

地震動増幅特性と構造物分布を考慮した 木造構造物被災度評価に関する研究

沖村孝¹・鳥居宣之²・吉田晋暢³・藤井紀之⁴

¹正会員 理博 神戸大学教授 都市安全研究センター (〒657-0013 神戸市灘区六甲台町1-1)

²正会員 修士(工学) 神戸大学助手 都市安全研究センター (〒657-0013 神戸市灘区六甲台町1-1)

³正会員 修士(工学) 中央復建コンサルタンツ(株) (〒532-0004 大阪市淀川区西宮原1-8-29 MB11)

⁴学生会員 神戸大学大学院 自然科学研究科 (〒657-0013 神戸市灘区六甲台町1-1)

兵庫県南部地震による建築構造物被災分布は、「震災の帯」と呼ばれる特徴的な分布を示した。本報では、帯状被害の生じた原因として地盤の地震動増幅特性と構造物分布に着目した。まず、対象地盤を深層地盤と浅層地盤に分類し、前者では二次元解析を、後者では一次元解析を用いて地表面における応答地震動を算出した。その結果、深層地盤の二次元的な地盤構造の影響を受けて最大応答速度分布にピークが生じ、浅層地盤の影響を受けて速度応答スペクトルの短周期成分が増幅傾向を示した。次に、地震動増幅特性として0.2~0.6(sec)におけるSI値を、構造物分布として木造構造物数を考慮した木造構造物被災危険度を定義し、木造構造物被害と比較した結果、両者は概ね一致していた。以上より、木造構造物被災危険度を用いることで、木造構造物被災度を定量的に評価できると考えられる。

Key Words : amplification characteristics of the ground motion, SI value, degree of risk wooden housing is damaged

1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、神戸市域をはじめとする阪神地域に甚大な被害をもたらした。その中でも、神戸市域における建築構造物被災分布に着目すると、震度7以上の激震地域、いわゆる「震災の帯」が東灘区から須磨区にかけて分布した(図-1参照)。このような特徴的な建築構造物被災分布が生じた主な原因としては、①地表面で観測された地震動の相違、②地表面に立地している建築構造物の分布および耐久性、が挙げられる。

まず、①について考える。地震動が被害に及ぼした影響を考える際には、一般的に震源特性、伝播経路特性、地盤増幅特性の3要素からのアプローチが考えられている¹⁾。本報では、建築構造物を直接支持しているのは地盤であることから、地盤の相違が建築構造物被災に最も大きく影響すると考え、地盤増幅特性すなわち地盤の地震動増幅特性に着目した。

次に②について考える。震度7は、兵庫県南部地震で初めて適用された気象庁震度階級であり、その定義は「住宅家屋の全壊率が30%以上の被害地域」とされている²⁾。そのため、兵庫県南部地震においては、強い地震動が地

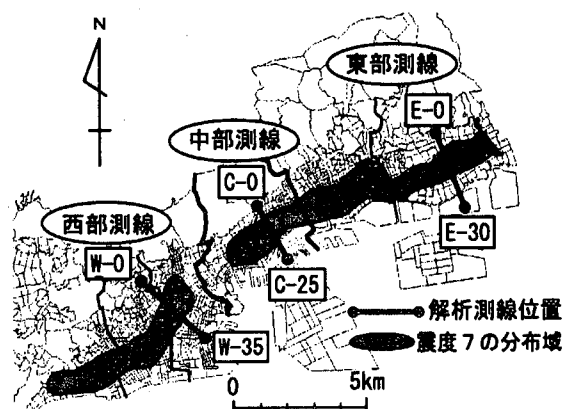


図-1 震度7の分布域と解析測線位置

表面で観測されたとしても住宅家屋が存在しなければ震度7と判定されなかったと考えられる。また、犠牲者の約9割が木造構造物の倒壊による圧死であった³⁾ことから、構造物の耐久性も「震災の帯」が生じた原因であると考えられる。しかし、震度7とされた地域では、同じ木造構造物であっても被災状況に大小が生じており、建築構造物の分布及び耐久性だけでは「震災の帯」が生じた原因を論じることとはできないと考えられる。

