



Title	2007年中越沖地震の地震動特性
Author(s)	土方, 勝一郎; HIJIKATA, Katsuichiro
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 73, 229-237
Issue Date	2010-03-19
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.73.229">https://doi.org/10.14943/gbhu.73.229</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/44477">https://hdl.handle.net/2115/44477</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	73_21_p229-237.pdf



## 2007 年中越沖地震の地震動特性

土方勝一郎

東京電力㈱

(2009 年 1 月 12 日受理)

### Ground motion characteristics of 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki earthquake

Katsuichiro HIRAKATA

Tokyo Electric Power Company

(Received January 12, 2009)

Strong motion records of 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki earthquake were examined in order to evaluate ground motion characteristics of the earthquake. Ground motion observed at Kashiwazaki Kariwa Nuclear Power Plant site were significantly larger than the response spectra evaluated on the basis of Noda et al.(2002), and the level of the ground motion observed at Arahama area (unit 1 - 4 side) was approximately twice as large as that at Ominato area (unit 5 - 7 side). Observation records of the offshore events other than the earthquake were also larger than the response spectra based on Noda et al.(2002), whereas records of the inland events were smaller than those. In addition, these characteristics were also observed in the vicinity of the site through the analysis of the ground motion records obtained by KiK-net.

### I. はじめに

平成 19 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震 (M<sub>j</sub> 6.8) では、柏崎刈羽原子力発電所構内で大きな揺れを観測した。本論は、発電所構内及び周辺の観測点で観測された本地震の地震動特性を検討するものである。

II. では、原子炉建屋の観測記録から評価した解放基盤表面の地震動について論じる。III. では、発電所構内で観測された中越沖地震以外の規模の大きい地震動について論じる。IV. では、発電所の周辺観測点の地震動について論じる。

### II. 原子炉建屋の観測記録に基づく地震動の評価

Fig. 1 には、柏崎刈羽原子力発電所の地震観測点を示す。Fig. 1 の○で示す新設地震計とは、

2004年中越地震以降に観測を強化したことに伴い新たに設置した地震計を示す。また、●で示す既設地震計とは2004年中越地震以前から設置してあった地震計を示す。

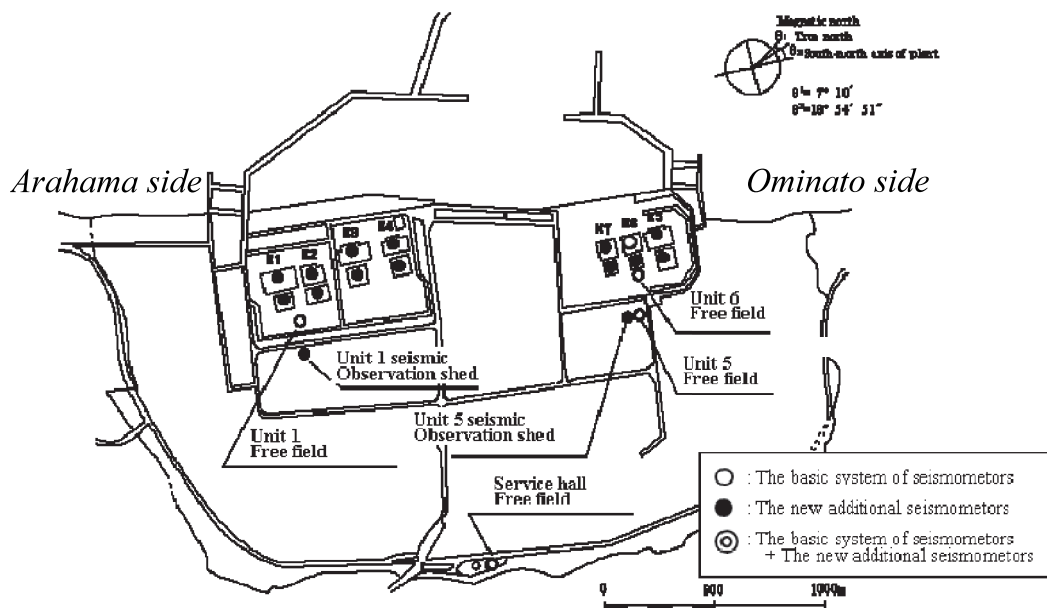


Fig. 1. Distribution of seismic observation points in the Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Plant.

