

## 2007年能登半島地震における門前町道下地区の家屋被害と地盤地震応答

愛媛大学 学生会員 門田 慶史  
愛媛大学 フェロー 森 伸一郎

## 1. はじめに

2007年3月25日に発生した能登半島地震(M=6.9)では、輪島市門前町道下地区において重篤な被害が発生した。被災率は明らかに同市同町の他の地区より突出して高い。被害原因は、地震動の強さと家屋の耐震強度の低さのいずれの寄与が大きいかである。揺れの強さも、基盤の入力地震動そのものか、表層地盤の増幅によるのか、建物の持つ固有周期での共振によるのか、それらの寄与度が問題である。

本論文では、地区内の被害分布を指数化するとともに表層地盤の地震応答解析による地表の応答分布を推定し、それらの相関について検討して、地盤地震応答と家屋被害の関係を明らかにする。

## 2. 家屋被害指数と地震動強さの関係

輪島市門前町道下地区の家屋被害は吉田ら<sup>1)</sup>が被害程度を4段階に分け地図化している。本研究では、着目地点の半径50mの領域を対象に、倒壊家屋を1点、傾き1/50以上の半壊家屋を0.5点、傾き1/50~1/200を0.2点、傾き1/200以下を0点とし、合計点数を領域内木造家屋数で除して各地点周辺の被害指数(等価全壊率)を算出した。図-1にこの地区における周辺家屋の被害分布図と被害指数を示す。現地調査では西側で被害程度がひどいようにも見受けられたが、被害分布図からは明瞭な傾向は読みとれない。

さて、集落の中央をほぼ東西に走る道に沿う測線(E測線)において、地盤の常時微動測定<sup>2)</sup>、表面波探査<sup>3)</sup>が実施され、それらとボーリング柱状図を基に推定した地盤モデルを用いた等価線形地震応答解析により地区内の地震動が推定されている<sup>4)</sup>。これら地震応答解析地点における被害指数が図-1に示されており、被害指数と地震動指標との検討が可能となる。

図-2にE測線における最大応答速度分布を示す。これは富来の観測地表面地震波(PGV: NS: 46 cm/s, EW: 44 cm/s)から工学的基盤に逆応答して得られた露頭基盤波を補正した入力地震波(PGV: NS: 68 cm/s, EW: 66 cm/s)を用いた地震応答解析の結果による。修正富来波を採用した理由は、3地点の逆応答波の中で最も被害分布と調和したためである<sup>4)</sup>。また、水平2成分でも応答速度の大きいNS成分に着目した。

図-3に最大速度と被害指数の関係を示す。過去の地震によれば家屋被害は約30 cm/s以上で始まり、100 cm/s付近で70%程度に達するが、ここでも80~100 cm/sで等価全壊率30~50%になっており右上がりの傾向が見られ、弱い正の相関が見られる。神戸市や鳥取県日野町より地震動に対する全壊率は小さい。そこで、家屋の被害指数に関して周期成分の寄与について検討するため、被害指数0.4以上を重被害領域、0.3以下を軽被害領域として応答スペクトルを平均化し、周期帯別のスペクトル強度について解析を行った。

