

氏名	鶴 来 雅 人
生 年 月 日	
本 籍	石 川 県
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 乙 第 256 号
学 位 授 与 の 日 付	2002 年 9 月 30 日
学 位 授 与 の 要 件	論 文 博 士 (学 位 規 則 第 4 条 第 2 項)
学 位 授 与 の 題 目	断 層 モ デ ル に 基 づ く 強 震 度 予 測 の た め の サ イ ト 増 幅 特 性 評 価 手 法 に 関 す る 研 究
論 文 審 査 委 員 (主 査)	北 浦 勝 (工 学 部 ・ 教 授)
論 文 審 査 委 員 (副 査)	松 本 樹 典 (工 学 部 ・ 教 授) 宮 島 昌 克 (工 学 部 ・ 教 授) 古 本 宗 充 (研 究 科 ・ 教 授) 澤 田 純 男 (京 都 大 学 ・ 助 教 授)

学 位 論 文 要 旨

A seismic ground motion is affected by source, path, and site characteristics. A method to estimate site amplification characteristic for strong ground motion prediction based on the fault rupture propagation model is developed in this study.

Firstly, a questionnaire survey is carried out to investigate the distribution of seismic intensity in Osaka prefecture during the 1995 Hyogo-ken Nambu earthquake. The reliable distribution of questionnaire seismic intensity is obtained by the proposed correction method based on the observed strong motions. The effects of source, path and site characteristics on the seismic intensity distribution are examined. The high and low amplification areas on the site effects are shown. The results of this study provide the basic information of site amplification characteristic during an actual earthquake.

Secondary, a new approach to estimate site amplification spectrum is proposed. The site amplification spectrum defined as the ratio of observed seismic spectrum to the 'bed-rock spectrum'. The 'bed-rock spectrum' is calculated by adopting the omega-squared source model, frequency dependent Q-factor, and free-surface effects. This method is applied to evaluate site amplification spectra in Kansai region, Japan. The results are in good agreement with those obtained from other methods.

Finally, a method to estimate increment of seismic intensity due to site amplification characteristic is proposed. A numerical approach and empirical approaches using observed seismic records and result of questionnaire survey are adopted to examine the relationship between site amplification spectra and increment of seismic intensity. As a result, it's clarified that the increment of seismic intensity has correlation with an average of site amplification spectra from 0.4Hz to 7.5Hz. The equation for estimating increment of seismic intensity using the average site amplification spectra is proposed.

震源断層においてどのような破壊が起こったか(震源特性)、生じた波動がどのように伝播したか(伝播経路特性)、地盤構造によって地震波動がどのような影響を受けたか(サイト特性)が強震動に大きく影響する。したがって強震動予測にあたっては、これらの総合特性として観測された地震動の統計的な解析から地震動の大きさを経験的に得ようとする方法と、震源特性・伝播経路特性・サイト特性を個別に評価して行なう方法(その主たるものに断層モデルに基づく強震動予測手法)がある。前者の方法としては最大加速度・最大速度・震度・応答スペクトルといった地震動強度の距離減衰式による方法がある。これら方法は既往地震による平均的な地震動強度を見るには便利な方法であるが、地震固有の震源特性やサイト固有の増幅特性が反映されにくいいため、兵庫県南部地震における「震災の帯」のような現象を説明することはできない。これに対して後者の方法は多くのパラメータを必要とし、またそれを適切に設定するのはやや困難であるが、固有の震源特性・伝播経路特性・サイト特性を考慮した合理的な方法である。昨今ではこの方法の工学的適用を試みる研究が行われるようになり、特に兵庫県南部地震以降は実務にも適用されるようになってきている。また、土木構造物の耐震基準等に関する第二次提言では、「内陸活断層によるレベル2地震動は、活断層を同定するとともに、その震源メカニズムを想定することにより定めることを基本とする。」とされており、今後は震源特性・伝播経路特性・サイト特性を個別に評価した上で地震動を予測することが主流となることが考えられる。

そこで、本研究では固有の震源特性・伝播経路特性・サイト特性を考慮した合理的な地震動予測手法を開発するために、これら3特性のうちサイト特性の評価手法を提案しその適用性を検討した。

第1章では、強震動予測手法および地震動の構成要素である震源特性・伝播経路特性・サイト特性評価手法の現状と課題についてまとめるとともに、本研究の位置付けについて言及した。

第2章では実地震におけるサイト増幅特性の特徴を把握することを目的に、1995年兵庫県南部地震の大阪府域を対象にアンケート震度調査を実施し、その震度分布を求めた。その結果、高震度域が府北部に集中して見られること、堺市北西部・松原市・藤井寺市などではその周辺地域に比べ震度の低い地域が広がっていること、が明らかとなった。

