

東北地方太平洋沖地震での長周期地震動の影響および室内被害についてのメモ

翠川三郎

1. 長周期地震動による高層ビルの揺れとその影響

東京都心部で観測された地震動は、計測震度で5弱～5強、最大加速度で 200cm/s^2 前後、最大速度 $20\sim 30\text{cm/s}$ 程度のものが多かった(津野・翠川・他、2011)。激しい揺れが1～2分続いた後に長周期の成分の揺れが10分程度続いた(建築研究所、2011)。

東京での高層ビルの揺れについては、都庁第一庁舎で 65cm (東京都財務局、2011)、54階建オフィスビルで 54cm (大成建設、2011)、29階建大学校舎で 37cm (久田、2011)、37階建住宅で 32cm (翠川・他、2011)などの最大変位(片振幅)が観測され、建物の揺れは10分以上続いた(建築研究所、2011)。また、32階建住宅では地上階に対する最上階の相対変位約 40cm が観測されている(建築研究所、2011)。

揺れによる高層建物での被害や影響については、日本建築学会、東京消防庁、東京都等が調査しつつあり、今後その結果が発表されるものと思われる。現在、発表されているものとしては、前述の29階建大学校舎で、天井材の落下、コピー機の移動、書類の散乱、パーティションの損壊などが報告されている(久田、2011)。また、複数の高層住宅で室内被害は軽微だったことも報告されている(斉藤・他、2011)。以下に都内の37階建住宅での調査事例(翠川・他、2011)を示す。

この建物の最上階では加速度で約 200cm/s^2 、速度で約 50cm/s 、変位で約 30cm の揺れが観測された。建物の被害としては、外壁のタイルの部分的な被害、戸境壁の壁紙の亀裂、廊下玄関脇の壁のモルタルの剥離など、軽微なものがみられた。エレベータは地震により4台とも停止し、18時頃復旧した。停電は生じなかったが、ガスの供給は建物全体の遮断装置により停止し、22時頃復旧した。

住民に対してアンケート調査を行い、414戸のうち134戸から回答を得た。質問項目は、揺れによる物品の挙動や感じ方、地震時や地震直後の行動、家具の固定状況である。すわりの悪いものや棚の上のもの動きは数多くみられ、上階に行く程動きが顕著だった傾向がみられる。重い家具や食器類の動きはあまりみられなかった。テレビ台に大きな動きがみられるものもあった。怖さの程度は、かなり怖かったや非常に怖かったの回答が多かった。揺れている間の行動としては、玄関の扉を開ける、部屋の扉を開ける、火の始末をする、そのまま様子を見る、などが多く、上層階では、家具をおさえる、も多かった。回答から住民はおおむね冷静に行動したように見える。揺れがおさまってから10分くらいの間の行動としては、テレビをつける、が最も多く、上層階では、電話をかける、携帯メールを送る、も多かった。家具の固定度は、タンスや食器棚、本棚は25%程度、テレビは10%程度、冷蔵庫は5%程度だった。

既往の振動台実験結果から今回程度の強さの揺れでは家具への影響は小さいことが知られており、アンケート結果と実験結果は整合している。しかし、東海地震の際の東京での超高層ビルの応答は今回の揺れの2倍を超えることが予想されており(日本建築学会、2007)、その場合に家具の転倒危険度や居住者への影響は大きく増大する。今回の地震で影響が少なかったからといって将来の地震に対して安心できるとは限らないことに注意すべきであろう。

なお、大阪でも、震度3だったにもかかわらず55階建オフィスビルが1.4m程度揺れ、内装材や防火戸、エレベーターなどに被害が生じたとの報告(大阪府総務部、2011)があり、大規模平野に位置する大都市圏で長周期地震動の危険性が高いことが再認識された。

関連して、大手5社が保守を行っているエレベーターのうち、北海道、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、群馬県、埼玉県、千葉県、秋田県、山形県、東京都、神奈川県、山梨県、静岡県、愛知県において、地震により計210台で閉じ込めが発生した(国交省住宅局,2011)。

2. 室内被害

天井の落下が、ホール、体育館、室内プール、空港、駅、大規模商業施設、競馬場、ボーリング場、議会場、オフィス、工場などで、多数みられ、死傷者が発生した。件数は不明であるが少なくとも数百件を越えるものと推測される。例えば、日本建築学会災害調査速報(2011)によれば、体育館やホール、大規模商業施設などの大空間施設593棟で震動により被害が生じ、それらの多くで天井の被害がみられ、これ以外にもオフィスなど一般建築物でも天井の被害が多数あったことが報告されている。

