

新潟県中越沖地震における柏崎市西本町の木造住宅被害の要因分析

正会員 ○新井 洋*¹ 同 田村修次*²
同 時松孝次*³ 同 肥田剛典*⁴
同 坂本 忠*⁵ 同 前田修宏*⁶

新潟県中越沖地震 木造住宅被害 悉皆調査
航空レーザ計測 地表面傾斜量 地盤変状

1. はじめに

2007年新潟県中越沖地震では、柏崎市中心部において、多くの木造住宅に甚大な被害が生じた。この住宅被害の特徴として、上部構造だけでなく、基礎の損傷事例の多いことが挙げられる。前者は震動に起因すると思われるが、現地の地形等から、後者は地盤の液化化や流動に起因する可能性も考えられる。そこで本報では、柏崎市西本町周辺において建物の悉皆調査を行い、航空レーザ計測に基づく標高データとの比較から、木造住宅被害と地形の関係を検討する。また、2 質点系の地震応答解析から、木造住宅の最大変形角と被害の関係を考察する。

2. 柏崎市西本町周辺の地形および建物の悉皆調査

図1に、地震後の航空レーザ計測から求めた柏崎市西本町周辺の標高分布を1m間隔の等高線で示す。標高の算出点は、平面直角座標(世界測地系)の南北・東西方向に2m間隔で、その水平・鉛直精度は、絶対値で±0.3m, ±0.15m, 相対値ではそれ以下と考えられる。図の太破線は、森ら¹⁾による砂丘の領域境界である。図から、砂丘は、標高3-8mから15m程度の東北東-西南西方向に伸びる島状の微高地に対応しており、砂丘の北側では南側に比べて地表面の傾斜が大きい。

建物の悉皆調査は、図1の太鎖線の範囲で、2007年7月31日と8月1, 19-21日に行った。調査では、2人1組の複数チームを組み、建物各棟の位置、築年数(10年以下, 10-30年, 30年以上)、用途、構造種別、階数、基礎形式、沈下・傾斜、地盤変状の有無、上部構造および基礎の被災度を判定した。被災度の判定基準は、上部構造については、岡田・高井²⁾に基づき、D0(無被害)、D1-D3(一部破損・半壊)、D4-D5(全壊)の3段階、基礎構造については、G0(無被害)、G1(部分的)、G2(顕著)の3段階とした。調査した建物は1,027棟、うち840棟が木造住宅であり、その階数・構法・基礎形式は、いずれも8-9割が2階建て・在来構法・布基礎であった。

3. 木造住宅基礎の被害率と地形および地盤変状の関係

図1の範囲を南北・東西方向50m間隔のメッシュに分割し、このメッシュに沿う100m四方のブロック内に木造住宅が10棟以上存在する場合に、建物の被害率を算定した。図2に、被害率を算定したブロックの位置と各ブロックの住宅基礎のG2被害率の分布を、標高分布と重ねて示す。図2から、G2被害率は、砂丘の南側に比べて北側で大きく、地盤の傾斜が住宅基礎被害に強く影響した可能性が示唆される。また、住宅基礎被害に影響を与える要因として、地盤変状の有無が予想される。

そこで、標高データから文献3)の方法により地表面傾斜量の分布を求め、各ブロック内の平均値(以下、平均傾斜量)と木造住宅基礎のG1-G2被害率およびG2被害率の関係を図3に示す。また、各ブロック内の調査住宅のうち地盤変状ありと判定された割合(以下、地盤変状発生率)と住宅基礎被害率の関係を図4に示す。図3(b), 4(a)から、基礎のG2被害率と平均傾斜量、G1-G2被害率と地盤変状発生率に、比較的明瞭な相関が認められる。このことは、木造住宅基礎の被害発生については地盤変状が、甚大な被害については地盤の傾斜が、それぞれ強く関係している可能性を示唆している。ここで、基礎のG2被害率と地盤変状発生率(図4(b))にも、ある程度の相関が認められるが、地盤変状発生率が大きくてもG2被害率が小さい場合も見受けられる。このことは、図3(b), 4(a)の考察から、地盤変状が生じて傾斜が小さい場合には、基礎に被害が生じて甚大には至らなかった可能性を示唆している。

