応答振幅の繰り返しが構造物破壊に与える影響

金沢大学大学院　学生会員○石井智大
金沢大学工学部　正会員　村田　晶
金沢大学工学部　正会員　宮島昌克
金沢大学工学部　フェロー　北浦　勝

1. はじめに

一般的に、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(*SI* 値)などが用いられているが、これらは応答の最大値のみに着目したものである。そこで、応答の繰り返しに着目した指標である疲労応答スペクトル(*FSI* 値：Fatigue response Spectral Intensity)を用い、構造物の実被害との相関をそれらの指標と比較することにより、精度の高い指標であることを明らかにした[1),2)]。しかしながら、着目した応答の繰り返しによる構造物破壊のメカニズムについては検証されていない。

そこで本研究では、1 自由度模型による水平動入力実験を行い、応答の繰り返しが構造物破壊に及ぼすメカニズムについて検証する。また、実験データから繰り返しを考慮した *FSI* 値を求めることにより、その適用性について検討する。

2. 疲労応答スペクトルについて

地震動に対する構造物の疲労破壊を表すために、応答波形の各振幅の繰り返し回数を数える。そこで、応答波形を高さのみの成分に変換し、各振幅を基準化する。基準化された各振幅での回数を繰り返し回数としてカウントする。これを固有周期ごとのそれぞれの応答波形に対して適用する。ここで、疲労応答スペクトルの概念を図 1 に示す。このように、繰り返し回数を応答スペクトルで積分し、体積で表される疲労応答スペクトルの積分値を求める。その際、地震動が構造物に与えるエネルギーを表すために応答スペクトルの 2 乗をすることとし、これより求められる値を *FSI* 値と呼ぶことにする。なお、実験データの指標値への適用については、実験で得られた応答加速度を用いることとし、繰り返し回数(C_{Sa})は、応答加速度波形のそれぞれの振幅値(S_a)を 1 回とする。さらに、あらかじめ求めた模型の固有周期(*T*)にのみ適用する。以上により、指標値を求める既存の式を模型の固有周期の *T* を用いた以下の式に置換する。

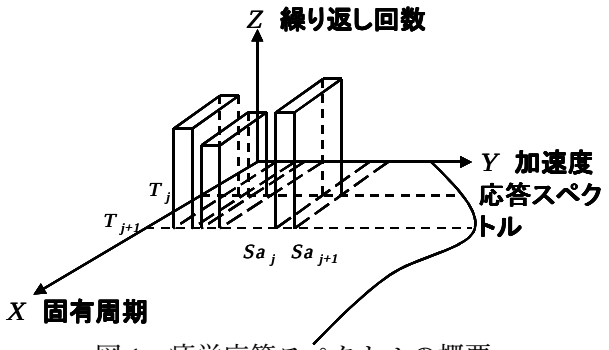

図 1　疲労応答スペクトルの概要

$$\text{加速度}FSI = \int_{0.1}^{2.5}\int_{0}^{S_a} C_{S_a} \times {S_a}^2 dS_a dT \Rightarrow \text{加速度}FSI_T = \int {S_a}^2 dS_a dT$$

3. 1 自由度模型による水平動入力実験

本実験で用いる模型の構造形式はラーメン構造とし、柱部分に高さ 400 ㎜×奥行き 100 ㎜×厚さ 0.5 ㎜の鋼板を用いる。ただし、梁中央部に補強材として高さ 400 ㎜×奥行き 20 ㎜×厚さ 5 ㎜の木材を使用する。この模型を振動台に剛に設置し、水平動入力可能な振動台により実験を行う。計測は、振動台と模型に取り付けた加速度計により行い、それぞれ入力加速度と応答加速度を計測する。また、模型と一体となって振動する基礎に取り付けたレーザー変位計により相対変位を計測する。

ここで、模型の破壊については、入力と応答の加速度時刻歴波形より、入力が増加、または一定の振幅を保っている過程において、応答振幅が減少するなどの波形に乱れがみられる箇所、すなわち系全体の剛性が低下する箇所に設定する。

(1)振動数一定で振幅増加の正弦波入力実験

模型の破壊において、加速度の大きさに対する応答振幅の繰り返しがどのように影響を与えたか検証する。そこで、最大絶対応答加速度を 100%とした時、応答加速度の全波数に対してある応答レベルでの加速度をカットし

キーワード：疲労応答スペクトル、繰り返し応答、応答加速度
連絡先：〒920-8667　金沢市小立野 2-40-20　金沢大学工学部　TEL:076-234-4654　FAX:076-234-4644

た応答加速度波数と最大絶対応答加速度の関係を図2に示す。カットする割合が70%以下では、波数が少ない程最大応答加速度が大きくなることから、両者には負の相関がみられた。したがって、応答の繰り返しが最大絶対応答加速度の大きさに影響を与えたと考えられる。さらに、小さい応答値の繰り返しも構造物破壊に影響を与えていることが理解できる。また、カットする割合が大きくなるにつれ波数に差がなくなることから、最大絶対応答加速度付近のみではなく、ある程度値の小さい加速度応答を含める必要があると考えられる。

