

2006年ジャワ島南西沖地震津波における家屋被害の検証

Damage Assessment of Houses due to the 2006 Java Tsunami

庄司 学¹・谷 裕典²

Gaku SHOJI and Yusuke TANI

The paper describes the clarification of the damage of houses due to the 2006 Java tsunami, assessing the 14 damage data of houses in the south coast of Java. Firstly the damage of houses is classified in 5 levels : washed away, collapse of roofs, columns, walls or beams, partially collapse of walls or bending of beams, minor collapse of walls or beams, and crack in walls, slight damage of beams or non-damage. Based on the classification of houses, we reveal the relationship between the damage and inundation depth at the sites of 14 subject houses. The possibility of occurrence of damage level A,B,C, which are relatively worse damage, is high in the range of lower inundation depth against previous research.

1. はじめに

2006年7月17日(UTC08:19:28)にジャワ島南西沖235kmを震源とした $M_w=7.7$ の地震が発生し(USGS, 2006), この地震津波によりジャワ島南西部で600人を超える死者が発生した。その大きな原因としては, 海岸線近傍に位置する家屋の甚大な津波被害が挙げられる。例えば, 死者数が300人を越えたPangandaranでは, 海岸線付近の家屋に地震津波により甚大な被害が発生した。(独立行政法人港湾空港技術研究所・インドネシア国海洋漁業省・社団法人土木学会, 2006)

このような家屋に対する津波荷重評価に関しては解析ならびに実験を通して多くの研究知見が得られている。まず, 羽鳥(1984)は1983年日本中部地震津波によって大きな被害を受けた秋田県八森町滝ノ間・浜田地区における木造家屋被害を3段階に分け, 浸水深との関係を示しており, 本分野における先駆的な知見を与えている。更に, 首藤(1992)は, 既往の地震津波被害データを用いて構造別の家屋被害の分類と浸水深の関係を示している。松富・首藤(1994)は1993年に発生した北海道南西沖地震津波で得られた被害調査データを基に, その構造種別ごとの被害の程度と浸水深の関係を示している。松富ら(2005a)はタイのKhao LakとPhuket島において発生した2004年インド洋大津波における建物の津波被害と浸水深の関係を示している。松富ら(2005b)は2004年インド洋大津波においてBanda Aceh周辺で発生した津波氾濫流の流速と浸水深の関係を示している。大家ら(2006)はアチェ市の行政区単位の被害データに基づい

た数値解析結果を用いてGIS上で分析を実施し, 家屋被害率を算定している。越村ら(2009)はリモートセンシングデータを活用した家屋の津波被害関数の構築手法や適用性について提案している。また, 2006年ジャワ島南西沖地震は震源からの距離が235km(USGS, 2006)と遠方であるため, 当該地点の地震動による被害がほとんど見受けられない(The Georgia Research Tech News & Publications Office, 2006)。このように地震被害が排除されている形態の津波被害は珍しいものである。更に, 海岸沿岸部の最前線における家屋被害データは貴重とされている。従って, 先述した既往の研究結果においても実被害データは使われているが, 更にジャワ島南西沖地震津波のデータに基づき検証を行った。以上より, 本研究では, 2006年ジャワ島南西沖地震に関する津波被害調査データ(ジャワ島南西沖地震・津波災害現地調査団, 2006)を用いて家屋被害の検証を行う。

2. 分析対象データ

本研究では, 2006年ジャワ島南西沖地震津波を対象として, Pangandaran西海岸ならびに東海岸沿いにおいて特徴的な被害が発生した計23地点に及ぶ家屋の被害データに対する分析を行った。また, ジャワ島南西沖地震・津波災害現地調査団(2006)のFujima(2006)の浸水深データに基づき検証を行った。ここで, 表-1には23件の分析対象家屋を示しており, その識別番号, 調査日, 経度, 緯度, 海岸線からの距離, 津波浸水深, SRTMにより計測された標高値(m), 調査時に計測された地盤高, および被災度に関する情報が含まれている。

これらのデータの選択に際しては, 海岸沿岸部の最前列に位置する家屋のみに焦点を当て, 構造形式としてRC造骨組煉瓦組積造を対象とし, 1戸建てかつ1階建てである家屋, ならびに入り口等の開口部が海岸線に向い

