強大台風ハイヤンに伴うヘルナニ町沿岸の浸水被害の調査

Coastal Flood Disaster during Super Typhoon Haiyan in Hernani, Eastern Samar, Philippine

信岡尚道¹・安田誠宏²・田島芳満³・森 信人⁴
下園武範⁵・佐々木 淳⁶・辻尾大樹⁷・KENNEDY Andrew⁸・宮本 守⁹

Hisamichi NOBUOKA, Tomohiro YASUDA, Yoshimitsu TAJIMA, Nobuhito MORI
Takenori SHIMOZONO, Jun SASAKI, Daiki TSUJIO, Andrew KENNEDY and Mamoru MIYAMOTO

Super typhoon Haiyan/Yolanda in November 2013 caused coastal flooding and severe damage in coastal zones not only in bays but also along open coastlines. In the Town of Hernani, located on the open Pacific coast of Eastern Samar province in the Philippines, the flooding and resulting washed-away houses were recorded in a widely-viewed video. This paper provides field survey results from Hernani including eyewitness accounts of inundation heights and time series profiles, measured ground levels and estimated sea bottom profiles, and measured dimensions of coastal dikes and of houses shown in the video. Information gathered here suggests that wave groups were the direct cause of coastal flooding in Hernani. Results in this paper will contribute to analysis of large wave disasters and flood prevention in open coastal zones.

1. はじめに

2013年11月に最低中心気圧895hPa, 最大風速125knots (RSMC-TOKYOの10分間平均値; なおJTWCの1分間平均値では170 knots) にまで及んだ非常に強大な台風Haiyan/Yolanda (2013年台風30号) は, フィリピン中部を通過および上陸時にも勢力をさほど弱めなかった。

この台風によりフィリピンのレイテ州, サマル州や東サマル州を取りかこむレイテ湾の奥にあるサンペドロ湾では5mを超える潮位偏差と8mほどにおよぶ痕跡高を記録した (Tajima et.al, 2014)。全体の被害は2014年4月17日時点で死者6300名, 行方不明者1061名, 負傷者28689名, 被害総額が896億フィリピンペソとなった (NDRRMC, 2014a)。さらには東サマル州の太平洋に面した東側の海岸にある集落Hernani (ヘルナニ) などでも壊滅的な被害が生じていた。このような台風における外洋に面した居住地区の壊滅的な被害記録のうち自然科学的に記したものは, 著者らの知る限り存在しない。したがって, 自然科学的記録を後世に残すこと, また防災・減災対策のうち工学的に考慮すべき点を示すことは知見の積み重ねの基礎として重要なものと考えられる。

図-1 Haiyan経路と被災地マップ
(赤線: 経路, RSMC-TOKYO)

本研究は, 台風Haiyanにより太平洋に面した居住地区で被災した東サマル島のHernaniの浸水状況について, 現地の痕跡高の測量調査およびヒアリング, ビデオ解析した結果から自然科学的記録をまとめる。そして, 強大台風においては高潮以外でも注意しなければならない浸水被害を明らかにすること, その予測のベンチマークとなるデータを記すことを目的とする。

2. Hernaniの地勢

台風Haiyanは図-1に赤線で示すようにフィリピン中部を横断する経路をたどった。Hernaniは東サマル州の中ほどにあり, Matarinao湾の外で海岸線から南東に太平洋を, また台風Haiyanの経路上の海面を見られるところにある。Hernaniは13のバラングイ (最小行政区) で構成されており (図-2), 人口は8070名 (2010/3/1時点, Philippines Statistics Authority), 主要産業は農業そして漁業となって

