

周期範囲を考慮した疲労応答スペクトル強度と木造構造物被害について

金沢大学工学部 ○辰巳 智

金沢大学工学部 正会員 村田 晶

金沢大学工学部 フェロー 北浦 勝

金沢大学工学部 正会員 宮島昌克

1. はじめに

近年、日本では兵庫県南部地震以降も鳥取県西部地震、芸予地震に代表されるような大地震が起き、各地で人的・物的にも大きな被害をもたらした。このような被害を少しでも軽減させるには地震による構造物の被害を的確に予測できる指標が必要である。被害予測に用いられている指標としては、最大加速度、スペクトル強度（ SI 値）などがある。しかし、これらの指標は地震動の最大値のみに着目したものであり、地震動により構造物が何回揺られ、疲労がどれくらい蓄積されたかという繰り返しの概念を含んでいない。そこで本研究では地震動の応答の繰り返しを考慮した疲労応答スペクトル強度（ FSI : Fatigue response Spectral Intensity）を提案し、木造構造物被害との関係について木造構造物固有周期を考慮に入れ検討する。

2. 疲労応答スペクトル強度の算出

速度 FSI 値の概念図を図1に示す(以下 FSI_V 値と表記)。固有周期(T)を X 軸に、速度応答スペクトル(S_v)を Y 軸に、また各応答レベルでの繰り返し回数(C_{sv})を Z 軸にとる。図1において $T_j \sim T_{j+1}$ の間は $0.1(s)$ を表し、 S_{vj} は T_j に対応する速度応答スペクトルの大きさを表している。地震動が構造物に与えるエネルギーを表すために速度応答スペクトルを2乗し、 $(T_{j+1} - T_j) \times S_{vj}^2$ から1つの応答レベルにおける値を求める。これを各々の応答レベルによる繰り返しで足し合わせることでより体積として算出し、この作業を固有周期 $T=0.1 \sim 2.5(s)$ まで積分したものを FSI_V 値と定義する。以上より、 FSI_V 値は次の式により算出される。

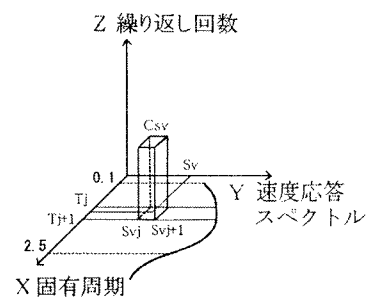


図1 FSI_V 値の概念図

$$FSI_V = \int_{0.1}^{2.5} \int_{0.01S_v}^{S_v} C_{sv} \times S_v^2 dS_v dT \dots (1)$$

3. 木造構造物の全壊率と FSI_V 値との相関について

図2、図3にそれぞれ FSI_V 値、 SI 値と木造構造物の全壊率との関係を示す。全壊率の定義は、全壊率(%)=(全壊棟数+半壊棟数/2)/全世帯数×100 とする。

図に示すように、 FSI_V 値の相関係数は 0.81 、 SI 値の相関係数は 0.85 となり、 FSI_V 値の相関の方が低くなった。しかし、 SI 値では、図の伯太町と中央区のように同程度の全壊率でも SI 値には大きな差が見られたり、全壊率 $22.40(\%)$ の日野町の SI 値のほうが全壊率 $12.70(\%)$ の中央区の SI 値よりも小さかったりと被害を的確に表しているとはいえない。そこで次章では木造構造物固有周期を考慮した FSI_V 値を提案し、木造構造物被害との関係について検討を行う。

表1 対象データ

地震名	全壊率(%)
釧路沖地震(釧路市)	0.04
北海道南西沖地震(函館市)	0.00
能登半島沖地震(輪島市)	0.05
北海道東方沖地震(根室市)	1.35
三陸はるか沖地震(八戸市)	0.13
兵庫県南部地震(長田区)	28.20
兵庫県南部地震(東灘区)	16.50
兵庫県南部地震(中央区)	12.70
兵庫県南部地震(明石市)	6.37
兵庫県南部地震(尼崎市)	5.60
兵庫県南部地震(宝塚市)	4.50
鹿児島県北西部地震(出水市)	0.00
鹿児島県北西部地震(宮之城町)	0.17
鹿児島県北西部地震(川内市)	0.00
鳥取県西部地震(日野町)	22.40
鳥取県西部地震(境港市)	1.70
鳥取県西部地震(米子市)	1.30
鳥取県西部地震(日南町)	0.27
鳥取県西部地震(江府町)	0.04
鳥取県西部地震(伯太町)	11.86
鳥取県西部地震(松江市)	0.00
鳥取県西部地震(横田町)	0.04
芸予地震(呉市)	0.20
芸予地震(松山市)	0.00