1 正会員 博(工) 筑波大学准教授 大学院システム情報工学研究科 構造エネルギー工学専攻
2 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 構造エネルギー工学専攻

表-1 分析対象とする家屋の津波被害データ

分析対象家屋の 識別番号(No.)	計測場所	調査日	緯度	経度	海岸線からの 距離(m)	津波浸水深 (m)	SRTMにより 計測された標高値(m)	調査時に計測した 地盤高(m)	被災度
浸水深計測地点A									
1	商店	2006/8/4	S7°42'17"	E108°39'23"	104.31	1.64	23	2.46	E
2	緑の小屋	2006/8/5	S7°42'17"	E108°39'23"	-	-	23	-	E
3	家	2006/8/5	S7°42'06.7"	E108°39'23.2"	-	-	10	-	A
4	Lonely Planet レストラン	2006/8/5	S7°42'06.7"	E108°39'23.2"	-	-	10	-	A
5	黒い家	2006/8/5	S7°42'04.6"	E108°39'22.4"	-	-	2	-	C
6	小屋	2006/8/5	S7°42'03.6"	E108°39'23.0"	-	-	9	-	C
7	ペンション(オレンジ)	2006/8/5	S7°42'03.0"	E108°39'23.2"	-	-	9	-	A
8	緑のペンション	2006/8/5	S7°42'02.1"	E108°39'22.2"	-	-	5	-	B
9	緑のペンション2	2006/8/5	S7°42'00.8"	E108°39'22.0"	-	-	8	-	A
10	緑のペンション3	2006/8/5	S7°42'00.8"	E108°39'22.0"	-	-	8	-	C
浸水深計測地点B									
11	Rental resort	2006/8/5	S7°42'00.1"	E108°39'22"	62.86	1.34	8	3.24	E
12	緑のペンション4	2006/8/5	S7°41'59.4"	E108°39'22.1"	-	-	8	-	C
13	ショップ2	2006/8/5	S7°41'58.1"	E108°39'21.6"	-	-	8	-	B
14	ショップ(白い家)	2006/8/5	S7°41'57.8"	E108°39'21.5"	-	-	8	-	C
15	橋の横の1軒	2006/8/4	S7°41'54.6"	E108°39'20.5"	-	-	9	-	D
浸水深計測地点C									
16	レストラン	2006/8/5	S7°41'54"	E108°39'20"	78.91	2.40	9	2.56	E
17	更地	2006/8/4	S7°41'47"	E108°39'14"	-	-	9	-	A
18	更地	2006/8/4	S7°41'47"	E108°39'14"	-	-	9	-	A
19	ペンション1	2006/8/5	S7°41'43.8"	E108°39'12.8"	-	-	11	-	B
20	ペンション2	2006/8/5	S7°41'43.0"	E108°39'12.1"	-	-	11	-	B
21	ペンション3	2006/8/5	S7°41'43.0"	E108°39'12.1"	-	-	11	-	E
22	ペンション4	2006/8/5	S7°41'43.0"	E108°39'12.1"	-	-	11	-	E
浸水深計測地点D									
23	貸別荘	2006/8/4	S7°41'42"	E108°39'11"	100.40	1.58	11	3.65	E
24	ペンション5	2006/8/5	S7°41'41.2"	E108°39'10.2"	-	-	8	-	B
25	緑のレストラン	2006/8/5	S7°41'38.2"	E108°39'06.0"	-	-	10	-	D
浸水深計測地点E									
26	警察署裏の小屋	2006/8/5	S7°42'16"	E108°39'32"	60.15	1.43	11	2.47	E
27	ショップ	2006/8/5	S7°42'10.7"	E108°39'30.5"	-	-	9	-	C
28	ホテル	2006/8/5	S7°42'10.0"	E108°39'30.4"	-	-	7	-	C

表-2 家屋の津波被災度の定義

被災度	被災状況
A	全壊，基礎を残し流出
B	屋根を含め柱，梁，壁の崩壊
C	壁の損壊，柱の曲げ損壊
D	壁または柱の一部損壊
E	壁にひび割れ，窓の損壊，柱の軽微な損傷等，および無被害

