

液状化を誘因とする木造戸建住宅の被害に関する調査手法の開発 —鳥取県西部地震における被害形態と補修費用—

Damage Assessment System for Detached Wooden Houses Affected by Liquefaction
- Damage Patterns and Repair Cost in the Case of Tottori-ken Seibu Earthquake-

堀江 啓¹, 牧 紀男¹, 重川 希志依², 田中 聡³, 林 春男^{1,3}

Kei HORIE¹, Norio MAKI¹, Kishie SHIGEKAWA²
Satoshi TANAKA³ and Haruo HAYASHI^{1,3}

¹防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター

Earthquake Disaster Mitigation Research Center, NIED

²富士常葉大学環境防災学部

College of Environment and Disaster Research, Fuji Tokoha University

³京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

This paper summarizes the process of building damage assessments, which were conducted in the Tottori-ken Seibu earthquake, and identifies the problems encountered in performing building damage assessments through interviews with disaster responders of the local government. The relationship between damage patterns and repair cost is determined from the analysis of cases of Abe-hikona District, Yonago, where was broad damage of detached houses by liquefaction. Finally, effective damage assessment system for detached wooden houses affected by liquefaction is proposed and it should provide information on housing damages in a much more timely fashion.

Key Words : Building Damage Assessment, Damage Pattern, Repair Cost, Detached Wooden House, Liquefaction, The Tottori-ken Seibu Earthquake

1. はじめに

著者ら^{1)~3)}は地震発生後に行政により実施される建物被害調査に関して、これまで阪神・淡路大震災の事例を分析し、効率的な調査の実施および被災者の納得が得られる調査システムの開発を目指して研究を行っている。阪神・淡路大震災で被災した住民がすまいに関してどのような情報を欲していたかについて、被災者へのアンケート調査結果⁴⁾によると、まず、地震後1週間まではすまいの安全性に関する情報を必要としており、1ヶ月までに被災者はすまいをどうするか、すなわち解体か補修かの判断をしていることが明らかになった。解体、補修の判断は、どのような支援が受けられるのか、技術的に補修可能なのか、費用はいくらかかるのかに関する情報から総合的に決定されるものである。このように、すまいの再建過程の中で、被災者は主として4つの情報を必要とする。1) すまいの安全性に関する情報、2) すまいの被害程度と被害程度に応じた支援内容に関する情報、3) 補修の可否の判断および補修方法に関する技術的な情報、4) 解体費用・補修費用に関する情報である。

これらの被災者の情報ニーズに対して提供されるサービスは表1のようにまとめられ、建物被害調査が重要な役割を担っている。1) すまいの安全性に関する情報は、

余震などによる2次災害を防止し命を守るために実施される「応急危険度判定」により提供される。2) 被害程度については、すまいの被害程度を公的に証明した罹災証明書などの発行根拠となる「被害認定調査」が実施される。この2調査は、阪神・淡路大震災では行政により行われたが、災害対応担当者はその実施にあたり多くの困難に遭遇した¹⁾。3) 技術的な情報は「応急危険度判定」や「被害認定調査」の結果を基に行政の対応として相談窓口が設置された場合もあったが、膨大な建物被害が発生した阪神・淡路大震災では、行政のみで対応できるものではなく、実際には顧客サービスの形として、建設業者や住宅メーカーなどの民間企業が建物を調査し情報提供を行っている。民間企業では、解体・補修の判断に被災度区分判定⁵⁾や独自の調査方法を適用した。4) 解体費用・補修費用に関しても民間企業が、解体・補修が必要な建物について、実施計画を策定し費用を算定するために詳細

表1 被災者の情報ニーズと建物被害調査の関係

被災者の情報ニーズ	情報源となる建物被害調査	実施主体	理想実施時期
安全性に関する情報	応急危険度判定	行政	1週間まで
被害程度、支援内容に関する情報	被害認定調査	行政	1ヶ月まで
補修の可否に関する技術的な情報	相談窓口、被災度区分判定、独自の調査	行政、民間	
解体、補修に必要な費用に関する情報	補修計画策定のための詳細調査	民間	

な調査を実施している。

ここで、行政により実施される「被害認定調査」の調査基準である統一認定基準⁶⁾は、4章で指摘するように、すまいが補修可能であるかどうかに主眼を置き、損壊家屋の経済的な損失の見地から評価を行うものである。しかしながら、必ずしも補修可否の判断や補修技術、費用に対する情報ニーズには十分に対応していない。

本研究では、行政による建物被害調査の効率的かつ公正な実施を目的として、まず鳥取県西部地震で実施された「応急危険度判定」と「被害認定調査」の実施過程および問題点をヒアリング調査より明らかにする。次に調査基準、方法が確立していなかったため、ヒアリング調査の中で大きな問題の一つとして取り上げられた液状化を誘因とする木造戸建住宅の被害について、①「応急危険度判定」、「被害認定調査」および民間企業による「住宅復旧のための調査」の各評価手法を比較、検討し、②罹災証明書などの発行根拠となる「被害認定調査」の認定基準とされている経済的被害について、認定手法の妥当性を被害形態と補修費用に着目して検証する。以上の検討結果およびこれまでの阪神・淡路大震災を事例とした研究成果^{1)~3)}から、被災者の情報ニーズを考慮し、液状化による住宅被害を複数の調査目的に応じて一元的かつ一貫して評価するための調査プロセスの提案を行う。

2. 鳥取県西部地震における応急危険度判定と建物被害認定調査

(1)自治体へのヒアリング調査

2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震において、行政により実施された「応急危険度判定」および「被害認定調査」の実施過程および問題点を把握するため、被害調査を実施した自治体に対しヒアリング調査を行った。ヒアリングは調査に従事した代表担当者1名に何う形式とし、「応急危険度判定」は2001年2月9日に鳥取県に対し、「被害認定調査」は2001年2月8日に米子市に対して行った。ヒアリングの項目は、共通項目として、全体の流れ、実施体制、調査対象、基準、方法、調査票の内容、結果の集計方法、集計単位、使用地図の種類、住民への対応とし、さらに「被害認定調査」については、罹災証明書の発行時期、発行部局、発行方法、罹災証明書の利用形態、再調査の受付期間、件数、判定が難しい建物の有無、液状化被害の調査方法、液状化被害の補修方法、補修費用、応急危険度判定との関係である。

