

中央防災会議東海地震に関する専門調査会
(第2回)

説 明 資 料

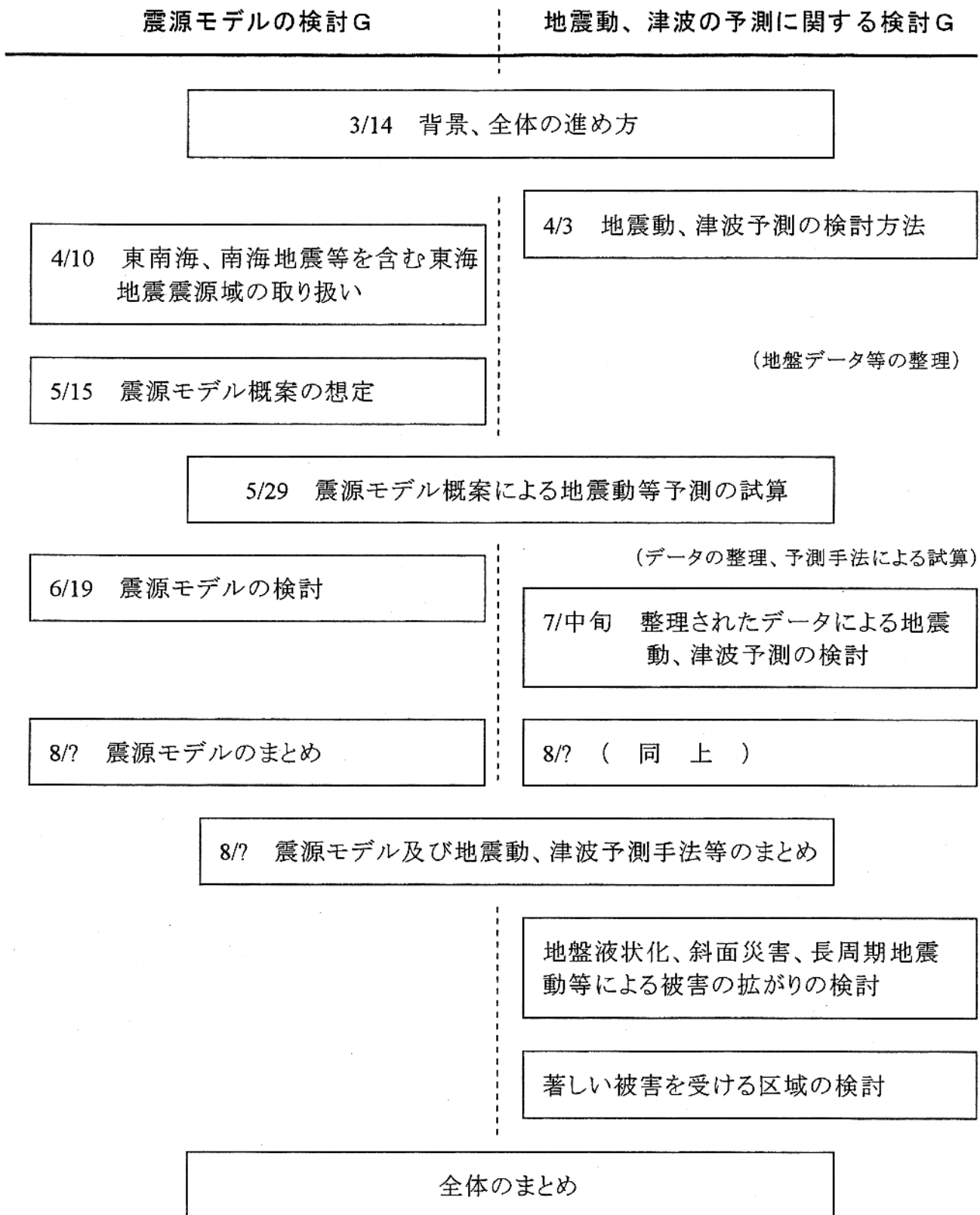
平成13年4月3日

中央防災会議事務局

目 次

1. 本調査会における検討全体の当面の流れ（案）	1
2. 必要なアウトプットについて	2
3. 地震動及び津波予測についての検討の流れ	3
4. 地震動予測	4
①地震発生	5
②地震動伝搬（深部）	6
③地震動伝搬（浅部）	9
5. 地震動予測による被害の拡がり	11
①建築物被害	11
②地盤液状化	13
③斜面崩壊	13
6. 津波予測	17
①津波発生	18
②津波伝搬	18
③遡上・浸水	18

