

I-406

地震動強度の伝達係数とその推定に関する研究

和歌山工業高等専門学校 正員 辻原 治

1. はじめに 数少ない地震動観測記録から任意地点での地震動特性を推定することができれば、地震による被害の早期把握などに役立つと考える。本報告では、地盤条件が不確定な地域において、2点間の地震動強度の比を伝達係数と定義し、その推定精度を確率有限要素法により評価する方法を提示する。

2. 解析手法 ある地点Aで地震動観測記録が得られており、この記録と地盤の情報から、任意地点Bの地震動強度を推定する問題を考える。地点Bにおける地震動のrms強度 u_{B-rms} は次式で表される。

$$u_{B-rms} = \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} (|H(f) \cdot u_A(f)|^2 / T) df \right\}^{1/2} \quad (1)$$

ここに、 f は振動数であり、 $H(f)$ 、 $u_A(f)$ 、 T はそれぞれ2点間の周波数伝達関数、地点Aにおける地震動のフーリエスペクトル、地震動の継続時間である。上式において、周波数伝達関数 $H(f)$ を確率変数からなる関数として、一次近似法(First-Order Approximation)を適用すると、 u_{B-rms} の期待値 $E[u_{B-rms}]$ 及び分散 $Var[u_{B-rms}]$ が次式で得られる[1]。

$$E[u_{B-rms}] = \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} (|H(f; \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \cdot u_A(f)|^2 / T) df \right\}^{1/2} \quad (2)$$

$$Var[u_{B-rms}] = \sum_{i=1}^n c_i^2 Var[x_i] + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1(k \neq i)}^n c_i c_k Cov[x_i, x_k] \quad (3)$$

ここに、 $x_1, x_2, \dots, x_n$ は確率変数であり、 $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n$ はそれらの期待値である。本研究では、地盤震動解析手法として有限要素法を用いており、要素の動特性値及び外力を確率変数として扱うことができる。また、式(3)の c_i は次式で表される。

$$c_i = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{\partial |H(f; \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)|^2}{\partial x_i} |u_A(f)|^2 / T \right) df / 2 \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} (|H(f; \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \cdot u_A(f)|^2 / T) df \right\}^{1/2} \quad (4)$$

いま、地震動強度の伝達係数として α をつぎのように定義すると、

$$\alpha = u_{B-rms} / u_{A-rms} \quad (5)$$

伝達係数 α の期待値 $E[\alpha]$ と変動係数 $C.O.V.[\alpha]$ は次式で表される。

$$E[\alpha] = E[u_{B-rms}] / u_{A-rms} \quad (6)$$

$$C.O.V.[\alpha] = \sqrt{Var[u_{B-rms}] / E[u_{B-rms}]} \quad (7)$$

3. 数値計算結果および考察 図-1と図-2に示す地盤モデルに本手法を適用した例を示す。Model 1(要素数400)とModel 2(要素数403)は水平成層地盤と不整形地盤のモデルであり、表-1に動特性値を示す。モデルの側方および底面は粘性境界とし、単位の大さきの複素振幅を持つ水平動が鉛直入射するものと仮定する。図-3に節点89の応答を示す。Model 1において節点89の応答を既知とし、要素のヤング係数、ポアソン比、Q値、単位体積重量、底面節点への入射波がそれぞれ独立にばらつく場合の強度の伝達係数 α の期待値と変動係数を図-4に示す。要素の動特性値のばらつきは、要素の大きさによって変動係数で0.1, 0.15, 0.2とした。入射波については、相対的なばらつきを仮定し、節点89の下方の底面節点からの距離に比例した変動係数(最大で0.1)を複素振幅に与えた。要素の動特性値がばらつく場合、 α の変動係数は、ヤング係数がばらつくときに最も大きく、単位体積重量、ポアソン比、Q値の順に小さくなっている。これらに共通して、強度を推定する節点が既知節点からある程度離れると、伝達係数 α の変動係数がほぼ一定になっているのがわかる。これは、両節点の下方周辺に高感度帯が集中していること(図-5参照)と関係する。他方、入射波がばらつく場合は、強度を推定する節点が離れるほど α の変動係数が大きくなる傾向が表されている。図-6と図-7には、要素のヤング係数と入射波がともにばらつく場合のModel 1とModel 2による解析結果を示す。

