

2007年能登半島地震における被害調査と 木造家屋を対象とした耐震計算法の検討

Investigation of Structure damage and evaluation of seismic design code for wooden house in the 2007 Noto Hanto Earthquake

大窪 建史¹・後藤 正美²・池本 敏和³・鈴木 祥之⁴

Takehito OKUBO, Masami GOTO and Toshikazu IKEMOTO and Yoshiyuki Suzuki

¹金沢大学大学院 自然科学研究科 (〒920-1192石川県金沢市角間町)

Graduate Student, Kanazawa University

²金沢工業大学教授 金沢工業大学建築学科 (〒924-0838 石川県白山市八東穂3丁目1番地)

Professor, Kanazawa Institute of Technology

³金沢大学講師 金沢大学理工学研究域 (〒920-1192石川県金沢市角間町)

Associate Professor, Kanazawa University

⁴立命館大学教授 グローバル・イノベーション研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Ritsumeikan-Global Innovation Research Organization

This study performed a damage survey and evaluation of two kinds of seismic design code of wooden house. The damage and cause were clarified by the damage investigation in the region in the 2007 Noto Hanto Earthquake. The Touge district had large damage from the result of the survey, and the northern area Kurosima district also concentrated large damage. For 20 wooden houses the seismic performance was evaluated by wall-length ratio and response-limit capacity analysis. It compared the damage level of wooden house with damage, the shear story drift, modulus of ratio and rate of wall quantity. We examined the validity of each seismic code. Both rate of wall quantity and the modulus of eccentricity did not clear correlation with the damage level. The correlation with the damage level was shown the numerical result to the safety side in shear story drift angle.

Keywords : *The 2007 Noto Hanto earthquake, Damage investigation, Wooden house, Seismic performance*

1. はじめに

2007年能登半島地震に限らず、2004年新潟県中越地震や1995年兵庫県南部地震など数多くの地震が発生し、その度に多くの建物被害が生まれている。特に木造家屋の被害は顕著であり、兵庫県南部地震では多くの木造家屋の被害が報告された¹⁾。木造建物の耐震性能評価を行うことが、地震の被害低減につながり今後の地震対策を考えるうえで必要なことだと考える。また、既往の研究により、被災した能登地域の木造家屋の構造の特徴、振動特性は概ね示されている²⁾が計算結果の妥当性の検討はなされていない。

そこで本研究では、2007年能登半島地震で被災した地区の被害の実態及び、地盤の影響による被害の原因を明らかにすること。また、現在使われている構造計算である限界耐力計算による手法³⁾と、安全性を確認する簡易計算である壁量計算による手法の妥当性の検討を目的とする。本研究の流れを示したものを図1に示す。本研究ではフローチャートに示したように、大きく2つに分けて研究を進めた。第3章に調査概要、第4章に被害の実態と原因、第5章に耐震性能評価とその妥当性の検討について示す。

2. 地震概要

本震は、2007年3月25日9時42分に発生し、震源深さは約11 km、マグニチュード6.9という地震であった。震度6強で穴水町、輪島市、七尾市、震度5強は珠洲市、震度5弱は富山市、滑川市、氷見市においてそれぞれの震度が観測された。地震による死者は1名であった。

3. 調査概要

被害の大きかった能登半島北部は、能登山地と能登丘陵で、新第三系の火山岩や堆積岩が広く分布している。その中を流れる河川に沿って、沖積堆積物が分布している地質である。第1回、2回調査地域を図2に示す。第1回調査（2007年3月28日から計7日間実施）の目的は、調査地区の建物被害の実態を把握することである。対象地区は門前町鹿磯地区（50棟）、黒島地区（367棟）、道下地区（474棟）、走出地区（408棟）、広瀬地区（58棟）、総持寺地区（9棟）、穴水町地区（649棟）の7地区である。調査項目は構造体の被害のみではなく、建物の使用用途や建築年、地盤被害、増築情報なども調査を行なった。各地区名の後の括弧内の数値は、各地区内で調査を行った棟数を示している。

第2回調査（2007年11月8日実施）の目的は、調査地区の半年後の復興状況の把握である。対象の地域は特に被害の大きかった門前町道下地区、黒島地区である。調査の方法は第1回、2回共に外観目視による全数調査で、調査シートに基づき徒歩で行なった。