1. 本調査会における検討全体の当面の流れ（案）



※基本的流れを記述したもので検討状況により随時変更有り。特に8月以降は概略のもの。

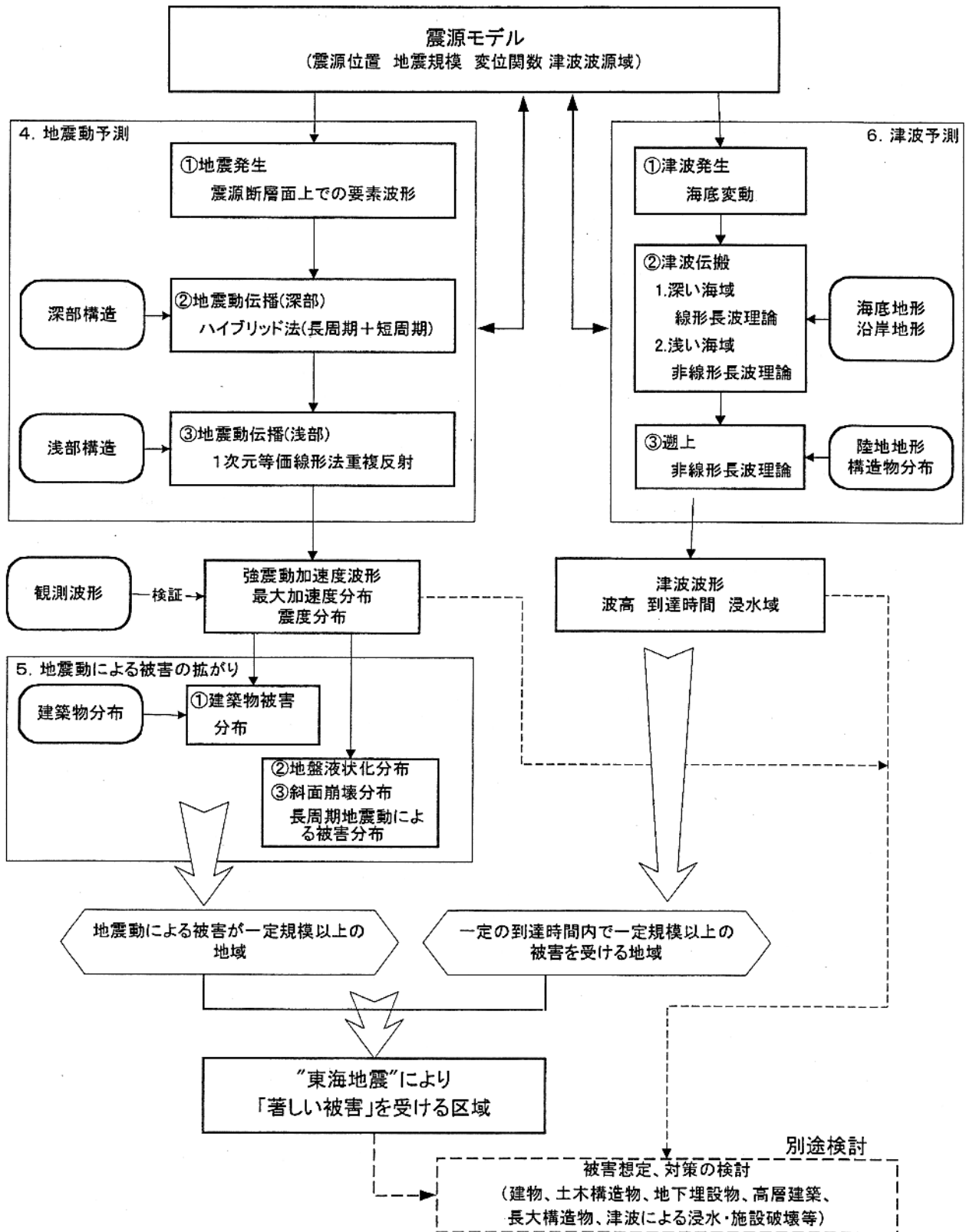
2. 必要なアウトプットについて

- ①本調査会での検討によるアウトプットは、以下の両面のものである必要がある。
 - a. 大規模地震対策特別措置法に基づく地震防災対策強化地域の指定の基礎となる地震被害の拡がりに関するもの
(ex. 最大加速度分布、震度分布、建物等の倒壊分布等)
 - b. 併せて、本調査会での検討の後に行う被害想定や対策の検討のために必要なデータの提供
(ex. 強震動加速度波形等)
- ②大震法に基づく強化地域は、地震発生直前予知を前提として、「大規模な地震が発生した場合に著しい地震災害が生ずるおそれがあるため、地震防災に関する対策を強化する必要がある地域」であり、以下のような性格を持つ。
 - a. 事前予知され警戒宣言が発令された場合に、人命の安全等を確保するために、避難や交通の制限、店舗等の営業停止等の規制、抑制を行うべき地域
 - b. 著しい被害が生じる恐れに対し緊急に防災対策の確立を図るべき地域
(aに係わる種々の対応を的確に行うためのものを含む)
- ③この場合②bについては、大震法に基づかない他の地震によっても著しい被害が生ずる恐れがあり、そのような地域は大震法に基づく強化地域に限らないものであるが、これについては個々の地域防災計画等においてその前提としているほか、南関東地域直下の地震のように必要に応じて大綱を策定するなどの措置により対応することとなっており。
- ④以上のようなことから、大震法に基づく現行の強化地域は、②のbもaと同じレベルのものを扱うこととし、特に人命に着目して、直前の避難等の対応をすべき地域が選択され、震度6に相当する地震動加速度(地表最大加速度 400gal)以上の地域及び大津波の地域としている。
- ⑤今回の検討では、その後のデータの蓄積や科学的知見等をもとに、強化地域の拡がりに係わる検討を主とし、以下のアウトプットを得ることを基本としたい。なお、今後検討過程で適宜、よりよいアウトプットに変更していくこととしたい。

