# 2007年能登半島地震による建物被害と 宅地地盤特性の関係-輪島市門前町道下地区の事例-

橋本隆雄1・宮島昌克2

 <sup>1</sup>千代田コンサルタント東京支店地域整備部次長 (〒114-0024 東京都北区西ヶ原3-57-5) E-mail:t-hashi@chiyoda-ec.co.jp
<sup>2</sup>金沢大学理工研究域環境デザイン学系教授 (〒920-1192 石川県金沢市角間町) E-mail: miyajima@t.kanazawa-u.ac.jp

2007年3月25日に発生した能登半島地震(M<sub>JM</sub>=6.9)は、能登半島の先端に位置する輪島市をはじめとして多くの家屋に被害を与えた。石川県によれば、建物被害は全壊682棟、半壊1,719棟、一部損壊26,907棟、非住家被害4,439棟、合計33,747棟となっている。震度6強を記録し、震源に近い輪島市門前町の全壊率が高い。現地調査によれば、門前町の宅地では液状化による噴砂も見られることから、大きな地震動だけではなく、液状化による地盤変状も建物被害に影響を及ぼしているのではないかと考えられた。そこで、井戸による地下水位調査、ボーリング調査、スウェーデン式サウンディングなどを行い、宅地地盤特性を調査し、地盤特性と建物被害との関係を考察する。

*Key Words :* the 2007Noto-hanto earthquake, residential lands, liquefaction, damage to houses, earthquake damage

# 1. はじめに

2007年3月25日9時42分頃,能登半島沖でマグ ニチュード(M<sub>M</sub>=6.9),の能登半島地震<sup>1)</sup>が発生し, 図-1に示すように石川県輪島市,七尾市,穴水市で 最大震度6強を観測し,建物の倒壊やライフライン 等の社会基盤に対する被害,液状化や斜面崩壊等の 地盤災害等の大規模な被害を受けた。建物被害は, 門前町道下,清水,総持寺門前通り,輪島市鳳至町, 穴水町の限られた地域に集中しており液状化の噴砂 が見られたが,宅地地盤の液状化の影響が明確とな っていなかった。

そこで本論文では、特に**写真-1**に示すように家屋 倒壊被害が顕著な門前町道下地区を対象として、宅 地造成の変遷や悉皆調査を基にした宅地被害分析, さらにボーリング調査等による地盤状況(土質判別, N値,粒度組成等)や地下水位の分布状況を把握した 液状化判定等の解析を行い、地盤構成・土質・強度 と液状化被害箇所の関係を検証し、宅地被害原因の 分析をすることを目的とする。



写真-1 門前町道下地区の木造家屋倒壊

#### 2. 建物被害の概要

# (1) 宅地造成の変換

図-2は、門前町道下の1967年、1990年、2001年 と現在の1/25,000の地形図の比較したものである。 また、写真-2は、1967年と2007年現在の航空写真 を比較したものである。この図や航空写真から分か るように、道下地区北部にバイパスができ、その近 辺に新たに住宅が多少できているものの、道路線形 および建物位置も1967年当時から変化していない ことがわかる。



図-1 輪島市門前町道下地区の位置図



(a)1967年



(b)1990年



図-2 過去と現在の1/25,000の地形図の比較

#### (2) 建物被害の概要

日本建築学会は,建物悉皆調査<sup>2)</sup>による建物被害 の調査を行った。この悉皆調査は,ある特定の地域 に対して存在する建物全数の被災度を調査する調査 方法で,地震被害の全体像把握,震源や地盤特性と 被害の関連など,後の学術研究上重要な意味を持つ 調査である。図-3は,その際に用いられた岡田・高 井の木造建築物の地震被害調査のための建築分類と 詳細破壊パターンモデル<sup>3)</sup>である。図-4は,1967年 の航空写真に建物被害を重ねたもので,建物被害を 岡田・高田モデルから D0:無被害,D1:一部損壊, D2:一部損壊強,D3:半壊,D4:全壊弱,D5:全壊 中,D6:全壊強として扱った。図-5の建物被害の分 類結果は,悉皆調査<sup>3)</sup>を基に行い,全壊 34.7%,半 壊 21.4%,一部損壊 28.4%,無被害 11.9%,不明



