

## 15. 中国雲南省魯甸地震における被害が集中した強震観測点周辺の地盤震動特性

呉 浩・王 欣・倉橋奨・入倉孝次郎・林国良

### 1. 序

中国雲南省昭通市に発生した魯甸 (Ludian) 地震 (2014年8月3日16:30, Ms6.5, 震源深さ12キロ) において、龍頭山鎮にある強震観測点で地表最大加速度 (東西方向PGA=949gal) が記録された。建物の被害は龍頭山強震観測点から約300mの範囲に集中したが、それ以外は小さかった<sup>1)</sup>。この辺りの地盤特性の違い、及び被害状況との関連性を調べるため、現地で地表地盤の微動を測定した。本報告は測定記録から地盤構造を同定し、地盤増幅特性を算出し、それに測定した地点の地震動を推定する。最後に、地震動と被害の関係を調べる。

### 2. 微動観測

まず、龍頭山、馬樹、鉛場、茨院等四つの町に設置された強震観測点で30分間の微動観測を行った。昭通市内の強震観測点の代わりに、市内11箇所を選んで、微動を観測した。微動記録から求めたH/Vスペクトル比から地盤の卓越周期と地下の地震波速度構造を調べることができる。本研究では、time windowが20.48秒とし、3成分の平均パワースペクトルを求め、対数平滑化を行い、水平成分に対する上下成分の比をとって、その平方根をH/Vスペクトル比とする。図1に強震観測点の分布と微動観測記録から求めたH/Vを示した。5つの地点は互いに約20キロ離れているが、共通して0.2-0.3秒に卓越周期をもつことが分かった。また、ほかの観測点ではシャープなピークがあるのに、龍頭山強震観測点のH/Vのピークは滑らかである。これは龍頭山の地震波速度コントラストがそれほど大きくないことを示唆した。龍頭山強震記録の大きさが地盤増幅の影響ではなく、震源の影響だと考えられる。

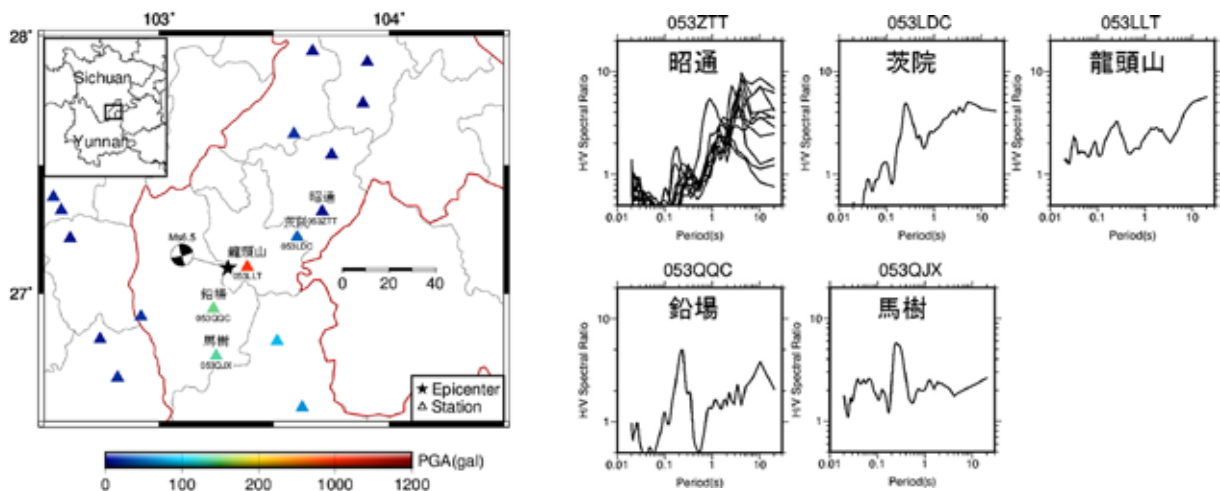


図1 強震観測点の分布 (左) 及び微動H/Vスペクトル比 (右)

