

常時微動観測による中国蘭州市の表層地盤の動的応答特性と地盤構造の推定

首都大学東京名誉教授・(財)地震予知総合研究振興会 フェロー会員 ○岩楯敏広
上海交通大学 車 愛蘭, 首都大学東京大学院 学生会員 白 潔, 蘭州地震局 吳 志堅

1. はじめに 四川省汶川大地震(M8)では, 四川省, 甘肅省, 陝西省, 重慶市を中心として, 死者は8万人以上, 被災地域の総面積は44万km², 被災人口も4500万人以上に達し, 強烈な地震動と地震断層による地盤変位, 斜面崩壊などにより, 一般家屋・道路・橋梁・トンネルが甚大な被害を受けた. 甘肅省では, 蘭州市, 天水市が特に大きな被害を受けた. このため, 首都大学東京では, 中国上海交通大学, 蘭州地震局との国際共同研究の一環として, 天水市, 蘭州市の表層地盤を対象に長周期微動観測を実施し, 表層地盤の応答特性, 地盤構造について検討を行った. 本報告は, 蘭州市の地盤の動的応答特性・表層地盤構造について検討したものである¹⁾.

2. 常時微動観測

2.1 観測地点 (1)蘭州地域は, 中国西部の黄土高原に位置し, 蘭州市の市域は海拔1,600メートルで市内を黄河が東西に流れている. (1)常時微動観測は, 蘭州市の五泉山公園地点の既設地震観測点(横穴内の露頭基盤で3種のセンサーで10時間同時観測を行い, 3つのセンサー違いによる観測データの差異について検討した. 次に蘭州市古城坪において, 高密度(25m×25mメッシュで10点)観測(各測点で1時間連続観測)を実施した(図1, 図2). (2)古城坪は, 河岸段丘上にあり, 祁連山东部, 马衔山北缘活动断裂西南約10kmに位置しており比較的平坦で地盤区分は黄河Ⅲ級の第四紀沖積地盤である. 地盤構造は, ボーリング調査結果によると, 表層から-40~50mまでは粉質黄土で, -50m以深は褐黄色の均質な砂礫層となっている. 既往の弾性波速度試験結果では, 表層地盤(深さ約-40m)のせん断波速度は, 深さ方向にほぼ直線的に増加($V_s=170\text{m/s} \sim 360\text{m/s}$)し, -50m以深(砂礫層)では, 360m/s 以上となっている. また, 表層地盤(層厚40m)の平均的なせん断波速度(V_{sa})を求めると, $V_{sa}=280\text{m/s}$ となった(図5).

2.2 常時微動観測とデータ解析 1)観測方法: 1地点3成分(NS, EW, UD)を100Hz($\Delta t=0.01\text{sec}$)サンプリングで, 1回60分連続観測し, 1地点360,000個データを得た. 2)データ処理方法: 原則として観測された時刻歴波形(NS, EW, UD)から定常性を保っている32,768個データ(32.768秒間)を2パターン抽出してFFT解析を行い, フーリエスペクトル, H/Vスペクトル比から, 地盤の卓越振動数を算定・評価した.

3. 常時微動観測結果 (1)図3に, 五泉山公園の露頭基盤上の測点の連続観測したデータを1時間毎に分割(21:00~7:00)してFFT解析を行い求めたH/Vスペクトル比を示す. H/Vスペクトル比には, 顕著なピークは見られず振幅も2.0以下で増幅は小さく露頭基盤の特性が示されている. (2)図4に, 蘭州市古城坪の10地点のH/Vスペクトル比を重ね書きした結果を示す. 卓越振動数は1.7Hz~2.6Hz(平均1.9Hz)となっており, 表層厚の違いにより若干の差が見られた. (3)表層地盤(表層厚40m, 平均的なせん断波速度: $V_{sa}=280\text{m/s}$)の卓越振動数を, 1/4波長則から評価すると $f_1=1.75\text{Hz}$ となり, 常時微動観測結果と良く調和している.

4. 1次元重複反射理論による表層地盤の応答特性 地盤調査結果から得られた地盤物性値(図5)に基づいて, 1次元地盤構造モデル(基盤を-40mと仮定)を作成し, 重複反射理論により地盤の固有値を算定した(表1). その結果1次固有値 $f_1=1.81\text{Hz}$ となり, 1/4波長則から求めた平均的な地盤の卓越振動数($f_{1a}=1.75\text{Hz}$)とほぼ対応する.

5. 古城坪地域の表層地盤構造の推定(1/4波長則による表層厚分布)

図6に, 常時微動観測結果と1/4波長則を組み合わせ求めて古城坪地点(25m²間隔)全域の表層厚の空間分布を示す. この地域の表層厚は, 23.5m~37.5mに分布していることが判明した.

