

|             |                      |        |          |         |
|-------------|----------------------|--------|----------|---------|
| 氏 名         | し<br>ぼ               | や<br>谷 | じゅん<br>純 | いち<br>一 |
| 授 与 学 位     | 工                    | 学      | 博        | 士       |
| 学位授与年月日     | 昭和 60 年 9 月 11 日     |        |          |         |
| 学位授与の根拠法規   | 学位規則第 5 条第 2 項       |        |          |         |
| 最 終 学 歴     | 昭和 44 年 3 月          |        |          |         |
|             | 東北大学大学院工学研究科建築学専攻    |        |          |         |
|             | 修士課程修了               |        |          |         |
| 学 位 論 文 題 目 | 地盤構造と強震動の破壊力特性に関する研究 |        |          |         |
| 論 文 審 査 委 員 | 東北大学教授               | 志賀     | 敏男       | 東北大学教授  |
|             |                      |        |          | 内山 和夫   |
|             | 東北大学教授               | 和泉     | 正哲       |         |

## 論 文 内 容 要 旨

地震時の地盤の揺れ方、すなわち地震動の強さと性質が、市・町程度の広がりをもつ地域の中でも、地盤条件のちがいによって大きく異なることは、過去の地震における被害建物の分布、近年の地盤震動の研究等から知られている。しかし、大地震時の強震動が、地域内の種々の地盤上で観測された例が殆どないこともあって、地盤条件と強震動の強さ・性質との量的な関係については、あまり明らかにされていない。ましてや、地盤条件と強震動が建築物に与える破壊力との量的な関係となると、未開拓ともいえる状態にある。

このような地盤条件と強震動の強さ・性質との関係、さらに、強震動が建築物に与える破壊力との関係を量的に明らかにすることは、都市の震害危険度予測や建築物の耐震設計の合理化上、解決されねばならない重要な研究課題の一つとしてあげられる。

本研究の目的は、仙台市地域をケース・スタディの対象として選び、(1)種々の地盤について行なわれている地震動観測の記録を利用して、地域の表層地盤及び第三紀層を含むやや深い地盤のモデル化を行ない、地盤構造と地震動の特性との関係を実証的に明らかにすること。(2)この地盤構造モデルを基に、地域の種々の地盤における強震動を予測し、これらの強震動が建築物に与える破壊力の解析と評価を行ない、地盤構造と強震動の破壊力特性との定量的な関係を明らかにすること、以上の2点である。仙台市地域を対象として選んだ主な理由は、1978年宮城県沖地震により被災し、その震害調査資料が豊富であること、この地震以後、種々の地盤条件の地点で地震動観測が実施さ

れ、多数の記録が得られていること等である。

本論文は、全編6章より構成されている。

## 第1章 序 論

本研究の目的、意義、研究方法を述べるとともに、本研究に関連する既往の研究について、その成果と問題点を整理している。

## 第2章 1978年宮城県沖地震における建築物の被害分布とその強震計記録

1978年宮城県沖地震における建築物の被害分布とその強震計記録についての検討から、地盤条件が強震動の強さ・性質に及ぼす影響について検討した結果を示している。

先ず、1978年宮城県沖地震の際にみられた、仙台市地域における建築物の構造別被害分布と地形・地盤条件との関係についての検討から、被害建物の多くが沖積地盤地域に偏っていたこと、構造の種別によって被害集中地域にやや差がみられたことなどを実例として示し、地盤条件が強震動の破壊力の強さと性質に大きな影響を与えていることを明らかにしている。

次に、この地震の際に、震央距離がほぼ等しいとみなせる、仙台市とその周辺地域における相異なる地盤上の4地点で得られた、強震計記録の特性についての比較検討から、強震動のエネルギーやスペクトルの性質には、表層地盤のみならず、第三紀層のやや深い地盤の影響もみられることを明らかにしている。

## 第3章 仙台市地域の種々の地盤における地震動観測

本研究で記録を利用した仙台市地域における10地点の地震動観測について、観測の方法、観測点の地形・地盤状況を示すとともに、得られた数十gal程度の観測記録の特性について比較検討した結果を示している。

沖積地盤上の記録の最大加速度は、岩盤上の記録に対して、平均1.5～2倍の値となっていること、沖積地盤上の記録のスペクトルには、表層の軟弱地盤による0.2～0.5秒の短周期域に優勢なピークがみられるのに対し、洪積地盤上の記録では、深い地盤による周期1秒付近のピークが卓越することなどを示し、それぞれの観測点での記録に、地盤条件に応じた固有の地震動特性がみられることを明らかにしている。