(a)1967年



(b) 2007年 **写真-2** 過去と現在の航空写真の比較

3.5%となっている。道下地区の建築年数は,図-6 に示すように30年以上が70%と古い木造住宅が多 いことが明らかとなった。図-7は、建物被害と築年 数の関係のグラフである。この図から、築年数10 年以内の被害は少なく、築年数10年~30年の建物 は被害程度のバラツキが多いのに対して築年数30 年以上の建物の被害が大きくなっている傾向がわか る。



図-5 建物被害の分類



図−3 木造建築物の詳細破壊パターン<sup>3)</sup>(岡田・高井モデル)



図-4 2007年の航空写真と建物被害



#### 3. 宅地地盤調査結果と建物被害の関係

#### (1) 宅地地盤調査結果

図-8は、門前町道下地区の地盤高を測量した等高線である。また図-9は、16箇所の井戸の水位を調査した井戸水位標高等高線図である。図-10は地盤高等高線から井戸水位標高等高線の差を取り、地下水位等深線を作成したものである。この図から、地区の北西部で地下水位が浅くなっており、北部を走るバイパスの道路盛土手前では地下水位が地表面とほぼ一致していることがわかる。

地下水位が浅く建物被害が顕著な地域に注目して、 図-8~10に示すようにボーリング調査を2箇所(図-11),その間の地層を推定するためにスウェーデン 式サウンディングを5箇所で実施した。図-12は、 計測結果を元に推定した、スウェーデン式サウンデ ィングを行った道路に沿った地質断面図である。

#### (2) 宅地地盤結果と建物被害の関係

この図から断面図の両端部,ボーリング調査を行った Bv-1, Bv-2 地点の柱状図から砂層が地表面に現れていることがわかる。図-13 は、道下地区では強 震観測が行われていなかったので、地表面加速度を パラメータとして道路橋示方書に準拠し、土質分類 から地盤定数を設定し液状化安全率 F<sub>2</sub>値を求めたも のである。同図によれば、地表面加速度が 200gal を超えると地表面での液状化安全率が 1.0 を下回り、 400gal 以上になると地表面から 8m までの地層で、 液状化安全率が 1.0 を下回ることがわかる。Bv-1 の 地点には住宅が建っていたが,地震時に庭から噴砂 が多量に発生するとともに,床下からも噴砂が発生 し,床が隆起し,住めなくなった地点である。

図-14 に, 建物被害の悉皆調査結果を図-10 の地下 水位等深線図に重ねて示した。同図によれば, Bv-1, Bv-2 地点付近の地下水位が 1m よりも浅い地点で全 壊家屋が集中しており,図-12 によれば砂地盤が地 表面に現れているので, Bv-1 地点の住宅同様に,液 状化による地盤変状が家屋の全壊に大きく寄与して いたことが推測できる。

この地区の建物被害のすべてに液状化が関与して いるとは言えないが、大きな地震動だけではなく、 液状化が建物被害に関与しているものもあることが 明らかとなった。



図−8 地盤高等高線



**図-9** 井戸水位標高等高線



図-10 地下水位等深線



図-14 地下水位分布と建物被害



# 4. 宅地地盤被害と基礎被害の関係

#### (1) 宅地地盤被害

図-15は、1967年の航空写真に宅地地盤変状箇所を 重ねたものである。宅地地盤の被害は図-16(a)に示 すように調査家屋の全体513件の内、30.8%の158件 を占めている。宅地地盤変状に対する変状項目は、 図-16(b)示すようにクラック59.5%(94件),沈下 25.3%(40件),液状化噴砂5.7%(9件),側方流動 4.4%(7件),隆起2.5(4件),擁壁崩壊1.3%(2件), 擁壁ずれ1.3%(2件)で、クラック,沈下が多い。

図-17は、建物被害と宅地地盤変状の関係のグラフ である。この図から,地盤のクラックは建物の被害 程度にバラツキが多く、地盤の沈下は、半壊、全壊 弱の建物被害が多く、側方流動、隆起、液状化の場 合は,バラツキはあるが建物被害が大きい傾向にあ る。また、擁壁の変状は、ずれの場合よりも崩壊の 方が建物被害に直結している傾向があることがわか った。写真-3は、屋外で見られた道路舗装や地表面 の亀裂が生じた付近の液状化による合併浄化層の隆 起状況である。写真-4は、液状化により建物内部の 床や土間が隆起現象を生じた様子である。大規模な 建物被害のあった住宅の井戸の地下水位は、写真-5 の様に地表面付近まで達しており、液状化による宅 地地盤の隆起により写真-6の様に地表面を覆ったコ ンクリートに多数の亀裂が生じていた。すなわち、 地盤が隆起して建物が被害を受けた宅地は、井戸の 水面が地表面とほぼ一致し,地下水位が非常に高い ことが明らかとなった。

