

## 2023年トルコ・シリア地震の強震観測記録を踏まえた 伊方発電所の地震動評価の妥当性に関する検討

四国電力(株) 土木建築部 木戸 智之  
四国電力(株) 土木建築部 塩田 哲生

キーワード： 伊方発電所  
基準地震動  
2023年トルコ・シリア地震  
長大断層  
震源近傍  
拡散波動場理論

Key Words : Ikata Nuclear Power Plant  
Design basis earthquake ground motion  
2023 Turkey-Syria earthquake  
Long active fault  
Near the seismic source  
Diffuse field concept

### Study on the validity of seismic motion assessment for Ikata nuclear power plant based on the strong motion observation records of the 2023 Turkey-Syria earthquake

Shikoku Electric Power Co., Inc., Civil and Architectural Engineering Department  
Tomoyuki Kido, Tetsuo Shiota

#### Abstract

The 2023 Turkey–Syria earthquake was caused by a long strike-slip fault, and numerous strong-motion observation records, including those from the near-source region, have been obtained. Shiota et al. estimated the bedrock ground motions (equivalent to  $V_s = 2100$  m/s) for the 2023 Turkey–Syria earthquake based on diffuse field concept and demonstrated the potential applicability of Morikawa and Fujiwara (MF13) to large earthquakes occurring in the near-source region.

In this study, we conducted an evaluation of earthquakes on the Median Tectonic Line fault zone (MTL) affecting the Ikata Nuclear Power Plant using MF13, and we applied corrections to the strong-motion observation records of the 2023 Turkey–Syria earthquake for the shortest distance to the fault and site conditions so as to reproduce the same conditions as those between the Ikata Nuclear Power Plant and the MTL. Furthermore, comparison of these evaluation results with the design-basis earthquake ground motions for the Ikata Nuclear Power Plant showed that the resulting ground-motion levels are comparable to or smaller than the design-basis ground motions, confirming that the design-basis ground motions constitute an appropriate evaluation.

## 1. はじめに

2023年にトルコ南部の東アナトリア断層帯で発生した Mw7.8 の地震（以下、「2023年トルコ・シリア地震」という。）は長大な横ずれ断層帯による地震であり、震源近傍を含む多数の強震観測記録が取得された。塩田ほか<sup>1)</sup>では2023年トルコ・シリア地震における震源近傍の観測点を対象に、拡散波動場理論に基づき地表面の強震観測記録から基盤地震動 ( $V_s=2100\text{m/s}$  相当) を推定している。さらに、地震動予測式の大規模かつ震源近傍地点への適用可能性の確認として、推定した基盤地震動と Morikawa and Fujiwara<sup>2)</sup>（以下、「MF13」という。）により評価した地震動を比較して概ね MF13<sup>2)</sup> のばらつきの範囲内に収まることを確認し、MF13<sup>2)</sup> がデータセットの外挿範囲である大規模かつ震源近傍地点であっても一定の精度で地震動評価ができる可能性を示している。

伊方発電所は、日本でも有数の長大な横ずれ断層帯である中央構造線断層帯が敷地の沖合約 8km に位置しており、伊方発電所 3 号炉の基準地震動は中央構造線断層帯の地震によって策定されている。原子力規制委員会が定めた基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド<sup>3)</sup>では、「基準地震動は、最新の知見や震源近傍等で得られた観測記録によってその妥当性が確認されていることを確認する。」とされており、中央構造線断層帯と同じ長大な横ずれ断層である 2023 年トルコ・シリア地震の大規模かつ震源近傍の強震観測記録に基づく塩田ほか<sup>1)</sup>の知見は、伊方発電所の基準地震動の妥当性を確認する上で有用な知見である。

これを踏まえ、本報では、塩田ほか<sup>1)</sup>の知見を踏まえた伊方発電所の基準地震動の妥当性を検証する。具体的には、まず、塩田ほか<sup>1)</sup>で推定された 2023 年トルコ・シリア地震の基盤地震動を参照し、既往研究で実績のある断層最短距離および地盤条件による補正の適用性を検討する。そのうえで、大規模かつ震源近傍地点への適用可能性が示された MF13<sup>2)</sup> を用いて伊方発電所における中央構造線断層帯の地震による評価を実施するとともに、2023 年トルコ・シリア地震の基盤地震動を伊方発電所と中央構造線断層帯の位置関係および伊方発電所の地盤条件を踏まえた補正を行い、これらの評価結果を伊方発電所の基準地震動と比較する。