ている家屋のみを対象とした。また，明らかに漂流物の衝突等による構造被害を生じていると観察された家屋は対象外とした。

3. 津波被災度の定義およびその傾向

家屋の津波被害形態を精査し，家屋の津波被災度を表-2のように定義した。表-2に基づき，分析対象とする家屋の津波被災度をまとめると図-1のようになる。壁の損壊，柱の曲げ損壊以上の被災度A，B，Cに関しては合計9件であり，その中でも被害の顕著な被災度Aに関しては2件である。一方，無被害を含め，相対的に被害が低い被災度D，Eに関しては合計5件である。図-2には，それらの被災度を示した代表的な事例を示す。なお，表-1には表-2の定義に基づいた被災度を合わせて示す。

4. 家屋被害と浸水深の関係

対象家屋と浸水深計測地点の位置の関係を示すと図-3のようになる。この際には，各浸水深計測地点から250m以内に位置する家屋を同一の浸水深に晒されたと仮定した。その際に，NASAのSRTMデジタル標高データ(NASA, 2000)を用いて浸水深計測地点から対象家屋ま

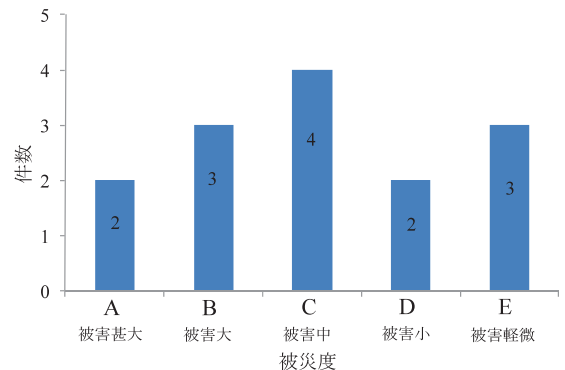


図-1 家屋の津波被災度の分布

での標高の変動を図-4のように精査し，浸水深計測地点との標高差が±1mの範囲に収まる家屋のみを対象とした。なお，SRTMデジタル標高データにおける標高値の定義はジオイド基準(地球重力の等ポテンシャル面のうち平均海面と一致する面からの標高)であり，1m単位の精度が保障された標高データである。本来的には，対象地域の現地測量を実施し，SRTMデータとそれらのデータを比較した上で，SRTMデータの標高値の精度を担保する必要があるが，上記の測量が実施できなかったため，本研究ではSRTMを根拠として，対象地域の標高の空間変動を精査した。以上のSRTMデータは，現地調査で得られた地盤高に比べて4mから9mの開きがある。これはSRTMデータが標高値を求める際に，調査地点以外の標高値および構造物の高さを含め，90mメッシュを基準として1つの平均値を求めるためである。以上の理由により，表-1により示した平均潮位からの地盤高と異なっている。しかし，地盤高の高低を検証する相対的な指



図-2 家屋の被害事例

標として本研究ではSRTMデータを適用した. 図-4における縦軸はSRTMデータにより測定された標高値 (m) であり, 横軸は分析対象家屋の識別番号を示している. この場合, 分析対象家屋の識別番号2, 3, 4, 7, 14, 15, 20, 22, および23は浸水深適用範囲 (250m) に入るが, 浸水深計測地点との標高差が1m以上となったため, 以下での分析対象より除外した. この結果, 計14点の対象家屋データを採用した. 統計的な有意性を議論出来るデータ数ではないが, 貴重な実被害データとしてこれらから明確に示される事実のみ以下では議論する. 以上より, 浸水深に対する被災度の分布を求めると図-5のようになる. 図-5より, 相対的に被害が大きい被災度A, Bがそ

れぞれ浸水深1.2mから1.6mで生じていることがわかる. 逆に, 被害が最も低い被災度Eが浸水深1.4mから1.8mで生じている. また, 被災度Cに関しては, 浸水深1.2mから1.4mおよび2.4mから2.6mで生じており, 被災度Dに関しては1.4mから1.6mおよび2.4mから2.6mに生じていることがわかる.

