

千葉市美浜区における液状化被害を受けた住民への 健康障害に関するヒアリング調査

Questionnaire Survey on Health Disturbance of Residents in Mihama Ward, Chiba City
who Suffered Housing Damage Due to Liquefaction

小檜山 雅之¹, 系野智奈美², 園部隆夫³

Masayuki KOHIYAMA¹, Chinami KEINO², and Takao SONOBE³

¹ 慶應義塾大学 理工学部

Department of System Design Engineering, Keio University

² 慶應義塾大学 理工学部 (現, 中日本エクシス(株))

Department of System Design Engineering, Keio University (currently, Central Nippon Exis Co., Ltd.)

³ SPC設計

SPC Sekkei

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake triggered liquefaction of soil in wide areas. In particular, a number of damaged houses were found in the land reclamation areas of the Kanto region. Some residents living in houses tilted by liquefaction complained of health disorders. We report the result of questionnaire survey of residents in Mihama Ward, Chiba City, about the characteristics of their house, earthquake damage, health disturbances, and so on. Based on the survey data, we construct probability models of health disturbance with respect to house tilt angle investigated by the local government for the certificate of damage. The probability of health disturbance exceeded 50% when the tilt angle was larger than approximately 0.013 rad.

Keywords: liquefaction, the Great East Japan Earthquake Disaster, health disturbance, detached house

1. はじめに

1964年6月16日に発生した新潟地震以降, これまでに多くの研究者が液状化被害について研究している. その中で, 液状化により傾斜した建物の居住者や利用者の健康障害や傾斜に対する感覚を研究しているものがいくつかある. 北原・宇野¹⁾は1964年新潟地震で傾斜した建物に居住や勤務する人を対象に, 同年11月に面接調査を行い, めまいが発生する原因を考察している. 宇野・遠藤²⁾は, 床を傾けた装置を使った被験者実験と, 1964年新潟地震で傾いた住宅に住む女性42名に対し1981年10月に面接調査を行っている. また, 傾斜した室内に被験者を案内し, 窓枠が傾斜していることを認知するか分析を行い³⁾, 体勢や傾斜した方向に対する感覚⁴⁾に関しても研究を行っている. 藤井ら⁵⁾は, 1995年兵庫県南部地震で液状化被害が発生した芦屋市の住宅約100棟に対して調査を行い, その結果等から, 傾斜角と機能上の障害についてまとめている. また, 安田・橋本^{6), 7)}は2000年鳥取県西部地震で液状化被害が発生した米子市安倍彦名団地で調査を行い, その結果より, 10/1000 rad程度が住宅としての許容できる限界の傾斜角であると考察している.

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では, 広域で地盤の液状化が発生した⁸⁾. 特に関東地域では, 埋立地で戸建住宅の被害が多く生じ, 住宅の傾斜に伴い,

健康障害を訴える住民も多数あった. このような被害の実態を踏まえ, 災害による住家被害認定(自治体による罹災証明の発行のための調査の基準)が一部見直しされた⁹⁾. 具体的には, 基礎と柱が一体的に傾いたとき(不同沈下)の判定基準は, 従来, 全壊に対してしかなかった(四隅の傾斜の平均1/20 rad以上)が, 新たに大規模半壊と半壊に対して追加された(それぞれ, 1/60 rad以上1/20 rad未満, ならびに1/100 rad以上1/60 rad未満). 加えて, 基礎等が地盤面下へ潜り込んだときの判定も新たに追加された. ここで, 不同沈下の半壊の判定閾値1/100 radは, 医療関係者等にヒアリングを行い居住者が苦痛を感じるとされている値として設定された¹⁰⁾.

本論では, 千葉市美浜区で液状化被害を受けた戸建住宅の住民に対し, 建物被害, 健康障害等についてヒアリング調査を行った結果を報告する. そして, 自治体の罹災証明発行のための調査による住宅の傾斜データをもとに, 液状化による住宅の傾斜に伴う健康障害の発生確率のモデルを評価した結果とその分析結果について述べる.