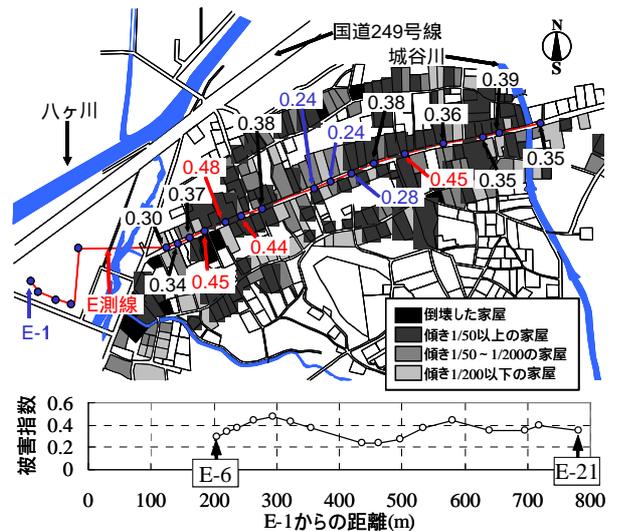


図-1 道下地区家屋の被害分布図と被害指数

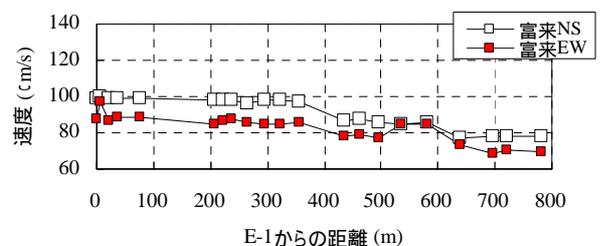


図-2 E測線における最大応答速度分布

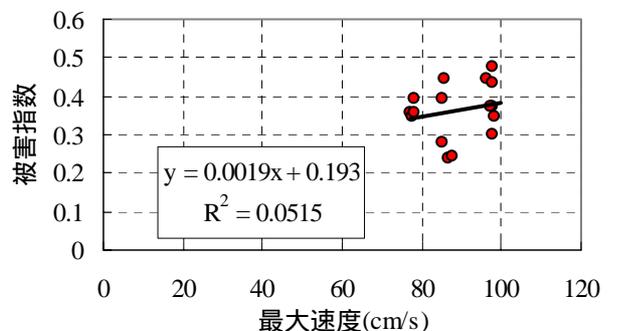


図-3 最大応答速度と被害指数の関係

キーワード 能登半島地震, 速度応答スペクトル, 性能等価応答スペクトル

連絡先 790-8577 愛媛県松山市文京町3 愛媛大学大学院理工学研究科 mori@dpc.ehime-u.ac.jp

### 3. 地震応答スペクトル解析の結果

図-4 に重被害領域, 軽被害領域における平均速度応答スペクトルを示す. 前者が後者に比べて 0.5~1 秒の区間と 1.6 秒以上では大きい 2 つのスペクトルに共通して 0.6 秒と 2 秒前後にピークが見られた. そこで, 2 階建て木造家屋の線形固有周期よりやや長いと考えられる 0.6 秒の応答速度に着目し, 家屋被害との関係を調べた. 図-5 に周期 0.6 秒での速度応答と被害指数の関係を示す. 相関係数は 0.51 と良い相関が見られ, 被害の差は地盤増幅にもよることがわかる.

また, 図-6 に加速度応答スペクトルと林<sup>5)</sup>の提案した性能等価応答スペクトルを示す. この図より推定地震動による木造家屋の最大変形角  $R$  を推定した. 倒壊や著しく大きなせん断変形を保ちながら傾いていた木造家屋の柱は細く, 抜けが生じ, また本数も多くなかったのに対して, 被害が軽微な家屋は柱が太く, また本数も多かった. それらのことから, この地域の木造家屋の降伏耐力  $C_y$  は大小広く分布していると考えられる. 道下地区の木造家屋は重被害領域, 軽被害領域にかかわらず,  $C_y=0.33 \sim 0.80$  においては  $C_y$  の大きさにかかわらず  $R=1/45 \sim 1/60$  rad に達しており, 全域で多くの家屋が中程度から半壊程度の被害は生じているという状況に調和している. また,  $C_y=0.33$  以下においては  $C_y$  の大きさにかかわらず  $R=1/15$  rad に達しており, 大きな変形に至ったのは降伏耐力の小さい家屋に限られている可能性がある. 重被害領域と軽被害領域との間で最大変形角は差が小さい. そのため, 被害の大小は, 地盤増幅の違いによる振動の大きさの違いよりも, 木造家屋の降伏耐力の差に支配されていると考えられる.

### 4. 結論

2007 年能登半島地震で家屋被害の集中した門前町道下地区において, 表面波探査, 常時微動測定などに基づいて密にモデル化した地盤に対して, 観測地震動より推測される基盤地震動入力により等価線形地震応答解析を実施し, 地表の応答と被害指数の関係を検討し, 以下の結論を得た.

