

1989年Loma Prieta 地震における強震記録に基づく 堆積地盤での地震動非線形増幅のモデル化

京都大学 学生員 ○久下 友也

京都大学 正員 杉戸 真太

1. はじめに： 1989年のLoma Prieta地震 ($M_s=7.1$) における強震観測記録とサンフランシスコ湾岸地域の局所的な地盤条件について詳細に調査した。これらのデータにもとづき堆積地盤の非線形増幅特性を検討し、簡単な地盤パラメータを用いて地震動強度を解放基盤面から堆積地盤上に変換する地震動変換係数 β_m をモデル化した。

2. 解放基盤、堆積地盤のデータセットの整備： CDMG (カリフォルニア州鉱山地質局), USGS (米国地質調査所) 併せて64観測地点について解放基盤までの深さ d_p , 表層近傍の地盤条件, 最大地動などについてまとめた。解放基盤までの深さ d_p の判明した14地点について堆積地盤と対応する解放基盤における地震動の増幅率 ($A_s/A_r, V_s/V_r$) を求めた。観測記録の方向が 0° (NS) 90° (EW) でないものは全てその方向に変換し, また, 堆積地盤近傍での解放基盤上での記録がないものについては, もっとも近い点の記録をもとに, Joyner & Boore 式(1989)に従って減衰すると仮定した値を用いている (5地点)。

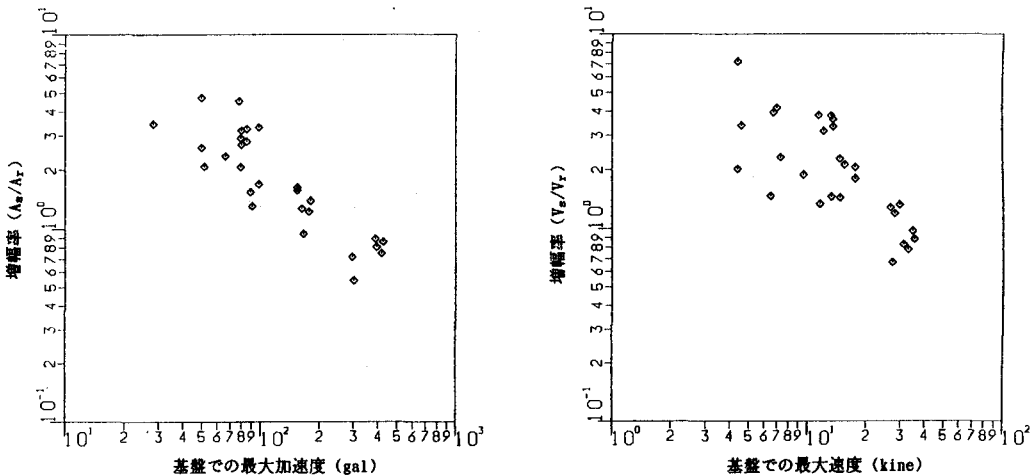


図-1 解放基盤での地震動強度に対する堆積地盤での増幅率の変化

いずれのグラフも基盤での地震動レベルが大きくなるにつれて増幅率はそれに反比例して小さくなっており, 非線形性が明確に現われている。

3. 非線形増幅特性のモデル化

(1) 地盤パラメータの定義：カリフォルニア地域のように表層の地質かそのせん断波速度と基盤までの深さの概略値程度が与えられる場合を想定し, 地盤パラメータとして基盤までの深さ d_p 及び次式で表される S_t を用いる。

$$S_t = \frac{V_b}{V_s} \quad V_b = 88(\text{m/sec}) \quad (1)$$

ただし V_s は着目点の表層のせん断波速度 (m/sec), V_b は基準となるせん断波速度であり, ベイマッドの平均的な値 $V_b=88(\text{m/sec})$ とする。この結果, S_t はベイマッド上で1.0前後, 沖積地盤の場合で0.5前後となる。

