

地震動予測の算出方法

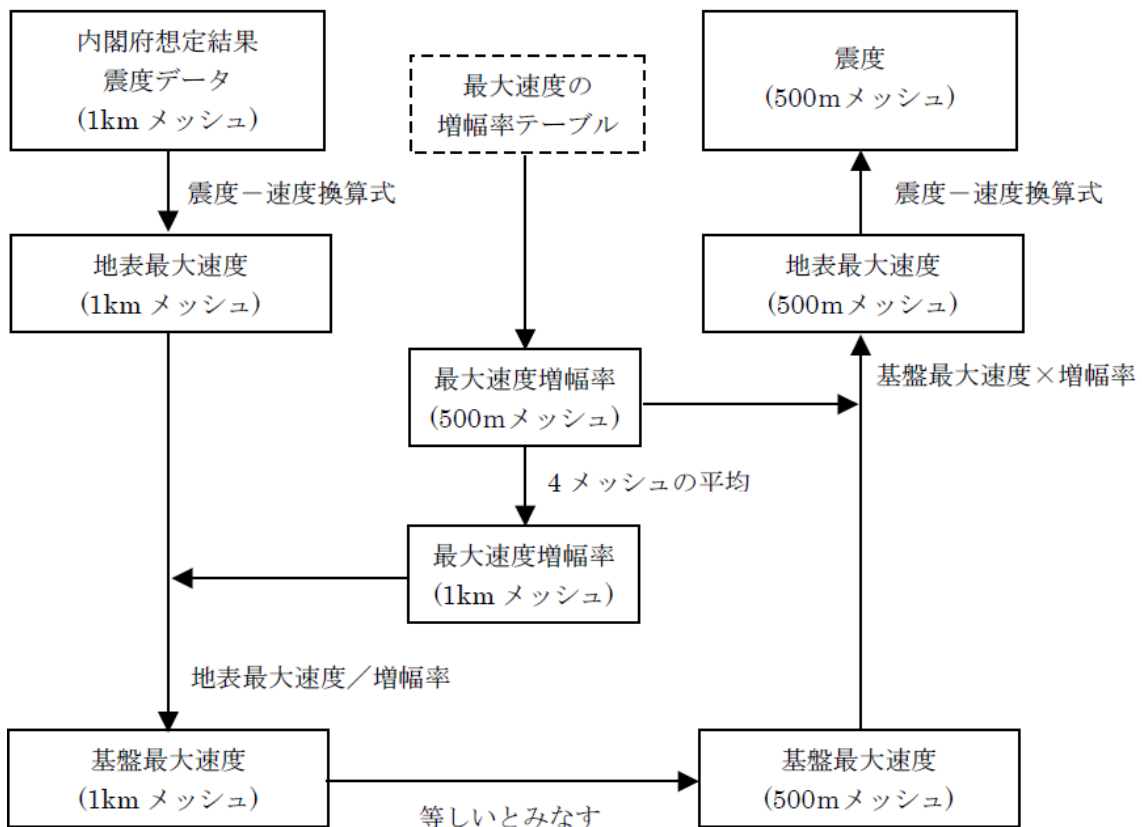
1 前回調査の手法

前回調査では、東南海・南海地震とそれ以外の地震で、それぞれ次のように算定している。

1.1 東南海・南海地震の想定地震の場合

- ・中央防災会議(2003)が過去の震度分布を再現できるよう強震波形計算と経験的手法を組み合わせて1kmメッシュ単位で震度分布を算定している。
- ・国の震度分布と整合させることと、本県で設定した詳細な500mメッシュの地盤条件を反映させる目的で、奈良県被害想定調査の手法を参考とした下図の流れで想定する。ただし、本調査では、奈良県の手法における250mメッシュを500mメッシュに、加速度を速度に読み替え適用する。

