

機関番号：14301

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008年 ~ 2010年

課題番号：20560518

研究課題名 (和文) 原子力施設の耐震設計のための基準地震動策定手法に関する研究

研究課題名 (英文) Study on design basis earthquake ground motion for nuclear facilities

研究代表者

釜江 克宏 (KAMAE KATSUHIRO)

京都大学・原子炉実験所・教授

研究者番号：50161196

研究成果の概要 (和文) : 原子力発電所の耐震設計のために新指針において要求された基準地震動の評価手法について検討した。まず、2007年に発生した新潟県中越沖地震 (Mj6.8) 時における東京電力株式会社の柏崎・刈羽原子力発電所 (以下「KK 原子力発電所」と言う。) での観測記録の再現を通じ、震源のモデル化や地震動の伝播特性について解析的検討を実施した。その結果、3つのアスペリティからなる震源モデルを提案するとともに、「強震動予測のレシピ」における震源のモデル化手法 (特性化震源モデル) の有効性や地震波の伝播特性の評価の重要性を指摘した。また、2009年3月に発生した駿河湾の地震時の中部電力株式会社・浜岡原子力発電所における特異な観測記録 (号機によって観測地震動の大きさが顕著に異なる) の分析を目的にまず震源モデルの構築を行った。その結果、スラブ内地震としてのやや高い応力降下量を有するアスペリティの存在を指摘した。その後、敷地内等での微動観測などによって敷地や敷地周辺の地盤構造を調査したが、微動観測からは敷地内の局所的な地盤構造の不均質性は抽出することができなかった。ただ、副次的に駿河湾の地震時の御前崎周辺の揺れ (被害) と表層地盤構造との関係を明らかにした。

研究成果の概要 (英文) : The evaluation approach of the design basis earthquake ground motion demanded in a new regulation for the seismic design of the nuclear plant was examined. First of all, the focus was applied to modeling the source process through the reproduction of the record at the Kashiwazaki and Kariwa nuclear power plant of Tokyo Electric Power Company during the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki Earthquake (Mj6.8), and the analytical examination was executed. As a result, it was able to propose the source model consisting of three asperities, and to point out the importance of the evaluation of the propagation path-effect of the seismic motion from source to site. Moreover, during the earthquake occurred beneath the Suruga bay in March, 2009, a peculiar record (the characteristics of the observed ground motion is remarkably different according to the unit) was obtained in the Hamaoka nuclear power plant of the Chubu Electric Power Co., Inc. The source model was first constructed, and the existence of the asperity that had a little high amount of the stress parameter as the slab earthquake was pointed out. To our regret, we could not clarify the cause of the different observed ground motions between the units from the microtremor measurement on and around the site.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：地震防災、原子力、耐震設計、基準地震動

1. 研究開始当初の背景

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」が平成18年9月に改訂され（以下「新指針」と言う。）、設計の基となる基準地震動の策定手法が高度化され、これまでの経験的な手法に加え、断層モデルによる手法の適用が求められた。そんな中、新潟県中越沖地震（M6.8）が発生し、KK原子力発電所を直撃した。新潟県中越沖地震については、北西-南東方向の圧縮軸を持つ逆断層タイプの地震であることは明らかであるが、海底地震計による臨時観測や陸域での稠密な臨時観測、また3次元地下構造モデルを用いた詳細な余震の震源決定にもかかわらず、地震発生直後には余震分布からは震源断層面が南東落ちか北西落ちかの結論が出なかった。一方、GPSや合成開口レーザ（SAR）による地殻変動からも最終的な結論は得られなかった。このような状況でKK原子力発電所における強震動の生成過程を調べるためには、研究代表者がこれまでに行ってきた震源のフォワードモデリングが1つの重要な手法になると考え適用した。特に活褶曲構造が発達し、複雑な地下構造を有するこの地域での高精度なグリーン関数の評価が困難であることから、経験的グリーン関数法を使ったモデリングが最適であった。研究代表者は1995年兵庫県南部地震への適用など、同手法については先導的な役割を果たし、数多くの地震の震源モデル構築の経験を有していた。また、新指針による基準地震動策定手法として推奨される経験的グリーン関数法の適用性や適用範囲を示す上でも本研究は重要な役割を果たすものと考えた。

