6.4 被害形態の分類と考察

6.4.1 RC 造建築物

津波による RC 造建築物の被害の形態は、下記のように分類される。

（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 6.4.1-1)。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階が商店、２階が住居として使用されていたものと推測され、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と思われる。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(写真 6.4.1-2)。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、３階建て以上の１階が柱のみの建築物においては層崩壊の可能性が無いとは言い切れないと思われる。

写真 6.4.1-1 ２階建て建築物の層崩壊

写真 6.4.1-2 残存する３階建て建築物

（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 6.4.1-3)に加えて、完全に上下が逆になった建築物(写真 6.4.1-4)も見られた。転倒した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(写真 6.4.1-5)。また、転倒した建築物は比較的開口が少ないものが多く、同程度の規模の建築物でも開口が大きい場合には転倒が生じていないことから、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２階建て建築物の内部において、２階の開口上端の高さまで津波の水の汚れの痕跡(写真 6.4.1-6)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事例があった。従って、各階の開口の上端から天井までの長さが長い建築物ほど大きな浮力が働き、転倒が生じやすくなると思われる。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、浮力が自重よりも大きくなるような場合には、わずかな水平力でも転倒の可能性がある。

写真 6.4.1-3 ３階建て建築物の転倒

写真 6.4.1-4 上下逆さまになった２階建て建築物

写真 6.4.1-5 ４階建て杭基礎建築物の転倒

写真 6.4.1-6 建物内部の水の汚れの痕跡

（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、地面などに引きずった跡が無く、2m程度のコンクリートブロック塀を壊さずに乗り越えたと思われる事例(写真 6.4.1-7)もあることから、浮力により浮き上がったものもあると思われる。一方で、複数の２階建て集合住宅が転倒した調査地域(写真 6.4.1-8)では、同じ形状の一部の建築物は流失してしまい移動先が分からなくなった事例があった。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 6.4.1-7 塀を乗り越えた２階建て建築物

写真 6.4.1-8 集合住宅の転倒(CB 造)

（４）洗掘による傾斜

津波が作用した際に、建築物の隅角部に強い水流が作用し、洗掘による大きな穴があけられた跡が

多く見られた(写真 6.4.1-9)。その中の一部の直接基礎の建築物では、洗掘による穴に建築物が倒れ込み大きく傾斜したものが見られた(写真 6.4.1-10)。

写真 6.4.1-9 洗掘による基礎露出

写真 6.4.1-10 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、反対側の水流が抜ける側の開口が小さい場合、小さい開口に水流が一気に集中し、その周辺の 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、壁端部のシングル配筋の壁筋が破断する事例が見られた(写真 6.4.1-11)。このような壁筋が破断する被害は、ダブル配筋された耐震壁には見られていないが、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 6.4.1-12 左側)。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くない部分では、耐震壁が湾曲する被害は見られなかった(写真 6.4.1-12 右側)。

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、作用面だけでなく水流の出口となる側の開口の大きさも影響を及ぼすと思われる。出口側の開口が小さい場合には、壁を破壊させるほどの水圧が壁に作用することから、開口から入った水をスムースに流失させるために必要な開口の大きさにも配慮が必要である。

写真 6.4.1-11 非構造壁の面外破壊

写真 6.4.1-12 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ガラス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。躯体に対する明確な被害は多くは見られなかったが，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が見られた(写真 6.4.1-14)

写真 6.4.1-13 衝突による非構造部材の損傷

写真 6.4.1-14 漂流物の衝突による壁脱落

6.4.2 S 造建築物

津波による S 造建築物の被害の形態は、下記のように分類される。１）～５）は人命を失う可能性が大きい被害であるが、６）～８）は津波の浸水深よりも高さのある建築物の場合には上層階に避難することで人命をかろうじて保護する可能性のある例である。１）と２）は建築物の行方が不明となるほど大きな移動を伴う被害であり、３）以降は基礎上又はその周辺に留まる被害である。

（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 6.4.2-1)。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（写真 6.4.2-2)。

写真 6.4.2-1 柱脚部の破断（陸前高田市）

写真 6.4.2-2 柱脚部アンカーボルトの破断により移動したと考えられる建築物（釜石市）

（２）柱頭接合部の破壊による移動・流失

比較的多くの事例が見られた被害例として、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。根巻き式や埋め込み式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ており、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。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わになっていたものが多いが、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。２階（又は３階）床以上の部分が移動・流失した後に、津波の流れの勢いで１階柱が傾いたことも考えられるが、１階柱の柱脚付近の変形状態等からすると、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被害例もある。

