

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

金沢大学工学部 正会員 ○村田 晶
 (株) 建設技術研究所 正会員 倉橋 宏
 金沢大学工学部 フェロー 北浦 勝
 同 正会員 宮島昌克

1. はじめに

一般に地震動の破壊力を示す指標として、計測震度や PGA 、 PGV 、 SI 値が用いられている。しかしながら、これらの指標は地震動により構造物が何回揺らされ、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。また、評価対象構造物が決まっている場合には、その構造物に適した固有周期帯域を考慮することによって指標の改善が期待される。

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 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地震応答解析で示すとともに、提案する破壊力指標の有効性を示す。

2. 木造構造物に与える地震動の繰り返しの影響

(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。木造構造物は単純な 2 質点せん断型の振動モデルとし、文献¹⁾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。このときポリリニア型の履歴特性の第 1 折点 $1/6,000$ (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、現代軸組による木造軸組では $1/30$ (rad) で剛性が低下することより、履歴特性に $1/30$ (rad) で基準化復元力が低下するように折点を設ける。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。

入力地震動は、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と、比較の木造構造物の固有周期に近い卓越振動数特性を有する 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) 解析結果

模擬地震動は $TE=5\sim40$ (s) まで 5 (s) 刻みで変化させ、最大加速度 $400\sim800$ (gal) で基準化した。

最大振幅・振動数特性が等しく、主要動部分の長さ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 階最大層間変位を用いる。

図 2 (b) に示すように、 TE が長くなるにしたがって被害も大きくなる傾向にある。しかし図 2 (a) に示すように、兵庫県南部地震のパワースペクトル特性を持つ地震動では、被害が最大振幅に依存している。これより、入力地震動の最大値が等しい場合被

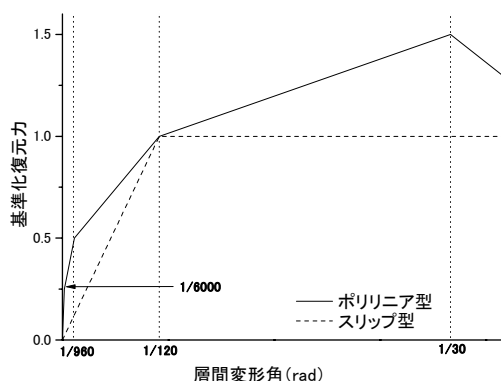
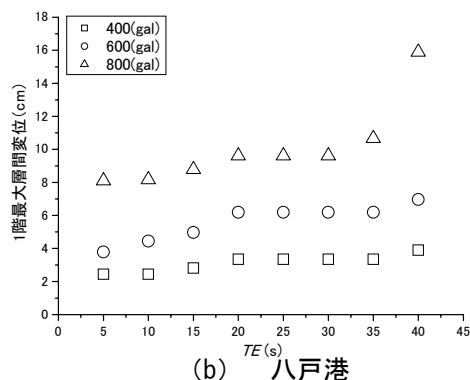
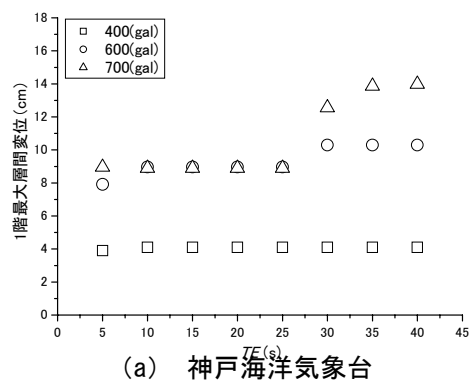


図1 解析モデルの履歴特性

図2 TE と 1 階最大層間変位の関係

キーワード 疲労応答スペクトル, 速度パワー, 木造構造物

連絡先 〒920-8667 石川県金沢市小立野 2-40-20 金沢大学工学部土木建設工学科 TEL:076-234-4654

害が等しくなるものと等しくないものがあるが、対象構造物の固有周期と似通ったスペクトル特性を有する地震動が入力される場合、最大値だけでは構造物被害を評価できないことが言え、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。

3. 地震動破壊力指標の評価

(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 *FSI* は筆者らの既往の研究により提案されてきた。しかしながら、強震時に即時被害推定ができるような指標も必要である。そこで本研究では地震動による 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* 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、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と考えられる。

