

2次元等価線形化法を用いた地盤傾斜基盤が地表地震動分布に及ぼす影響 ～2019年山形県沖の地震を対象に小岩川地区の被害の評価～

長岡技術科学大学
長岡技術科学大学

蓮岡 大我
教授 池田 隆明

1. はじめに

2019年6月18日22時22分に山形県沖でMj6.7の地震が発生した。震源近傍の新潟県村上市府屋で最大震度6強、最大加速度1191.3cm/s²が観測された。主な被害は木造住宅の屋根瓦の損傷であり、山形県鶴岡市小岩川地区ではその発生数が特に多かった。しかし、小岩川地区に隣接している大岩川地区や早田地区は、屋根瓦の被害は少なかった。3地区の建物の構造、築年数等に大きな変化が見られない。また、3地区とも震央距離は概ね8km程度であり、基盤への入力地震動レベルは同じである。各地域の表層地盤特性が把握できていないことから、被害の差は表層地盤特性の違いによる影響であることが示唆された。

図1には小岩川地区の被害の大きさと表面波探査測線について示す。小岩川地区は全長500m程度の狭い地区でありながら、被害を詳細に観察すると図1のように被害が中央エリアに集中していることが分かった（被害大30%以上、中20～29%、小19%以下）。この地区の建物の構造、築年数等に大きな変化が見られなかった。また、狭い地区であるため、入力地震動レベルはほぼ等しいと考え、被害の状況に差があることは表層地盤構造の変化によって、地表面地震動に差異があったと推定した。

そこで、地盤構造推定のため、人工起振によるレイリー波の分散性を利用し、深度約10m程度の地盤における二次元的なせん断波速度分布を推定する表面波探査(SWS)を実施した。測線は図1に示すように、小岩川地区を縦断する測線I～IIIで実施した。その結果を図2に示す。図2から被害大の箇所から急に基盤深さ(せん断波速度400m/s以深から工学的基盤とする)が深くなっていることが分かった。

今回は表面波探査より求めたせん断波速度構造を用いて地盤モデルを作成し、基盤構造の変化を考慮できる二次元地震応答解析(Super FLUSH)を用いて地表面の地震動分布を求める。その結果から実際の被害と比較し、狭い範囲で急な地盤構造が変化する地域への地表面地震動への影響を確かめることを本研究の目的とする。

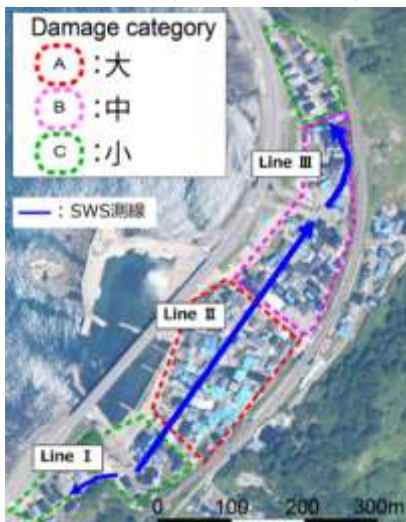


図1 小岩川地区被害と表面波探査の測線

2. 小岩川地区地盤のモデル化

小岩川地区では3測線行ったが被害に差のあり全長の最も長いLine IIをモデル化する。対象地の住宅のモデル化は、木造の二階建て住宅が多くモデル化が困難なため地表面付近の影響をそのまま受けたと考え、住宅のモデル化は行わない。また、図2のせん断波速度構造は地表面に地中に比べ大きなせん断波速度が分布しているが、小岩川地区では地表面に大きなせん断波速度が分布する現象(盛土、土砂崩れ等)は起きていないため、その断面において一番小さいせん断波速度が地表まで分布しているとしてモデル化を行う。モデル化を行ったものを図3の下図に示す。モデル化にあたって使用した地盤諸元を表1に示す。鉛直方向は深度5mまでは0.5m、15mまで1mごとに分割する。水平方向は、地盤構造の被害Bのエリアは水平方向1mごとに、それ以外を2mごとにモデル化を行った。

入力地震動は小岩川地区に一番近い山形県鶴岡市海道の、地表での強震観測データ(最大633gal)を用いる。今回は、水平方向にのみ揺れたと考え、NS方向のみ地震動を100galにし入力した。また、中図はFLUSH解析による面内水平の最大加速度をコンター図で表示し、上図は地表面各節点の最大加速度を示している。(その他の図も同様)

3. 比較対象地盤のモデル化

図2の50mから100mにかけての地盤急変部の地表面地震動への影響を確かめるために、材料番号7が一番深くなっている地点の断面が水平に分布している地盤モデルを作成し確認する。このモデルを図4に示す。また、メッシュサイズ、地盤諸元、入力地震動は同様のものを用いる。

