

「ジャワ島南西沖地震・津波災害現地調査」

「スマトラ島沖地震津波詳細現地調査」

報告会



2006 年 9 月 20 日

立命館大学びわこ・くさつキャンパス

カラーニングハウス I C102 号室

主催：社団法人 土木学会

「スマトラ島沖地震津波災害」に対する詳細調査団

「ジャワ島南西沖地震・津波災害」に対する緊急調査団

「ジャワ島南西沖地震・津波災害現地調査」「スマトラ島沖地震津波詳細現地調査」報告会

土木学会（会長 濱田政則）は、津波防災施設の設計・建設だけでなく、津波に関する学術研究、観測、防災教育、住民避難誘導、被災者へのケア、復旧復興への提言など、津波防災に取り組んできた長い歴史を持っています。2004年インド洋津波の後では、土木学会が中心となり、ACECC（アジア土木学会連合協議会）に Technical Committee を設立し、ACECC 参加国や被災国が津波災害軽減のための情報集約、意見交換、および情報発信を行うこととしています。

このような中、土木学会は、2006年7月22日（土）から8月7日（月）にかけて、2004年12月のスマトラ島沖地震・津波災害の追加詳細調査、ならびに2006年5月のジャワ島中部地震の被害調査を目的として調査団を派遣し、また、2006年7月17日にインドネシア パンガンダラン沖で発生した M7.7 の大地震の被害に関して、上記調査団員の一部より調査団を組織し、派遣、調査を実施致しました。

内容：

1. 調査および調査団の概要 (宮島昌克団長（金沢大学）)
2. 「ジャワ島南西沖地震・津波災害現地調査」報告
 - ・ジャワ島の歴史的文化遺産の被害 (酒井久和団員（立命館大学）)
 - ・ジャワ島南西沖地震による津波被害 (藤間功司副団長（防衛大学校）)
 - ・ジャワ島南西沖地震による構造物被害 (庄司 学団員（筑波大学）)
 - (質疑)
3. 「スマトラ島沖地震津波詳細現地調査」報告
 - ・スマトラ島沖地震・インド洋津波の津波詳細調査 (榊山 勉団員（電力中央研究所）)
 - ・スマトラ島沖地震・インド洋津波のライフライン被害 (小野祐輔団員（京都大学）)
 - ・スマトラ島沖地震・インド洋津波の橋梁被害
(幸左賢二団員（九州工業大学）、田崎賢治団員（大日本コンサルタント）)
 - (質疑)

司会：橋本隆雄 地震工学委員会地震被害調査小委員会幹事長（千代田コンサルタント）

一 目 次

1. インドネシア ジャワ島南西沖地震・津波被害（速報） ----- 1
2. スマトラ島沖地震・インド洋津波によるスマトラ島北西海岸での被害 ----- 5

インドネシア ジャワ島南西沖地震・津波被害（速報）

ジャワ島南西沖地震・津波災害現地調査団

■はじめに

2006年7月17日にジャワ島南西沖約200kmを震源としたM7.7(USGS)の地震が発生した。この地震によって発生した津波はジャワ島南岸を襲い、死者500人を越える惨事となった(7月20日じゃかるた新聞²⁾)。ジャワ島では5月27日ジャワ島中部地震に引き続いての地震であり、現地は大きなショックを受けた。

土木学会では、7月22日から25日まで港湾空港技術研究所と共同でチラチャップ県以西における津波被害を中心とする調査を行なった(第1班)。次いで7月25日から28日まで立命館大学COE推進機構と協力しジョグジャカルタからパンガンダラン(図-1)までの地震被害を中心とした調査を行ない(第2班)、8月4日から7日までは1次、2次調査の未調査地を中心とした調査を行なった(第3班)。調査にあたっては、外務省など日本の各省庁、機関、またインドネシア海洋漁業省などとも連携を取った。調査団員は以下の通りである(○は各班のリーダー)。

