

地震応答の繰り返しが 木造構造物被害に及ぼす影響

広部勝己¹・村田 晶²・北浦 勝³・宮島昌克⁴

¹金沢大学大学院 自然科学研究科環境基盤工学専攻博士前期課程 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

²正会員 修士(工) 金沢大学助手 工学部土木建設工学科 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

³フェロー 工博 金沢大学教授 大学院自然科学研究科 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

⁴正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

一般に、地震動の最大加速度が大きければ大きいほど、構造物の被害も大きくなると考えられてきた。そこで、最大加速度や、最大応答から導かれるスペクトル強度などが地震動の破壊力を示す指標として用いられてきた。しかし、最大加速度の大きい割に壊滅的に構造物が壊れている例は多くなく、このことは最大加速度が被害の指標に必ずしもふさわしくないことを示していると考えられる。そこで、最大値とともに、応答振幅の繰り返しも考慮した指標である疲労応答スペクトル強度 (*FSI* 値) を提案し、実験から模型の被害程度と指標値の関係を明らかにする。研究の結果、正弦波を用いた実験から繰り返しによる構造物への影響を明らかにし、地震波を用いた実験から得られた最大相対変位と入力波から算出される *FSI* 値は正の相関になることを明らかにした。

Key Words : spectral intensity, fatigue destruction, wooden structure, repetition load

1. はじめに

一般に、地震動の破壊力を示す指標として最大加速度やスペクトル強度 (*SI* 値) 等が用いられてきた。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、地震動による構造物の揺れの繰り返いをほとんど考慮していない。

そこで筆者らは、繰り返し応答による構造物の疲労破壊を考慮した指標である疲労応答スペクトル強度 (*FSI* 値: Fatigue response Spectral Intensity) を提案し、木造建物の被害率との相関から本指標が木造建物の被害を表す良い指標であることを示した¹⁾。しかし、繰り返しの揺れが及ぼす構造物への影響を十分検証するに至っていない。

そこで、本研究では木造構造物の被害が接合部の破壊に起因している例が多く、接合部が木造構造物の被害を左右すると考えられる²⁾ことから、木造構造物の接合部を対象とした1自由度模型を用いて正弦波の水平動入力実験を行い、繰り返しが及ぼす影響を検証する。また、同様な模型を用いて地震波の水平動入力実験を行い、模型の被害程度と指標値の関係を考察する。

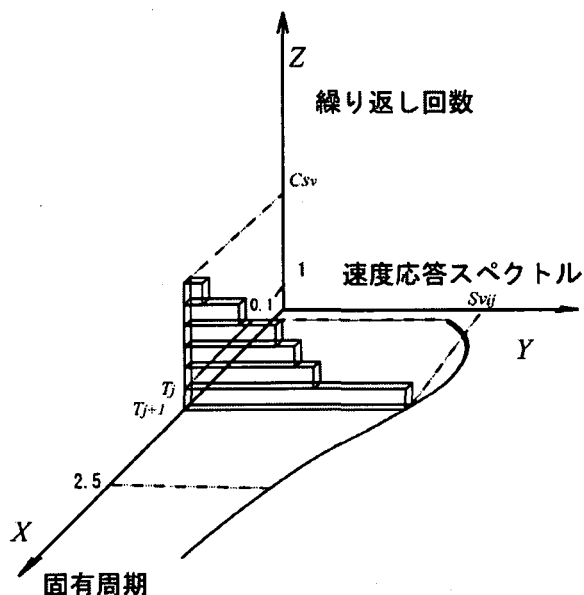


図-1 疲労応答スペクトル強度の概念図

2. 疲労応答スペクトル強度 (*FSI* 値)

最大応答値以外の波形の応答値、すなわち繰り返し応答を考慮した指標である疲労応答スペクトル強度のうち、速度 *FSI* 値の概要は以下のよう

ある。地震動に対する構造物の疲労を表すために、応答波形の各振幅を全て考慮する。これを種々の固有周期 $T=0.1\sim 2.5$ (s) 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、対象構造物の固有周期 (T) を X 軸に、速度応答スペクトル ($S_{v_{ij}}$) を Y 軸に、各応答レベルでの繰り返し回数 (C_{Sv}) を Z 軸にとったものを「疲労応答スペクトル強度」と呼ぶことにする。疲労応答スペクトル強度の概念図を図-1 に示す。図-1 において、 $T_j\sim T_{j+1}$ の間は 0.1 (s) を表し、 $S_{v_{ij}}$ は速度応答スペクトルのある応答レベルの大きさを表している。 $(T_{j+1}-T_j)\times S_{v_{ij}}\times 1$ から 1 つの応答速度レベルにおける値を求め、これを各々の応答レベルで足し合わせるにより、直方体の体積として算出する。足し合わせる際、得られる値が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 乗する。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速度 FSI 値と呼ぶことにする。また加速度 FSI 値、変位 FSI 値については、速度 FSI 値と関連づけるために、応答加速度、応答変位を求め、同様にして FSI 値を求める。以上より FSI 値は以下の方法で求められる。