2007年中越沖地震では、地中記録を含む既設地震計の記録が本震後に発生した余震記録の上書きにより消失した。そこで、1号機～7号機原子炉建屋基礎版上に設置される新設地震計の観測記録に基づき、各建屋直下の解放基盤表面（原子力安全委員会（2006）に示される岩盤のせん断波速度が700 m/s以上の値を有する硬質地盤）における地震動の評価を行った。

原子炉建屋の地震応答解析モデルをFig. 2に示す。計算の詳細は西村・他（2009）、真下・他（2009）及び菊池・他（2009）に示されている。通常の計算では、解放基盤位置に地震動を入力し建屋の応答を計算するが、本検討では、基礎版上の記録から解放基盤表面での地震動を逆算することとした。

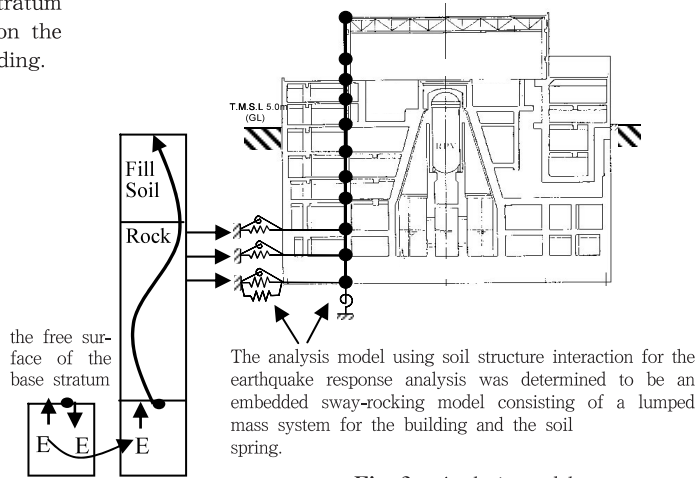
Table 1には、1号機～7号機の推定解放基盤波の最大加速度振幅値を示す。本表に示すように、最大加速度値は各号機ともEW方向の方がNS方向に比べ概ね大きい傾向があること、また、荒浜側（1号～4号）の方が大湊側（5号～7号）に比べ有意に大きいことが分かる。

Fig. 3には、EW方向に関する解放基盤波の加速度時刻歴波形を示す。Fig. 3に示すように、荒浜側と大湊側の地震動には差異が明瞭に認められ、荒浜側の方が有意に地震動レベルが大きいことが分かる。

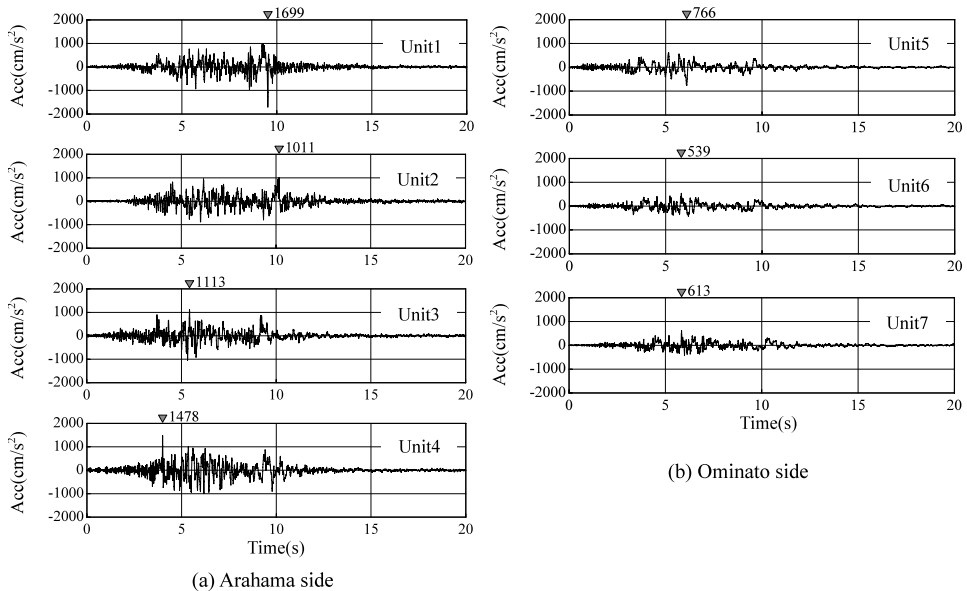
Fig. 4には、加速度波形を積分して求めた速度波形を重ね書いて示す。別途検討（芝，2008）

**Table 1.** Maximum acceleration on the free surface of the base stratum evaluated from the response on the base mat of each reactor building.