参考文献 1) 車愛蘭, 吳志堅, 岩楯敏広他 常時微動観測の黄土地区のS波速度構造探査への適用

上海交通大学学報 No. 3. 2011



図 1 蘭州市五泉山公園および古城坪の観測点

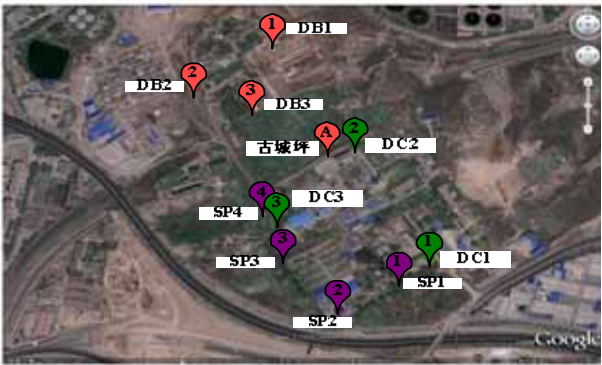


図 2 蘭州市古城坪の観測点(10 地点)

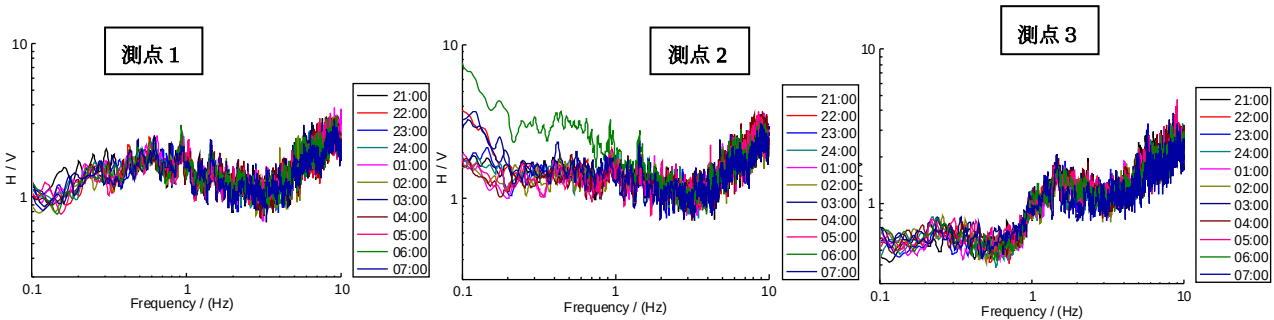


図 3 蘭州市五泉山公園の露頭基盤の H/V スペクトル比(21:00～7:00 の 10 時間連続観測)

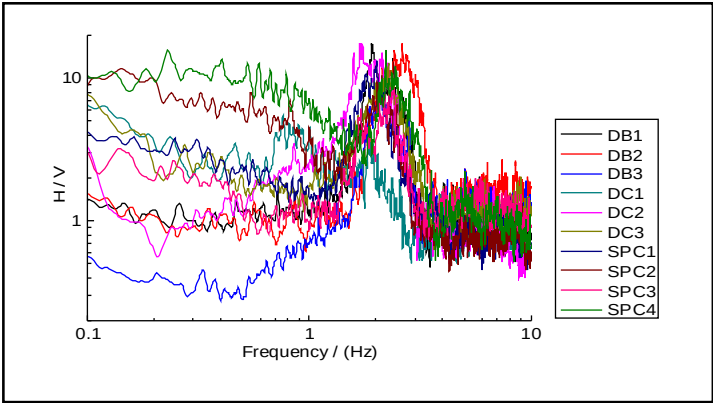


図 4 蘭州市古城坪の H/V スペクトル比(10 測点の重ね書き)

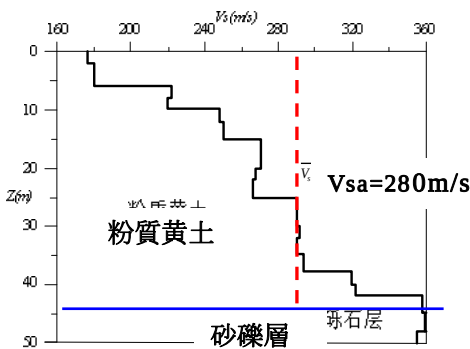


図 5 古城坪の表層地盤構造モデル (Vsm/s の分布)

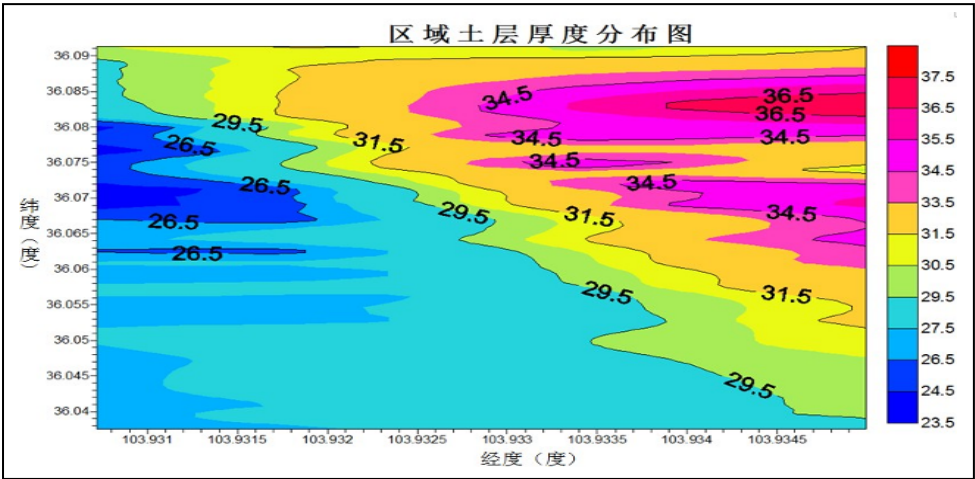


図 6 蘭州市古城坪の表層地盤厚の空間分布(1/4 波長則による算定)

表 1 固有振動数 (SHAKE の解析)

次数	f(Hz)
1	1.81(1.75)
2	
3	

(1/4 波長則)