写真 6.4.2-3 根巻柱脚の 1 階柱の残存（陸前高田市） **写真 6.4.2-4** 1 階柱の残存（陸前高田市）

写真 6.4.2-5 引き裂かれた梁フランジ（陸前高田市） **写真 6.4.2-6** 1 階柱の残存（大槌町）

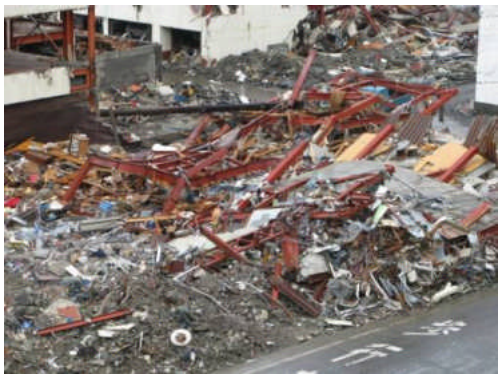

写真 6.4.2-7 1 階及び 2 階柱の残存（女川町）

（３）転倒

転倒した被害例には、(a)基礎が一体のまま生じた建築物全体の転倒と、(b)1 階の部分的な崩壊を伴う転倒があった。

(a)は一例のみであったが、女川町で被害例が見られた。外装材の ALC 版はほとんどが残されている。上階の床スラブと開口部の上端との距離は 80㎝程度であった。建築物全体が津波に飲み込まれて浸水した状態を想定し、床スラブの下の空間に空気が溜まっていたとすれば、平米当たり 0.8tf 程度の S 造では浮力によって上部構造の重量がほぼキャンセルされることになるため、基礎の重量と杭の抵抗は残るものの、転倒しやすい状態になっていたものと想像される。

(b)としては、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 6.4.2-8 3 階建てＳ造の転倒（女川町）

写真 6.4.2-9 3 階建てＳ造の 1 階の崩壊（大槌町）

（４）崩壊

構造躯体が崩壊した被害例としては、(a)1 階の層崩壊、(b)部分的な崩壊、があった。

(a)は 2 階建てＳ造の 1 階部分が層崩壊したと考えられるものが見られた。

(b)は沿岸にある倉庫で、部分的に崩壊しているものがあった。

写真 6.4.2-10 2 階建てＳ造の 1 階の崩壊（大船渡市）

写真 6.4.2-11 部分的な崩壊（釜石市）

（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。

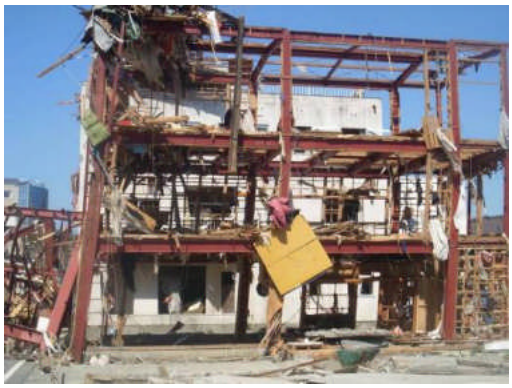

写真 6.4.2-12 傾斜した重層建築物（女川町）

写真 6.4.2-13 傾斜した山形ラーメン架構（大船渡～釜石間）

写真 6.4.2-14 傾斜した山形ラーメン架構（海岸沿い、山田町）

（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され、流失しているが、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。津波来襲時に早期に外装材が流失することで、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あげられる。残存している構造躯体には若干の傾斜や津波作用面での部材の変形、漂流物の衝突によると思われる局部的な損傷なども見られた。