5. 既往研究との比較

本研究データを羽鳥 (1984), 松富・首藤 (1994), 松富ら (2005a) および大家ら (2006) と比較する. 羽鳥 (1984) は, 家屋の階数については言及していないが, 海岸沿岸部における木造家屋の被害状況と浸水深の関係を3

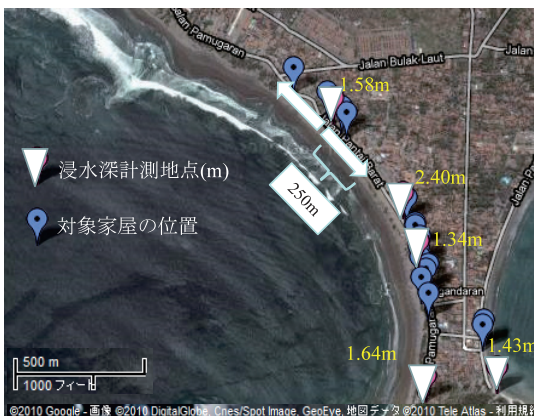


図-3 対象家屋の位置及び浸水深計測地点

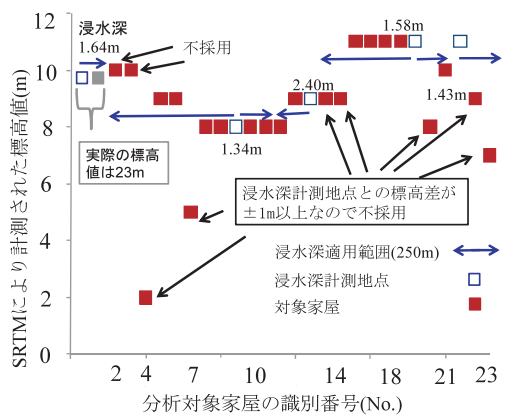


図-4 分析対象家屋の標高分布

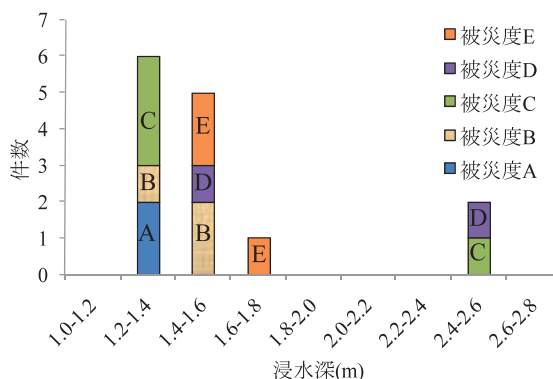


図5 対象家屋の被災度と浸水深の関係

段階の被害状況に分けて言及しており、海岸沿岸部における最前列以外の家屋についてもデータとして採用している。松富・首藤(1994)は家屋の階数については言及していないが、海岸内陸部および沿岸部におけるコンクリート・ブロック造の被害状況と浸水深の関係を3段階の被害状況に分けて言及している。松富ら(2005a)はタイのKhao LakとPhuket島における被害で海岸沿いの3階建て以上の鉄筋コンクリート建物に既往の津波被害データを加え、被害の規模と浸水深の関係を被災度を用いて示している。大家ら(2006)は行政区内単位におけるコンクリート建物を主に対象とした津波浸水深と被害セル数の関係を示している。まず、本研究の被災度A, Bを羽鳥(1984)におけるDestroyed, 被災度CをHalf-destroyed, および被災度D, EをInundated above floorと対応させた。また、羽鳥(1984)のデータは横軸がInundation height (above ground)と記載されており、これを本研究の津波浸水深と対応させ、本研究の被害データ結果を図の中にプロットすると図-6のようになる。図-6より、Inundated above floorに関しては羽鳥のデータに比べて本研究データは相対的に高い浸水深において発生し、Half-destroyedに

