

津波による建築物の被害

国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人建築研究所 津波被害調査班*

1. はじめに

本調査は、津波による建築物の被害事例の収集、構造種別毎の被害形態分類、建築物に作用する津波波力及び建築物耐力の計算の比較検討等により、津波による建築物被害の全体像を把握し、建築物の被害発生メカニズム考察のための基礎的資料を得るとともに、津波避難ビル等の建築物の津波荷重や耐津波設計等に資することを目的としている。

国土交通省国土技術政策総合研究所と独立行政法人建築研究所においては、合同の自主調査という位置付けで総勢27名の津波被害調査班*を構成し、津波避難ビルや津波荷重に関する国内外の基準を収集するとともに、3回に及ぶ現地調査において、合計で約80棟の建築物や工作物等の調査を実施した。

本稿では、調査を開始し約1ヶ月が経過した平成23年4月20日時点での調査速報¹⁾から津波被害建築物の被害形態について紹介する。

2. 被害形態の分類と考察

2.1 RC造建築物

(1)1階の崩壊

建築物の1階の柱が柱頭・柱脚で曲げ破壊し、層崩壊した事例が2階建ての建築物に見られた(写真-1)。



写真-1 2階建て建築物の層崩壊

これらの建築物は**柱梁フレーム構造***であるが、1階は比較的壁が少なく、2階はコンクリートブロックの壁が多く設けられている。1階店舗、2

階住居で、構造的には1階の強度や剛性が低いという特徴を有する推測される。これらの建築物では、2階の開口が大きくないため、2階部分で大きな津波波圧を受け、1階に作用するせん断力が1階の保有水平耐力を上回り倒壊したものと考えられる。なお、これまでの調査では、3階建て以上の建築物では1階の層崩壊は確認されていない。一般的には3階建ての建築物では1階にRC造の壁が用いられていることが多く、1階の耐力が大きかったものと考えられる。

(2)転倒

建築物の転倒の被害が、4階建てまでの建築物において見られた。転倒した建築物においては、何れも最大浸水深が建築物の高さを上回っている。

転倒は横倒しのもの(写真-2)に加えて、完全に上下が逆になった事例も見られた。転倒建築物は直接基礎のものが多いが、中には杭基礎のもので杭が引き抜かれているものも見られた。

また、同程度の規模の建築物でも、比較的開口が少ないものに転倒例が多く見られ、開口が大きい場合は転倒が生じていない例が多いことから、外壁の開口の大きさが転倒に大きく影響したものと考えられる。

なお、最大浸水深が建築物の高さよりも高い建築物の内部において、最上階の開口上端の高さに津波水の到達痕跡があり、それより上の天井までの部分は空気が溜まっていたと考えられる事例があった。転倒は建築物の自重(必要に応じて浮力の影響も考慮)による転倒耐力よりも津波の波圧による転倒モーメントの方が大きい場合に生じると考えられるが、各階の開口の上端から天井までの長さが長い建築物など、浮力が大きく作用する場合は、わずかな水平力でも転倒の可能性がある。



写真-2 3階建て建築物の転倒

(3)移動・流失

転倒した建築物ではほとんどの建築物で原位置からの移動を伴っており、大きな浮力が働いていたと推定される。実際に、移動して転倒した建築物では、地面などに引きずり痕跡が無く、隣地コンクリートブロック塀(約2m)を壊さずに乗り越えたと思われる事例(写真-3)もある。これらは、浮力により浮き上がったものと思われる。一方で、複数の同形状の2階建て集合住宅が転倒した調査地域では、一部の建築物が流失し、移動先が分からない事例があった。この場合は、浮力に加えて非常に大きな水平力が作用したものと思われる。



写真-3 塀を乗り越えた2階建て建築物

(4)洗掘による傾斜

津波作用時に、建築物の隅角部等に強い水流が発生し、洗掘による大きな穴が明けられた跡が多く見られ、直接基礎の建築物で、洗掘による穴に建築物が倒れ込み大きく傾斜した事例も見られた(写真-4)。



写真-4 洗掘による2階建て建築物の傾斜

(5)壁の破壊 (開口部の破壊)

建築物の津波の作用面の開口よりも、反対側の開口が小さい場合、小さい開口に流入水流が一気に集中し、周辺のRC造非構造壁に大きな圧力を作用させ、コンクリートにひび割れが生じて壁が外側に大きくはらみ、壁筋が破断する事例が見られた。建築物に作用する津波波力は、津波の作用面となる建築物の面の開口が大きい程低減されると考えられるが、これは、作用面だけでなく水流の出口となる側の面についても同様と考えられる。また、このような壁筋が破断する被害は、シン

グル配筋に見られ、ダブル配筋された耐震壁には見られなかったが、2階の床が無く支持スパンが10mを超える厚さ300mmの耐震壁が外側からの津波波圧により内側に大きく湾曲している事例があった(写真-5)。ただし、同一の建築物でも2階に床があり支持スパンが大きい部分では、耐震壁が湾曲する被害は見られなかった。



写真-5 床を持たない連層壁の面外破壊

(6)漂流物の衝突

漂流物の衝突による被害は、窓や天井材など非構造部材の脱落を引き起こしたものがほとんどだった。躯体への明確な被害は多くはなかったが、集合住宅の連層壁において衝突により生じたと思われる開口や脱落の事例も見られた(写真-6)。



写真-6 漂流物の衝突による壁脱落

2.2 S造建築物

(1)露出型柱脚の破壊による移動・流失

典型的な被害例としてまず挙げられるのは、S造の露出型柱脚部においてアンカーボルト、ベースプレート、柱とベースプレートとの溶接部の破断により、建築物が移動・流失する被害である(写真-7)。