4. 各地盤モデルの二次元応答解析結果

結果から工学的基盤までの深くなっている地点で加速度が大きくなっていることが分かる。しかし、工学的基盤を深い断面で水平成層地盤モデルの結果では地表面の最大加速度は大きく増幅しなかった。このことから、工学的基盤が深いことが小岩川地区内で被害の差が起こった原因でないと言える。この2つのモデルの違いは工学的基盤が変化しているかである。そのため、工学的基盤が浅いところから深いところに急変していることで、波の反射、屈折によって急変箇所には波が集まり局所的に揺れが大きくなり、被害が大きくなったと考える。

表1 地盤諸元

材料番号	区分	ポアソン比	密度 (g/cm ³)	初期せん断波速度 (m/sec)	初期せん断力弾性係数 (kN/m ²)	初期減衰定数
1		0.4999	1.85	100	18500	0.02
2		0.4999	1.85	150	41625	0.02
3		0.4999	1.85	200	74000	0.02
4		0.4999	1.85	250	115625	0.02
5		0.4999	1.85	300	166500	0.02
6		0.4999	1.85	350	226625	0.02
7		0.4999	1.85	400	296000	0.02
8		0.4999	1.85	500	462500	0.02
9		0.4999	1.85	600	666000	0.02
10		0.4999	1.85	800	1184000	0.02

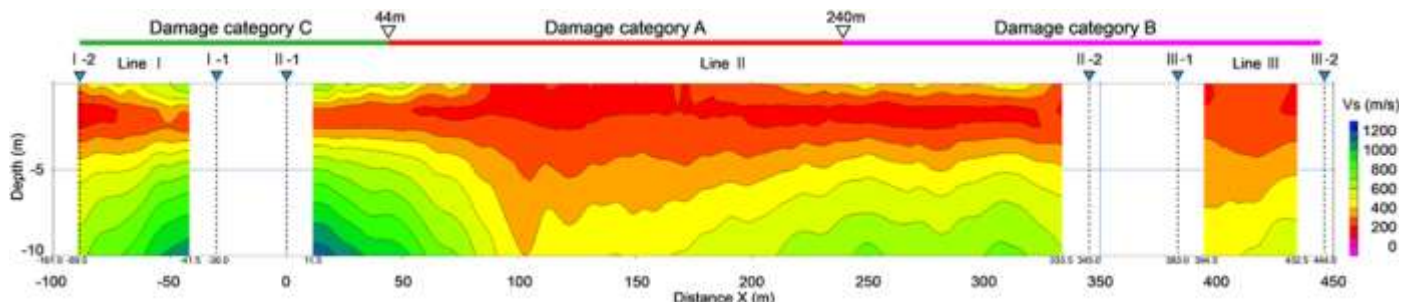


図2 小岩川地区の表面波探査結果

5. 傾斜基盤の影響の確認

傾斜基盤の影響が示唆されたため、この地表面地震動分布に与える影響を確認する。ここで基盤の傾斜条件を図5のように設定した場合、小岩川のモデルを簡易に表すと左側傾斜角は 20° 、右側傾斜角は 5° であった(図6)。また、それぞれの傾斜基盤の影響を確認するため両側傾斜角が 20° の急傾斜モデル(図7)、 5° の緩傾斜モデル(図8)を用いる。結果から、傾斜基盤の傾きによって地表面に与える影響が異なった。また、簡易モデルの地表面地震動の増幅から見ると両側の傾斜基盤の影響が顕著に表れる結果となった。

