

確率論的地震危険度解析に基づく時刻歴波形作成手法の検討

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○坂井 公俊  
正会員 室野 剛隆

1. はじめに 一般的な確率論的地震危険度解析からは地震動の最大値(最大加速度, 最大速度, SI 値)の期待値が得られる. ところが構造物, 軌道, 車両などを含む鉄道システム全体の地震リスク評価を行う場合には, それらシステム間の相互作用を直接考慮可能な時刻歴波形を用いることが有効である. この危険度解析結果に基づく時刻歴波形(生起確率付地震動群)を作成する方法としては, 既に統計的グリーン関数法を用いた手法が提案されている<sup>1)</sup>が, この方法は詳細な強震動予測が必要である. 本検討では距離減衰式等の比較的簡便な手法を用いて生起確率付地震動群を作成する手法について検討を行う.

2. 生起確率付地震動群の作成手法

2.1 地震危険度解析の実施, 地震発生震源域の選択

生起確率付地震動群を作成する手順を示す(図1).

- ① 活断層データベースに基づく確率論的地震危険度解析
- ② 地震危険度解析結果に基づく断層貢献度の算定
- ③ 貢献度の高い震源域からの地震動のシミュレート

このうち, ①については一般的な手法によって地震危険度解析を実施する(例えば<sup>2)</sup>. ②の各震源域からの貢献度は, 式(1)によって推定する<sup>3)</sup>.

$$C(X_k, a) = \frac{P_{X_k}(A > a; t)}{\sum_i P_{X_i}(A > a; t)} \tag{1}$$

ここで,  $C(X_k, a)$ は, 加速度  $a(gal)$  の地震における  $k$  番目の震源域  $X_k$  の貢献度,  $P_{X_i}(A > a; t)$  は対象地点で  $t$  年間に震源域  $X_i$  から  $a(gal)$  以上の地震が発生する確率である. 算定された貢献度に従って, 想定した地震動が発生する震源域を特定する. 具体的には, ある加速度レベルの地震動を複数波作成する場合に, 貢献度の割合に従って各震源域からの地震発生数を割り振る.

2.2 選択された震源域からの地震動作成

震源域の地震規模, 震源距離に基づき振幅特性, 位相特性を距離減衰式により設定することにより, 条件を満足する地震動群を作成する. まず, 次式によって表現される応答スペクトルの距離減衰式<sup>4)</sup>を用いて, 選定した震源域から想定される加速度応答スペクトル(減衰定数 5%)の形状を設定する.

$$\log Sa(t) = c_m(t)M + c_h(t)D - c_d(t)\log(R + c_1 \exp(c_2 M)) + c_0(t) \tag{2}$$

ここで,  $Sa(t)$ : 周期  $t$  秒の加速度応答スペクトル ( $h=0.05$ ),  $M$ : マグニチュード,  $D$ : 震源深さ,  $R$ : 断層最短距離,  $c_m(t), c_h(t), c_d(t), c_1, c_2, c_0(t)$ : 回帰係数である. これにより得られる加速度応答スペクトルは, 目標とする応答スペクトルの形状である.

次に振幅の初期情報を設定する. フーリエ振幅スペクトルは非減衰の速度応答スペクトルと概ね一致するという関係<sup>5)</sup>を用いて, 初期のフーリエ振幅スペクトル  $A_0(\omega)$  を設定する. ここで, 非減衰の速度応答スペクトルは, 式(2)によって得られる減衰定数 5%の加速度応答スペクトルを補正<sup>6)</sup>することにより推定する.

位相特性としては, 次式で表現される群遅延時間  $t_{gr}(\omega)$  の平均値と標準偏差の回帰式<sup>7)</sup>を用いて設定する.

$$\begin{aligned} \mu_{igr}^{(j)} &= \alpha_1^{(j)} \times 10^{\beta_1^{(j)} M} \times R^{\gamma_1^{(j)}} \\ \sigma_{igr}^{(j)} &= \alpha_2^{(j)} \times 10^{\beta_2^{(j)} M} \times R^{\gamma_2^{(j)}} \end{aligned} \tag{3}$$

ここで,  $\mu_{igr}^{(j)}$ : 群遅延時間の平均値,  $\sigma_{igr}^{(j)}$ : 群遅延時間の標準偏差,  $M$ : マグニチュード,  $R$ : 断層最短距離,  $\alpha^{(j)}, \beta^{(j)}, \gamma^{(j)}$ :  $j$  次の回帰係数である. 式(3)に従った正規乱数を発生させることにより, 群遅延時間  $t_{gr}(\omega)$  を求め,

キーワード 生起確率付地震動群, 確率論的地震危険度解析, 地震リスク

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 耐震構造 TEL042-573-7394

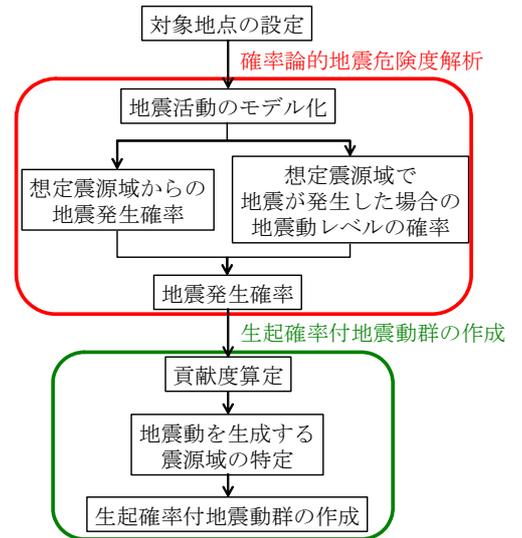


図1 本手法の概略的な流れ

これを積分することにより位相スペクトル $\phi(\omega)$ を設定する。

以上の作業により、目標応答スペクトル、位相スペクトル、初期振幅スペクトルが決定される。そこで、繰り返し計算により振幅を調整することで、目標応答スペクトルに適合させる。最後に得られた応答スペクトル適合波の最大加速度を想定地震レベルに調整することで、地震動を設定する。さらに、算定された地震動には、地震危険度解析によって推定された発生確率が付与される。

