アンケート調査に基づく2016年熊本地震時の超高層集合住宅の揺れと室内被害

SHAKING AND INDOOR DAMAGES OF SUPER HIGH-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS DURING THE 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKE BASED ON QUESTIONNAIRE SURVEY

永野正行 — * 1 渡辺眞伍 — * 2
日野浦雄高 — * 2 鈴木賢人 — * 3

Masayuki NAGANO — * 1 Shingo WATANABE — * 2
Yutaka HINOURA — * 2 Kento SUZUKI — * 3

キーワード：
超高層集合住宅, 2016年熊本地震, アンケート調査, 室内被害, 亀裂

Keywords:
Super high-rise residential buildings, The 2016 Kumamoto earthquake, Questionnaire survey, Indoor damage, Crack

The objective of this report is to estimate the indoor damages of super-high-rise residential buildings during the 2016 Kumamoto earthquake through a questionnaire survey for residents. The survey was conducted for 8 super high-rise residential buildings in Kyushu Island including three in Kumamoto City in late May 2016, about 1 month after the main shock. Intensity of floor shaking in Kumamoto City was much stronger than that in Kanto area during the 2011 Tohoku earthquake. Cracks in wallpaper were noticeable in the middle floors which is different from the Kanto case, partly due to different characteristics of input motions.

1. はじめに

現在、関東、関西地域を中心として、国内には多数の超高層集合住宅が建設されている。2011年に発生した東北地方太平洋沖地震 (M_w 9.0, 以下、2011年東北地震) 時には、関東地域に建つ超高層集合住宅で室内被害が発生したことが報告されている¹⁾²⁾。2016年4月には熊本地震が発生し、木造住宅に大きな被害が見られた益城町で震度7を2回記録した³⁾。熊本市内でも最大震度6強が記録され、長周期地震動階級は4となっている⁴⁾。熊本市内には20階建て以上の超高層集合住宅が3棟建設されているのをはじめ、九州地方でも多数建設されている。2016年熊本地震時には、特に震源近傍の熊本市で建物応答や室内被害に与える影響は大きかったものと推定される。1質点系モデルを利用した検討⁵⁾でも、頂部変形角が1/200 radを超える比較的大きな応答となったケースも見られる。2016年熊本地震により発生した長周期地震動の揺れについて、広域的なアンケート調査は行われている⁶⁾ものの、サンプル数は必ずしも多くない。内陸地殻内地震による室内被害調査として、1995年兵庫県南部地震時の大阪湾沿岸部に建つ超高層集合住宅でアンケート調査が行われているが、壁紙等の亀裂に関する情報は見られない⁷⁾。

著者らは、2016年熊本地震発生の約1ヶ月後の2016年5月下旬

に、熊本市、久留米市、福岡市に建設されている20階建て以上もしくは軒高60m以上の超高層集合住宅を選定し、その居住者を対象にアンケート調査を実施した。本稿では、居住者の行動難度や揺れの体感、家具の転倒や壁紙の亀裂等の被害状況について、2011年東北地震時の結果¹⁾²⁾と対比させながら検討を行った。得られた知見は、海溝型巨大地震だけではなく、内陸地殻内地震に対する超高層集合住宅の居住者の行動及び室内被害を把握する上で、有用なデータとなるものと考えられる。

2. 調査対象建物とアンケートの概要

2016年熊本地震本震発生の約1ヶ月後の2016年5月下旬に、熊本

表1 調査対象建物一覧

建物	立地	構造	竣工年	階数	建物	立地	構造	竣工年	階数
EA	熊本市	SRC	2003	20	EF	福岡市	RC	1995	20
EB	熊本市	RC	2006	25	EG	福岡市	RC	2004	27
EC	熊本市	RC/制震	2011	36	EH	福岡市	RC/制震	2010	29
ED	久留米市	RC	2012	19	EJ	福岡市	RC/制震	2010	29

図1 調査対象建物位置

図2 アンケート対象住戸数と本震時における住戸滞在の有無

¹⁾ 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士 (工学)
(〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

²⁾ 東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻 修士課程

³⁾ (国研) 森林研究・整備機構森林総合研究所 博士 (工学)

¹⁾ Prof., Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

²⁾ Grad. Student, Dept. of Architecture, Graduate School of Science and Technology, Tokyo Univ. of Science

³⁾ Forestry and Forest Products Research Institute, Dr. Eng.