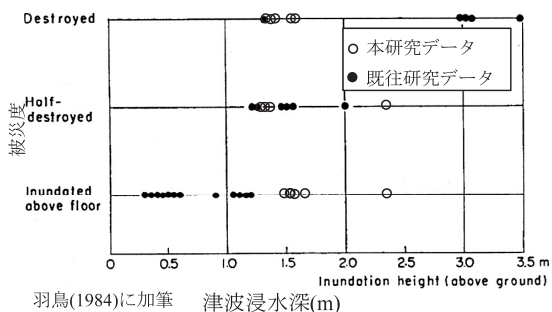


図-6 羽鳥(1984)との比較

関しては浸水深2.4mに示された1点を除いて同様の傾向が見られ、Destroyedに関しても1データは生じているが、異なる傾向が示された。更に、本研究の被災度A, Bを松富・首藤(1994)のデータにおける大破, 被災度Cを中破, および被災度D, Eを小破と対応させた。この際に、松富・首藤(1994)のデータは横軸がTSUNAMI HEIGHTと記載されており、本研究データの津波浸水深と対応させ、図にプロットすると図-7のようになる。図-7より、小破に関しては松富・首藤の結果と同様の傾向が見られるが、中破および大破に関しては本研究データは浸水深1mから2mの間でも生じている。次に、松富ら(2005a)のデータの横軸のTSUNAMI HEIGHTと本研究の津波浸水深を対応付け、本研究データを図にプロットすると、図-8のようになる。図-8に示されるように、小破に関しては同様の傾向が見られるが、中破および大破は松富らの結果に比べて本研究データは低い浸水深で被害が発生している。また、本研究データの被災度Aを大家ら(2006)における流出大, 被災度Bを流出中, 被災度Cを流出小, および被災度D, Eを浸水のみと対応づけた。更に大家ら(2006)のデータにおける横軸の津波浸水深を本研究の津波浸水深と対応づけ、大家ら(2006)の結果にプロットすると図-9のようになる。図-9より、浸水深

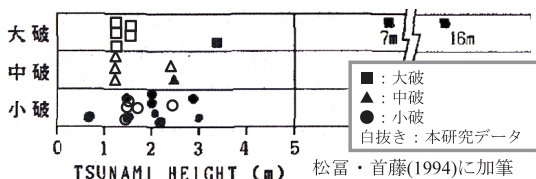


図-7 松富・首藤(1994)との比較

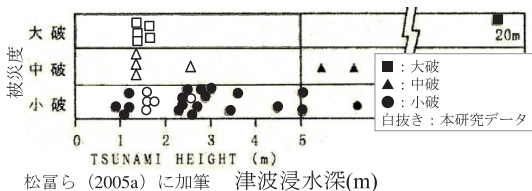
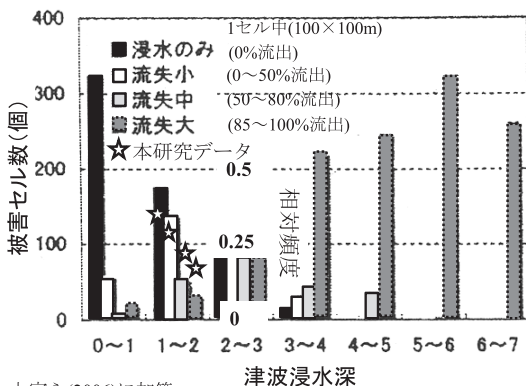


図-8 松富ら(2005a)との比較



大家ら(2006)に加筆

図-9 大家ら(2006)との比較

1mから2mのレベルにおいて、本研究データは大家ら(2006)の結果と比較して流出中、および流出大の相対頻度が高いと言える。本研究データが既往の研究に比べて低い浸水深で相対的に大きな被災度が現れた原因として、対象家屋の構造性能がここで取り上げた既往の研究における対象家屋のそれよりも脆弱である可能性が考えられる。更に、第2章で示したように海岸沿岸部の最前列の家屋のみを対象としたため、津波の水勢が衰えずに相対的に速い流速の津波作用を受け、被害が大きくなった可能性があると考えられる。

