデルについて整理し、高知県における地盤モデルの更新の必要性について確認し、採用モデルを決定する。

出典：平成24年度高知県地震被害想定調査報告書

地震波の水平動成分スペクトル（R）と上下動成分スペクトル（V）の比を用いた地盤モデルの修正（チューニング）の例



地盤モデル修正（チューニング）前後のS波速度=1km/s上面深さ分布の比較

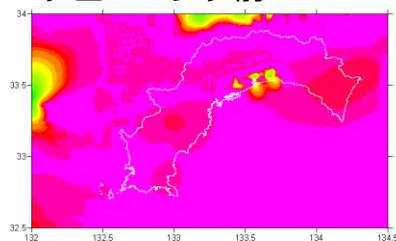
Vs = 1.0 km/s

Depth [m]

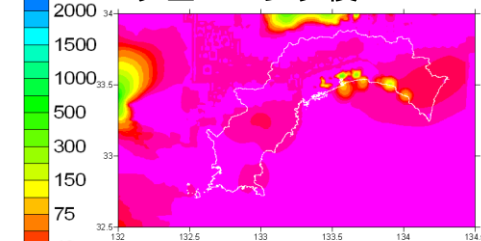
Vs = 1.0 km/s

Depth [m]

チューニング前



チューニング後



地盤モデルの修正（チューニング）に用いた高知県内の地震観測地点

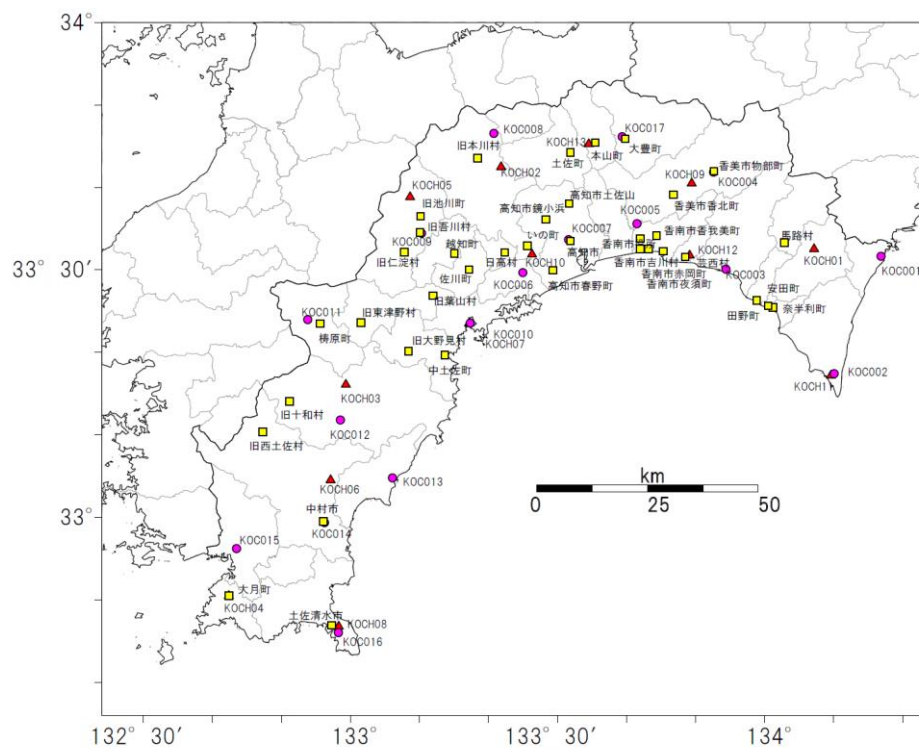
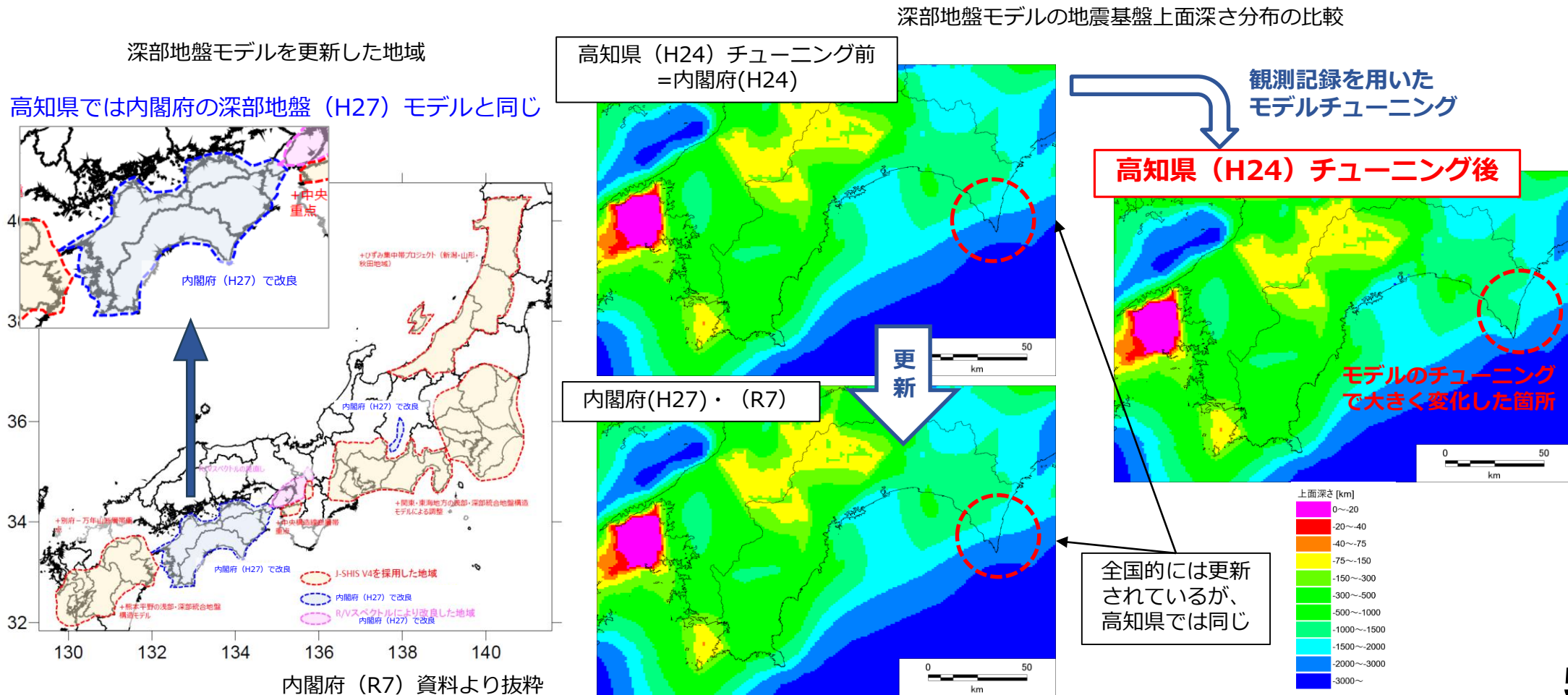


図 3.2.1-1 高知県内の地震観測地点

*1: 県内の地震観測点で得られた観測地震動のR/Vスペクトル（水平動成分スペクトル（R）と上下動成分のスペクトル（V）の比）と、深部地盤モデルから理論的に求められるR/Vスペクトルが整合するように深部地盤モデルの速度層厚を修正している。

