

I-B23

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

金沢大学工学部
金沢大学工学部正会員
正会員村田 晶
宮島昌克金沢大学大学院
金沢大学工学部学生員
フェロー高橋洋介
北浦 勝

1. はじめに

一般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）などが用いられてきた。しかし、構造物の被害には応答の最大値だけでなく、最大応答付近での繰返し回数による疲労破壊も考慮する必要がある。そこで筆者らは既に疲労破壊の概念を導入した新指標（FSI 値：Fatigue response Spectral Intensity）を提案しており、既往の研究¹⁾で、木造建物被害に対して FSI 値が適用できることを明らかにした。しかしながら、埋設管のような地中構造物や RC 構造物に対しても本指標が適用できるかについては明らかにされていない。

そこで本研究では上水道管路に対して本指標を適用し、水道管路被害率との相関を調べることで本指標の信頼性を検討する。

2. FSI 値の計算方法

(1) 応答速度の計算

強震加速度記録に対する 1 質点系モデルの応答速度を求める。1 質点系モデルの固有周期を $T=0.1\sim 2.5$ (s)、減衰定数を $h=0.05$ とする。

(2) 繰返し回数の定義

地震動に対する構造物の疲労破壊を表すために、応答波形を高さのみの成分に変換し、各振幅ごとの回数を繰返し回数としてカウントする。この操作を固有周期ごとに対応する 1 質点系モデルのそれぞれの応答速度波形に適用する。

(3) 疲労応答スペクトル

固有周期(T)を X 軸に、速度応答スペクトル(S_v)を Y 軸に、各応答レベルでの繰返し回数(C_{sv})を Z 軸にとったものを「疲労応答速度スペクトル」と呼ぶ。疲労応答速度スペクトルの概念図を図 1 に示す。繰返し回数と速度応答スペクトルの 2 乗の積を固有周期で積分した体積を求める。速度応答スペクトルを 2 乗する理由は、得られる値が地震動が構造物に与えるエネルギーに相当する量とするためである。これにより求められる値を速度 FSI 値と呼ぶ。また、加速度 FSI 値、変位 FSI 値は同様に強震加速度記録に対する 1 質点系モデルの応答加速度、応答変位を求めることにより得られる。以上より、速度 FSI 値は以下の式で求められる。

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

3. 上水道管路被害と各被害指標との関係

(1) 解析手法

解析対象地域における強震記録からそれぞれ求められる最大加速度、SI 値、各 FSI 値と水道管路被害率との関係²⁾を図示し、このグラフから対数関数近似により、相関係数を求める。これにより本指標と水道管路被害の関係について検討を行う。また、水道管路被害についてそれぞれ地震種別、管種別、地盤種別に分類し、各々の被害種別と各指標値との関係を調べる。

(2) 解析結果

本手法により求められる各被害指標と水道管路被害率と

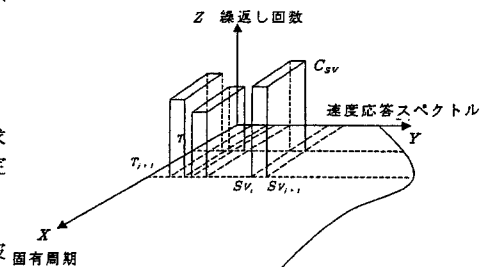


図1 疲労応答スペクトルの概念図

表1 各都市における水道管被害率²⁾

地震名	観測地点	水道管路被害率 (箇所/km)
兵庫県南部地震(1995)	神戸市	0.430
兵庫県南部地震(1995)	宝塚市	0.232
兵庫県南部地震(1995)	尼崎市	0.132
三陸はるか沖地震(1994)	八戸市	0.095
北海道東方沖地震(1994)	根室市	0.148
能登半島沖地震(1993)	輪島市	0.140
釧路沖地震(1993)	釧路市	0.030

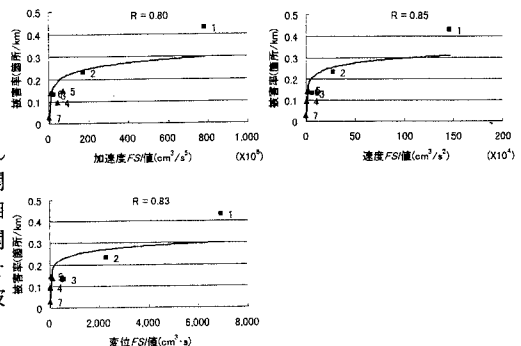


図2 地震種別による被害と各FSI値の関係

キーワード：疲労応答スペクトル、上水道管路

連絡先：金沢市小立野 2-40-20 電話：076-234-4654, F A X：076-234-4644, E-mail：murata@t.kanazawa-u.ac.jp

