

# 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<sup>1</sup>・宮島昌克<sup>2</sup>

<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 ( $M_{JMA}=6.9$ ) 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棟となり、震度6強を記録した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した。その結果、液状化等の宅地地盤の変状が全体的な基礎の被害を生じ、この基礎の被害が上部構造物に影響を及ぼしたことが明らかとなった。

**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  $M_{JMA}=6.9$  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。

本論文では、宅地被害の分析を目的に、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との関係を検証し、地盤特性と建物被害との関係を考察した。

その結果、液状化等の宅地地盤の変状が全体的な基礎の被害を生じ、この基礎の被害が建物に影響を及ぼしたことが明らかとなった。

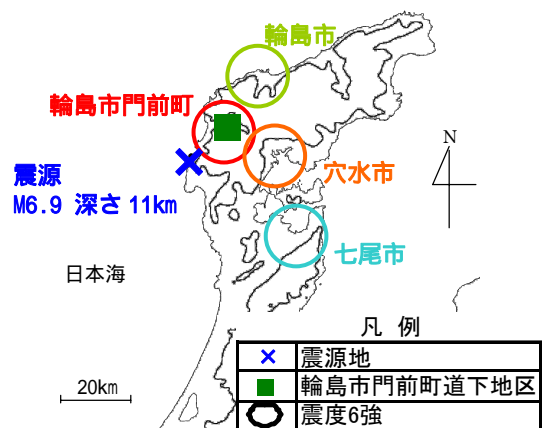


図-1 輪島市門前町道下地区の位置図

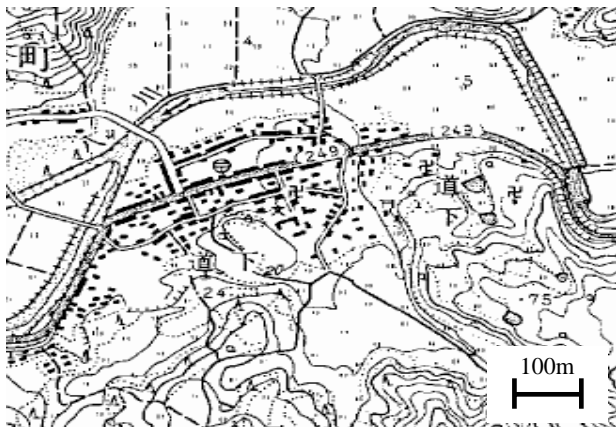


写真-1 輪島市門前町道下地区の木造家屋の倒壊

## 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。



(a) 1967年



(b) 1990年



(c) 2001年

図-2 過去と現在の1/25,000の地形図の比較  
(国土地理院地形図(縮尺1:25,000)「道下」に加筆)



(a) 1967年



(b) 2007年

写真-2 過去と現在の航空写真の比較  
(国土地理院航空写真に加筆)

### (2) 建物被害の概要

日本建築学会では、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年の航空写真に悉皆調査による建物被害を重ねたもので、道路および建物住宅がほとんど変化していないことがわかる。建物被害は、岡田・高井モデルから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年以内の建物被害は非常に少なく、築年数10年～30年の建物被害も少ないが、築年数30年以上の建物の被害程度が大きくなっている傾向がわかる。



Damage Grade Index									
無被害	D0	無被害				無被害			
	D1	壁面の亀裂及び外装材の若干の剥落。				壁面の亀裂及び外装材の若干の剥落。			
	D2	屋根瓦・壁面のモルタル等の大規模な剥落。				屋根瓦・壁面のモルタル等の大規模な剥落。			
一部破損	D3	2階破壊型 2階の柱・梁の一部が構造的に破壊されているが、内部空間を欠損するような被害は生じていない。	1階破壊型 1階の柱・梁の一部が構造的に破壊されているが、内部空間を欠損するような被害は生じていない。	全体破壊型 1・2階の柱・梁の一部が構造的に破壊されているが、内部空間を欠損するような被害は生じていない。	屋根破壊型 屋根瓦が大部分剥落する（特に内部に）。	屋根破壊型 屋根瓦が大部分剥落する（特に内部に）。	柱・梁の一部が構造的に破壊されているが、内部空間を欠損するような被害は生じていない。	柱・梁の一部が構造的に破壊されているが、内部空間を欠損するような被害は生じていない。	
	D4	2階の柱・梁の破壊により、内部空間が欠損する。	1階の柱・梁の破壊により、内部空間が欠損する。	1・2階の柱・梁の破壊により、内部空間が欠損する。			柱・梁の破壊により、内部空間が欠損する。		
	D5	2階が破壊される。もしくは2階が崩落する。	1階部分にも破壊がかなり及んでいる。	1階の屋根もしくは軒に相当する部分が接地している。もしくは接地しそうである。	2階部分にも破壊がかなり及んでいる。			構造被害：居住空間が著しく損なわれる。状態は1階の屋根が接地している。もしくはしそうである。	
半壊	D3	Ud3	Gd3	Ed3	Rd3	Rd3	Sd3	Sd3	
	D4	Ud4	Gd4	Ed4			Sd4	Sd4	
全壊	D5	Ud5-	Ud5+	Gd5-	Gd5+			Sd5	
	D6			Cd6-	Cd6+				