②内閣府 (R7) による深部地盤モデル

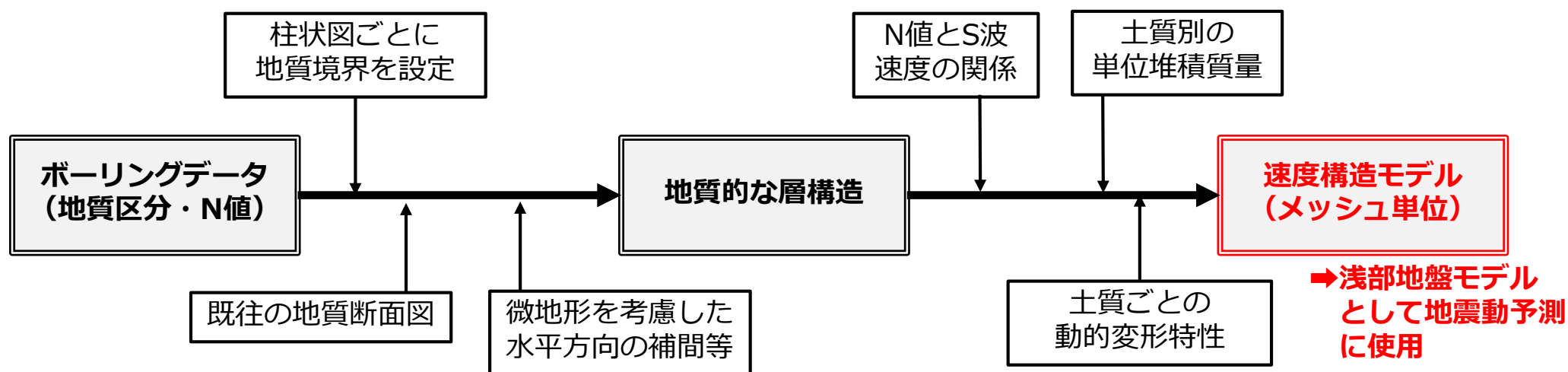
- 高知県 (H24) のチューニング前後の深部地盤モデルと、最新のモデルである内閣府 (R7) の深部地盤モデルを比較した。なお、内閣府 (R7) の深部地盤モデルデータは公開されていない (R7.5.14時点) が、公表資料では、高知県を含む四国は内閣府 (H27) と同じとされているため、これを比較に用いた。
- チューニング前の内閣府 (H24) のモデルは、内閣府 (R7) と同じであることが確認できたため、高知県 (H24) の深部地盤モデルをそのまま採用する。



①浅部地盤モデルの作成方法

- 新たに収集する**ボーリングデータ**と最新の**微地形区分***¹を用いて浅部地盤モデルを**更新**することで、最新の知見を反映したモデルの作成を行う。ボーリングデータは、国と県が保有するデータを基本として用いる。
- 浅部地盤による地震動への影響の評価に必要な設定値は、**前回調査（H24）と同じ方法で設定する**。なお、内閣府（R7）でも同様の設定方法が用いられている。
 - S波速度*²：内閣府（H13）*³による、土質を考慮したN値とS波速度の関係式を用いる。
 - 単位堆積質量：内閣府（H13）による、土質ごとの設定値を用いる。
 - 動的変形特性：ボーリングデータとともに収集した土質試験データを整理し、前回調査の設定と比較して、異なる傾向が見られた場合には更新する。
- 浅部地盤モデルは、地表震度分布図の縮尺に合わせて**250mメッシュ単位**で作成する。

浅部地盤構造モデルの作成フロー



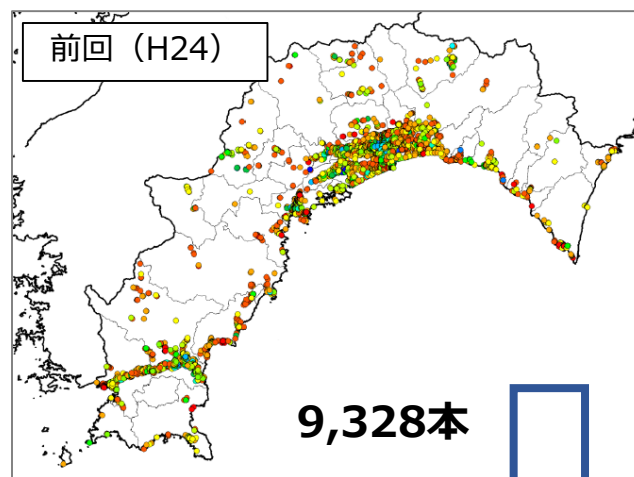
*1:若松加寿江・松岡昌志: 地形・地盤分類250mメッシュマップの更新, 日本地震工学会誌, No.40, pp.24-27, 2020 *2:S波（地盤を伝わる弾性波のひとつで、進行方向の直方向に揺れる波）が伝わる速さのこと。
 *3:内閣府, 中央防災会議東海地震に関する専門調査会報告, 平成13年12月

②浅部地盤モデル作成データ

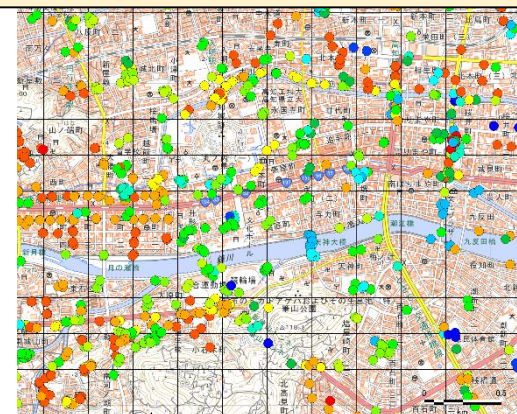
モデル作成に用いたボーリングデータの本数

分類	提供機関名	デジタル化した ボーリング本数
前回 (H24)	前回収集	9,328本
今回調査	国土地盤情報センター	7,901本
	高知県(技術管理課)	2,249本
合計		19,478本

- ・国土地盤情報センターのデータは国土交通省及び高知県(令和元年)のデータ。
- ・国土地盤情報センター及び高知県(技術管理課)のデータは、県外、重複を取り除いたデータ。