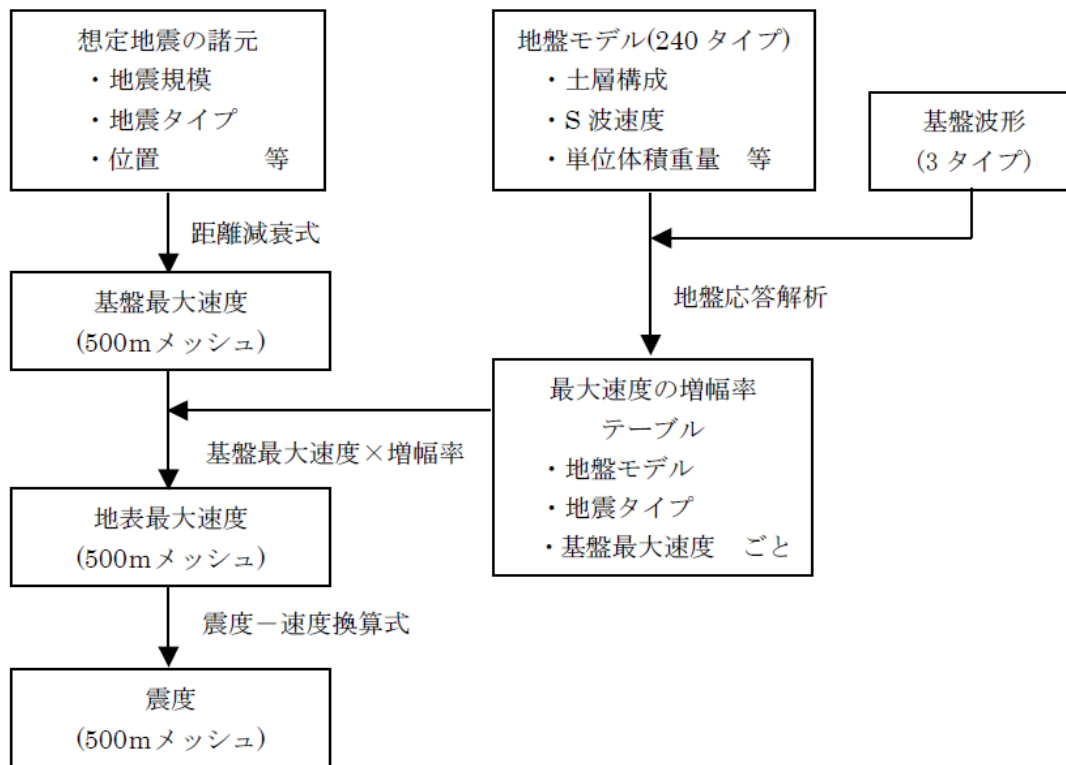
図1 東南海・南海地震の想定地震の場合の震度想定手法



1.2 東南海・南海地震以外の想定地震の場合

- ・想定地震の諸元と震源から各 500m メッシュ中心までの距離を基に、距離減衰式を用いて S 波速度 600m/s の工学的基盤における最大速度（基盤最大速度）を 500m メッシュごとに算定する。
- ・県内 240 タイプの地盤モデルに対して地盤応答解析を行い、基盤～地表間の最大速度の増幅率テーブルを予め作成しておく。
- ・基盤最大速度に、地盤モデル、地震タイプ、基盤最大速度に応じた増幅率を掛け合わせ地表最大速度を 500m メッシュごとに算定する。
- ・地表最大速度に、震度－速度換算式を適用して 500m メッシュごとに震度を算定する。

図2 東南海・南海地震以外の想定地震の場合の震度想定手法



2 今回調査の手法

2.1 南海トラフの地震の想定手法

今回調査においては、南海トラフの地震については、広島県だけでなく、広域に影響が及ぶため、国の想定との整合を重視し、南海トラフの巨大地震モデル検討（2012）の震度分布を算定する手法を採用する。

