

スマトラ島における土構造物の被害

飛田哲男¹・井合進²・Banta Chairullah³・Wimpie Asper⁴

¹正会員 京都大学 防災研究所助手 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: tobita@geotech.dpri.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学 防災研究所教授 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: iai@geotech.dpri.kyoto-u.ac.jp

³Syiah Kuala 大学土木工学科教授 (Banda Aceh, 23111, Indonesia)

⁴インドネシア技術評価応用庁

(Gedung I BPPT Lantai 11 Jl. M.L. Thamrin No. 8, Jakarta 10340, Indonesia)

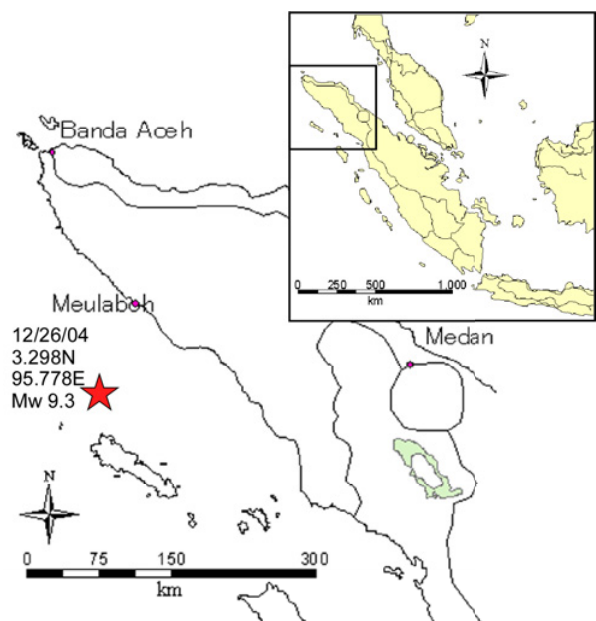
現地調査は、スマトラ島沖大地震における強震動や地盤の液状化など、津波以外の被害の実態を明らかにすることを目的とした。調査地点は震源に近いスマトラ島バンダアチェ(Banda Aceh)およびムラボー(Meulaboh)である。本報告では、低平地における地盤に関する被害について報告する。西海岸の河口デルタ周辺の村(Kuala Bubon)での聞き取り調査では、地震直後に橋の取付け部の盛土が沈下し、車やバイクでの避難が困難であったとの証言を得た。ムラボー市内では、地震によるRC造建築物の倒壊がみられた。また沿岸部では津波によりほぼすべての住宅が流されていたが、津波が到達しなかった内陸部の住宅は外見上ほぼ無被害であり、沿岸部との対比は著しい。

Key Words : 2004/12/26, Sumatra, Earthquake, Tsunami, Earth structure

1. はじめに

2004年12月26日午前7時58分(現地時間)インドネシアのスマトラ島北西部を震源域(図-1)とするマグニチュード9.3の大地震が発生した。この地震により発生した津波はスマトラ島北西部のみならず、インド洋に面する多くの国の沿岸部を襲った。この地震、津波による死者・行方不明者の数は、2005年4月現在23.3万人に達している。

現地調査は、スマトラ島沖大地震における強震動や地盤の液状化など津波以外の被害の実態を明らかにすることを目的として実施された。調査期間は、本震から約2ヵ月後の2005年3月1日から6日、調査地点は震源に最も近いスマトラ島バンダ・アチェおよびムラボーである。本報告では、特に低平地における地盤、土構造物、および沿岸構造物に関する被害について報告する。



2. バンダ・アチェ(Banda Aceh)の被害状況

(1) 海岸線地盤の流失・沈下

バンダ・アチェ市は、アンダマン海に向かって流れ込むアチェ川の河口に広がる東西20km南北10kmほどの堆積平野に位置する(図-2)。市街地中心部を

図-1 震源位置とスマトラ島北部

流れるアチェ川の河口から10kmほど上流で東側に洪水抑制を目的とするAceh分水を設けている。堆積平野は、シルトおよび粘土で構成され、グランドモスク付近のアチェ川東側の一部および海岸線沿い