2. 調査の概要

千葉市美浜区では, 臨海部の埋立地で液状化が発生し, 多くの建物が被災した(写真1). 本調査は, 2011年8月

(2) 地震被害について

調査対象者の住宅の地震被害の状況について述べる。まず、図6に罹災証明の被害区分を示す。今回の調査対象世帯のうち、56%が半壊と判定された。また、全壊と判定されたものはなかった。次に、図7に地震保険の被害区分を示す。加入世帯の割合は55%であった。全損と判定された住宅が1棟あった。

被害状況について、まず敷地内の被害状況を図8に示す。64%の住宅で噴砂が確認された。続いて、外壁と基礎の亀裂の有無を図9に示す。基礎と外壁の亀裂の割合を比べると基礎のほうが多い。基礎は液状化による地盤の支持力分布の変化で大きな応力を生じやすい。一方、地盤の液状化が起きると地震動が長周期化し、地震動の卓越周期と建物の固有周期がずれることで建物の上部構造の層間変形が小さくなりうる。そのため、上記のような分布となったことが示唆される。

図10に建築年と建物の傾斜角との関係を示す。べた基礎は比較的新しい住宅で多く採用されている。布基礎では大規模半壊の閾値である $1/60$ (≒ 0.017) radを超える大きな傾斜が存在するが、べた基礎ではほとんどみられない。

図11に建て付けの不良を示す。ドアの建て付け不良は85%あり、自動的に開閉してしまう状況となっていることが多かった。図12にボール等の転がり、機密性の損失、床下浸水の有無を示す。気密性の損失については、夏季に調査を行ったため、窓を開けたままにしている状態が多く、気付かない場合もあったと考えられる。冬季に調査を行うと結果が変わる可能性がある。また、5棟に全体的な建物の沈下が確認された。

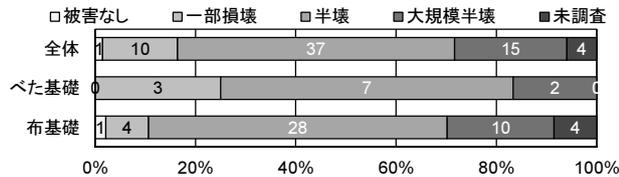


図6 罹災証明の被害区分 (N = 67棟)

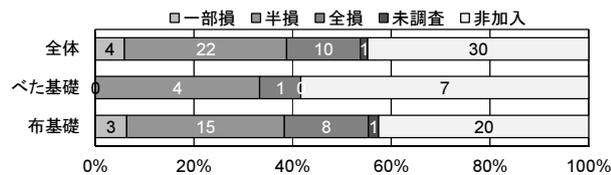


図7 地震保険の被害区分 (N = 67棟)

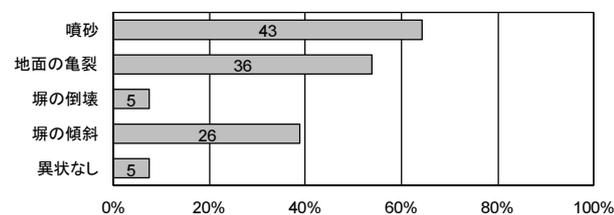


図8 敷地内の被害状況 (N = 67棟)

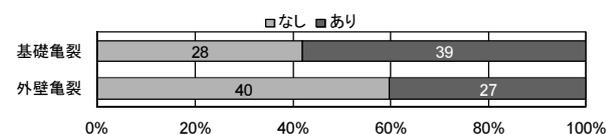


図9 外壁と基礎亀裂の有無 (N = 67棟)

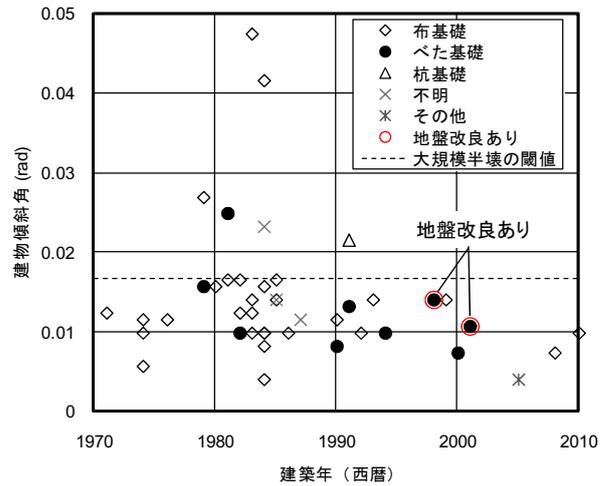


図10 建築年と建物の傾斜角との関係 (N = 自治体調査による傾斜角が明らかな43棟)