1 正会員	博(工)	茨城大学准教授	工学部都市システム工学科
2 正会員	博(工)	京都大学助教	防災研究所
3 正会員	PhD	東京大学教授	大学院工学系研究科
4 正会員	博(工)	京都大学准教授	防災研究所
5 正会員	博(工)	東京大学講師	大学院工学系研究科
6 正会員	博(工)	東京大学教授	大学院新領域創成科学研究科
7 正会員	博(工)	パシフィックコンサルタンツ(株)	
8	PhD	University of Notre Dame准教授	
9 正会員	博(工)	(独)土木研究所研究員	水災害・リスクマネジメント国際センター

図-2 HernaniのBarangay概略地図

おり、フィリピンの中でも小さな集落と言えるところである。The Municipality of HerinaniのWEBサイトには歴史として、1897年10月12日に巨大なtidal wave がこの集落を襲い、新しく建造された石づくりの教会を含む公共施設が壊滅的な被害を受け、300名以上の犠牲者が出た、この災害をうけて安全な場所に移住させた、と記されている。また、同災害についてはAlgue (1899) がまとめた台風経路を含む写真と記録があり、フィリピン国の報道機関のWEBサイトでも閲覧できる (GMA NEWS)。

3. 被災調査方法

Hernaniの現地調査は2013年12月13日 (調査①1.5時間 11:00～12:30, ② 0.5時間 16:00～16:30)、2014年1月24日 (調査③ 6時間: 09:30～16:00) と同26日 (調査④ 3時間: 14:00～17:00) の総計4回11時間おこなった。調査①と②の間の時間はHernaniより北上して最初の大きな浸水被害があったBalangkayanの調査をおこなった。Hernani周辺の災害復旧の遅れから、調査①と②は往復7.0時間のTacloban、調査③と④の前後もTaclobanを、調査③と④の間は片道2時間のGuianを拠点としたが、その行程でも視察などをおこなった。

調査①ではHernaniのBarangay 4 (Pob.) で残存していた3つの建物での、痕跡高を海水面からのレベル測量調査および当時の状況のヒアリングを通訳を通して口頭でおこなった。調査②はHernaniのBarangay 4 (Pob.) から南西に移動したBarangay Batangにて、同様の調査をおこなった。ここでの痕跡高には漂流物の高さも対象とした。なお、後で痕跡高の潮位補正を施した値を記録値とした。

調査③と④では痕跡高、堤防高の追加調査とともに、

(a) 波形の選択

(b) 基本事項と波形の書きなおし用

図-3 ヒアリングシート

海水の陸上遡上時のビデオ映像 (Plan, 2013) の撮影場所の特定と、そのビデオ映像および水面の時系列変動の概略図シート (図-3) を用いた当時の状況のヒアリングを通訳を同伴しておこなった。水面変動の概略図を用いた理由は、調査①と②において今回の波を「Tsunami」と表現するなど、現地では波に関する用語が定着していなかったためである。現地で海水が遡上してくるのを目撃していた人に、証言の信頼性を調べる目的で、(i) まず目撃した時間と場所を尋ね、台風の通過時間と矛盾がないか、また海水遡上時でも観察できる状態であったかを確認した。(ii) 次に図-3 (a) に示す4種類の時系列水面変動 (上からそれぞれ、高潮、高波、高波に高潮が加わる、段波が主体を想定) から近い現象を選択してもらった。(iii) つづいて、浸水開始から最高水位に至る途中で、一旦水が引いて地盤が見えたか確認をした。(iv) さらに、詳細な波形を尋ねていくことにして、上昇時の波の数を尋ねた。大きな波と小さな波については、先ほどの映像を見せて細かい水面の波は数えないようにした。ただし、映像約60秒で2回も大量の海水が遡上してきたのみなので、風波か波群かを判断するための質問は連続

した波の数と継続時間とした。(v) 波のインターバルの時間、浸水開始から最高水位に至るまでの時間、最高水位で留まる時間、そこから海水が引いていく時間を確認した。(vi) 最後に、海水が引く時の波形について確認した。これらの質問の中で、横軸の時間や波形などは証言者に確認を取りながら、手書きで修正を施していった。このシートを用いたヒアリングは、比較のためGuianの東海岸地区、レイテ湾奥のTaclobanとBasayでも実施した。補足質問として風や雨の状況と、遡上などが進行した方向をたずね、さらに証言者の性別と推定年齢、英語が使えるかどうかも確かめた。

