

伊方発電所第1，2，3号機
の耐震安全性について

平成9年11月

資源エネルギー庁
原子力発電安全企画審査課
原子力発電安全管理課

目 次

	頁
1. はじめに -----	1
2. 1 基準地震動 S 1 の評価 -----	2
2. 2 基準地震動 S 2 の再確認 -----	3
3. 各設備の応力評価 -----	3
4. まとめ -----	4

1. はじめに

原子力発電所の耐震設計については、原子力安全委員会が定めた「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和53年9月策定、昭和56年7月一部改定、以下「耐震指針」という。）に基づき安全審査が行われている。伊方発電所3号機においても、昭和61年5月、原子炉等規制法第26条に基づき設置変更許可がなされ、当庁は耐震設計の妥当性を確認している。

この際、同設置変更許可申請においては、発電所の前面海域に断続して分布する活断層群を「耐震指針」に基づく基準地震動S2（注2）として評価し、耐震設計に反映している。

また、「耐震指針」が策定される以前のプラントである同発電所1、2号機についても上記基準地震動S2を用いて耐震安全性の確認を行っており、当庁は、平成7年9月に「指針策定前の原子力発電所の耐震安全性」としてその内容の妥当性を確認するとともに、原子力安全委員会に報告している。

一方、近年当該活断層群に関し、岡村らの調査において、従来の評価とは一部異なった調査結果が示されている。このうち、当該活断層群の活動時期について、従来は1万年より古いとしていたものを、調査では1万年前以降に活動しているとするものである。

このため、四国電力（株）においては、自主保安活動の観点から、念のため当該活断層群による地震について「耐震指針」に基づく基準地震動S1（注1）の対象とみなした場合の建物・構築物及び機器・配管類の耐震性評価結果をとりまとめ、本年8月公表し、当庁に対しても報告がなされたところである。

これを受けて、当庁では耐震安全上問題はないものの、安全に万全を期す観点から四国電力（株）の評価内容について、専門家の意見を聴きつつ、検討を行ってきたが、以下に確認した結果を報告する。

（注1）基準地震動S1

基準地震動S1をもたらす地震（「設計用最強地震」という。）としては、過去において敷地又はその近傍に影響を与えたと考えられる地震が再び起こり、敷地及びその周辺に同様の影響を与える恐れのある地震及び近い将来敷地に影響を与えるおそれのある活動度の高い活断層による地震のうちから最も影響の大きいもの。

（注2）基準地震動S2

基準地震動S2をもたらす地震（「設計用限界地震」という。）としては、地

震学的見地に立脚し設計用最強地震を上回る地震について、過去の地震の発生状況、敷地周辺の活断層の性質及び地震地体構造に基づき工学的見地からの検討を加え、最も影響の大きいもの。

2. 1 基準地震動 S 1 の評価

四国電力（株）は、岡村らの探査記録^{1)・2)}を参考に、伊方発電所 3 号機増設時に実施した位置とほぼ同位置の探査断面について再検討を行った結果、少なくとも 1 万年前以降の断層活動があるとし、伊予灘海域の断層について、海域西部の断層群、敷地前面海域の断層群、東部海域の断層群に区分し（図-1）、その上で地震動評価上の断層群の長さを 4.6 km の一群の活断層とし（図-2）、断層モデル（波形合成法^{3)・4)}、小林・翠川の手法^{5)・6)・7)・8)}により当該活断層群が敷地に及ぼす地震動を算定している。

用いられた断層モデルの諸元を表-1、2 に示す。

上記断層モデル（波形合成法、小林・翠川の手法）による応答スペクトルと当該活断層群を考慮した基準地震動 S 1 の応答スペクトルを図-3 に、それに基づく模擬地震波を図-4 に示す。

四国電力（株）が今回策定した基準地震動 S 1 の応答スペクトルは、上記断層モデルによる応答スペクトルを包絡したものとしている。

敷地前面海域には F 1 - F 2 0 の断層が認められるが、断層の連続性、断層の存在位置（陸上中央構造線活断層系との位置関係・連続性）、断層の形態的特徴、活動時期、深部地質構造を考慮すれば、海域の断層を海域西部の断層群、敷地前面海域の断層群、東部海域の断層群に区分して評価していることは妥当なものとして認められる。

また、東部海域の断層群と敷地前面海域の断層群の間に見られる複数の活断層は、両断層群とは走向を異にし、この部分で屈曲している。また、両断層群の相対的な位置関係や活動様式に加え、当該部分が幅の広い凹地を形成していることを総合的に考慮すれば、当該部分は引張性バリア（佃1990）⁹⁾であると考えられ、両断層群の遷移部に当たり、むしろ両断層群を区分するものと考えられる。

以上のことから当該断層群について、断層の連続性、断層の存在位置（陸上中央構造線活断層系との位置関係・連続性）、断層の形態的特徴、活動時期、深部地質構造を考慮し、敷地との位置関係を考慮すれば、地震動評価上の長さを 4.6 km としていることは、妥当なものとして認められる。

また、地震動の評価は、地震動評価上の長さをもとに安全審査時と同様の手法に基づき、それを上回る応答スペクトルを用いていることから妥当なものとして認められる。

2. 2 基準地震動 S 2 の再確認

基準地震動 S 2 については、岡村らが、伊予灘海域に断続的に分布する複数の断層が同時に動くことと仮定すれば、全長約 70 km になるとしていることから、今回、基準地震動 S 2 についての検討を当庁としても実施した。

3号機増設時の安全審査においては、基準地震動 S 2 の対象として、46 km の断層分布範囲の中で感度解析を実施し、敷地に及ぼす地震動が最大となるケースを抽出している。

したがってこれを上回るケースは考え難いが、今回さらに、岡村らの指摘も踏まえ、工学的見地から各種の長さ（最長 77 km）のケースについても評価する等、断層モデルにより種々のケースについて敷地での地震動を検討した。それぞれのケースでの応答スペクトルを図-5に示す。

その結果、3号機増設時に策定した基準地震動 S 2 の応答スペクトルは、上記断層モデルによる応答スペクトルをいずれのケースにおいても上回っていることから基準地震動 S 2 に変更の必要がないことを確認した。