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)

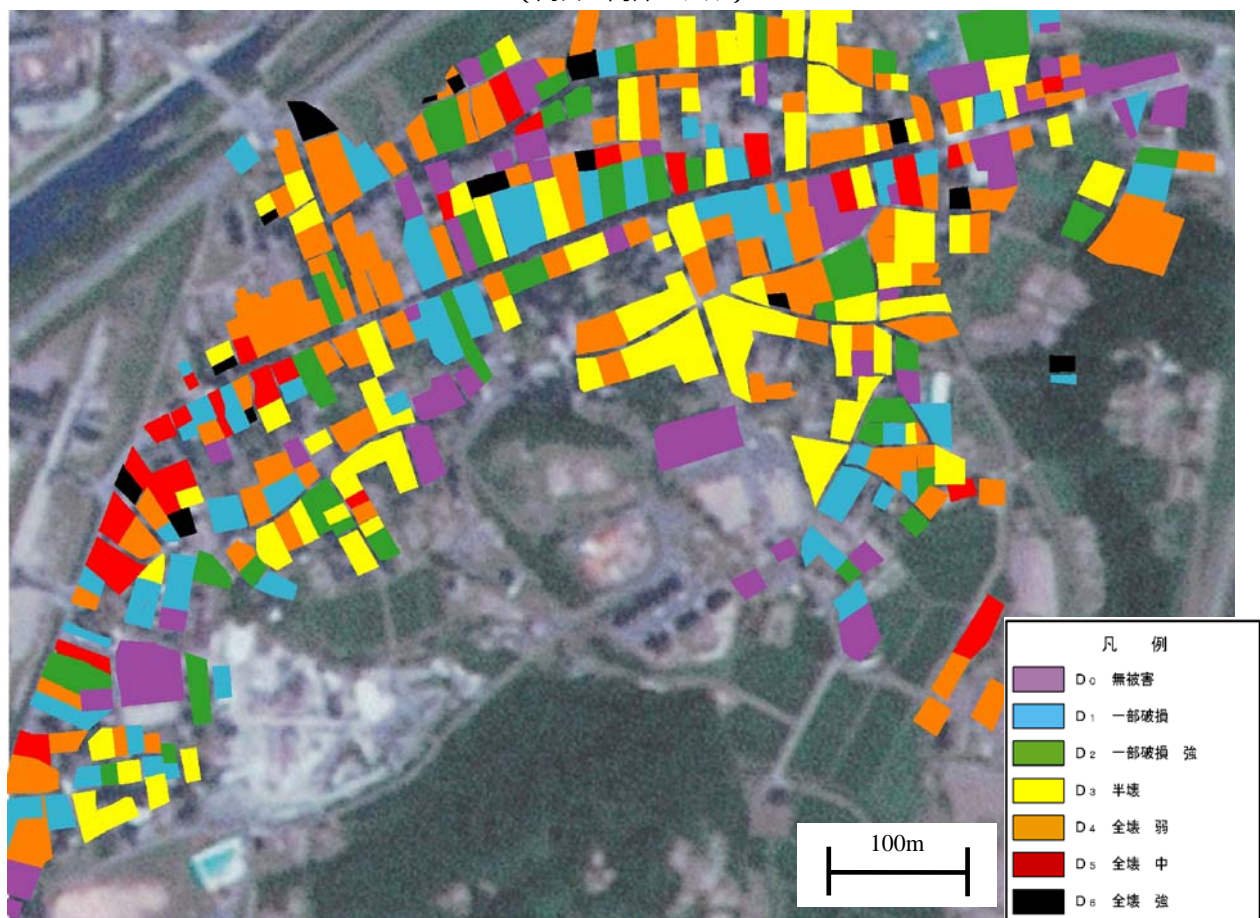


図-4 2007年の航空写真と悉皆調査による建物被害

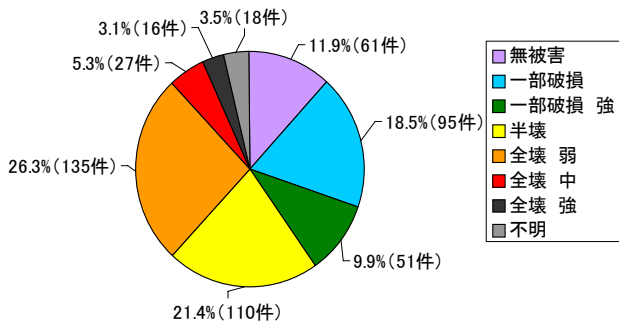


図-5 建物被害の分類

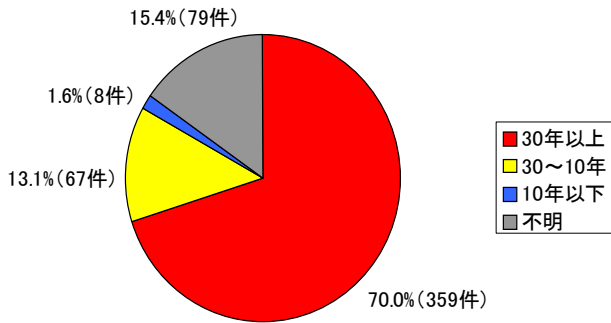


図-6 建築年数の分析

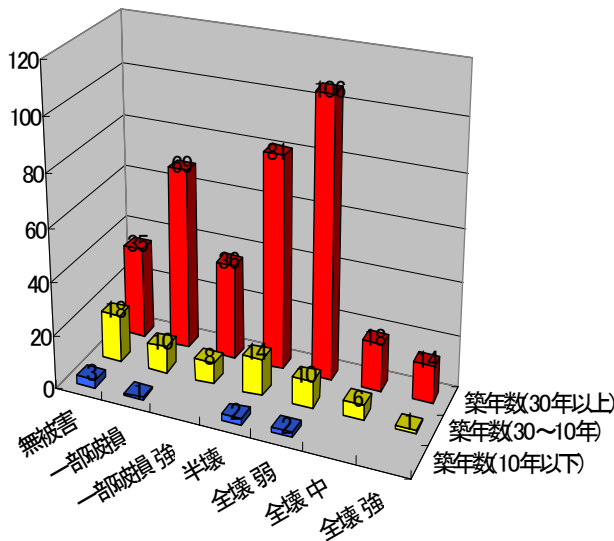


図-7 建物被害と築年数の関係

### 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、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箇所を実施した。図-11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。

なお、ボーリング調査、スウェーデン式サウンディング試験、地下水井戸調査等については、土地所有者の了解を得て、自主研究で行ったものである。

#### (2) 宅地地盤結果と建物被害の関係

図-11の断面図の両端部にあたる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-12は、道下地区では強震観測が行われていなかったため、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 $F_L$ 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。

写真-3は、Bv-1地点の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、Bv-1地点の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水位は、Bv-1地点の写真-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Bv-1地点の写真-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、地下水水位が非常に高いことが明らかとなった。写真-7は、液状化による噴砂があったBv-2地点付近の建物倒壊の状況である。この隣接の建物の地下室は液状化で隆起し、深井戸からは砂が上部まで噴砂している様子がみられた。

図-13は、図-4の建物被害の悉皆調査結果に図-10地下水水位等深線図を重ねて示したものである。この図から、Bv-1, Bv-2地点付近の地下水水位が1mよりも浅い地点で全壊家屋が集中しており、図-11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。



