

## (38) 微動から推定される 傾斜地盛土地盤の振動特性

東京都立大学 正会員 国井隆弘

### 1 まえがき

常時微動を観測して工学的に利用する試みは数多くおこなわれている。観測は、構造物および地盤を対象とする場合が多いが、本研究は盛土地盤に関するものであまり例を見ない様である。

都市部においては古くから傾斜地斜面の盛り切りがなされてきた。これは、土地の有効利用の上から当然のことであるが、地震の際に斜面崩壊が発生する場合には防災の面から多くの問題が生じる。例えば、崩壊土石が直接に構造物・施設・人等へ危害を与えることだけでなく、これらの支持地盤の破壊を引き起こすこととなり、また水道・ガス・送電施設等のライフライン・用水路・河川等への影響も大きい。さらに斜面の下の道路への崩壊落下土石は、交通路としての機能を著しく低下させ、地震後の消防・救援救急活動の大きな妨げになることが予想される。

一方、山間部においては過去の地震被害が多く示す様に、地区と都市部あるいは地区間の連絡路が遮断されることにより各種の弊害が生じる。特に地区への道路網が少ない場合には、1978年の伊豆大島近海地震にみられた如く、地区が孤立したため飲食物等が空輸されている。

この他にも例は多く、この様な被害はできるだけ避け得ることが望まれる。しかしながら人工的に造られるこの種の斜面が耐震工学のなかで着目される機会は比較的少ない様である。

### 2 目的・方法

東京都防災会議は1973年に「地震時の崖・擁壁の崩壊予測に関する調査」の報告書を発表している。これによると、建築物に影響を及ぼす東京都区内の崖は4千件余、擁壁は1万8千件余（最高の高さ3mおよび傾斜角30度以上、斜面に沿った長さは判断基準を設けているが約10m）ある。ここで崖とは斜面が土の面からなるものとして、擁壁と分けている。その後、都全域および周辺の自治体においても同様の調査がおこなわれている。調査は調査員が斜面と直接に対面しておこなう方法をとったため膨大な費用と時間を要している。高さと傾斜角度以外の調査項目を表1に示す。

表1 調査項目の概要

この調査の検討は現在も数年ごとに都条例によっておこなわれている。また1923年の関東地震、福井(1948)、十勝沖(1968)伊豆半島沖(1974)、前述の伊豆大島近海の各地震での被害例と照らし合わせながら修正が加えられている。

しかしながら、調査結果で特に問題となる斜面を調べてみると、多くの場合盛土地盤からなっている。そこで検討を進めるために今回常時微動による方法を試みた。そのねらいは、より手軽にそれでいてやや定量的な手法の開発にある。常時微動そのものは古くから多くの研究がおこなわれているが、筆者の知る限りにおいて斜面に用いられた例は少ない様である。

常時微動はまた地盤の観測等においていくつかの問題点を有しており、その取り扱いが必ずしも容易ではないが、焦点を斜面に限定すれば観測・解析の方法が限られたルーチンワークにまとめられると思われる。すなわち、換振器の設置位置、増幅器とフィルターの選択および測定する関数（加速度、速度、変位）等が定まることにより、特別の技術を持たない技術者でも斜面の耐震安全性について判断ができると考えられる。

(a) 崖                      (b) 擁壁

分類～自然 切 盛	材料～C CB 玉石
擁壁の有無・位置	大谷石 間知石
土質～ $\alpha$ - $\Delta$ 砂 粘土	雑石 間知ブロック
形状～凹 凸 等斉	積方～空積 練積
$\alpha$ - $\Delta$ の 有 無	背面地～高さ角度
地表面（崖上と下）	築造時期と崩壊歴
～草 林 裸地	不同沈下 亀裂
地表水（崖上と下）	傾斜 風化 崩れ
～集まり やすい	土質～同左
地下水滲出：上中下	コンクリート被覆の有無
～無 有小 有大	地表面～同左
きれつ～有 無	排水溝～有 無
ガリー～有 無	水抜き穴・目地～
土の移動～有 無	有良 有 無

### 3 対象とした盛土斜面の形態

東京郊外の新興住宅街に或る古い寺の駐車場がある。寺は多摩川の支流が形成した平地のはずれに位置し背後に丘陵地からなる墓地を有している。はるか遠くに電車が通っているが、近くにはこれといった発振源はなく数百m離れた所になりに交通量の多い道路がある。