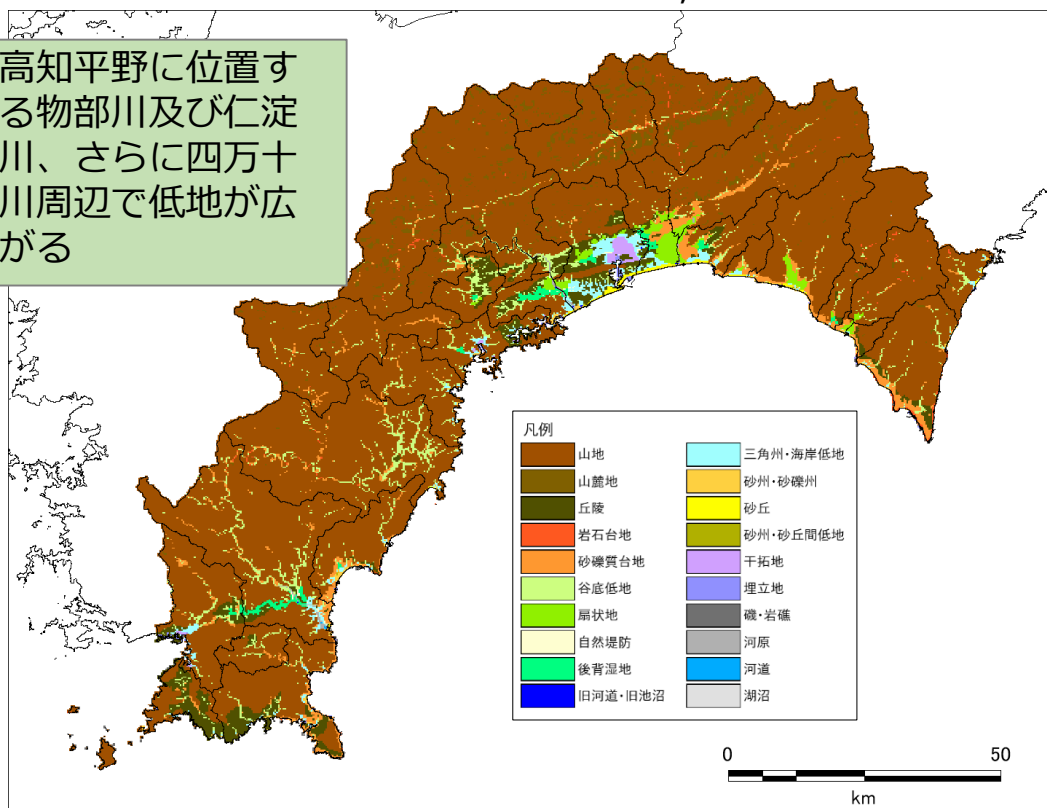
高知市内では250mメッシュ内に複数のボーリングデータが分布している



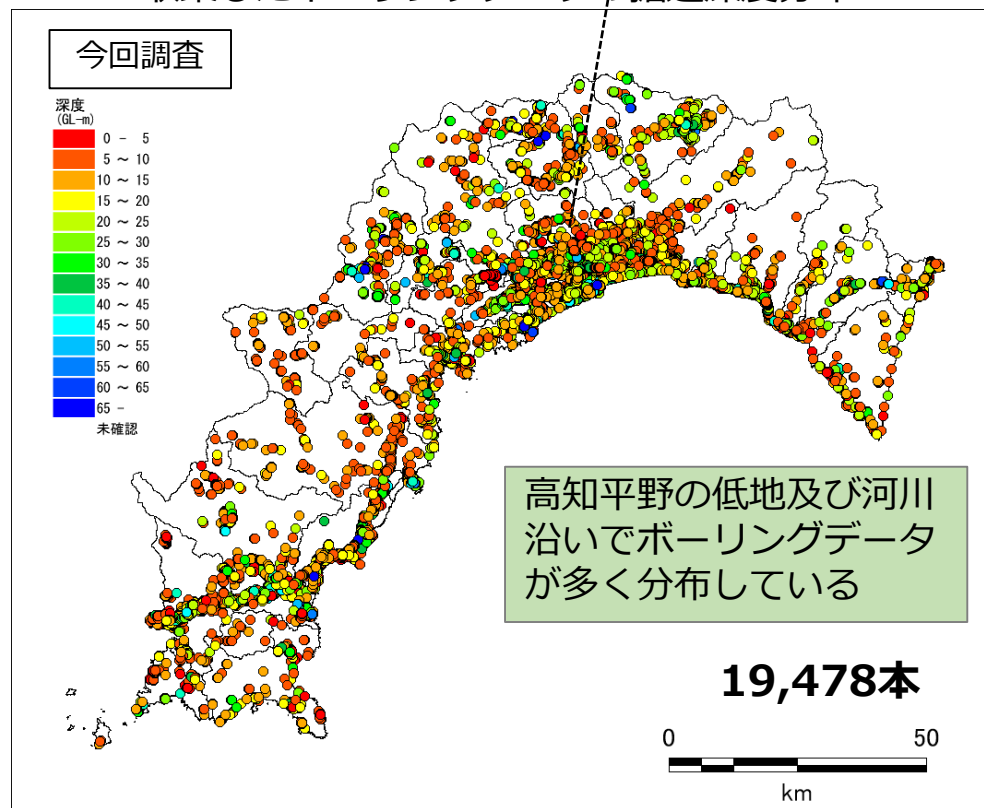
※250mメッシュ図を重ね合わせ

微地形区分 (若松・松岡, R2)

高知平野に位置する物部川及び仁淀川、さらに四万十川周辺で低地が広がる



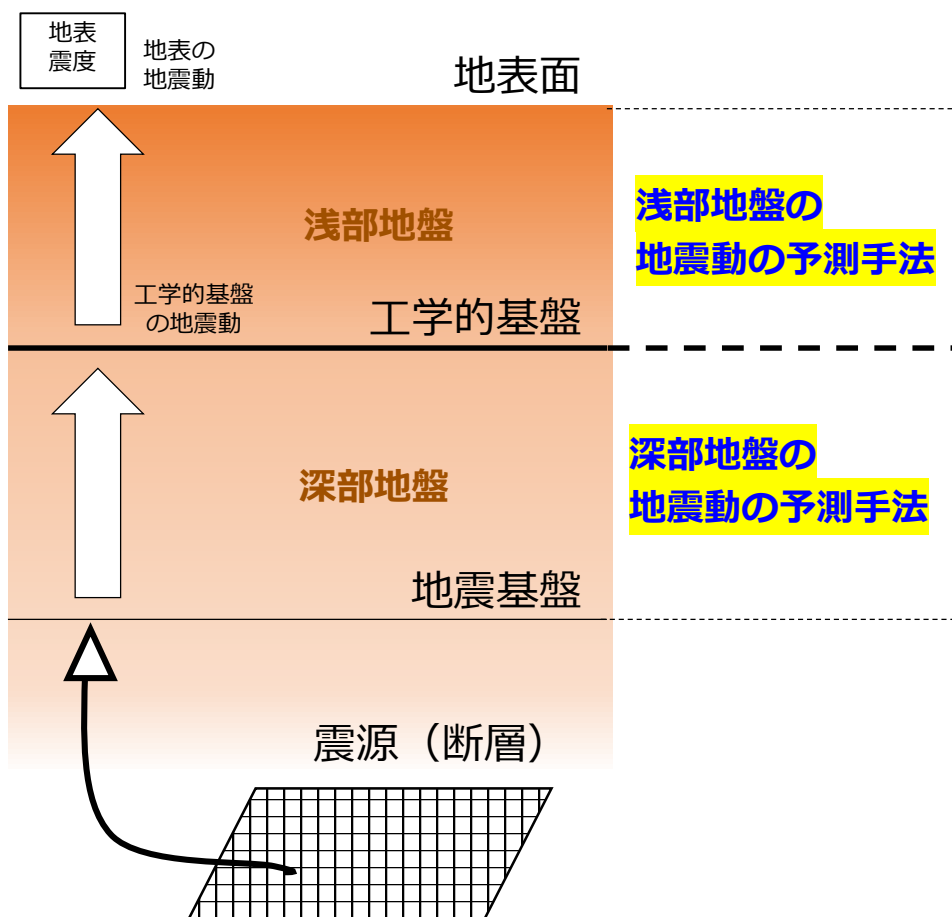
収集したボーリングデータの掘進深度分布



①基本的な考え方

- **深部地盤（地震基盤～工学的基盤）と浅部地盤（工学的基盤～地表）**は、地震動の伝わり方が異なるため、予測手法を変えて**各段階で評価することが多い**。
- 各段階の評価手法にも様々な方法があり、それぞれの長所・短所を考慮したうえで必要に応じて**複数の方法を併用**しながら予測を行っていく。

地震動予測手順のイメージ



評価方法	特徴	○：長所 ×：短所
経験的手法	震度増分 AVS30 ¹⁾ を用いた経験式によって震度増分を求め、工学的基盤の震度に足すことで地表震度を求める。	○経験式によって、一定の非線形性を考慮できる。 ○計算量が少なく、面的な評価に適する。 ×地震動の詳細な挙動を捉えることはできない。
数値計算	線形解析 重複反射理論によって地盤の増幅率を考慮する。 非常に硬い地盤や微小地震などを対象として用いられる。	○簡易な計算によって評価可能。 ×非線形挙動を表現できない。
	等価線形解析 重複反射理論によって地盤の増幅率を考慮する。 地盤の非線形特性を等価な線形と置き換えて評価する。	○比較的簡易な設定で地盤の非線形性を考慮した数値計算ができる。(波形計算が可能) ×非常に強い揺れや軟弱地盤では加速度が低下する。 ×地盤のすみで1%未満に対応。
	非線形解析 逐次積分法によって時間ごとの変化を評価する。 地盤の非線形特性を時刻経過に合わせて反映することができる。 土中の水の扱い方によって「全応力解析」「有効応力解析」がある。	○非常に強い揺れや軟弱地盤の予測も可能。 ×計算量が長く時間がかかる。 ×有効応力解析 ○動的に液化発生を評価できる ×設定が難しく、面的な評価は難しい。