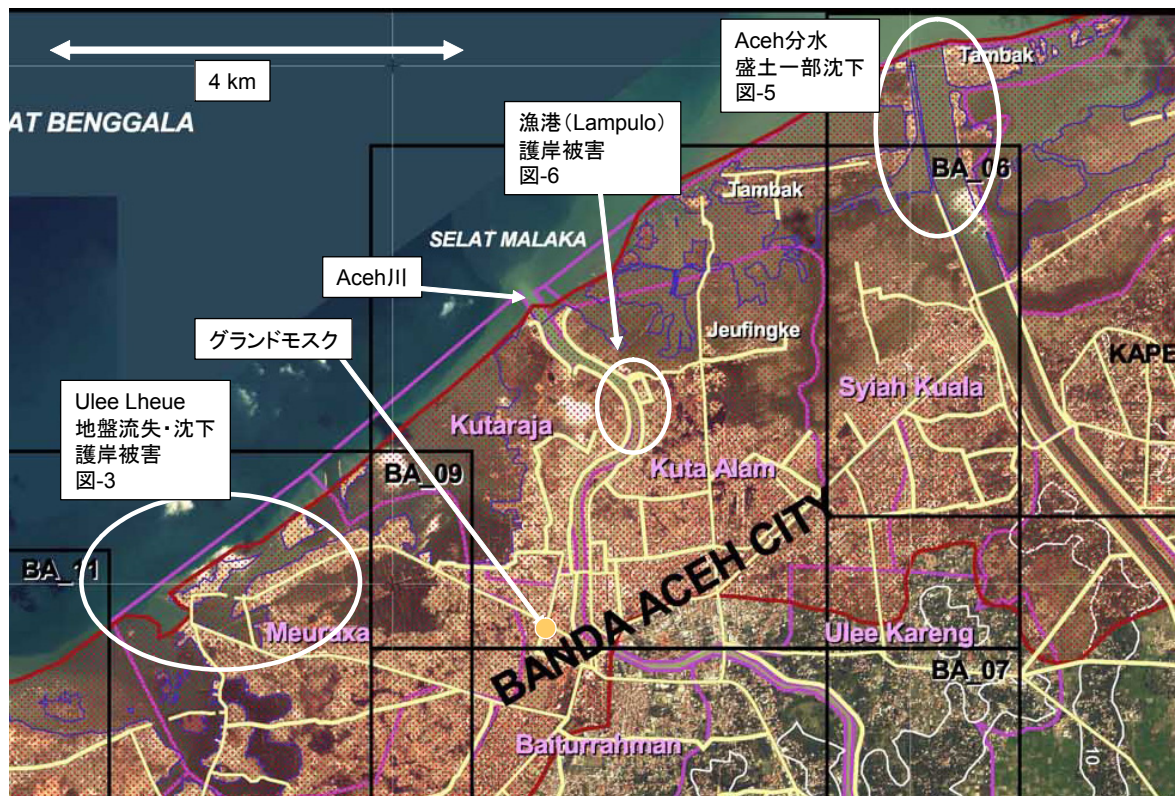


図-2 バンダ・アチェ中心部 (Center for Satellite Based Crisis Information¹⁾ に加筆)



図-3 ウリーリー地区の海岸線消失状況

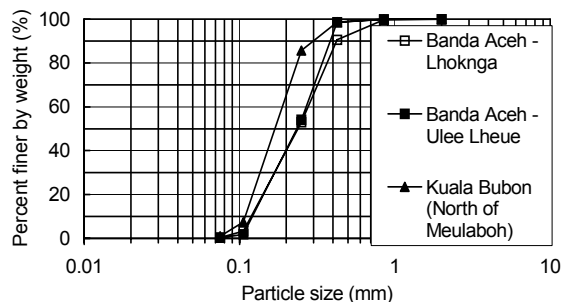


図-4 バンダアチェおよびムラボーで採取した砂の粒径加積曲線

が砂地盤となっている²⁾。ウリーリー(Ulee Lhee)地区(図-3)をはじめとするバンダアチェ北岸の海岸線では、砂洲が発達し、その陸側に後背低地が広がる形態の微地形で構成されている。後背低地はえびの養殖場として利用され、養殖池の区画を構成するあぜ道を除く部分は地震前から水面下にあった。ウリ

ーリー地区では、港湾産業と関連する形で砂洲の市街地化が進み、海岸線前面まで市街地が形成され、アチェ川の河口の付替えなども行われている。

ウリーリー地区をはじめとするバンダ・アチェ北岸では、地震後に数百mにわたり海岸線が後退している。これらの地点では、少なくとも数箇所では液状化の発生に関する証言が得られた。また、現地で採取した砂の粒度構成(図-4)から、液状化が発生しやすい粒度であることが明らかにされた。これらのことから地震後の数百mにわたる陸地の水没は、砂洲が液状化により軟弱化した後に津波による侵食作用が加えられた複合作用の結果であり、砂洲の水没部分とその背後の後背低地の水面部分が連続する形で、海岸線の大規模な後退につながったものと推定される。