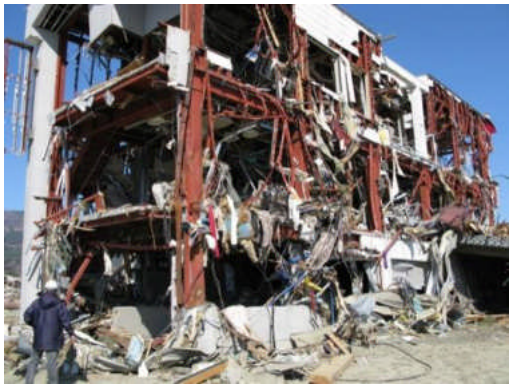

写真 6.4.2-15 残存する 3 階建て S 造（陸前高田市）

写真 6.4.2-16 海岸沿いにある建築物（陸前高田市）

写真 6.4.2-17 残存する S 造（大船渡市）（露出柱脚、1 階途中から日の字断面、2 階床は木製）

写真 6.4.2-18 残存するS造（釜石市）

写真 6.4.2-19 残存するS造（釜石市）
（ブレース破断）

写真 6.4.2-20 残存するS造（釜石市両石）
（洗掘を受けて基礎杭まで見える。）

写真 6.4.2-21 残存するS造（山田町船越）
（洗掘を受けて基礎が見える。）

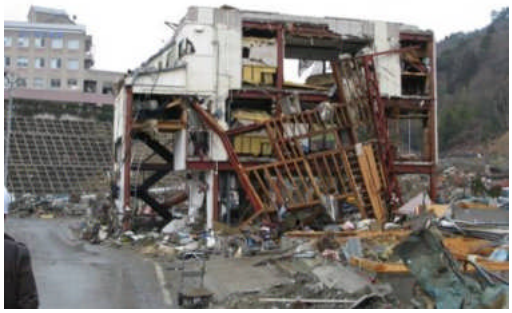

写真 6.4.2-22 残存するS造（女川町）

写真 6.4.2-23 残存するS造（女川町）

（７）開口部回りの損傷・破壊

建築物の内部に津波が侵入し、作用面側と反対側の開口部や妻面が水流の流出口となったために大きく損傷・破壊したと考えられる被害例があった。

写真 6.4.2-24 倉庫（大船渡市）
（津波の流出口として妻壁及び開口部が外側に変形）

（８）波圧や漂流物の衝突による構造躯体及び非構造部材の局所的な変形

津波の波圧や漂流物の衝突によると考えられる柱等の構造躯体及び非構造部材の大きな変形が見られた。

写真 6.4.2-25 柱の変形（石巻市）

写真 6.4.2-26 柱脚部の移動（石巻市）
（コンクリート塊や道路の舗装アスファルト等の漂流物によると考えられる）

写真 6.4.2-27 間柱等の非構造部材の変形（釜石市）

6.4.3 木造

被害調査結果から、木造建築物の津波による被害形態は最大浸水深と大きく関係していると考えられる。そこで、調査範囲で確認された最大浸水深と木造建築物との被害形態の関係について以下にまとめる。

最大浸水深が 2 階軒高さ以上となる場合、平屋もしくは 2 階建木造建築物で残存している例は少なかった。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する、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 6.4.3-1～6.4.3-2)。さらに、基礎ごと流失した例も確認された。