$$FSI_v = \sum_{j=0.1}^{2.5} \sum_{i=0}^{C_{Sv}} S_{v_{ij}}^2$$

$$FSI_a = \sum_{j=0.1}^{2.5} \sum_{i=0}^{C_{Sd}} S_{a_{ij}}^2$$

$$FSI_d = \sum_{j=0.1}^{2.5} \sum_{i=0}^{C_{Sd}} S_{d_{ij}}^2$$

3. 正弦波の水平動入力実験

(1) 実験概要

木造構造物が水平力によって構造的な被害を受ける場合、被害の大半は接合部の破壊に起因している例が多く、接合部の強さや変形能力が木造構造物の被害を左右すると考えられている²⁾。そこで、柱・梁部材の接合部に着目し実験を行った。

実験概要図を図-2 に示す。実験に用いた模型は、1 自由度ラーメン構造の金属フレームと木材でできた供試体により構成される。供試体は、図-3 に示すように、柱・梁部材の接合部を簡略的に表現したほぞにより、柱の上下を梁または、土

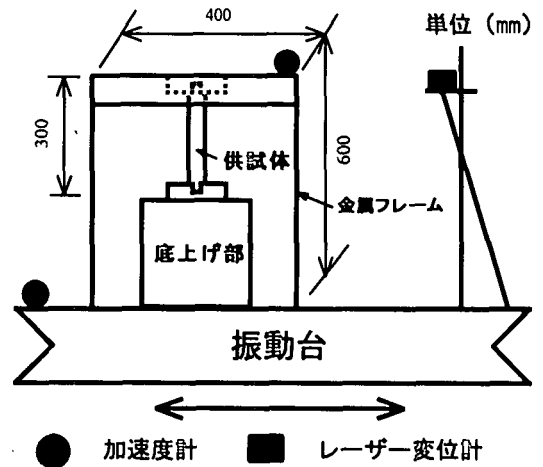


図-2 実験概要図

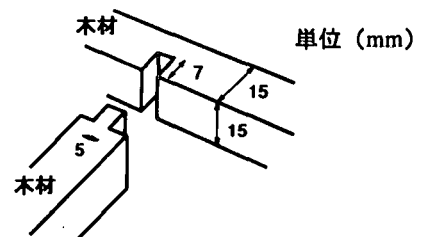


図-3 供試体接合部

台と接合したものから成り、金属フレームの柱部分には奥行き 100 (mm) × 幅 2 (mm) × 高さ 600 (mm) の鋼板を用いた。この金属フレームにより強制的に繰り返しの揺れが加わるように供試体を金属フレームの間に固定する。この模型に振動台から入力を与えるが、各々の実験が同一条件から行えるように、模型の供試体部は実験ごとに交換した。

入力は、加速度の大きさと繰り返しの関係をみるために正弦波を用い、振動数は金属フレームのみの固有振動数である 2.9 (Hz) に設定した。

計測は、振動台上に取り付けた加速度計により入力加速度、模型上に取り付けた加速度計により応答加速度、振動台と一体となって振動するように取り付けたレーザー変位計により相対変位を計測した。

(2) 実験結果および考察

計測された入力加速度と応答加速度、相対変位の波形の一例を図-4 に示す。これらの波形から明らかなように、入力加速度を一定にしているにもかかわらず、応答加速度や相対変位の波形は徐々に上昇していることが分かる。これは、供試体を金属フレームに取り付けた状態では、模型全体の固有振動数は 3.5 (Hz) 付近であるが、繰り返