地盤が基礎被害に影響を及ぼした原因としては, 緩傾斜部の伏流水が絶えず供給されている地形に液 状化が発生したために側方流動,陥没・沈下等の地 盤変状により路面の亀裂や建物基礎部にズレが発生 し全体的な基礎被害を生じたと考えられる。

#### (2)全体被害の分析

図-18は、1967年の航空写真に建物被害程度,築 年数,宅地地盤の地盤変状の有無,基礎被害の程度 を重ねたもので,宅地地盤の地盤変状箇所に建物被 害程度が多いことが分かる。また,建築年代が新し いほど,建物被害が軽微であることが分かる。







図-17 建物被害と地盤変状の関係



写真-3 液状化による合併浄化層の隆起



写真-5 井戸の地下水位状況



写真-4 建物床部分の隆起



写真-6 液状化による宅地地盤の隆起



図-18 宅地被害程度と宅地地盤変状,基礎の被害

# 5. 基礎被害と上部構造物被害の関係

道下地区の基礎の被害は、図-19 示すようにその 基礎形式が不明を除いて著しいが 18.5%,一部的が 42.9%の合計 61.4%と 513 件中 315 件となっており, 全体の 6 割を超えている。図-20 は、上部構造物と 基礎被害の関係のグラフである。この図から、基礎 被害なしでも半壊、全壊弱が若干あるものの全体的 には建物被害は少ない傾向にあり、部分的な被害の 場合は、一部破壊から全壊弱まで被害程度にバラツ キが多く、基礎の著しい被害の場合は、半壊、全壊 が多くなっている。

門前町道下地区は築30年以上の古い木造住宅が多 いため、その基礎形式は写真-7に示すように地盤面 近くに土台を設置したものやブロック基礎が多かっ た。現地でひび割れ・欠陥などが生じた基礎は写真 -8に示すようにブロック基礎や無筋コンクリートと 考えられるもので、上部構造の変形・歪み等による ものであった。外見上は、建設年度や構造形式など から判断して無筋コンクリートと思われる基礎も多 かったが,基礎に生じたひび割れの発生状況などか ら判断すると、地上に立ち上げたブロックや土台基 礎の外周を改修工事の際にモルタル等で化粧したと 考えられるものもあった。写真-9は、木質の土台の 外周をモルタル等で覆っているもので、基礎の鉄筋 等がなく外れやすい構造で、建物自体の特に基礎部 が白蟻により食われ、強度がなかったためと考えら れる。建築物の地震被害のほとんどは、古い木造住 宅に発生しており、鉄筋コンクリート造の基礎の場 合は地盤面と土間との段差や基礎コンクリートのひ び割れ・欠陥、土間コンクリートのひび割れ程度の 軽微な被害であった。

無筋コンクリートの基礎の場合は、大きなひび割 れや損傷がいくつか認められたが、鉄筋コンクリー ト造と思われる基礎のなかにもコーナー部でコンク リートの欠陥が生じていた。また、被災地には古い 土台基礎とブロック基礎の併用基礎の木造が大きく 変形していた。そのほか、土台から上が地震被害の ために解体・撤去され、無筋コンクリート造等の基 礎が残されている場合もあったが、アンカーボルト がほとんど設置されていないものも認められた。**写** 真-10は、建物基礎に玉石・排水溝・自然石がある部 分に縦クラックが発生していた。

道下地区の基礎の被害は,築30年以上の古い木造 住宅の基礎形式が地盤面近くに土台を設置したもの, ブロック基礎,無筋コンクリートなど基礎が外れや すい構造で,建物自体の特に基礎部が白蟻により食 われ強度がなかったためと考えられる。したがって, 基礎の被害が著しいほど上部構造物の被害が半壊, 全壊と多くなり,基礎被害と上部構造物の関係が密 接であることが明らかとなった。

今後、既存木造建物の基礎部の耐震診断方法の確 立と補修・補強対策の強化が必要である。

![](_page_7_Figure_6.jpeg)

図-19 基礎被害の分析

![](_page_7_Figure_8.jpeg)

図-20 上部構造物と基礎被害の関係

![](_page_7_Picture_10.jpeg)

写真-7 建物基礎部コンクリートの破壊

![](_page_7_Picture_12.jpeg)