(2) アチェ分水の堤防盛土被害

アチェ分水はアチェ市内を流れるアチェ川の洪水対策として、日本政府の海外経済協力基金によって建設され、1992年に完工したものである³⁾。河口付近の堤体は一部表面の土が洗われ、防砂シートが現れている部分も見受けられたが、堤防としての機能は維持している。被害は河口から1kmほど上流部の左岸において見られた(図-5)。被害形態は、堤体が側方に広がり天端が沈下したものである。この付近の堤内地はえびの養殖池になっており、もともと地盤が軟弱で常時水位が高かったことが被害に影響しているものと推察される。右岸側の堤防の方がより侵食を受けているように見受けられたが、津波の来襲方向と関係している可能性がある。また、河口付

近にかかる橋が津波によって落橋していた。

(3) 漁港(Lampulo)の護岸被害

アチェ市中心部から北へ3kmほどのLampulo地区にある小さな漁港（船は川岸に着岸，栈橋はない）において，右岸の護岸のはらみだしや，崩壊が見られた(図-6)．対岸は今回の地震による廃棄物集積場になっている．護岸崩壊地点の土質は粘土の卓越する砂質粘土地盤である．強震動によって護岸が川へせり出し，その後の津波で崩壊に至ったものと推察される．被害の軽微な箇所では，魚を水揚げしていた。

(4) 石油タンク・パイプライン敷設用盛土の被害

アチェ市の東部Malahayatiの石油の積み下ろし基地において，タンカーから原油を輸送するためのパイプラインを敷設するための盛土の一部に被害が見られた(図-7)．盛土の延長は約1kmで，海上に伸びた先端付近は栈橋式構造になっている．盛土本体の寸断箇所はなく，仮配管を敷き供用中であつた．施設の重要度から，被害の原因は液状化ではなく津波によるものと推察される．また石油タンク3基が津波によって流され⁴⁾，内1基は西へ約300m流されていた。

3. ムラボー(Meulaboh)周辺の被害状況

(1) クアラ・ブボン (Kuala Bubon) における海岸線道路の寸断

スマトラ島西海岸の幹線道路では，ムラボーより北側のバンダ・アチェまでを結ぶ区間が著しい被害を受けた(図-8，図-9，図-10)．ムラボーより北では道路が海側の砂州上に建設されていたため，津波による侵食をうけ，寸断されている箇所が多い．このため内陸部の細い未舗装路の交通量が著しく増加している．一方，ムラボーより南では砂州の背後の後背低地よりさらに陸側の砂地盤上に道路が建設されており，この相違も被害の相違の原因の一つと考えられる．聞き取り調査から，地震直後に取付け部盛土の沈下(図-11)が発生したため，バイクや車を使つての避難が困難であつたとの証言を得た．この原因としては盛土の締固め不足や液状化の影響が考えられる。

(2) 河口デルタ付近の地盤流出・沈下 (Kuala Bubon)

バンダ・アチェからムラボーにかけての海岸線に流れ込む河口付近などでは，海岸線沿いの陸地の水没が著しい．ムラボーから約15km北に位置するクアラ・ブボン(Kuala Bubon)においても，河口付近に市街地，村落が形成されていたため，市街区の水没および周辺地盤の水没による孤立化などが，数百mオーダーの規模で発生した(図-9，図-10)．このため，クアラ・ブボンの村民1,500人の約4分の1が亡



図-5 堤体が崩壊した河川堤防(Aceh 分水左岸)

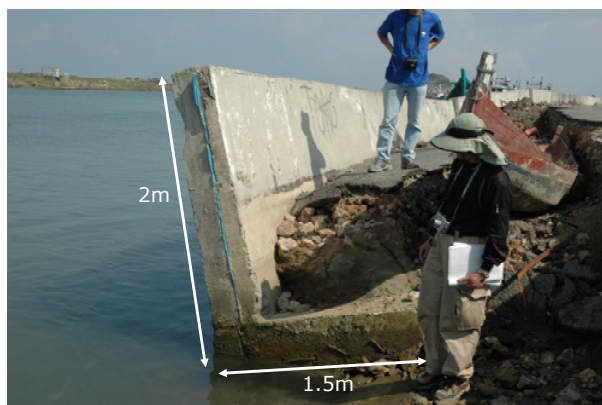


図-6 前面にせり出したL字擁壁(Lampulo)



図-7 石油積み下ろし基地のパイプライン盛土の被害(Malahayati)



