

14. 中国雲南省Ludian地震震央近傍観測点周辺の建物被害要因

呉 浩

1. 序

2014年8月3日、中国雲南省昭通市魯甸（Ludian）県にMs6.5の地震が発生した。この地震により、多くの建物が倒壊し、多数の被害者が出た。また、これらの被害は震央に近く強震観測点（龍頭山：053LLT）の周辺に集中しているという特徴がある。その原因を解明するため、現地調査（2014.11.10～11.11）を行った。以下に調査結果を報告する。

2. 地震の概要

Ludian地震の震源深さは12キロ、表面波マグニチュード6.5である。震央は四川省と隣接する雲南省北部の昭通市魯甸県龍頭山鎮の標高1880メートルの山間部である。中国地震局地質研究所によると、断層タイプは北東の昭通—魯甸断層が北西に伸びていた包谷ノ—（ノ—は土偏に腦の旁側）—小河断層で起きた左横ずれ断層である。

この地震で中国の強震観測網China Strong Motion Networks Center (CSMNC) の74個所の観測点で記録が得られた。これらの記録を解析し、各観測点での最大加速度PGA、加速度スペクトル及び震央に一番近い観測点—053LLTの波形をそれぞれ図1、2、3に示した。図1からPGA、図2から加速度スペクトルがほかの地点より単独で大きかったことが分かる。龍頭山観測点053LLTの波形には22秒から25秒の間に二つの大きなパルスが見られ、断層が2回に渡って大きな破壊が起きたと考えられる。また、大きな揺れが約5秒程度しかないので、身を守る退避行動の時間が足りなくて多くの被害者が出る原因の一つだと考えられる。一方、PGVは90.6cm/sで、SI値は86.3cm/sで、計測震度は6.5である。これらの指標もPGAのように、龍頭山観測点のみで大きかったのに対して、ほかの観測点ではすぐ小さい値になる。そこで、龍頭山で建物被害が甚大だった原因と龍頭山の地震動記録が大きかった原因を明らかにするために現地調査を行った。