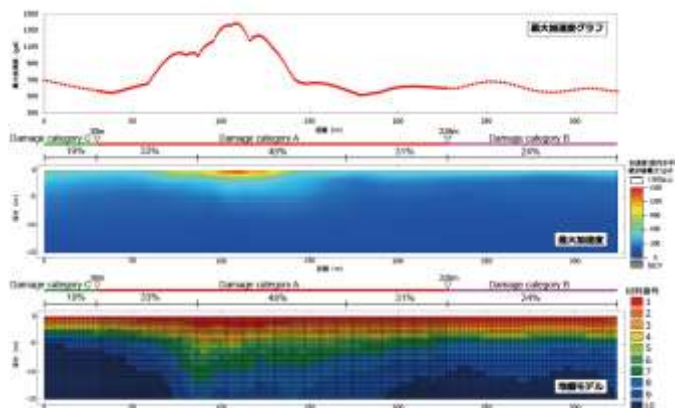


図3 小岩川地区の2次元応答解析結果

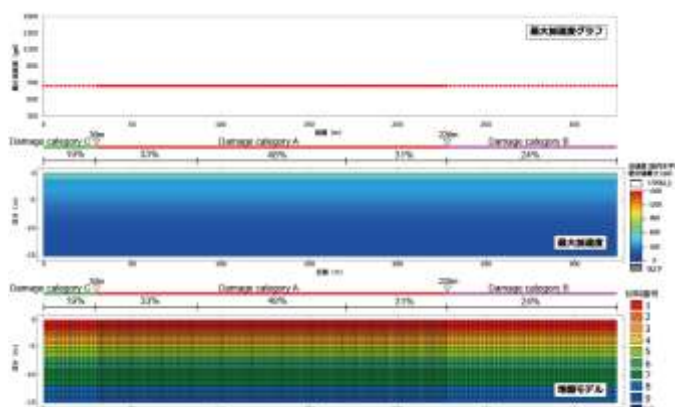


図4 水平成層モデルの2次元応答解析結果

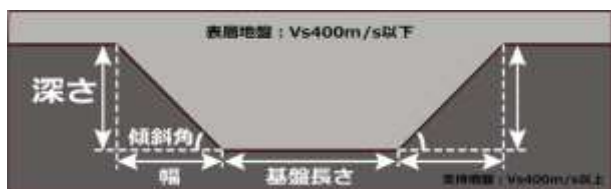


図5 基盤の傾斜条件

6. まとめ

小岩川地区の被害の差は、基盤深度の深さの影響だけでなく、小さな範囲で表層地盤が大きく変化していることにより地震動が一部に大きく増幅し、被害が大きくなったと考えられる。

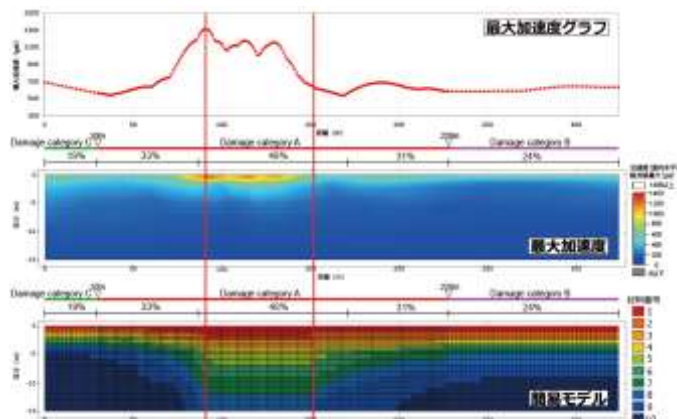


図6 簡易モデルの2次元応答解析結果

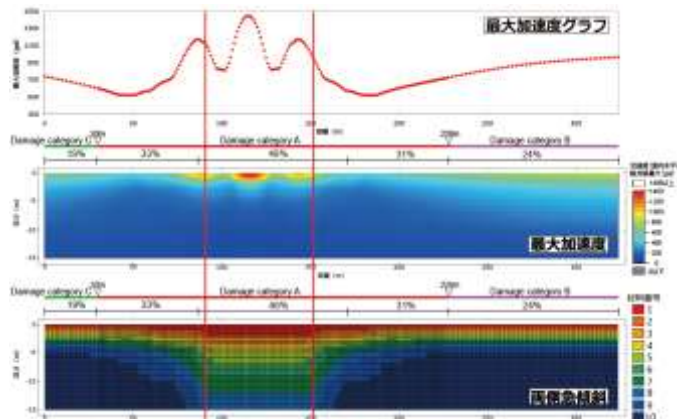


図7 両側急傾斜モデルの2次元応答解析結果

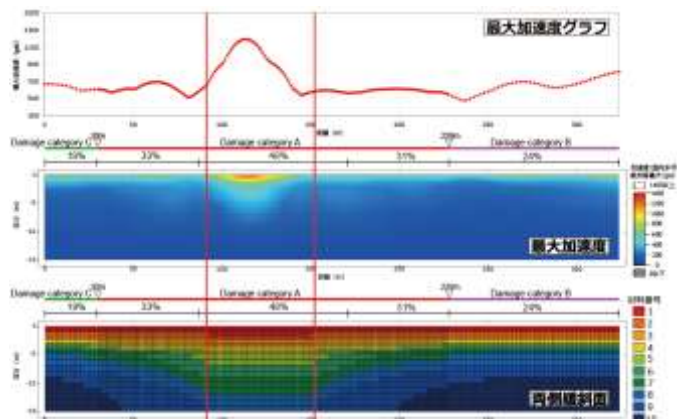


図8 両側緩傾斜モデルの2次元応答解析結果