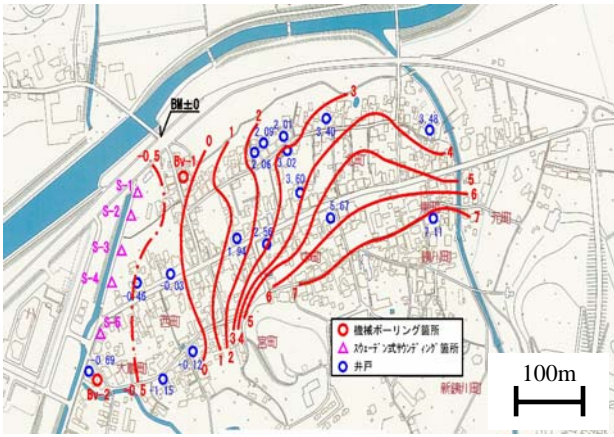


図-8 地盤高等高線

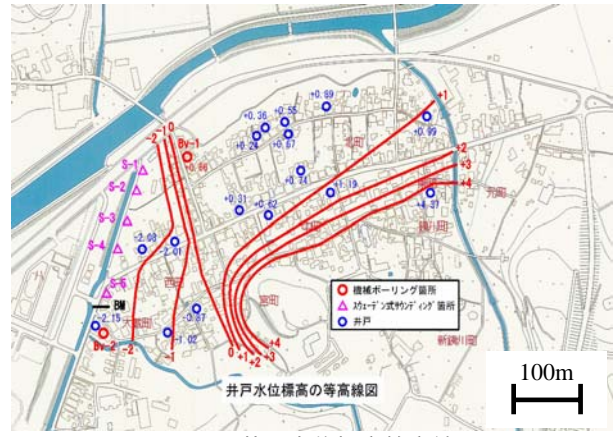


図-9 井戸水位標高等高線

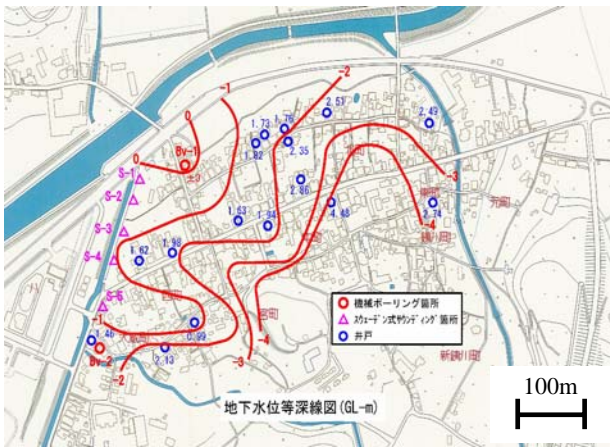


図-10 地下水位等深線

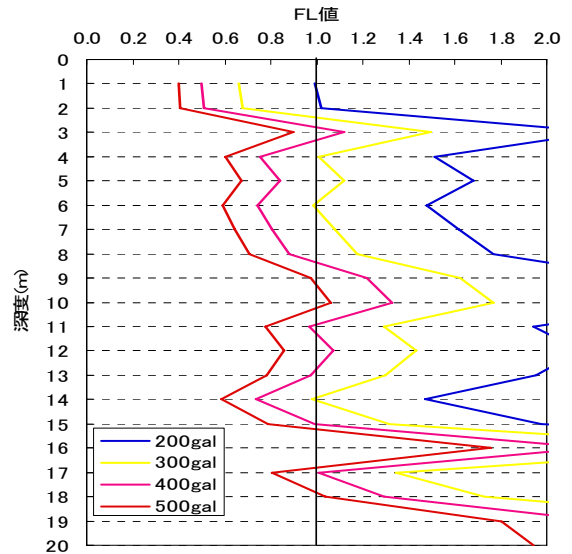


図-12 Bv-1における液状化安全率 $F_L$ 値

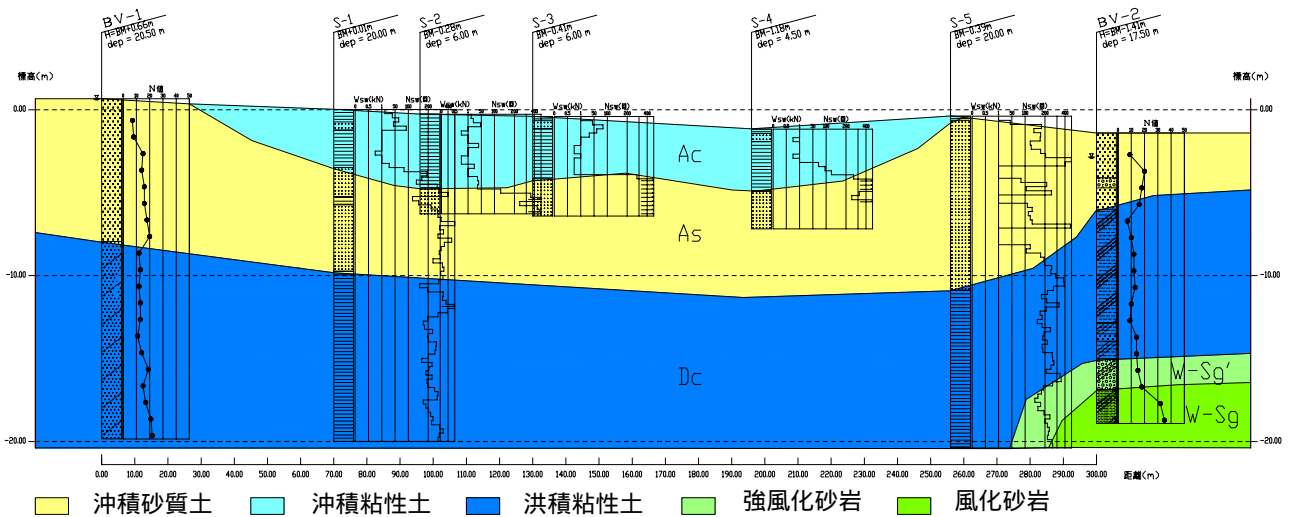


図-11 推定地質断面図

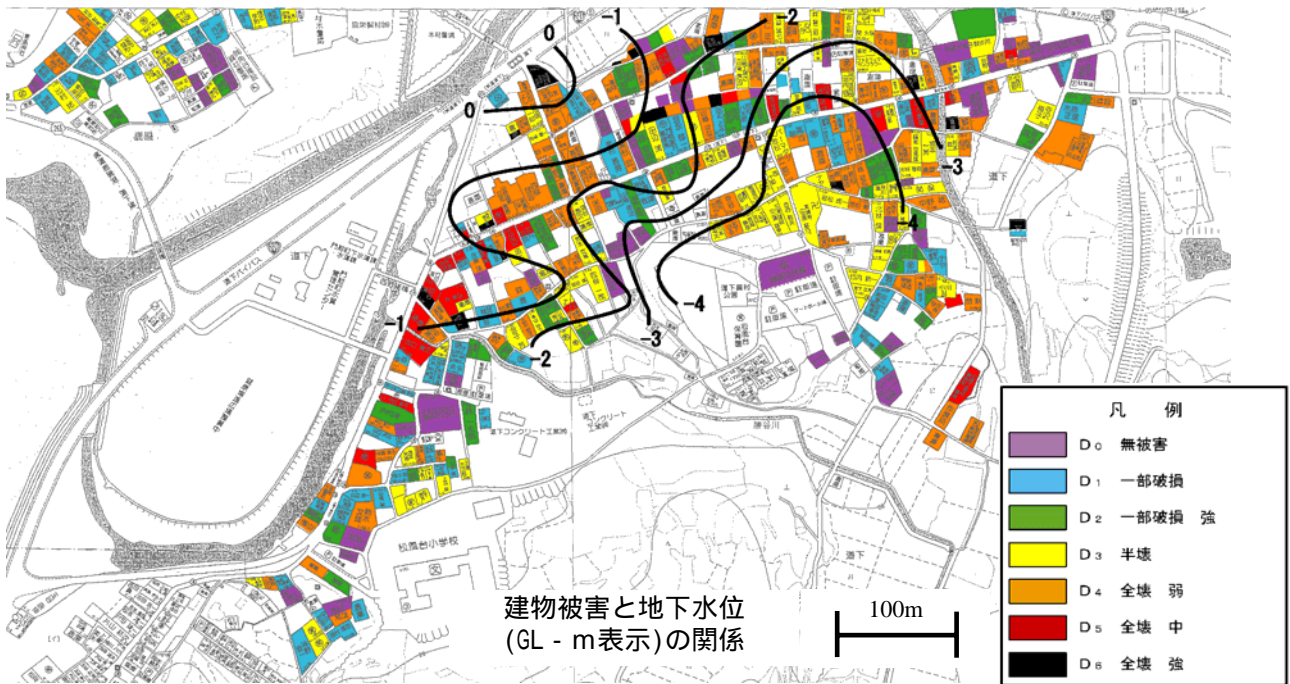


図-13 地下水位分布と建物被害



写真-3 液状化による合併浄化層の隆起 (Bv-1付近)



写真-6 液状化による宅地地盤の隆起 (Bv-1付近)



写真-4 建物床部分の隆起 (Bv-1付近)



写真-7 液状化による噴砂現象が生じた建物の倒壊 (Bv-2 地点付近)



写真-5 井戸の地下水位状況 (Bv-1付近)

#### 4. 宅地地盤被害と基礎被害の関係

##### (1) 宅地地盤被害

図-14は、1967年の航空写真に悉皆調査での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-15(a)に示す調査家屋の全体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-15(b)に示すクラック59.5% (94件)、沈下25.3% (40件)、液状化噴砂5.7% (9