(2)実施過程

a) 応急危険度判定

鳥取県で実施された「応急危険度判定」の全体的な流れを図1に示す。「応急危険度判定」は鳥取県土木部建築課が中心となり、10月7日から20日にかけて鳥取県西部地域の2市12町に対し、延べ300人以上のボランティア

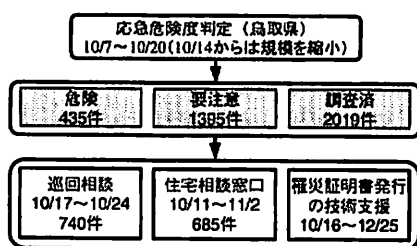


図1 応急危険度判定の流れ（鳥取県）

判定士により判定が行われた。ボランティア判定士は鳥取県建築士会に派遣を要請し確保した。現在、鳥取県の登録判定士数は948人で、基本的には県内の判定士のみで実施したが、県外からも数人ボランティアとして参加があった。判定は応急危険度判定マニュアル⁷⁾に従い、判定の必要がありそうな危険な建物および希望があった場合に行われ、調査件数3849件に対し、「危険」が435件、「要注意」が1395件、「調査済」が2019件の結果となった。実施の中で、「危険」や「要注意」と判定された住民に過大な心配や誤解を与えているとの指摘があり、判定の趣旨説明や今後の対策方法について、鳥取県建築士事務所協会により個別の巡回相談が実施されている。また、住民からの住宅の修繕方法などの相談に対応するため、住宅相談窓口を各市町村役場に設け、685件の相談を受けている。被害認定調査との関係について、市町村には建築関係技術者が少ないため、技術支援として延べ219人の鳥取県建築士事務所協会を派遣しアドバイスを行っている。

b) 被害認定調査

米子市で実施された「被害認定調査」の流れを図2に示す。発災2.3日後に郵便共済の見舞金や地震保険の受領などの理由により、罹災証明書に関する問い合わせがあり、10月15日から調査を開始した。調査は、最初に罹災証明書交付申請書を提出してもらった申請方式で実施している。申請時に家屋の被害程度（全壊、半壊、一部損壊の3段階）を国の統一認定基準⁶⁾に照らして自己申告してもらい、自己申告で半壊以上の被害については後日、調査を実施し、一部損壊については窓口での聞き取りの上、即時交付した。「被害認定調査」は、①第1次調査（外観目視調査、屋内被害は推定）、②第2次調査（屋内被害を含めた調査）、③再審査請求があった場合には再調査、の流れで実施した。当初、第1次調査で外観目視調査により判定を実施しようとしたが、明らかに被害があったものの以外については目視で判断ができず、11月1日から第2次調査を最初の段階から行うように切り替えた。第1次調査で全壊の場合は、第2次調査は行っていない。再審査は第2次調査による内部詳細調査もしくは修繕経費の再建築価格に対する割合を算出する方法から選択が可能で、2001年2月2日現在、再審査件数は半壊以上の自己申告が

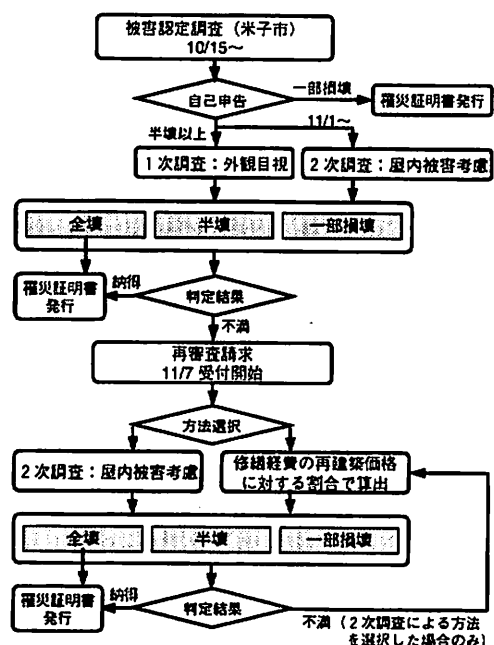


図2 被害認定調査の流れ（米子市）

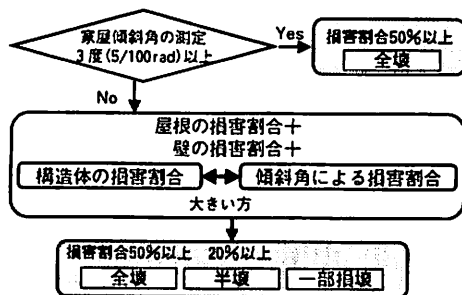


図3 1次調査（外観目視調査）の詳細

表2 傾斜角による損害割合

ランク	傾斜の度数 (rad)	損害割合	災害の程度
I	~1.0/100未満	0%	
II	1.0/100以上~1.7/100未満	10%	
II'	1.7/100以上~2.0/100未満	20%	半壊以上
III	2.0/100以上~3.5/100未満	25%	
IV	3.5/100以上~5.0/100未満	40%	
V	5.0/100以上~	50%	全壊

独自の設定

あった2275件（罹災証明発行件数6849件）に対し130件発生している。調査は基本的には建築士事務所協会から派遣された建築士と職員の2人1組体制で実施した。調査基準は、神戸市が作成した「被害家屋調査要領」を利用している。具体的な調査方法は図3に示すように屋根、壁、構造体（主として軸組）の損害割合で評価するが、建物に傾斜被害が生じた場合には、構造体の被害と傾斜による被害の割合を比較し、大きい方を採用する方法とした。ただし、神戸市の基準では液状化被害に十分に対応できていなかったため、調査は困難を極めた。そこで10月28日から傾斜被害が顕著であることを考慮して表2に示す独自の傾斜基準を採用し、1.7/100rad（約1/60rad）以上の傾斜の場合には、即時に半壊判定の判断が可能となるように設定した。鳥取県の場合も阪神・淡路大震災と同様に罹災証明書は様々な目的⁽¹⁾で利用されている。ただし、鳥取県では独自の住宅再建施策として、日本の災害対策史上はじめて個人財産に公費を投入する住宅復興補助制度を打ち出しており、これは、実際の制度の運用は各市町村が行ったため⁽²⁾、事業によっては罹災証明書と連動した自治体も存在するが、基本的には罹災証明書と切り離れた施策であることは注目に値する。

