

地震動の繰り返しを考慮した破壊力指標の評価と木造構造物被害への適用

金沢大学大学院 学生会員 ○倉橋 宏
 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

地震災害の軽減には、地震直後に構造物被害を迅速かつ正確に予測する地震動の破壊力指標が必要である。一般に地震動の破壊力を示す指標として、入力を用いるものに計測震度や修正計測震度^{例えば¹⁾}、PGA、PGV、応答を用いるものにスペクトル強度（SI 値）が挙げられる。しかし、地震動によって揺らさ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ため、実際の地震動による構造物被害を表すためにはこの点を考慮する必要がある。

そこで本研究では、地震動波形の繰り返しを考慮に入れた指標である疲労応答スペクトル強度（以下、FSI 値と表記）と速度パワーを提案する。木造構造物に対する地震動波形の繰り返しによる影響を示すとともに、提案する破壊力指標の有効性を示す。

2. 木造構造物地震応答解析による地震動の繰り返しの影響

2.1 解析概要

模擬地震動を入力として解析を行い、木造構造物の被害に対する、地震動波形の繰り返しの影響を検討する。

木造構造物を単純な2質点せん断型の振動モデルとし、文献²⁾を参考に、解析モデルを作成する。ただし、履歴特性は、図1のように、ポリリニア型とスリップ型の履歴特性を0.4 : 0.6の割合で足し合わせるが、ポリリニア型の履歴特性の第1折点として、 $1/6,000$ (rad) を付け加え、初期剛性を用いた場合の固有振動数が木造構造物として妥当な値となるようにする。また、ベースシア係数 $C_0=0.2$ となる建物を対象とし、その固有振動数は3.0 (Hz) である。

模擬地震動は、図2に示すような Jennings 型の包絡関数を用いて作成し、主要動部分の長さ（TE）のみが異なるような模擬地震動を用いる。ここでは、1995年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台、1968年十勝沖地震の八戸港におけるパワースペクトルをターゲットに作成した模擬地震動を用いて行った解析について述べる。

2.2 解析結果

模擬地震動は TE を $TE=5\sim40$ (s) まで 5 (s) 刻みで変化させ、最大加速度 400~800 (gal) で基準化した。各々は、ほぼ等しいパワースペクトルを有し、等しい振動数特性を持つ。最大振幅・振動数特性が等しく、主要動部分の長さのみが異なる模擬地震動によって木造構造物の被害を評価する。被害尺度には1階残留変位を用いる。

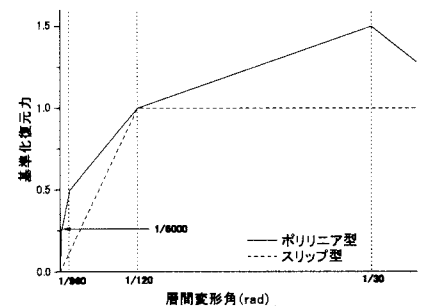


図1 解析モデルの履歴特性

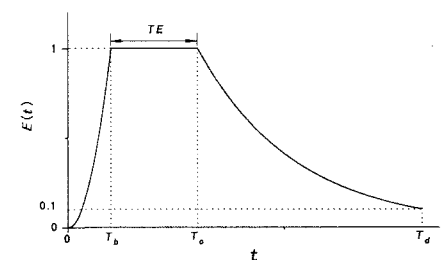


図2 包絡関数

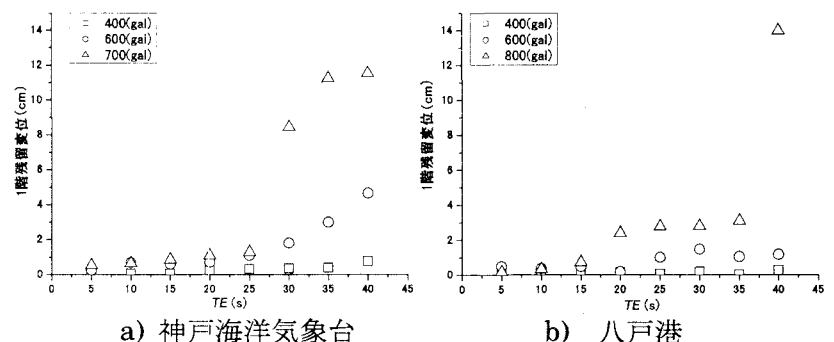


図3 TEと1階残留変位の関係

図3に示すように、 TE が長くなるにしたがって、1階最大層間変位も大きくなる傾向にあり、被害程度に差が生じている。また、図3のa)の600、700 (gal) では TE が30 (s) 以降で変位が急激に増加している。700 (gal) の場合は剛性の低下が影響していると考えられるが、600 (gal) の場合は剛性が低下していなくても地震動の繰り返しが被害を大きくすることを顕著に表している。これにより、入力地震動の最大値が等しくとも構造物被害は等しくならず、最大値だけでは構造物被害を評価できないことが言える。そのため、地震動波形の繰り返しによる影響を考慮する必要があると言える。