【地震動】 最大加速度分布、震度分布、強震動加速度波形
建築物被害分布、地盤液状化被害分布、斜面崩壊被害分布

【津波】 津波波形、波高、伝搬速度、浸水域分布
- ⑥なお、⑤のデータも活用した、被害内容の検討については、本調査会の後に別途検討する。

3. 地震動及び津波予測についての検討の流れ



4. 地震動予測

地震動予測の基本的方針

アウトプットは以下のものとし、それぞれ 1km メッシュごとに求める。

- (1) 強震動加速度波形
- (2) 最大加速度分布
- (3) 震度分布

断層面上でのすべり変位の空間的・時間的性質に関する新たな知見により想定される震源モデル(震源モデル検討による)に基づいて強震動加速度波形を予測し、それに基づいて全てのアウトプットを予測する。

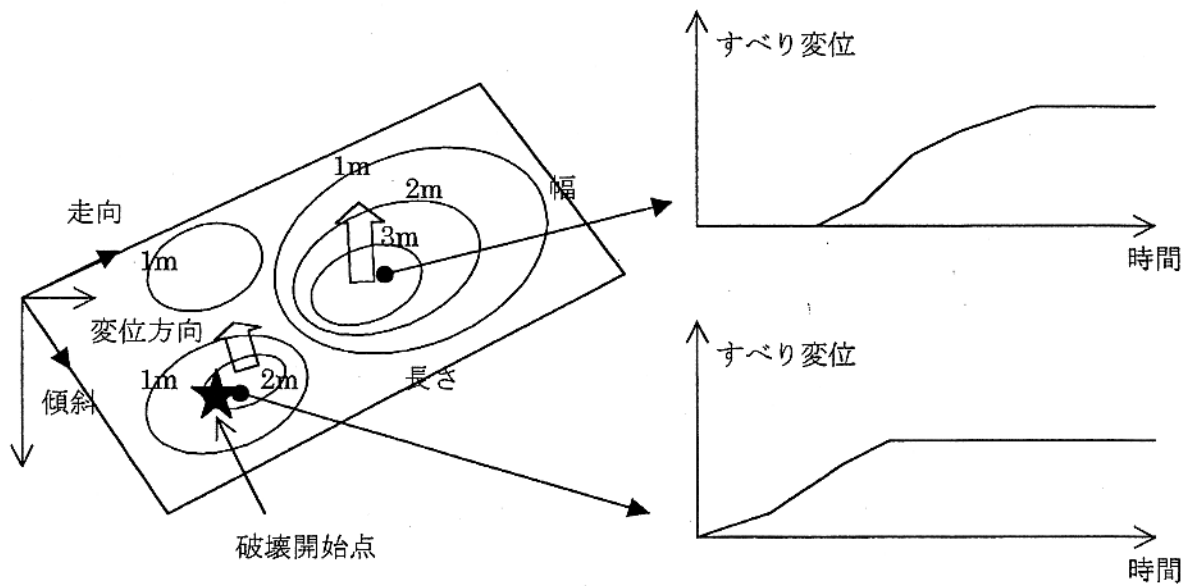
強震動加速度波形は、各種構造物・地盤災害の予測のために必要な短周期成分・長周期成分を含む広い周波数帯域で予測する。

強震動加速度波動の長周期成分の予測は、震源すべり変位の長周期での性質に関する知見、深部及び浅部地盤の長波長構造に基づき行う。

強震動加速度波動の短周期成分の予測は、震源すべり変位の短周期での確率論的性質に関する新たな知見、深部及び浅部地盤構造の短周期地震動への影響に関する新たな知見を考慮する。

①地震発生

- ・震源モデルに従って、断層位置、走向・傾斜、長さ・幅を設定する。
- ・断層の破壊開始点で、すべり変位方向にすべり変位を与える。
- ・定められた破壊伝播速度ですべり変位の起こる領域を拡大する。
- ・速度時空分布で定められたとおりにすべりを継続させる。
- ・最終変位分布で定められたすべり変位まで変位させる。



②地震動伝播（深部）

地盤構造は 3 次元とし、長周期成分と短周期成分を個別に計算するハイブリッド法を採用し広帯域強震動加速度波形を計算する。

長周期成分

計算方法	: 3 次元差分法
必要データ	: 3 次元広域地盤構造(速度・密度・Q 値構造)

- ・震源と地盤が一意的にモデル化されれば運動方程式の解として強震動加速度波形が計算できる。
- ・長周期成分に対して 3 次元計算をするための長波長深部地盤構造はモデル化できる。
- ・長周期成分に対して 3 次元計算をするための震源の長周期成分はモデル化できる。
- ・3 次元の地盤構造を反映した主な計算方法は以下のとおりである。
 - (1) 差分法
 - (2) 有限要素法
 - (3) 境界積分法（離散化波数積分法、境界要素法など）
- ・解の安定性、計算時間等から判断して差分法が実用的に優れている。
- ・地震基盤以深の速度構造及び密度構造は、トモグラフィ結果、プレート形状の研究結果を利用する。
- ・地震基盤から工学的基盤までの速度構造及び密度構造は、屈折法探査、重力解析結果を利用する。
- ・地震基盤までの Q 構造については、構造境界は速度境界と一致させ、構造設定にはトモグラフィ結果を参照する。Q 値は周波数に依存しないものとする。
- ・地震基盤から工学的基盤までの Q 構造は、自然地震記録の解析結果を参照する。
- ・地震観測記録の得られる地点では、地震動記録を予測された波形の検証に利用する。