＜港湾空港技術研究所・土木学会による第1班＞

○高橋重雄 港湾空港技術研究所 津波防災研究センター センター長

辰巳大介 港湾空港技術研究所 津波防災研究センター

藤間功司 防衛大学校建設環境工学科 教授

＜土木学会・立命館大学COE推進機構による第2班＞

○宮島昌克 金沢大学大学院自然科学研究科 教授

伯野元彦 攻玉社工科短期大学 学長

竹内幹雄 (株)日水コン下水道本部 技術調査役

小野祐輔 京都大学大学院工学研究科 助手

吉田雅穂 福井工業高等専門学校環境都市工学科 助教授

酒井久和 立命館大学COE推進機構 助教授

＜土木学会による第3班＞

○松富英夫 秋田大学工学資源学部附属地域防災力研究センター センター長

幸左賢二 九州工業大学建設社会工学科 教授

庄司 学 筑波大学大学院システム情報工学研究科 講師

嶋原良典 防衛大学校建設環境工学科 助手

村嶋陽一 (株)国際航業東日本支社 防災情報、津波・高潮担当

■現地調査の概要

チラチャップ県ウィダラパウン ウェタンの海浜公園(写真-1)では、津波が高さ4m程度ある砂丘を乗り越え海浜公園の施設を破壊し、背後の低地にある水田に流れ込んだ。海浜公園では高さ6mを越える痕跡が発見された。ここではカニを取る作業をしていた人たちを中心に約60名の死者が出た。チラチャップ市中心部から8kmほど東にある火力発電所では、津波が排水口天端(高さ4.3m)を越流し、キャットウォーク(写真-2)やスラリー輸送管が破壊した。

チアミス県のパンガンダランは観光地で、今回の津波で最も多く報道された地域である。パンガンダランは沖にある島まで砂浜が延びて繋がったトンボロ地形をしており、高い砂丘もなく地盤も

低いために大きな被害が出たと思われる。海岸線に近い木造家屋のほとんどが破壊されていた。残された家屋も壁が破壊されているものが目立った（写真-3）。多くの漁船が津波により陸上に流されたため、漁船との衝突によってレンガとコンクリートの構造物を破壊した（写真-4）ことも被害を大きくした要因であろう。痕跡高は西岸で4～5m程度、東岸で3～4m程度である（図-2）。

タシクマラヤ県でも5mを越える痕跡が見つかっているが、高さ4mの砂丘で守られており、深刻な被害が見られない地域が多かった。ただし河川から浸入した津波により大きな被害が出た地域があった。

■おわりに

今回の津波ではパンガンダランだけが大きく報道されたが、パンガンダランだけ特別に津波が高かったわけではない（図-3）。大きな被害が出た地域には「砂丘が低い」「地盤が低い」「海岸で多くの人が作業していた」「船が多い」「河川の近く」といった、被害が出やすい要因があった。また、地震動が小さく、地震警報もないまま突然の津波に襲われている。津波警報システム、津波防災施設、土地利用計画といった視点から、日本から提言できることは多い。また、我々が学ぶ教訓も多い。

なお、現地調査では東亜建設工業 口岩康行氏、JICA 高垣泰雄氏、PCI 幕田一郎氏、Sigit Widaryoko 氏に多大な協力をいただいた。ここに記し謝意を表する。

参考文献

1)USGS.

<http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/equinthenews/2006/usqgaf/>

2)じゃかるた新聞.

<http://www.jakartashimbun.com/>



図-1 被災地の位置図(Google Earth に加筆)



図-2 パンガンダランの地形と津波来襲方向
(数値は痕跡高)