近くの数本の柱状図および地質・地形図から、地表面下数m~数十cmにレキ層があることが知れる。この上には関東ロームおよび粘性砂質土がある。

図-1は測量を実施した結果得られた断面図である。擁壁はコンクリートブロックによる練り積みである。寺の住人に話を聞いたが擁壁は十年程前に建設されたものであり、駐車場は切り盛りして造られたことがわかった。また図-1に示した如くかなり縮まった元の地山が駐車場の上下に見られる。

本研究ではこの地山を入力基盤とみなし、盛られた地盤の部分および擁壁の挙動を検討する。なお擁壁は40mの長さからなるが、ここでは図-1に示した紙面横方向の振動のみを考え、擁壁の長手方向および鉛直方向については省略する。

### 4 微動計の設置・観測方法

図-2に微動計の配置方法を示す。設置箇所(測点と呼ぶ)は擁壁の天端(地表面と同じ高さにある)から0.5mの位置を除き、他はそれぞれ1mの間隔で配置した。この他、擁壁下部から数m離れた位置に測点を設け、数十cm掘り微動計を設置した。この測点での微動を入力と考えるわけである。

観測波形は試行錯誤の結果、変位波形とした。通常おこなわれる様にバンドパスフィルター(0.1~20Hz)、オシロスコープ、データレコーダー等を用いた。

前述した電車、自動車の影響は解析の結果、問題がないことが分かったが、一応これらの入力および風などの影響がみられない波形が定常的な振幅・振動数を示す時のデータを解析に用いることとした。観測は昼間に行ない、1日で終了した。今回は試行錯誤のほか多点観測を実施しているが、もし最小限必要な2点観測の場合1~2時間あれば十分であろう。

### 5 地山と擁壁での検討

#### (1) 地山での検証

地山での微動が測点0と測点10の左側(図-1における左側斜面下)とで同一であるかを確認する。この両地点の波形とスペクトルを図-3に示す。両者に多少の違いが見られるものの、ほぼ同じであるとみなせる。なお以後の図においても、スペクトルは全てバンド幅0.5HzのParzenのスムージングをおこなっている。またスペクトルの縦軸は適当に基準化し、横軸は10Hzまでの振動数としている。この図から、地山の卓越振動数が約2.5Hzにあり、5~6Hzに次の卓越したピークが認められる。

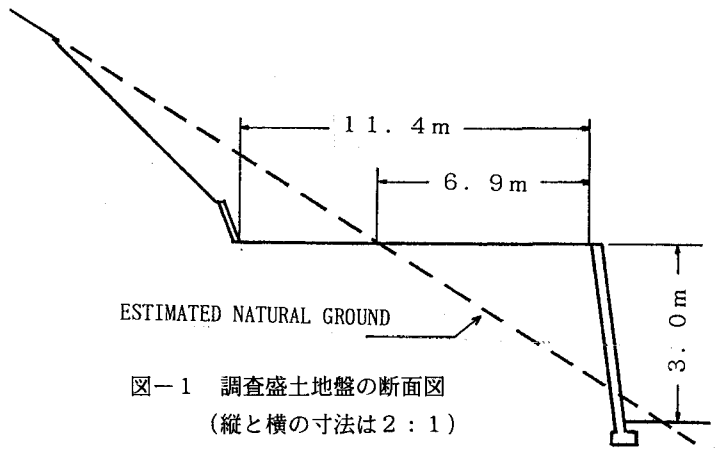


図-1 調査盛土地盤の断面図  
(縦と横の寸法は2:1)



図-2 微動計の設置位置

(2) 擁壁と隣接地盤の挙動

擁壁(測点1)とその隣り合う地盤(測点2)とが一体となって振動することを確認したのが図-4である。微動振動であるために当然に両者はほぼ同じ挙動を示している。しかしながら擁壁の方がやや大きめの振動となっている。

もし強い地震動となれば、両者が異なる挙動を示すことが十分に予想される。このことは過去の地震被害において、擁壁だけが崩落して地盤がとり残された例(1972年八丈島東方沖地震で顕著であった)からも極端な事例として考えられる。

なお擁壁の面に沿った方向の振動挙動では、両者に全く差異が見られなかった。

6 盛土地盤の振動特性

前述した様に地山(測点0)を入力と考え、盛土地盤の測点2を選びこの点が応答を示す代表とした。両者の微動波形を図-5に示す。

波形から、地山と盛土地盤の両者が明らかに異なる挙動をおこなっていることが認められる。図-6にこの波形のスペクトルを示した。2.5 Hz付近のピークが地山の卓越振動数で一致しているが、8 Hz付近の振動数に両者の違いがみられる。