## 2. 塩田ほか<sup>1)</sup>における検討の概要

### 2.1 基盤地震動の推定

塩田ほか<sup>1)</sup>では、断層最短距離が 20km 以内、かつ、既往研究で地下構造が評価されている観測地点を検討対象としている。図 1 に塩田ほか<sup>1)</sup>で基盤地震動の推定が行われた観測地点（22 地点）の位置を、地表観測記録の最大加速度分布 (PGA) の地図上に地点名の吹き出しで示すとともに、表 1 に各観測地点の諸元 ( $V_{s30}$ , 地表観測記録の PGA 及び最大速度 (PGV), 断層最短距離, 地下構造モデル構築に用いた既往研究) を示す。塩田ほか<sup>1)</sup>では、対象観測地点の強震観測記録を用いて長嶋・川瀬<sup>4)</sup>の拡散波動場理論に基づき基盤地震動 ( $V_s=2100\text{m/s}$  相当) が推定されている。

拡散波動場理論の計算に用いられている地下構造モデルについて、浅部地盤は AFAD<sup>5)</sup>, Özmen et al.<sup>6)</sup> 及び山中<sup>7)</sup>, 深部地盤は CRUST2.0<sup>8)</sup> に基づき設定されている。塩田ほか<sup>1)</sup>の地下構造モデルの構築手順を図 2 に示す。

構築した地下構造モデルを用いて拡散波動場理論に基づき推定された基盤地震動のうち、表層地盤の局所的な影響をうけて基盤地震動が適切に評価されていない可能性が指摘されている 3125, 3126 及び 3129 地点を除いた計 19 地点について、NS 方向および EW 方向における擬似速度応答スペクトルを断層最短距離 ( $X_{sh}$ ) 5km 毎に色分けして図 3 に示す。塩田ほか<sup>1)</sup>で推定された基盤地震動は、断層最短距離が遠くなるにつれて地震動レベルが小さくなるという一般的な傾向が見て取れる。

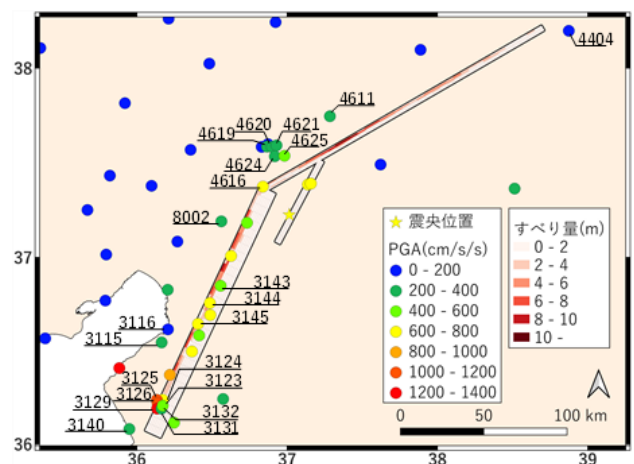


図 1 対象観測点位置図

震源断層モデルは USGS<sup>9)</sup> 参照, 塩田ほか<sup>1)</sup>より

表1 対象観測地点の諸元

Vs30はAFAD<sup>5)</sup>、断層最短距離XshはUSGS<sup>9)</sup>の震源断層モデルからの距離、塩田ほか<sup>1)</sup>より

観測地点	Vs30 (m/s)	地表記録 (水平)		地表記録 (上下)		Xsh (km)	地下構造モデル	
		PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)		浅部	深部
3123	470	654	188	849	53	2.8	山中	AFAD CRUST 2.0
3124	283	620	112	583	42	2.7		
3125	448	1089	106	1100	65	2.3		
3126	350	1167	110	854	80	1.9		
3129	447	1353	172	703	43	2.2		
3131	567	356	48	146	19	4.0		
3132	377	509	67	361	35	3.9		
3115	424	287	48	213	20	13.3		
3116	870	161	40	151	19	13.1		
3143	444	379	128	384	29	4.7		
3144	4.85	177	138	471	80	3.5		
3145	533	692	158	610	65	2.6		
4404	1380	136	20	96	11	15.1		
4611	731	343	41	168	16	16.3		
4619	545	303	30	174	19	19.2		
4620	484	310	37	184	15	17.6		
4621	714	369	45	225	21	17.1		
4624	280	357	59	157	36	12.1		
8002	346	236	44	322	18	11.7		
3140	210	217	80	175	30	9.5		
4616	390	610	96	387	24	2.0		
4625	346	466	16	344	29	9.6		
							Özmen et al.	CRUST 2.0