2.2 南海トラフの地震以外の想定手法

2.2.1 工学的基盤面の地震動

工学的基盤面の地震動算出方法は複数あり、大きくは震源断層の動的パラメータを考慮する手法と距離減衰式を用いる手法に分けられる。

それぞれの手法の長所・短所は表1のとおりである。

表1 工学的基盤面の地震動想定手法の特徴

区分	特徴	長所	短所
震源断層の動的パラメータを考慮する手法	震源断層を複数の小さな断層に分割し、伝播を模式的に行う考え方	・震源断層からの距離が同じであっても、断層の破壊様式にしたがって、地震動の大きさが異なる現象を説明できる。	・活動していない断層の破壊進行方向、アスペリティなどのパラメータをあらかじめ予測することが難しい。 ・距離減衰式に比べ、計算に要する時間が大きい。
距離減衰式を用いる手法	活断層からの距離と地震動の減衰の関係を地震観測記録の統計回帰分析により導いた式を用いる手法	・古くから研究され成果が多く、適用実績が豊富である。兵庫県南部地震（1995）等の観測記録に対しても良好な結果を示している。 ・動的パラメータを考慮する手法と比べ計算量が少なく比較的容易。	・アスペリティなど動的パラメータの設定ができないため、実際の地震で発生するスポット的な強震地域を予測できない。 ・実際の地震では距離に応じて一様に減衰するとは限らない。

さらに、震源断層の動的パラメータを考慮する手法は、基盤の地震波形を求める方法と基盤の応答スペクトルを求める方法に分けられる。

各都道府県等で用いられている主な手法を表3に示した。

2.2.2 地表面の地震動

地表面の地震動算出方法も複数あり、大きくは応答計算を用いる手法と表層地盤増幅度を用いる手法に分けられる。

それぞれの手法の長所・短所は表2のとおりである。

表2 地表面の地震動想定手法の特徴

区分	特徴	長所	短所
応答計算を用いる手法	重複反射理論を基に計算する手法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 軟弱な地盤で揺れが増幅しやすい現象を再現できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 表層地盤増幅度を用いる手法に比べ、計算に要する時間が大きい。 ・ 地盤モデルに垂直構造の情報が必要（広島県表層地盤モデルでは整備済み）
表層地盤増幅度を用いる手法	最大加速度振幅及び最大速度振幅に対する地盤増幅度を当該地盤の深さ30mまでの平均S波速度の関係付けた手法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内閣府（地震防災マップ作成技術資料H17.3）による簡易な手法で、主に市町村で適用実績が豊富 ・ 計算量が少なく、比較的簡易な手法 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 極めて強い揺れの場合、予測する地表地震動が過大となることがある。 ・ 増幅率の設定が全国平均的な数値であり、地域特性を評価しにくい。

各都道府県等で用いられている主な手法を表4に示した。

表3 計算手法の代表例(1) 工学的基盤面の地震動

区 分		手 法	摘 要	採用事例
震源断層の動的パラメータを考慮する手法	基盤の地震波形が求まる方法	経験的グリーン関数法 (Irikura(1986)) の手法	小地震の地震波観測記録を断層破壊の伝播に基づく時間遅れにしたがって足し合わせることにより、大地震動を合成する手法	
		統計的グリーン関数法	経験的グリーン関数法が小地震の観測記録を用いるのに対し、人工地震波により行う手法	鳥取県 (05) 南海トラフの巨大地震モデル検討 (12)
	基盤の応答スペクトルが求まる方法	翠川・小林 (1979) の手法	断層面を単位領域に分割した断層震源モデルを作成し、破壊の伝播に応じて各単位領域から波群が発生すると考える手法 (速度応答として取り扱う)	島根県 (97)
		Sugito and Kameda (1985) の手法	大規模断層を小規模断層の集合ととらえ、断層の広がりや破壊方向を考慮に入れ、地震モーメント (Mo) を用いて小規模断層の重ね合わせ個数を決定する手法 (非定常パワースペクトルとして取り扱う)	岡山県 (03)、山口県 (97) 広島県 (H7・8年度調査)
距離減衰式を用いる手法	司・翠川 (1999) の手法	1968～1997年までに日本で発生した21地震の強震記録を用いて、最大加速度、最大速度の距離減衰を求めた手法で、震源特性の影響を評価するため、震源深さ、断層タイプを回帰モデルに加えている。	徳島県 (05) 南海トラフの巨大地震モデル検討 (12)	
	翠川・大竹 (2002) の手法	司・翠川 (1999) の手法に、1998～2001年までの観測記録を追加して作成した手法で、同式には平成13年芸予地震におけるK-NET (国の防災科学技術研究所が設置する強震ネットワーク) 及びKiK-net (国の防災科学技術研究所が設置する基盤強震観測網) の観測記録が考慮されている。	広島県 (H18年度調査)	