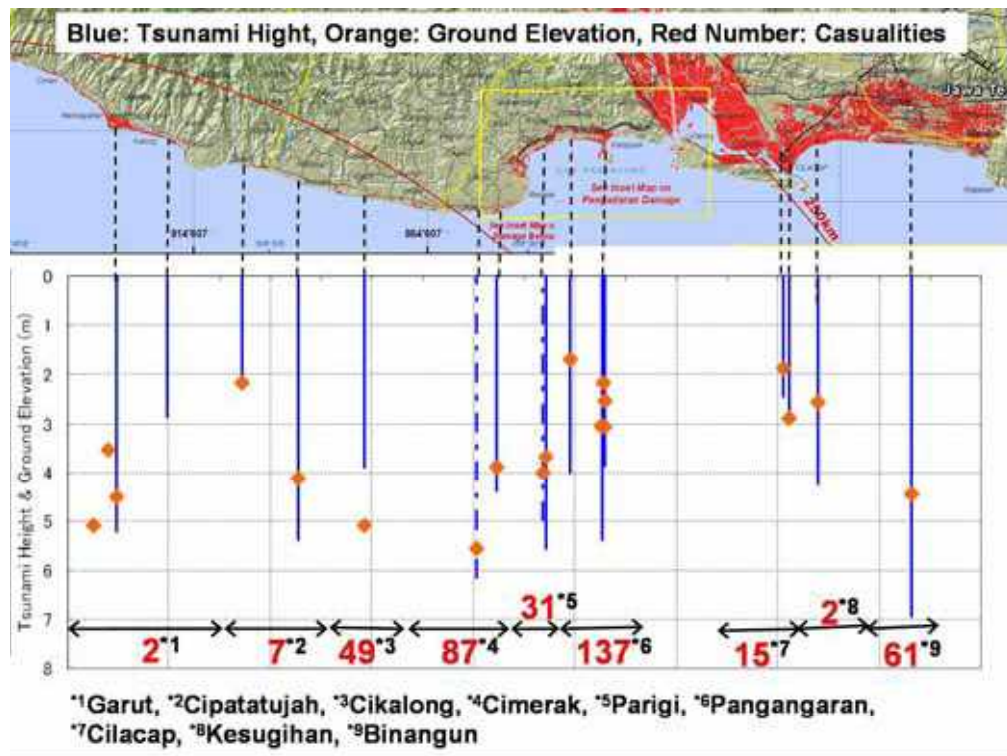


図-3 津波痕跡高，砂丘地盤高，死者数



写真-1 ウィダラバユン ウェタンの海浜公園施設の被災
(7° 42'S, 109° 16'E)



写真-2 カランカドリの火力発電所の被災 (7° 41'S, 109° 6'E)



写真-3 パンガンダランの被災状況 (7° 42'S, 108° 39'E)



写真-4 パンガンダランの被災状況 (7° 42'S, 108° 39'E)

スマトラ島北西海岸の未踏査地域の津波被害



▲トラス橋の上部工が約 300m 飛ばされている。向こう側が海岸線で中央付近のやしの木手前に見えるのが橋台。

2004 年 12 月に発生したスマトラ島沖地震によるインド洋津波により約 23 万人もの人命が奪われ、甚大な被害が発生したことはまだ記憶に新しい。地震直後は武装集団の活動により現地の住民すら立ち入ることが出来なかったスマトラ島北西海岸のバンダアチェからムラボーに至る約 250km の未踏査地域とムラボー市内を改めて調査したので被害状況を報告する。

バンダアチェからムラボーに至る約 250km の道路のうち約 85%が何らかの被害を受けており、36%は流出したり水没したりして全壊している。橋梁も約 53%において桁が流出したり全壊したりしている。

ムラボー周辺は今回の地震・津波で深刻な被害を受けた地区である。図-1 にムラボーにおける聞き取り調査（片平エンジニアリングインターナシ



ヨナルの協力による)に拠った津波浸水域を示す。これによれば、目撃された津波高さは岬の先端で 10~12m、プルタミナのオイルタンク地点で 8m程度、取水口地点で 1m程度である。同図の**写真-1**にプルタミナの玄関に掲げてある津波来襲図を示す。椰子の木の高さ一杯の津波、漂流をし始めるオイルタンクなどリアルに描かれている。**写真-3**にクアラ・ブブンに到る国道の橋梁の一例を示す。全て一様に桁は流失し、剥き出しになった橋台のみが孤立して残されている。この 15km 間の国道も廃棄されている。**写真-4**にムラボー南東クアラ・シハ近くの海岸の状況を示す。左端に立つ京大・小野の隣の椰子は綺麗に周辺が丸く洗掘されている。津波の押し引きの作用の結果である。**写真-5**にムラボー南クアラ・タズーのトラス橋の上弦材の座掘状況を示す。この橋梁は約 2

m程度上流に移動している。津波はトラス全体を覆った。この結果上弦材が座屈した状態が残されている。**写真-7**に取水口の取り込み口が傾いた状況を示す。地震時この建物は液状化によって浮上し周囲が約 1.5m沈下する時に傾斜して留まった。当然この動きによって取水管は被害を蒙っている。その後、津波のランナップを受け窓から濁水が侵入した。