	NS (cm/s <sup>2</sup> )	EW (cm/s <sup>2</sup> )
Unit 1	842	
Unit 2	812	1011
Unit 3	994	1113
Unit 4	974	1478
Unit 5	515	766
Unit 6	580	539
Unit 7	667	613



**Fig. 2.** Analysis models



**Fig. 3.** Acceleration waveform on the free surface of the base stratum evaluated from the response on the base mat of each reactor building (EW)

から、中越沖地震の震源は3つのアスペリティーから構成されていることが明らかになっているが、速度波形にもこれに対応した3つのフェーズが明瞭に認められる。解放基盤波の最大加速度値は号機間でばらつきがあるが、Fig. 4に示されるように、荒浜側（1号～4号）と大湊側（5号～7号）で速度波形をグルーピングすると、各グループ内ではほとんど同じ波形となっている。すなわち、荒浜側と大湊側では地震動が有意に異なるものの、荒浜側の各号機及び大湊側の各号

機の地震動は、それほど大きな差異はなかったものと考えられる。

Fig. 5 には解放基盤波の擬似速度応答スペクトルを重ねて示す。本図には、Noda et al. (2002) による応答スペクトルを合わせて示す。なお、Noda et al. (2002) の算定時に内陸補正は考慮しない。これから、中越沖地震の解放基盤波は Noda et al. (2002) の評価値に比べ有意に大きいこと、また、荒浜側 (1号~4号) と大湊側 (5号~7号) では地震動レベルに差異が認められ、荒浜側の方が大きいことが分かる。

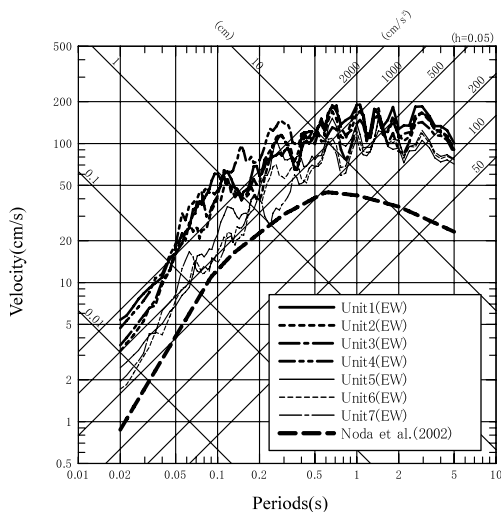


Fig. 5. The response spectra on the free surface of the base stratum evaluated from the response spectra on the base mat of each reactor building (EW)

Fig. 6 には、荒浜側と大湊側の各号機の平均速度応答スペクトルを求め、両者の応答スペクトル比を求めた結果を示す。本図から、各周期で荒浜側の地震動レベルは大湊側より大きく、周期 0.5 秒以下ではおよそ 2 倍程度大きいことが分かる。

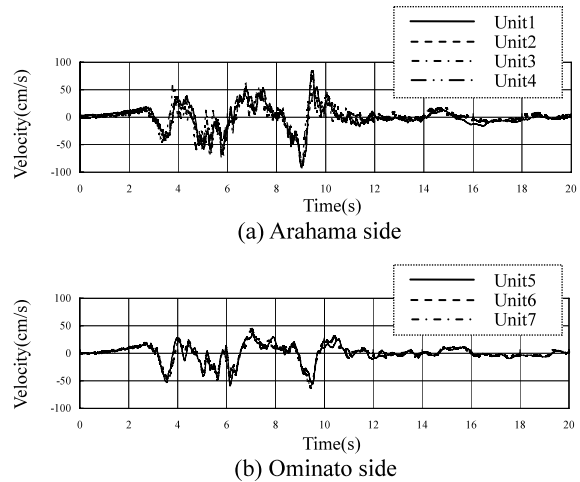


Fig. 4. Velocity waveform on the free surface of the base stratum evaluated from the response on the base mat of each reactor building (EW)