このことから、盛土地盤が地山から入力を得て独自の振動を行っているのが理解できる。次に両者のスペクトル比を示したのが図-7である。明らかに1つのピークが卓越して現われる。

スペクトル比は応答の倍率と考えられるので、盛土地盤の固有振動数および減衰定数が求まることとなる。固有振動数はほぼ8 Hzであり、減衰定数は約1.4%となる。図-7では参考のため20 Hzまで求めているが、10 Hz以上には18.5 Hz付近を除き明確なピークが見出せない。

これらの結果から、盛土地盤は近似的に1自由度系として扱えることが分かる。なお異なる日(晴れと雨の日を選んで)および時間を設定して観測を実施したが、得られた結果はほとんど同じであった。

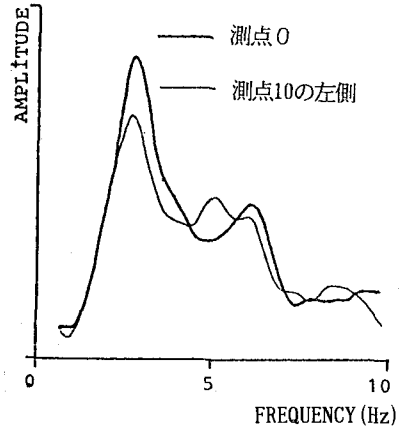


図-3 上下地山のスペクトルの比較

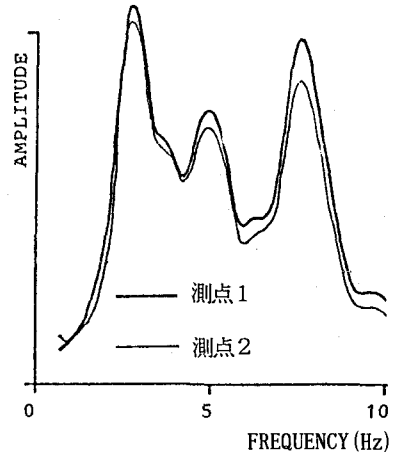


図-4 擁壁天端と隣接盛土地盤のスペクトルの比較

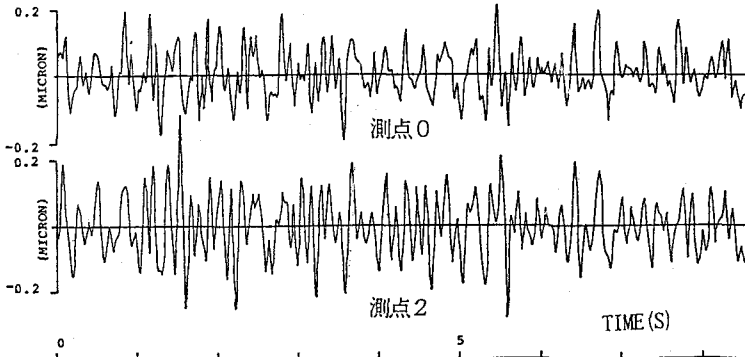


図-5 地山と盛土地盤の微動波形

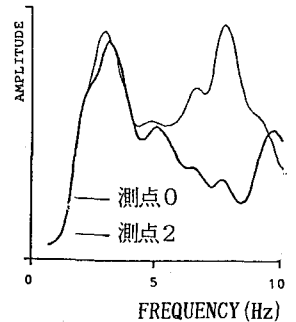


図-6 地山と盛土地盤のスペクトル

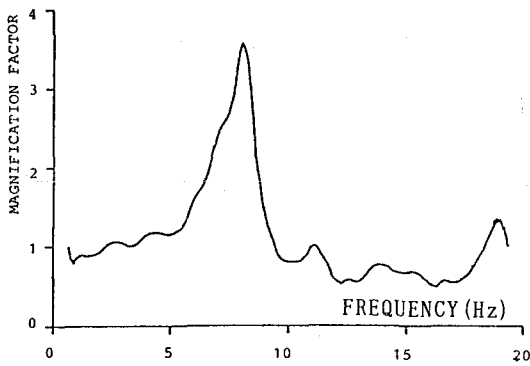


図-7 スペクトル比  
(応答倍率)

