

氏名・(本籍)	きの 木	した 下	しげ 繁	お 夫
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	理	第	857	号
学位授与年月日	昭和62年4月30日			
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当			
最終学歴	昭和49年3月 電気通信大学大学院電気通信研究科 (修士課程) 物理工学専攻修了			
学位論文題目	深層井観測により推定された厚い堆積層の地震応答特性			
論文審査委員	(主査) 教授 高木章雄			
			教授 平澤朋郎	
			教授 浜口博之	
			助教授 長谷川昭	

論 文 目 次

1. 序
 - 1.1 本研究の目的
 - 1.2 既往の調査研究の概要
2. 深層井観測
 - 2.1 首都圏における堆積層－基盤系
 - 2.2 深層井観測の概要
 - 2.3 基盤地震動特性
3. 堆積層の地震応答 (I)
 - 3.1 堆積層における S 波の減衰特性
 - 3.2 堆積層における短周期 S 波の増幅特性
4. 堆積層の地震応答 (II)
 - 4.1 傾斜基盤上面における全反射

4.2 全反射伝播波の特性

5. 結 論

付 録 地盤応答推定法

A 平行多層地盤の観測系

B 伝達関数推定法

C 地盤における減衰特性推定法

D 全反射に伴う位相歪みと遅れ時間推定法

E 見掛け速度推定法

参考文献

論文内容要旨

首都圏における強震動特性の中で、現在最も問題となっていることの一つは、先第三紀基盤上の厚さ数 km に及ぶ堆積層の影響である。この論文では、堆積層の地震応答特性を、その孔底が基盤内に達する 3 深層井〔岩槻(深度3,510 m)；下総(深度2,300 m)；府中(深度2,750 m)〕を中心とする群列観測に基づいて推定し、出来る限り実用的な形にまとめた。特にこれ迄明らかでなかった首都圏中央部における基盤地震動のスペクトル特性と堆積層における S 波の内部減衰特性を量的に扱える様にした。

第 1 章では、首都圏堆積層の地震応答に関する歴史的背景について触れた。首都圏堆積層の地震応答に関する研究は、1970年代半ばから本格化したものであり、本研究も過去10年に行われた多くの研究成果を土台にしている。

第 2 章では、まず、2.1で首都圏における堆積層—基盤系の構造的特徴を深層井を利用して行われた連続検層結果に基づいて述べた。首都圏中央部において、音波速度と音響インピーダンスは、堆積層内で地表から基盤に至る迄深さとともにほぼ直線的に増加し、基盤に至って階段状に変化する特徴を持っている。即ち、堆積層と基盤の境界は、弾性論的にみて、堆積層内では見ることの出来ない明瞭な識別境界となる。

2.2では、3 深層井を含む鉛直地震観測と地表面での多点観測を加えた府中地域での群列観測について述べた。基盤内から地表に至る鉛直群列観測は、堆積層の 1 次元的な応答特性を直接測定することを目的としたものである。また、府中地域での 3 次元的な群列観測は、この地域に見られる分散性を有する地震波の生成過程を測定することを目的としたものである。

2.3では、深層井加速度記録の水平成分を用いて、基盤地振動の非減衰速度応答スペクトル(フーリエ振幅スペクトルの上限)特性に関する経験式を作成した。結果として、首都圏中央部の基盤地振動を適正に評価するためには、概ね、火山フロントを境界として、その東側に発生するやや深い地震(カテゴリー I の地震)と境界周辺及びその西側で発生する浅い地震(カテゴリー II の地震)に対応して、2 種類の経験式が必要であることが判明した。

第 3 章では、基盤での入射角が大きくなり、堆積層を平行多層近似で扱える場合について、堆積層の応答特性を決定する方法を述べた。堆積層の速度構造が既知の場合、その応答特性を評価するためには、堆積層における地震波の内部減衰特性が必要である。このため、3.1では、堆積層における S 波の内部減衰特性を推定した。まず、減衰特性の推定に、千葉県中部地震及び茨城県沖地震の記録が解析に都合の良い性質を持っていることを述べ、次いで、これらの地震の記録を用いて、2 種類の方法で減衰特性を推定する。堆積層における S 波の内部減衰特性は、 $f=0.1\sim 3$ Hz 程度の範囲で、 $Q=50f$ が第 1 近似として妥当であるという結果が得られた。

$f=0.1\sim 1$ Hz 程度の周波数域では、推定された Q 特性と堆積層での推定速度構造を用いることにより、観測事実を満足させる増幅特性を得ることが出来る。しかしながら、 $f=1\sim 10$ Hz 程度の周波数域では、観測事実と計算される増幅特性との適合が、生の増幅特性ではその山谷が

激しく困難となる。このため、3.2では、2.3で作成した基盤での非減衰速度応答スペクトルの経験式に基づいて基盤強震動特性を予測し、これと地表強震記録のスペクトル特性とを比較し、その統計的平均で堆積層の増幅特性を評価する方法を提案した。実際に、首都圏の多くの地表での強震記録にこの方法を用いて、 $f=1\sim 10$ Hz程度の周波数域で、SH波による増幅特性が支配的となる安定した堆積層の平均的増幅特性が得られることを確認した。推定された平均的増幅特性の最大値は、10~40の範囲であった。

