

I-46 鉛直アレー観測記録を用いた地盤の規準ひずみの逆解析

徳島大学大学院 学生員○曾根 洋治郎
徳島大学工学部 正会員 澤田 勉

大阪大学大学院 学生員 木島 久恵
徳島大学工学部 正会員 三神 厚

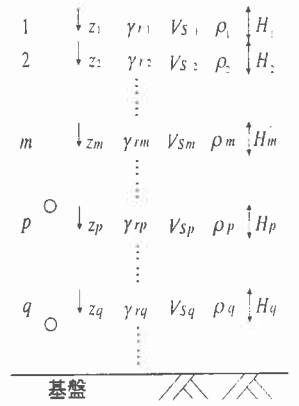
1. はじめに

堆積地盤における地震動を考える場合、当該地点の地盤の剛性および減衰は地震動の増幅特性を説明する重要な要因であり、土の密度、層厚といった地盤条件とともに、これら地盤特性値の構造を的確に把握することは、耐震工学上重要である。また、推定された地盤増幅特性をもとに入力地震動を設定することにより、対象構造物の応答や被害を精度よく予測することが可能となる。

本研究の目的は、鉛直アレー観測記録を用いて強震時の地盤の非線形性を明らかにすることである。具体的には、強震時の地盤の非線形性を特徴づける規準ひずみを同定し、土の剛性および減衰のひずみ依存性に検討を加える。

2. 同定手法の定式化

一般に、比較的震源が深い近距離地震による地盤震動は、その強震部でせん断波が卓越し、震央直角成分はSH波であると考えられる。本研究では、地盤表層部を図-1のような水平成層構造とし、SH波の鉛直入射を仮定した1次元重複反射理論に基づいた解析を行う。図-1における第 p 層上面(p 点)と第 q 層下面(q 点)で観測された加速度記録より、 q 層以浅の各層のせん断波速度($V_{sm} : m=1,2,\dots,q$)および規準ひずみ($\gamma_{rm} : m=1,2,\dots,q$)を同定する。層厚 H_m および密度 ρ_m は各種の地盤調査により比較的精度よく推定されているため既知とし、同定パラメータには含めない。



いま、図-1に示すような水平成層地盤において、層番号を上から順に1, 2, ..., $p, \dots, q$ とする。そしてこの地盤の p 点および q 点において同時観測記録が

図-1 水平成層地盤モデル

得られているものとする。 p 点、 q 点で得られた観測記録の複素フーリエスペクトルをそれぞれ $F_{po}(f)$ 、 $F_{qo}(f)$ とすると、重複反射理論¹⁾とHardin-Drnevich model

モデル、等価線形解析により、 p 点での複素フーリエスペクトル $F_p(f; \alpha)$ を求めることができる。ここで、 α は同定すべきパラメータを表わしたものであり、具体的には地盤各層の規準ひずみ($\gamma_{rm} : m=1,2,\dots,q$)およびせん断波速度($V_{sm} : m=1,2,\dots,q$)からなる。

$$\alpha = \{V_{s1}, V_{s2}, \dots, V_{sq}, \gamma_{r1}, \gamma_{r2}, \dots, \gamma_{rq}\}^T \quad (1)$$

つぎに、 $F_{po}(f)$ 、 $F_{qo}(f)$ 、 $F_p(f; \alpha)$ から求めたパワースペクトルを平滑化し、それらを $\bar{S}_{po}(f)$ 、 $\bar{S}_{qo}(f)$ 、 $\bar{S}_p(f; \alpha)$ とすると、周波数応答倍率の解析解 $A(f; \alpha)$ 、および観測解 $A_o(f)$ が次のように得られる。

$$A(f; \alpha) = \sqrt{\bar{S}_p(f; \alpha)} / \sqrt{\bar{S}_{qo}(f)} \quad (2)$$

$$A_o(f) = \sqrt{\bar{S}_{po}(f)} / \sqrt{\bar{S}_{qo}(f)} \quad (3)$$

(2)式および(3)式で与えられる周波数応答倍率 $A(f; \alpha)$ と、鉛直アレー観測記録より求めた周波数応答倍率 $A_o(f)$ との残差平方和を最小にすることにより規準ひずみを同定する。ただし、このような最小化問題では、解の一意性が保証されないという問題がある。この問題の1つの解決策として、初期モデルに先験的情報を導入するというベイズ的なアプローチがある。本研究においても、このアプローチを採用し、せん断波速度がある範囲内で収束するような制限を加えた評価関数を設定する。

$$Se(\alpha) = \sum_{j=1}^{Nf} \{A(f_j; \alpha) - A_o(f_j)\}^2 + w \sum_{i=1}^{NI} (\alpha_i - V_{io})^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