- 1) 最大速度や卓越する 0.6 秒付近での速度応答スペクトルは被害指数と相関があるが, 明瞭に被害領域の重軽を区別できるほどのものではない.
- 2)  $C_y=0.33$  以上では  $C_y$  の大きさにかかわらず  $R=1/45 \sim 1/60$  rad に達しており, 全域で多くの家屋が中程度から半壊程度の被害は生じているという状況に調和している. また,  $C_y=0.33$  未満においては  $C_y$  の大きさにかかわらず  $R=1/15$  rad に達しており, 大きな変形に到ったのは降伏耐力の小さい家屋に限られている可能性がある.
- 3) 被害の大小は, 地盤増幅による振動の違いより, 木造家屋の降伏耐力の差に支配されている.

謝辞: 本研究では防災科学技術研究所 K-NET の観測記録を使用させていただきました. 感謝致します.

参考文献: 1) 吉田 望ら: 平成 19 年能登半島地震における門前町道下地区の地盤変状および家屋被害, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集, pp83-84, 2007. 2) 森 伸一郎, 久木留 貴裕, 門田 慶史, 佐伯 嘉隆: 門前町道下地区における常時微動測定による地盤振動特性, 日本地震工学会大会 2007 梗概集, pp.436-437, 2007. 3) 森 伸一郎, 門田 慶史, 佐伯 嘉隆, 久木留 貴裕: 能登半島地震において家屋被害の集中した門前町道下地区の地盤速度構造, 日本地震工学会大会 2007 梗概集, pp.438-439, 2007. 4) 門田 慶史, 森 伸一郎: 2007 年能登半島地震による門前町道下地区における集中家屋被害の原因, 地盤工学研究発表会発表講演集, 2008(投稿中). 5) 林 康裕: 性能等価応答スペクトルに基づく建築物の地震動荷重評価, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, pp651-656, 2002.

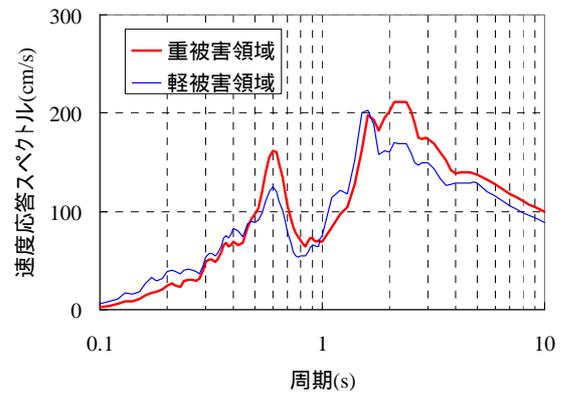


図-4 各被害領域における平均速度応答スペクトル

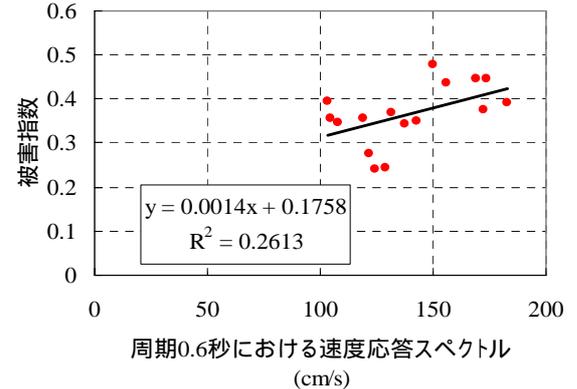


図-5 0.6 秒周期での速度応答と被害指数の関係

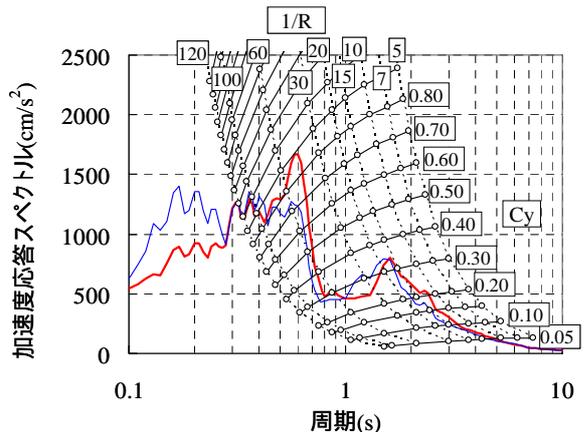


図-6 加速度応答スペクトルと性能等価応答スペクトル