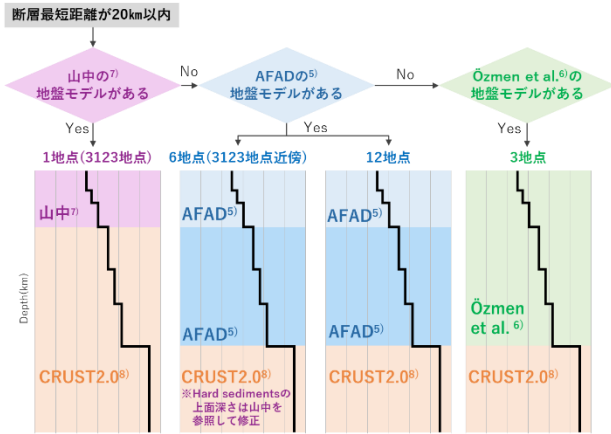


図2 地下構造モデルの構築手順  
塩田ほか<sup>1)</sup>より

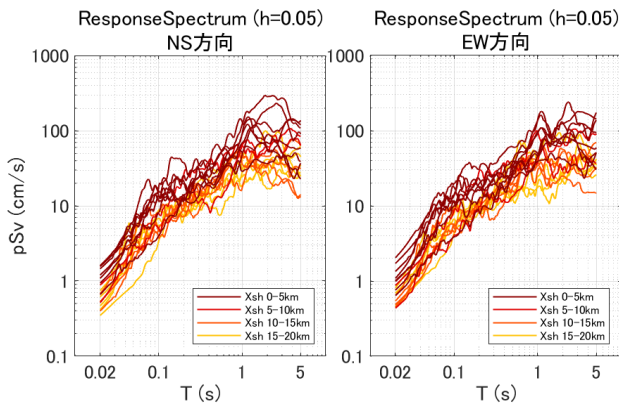


図3 推定基盤地震動の擬似速度応答スペクトル  
断層最短距離 5km 毎に色分け

## 2.2 MF13<sup>2)</sup>の適用に関する検討

塩田ほか<sup>1)</sup>では、2.1節で示した推定基盤地震動とMF13<sup>2)</sup> (Vs30=2000m/s, D1400=0mに設定)により評価した地震動を比較することで、MF13<sup>2)</sup>の大規模かつ震源近傍地点への適用性について考察している。塩田ほか<sup>1)</sup>で示されている適用性検討の図のうち、周期0.02秒、0.1秒、1.0秒及び5.0秒の比較結果を代表して図4に示す。なお、MF13<sup>2)</sup>は周期0.05秒以上の応答スペクトルを評価できる地震動予測式であるため、図4における周期0.02秒の図はMF13<sup>2)</sup>のPGAの評価値を示している。

塩田ほか<sup>1)</sup>は、推定基盤地震動とMF13<sup>2)</sup>はばらつきの範囲で概ねよく対応しており、MF13<sup>2)</sup>はデータセットの外挿範囲であっても一定の精度で地震動評価ができる可能性があるとしている。

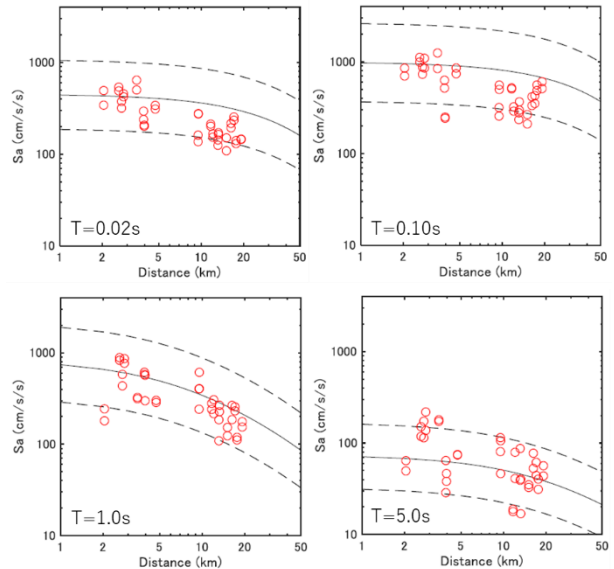


図4 推定基盤地震動とMF13<sup>2)</sup>の比較  
赤丸が推定した基盤地震動、黒実線及び黒点線はMF13<sup>2)</sup>の平均及び±1σ、塩田ほか<sup>1)</sup>より