2. 研究の目的

1995年兵庫県南部地震以後、震源のモデル化や地震動評価手法など、地震動予測についての地震学及び地震工学に関する新たな知見が蓄積されたことを踏まえ、新指針におい

ても設計用の基準地震動を策定する手法として断層モデルによる方法が明記された。断層モデルに基づく手法は、1995年兵庫県南部地震以後、震源のモデル化から地震動評価、結果の妥当性評価までを含めた枠組みが「強震動予測のためのレシピ」としてまとめられ、文部科学省・地震調査委員会による全国を概観した地震動予測地図の作成や中央防災会議による東南海・南海・東海地震時や首都直下地震時の震度予測や被害予測などに適用されている。このレシピはその後発生した国内外における大地震時の観測記録の再現性などによってその有効性が検証されつつある。そんな中2007年新潟県中越沖地震（Mj6.8）が発生し、柏崎市やその周辺地域で最大震度6強が観測され、家屋の倒壊など甚大な被害が発生した。特に震源近傍に存在した「KK原子力発電所」において非常に大きな地震動（設計の2.5倍）が観測された。この地震によって7機ある原子炉施設の内、稼働中の原子炉はすべて正常に緊急停止し、原子力災害の発生など深刻な事態には至らなかった。しかし、変圧器での火災や微量の放射性物質の漏洩など、原子力発電所にとって世界初の地震被害が発生した。本研究では比較的良質な地盤（岩盤）上に立地する原子力発電所サイトでなぜ被害に結びつく強い地震動が観測されたのか、新指針においてこのような強震動が予測可能なのか、などを観測記録の分析や地震後精力的に実施されている各種調査結果などを参照した解析的検討によって明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

1995年兵庫県南部地震以後、震源のモデル化や地震動評価手法など、地震動予測についての地震学及び地震工学に関する新たな知見が蓄積されたことを踏まえ、新指針においても設計用の基準地震動を策定する手法と

して断層モデルによる方法が明記された。断層モデルに基づく手法は、1995年兵庫県南部地震以後、震源のモデル化から地震動評価、結果の妥当性評価までを含めた枠組みが「強震動予測のためのレシピ」としてまとめられ、文部科学省・地震調査委員会による全国を概観した地震動予測地図の作成や中央防災会議による東南海・南海・東海地震時や首都直下地震時の震度予測や被害予測などに適用されている。このレシピはその後発生した国内外における大地震時の観測記録の再現性などによってその有効性が検証されつつある。そんな中 2007年新潟県中越沖地震 (Mj6.8) が発生し、柏崎市やその周辺地域で最大震度6強が観測され、家屋の倒壊など甚大な被害が発生した。特に震源近傍に存在した「KK 原子力発電所」において非常に大きな地震動 (設計の2.5倍) が観測された。この地震によって7機ある原子炉施設の内、稼働中の原子炉はすべて正常に緊急停止し、原子力災害の発生など深刻な事態には至らなかった。しかし、変圧器での火災や微量の放射性物質の漏洩など、原子力発電所にとって世界初の地震被害が発生した。本研究では比較的良質な地盤 (岩盤) 上に立地する原子力発電所サイトでなぜ被害に結びつく強い地震動が観測されたのか、新指針においてこのような強震動が予測可能なのか、などを観測記録の分析や地震後精力的に実施されている各種調査結果などを参照した解析的検討によって明らかにすることを目的とした。

4. 研究成果

上記研究内容に基づき実施した結果、得られた成果を下記する。

(1) 新潟県中越沖地震時の強震動生成メカニズムを解明するため、まず経験的グリーン関数法によるフォワードモデリングによって震源のモデル化を行い、3つのアスペリティからなる不均質震源モデルを提案した。また、特に柏崎・刈羽原子力発電所の南西側に位置するアスペリティからの地震動の影響が顕著であったが、その原因を3次元有限差分法を用いた理論的シミュレーションによって検討した結果、この地域における深部、浅部の褶曲構造による地震波のフォーカシングが大きな原因であったことを確認した。