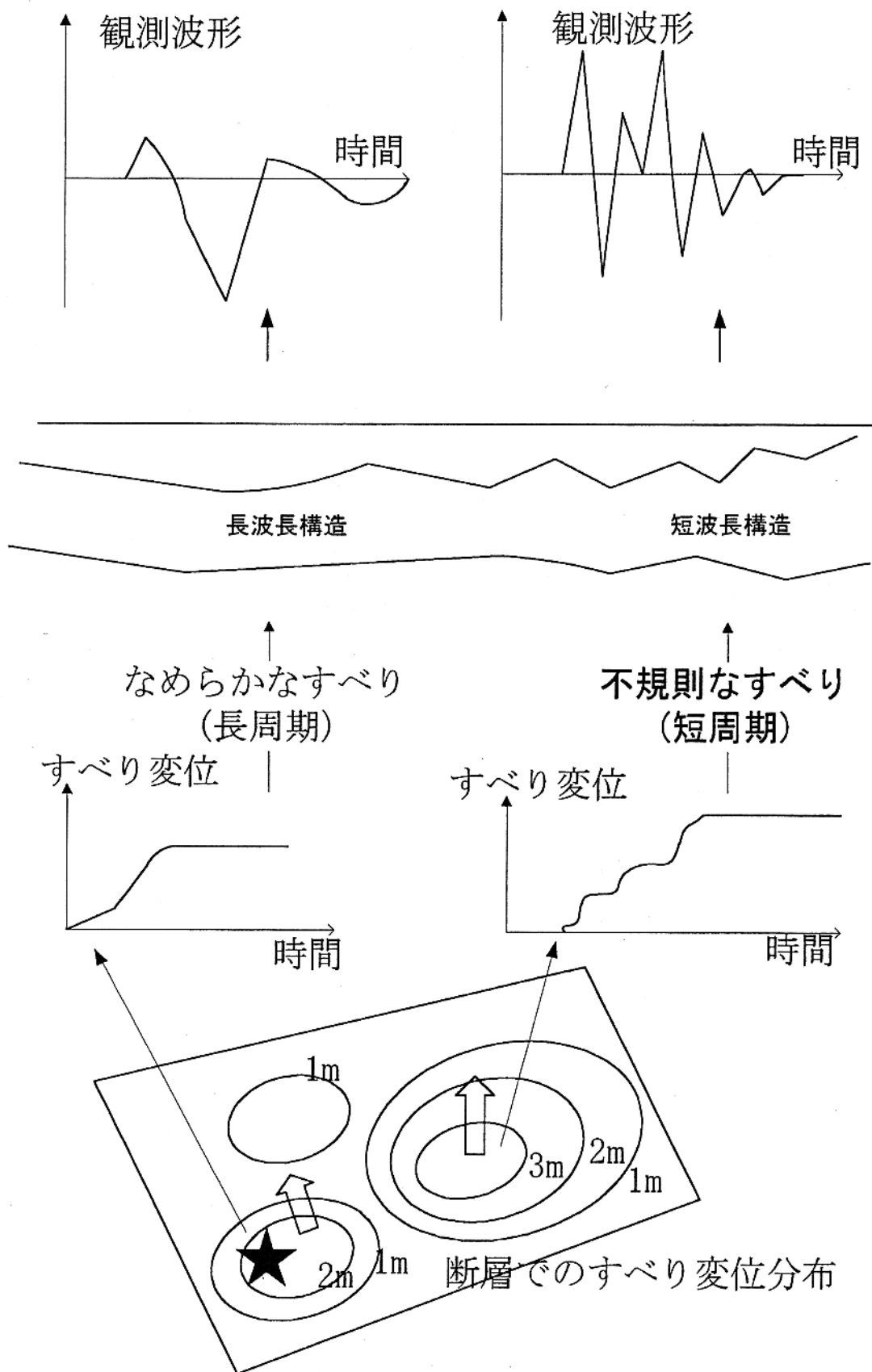
短周期成分

計算方法	: 統計的グリーン関数法
必要データ	: 3次元広域地盤構造(速度・密度・Q値構造)

- ・短周期地震動は、震源での短周期すべり変位により引き起こされ、また、地盤の短波長構造による複雑な反射や散乱の影響を受ける波動である。
- ・震源の短周期すべり変位は長周期成分とは異なり一意的にモデル化されない。
- ・地盤構造の短波長成分は求められておらず一意的にモデル化されない。
- ・したがって、地盤モデルに基づいて運動方程式を解く方法は適さず、経験的あるいは統計的方法がとられる。
- ・経験的方法（経験的グリーン関数法）には、想定断層に様に分布した小地震に対して各地震動予測地点で観測された波形記録が必要であるが、断層の一部分で発生した地震が一部の予測点で観測されているに過ぎない。
- ・統計的方法（統計的グリーン関数法）は、小地震の観測記録の少なさを補う方法で、観測波形記録の代わりに統計的パラメタに基づいて計算する方法である。
- ・走時及び見かけのQ値は長周期成分予測に用いる3次元広域地盤構造を参照する。
- ・Q値の周波数依存性は近年の研究成果を参照して考慮する。
- ・地震観測記録の得られる地点においては、地震動記録を予測された波形の検証に利用する。

長周期成分と短周期成分の合成

合成方法	: 時間領域でそれぞれの加速度波形を加えあわせる。
必要データ	: なし



③地震動伝播（浅部）

計算方法	: 等価線形法による 1 次元重複反射
必要データ	: 局所表層構造(速度・密度・Q 値・動的変形特性)

