

2019年6月18日山形県沖の地震における木造住宅の地震応答について

山形大学 三辻 和弥
東北大学 大野 晋

1. はじめに

2019年6月18日に発生した山形県沖の地震では新潟県村上市で震度6強、山形県鶴岡市で震度6弱を記録するなど東北地方を中心に各地で大きな揺れを記録した。地震直後より関係機関による被害調査が実施されており、この地震による被害の概要としては屋根瓦や窓ガラス、外壁の損傷、ブロック塀の損傷や転倒などが中心であるが、液状化の発生や道路の亀裂や盛土斜面の崩壊など、地盤被害も報告されている。著者らは地震直後に被災調査を実施し、被害の大きかった鶴岡市大岩川地区、同小岩川地区、村上市府屋地区での地盤の常時微動観測結果と地震被害の関係について報告している¹⁾。本論では、地盤の常時微動観測結果に基づいて小岩川地区での地表面の本震での地震動を推定し、2階建て木造住宅の地震応答について検討した事例について報告する。

2. 地震被害

今回の地震で最も被害が大きかったと思われる小岩川地区について地震被害の分布を図1に示す。図には後述する地盤の常時微動観測点もあわせて載せている。小岩川地区は国道7号線が西側の海沿いを通り、JR羽越本線の線路が東側の山裾を走っており、これらに挟まれる形で集落が存在している。主な被害は屋根瓦の損傷であるが、他の地区と比べると、ブロック塀の倒壊、外壁の損傷・剥落、建物の傾斜などの被害が多く見られた。著者らが外観の目視により判断した限りではあるが、屋根瓦の被害については、80棟ほどの家屋で観察された。図中の青星印は屋根瓦被害を、赤星印は外壁の損傷・剥落や建物の傾斜などの被害を、緑星印はブロック塀の損傷・倒壊などの被害を表している。地区の中心部を通る道路に沿って屋根瓦の被害が多数見られるが、被害分布の傾向としてはJR小岩川駅よりも南側の、JR羽越本線と地区中心部を通る道路に囲まれた範囲(図1の楕円で囲まれた部分)の建物被害が数も多く、被害の程度も激しい印象である。図1中の橙丸#1から#5は後述する常時微動観測点を示す。

3. 地盤の常時微動観測と小岩川地区での本震による地震動の推定

図1には常時微動観測記録から求めた小岩川地区の地盤のH/Vスペクトル比もあわせて示している。地区中心部で3箇所(KIG#1, #2, #4)、地区の南側を流れる河川のさらに南で1箇所(KIG#3)と、北側を流れる河川のさらに北で1箇所(KIG#5)の計5箇所を観測を行っている。観測点KIG#2およびKIG#4は特に被害の大きかった区域付近であるが、やや高振動数側ではあるものの、地盤の卓越振動数を示すピークが4-6Hz付近に見られる。これは2階建て木造住宅の固有振動数に近く、またH/Vスペクトル比のピークもこの振動数帯で高い値をとっているため、本震時には屋根瓦や外壁、ブロック塀に被害をもたらす地震動の高振動数成分の増

* Comment on seismic response of wooden house in 2019 Yamagata EQ. by K. Mitsuji and S. Ohno

幅に寄与していた可能性も考えられる。小岩川地区では道路の亀裂など地盤被害も見られているため、地盤の非線形化が起きていた可能性もある。一方、地区を流れる2つの河川よりも外側（さらに北とさらに南）である KIG #3 と KIG #5 では卓越振動数を示す明瞭なピークは見られなかった。また、海に近い KIG #1 の観測点でも卓越振動数の評価は難しい結果となった。