3. 各設備の応力評価

伊方発電所第1、2、3号機の各設備に対して、上記2.1に示した基準地震動 S 1 に対しても耐震性が確保されていることを確認するため、以下の検討を行っている。

- ①耐震性の確認は、耐震設計上の重要度分類の考え方にに基づき、地震に対して安全上重要となる建物・構築物及び機器・配管類の各設備を対象としている。
- ②設備に作用する地震力は、各設備を集中質点系等の解析モデルに置換し、時刻歴応答解析手法、応答スペクトル・モーダル解析手法等により算出している。
- ③応力解析に当たっては、「原子力発電所耐震設計技術指針（社団法人日本電気協会）」などに基づき、地震力、運転時に作用する荷重等を組み合わせ実施している。

なお、上記の耐震性確認フローを図-6に、伊方発電所第1、2、3号機における各設備の耐震性確認結果の概要を表-3示す。

各設備の解析手法やその応力等の解析評価については、「耐震指針」の考え方に沿いつつ、原子力発電所の耐震設計において用いられてきた実績のある手法により行われているものであり、妥当なものと認められる。

また、基準地震動 S 1 に対しては、建物・構築物、機器・配管類の応答値が許容値以内であることが必要であるが、検討結果によれば、いずれも応答値は、許容値以内であり、基準地震動 S 1 に対して耐震設計余裕が確保されているものと認められる。

4. まとめ

四国電力（株）が今回実施した敷地前面海域の活断層群の評価、当該活断層群を考慮した基準地震動S1の評価は、いずれも妥当なものと認められる。

また、当該基準地震動S1を用いた各設備の解析手法及びその応力解析評価については、「耐震指針」の考え方に沿いつつ、現在までの原子力発電所の耐震設計において用いられてきた実績のある手法により行われており、妥当なものと認められる。

以上のことから、四国電力（株）の報告内容は妥当なものと判断する。

したがって、伊方発電所第1、2、3号機は、「耐震指針」の考え方に照らして、当該活断層群を基準地震動S1対象とみなしても十分な耐震性が確保されていること、さらには当庁による検討によれば基準地震動S2に変更の必要ないことを確認した。

参考文献

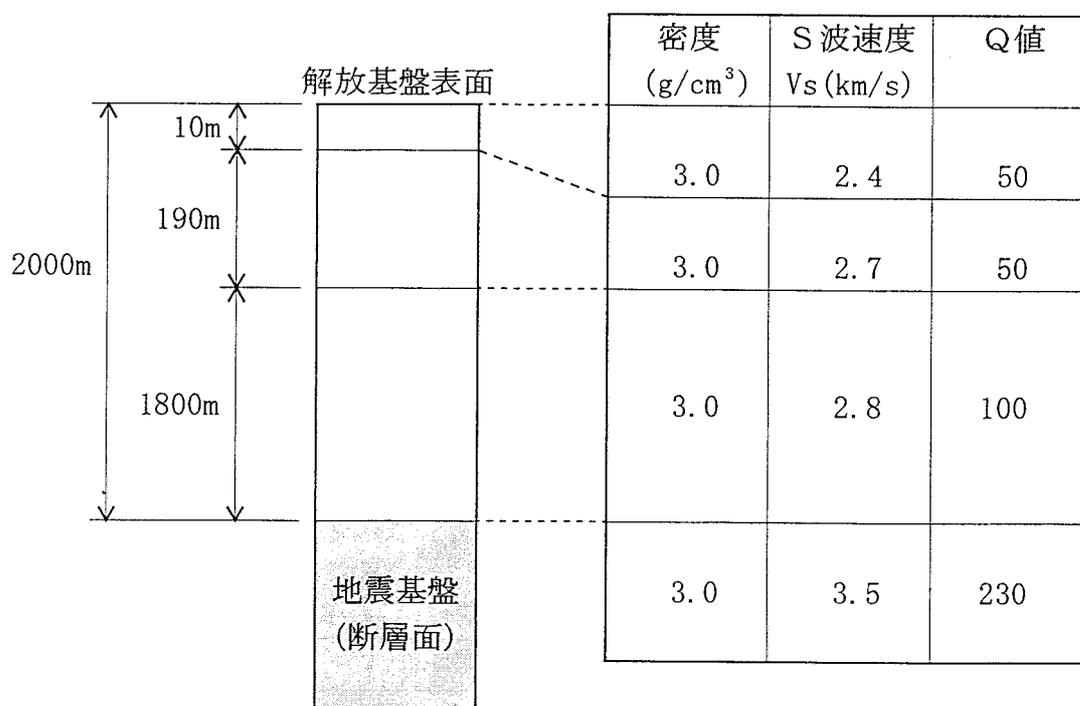
- 1) 小川光明・岡村真・島崎邦彦・中田高・千田昇・中村俊夫・宮武隆・前杢英明・堤浩之：伊予灘北東部における中央構造線海底活断層の完新世活動，地質学論集，第40号，75-97，1992.
- 2) 露口耕治・松岡裕美・岡村真：伊予灘における中央構造線系海底活断層の分布とセグメンテーション，日本地質学会第103年学術大会講演要旨，364，1996.
- 3) Irikura, K. :Semi-empirical estimation of strong ground motions during large earthquakes, Bull. Disaster Prevention Res. Inst. (Kyoto Univ.), 32, 63-104, 1983.
- 4) Dan, K., T. Watanabe and T. Tanaka: A semi-empirical method to synthesize earthquake ground motions based on approximate far-field shear-wave displacement, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of the Architectural Institute of Japan), No. 396, 27-36, 1989.
- 5) 小林啓美・翠川三郎：地震動の地震基盤からの入射波スペクトルの性質，日本建築学会論文報告集，第273号，1978.
- 6) 小林啓美・翠川三郎：地震断層を考慮した地震動スペクトルの推定，日本建築学会論文報告集，第282号，71-81，1979.
- 7) 小林啓美・翠川三郎：震源域及びその周辺での地表面最大加速度分布の推定，日本建築学会論文報告集，第290号，83-92，1980.
- 8) 小林啓美・翠川三郎：半実験式に基づく震源域近傍での地震動スペクトルの推定，第18回自然災害科学総合シンポジウム，79，1981.
- 9) 佃栄吉：地震断層の形態と断層破壊過程、構造地質研究会誌，第35号、1990.