- ・ 工学的基盤から浅部地盤への地震動は鉛直入射に近い。
- ・ 表層地盤構造は主にボーリング調査から得られ、3 次元構造は十分に明らかでない。
- ・ 浅部地盤は 1 次元でモデル化する。
- ・ 浅部地盤は厚くはないが浅部構造の影響は大きく無視できない。
- ・ 浅部は軟岩・土で構成され非線形性は無視できない。
- ・ S 波速度の得られていない地点においては N 値及び地質から推定する。
- ・ 密度の得られていない地点においては S 波速度及び地質から推定する。
- ・ 動的変形特性の得られていない地点においては層厚及び密度から推定する。
- ・ 減衰特性については近年の研究成果を参照する。
- ・ 観測波形記録の得られる地点においては、これを予測された波形の検証に用いる。

表層地盤の伝播特性評価方法一覧

No.	入力値	計算手法	データ	出力結果
方法A	メッシュごとの工学的基盤での加速度波形	- 等価線形法重複反射理論による計算 1km メッシュごとに地表から工学的基盤までの地盤モデルを設定	- 各県での地震被害想定結果で用いられたメッシュ地盤モデル - 計算に必要な地盤モデルの入力パラメータ →P波速度 →S波速度 →密度 →層厚 →動的変形曲線 →初期減衰比 - 工学的基盤の考え方の統一が必要 - 各県でのデータの統一をとることが必要である	- 地表での加速度波形 - 表層地盤の伝達関数 1km メッシュ単位
方法B	ボーリング地点ごとの工学的基盤での加速度波形	- 等価線形法重複反射法理論による計算 - 工学的基盤まで掘削されたボーリング柱状図を収集し、そのN値等のデータから地表から工学的基盤までの地盤モデルを設定 - 計算で得られた加速度波形から最大加速度を抽出し面的に広げる	- 工学的基盤までのボーリング柱状図 - 対象範囲でボーリングが均等に分布していることが理想 - ボーリングは位置、内容がデジタル化されていることが必要 - 現時点でデジタル化されたボーリング柱状図が静岡県で10,000本(2,000km²)、濃尾平野で13,000本(5,000km²)、神奈川県足柄平野で1,100本(100km²)存在。	- 地表での加速度波形 - 表層地盤の伝達関数 - ボーリング箇所単位 - 最大加速度等のコンター

5. 地震動による被害の拡がり

推定の基本的方針

被害の拡がりの推定は予測された広帯域強震動加速度波形に基づいて建築物の特性を考慮に入れて行う。

震度分布から予測される被害(地震動の短周期成分に依存する度合いの強いもの)について主に推定する。

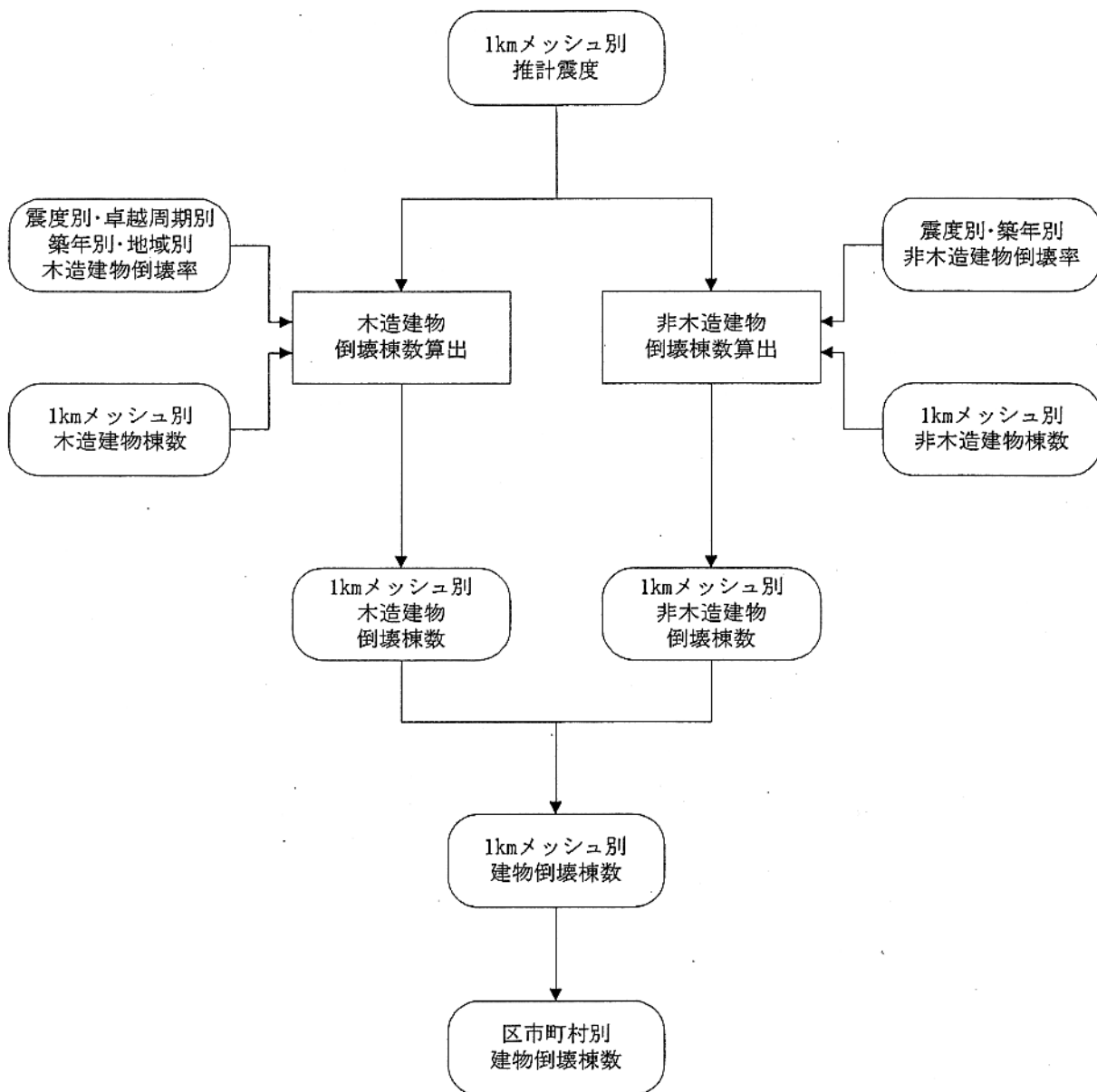
上記により推定される被害の拡がりの範囲に包括されない、地震動の長周期成分に依存する度合いの強い被害の推定に関しては、広帯域強震動加速度波形に基づき別途検討する。