3. 地震動破壊力指標の評価

3.1 地震動破壊力指標

これまで、地震動波形の繰り返しを考慮に入れた指標である疲労応答スペクトル強度 (以下、 FSI 値と表記) が既往の研究²⁾で提案されてきた。また、桑村³⁾は地動加速度の自乗値を継続時間にわたって積分した値 (加速度パワー) を用いて地震動の破壊力を評価している。しかし、加速度パワーは構造物を考慮に入らず、また、被害との相関の良くない地動加速度で地震動の強さを評価していることから、ここでは評価指標として、地震動による1質点系の速度応答による自乗値を継続時間にわたって積分した値を速度パワーとして定義する。 FSI 値は全時刻歴での構造物挙動を考慮するため、精度の良い指標となることが期待できる。それに対して速度パワーは、算出の簡易さからリアルタイム性を有した被害の把握に使用できるのではないかと考えられる。

以降、 SI 値、 FSI 値と速度パワーの木造構造物被害との関係を検討する。ここでは速度応答スペクトルに対する FSI 値 (FSI_v 値) について言及する。 SI 値、 FSI_v 値と速度パワーは右の式で求められる。

$$SI = \int_{0.1}^{2.5} S_v dT$$

$$FSI_v = \int_{0.1}^{2.5} \int_{0.01S_v}^{S_v} C_{S_v} \times S_v^2 dS_v dT$$

$$\text{速度パワー} = \int_{0.1}^{2.5} \int x^2(t) dt dT$$

3.2 解析結果

模擬地震動を入力とする地震応答解析から得られた1階残留変位と、各指標との関係を図4に示す。 SI 値との関係では、値はほぼ同じでも被害程度に大きな差が生じている。 FSI_v 値、速度パワーにおいても同様の傾向が示されているが、 SI 値に比べて傾きが小さく、指標値と被害程度の対応がとりやすい。また、近似の精度を示す決定係数は SI 値、 FSI_v 値、速度パワーにおいて、それぞれ $R^2=0.56$ 、0.63、0.76 となり提案する指標である FSI_v 値と速度パワーは SI 値よりも精度の良い指標となった。

4. まとめ

本研究では、入力とする模擬地震動の継続時間を変化させることにより、最大値のみでは構造物被害を評価できないことを示唆できた。また、地震動波形の繰り返しの影響を考慮した FSI_v 値、速度パワーは、木造構造物の被害を捉える指標として有効であることが検証された。

参考文献

- 1) 境有紀、他：建物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集、第555号、pp.85-91、2002.5.
- 2) 鈴木祥之、他：強震動下における木造建物の地震応答と耐震性評価、第2回都市直下地震災害総合シンポジウム、pp.211-214、1997.
- 3) 広部勝己：地震動の繰り返しが考慮した応答スペクトル指標による木造構造物破壊力指標の評価、金沢大学修士学位論文、2003.
- 4) 桑村仁：構造物に対する地震動強さの尺度、構造工学論文集、日本建築学会、Vol.33B、pp.49-56、1987.1.

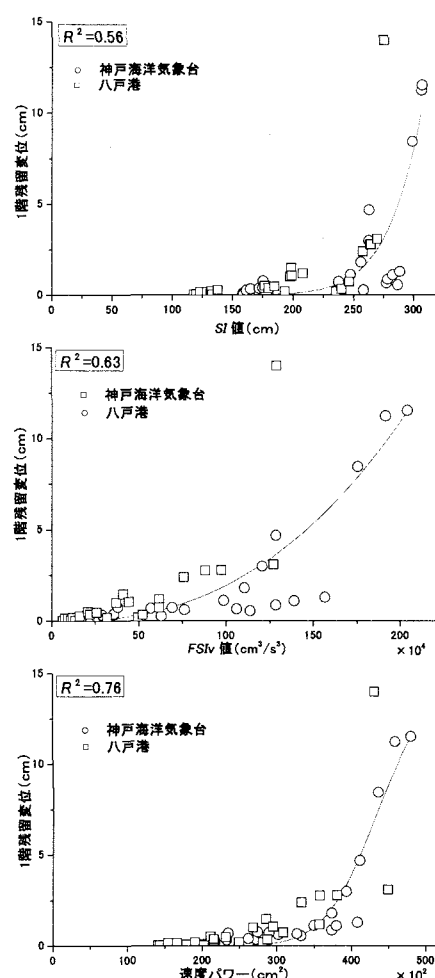


図4 指標値と被害の関係