調査④では、撮影場所、同映像の画角の特定と同画角によるデジタル写真撮影、映像に写り込んでいる家屋の特定と寸法計測を、地形測量とともに実施した。

4. Hernaniの被害記録

台風Haiyanに伴うHernani全体の被害は2014年4月17日時点で、犠牲者72名、行方不明者4名で負傷者197名と記録されている (NDRRC, 2014b)。現地ではこの数に含まれていない犠牲者がまだいると語る人が複数いた。Barangay Batangでは約200軒の家のほぼすべてが流されていて、その被災光景は東日本大震災を受けたいわき市薄

磯地区と同等と思われた。

(1) 痕跡記録の詳細

Hernaniの中心の一つBaragay 2 (Pob.)、Barangay 4 (Pob.) の調査地点を図-4に示す。災害以前の衛星画像である図-4 (a) と比較すると災害後の図-4 (b) では集落の南西部 (図の中央から左下) でほとんどの家屋が流出していることがわかる。P1~P3点は痕跡高を測定した場所であり、P1点の8.0mは証言と建物の状況から波の成分を含んだもの、P3点の6.0mは建物の内陸側の値でありここでは数十分程度は高さが継続したとの証言からも波の成分は小さいと考えられたものである。

Hernaniの中で壊滅的な被害を受けたBarangay Batangの調査地点を図-5に示す。P4点の痕跡高10.7mは、2Fの軒先の下側に付着していた小さな草を対象に測量したものであり、波の成分が含まれていると考えられる。P5点は漂流物が小学校 (B4点) の敷地につづく斜面で止まっていた6.6m、P6点は漂流物の最上端であり小学校の敷地と同じ高さの8.9mである。この小学校には多数の住民が前の晩から避難していたが、水が迫ってきて危険と感じたので、さらに高台へ避難したとの証言もある。

Hernaniから南西にMatarinao湾奥沿いに入ると浸水被害は急激に減り、浸水高が低くなっていった。詳細は別途報告するが、台風の経路はここよりもはるか南よりであるので風向きの違いによる高潮の差とは考えられないことから、通常の高潮とは異なる分布と考えられた。また逆にHernaniから北に沿岸沿いを移動していくと、しばらくは海沿いの集落でも被害は見られなく、次に大きな被害を受けた集落は湾の奥を通りすぎたBalangkayanのPoblationで、Hernaniと同じような湾の入口近くで海岸線が太平洋に面し、台風経路の方を向いていた。

(2) 堤防および地形測量

図-4 (b) のC1とC2間の約30mは、写真-1のように破堤して、堤体材料のサンゴ礫とモルタルが現れていた。写真内にある標尺の全長は2mであり、天端高は地盤から1.8mであった。写真の左奥に見える海水の部分も同様の

(a) 2008年8月24日

(b) 2013年11月11日

図-4 Barangay 4 (Pob.), Hernaniの痕跡

図-5 Barangay Batang, Hernaniの痕跡高

破堤、写真の右側にも短い破堤区間があった。堤防前面はサンゴのリーフ地形が沖に約500mほど発達していた。しばしばこのリーフに入水する住民が示した水深相当の深さは60~70 cm程度であった。これらの情報と水際から陸上のレベル測量をもとに作成した、Hernani Barangay 4 (Pob.) の断面図の概略を図-6に示す。海側は推定の高さと距離である。陸側の高さ6mのラインは痕跡高調査で示したP3点の高さである。標高4m以上のところで浸水深が2mあったことから、一部の破堤を勘案しても、堤防による浸水阻止は十分ではなかったと考えられる。