図2 第1回、2回調査対象地区

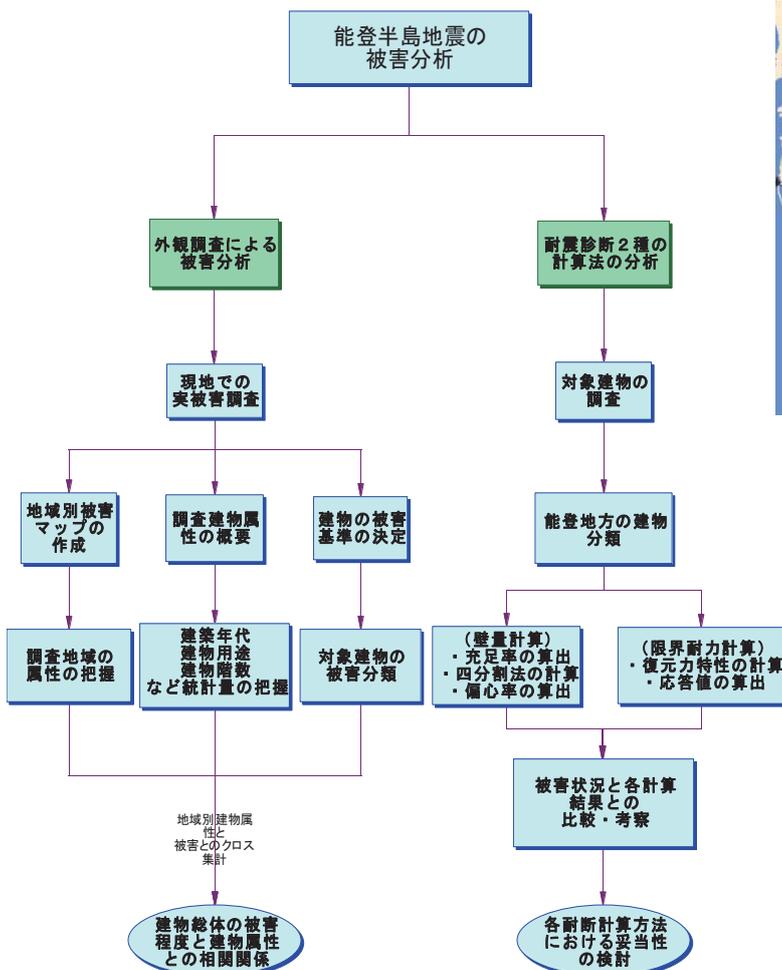


図1 研究の流れ

4. 地震被害概要

建物の判断基準は「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」⁴⁾をもとに「倒壊」「被害大」「被害中」「被害小」「軽微」「無被害」の6段階で、被害程度を分けて判断した。調査結果を基に被害別に色分けした地区別の地図を作成した。その一例として黒島、道下地区を図3、4に示す。

黒島地区は、2009年に重要伝統的建造物群保存地区に認定され、江戸時代に北前船の船主や船員の居住地として栄えた地区で、古くからの町並みを残す地区である。古い家屋でも小さな被害が目立ったのも地盤が良好であったためと考えられる。北側に集中した被害は、付近の走出川によって堆積した地盤の箇所であったと考えられる。また黒島地区においては、被害を受けた建物と受けていない地域がはっきりと別れ、黒島地区の北側を中心に大きな被害を受け、南側は無被害の建物が目立っている。道下地区は、本地震において大きな被害を受けた地区の一つである。被害は地区全体で受けており、倒壊した建物も確認できる。地区全体が河川跡の堆積層の上に建つ地区であり、比較的地盤が軟らかく良好な地盤でないことが考えられる。この地盤の違いが2地区の被害に影響したと考えられる。次の地区別による被災率の節によって、地盤情報を交えて被害の考察を行う。

(1) 地区別による被災率

対象7地区の被災率を図5に示す。被災率を見ると、地区で被害中以上の建物の割合が総持寺地区で最も多く、次に門前町道下、走出、広瀬、鹿磯、黒島地区、穴水町地区の順に多かった。穴水町では震度6強を観測したが、半数以上が無被害であった。黒島地区は倒壊建物がある地域の中で最も無被害建物の割合が多い。黒島地区が他の地域に比べ被害が抑えられた要因として、地盤の影響が考えられる。既往の調査によって得られたボーリングデータから考察を行う。ボーリング地点を図3、4に重ねて示す。