写真-7 柱脚部アンカーボルトの破断により転倒・移動したと思われる建築物

敷地には基礎と柱脚部の一部が残されているが、建築物自体は敷地外へ移動して行方が分からないような状態のものが多い。

(2)柱頭接合部の破壊による移動・流失

比較的多く見られた被害事例として、1階又は2階の柱頭接合部での破壊により建築物が移動・流失したものが挙げられる。**根巻き***や埋め込み柱脚などで柱脚部の耐力が大きい場合にこのタイプの破壊になると考えられる。敷地には基礎と1階（又は2階まで）の複数の柱が残され、建築物の行方を示すかのように同じ方向へとなびいている事例がみられた(写真-8)。

下フランジが取り付く**ダイアフラム***と1階柱との溶接部で破壊することで柱の断面が露出している事例が多く、また、2階床レベルの梁であるH形鋼のフランジが引き裂かれていたもの等もあった。1階柱の柱脚付近の変形状態等から推定すると、残された柱の傾きと同程度まで1階が大きく傾いた後に、1階柱に引張力が作用するようになって、1階柱頭接合部で破壊が生じたと考えられる。



写真-8 1階柱がなびくように残存

(3)転倒

1階柱脚部の引き抜け及び1階柱の座屈によって大きく傾斜し転倒したと考えられる被害例が見られた(写真-9)。



写真-9 3階建てS造の1階の崩壊



写真-10 3階建てS造の転倒

また、基礎が一体のまま生じた建築物全体の転倒で、外装材の**ALC版***はほとんどが残されている例が一例確認された(写真-10)。

(4)崩壊

構造躯体が崩壊した被害例としては、2階建てS造の1階部分が層崩壊した事例(写真-11)、沿岸にある倉庫の部分的崩壊の事例、が見られた。



写真-11 2階建てS造の1階の崩壊

(5)大きな残留変形

構造躯体のみが残存するS造では若干の傾斜が確認されるものも多い。特に山形ラーメン架構では大きな残留変形を生じながらも倒壊には至らなかった例が見られた(写真-12)。



写真-12 傾斜した山形ラーメン架構

(6)全面的な内外装材の破壊・流失

ALC版等の外装材がほぼ全面的に破壊、流失し、構造躯体としてのS造骨組みが残存している例が多く見られた(写真-13)。



写真-13 残存する2階建てS造

早期の外装材流失により、構造躯体に作用する外力が小さくなったことが残存の要因として考えられる。残存構造躯体には若干の傾斜や津波作用面での部材変形、漂流物衝突によると思われる局

*土木用語解説：根巻き、ダイアフラム、ALC版

部分的な損傷などが見られた。

また、津波の作用面側と反対側の開口部や妻面が水流の流出による作用から大きく損傷・破壊したと考えられる被害例も見られた。

2.3 木造建築物

木造建築物の津波による被害形態は最大浸水深が大きく関係していると考えられる。最大浸水深が4m程度以上（＝木造住宅では2階床高さ以上に相当）の場合、2階建までの木造建築物で残存している例はほぼ皆無であった。被害形態としては基礎と土台のみを残し上部構造が流失(写真-14)、あるいは土台も流失し基礎のみ残る例などが多数確認された。



写真-14 上部構造が流失し土台が残った例

一方、最大浸水深が1～2m程度の場合は、ほとんどの木造建築物が残存していた。構造躯体に被害が生じているものは、漂流物の衝突によるものと考えられる。

最大浸水深が2～4m程度の場合、一部の木造建築物で残存している事例が確認された。津波の作用面の前方に流失を免れた建築物等がある場合、背後の木造建築物の残存事例が見られた。流失を免れた建築物により、作用する津波波力が大きく軽減されたためと考えられる（写真-15）。



写真-15 残存建築物の背後の残存例

このほか、1階がピロティ構造など、津波の作用方向に対して、又は平面全体を通して開口が多いために津波波力が軽減されたと考えられる例や、津波の作用方向に面する建物隅部の柱および外壁面を流失しつつも、残存する事例が確認された。また、1階をRC造等とした立面混構造では、残存している事例が複数確認された（写真-16）。



写真-16 1階RC構造の例

3. おわりに

本調査では、調査建築物について、構造種別ごとに被害形態を分類し、被害発生要因について考察した。本報告は、調査を開始し、約1ヶ月が経過した段階での速報であり、実施すべき課題が多く残されている。

今後、本調査結果を踏まえ、必要に応じ、新たな現地調査の実施、被災建築物の設計図書の収集等を行いつつ、建築物の開口の影響や浮力の影響を詳細に考慮する方法などについてさらに検討を行い、被害発生メカニズムの解析を進めることとしている。

参考文献

- 1) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震
調査研究（速報）
（東日本大震災）
国土技術政策総合研究所資料 第636号
建築研究資料 第132号
平成23年5月
（ホームページURL）
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0636.htm>（国土技術政策総合研究所）
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/20110311/0311quickreport.html>
（建築研究所）

* 津波被害調査班（所属は平成23年4月20日現在）

国土交通省国土技術政策総合研究所（8名）：西山 功・向井昭義・港以知郎・深井敦夫・竹谷修一・喜々津仁密・新井 洋・阪田知彦
独立行政法人建築研究所（19名）：水流潤太郎・古川信雄・飯場正紀・安藤尚一・五條 渉・福山 洋・奥田泰雄・斎藤大樹・芝崎文一郎・森田高市・加藤博人・平出 務・長谷川隆・石原 直・石井儀光・藤井雄士郎・諏訪田晴彦・荒木康弘・壁谷澤寿一