

I - B 246

疲労応答スペクトルによる木造建物被害予測 —神戸市と金沢市を対象として—

真柄建設(株) 正会員 髭本裕昌 金沢大学工学部 正会員 村田 晶
玉野総合コンサルタント(株) 水上ひとみ 金沢大学工学部 正会員 北浦 勝

1. はじめに

一般に地震動の破壊力を示す指標として、地震動の最大加速度やスペクトル強度等が用いられてきた。しかしながら、構造物の被害には応答の最大値だけではなく、最大応答付近での繰り返しによる疲労破壊も考慮する必要がある。また、木造建物の建築年代によりそれぞれ建物固有周期が異なることから、このことについても考慮する必要がある。そこで本研究では、疲労破壊の概念と建築年代別における固有周期の存在確率を考慮した新指標を提案し、1995年兵庫県南部地震における木造建物被害を対象に本指標の妥当性を検討するとともに、金沢市における木造建物被害を推定する。

2. 解析手法

一般的に地震動の最大加速度が大きいほど、構造物の被害も大きくなると考えられてきたことから、地震動の破壊力を示す指標として地震動の最大加速度や、最大応答から導かれるスペクトル強度(SI値)などが用いられてきた。しかし、これらの指標は加速度や応答の最大値のみに着目しており、地震動により構造物が何回揺られ、疲労がどのくらい蓄積されたかという点を考慮していない。揺られた回数が多いほど構造物の被害は大きくなると考えられることから、実際の地震動による被害を表すためにはこの点を考慮する必要がある。

そこで、最大値付近での繰り返し応答による疲労破壊と、木造建物の固有周期と建築年代構成を考慮した指標として、疲労応答スペクトル強度(Fatigue Response Spectral Intensity: 以下FSI値と表記)を用いる。FSI値の概要は次のようである。地震動に対する木造建物の疲労破壊を表すために、応答速度波形を振幅のみの成分に変換し、得られた各々の値の回数を、各応答速度振幅における繰り返し回数(C_{sv})とする。これを、種々の固有周期を有する線形1自由度系の応答速度波形に対して適用する。求められた値に対して、木造建物の固有周期(T)をx軸に、応答速度スペクトル(S_v)をy軸に、各応答レベルでの繰り返し回数(C_{sv})をz軸にそれぞれとる。これを「疲労応答速度スペクトル」と呼ぶことにする。

また木造建物の固有周期と建築年代構成については、木造建物は建築年数に比例して耐震強度が低下すると考えられるため、建築年代の古い木造建物の割合が高い地域ほど被害が大きくなると予測される。そこで、本指標の計算過程において対象地域の木造建物の建築年代構成と建築年代別による固有周期の存在確率を考慮する。

ところで一般的に木造建物の固有周期は $T=0.1\sim0.8$ (sec)の間にあること、木造建物の構造、階層、用途、建築年代によって建物固有周期が異なることが知られている。そこで建築年代別の割合を考慮して、木造建物の各固有周期における存在確率を求める。まず、木造建物の構造、階層、用途、建築年代別にグループ化し、各グループにおける固有周期別の建物存在確率を求める。存在確率は正規分布に従うと仮定する。これに兵庫県南部地震における木造建物の建築年代別被害構成を参考に¹⁾各グループを重み付けした、木造建物の固有周期存在確率密度(a_T)を図1に示す。

以上の方法により求められた疲労応答速度スペクトルを用いて、積分値を求める。積分する際、得られる値が地震動が構造物に与えるエネルギーと相似になるように応答速度の2乗を乗じることとし、これにより求められる値をFSI値と呼ぶ。以上よりFSI値は以下の式で求められる。

$$FSI = \int_T a_T \int_{S_v} C_{sv} S_v^2 dS_v dT \quad (1)$$

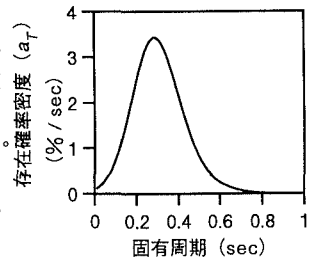


図1 固有周期存在確率密度

3. 神戸市への適用

本手法により求められるFSI値と木造建物全壊率の関係を神戸市各区に対し適用し、予測木造建物全壊率と実被害とを比較することにより検証する。解析波形については、神戸市各区において実際に木造建物の被害があったと考えられる地域のボーリングデータを用いて、重複反射理論を用いた等価線形解析から得られる地表面加速度波形を用いる。このとき、工学的基盤面における加速度波形として、ポートアイランド地下83mで観測された鉛直アレー観測記録を用い、解析対象地域における最大加速度を求める。

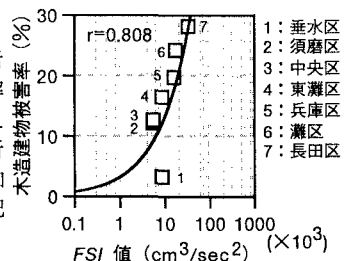


図2 神戸市における解析結果

keyword:地震動、応答スペクトル、木造建物被害

連絡先: 920-8667 石川県金沢市小立野 2-40-20 TEL:076-234-4654 FAX:076-234-4644

解析結果を図2に示す。図に示すように、FSI値と木造建物被害率の相関については、垂水区における推定結果を除くと、概ね良好な推定結果となる。しかしながら、解析点が少ないこと、実際に木造建物の被害があったと考えられる地域におけるボーリングデータの選択時に、その地域の地盤を代表すると考えられる地点のデータを採用したが、恣意的な判断が入ること、の問題が残されている。

