

地震動の繰返しを考慮した応答スペクトル指標の適用性に関する研究

金沢大学大学院自然科学研究科 学生員 ○高橋洋介

金沢大学工学部 正会員 村田 晶

真柄建設株式会社技術研究所 安田 衛

真柄建設株式会社技術研究所 米木伸一

金沢大学工学部 フェロー 北浦 勝

1. はじめに

筆者らはこれまでに地震動の破壊力を表す新指標「疲労応答スペクトル強度 (*FSI* 値: Fatigue response Spectral Intensity)」を提案し、それと構造物の被害との相関が良いことを明らかにしているが、振動特性の異なる波形に対する指標値の時系列的特性についての検討がなされていないことから、いつ、またはどの程度の指標値で構造物が破壊するかを検討することができていない。そこで本研究では、時刻歴による累積 *FSI* 値の特性と被害との関係を調べる。

2. 疲労応答スペクトル強度 (*FSI* 値)¹⁾

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) などがあるが、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、最大応答以外の波形の応答値を考慮していない。そこで、繰返し応答を考慮した指標として *FSI* 値を用いる。速度 *FSI* 値の概要は次のようである。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返し回数を数える。これを、種々の固有周期 (0.1 (s) ~ 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、応答速度スペクトル (*S_v*) を *y* 軸に、各応答レベルでの繰返し回数 (*C_{sv}*) を *z* 軸にそれぞれとる。これを「速度疲労応答スペクトル」(図 1 参照) と呼ぶことにする。積分する際、得られる値が地震動が構造物に与えるエネルギーと相似になるように速度応答スペクトルの 2 乗を乗じることとし、これにより求められる値を速度 *FSI* 値と呼ぶ。以上より速度 *FSI* 値は以下の式で求められる。

$$FSI_v = \int_{0.1}^{2.5} \int_0^{\phi_v} C_{sv} \times S_v^2 dS_v dT$$

3. 累積 *FSI* 値の特性および構造物応答解析との比較

3.1 累積 *FSI* 値

地震動の性質の違いによる *FSI* 値の時間的特性を把握するため、地震波時刻歴と累積 *FSI* 値の関係を調べる。累積 *FSI* 値を算出するには、対象とする加速度波形 0 (s) から始めて 1 s ずつ時間間隔を伸ばして区切っていく。そして各時間間隔において算出される *FSI* 値を求めてプロットし、図示する。また、同様な方法で累積 *SI* 値についても解析を行い、図示する。

3.2 累積 *FSI* 値の特性および累積 *SI* 値との比較

海洋型地震 (Type I) と直下型地震 (Type II) の特性の違いを調べるため、釧路沖地震 (釧路市 EW: Type I) における累積 *FSI* 値、累積 *SI* 値と時刻歴の関係を図 2 に、兵庫県南部地震 (神戸市 NS: Type II) については図 3 に、最大加速度が釧路沖地震と比較的同等である鳥取県西部地震 (米子市 EW: Type II) について図 4 に示す。図 2 に示すように海洋型地震 (Type I) である釧路沖地震の

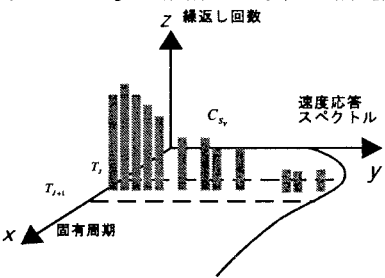


図 1 疲労応答スペクトルの概念図

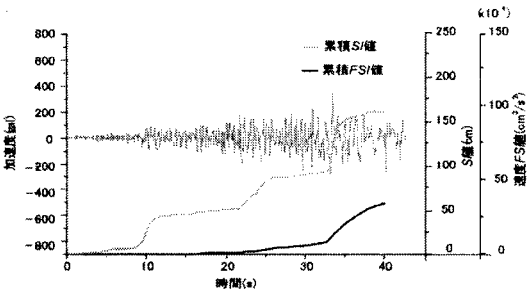


図 2 釧路沖地震における各指標値と時刻歴の関係

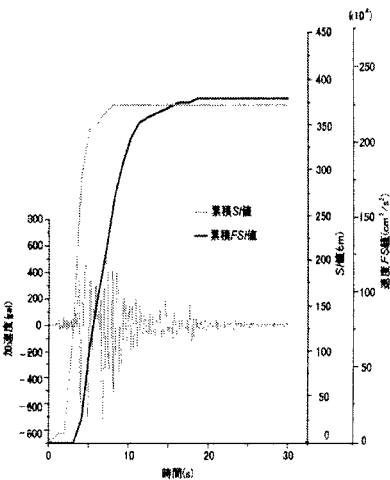


図 3 兵庫県南部地震における各指標値と時刻歴の関係

累積 FSI 値についての結果を見ると揺れ始めの数秒間にあまり変化が見られないが、およそ 33(s) を過ぎたところから時間とともに指標値が急激に増加していることがわかる。これに対して、図 3 と図 4 に示すように直下型地震 (Type II) における各指標値は、兵庫県南部地震では 3(s) 過ぎ、鳥取県西部地震では 11(s) 過ぎと、主要波の到着した数秒間での時間的変化が著しいことがわかる。また、 SI 値については、すべての図において最大加速度到達時付近にピークに近づくのに対し、 FSI 値については最大加速度到達後に急激に値が増加し始めることがわかる。理由として、指標値算出において SI 値は応答の最大値で算出されるのに対し、 FSI 値は最大応答以降に入ってきた応答波形すべてを考慮しているためである。