FSIv、速度パワーは以下の式で求められる。以降では速度応答スペクトルに対する *FSI* (*FSIv*) について言及する。

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

$$\text{速度パワー} = \int_{0.1}^{2.5} \int_0^T x^2(t) dt dT$$

(2) 解析概要

被害地震の強震観測記録を入力とする、地震応答解析から得られた 1 階最大層間変位と各指標との関係を表 1 に示す。ここで、一般に木造構造物の固有周期範囲は、0.1~0.8 (s) であると言われている。しかし、地震動によって構造物の塑性化が進むと、地震中に構造物の固有周期が長くなることが知られている。そのため、構造物被害に大きく影響する周期帯域が地震前の構造物の固有周期付近と異なってくる。この周期が、非線形領域に入った木造構造物に、最も影響を与える周期であると考えられる。その周期帯域を各指標に考慮して解析を行う。今回はその周期帯域を 0.3~1.2 (s) に適用した指標値と 1 階最大層間変位との関係を見る。ただし、入力とする地震動波形は、履歴特性の各折点付近に 1 階最大層間変位が分布するように、実際の観測記録を 200 (gal) に基準化したものを用いている。

(3) 解析結果

図 3 は周期帯域を変更していない指標値と被害の関係である。図 4 は周期帯域を 0.3~1.2 (s) に変更した指標値と被害の関係を示している。図 3 では、相関係数 R^2 は *SI*、*FSIv*、速度パワーにおいて、それぞれ 0.88、0.92、0.94 となりどれも良い精度を示している。*FSIv* は非常に良い相関を示しているが、図に円で囲んである箇所は、同程度の値に対して変位に差が生じている。速度パワーは非常に良い精度で被害

と対応している。図 4 における相関係数 R^2 は同様に 0.87、0.92、0.27 となり、速度パワーを除き図 3 と同程度である。しかし、*SI* の円で囲んだ付近は同程度の値に対して変位に差が生じる結果となった。*FSIv* は図 3 における問題点が改善されている。

4. まとめ

本研究では、地震応答解析による地震動破壊力指標と変位の被害相関解析を行い、木造構造物の被害には地震動波形の繰り返しが影響することを示した。また、木造構造物の固有周期帯域を考慮することによって、地震動波形の繰り返しの影響を考慮した *FSIv* は被害を捉える指標として有効であることを、固有周期帯域を考慮しない場合には、速度パワーが被害とよく対応することを、それぞれ示唆できた。

参考文献

- 1) 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。

表 1 解析に用いた被害データ

地震名	対象地域	全壊率 (%)	全壊棟数 (棟)	半壊棟数 (棟)	世帯数 (世帯)
1993年能登半島沖地震	輪島市	0.05			
1994年三陸はるか沖地震	八戸市	0.13			
1995年兵庫東南部地震	神戸市中央区	12.73	4947	3420	52283
	神戸市長田区	28.16	12515	4994	53306
	尼崎市	1.34	603	3966	192340
	宝塚市	4.47	1339	3718	71558
	明石市	6.37			
1997年鹿児島県北西部地震	宮之城町	0.12	2	12	6608
	川内市	0.02	2	9	27408
	出水市	0	0	0	14717
2000年鳥取県西部地震	米子市	1.29	103	1087	49985
	境港市	1.72	71	287	12505
	日野町	22.45	129	441	1557
	江府町	0.04	0	1	1138
	日南町	0.27	0	12	2255
	柏太町(赤屋)	5.71	0	37	324
	松江市	0.00	0	1	58752
	横田町	0.04	0	2	2324
2001年荻予地震	県市	0.24	58	258	79211
	松山市	0.00	1	0	192537
2003年三陸南地震	大船渡市	0.04	2	8	14880

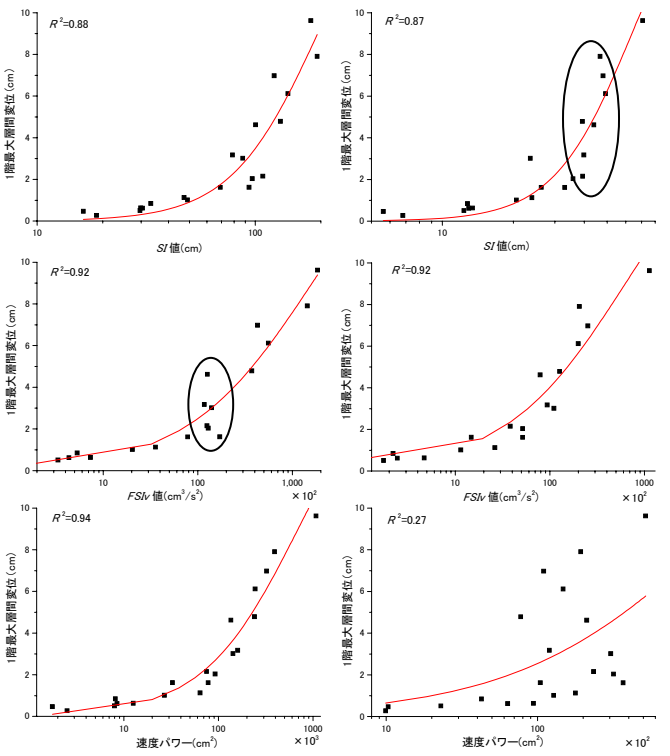


図 3 指標値と被害の関係

図 4 周期帯域を考慮した指標値と変位の関係