表-1 断層モデルの諸元 (波形合成法、46 kmモデル)

パラメータ	記号・[単位]	想定地震	要素地震
発震時	[年月日]	—	1988.07.29
マグニチュード	M	7.6	5.1(JMA)
震源 北緯 東経 深さ	[° N] [° E] [km]		33.678 132.508 53
対象敷地 北緯 東経	[° N] [° E]	33.488 132.313	—
震央距離	Δ [km]	—	28.0
震源距離	r [km]	—	59.8
地震モーメント	M_0 [dyne · cm]	1.52×10^{27}	$5.63 \times 10^{22} \rightarrow$ 7.04×10^{24}
断層長さ	L [km]	46	—
その比率	$a = L_L / L_S$	6	—
断層幅	W [km]	23	—
その比率	$b = W_L / W_S$	6	—
平均食い違い量	D [cm]	360	—
その比率	$c = D_L / D_S$	6	—
実効応力	σ_e [bar]	50	200
その比率	$d = \sigma_{eL} / \sigma_{eS}$	0.25	—
断層原点 北緯 東経 深さ 敷地距離 敷地方位角	[° N] [° E] H [km] Δ_0 [km] θ_0 [deg]	断層南西端 33.436 132.063 2 23.9 76.1	—
走向	θ [deg]	57	—
傾斜方向	$\phi = \theta - 90$ [deg]	327	—
傾斜角	δ [deg]	90	—
破壊開始位置 北緯 東経	[° N] [° E]	北東端最深部 33.662 132.478	—
破壊様式		Radial	—
破壊伝播速度	V_R [km/sec]	2.5	—
剛性率	μ [dyne/cm ²]	4.0×10^{11}	4.0×10^{11}
せん断波速度	β [km/sec]	3.5	—
Q値	Q	∞	∞

表-2 (1) 断層モデルの諸元 (小林・翠川の手法、46 kmモデル)

断層諸元	記号	単位	設定値
断層長さ	L	km	46
断層幅	W	km	23
断層傾斜角	δ	度	90
断層上端深さ	H	km	2.0
破壊伝播速度	V_R	km/sec	2.5
地震モーメント	M_0	dyne·cm	1.52×10^{27}
立ち上がり時間	τ	sec	3.8
破壊伝播型式			一方向伝播 (UL)
破壊開始位置			北東端



表層地盤モデル

表-2 (2) 断層モデルの諸元 (小林・翠川の手法)

パラメータ	式または設定値
地震規模Mと 断層長さ L (km)	$\log L = 0.6M - 2.9$ (松田、1975)
断層幅 W (km)	$W/L = 1/2$ (Geller、1976)
平均変位量 D (m)	$\log D = 0.6M - 4.0$ (松田、1975)
破壊伝播速度 V_R (km/s)	$V_R = 0.72 V_s$ (Geller、1976)
立ち上がり時間 τ (sec)	$\tau = 16S^{1/2} / (7\pi^{3/2} V_s)$ S : 断層面積 (L*W) (Geller、1976)
断層傾斜角 δ (km)	90度
基盤のS波速度 V_s (km/s)	$V_s = 3.5 \text{ km/s}$
剛性率 μ (dyne/cm ²)	$\mu = 4 \times 10^{11}$

表 - 3 (1) 伊方発電所第1号機耐震性確認結果概要

主 な 項 目		評 価 結 果
原 子 炉 容 器	応 答 値	23.5 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	43.6 kg/mm ²
蒸 気 発 生 器	応 答 値	13.6 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	34.9 kg/mm ²
炉 内 構 造 物	応 答 値	5.6 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	25.4 kg/mm ²
1 次 冷 却 材 管	応 答 値	24.9 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	26.3 kg/mm ²
余 熱 除 去 ポ ン プ	応 答 値	1.7 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	18.0 kg/mm ²
原 子 炉 格 納 容 器	応 答 値	6.0 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	35.7 kg/mm ²
原 子 炉 建 屋 (耐 震 壁)	応 答 値	19.3 kg/cm ²
	許 容 値	19.9 kg/cm ²
原 子 炉 補 助 建 屋 (耐 震 壁)	応 答 値	11.2 kg/cm ²
	許 容 値	16.4 kg/cm ²

* : 応答値はS₂地震時のものを示す。

表 - 3 (2) 伊方発電所第 2 号機耐震性確認結果概要

主 な 項 目		評 価 結 果
原 子 炉 容 器	応 答 値	23.9 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	43.6 kg/mm ²
蒸 気 発 生 器	応 答 値	12.4 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	34.9 kg/mm ²
炉 内 構 造 物	応 答 値	6.1 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	25.4 kg/mm ²
1 次 冷 却 材 管	応 答 値	11.3 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	26.3 kg/mm ²
余 熱 除 去 ポ ン プ	応 答 値	0.4 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	18.0 kg/mm ²
原 子 炉 格 納 容 器	応 答 値	5.7 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	35.7 kg/mm ²
原 子 炉 建 屋 (耐 震 壁)	応 答 値	18.0 kg/cm ²
	許 容 値	19.0 kg/cm ²
原 子 炉 補 助 建 屋 (耐 震 壁)	応 答 値	12.2 kg/cm ²
	許 容 値	16.7 kg/cm ²
制 御 棒 の 挿 入 性		地震時制御棒挿入性試験及びS ₂ 地震による地震応答解析によりS ₂ 地震時においても設計時間内に制御棒が挿入できることを確認していることから、S ₁ 地震動(350gal)に対しても挿入性は確保されている。

* : 応答値はS₂地震時のものを示す。

表-3(3) 伊方発電所第3号機耐震性確認結果概要

主 な 項 目		評 価 結 果
原 子 炉 容 器	応 答 値	26.1 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	43.9 kg/mm ²
蒸 気 発 生 器	応 答 値	17.9 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	43.9 kg/mm ²
炉 内 構 造 物	応 答 値	8.5 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	25.7 kg/mm ²
1 次 冷 却 材 管	応 答 値	11.4 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	26.6 kg/mm ²
余 熱 除 去 ポ ン プ	応 答 値	0.1 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	18.0 kg/mm ²
原 子 炉 格 納 容 器	応 答 値	6.0 ^(*) kg/mm ²
	許 容 値	35.8 kg/mm ²
原 子 炉 建 屋 (耐 震 壁)	応 答 値	20.0 kg/cm ²
	許 容 値	20.3 kg/cm ²
原 子 炉 補 助 建 屋 (耐 震 壁)	応 答 値	24.4 kg/cm ²
	許 容 値	27.8 kg/cm ²
制 御 棒 の 挿 入 性		地震時制御棒挿入性試験及びS ₂ 地震による地震応答解析によりS ₂ 地震時においても設計時間内に制御棒が挿入できることを確認していることから、S ₁ 地震動(350gal)に対しても挿入性は確保されている。