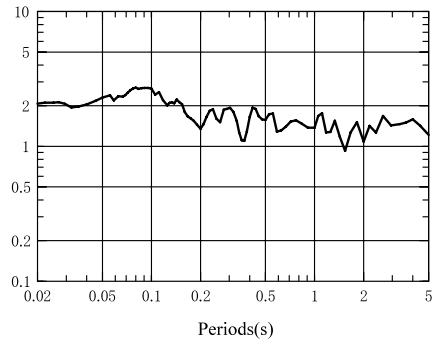


Fig. 6. The spectral ratio between the average response spectra of ground motions on the free surface of the base stratum at Arahama side and Ominato side (EW)

### III. 中越沖地震以外の地震動の評価（発電所構内）

本検討では、発電所構内で観測された中越沖地震以外の地震を対象に、Fig. 1 に示す各観測点の内、敷地南側に位置する1号機地盤系観測点（荒浜側）と、敷地北側に位置する5号機地盤系観測点（大湊側）、さらにサービスホール地盤系の記録から、それぞれ解放基盤波を推定し、Noda et al.(2002) による応答スペクトルとの比較を行うことで、敷地内の観測記録の差異と、地震の発生位置との関係について検討を行った。なお、解放基盤波の推定は、中小地震の地中観測記録に基づき作成した最適化地盤モデルを用いて行った。

検討対象地震は以下の3項目を満たす地震とした。

- ①気象庁マグニチュード5.5以上。
- ②震源距離が200 km程度以内。
- ③解放基盤表面における推定波を求める際に用いる地中記録の最大加速度振幅値（水平成分で大きい方の値）が約1 Gal以上。

以上の条件を満たす地震の諸元をTable 2に、震央分布及びメカニズム解（福山・他，1998）をFig. 7に示す。

Fig. 8にはNoda et al.(2002) に対する解放基盤波の応答スペクトル比を示す。Fig. 8では、海域と陸域を震源とする地震に分けて重ね書いており、海域、陸域を震源とする地震のスペクトル比の平均値も示している。なお、陸域の地震のほとんどが2004年中越沖地震の余震である。また、Fig. 8には2007年中越沖地震の応答スペクトル比を合わせて示す。

Fig. 8から認められることは以下の4点である。

- ①海域を震源とする地震の平均値は、いずれの観測点においても各周期で概ね1倍より大きな値となっている。
- ②詳細に見ると、海域を震源とする地震の平均値は、荒浜側、サービスホール、大湊側の順に小さくなり、大湊側では1に近い値となっている。
- ③陸域を震源とする地震の平均値は、いずれの観測点においても周期1秒よりも短い周期帯域において1倍より小さな値となっている。

