

III-A 119 簡易振動試験に基づく地盤の動的物性定数の逆解析（続報）

○福井大学 工学部 正会員 小嶋 啓介  
 福井大学 工学部 正会員 荒井 克彦  
 (株)サンワコン 正会員 本多 秀夫  
 (株)大兼工務店 中村 典之

1. まえがき 地盤のせん断波速度や減衰定数などの動的物性定数を対象とした土質試験には、多大なるコストがかかる傾向にあるため、土質分類から典型的な値を選択することが多いものと考えられる。本稿では、現場簡易振動試験から、対象地盤のせん断波速度と減衰定数を推定する逆解析手法を、いくつかの現場に適用し、動的物性定数の土質、N値との依存性を検討した結果を報告する。

2. 実験概要と対象地盤 現場振動実験は図-1に示すように、重さ22.58kgfのおもりを、1mの高さから鉛直に落下させ、複数の地表面の鉛直方向の加速度を計測するという機動性の高い実験であり、1地点あたり約1時間でデータを収録することが可能である。加速度ピックアップは2個を一組として用い、おもりの落下中心から、2mと3m、4mと5mというように配置し、複数の落下実験を行った。現場実験

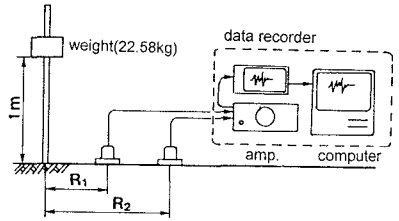


図-1 現場実験の概要

は、1995年度には図-2に示す3地点で行い、1996年度には新たに10地点を追加したが、ここではその内、図-3、4に示す6地点の結果を報告する。図-2から4はその土質柱状図とN値の深度分布を示したものである。図-2の3地点は、福井大学構内と、粘性土、砂質土の代表として選択した2地点であり、図-3は礫質土から砂質土が優勢な地盤を、図-4は粘性土が優勢な地盤で分けて示したものである。

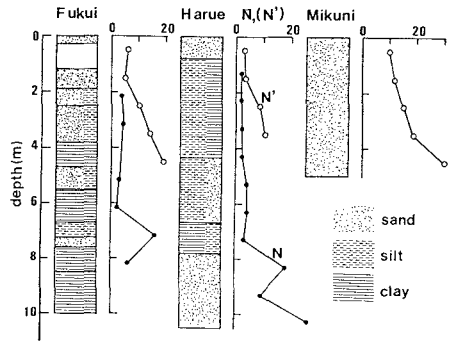


図-2 土質柱状図とN値の分布

3. 逆解析手法と適用結果 動的解析法としては、時間領域で積分を行う有限要素法を用い、減衰マトリックスCは、質量マトリックスMと剛性マトリックスKの線形和として計算するRayleigh減衰を仮定する。地盤の動的物性

定数の逆解析に際し、対象地盤のN値が計測されており、密度およびポアソン比は既知と仮定する。さらに、減衰定数は逸散減衰の効果も含めて地盤全体で1つの値を持つとし、せん断波速度はN値により、 $V_s = a N^{0.814}$ で表されると仮定する。以上の仮定により、動的物性定数の逆解析問題は、次式を最小とする係数aと減衰定数hを探索する最適化問題として定式化できる。

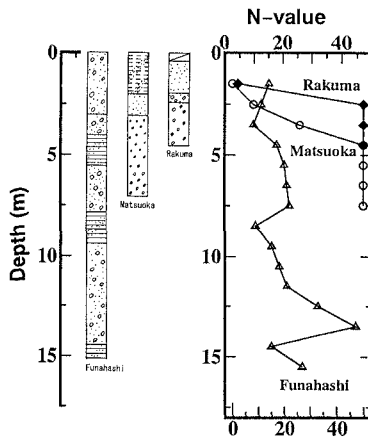


図-3 土質柱状図とN値（砂）

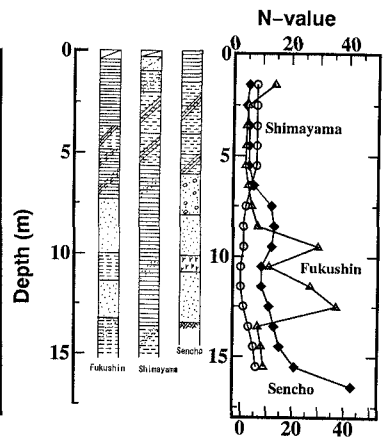


図-4 土質柱状図とN値（粘性土）

$$J = \frac{\sum_{i=1}^{Nt} \sum_{j=1}^{Nmax} (x_{ij} - X_{ij})^2}{\sum_{i=1}^{Nt} \sum_{j=1}^{Nmax} X_{ij}^2} \rightarrow \text{minimize}$$