**3. 試計算** 本手法を用いた試計算として、東京地点(北緯 39.7029° , 東経 139.4430° )において生起確率付地震動群の算定を行った。対象期間を 100 年とした場合の地震危険度解析結果、貢献度算定結果を図 2 に、生起確率付地震動群の例を図 3 に示す。これより、同一加速度レベルの地震動であっても、想定される震源域の地震規模、対象地点と震源との距離が各地震動ごとに異なるため、経時特性が異なった結果となっていることが分かる。具体的には、地震規模、震源距離が大きくなるほど継続時間が長くなっている。また、地震動群の応答スペクトルから、地震規模が大きいほど長周期側が卓越する傾向となっていることが分かる。これらは既往の地震観測記録から得られている知見と同様の傾向を示している。

さらに本手法によって得られた生起確率付地震動群は、工学的基盤位置での地震動であるため、対象地点の地盤情報を用いた解析を実施することで、地表面位置における生起確率付地震動群として設定することが可能となる。

**参考文献** 1) 安中他：土木学会地震工学論文集，2005. 2) Cornell: BSSA, 1968. 3) 亀田他：土木学会論文集，1997. 4) 安中他：地震工学研究発表会講演論文集，1997. 5) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，1994. 6) 川島他：土木研究所資料，1983. 7) 佐藤他：土木学会論文集，2000.

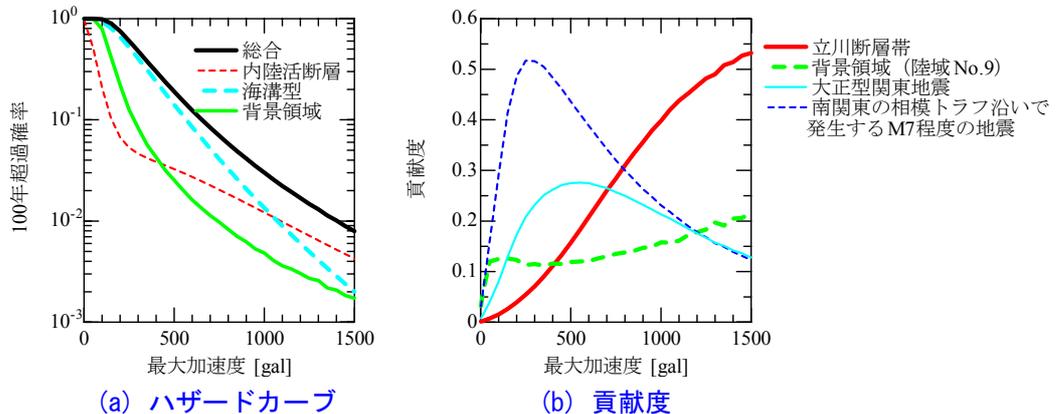


図 2 対象地点における地震危険度解析，貢献度算定結果

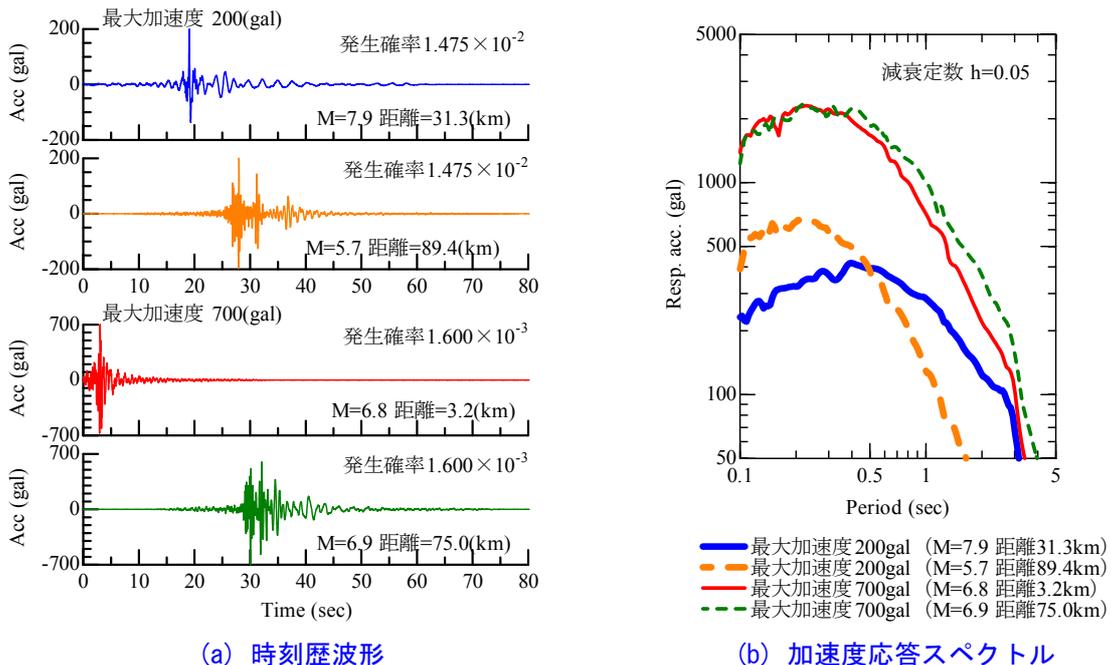


図 3 生起確率付地震動群の例