常時微動観測を用いた盛土造成地における地盤構造の推定と地震時の安定性評価

福井大学技術部	正会員	○伊藤	雅基*
福井大学工学部	正会員	小嶋	啓介*
元福井大学	非会員	吉田	清夏*

1. はじめに

近年,日本では地震活動が活発になるとともに,ゲ リラ豪雨などの頻度も増加し,地震動や地下水の上昇 に起因した地盤構造物の被害が多発している.特に, 高度成長期以降に造成された谷埋め盛土造成地におけ る盛土部や切り盛り境界部では,切土部と比較して, 地震動による地滑りや地盤の隆起・沈下が発生しやす く甚大な被害をもたらしている.本研究では,1960年 代に造成された切り盛り造成地を対象とし,常時微動 の直線アレイ観測と一点3成分観測を詳密に実施する ことにより,盛土造成地の振動特性,盛土層厚および S波速度構造を推定するとともに,すべり面を考慮で きる FEM 解析により,造成地の地震時安全性評価を行 った結果を報告する.

2. 観測概要

図1に福井市南部にある観測対象地域(A団地)の 造成前後の標高データを基にGISを用いて作成した切 り盛り分布図を示す.図中の●印は,常時微動の一点 三成分観測点を,△印は直線アレイ観測点を示す.一 点三成分観測点は,切り盛り部を横断する方向でA~D 測線を道路に沿って配置した.直線アレイ観測は,切 土部と盛土部の地盤構造の違いを把握するために,盛 土部でLF測線,切土部でLC測線を配置した.観測点 の間隔は1mから√3倍の等比数列的にとり,最大距離 は73.8mとした.地震計は,Lennartz社製のLE-3Dlite Mk Ⅱを使用し,白山工業(株)製の地震計測データロガ ーDATAMARK-LS8800に接続し,水平動2成分と鉛直 動1成分の速度を計測した.フィルター80Hz,アンプ 倍率1倍の条件で計測を行い,0.005秒間隔で10分程 度計測し12万個ほどの微動データを得た.

3. Rayleigh 波の位相速度とS 波速度

常時微動観測に基づく地下構造を推定するために, 微動データに拡張空間自己相関法を適用して Rayleigh



図1 A団地の切り盛り分布



図2 波長ごとの Rayleigh 波の位相速度

波の位相速度を算出した.図2は、直線アレイ観測結 果から求めた波長ごとの Rayleigh 波位相速度である. 算出された位相速度は、やや不連続な部分もあるが正 の分散性を示し、盛土部は切土部に比べて位相速度が 遅くなるという自然な結果が得られた.図2の結果に、 深さZまでの層厚平均S波速度Vsは、波長 $\lambda \Rightarrow 2.2Z$ の Rayleigh 波の位相速度 $C_{(\lambda)}$ で近似できるという統計結 果を利用し、表層からのS波速度分布を推定した.図

- キーワード:谷埋め盛土,S波速度,H/Vスペクトルの最適化,地盤構造の推定,斜面の安定解析
- * 連絡先:〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1 福井大学工学部建築建設工学科





3は、図2の結果を基に推定したアレイ観測地点のS 波速度の深度分布である.切土部の表層のS波速度は、 盛土部の3,4層目に一致しており、この層は地山に相当 すると解釈できる.

4. H/V スペクトルの逆解析による地盤構造の推定

微動データのうち、比較的雑音の少ないデータ 4096 個を5区間以上取り出し、フーリエスペクトルとH/V スペクトル比を求めた. H/V スペクトル比は、周期ご とに水平2成分のフーリエ振幅の二乗平均を上下成分 のフーリエ振幅で除すことにより求め、ピークのH/V 値を読み取り、そのときの周期を卓越周期とした.微 動観測から求められる H/V スペクトル比をターゲット とし,観測点直下の地下構造の推定を行った.初期モ デルは、図3の直線アレイ観測から推定したS波速度 構造を参考に,盛土層,軟弱層,洪積層,風化層およ び基盤からなる 5 層モデルとし、上部 3 層の層厚を 未知とし、その修正率を遺伝的アルゴリズムを用いて 最適値を求めた.図4にH/Vスペクトルの観測値と理 論値の比較を示す. 同様の推定を図1に示す測線上の すべての単点観測地点で実施した.図5は、A測線に おける H/V スペクトルの逆解析から得られた地盤断面 構造の例を示す. 切土部では盛土および軟弱層をゼロ とする事前情報を考慮した結果であるが、GIS より求め た盛土高と微動から推定した盛土層厚が比較的一致し ていることが確認できた.

5. 斜面安定解析

図1の安定解析断面を対象として,逆解析により推 定した地盤構造を基に盛土層,軟弱層,洪積層の3種 類の地盤を想定し,Mohr-Coulombの破壊基準に基づく 弾塑性有限要素法によって地震時の安定解析を行った. 表1にS波速度に基づいて設定した物性定数を示す.

表1 安定解析の物性定数

地盤構造	弹性係数 E(kN/m ²)	ポアソン 比 <i>V</i>	密度 ρ(t/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	せん断抵抗 角¢(°)	ダイレイタン シー角δ(°)
盛土層(砂質土)	129000	0.45	1.8	10	28	0
軟弱層(粘性土)	96000	0.3	1.8	50	0	0
洪積層(砂質土)	266000	0.45	2.1	140	37	0



図6 斜面の安定解析結果

ここでは、斜面の破壊安全率を1.0に設定し、地下水面 が地表面に一致する場合について、水平震度係数を増 加させ、降伏要素が斜面縦断方向に連続しすべり面を 形成したときの水平震度係数を求めた.その結果、断 面を崩壊させる震度係数は0.92であった.その時の降 伏要素分布ならびに変位分布を図6に示す.盛土層内 の法肩から法尻に連続した降伏が見られ、その部分で の変位が大きいことが確認できる.

6. おわりに

本研究では機動性の高い常時微動観測を用いて,造 成地における斜面の安定性評価を行う方法について検 討した.その結果,1)微動観測情報から地盤構造を 推定し,斜面のモデル化や地盤の物性定数を求められ る可能性があること,2)モデル地盤を弾塑性有限要 素法により安定解析を行った結果,当該地盤の地震に 安定性は比較的高いこと,などが確認できた.