得られた結果の信頼性を確認するため、地震観測記録から得られる計測震度と比較をした結果、岩盤観測点を除いてアンケート震度は計測震度より0.8程度小さく評価されていることが明らかとなった。しかし、この点を補正すれば計測震度との対応が非常に良いことがわかった。さらに、他機関が実施したアンケート震度調査と重複して実施された地域について、得られたアンケート震度を比較した。その結果、先に示した計測震度との平均的な差を考慮すれば、他機関によるアンケート震度と整合性のある結果が得られることが明らかとなった。これらの結果を踏まえ、アンケート震度に0.8を加えることにより大阪府域における補正アンケート震度分布を求めた。

続いて、得られた震度分布の特徴を明らかにする目的で、みかけの震源特性・伝播経路特性およびサイト増幅特性を分離・評価した。その結果、断層破壊伝播による指向性の影響が大きい地域を抽出することができた。また、平均的な震度より高震度域すなわ

ちサイト増幅特性の大きい地域、および平均的な震度より低震度域すなわちサイト増幅特性が小さい地域を抽出した(図1)。これらの結果は表層地質や沖積層厚分布と定性的には概ね整合する。最後に、断層モデルに基づく地震動シミュレーションを行ない、アンケート震度調査から分離・評価したサイト増幅特性の妥当性を確認した。

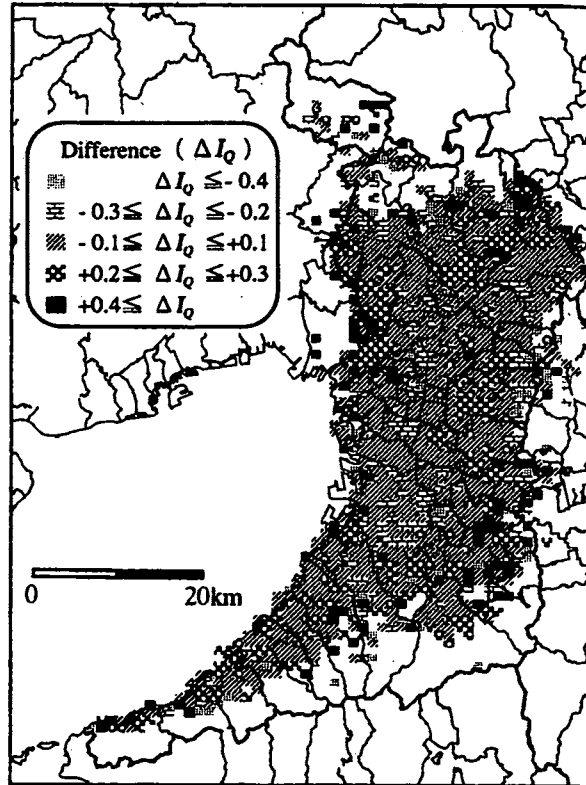


Fig.1 Site amplification factor (ΔI_0) from questionnaire survey.

第3章では、地震観測記録から震源特性および伝播経路特性を取り除くことによりサイト増幅スペクトルを評価する新たな方法を提案し、関西地域における地震観測網に対して適用した。その結果、震源特性が ω^{-2} 則に従うと仮定し、伝播経路特性が観測記録のスペクトルインバージョン解析等によって推定されていれば、各地点における観測記録を用いて比較的容易にサイト増幅スペクトルが評価できることが明らかとなった(図2)。

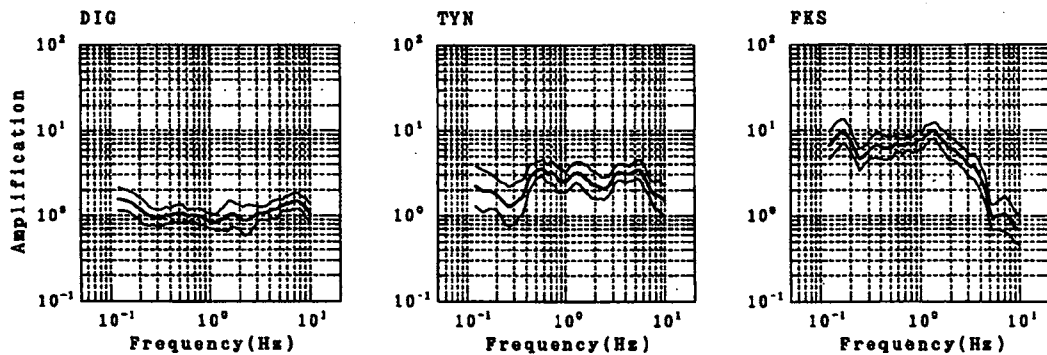


Fig.2 Example of site amplification spectra.