* : 応答値はS₂地震時のものを示す。

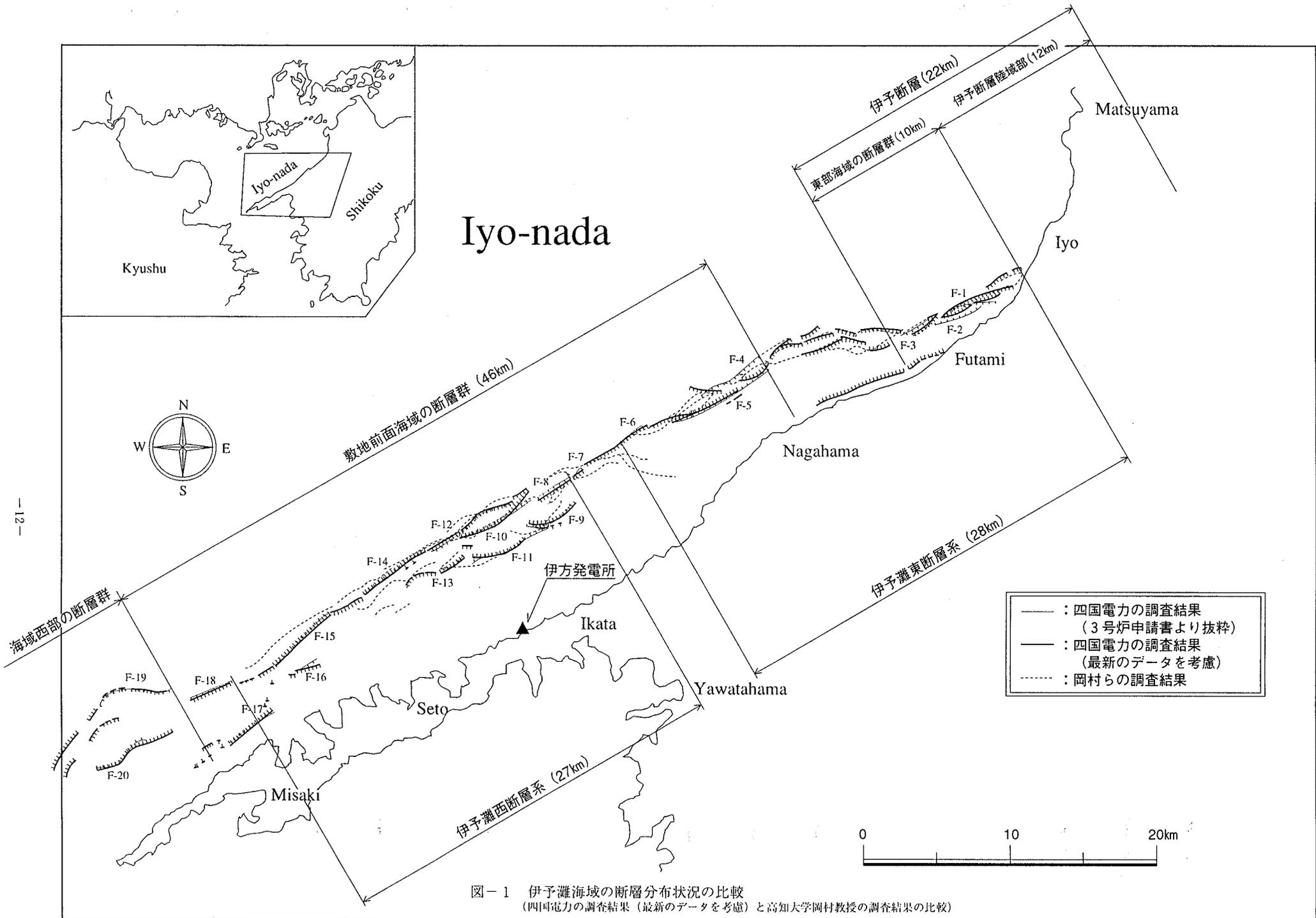


図-1 伊予灘海域の断層分布状況の比較
 (四国電力の調査結果(最新のデータを考慮)と高知大学岡村教授の調査結果の比較)