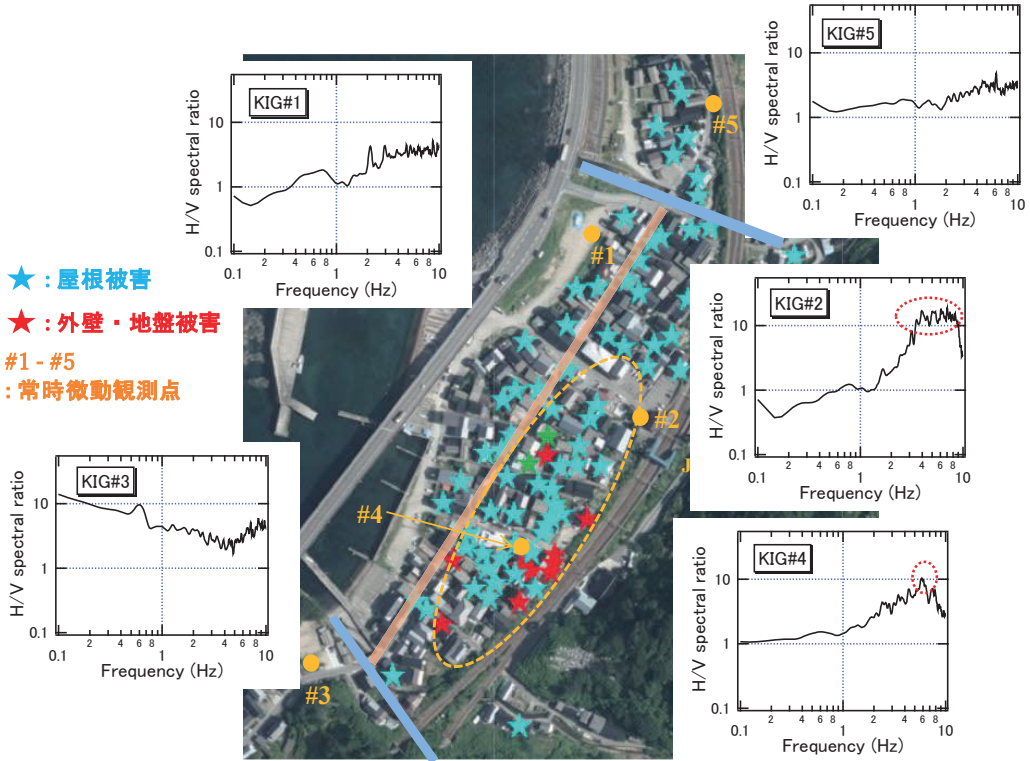


図1 小岩川地区の地震被害分布と地盤の H/V スペクトル比

地盤の常時微動観測結果に基づいて、小岩川地区の地表面での本震の地震動推定を行った。小岩川地区よりも北に位置する温海地区には K-NET 温海観測点 (YMT004) があり、本震の地震記録が得られているほか、観測点の地盤情報も公開されている。そこで、図2に示す方法で K-NET 温海での地表面の本震記録を工学的基盤 ($V_s=400\text{m/s}$: GL-2m) に引き戻した加速度波形を、方位と距離による補正 (図3) を施して小岩川地区の工学的基盤での本震の地震動として推定した。ここで、距離減衰については司・翠川の手法²⁾を用いて評価したところ、K-NET 温海の工学的基盤の最大加速度に比べて小岩川地区での工学的基盤の最大加速度は約 1.4 倍と評価された。

次に、表層地盤の影響を考慮するため、常時微動観測で得られた地盤の卓越振動数を再現するような3通りの地盤モデルを表1に示す通り仮定した。表層地盤の卓越振動数としては、図2に示した、被害の大きい KIG#2 および KIG#4 での結果に基づき 4-6Hz と仮定した。表層地盤の S 波速度は過去の地震被害調査報告などから $V_s=150\text{m/s}$ と仮定し、表1に示した地盤の

卓越振動数にあうように 1/4 波長則により表層地盤の深さを求めて地盤モデルを設定した。地盤の非線形性は図 4 に示す非線形モデル³⁾を用いて等価線形解析を行うことで考慮した。