表 4 計算手法の代表例（2）地表面の地震動

区 分	手 法	摘 要	採用事例
応答計算を用いる手法	等価線形解析手法 SHAKE : Schnabel ほか (1972))	重複反射理論を基に、土の非線形特性を等価な線形の関係に置き換えて非線形的挙動を表現した手法。	島根県 (97) 広島県 (H7・8 年度調査)
	等価線形解析手法 FDEL : 杉戸ら (1994))	上記にひずみの周波数依存を考慮した手法	岡山県 (03)、山口県 (97) 広島県 (H18 年度調査)
表層地盤増幅度を用いる手法	地震防災マップ作成技術資料 (2005) の手法	地形区分、ボーリングデータを基に AVS30 (深さ 30m までの地盤平均 S 波速度) を求め、既往地震の経験式から地盤の増幅度を求める。	

添付資料 1

地震動の予測の流れ

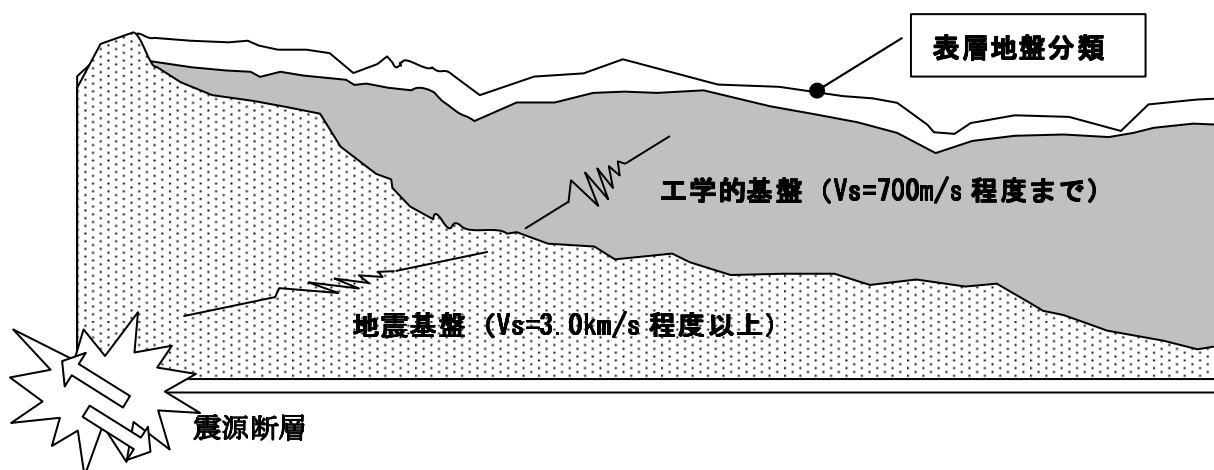
震源から射出された地震波は、地殻を伝播して地表近傍のいわゆる工学的基盤に到達し、表層地盤での増幅現象によって大きく変形され、地表において地震動として観測される。

地表地震動の特性は、これらの過程において様々な要因に支配されるが、次のように表現することができる。

$$\text{地表地震動特性} = \text{表層地盤の応答特性} \times \text{伝達経路の特性} \times \text{震源の特性}$$

地表地震動は、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、さらに観測点近傍の浅層の地盤（工学的基盤；S波速度 700m/s 程度まで）内で、地層境界を透過、反射を繰り返す過程において増幅され、地表に伝わると考えられている。