家具等の転倒も多数みられた。詳細は不明であるが、関連するデータとして、サーベイリサーチセンター(2011)の調査によると、家具やガラスが割れたと回答した割合は、東京都で10%、千葉県(首都圏)で16%などで、今後家具を固定したいと回答している割合は東京都で41%、千葉県(首都圏)で45%などとなっている。また、東京消防庁(2011)の調査では約30%の都民が家具の転倒落下等があったと回答している。

これらの被害による負傷者について不明の点が多いが、例えば、東京消防庁管内の救急搬送人員は、余震も含めて、家具・家電によるものが36名、天井によるものが28名となっている。

3. その他

- ✓ 液状化 臨海埋立地だけでなく内陸の埋め立てた宅地でも発生(古地図による評価)
- ✓ 重要施設の被害 それによる物資や電力の不足、復旧活動の支障
- ✓ 大量の住宅被害 仮設住宅の用地難、必要数確保が困難、利便性の低下、避難所の長期化

このような事態は、首都直下地震ではさらに深刻となることが危惧される。100万戸程度の仮設住宅が必要とされているが、生産能力や用地の関係から10万戸強の仮設住宅しか準備できないと想定されている。まさに民間賃貸住宅の利用が不可欠となるが、5万円の家賃補助をしても借り上げ住宅利用者は60万戸程度で、残りの30万戸は避難所にとどまったり疎開生活をするとシミュレーション結果もある(佐藤・中林・翠川、2008)。

2011 年東北地方太平洋沖地震における 東京の超高層マンションでの揺れに関するアンケート調査 Questionnaire Survey on Effect of Shaking at Highrise Apartment in Tokyo during the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

○翠川 三郎¹, 三浦 弘之¹, 堀 苑子¹, 鹿嶋 俊英²
Saburoh MIDORIKAWA¹, Hiroyuki MIURA¹, Sonoko HORI¹ and Toshihide KASHIMA²

¹ 東京工業大学 人間環境システム専攻

Department of Built Environment, Tokyo Institute of Technology

² (独)建築研究所 国際地震工学センター

International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute

The questionnaire survey at a highrise apartment in Tokyo was conducted to investigate effects of shaking to residents and building contents during the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake. In the building, the observed peak accelerations are 100 and 200 gals on the first and upper floors, respectively. Although the residents felt fear during the earthquake, they behaved calmly and the effects to building contents were small. It is, however, expected that the effects to building contents will be largely increased during the anticipated Tokai earthquake.

Keywords : Effect of Shaking, Long-Period Motion, Highrise Apartment, The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Questionnaire Survey

1. はじめに

東京などの大規模平野では長周期地震動が生じやすく、それによる超高層建物やその居住者への影響が懸念されている。2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震では東京でも震度5弱～強の揺れを生じ、都心にある超高層マンションでは、最上層階で約200gal、1階で約100galの最大加速度が観測された。長周期地震動に対する今後の対策に資するために、超高層建物の揺れが居住者や室内被害に及ぼす影響について、このマンションの住民に対してアンケート調査を行った。ここでは、その結果について報告する。

2. 建物及び地震記録の概要

対象建物は東京都中央区に建つ地上37階、地下2階、高さ約120mのRC造住宅である。2階から37階までが居室となっており、全424戸の大規模賃貸マンションである。建物の被害としては、外壁のタイルの部分的な被害、戸境壁の壁紙の亀裂、廊下玄関脇の壁のモルタルの剥離など、軽微なものがみられた。エレベータは地震により4台とも停止し、18時頃復旧した。停電は生じなかったが、ガスの供給は建物全体の遮断装置により停止し、22時頃復旧した。

表1 観測された最大加速度、速度、変位

		最大加速度 (cm/s/s)	最大速度 (cm/s)	最大変位 (cm)
37階	NS	161.7	49.9	29.5
	EW	198.3	42.3	32.2
	UD	108.4	10.2	16.6
18階	NS	118.3	31.1	24.5
	EW	140.7	30.0	24.0
	UD	63.9	10.0	16.6
1階	NS	86.6	19.5	21.9
	EW	97.5	18.3	17.2
	UD	40.5	10.0	19.4