そこで本報では、地震動増幅特性および構造物分布の両方を考慮して木造構造物被災状況を定量的に評価する。

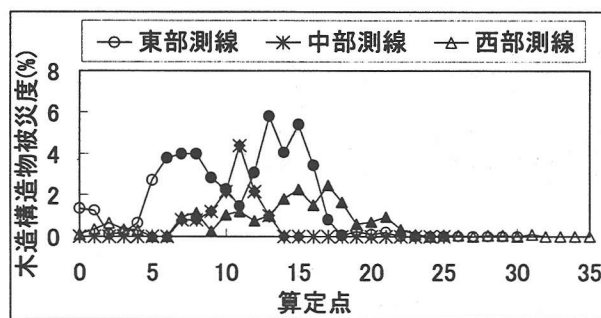


図-2 各測線における木造構造物被災度分布

2. 研究の手法

本報では、図-1に示す3本の解析測線(東部測線, 中部測線, 西部測線)を設定し、まず、測線上の被災状況を、次に測線下の地盤における地震動増幅特性を地震応答解析により定量的に表現し、両者の分布傾向を把握する。なお、解析測線には、応答地震動を算出する点(以下、算定点と称す)が北側から100メートル間隔で設定されており、東部測線はE-0～E-30、中部測線はC-0～C-25、西部測線はW-0～W-35となっている。ただし地表面における解析結果は、液状化発生の可能性の高いと考えられる埋立地等に該当する算定点を解析対象外とした。

(1) 木造構造物被災度

筆者ら⁴⁾は、測線近傍の建築構造物被災状況を考える際、建築構造物を木造構造物と堅牢構造物に分類し、測線の両幅100メートルにおける被災状況の把握を行っている。その結果、3測線ともに木造構造物の被災した割合が大きかったことを指摘した。また、前述したように、兵庫県南部地震における犠牲者の約9割が木造構造物の倒壊による圧死であった。そこで、これらを考慮して本報では対象とする建築構造物を木造構造物とし、木造構造物被災度というパラメータを用いて被災状況を定量的に把握した。木造構造物被災度を以下の式(1)で定義する。

$$D_{wi} = \frac{W_{Di}}{\sum_{i=1}^p W_{Hi}} \quad (1)$$

ここに、 D_{wi} : i サイトの木造構造物被災度
 W_{Di} : i サイトの被災木造構造物数
 W_{Hi} : i サイトの木造構造物数
 p : 各測線のサイト数

得られた木造構造物被災度を図-2に示す。なお、図中の黒塗りは「震災の帯」に該当する算定点における木造構

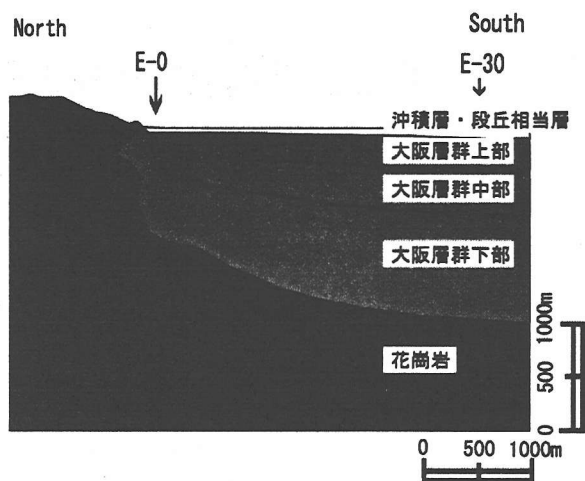


図-3 深層地盤モデル(東部測線)