①建築物被害

被害推定方法	: 震度分布に基づく推定法
必要なデータ	: 建築物の分布、築年

- ・ 建築物被害の推定は、築年及び地盤種類別に定められた震度と被害率との関係に基づいて行う。
- ・ 震度は予測された強震動加速度波形から計算する。
- ・ 必要なデータは建築物の分布、築年であり、「地震と被害に関する検討委員会」により4月までに見直しが完了される予定のEESシステム等を利用する。

EES による建物被害推計の手順



②地盤液状化

被害推定方法：地盤の液状化強度と地震動によるせん断応力を比較するFL法により液状化層厚、非液状化層厚を求め、両者の厚さの比較により液状化に起因する地盤被害の有無を判定する

基礎データ：ボーリング柱状図ごとのN値、地下水位、密度
粒度分布データ、地表最大加速度(PGA)

- 液状化に起因する地盤被害の有無を予測する。
- FL法は液状化発生を判断するために一般的に用いられている方法であり、N値、地下水位、密度、粒度分布および地表最大加速度などの基礎データが確かであれば図 3-2.2 に示すようにその適用性は検証されている。
- FL法の詳細は、付属資料に示す。
- FL法を用いて液状化層厚、非液状化層厚を求め、石原(1985)が提案した方法（図 3-2.3）により液状化による地盤被害の有無を判断する。この方法も図 3-2.4 に示すように日本海中部地震の被害データにより、その適用性が検証されている。
- 必要なデータはN値、地下水位、密度、粒度分布データであり、表 3-2.1 の方法Bに示すように個々のボーリング地点で液状化の判定を行い、それを微地形分類等のデータを用いて面的に広げる。
- 過去地震の液状化履歴図を用いて検証する。

③斜面崩壊、長周期地震動による被害

- 現在、データの入手方法および被害予測手法を検討中である。

F_L の算出例

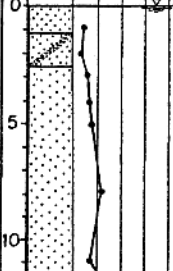
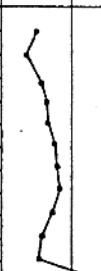
深 度 m	柱 状 図	N 値 10 20 30 40	計算 深 度 m	基 礎 デ ー タ					R	低 液 化 係 数 Y _d	L		FL		深 度 m	FL 分 布		
				N 値 回	γ _t g/cm ³	σ' _v kgf/cm ²	σ' _c kgf/cm ²	D ₅₀ mm			α _s max 1/33 gal	α _s max/g 0.156	判定	0.5		1.0	1.5	
0				1	4		0.19	0.09		0.188	0.985	0.325	0.58	X	0			
				2	3		0.38	0.18		0.152	0.970	0.320	0.48	X				
				3	6		0.57	0.27		0.209	0.955	0.315	0.66	X				
				4	(7)		0.76	0.36		0.216	0.940	0.310	0.70	X				
				5	8		0.95	0.45		0.222	0.925	0.305	0.73	X				
5				6	10		1.14	0.54		0.240	0.910	0.300	0.80	X				
				7	(11)	1.9	1.33	0.63	0.390	0.243	0.895	0.295	0.82	X				
				8	12		1.52	0.72		0.246	0.880	0.290	0.85	X				
				9	(10)		1.71	0.81		0.216	0.865	0.285	0.76	X				
				10	(8)		1.90	0.90		0.186	0.850	0.280	0.66	X				
10				11	7		2.09	0.99		0.169	0.835	0.275	0.61	X				
				12	14		2.28	1.08		0.325	0.820	0.270	1.20	O				