強震計は1階、18階、37階に設置されている。観測された最大加速度、速度、変位の値を表1に示す。1階では、それぞれ約100gal、約20cm/s、約20cmで、18階で約140gal、約30cm/s、約25cmで、37階で約200gal、約50cm/s、約30cmだった。各階で観測された加速度波形(EW成分)を図1に示す。大きな揺れが4～5分続いている。

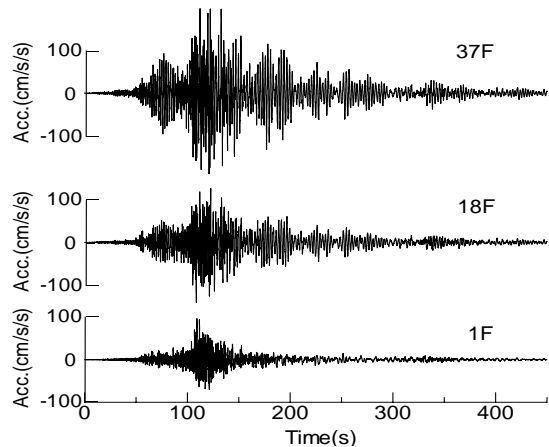


図1 各階での加速度波形(EW成分)

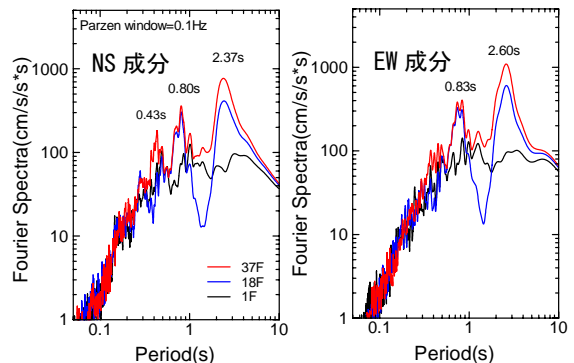


図2 各階での記録のフーリエスペクトル

ることがわかる。図2に示した上層階のスペクトルでは周期2.5秒程度の1次振動成分が卓越しているが、周期1秒以下の高次振動成分もみられる。

3. アンケート調査

居住している414戸に対して3月19日にアンケート用紙を配布し、134戸から回答を得た。質問項目は、太田・他(1979)のものを参考として、揺れについて7項目を設定し、地震時や地震直後の行動、家具の固定状況についての項目も追加した。

図3に6階ごとに回答を集計した結果を示す。すわりの悪いものの動きは数多くみられ、上階に行く程動きが顕著だった傾向がみられる。重い家具や食器類の動きはあまりみられない。テレビには大きな動きがみられるものもあった。全般に家具転倒などの室内被害はあまりみられない。怖さの程度は、かなり怖かったや非常に怖かったの回答が多かった。また、建物の揺れの印象、揺れに対する驚きや怖さの程度は20～25階でより大きなものだった。

揺れている間の行動としては、玄関の扉を開ける、部屋の扉を開ける、火の始末をする、そのまま様子を見る、などが多く、上層階では、家具をおさえる、も多かった。回答から住民はおおむね冷静に行動したように見える。揺れがおさまってから10分くらいの間の行動としては、テレビをつける、が最も多く、上層階では、電話をかける、携帯メールを送る、も多かった。家具の固定度は、階数によらず、タンスや食器棚、本棚は25%程度、テレビは10%程度、冷蔵庫は5%程度だった。ただし、飾り棚は上層階で20%程度、下層階で10%弱と、階数による違いがみられた。

なお、自治会の方にヒアリングをしたところ、1)外にいた住民が建物が大きく揺れるのをみた、2)37階では、つかまらないう歩けないくらいの揺れで、家具は倒れなかったがワイングラスや掛け時計が落ちた、3)不安で30階くらいにある居室から1階におりた住民もいた、などの証言も得た。