さらに考察のため、各ブロック内の調査住宅のうち築30年

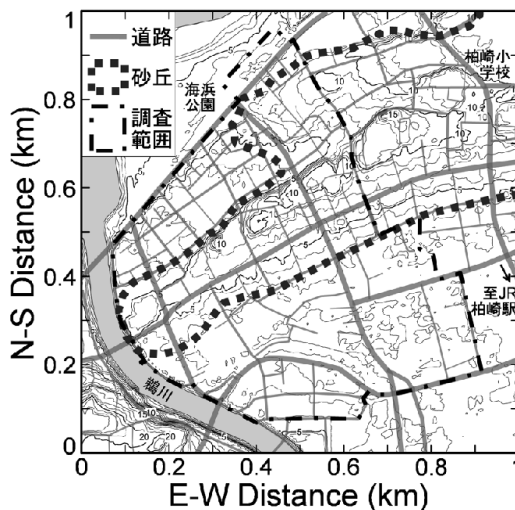


図1 柏崎市西本町周辺の標高分布と悉皆調査範囲

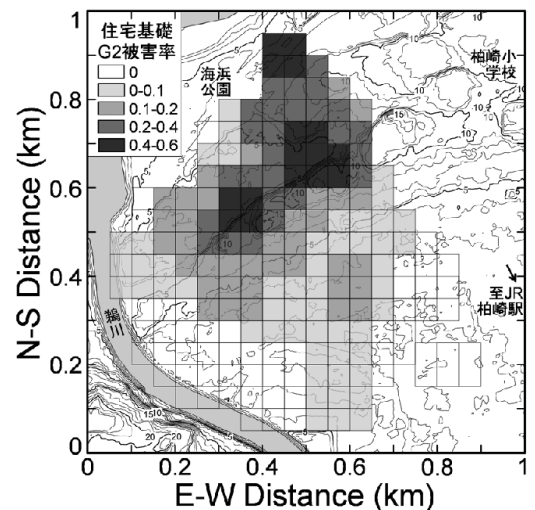


図2 木造住宅基礎のG2被害率分布と標高分布の比較

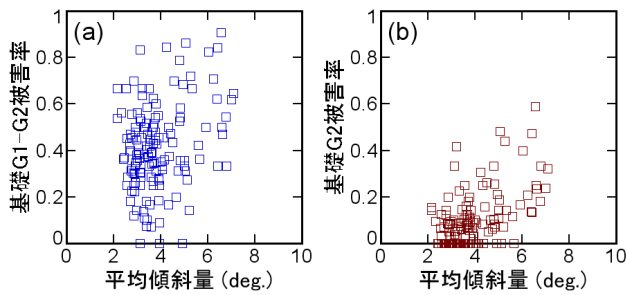


図3 地表面の平均傾斜量と木造住宅基礎の被害率との関係

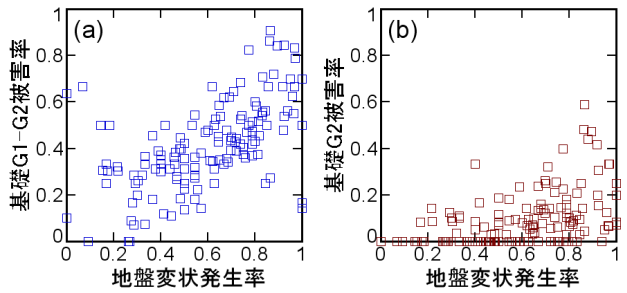


図4 地盤変状有り判定された割合（地盤変状発生率）と木造住宅基礎の被害率との関係

以上と判定された割合（以下、築30年超過率）と基礎G2被害率および地盤変状発生率の関係を図5(a), (b)に示す。図から、築30年超過率が多い（比較的古い住宅が多い）地域では、基礎に甚大な被害が生じにくく、また、地盤変状が発生しにくかった可能性が示唆される。すなわち、比較的古い住宅が地盤条件の良い場所に建てられている可能性が考えられる。

4. 木造住宅上部構造の最大変形角の推定

木造住宅の上部構造被害について3章と同様の検討を行ったところ、被害率と平均傾斜量や地盤変状発生率に明瞭な相関は認められなかったが、D1-D5被害率と築30年超過率にある程度の相関が認められた（図5(c)）。また、前田ら⁴⁾は、同地域の木造建物調査から、壁量が少ないほど被災度が大きくなる傾向を指摘している。そこで、2階建て木造住宅を想定した図6の解析モデル⁹⁾を用いて、K-NET 柏崎で観測された本震記録⁶⁾の北西-南東（強軸）および北東-南西（弱軸）の各方向成分を入力として時刻歴応答解析を行い、住宅の最大変形角 R_{max} を推定した。この際、解析モデルのベースシヤ係数（以下、耐力 C_0 ）を0.2-0.8の範囲で0.1ずつ変化させた。図7に、解析から得られた住宅の耐力 C_0 と1階の最大変形角 R_{max} の関係を示す。図から、北東-南西（弱軸）方向では、住宅の最大変形角 R_{max} の耐力 C_0 による変化は顕著でなく、 R_{max} は1/100程度以下となっている。一方、北西-南東（強軸）方向では、住宅の耐力 C_0 が低いほど最大変形角 R_{max} が大きくなっており、とくに、 C_0 が0.3-0.4程度以下の場合、 R_{max} が1/10程度を超え、全壊以上の被害に至ると推察される。この解析結果は、用いた