黒島地区の2地点で得られたボーリングデータから、ボーリング地点No.1では基盤までの深度が約7m、No.2では、4mと比較的深度が浅く⁵⁾、地点No.3で基盤までの深度が20mと深い⁶⁾。この結果より、黒島地区で南から北に向かって堆積層が厚くなっており、黒島地区の北側で被害が大きくなったといえる。また、参考文献3)より道下地区では、沖積層が約20m前後であることが報告されている。そのため道下地区では、震源から黒島地区に比べ離れているにもかかわらず、地震動が増幅され黒島地区北側と道下地区の被害が大きくなったといえる。

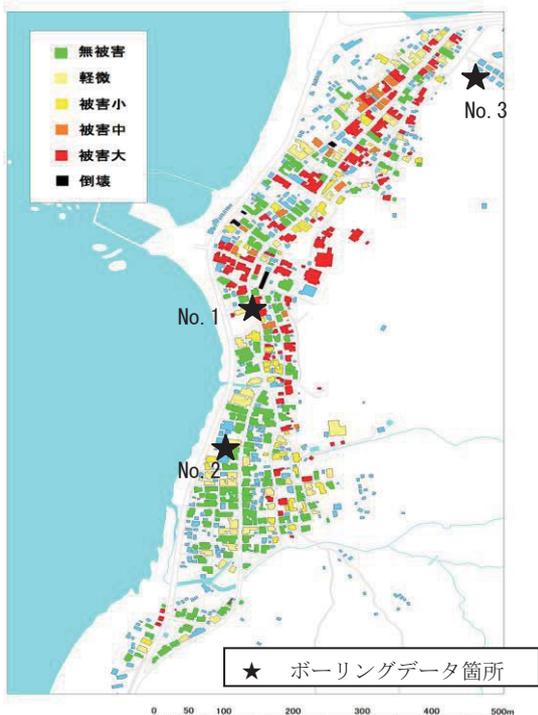


図3 門前町黒島地区の被害図

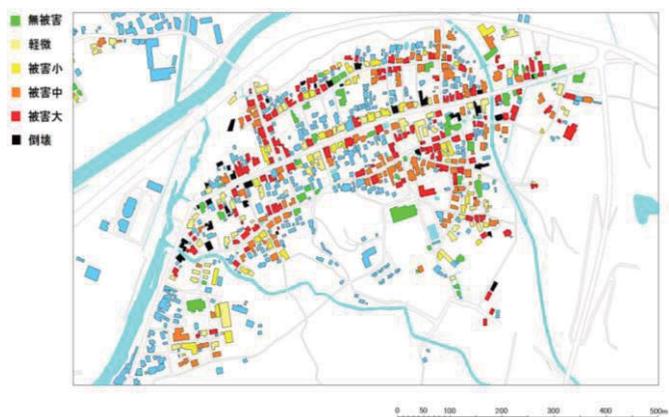


図4 門前町道下地区の被害図

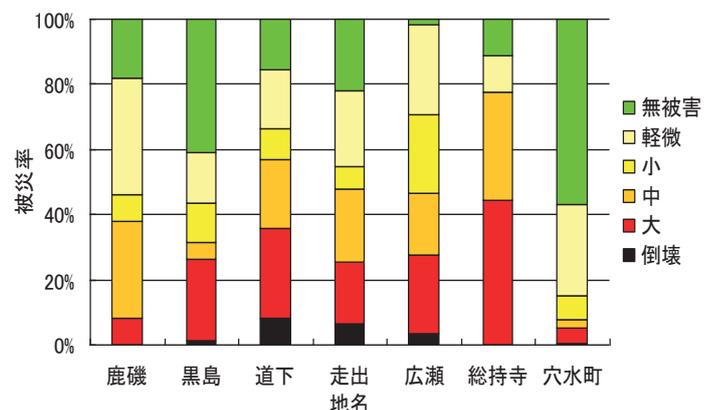


図5 地区別被災率

(2) 半年後の復興状況と被災率

半年後の復興状況と被災率を図6に示す。判断基準は外観目視による、「解体（更地）」「建替え」「修理」「変化なし」の4項目である。2地区を通して、倒壊、被害大等の被害を受けていたが、半年後に「変化なし」の建物があった。その理由として、北陸という雪の多い地域であることから、冬を越してから建替え、修理等の対処を行なうことが考えられる。また、被害直後の被害程度と半年後の状況から、大きな被害を受けた所は修理や建て替えがされており、調査で無被害が多い地域では、変化なしが多いことから、調査シートや調査方法の精度がある程度示されたと判断できる。