(3)建物被害調査の問題点

鳥取県西部地震では、災害規模が阪神・淡路大震災に比較して小さかったにも関わらず、行政が実施した建物被害調査に関しては同様の問題が生じている。その問題には大きく3つの要因があると考えられる。第1は調査プロセスの問題で、「応急危険度判定」と「被害認定調査」が個別に同時期に実施され、両調査が混同されたり、建築士などの専門家の確保が困難であったという問題が発生した。また、地震後4~5日を経ると住民の情報ニーズが住宅の修繕や改築へ関心が移り、「応急危険度判定」がそのニーズに合わなくなった事も指摘されている。第2は調査基準、方法に関する問題で、鳥取県西部地震では震源地付近の振動を主因として構造部が損傷した家屋や山間地での地盤崩壊による擁壁の破壊、臨海部での液状化による傾斜や沈下など多様な建物の被害形態が発生した。しかし、「応急危険度判定」も「被害認定調査」も振動による被害の調査方法は整備されていたものの、地盤の崩壊を誘因とする被害の調査方法⁽²⁾は確立していなかった。第3は調査員の技術に関する問題で、行政職

員が実施した「被害認定調査」だけではなく、専門家が実施した「応急危険度判定」でさえ判定結果に差が生じていたことがヒアリング調査の中で挙げられている。

一方、評価できる点として、「応急危険度判定」は単なる判定だけではなく、住民の情報ニーズに応じて巡回相談や相談窓口の設置を行い、今後の対策方法や補修方法の相談に対応していた事が挙げられる。また、「被害認定調査」も再審査では、損害割合を修繕経費の再建築価格に対する割合で算出する方法の選択が可能としており、住民の多様なニーズに応じられるシステムを用意していた。このような多彩な対応が可能な調査システムの構築が、災害対応の効率化という観点からも、被災者の納得を得る手続きの確立という観点からも必要である。

3. 液状化による住宅被害

(1) 安倍彦名団地中ノ海2区へのヒアリング調査

前章では「応急危険度判定」、「被害認定調査」とともに①液状化被害による住宅被害の調査方法が確立していなかったため困難であった事、②住宅補修を考慮に入れた調査を実施していた事、が明らかになった。多様な被害形態、被災者の情報ニーズに対応するためには、個々の被害形態に最適な調査手法、プロセスを事前に準備することが重要である。著者らの研究グループ⁽²⁾はこれまでに兵庫県尼崎市築地地区の事例から、液状化により被災した木造建物の被害形態を分析し、外観目視調査用の被害パターンチャートを提案している。液状化による特徴的な建物の被害形態は、傾斜と沈下であり、このパターンチャートを「応急危険度判定」や「被害認定調査」、さらに住宅復旧のための調査まで適用を広げるためには、傾斜、沈下と各建物被害調査との関係を明らかにする必要がある。

そこで、鳥取県西部地震で液状化により著しい被害を受けた鳥取県米子市安倍彦名団地中ノ海2区の木造戸建住宅を調査対象とし、被害状況について現地調査およびヒアリング調査を実施した。中ノ海2区では、個々の住宅に対して、「応急危険度判定」、「被害認定調査」および民間企業による住宅復旧のための調査（以下、住宅復旧調査と称する）が実施されている。なお、現地調査は2000年10月11日、2001年2月7日の2回実施した。ヒアリング調査は震災後に組織された中ノ海2区自治会地震被災復興委員会（以下、復興委員会と称する）に対して、2001年5月27日に行った。

(2) 液状化被害状況

安倍彦名団地は弓ヶ浜半島の中海側に面しており、昭和60年代に干拓農地を盛土して造成した宅地である。地震後に地区内2箇所で開催されたボーリング調査結果によると、表層の盛土による造成地盤のN値は10~20程度であり、宅地として良好な地耐力を有している。約6m~15mには粘性土壌があり、N値は0である。以深35m程度まではN値10~30内外となっている。調査地点の地下水位は約1.7mである。中ノ海2区は昭和63年から鳥取県住宅供給公社より分譲が開始され、比較的新しい住宅が建ち並んでいる。地区内の建物棟数は付属屋を除くと167棟で、95%以上が木造2階建て専用住宅である。

図4に被害状況を示す。米子市が実施した罹災証明書発行のための被害認定調査結果によると全壊10棟、半壊



図4 安倍彦名団地中ノ海2区の液状化による被害状況

108 棟、一部損壊 36 棟、未申請 13 棟である。鳥取県西部地震では地区内の至る所で噴砂が見られ、住宅に傾斜、沈下被害が発生した。事前の地盤対策として、住宅供給公社は、液状化対策というよりも軟弱地盤による宅地の不同沈下防止対策として、団地南側の特に軟弱な地盤の一部地域でペーパードレインとサーチャージ盛土を施工しており、施工された地区の被害は相対的に小さい。1943 年の鳥取地震では安倍彦名地域を含めた彦名干拓地において、田畑が液状化を起こしていたことを近隣農家は良く知っていたようであるが、中ノ海 2 区の住民は液状化の可能性をとくに意識していなかった。地震時の揺れは激しいものではなく、店舗の商品で落ちたものもあったが、タンスや本棚が倒れるといった事はなかった。図 4 には建物の沈下量と傾斜方向について、住宅復旧調査の結果を復興委員会がまとめたものを併せて示す。傾斜方向には特に規則性は見られないが、特徴として、傾斜した建物のうち 7 割以上が、間口、奥行き方向に対して斜めに傾斜している。これは、建物が重心の偏っている方向に沈下し傾斜する傾向にあるためと思われる。

(3) 液状化による住宅被害の評価手法と判定結果

中ノ海 2 区では、「応急危険度判定」、「被害認定調査」、「住宅復旧調査」の 3 調査が実施されており、それぞれの評価手法および結果を比較、検討した。「応急危険度判定」は安倍彦名団地については宅地造成を行った鳥取県住宅供給公社が実施しており、その結果によると、「危険」が 0 棟、「要注意」が 80 棟、「調査済」が 84 棟である。応急危険度判定結果と被害認定調査結果との住宅 1 棟毎の対応を表 3 に示す。「要注意」、「調査済」とともに被害認定調査結果の「半壊」に多く対応していることが分かる。とくに「要注意」と判定された結果の 87.5% (80 棟中 70 棟) が「半壊」に対応している。これは、両調査の判定基準の一つである建物の傾斜が $1/60$ rad を超えるとそれぞれ「要注意」、「半壊」と判定され、建物の傾斜が判定を決定する主要項目となっていたものと推察される。