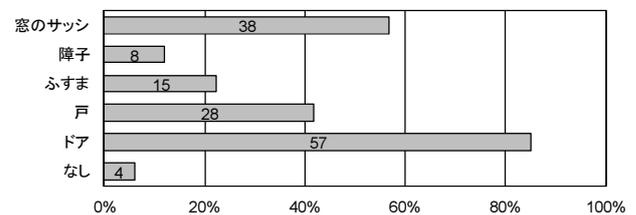


図11 建て付けの不良の被害状況 (N = 67棟)

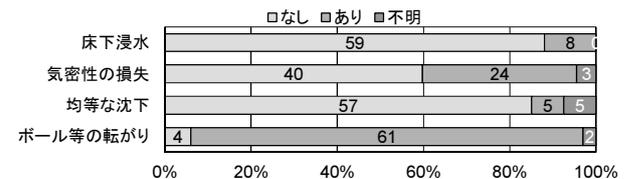


図12 その他の被害の状況 (N = 67棟)

(3) 健康障害について

調査対象者の健康障害の状況について述べる。まず、図13に調査対象者の年齢と性別の分布を示す。60歳以上の割合が多く、特に60代女性の比率が高い。

図14に調査実施時における傾斜に対する感覚を示す。女性や60歳以上の年齢層で多くの住民が傾きを強く感じていた。在宅率が高いことや家事等の作業を行う時間が長いことが傾きの知覚と関係していると考えられる。

図15は傾斜角と傾斜に慣れるまでに要した日数の両方の回答があった15人について、それらの関係を示したものである。両者の間に相関関係はほとんどみられない (決定係数 $R^2 = 0.0047$)。傾斜への慣れは個人差が大きいことも考えられる。

図16に地震後からヒアリング調査時まで生じた健康障害の自覚症状を示す。ここで、自覚症状の項目は文献1), 2)を参考にし、「牽引感(引っ張られる), ふらふら感, 浮動感(ふわふわ), 回転感(ぐるぐる), 疲労感, 頭痛, 腰痛, 耳鳴, めまい, 吐き気, 食欲不振, 不眠・睡眠障害, その他」の項目を提示し、該当するものを回答してもらった。牽引感についてどのような症状か質問があった際は「何かに引っ張られる感じ」との説明を補った。図16より、不眠・睡眠障害といった症状が2割程度の回答者に現れていることがわかる。また、図16の項目の他に、肩こりや足の痛みを訴える住民もあった。

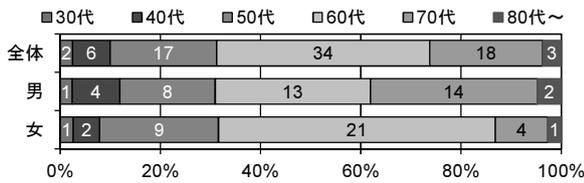


図13 年齢と性別の分布 (N = 80人)

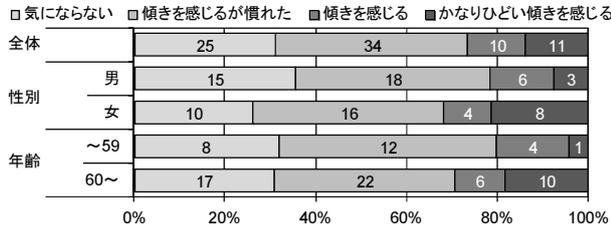


図14 調査実施時における傾斜に対する感覚 (N = 80人)