参考図 1 地震基盤・工学的基盤・表層地盤を伝播する地震動の模式図（岩手県 2004）



- ① 震源の破壊形態及び伝播時の減衰を考慮した地震基盤での地震動の算定
↓
- ② 表層地盤での応答特性の検討
↓
- ③ 地表地震動の算定

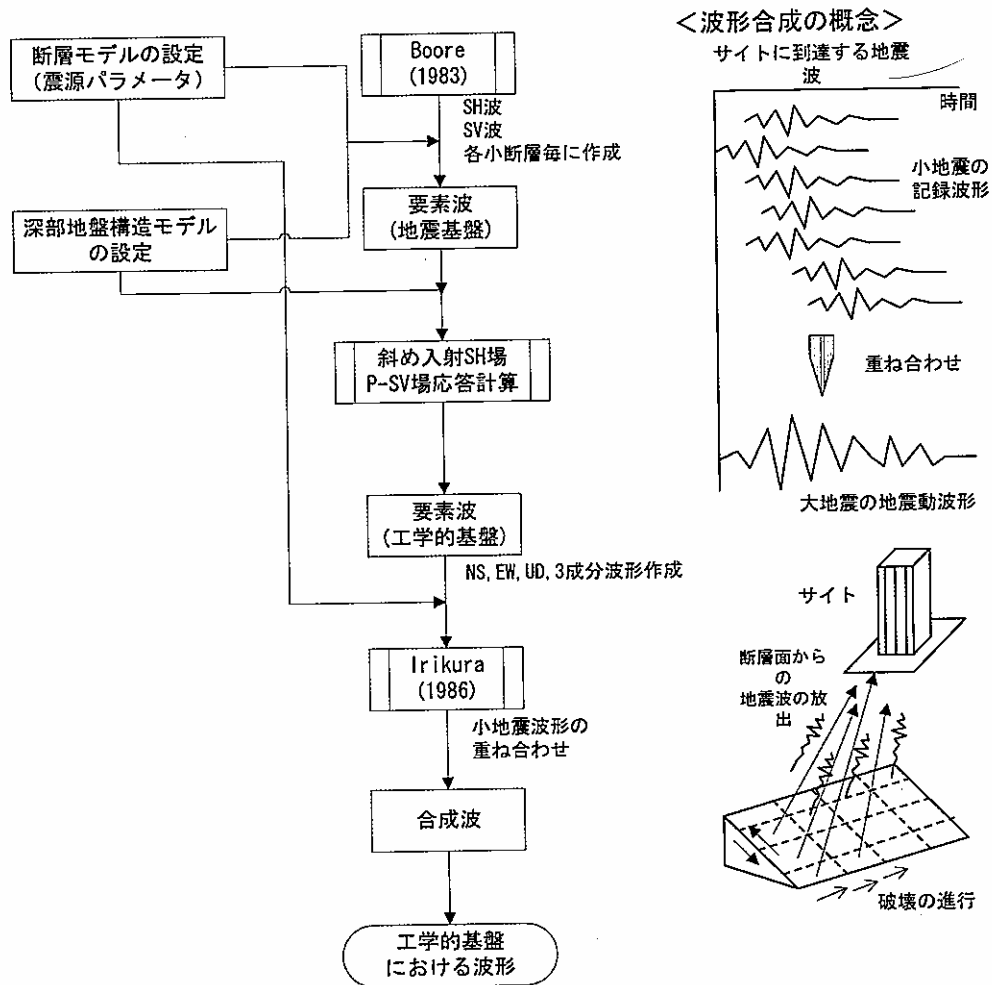
添付資料 2

工学的基盤面の地震動予測手法

1 基盤の地震波形を求める方法（例：統計的グリーン関数法）

統計的グリーン関数法は、人工的に作成された地震波をもとにグリーン関数を求める手法で、 ω^{-2} 則を満たす中小地震を数値計算により人工的に作成し、グリーン関数として大地震の破壊過程にしたがって足し合わせ、大地震の波形を合成する。