(3) 新耐震基準(1981年)施行前後での被災率

新耐震基準前後と被災棟数の関係を図7に示す。新耐震基準は1978年宮城県沖地震を受け、1981年に建築基準法が改正された。新耐震基準では、壁量計算の際に用いる必要壁量の増加や壁倍率の規定が変更された。これによって、構造用合板や石膏ボードを使った面材の追加がされた。新耐震基準の前後で家屋と被害の傾向を見ると、無被害の棟数はほぼ同数であるが、全棟数に対する無被害の家屋の割合は、施行以前が約25%、施行以後が51%と施行以後の家屋の方が被害を受ける建物が少ないことが明らかである。

新耐震基準以前と以後の建物の平面図の一例を図8に示す。施行以前の建物は全面壁・小壁共に少ない。施行以後は土壁、石膏ボードの全面壁が多く、部屋は細かく間仕切壁で仕切られていることが分かる。これは壁量の規定が厳しくなり、新耐震基準によって増加した必要壁量に壁量を対応させるためだと考えられる。

5. 耐震性能評価について

能登地域の建物20棟を対象に壁量計算と限界耐力計算を行った。今回対象とした建物は、伝統木造家屋である。平面的な特徴は、外壁・内壁は土塗り壁で作られており、間仕切り壁はほとんどなく襖で部屋と部屋が区切られている。伝統木造家屋の主な耐震要素は土壁であることから、計算する際に対象地域と近い仕様の復元力特性を用いた。既往の実験によって明らかとなった金沢仕様の土壁の復元力特性⁷⁾を図9に示す。