(3) ビデオ映像からの推定高と推定速度

写真-2はPlan (2013) で公開されているNickson Gensis氏が撮影した映像からスクリーンナップショットを撮ったものである。撮影者と一緒にいた家主から、撮影した場所が図-4 (b) のA点の家屋の2階窓の平板でできた水平格子の隙間からであったことを確認している。この地盤標高は4.8mである。映像は固定ではなく浸水に合わせて移動しているので、浸水開始までの時間に限られるがほぼ同じ画角で撮影したものが写真-3である。写真-3内の二つの家屋の各寸法を表-1に記す。それぞれの寸法の区間は写真-2の左上とやや右寄り上で奥の方に移り込んでいる。写真-2とこれらの情報から映像に映っていた遡上段波の1波目は、フロントの進行速度が2~3 m/sで、短周期変動を除いた水面高さが60cm程度であったと

推定された。映像の2波目は速さが先ほどの1.5倍で地盤から1m程度の水位に1m程度の波が乗っていたと概算された。したがって、速さは長波相当と言える。また痕跡高との比較から、映像の波よりも最大波はさらに大きかったとの証言を裏付ける結果とも言える。

5. Hernaniにおける遡上水のヒアリング記録

証言者の目視状況を総合すると、強風で水面から水し

(a) 映像 20 s 経過

(b) 映像 45 s 経過

写真-2 ビデオ映像

(出典: Plan (2013), 撮影Mr. Nickson Gensis)

写真-3 撮影場所からほぼ同画角の画像

写真-1 Hernani Barangay 4 (Pob.) の破堤

図-6 岸沖断面地形概略(Hernani Barangay 4 (Pob.))

表-1 映像(写真-2)に関連する測量結果一覧

No.	測定対象	高さh or 幅w	備考
h1	家屋の屋根下端	4.72m	2013/12/13以降改修
h2	家屋の1Fひさし	2.37m	2013/12/13以降改修
h3	壁の窓枠の上端	1.94m	2013/12/13と同様
h4	壁の窓枠の下端	0.63m	2013/12/13と同様
h5	壁の窓枠の幅変化		2013/12/13と同様
w1	左端壁	0.32m	
w2	左端壁の右側隙間	0.84m	
w3	中間壁の右側	0.60m	
w4	窓枠部	1.88m	
w5	中間壁の左側	0.66m	
	流出家屋まで距離	約11.4m	地盤のコンクリート部まで
	写真撮影高さ	約3.5m	2014/1/26 撮影
	映像撮影高さ	推定3.3m	2013/11/8撮影by Mr. Nickson Gensis 場所は住人証言による
	家 (h1,h2) の幅	約6.6m	
	道幅 (w1~w5の前)	約7m	

図-7 波浪追計算による最大有義波高分布
(縦軸：緯度，横軸：経度，波高単位[m])

ぶきがಾಗるので、短距離の現象しか見えなかったと考えるべきである。目視できた流れの方向は、その手前の構造物に影響する。このような条件のもとであるが、目撃証言から陸上で3回程度の段波群が3分程度の周期で一端低下もしくは地面が露出するまで降下した（5名中図-3の選択肢2の回答のべ4名また選択肢3の回答のべ2名。波形はさらに短い周期で変動）と考えられた。それらと記録されていた映像が矛盾しなかった。TaclobanとBaseyでのヒアリングでは図-3の選択肢4が該当したので、Taclobanでの高潮（数十秒間で上昇する3段の段波）とは異なる水位変化の現象がHernaniで起こったとも言える。また1件のみであったが、警察官による前日の夜から浸水に至るまでの約半日間の警戒中の証言内容は次のとおりであった。11月8日の真夜中2:30頃から波が大きくなり始め、未明の4:30頃から越波が始まり、5:00過ぎると海岸線近くは危険な状態になり避難を開始した。強い波は6:00～7:30くらいまで続いた。浸水は、陸にあがった海水が引く前に次の波が来ることが繰り返されることで発生した。