タンクの被害などの詳細については別稿で報告する。



▲橋台と桁の一部だけが残されているが、周辺地盤は沈下し道路も水没している。



▲橋梁の桁は流失し、取り付け道路も完全に流出している。砂浜に取り残されているように見えるが、津波前と比べて周辺の地形全体が大きく変化している。

図-1 ムラボー地区の津波浸水域
(片平エンジニアリングの聞き取り調査をもとに
浸水マップを作成した。)



スマトラ島沖地震・インド洋津波による スマトラ島北西海岸での被害

土木学会・日本地震工学会合同
スマトラ島沖地震津波詳細現地調査団

■はじめに

2004年12月26日に発生したスマトラ島沖を震源とするM9.3の大地震と、それにより発生した津波はインド洋全域に膨大な被害をもたらした。震災後、様々な調査活動が行なわれたが、震源に近いバンダアチェからムラボーまでのスマトラ島北西海岸(図-1)はGAMと呼ばれる武装集団の活動により現地住民すら立ち入れない状況であったので、本格的な調査が実施されていなかった。これは、スマトラ沖地震・インド洋津波のメカニズムを議論する上で大きな不都合となっていた。しかし、昨年末に武装解除が行われ、道路の復旧に伴ってバンダアチェからムラボーまでの道路に立ち入ることができるようになった。土木学会・日本地震工学会ではこの機会に調査団を派遣し、ロンガからムラボーまでの未調査地域(直線距離で約180km)の地震・津波被害を調査することにした。調査期間は7月29日～8月6日、調査団員は以下の通りである(○は団長)。

○宮島昌克	金沢大学大学院自然科学研究科 教授
藤間功司	防衛大学校建設環境工学科 教授
伯野元彦	攻玉社工科短期大学 学長
竹内幹雄	(株)日水コン下水道本部 技術調査役
小野祐輔	京都大学大学院工学研究科 助手
幸左賢二	九州工業大学建設社会工学科 教授
庄司 学	筑波大学大学院システム情報工学研究科 講師
田崎賢治	大日本コンサルタント(株)構造計画室
松富英夫	秋田大学工学資源学部附属地域防災力研究センター センター長
榊山 勉	電力中央研究所 地球工学研究所
辰巳大介	港湾空港技術研究所 津波防災研究センター
嶋原良典	防衛大学校建設環境工学科 助手
チャルレス・シマモラ	防衛大学校建設環境工学科

■現地調査の概要

(1) 津波

2005年1月に調査されたレオポンにおける、2005年1月と今回の痕跡の比較を写真-1に示す。津波から1年7ヶ月経ち、津波によって樹木が削られた部分にも草が生えているが、津波の高さを知ることは可能である。

地震と津波で被災したブランメ北西部のモスクを写真-2に示す。津波の高さは2階の縁までとして9.5mである。しかし、ドーム下の天井(高さ12m)が破れていたこと、ドーム頂上(高さ17m)まで波が達したという証言があったことから、スプラッシュとしては12～17mまで上がっていたと思われる。チャランは壊滅的な被害を受けた都市である。ある家族は家の近くの小山に避難して



図-1 調査位置図



写真-1 レオボンの津波痕跡



写真-2 ブランメ北西部のモスク (5° 15' N, 95° 15' E) ; (1) 外観, (2) 内部

難を逃れたが、山頂から1mのところまで津波が来たという。これは、高さ18.6mになる。チャランからムラボーにかけては低湿地が多く、遡上高は不明だが、ムラボー市内でも5mを越える浸水高があった(写真-3)。