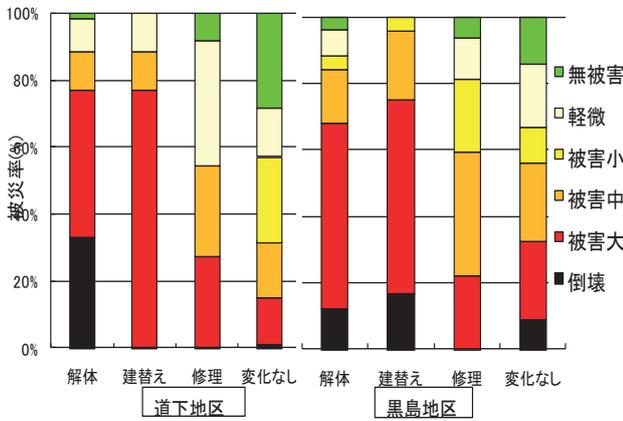


図6 半年後の復興状況

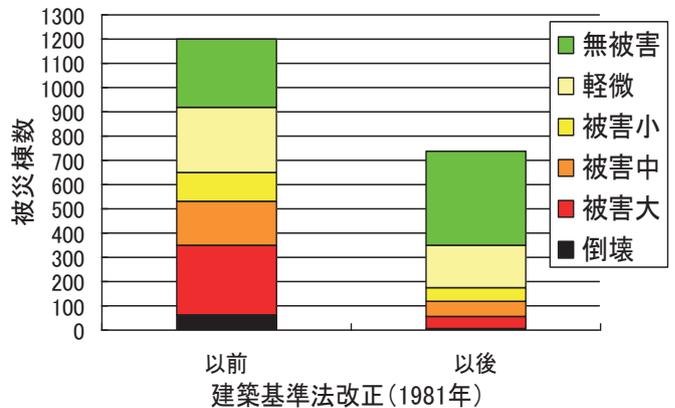


図7 新耐震基準施行前後と被災数

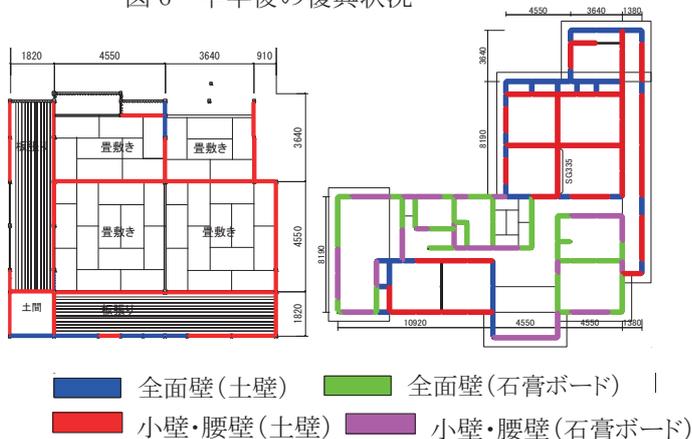


図8 新耐震基準以前(左)・以後(右)の平面図

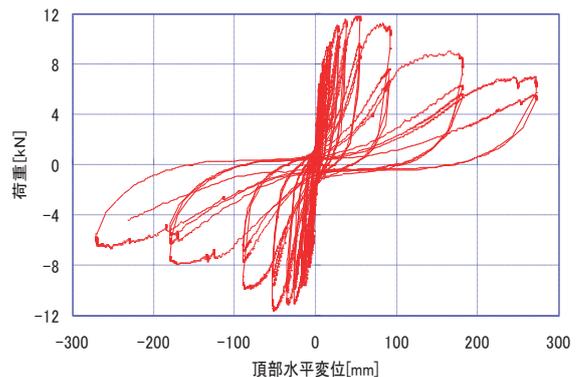


図9 土壁の復元力特性⁷⁾

(1) 壁量計算

対象の木造住宅に対して、充足率、偏心率を算出し、計算結果と実被害の比較を行なった。計算で用いた壁倍率は、図9に示した能登に近い仕様の土壁の復元力特性を用いて、壁倍率評価式により壁倍率を算定した。算定した壁倍率は、1.35となったが後藤の実験による経験的判断⁸⁾により、土壁の経年劣化を考慮して0.8の低減係数を乗じて壁倍率は1.0と算定した。この壁倍率を用いて充足率、偏心率を算出した。被害程度は桁、梁のそれぞれの方向での被害で定めている。

1階部分の梁間方向と桁行方向の充足率と被害程度を図10、図11に示す。1階部分はほとんどの建物において充足率を満たしていないことが分かるが、充足率が低いと大きな被害を受けるとは言えない。充足率が低い建物でも、軽微、被害小などの小さな被害に止まる場合があり、充足率と被害の程度に相関があるとは言えない。

桁行方向と梁間方向の偏心率と被害程度を図12、図13に示す。木造建物の偏心率は建築基準法において0.3以下にすると定まっている。偏心率が0.3を上回るものでも、小さい被害に止まっている建物があった。偏心率が0.3以下の建物でも被害大、被害中などの大きな被害のある建物が多く見られた。したがって、充足率と同様に偏心率においても被害との相関関係は見られなかった。