6. 結論

本研究では、2006年ジャワ島南西沖地震に関する津波被害調査データ(ジャワ島南西沖地震・津波災害現地調査団, 2006)を用いて、計14地点の家屋被害の検証を行った。その際には、家屋被害を5種類の被災度に定義して評価を行った。具体的には、被災度Aは「全壊、基礎を残し流出」、被災度Bは「屋根を含め柱、梁、壁の崩壊」、被災度Cは「壁の損壊、柱の曲げ損壊」、被災度Dは「壁または柱の一部損壊」、被災度Eは「壁にひび割れ、窓の損壊、柱の軽微な損傷等、および無被害」である。得られた知見は以下の2点である。

- (1) 計14地点のデータに関しては、被災度が高いA, Bは5件であり、それらは浸水深1.2mから1.6mで生じていることが明らかになった。逆に、被災度が中程度のCは浸水深1.2mから1.4mおよび2.4mから2.6mの範囲に生じ、被災度Dに関しては、浸水深1.4mから1.6mおよび2.4mから2.6mの範囲に生じていることが明らかになった。
- (2) 本研究データを羽鳥(1984)、松富・首藤(1994)、松富ら(2005a)および、大家ら(2006)の既往の研究と比較した結果、1mから2mという相対的に低い浸水深においても、大破や流出大の相対的に高い津波被害が発生する可能性があることが明らかになった。

謝辞: 本研究は、2006年ジャワ島南西沖地震津波の被災データを活用させていただきました。金沢大学の宮島昌克先生、防衛大学の藤間功司先生、九州工業大学の幸左賢二先生、秋田大学の松富英夫先生をはじめとしたジャワ島南西沖地震・津波災害現地調査団の方々に、多大

なご指導を頂きました。また、本研究は、平成21年度採択・地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究」(研究代表者: 山崎文雄・千葉大学教授、越村俊一・東北大学准教授)の助成を得て実施されました。ここに記して関係者各位に謝意を表し、深くお礼申し上げます。

参考文献

- 大家隆行・越村俊一・柳澤英明・今村文彦(2006): 2004年インド洋大津波によるバンダ・アチエ市街地の津波氾濫解析と被害評価, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 221-225.
- 越村俊一・行谷佑一・柳澤英明(2009): 津波被害関数の構築, 土木学会論文集B, Vol.65, No.4, pp. 320-331.
- 首藤伸夫(1992): 津波強度と被害, 津波工学研究報告, 第9号, pp. 101-118.
- ジャワ島南西沖地震・津波災害現地調査団(2006): インドネシアジャワ島南西沖地震・津波(速報), 土木学会誌, Vol.91, No.10, pp. 54-55.
- 羽鳥徳太郎(1984): 津波による家屋の破壊率, 地震研究所彙報, Vol.59, pp. 433-439.
- 松富英夫・首藤伸夫(1994): 津波の浸水深, 流速と家屋被害, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 246-250.
- (独) 港湾空港技術研究所・インドネシア国海洋漁業省・(社) 土木学会(2006): 2006年ジャワ津波に関するインドネシア・日本合同調査 中間報告, http://www.pari.go.jp/information/news/h18d3/tunami_cyukannhokoku.pdf, 参照 2009-9-22.
- 松富英夫・高橋智幸・松山昌史・原田賢治・平石哲也・S.Supartid・S.Naksuksakul(2005a): タイのKhao LakとPhuket島における2004年スマトラ島沖津波とその被害, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 1356-1360.
- 松富英夫・榊山 勉・S.Nugroho・都司嘉宜・谷岡勇市郎・西村裕一・鎌滝孝信・村上嘉謙・松山昌史・栗塚一範(2005b): Banda Acehと周囲における2004年インド洋津波と被害想定からみた課題, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 1366-1370.
- Fujima, K.: Tsunami Measurement Data, <http://www.nda.ac.jp/cc/users/fujima/TMD/index.html>, 参照 2009-6-14.
- NASA(2000): The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>, 参照 2009-11-17
- The Georgia Research Tech News & Publications Office: Deadly wave: Researchers learn from analyses of rare tsunami earthquake that devastated Java in summer 2006, <http://gtresearchnews.gatech.edu/newsrelease/tsunami.htm>, 参照 2009-10-22.
- USGS(2006): Magnitude 7.7 - South of Java, Indonesia, <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2006/usqgaf/>, 参照 2009-9-22.