(2)地盤パラメータ S_t を用いた非線形増幅特性のモデル化： (1)で求めた地盤パラメータ S_t を用いて堆積地盤の非線形増幅特性をモデル化するために式(2)，式(3)を提案する。式(3)において，右辺から1.5を引いているのは $\log \beta_m$ が負になることを考慮した補正をしたためである。

$$\begin{cases} A_s = \beta_{ma} \cdot A_r \\ V_s = \beta_{mv} \cdot V_r \end{cases} \quad (2) \quad \begin{cases} \log \beta_{ma} = (a_0 - a_1 \log A_r)^m - 1.5 \\ \log \beta_{mv} = (a_0 - a_1 \log V_r)^m - 1.5 \end{cases} \quad (3)$$

式(3)における非線形性を特徴づけるパラメータ a_0, m, a_1 を d_p, S_t の関数とし，式(4)のように定義する。

$$\begin{cases} a_0 = c_0 + c_1 S_t + c_2 \log d_p \\ m = d_0 + d_1 S_t + d_2 \log d_p \\ a_1 = e_0 + e_1 S_t + e_2 \log d_p \end{cases} \quad (4)$$

また，式(4)の係数を求めるため図-1のデータを基に9個のパラメータの非線形回帰を行いその結果，最大加速度（式(5)），最大速度（式(6)）について以下のように係数が得られた。式(2)による推定式まわりでのデータの変動係数は最大加速度で 0.2343，最大速度で 0.2764 である

$$\begin{cases} a_0 = 5.73 - 3.92 S_t + 1.67 \log d_p \\ m = 0.35 + 0.25 S_t + 0.021 \log d_p \\ a_1 = 1.08 - 1.69 S_t + 0.91 \log d_p \end{cases} \quad (5) \quad \begin{cases} a_0 = 8.91 - 2.62 S_t + 0.10 \log d_p \\ m = 0.22 + 0.153 S_t + 0.054 \log d_p \\ a_1 = 3.35 - 2.21 S_t + 0.65 \log d_p \end{cases} \quad (6)$$

図-2に d_p, S_t の組み合わせに対応する地震動変換係数 β_m の値を示した。軟弱地盤の方が非線形の影響をより大きく受けていることがわかる。

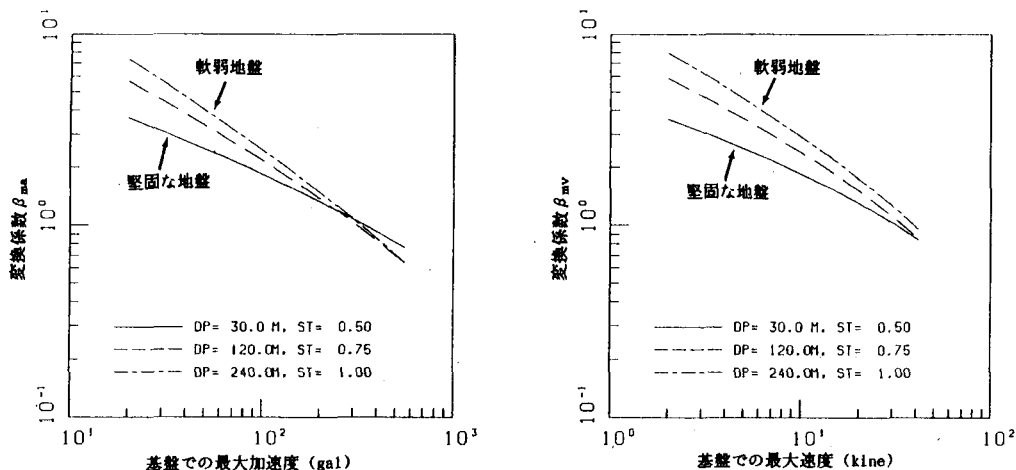


図-2 地盤条件 d_p, S_t の組み合わせに対する変換係数 β_m の変化

4. おわりに 表層近傍でのせん断波速度と表層地盤の地盤条件から新たな地盤パラメータ S_t を定義し，変換係数 β_m を開発した。ここで提案された変換係数 β_m は，ボーリング資料がなく一般的な地質区分しかないような広範な都市地域でのマイクロゾーニングに有効と考えている。

謝辞：本報のとりまとめにあたっては，米国Stanford大学，USGS，CDMG の関係者から多大の御協力を得た。

参考文献：CDMG，CDMG report OSMS 89-06，1989

USGS，USGS Open file report 90-xxx，1990