浅部地盤の地震動の主な予測手法と特徴
➡P10

予測手法	特徴	○：長所 ×：短所
経験的手法	多数の地震観測記録を統計的に処理して求められた回帰モデルを用いて予測する手法	○観測値の平均特性を反映した予測値が得られる ×震源域での破壊過程を反映することは難しい
半経験的手法	経験的グリーン関数法 予測地点で得られた中小地震観測記録を要素波とし、断層モデルの考え方に基づいて、これを重ね合わせることで大地震の地震動を評価する方法	○震源の破壊過程とサイト固有の特性を反映した予測が可能 ×観測記録がないと評価できない
	統計的グリーン関数法 多数の地震観測記録を処理して求められた平均特性を有する要素波を作成し、断層モデルの考え方に基づいて重ね合わせることで大地震の地震動を評価する方法。地盤増幅特性は別途考慮する	○観測記録がなくても評価可能 ○震源の破壊過程を反映した予測が可能 ×サイト特性のうち盆地の影響の評価が難しい
理論的方法	断層モデルの理論に基づいて震源特性を求め、地震波の伝播特性と表層地盤の増幅特性を弾性波動論 ²⁾ により理論的に計算し評価する手法	○震源域での破壊破壊及び盆地の影響を反映したやや長周期帯域の地震動を評価できる ×多くの情報が必要 ×短周期帯域での地震動の評価は困難
ハイブリッド合成法	長周期帯域は理論的方法、短周期帯域は半経験的方法で求め、それらを合成する手法。それぞれの寄与は中間的な周期（マッチング周期）でフィルターして足し合わせる。	○広周期帯域の地震動予測が可能 ×マッチング周期の選択が重要

深部地盤の地震動の主な予測手法と特徴
➡P9

②深部地盤の地震動の予測手法

- 南海トラフ地震を想定した被害想定では、多くの都府県で震源の破壊過程を反映できる「統計的グリーン関数法」が採用されている。

深部地盤の地震動の主な予測手法と特徴

予測手法		特徴	○：長所 ×：短所
経験的手法 (距離減衰式)		多数の地震観測記録を統計的に処理して求められた回帰モデルを用いて予測する手法	○観測値の平均特性を反映した予測値が得られる ×震源域での破壊過程を反映することは難しい
半経験的手法	経験的グリーン関数法	予測地点で得られた中小地震観測記録を要素波 ^{*1} とし、断層モデルの考え方に基づいて、これを重ね合わせることで大地震の地震動を評価する方法	○震源の破壊過程とサイト固有の特性を反映した予測が可能 ×観測記録がないと評価できない
	統計的グリーン関数法	多数の地震観測記録を処理して求められた平均特性を有する要素波を作成し、断層モデルの考え方に基づいて重ね合わせて大地震の地震動を評価する方法。地盤増幅特性 ^{*2} は別途考慮する	○観測記録がなくても評価可能 ○震源の破壊過程を反映した予測が可能 ×地盤増幅特性のうち、盆地の影響の評価が難しい
理論的方法		断層モデルの理論に基づいて震源特性を求め、地震波の伝播特性と表層地盤の増幅特性を弾性波動論 ^{*3} により理論的に計算し評価する手法	○震源域での破壊破堤及び盆地の影響を反映したやや長周期帯域の地震動を評価できる ×多くの情報が必要 ×短周期帯域での地震動の評価は困難
ハイブリッド合成法		長周期帯域は理論的方法、短周期帯域は半経験的方法で求め、それらを合成する手法。それぞれの寄与は中間的な周期（マッチング周期）でフィルター処理して足し合わせる。	○広周期帯域の地震動予測が可能 ×マッチング周期の選択が重要

内閣府 (H24) (R7)
高知県 (H24)
↓愛媛県 (H25) *4など

※日本建築学会「地盤振動-現象と理論-」より一部抜粋、編集して作成

*1:震源断層を分割した小断層（要素断層）から放出される地震動のこと *2:対象地点近傍の地盤構造によって地震波動受ける影響のこと

*3:弾性体内での波の伝播を解析する理論のこと *4:愛媛県，愛媛県地震被害想定調査，平成25年12月

③浅部地盤の地震動の予測手法

- 浅部地盤を構成する土は、強い振動によって非線形的な挙動を示すことがあるため、**非線形挙動※をどのように再現するかが重要となる。**

※非線形挙動：剛性が低下し、減衰が増加する現象。地震動では地表加速度が減少し、変位が増加することがある（長周期化）。

- 非線形特性を考慮した手法（等価線形、非線形）では、軟弱地盤等によって**地震動の地表加速度が低下する可能性**があることに留意する必要がある。

浅部地盤の地震動の主な予測手法と特徴

予測手法		特徴	○：長所 ×：短所
震度増分		AVS30 * ¹ を用いた経験式によって震度増分を求め、工学的基盤の震度に足すことで地表震度を求める。	○経験式によって、 一定の非線形性を考慮 できる。 ○計算量が少なく、面的な評価に適する。 ×地震動の詳細な挙動を捉えることはできない。
数値解析	線形解析	重複反射理論* ² によって地盤の増幅率を考慮する。非常に硬い地盤や微小地震などを対象として用いられる。	○簡易な計算によって評価可能。 ×非線形挙動を表現できない。 ↑内閣府（H24）（R7）など
	等価線形解析	重複反射理論によって地盤の増幅率を考慮する。地盤の 非線形特性を等価な線形と置き換えて 評価する。	○比較的簡易な設定で 地盤の非線形性を考慮した数値計算ができる。 （波形計算が可能） ×非常に強い揺れや軟弱地盤では 加速度が低下する。 ×地盤ひずみで1%未満で適用できる。
	非線形解析	逐次積分法によって 時間ごとの変化を評価 する。地盤の非線形特性を時刻経過に合わせて反映することができる。土中の水の扱い方によって「全応力解析」「有効応力解析」がある。	○非常に強い揺れや軟弱地盤の予測も可能。 ↑高知県（H24）愛媛県（H25）など ×計算量が多く時間がかかる。 ×非常に強い揺れや軟弱地盤では 加速度が低下する。 «有効応力解析» ○動的に液状化発生を評価できる ×設定が複雑で面的な評価は難しい。

*1:地表から深さ30mまでの平均S波速度

*2:地層が水平成層であると仮定し、地震波が鉛直上方に伝達する間に地層境界で透過・反射を繰り返しながら地表まで伝播するという考え方

④本調査で用いる予測手法

- 内閣府（H24・R7）、高知県（H24）及び本調査で用いる予測手法について比較した。
 - 内閣府（H24・R7）は、深部地盤は破壊過程を反映できる手法である統計的グリーン関数法、**浅部地盤は広域にわたり揺れの強さを検討する手法として震度増分が採用されている。**
 - 高知県（H24）は、深部地盤は破壊過程を反映できる手法である統計的グリーン関数法を採用している。**浅部地盤は、ボーリングデータを反映した詳細な浅部地盤モデルを作成し、これに基づく数値解析手法のひとつである等価線形解析によって地震動の伝播を考慮し、地表地震動を予測している。**
- 本調査では、**深部地盤については、内閣府（H24・R7）、高知県（H24）と同様に、統計的グリーン関数法を用いるものとする。浅部地盤は、本調査でも高知県（H24）と同様にボーリングデータを反映した浅部地盤モデルを作成するため、等価線形解析によって、地表地震動を予測する。【Aの方法】**
- ただし、等価線形解析は、軟弱地盤では地盤の非線形効果によって地表地震動の加速度が低下することがあることを踏まえ、**次の3つの手法でも地震動の予測を行い、地点ごとに最大となる震度を採用すること**で、安全側に評価をする。