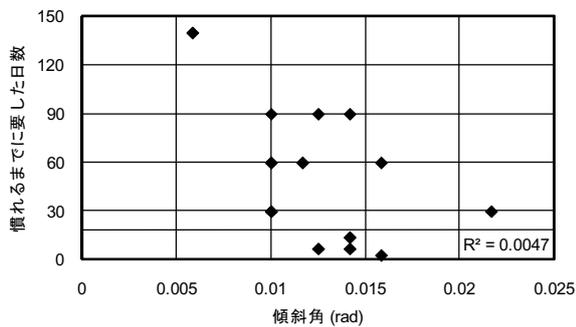


図15 傾斜に対し慣れるのに要した日数 (N = 傾斜角と慣れるまでに要した日数両方の回答があった15人)

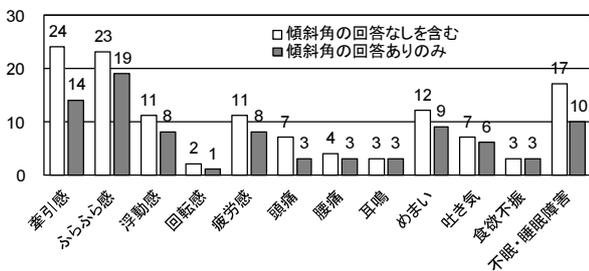


図16 地震後から調査時までには生じた健康障害の自覚症状 (傾斜角の回答なしを含む: 80人, 回答あり: 54人)

なお、症状の原因として、建物の傾斜だけではなく余震の影響も考えられるので注意が必要である。また、もともとあった症状が悪化した住民もあった。

傾斜を強く意識した住民 (図14で「気がならない」以外を回答した住民) は80名中55名 (男性27名, 女性28名) であった。この55名について、健康障害の自覚症状の変遷を図17に示す。症状の変遷は多様であり、個人差もあると考えられる。

外出に伴うめまい等の自覚症状の有無を図18に示す。女性や60歳以上の年齢層で多くの回答者に自覚症状が見られた。周りの建物や電柱等が傾いており、視覚から得る情報で症状が悪化する住民や、住宅の傾斜に慣れ、屋外が逆に傾いているように感じる住民もあった。傾きをもっとも強く感じる姿勢を図19に示す。立っているときに傾きをもっとも強く感じると回答した住民が多かった。また、立ち上がるときや、傾斜に向かって歩く、

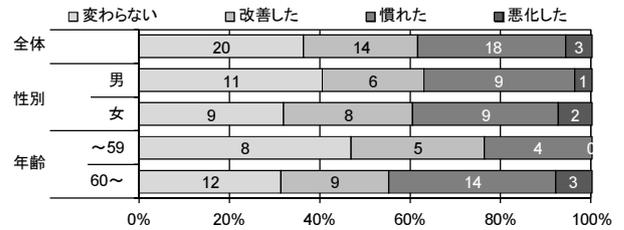


図17 健康障害の自覚症状の変遷 (N = 傾斜を強く意識した55人)

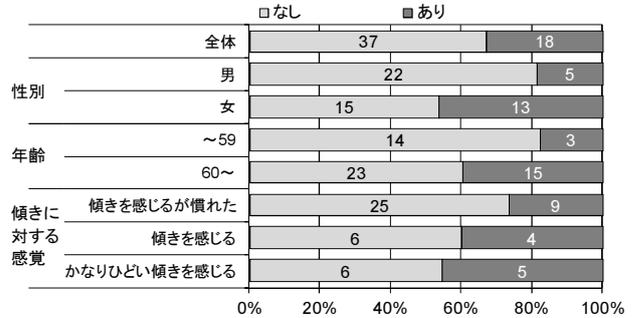


図18 外出に伴うめまい等の自覚症状 (N = 傾斜を強く意識した55人)

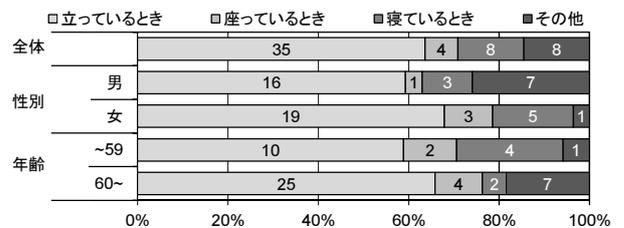


図19 傾きをもっとも強く感じる姿勢 (N = 傾斜を強く意識した55人)

