

鹿児島県における常時微動 H/V スペクトルを用いた建造物の耐震性能評価

鹿児島大学大学院 学生員 久留 一真
鹿児島大学大学院 正会員 木村 至伸

1. はじめに

鹿児島県は、本土の約半分がシラスに覆われた特異性を有する地盤で構成されているため、建造物の耐震設計や既設建造物の耐震診断、また、地震による被害想定を検討する際には、その地点における地盤の振動特性を精度よく、かつ簡便に推定することが必要となる。本研究では、鹿児島県の K-NET 観測点における常時微動観測記録と地震動観測記録を用いて地震動推定を行い、建造物の耐震性能評価について検討を加えた。

2. 常時微動 H/V スペクトル比による地震動推定法

既往の研究^{1), 2)}より、常時微動観測記録と地震動観測記録を用いた地震動推定法は次式によって表される。

$$H_E^E = \alpha \left(\frac{H/V}{H/V}_O \right)^M H_O^E \dots (1)$$

ここで、 H :水平方向のスペクトル振幅、 V :鉛直方向のスペクトル振幅、上添字の M は常時微動、 E は地震動、下添字の O は観測点、 E は推定点を表す。本研究では、右辺の補正係数 α を 1 とし丸山ら¹⁾によって提案されている手法に従った。

常時微動の観測は、K-NET 観測地点コード KGS002 (出水) と KGS005 (宮之城) において、サンプリング周波数を 100Hz とし水平方向 2 成分 (EW, NS 成分) と鉛直方向 (UD 成分) を計測した。観測記録から振幅が安定している 81.92 秒間のデータを 10 区間以上選り出してフーリエスペクトルを求め、各区間の H/V スペクトルを算出した。水平動に関しては、NS 成分と EW 成分の二乗和平方根としている。ここでの、フーリエスペクトル振幅は、0.4Hz の Parzen Window による平滑化を行っている。

図 1 に、KGS002 (出水) と KGS005 (宮之城) における常時微動 H/V スペクトル比を示す。図より、スペクトル比のピーク位置での相違が認められ、地盤の振動特性が異なることがわかる。

この結果と(1)式の関係を用いて、任意の地点の地震動の推定を行った。本研究では、1997 年に発生した鹿

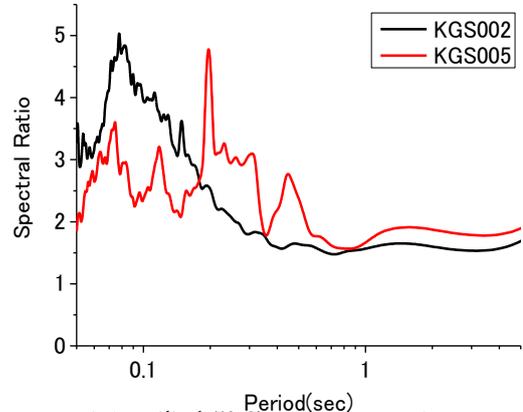


図 1 常時微動 H/V スペクトル

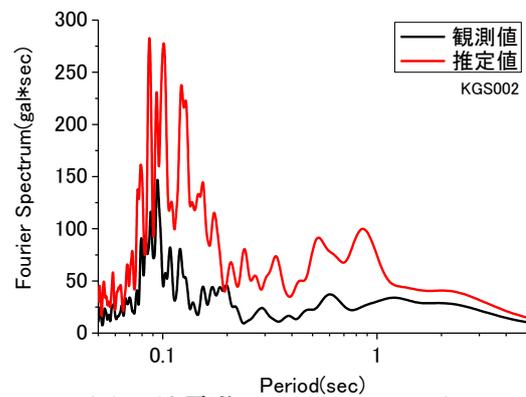


図 2 地震動フーリエスペクトル

児島県北西部地震を対象に、KGS005 (宮之城) の地震動の観測記録を用いて、KGS002 (出水) における地震動を推定した。

図 2 に、KGS002 (出水) において推定される地震動のフーリエスペクトルを示す。また図中には、比較・検証のため、K-NET により実際に観測された地震動のフーリエスペクトルも示している。この図より、観測地震動と推定地震動のフーリエスペクトルの形状は非常に近似しており、H/V スペクトル比のピークを与える振動数には、高い相関が認められる。つまり、シラスに覆われた特異性を有する地盤で構成された鹿児島県においても、常時微動 H/V スペクトル比のピーク位置から、任意地点での地震時における地盤の振動特性を推定することが可能であることがわかる。しかしながら、原田ら²⁾が指摘しているように、地震時地盤の震動振幅に関しては高い相関性は認められず、常時微動 H/V スペクトル比を用いた震動振幅の推定は有効な