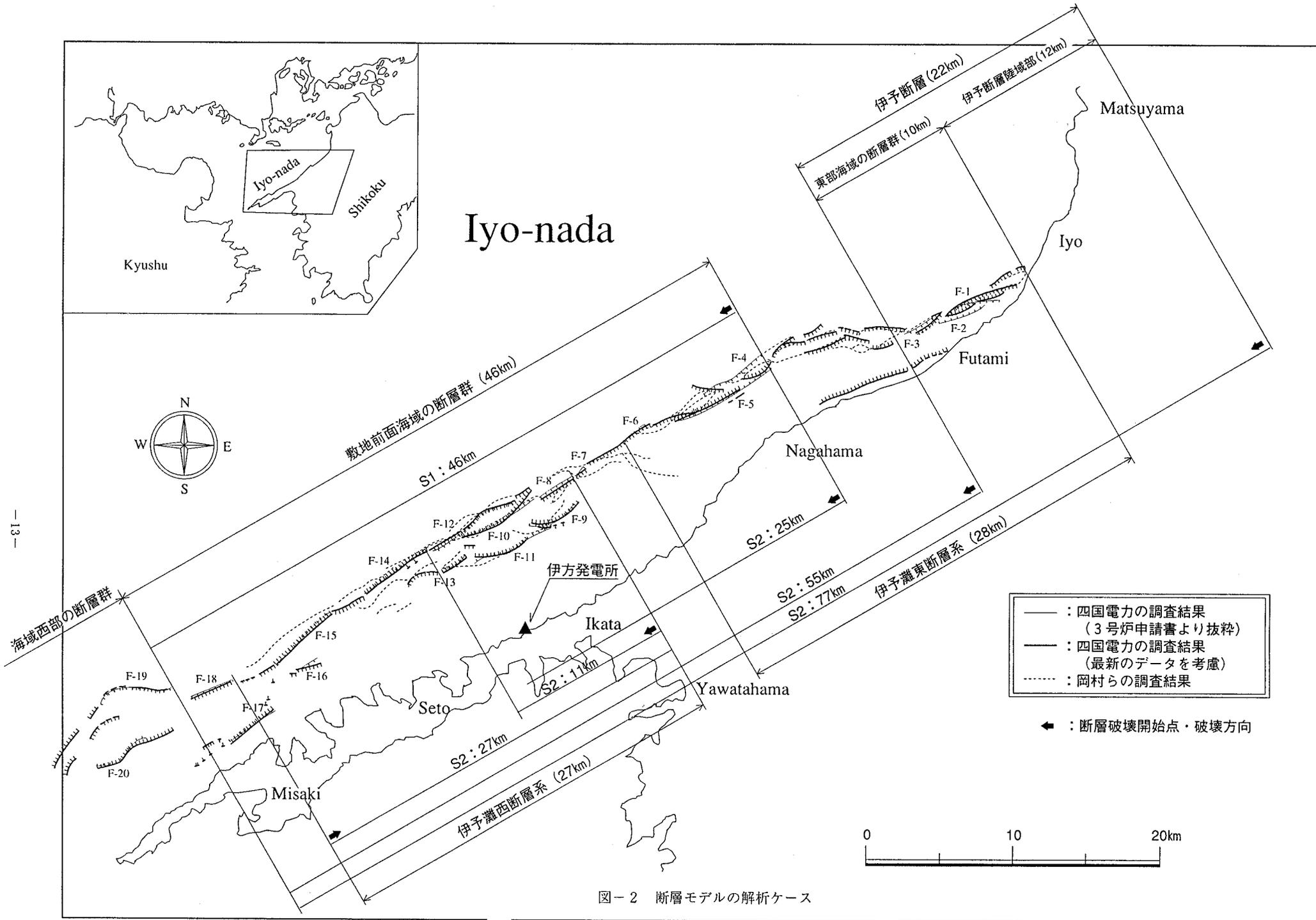


図-2 断層モデルの解析ケース

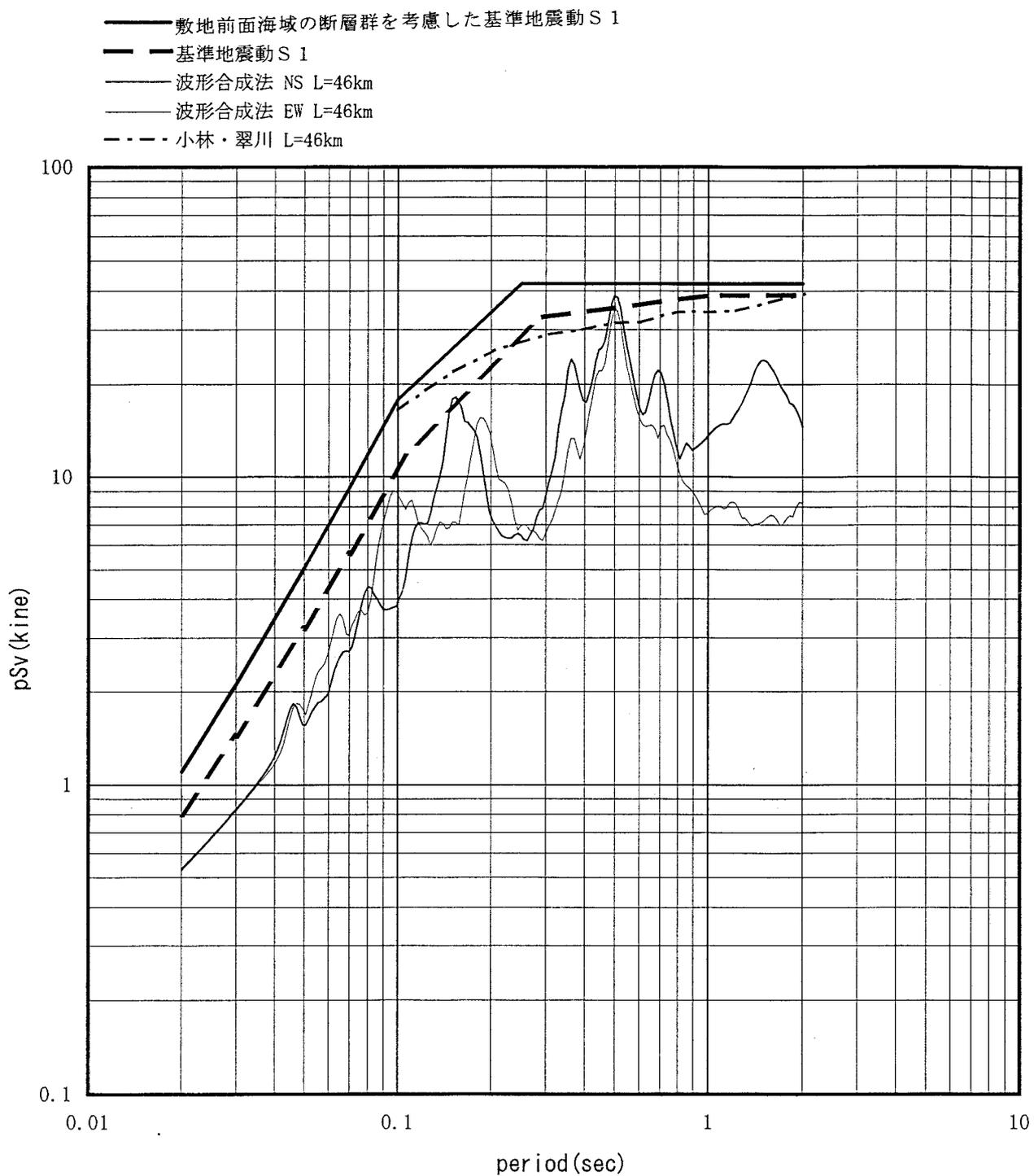


図-3 基準地震動 S 1 の応答スペクトル (減衰定数 5%)