次に、龍頭山鎮における強震動に対する段丘地形の影響を調べるために、龍頭山観測点近傍の6地点で微動観測を行った。図2に観測点の場所とH/Vを示した。東西方向の観測点(B1~B3)の互いに1m~3mの段差がある。これらの地点のH/Vはともに0.23秒と2.0秒に卓越している。それぞれ浅層地盤と深層地盤の影響であることを示唆している。また、H/Vの形もよく似ていることが分かった。特にB1と053LLT、B2とB3の差異があまり見ら

れなかった。観測点間の段差が小さいため、0.25秒に影響を及ぼさないためである。ただし、053LLTとB2の段差が約3mで、H/Vの振幅の差が出る原因だと考えられる。一方、南北方向の観測点（053LLT～A3）は互いに3m～5mの段差がある。これらのH/Vは違いが見られるが、大体0.23秒と2.0秒にピークがあることが分かった。しかし、A3で0.25秒より0.13秒の方が卓越する。A3の標高が一番低いため、表層の地盤が削られたために、固い地盤が現れていると考えられる。また、A1で2秒が卓越しないことは深部地盤の影響ではなく、何らかの震源特性が上下動に大きなノイズを与えたと考えられる。低層レンガ建物の固有周期を考えると、その0.25秒に当たる地震動が被害に関係したと考えられる。次、H/Vから地盤構造を同定し、地盤増幅特性を調べる。なお、B1と053LLT、B2とB3のH/Vに有意義の差が見られないため、東西方向に053LLTとB2のみの地盤特性を調べる。