## 3. 断層最短距離および地盤条件による補正

伊方発電所の基準地震動の策定において考慮している中央構造線断層帯と伊方発電所との断層最短距離は約8kmであるのに対して、塩田ほか<sup>1)</sup>で推定した基盤地震動の評価地点における断層最短距離は2.2km~19.2kmと幅を持っている。また、伊方発電所は硬質な岩盤上に設置されており、基準地震動が策定されている解放基盤表面のせん断波速度がVs=2600m/sであるのに対して、塩田ほか<sup>1)</sup>で推定された基盤地震動はVs=2100m/s相当

での地震動である。

このため、塩田ほか<sup>1)</sup>で推定された基盤地震動を伊方発電所の基準地震動と比較するための事前検討として、3章では、塩田ほか<sup>1)</sup>で推定された基盤地震動に対して、既往研究で実績のある断層最短距離および地盤条件による補正方法の適用性について検討を行う。

### 3.1 断層最短距離による補正

塩田ほか<sup>1)</sup>で推定された基盤地震動の断層最短距離は2.2km~19.2kmと幅を持っている。そこで、推定した基盤地震動に対してTajima et al.<sup>10)</sup>の手法に基づく断層最短距離による補正を行う。具体的には、推定した基盤地震動の応答スペクトルに対して、Si et al.<sup>11)</sup>の推定値から算出された補正係数Rを乗じることで断層最短距離による補正を加えた基盤地震動の応答スペクトルを算定する。補正係数Rの算定方法の例を図5に示す。

塩田ほか<sup>1)</sup>で推定された基盤地震動を断層最短距離5km, 10km, 15km, 20kmに補正した結果について、MF13<sup>2)</sup>による地震動評価結果と比較して図6に示す。補正後の基盤地震動の応答スペクトルは、周期0.1秒程度以下および周期1~2秒程度の領域でやや小さい傾向にあるものの、設定したすべての断層最短距離において、MF13<sup>2)</sup>を用いた地震動評価結果のばらつき範囲内で概ね整合している。MF13<sup>2)</sup>が上記周期帯でやや大きめの評価結果となる傾向は塩田ほか<sup>1)</sup>でも指摘されており、断層最短距離による補正を加えてもその影響が残っているものと考えられる。