写真 6.4.3-1　上部構造が流失し土台が残った例

写真 6.4.3-2 上部構造と土台も流失した例

一方、最大浸水深が１階腰壁高さ程度以下の場合は、ほとんどの木造建築物が残存していた（写真6.4.3-3）。

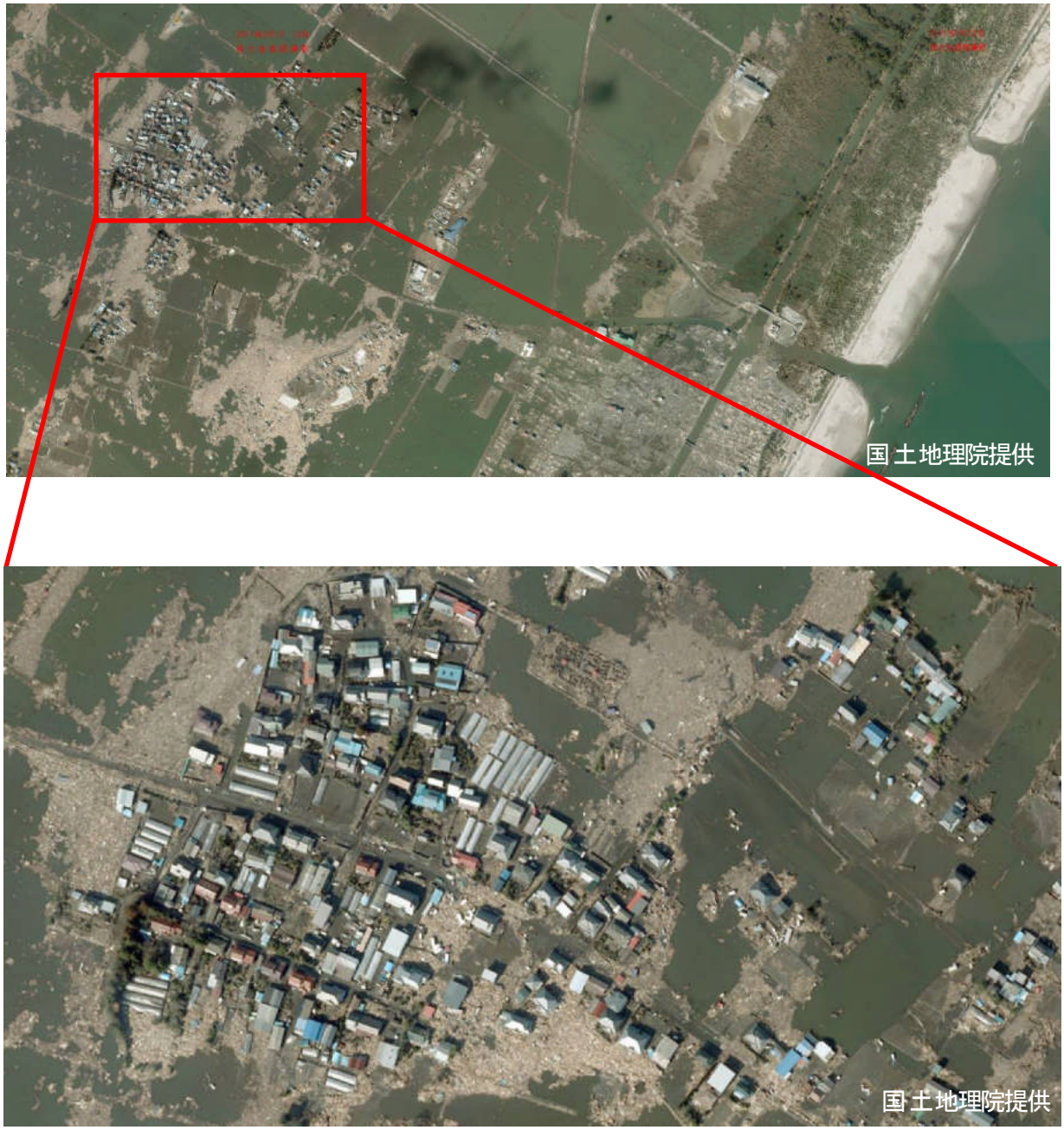

写真 6.4.3-3　最大浸水深が低いため、残存している事例（仙台市若林区荒浜地区）

最大浸水深が１階腰壁高さから２階軒高さ程度の間では、一部の木造建築物で残存している事例が小数ながら確認された。残存している木造建築物では、以下の（1）～（2）に掲げる特徴が見られた。

（1）大規模な建築物が残存した場合、その後方に建つ木造建築物では構造仕様に関係なく残存する事例が見られた（写真 6.4.3-4）。一方、小規模な建築物が残存した場合、その後方に建つ木造建築物では構造仕様が優れたものが残存する事例が見られた。残存する建築物により、その後方に建つ木造建築物に作用する津波波力が軽減されたためと考えられる。