(Left : Rock site, Center : Diluvium site, Right : Alluvium site)

さらに、既往の手法や研究成果との比較を行なうことにより、提案手法の適用性を確認した。また、岩盤とされている観測点においても地表面付近における岩盤の風化に起因すると考えられる増幅が認められ、提案手法を用いれば岩盤観測点におけるサイト増幅スペクトルも評価できることを示した。

得られた結果は統計的グリーン関数重ね合わせ法やハイブリッド法を用いた地震動（波形およびスペクトル）の予測に際し、サイト増幅スペクトルを評価する上で有効な手法と考えられる。

第4章では、サイト増幅特性による震度の増加量をサイト増幅スペクトルから推定する方法を開発することを目的に諸検討を行った。計測震度はその算出式から考えると、「波形の振幅が10倍大きくなると震度が2大きくなる」性質を持つ。そこで、数値解析的な検討・観測記録を用いた経験的な検討およびアンケート震度調査結果に基づく検討を行なうことにより、この性質を最もよく表現するサイト増幅スペクトルに関わる指標を見出すこととした。ここでは、サイト増幅スペクトルのある周波数範囲の平均値をその指標とし、その着目周波数範囲について検討した。その結果、数値解析的検討からは0.4~7.0Hzが、経験的検討からは0.4~7.5Hzが、アンケート震度調査結果に基づく検討からは0.4~9.0Hzが抽出された。着目周波数範囲の下限値はこれらの検討ですべて0.4Hzとなっている。一方、上限値は、数値解析的検討と経験的検討ではほぼ同等であるが、アンケート震度調査結果に基づく検討ではより高い周波数となっている。この原因は、震度の定義の違いである可能性がある。すなわちアンケート震度は計測震度に較べて高周波数域の成分に敏感であることを示唆するものであると考えられる。

最後にこれらの検討結果を踏まえ、総合的に最適な周波数範囲を検討した。その結果、「サイト増幅スペクトルの0.4~7.5Hzに着目した場合、その平均値と震度増加量の相関が良いこと」が明らかとなり、この平均値からサイトにおける震度増加量を推定する式を提案した（図3）。この提案式は工学上重要となる近距離の比較的規模の大きな地震に対しては十分適用可能である。遠距離地震や近距離小規模地震に対して適用するのは困

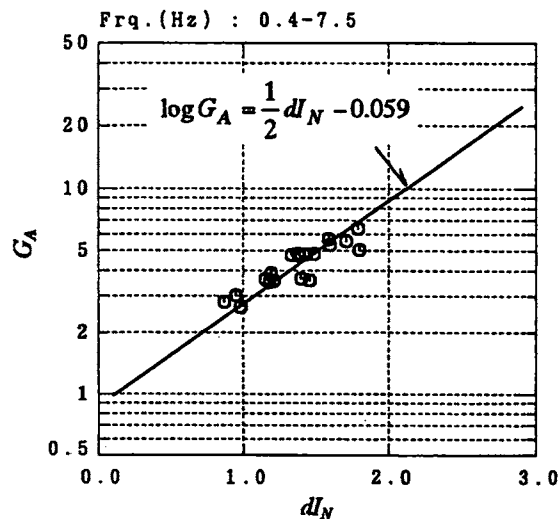


Fig.3 Relationship between average of site amplification spectra from 0.4 to 7.5Hz (G_A) and increment of seismic intensity by numerical approach (dI_N).

難であるが、このような地震は震度が小さく実用上問題はないと考えられる。

得られた震度増加量予測式は、自治体等の震度予測図の作成およびそれに基づく被害想定等に際し有益な情報を提供するものと期待される。

学位論文審査結果の要旨

本学位論文に関し、平成14年8月1日に第1回審査会を開催、面接審査を行った後、論文の内容について検討した。また、専門5科目に関して試問した。さらに、8月6日に行われた口頭発表の後に第2回審査会を開き、協議の結果、以下のように判定した。

強震動には震源特性、伝播経路特性、サイト特性が大きく影響する。本論文はこれら3特性のうちのサイト増幅特性の評価手法を提案し、その適用性を検討したものである。

まず1995年兵庫県南部地震の被災地域にアンケート震度調査を実施した。得られた結果から、断層破壊伝播による指向性の影響が大きい地域、サイト増幅特性の大きい地域・小さい地域を明らかにした。また、断層モデルに基づく地震動シミュレーションを行ない、抽出の妥当性を論じている。

つぎに特定サイトを対象とした強震動予測を行なうために必要な、サイト増幅スペクトルを評価する新たな方法を提案した。この手法を関西地域の地震観測網に適用し、既往の手法や研究成果との比較を行なうことにより、提案手法の適用性を確認している。

さらに、サイト増幅特性の数値解析的な検討、観測記録を用いた経験的な検討およびアンケート震度調査結果に基づく検討を行った。その結果、サイト増幅スペクトルの平均値と震度増加量の相関が良いことがわかり、両者を結びつける式を提案している。

以上の研究成果は、サイト増幅特性の評価手法開発に貢献しており、実際上の価値が認められるので、本申請者は博士（工学）の学位を受けるに値する、と判定した。