以上より、Tajima et al.<sup>10)</sup>に基づいて距離補正した地震動は、全体的な地震動レベルとしては妥当な結果が得られていると考える。

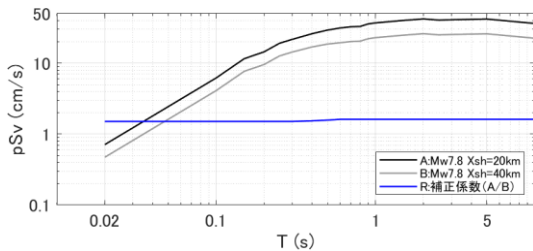


図5 補正係数Rの算定方法の例  
断層最短距離を40kmから20kmに補正する場合の補正係数R

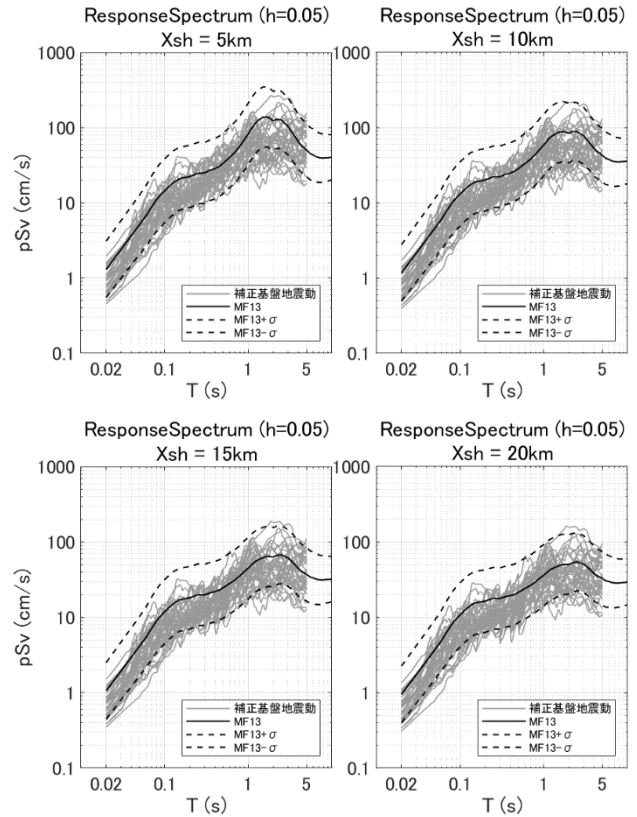


図6 断層最短距離による補正結果

### 3.2 地盤条件による補正

塩田ほか<sup>1)</sup>で拡散波動場理論の計算に用いられた地下構造モデルのうち、深部地盤はCRUST2.0<sup>8)</sup>によりモデル化されており、推定された基盤地震動はCRUST2.0<sup>8)</sup>のHard sedimentsの層上面( $V_s=2100\text{m/s}$ )で評価されている。そこで、伊方発電所の地盤相当への補正にあたっては、まず、基盤地震動の評価地点を塩田ほか<sup>1)</sup>の地下構造モデルのHard sedimentsからUpper crustの層上面( $V_s=3500\text{m/s}$ )に変更して、塩田ほか<sup>1)</sup>と同様に拡散波動場理論を用いて基盤地震動を推定する。さらに、推定した $V_s=3500\text{m/s}$ の基盤地震動を用いて、伊方発電所の地下構造モデルを用いた地盤応答解析を実施し、伊方発電所の解放基盤表面( $V_s=2600\text{m/s}$ )相当における地震動を推定する。

地盤応答解析は、西坂ほか<sup>12)</sup>による伊方発電所の地下構造モデルを使用する。西坂ほか<sup>12)</sup>では、伊方発電所で観測された鉛直アレイ地震観測記録を用いて、地表から地下深部2000m(地震基盤)に至る地下構造モデルを同定している。西坂ほか<sup>12)</sup>で同定された地下構造モデルは、伊方発電所3号炉直下から約1km離れた地点での地下構造モデル

であるものの、同種の結晶質岩盤が連続しているとともに、せん断波速度等の地盤物性値も伊方発電所3号炉直下に相当し、地震観測記録を用いて精度の良いQ値が同定されていることから、伊方発電所において実態に即した地震動レベルを把握することに適したモデルと言える。

西坂ほか<sup>12)</sup>の地下構造モデルを表2に、地盤条件による補正方法を図7に示す。本検討では、塩田ほか<sup>1)</sup>と同様の手法で推定したUpper crustの層上面( $V_s=3500\text{m/s}$ )の基盤地震動を、西坂ほか<sup>12)</sup>の地下構造モデルの最下層( $V_s=3500\text{m/s}$ )の層上面(深度2000m)に入力し、地盤応答解析に基づき伊方発電所の解放基盤表面( $V_s=2600\text{m/s}$ )に相当する層の層上面(深度5m)で出力する。

地盤条件による補正を加えた結果について、代表して2023年トルコ・シリア地震の観測地点3144の結果を図8に示す。塩田ほか<sup>1)</sup>でCRUST2.0<sup>8)</sup>のHard sediments層上面( $V_s=2100\text{m/s}$ )で推定した基盤地震動よりもUpper crustの層上面( $V_s=3500\text{m/s}$ )で推定した基盤地震動の方が全周期帯で地震動レベルが小さくなった。また、これらの基盤地震動と伊方発電所の解放基盤表面相当に補正した地震動を比較すると、解放基盤表面相当の地震動の方が短周期側では地震動レベルが小さくなっている。西坂ほか<sup>12)</sup>において、伊方発電所の地震観測記録は地震基盤から地表まで顕著な地盤増幅はなく、1Hz以上(周期1秒以下)ではむしろ減衰する傾向が認められるとされており、その傾向が本検討の地下構造モデルを用いた補正結果にも表れていると考えられる。

