

I 部門 微動記録を用いた不整形地盤のひずみ評価の試行

神戸大学工学部 学生会員 ○黒田 泰介  
 神戸大学大学院 正会員 鋤田 泰子

1. 地盤ひずみ評価について

地震時における上下水道やガス等の地中管路の挙動は、周辺地盤の変状に追随するため地盤ひずみに支配されるため、地中管路の耐震設計を行う際には地盤ひずみを精度よく評価する必要がある。酒井ら<sup>1)</sup>は、最大速度の空間的変化率である PGV Gradient と管路被害の相関がよいことを経験的に示した。PGV Gradient と地盤ひずみは数式上直接比較することが難しいが、それぞれを表層の固有周波数の地盤応答関数  $H$  を関連付けることにより、地盤ひずみと PGV Gradient はそれぞれ  $|dH/dx|$  と  $d|H|/dx$  で表記でき、地盤の低次の固有周波数近傍では不整形地盤上ではそれらがほぼ同じ分布傾向を示すことは理論的にいえる。また、PGV Gradient だけでなく、最大変位の空間的変化率である PGD Gradient も地盤ひずみとはよい関係であると考えられる。さらに、基盤面が路頭しているような不整形な地盤においては、これらの変化率は基盤からの上昇波よりも基盤との境界から励起される波の方が卓越する。そこで、本研究では、不整形地盤と考えられる場所において複数点で微動同時観測を行い、実地盤における振幅の分布や振動特性、また上述の地盤ひずみに相当する指標に評価することが試行する。さらに微動同時観測を行った場所で表面波探索を行い、実地盤の S 波速度構造を把握し、その地盤モデルに対して FEM 解析を行い、微動同時観測で得た地盤ひずみ分布と比較を行う。

2. 実地盤における振幅分布と振動特性

微動同時観測を神戸大学国際文化学部グラウンドで行った。当該グラウンドは斜面上にある切り盛り地盤であり、兵庫県南部地震ではその境界で地盤に亀裂が入った。観測の測線長は 90m、微動計設置間隔は 10m である。観測のサンプリング周波数は 100Hz である。PGD やひずみを評価するにあたり、観測点によって 1Hz 以下に風等によるノイズが入っていたため、0.5Hz のローカットフィルタで処理をした。PGV, PGD については微動であるために安定した

1024 データ、10 波の最大値ではなく実効値で評価した。応答関数  $H$  は、測線の切土側の端部で観測された微動を入力微動と見なして、その  $H/H$  比を算出した。さらに、盛土地盤の  $H/V$  スペクトルの卓越周期を表層地盤の 1 次固有周期とし、その周期の  $H/H$  比を測線上に並べて評価した。その結果を図-1 に示す。両 Gradient の縦軸は最大値で基準化している。両 Gradient と地盤ひずみは  $H$  の空間微分との関係は良いことがわかる。また、両 Gradient と地盤ひずみのピークの出た場所は同じであった。

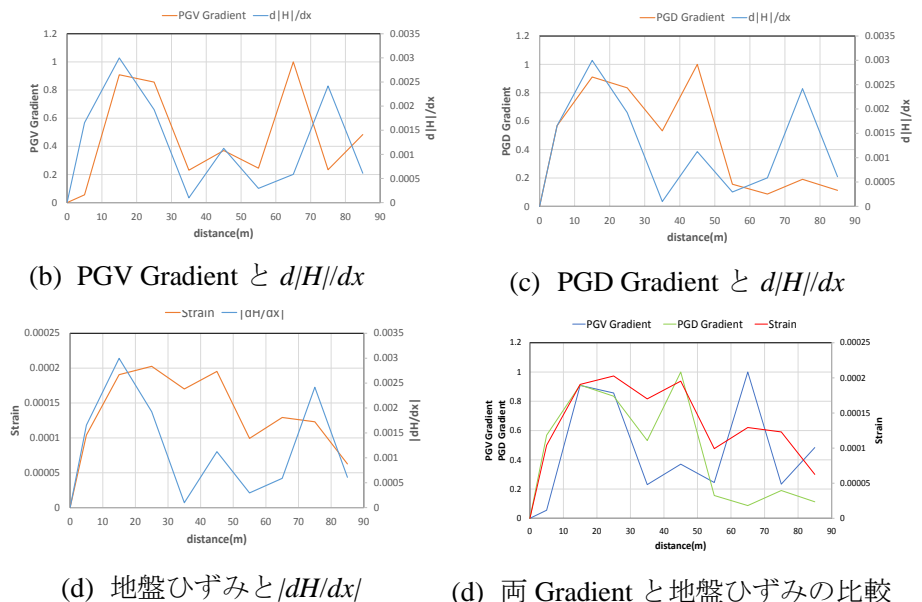


図-1 各指標の関係(左上, 右上, 左下はそれぞれ  $H$  の空間微分と PGV Gradient, PGD Gradient, 地盤ひずみの関係。右下は両 Gradient と地盤ひずみの関係)