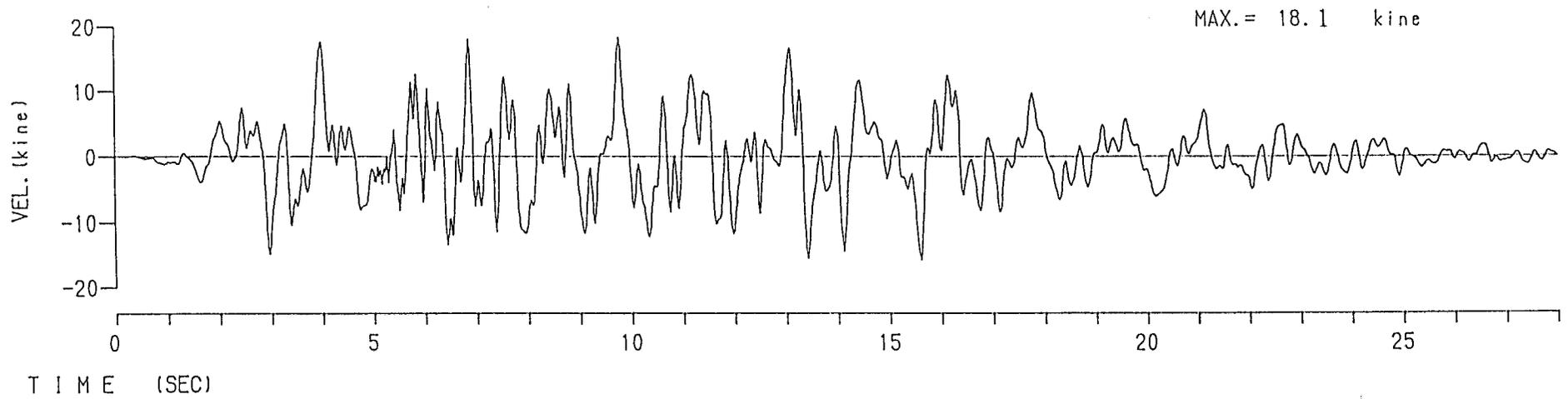
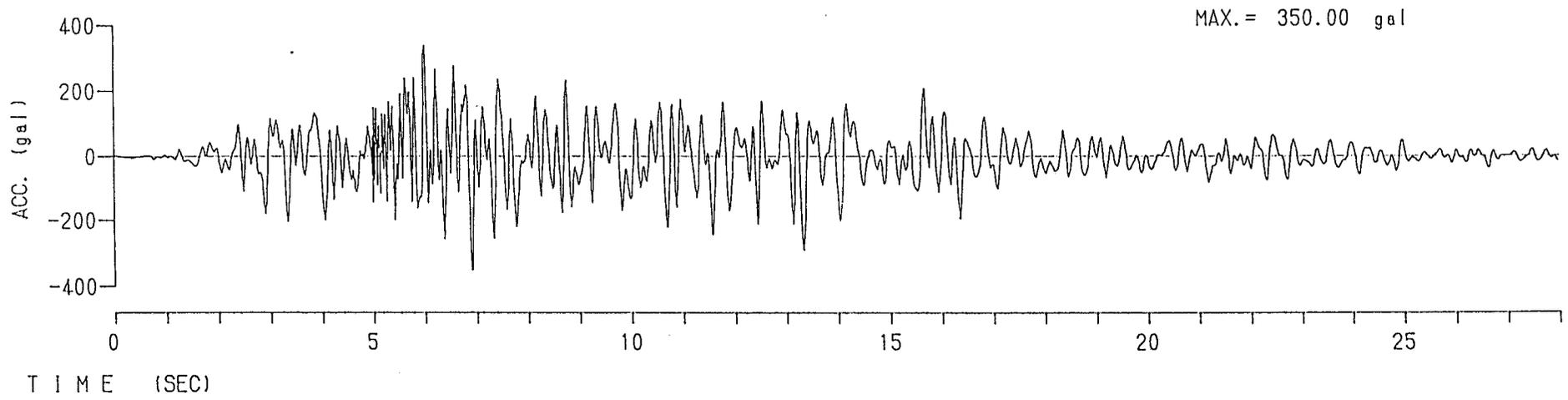


図-4 敷地前面海域の断層群を考慮した基準地震動S1の模擬地震波

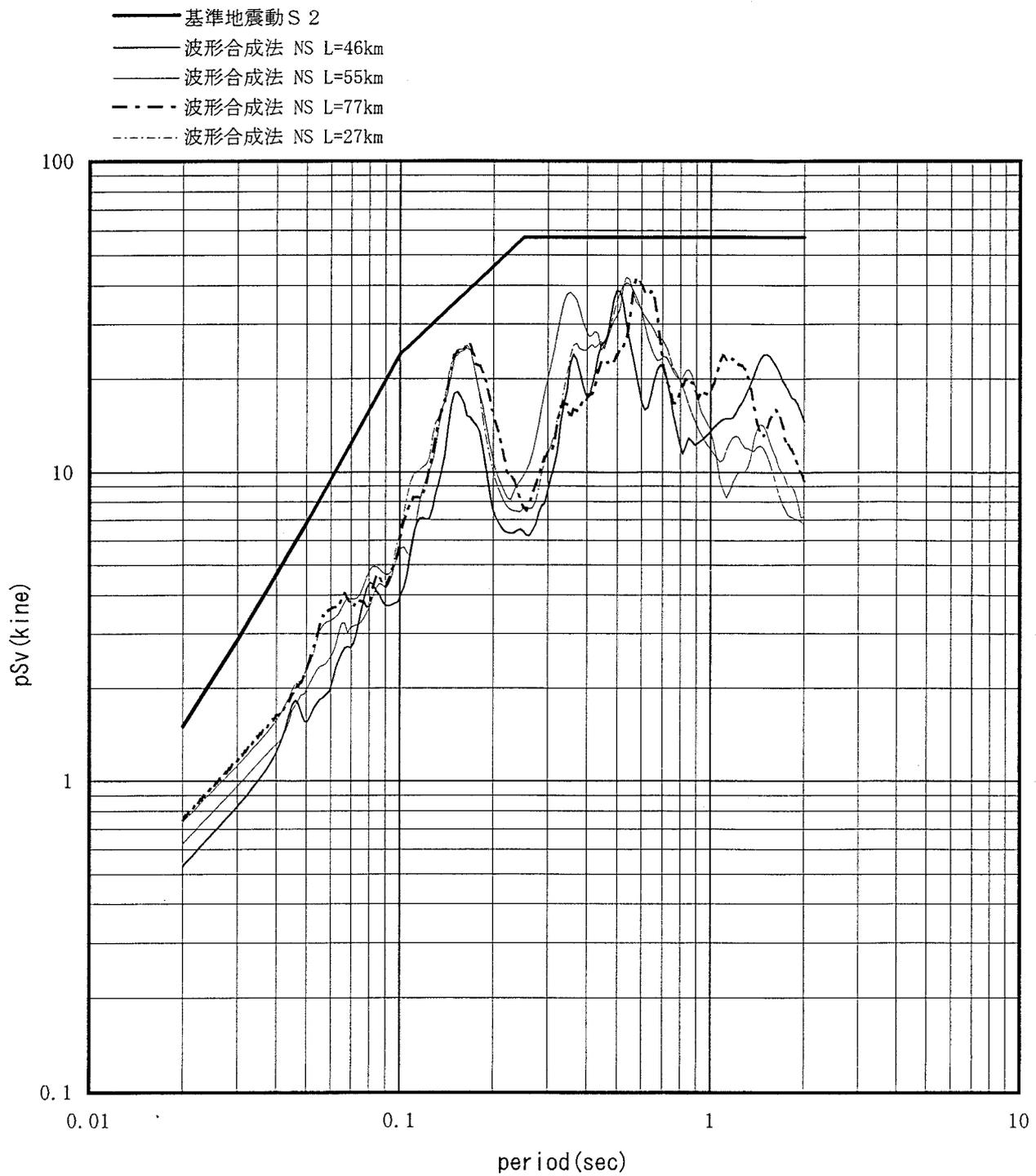


図-5 (1) 基準地震動 S 2 の応答スペクトル
 (減衰定数 5%、波形合成法 NS成分)