3.3 構造物地震応答解析

特性の違う地震波が実構造物に及ぼす影響を調べるため、動的解析を行う。そこで、単純な 3 階建 RC モデルを対象に地震応答解析プログラムを用いて動的解析を行い、層間変位の時刻歴を求めることにより上記の累積 FSI 値と比較する。ここで地震波による特性を考慮するため 50kine に速度基準化した地震波形により解析を行い、最も塑性化した 1-2 階床における層間変位と時刻歴の関係を求める。釧路沖地震 (Type I)、兵庫県南部地震 (Type II)、鳥取県西部地震 (Type II) の 1-2 階床における層間変位と時刻歴の関係についてそれぞれ図 5、図 6、図 7 に示す。図 5、図 6 に示す釧路沖地震と兵庫県南部地震については、塑性率が 1.0 を超えていることから構造物が塑性化しているが、図 7 より鳥取県西部地震においては構造物は塑性化していない。これら塑性化の傾向と FSI 値の関係は SI 値との関係に比べて調和的であり、 FSI 値が構造物破壊の程度を表す指標として用いることを示唆できる。また、兵庫県南部地震については、累積 FSI 値が急激に増加する時間付近 (5(s) ~ 10(s)) において層間変位が大きくなっており、最大層間変位に対する層間変位角が約 1/75 に達していることから、このときに構造物破壊する可能性が高いと考えられる。また、釧路沖地震について見ると、累積 FSI 値が急激に増加する時間 (33(s) ~) において塑性率が 1.0 を超える層間変位が連続している。ゆえに、累積 FSI 値が急激に増加するとき、構造物に何らかの損傷を与えられていると考えられることができると思われる。

4. まとめ

特性の異なる地震波に対する累積 FSI 値の時系列的特性と、単純 RC 構造物を対象とした動的解析による層間変位の時刻歴を比較すると、累積 FSI 値が急激に増加する時間区間において比較的大きな層間変位が連続することから、この時間区間において破壊の起こる可能性がある。また、最大速度が同等である地震波でも、地震波の振動特性が変わると層間変位の値に差が出たことから、地震波の振動特性、すなわち繰り返しが構造物に与える影響を、構造物の実被害例などを元に、さらに研究する必要がある。

【参考文献】

- 1) 高橋洋介他：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、土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集、第一部 (B)、pp. 44-45、1999. 9.

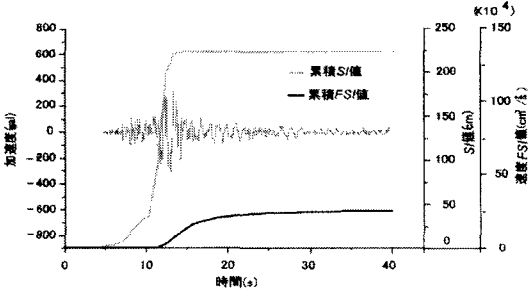


図 4 鳥取県西部地震における各指標値と時刻歴の関係

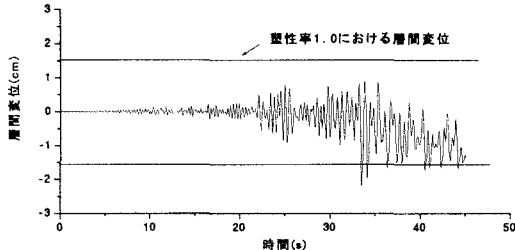


図 5 釧路沖地震における層間変位と時刻歴の関係

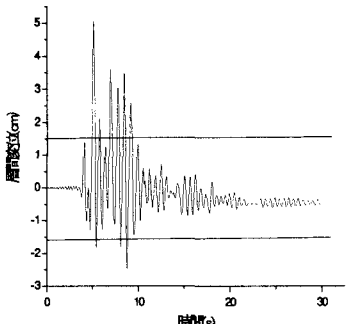


図 6 兵庫県南部地震における層間変位と時刻歴の関係

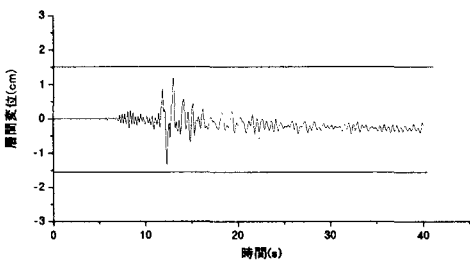


図 7 鳥取県西部地震における層間変位と時刻歴の関係