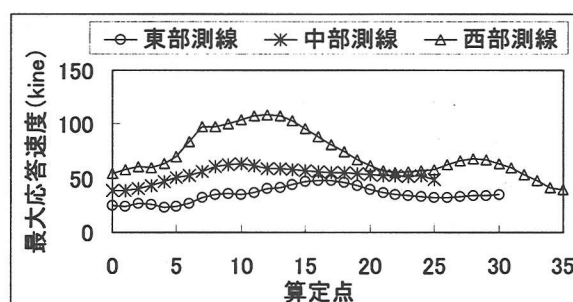


図-4 大阪層群上面における最大応答速度分布

造物被災度である。この図より、木造構造物被災度は概ね「震災の帯」を再現しており、本報に適したパラメータであると考えられる。

(2) 地震動増幅特性

筆者ら⁴⁾は深層地盤(六甲花崗岩～大阪層群上面)において二次元動的応答解析(Super FLUSH)を行い、大阪層群上面における応答地震動を各算定点で算出している。深層地盤モデルの一例を図-3に示す。なお、入力地震動は3測線ともに、神戸大学で観測された波形のNS, EW成分を測線方向に合成した波形を用いている。

その結果、深層地盤の二次元的な地盤構造の影響を受けて最大応答速度分布にピークが生じた。各測線における大阪層群上面での最大応答速度分布を図-4に示す。また、速度応答スペクトルに着目すると、卓越周期は1.0(sec)以上の周期成分を示し、応答倍率も1.0(sec)以上の周期成分で大きい値を示した。

本報ではこれらの応答地震動を新たな入力地震動として、浅層地盤(段丘相当層・沖積層)を対象に一次元的応答解析(DYNEQ⁵⁾)を行い、地表面における応答地震動を各算定点で算出した。また、浅層地盤をモデル化するにあたっては、地盤情報データベース「神戸JIBANKUN」に収録されているボーリングデータおよび既往の文献⁶⁾を参

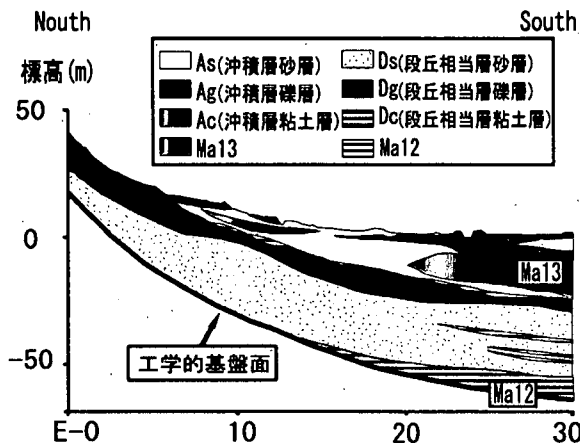


図-5 浅層地盤モデル(東部測線)

考にした。浅層地盤モデルの一例を図-5に示す。

まず、浅層地盤における最大応答速度の増幅率に着目すると、東部測線では増幅傾向を示したが、中部、西部測線では東部に比して増幅傾向はほとんどみられなかった。また速度応答スペクトルに着目すると、各測線において、卓越周期は長周期成分を示したのに比して、応答倍率は0.2~0.7(sec)の短周期成分で大きい値を示した。応答倍率の一例を図-6に示す。このことより、浅層地盤の影響を受けて応答速度の短周期成分が増幅傾向を示すことが分かった。

(3) 地震動増幅特性の定量的把握

本報では、地震動増幅特性を定量的に把握するために、ある地域の総合的な被害を示す指標として用いられるSI値を用いた。一般にSI値は、0.1~2.5(sec)の速度スペクトルの積分値を2.4(sec)で除した値である。しかし、本報で着目する木造建造物の固有周期帯は0.25~0.6(sec)とされており⁷⁾、また、この周期帯は、浅層地盤で増幅傾向を示した周期帯とほぼ一致していた。そこで本報では、0.2~0.6(sec)におけるSI値(以下、SI'値とする)を用いて地震動増幅特性を定量化した。SI'値を以下の式(2)で定義する。