(2) 2009年3月の駿河湾の地震時の中部電力株式会社・浜岡原子力発電所における特異な観測記録 (号機によって観測地震動の大きさ

が顕著に異なる) の原因を調べるため、まず震源モデルを構築し、観測記録が地震波の伝播経路の影響によって得られた可能性を考え、地下構造調査の一環として浜岡原子力発電所やその近傍において多点微動観測を実施した。その結果、敷地内でのH/Vスペクトルでは駿河湾の地震で見られた号機 (3号機と5号機) 間における3~4Hzでの地震動特性の違いを確認することができなかったが、敷地周辺での観測データの分析から副次的な成果として、地盤の卓越周期と駿河湾地震時の被害との関係があることを示した。現時点でも地震観測記録の分析や理論的な検討を継続的に実施しているところである。

(3) 2005年新潟県中越沖地震に対して行った震源のモデル化を同様な内陸地殻内地震 (2007年福岡県西方沖地震や2007年能登半島地震) に適用した結果を再検討し、これらの地震も現在用いられているスケーリング則を満足することを示した。なお、本研究の最終年度の最後に2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) が発生し、津波による多数の死者・行方不明者が非常に広い範囲で発生し、また津波による福島第一原子力発電所での事故が加わり、広域災害と原発災害が同時に発生してしまった。研究期間の僅かな時間 (20日間) を使った震源過程に関する分析結果なども今後学会等で発表していきたいと考えている。現時点での解析からは強震動を生成した領域 (ここではアスペリティと呼ぶ) は、陸域に近い深い位置に宮城県沖から茨城県沖にかけての5カ所に存在することなどが得られている。

(4) 新指針では、「震源を特定せず策定する地震動」の評価が要求されており、本研究では地域的な地震規模評価や震源断層モデルによる震源近傍域での地震動評価を行ない、現在指針に適合するとして採用されている地震動レベルの妥当性の検証を行なった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 川辺秀憲、釜江克宏、2007年新潟県中越沖地震 (Mj6.8) の震源のモデル化および3次元地震動シミュレーション、第13回日本地震工学シンポジウム論文集、査読無、DVD収録、2010、1899-1906
- ② 上林宏敏、川辺秀憲、釜江克宏、堆積盆

地における脈動シミュレーションと平行成層近似に基づく速度構造推定手法の適用限界について、第13回日本地震工学シンポジウム論文集、査読無、DVD収録、2010、2430-2437

- ③ 久田嘉章、永野正行、加藤研一、吉村智昭、川辺秀憲、釜江克宏、青井真、早川崇、上林宏敏、境有紀、強震動予測に用いる手法のベンチマークテスト — その1：概要一、第13回日本地震工学シンポジウム論文集、2010、352-356
- ④ 池田隆明、釜江克宏、入倉孝次郎、経験的グリーン関数法を用いた震源のモデル化と地盤の非線形性を考慮した地震動評価 2005年福岡県西方沖の地震と2007年能登半島地震への適用、日本建築学会構造系論文集、査読有、第76巻、2011、印刷中

[学会発表] (計8件)

- ① 川辺秀憲、釜江克宏、2007年新潟県中越沖地震 (Mj6.8) の3次元地震動シミュレーション、日本地球惑星科学連合2009年大会、2009年5月18日、幕張メッセ国際会議場
- ② 川辺秀憲、上林宏敏、釜江克宏、2009年駿河湾の地震 (Mj6.5) の震源のモデル化、日本地震学会2009年度秋季大会、2009年10月21日、京都大学吉田キャンパス
- ③ 上林宏敏、末永浩二、原田怜、川辺秀憲、釜江克宏、御前崎市東部における微動H/Vスペクトル比の空間分布、日本地震学会、2010年10月28日、広島国際会議場
- ④ Kamae, K. and H. Kawabe: Source modeling and strong ground motion simulation of the 2007 Niigataken Chuetsu-Oki earthquake (Mj=6.8) in Japan, 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12-17, 2008.
- ⑤ Uebayashi, H., H. Kawabe, K. Kamae, M. Horike: Behavior of the Microtremor H/V Spectrum and Phase Velocity on the Peripheral and Inversion for Determining Basin Structure, 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12-17, 2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

釜江 克宏 (KAMAE KATSUHIRO)
京都大学・原子炉実験所・教授
研究者番号：50161196

(2) 研究分担者

川辺 秀憲 (KAWABE HIDENORI)
京都大学・原子炉実験所・助教
研究者番号：00346066
上林 宏敏 (UEBAYASHI HIROTOSHI)
京都大学・原子炉実験所・准教授
研究者番号：30300312