図3 本震時の居住者の状況

図4 体感震度に関する回答結果（お住まいはどの程度の揺れと感じましたか）

で3棟、久留米で2棟、福岡で5棟の計10棟の超高層集合住宅の居住者を対象として、アンケート調査を実施した。調査では、アンケート用紙を集合ポストに投函し、同封した返信用封筒により回答を回収した。本稿では、免震建物(久留米1棟、福岡1棟)を除く8棟を対象にアンケート結果をとりまとめた。検討対象とした超高層集合住宅の階数および概要を表1に、建物の位置を図1に示す。表中、断りの無いものは耐震構造となっている。

アンケート調査は、筆者らが2011年東北地震で実施した内容⁸⁾とほぼ同じであるが、エレベータの稼働状況、電気・ガス・水道等のライフライン、緊急地震速報や居住階の被害の程度、建物への滞在可否に関わる情報がどの程度必要か、に関する質問も追加した。2016年熊本地震では、4月16日1時25分に発生したM_j7.3の地震（以下、本震と記す。）の前に、4月14日21時26分に発生したM_j6.5の地震（前震）が発生している。前震の影響は入っているとは考えられるものの、本アンケートでは居住者に対し、本震および本震後についての状況を回答するようにお願いしている。

各地域のアンケート回答数と本震時における住戸滞在の有無を図2に示す。アンケートの回収率は熊本、久留米、福岡で、それぞれ約5割、約4割、約3割であった。2011年東北地震時の関東地域の約2割（16棟、有効回答数806²⁾）に比べ、高い回収率と言える。

3. 本震時の揺れに関する体感

本震時に超高層集合住宅に滞在していた居住者に対し、その時の状況および揺れの体感について質問した。地震発生時の居住者の状況を図3に示す。深夜1時25分に本震が発生したが、地震の揺れにより就寝中の居住者のほぼ全員が目覚めた。本報告では、「お住まいはどの程度の揺れと感じましたか」に対する回答を「体感震度」と呼び、「あなたの感じた地震の揺れの大きさはどのくらいでしたか」に対する回答を「行動難度」と定義する。

体感震度および行動難度についてのアンケート結果を図4、図5に示す。なお、本震時の震度は、熊本市で最大震度6強、久留米市で最大震度5強、福岡市の多くの地点で震度4となっている⁹⁾。アンケート回答は、各建物を高さ方向で概ね3等分し、低層、中層、高層のそれぞれの階に分類した。また、熊本、久留米、福岡の地域別に結果を集計した。いずれも、有効回答数を基準に百分率で示し、2011年東北地震時の関東地域(計測震度は5弱～5強)における居住者のアンケート結果と比較した。体感震度に関しては、居住者には気象庁震度階解説等の説明は特にせず、直感で回答していただいている。これは関東地域でのアンケート調査と同じ条件である。

- わずかに揺れを感じたが行動には支障がない
- はっきりした揺れを感じたが行動には支障がない
- 歩いたり動いたりすることにやや支障がある
- 立っていることができない
- 揺れに翻弄され、自分の意志で何も行動できない

図5 行動難度に関する回答結果（あなたの感じた地震の揺れの大きさはどのくらいでしたか）

- 怖くなかった
- 余り怖くなかった
- 少し怖かった
- 怖かった
- 非常に怖かった

図6 不安度に関する回答結果（大きな揺れの間は怖いと感じましたか）

熊本の居住者は、全体の半数以上が震度7と回答しており、高層になるにつれて体感震度が大きくなり、高層では約7割が震度7としている。高層で大きくなる傾向は、2011年東北地震時の関東地域と同様であるが、熊本の方が体感震度は大きく、両者の揺れの強さの違いが反映されているものと推定される。震源から離れる久留米、福岡の体感震度は、熊本に比べ大きく低下し、層による明確な違いは見られない。

行動難度について、熊本では「揺れに翻弄され、自分の意志で何も行動できない」「立っていることができない」を合わせた回答が8割以上を占め、建物の揺れが極めて大きかったことが分かる。関東地域