【Bの方法】

- 深部地盤は、統計的グリーン関数法を採用する。
- 浅部地盤は、地盤の非線形挙動による地表地震動の加速度の低下が生じないように**線形解析**を採用する。

【Cの方法】

- 深部地盤は、破壊過程を反映することで地震動が小さく予測される地点に配慮して、**経験的手法（距離減衰式）**を採用する。この手法では、**工学的基盤の震度**が求められる。
- 浅部地盤は、**震度増分**で震度の増減を評価する。

【Dの方法】

- 深部地盤、浅部地盤ともに内閣府（H24）（R7）と同じ手法を用いる。

内閣府（H24・R7）と高知県（H24）及び本調査における地震動の予測手法の比較

対象	内閣府 (H24) (R7)	高知県 (H24) ※	本調査			
			A	B	C	D
浅部地盤	震度増分	等価線形解析	等価線形解析	線形解析	震度増分	震度増分
深部地盤	統計的 グリーン関数法	統計的 グリーン関数法	統計的 グリーン関数法	統計的 グリーン関数法	経験的手法 (距離減衰式)	統計的 グリーン関数法

※高知県（H24）では、本調査と同じ3つの手法による予測を行い、予測結果に大きな差が生じないことを確認したうえで統計的グリーン関数法と等価線形解析で算定した地震動（地表震度）を代表値として採用している。

①目的・概要

- 近年の地震では、**長周期地震動**^{*1}によって超高層建築物^{*2}での大きな揺れや貯蔵タンクのスロッシング^{*3}による被害などが発生している。（例：2011年東北地方太平洋沖地震，2003年十勝沖地震）
- 本調査の**南海トラフ沿いで生じる地震でも長周期地震動の発生が懸念されていることから**、県内で想定される**長周期地震動の大きさや被害可能性について調査する。**
- **内閣府（H27）[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]**による南海トラフ沿いで発生する長周期地震動の**予測結果を整理し**、県内において長周期地震動による被害が懸念される**超高層建築物や免震建築物、油槽所のタンクへの影響を整理する。**

長周期地震動による被害例

2011年東北地方太平洋沖地震
高層階における本棚の転倒（24階の被害）



2003年十勝沖地震
石油タンクのスロッシングによる火災



（内閣府（防災担当）「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動について」より引用）

https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/jishinnankai_shiryo2.pdf

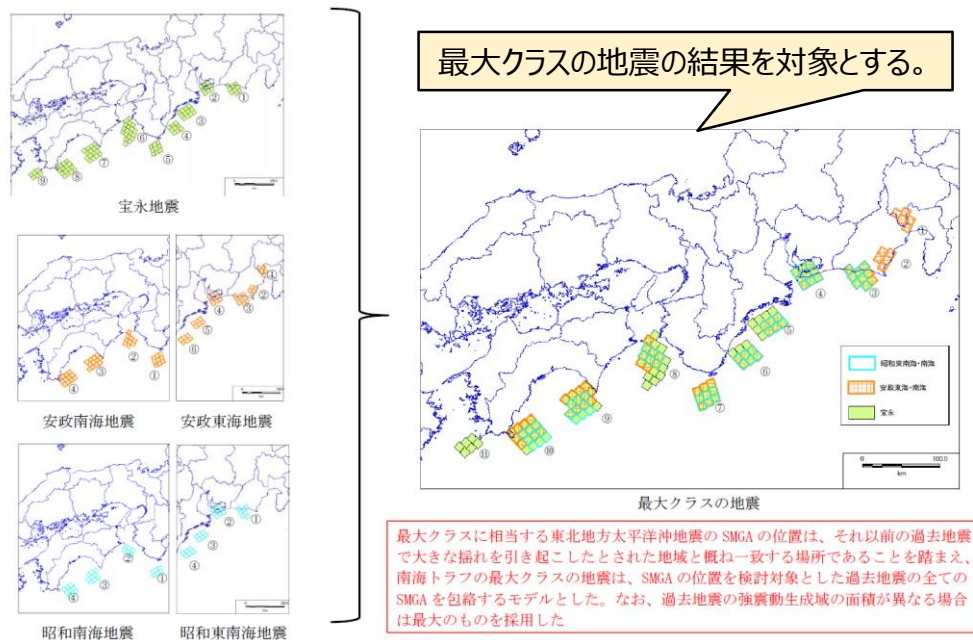
*1:大きな地震で生じる周期の長いゆっくりとした大きなゆれ *2:高さが60mを超える建築物

*3:液体を入れた容器に周期的な振動を与えた場合に、タンク内の液面が大きくうねる現象

②調査概要

- (一社) 日本免震構造協会による公表資料、(一社) 建築性能基準推進協会が提供する大臣認定の検索システムを用いて県内の超高層建築物、免震建築物の所在について調査・整理した。
- 今後、油槽所のタンクの分布や、その規模について、県のデータを用いて調査を行う。
- 内閣府 (H27) の長周期地震動予測結果のうち、県内の地表面で**想定される地震動が最も大きくなるケース^{*1}の地表最大速度 (PGV^{*2}) データ**を、長周期地震動の強さの分布として用い、超高層建築物の分布との重ね合わせを踏まえて、地震波形の整理などを加えながら定性的に示していく。

内閣府 (H27) による想定地震の震源設定概略図



▲「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(H18) で検討したアスペリティ分布による。

※SMGA (Strong Motion Generation Area) : 震源断層面上ですべりの特に大きい部分

高知県の超高層建築物等の所在と棟数

分類	所在	棟数
超高層	高知市	3※
免震	高知市	36
	土佐市	3
	安芸市	2
	南国市	2
	いの町	2
	香南市、香美市、越智町、四万十町	各1
	不明	8
	計	60

※:高さ約70~100m

*1:内閣府 (H27) では不確実要素として長周期地震断層モデルの破壊伝播の揺らぎを複数考慮し、推定される地震動のばらつきを評価している。ここでは、それぞれの計算地点で計算波形の速度応答スペクトルの平均 ($T=2s\sim6s$) 値が最大の波形を対象とした。

*2:PGV (Peak Ground Velocity) 最大速度

①継続時間の考え方

- L2地震は規模が大きいことから、東北地方太平洋沖地震のように地震動の継続時間が長くなる可能性がある*1。
- 地震動の継続時間は液状化の発生に影響することから、液状化危険度について継続時間を考慮した予測を行う。
- 液状化危険度（ P_L 値）の算定における継続時間に関係した**補正係数 C_w** について、液状化危険度の算定方法に基づき、**タイプI（大きな振幅が長時間繰り返して作用する地震動）**の設定値を用いる。

液状化危険度（ P_L 値）の算定方法

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot W(Z) dz$$

$W(Z)$: 重み係数、 Z : 深度[m]

$$F = \begin{cases} 1 - F_L & (F_L < 1.0) \\ 0 & (F_L \geq 1.0) \end{cases}$$

$$F_L = R/L$$

$$R = c_w R_L$$

$$L = r_d * k_{hgL} \sigma_v / \sigma_v'$$

(レベル1地震動及びレベル2地震動（タイプI）の場合)
 $c_w = 1.0$
(レベル2地震動（タイプII）の場合)

$$c_w = \begin{cases} 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ 3.3R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_L) \end{cases}$$

- タイプI：大きな振幅が長時間繰り返して作用する地震動（プレート境界型の大規模な地震）を表したもの
- タイプII：地震動は継続時間は短い極めて強度を有する地震動（兵庫県南部地震のような内陸型地震）を表したもの