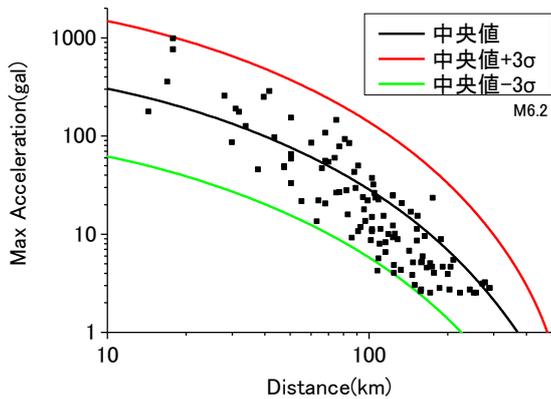


図3 距離減衰関係 (M6.2) と観測値

手法とは言えない。そのため、鹿児島県に特化した(1)式の補正係数 α に対する検討が課題となる。

3. 推定した地震動による構造物の損傷評価

一般的に、地震動の地表面最大加速度は、地盤特性や伝播経路等の影響によりバラツキを有している。マグニチュードと地表面最大加速度の関係を表す方法として距離減衰式があり、ここでは次式に示される Fukushima and Tanaka の距離減衰式³⁾を用いた。

$$\text{Log}_{10} PGA = 0.41M - \log_{10}(R + 0.032 \times 10^{0.41M}) - 0.034R + 1.30 \dots (2)$$

ここで、PGA: 地表面最大加速度 (gal)、M: 表面波マグニチュード、R: 断層までの最短距離とする。この式は、過去の地震動の観測値から得られた回帰式であり、対数標準偏差 $\sigma_{\log_{10} PGA} = 0.23$ を含んでいる。

図3は、1997年鹿児島県北西部地震 (M6.2) を対象に、(2)式を用いて算出した地表面最大加速度と、実際に K-NET 観測点で観測された地表面最大加速度のプロットを示している。図より、これらの観測値は距離減衰式の地表面最大加速度に対して $\pm 3\sigma$ 程度の範囲でバラツキを有していることが分かる。そのため、構造物の耐震性能評価を行う上で最も厳しい条件となる地表面最大加速度 $+3\sigma$ である 1019gal に基準化して構造物の損傷評価を行った。

本研究では、1自由度振動系モデルを対象に、減衰定数を5%、非線形特性は Bi-Linear 型復元力特性モデルとした。降伏変位は、レベル1地震動を用いて線形変位応答スペクトルを求め、安全率1.7を乗じて算出した。損傷評価は(3)式に示す Park らの損傷指標 D を用いた。

$$D = \frac{x_{max}}{x_u} + \frac{\beta}{Q_y x_u} \int dE \dots (3)$$

ここで、 x_{max} : 最大変位、 x_u : 終局変位、 Q_y : 降伏耐力、 $\int dE$: 履歴吸収エネルギー、 β : 材料の断面特性に依存し

表1 Park らの損傷指標と損傷程度との関係

損傷指標D	損傷の程度
0.0~0.1	わずかな損傷~まばらなひび割れ
0.1~0.2	軽微な損傷~小さなひび割れ
0.2~0.4	中程度の損傷~ひび割れ・剥離
0.4~1.0	大被害~圧破・鉄筋の座屈
1.0~	崩壊~全体的・部分的破壊

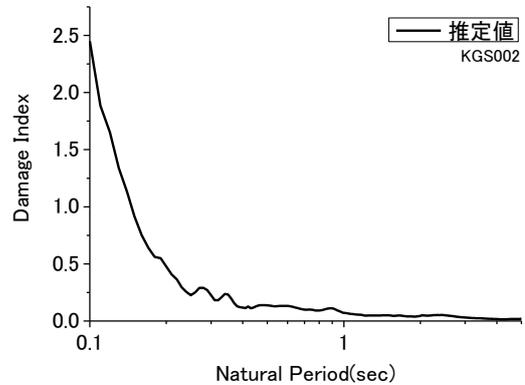


図4 損傷指標 D

た正の係数で 0.15 とした。ここでは、表1に示す損傷指標 D の値によって損傷の程度を判別した。

図4に、最も厳しい条件となる地表面最大加速度を用いた場合の損傷指標 D を示す。この図より、短周期側において、構造物が崩壊する可能性があることを示唆している。また、図中の損傷指標の値は、任意地点において想定される最大の損傷評価を示しており、地表面最大加速度のバラツキの範囲を把握しておくことが重要であることがわかる。

4. まとめ

本研究では、鹿児島県において常時微動観測を行い、地震動の観測記録を用いて任意地点の地震動推定を行った。その結果、その波形の周期特性が近似しており、距離減衰式から想定される最大加速度を用いて損傷を見積もれることから鹿児島県に広がる特異性を有するシラスに覆われた地盤においても有効な手段である。

参考文献

- 1) 丸山喜久, 山崎文雄, 本村均, 浜田達也: 常時微動の H/V スペクトル比を用いた地震動推定法の提案, 土木学会論文集, No.675/I-55, pp.261-272, 2001
- 2) 原田隆典, 中村真貴, 王宏沢, 齋藤将司: 強震観測点の記録と常時微動 H/V スペクトル比を利用した近傍の未観測点の強震動推定法, 応用力学論文集 Vol.11, pp.595-602, 2009.
- 3) Fukushima, Y and Tanaka, T.: A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, Bull. Seism. Soc. Am., 80, pp.757-783, 1990.