参考図2 統計的グリーン関数法を用いた工学的基盤波の作成（内閣府防災担当 web）

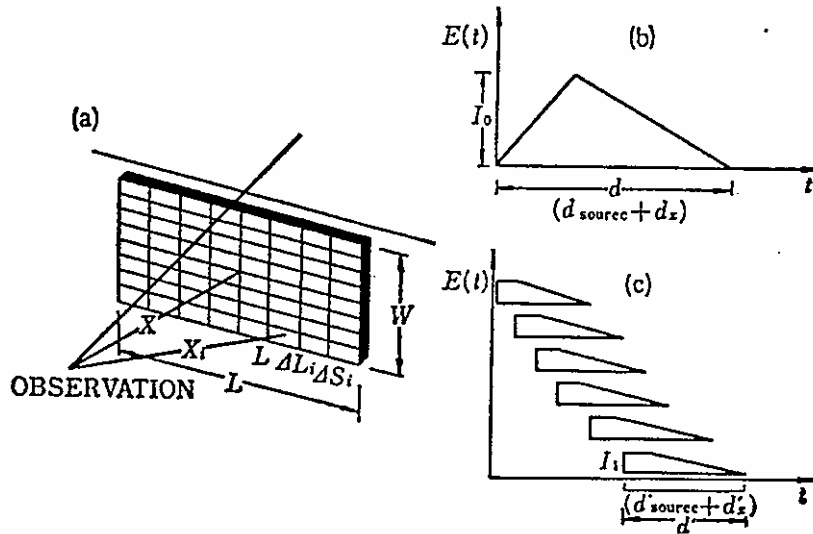


2 基盤の応答スペクトルを求める方法（例：翠川・小林（1979）の手法）

翠川・小林（1979）の手法は、参考図3に示す断層震源モデルを設定し、破壊の伝播に応じて各単位領域から波群が逐次発生するものと考えている。

- 1) 地震動を速度応答の包絡線として取り扱う
- 2) 震源断層を断層片（単位区画）の集合とみなす。各断層素片は点震源とみなす。
- 3) 対象は周期 0.5～5.0 秒程度の S 波とする。

参考図3 応答波形包絡線に基づく強振動の剛性（翠川・小林 1979）



- (a) 断層面の分割
- (b) 強振動応答波形の包絡線の近似形
- (c) 単位区画から入射インパルスの重ね合わせ

3 距離減衰式を用いる手法（例：翠川・大竹（2002）の手法）

翠川・大竹（2002）の手法は、司・翠川（1999）の手法に、1998～2001年までの観測記録を追加し作成した手法で、同式には平成13年芸予地震におけるK-NET（国の防災科学技術研究所が設置する強震ネットワーク）及びKiK-net（国の防災科学技術研究所が設置する基盤強震観測網）の観測記録が考慮されている。

○震源深さ $D \leq 30\text{km}$ の場合

$$\log \text{PGV600} = 0.65M_w + 0.0024D + d - \log(X + 0.0028 \cdot 10^{0.5M}) - 0.002X - 1.77 + \varepsilon$$

○震源深さ $D > 30\text{km}$ の場合

$$\log \text{PGV600} = 0.65M_w + 0.0024D + d + 0.6 \log(1.7D + 0.0028 \cdot 10^{0.5M})$$

$$- 1.6 \log(X + 0.0028 \cdot 10^{0.5M}) - 0.002X - 1.77 + \varepsilon$$

ここに、PGV600 : 工学的基盤における最大速度 (cm/s)