ここに、
 c_w : 地震動特性による補正係数
 R_L : 繰返し三軸強度比
 N : 標準貫入試験から得られるN値
 N_1 : 有効上載圧100kN/m²相当に換算したN値
 N_a : 粒度の影響を考慮した補正N値
 σ_{vb}' : 標準貫入試験を行ったときの地表面からの深さにおける有効上載圧 [kN/m²]
 c_{FC} : 細粒分含有率によるN値の補正係数
 FC : 細粒分含有率[%] (粒径75μm以下の土の質量百分率)
 D_{50} : 平均粒径[mm]

$$R_L = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{(0.85N_a + 2.1)/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882 \sqrt{N_a/1.7 + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5}} & (14 \leq N_a) \end{cases}$$

$$N_a = \begin{cases} c_{FC}(N_1 + 2.47) - 2.47 & (D_{50} < 2mm) \\ \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50}/2)\} N_1 & (D_{50} \geq 2mm) \end{cases}$$

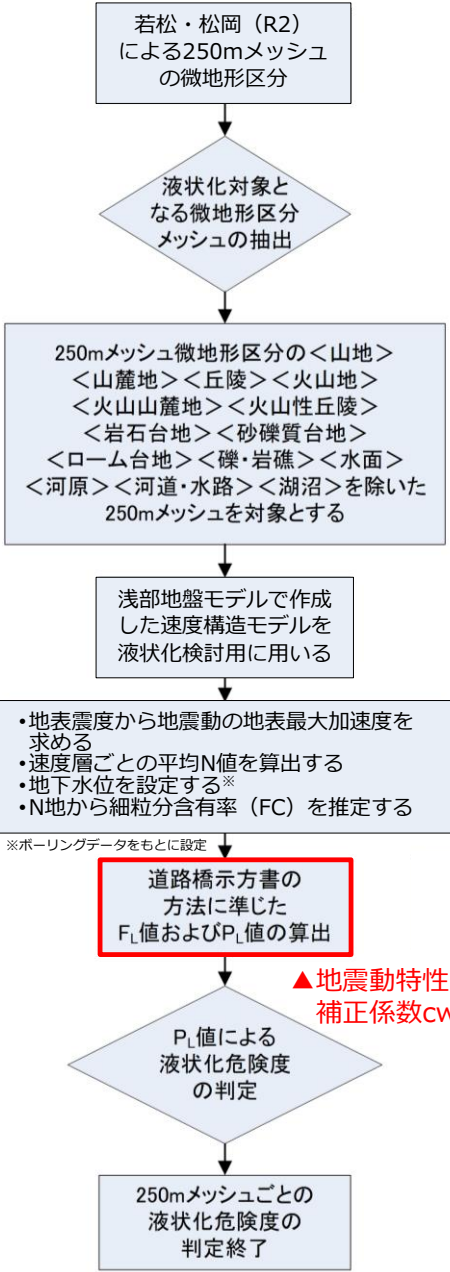
$$N_1 = 170N / (\sigma_{vb}' + 70)$$

$$c_{FC} = \begin{cases} 1 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC + 20)/30 & (10\% \leq FC < 40\%) \\ (FC - 16)/12 & (40\% \leq FC) \end{cases}$$

ここに、
 r_d : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数
 k_{hgL} : 液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度（四捨五入により小数点以下2桁とする）
 C_z : 地域別補正係数
 k_{hgL0} : 液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度の標準値
 σ_v : 地表面からの深さxにおける全上載圧[kN/m²]
 σ_v' : 地表面からの深さxにおける有効上載圧[kN/m²]
 x : 地表面からの深さ[m]

液状化危険度の算定フロー

平成24年度高知県地震被害想定調査報告書から抜粋、一部追記

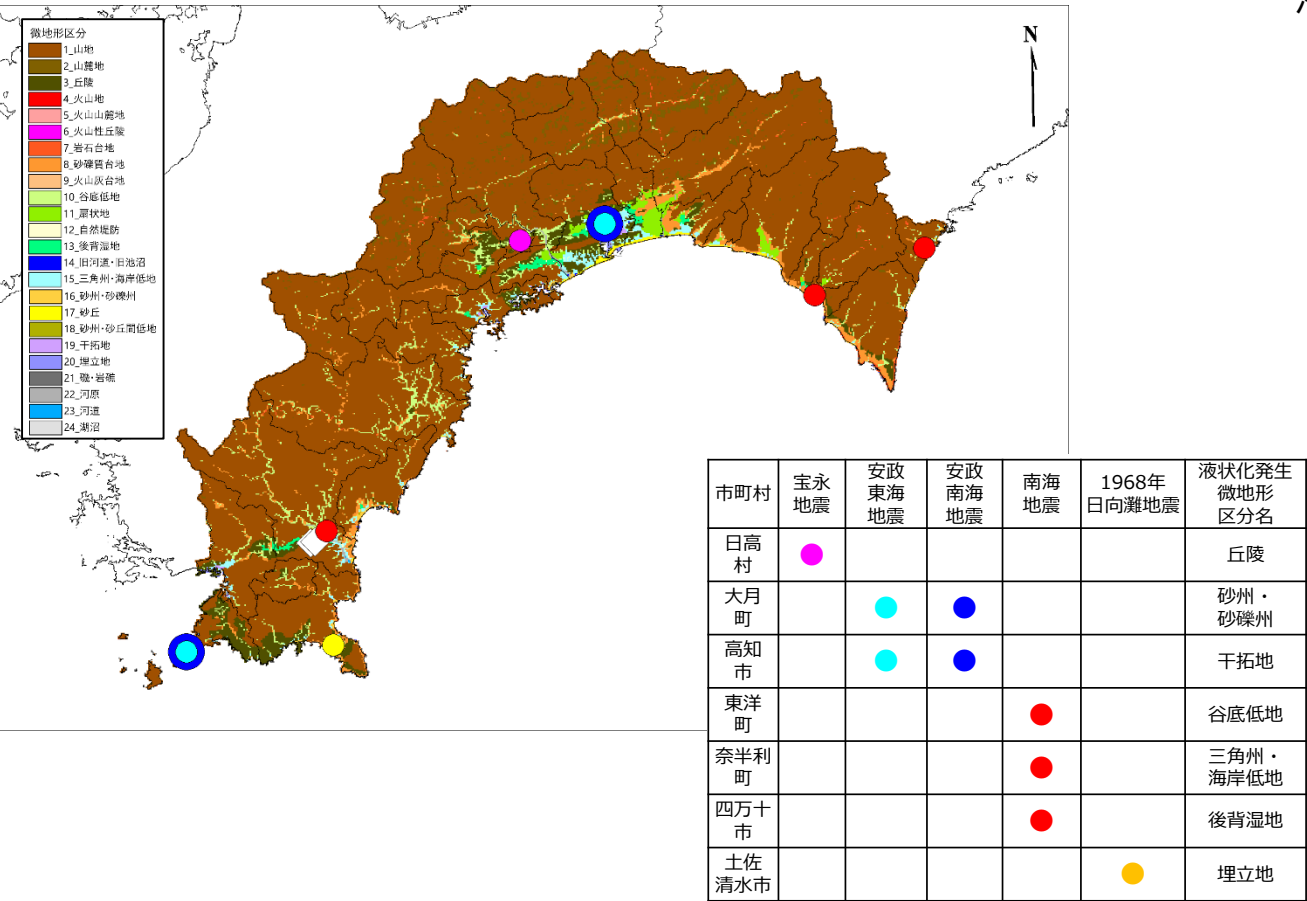


*1: 気象庁「予報業務の許可並びに予報業務の目的及び範囲の変更の認可に関する審査基準の一部改正に係る説明会（平成23年12月14日）」より、福島県いわき市では震度4以上のゆれが約190秒続いたとされている。なお、南海トラフ地震と同じプレート境界型の地震である十勝沖地震（帯広町本町）では強いゆれは20秒程度であった。（参考：四国地方整備局，東南海・南海地震とは？，<https://www.skr.mlit.go.jp/bosai/bosai/tounannkai/jishinntoha.html>（R7.5.14））