### 3. 実地盤における FEM 解析

微動観測の S 波速度構造を得るために 48m 測線長の表面波探査を 2 回（1 回目は微動測線長の 0-48m, 2 回目は 44-92m）実施した。表面波探査結果を図-2 に示す。地震時の地盤亀裂は、左図の 10 から 15m 程度の場所で発生したと考えられる。本結果から、図-3 に示す地盤モデルを設定し、2 次元波動場の線形 FEM 解析を行った。FEM 解析では S 波速度 200m/s から 310m/s までの 6 層の地盤モデルを設定し、入射波には 0.1-1.0Hz において速度振幅一定のピンクノイズを入射した。

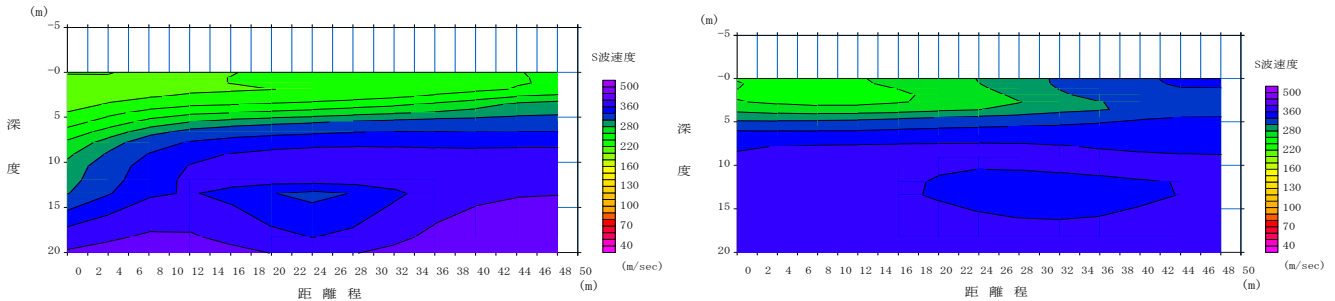


図-2 表面波探査結果(左図測線長 0-48m, 右図測線長 44-92m)

地盤応答関数  $H$  の空間微分と両 Gradient, 地盤ひずみの解析結果を図-4 に示す。FEM 解析の場合にも地盤応答関数  $H$  の空間微分と両 Gradient, 地盤ひずみの関係は良く、また両 Gradient と地盤ひずみは近い分布形状を取るため両 Gradient で地盤ひずみを評価できることが確認できた。

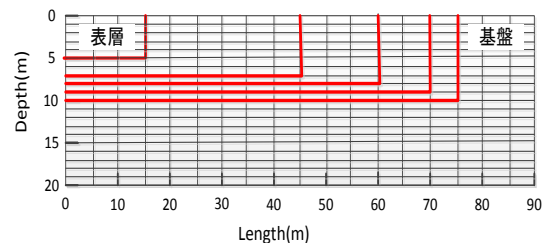
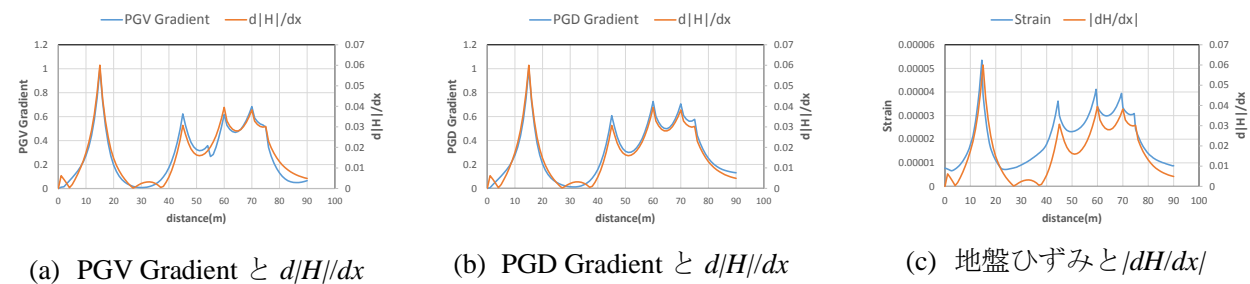


図-3 地盤モデル

微動観測は 10m 間隔で各指標を算出し、解析結果は 1m 間隔で各指標を算出しているため分布形状に多少ずれは見られるが、すべての指標において近い分布形状を取ることがわかる。この結果から微動観測から得られた PGV Gradient で地盤ひずみを評価することが可能ではないかと考えられる。



(a) PGV Gradient と  $|dH/dx|$

(b) PGD Gradient と  $|dH/dx|$

(c) 地盤ひずみと  $|dH/dx|$

図-4 各指標の関係(左からそれぞれ  $H$  の空間微分と PGV Gradient, PGD Gradient, 地盤ひずみの関係)

### 4. まとめ

観測結果と解析結果の比較より、微動同時観測だけでも微動計の精度の 0.5Hz の LCF において PGV Gradient で地盤ひずみの分布形状を評価することが可能であることを示した。ただし、微動計の設置間隔によって分布のピークの範囲が制約されるため、管路被害を予測するにはさらに精度を高める必要があると考えられる。また、本研究では PGV Gradient の絶対値については議論しておらず、値についても今後検討が必要である。

#### 【参考文献】

1) 酒井久和, 長谷川浩一, Pulido Nelson : 広域水道管路に対する震害予測手法の提案—2004年新潟県中越地震への適用—, 土木学会論文集A, Vol.66, No.3, pp.561-567, 2010.