図7 揺れの感じ方に関する回答結果（どのような揺れを感じましたか）

図8 室内の家具の固定状況に関する回答結果（部屋の中のタンス、冷蔵庫、本棚、食器棚などは動かないように固定していましたか）

図9 家具や家電製品等の移動状況に関する回答結果（タンス、冷蔵庫、食器棚などはどうなりましたか）

では両者を合わせた回答が高層になるにつれ大きくなるのに対し、熊本では低層・中層でも「立っていることができない」との回答が多かった。

地震時の不安度に関する回答結果を図6に示す。熊本で「非常に怖かった」「怖かった」との回答数が大きく9割以上を占める。久留米、福岡においても半数近くに達している。体感震度については、高層階ほど大きくなっていったが、不安度については階による違いは見られない。関東地域での最大震度は5強程度¹⁰⁾であり熊本市よりも小さいが、不安度は両者で大きく変わらない。別途調査を行った大きな揺れを感じた時間に関するアンケート回答結果では、関東地域で3～5分、5～10分が、熊本では30秒以下、1～2分が半数以上を占めた。このことより、2011年東北地震時の関東地域における地震応答の継続時間が熊本に比べ長かったことが、両地域で同等の不安度となった一因と推察される。

熊本、福岡、関東の各地域を対象に、どのような揺れを感じたかに関する回答結果を図7に示す。この質問は複数回答が可能となっているため、それぞれの回答数を図2の「住戸に滞在していた」数で割

り、それを百分率で示した。熊本では、「上下に突き上げるような揺れ」「突然動きが大きくなる感じの揺れ」の回答数が最も多い。熊本は震源域に近く、振幅の大きいパルス性の地震動が建物に入力したことが原因と考えられる。特に、熊本の高層階では「上下に突き上げられるような揺れ」との回答が80%近くに達している。それに対し、福岡では「ゆったりとした揺れ」と回答した居住者が最も多く、高層になるにつれその割合は増加している。福岡では「ガタガタと細かく左右に動く揺れ」と回答した居住者の割合が多く、逆に「上下に突き上げられるような揺れ」との回答は極めて小さい。福岡と関東の地域では「ゆったりとした揺れ」の割合がともに大きい。関東地域で大きく見られた「突然動きが大きくなる感じの揺れ」の回答は福岡では小さかった。

4. 室内および建物の被害状況

本震時に住戸に滞在していなかった居住者を含めた全ての居住者に対して、本震後における室内の被害状況に関する質問をした。室内の家具の固定状況に関する回答結果を図8に示す。全ての地域にお

いて家具の固定を「全くしていない」と回答した居住者は半分以上を占めている。熊本では、「ある程度していた」と回答した割合が2割ほどいるものの、2011年東北地震時の関東地域と変わらず、どの地域においても「十分にしていた（動く家具がない）」と回答した居住者は極めて少なかった。

家具や家電製品等の移動状況に関する質問の回答結果を図9に示す。熊本の高層では、「多くのものが転倒、または大きく移動した」との回答が1/4に達し、室内被害が大きかったものと推定される。また、「多くのものが転倒、または大きく移動した」～「一部転倒、または移動した」と回答した居住者の割合がどの階層でも5割を超えた。また、関東地域と同様に高層になるにつれて被害が増加する傾向が見られる。久留米、福岡では家具などの移動は少ない。

熊本3棟における室内のダンス、冷蔵庫、食器棚等の家具の固定度と移動度の関係を図10に示す。家具の固定度は「全くしていない」から「十分にしていた」を1～5の5段階で、家具の移動状況は「全く動いていない」を0、「多くのものが転倒または大きく移動した」を0.8として5段階で評価した²⁾。家具の移動度は、評価値とそれに対応した回答の数をかけ、家具の固定度で分けた回答数の合計で割ったものを示す。家具の移動度は、高層>中層>低層となっており、いずれの層でも家具の固定度が高いほうが、家具の移動度は低下している。家具の固定度については、「十分にしていた」の回答サンプル数が少なく統計情報としては必ずしも十分ではないものの、家具の固定が地震時における家具の移動に対して効果的である傾向が見られる。

食器、本、テーブルの上の小物等の散乱状況についての質問の回答結果を図11に示す。いずれの地域でも、高層になるにつれ「落ちたり壊れたりした」と回答した居住者の割合が増加している。ダンス、冷蔵庫、食器棚の移動状況と同様に、熊本での小物等の散乱状況は関東地域に比べ大きい。

室内の壁紙などの内装材の亀裂の有無についての質問の回答結果を図12に示す。壁紙の亀裂は、地震応答時の建物の最大応答層間変形角と関連付けられる重要な指標となる¹⁾。熊本では、壁紙等の亀裂度合いは久留米、福岡、関東の各地域に比べ大きく、「多くの亀裂