図 5 に「応急危険度判定」および「被害認定調査」において、建物全体の傾斜角が判明した 48 棟の住宅について測定結果の対応を示す。また、同図に両調査の判定結果も併せて示す。「応急危険度判定」の傾斜の測定方法

は、下げ振りを使用し、測定間距離を 1200mm の間隔にすることが判定マニュアル⁷⁾に推奨されている。「被害認定調査」の場合には、ほぼ同じ方法であるが、測定間距離は調査者によって異なる。また、原則として建物の 4 隅平均で評価することになっているが、実際には必ずしも 4 隅が測定されているわけではなく、ここでは測定された最大傾斜角について比較を行った。図 5 より、ばらつきが見られるものの、両調査結果は比較的良い対応を示している。ここで 48 棟中 24 棟は「応急危険度判定」で $1/60$ rad 以上の傾斜角が測定されており、この中で 1 棟を除き全ての建物が「被害認定調査」では半壊と判定されている。今回は「被害認定調査」に「応急危険度判定」の調査結果は利用されていなかったが、建物被害調査の項目には各調査目的間で共通する項目があり¹⁾、特に傾斜の場合にはその利用が効果的である。大規模災害時には、膨大な建物の被害の発生が予想されるが、その場合においても、簡便かつ調査項目の中で客観的事実に基づく数少ない指標である傾斜値の利用は特に有効と考える。また「応急危険度判定」は「被害認定調査」とは目的、基準を異とするが、外観上の建物の被害形態は同じであり、被害形態から「応急危険度判定」の段階でおおよそその被害認定程度を掴むことは可能と考える。

図 6 に「被害認定調査」で、構造体を評価した場合と傾斜を評価した場合の損害割合の関係を示す。使用データは木造 2 階建て住宅で調査が実施された 141 棟である。全体的に傾斜の損害割合で判定が決定する場合が多く、構造体と同じ評価であったデータを含めると 75% を占めており、全壊建物については全て傾斜で決定している。ここで、同図の分布を見ると、一部損壊と半壊の境界（損害割合 20%）では、半壊側に密にプロットされているのに対し、一部損壊側は空白が目立つ。これは、米子市へのヒアリングの中で、米子市は被災者の救済を重視して調査を実施したことが挙げられており、その結果と考える。表 3 において、「調査済」が「半壊」に多く対応した事由の一つはこのことによるものと思われる。

表 3 応急危険度判定結果と被害認定調査結果の比較

	単位：棟数、()内は全体に占める割合(%)			
	要注意	調査済	不明	計
全壊	8 (4.8)	2 (1.2)	0 (0.0)	10 (6.0)
半壊	70 (41.9)	38 (22.8)	0 (0.0)	108 (64.7)
一部損壊	2 (1.2)	32 (19.2)	2 (1.2)	36 (21.6)
未申請	0 (0.0)	12 (7.2)	1 (0.6)	13 (7.8)
計	80 (47.9)	84 (50.3)	3 (1.8)	167 (100.0)

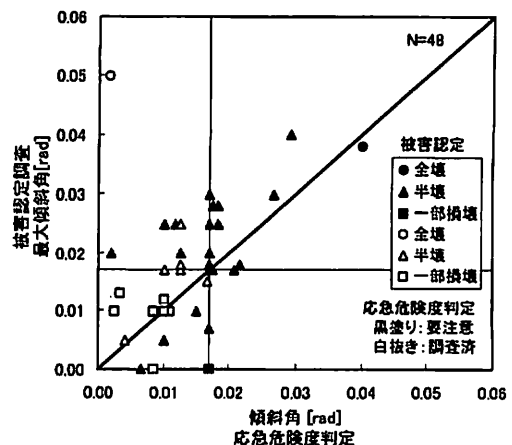


図 5 応急危険度判定および被害認定調査により測定された建物全体の傾斜角の比較

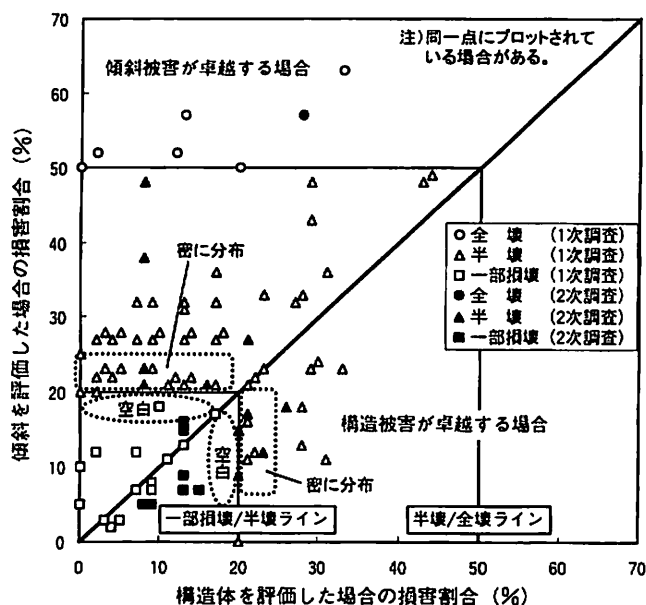


図6 構造体を評価した場合と傾斜を評価した場合の損害割合の関係 (被害認定調査)