このようにして推定した小岩川地区の地表面での本震の地震動について、各解析ケースの応答加速度スペクトルを図 5 に示す。上段は地盤が線形の場合、下段は地盤の非線形性を考慮した場合の結果である。また図中の”input”は推定した工学的基盤波の結果である。図 5 より、比較的卓越振動数の低い Case1 および 2 では地盤の非線形性の影響で応答加速度の最大値は小さい評価となり、またピークが見られる周期も $T=0.2-0.4(s)$ とやや長周期側に移動している。一方、解析ケース中で最も堅固なモデルである Case3 では $T=0.1-0.2(s)$ 付近の応答が大きくなり、地盤非線形性の影響は見られるが顕著ではない。また、表層地盤を線形と仮定すると、応答加速度の最大値が実際の被害状況を説明するには過大となる。小岩川地区での建物や地盤の地震被害の状況から判断すると、表 1 の Case3 で地盤の非線形性を考慮するのが最も実際の状況に近いのではないかと考えて、次節に示す木造住宅の地震応答解析では、地盤の非線形性を考慮して Case3 によって推定した波形を入力地震動として用いることとした。

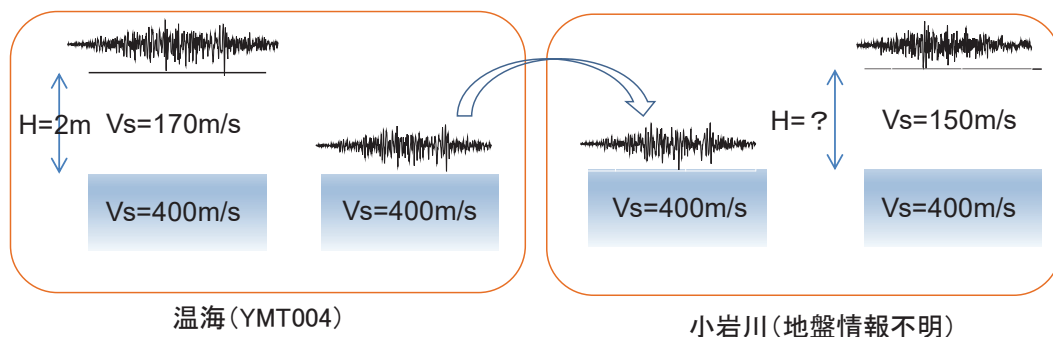


図 2 小岩川地区の地震動推定のイメージ



図 3 距離と方位の補正

表 1 解析ケース

	深さ	卓越振動数
	H(m)	f(Hz)
Case1	10	3.75
Case2	8	4.70
Case3	6	6.25

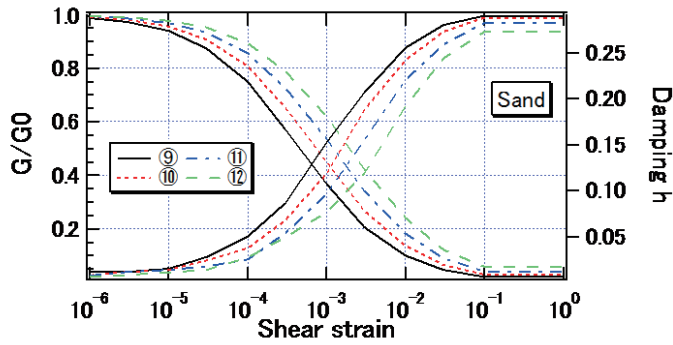


図4 地盤の非線形モデル

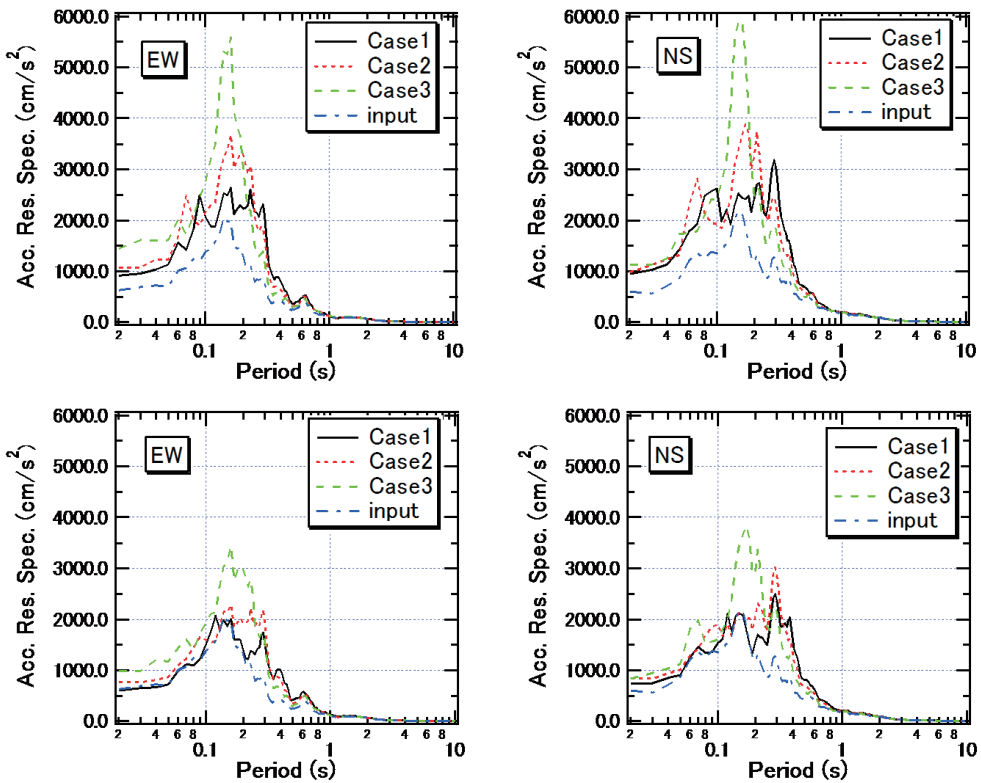


図5 推定した小岩川地区の本震地震動の加速度応答スペクトル
(上段：地盤が線形の場合 下段：地盤が非線形の場合)

4. 木造住宅の地震応答解析

被害の多かった2階建て木造住宅について地震応答解析を行った。上部構造は基礎固定として2質点系でモデル化 ($T=0.24s$) し、荷重-変形関係は図6に示すようなスリップを考慮し