図10 家具の固定度と家具の移動度の関係（熊本のみ）

が見られた」～「多少亀裂が見られた」で8割以上となっている。2011年東北地震の関東地域では、家具の転倒状況とは逆に、低層になるほど壁紙等の亀裂の度合いは大きかった。一方、熊本では低層だけではなく、中層、高層でも壁紙等の亀裂の度合いは大きかった。熊本市は震源域に近く、振幅の大きいパルス性の地震動が入力したことにより、中層で層間変形角が大きくなったことと対応する¹²⁾。柱、壁、梁などのコンクリート部分の亀裂に関する回答結果を図13に示す。全体的な傾向は、図12の壁紙亀裂と同じである。ただし、久留米で内装材亀裂がほとんど見られなかった原因は不明である。

エレベータの稼働状況、電気・ガス・水道等のライフラインやエレベータの稼働停止に関する質問については、熊本ではほぼ全員からいずれも一定期間停止したことが回答されている。しかしながら、その停止期間については、回答者によるばらつきが大きく、特定は困難であった。

5. 自由記述欄の回答結果

アンケート調査では、室内被害に関し、地震中の建物の揺れに関し感じたことや室内におけるけがの有無、部屋の状況及び被害、その他気づいた点、不安な点に関し、自由記述の質問項目を設けていた。

図11 小物等の散乱状況についての回答結果（食器、本、テーブルの上の小物等はどうなりましたか）

図12 内装材の亀裂に関する回答結果（室内の壁紙の内装材に亀裂は見られましたか）

図 13 コンクリート部分の亀裂に関する回答結果（柱、壁、梁などのコンクリート部分に亀裂は見られましたか）

図 14 自由記述欄のコメント種類の回答数（熊本のみ）

図 15 緊急地震速報の必要性（熊本のみ）

図 16 居住階の被害状況の必要性（熊本のみ）

図 17 現在住んでいる建物に今後も住めるかどうかの情報の必要性（熊本のみ）

ここでは、室内被害の大きい熊本における 165 名による回答結果の傾向を取りまとめた。延べコメント数は 334 件であり、類似する記述の件数を集計した結果を図 14 に示す。

地震後の建物に起こった被害についての記述が最も多く、その次に余震を不安に思うコメントが多かった。余震の多さにいつ収まるのか、また大きな揺れが来るのではないかと不安に感じる居住者は多く、もう一度大きな地震が発生した時に建物が耐えることができるのかを不安に感じる居住者も多く見られた。2011 東北地震時の関東地域で見られた、超高層集合住宅の耐震性に安心したといったコメント¹⁾は熊本では見られなかった。地震時の揺れの最中の音（ミシミシ、ギーギー等）や小物の落下音により、恐怖感が増したと回答した居住者も多く見られた。怪我に関しては、主に打撲などの怪我をしたという回答が多く、地震で割れたガラス片などを踏み怪我をするといったケースも見られた。直下型地震だったため緊急地震速報の通知が地震の揺れ始めよりも遅く意味があるのかといったコメントや、緊急地震速報の通知音により恐怖感が増したといった意見も見られた。地震によるエレベータの停止により、高齢者や認知症の居住者が避難することができないといったコメントも見られ、超高層集

合住宅の避難方法に関し災害弱者に対する何らかの対応が必要と考えられる。一部の建物では、地震発生後に立体駐車場が長期に亘って使えない、駐車していた車に被害が発生したといったコメントが見られた。

6. 地震前後に必要な情報について

地震発生前後に、緊急地震速報や居住階の被害の程度、現在住んでいる建物に今後も住むことができるかの情報がどの程度必要かの質問を設定し、「不要」から「絶対に必要」までを 5 段階で回答していただいた。室内被害の大きかった熊本 3 棟のアンケート結果を図 15, 16, 17 に示す。

ほとんどの居住者はこれらの情報の必要性を感じており、緊急地震速報や居住階の被害の情報は、「絶対に必要」「必要」と回答した居住者は 7 割～8 割程度見られた。「不要」と回答した居住者がごくわずかに見られた。「現在住んでいる建物に今後も住むことができるかの情報」については、8 割以上の居住者が「絶対に必要」と回答している。これらの結果より、居住階の被害の状況そのものよりも、建物の利用可否に関する情報が切実に必要であると感じている様子が伺