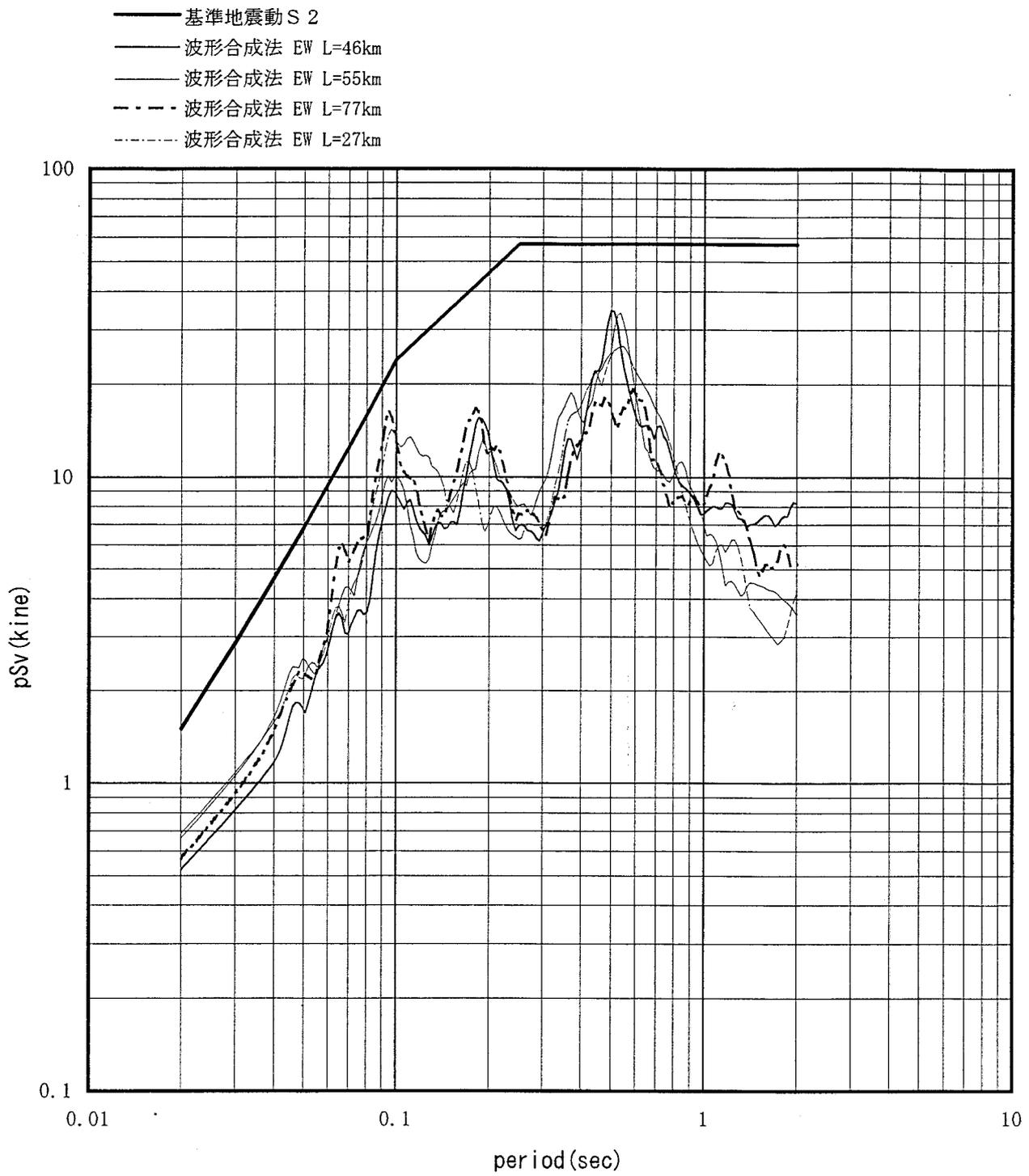


図-5(2) 基準地震動 S 2 の応答スペクトル
 (減衰定数 5%、波形合成法 EW成分)