の関係を表 1 に示す各都市に対して適用し、FSI 値の精度について検証する。解析結果を図 2 に示す。図 2 では直下型地震・海洋型地震による地震特性を考慮し、地震種別に解析を行った結果を示す。図に示すように、どの指標も対数の近似曲線が右上がりとなり、水道管路の被害の程度と対応することがわかる。また、図 3 に示す各指標値と被害との相関係数を見ると各 FSI 値は良い相関を示しているが、特に速度 FSI 値は良い相関を示していることから、本指標が水道管路の被害を表す指標であるといえる。しかしながら、既存の指標値である SI 値と水道管路被害との相関も高いことから、疲労応答を考慮した指標が必要なのかどうかを含めて今後解析する必要があると考えられる。

次に上水道管路の管種別による解析を行った結果を図 4 に示す。ここで解析に用いた管種は、データが比較的そろっていたダクタイル鋳鉄管(DIP)と鋳鉄管(CIP)である。図に示すように加速度 FSI 値と速度 FSI 値が特に水道管被害率と良い相関を示し、管種別を考慮した水道管被害との対応が良いことがわかる。この理由として、特にダクタイル鋳鉄管は耐震性が良く、変位による影響よりも破壊力の要素を示す加速度が大きく管路の破壊に影響したからではないかと考えられる。

また、兵庫県南部地震を対象に地盤種別による解析を行った。解析結果を図 5 に示す。解析対象地域は東灘区、灘区、中央区の 3 区である。図に示すように、洪積層・沖積層・岩盤などの地盤では相関が良く、なかでも速度 FSI 値が最も良い相関を示した。一方、埋立地盤においては、それほど相関が良くない。この理由として、軟弱な埋立地盤では、側方流動など地盤変状による静的な要因での上水道管路被害が卓越するため、図 6 に示すように近似曲線が右下がりとなり、被害と FSI 値が対応しなかったことが考えられる。このことから、静的な要因による破壊の相関解析に動的な指標である本指標を適用することは難しいと考えられる。

4. おわりに

本解析により以下のことが明らかとなった

- 1) 各 FSI 値は水道管路被害によく対応する。
- 2) 速度 FSI 値は水道管路被害率と特に良い相関を示し、水道管路被害を表す最も適した指標であると考えられる。
- 3) 軟弱な埋立地盤では、本指標を用いて水道管路の被害の程度を推定することは難しいと考えられる。

【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、金沢大学学学位論文、平成10年3月。
- (2) (社)日本水道協会：1995 年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析、平成 7 年 5 月。

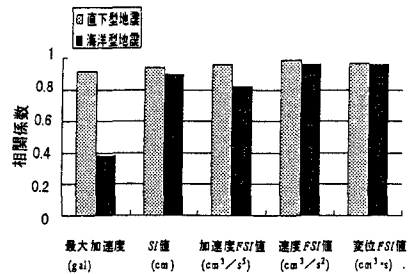


図 3 地震種別による解析結果

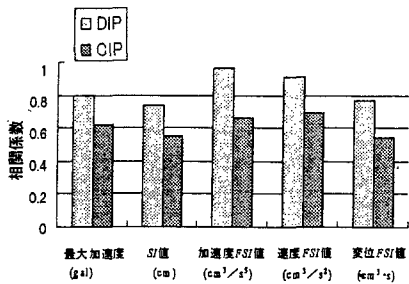


図 4 管種別による解析結果

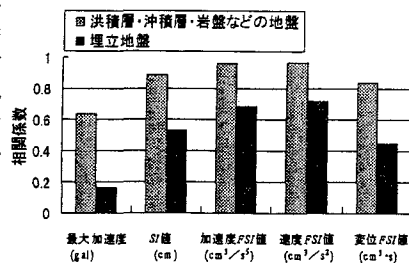


図 5 地盤種別による解析結果

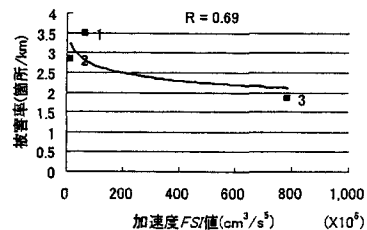


図 6 埋立地盤による加速度 FSI 値と水道管路被害率との相関