

氏 名	かわ	せ	ひろし
	川	瀬	博
学位の種類	工 学 博 士		
学位記番号	論 工 博 第 2401 号		
学位授与の日付	平 成 2 年 9 月 25 日		
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当		
学位論文題目	Effects of Topography and Subsurface Irregularities on Strong Ground Motion (強震動に対する地形および地層の不整形性の影響)		
論文調査委員	(主 査) 教 授 南井良一郎	教 授 中村恒善	教 授 金 彗 潔

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、地形や不整形地層構造が強震動に与える影響に関し、適切な解析手法の提案と最近の地震被害地域への適用例、及びその震害原因に関する考察について述べたものであり、6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的及び各章の概要を述べている。

第2章では、境界要素法と離散波数グリーン関数を結合した離散波数境界要素法の基本理論を述べている。まず境界要素法の基礎式を弾性波動場の表現定理に基づき提示している。次に既往の波数積分法より効率がよい離散波数法を用いて、2次元並びに3次元の全無限及び半無限弾性地盤のグリーン関数を統一的に求めている。さらに、特異点を含む場合に常に困難が伴う要素積分も解析的に実行できることを示している。これらにより、任意の境界形状をモデル化でき、解析効率並びに精度の高い、不整形地盤解析手法が得られたとしている。

第3章では、離散波数境界要素法を半円筒形の谷地形及び山地形に対して適用し、既往の解と比較してその精度を確認した後、時刻歴波形により波動散乱現象について考察している。半円筒形の谷地形では、谷の表面にそって回折波が伝播することを明らかにすると共に、定常応答振幅の空間分布と時刻歴波形の最大値分布とを比較検討し、定常応答振幅の変動の意味を明らかにしている。

第4章では、離散波数境界要素法を現実の丘陵地に対して適用し、1987年の Whittier Narrows 地震において見られた集中的被害を説明している。まず、この地震の主な被害は震源域ではなく、震央より10 Km 程度離れた Puente 丘陵の裾野に集中していたことから、Puente 丘陵に入射した SV 波動によって多大な被害が発生したとの仮説を立て、地震波エネルギーの卓越方向から、SV 波入射という仮定は妥当であるとしている。次に Puente 丘陵の形状に基づき、高さ300 m、幅2,400 m の丘陵モデルを考え、これに平面 SV 波及び線加振源あるいは断層震源からの放射波が入射した場合の地動増幅特性を、提案手法により求めている。解析の結果いずれの入射波に対しても、震源と反対側の丘の裾野部分で、平坦な場合の地動速度の1.5~1.9倍の増幅が得られている。丘陵近くの観測点での最大速度とこの増幅倍率から被害地域の最大速度を推定すると 25cm/sec 以上となり、丘陵地形に起因する地動増幅が被害集中の原因である

可能性が高いことを指摘している。

第5章では、離散波数境界要素法を幅10 Kmの堆積盆地モデルに適用し、1985年のMexico地震においてMexico市で観測された強震動の非常に長い継続時間を説明すべく解析を試みている。Mexico市の軟弱表層は地震動の卓越振動数に大きな影響を与えているものの、その平行成層モデルでは観測された継続時間を再現できないことを観測と理論との比較結果から結論づけている。そのため、まず深い堆積層構造が地動継続時間に与える影響を厚さ1 Km、幅10 Kmの堆積盆地モデルにより求めている。この結果、SH波、SV波、P波、レーリー波入射のいずれの場合も表面波が発生し層内を伝播するが、その継続時間は20秒程度であるとしている。次に、この堆積盆地の上部にさらに軟弱な表層を考慮して応答を求めた結果、非常に遅い速度で伝播する表面波によって80秒以上の継続時間で地盤が震動し続けることが明らかにされている。観測された継続時間特性を再現できることから、この地層構造による増幅がMexico市内に多大な被害をもたらした原因を説明できる有力な候補であるとしている。

第6章は結論であって、本研究の各章の内容と得られた結論をまとめ、今後の課題について述べている。

### 論文審査の結果の要旨

近年、観測された強震動特性は局所的あるいは地域的に不整形な地形や地層構造の影響を強く受けていることが認識されるようになり、その影響を考慮した強震動の評価が要請されるようになってきている。特に、軟弱で厚い堆積層上に立地する日本の大都市における地震被害の予測と被害軽減のためには、不整形な地層構造のもたらす影響の的確な評価が不可欠である。本論文は、不整形地盤に適した新たな解析手法の提案と、その手法を単純な地形及び実際の被害地の地形に適用して得られた、不整形地盤の震動特性に関する知見をまとめたもので、得られた主要な研究成果を列記すれば以下のとおりである。

1. 境界要素法と離散波数グリーン関数を結合することにより、離散波数境界要素法を提案している。この手法は、任意の境界形状をモデル化でき、解析効率と精度が高いものとなっており、不整形地盤の震動解析を広い振動数範囲で行うことを容易にしている。

2. 半円筒形の谷地形と山地形を対象に、SH波、SV波、P波及びレーリー波の単純な狭帯域の入射波動による地表面上の各点の時刻歴波形を求め、波動の散乱に及ぼす入射波の種類や入射角の影響について明らかにしている。また、回折波発生の様相やSH波場とSV波場との差異を明らかにし、地震被害分布と地形との関係を論ずる際の基礎的資料を提供している。さらに、定常応答振幅の空間分布と時刻歴応答波形の最大値分布とは一般に対応しないことから、波動散乱現象を考察する上で時間領域の応答が重要であることを明らかにしている。

3. 1987年のWhittier Narrows地震において震央から10 Km程度離れたところにあるPuente丘陵の裾野地域に見られた集中的被害を説明するため、実際の丘陵の形状に基づいた地盤モデルに地震波が入射したときの地表面の震動特性について調べ、入射波の種類や卓越振動数に依らず、震源と反対側の裾野部分で1.5~1.9倍の増幅域が発生することを明らかにした。その結果から、この集中的被害はPuente丘陵の地形によって引き起こされた可能性が濃厚であることを指摘している。すなわち、非常になだらかな丘陵であっても震源との相対的位置関係によって異常増幅域の生ずることを明らかにしたことは、将来の地

震被害防止の観点から有意義である。

4. 1985年の Mexico 地震において Mexico 市で観測された強震動の非常に長い継続時間は、平行成層モデルでは再現不可能であることをまず明らかにしている。また、深い堆積層モデルを解析し、その継続時間延伸効果は観測結果に比べ不十分であることを指摘している。さらに、深い盆地構造の表面に軟弱表層を加えた地盤モデルについて解析した結果、非常に遅い速度で伝播する表面波によって観測地震動に匹敵する80秒以上の継続時間で軟弱地盤が震動することを見出し、観測された継続時間及びそれによる多大な被害はこのような地盤構造によって引き起こされた可能性が濃厚であることを指摘している。これは、従来考えられてきたようにある地点の応答が、その地点近傍の地盤構造だけに依存するとは言えず、広い地域の地盤構造によっても強く影響されることを明らかにしたという点で重要である。

以上要するに、本論文は、不整形地盤に適した解析手法を提案し、震害の集中が見られた実際の地盤構造に適用することにより、震害原因に及ぼす不整形地盤構造の影響について考察し、地震工学上有用な多くの知見を得たものであって、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

よって本論文は、工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また平成2年6月29日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。