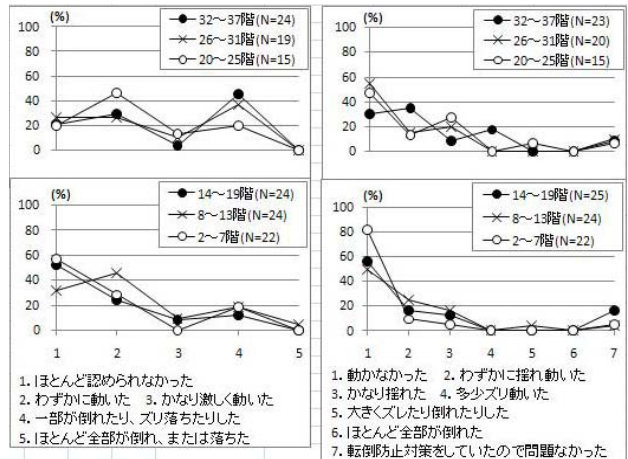
4. 考察とまとめ

アンケート結果から、住民は大きな恐怖を感じたものの、おおむね冷静に行動し、家具の転倒や大きな移動はあまりみられなかったことがわかる。前述したように上層階での最大速度は30～50cm/sで、この速度の揺れでの不安度は、貞広・他(2006)の振動台実験によれば、やや不安を感じる程度であるが、今回の結果は大きな不安を与えている。これは、今回の揺れの継続時間が非常に長かったことや、振動台実験では周囲に物品がなく、物品の挙動や揺れによる建物からの音などから不安感が増幅されたためとも推測できる。

なお、前述したように、驚き・怖さの程度などが最上階付近でなく20～25階でより大きかったことについては、建物の高次モードの振動による影響の可能性も考えられる。今後、地震応答解析を行って、各階の揺れの大きさを計算し検討したい。

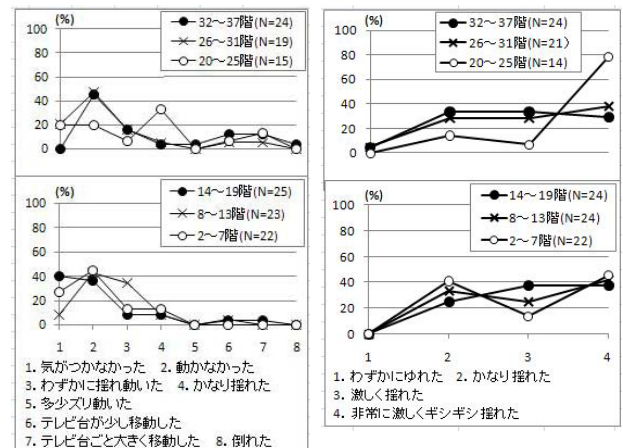
家具への影響については、金子(2002)の予測式によれば、この速度の揺れでの転倒率は、本棚で20～40%、タンスで10%以下、となる。転倒するには加速度も必要で、上層階での最大加速度が140～200galとそれ程は大きくなかったことを考え合わせると、室内被害があまりみられなかったという今回の結果は既往の予測式と整合している。

しかし、東海地震の際の東京での超高層ビルの応答は100cm/sを越える場合も予想されており(日本建築学会, 2007)、その場合に予測式から判断すると転倒危険度は大きく増大する。また、重い家具に比べてテレビの転倒危険度がより高いことが振動台実験から指摘されており(久保川・他, 2011)、今回の結果でも同様の傾向がみられることから、より注意が必要である。今回の地震で影響が少なかったからといって将来の地震に対して安心できるとは限らないことに注意すべきである。



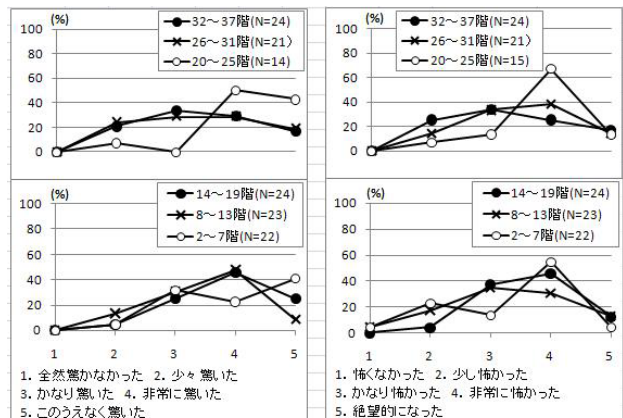
(a) すわりの悪いものの動き

(b) 重い家具の動き



(c) テレビの動き

(d) 建物の揺れ



(e) 揺れに対する驚きの程度 (f) 揺れに対する怖さの程度

図3 各階レベルでの家具類の動きや驚き・怖さの程度