2005年1月～3月の調査で、ロンガ周辺で20～30mの遡上高があったことはすでに分かっていた。今回の調査により、2005年1月に調査したロンガ周辺の痕跡高が最も高いと言える。ただし、ロンガからチャランまでの約100kmにわたり、13～20mの遡上高があった。チャランからムラボーにかけては5mを越える浸水高があり、もし小山があったとしたら、10m以上の遡上高になって

いたと思われる。インド洋津波はスマトラ島北端から10kmの範囲では20~30m, 100kmの範囲では13~20m, そして200kmの範囲で10m前後の遡上高となる規模だったと考えられる。

(2) 橋梁被害

図-2の詳細調査図に調査ルートと橋梁位置を示すが、海岸線は数kmにわたり津波の浸水を受けており、従来の道路も多くは流失や水没している。このため、図-2のA, B, Cの地域では水没した地域の道路を復旧するのではなく、山の中に新たに未舗装の道路を切り開いており、凸凹が酷く、ジープでも時速10km程度の走行となっている。表-1に示すよう

にJICAの報告書¹⁾によると、道路全体(247km)の85%近くの210kmで流失や水没を含む被害が発生している。また、橋梁についても、142橋のうち83橋で流失などの被害が発生している。表-2に、同ルートを踏破して確認した橋梁の一覧表を示す。西海岸道路は、各国のODAにより建設されたものであり、20mまでの短スパンはRC床版桁、30mを超えるスパンは鋼トラス桁を標準としている。時間の制約があり、142橋のうち損傷度を確認したものは33橋であるが、そのほとんどの橋梁では桁流失などにより、橋梁の機能そのものが消失していた。例えば、写真-4に示すラムベウソ橋梁は、周辺の大規模な洗掘により道路は水中に陥没し、橋台が海上に浮かぶ状況であった。このた



写真-3 ムラボーのモスク横の建物に今も残る津波痕跡 (4° 8' N, 96° 8' E)