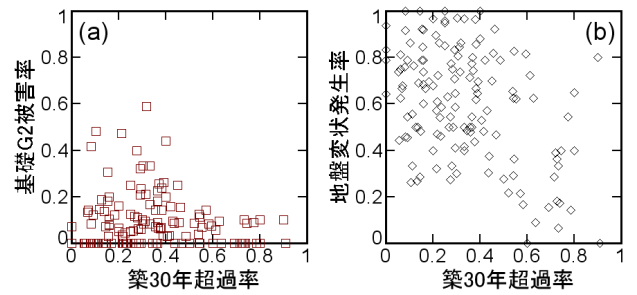


図5 築30年以上と判定された割合（築30年超過率）と(a)基礎G2被害率、(b)地盤変状発生率、(c)上部構造D1-D5被害率との関係

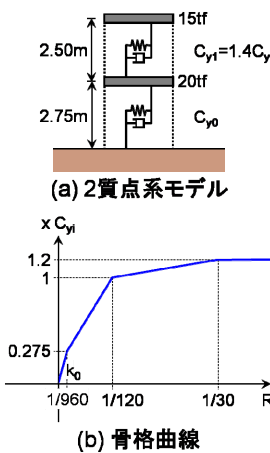


図6 2階建て木造住宅の地震応答解析モデル⁹⁾

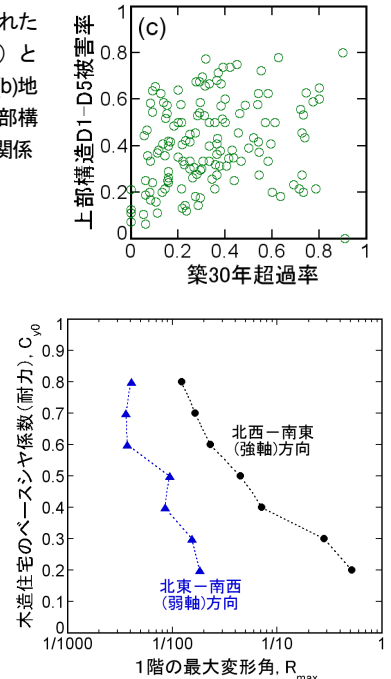


図7 K-NET 柏崎の本震記録⁶⁾に対する木造住宅1階の最大変形角

モデルや入力地震動に仮定が多く、試算の域を出ないが、図5(c)の傾向や前田ら⁴⁾の報告と調和的であり、築年数や壁量により耐力の低い木造住宅が北西-南東方向に大きな被害を受けた可能性が示唆される。なお、柏崎の本震記録⁶⁾の強軸・弱軸方向は、図1の道路の走向と概ね対応しており、建物の向きと対応する場合が多く、その影響の評価は今後の課題としたい。

5. まとめ

建物悉皆調査、標高計測データ、2質点系の地震応答解析に基づいて、柏崎市西本町周辺の木造住宅の被害要因を検討した。その結果、1) 住宅基礎被害の発生には地盤変状が強く関係した可能性、2) 基礎被害の大小には地盤の傾斜が強く関係した可能性、3) 比較的古い住宅が地盤条件の良い場所に建てられている可能性、4) 築年数や壁量により耐力の低い住宅が北西-南東方向に大きな被害を受けた可能性が示唆された。

【参考文献】1) 森ほか：JAE大会, 492-495, 2007. 2) 岡田, 高井：AIJ構造系論文集, 524, 65-72, 1999. 3) 神谷ほか：情報地質, 10(2), 76-79, 1999. 4) 前田ほか：JAE大会, 474-477, 2007. 5) 林ほか：AIJ構造系論文集, 548, 35-41, 2001. 6) 防災科学技術研究所：強震ネットワーク K-NET, <http://www.k-net.bosai.go.jp/>

*¹ 建築研究所 主任研究員・博士(工学)
 *² 京都大学防災研究所 准教授・博士(工学)
 *³ 東京工業大学 教授・工博
 *⁴ 京都大学大学院生・日本学術振興会特別研究員 修士(工学)
 *⁵ 清水建設(株)技術研究所 修士(工学)
 *⁶ (株)ベイカレント・コンサルティング 修士(工学)

*¹ Senior Research Engineer, Building Research Institute, Dr. Eng.
 *² Assoc. Prof., DPRI, Kyoto Univ., Dr. Eng.
 *³ Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
 *⁴ Graduate Student, Kyoto Univ., JSPS Research Fellow, M. Eng.
 *⁵ Institute of Technology, Shimizu Corporation, M. Eng.
 *⁶ BayCurrent Consulting, Inc., M. Eng.