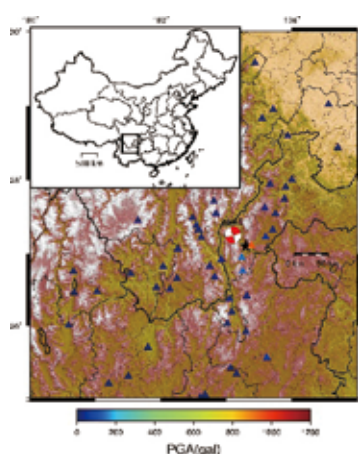


図1 本震時PGAの分布

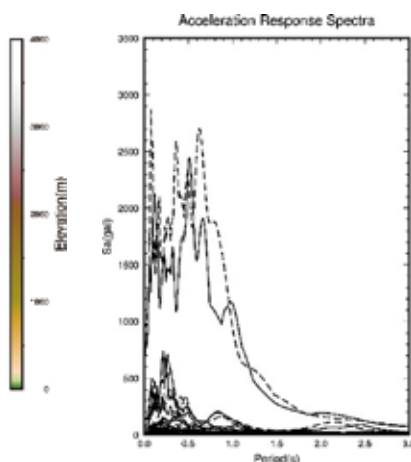


図2 加速度応答スペクトル

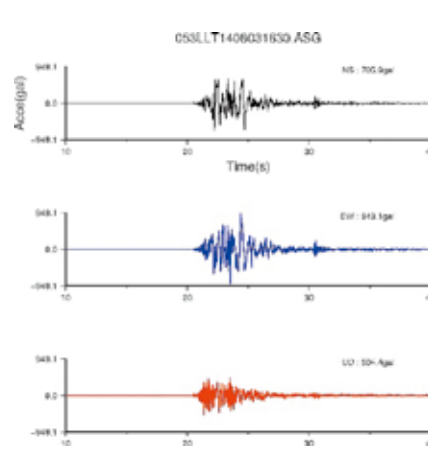


図3 053LLTの加速度波形（主要部）

3. 建物被害種類及び原因

地震発生直後の被害状況はLin et al. (2015) に報告されている。我々の現地調査は、地震発生後3か月が経っ

た2014年11月10-11月11日の二日間で行った。調査内容は、建物被害の状況及び被害があった地域の地盤特性である。調査範囲は写真1に示す龍頭山観測点を含む山間部の約300m×800mである。現地で建物が撤去された更地がよく見られた。特に、新聞記事では土蔵建物がほぼすべて倒壊したと報じられたのに対し、写真1に示した範囲では一軒も見当たらなかった。さらに、建物被害が甚大だったのは写真1に赤矢印で示した龍頭山観測点を囲む300m×300mの範囲のみである。写真1に建物被害が小さかった範囲は破線楕円で示す。この範囲の建物は3～6層で、外観より新しく建てられたと思われる。建物被害が小さかった理由は建物がより新しいためなのか観測点近くの地盤特性のためなのかを地盤調査で確認する必要がある。また、実線楕円で示した地域では崖崩れが発生した。黒矢印で示したのは被害が大きかった建物の場所である。次は建物被害の特徴を分類して原因を分析することにする。

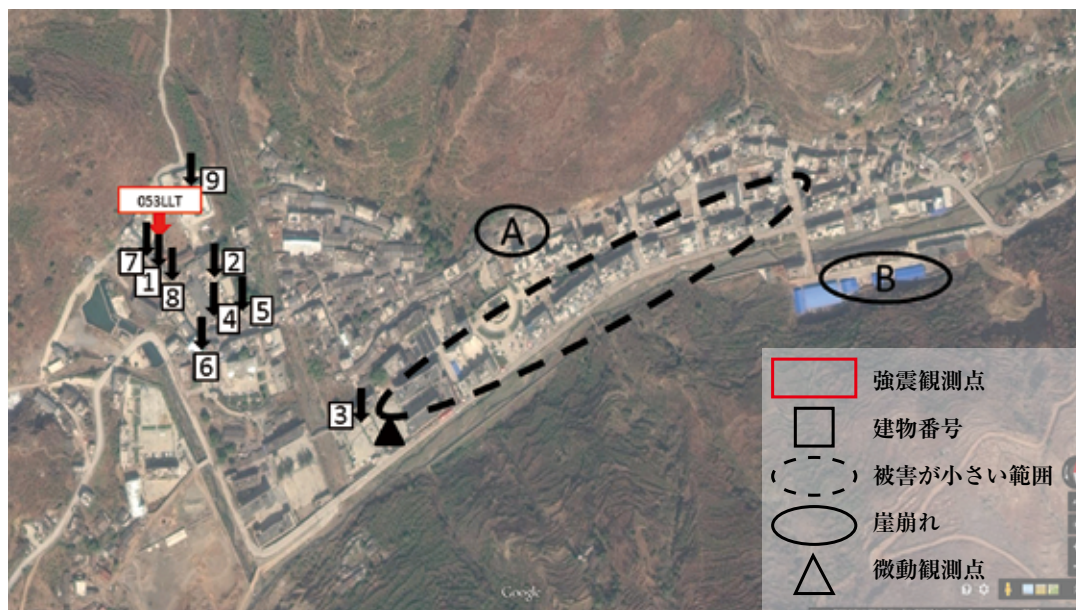


写真1 龍頭山観測点053LLT近くの被災状況（Google mapより）

(1) 崖崩れによる建物被害

調査範囲の二箇所では崖崩れがある。写真1のAとBに示す崖崩れの様子を写真2に示した。崖崩れが起きた場所は数棟の建物が埋められたが、建物が集中している場所ではない。



写真2 崖崩れ（左は写真1のA、右は写真1のB）

(2) 建物自体の耐震性

次に建物自体の耐震性について調査した。被害の原因を明らかにするために建物長辺側の被害、建物短辺側の被害、屋上の小屋の被害及び建設工法について外観より調査した。写真3に示したように建物長辺側の壁に亀裂と変形が見られる。これは建物長辺側が窓、扉などの大きな穴が開いているため、剛性が低く、地震動によるせ