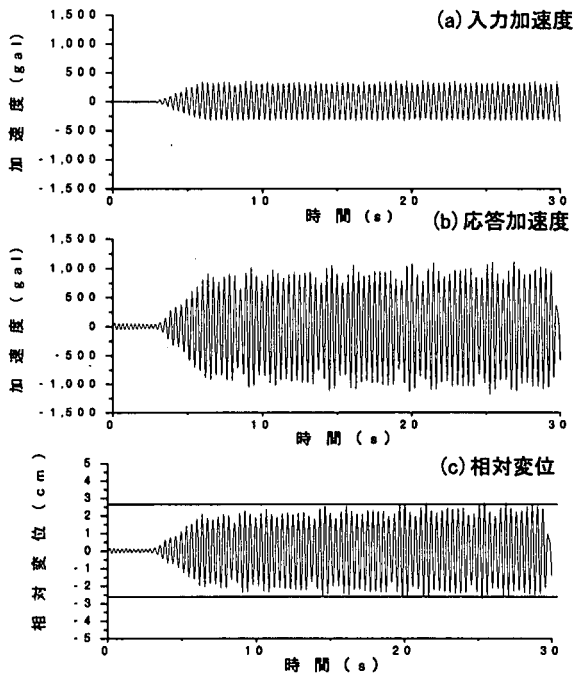


図-4 計測波形の一例

返しの揺れを受けることで供試体の接合部が緩み、剛性が低下することにより、入力振動数である 2.9 (Hz) に近づくためと考えられる。

この接合部の緩みのために、柱・梁部材の接合部は柱・梁を支える能力を失い、接合部として働かなくなると考えられる。そこで、その基準として、最大層間変位角が $1/10$ (rad)、すなわち相対変位が 27 (mm) に至った時点までとした。また、この実験での荷重-変位関係を図-5 に示す。10~15 (mm) 付近で折点が見られ、この折点を超える揺れが接合部の機能に影響を与えると考える。

折点を超える相対変位から相対変位が 27 (mm) に至るまでの入力加速度の繰り返し回数と入力加速度の大きさの関係を図-6 に示す。近似直線は右下がりになり、小さな入力加速度で繰り返し回数が多い場合と、大きな入力加速度で繰り返し回数少ない場合とは、構造物に同等の影響を与えたと考えられる。すなわち、これは繰り返し回数の蓄積によって構造物に及ぼす疲労の効果であると考えられる。

4. 地震波の水平動入力実験

SI 値は、地震動が構造物に与える最大のエネルギーを表す速度応答スペクトルの積分値で表され

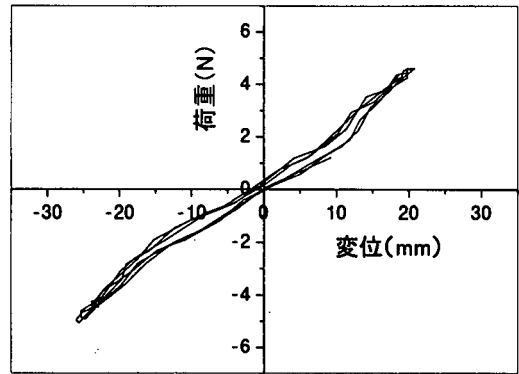


図-5 荷重-変位関係

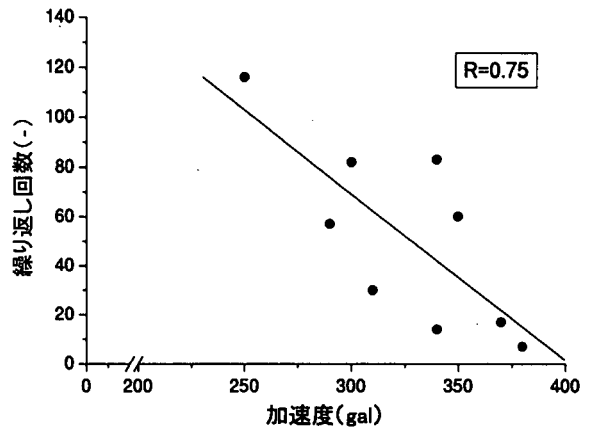


図-6 繰り返し回数と入力加速度の関係

る。各々の FSI 値もまた、構造物に与えるエネルギーとして考えている。

そこで、本実験では入力に地震波を用い、地震波が模型に及ぼすエネルギーと模型の被害程度について考察する。

(1) 実験概要

実験概要は、入力を除いて 3 で述べたものと同様にして行った。

入力は、8 種類の地震波を 200~300 (gal) に規準化して与え、各々の地震波に対して 6 回ずつ実験を行った。また、実験に際して各々の模型の固有周期と減衰定数を測定した。

(2) 実験結果および考察

実験ごとの模型が同一のものとなるように応答倍率を統一する。すなわち、入力加速度と応答加速度のフーリエスペクトル (Parzen ウィンドウ、バンド幅 0.6 (Hz)) から応答倍率を求め、応答倍率のピークが等しい結果をグラフに用いた。図-7