これらのことに、周辺で被害にあった集落が台風進路方向に開けた海岸のみであったことを合わせると次のことが推定される。高潮の上に外洋から入射してきた高波浪が陸上奥深くまで遡上して、排水される前に次の高波がやってくることで、海岸から数百m離れたところでも断続的に2時間程浸水することになった。高波はリーフ地形や砂浜・堤防で前傾化して段波形状となって家屋を押し流したものと推定される。なお、計算方法の詳細は（森ら，2014）に譲るが、この台風により大きな高波がHernani沿岸に襲うことは波浪追算で再現（図-7）できている。

6. 結論

強大台風は湾奥に高潮偏差を主体とした被害をもたらす以外にも、外洋に開いた海岸でも、設計高を大きく上回る高波浪を高潮偏差の上に来襲させ、L2津波による被害に迫る被害をもたらす場合があることを示した。Hernani町は地域の絆が大きく早めの避難の声かけによって犠牲者数が抑えられたが、家屋や社会施設の被害は甚大であったことを改めて強調しておく。この高波浪による浸水現象の数値再現を実施するためのデータも記したことから、本成果が強大台風による高波被害に関する想定外を防ぎ、減災対策に活用されることを期待する。

謝辞：本調査は日本土木学会（JSCE）とフィリピン土木学会（PICE）の合同調査の成果の一部である。BENITO M. PACHECO, PICE前会長をはじめフィリピン土木学会の方々から多大なる支援をいただいた。また本調査の前半は、（財）河川環境管理財団より支援をいただいた。調査の後半の一部は、JSPS科研費25303016（（B）海外学術調査，代表：佐々木淳），25305003（基盤研究（C），代表：信岡尚道），および文部科学省気候変動リスク情報創生プログラムの助成を受けてのものである。

参 考 文 献

- 森 信人・瀧谷容子・竹見哲也・金 洙列・安田誠宏・丹羽竜也・辻尾大樹・間瀬 肇（2014）：2013年台風30号Haiyanによる高潮の予測可能性と再解析精度，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.70, No.2, 投稿中
- Algue, P. Jose S.J. (1899) : "El Bagueio de Samar y Leyte, 12-13 de Octubre de 1898", Manila : J. Marty, 24p
- GMA NEWS Online (2013) : <http://www.gmanetwork.com/news/story/336504/news/specialreports/in-pictures-photos-of-woe-after-the-leyte-samar-storm-surge-in-1897>, (記事2013/11/21)，参照2014-05-20.
- NDRRMC, National Disaster Risk Reduction and Management Council (2014a) : NDRRMC Updates re Effects of TY YOLANDA (HAIYAN) [17 April.], 参照2014-05-20.
- NDRRMC, National Disaster Risk Reduction and Management Council (2014b) : Situation Report No.108 re Effects of Yolanda, 62P, <http://www.ndrrmc.gov.ph/>, 参照2014-05-20.
- Philippines Statistics Authority: <http://www.census.gov.ph/>, 参照2014-05-20.
- Plan (2013) : <http://plan-international.org/about-plan/resources/videos/video-typhoon-washes-house-away>, (Movie was taken by Mr. Nickson Gensis), 参照2014-01-15.
- The Municipality of Hernani, <http://www.hernani-esamar.gov.ph/>, 参照2014-05-20.
- Tajima, Y., Yasuda, T. Pacheco, B. M., Cruz, E. C., Kawasaki, K., Nobuoka, H., Miyamoto, M., Asano, Y., Arikawa, T., Ortigas, N. M., Aquino, R., Mata, W., Valdez, J. and Briones, F. (2014) : Initial Report of JSCE-PICE Joint Survey on the Storm Surge Disaster Caused by Typhoon Haiyan, Coastal Engineering Journal, Vol.56-01, DOI:10.1142/S0578563414500065.