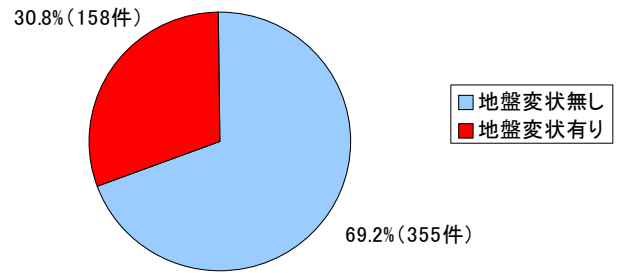
件), 側方流動4.4% (7件), 隆起2.5% (4件), 擁壁崩壊1.3% (2件), 擁壁ずれ1.3% (2件)で, クラック, 沈下が多い. なお, 悉皆調査は目視による判断でクラック, 沈下, 液状化噴砂と認められる痕跡があればその量にかかわらず有りとし, 定量的な測定を行ったものではない.

図-16は, 建物被害と宅地地盤変状の有無の関係のグラフである. 建物被害の件数は地盤変状無しの方に多いが, 建物被害程度は地盤変状有りの方に多いことがわかる.

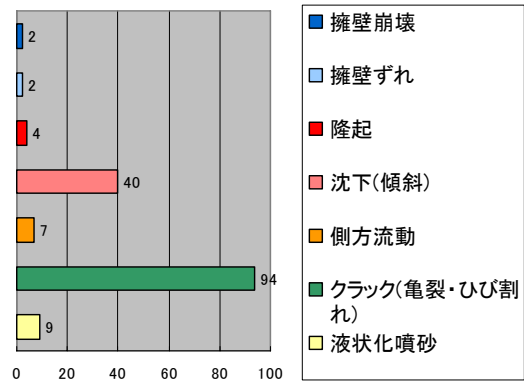
図-17は, 建物被害と宅地地盤変状の関係のグラフである. この図から, 地盤のクラックは建物の被害程度にバラツキが多く, 地盤の沈下は, 半壊, 全壊弱の建物被害が多く, 側方流動, 隆起, 液状化の場合は, バラツキはあるが建物被害程度が大きい傾向にある. また, 擁壁の変状は, ずれの場合よりも崩壊の方が建物被害に直結している傾向があることがわかった.

図-18は, 宅地地盤変状と基礎被害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, 基礎の部分的被害, 著しい被害が多く, 擁壁のずれ, 隆起は, 基礎の部分的被害, 著しい被害にしか生じていない傾向にあることがわかった.

側方流動, 陥没・沈下等の地盤変状により路面の亀裂が生じた地域は, 図-8の地盤等高線から比高差がある緩傾斜の地形の下流にあたり, 図-10の地下水等高深線から地表付近に地下水があり井戸水として利用しており, 図-11の推定地質断面図の沖積砂質土の地表付近に地下水位があり, 下流部の小川からは湧き水となって流れ出る伏流水となっている. 地盤が基礎被害に影響を及ぼした原因の1つとしては, この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.