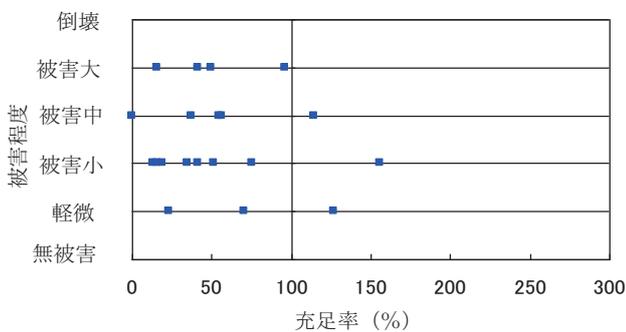


図10 桁行方向の充足率

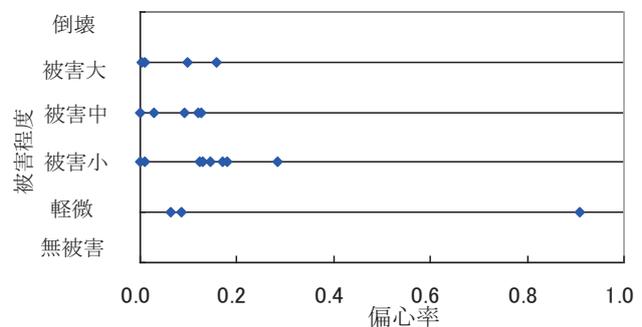


図12 桁行方向の偏心率

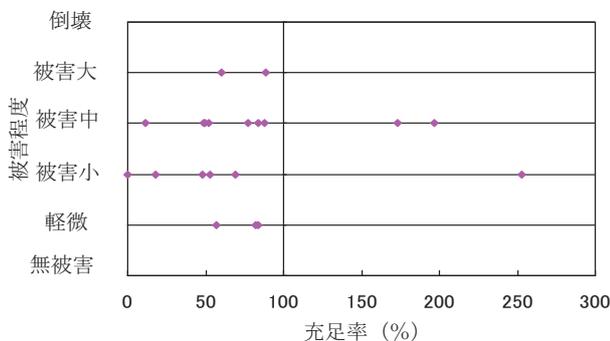


図11 梁間方向の充足率

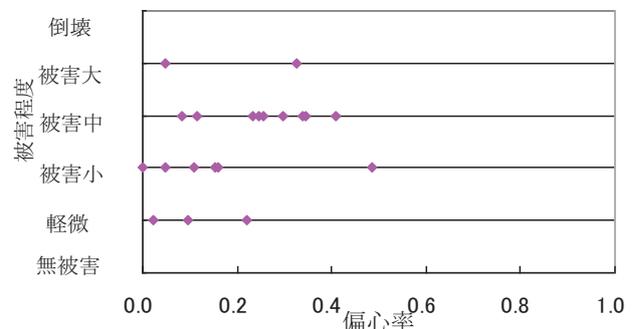


図13 梁間方向の偏心率

(2) 限界耐力計算

限界耐力計算で用いた土壁は、壁量計算で用いたものと同様とした。また、計算の際に入力した地震は、穴水町の家屋では、k-net穴水⁹⁾の強震記録を用い、輪島市では観測データがないため推定地震動を用いた¹⁰⁾。桁行・梁間の各方向において応答値を求め、計算による被害程度を定めた。計算結果の応答値で被害程度の予想を行った。壁量計算と同様に実被害の程度は梁、桁のそれぞれの方向で判断した。判断の基準とした、応答値と被害程度¹¹⁾を図14に示す。実被害の被害程度は桁、梁のそれぞれの方向で調査データ及び内観・外観写真によって定めている。梁間方向と桁行方向の計算結果を図15、図16に示す。図15、図16の連続線は応答値に対する被害基準の線を示す。この線上もしくは線の近くにプロットされた点は、計算が実被害に近いことを示している。また、線の内側に位置している建物は計算結果が安全側に表れていることを示し、外側(左側)にプロットされた点は実被害の方が、計算結果より大きいことを示している。

梁間、桁行方向共に1/15rad以上の応答値であっても倒壊した建物はなく、被害中以下の被害程度となっている。この要因の一つとして、伝統木造家屋の特徴の一つである、軸組部の変形能力によって減衰が働き被害を抑えたと考えられる。建物評価の際、地震動そのものよりは地震動の減衰・建物の減衰に結果が影響されているといえる。様々な接合部・部材の減衰を評価し建物に反映することが課題であり、その結果適正

な計算結果になると思われる。桁、梁両方向とも安全側に計算結果が出る傾向にあったが、梁間方向に比べ桁行方向は、多くの建物の計算結果が安全側を示した。計算結果が被害より安全側に表れていることは、建物を安全に評価していることを示している。また多くの家屋が被害程度と近似しており、本計算は対象家屋に対して妥当性のある評価が行えたと言える。しかし、穴水地区の家屋については、応答値と実被害での相関関係を見る事が出来なかった。実際の被害においても、穴水は一部の地区に被害が集中しており、観測地震動の加速度は一部の地区に限られると考えられる。そのため、建物付近の地盤の影響を明らかとして適切な減衰を地震動に与えて使用した場合に、相関が表れる可能性がある。