②高知県の液状化履歴

- 液状化は繰り返し発生すると言われていることから、県内の液状化履歴を整理した。日本の液状化履歴マップ（若松,2011）や文献調査から、**高知県内の液状化発生地点**を整理した。**大月町から東洋町の沿岸部、高知市内だけでなく内陸部の日高村でも履歴が示されている。**
- **四万十市**における遺跡調査より、**15世紀末ごろの液状化の痕跡**が見つかった。
- 液状化危険度の予測結果と液状化履歴の整合を確認し、結果の妥当性を評価する。

高知県の微地形と液状化履歴

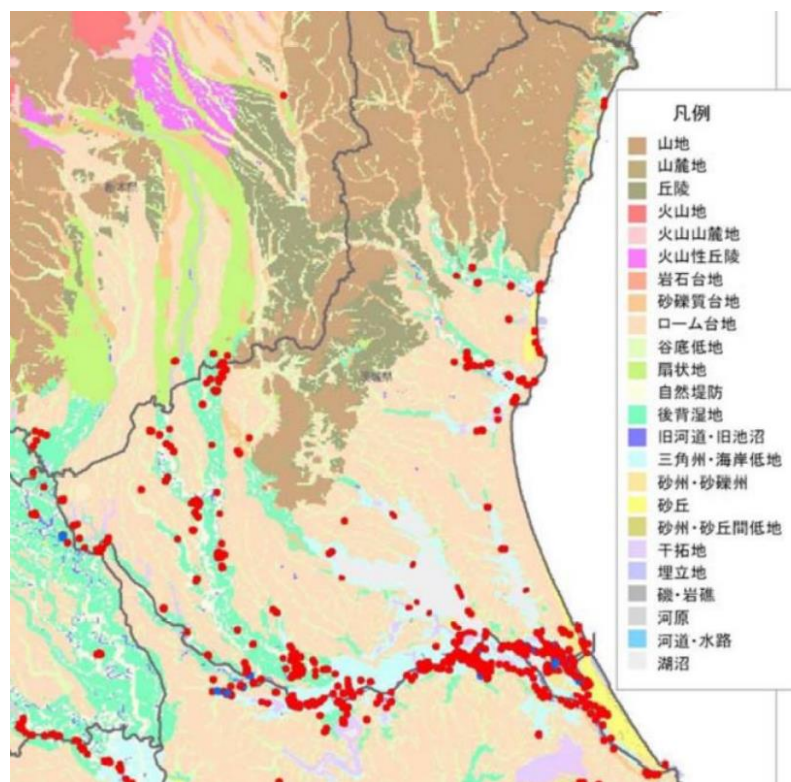
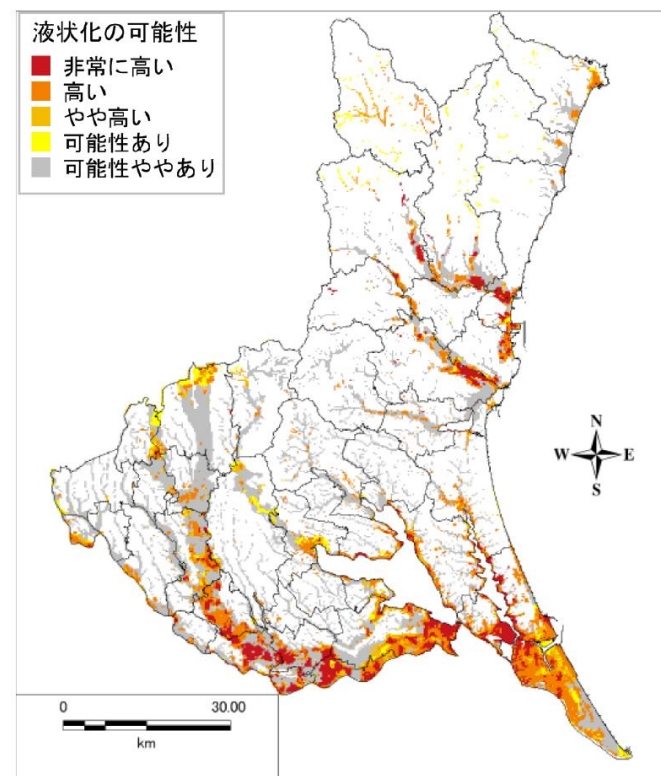


液状化の痕跡が確認された遺跡情報（四万十市）



③既往地震による液状化発生の実績と予測の比較

- 東北地方太平洋沖地震における関東地域での**液状化調査**^{*1}と、茨城県の被害想定^{*2}による**液状化危険度分布図**を比較した。
- 東北地方太平洋沖地震時の茨城県内では、利根川、鬼怒川、小貝川、那賀川、久慈川沿いで液状化が発生している。一方、被害想定ではこれらの川沿いで液状化危険度が高くなっており、**液状化発生実績と予測結果は概ね整合がとれている**。
- 一定の精度があるが、予測による可能性が低い地域でもリスクがあることに配慮して、液状化危険度の予測結果を整理する。

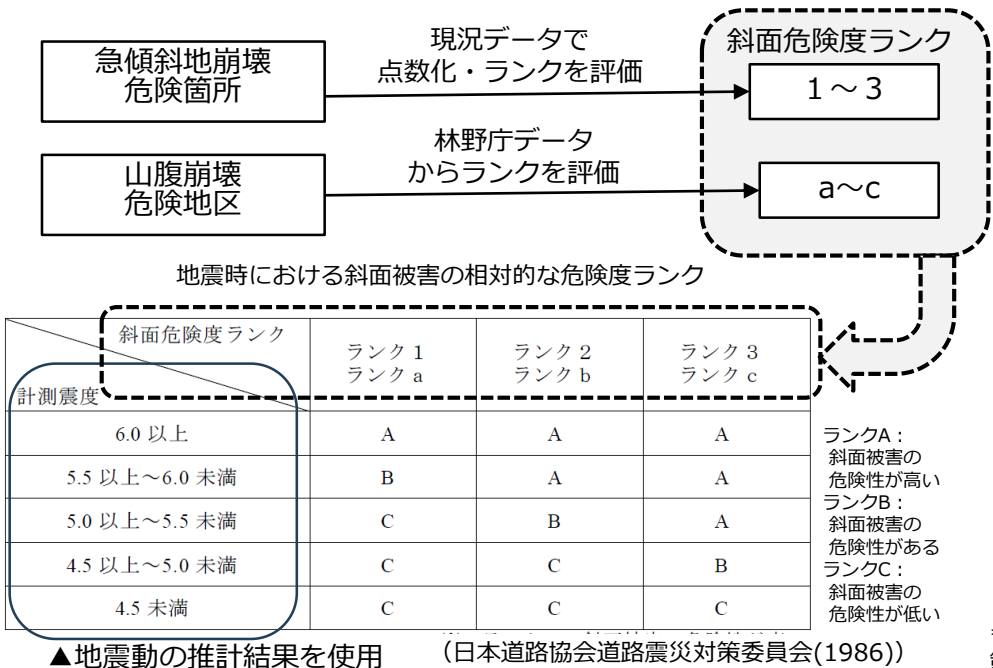
国交省調査^{*1}による液状化発生範囲（一部抜粋）茨城県被害想定^{*2}による液状化危険度

^{*1}:国土交通省関東地方整備局，関東地方のこれまでの災害，東北地方太平洋沖地震による地盤液状化現象の実態調査結果。 ^{*2}:茨城県，茨城県地震被害想定調査詳細報告書，平成30年12月