$$SI'_i = \frac{1}{0.4} \int_{0.2}^{0.6} Sv(h, T) dT \quad (2)$$

ここに、 SI'_i : 算定点*i*における0.2~0.6(sec)の

SI値

S_v : 速度応答スペクトル

T : 周期

得られたSI'値の分布を図-7に示す。この図より最大応答速度分布と同様、SI'値分布にピークが生じていることが分かる。

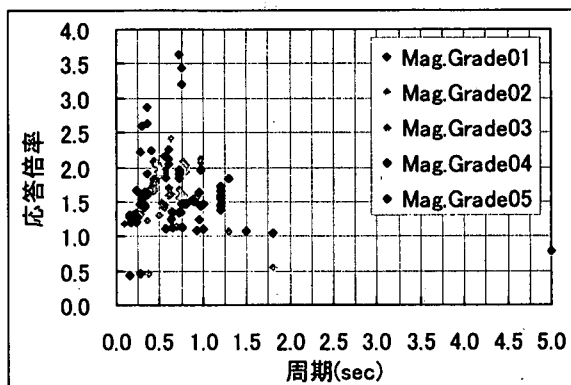


図-6 速度応答スペクトルの応答倍率(東部測線)

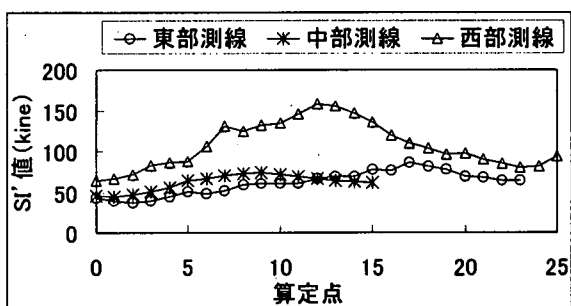


図-7 各測線におけるSI'値分布

3. 地震動増幅特性および木造建造物分布を考慮した木造建造物被災状況の定量的評価

(1) 木造建造物被災危険度

1章でも述べたように、「震災の帯」の発生原因は木造建造物分布にも影響すると考えられる。それと同時に、SI'値と木造建造物被災状況の関係は、SI'値が大きくなるにしたがい木造建造物被災状況も大きくなるという関係よりも、SI'値がある値(しきい値)を越えた際に被害が生じはじめるという関係が適切であると考えられる。

これら2点を考慮し、本報では木造建造物被災危険度という新たなパラメータを設定した。木造建造物被災危険度の定義を式(3)に示す。

$$R_{wi} = \frac{SI'_i - SI'_T}{SI'_T} \times \frac{W_{Hi}}{\sum_{j=1}^p W_{Hj}} \quad (3)$$

ここに、 R_{wi} : サイト*i*の木造建造物被災危険度

SI'_i : サイト*i*のSI'値(減衰5%)

SI'_T : SI'値(減衰5%)のしきい値

W_{Hi} : サイト*i*の木造建造物数

p : 各測線のサイト数

なお、しきい値は、SI'値と木造建造物被災度を比較

した際に、被災の程度の大きかった算定点の中で最小のSI'値を用いた。具体的には東部測線は45kine、中部測線は60kine、西部測線は70kineに設定した。

したがって、本報で定義した木造構造物被災危険度は、測線間の絶対値を比較するのではなく、測線上の木造構造物被災状況を大局的に把握することに適している。

(2) 木造構造物被災危険度と木造構造物被災度の比較

木造構造物被災危険度と木造構造物被災度を比較した結果を図-8に示す。この図より、木造構造物危険度の分布傾向と木造構造物被災度の分布傾向は概ね一致していることが分かる。木造構造物被災危険度は、地盤の影響を考慮した項と対象サイトに立地している木造構造物数の項からなっていることより、木造構造物被災は地盤の影響と木造構造物分布の影響を受けていたことが分かる。

しかし、木造構造物被災危険度分布と木造構造物被災度分布の相関性が良くない算定点(E-5~E-8, W-14, W-17)も存在したため、今後はその原因を検討することを課題とする。