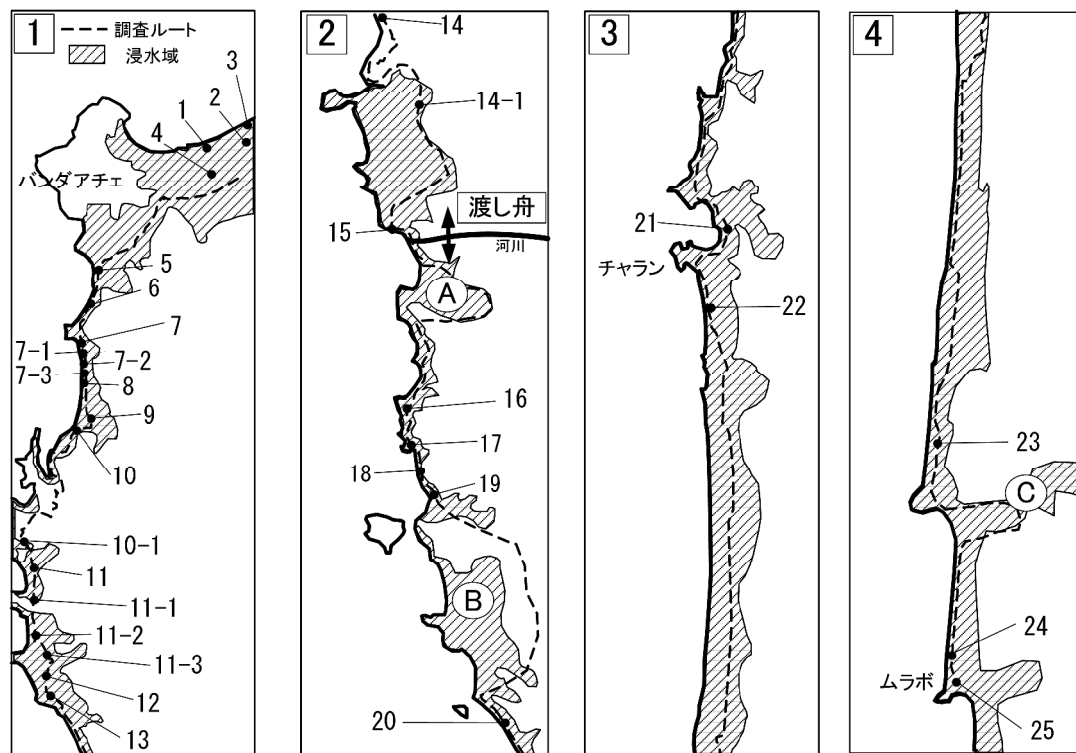


図-2 詳細調査図

め、数キロ内陸側に新たな道路を建設中であった。これに対して、バンダアチェ周辺の橋梁では、桁は移動により流失した者もあったが、橋台や橋脚の背面土の洗掘などが認められたものの、機能は確保されていた。

ここでは、詳細調査から損傷状況を推定した橋梁のうちの、バンダアチェ市から南に位置するロッカチャ橋梁の損傷状況について説明を加える。ここでは河川の両側が小高い丘陵となっており、津波が集積する地形となっている。このことは、現地のヒヤリングや写真-5に示すように桁の移動距離が

に及ぶことから裏づけられる。図-3は、衛星より推定した橋梁一般図であるが、短スパンは床版鋼桁橋、長スパンはトラス桁構造となっている。現地調査の結果、両桁とも上流側に流されているのが確認された。また、橋台背面土の以上洗掘されており、津波が大規模であったことを裏付けている。そこで、短スパン桁が桁移動に至る流速を、抗力係数 2.0、被水圧面積、桁の重量を浮力を考慮せずにとして求めるとV となる。しかしながら、桁および鋼トラスともにも流されていることから、本地点では地形条件により波高や流速を増した大規模な津波が発生

表-1 西海岸における道路、橋梁の被害状況¹⁾

道路 (km)		橋梁 (橋)	
流失、水没区間	29.6	流失あるいは崩壊	76
全壊区間	60.1	被害有り	7
中規模被害区間	94.1		
小規模被害区間	26.0		
小計	209.8	小計	83
被害なし	37.2	被害なし	59
合計	247.0	合計	142

表-2 橋梁の被災程度一覧

No.	橋梁種別	ランク	特徴
1	3径間PC桁橋	B	桁が50cm移動
2	1径間PC桁橋	B	桁が50cm移動
3	10径間PC桁橋	A, B	桁流失、柱流失、橋台裏側の洗掘
4	2径間PC桁橋	B	桁が80cm移動
5	2径間鋼トラス桁橋	A	トラス橋が下流へ流失
6	3径間ボックスカルバート桁橋	C	損傷なし
7	2径間RC桁橋	C	損傷なし
7-1	RC桁	C	損傷なし
7-2	RC桁	C	損傷なし
7-3	RC桁	C	損傷なし
8	スパン25mRC桁	A	桁流失
9	鋼トラス桁、鋼I桁	A	桁流失
10	2径間RC桁	A	桁流失
10-1	ボックスカルバート桁橋	C	損傷なし
11	鋼トラス桁橋	A	桁流失
11-1	ボックスカルバート桁橋	C	損傷なし
11-2	RC桁	B	桁が3m移動
11-3	RC桁	B	桁が1m移動
12	2径間トラス桁	C	損傷なし
13	1径間鋼I桁	B	桁が2.4m移動
13-1	2径間鋼トラス桁橋	A	桁流失
14	1径間鋼トラス桁橋	A	桁流失
14-1	1径間鋼トラス桁橋	C	損傷なし
15	6径間PCI桁橋	A	桁流失
16	3径間PCI桁橋	A	桁流失
17	1径間RCスラブ橋	A	桁流失
18	1径間鋼トラス桁	A	桁流失
19	1径間鋼トラス桁	A	桁流失
20	未確認	A	桁流失、橋台裏側の洗掘
21	未確認	A	桁流失
22	2径間鋼トラス桁	A	桁流失
23	3径間鋼トラス桁	C	無損傷
24	未確認	A	橋梁周辺の大規模な洗掘
25	鋼トラス桁橋	A	桁流失、橋梁周辺の大規模な洗掘