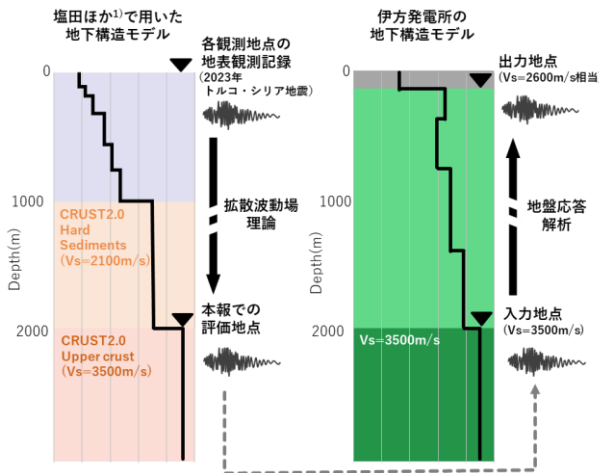


図7 地盤条件による補正方法

表2 西坂ほか<sup>12)</sup>の地下構造モデル

深度 (m)	$V_s$ (m/s)	$\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	$Q_0$	$f_0$	$\alpha$
5	647	2.3	11	15.2	1.42
180	2611	2.9	11	15.2	1.42
300	2164	2.7	144	8.8	1.45
620	3079	2.7	176	12.4	1.49
2000	3346	2.7	366	11.0	1.16
-	3500	2.7	366	11.0	1.16

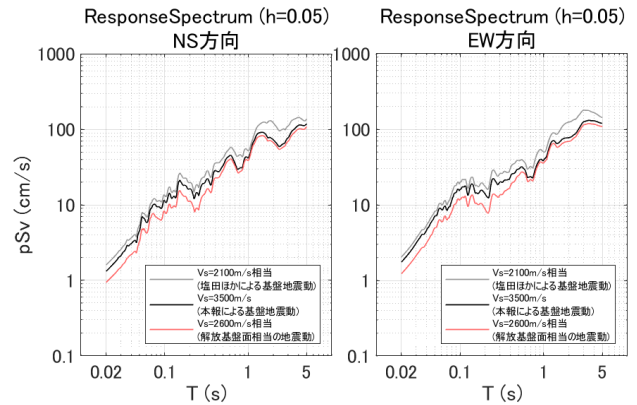


図8 地盤条件による補正結果 (3144地点)

#### 4. 伊方発電所の基準地震動の妥当性確認

##### 4.1 確認方法

伊方発電所の基準地震動 Ss-1 および Ss-2 については、敷地から約8kmに位置する中央構造線断層帯の地震を想定して策定されている。そこで、中央構造線断層帯と同じ長大な横ずれ断層である2023年トルコ・シリア地震で得られた塩田ほか<sup>1)</sup>に基づく知見を踏まえて、伊方発電所の基準地震動の妥当性を検証する。

検証方法としては、応答スペクトルに基づく地震動評価で策定された基準地震動 Ss-1 については、塩田ほか<sup>1)</sup>で大規模かつ震源近傍地点への適用可能性が示されたMF13<sup>2)</sup>を用いた伊方発電所における中央構造線断層帯の地震による評価結果との比較を行う。MF13<sup>2)</sup>を用いた中央構造線断層帯の地震の評価は、断層最短距離は8km、地震規模は基準地震動 Ss-1 の策定において考慮しているケースのうち、地震動レベルが最大となる断層長さ約480kmケースの地震規模 Mw7.9、地盤条件はMF13<sup>2)</sup>で考慮できる最も硬い地盤条件として、 $V_s30=2000\text{m/s}$ 、 $D1400=0\text{m}$ とする。

また、断層モデルを用いた手法による地震動評価で策定された基準地震動 Ss-2 については、2023

年トルコ・シリア地震の強震観測記録を、基準地震動 Ss-2 と同条件となるように 3 章で示した断層最短距離および地盤条件による補正を加えて評価した基盤地震動との比較を行う。具体的には、2023 年トルコ・シリア地震の強震観測記録について、3.2 節の地盤条件による補正で示した方法により伊方発電所の解放基盤面 ( $V_s=2600\text{m/s}$ ) 相当における地震動を推定したうえで、3.1 節の断層最短距離による補正で示した方法により距離を 8km に補正した地震動を基準地震動 Ss-2 と比較する。

#### 4.2 確認結果

MF13<sup>2)</sup>を用いた伊方発電所における中央構造線断層帯の地震動評価と基準地震動 Ss-1 の比較を図 9 に示す。MF13<sup>2)</sup>を用いた地震動評価結果は全周期帯で基準地震動 Ss-1 を下回る結果となった。周期 1~3 秒付近では MF13<sup>2)</sup>を用いた地震動評価結果と基準地震動 Ss-1 との差が小さくなっているが、これは塩田ほか<sup>1)</sup>で述べられている、推定した基盤地震動及び他の距離減衰式と比較して MF13<sup>2)</sup>が大きめの地震動レベルとなる周期帯と対応している。