写真-8 コンクリートブロック基礎の崩壊

![](_page_8_Picture_0.jpeg)

写真-8 コンクリートブロック基礎の崩壊

![](_page_8_Picture_2.jpeg)

写真-10 建物基礎の縦クラック

#### 6. おわりに

本論文では、家屋倒壊被害が顕著な門前町道下地 区を対象として、宅地造成の変遷や悉皆調査を基に した宅地地盤結果と建物被害の関係、宅地地盤被害 と基礎被害の関係、さらに基礎被害と上部構造物被 害の関係を検証し、以下の教訓および今後のあり方 を得ることができた。

# a) 宅地地盤の液状化検証の強化宅地地盤の液状化 による地盤変状に伴う基礎被害

道下地区の建物被害のすべてに液状化が関与して いるとは言えないが,大きな地震動だけではなく, 液状化による地盤変状が建物被害に関与しているも のもあることが明らかとなった。特に地盤が隆起し て建物が被害を受けた宅地は,井戸の水面が地表面 とほぼ一致し,地下水位が非常に高いことが明らか となった。地盤が基礎被害に影響を及ぼした原因と しては,緩傾斜部の伏流水が絶えず供給されている 地形に液状化が発生したために側方流動,陥没・沈 下等の地盤変状により路面の亀裂や建物基礎部にズ レが発生し全体的な基礎被害を生じたと考えられる。

宅地地盤の性能は、いわゆる品確法ができ液状化 層の検証も行われることになっているが、現実的に はスウェーデン式サウンディングの地耐力評価が主 体で地下水の推定に基づく液状化検討が行われてい ない。今後,液状化マップに加えて簡易的な検討を 行う必要がある。

#### b) 基礎部の耐震診断方法の確立と補修・補強対策

道下地区の基礎の被害は,築30年以上の古い木造 住宅の基礎形式が地盤面近くに土台を設置したもの, ブロック基礎,無筋コンクリートなど基礎が外れや すい構造で,建物自体の特に基礎部が白蟻により食 われ強度がなかったためと考えられる。したがって, 基礎の被害が著しいほど上部構造物の被害が半壊, 全壊と多くなり,基礎被害と上部構造物の関係が密 接であることが明らかとなった。

今後,基礎の形状は布基礎,ベタ基礎の場合に応 じて2000年に建設省告示1347号より以下のような最 低仕様が規定されているので,建築確認の際にこの 規定に準拠した設計となっているかを必ず確認する システムが必要である。また,増築部のブロック基 礎が破壊している場合が多いことから,アンカーボ ルトを設置し,上部構造物との一体化を図るなど十 分な注意が必要である。

①一体の鉄筋コンクリート造とする。

- ②地盤の長期許容応力度が70kN/m<sup>2</sup>以上,不同沈 下等のおそれのない地盤は,無筋コンクリート 造とする。
- ③土台の下にあっては,連続した立上り部分を設 ける。

④底盤の幅は、表に定める数値以上とする。

さらに,既存木造建物の耐震基礎部の診断方法の 確立と補修・補強対策の強化が必要である。

謝辞:最後に,現地調査および資料の整理にご協力 していただいた福井工業高等専門学校の吉田雅穂准 教授,日本建築学会北陸支部の皆様に深謝いたしま す。

#### 参考文献

1) 土木学会・地盤工学会:2007 年能登半島地震調査報告 書,2007.10

2)日本建築学会:2007年3月25日能登半島地震災害調査報告書(印刷中)。

3)岡田成幸・高井伸雄:地震被害調査のための建物分類と破壊パターン、日本建築学会構造系論文集、524、65-72、1991

# RELATION BETWEEN DAMAGE TO HOUSES AND RESIDENTIAL LAND IN THE 2007 NOTO-HANTO EARTHQUAKE –CASE STUDY OF TOHGE AREA IN MONZEN TOWN, WAJIMA CITY-

#### Takao HASHIMOTO and Masakatsu MIYAJIMA

The present paper deals with the damage to houses in Monzen Town, especially Tohge area in Wajima City due to the 2007 Noto-Hanto Earthquake in Japan. First, an outline of damage to houses was shown and the causes of the damage were discussed in relation to the damage to residential land and the basement of the houses. Next, geotechnical survey was conducted. Then the relation between the damage to houses and geotechnical features in Tohge section was discussed. As a result, it is clarified that soil liquefaction was one of the causes of damage to houses