4. 金沢市への適用

本章では、3. 並びに既往の地震における、木造建物被害率 y と FSI 値の相関により近似された回帰式

$$y = 0.524x^{1.028} \quad \text{ただし、} x = \text{FSI 値}/1,000 \quad (2)$$

を用いて、地震時における金沢市内の木造建物の被害を推定する。その際被害推定に必要なパラメータとして、金沢市における構造物特性、地震動特性を設定する必要がある。地震動特性のうち震源については、金沢市をほぼ北東から南西に横切る形で存在している森本断層が活動することによる地震を想定する。松田の式(1975)⁹⁾に森本断層のパラメータを代入すると、地震の規模を示すマグニチュードは6.7となる。地震動波形については、周波数特性を考慮したスペクトル適合法により工学的基盤面における波形を作成し、その波形を重複反射理論を用いた等価線形解析法により地表面まで伝播させる。また構造物特性については、2. に示した方法により、金沢市における木造建物の構造、階層、用途、建築年代別構成を適用し、木造建物の固有周期を求めると、金沢市の木造建物の固有周期存在確率は、神戸市における固有周期存在確率と同様な分布密度を取る。以上の方法を金沢市全400地区を24にグループ化した対象地域に対して適用する。対象地域を図3に、推定結果を表1に示す。

表に示すように、尾張・安江町地区、増泉・野町地区、笠舞・本多町地区、有松地区、泉野地区の全壊率が高いことが言える。また全体として、神戸市と比べ被害率が高くなる傾向が見られた。これらの地区の全壊率が高くなった理由としては、尾張・安江町地区、増泉・野町地区は旧市街地で比較的古い木造構造物が建ち並んでいることと、断層からの距離が極めて近いことから、想定地震動加速度が大きくなることが考えられる。また、笠舞・本多町地区、有松地区、泉野地区については、ここが古くからの住宅地区であること、段丘地形と沖積地形の境界近くにあり、地盤の固有周期が木造建物と共振する周期で卓越することから、極めて厳しい条件になったことが挙げられる。一方、段丘地形で地盤の良い小立野地区、長坂・平和町地区、寺町地区や、逆に比較的地盤が軟弱な地区である西泉地区、横川・久安地区、地震動の繰り返しが少ない東山・鳴和地区では、被害率が小さく推定されていることから、被害発生には建物固有周期と地盤固有周期の一致、地震動の大きさ、地震動波形の繰り返しが大きく寄与することが明らかとなった。一方、本手法では応答速度スペクトル特性の影響を大きく受けるため、地表面加速度波形を正しく推定できるようなデータを必要とすること、実際の木造建物の被害には、建築年数に伴う老朽化が大きく関係してくるため、建築年代と老朽化による建物強度劣化を定量的に評価する必要があること、が挙げられる。しかしながら、本研究の目的は簡易的な方法で木造建物の被害をある程度の精度で推定することであり、本解析の結果は1つの目安であると考えられる。

5. まとめ

本研究をまとめると以下のようである。

①神戸市における解析結果より推定 FSI 値と木造建物被害率の相関は概ね良好な推定結果となるが、その地域の地盤を代表すると考えられる地点のボーリングデータの採用に恣意的な判断が入る。②金沢市における推定結果より、被害率の高い地域は、建物固有周期と地盤固有周期が一致する、地震動が大きい、地震動波形振幅の繰り返しがあることが認められるが、一方木造建物建築年代と老朽化による建物強度劣化を定量的に評価する必要がある。

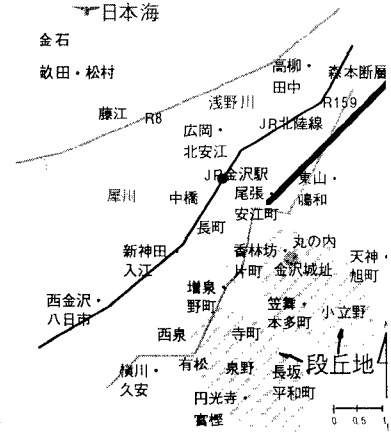


図3 金沢市解析対象地域

表1 木造建物被害推定結果

地区	全壊率	地区	全壊率
尾張・安江町	大	丸の内	小
増泉・野町	大	新神田・入江	軽微
笠舞・本多町	大	畝田・松村	軽微
有松	中	中橋	軽微
泉野	中	片町・香林坊	軽微
西金・八日市	小	小立野	軽微
天神・旭町	小	長町	軽微
藤江	小	長坂・平和町	軽微
金石	小	横川・久安	軽微
円光寺・富樫	小	西泉	軽微
広岡・北安江	小	寺町	軽微
高柳・田中	小	東山・鳴和	軽微

ここで被害大：40%以上、被害中：20%～40%
被害小：5%～20%、被害軽微：5%以下

参考文献：1）藤原悌三：平成7年兵庫県南部地震とその被害に関する調査的研究、pp.423-429、1995。

2）松田時彦：最大地震規模による日本列島の地震分布図、1975。