ん断破壊と判る。次に、写真4に示したように建物短辺側が西側へ傾き大きな亀裂が入っている。これは図2に示したように東西方向の0.3秒～0.5秒での応答が南北方向より大きいことと、図3に示した東西方向の波形の振幅が南北方向より大きかったこと一致する。次に、写真5より建物の屋上にある小屋の被害が大きかったことが分かる。これは“むち振り現象”によると考えられる。つまり、屋上小屋の質量と剛性が低層より急に小さくなるため、下層と同じ外力に対して屋上の変形が下層より大きいことに原因である。最後に、写真6に建設工法の例を示す。写真6左はレンガで造られた壁であり厚さも通常の1/2～3/4しかない。また、写真6右は一旦コンクリートの梁と柱のように見えるが、割れ目の中を見ると、レンガ造と分かる。つまり、レンガ造の上をセメントで梁や柱のように見せかけた構造であることが分かる。このことから大きな被害の原因の一つは写真6に示されるような耐震性の低い工法にあると考えられる。



写真3 建物長辺側の被害（左：建物1；中：建物2；右：建物3）



写真4 建物短辺側の被害（左：建物4；中：建物5；右：建物6）



写真5 屋上の小屋の被害（左：建物2の正面；中：建物2の裏面；右：建物7の裏面）



写真6 建設工法（左：建物8、右：建物9）

(3) 耐震設計基準

耐震設計基準について検討した。図4に示したのは龍頭山観測点における本震の応答スペクトルと耐震設計時考慮する応答スペクトルの比較である。小地震の設計応答スペクトル（50年間超える確率は63%）は無論、大地震に対する設計応答スペクトル（50年間超える確率は2～3%）よりも本震スペクトルが大きく上回ったことが分かる。このことは建物が国の耐震基準に従って設計しても今回のような地震に倒れることは驚くべきではないだろうか。

(4) 地盤特性の違い

龍頭山観測点と被害が小さい地域で微動を観測して求めたH/Vの比較を図5に示す。龍頭山観測点で地盤の卓越周期0.25秒で、被害の小さい地域で地盤の卓越周期は0.13秒よりちょっと長いことが分かる。龍頭山観測点で地盤の卓越周期は建物の固有周期と近くて共振で被害が多かった原因の一つのではないかは、今後微動観測地点の地震動を推定してどんな特性があるかは確かめる必要がある。

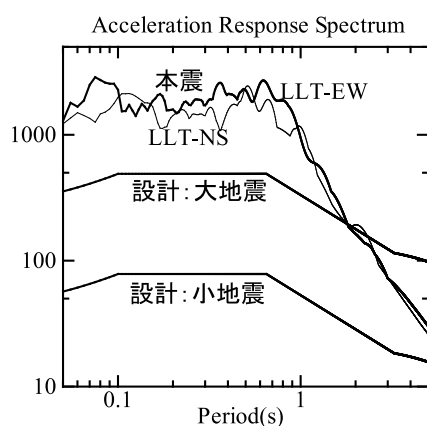


図4 設計と観測応答スペクトル

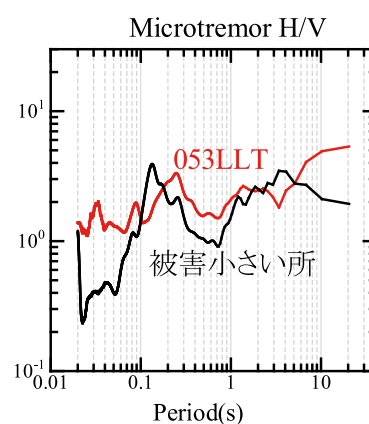


図5 地盤特性の違い

4. 結論

龍頭山観測点周辺の建物被害現地調査を実施した。大きな被害が観測点近傍に集中した理由として、建物自体の耐震性がないあるいは低いこと、建物耐震設計基準が低い、地震動が建物耐震設計基準を上回ったこと、及び地盤特性が被害が小さかった地域と異なることが原因であることを明らかにした。今後、被害が小さかった所の地震動評価についての研究を進めることにする。

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します。現地調査は東北大学の王欣助教、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が共同で行ったものです。また、現地案内を担当する雲南省地震局の林国良氏に謝意を表します。

参考文献

Lin, X. C., Zhang, H. Y., Chen, H. F., Chen H. and Lin, J.Q. Field investigation on severely damaged aseismic buildings in 2014 Ludian earthquake, Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol. 14 (1) : 169-176, 2015.