(a) 地盤被害の有無



(b) 地盤変状項目

図-15 地盤変状の分析

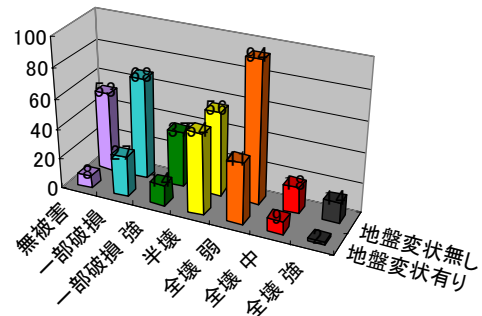


図-16 建物被害と地盤変状の有無の関係

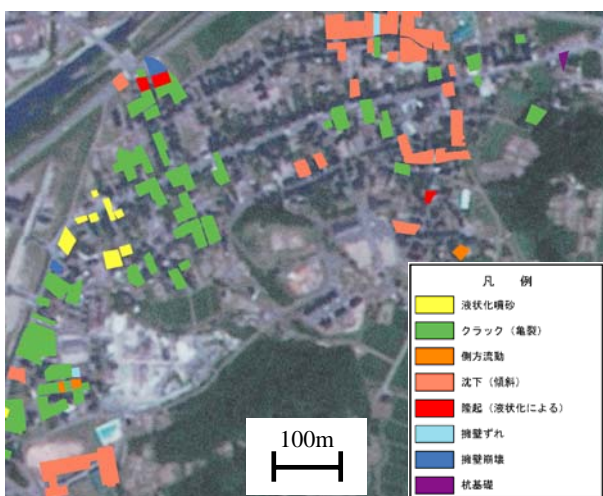


図-14 2007年の航空写真と地盤変状

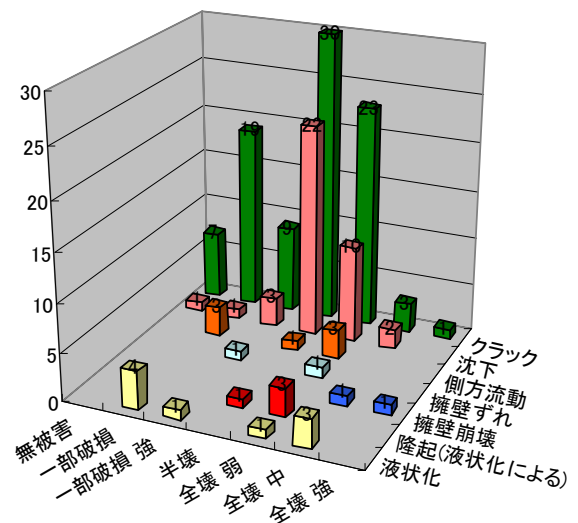


図-17 建物被害と地盤変状の関係

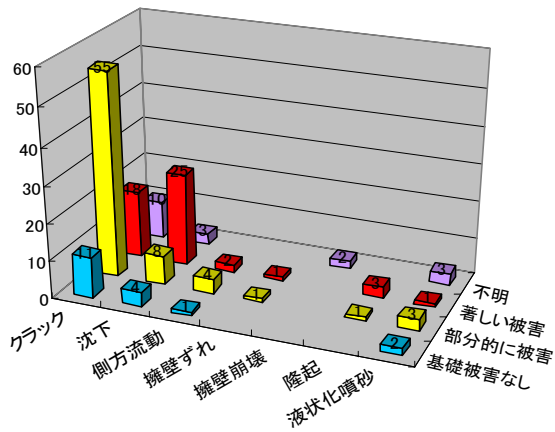


図-18 宅地地盤被害と基礎被害の関係

## (2) 全体被害の分析

図-19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ある。宅地地盤の地盤変状箇所（赤枠）には、図-16, 17に示すように建物被害程度の全壊の箇所が多い傾向にあることが分かる。また、図-17に示すように建築年代が新しい（数字2, 3が記入されている）ほど、建物被害の全壊の箇所が少ない傾向にあることが分かる。ここで、数字の記載がないものは築年数30年以上を示している。