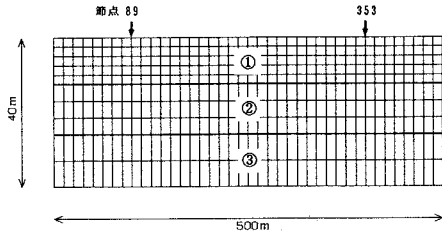


図-1 水平成層地盤モデル (Model 1)

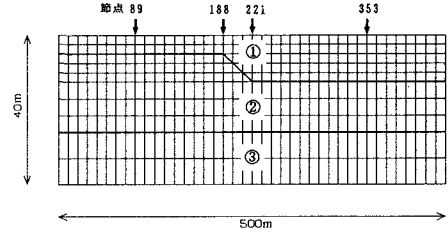


図-2 不整形地盤モデル (Model 2)

表-1 地盤モデルの諸元

層名	単位体積重量 (t/m^3)	S波速度 (m/sec)	ヤング係数 (t/m^2)	ポアソン比	Q 値
①	1.4	150	9000	0.40	10
②	1.6	300	40555	0.38	15
③	1.8	450	100423	0.35	20

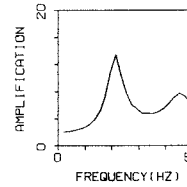


図-3 節点89の応答 (Model 1)

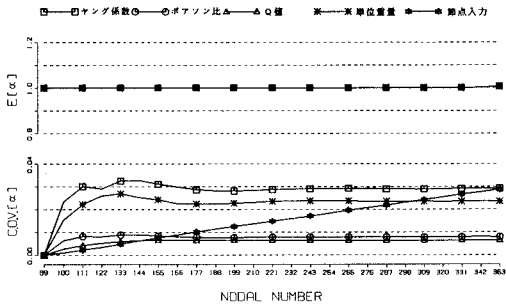


図-4 強度の伝達係数 α の期待値と変動係数 (Model 1)

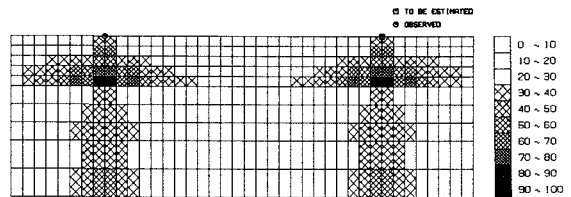


図-5 ヤング係数の相対感度

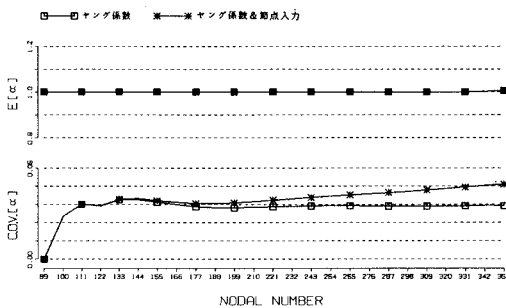


図-6 強度の伝達係数 α の期待値と変動係数 (Model 1)

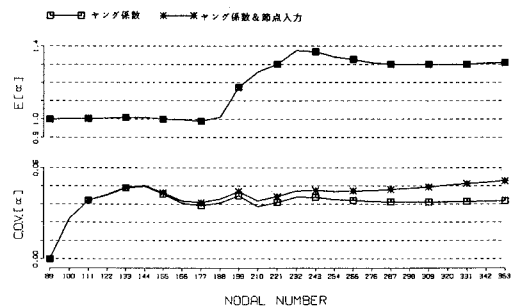


図-7 強度の伝達係数 α の期待値と変動係数 (Model 2)

謝辞 本研究について京都大学防災研究所・亀田 弘行教授に貴重なご助言を賜った。また、当時和歌山高専学生の船越 義臣君には数値計算などご協力いただいた。記して感謝の意を表します。

参考文献 [1]Ang,Tang 著; 伊藤, 亀田訳, 土木・建築のための確率・統計の基礎, 丸善,1977 年