階段を上るといったような動作と関連して自覚症状を感じる住民があった。

めまい等の自覚症状は加齢に伴っても現れる。そこで、まず、傾斜角が健康障害の原因となりうるか、同一の年齢層の回答者データを用いて分析を行った。傾斜角が明らかな回答者のデータを年齢層別に集計したところ、60代が22人、次いで50代:13人, 70代:11人, 他の年齢層は5人以下であった。最も人数が多い60代の回答者のデータについて、傾斜角が0.128 rad以上か未満か、図16に示す牽引感以外の項目の健康障害の自覚症状があるかないかの4通りで分類集計したところ、表1の結果となった。ここで、傾斜角0.128 radは後述する対数プロビットモデルの中央値である。また、図16に示す項目で牽引感を除外したのは、単純に床の傾斜を知覚して牽引感ありと回答している場合がありうるためである。

表2について、カイ二乗検定を行ったところ、 p 値0.0348の有意差が確認された。したがって、大きな傾斜により健康障害が現れることが統計的に示されたといえる。

本研究では傾斜角に関する健康障害の発生モデルの構築を行う。もし回答者の年齢と傾斜角の間に強い相関があると、健康障害の発生確率の変化が傾斜角によるものなのか年齢によるものなのか判別するのが難しくなる。そこで、自治体調査による傾斜角の回答があった43世帯54人のデータについて、傾斜角と回答者の年齢層の相関

関係を分析した結果を図 20 に示す。ここで、横軸は傾斜角の自然対数としているが、これは健康障害の発生モデルとして対数プロビットモデルを採用するためである。図 20 より、傾斜角と回答者の年齢層の間に弱い正の相関が見られるものの、決定係数 R^2 は 0.1019 と大きくないことが確認できる。したがって、高い年齢層のデータは傾斜角の広い範囲で分散しており、健康障害の発生モデルにおける傾斜角中央値の算出に大きな影響を与えないものと考えられる。

文献 1)では、 1° 以内の傾斜で訴えられる浮動感、回転感といった違和感は、広い意味でめまいとよんで差し支えないと思われるとの記述があり、また、牽引感は別個に訴えられる傾向があるとの記述も存在する。そこで、回答者のふらふら感、浮動感、回転感、めまいの自覚症状を「広義のめまい」として集計し、分析を行う。

傾斜角の回答があった 54 人中、広義のめまいの自覚症状があったのは 22 人、図 16 に示す牽引感以外の項目の健康障害の自覚症状があったのは 27 人であった。傾斜角と各自覚症状の発生の有無の関係をそれぞれ図 21, 22 に示す。ここで、症状ありを 100%、なしを 0%の線上に示している。本調査結果から、傾斜角が $1/100$ rad を超えると次第にめまいなどが多く発生し、文献 2)では調査が行われなかった傾斜角 $1/50$ rad 以下でも健康障害が見られることが確認できる。

次に、傾斜角を説明変数とした各自覚症状の発生確率の対数プロビットモデルを最尤法により求めた。ここでは、健康障害が発生する閾値が、独立に同一の確率分布に従う諸因子の掛け合わせでランダムに変動するものとし、中心極限定理により発生閾値が対数正規分布に従うものと仮定している¹⁾。

求めた健康障害の発生確率モデルについて、広義のめまいと牽引感を除く健康障害の自覚症状の評価結果をそれぞれ図21, 22に重ねて示す。表2に曲線のパラメータを示す。得られた健康障害の発生確率モデルの曲線は、ある閾値で急激に立ち上がり、緩やかに上昇している。

これは、傾斜角が大きいかにかかわらず健康障害がないデータがあることに起因している。

本研究の調査データでは、布基礎の割合が70%と高い。したがって、基礎が折損し、建物の一部の床で傾斜角が大きくなっているケースがあると推測される。もし、居住者が普段使用しない部屋で局部的に傾斜角が大きくなっているとすれば、健康に大きな影響を与えないことも考えられる。したがって、本研究で評価した発生確率モデルはこのような変動要因を含んだモデルであることに注意が必要である。