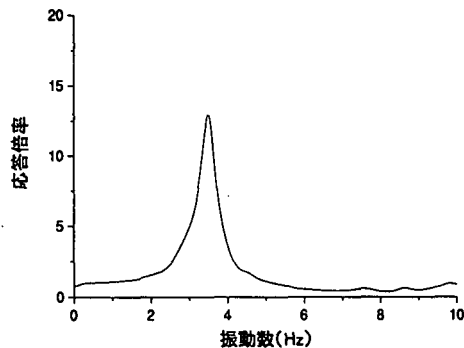


図-7 応答倍率

に応答倍率の一例を示す。

また、模型の被害程度を表現するために、振動中の模型の最大相対変位を、その模型の被害程度とした。

各指標値と模型の最大相対変位との関係を図-8に示す。どの関係にも、近似直線が右上がりとなる傾向があり、各々の指標値がこの模型の被害程度を表す指標であると考えられる。本指標と最大相対変位との関係を見ると、ばらつきが大きいものの、特に加速度 *FSI* 値が模型の被害程度とした最大相対変位と良く対応していることが分かる。また、既存の指標である *SI* 値と最大相対変位との関係と比較しても地震動の強度指標として相関の良いことが分かる。

しかし、今回の実験に用いた模型は部材の選定等の理由により相似率を満足するには至らなかったため、実構造物被害との定量的な関係を明らかにすることはできなかった。また、模型の被害程度を、今回は振動中の模型の最大相対変位としているため、今後どの程度の指標値で模型が破壊に至るかの検討を行う予定である。

5. まとめ

本論文では、地震動の強度指標として提案されている *FSI* 値を用い、その妥当性を検証するために正弦波と地震波を用いた実験を行った。

正弦波を用いた実験では、小さな入力加速度で繰り返し回数が多い場合にも、大きな入力加速度と同等の影響を構造物に及ぼすことを示した。

地震波を用いた実験では、模型の被害程度と各々の指標との関係は正の相関があり、*FSI* 値の方が *SI* 値よりも相関が良かった。

以上より、*FSI* 値は *SI* 値と同等かそれ以上の指標であると考えられる。

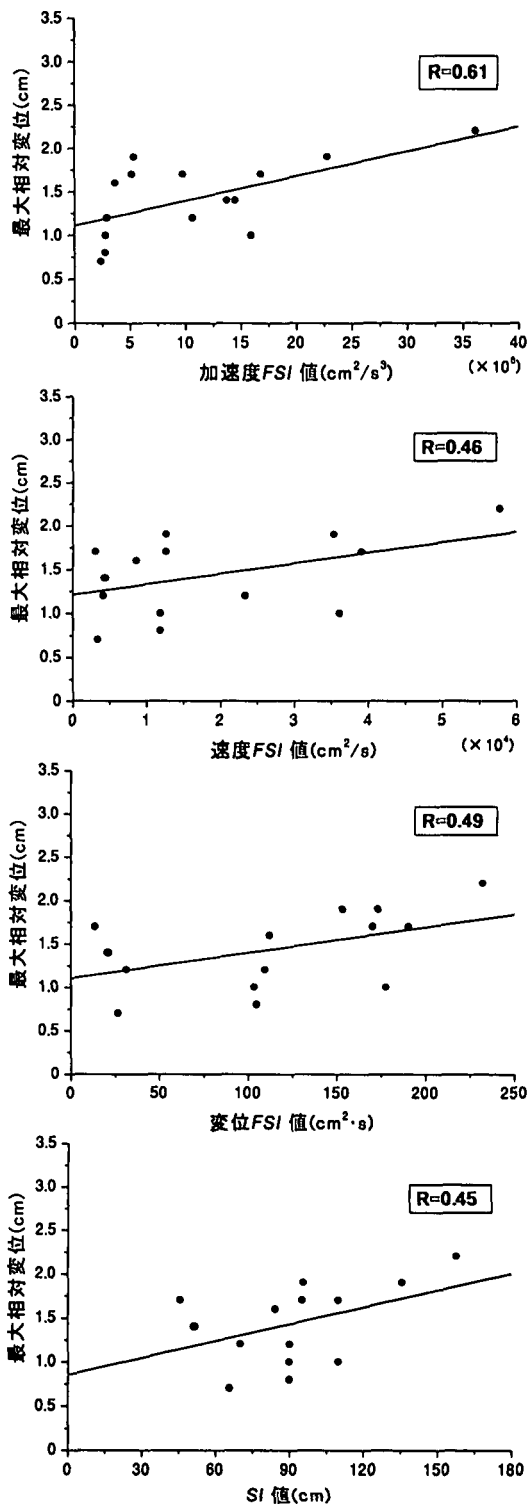


図-8 各指標値と最大相対変位の関係

参考文献

- 1) 水上ひとみ: 疲労応答スペクトルによる木造建物の被害相関解析と金沢市への適用, 金沢大学学士学位論文, 1998.3.
- 2) 後藤正美: 在来構法木造建物の耐震性能評価と耐震診断法, 京都工芸繊維大学提出博士論文, p.4, 1998.3.