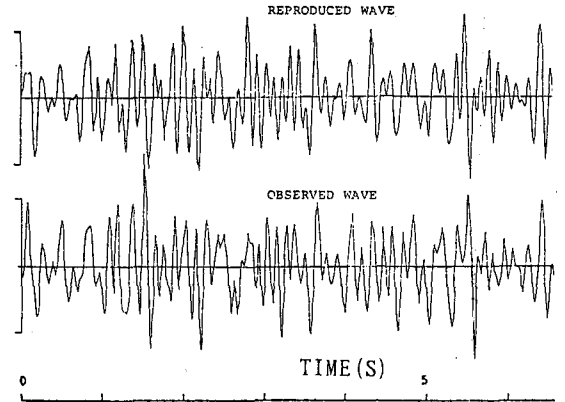


図-8 1自由度系による再現波と観測波の比較

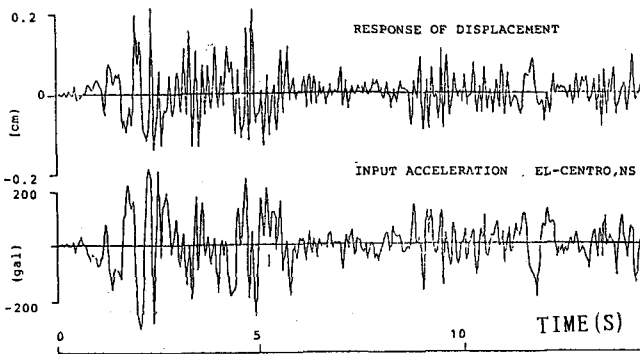


図-9 応答計算の一例

f \ L	0.0	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5
1.78	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2.80	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
4.5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
7.1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
11.2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
17.8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

L : DISTANCE (m)  
f : FREQUENCY (Hz)

図-10 微動のリサーチ図

## 7 解析例

### (1) 1自由度系へのモデル化による検討

さきに求めた固有振動数と減衰定数を用いて盛土地盤を1自由度系にモデル化して、地盤の応答を求め観測波形と比較したのが図-8である。高周波数が原因と考えられる部分を除けばかなりよく再現していると言えよう。

図-9はEL-CENTRO, NS波 (Max. 0.3g) を入力した場合の応答波形である。最大変位が約2mmとなるので、盛土地盤の歪が均一であると大胆な仮定をすれば、約0.03%の歪となる。したがって地盤の剛性の低下等が生じるかもしれない。

### (2) リサーチの図による盛土地盤上の微動の類似性

盛土地盤上での微動の類似性を調べるために、図-2の測点2を基準点として他の測点との同時観測をおこなった。適当に選んだ振動数fを中心としたバンドパスによる2軸のリサーチ図を描かせたのが図-10である。基準点からの距離Lが6.5m以上は切土上となる。低い振動数では、盛土全体がほぼ同一の動きであり、距離の増加(盛土から地山へ移動)とともに同一波形を描く振動数の範囲が狭くなる。これを確かめてまとめたのが図-11である。OとXとの境界が地山の傾斜形すなわち盛土の厚さと同じ傾向となっている。本研究は地震防災の観点から、誰でもが簡易に手がけられる微動観測の試みを提案するものである。少々散文的であるがご意見ご批判を頂きたい。末筆ながら杉本誠四郎氏(リエンタルコンサルツ)に感謝致します。

f \ L	0.0	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5
1.78	O	O	O	O	O	O	O	Q	?	X
2.24	O	O	O	O	O	O	O	Q	?	X
2.80	O	O	O	O	O	O	Q	Q	X	X
3.55	O	O	O	O	O	Q	?	?	X	X
4.5	O	O	O	O	O	?	X	X	X	X
5.6	O	O	O	Q	?	X	X	X	X	X
7.1	O	O	O	Q	?	X	X	X	X	X
8.9	O	O	Q	?	X	X	X	X	X	X
11.2	O	Q	?	X	X	X	X	X	X	X
14.0	O	Q	X	X	X	X	X	X	X	X
17.8	Q	?	X	X	X	X	X	X	X	X

O : SAME  
Q : SLIGHTLY SAME  
? : UNABLE TO JUDGE  
X : DIFFERENT  
L : DISTANCE (m)  
f : FREQUENCY (Hz)

図-11 リサーチ図から判定した波形の類似性