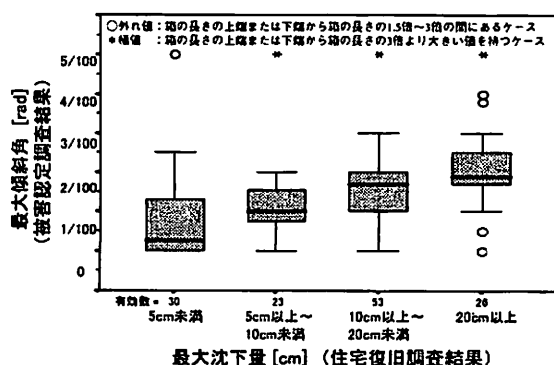


図7 被害認定調査結果と住宅復旧調査結果の比較

図7に「被害認定調査」で測定された最大傾斜角と「住宅復旧調査」によって測定された最大沈下量の関係を示す。「住宅復旧調査」では、補修するために傾斜した住宅をジャッキアップする必要があり、フロアのいくつかの基準となるポイントのレベルを測定する必要性から、レーザー測定器を使用して沈下量という形で傾斜を評価しており、測定値としては最も信頼性の高い結果と考える。全体的には相関が見られるがばらつきもあり、傾斜していなくても沈下している場合やその逆も見られる。このように同じ傾斜の評価でも測定方法・測定箇所の違いによりばらつきは発生するため、このばらつきを考慮した調査手法も検討課題の一つである。より早く実施する必要のある「応急危険度判定」と、より正確性が求められる「被害認定調査」では、必ずしも同じ測定方法とする必要はないが、可能な限り近い結果となるような方法を考える必要がある。また、他のばらつきの原因として、液状化被害の場合には、地盤の強度が回復するまでに時間を要するため、余震などにより傾斜が進展した可能性がある。復興委員会へのヒアリングの中で、調査によって傾斜の測定値が異なり、調査に対する不信感を抱いたことが挙げられたが、これらの理由を住民に説明することが対応上重要であると同時に余震により被害が進展・拡大した場合には安全性の確認作業から改めて調査を行うプロセスが必要である。

4. 調査票による判定と補修費用を評価した判定

(1) 被害認定調査と住宅補修

「被害認定調査」に関して、村尾⁹⁾は建物を資産価値として評価するものであると指摘し、建設コストを考慮した被害調査票の提案を行っている。しかしながら、これまでに補修の可否や補修費用に関する検討はなされていない。「被害認定調査」の判定基準である統一認定基準⁶⁾に関して、内閣府¹⁰⁾では、2000年12月に「災害に係る住宅等の被害認定基準検討委員会」が発足し、基準や方法が曖昧であったこれまでの統一認定基準の見直しが行われた。この新しい認定基準では、これまでより補修の可否との関係を明確にしておき、住家が居住のための基本的機能を喪失し補修により再使用が困難ものを「全壊」、基本的機能の一部を喪失しているが、補修すれば元通りに再使用可能なものを「半壊」と定義している。しかし、補修費用との関係については経済的被害を評価するとしている一方、被害額を算定することは実務上困難であるため、「住家の主要な構成要素の経済的被害を住家全体に占める損害割合で表す」という形で評価するとしている。また、具体的な調査方法、判定方法については被害認定基準運用指針¹⁰⁾が示されたが、液状化による建物被害に関しては別途検討することとしており、このような被害に対して調査可能な基準、方法が示される必要がある。ここでは、安倍彦名団地を事例として、液状化による被害に対して経済的被害の視点から認定手法の妥当性の検証を行う。

(2) 液状化による住宅の傾斜と補修費用

安倍彦名団地における液状化による住宅被害の特徴は、基礎が比較的剛強であったため、建物全体が傾斜するという被害形態であった。この被害は物理的、構造的な被害というよりも傾斜によって生活障害が発生するという機能的な被害であったといえる。米子市の「被害認定調査」では、このような被害形態に対し、独自の方法として表2に示すような傾斜の基準を定め、損害割合を算定して評価を行った。この傾斜は3章で検討してきたように「被害認定調査」の判定を決定する主要項目となっていたものと考えている。被災者の納得を得るためには、どの被災者に対しても公正な調査の実施が重要であり、最終的には受けることのできる支援と補修費用が関係してくる。そこで、液状化により被災した住宅の傾斜と補修費用の関係について検討を行った。図8に中ノ海2区の木造2階建て住宅について延べ床面積と補修費用の関係を示す。使用データは床面積と補修費用が判明した67棟を用いた。ここで、補修費用とは鳥取県の住宅復興補助制度の対象となった項目について、業者が算定した見積も

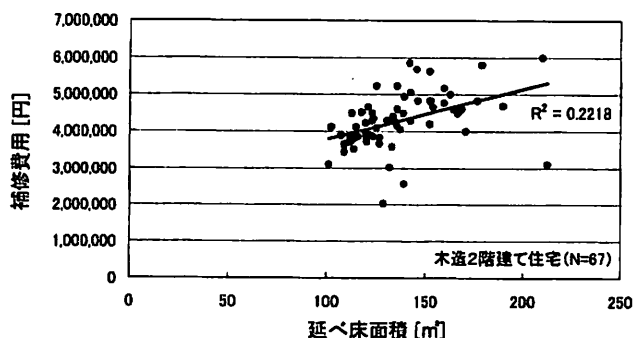


図8 延べ床面積と補修費用の関係

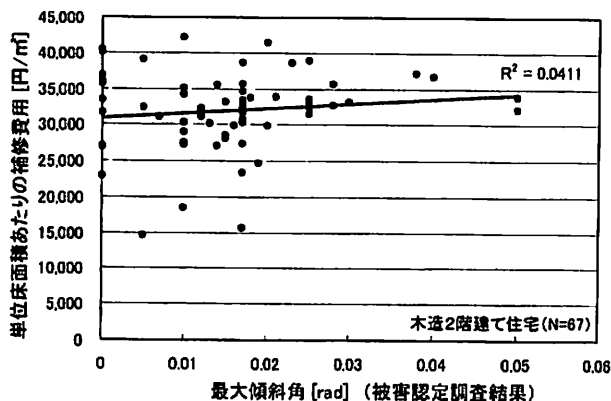


図9 傾斜角（被害認定調査）と補修費用の関係

りによるものである。対象項目は、a) 構造体・基礎工事（水平化工事を含む）、b) 上下水道・ガス工事、c) 床工事、d) 外壁工事、e) 屋根工事である。また、補修にあたり、復興委員会では費用負担を抑えるため、補修工事の取りまとめを行い、最終的に63棟の補修工事を建設業者に一括発注している。一括発注に参加しなかった世帯は、早い補修工事の実施を希望したところや、それぞれの住宅を施工した各住宅メーカーによる支援を受けられたところなどであり、個人で補修を行っている。水平化工事はほぼ全ての建物が耐圧版工法を採用している。補助金は鳥取県の住宅復興補助制度により、住宅補修費用として上限100万円、液状化建物復旧費用として上限116万6千円、住宅供給公社の助成により全壊150万円、半壊100万円、一部損壊50万円をそれぞれ上限として受けることが可能で、合計すると、全壊366万6千円、半壊316万6千円、一部損壊266万6千円であり、これらは住宅補修、液状化による補修・復旧の区別なく、併せての使用が可能である。図8より、ばらつきはあるものの補修費用は延べ床面積との相関が見られる。これは、建物規模が大きくなるとジャッキの本数が増え、床下の掘削箇所も増えたことが一因として考えられる。