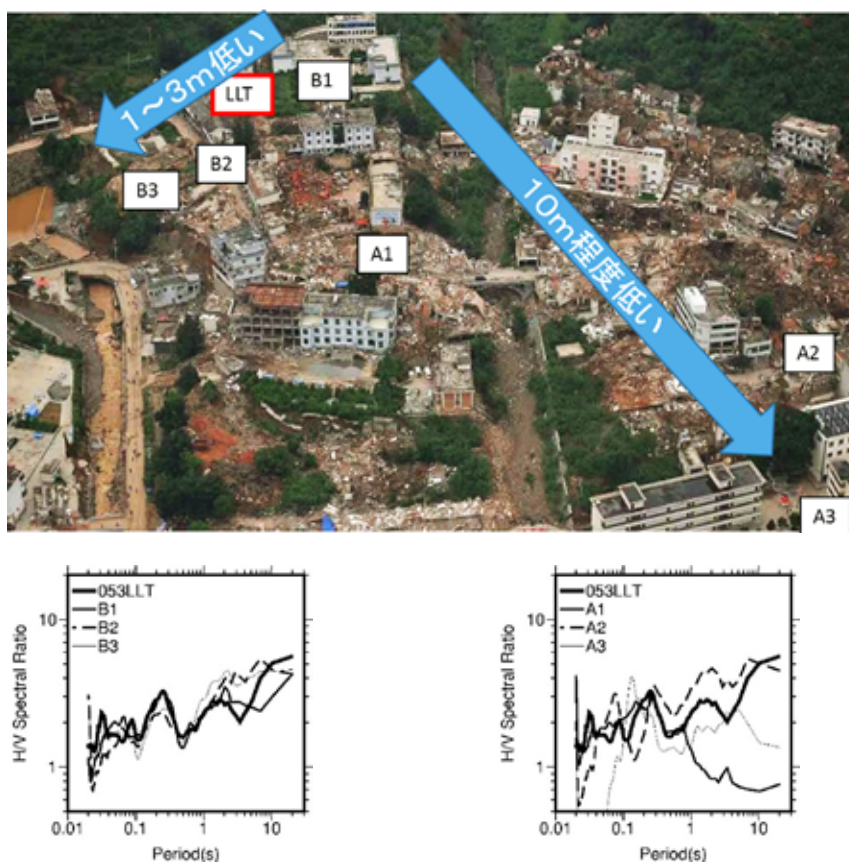


図2 龍頭山強震観測点側の微動観測点とH/Vスペクトル比

### 3. 地盤構造と増幅特性

地盤の増幅特性を求めるためには、地盤構造（S波速度、P波速度、層厚、密度等）が必要である。ボーリングデータには浅層の速度構造の情報があるが、深層の速度構造が含まれていない。しかも、ボーリングデータの精度が決してよいとは言えない。深部構造を仮定し、ボーリングデータに加えて、初期構造モデルとする。初期構造モデルを用いて理論のH/Vを計算し、観測のH/Vと合うまで構造を調整し、同定する。最後に得られた構造はこの場所の最適地盤構造とする。同定するパラメータを減らすため、P波速度をS波速度から経験式より推定し、密度を固定する。S波速度（ $V_s$ ）と層厚を同定する。図3に同定した地盤構造を示した。いずれの地点でも理論H/Vと観測H/Vとよく合うことが分かった。A3以外の地点で表層から約20m以深の地盤が急に固くなるのが共通している。20m以浅の地盤構造が0.25秒の卓越周期を決めたと考えられる。A3で地盤が急に固

くなる深さが約14mで、卓越周期0.13秒と対応する。これらの地盤構造を用いて地盤の伝達関数（周期と増幅率の関係）を求めた。図4により、A3以外の地点で増幅率は0.2秒と1.0秒とそれぞれほぼ一緒である。A3で0.25秒での増幅率は小さいが、0.1秒での増幅率が大きかった。