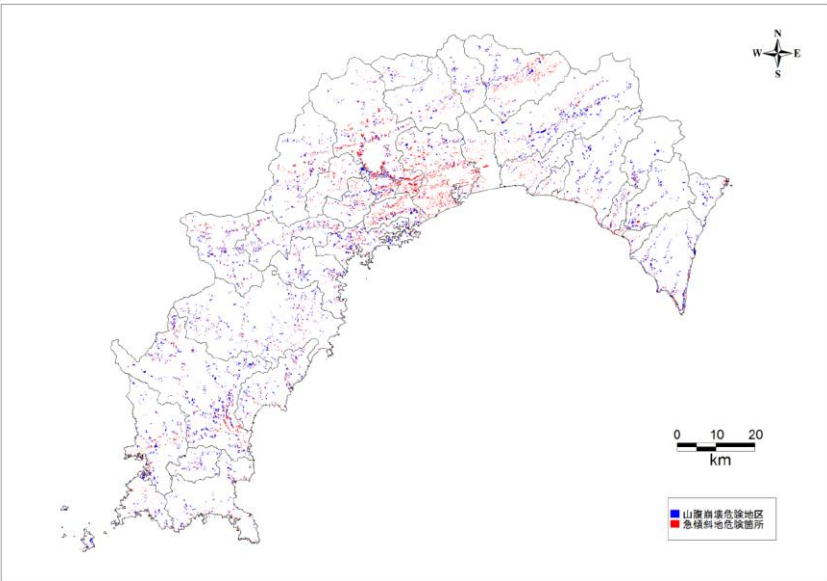
①斜面崩壊危険箇所に対する想定

- 高知県が把握している**斜面崩壊危険箇所（急傾斜地崩壊危険箇所、山腹崩壊危険地区）**のうち、高さや勾配等の斜面の諸元の調査結果をもとに、地震時の相対的な危険度を予測する。
 - 急傾斜地崩壊危険箇所は、現況データ（斜面高さ、勾配）と日本道路協会道路震災対策委員会（1986）^{*1}の急傾斜地震災対策危険度判定基準の点数を用いて、**箇所ごとに1～3の危険度ランクを評価する。**
 - 山腹崩壊危険地区は、林野庁の**山腹崩壊危険地区調査実施要領による危険度ランクa～cを用いる^{*2}**。
- 危険度ランクと地震動の推計結果との関係表に基づいて、**A～Cの危険度評価**を行う。
- 斜面崩壊危険箇所については、県が保有するデータをもとに、対象地区とランクについて整理を進めている。

斜面崩壊危険度等の予測の流れ



急傾斜地崩壊危険箇所及び山腹崩壊危険地区分布図の例



^{*1}:日本道路協会道路震災対策委員会（1986）：道路の震災対策に関する調査報告－道路構造物の耐震調査及び震災対策工に関する研究－
^{*2}:前回調査では平成18年の危険度ランクを使用した。本調査では情報の更新を確認して、最新のデータを使用する。

②標高データによる予測手法

- 平成13年4月に土砂災害防止法が施行され、土砂災害警戒区域及び土砂災害特別警戒区域の指定が行われた。土砂災害警戒区域*1（地すべり，急傾斜地の崩壊）については、10mメッシュの数値標高（DEM）データを用いた**斜面災害の発生の可能性を捉える**。予測結果には、**道路や避難所の位置情報を重ねて示す**ことで、**道路閉塞による避難や災害対応への影響、孤立について整理**していく。

数値標高データを用いた地震時地盤災害推計方法の概要

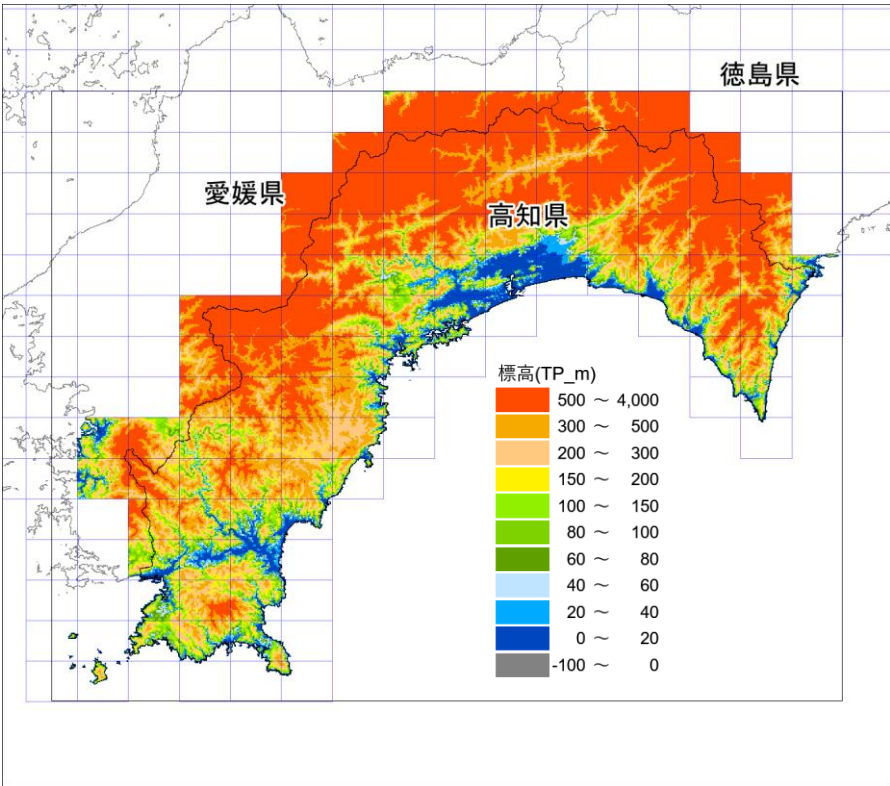
- ✓ DEMデータをもとに10mメッシュ単位で崩壊/非崩壊を「修正六甲式*2」により判定し、これを積算して250mメッシュごとの危険度を0～4の5段階で判定する。
- ✓ 修正六甲式は、兵庫県南部地震時（阪神淡路大震災時）の六甲地域における斜面崩壊のデータから斜面崩壊の発生可能性を算定した推計式（六甲式）を改良したものである。
$$G = 4.38 \cdot \log_{10}(s - 119c) + 3.93 \log_{10} a - 15.27$$

G: 修正六甲式（神谷他 2013）による斜面崩壊危険度判定式（*G* > 0 : 崩壊、*G* < 0 : 非崩壊）
s : 地表面の傾斜（°）
c : 曲率（m⁻¹）
a : 地表面最大加速度（gal）
- ✓ 脆弱な地質については、神谷他（2013）*3が作成したモデルに基づき、斜面崩壊の危険度を1ランク高くする。
- ✓ 既往調査では、斜面崩壊は危険度ランク3，4の範囲に集中しているが、その被害発現率は、0.05～0.7%程度である。

修正六甲式による手法における危険度ランク（神谷（2012））

危険度ランク	0	1	2	3	4
Gの 平均値					
土砂災害	なし	小	大		

高知県の標高分布



国土交通省 国土地理院，基盤地図情報サイトよりデータをダウンロードして作成

*1：土砂災害が発生した場合に、住民の生命または身体に危害が生ずるおそれがあると認められる区域で、土砂災害を防止するために警戒避難体制を特に整備すべき土地の区域

*2：神谷泉，乙井康成，中埜貴元，小荒井衛（2012）：地震による斜面崩壊危険度評価判別式「六甲式」の改良と実時間運用，写真測量とリモートセンシング，51(6)，381-386.

*3：神谷泉（2013）：地震時の地盤災害のリアルタイムの予想，第42回国土地理院報告会講演要旨・発表資料

18