図9に建物規模の影響を除くため、補修費用を延べ床面積で除した単位床面積あたりの補修費用と「被害認定調査」で測定された最大傾斜角の関係を示す。相関がみられるものの決定係数 $R^2=0.041$ でばらつきが大きく、傾斜角のみで補修費用を評価することは難しい。傾斜角が大きくても補修費用が少ない場合やその逆もあり矛盾が生じている。このことは、液状化により傾斜が生じた場合、あるレベルから機能的障害が発生し、補修を行うが、それ以降は傾斜角度の大きさによる影響は少ないことを意味している。ここで、一つの考えとして、この機能的障害が発生するレベルを一部損壊と半壊を区分する基準とすることができると考えられる。補修費用には傾斜以外の要素も関係してくるため、今後の検討が必要である。

(3) 補修費用を評価した被害認定

補修費用が再建築価格に占める割合から被害程度を再判定し、米子市が実施した「被害認定調査」の評価結果の検証を行った。図10に延べ床面積と単位床面積あたりの補修費用の関係、および米子市が再審査時に補修費用と再建築価格の割合で算出する際に使用した標準単価×20%を併せて示す。標準単価は国土交通省「建築着工統計調査」を基に工事費予定額の合計を床面積の合計で除した値である。図より、補修費用と再建築価格の割合から再判定すると全壊の建物4棟のうち、3棟が半壊、1

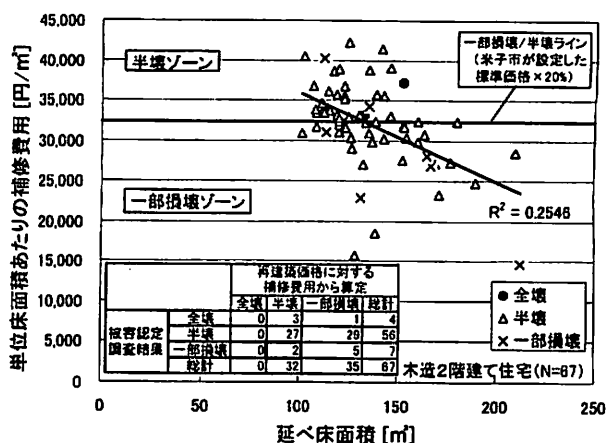


図10 補修費用を評価した被害認定

棟が一部損壊となる。半壊については56棟のうち29棟が一部損壊となり、一部損壊と判定された7棟のうち2棟が半壊となる。この2棟に不満が生じる可能性がある。実際にこの2棟についてはヒアリングの中で問題として取り上げられ、傾斜測定での評価の限界が指摘された。米子市の調査方法では再調査で補修費用による評価が選択可能であったが、当初、鳥取県の方針が罹災証明書とは切り離れた支援施策を打ち出したため、罹災証明書がそれほど効力を持たないと考え、再調査は行わず認定が確定した。その後、鳥取県住宅供給公社より罹災証明書と連動した助成が行われたため、最終的に不満を残した。阪神・淡路大震災でも様々な施策の多くが被害認定確定後に打ち出されて問題³⁾となったが、罹災証明書の使用目的は最初の段階で明確にされる必要がある。全体として、神戸市が作成し米子市が改良を加えた評価手法は、被災者支援という立場からは支援の手を広く差し出す結果となっているが、傾斜測定で評価しきれない場合もあり、その場合には補修費用の観点からの評価が被災者の納得を得る上で有効である。また、図10より単位床面積あたりの補修費用は床面積が大きくなると小さくなるのに対し、米子市が採用した標準価格は建物の床面積に関係なく一定であるため、どのように評価するか、どこまでを補修費用として含めるかなどの問題を残している。

5. 補修を決定する要因

液状化により傾斜した住宅の補修（水平化）を行うかどうかの判断に影響する要因を分析するために数量化Ⅱ類による検討を行った。外的基準およびアイテム・カテゴリーを図11に示す。外的基準は水平化工事を実施したか否かで、アイテム・カテゴリーはその判断材料になると考えられる1) 被害認定調査結果、2) 被害認定調査時に測定された最大傾斜角、3) 民間業者により測定された最大沈下量、4) 単位床面積あたりの補修費用である。サンプルは、水平化工事を実施したかどうかが判明し、かつ補修費用、床面積、傾斜角、沈下量が得られた72棟とした。図11に分析結果を併せて示す。偏相関係数を見ると、沈下量、傾斜角の順に大きい。また、被害認定の調査結果が最も低くなっている。カテゴリースコアを見ると、一側は沈下量が0～5cm、傾斜角が0 rad、次いで被害認定調査結果の一部損壊が並ぶ。+側には補修費用40,000～50,000 ¥/m²、傾斜角が3.5/100rad以上、沈下量が10～20cmとなっている。+側に補修費用が一番大き

外的基準は「水平化工事を実施:61棟」,「未実施:11棟」

アイテム	カテゴリー	度数	カテゴリースコア	偏相関係数	
被害認定調査結果	1:一部損壊	10	-0.336	0.070	
	2:半壊	58	0.029		
	3:全壊	4	0.425		
最大傾斜 θ (被害認定調査) [rad]	1:0	15	-1.055	0.225	
	2:0< θ <1/100	5	0.358		
	3:1/100< θ <1/60	19	0.030		
	4:1/60< θ <2/100	15	0.419		
	5:2/100< θ <3.5/100	14	0.311		
	6:3.5/100< θ	4	0.707		
沈下 δ (民間企業調査) [cm]	1:0 $\leq\delta<5$	13	-1.134	0.256	
	2:5 $\leq\delta<10$	12	0.039		
	3:10 $\leq\delta<20$	35	0.509		
	4:20 $\leq\delta$	12	-0.294		
単位床面積あたりの補修費用 C [円/㎡]	1:10000 $\leq C<20000$	4	-0.307	0.128	
	2:20000 $\leq C<30000$	16	0.141		
	3:30000 $\leq C<40000$	48	-0.116		
	4:40000 $\leq C<50000$	4	1.138		