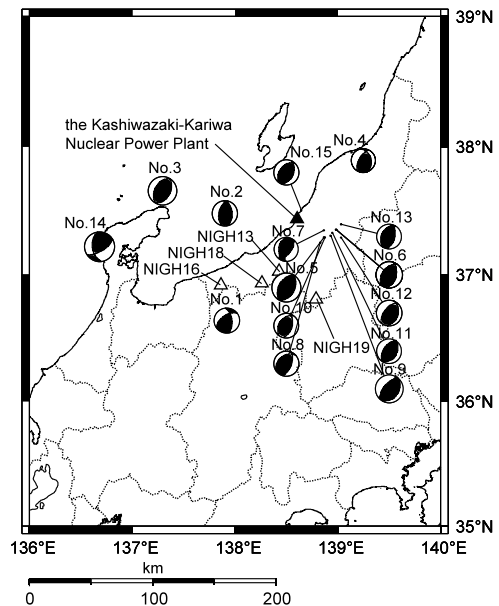


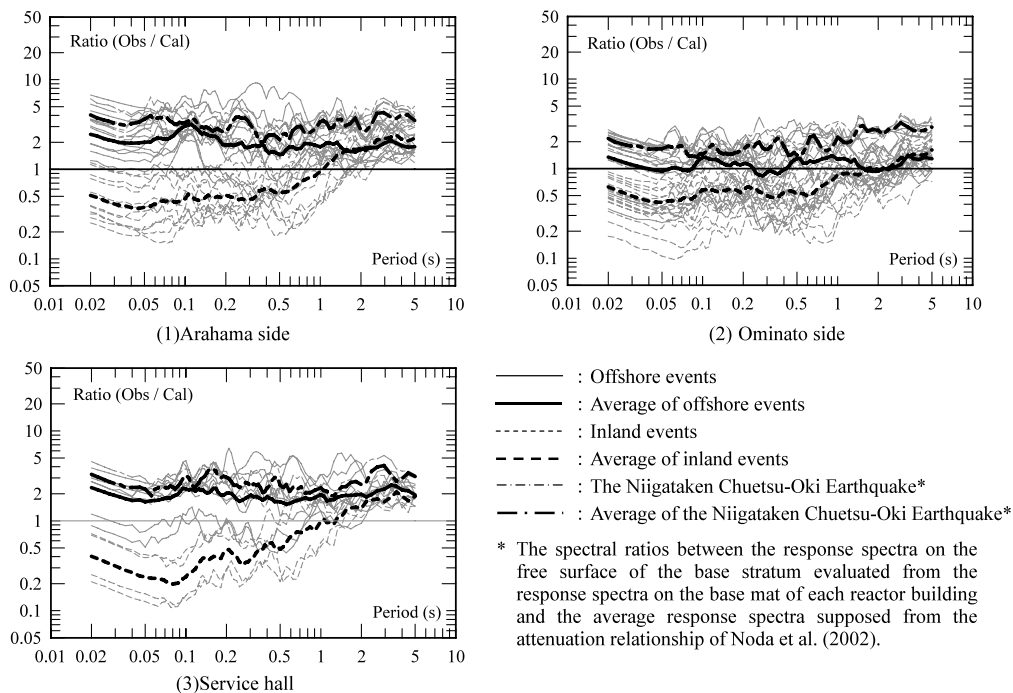
Fig. 7. The distribution of the epicenter of the analyzed event. The number of each event corresponds to the number of Table 2.

④2007年中越沖地震の平均は、海域を震源とする地震の平均に対し更に大きな値となり、海域を震源とする地震の特性が強調され現れている。

**Table. 2.** List of the analyzed event. Parameters are referred from the Japan Meteorological Agency\*. Circle shows the existence of observation records in Unit 1, Unit 5, Service hall free field in Fig. 2. and KiK-net in Fig. 7

No.	Origin Time	Epicenter		Mj	Depth (km)	Existence of the observation record				
		Region name	Longitude			Latitude	Unit1	Unit5	Service hall	KiK-net
1	1986. 12. 30 9:38	NORTHERN NAGANO PREF	137° 55.30'	36° 38.40'	5.9	3.3	○	○	○	
2	1987. 03. 24 21:49	OFF S NIIGATA PREF	137° 54.20'	37° 28.90'	5.9	21.6	○	○	○	
3	1993. 02. 07 22:27	OFF NOTO PENINSULA	137° 17.80'	37° 39.40'	6.6	24.8	○	○	○	
4	1995. 04. 01 12:49	NE NIIGATA PREF	139° 14.88'	37° 53.47'	5.6	16.16	○	○	○	
5	2004. 10. 23 17:56	MID NIIGATA PREF	138° 52.00'	37° 17.60'	6.8	13.08		○		
6	2004. 10. 23 18:3	MID NIIGATA PREF	138° 59.00'	37° 21.20'	6.3	9.38		○		
7	2004. 10. 23 18:7	MID NIIGATA PREF	138° 51.90'	37° 20.90'	5.7	14.9		○		
8	2004. 10. 23 18:11	MID NIIGATA PREF	138° 49.80'	37° 15.20'	6.0	11.52		○		
9	2004. 10. 23 18:34	MID NIIGATA PREF	138° 55.80'	37° 18.40'	6.5	14.17		○		
10	2004. 10. 23 19:45	MID NIIGATA PREF	138° 52.57'	37° 17.74'	5.7	12.35	○	○		○
11	2004. 10. 25 6:4	MID NIIGATA PREF	138° 56.81'	37° 19.80'	5.8	15.2	○	○		○
12	2004. 10. 27 10:40	MID NIIGATA PREF	139° 02.00'	37° 17.51'	6.1	11.6	○	○		○
13	2004. 11. 08 11:15	MID NIIGATA PREF	139° 01.92'	37° 23.76'	5.9	0	○	○		○
14	2007. 03. 25 9:41	OFF NOTO PRENINSULA	136° 41.10'	37° 13.20'	6.9	11	○	○	○	○
15	2007. 07. 16 15:37	OFF JO-CHUETSU NIIGATA PREF	138° 38.60'	37° 30.20'	5.8	11	○	○	○	○

\*The depth of No.15 is referred from Fukuyama et al.(1998).



