

微動アレー観測を用いたパキスタン北部地震の震源近傍地点の地盤構造調査

飛島建設	正会員	○池田 隆明
東京大学	正会員	小長井一男
飛島建設	正会員	沼田 淳紀
建設技術研究所	正会員	高津 茂樹

1. はじめに

2005年パキスタン北部地震は震源近傍のムザファラバード市に大きな被害を与えた。ムザファラバード市は震源周辺のカシミール地域に見られる典型的な山岳都市であり、急峻な山岳地の中を流れる川の両岸に沿った河岸段丘と背後の斜面の比較的傾斜の緩い部分を利用して市街地が形成されている。地震により、一部の地域は壊滅的な被害を受けたため、復興計画案の一つとして南部の川沿いの段丘地に衛星都市を建設し、地域ごと移設する方法が提案された。衛星都市の建設地点には高い耐震安全性が求められるため、地震の際に地盤災害を受けていない場所が建設候補地点に選定されたが、地盤調査等による地盤の耐震安全性の評価が求められた。本報告では、建設候補地点において実施した微動アレー観測による地盤構造調査の結果を報告する。また、同じ地点で実施した3成分の微動観測からH/Vスペクトルを算出し地盤の卓越周期の比較を行う。

2. 調査地点

図1にムザファラバード市と微動アレー観測地点の位置関係を示す。観測地点はムザファラバードの中心から南東に約5km離れたジェラム川の右岸に位置するムザファラバード空港を中心とした地域である。図2に当該地域の拡大図を示す。空港敷地の約1.3km×0.2kmの範囲は平面である。この地域は、ムザファラバード市の中心部にも近く、比較的広域にわたって平地が広がっているため、移転先に適していると考えられる。



図1 ムザファラバード市と調査地点の位置関係

3. 調査方法

微動の起振源が交通振動や風や波浪のように地表面や海底面にあることから、微動には表面波が卓越すると考えられる。表面波にはLove波とRayleigh波が混在するが、上下成分を用いることによりRayleigh波に限定し、空間自己相関法(SPAC法)¹⁾により位相速度を評価した。この観測位相速度に近似する地盤の弾性波速度構造を逆解析から評価する。逆解析には、初期地盤構造モデルの影響による局所安定に陥らず最適解を得やすい遺伝的アルゴリズム²⁾(以下GAと呼ぶ)を使用した。

図2に観測地点を示す。微動アレーは滑走路の西端(A1)、中央(A2)、東端(A3)の3箇所で実施した。最小・最大アレー半径はA1が7.5mと60m、A2が20mと40m、A3が15mと60mとした。最大半径は地形的な制約から、最小半径は最初に計測したA1の結果を参考に設定した。

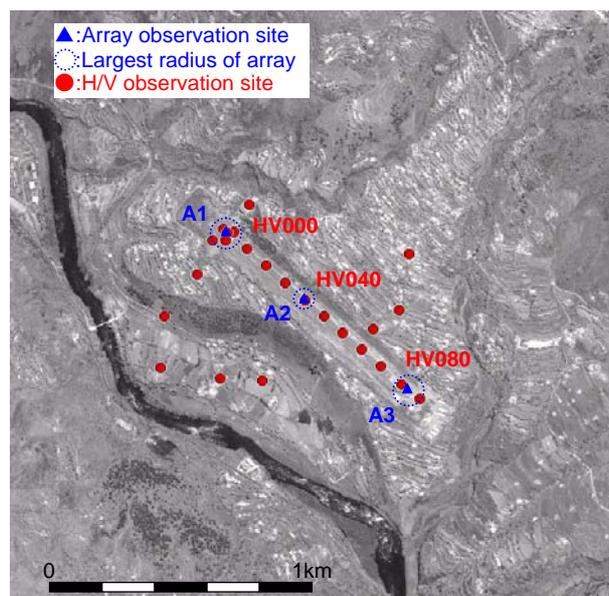


図2 調査地点の地形と微動観測地点 (▲: 微動アレー観測点, ●: 微動のH/V観測点)

微動, パキスタン北部地震, 微動アレー観測, 地盤調査, 地盤構造調査, H/Vスペクトル
 連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 e-mail: takaaki_ikeda@tobishima.co.jp

4. 地盤構造の推定結果

図3の左側にA1~A3の微動アレー観測から算出された位相速度の分散曲線を示す(観測値と表示)。この分散曲線は、A1は4つ、A2は2つ、A3は3つの異なる半径のアレー観測から得られた振動数別の分散曲線をつないだものである。図からわかるように、A1地点は5Hz以降で位相速度が一定になるが、A2およびA3地点では、それよりも高い7~8Hz付近以降で位相速度がほぼ一定となる。ただし、一定となる位相速度はほぼ同じである。

この観測位相速度と近似するS波速度構造をGAによる逆解析により推定する。試行錯誤により、逆解析の初期条件として層数(3層)と基盤のS波速度(2,000m/s)を与えた。

図3の右側および表1に推定されたS波速度構造を、図3の左側にその際のRayleigh波の理論位相速度を示す。理論位相速度は観測位相速度と広い振動数帯域で再現できている。