ここに、 $X_{ij}$ ：計測点  $i$  の観測加速度の  $j$  番目の周波数のフーリエスペクトル、 $x_{ij}$ ： $X_{ij}$  に対応する計算スペクトル、

$Nt$ ：計測点の個数、 $Nmax$ ：周波数の最大値をそれぞれ示している。目的関数  $J$  は、観測加速度と計算加速度の誤差の二乗和を観測加速度で基準化した誤差関数であり、振動のレベルによらず、現場の振動性状の再現性を示す指標となっている。なお、最適化計算にはパラメータ数が少ないときに有利なシプレックス法を採用した。

4. 適用結果 図-5は、図-3に示すように礫混じり砂が優勢な Funahashi の観測加速度のフーリエスペクトルと、逆解析されたパラメータによる計算フーリエスペクトルの比較であり、プロットが観測地、実線が計算値を示している。図-6は、図-4に示すようにシルト、粘土地盤である Shimayama の同様の図である。これら図から、逆解析されたパラメータは、対象地盤の振動性状を精度良く再現しているといえる。表-1は9カ所の逆解析結果の一覧であり、左から観測地点、目的関数  $J$ 、パラメータ  $a$ 、減衰定数  $h$  の収束値を示している。なおこの表の結果は、パラメータ  $a$  の初期値は 100、減衰定数  $h$  の初期値は 5%とし、最大繰り返し回数は 25回として逆解析を行ったものである。これらの結果から、対象地盤の地盤構成が単調であるほど、目的関数は小さくなり、現場の振動性状を精度良く再現できているといえる。従来の研究では、パラメータ  $a$  の土質依存性は小さく、粘性土で 102~114、砂質土で 81~97 程度であるといわれているが、今回の逆解析結果では 100 前後に推定されているものが多いものの、240 前後に推定されたものも 2 地点みられた。また、減衰定数  $h$  についても、5~10%の値として推定されているものの、ばらつきはかなり大きいといえる。減衰定数には、地盤の逸散などの効果も含まれているのであるが、解析範囲については、 $N$  値は 30 以上程度を基盤として区切ったため、逸散の効果が各適用対象で統一できていない可能性も否めない。上述のように、今回の逆解析結果からでは、パラメータ  $a$ 、減衰定数  $h$  の値と地盤種別との関連性については確実なことがいえない結果しか得られなかった。

5. あとがき 簡易振動実験からせん断波速度と減衰定数を推定する逆解析手法を、いくつかの地盤に適用した結果を示したが、地盤種別とパラメータ  $a$ 、減衰定数  $h$  との明確な傾向は見受けられなかった。今後、現場実験データをさらに蓄積するとともに、減衰の効果などを統一し、逆解析を安定して行うための必要条件、探查限界深さなどを明らかにしていく予定である。

参考文献：一ニら：簡易振動実験に基づく地盤の動的物性定数の逆解析、第 30 回土質工学研究発表会概要集、pp.999-1000,1995. Imai,T. : P and S wave velocities of the ground in Japan, Proc. 9th ICSMFE, 1977.

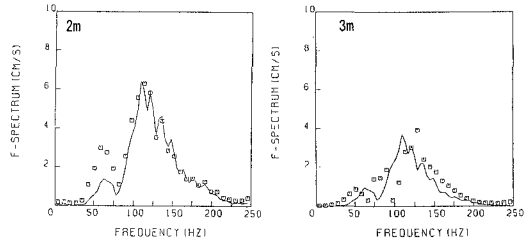
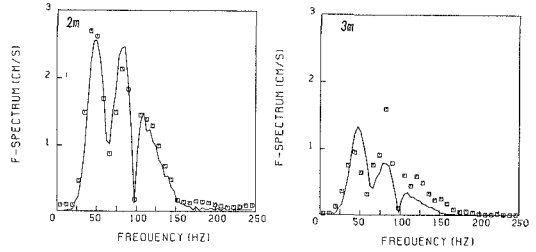


図-6 観測地と計算値の比較(Shimayama)

表-1 逆解析結果の一覧

地点	J	a	h
Fukui U.	0.125	126.3	0.092
Harue	0.054	135.4	0.20
Mikuni	0.272	240.47	0.28
Funahashi	0.0755	82.37	0.051
Matsuoka	0.164	119.72	0.105
Rakuma	0.157	111.37	0.088
Fukushin	0.468	70.00	0.073
Shimayama	0.121	248.75	0.035
Sencho	0.506	77.344	0.129