4. 結論

本報では、「震災の帯」が生じた原因として建築構造物が立地している地盤および木造構造物の分布に着目した。以下に本報で得られた結論を列挙する。

(1) 設定した測線付近の木造構造物被災を把握するため、木造構造物被災度を定義した。また、木造構造物被災度分布は概ね「震災の帯」を再現していた。

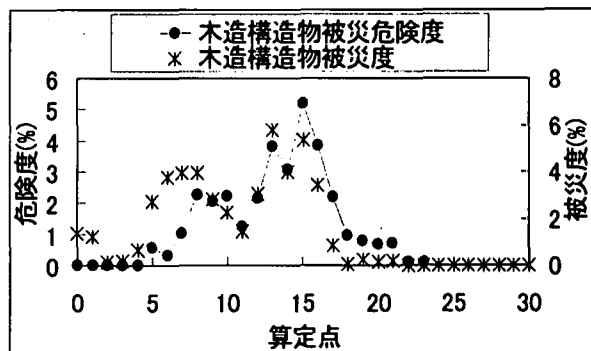
(2) 対象地盤において地震応答解析を行った結果、地震動が深層地盤を介することで最大応答速度分布が概ね決定され、ピークが生じること、地震動が浅層地盤を介することで、速度応答スペクトルの短周期成分で増幅傾向を示すことが分かった。

(3) SI'値、しきい値、木造構造物分布を用いて定義した木造構造物被災危険度と、木造構造物被災度を比較すると、両者の分布傾向は概ね一致していた。このことより、木造構造物被災危険度を用いることで、設定した測線上における木造構造物被災状況の分布傾向を、概ね把握することが出来ると考えられる。

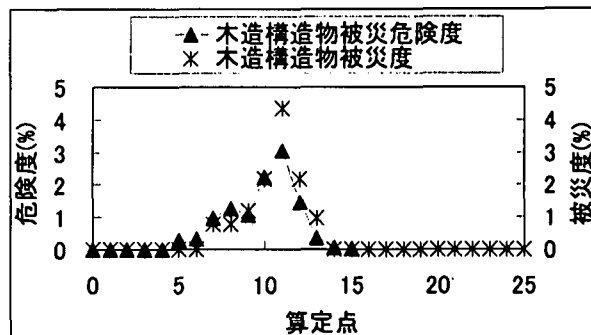
謝辞：適切な御助言を賜った、岐阜大学の杉戸真太教授、名古屋工業大学の谷口仁土教授、応用地質株式会社の南部光宏氏、若林亮氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

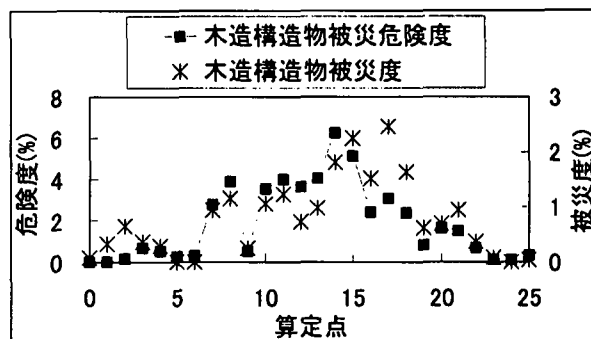
- 1) 土木学会編：動解析と耐震設計[第2巻]，技報堂出版，pp. 165-247，1989。



a) 東部測線



b) 中部測線



c) 西部測線

図-8 木造構造物被災危険度と木造構造物被災度の比較

- 2) 気象庁：「震度を知る」-知識とその活用-，ぎょうせい，pp. 238，1996。
- 3) 木造住宅等震災調査委員会：平成7年阪神・淡路大震災木造住宅等震災調査報告書，財団法人 日本住宅・木材技術センター，pp. 116，1995。
- 4) 沖村孝，鳥居宣之ら：神戸市域における深層ならびに浅層地盤の地震動増幅特性について，建設工学研究所論文報告集第42-B号，pp. 87-108，2000。
- 5) 吉田望，末富岩雄：DYNIQ 等価線形解析に基づく水平成層地盤の地震応答解析プログラム，佐藤工業(株) 技術研究報，pp. 61-70，1999。
- 6) 応用地質株式会社：兵庫県南部地震による地震動解析入力データの作成業務委託報告書，197 p，2000。
- 7) 鈴木三四郎，工藤一嘉：動的応答解析に基づく兵庫県南部地震時の木造構造物被害の検証，第10回日本地震工学シンポジウム，pp. 321-326，1998。