

I-331 地震動強度の空間伝達特性評価に関する基礎的検討

和歌山工業高等専門学校 正員 辻原 治

1. はじめに 地震発生後、地域における被害状況を推定するための一つの方法として、地震動のモニタリングが考えられる。このとき、限られた地点での観測記録から任意地点における地震動特性を推定することが必要となる。本報告では、地盤係数を不確定量として扱い、一次近似法に基づく確率有限要素法¹⁾を用いて、一地点での観測記録から他地点での地震動の rms 強度を推定し、その推定精度を評価する手法について述べる。また、一次近似法の地盤震動解析への適用性について検討する。

2. 解析手法 いま、対象とする地域において、ある地点Aで地震動観測記録が得られており、この記録と地盤条件の情報から任意の地点Bでの地震動特性を推定する問題を考える。周辺の地盤構造がすべてわかっておれば、地盤を解析モデルに置換し、地点Aと地点Bの周波数伝達関数H(f)から、地点Bの応答が次式で得られる。

$$u_B(f) = H(f) u_A(f) \tag{4-1}$$

ここに、 $u_B(f)$ 、 $u_A(f)$ はそれぞれ地点B、地点Aにおける波動のフーリエスペクトルである。ところで、波動の2乗平均とパワースペクトルとは、次の関係がある。

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} u^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df \tag{4-2}$$

ここに、 $u(t)$ 、 $S(f)$ はそれぞれ波動の時刻歴およびパワースペクトル密度関数であり、Tは継続時間である。(4-1)、(4-2)式より、地点Bにおけるrms強度 $u_{B,rms}$ は次式で表される。

$$u_{B,rms} = \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \{ |H(f) u_A(f)|^2 / T \} df \right\}^{1/2} \tag{4-3}$$

(4-3)式において、H(f)を確率変数からなる関数としてみるならば、 $u_{B,rms}$ も確率量として取り扱う必要がある。ここで、一次近似法を適用すると、 $u_{B,rms}$ の平均及び分散は次式で得られる。

$$E[u_{B,rms}] = \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \{ |H(f; \mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_n}) u_A(f)|^2 / T \} df \right\}^{1/2} \tag{4-4}$$

$$Var[u_{B,rms}] = \sum_{i=1}^n c_i^2 Var[x_i] + \sum_{i \neq k}^n c_i c_k Cov[x_i, x_k] \tag{4-5}$$

ここに、 x_1, x_2, \dots, x_n はH(f)を構成する確率変数(地盤係数)であり、 $\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_n}$ はそれらの平均値である。また c_i は次のようにして得られる。

$$c_i = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{\partial |H(f)|^2}{\partial x_i} |u_A(f)|^2 / T \right\} df}{2 \left[\int_{-\infty}^{\infty} \{ |H(f) u_A(f)|^2 / T \} df \right]^{1/2}} \tag{4-6}$$

3. 数値計算結果および考察 これまで、摂動法を応用して地盤振動解析に適用した例はある²⁾。ここでは、まず、一次近似法による地盤振動解析の適用性を検討するためにモンテカルロシミュレーションによる結果とくらべてみた。解析モデルを図-1に示す。モデルは、表-1に示す6種類の物性からなる。物性6は半無限地盤である。モデルの側方および底面には粘性境界を用いた。また、入射波は、水平動のみとして鉛直下方から入射するものとした。図-2に、物性6を除くすべての要素のヤング係数が独立にばらつく

とした場合の、一次近似法とモンテカルロ法による解析結果を示す。図の(a)には、入射波に対する節点55の周波数伝達関数の振幅の期待値を示す。また、(b)、(c)、(d)にはそれぞれ、ヤング係数の変動係数が0.1, 0.2, 0.3のときの、周波数伝達関数のばらつきを変動係数で表している。図より、物性値の変動係数が0.3の場合に若干差がみられるが、一次近似法とモンテカルロ法による解析結果は、かなりよく対応している。なお、モンテカルロ法においては、要素のヤング係数の100通りの組合せについて計算を行った。他の地盤係数がばらつく場合についても検討しているが、紙面の都合で割愛する。

