

東京大学 大学院 学○飯田昌弘
東京大学 地震研究所 正 伯野元彦

1. 目的 我々は、前年、中小地震記録を使って、大地震時の地上加速度の再現を行い、一応の成果をおさめた。¹⁾ 本研究は、これと、構造物の応答を推定するのに、地上で必ずしもワレフシジョンおく必要はない、という発想を軸に、今回は、土木構造物で得られた中小地震記録をもとに、²⁾ 大地震時のその加速度応答を推定するという、前例のない試みを行ったものである。

2. 新根元念 従来、土木構造物の応答を推定する

際には、構造のモデル化には重点をおくものの、震源から表層までを、不適切な入力地震動(せいぜい表層のみを考慮した)で置き換えるにとどまっている。これに対し、本方法は、本震と同一震源地域で発生し、類似した震源機構を有する中小地震の、土木構造物レベルでの記録を用い、震源断層を考慮して、要素波を時間領域で加え合わせていくという、全く異なった発想である。この方法では、理論的には(表層・構造物が弾性挙動をすれば、そしてたいていするのだが)、経路から構造物にいたる範囲では、誤差の介入する余地がない。中でも、構造物のモデル化や減衰・固有周期の設定による誤差が大きい、多様な土木構造物に対して、全く同一の方法で対応できるという決定力がある。従来の方法とは、異なった情報を必要とするのも強みである。

3. 方法 構造物は、モードを有するから、各成分ごとに独立に合成を行う。大地震の長方形の震源断層を同型同大の要素に分割して、合成記録 $F(t)$ は、一般に①式で表現する。方法の概略を図1に描写する。

$$F(t) = \sum_{i=1}^N g_i \times D_i \times f_i \left(t - \frac{S_i}{V_s} - \frac{r_i}{V_s} \right), \quad f_i(t) = 0 \quad (t \leq 0)$$

f_i : 構造物レベルでの小地震記録, S_i : 破壊開始点と断層要素中心間の距離

r_i : 要素中心と観測点間の距離, V_s : 断層の破壊速度, V_s : 弾性波速度

D_i : 地震規模の相異による震源での補正関数, i : 要素番号, N : 要素数

g_i : 小地震の震源と要素の位置の相異による補正関数, t : 時間

①

3-A. 震源 今回は、②式のように、1種類の小地震だけを用いる。また、震源では、断層のくいちがい速度一定で、大地震と小地震で短周期波の放出の仕方が等しいと、③式を仮定する。要素数 N は、大地震と小地震の地震モーメント M_0 の比率から算定するが、 $N = m(m+1)$: m は正整数を満たすようにする。なお、 M_0 は④式を用い、気象庁マグニチュード M_J から求める。

$$f_i(t) = f(t) \dots \dots \dots ②$$

$$D_i = 1 \dots \dots \dots ③$$

$$\log_{10} M_0 (N \cdot m) = 1.60 M_J + 8.4 \dots \dots \dots ④$$

3-B. 破壊と経路

要素波の位相をばらつかせることを最大の目的に、⑤式のような、破壊開始点からの不規則な(正規分布速度の)、2次元同心円上の破壊伝播とする。他方、弾性波速度は、⑥式のように一定の S 波速度を仮定した、弾性波は、実体波とみなし、幾何形状減衰と、 Q 値を仮定した非弾性減衰(振動数ごとの)補正を行った。すなわち、⑦式で表現される。ここでは、放射パターンと震源方向の効果は無視した。

$$V_s = V_s \text{ (平均 } m_s, \text{ 標準偏差 } \Delta_s, \text{ 初期値 } f_s) \dots \dots \dots ⑤$$

$$V_s = V_s \text{ (S波速度)} \dots \dots \dots ⑥$$

$$g_i = g_i \times \alpha_i, \quad \alpha_i = f \left(t - \frac{S_i}{V_s} - \frac{r_i}{V_s} \right), \quad D_i = \frac{\pi}{V_s} \left(\frac{r_i}{Q_s} - \frac{r_i}{Q_s} \right) \text{ とするとき、}$$

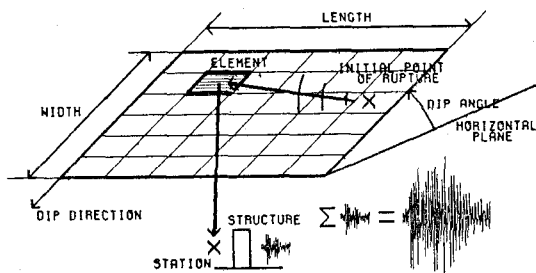


図-1 方法の概略

応答 = (震源 × 経路 × 表層) × 構造物 …… 従来
応答 = 震源 × (経路 × 表層 × 構造物) …… 本研究

$$y_i(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-D_i f + i 2\pi f t) \times W_i(f) df$$

$$W_i(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x_i(t) \times \frac{1}{f_i} \times \exp(-i 2\pi f t) dt$$