図 1 1 補修決定要因 (数量化Ⅱ類による分析)

なスコアとなっているが、補修費用が大きいほど被害が大きいと考えられる。これより、安倍彦名団地の事例では、水平化工事を行うかどうかを、補修費用や受けられる支援内容よりも建物の構造的な障害、あるいは吐き気、めまいなどの生活障害が発生したことにより決定したと考えられる。数量化Ⅱ類による分析結果および傾斜量と沈下量の関係 (図 7) から、水平化工事実施を決定した被害レベルは傾向として最大傾斜角で、1/100rad 前後、最大沈下量で 5cm 以上と推察される。藤井ら¹¹⁾は阪神・淡路大震災における兵庫県芦屋市の液状化による被害事例から、機能上の限界値を建物基礎の傾斜角で 6~8/1000rad としており、数量化Ⅱ類による分析結果と概ね一致している。また、被害認定調査結果の影響が小さくなっているが、これは鳥取県の住宅復興補助制度が罹災証明書と切り離されたことによる効果や液状化被害に対する手厚い救済措置をとったこと、および自治会復興委員会による一括発注による影響が考えられる。

6. 木造戸建住宅の液状化による被害に対する調査フローの提案

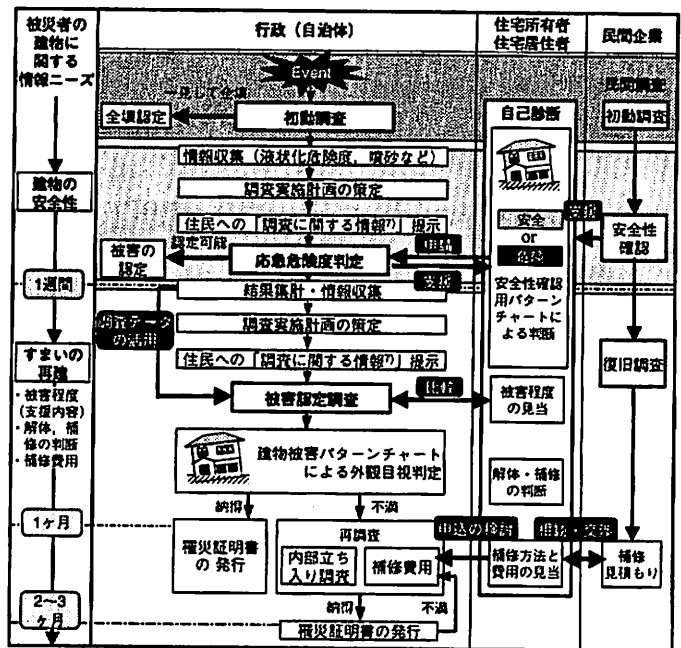
これまでに自治体へのヒアリング調査から、鳥取県西部地震における建物被害調査では、災害規模が阪神・淡路大震災と比較して小さかったにも関わらず、①調査プロセス、②調査基準・方法、③調査員の判定技術に関して同様の問題が発生していたことを明らかにした。同時に被災者の情報ニーズに応じられる調査システムの必要性を指摘した。また、調査基準・方法の中で、整備が遅れている液状化による建物被害について安倍彦名団地の戸建住宅の被害事例から、被害形態と補修費用の関係について考察を行った。以上の結果から、図 1 2 に液状化により木造戸建住宅が被害を受けた場合の調査フローを提案する。この調査フローは、行政による効率的な調査の実施を目指し、阪神・淡路大震災の教訓から、これまでに著者ら^{11)~13)}により明らかにされた認定過程における課題、および 4 章で述べた新たな認定基準、運用指針¹⁰⁾を考慮し、特に大規模地震災害時を想定して作成した。また、被害形態を可視化することで判定者の判定結果に与える影響を軽減し、判定を容易にすることが期待できる被害パターンチャート²⁾の活用を重点を置いている。

行政による調査は主として 3 つあり、「初動調査」、「応急危険度判定」、「被害認定調査」である。図 1 2 に示すように、時間の経過に伴う調査目的、被災者の情報ニーズの変遷を縦軸として、これらの調査を一元的か

つ一貫して実施することにより、複数の調査の同時実施による混乱の防止や、専門家の確保が可能となり、調査プロセス上で発生した問題の軽減が期待できる。また、「初動調査」、「応急危険度判定」の段階で、明らかに一見して全壊である建物や、外観上の被害形態から認定可能なものについては、その時点で認定を行うことで認定過程の促進が図れるものとする。さらに認定までには至らなくとも、共通の調査項目データを活用することで、より効率的な調査の実施が可能である。

ここで、被災者の情報ニーズの観点から発生する新たな問題として、「応急危険度判定」は地震後 1 週間までに実施されることが目標であるが、この期間までに全ての被災建物を確認することは現実的でない。阪神・淡路大震災だけではなく、災害規模が比較的小さかった鳥取県西部地震においても、判定の必要がありそうな建物や申請があった建物を対象に行われ、被災者は申請を行うにあたり、判断の根拠を持たないまま自身で建物のチェックを行っている。余震による被災建物の倒壊の危険性は地震直後から発生し、行政による確認調査が行われるまでには空白時間が存在する。また、たとえ安全な建物であっても、それを確認できる手段がないために被災者には不安が生じる。そこで建物の安全性を所有者または居住者自身で確認できる仕組みが必要と考える。建築構造の専門家ではなくても判断可能とするためには、視覚的に分かり易いパターンチャートの利用が有効と考える。

この自己診断では建物の安全性を早期にチェックするだけではなく、被害形態から建物の被害程度についてもおよその見当をつけることができる。その結果と被害認定結果を比較し、同等であれば、結果に対して納得することができる。さらに、被害形態に補修可能かどうか、どのように補修するのか、どのくらいの費用がかかるのだろうかという情報を関連付けることで、早い段階で被災者の情報ニーズを満たすことが可能である。例えば、液状化により住宅全体が傾斜するような被害形態では、1/60rad 程度の傾斜であったとすると、「半壊と認定されそうだ」、「復旧方法には耐圧版工法があり、その工法だと 400 万円程度はかかりそうだ」という情報を早い段



※大きな余震が発生した場合には必要な調査に戻って実施する。

図 1 2 木造戸建住宅の液状化による被害に対する調査フロー (大規模地震災害時)