6. 結論

2007年能登半島地震における被害調査と計算法の検討を行った。その結果、被害の実態と被害要因を明らかとした。また計算方法の検討では、対象建物は旧耐震基準で建てられた柱、梁の軸組みによって建物を支えている伝統木造構法が多く、壁量計算では家屋を適正に評価することができないといえる。一方、軸組みや土壁の変形能力を考慮した限界耐力計算を用いることで伝統木造家屋を概ね評価できる。しかしながら、2種の計算には共通した土壁を用いたものの、壁量計算に用いた壁倍率は壁倍率評価式による算定や低減率など、壁倍率の算定に不確定な部分もあった。今後は壁量計算において、経年劣化による土壁の耐力低下等を実評価し計算に反映させる必要がある。

謝辞：強震記録は、防災科学技術研究所から提供いただきました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) 稲山正弘：兵庫県南部地震における木造建物の被害調査報告，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），pp. 3-4, 1995.
- 2) 清水秀丸，新井 洋，新井雄史，山田真澄，林 康裕：2007年能登半島地震における被災木造建物の耐震性能と地域特性の評価，日本建築学会構造系論文集，vol. 73, No. 631, pp. 1503-1510, 2008.
- 3), 11) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会：伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル 限界耐力計算による耐震設計・耐震補強設計法，学芸出版社，2004.
- 4) 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報告集，第524号，pp. 65-72, 1999.
- 5) 門前町：污水管渠実施設計に伴う土質調査業務委託報告書，1994.
- 6) 門前町：平成4年度門前町特定環境保全公共下水道事業門前町浄化センター土質調査業務委託報告書，1994.
- 7) 河原大：金沢市における伝統木造建物の耐震性能評価に関する研究，日本建築学会北陸支部研究報告集，第51号，pp. 133-136, 2008.
- 8) 山田真澄，鈴木祥之，後藤正美，清水秀丸：単位木造フレームを用いた動的・静的実験による木造軸組の耐震性能評価，日本建築学会構造系論文集，第582号，pp. 95-102, 2004.
- 9) 防災科学技術研究所：強震ネットワークk-netホームページ，〈<http://www.kyoshin.bosai.go.jp>〉，2008.
- 10) 村田晶，小野寺大，宮島昌克，池本敏和：2007年能登半島地震における地震動推定と建物被害との関係，土木学会地震工学論文集，第30号，2009.

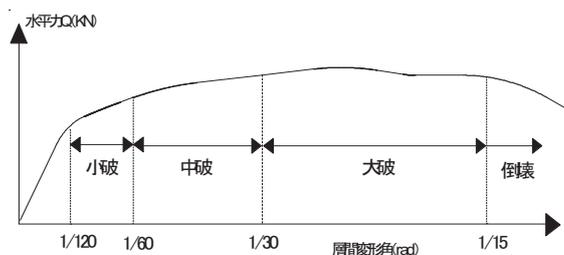


図14 応答値と被害³⁾

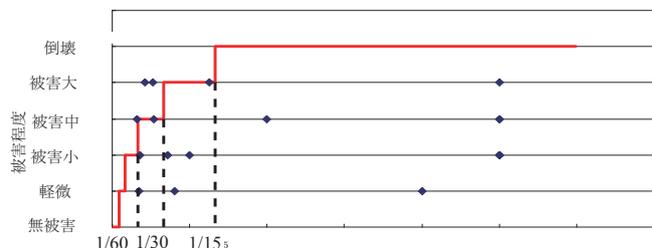


図15 桁行方向の応答値

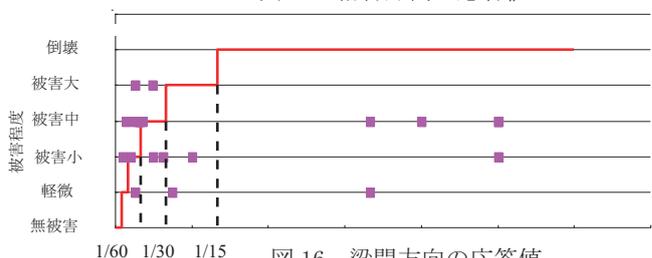


図16 梁間方向の応答値