また、断層最短距離および地盤条件による補正を行った 2023 年トルコ・シリア地震の基盤地震動と基準地震動 Ss-1 および Ss-2 の比較を図 9 に示す。なお、補正した基盤地震動と伊方発電所の基準地震動では震源断層と評価地点の位置関係が異なり、方角をあわせた比較に物理的な意味がないことから、NS 方向と EW 方向をあわせて図示する。

補正した基盤地震動は、全周期帯において基準地震動 Ss-1 および Ss-2 と概ね同等あるいは下回る結果となった。原子力施設の耐震評価において重要な短周期側に着目すると、補正した基盤地震動は基準地震動 Ss-1 および Ss-2 を下回っている。

基準地震動 Ss-1 は、Noda et al.<sup>13)</sup>を用いた地震動評価にあたって内陸地殻内地震に適用できる補正係数（短周期側の地震動レベルを低減する補正係数）をあえて考慮しないなどの保守性が考慮されている。基準地震動 Ss-2 は、不確かさとして、主に短周期側への影響が大きい応力降下量の値を、平均的な値の 1.5 倍又は 20MPa の大きい方に設定したケースである。また、これらの基準地

震動の策定にあたっては、アスペリティ深さを浅めに設定する、破壊伝播が敷地に向かう方向に設定するなど、基本となる震源モデル自体にも十分な保守性が考慮されている。本検討において補正した基盤地震動が特に短周期側で基準地震動 Ss-1 および Ss-2 を下回っていることは、上記の種々の保守性が相まって、実現象に対して十分な保守性が考慮できていることの裏付けと考えられる。

なお、長周期側の一部周期帯において基準地震動 Ss-1 および Ss-2 を上回る地点もあるが、これは USGS<sup>9)</sup>の震源断層モデルからの断層最短距離が 2~3km の地点である。震源断層からの距離が 2km 程度より近い震源極近傍では、地震発生層より浅い領域からの影響を受けて長周期側の地震動が大きくなるのが既往研究<sup>14)</sup>で指摘されており、2023 年トルコ・シリア地震においても同様の事例が報告されている<sup>15)</sup>。本検討において長周期側の一部周期帯で大きな地震動となった地点についても、震源極近傍で生じる長周期地震動の励起が要因であり、伊方発電所と中央構造線断層帯との関係（断層最短距離約 8km）において具体的に想定されるものではないと考えられる。

以上より、伊方発電所の基準地震動 Ss-1 および Ss-2 は、2023 年トルコ・シリア地震の大規模かつ震源近傍の強震観測記録に基づく塩田ほか<sup>1)</sup>の知見を踏まえても、適当な地震動レベルとなっていることが確認できた。

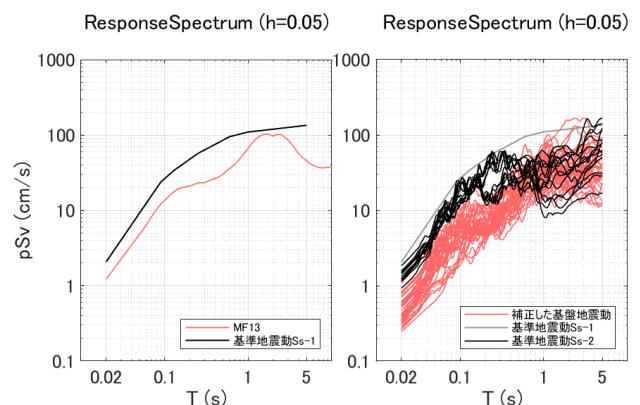


図 9 伊方発電所の基準地震動との比較

#### 5. まとめ

本報では、塩田ほか<sup>1)</sup>の知見を踏まえた伊方発電所の基準地震動の妥当性について検討を行った。

塩田ほか<sup>1)</sup>で大規模かつ震源近傍地点への適用可能性が示された MF13<sup>2)</sup>を用いて伊方発電所における中央構造線断層帯の地震による地震動評価を実施し、伊方発電所の基準地震動 S<sub>s</sub>-1 と比較した。また、2023年トルコ・シリア地震の強震観測記録について、断層最短距離および地盤条件の補正を行った基準地震動を伊方発電所の基準地震動 S<sub>s</sub>-2 と比較した。いずれの評価結果も基準地震動 S<sub>s</sub>-1 および S<sub>s</sub>-2 と同等あるいは下回る地震動レベルであり、原子力施設の耐震評価において重要となる短周期側では基準地震動を下回る結果となった。