**Fig. 8.** The spectral ratios between the response spectra of ground motions on the free surface of the base stratum and the average response spectra supposed from the attenuation relationship of Noda et al.(2002).

#### IV. 発電所周辺観測点の地震動の評価

本検討では、III. に示す発電所構内で観測された地震動の方向依存性がサイト周辺の観測点でも認められるかどうか検討することとした。そこで、以下に示す条件を満足する敷地周辺に位置する KiK-net 観測点を対象に地震動特性を評価した。

- ①検討対象とする 2007 年中越沖地震, 2007 年能登半島地震, 2004 年中越地震からの震源距離が 200 km 以内であること。
- ②公開されている地盤情報により S 波速度  $V_s \geq 700$  m/s の地層が確認されている地点であること。
- ③広域地質 (地質調査所, 1982) の条件で第三紀以前の地質条件を満たすこと。

その結果, NIGH 13 (牧), NIGH 16 (糸魚川), NIGH 18 (妙高), NIGH 19 (湯沢) の 4 地点を選定した。観測点の位置を Fig. 7 に合わせて示す。

(2007 年中越沖地震の検討結果)

2007 年中越沖地震を対象として, 上記 4 地点について解放基盤波と Noda et al.(2002) の関係を検討した。なお, 解放基盤波は, 地点毎に求めた最適化地盤モデルを用いて推定した。また, II. の検討同様に Noda et al.(2002) の算定時に内陸補正は考慮しないこととした。

各観測点における観測記録と, Noda et al.(2002) との比を Fig. 9 に示す。NIGH 18 ではやや特性が異なるが, 2007 年中越沖地震では敷地周辺の各観測点においても Noda et al.(2002) との比率が 1 を上回り, 短周期側では概ね 2 倍程度となっていることが分かった。

(2007 年中越沖地震以外の検討結果)

本検討では, III. に示す敷地内の地盤系観測点及び上記 KiK-net 観測点 (4 点) の両方で観測されている陸域を震源とする 4 地震, 海域を震源とする 2 地震を対象に地震動特性を検討した。具体的には Table. 2 に示す No.10~15 地震を対象とした。

各観測点における陸域の地震, 海域の地震の観測記録と Noda et al.(2002) との比, 及びそれぞれの平均的な比を Fig. 10 に示す。ここでは比較のために, 柏崎刈羽原子力発電所構内の記録を用いた検討結果についても併せて示す。Fig. 10 から, 発電所構内で観測された地震動の方向性に依存する特性が NIGH 13, NIGH 16 でもある程度認められることが分かる。一方,

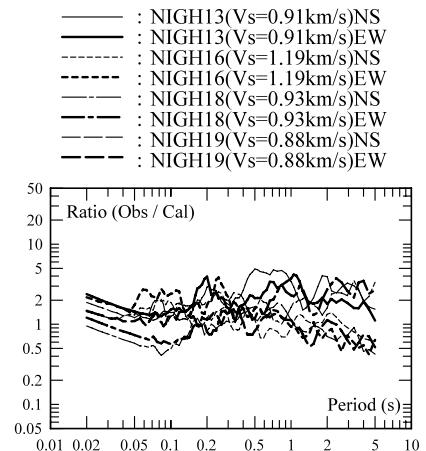


Fig. 9. The spectral ratios between the response spectra of ground motions on the free surface of the base stratum of the Niigata-ken Chuetsu-Oki Earthquake, and the average response spectra supposed from the attenuation relationship of Noda et al.(2002).