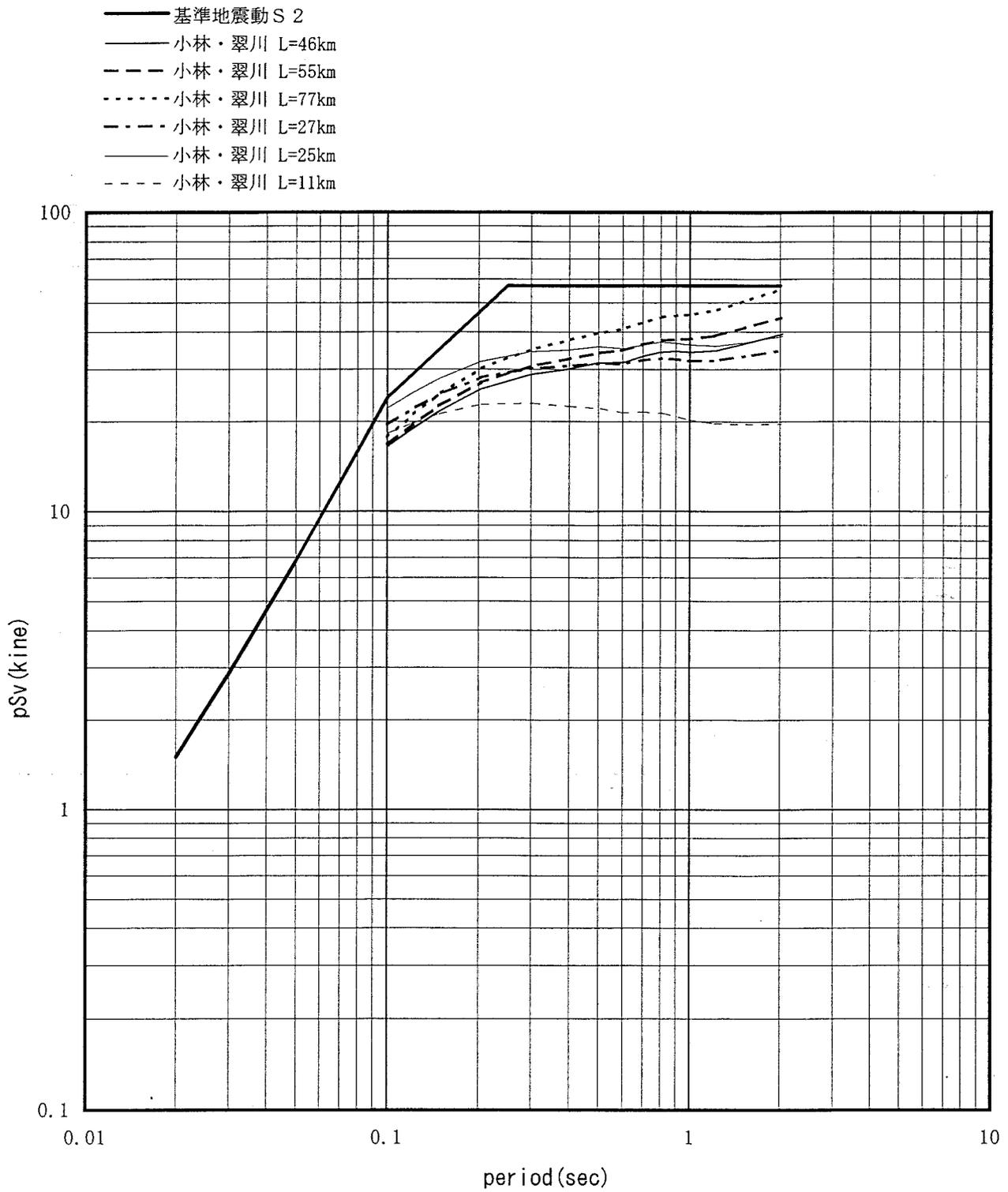


図-5(3) 基準地震動 S 2 の応答スペクトル
 (減衰定数 5%、小林・翠川の手法)

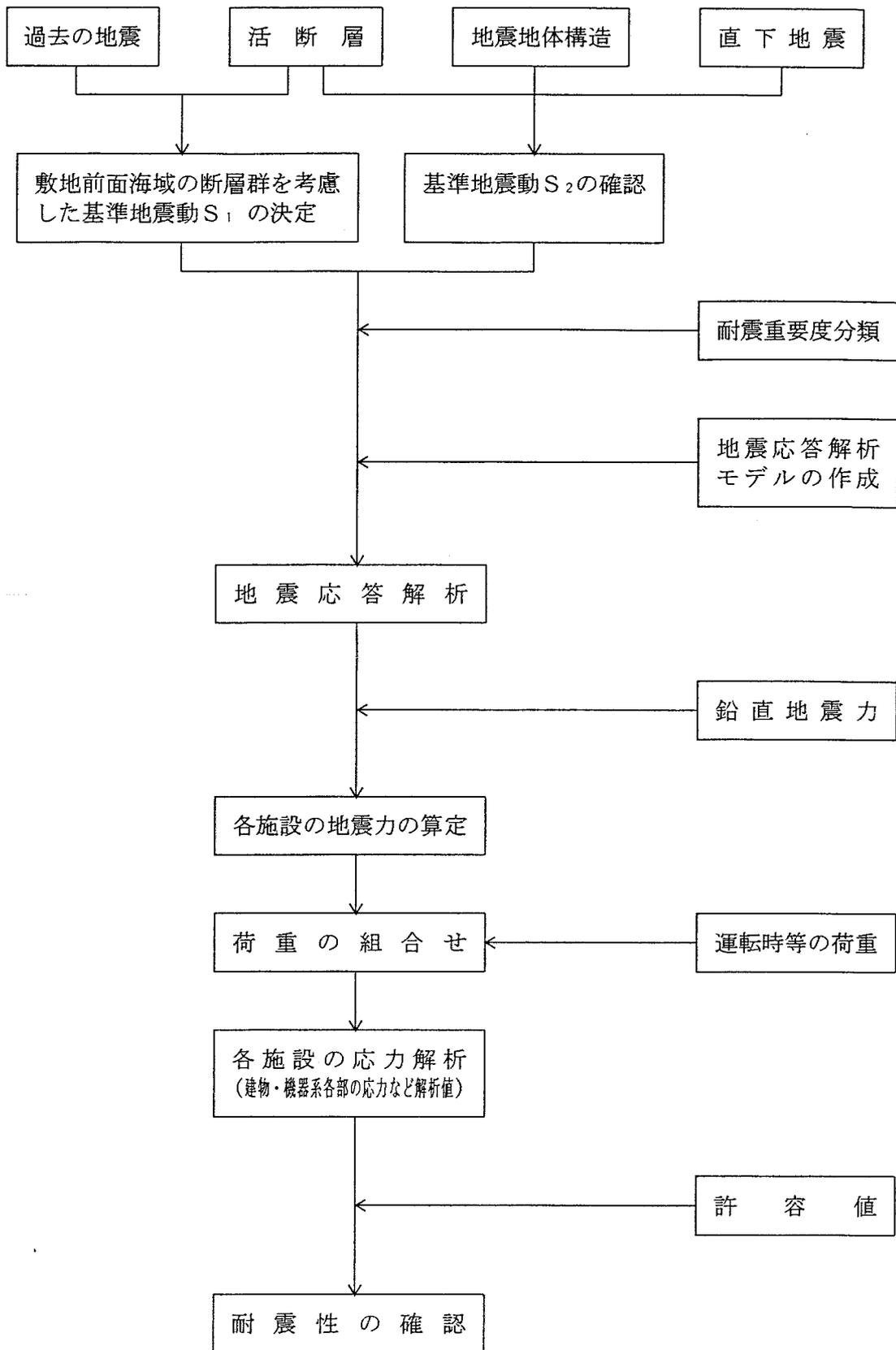


図-6 耐震性確認フロー