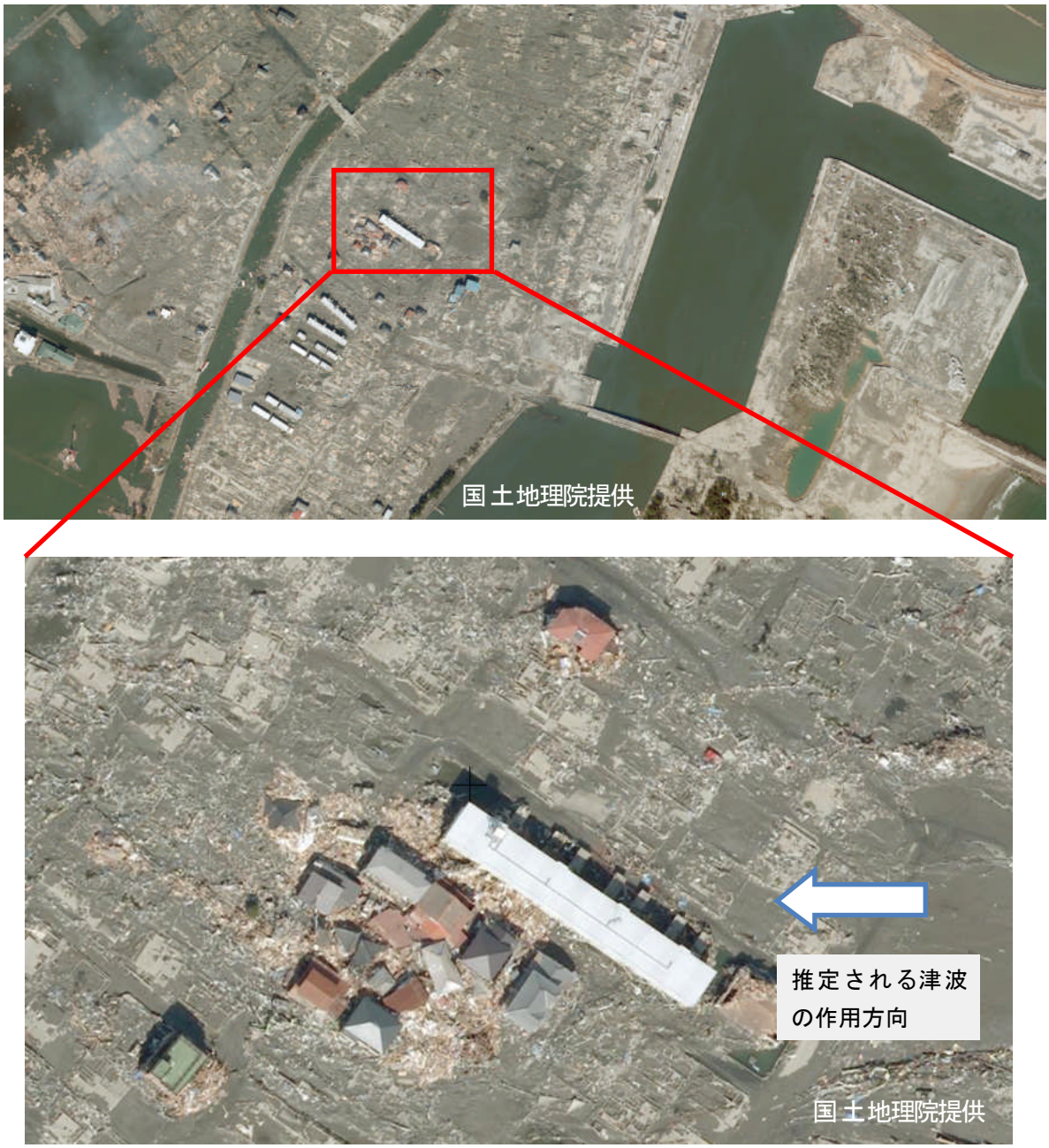

写真 6.4.3-4　津波の作用方向の前面に建つ建築物により津波波力が軽減し、残存したと考えられる例（名取市閖上地区）

（2）津波波力を軽減する建築物がない場合でも、残存した木造建築物が複数確認された。残存した木造建築物の特徴を以下にまとめる。

1）津波の作用方向に対し平面全体を通して開口が多い場合（写真 6.4.3-5)、あるいは津波の作用方向に面する建築物の隅部の柱および外壁面を流失しつつも残存する事例（写真 6.4.3-6）が複数見られた。

2）1階を RC 造等とした立面混構造建築物では、残存している事例が複数みられた（写真 6.4.3-7～6.4.3-8)。この場合の1階の RC 造は、ラーメン構造によるピロティー形式や津波の作用方向に対し開口を有する壁式構造などが確認された。

その他の例として、鋼管くい上に施工されたべた基礎ごと建設地から移動して残存した木造建築物も見られた（写真 6.4.3-9)。

写真 6.4.3-5 津波の作用方向に開口が多く残存したと考えられる事例

写真 6.4.3-6 建築物隅部を流失しつつも残存した事例(1)

写真 6.4.3-6 建築物隅部を流失しつつも残存する事例（2)

写真 6.4.3-7 1階 RC ピロティ構造の事例

写真 6.4.3-8　1 階 RC の事例

写真 6.4.3-9　べた基礎ごと建設地から移動し残存した例