M_w : モーメントマグニチュード

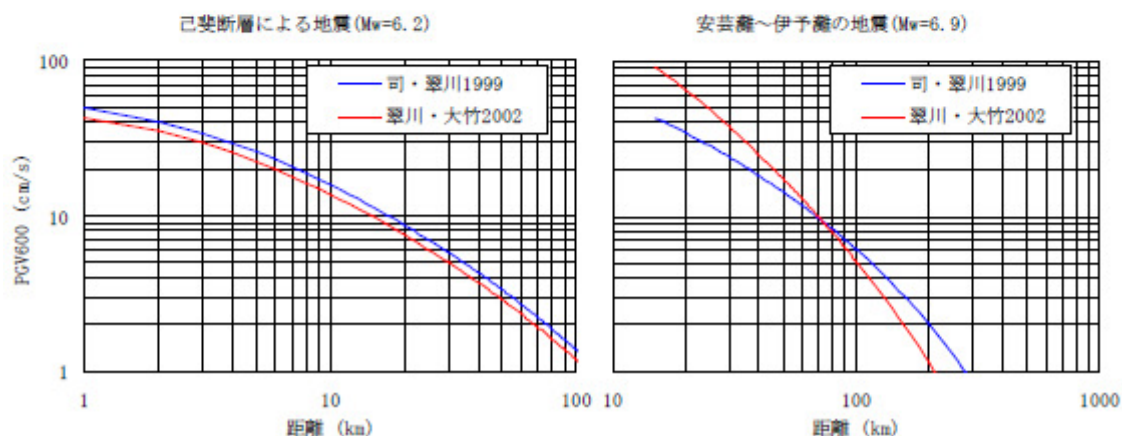
D : 断層中心深さ (km)

X : 断層最短距離 (km)

d : プレート間地震 0.05, 地殻内地震 0.0, プレート内地震 0.15

ε : ばらつき (後述)

■地震動予測結果の比較



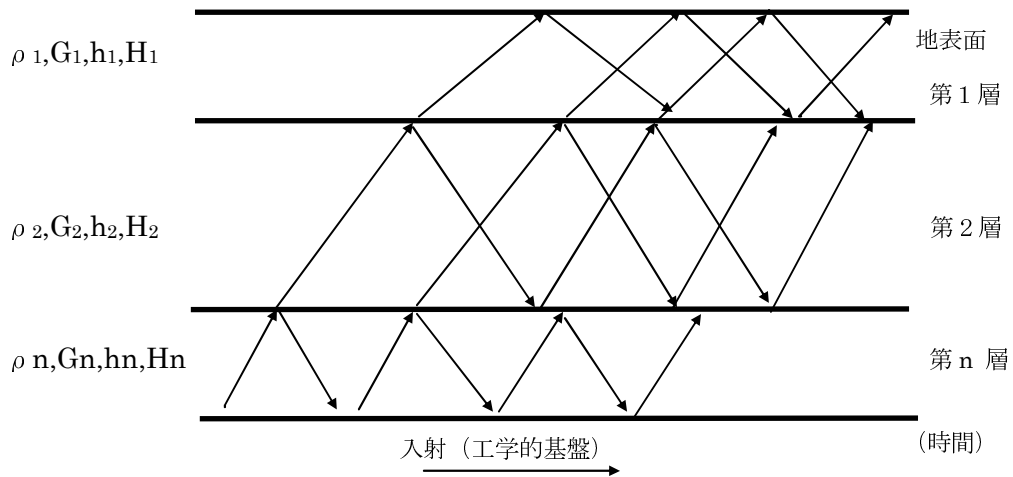
出典：広島県地震被害想定調査（平成19年3月）

添付資料 3

地表面の地震動予測手法

重複反射理論による応答解析とは、地盤分類に対応した代表柱状図毎に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、水平成層した地盤の中を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。

参考図 4 重複反射理論の概念



- | | |
|----------|-----------------------|
| ρ_n | 第 n 層の密度 |
| G_n | 第 n 層の動的せん断弾性定数 (剛性率) |
| h_n | 第 n 層の減衰常数 |
| H_n | 第 n 層の層厚 |