以上より、2023年トルコ・シリア地震の大規模かつ震源近傍の強震観測記録に基づく塩田ほか<sup>1)</sup>の知見を踏まえても、伊方発電所の基準地震動は妥当な地震動レベルとなっていることが確認できた。原子力規制委員会が定めた基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド<sup>3)</sup>において「基準地震動は、最新の知見や震源近傍等で得られた観測記録によってその妥当性が確認されていることを確認する。」とされており、この観点からも本報の検討は重要である。

#### 【参考文献】

- 1) 塩田哲生, 木戸智之, 飯田朋美, 元木健太郎, 加藤研一, 藤原広行:「拡散波動場理論に基づく2023年トルコ・シリア地震における震源近傍地点の基準地震動の推定と地震動予測式の適用に関する一考察」, 日本地震工学会論文集 Vol. 25, No. 12, 2025.
- 2) Morikawa, N. and Fujiwara, H.: 「A New Ground Motion Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-Earthquake」, Journal of Disaster Research, Vol. 8, No. 5, pp. 878–888, 2013.
- 3) 原子力規制委員会:「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」, 2022.
- 4) 長嶋史明, 川瀬博:「K-NET・KiK-netのPS検層記録に基づくVs・Vpおよび深さの関係」, 物理探査, Vol. 72, pp. 78–100, 2019.
- 5) AFAD: <https://tadas.afad.gov.tr/map>
- 6) Özmen, Ö. T., Yamanaka, H., Alkan, M. A., Çeken, U., Öztürk, T. and Sezen, A.: 「Microtremor Array Measurements for Shallow S wave Profiles at Strong-Motion Stations in Hatay and Kahramanmaras Provinces」, Southern Turkey, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 107, No. 1, pp. 445–455, 2017.
- 7) 山中浩明:「2023年トルコ・シリア地震の被災地域の地震動特性と地盤増幅について」, 第51回地盤震動シンポジウム, pp. 11–18, 2023.
- 8) Bassin, C., Laske, G. and Masters, G.: 「The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America」, Eos, Transactions American Geophysical Union, Vol. 81, No. 48, F897, 2000.
- 9) USGS Geologic Hazards Science Center and Collaborators: 「The 2023 Kahramanmaras, Turkey, Earthquake Sequence」, 2023.
- 10) Tajima, R., Tanaka, H. and Wu, C.: 「An Empirical Method for Estimating Source Vicinity Ground-Motion Levels on Hard Bedrock and Annual Exceedance Probabilities for Inland Crustal Earthquakes with Sources Difficult to Identify in Advance」, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 111, No. 5, 2021.
- 11) Si, H., Midorikawa, S., Tsutsumi, H., Wu, C., Masatsuki, T. and Noda, A.: 「Preliminary analysis of attenuation relationship for response spectra on bedrock based on strong motion records including the 2011 Mw 9.0 Tohoku earthquake」, 10th International Conference on Urban Earthquake, pp. 113–117, 2013.
- 12) 西坂直樹, 石川慶彦, 長井千明, 山内泰知, 佐藤浩章, 辻健:「結晶質岩盤サイトでの鉛直アレイ地震観測記録を用いた地盤構造モデルの同定と基準地震動の検討」, 日本地震工学会論文集 (印刷中).
- 13) Noda, S., Yashiro, K., Takahashi, K., Takemura, M., Ohno, S., Tohdo, M. and Watanabe T.: 「Response spectra for design purpose of stiff structures on rock sites」, OECD-NEA workshop on the relation between seismological data and seismic

engineering analysis, 2002.

- 14) 入倉孝次郎, 倉橋奨:「震源断層近傍の長周期地震動評価のための特性化震源モデルの拡張—2016年熊本地震(Mw7.0)の断層近傍地震動による検証—」, 日本地震工学会・大会—2017, pp.1–9, 2017.
- 15) 貴堂峻至, 永野正行, 宮腰研, 新井健介, 佐藤俊明:「2023年トルコ・カフマンマラシュ地震(Mw 7.8)の断層ごく近傍で観測された大振幅速度パルス波形ならびに永久変位の再現のための浅部断層すべりを有する特性化震源モデル」, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 89, No. 822, pp. 840–849, 2024.