(2)振動数と振幅一定の正弦波入力実験

(1)と同様に両者の関係を図3に示す。ただし、(1)より破壊時における波数の差が小さい範囲に負の相関がみられた。

4. 解析結果

3.により得られた結果を基に破壊時の最大絶対応答加速度と指標値の関係を検討する。まず、実験(1)における両者の関係を図4に示す。図に示すように、カットする割合が70%以下では、各破壊における波数の差が大きくなるため、波数の多い破壊で指標値にばらつきがみられた。しかしながら、カットする割合を70%から増加させることで波数の差がなくなるため、指標値にばらつきがみられなくなった。このことは、指標値に各破壊での波数の差が影響を与えていることを示している。また、実験(2)における両者の関係を図5に示す。図に示すように、カットする割合を65%以下に設定した時に指標値にばらつきがみられないことから、最大絶対応答加速度の差に関係なく本指標の適用できることが明らかとなった。しかし、カットする割合を65%から大きく設定すると、図4と違い波数の差が小さくなることにより指標値にばらつきがみられたため、今後の検討が必要である。

5. おわりに

本研究をまとめると以下のようである。

① 模型の破壊において、得られた応答加速度に対する波数と最大値の関係に負の相関がみられたことから、応答の最大値ではなくゼロから最大値までの全応答による繰り返しの影響が考えられる。特に、最大応答値を100%とした際、その割合付近のみの応答による繰り返しの影響はみられないが、割合が70～100(%)での応答による繰り返しの影響には負の相関がみられた。

② 応答の繰り返しが少なく最大応答値が大きい破壊と、応答の繰り返しが多く最大応答値が小さい破壊において、等値の *FSI* 値として評価できた。ただし、破壊時の最大応答値の差に対する応答の繰り返しの差が小さい時に限られているため、今後のさらなる検討が必要である。

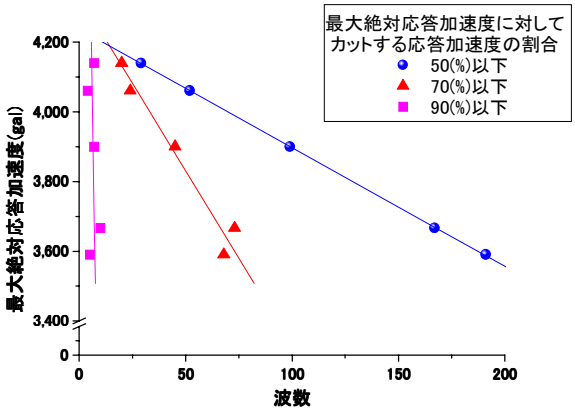

図2　波数と最大絶対応答加速度の関係

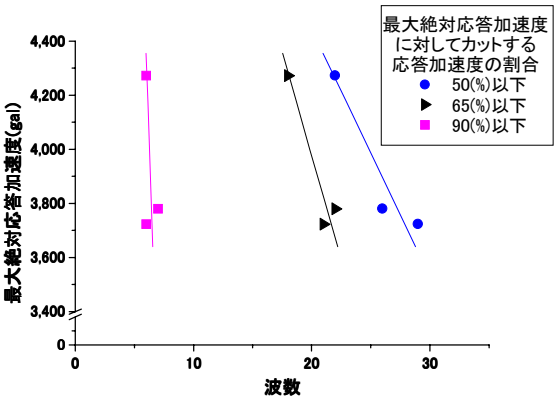

図3　波数と最大絶対応答加速度の関係

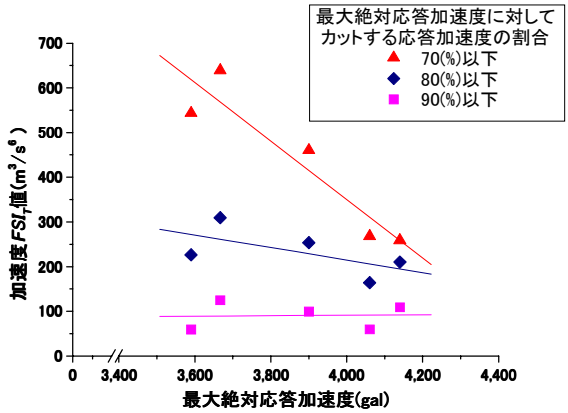

図4　最大絶対応答加速度と指標値の関係

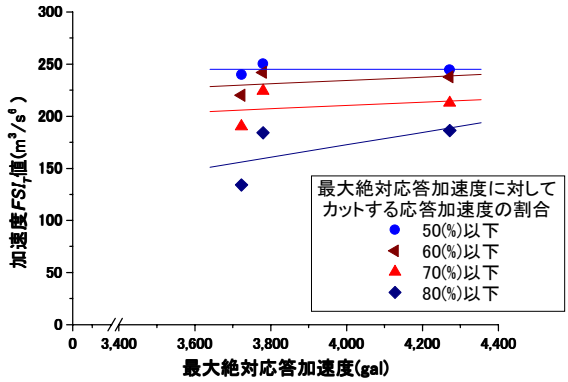

図5　最大絶対応答加速度と指標値の関係

[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.

2)高橋洋介：疲労応答スペクトルを用いた上水道管路の被害相関解析、金沢大学学士学位論文、1999.