推定結果によると、当該地点の最浅層の層厚は90~100m程度であり、S波速度も800m/sを超えている。さらに、その下にはさらにS波速度が高い層が存在することから、当該地点における地盤の耐震安全性は高いと想定される。A1とA2、A3地点における観測分散曲線に見られた違いは、最浅部の層厚の影響と考えられる。

当該地点では微動アレー観測のほか3成分の微動観測を行っている。図2に観測点を、図4には微動アレーで推定された地盤構造から算出された理論H/V振幅比と微動観測から求められたH/Vスペクトルを重ねて示す。スペクトル振幅は観測H/Vの方が大きめであるが、二つのピーク振動数はほぼ同じである。そのため、調査地点のような条件の地盤においても、H/Vスペクトルによる地盤の卓越振動数の評価が可能であると考えられる。本知見については今後検討を行う予定である。

謝辞：微動観測は科学技術振興調整費(研究代表者：小長井一男)、解析・評価は科研費(課題番号21560513、研究代表者：池田隆明)の助成を受けたものである。

参考文献：

- 1)岡田他：広域・深層地盤調査のための長周期微動探査法,物理探査,43,6,402-417,1990.
- 2)長他：微動探査法への個体群探索分岐型遺伝的アルゴリズムfGAの適用,物理探査,52,3,227-246,1999.

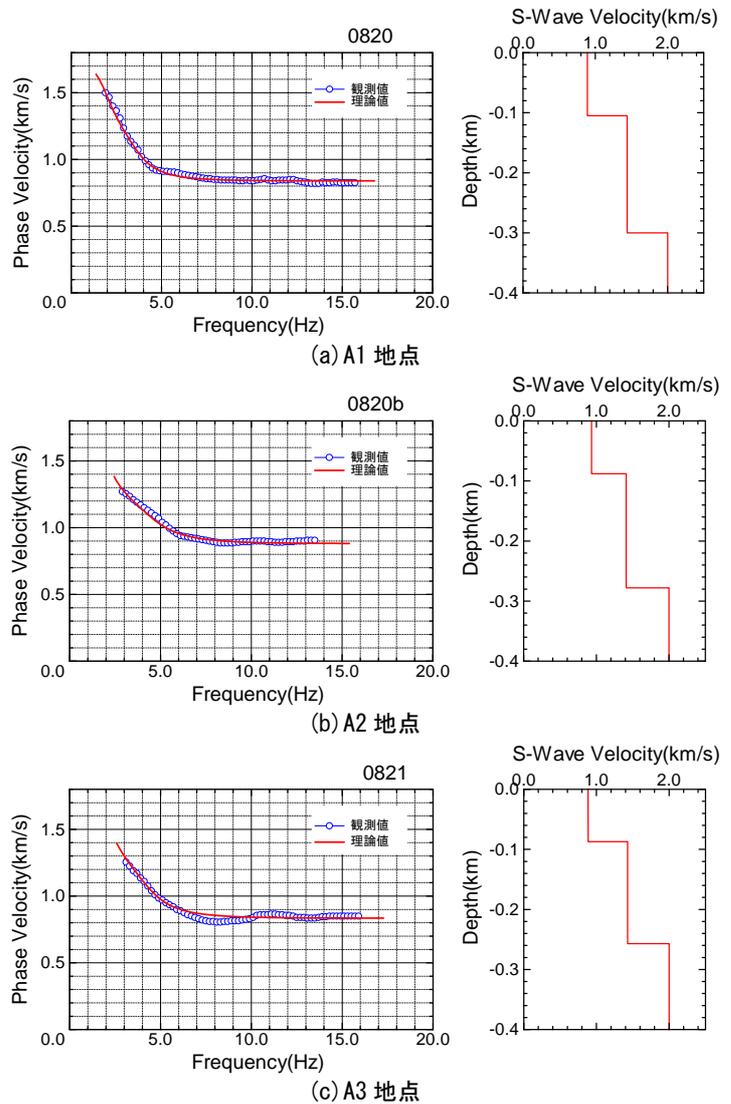


図3 微動アレー観測による地盤構造の推定結果 (左：位相速度の分散曲線 右：推定したS波速度構造)

表1 微動アレー観測から推定された地盤構造

層 No.	A1		A2		A3	
	層厚 (m)	Vs (m/s)	層厚 (m)	Vs (m/s)	層厚 (m)	Vs (m/s)
1	105	890	88	935	87	885
2	195	1,440	190	1,410	170	1,430
3	-	2,000	-	2,000	-	2,000

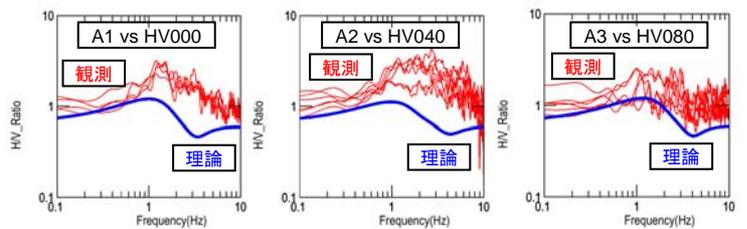


図4 微動のH/Vスペクトルと微動アレーから推定された地盤構造から算出したRayleigh波の理論H/Vスペクトルの比較