

( 続紙 1 )

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	内田 治
論文題目	地盤の不均質性及び非線形性を考慮した地震動空間変動特性と 原子炉建屋の基礎安定性評価		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、原子力発電所・原子炉建屋の耐震安全評価の高度化を目指し、地震動の空間変動特性を稠密な観測網によって得られたデータと数値解析によって定量的に検討するとともに、地震動空間変動の要因となる地盤の不均質性や大地震時の非線形化による影響や原子炉建屋基礎の安定性に与える影響について検討した結果をまとめたもので、5章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、原子炉建屋のような平面的に大きな広がりを持つ基礎への地震入力を考えた場合、地震動の空間変動が建屋の地震応答や基礎の安定性評価に大きく影響するとの観点から、関連する既往の研究を挙げ、本研究の背景、目的、意義を述べている。</p> <p>第2章では、浜岡原子力発電所における稠密な地震観測記録の分析に基づいた地震動空間変動特性を、評価尺度であるコヒーレンスとフーリエ振幅比によって定量的に示すとともに、回帰式によるモデリングを行った。その結果、コヒーレンスは、周波数と距離に強く依存し、距離と周波数の増加と共に低下する傾向があること、また深度が浅いほど顕著であること、ただし、コヒーレンスの低下は一様ではなく、特定の周波数で急激な落ち込みが確認でき、その原因が対象となる深度レベル以浅の地盤増幅特性によることを示した。一方、フーリエ振幅比は距離の増加と共に大きくなり、5 Hz を超えるとほぼ一定になることを示した。また、モデリングの結果は既往の研究とほぼ整合することを示した。</p> <p>第3章では、不均質な地盤にける大地震時の非線形化が地震動空間変動に与える影響について述べている。検討の対象は京都大学原子炉実験所の研究用原子炉 (KUR) 建屋を含む敷地地盤であり、基盤岩までの硬質地盤の S 波速度構造、非線形特性などの諸特性がボーリング調査や各種試験によって得られていること、数値実験に必要な振幅特性や周波数特性の異なる複数の入力地震動が評価されているためである。まず、S 波速度の不均質性を指数型相関関数で表現し、変動係数を変えた 3 種類の 2 次元不均質地盤モデルを作成し、非線形性を考慮した 2 次元有限要素法解析により地震動空間変動特性を数値実験 (モンテカルロシミュレーション) によって検討した。その結果、地盤の非線形性により S 波速度の空間変動が大きくなり、コヒーレンスの周波数の増加に伴う低下が、線形時に比べ大きくなること、コヒーレンスの特定の周波数に対する顕著な落ち込みが無くなることを明らかにした。また、フーリエ振幅比は低周波数帯域で増加する傾向にあり、地盤の不均質性が大きいほど顕著であることを明らかにした。</p>			

第4章では、3章で作成した2次元地盤モデルと原子炉建屋モデルを用い、地盤の不均質性及び非線形性を考慮した数値解析によって原子炉建屋基礎の安定性を定量的に明らかにしている。基礎の安定性は、地盤に発生するせん断応力と地盤の有するせん断強度との比によって表わされるすべり安全率を評価尺度としている。その結果、地盤の不均質性が大きくなるとともに、最小すべり安全率は均質地盤より有意に大きくなり、またそのばらつきも大きくなることを示した。また、入力地震動の振幅レベルを半分にした場合や異なる周波数特性を有する入力地震動を用いた場合に対して数値解析を行った結果、入力地震動の諸特性が最小すべり安全率に与える影響は小さいことを示した。

第5章は結論であり、本論文で得られた結論をまとめるとともに、今後の課題や展望について述べている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、原子炉建屋の耐震安全性評価の高度化を目指し、地震動の空間変動特性を観測データと数値解析によって検討するとともに、地盤の不均質性や非線形化による影響及び原子炉建屋基礎の安定性に与える影響について検討した結果をまとめたもので、得られた主な成果は以下のとおりである。

まず、浜岡原子力発電所における稠密な地震観測記録の分析に基づいた地震動空間変動特性（コヒーレンスとフーリエ振幅比）を定量的に示すとともに、回帰式によるモデリングを行った。その結果、コヒーレンスは、周波数と距離に強く依存し、距離と周波数の増加とともに低下し、深度が浅いほど顕著となること、フーリエ振幅比は距離の増加とともに大きくなり、5 Hz を超えるとほぼ一定になることを示した。また、モデリングの結果は既往の研究とほぼ整合することを示した。

次に、不均質な地盤の非線形化が地震動空間変動に与える影響について、地盤の S 波速度の不均質性を指数型相関関数で表現し、変動係数を変えた 3 種類の 2 次元不均質地盤モデルによる非線形性を考慮した有限要素法解析によって地震動空間変動特性を検討した。その結果、地盤の非線形化により S 波速度の空間変動が大きくなり、周波数の増加に伴うコヒーレンスの低下が線形時に比べ大きくなること、フーリエ振幅比は低周波数帯域で増加する傾向にあり、地盤の不均質性が大きいほど顕著であることを明らかにした。

また、地盤の不均質性及び非線形性を考慮した数値解析によって、原子炉建屋基礎の安定性をすべり安全率（地盤に発生するせん断応力と地盤のせん断強度との比）を評価尺度として検討した。その結果、地盤の不均質性が大きくなるとともに、最小すべり安全率は均質地盤より有意に大きくなり、またそのばらつきも大きくなること、入力地震動の振幅特性や周波数特性が最小すべり安全率に与える影響は小さいことを示した。

以上、本論文は、稠密な観測データや数値実験によって、地盤の不均質性や非線形性が地震動空間変動特性に与える影響を明らかにするとともに、原子炉建屋基礎の地震時安定性を定量的に明らかにしたもので、得られた成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認められる。また、平成 30 年 2 月 21 日に実施した論文内容とそれに関連した諮問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日：平成 31 年 3 月 25 日以降