つぎに、一地点で地震動記録が得られているときに、他地点の地震動強度を予測し、地盤の物性値のばらつきと予測精度との関係を調べてみた。解析モデルは、図-1に示す地盤モデルを用いた。要素の物性値のうち、ヤング係数のみ独立にばらつくものとし、その変動係数を0.2とした。入射波は、単位の複素振幅をもつ水平動が鉛直下方から入射するものとした。節点28の地盤振動が既知であると仮定し、節点37, 46, 55の地震動強度を予測する。表-2に、節点28でのrms強度が既知のときに、各節点におけるrms強度の予測値、また、節点28のrms強度を1としたときの各節点のrms強度(ここではrms強度の伝達係数とよぶ)の予測値と、その精度を示している。表より、対象とする節点が節点28からはなれていくほどrms強度の伝達係数の変動係数が大きくなっているのがわかる。このように、強度を予測すべき地点が観測点からはなれると予測精度が落ちていく傾向が表されている。

4. おわりに 本報告では、一次近似法の地盤振動解析への適用性について検討した。そして、一地点での地盤振動記録から、他地点における地震動強度を推定し推定精度を評価する手法を示した。今後、複数点で記録が得られている場合の推定精度の評価法について考えてゆきたい。

謝辞 本研究をすすめるにあたって、京都大学防災研究所 亀田弘行教授から貴重なご示唆ならびにご助言を賜った。また、当時和歌山高専学生の田中健吾君には数値計算などご協力いただいた。ここに記して深く感謝いたします。

参考文献 1)辻原:地盤データの不確定性が地盤振動解析に及ぼす影響に関する研究,土木学会第46回年次学術講演会, I-629,1991, 2)UKON et. al.:AN INTERPOLATION FUNCTION METHOD FOR STOCHASTIC FEM ANALYSIS UNDER DYNAMIC LOADS USING FREQUENCY RESPONSE ANALYSIS, Proc. JSCE, NO. 392, 1988

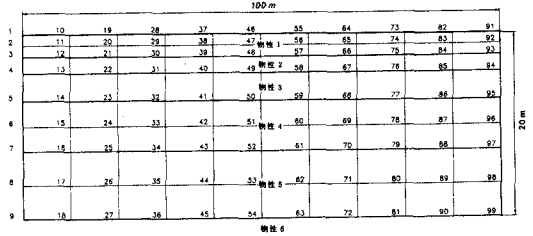


図-1 解析モデル

表-1 物性値

	単位体積重量 (t/m ³)	ヤング係数 (t/m ²)	ポアソン比	Q値
物性1	1.35	7614	0.41	1.0
物性2	1.50	8400	0.40	1.0
物性3	1.70	49382	0.39	1.0
物性4	1.70	49027	0.38	1.0
物性5	1.80	87480	0.35	1.0
物性6	2.00	2.4 × 10 ⁴	0.49	3.0

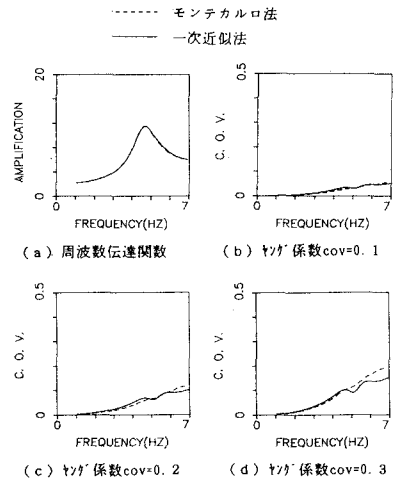


図-2 解析結果の比較(節点55における周波数伝達関数とその変動係数)

表-2 rms強度の伝達係数の予測と予測精度

	rms強度	rms強度の伝達係数	
	予測値	予測値	変動係数
節点28	73.1*	—	—
節点37	74.5	1.02	0.05
節点46	75.2	1.03	0.07
節点55	74.5	1.02	0.08

* 確定値