図 3-2.1 F_L 法による F_L 値の算出例

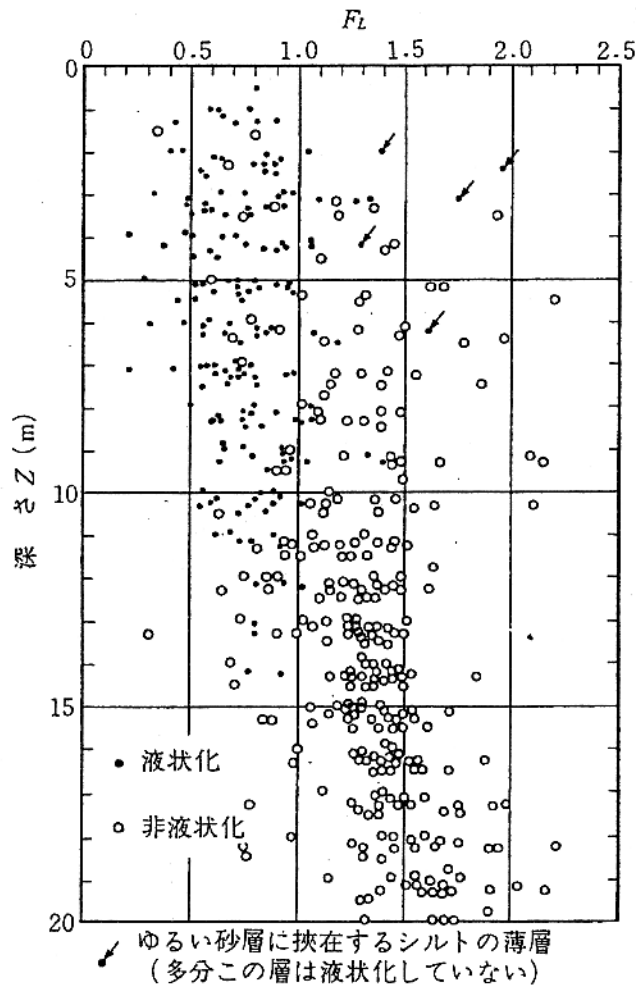


図 3-2.2 F_L 法の検証例

[安田 進(1988):液状化の調査から対策工まで, 鹿島出版会, p.110.]

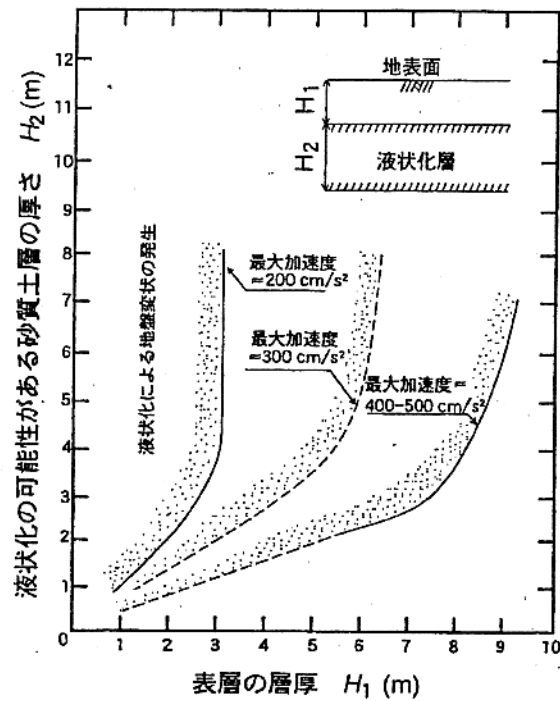


図 3-2.3 液状化層厚と非液状化層厚による評価の方法（石原による方法）
 [地盤工学会(1998)：地震による地盤災害に関するゾーニングマニュアル，p93.]

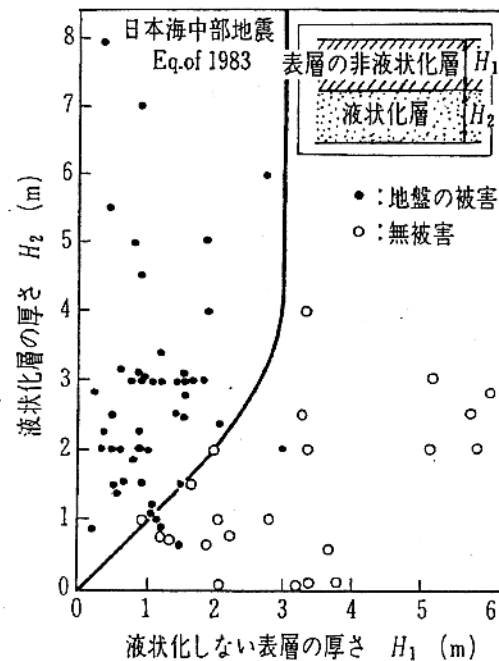


図 3-2.4 液状化層厚と非液状化層厚による評価の方法の検証例
 [石原研而(1996)：根入れ基礎に及ぼす地震時における深部液状化の影響，
 土と基礎，vol.44-4，pp.6-9.]

表 3-2.1 液状化による影響の評価方法一覧表

No.	入力値	計算手法	データ	出力結果
方法 A	メッシュごとの地表最大加速度値 (Gal)	- FL 法による地表から深度 20m までの 1 m ごとの液状化評価 - 液状化層厚と非液状化層厚による液状化の影響の評価 (石原 (1985) による)	- メッシュごとの地盤モデル (深度 20m まで) - N 値 - コンパイルした土の物理特性データ - 地下水位	- 液状化に起因する地盤被害の発生の有無 (2 区分) - メッシュごとの評価
方法 B	ボーリング地点ごとの地表最大加速度 (Gal)	- FL 法による地表から深度 20m までの 1 m ごとの液状化評価 - 液状化層厚と非液状化層厚による液状化の影響の評価 (石原 (1985) による) - 面的に広げる工夫が必要	- 工学的基盤までのボーリング柱状図 (深度 20m まで) - N 値 - コンパイルした土の物理特性データ - 地下水位 - 現時点でデジタル化されたボーリング柱状図が静岡県で 10,000 本 (2,000km²)、濃尾平野で 13,000 本 (5,000km²)、神奈川県足柄平野で 1,100 本 (100km²) 存在。	- 液状化に起因する地盤被害の発生の有無 (2 区分) - ボーリング地点ごとの評価 - 面的な評価