## 第4章 観測記録に基づく地域の地盤構造の推定

第3章に示した観測点で得られた地表、あるいは地表・地中同時観測の記録を利用して行なった、各観測点の表層及び第三紀層を含む地盤構造のモデル化の結果を示すとともに、地盤構造モデルの特性と観測記録の特性との対応関係を検討した結果を示している。

先ず、地表と地中230mの深い地盤で同時観測を行なっている観測点（片平）について、地表と地中の記録のスペクトル比を成層地盤の伝達関数とみなして、地盤構造のモデル化を行なった結果を示し、深さ200mまでの第三紀層は、S波速度 $V_s=500\text{m/s}$ 及び $830\text{m/s}$ の2層から成り、200

m以深では、 $V_s=1300\text{ m/s}$ の速度のやや速い層となることを明らかにしている。

次に、地表のみの観測を行なっている観測点及び、地表と地中の浅い位置で同時観測を行なっている観測点（原町、長町）について、岩盤地盤上の観測点（南光台）を基準観測点とし、各観測点における地表の記録の基準観測点に対するスペクトル比と、予め、片平に対するスペクトル比と片平の地盤構造モデルとの関係から求めておいた基準観測点の地盤構造モデルとに基づいて、それぞれの地盤構造のモデル化を行なった結果を示している。なお、モデル化に当たっては、1～2秒までの周期特性を説明し得るよう考慮することとし、地域に共通の地震動基盤として、片平の地盤構造モデルの200 m以深の層（ $V_s=1300\text{ m/s}$ ）を設定している。地盤構造モデルから得られた各観測点の地震動基盤までの深さは、地点によって異なり、北部の丘陵地で約50 m、市街地中心部で200 m、沖積地盤の地域で350～550 m程度となることを明らかにしている。

また、これらの地盤構造モデルは、モデルの特性と観測記録の特性との対応から、観測記録の周期特性のみならず、振幅特性をもよく説明し得ていることを示している。

## 第5章 各種地盤の強震動とその破壊力特性

第4章に示した各観測点の地盤構造モデルを用いて、1978年宮城県沖地震による仙台市地域における各種地盤の強震動を推定し、この推定強震動が建築物に与える破壊力の解析と評価を行なう一方、エネルギーに基づく強震動の強度指標の設定を行なって、推定強震動の強度指標と破壊力との関係、並びに地盤構造特性との関係について検討し、強震動の破壊力特性と地盤構造との量的な関係を検討した結果を示している。

まず、各観測点の地盤構造モデルを用いて、1978年宮城県沖地震による各種地盤の強震動の推定を行なった結果を示している。強震動の推定に当たっては、この地震の際に市街地で観測された強震計記録（住友生命ビル）を基に、片平の地盤構造モデルによって計算した、 $V_s=1300\text{ m/s}$ の地震動基盤における入射波を入力地震動として用い、震動に伴う歪による地盤の非線形性を等価剛性及び等価減衰定数という形で取り入れた等価線形化法を用いている。最大加速度は、市街地での観測記録の値が約250 galであるのに対し、沖積地盤地点では250～400 gal程度の値となること、地盤の歪は、沖積地盤の軟弱な表層部分で0.5～1%程度、その下の砂れき層で0.05%以下となること、表層地盤の歪が1%にも達する場合には、地盤の周期の伸びと減衰の増大が著しく、加速度振幅はあまり大きくならないことを明らかにしている。

なお、小地震、中地震、大地震の記録が得られている観測点の地盤（青葉山、表層は23 m厚のローム、れき）について、地震の大小と地盤の非線形性との関係について検討している。観測波形と解析波形との比較から、この地盤の場合、100～150 gal程度までの地震動では地盤の非線形性の影響は小さいこと、200～250 gal程度の強震動では非線形性の影響が大きく、小・中地震動の記録にみられる表層地盤による短周期成分は長周期側へ移行して、長周期側の成分をさらに大きくする作用のあることなど、地盤の非線形性が地震動の特性に及ぼす影響を明らかにしている。

次に、各地盤モデルについて得られた推定強震動を用いて、弾塑性復元力をもつ建物モデルの強震応答解析を行ない、その応答塑性率と応答層せん断力から、強震動の破壊力特性を評価した結果