ここで、 f_j 、 Nf はそれぞれ対象とする周波数領域を分割したときの j 番目の振動数点と、その分割の総数である。また NI は地盤の層数、 V_{io} はPS検層より得られるせん断波速度、 w はせん断波速度の制約を支配す

る重み係数であり、 $w=10^{-4} \sim 10^{-8}$ の値が用いられる。(4)式の評価関数を用いることにより、地盤各層のせん断波速度と規準ひずみを同定することができる。

3. 同定結果

本研究では、実地盤に同定問題を適用し、本手法の妥当性を検討する目的から、実地震動記録が豊富で、かつ地盤構造が判明している文献2)の国内2観測地点で得られた鉛直アレー観測記録を用いる。文献2)の強震動アレー観測記録データベースには過去に観測された強震記録が多数収録されており、各観測地点では、標準貫入試験、PS 検層などを含む一般的な地盤調査も行われている。本研究では同定対象地盤として、東京大学生産技術研究所(千葉実験所構内観測点)および清水建設技術研究所(越中島観測点)の2地点を選択し、各地点で得られた鉛直アレー観測記録のそれぞれ数組に対して同定を試みる(以下、千葉、越中島で表記する)。本報告では、紙面の都合上、千葉で得られた鉛直アレー観測記録4組を用いた解析結果のみを示す。

・千葉の同定結果

図-2に、東京大学生産技術研究所千葉の地盤の同定されたせん断波速度((a)図)および規準ひずみ((b)図)の深さ方向の分布を示す。これらの図の横軸はせん断波速度または規準ひずみ、縦軸は深度である。

これらの図表より以下のことがわかる。

- 1) せん断波速度の同定値は、PS 検層により得られる値($V_s=140\text{m/s}$)よりも若干大きな値となるが、比較的精度よく同定されている(図-2(a))。
- 2) 規準ひずみの同定値は、ほぼ $10^{-4} \sim 10^{-3}$ の範囲となり、平均的には室内試験による推定値

(10^{-3} 程度)と整合する。しかし、図-2(b)に見られるように、規準ひずみの同定値は下層になる程小さくなり、一般的な傾向、すなわち、拘束圧が大きいほど規準ひずみが大きくなるという傾向と異なる結果となった。

4. おわりに

本研究では、地震時の地盤の非線形性を同定するために、周波数依存型の等価線形解析法を導入し、同定問題を定式化した。この方法は、規準ひずみを同定することにより、地盤各層の剛性および減衰のひずみ依存性を間接的に同定するものである。提案した手法を用いて、国内2地点の観測点で得られた鉛直アレー観測記録から、実地盤のせん断波速度と規準ひずみを同定し、若干の考察を加えた。結果を要約し以下に示す。

- ① せん断波速度の同定値については、一部を除いてPS 検層と対応した結果を得ることができた。
- ② 規準ひずみについては、室内試験より砂で 5×10^{-4} 、粘土で 3×10^{-3} 程度になることが知られている。今回の規準ひずみの同定値は $10^{-4} \sim 10^{-2}$ の範囲となり、平均的には室内試験とほぼ整合した結果が得られた。しかし、各層での土質の違いによる明確な差異は見られず、また、拘束圧の違いが規準ひずみに及ぼす影響が抽出できなかった。これらについては、今後検討が必要である。

参考文献

- 1) 土岐憲三：新体系土木工学・構造の耐震設計，持報堂出版，pp.80-91，1981。
- 2) (財)地震予防協会：強震動アレー観測記録データベース，No.1，1993，No.2，1995。

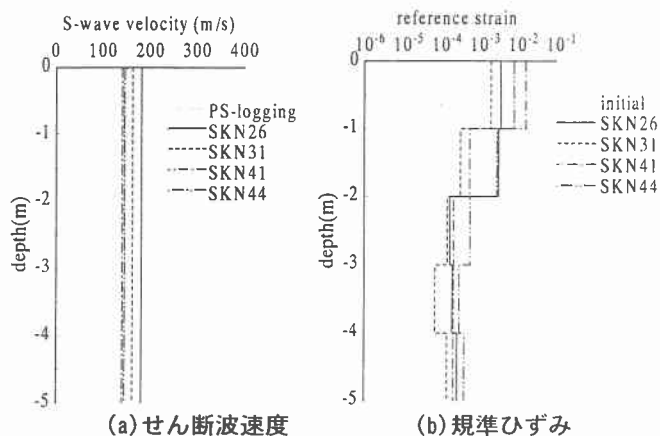


図-2 せん断波速度と規準ひずみの同定結果(千葉)