5. まとめ

2019年6月18日に発生した山形県沖の地震後に実施した被害調査および比較的被害の大きかった地区での地盤の常時微動観測結果について報告した。被害の概要としては屋根瓦や窓ガラス、外壁の損傷などが多く見られたが、盛土と思われる斜面の崩壊など地盤被害も見られた。被害の状況はすでに各所で指摘されているように、比較的短周期成分が卓越していた地震動の周期成分との関係を裏付けている。

地震後に行った地盤の常時微動観測記録からは、比較的被害の大きかった山形県鶴岡市小岩川地区では、地区を流れる2つの河川に挟まれる被害の集中した地区中心部では4-6Hz付近に卓越振動数と考えられるピークが見られた。これは2階建て木造住宅の固有振動数に近く、地盤の非線形化も含め、本震時には屋根瓦や外壁、ブロック塀に被害をもたらす地震動の高振動数成分の増幅に寄与していた可能性も考えられる。

これら常時移動観測の結果とK-NET温海観測点での本震の記録を用いて小岩川地区での本震の地震動推定を行った。また推定した地震動を用いて木造住宅の地震応答解析を行ったところ、表層地盤の非線形性を考慮することにより、小岩川地区での地盤や建物の被害状況のある程度説明できることを指摘した。

謝 辞

研究を進めるに当たり、東北大学災害科学国際研究所・柴山明寛准教授からは貴重なご助言いただきました。また、調査の一部では山形大学・汐満将史助教にご協力いただきました。記して感謝いたします。末筆ながら、被災された皆様にお見舞い申し上げますとともに、一日も早い復興をお祈り申し上げます。

参考文献

- 1) 三辻，大野，2019年6月18日山形県沖の地震の初動調査と地盤の常時微動観測，2019年日本地震工学会大会，2019
- 2) 司，翠川，断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，第523号，pp.63-70.，1999
- 3) 平成14年度仙台市地震被害想定報告書，2002