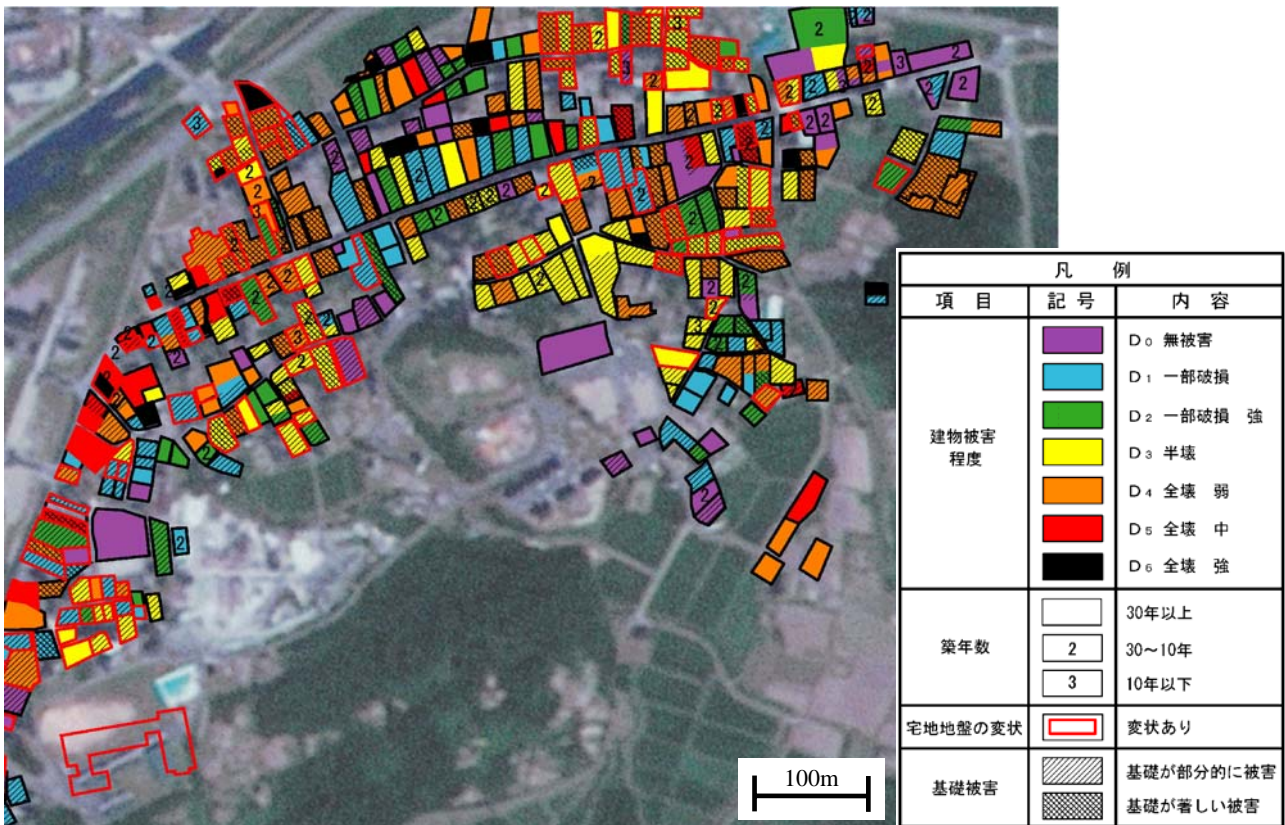


図-19 建物被害程度と築年数、宅地地盤変状、基礎の被害

## 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-20 に示すようにその基礎形式が不明を除いて著しいが 18.5%，一部のが 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-21 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程度は小さい傾向にあり、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-8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-9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、被害の原因は上部構造の変形・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-10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。縦クラックが写真-11に示すように、建物基礎に玉石・排水溝・自然石がある部分に発生していた。このことから建物基礎は、均一のコンクリートでないときクラックが生じることがわかる。

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で、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。

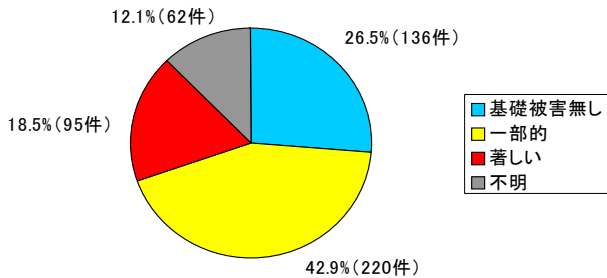


図-20 基礎被害の分析

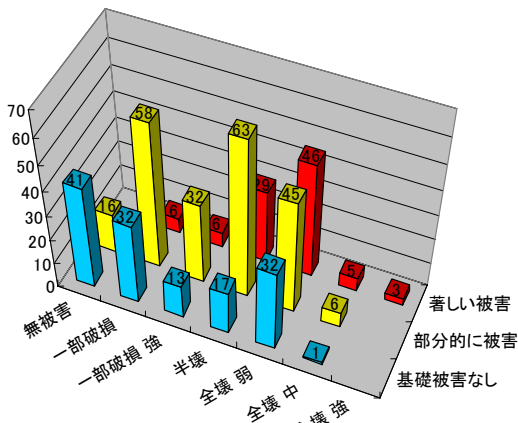


図-21 上部構造物と基礎被害の関係



写真-8 建物基礎部コンクリートの破壊



写真-9 コンクリートブロック基礎の崩壊



基礎の部分の木材が腐っている  
写真-10 建物基礎の崩壊



写真-11 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対策を得ることができた。

#### (1) 本研究からの教訓

##### a) 地盤変状による建物への影響

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。

##### b) 基礎被害による建物への影響

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で、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。

#### (2) 今後の対策

##### a) 宅地地盤の液状化検証の徹底

宅地地盤の性能は、「住宅の品質確保の促進等に関する法律（平成 11 年法律第 81 号）<sup>4)</sup>」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など宅地地盤の液状化検証の徹底を

行う必要がある。

##### b) 基礎部の耐震診断方法の確立と補修・補強対策の強化

今後、基礎の形状が布基礎、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。

一体の鉄筋コンクリート造とする。

地盤の長期許容応力度が $70\text{kN/m}^2$ 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。

土台の下にあっては、連続した立上り部分を設ける。

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は深謝いたします。

#### 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.
- 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，2009.
- 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，No.524, 65-72, 1991.
- 4) 住宅の品質確保の促進等に関する法律：<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/torikumi/hinkaku/hinkaku.htm>

(原稿受理2009年6月28日)

## 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