Q_{si} : S波のQ値, Q_{ss} : 小地震の経路のS波のQ値
 r : 小地震の震源距離, I : 虚数, f : 振動数

4. 計算例 この方法により、1978年6月宮城県沖地震の際の石巻市開北橋の橋脚の加速度記録3成分を、同年2月の前震を使って再現させた。この両地震の概要を図2と表1にまとめ、必要な断層諸元を表2に示す。また、破壊と弾性波の伝播に関し、仮定したパラメータを⑧にまとめる。各種パラメータの設定にあたり、文献③④を参考にした。記録は、土木研究

$$V_s = 4 \text{ (km/sec)}, m_s = 0.9 V_s, \sigma_s = \frac{1}{2} m_s$$

破壊開始: 断層南東端, $Q_{si} = 1000$, $Q_{ss} = 600$

所でデジタル化されたものを計路特性補正した。本震家記録を図3に、合成記録を図4に掲げる。本震橋軸成分は、途中で計路の限界を越え、記録が中断されたのだが、これも再現を試みた。

5. 結論 図3と図4を比較すると、合成記録のほうが振幅とスペクトルがやや大きいを除くと、波形の包絡線・主要動の継続時間・スペクトル形状などきわめてよい一致である。さらに、数ヘルツの高周波域中心にもかかわらず、たいへん類似したパルスが見られる。また、橋軸成分は、1Gを突破したものと推定される。本研究は、全く新しい試みであり、検討すべき問題点や課題は多いが、この新方法は、たいへん有望であるという手ごたえを感じた。

6. 文献 1) 飯田・伯野・井上・紺野: 第16回地震工学研究発表会pp141-145, 2) 飯田・伯野: 昭和56年度建築学会大会pp505-506, 3) 瀬野・島崎他: P.E.P.I.23pp39-61, 4) 平沢(土木学会東北支部調査委員会): 1978年宮城県沖地震調査報告書第2章pp7-28, 5) 土木研究所: 土木研究所集報Vol.33.

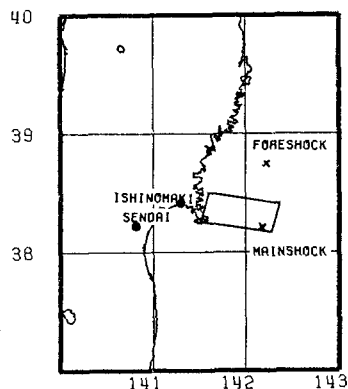


図-2 震源と断層位置

表-1 本震と前震

	MAINSHOCK	FORESHOCK
ORIGINE DATE	JUNE 12, 1978	FEBRUARY 20, 1978
ORIGINE TIME	17H14MIN25S	13H36MIN57S
LATITUDE (DEGREE)	38.15N	38.75N
LONGITUDE (DEGREE)	142.17E	142.20E
DEPTH (KM)	40	50
MAGNITUDE (JMA)	7.4	6.7

表-2 断層諸元

LENGTH (KM)	30
WIDTH (KM)	80
DIP ANGLE (DEGREE)	20
DIP DIRECTION (DEGREE)	N280E
MAGNITUDE (JMA)	7.4
LOCATION OF CENTER OF FAULT	
LATITUDE (DEGREE)	38.33N
LONGITUDE (DEGREE)	142.00E
DEPTH (KM)	35

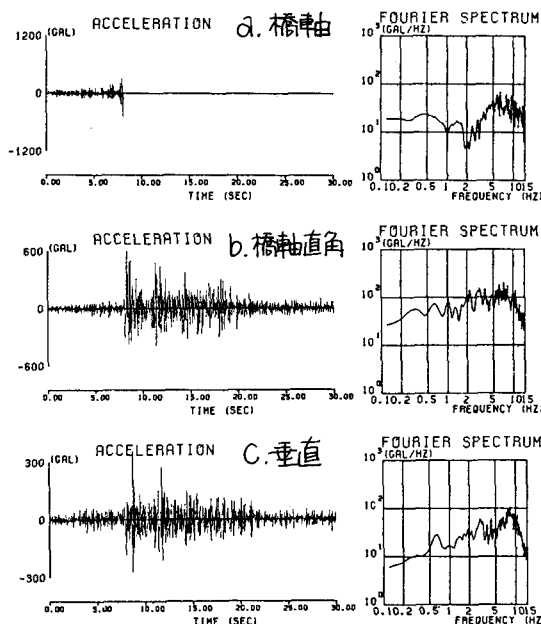


図-3 本震実記録

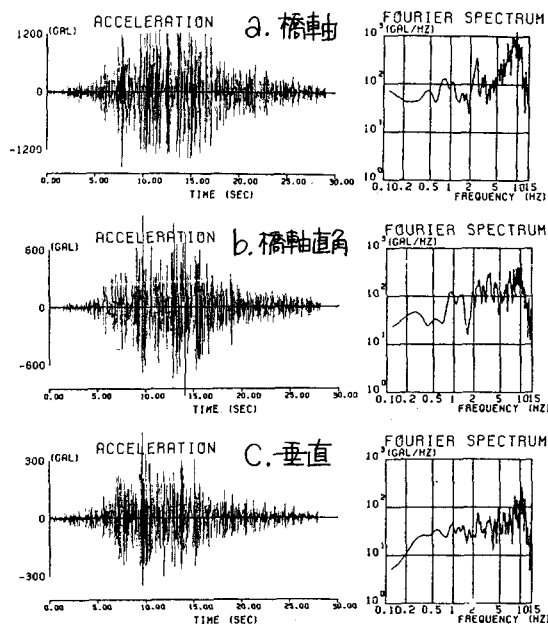


図-4 合成記録