表1 傾斜角大小別に集計した健康障害（牽引感を除く）の有無（N = 60代で傾斜角の回答があった22人）

		健康障害		合計
		あり	なし	
傾斜角	0.128 rad以上	9	3	12
	0.128 rad未満	3	7	10
合計		12	10	22

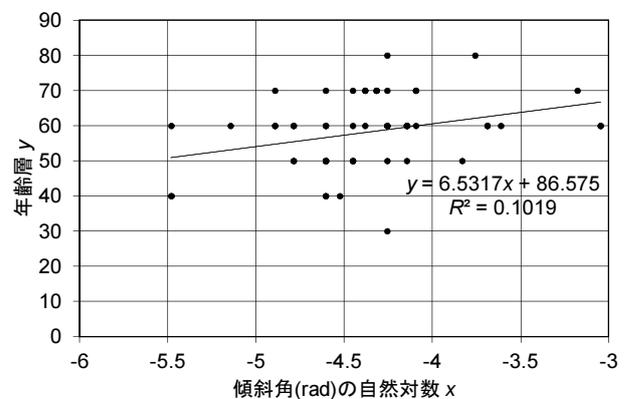


図20 傾きをもっとも強く感じる姿勢（N = 傾斜を強く意識した住民55人）

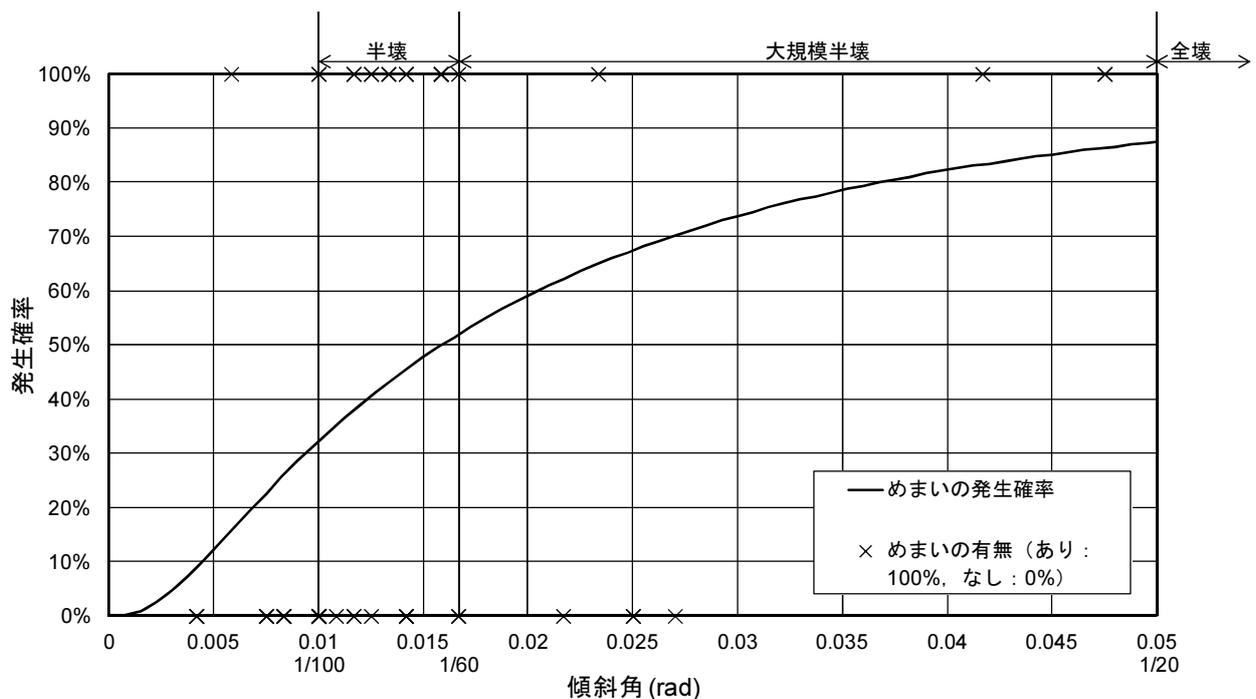


図 21 広義のめまいが発生した傾斜角とその発生確率モデル（N = 傾斜角の回答があった 54 人）

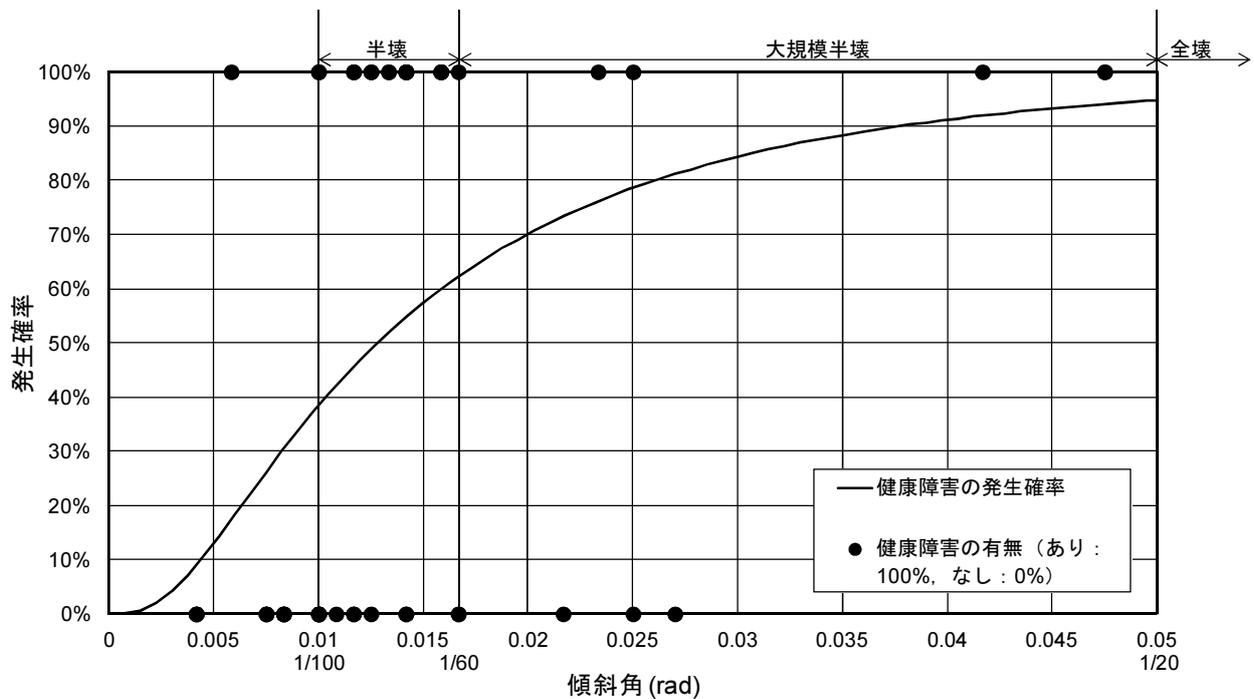


図 22 健康障害（牽引感を除く）が発生した傾斜角とその発生確率モデル（ $N =$ 傾斜角の回答があった 54 人）

表 2 最尤法により求めた健康障害発生確率の対数プロビットモデルのパラメータ

症状	対数 平均値	中央値	対数 標準偏差
広義のめまい	-4.14	0.0159 rad (=1/62.8)	0.997
健康障害（牽引 感を除く）	-4.36	0.0128 rad (=1/77.9)	0.842

上げます。また、千葉市都市局建築部建築保全課、社団法人日本建築構造技術者協会関東甲信越支部サテライト JSCA 千葉ならびに住宅改修相談会の相談員の方々の協力を得ました。朝日新聞千葉支局永井啓子記者からは調査データに関し貴重なご指摘を頂きました。記して謝意を表します。

補注

(1) 傾斜角の計測方法について

東日本大震災では、基礎と柱が一体的に傾く不同沈下の場合の傾斜による判定が見直しされた^{9), 10)}。傾斜による判定は以下のように行われる¹²⁾。

まず、住家に不同沈下があるかどうかを外観目視調査により把握するとともに、外壁または柱の傾斜を下げ振り等により測定し、判定を行う。傾斜は原則として住家の 1 階部分の外壁の四隅または四隅の柱を計測して単純平均したものとす。