を示している。強震動の破壊力は、地盤によって差のあること、一般に、表層の軟弱な沖積地盤の強震動は大きな破壊力を示すが、建物の周期；耐力、塑性変形能の特性によっても、その強さが異なってくる性質のあることを明らかにしている。このような強震動の破壊力の強さと性質は、1978年宮城県沖地震の際にみられた、地盤モデル化地点付近の建物被害の実況をよく説明し得ていることを示している。

さらに、強震動が弾性構造物に与える最大振動エネルギーの積分値を強震動の強度指標として設定し、推定強震動の強度指標と建物モデルの弾塑性応答量との相互関係について検討した結果を示している。強震動の強度指標は建物の応答塑性率とほぼ比例関係にあること、特に、建物の固有周期を考慮してエネルギーの積分範囲を選んだ強度指標と建物の応答塑性率は極めてよい比例関係となることを明らかにしている。なお、この関係は、1978年宮城県沖地震や他の地震による強震記録の場合にもあてはまることを確かめている。

各地点の推定強震動の強度指標は、1978年宮城県沖地震による仙台市地域における木造住家の地区毎の被害率とよく対応していること、さらに、強度指標から得られた応答変形量に、既往の研究による木造住家の「変形量－被害程度」の関係をあてはめて推定した被害程度は、その地点付近の被害率とよく対応していることを明らかにしている。

また、強震動の強度指標は、地盤が弾性的の場合、地盤の伝達関数の自乗積分にほぼ比例すること、地盤が非線形の場合にも、この比例関係が近似的に成り立ち、この場合の強度指標の値は、地盤を弾性とした場合の約85%となることを明らかにしている。

以上の結果から、地盤構造が明らかにされている地域では、地震動基盤での入射波のスペクトル・レベルと地盤の伝達関数から、種々の地盤について、強震動の強度指標を予測することができ、さらに、その強度指標から、強震動が各種の建物に与える破壊力を評価し得ることを明らかにしている。

## 第6章 結 論

各章の結果を要約し、全体の結論を述べている。

## 審査結果の要旨

敷地の地盤構造と建築物の震害とが、密接な関係にあることは、よく知られているが、地盤構造と強震動の破壊力特性との定量的関係については解明を要する点が多く、地盤構造の特性を建築物の設計用地震力の設定に具体的に反映し得るまでには至っていない。

本論文は、仙台市内の種々の地盤で行われている地震観測の記録を解析して、各観測点地盤の速度、減衰構造のモデル化を行うとともに、これを用いて、1978年宮城県沖地震の際の各観測点における強震動を推定し、その破壊力特性をこの地震による観測点近傍における建築物の被害状況と対比することにより、地盤構造と強震動の破壊力特性との定量的関係を詳細に検討したものであり、全編6章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、1978年宮城県沖地震の際の、仙台市における被害建物の多くは沖積地盤地域に偏在していることを示すとともに、この地震の際に、仙台市とその周辺の相異なる地盤で得られた強震計記録の特性を比較検討し、それらのスペクトルには、表層地盤のみならず、第三紀層のやや深い地盤の影響もみられることを示している。

第3章では、仙台市内の種々の地盤10地点で行われている地震観測によって得られた中小地震の記録を比較検討し、それぞれの観測点の記録には、地盤構造の特性に応じた固有の振幅特性、周期特性がみられることを明らかにしている。

第4章では、第3章に示した観測記録を用いて、各観測点地盤の深さ数百m程度までの地震動基盤に及ぶ速度、減衰構造のモデル化を行い、従来ほとんど知られていなかった仙台市北部、中心部、南部及び東部沖積地域の地盤構造モデルを明らかにしている。これは仙台市地域の強震動特性の解明、予測に大きく寄与する知見である。

第5章では、第4章で求めた速度、減衰構造モデルを用いて、1978年宮城県沖地震の際の各観測点における強震動を推定し、その破壊力特性を観測点近傍における建築物の被害状況と対比し、よく対応することを明らかにしている。さらに、強震動の強度指標として、建築物の弾性応答エネルギーの振動数積分を提示し、この強度指標が、地盤構造の特性から予測可能なこと、建築物の損傷性状とよく対応することを明らかにしている。これは重要な新しい知見である。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は地盤構造と強震動の破壊力特性との関係を、定量的に評価する手法を提示するなど、建築物の耐震設計に有用な多くの知見を得ており、建築構造学、耐震工学の発展に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合格と認める。