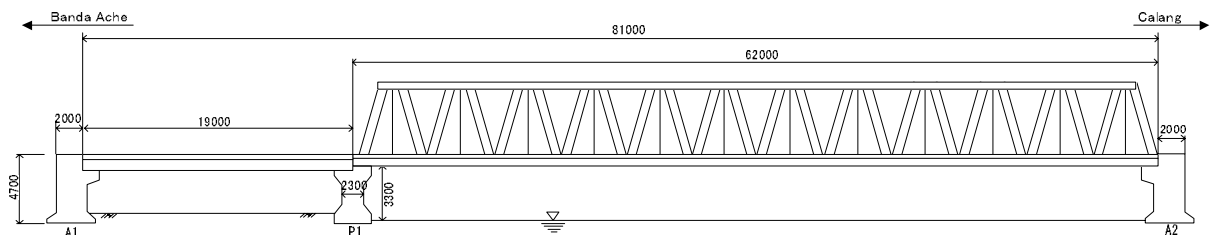


図-3 橋梁一般図

したことが考えられる。

同様の手法で詳細調査した 橋 に対する桁移動解析では鋼桁で
， ， コンクリート桁で
， で桁移動が発生す
る結果となった。これに対して，
現地におけるビデオ映像を用いた
分析では の流速推定が報告
されており，概ね対応した結果で
あると推測される²⁾。

(3) タンク被害

写真-6 にムラボーから 15 km 北西に行った地点クアラ ブボン にあったパームオイルタンクの津波前後の様子を示す (㈱カリヤタナスブル提供)。タンクは海岸線に直交して2基建設されており，海側のタンクは容量 2000 t で空に近い状態，陸側のタンクは容量 1500 t でほぼ満杯で出荷直前であった。陸側の満杯のタンク (写真左側) が陸側へ 3 km 流され，海側の空のタンクが側板上部の異常な凹みを残して留まった (写真-7)。従業員の話では津波は濁水だけでなく，建物や樹木など様々なものと一緒に来襲したとの事である。なお，津波以後，海岸線は徐々に浸蝕されこの地点で約 100m 後



写真-4 ラム ベウソ橋梁 (No. 15) の被災状況
(5° 3' N, 95° 20' E)



写真-5 ロッカチャ橋梁 (No. 9) の桁の流出 (Photo by UN)
(5° 22' N, 95° 16' E)



写真-6 被災前のパームオイルタンク
(4° 12' N, 96° 2' E)



写真-7 被災後のパームオイルタンク

退している。写真で見える構造物は現在全て水没している。

写真-8 にプルタミナのオイルタンク群を示す。このうち白っぽく見える2号タンクが最初の押しで浮上し、引きで沖合 500m程度に流され、次の押しで陸側 1kmの地点まで漂流した。周囲の樹木や建物の関係で2号タンクに津波が集中したと言う。写真のタンクは津波後に新築されたものである。



写真-8 プルタミナのオイルタンク群
(4° 9′ N, 96° 8′ E)

■おわりに

地震直後には立ち入ることが出来なかったバンダアチェからムラボーまでのスマトラ島北西海岸の津波と橋梁被害、ムラボー周辺におけるタンク被害について報告した。多くの橋梁、道路が被災し、その被災程度がさまざまであるので、今後、各地点における津波高さと流速が精度よく推定されることにより、津波が構造物被害に及ぼす影響を詳細に検討できるものと期待される。

なお、現地調査では片平エンジニアリングインターナショナルの太下副武氏、宮崎清治氏に多大な協力をいただいた。ここに記し謝意を表する。

参考文献

国際協力機構社会開発部，北スマトラ沖地震津波災害緊急復旧・復興プログラム最終報告書，

3)井合 進，本田利器，飛田哲男，3.5.1.スマトラ島の強振動と地盤災害，スマトラ島沖大地震及びインド洋津波被害に関する緊急調査研究，平成16年度科学振興調整費緊急に対応を必要とする研究開発等報告書，2005