第 1 次調査では、平均により求めた傾斜から、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割合で表す損害割合を算定し、住家の被害の程度を判定する。

第 1 次調査を実施した住家の被災者から申請があった場合、第 2 次調査を実施する。第 2 次調査では、各部位の損傷率を把握し、それに部位別の構成比を乗じたものの合計で住家の損害割合を算定することも行う。

第 2 次調査実施後、被災者から再調査の申請があった場合には、再調査に至る事情を聴取し、再調査が必要と考えられる点があれば、その点について再調査を行う。

本研究で用いた自治体の罹災証明発行のための調査による傾斜角データは、上記の調査過程を経ることから、被災者により調査時期が異なりうる。また、余震の影響や、液状化により生じた地盤の空隙が時間がたってから崩壊することなどにより、傾斜角が変動しうるため、注意が必要である。

4. 結論と今後の課題

2011 年東北地方太平洋沖地震による千葉市美浜区の液状化被災者に対しヒアリング調査を行い、自治体の罹災証明発行のための調査による傾斜角を説明変数とする健康障害の発生確率モデルを評価した。傾斜角が増すと次第に健康障害を訴える人が増えることが確認され、得られた対数プロビットモデルから、中央値約 0.013 rad を超えると健康障害の発生確率が 50% を超えることが明らかとなった。健康障害の発生の傾向には個人差があるが、住宅の傾斜は健康的な生活の妨げになりうるので注意する必要がある。

今後の課題として、健康障害の発生確率のモデルの信頼性を高めるため、データを拡充し評価することが挙げられる。文献 1) では数例の乳幼児の事例、文献 2) では 18 ~ 27 歳、本研究では 30 歳以上の住民への調査であった。そのため、特に 17 歳以下の若年層に対し、床の傾斜が健康障害に与える影響について詳しく調査を行うことが望まれる。

謝辞

調査にご協力頂いた千葉市美浜区民の方々にお礼申し

参考文献

- 1) 北原正章, 宇野良二: 傾斜室における眩暈と平衡—新潟地震による傾斜ビルの調査研究, 耳鼻咽喉科臨床, Vol. 58, No. 3, pp. 145-151, 1965.3
- 2) 宇野英隆, 遠藤佳宏: 人の平衡感覚に関する研究—傾いた床での生活の限界, 日本建築学会計画系論文集, No. 490, pp. 119-125, 1996.12
- 3) 遠藤佳宏, 宇野英隆: ヒトの平衡感覚に関する研究—床が傾斜している場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 計画系, pp. 1237-1238, 1981.9
- 4) 遠藤佳宏, 宇野英隆: ヒトの平衡感覚に関する研究—窓枠が傾斜している場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 計画系, pp. 1465-1466, 1982.10
- 5) 藤井衛, 伊集院博, 田村昌仁, 伊奈潔: 兵庫県南部地震の液状化地帯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, pp. 9-12, 1998.7
- 6) 安田進, 橋本隆雄: 鳥取県西部地震における住宅の液状化による沈下について, 土木学会第 57 回年次学術講演会, pp. 1029-1030, 2002.9
- 7) 安田進: 鳥取県西部地震による団地の被害, 日本建築学会総合論文誌, No. 2, pp. 45-46, 2004.2
- 8) 国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学会: 東北太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書, 2011.8
- 9) 内閣府: 防災情報のページ 災害に係る住家の被害認定, <http://bousai.go.jp/hou/unyou.html>, 2011.5
- 10) 内閣府 (防災担当): 地盤に係る住家被害認定の運用見直しについて, http://bousai.go.jp/hou/pdf/jiban_unyou.pdf, 2011.5
- 11) 日本建築学会: Excel で学ぶ地震リスク評価, 技報堂出版, 2011.8
- 12) 内閣府政策統括官 (防災担当) 付参事官 (災害復旧・復興担当): 地盤に係る住家被害認定の調査・判定方法について, 別紙 地盤に係る住家被害認定の調査・判定方法 <http://www.bousai.go.jp/hou/pdf/20110502-jimu.pdf>, 2011.5

(原稿受付 2012.1.6)

(登載決定 2012.7.9)