第4章では、基盤での入射角が大きく、堆積層と基盤の境界で2次的に発生するSH波による堆積層の応答について述べた。地表での強震動継続時間は、この種の波の連続的な発生により引き延ばされるため重要な堆積層の応答となる。特に、首都圏で見られる最も基本的な形態は、地表及び傾斜基盤上面で連続して全反射しながらdown-dipの方向へ堆積層内を伝播するSH波のパルス列である。

4.1では、まず、このような伝播形態が、山梨県東部から神奈川県西部に至る地域に震源を持つ地震において得られることを、府中地域での群列観測記録に基づいて例示した。次いで、基盤上面での全反射波が入射波とそのヒルベルト変換波で合成されることを利用して、観測事実が説明出来ることを示した。

4.2では、このような伝播形態を示すSHパルス列がラブ波的な卓越波となることを周波数一波数スペクトルから推定される分散特性により示した。

第5章では、本研究のまとめを列記した。

なお、本研究では、観測記録から地盤の応答特性を推定する技法をいくつか案出した。付録章では、SH系の地震波について、これらの推定技法をまとめた。

付録A~Cでは、半無限弾性体上の平行多層地盤を対象として、斜め入射するSH波について、鉛直方向の同時観測記録の取扱いについて述べた。初めに、付録Aでは、地中(最下層)―地表観測記録の時系列モデルを作成した。これは、SH波に対する伝達関数を z 変換を用いて表現することから得られたものであり、格子型フィルタの1つである全極型逆フィルタを用いて等価表現される。

付録Bでは、付録Aで作成した時系列モデルのパラメータを推定し、伝達関数を得るための方法をケプストラム解析法と最尤法の2つについて述べた。地表下数100 m程度の浅い地盤に対して、適当な“切れ”を持った伝達関数が最尤法により推定されることも実例により示した。

付録Cでは、厚い堆積層を対象として、深層井記録を用いる内部減衰特性推定法について述べた。これは、深層井記録の中で、直達波とその地表からの反射波が分離して得られることに基づくものである。内部減衰特性は、直達波と反射波の比較により推定される。

付録Dでは、基盤上面で連続して全反射したSHパルス列を対象として、各全反射に伴う位相歪みと、各パルス間の時間々隔を推定する方法について述べた。

付録Eでは、伝播性波動の解析で最も基本的な役割りを果たす周波数一波数スペクトルを複素形式の全零型予測誤差フィルタを用いて推定する方法について述べた。付録D及びEは、第4

章での解析に利用されている。

本論文で述べた結果は、首都圏における数多くの強震計の活用範囲を有意に拡大するものと思われる。また、今後引き続いて考察せねばならない課題としては、堆積層表面波の生成過程を首都圏中央部での観測事実が説明可能となる様に構築することが最も重要と思われる。

論文審査の結果の要旨

我が国首都圏直下には厚さ数 km に及ぶ堆積層が存在しているが、大地震の際の地表面の震動はこの堆積層の地震応答特性に強く依存している。よって地震動災害軽減のためにはこの堆積層の動的な振舞を知る事が重要である。

本論文は堆積層直下の深さ 2300 m, 2750 m, 3510 m に設置された 3ヶ所の深層井地震計を中心とした強震観測により堆積層の地震応答を詳細に解析したものである。

最初に地表面の強震記録から堆積層の地震応答を評価するためには堆積層への入力となる基盤地震動特性を策定する必要がある、マグニチュードと震源距離をパラメータとする平均応答スペクトル評価式を用いて、震源域の異なる 2 地域についての経験式を得た。1つは火山フロント東側の深い地震、他の 1つは火山フロント周辺およびその西側の浅い地震を対象としたものである。さらにこの結果を用い、0.2秒から 2 秒の短周期範囲で堆積層における平均的増巾度を推定することを可能とした。その結果増巾特性としての最大倍率は 10~40 程度の範囲であることを確めた。

また深層井および地表の地震記録から堆積層における S 波の内部減衰特性を求めた。S 波の Q は 0.1~3 Hz の周波数域で $Q=50f$ の近似解を得た。これによって基盤と堆積層の速度構造が既知の地域では SH 波に対する実用的な伝達関数を評価することを可能とした。

最後に、著者は堆積層と基盤の境界で二次的に発生し、かつ堆積層内を伝播する波動は地表での強震動継続時間を引き延ばす傾向を示すことに着目し、その性質を知るため、府中にて小規模群列観測を行い伝播性波動を確認した。

以上の如く著者は深層井地震計の観測記録を解析し首都圏直下の堆積層の地震動特性について新しい知見を得、地表における強震動研究に有益な貢献をしたものである。これは木下繁夫が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって、木下繁夫提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。