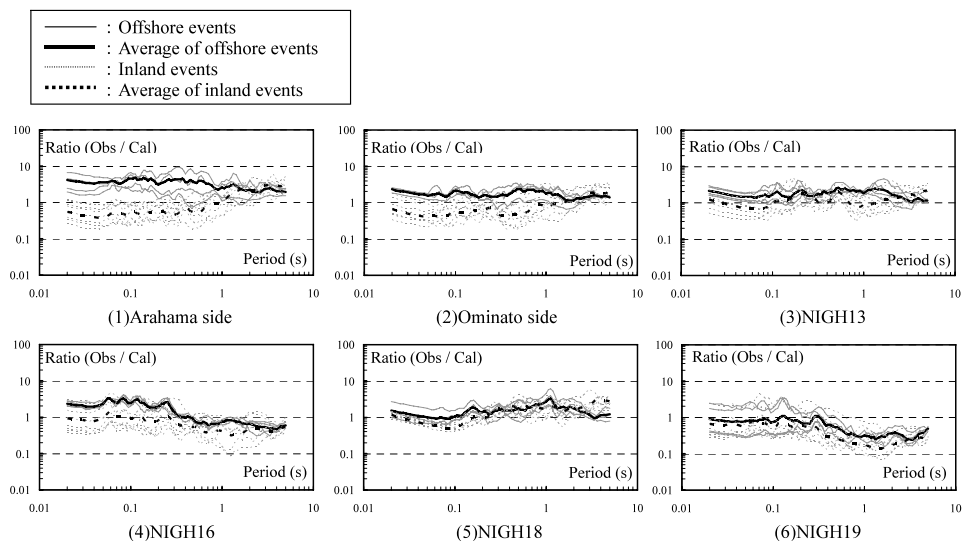


Fig. 10. The spectral ratios between the response spectra of ground motions on the free surface of the base stratum and the average response spectra supposed from the attenuation relationship of Noda et al. (2002).

NIGH 18, NIGH 19 では上記特性が明瞭には表れていないことが分かる。

以上から、敷地内において海域の地震動を大きくし、陸域の地震動を小さくするような何らかの構造は、敷地内に限定されるものではなく、敷地周辺にある程度広がって存在する可能性を示唆するものとする。

## V. ま と め

- ①2007 年中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所構内の地震動は Noda et al.(2002) による応答スペクトルに比べ有意に大きい。
- ②2007 年中越沖地震における荒浜側 (1号～4号)の地震動レベルは、周期 0.5 秒以下で大湊側 (5号～7号)のおおよそ 2 倍程度大きい。
- ③2007 年中越沖地震以外の海域で発生した地震に関しても、構内の観測値は Noda et al.(2002) による応答スペクトルに比べ大きくなる傾向がある。一方、陸域で発生した地震に関しては、Noda et al.(2002) に比べ小さくなる傾向がある。
- ④サイト周辺の観測点においても、ある程度の広がりを持って①及び③に示した傾向が認められる。

## 参 考 文 献

- 地質調査所, 1982. 日本地質アトラス.
- 福山英一・石田瑞穂・D. S. Dreger・川井啓廉, 1998. オンライン広帯域地震波形を用いた完全自動メカニズム決定, 地震Ⅱ, **51**, 149-156 (<http://www.fnet.bosai.go.jp/freesia/index-j.html>).
- 原子力安全委員会, 2006. 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針.
- 菊池政智・土方勝一朗・西村功・真下貢・田中信也・鈴木篤, 2009. 原子炉建屋基礎版上記録に基づく中越沖地震における解放基盤地震動の評価(その3) 小地震記録による妥当性検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 1005-1006.
- 真下貢・土方勝一朗・西村功・菊池政智・田中信也・山口一彦, 2009. 原子炉建屋基礎版上記録に基づく中越沖地震における解放基盤地震動の評価(その2) 本震記録による解放基盤波の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 1003-1004.
- 西村功・土方勝一朗・菊池政智・真下貢・田中信也・小林喜久二, 2009. 原子炉建屋基礎版上記録に基づく中越沖地震における解放基盤地震動の評価(その1) 評価手法の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 1001-1002.
- 芝良昭, 2008. 2007年新潟県中越沖地震の震源過程の解明と広帯域強震動評価, 電力中央研究所報告, 研究報告 N08007.
- Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe, 2002. RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological DATA and Seismic Engineering