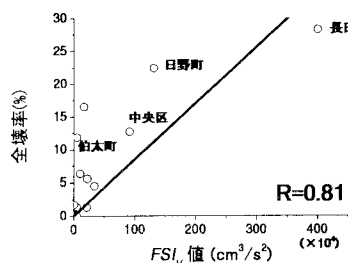


図2 FSI_V 値と全壊率の関係

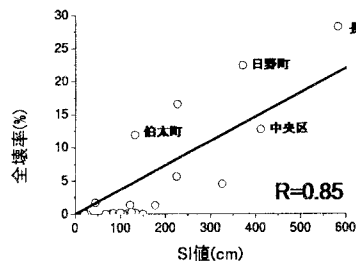


図3 SI 値と全壊率の関係

4. 木造構造物全壊率と構造物固有周期を考慮した FSI_v 値との関係

4.1 解析方法

FSI_v 値を計算する際の固有周期範囲は $0.1 \sim 2.5(s)$ である。この範囲は、図 4 に示す一般的な木造住宅の固有周期 $0.1 \sim 0.5(s)$ 程度¹⁾と比べても広いことから、よりの確に木造構造物被害を推定するためには、 $0.1 \sim 2.5(s)$ の積分範囲を狭くして、 FSI の精度を高める必要がある。そこでまず、式(1)における $0.1 \sim 2.5(s)$ の積分範囲を変化させ、 $0.1 \sim 0.2, 0.2 \sim 0.3, \dots, 2.4 \sim 2.5(s)$ まで $0.1(s)$ 間隔で算出した FSI_v 値と木造構造物全壊率のグラフより相関係数を求め、 FSI_v 値の周期特性と木造構造物被害との関係について検討する。

4.2 解析結果

$0.1(s)$ 間隔での解析結果と木造構造物被害との関係について図に示す。図に示すように、木造構造物の周期帯となる $0.1 \sim 0.5(s)$ における相関が低い一方、長周期化するにつれて相関係数は高い値を示した。特に相関の高い周期帯である $1.0(s)$ 付近は、図 4 に示すピーク固有周期の 3 倍程度の周期となる。この 3 倍程度の周期は建物の変位が塑性域に入ることにより剛性が低下し、周期が伸びたと推測される値である。

そこで、積分範囲を木造構造物の固有周期と同じ $T=0.2 \sim 0.6(s)$ とした FSI_v 値と、ピーク固有周期 $1.0(s)$ を含むように分布割合を 3 倍に伸ばした場合の FSI_v 値と全壊率の関係求めた。解析結果をそれぞれ図 6、図 7 に示す。両図に示すように $T=0.1 \sim 0.5(s)$ の場合の相関係数は 0.61 、 $T=0.3 \sim 1.5(s)$ の場合の相関係数は 0.86 となる。後者の相関係数は図 2 よりも良い結果が得られており、かつ SI 値よりも相関が良くなった。以上より FSI の精度を高め、的確に被害を推定していくには、構造物自体の固有周期分布を考慮に入れるのではなく、固有周期の 3 倍程度の、剛性低下による周期の伸びを考慮していく必要があり、この周期範囲を用いて木造構造物被害との関係について考察を行う必要があると思われる。

5. まとめ

今回の解析により以下のことが示された。

- ① FSI は木造構造物の被害を表すのに適しており、かつ簡易的に被害との相関をみることができる。
- ② 木造構造物被害を調べる上では、構造物の固有周期帯は考慮に入れずに、その 3 倍程度の塑性化による周期の伸びを考慮に入れる必要がある。

今後は上記したような事実をもとに、 FSI の精度をさらに向上させるために FSI の算出の際に構造物の存在する場所の地盤条件を考慮すること、 FSI 値による被害閾値の設定、剛性低下が起こった後の FSI の算出などを行なっていく必要がある。

参考文献

- 1) 境 有紀：建築被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案, 日本建築学会構造系論文, 第 555 号, pp.85-91, 2002.5.
- 2) 日本建築学会近畿支部：1995 年兵庫県南部地震—木造建物の被害—, 1995.9.
- 3) 石川県地震被害想定調査、平成八年度第 1 回委員会資料, 1996.

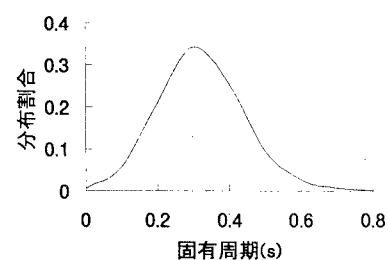


図 4 木造構造物の固有周期分布^{2),3)}

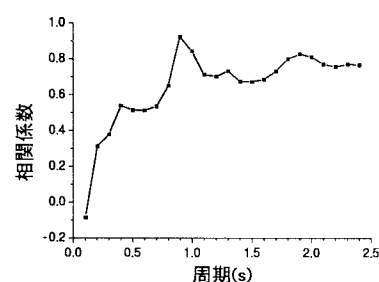


図 5 相関係数の変化

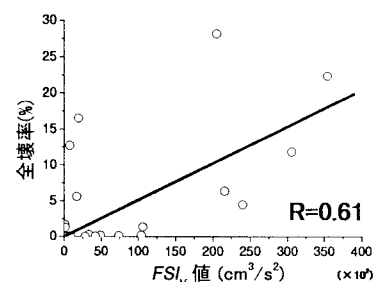


図 6 FSI_v 値と全壊率の関係
($T=0.1 \sim 0.5$)

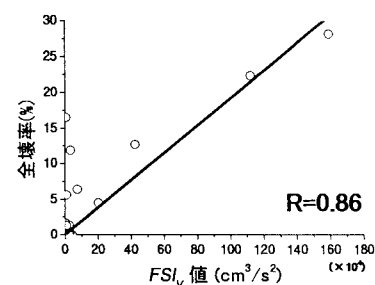


図 7 FSI_v 値と全壊率の関係
($T=0.3 \sim 1.5$)