階で得ることが可能となる。復旧段階においては、より適した復旧方法を民間業者とともに考えていくことができるであろう。行政は戸建住宅については申請があった場合や自己診断での調査の実施が困難な住民を支援する立場とし、その結果として、倒壊時の影響がより大きい公共建物や共同住宅の優先的な調査の実施や、専門家などのより効果的な人員配置が可能になると考える。

「被害認定調査」については文献 2) で提案したプロセスに補修費用で評価する方法を加筆したものである。安倍彦名団地の住宅被害の分析結果から、建物全体が傾斜する被害形態の場合、傾斜値に基づく判定は簡便であり、特に大規模災害時のように膨大な数の被害調査を実施しなければならない場合は有効であることを示した。そのような被害形態に対して即時判断が可能なパターンチャートの活用は有効である。しかしながら、必ずしも傾斜の大きさと補修費用の関係は比例するわけではなく、傾斜を指標にした評価には限界があることを指摘した。これは被災者に不満を生じさせる危険性があり、その場合には、最終的に補修費用からの評価が有効である。

7. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 鳥取県西部地震での行政による建物被害調査では、災害規模が比較的小さかったにも関わらず、阪神・淡路大震災と同様に①調査プロセス、②調査基準・方法、③調査員の判定技術に関する問題が発生したことを明らかにした。
- (2) 液状化により建物全体が傾斜する被害形態の場合、傾斜の測定結果に基づく判定は簡便であり、特に大規模災害時のように膨大な数の被害調査を実施しなければならない場合は有効であることを示した。
- (3) 上記の被害形態の場合、傾斜が限界値を超えると補修（水平化）のために多額の費用が発生するものの、必ずしも傾斜の大きさと補修費用の関係は比例するわけではなく、傾斜を指標にした評価には限界がある。その場合には補修費用に基づく評価が被災者の納得を得る上で有効であることを示した。
- (4) 液状化による住宅被害を一元的かつ一貫して評価するための調査フローの提案を行った。この調査フローの中で、被害形態を可視化した被害パターンチャートを活用することで、住宅所有者や居住者が早期に建物の安全性や被害認定の程度、補修の可否の判断や補修費用に関する情報を得ることができる仕組みを併せて提案した。

今後の課題として、建物の安全性を評価するためのパターンチャートの開発や、内閣府¹⁰⁾より新しく認定基準、運用指針が示されたが、これに適合するようなパターンチャートおよび液状化による被害形態と振動による被害形態が複合的に組み合わさった形態などに対応できるようなパターンチャートの改良が挙げられる。

また、本研究で提案した調査フローは液状化による建物全体の傾斜被害を対象としているが、振動による被害やその他の被害などに対しても、被害形態と物理的な被害、機能的被害、経済的な被害との関係を検討することで適用を広げることが可能と考え、今後の検討課題としたい。

行政による建物被害調査の効率化を図るためには、調査プロセスの最適化や、基準・方法の整備だけではなく、災害規模に応じた調査体制づくり、罹災証明書の使用目的の明確化、調査情報を一元的に管理する情報システムの構築、迅速かつ公正な調査の実施へ向けて判定技術のトレーニング、的確な住民への対応などの検討も重要であり、多様な災害に適した多彩な被害調査の実施が可能となる調査システムの開発を目指していきたい。

謝辞

本論の執筆にあたり、2章のヒアリングでは鳥取県土木部建築課前嶋義樹耐震営繕係長、米子市総務部総務課岩崎豪庶務係長より貴重な資料とご意見を賜りました。3章のヒアリングでは安倍彦名団地中ノ海2区自治会地震被災復興委員会矢野博司委員長をはじめ、復興委員会の皆様から貴重な資料とご意見を賜りました。また、鳥取県住宅供給公社住宅建設課川瀬公昭課長補佐より貴重な資料を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

補注

- (1) 罹災証明書が利用されたものとして、以下が挙げられる。
 - 1) 被災者生活再建支援制度、2) 住宅復興補助制度（鳥取県の制度）、3) 見舞金支給、4) 義援金の配布、5) 災害援護資金の貸し付け、6) 公費解体、7) 各種税の減免、8) 各種保険料の減免、9) 授業料、保育料の減免、10) 各種使用料の減免、11) 液状化被害に対する助成金の支給、12) NHK受信料、13) 地震保険の査定条件
- (2) 「応急危険度判定」は宅地地盤用の被災度調査・判定用シートが作成されており、地盤の危険度評価は可能である。ただし、この調査は判定の最終的な判断が調査員の主観に委ねられるなど専門性が高く、鳥取県西部地震では用いられていない。

参考文献

- 1) 堀江啓他：震災時における木造建物の被害調査手法の開発－調査目的と調査項目－，地域安全学会論文集，No.2，pp.139-144，2000。
- 2) 小檜山雅之他：災害対応としての建物被害認定過程に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.531，pp.189-196，2000。
- 3) 堀江啓他：震災時における建築物の被害調査手法の開発－公的機関による建物被害調査の課題－，比較防災学ワークショップ，No.1，pp.195-202，2001。
- 4) 木村玲玖他：阪神・淡路大震災の被災者の移動とすまいの決定に関する研究，地域安全学会論文集，No.1，pp.93-112，1999。
- 5) 財団法人日本建築防災協会：震災建築物などの被災度判定基準および復旧技術指針，1991。
- 6) 「災害の認定基準の統一について」昭和43年6月14日付結審第115号内閣総理大臣官房審議室長通知
- 7) 財団法人日本建築防災協会，全国被災建築物応急危険度判定協議会：被災建築物応急危険度判定マニュアル，1998。
- 8) 鈴木有：鳥取県西部地震にみる被災者対応の地域性－住宅の復旧・復興支援の視点から－，建築防災，通巻283号，pp.26-34，2001。
- 9) 村尾修，山崎文雄：兵庫県南部地震における建物被害の自治体による調査法の比較検討，日本建築学会計画系論文集，No.515，pp.187-194，1999。
- 10) 内閣府：災害に係わる住家の被害認定基準運用指針，2001。
- 11) 藤井衛他：兵庫県南部地震の液状化における戸建住宅の基礎の被害と修復－戸建住宅の基礎の修復に対する考え方－，土と基礎，Vol.46，No.7，Ser.No.486，pp.9-12，1998。

(原稿受付 2001. 6. 8)