6. 津波予測

津波予測の基本的方針

アウトプットは以下のものとする。

- (1) 沿岸での津波波形
- (2) 沿岸での津波波高
- (3) 沿岸への津波伝搬時間
- (4) 陸域の津波浸水域

津波伝搬の物理モデルに基づいて津波予測を行う。

船舶・沿岸施設・港湾施設の被害推定のための沿岸部への津波波形、及び陸域の家屋・その他の被害推定のための遡上を予測する。

①津波発生

- ・震源モデル（震源モデル検討による）に基づいて海底地形変動を求める。
- ・海底地形変動の計算は弾性体理論に基づいて行う。
- ・津波初期波形は海底の永久上下変動と等しいとし、時間差なしに与えられるとする。

②津波伝搬

1. 深い海域

- ・深い海域において十分な精度をもつ線形長波理論による。
- ・計算は差分法により数值的に行う。津波伝搬の計算においては、差分法は計算精度の理論的研究が進んでおり広く用いられている方法である。
- ・海底地形は 500m メッシュ海底地形データ、沿岸海底地形は 1/50,000 等深線図を用いてモデル化する。

2. 浅い海域

- ・浅海海底及び陸地表面での摩擦を考慮した非線形長波理論による。
- ・計算は差分法あるいは有限要素法により数值的に行う。海底地形が複雑で差分法の適用に限界が生じたときは有限要素法を用いる。
- ・沿岸海底地形は 1/50,000 等深線図を用いてモデル化する。

③遡上・浸水

- ・摩擦項を含む非線形長波理論と波先端条件による。
- ・障害物の効果は粗度係数で表現し考慮する。
- ・地震による地殻変動、潮位は考慮して計算する。
- ・計算は差分法あるいは有限要素法により数值的に行う。
- ・陸地地形は 50m メッシュ標高データ、河川断面図を用いてモデル化する。
- ・津波による被害の拡がり浸水域に基づいて推定する。
- ・津波による構造物への影響については、予測された津波波形に基づき別途検討する。

津波数値シミュレーション計算の各過程において使われている理論、手法

項目	理論・手法	特徴等	今回の検討での採用率
A. 津波発生			
①断層モデル	平面矩形一様滑り断層モデル 平面矩形非一様滑り断層モデル	地震断層を単純化し少数のパラメータで規定／地殻変動及び津波の大きかな様子を表現可能／現実の複雑な断層運動を正確に表現するのは難しい 上に比べて現実の断層運動により近い表現／断層面上での滑り分布を設定する必要がある	◎
②海底変動の計算	Mansinha and Smylie (1971) Sato and Matsuyama (1974) Okada (1985)	上記の断層モデルに対して、弾性体理論により地表（この場合は海底）での変動を計算	◎
③津波初期波形	断層運動が瞬時に完了するとして、海面の初期上下変位は海底変動の永久上下変位に等しいとする方法 断層運動が有限時間内に行われるとして、津波初期波形も動的に与える方法	海底変動の永久変位のみ必要／時間経過を考える必要なし／断層運動が通常の破壊伝播速度で生じるならばこの方法で十分（下の方法と結果はあまり変わらない） 上に比べて現実の断層運動により近い表現／断層運動の起こり方を設定する必要あり	◎
(参考)地滑り、土石なだれによる津波の場合	物質の海中での移動または海中への流入の場所、量を仮定して海面初期変位を求める	発生場所、移動・流入量、移動・流入の形態、海岸線や海底地形の変化などを予め設定するのは困難	×
B. 津波伝播			
①津波伝播の理論	線形長波理論 非線形長波理論 非線形分散波理論	計算時間が少なく済む／移流項・摩擦項を省略できる水深の深い場所でも適用可 移流項・摩擦項を省略できない浅海で使用 波数分散の効果を考慮／波状散波（ソリトン波）を再現／平面的な広がりを持つ場で解くのは難しい	◎ △
②理論方程式の数値積分	差分法（leap-frog法が主流） 有限要素法	計算が簡単／細かい地形の表現には格子の細分化が必要 計算時間を要する／複雑な地形の表現に優れる	◎ ○
C. 遡上・浸水			
①遡上域の推定	津波先端部を含む遡上部分の挙動を直接計算する方法 しゅべル浸水法	遡上箇所において時系列で津波を表現できる 簡便法／沿岸における津波の高さと同じ標高の地点まで一律に浸水するものとしており、精度的には上の方法に劣る	◎ △
②陸上での障害物の効果	摩擦係数を大きくする方法 個々の建物の効果の積算により等価摩擦係数を求める方法 個々の建物を表現できるほどの非常に細かい格子を使う方法	簡便法／実際の記録と数値計算値とを比較して適切な係数を求める必要がある 各々の建物の効果を見積もるのが難しい 実際の建物、構造物の正確な位置・大きさを把握する必要がある／計算時間を要する	◎ ○ △
③河川への遡上	非線形長波理論を使い、差分法または有限要素法で数値積分を行う	河川からの遡上による氾濫を推定するために非線形浅水理論を使用／河川の規模によって格子の大きさを調節する必要がある	◎

◎：採用 ○：場合によっては採用
△：採用しない ×：検討しない