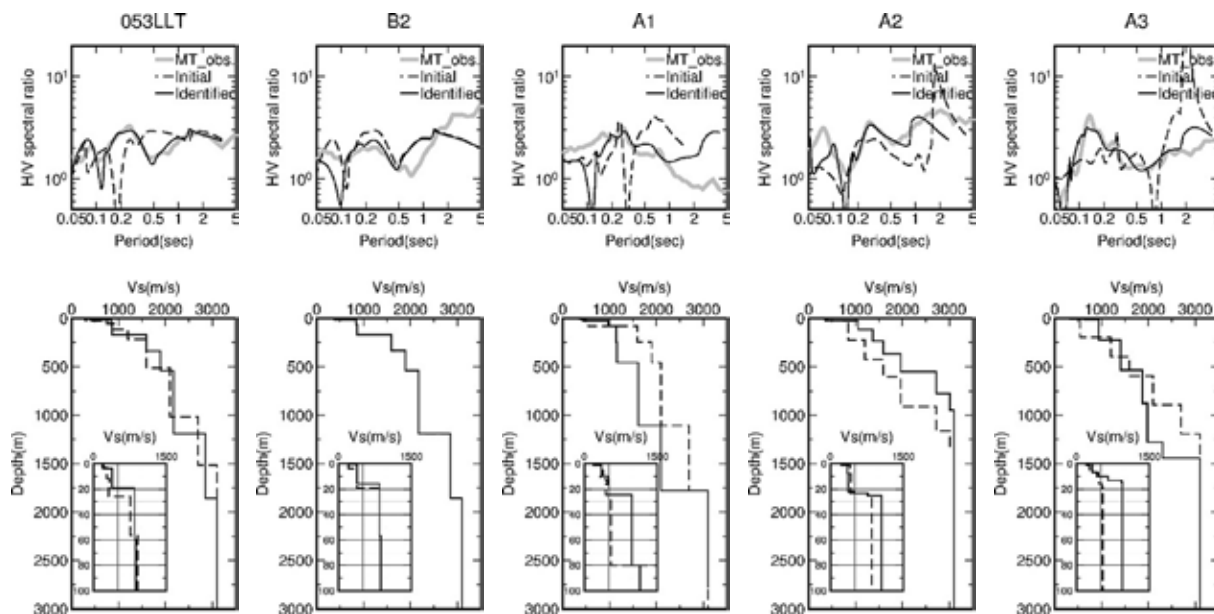


図3 地盤構造の同定

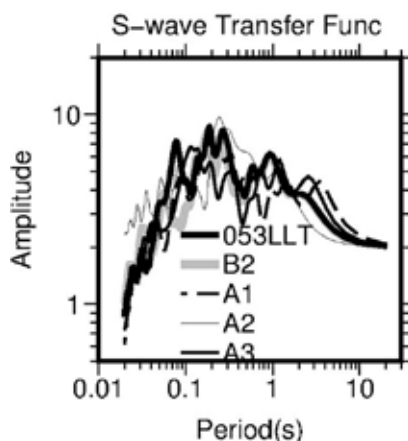


図4 S波伝達関数

#### 4. 地震動の推定

上述微動観測点の地盤構造を同定できたため、地震動の推定ができるようになった。地震動の推定手法を簡単に説明する。強震観測点地表で観測された小地震記録及び伝達関数から地震基盤における入射波を求め、本震震源モデル<sup>2)</sup>を用いて本震時地震基盤の入射波を合成し、対象地点の地表付近の非線形（等価線形）を考慮し、地表の地震動を推定する。この手法の有効性を検証するため、龍頭山観測点で推定地震動を観測地震動と比較した。図5から推定地震動は観測地震動とよく合うことが確認できた。この手法をほかの地点で応用し、推定した地震動から求めた地震動指標を表1に示した。B2、A1とA2での推定地震動指標は観測記録から求めたものと概ね同じレベルであるが、若干違いも見られる。この違いは地盤特性の違いによって生じたものである。また、大きな推定地震動は大きな建物被害をもたらすと考えられる。一方、A3での推定地震動指標は一番小さく、ほかの地点と比べて約半分しかない。これはA3付近の建物被害が小さいことを説明できる。

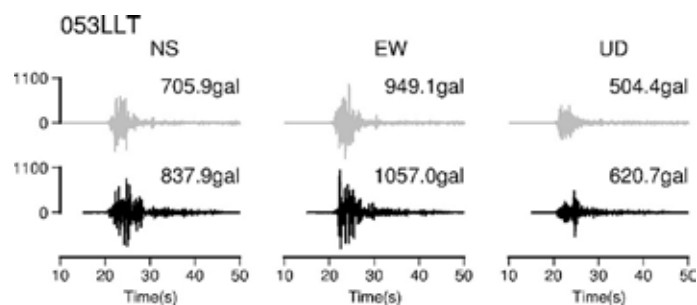


図5 観測地震動（上段）と推定地震動（下段）との比較

表1 推定地震動の指標

Station	最大加速度 (gal)	最大速度 (PGV)	計測震度	SI 値
<i>053LLT*</i>	<i>949</i>	<i>91</i>	<i>6.5</i>	<i>86</i>
053LLT	1057	82	6.4	74
B2	994	70	6.4	66
A1	1336	66	6.5	59
A2	871	81	6.5	75
A3	829	48	6.1	46

\*斜体は観測地震動の指標

## 5. 結論

龍頭山強震観測点の微動H/Vをほかの強震観測点の微動H/Vと比べた結果、地盤増幅が大きいことが分かった。龍頭山強震記録が本震時一番大きかった原因は震源からの影響だと推察した。また、龍頭山強震観測点から約300mの範囲で建物が大きな被害を受けたが、その以外の地域における建物の被害は小さかった。この違いは地盤特性の違いによって生じたものである。龍頭山強震観測点付近にある四つの微動観測点で本震時地震動を推定した。推定の地震動の大きさは建物被害の状況をよく対応した。

## 謝辞

本震記録はChina Strong Motion Networks Center (CSMNC) から提供していただいたことを記して謝意を表す。現地調査は中国地震局工程力学研究所の馬強研究員、東京大学の司宏俊特任研究員、埼玉大学の党紀助教の協力をいただいた。ポーリングデータは雲南省地震局からいただいた。記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 呉浩, 王欣, 倉橋奨, 入倉孝次郎, 司宏俊, 党紀, 馬強, 林国良 (2015) “2014年中国雲南省昭通地震 (M6.5) における建物被害と強震動特性の関係-その3: 被害が集中した強震観測点周辺の地盤特性”, 日本地震学会2015年秋季大会梗概集
- 2) 倉橋奨, 入倉孝次郎, 王欣, 司宏俊, 馬強, 呉浩 (2015) “M6.5 中国雲南省昭通地震における建物被害と強震動特性の関係-その2: 中国雲南昭通地震における大加速度の生成メカニズム”, 日本地震学会2015年秋季大会梗概集