える。

7. まとめ

九州地方における超高層集合住宅の居住者を対象にアンケート調査を行い、2016 年熊本地震本震時の揺れの感じ方や室内被害の状況を取りまとめ、2011 年東北地震時の関東地域における結果と対比させながら検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 熊本では高層になるにつれ体感震度と行動難度が高くなった。熊本では全体の半数以上が体感震度を 7 と回答しており、2011 年東北地震時の関東地域よりも建物の揺れが大きかったものと推定される。
- 2) 熊本の高層階では「上下に突き上げられるような揺れ」との回答が 80%近くに達している。それに対し、震源から離れた福岡では「ゆったりとした揺れ」と回答した居住者が最も多く、高層になるにつれその割合は増加している。
- 3) 家具や家電製品等の移動状況について、熊本の高層では「多くのものが転倒、または大きく移動した」との回答が 1/4 に達し、室内被害が大きかったものと推定される。高層になるほど家具の転倒や移動、小物の散乱などの室内被害が増加する傾向は、関東地域と同様に認められた。
- 4) 熊本では家具の固定度が高い場合にその移動度は低下しており、地震時では家具の移動に対して家具の固定が効果的である傾向が見られる。
- 5) 2011 年東北地震時の関東地域では、低層になるほど壁紙等の亀裂の度合いは大きかった。一方、熊本では中層での被害が最も大きい結果となった。熊本ではパルス性の地震動が入力したことにより、関東地域との違いが現れたものと推察される。
- 6) 「現在住んでいる建物に今後も住むことができるかの情報」については、8 割以上の居住者が絶対に必要と回答しており、居住階の被害の状況そのものよりも、建物の利用可否に関する情報が切実に必要であると感じている。

謝辞

本研究において、アンケートに回答していただいた超高層集合住宅の居住者の皆さまには大変貴重なご意見を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。一部図の作成に GMT5 を利用いたしました。査読者からのコメントは本原稿を改善する上で有益でした。

参考文献

- 1) 肥田剛典, 永野正行: アンケート調査に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震時の超高層集合住宅の揺れと被害, 日本建築学会技術報告集, 第 18 巻, 第 39 号, pp.579-584, 2012.6
- 2) 肥田剛典, 永野正行: 2011 年東北地方太平洋沖地震時における強震記録とアンケート調査に基づく超高層集合住宅の応答の推定, 日本建築学会構造系論文集, 第 78 巻, 第 683 号, pp.51-60, 2013.1
- 3) 国土技術政策総合研究所, 建築研究所: 平成 28 年熊本地震建築物被害調査報告 (速報), 国総研資料 第 929 号, 建築研究資料 第 173 号, 2016.9
- 4) 気象庁: 長周期地震動に関する観測情報 (試行), http://www.data.jma.go.jp/svd/eqw/data/ltpgm_explain/data/past/past_list.html (参照 2017 年 10 月)
- 5) 成島慶, 永野正行, 鈴木賢人: 2016 年熊本地震時の国内超高層 RC 造集合

住宅の最大平均層間変形角分布に関する分析, 日本地震工学会・大会 - 2016 梗概集, P3-17, p.9, 2016.9

- 6) 気象庁地震火山部管理課地震津波防災対策室: 熊本地震における長周期地震動の実態調査 報告書, http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/study-panel/eev-hyoka/09/shiryoku4_2.pdf (参照 2017 年 10 月)
- 7) 住宅・都市整備公団, 鴻池組: 1995 年兵庫県南部地震 高見フローラルタウン 15 号棟超高層 RC 造集合住宅の地震応答記録からの耐震性に関する調査報告, 1996.3
- 8) 永野正行, 他: 付録 4 強震記録とアンケートに基づく超高層集合住宅の調査結果, 長周期地震動と超高層建物の対応策 一専門家として知っておきたいこと -, pp.470-482, 日本建築学会, 2013.10
- 9) 気象庁 HP, 震度データベース検索, <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/> (参照 2017 年 10 月)
- 10) 永野正行: 地震動の特徴 - 2011 年東北地方太平洋沖地震時の強震記録から見る地盤増幅 -, 第 9 回構造物と地盤の動的相互作用シンポジウム「最近の被害地震における地盤震動・動的相互作用の現象把握と構造設計への取り込み」, pp.5-16, 日本建築学会, 2013.1.11
- 11) 山根義康, 永野正行, 肥田剛典, 保井美敏, 山本健史, 井川望, 田沼毅彦: 2011 年東北地方太平洋沖地震時における超高層集合住宅の室内被害の分析と建物応答との対応, 日本建築学会技術報告集, 第 20 巻, 第 44 号, pp.67-72, 2014.2
- 12) 日野浦雄高, 他: 超高層 RC 造集合住宅を対象とした多質点汎用モデルの構築と 2016 年熊本地震による建物応答の推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.665-666, 2017.8

[2017 年 10 月 3 日原稿受理 2017 年 11 月 16 日採用決定]