図-8 海岸線道路の寸断状況(Kuala Bobon)：被災前は道路が続いていた(図-9の十字路付近)。

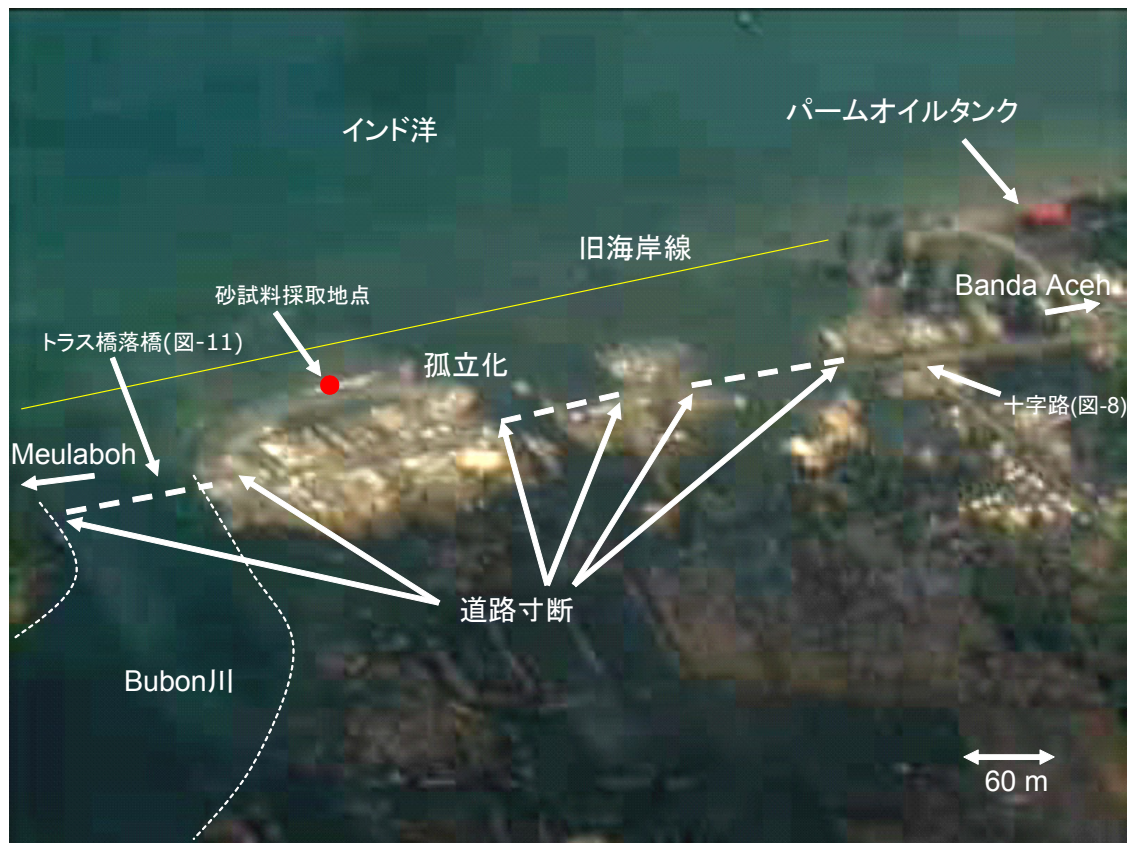


図-9 河口デルタ付近の地盤流失・沈下 (Kuala Bubon)

くなったとのことである。

液状化の証言は、ムラボー、クアラ・ブボンで得られた。また、クアラ・トゥハ(Kuala Tuha)では、橋梁の取付け部付近の地盤で噴砂の痕跡が確認された。これらの地域における海岸線沿い、特に河口付近の陸地の水没は、液状化と津波の複合作用の結果であると推定される。

(3) ウジョン・カラン(Ujong Kalang)のフェリー桟橋被害と市内の被害

ムラボー市内のウジョン・カラン(サンゴ岬)にあるフェリー桟橋では、津波により床版が海中に落ち、杭だけが残っていた(図-12)。岬の建築物はほぼすべて流失しており、あたり一面瓦礫が散乱しているが、岬先端付近の警察の建物(3階建てRC造)は倒壊を免れている。ムラボー市内は、地震による高階層RC造の倒壊が散見されたが、1階部分を除いてほぼ無被害のものも多く見られた。また、岬から北へ約3kmから4km内陸で津波の被害を受けていないところでは、地震動によって倒壊した家はほとんど見られず、津波の被害を受けた地区との対比は著しい。

(4) 橋と取付け盛土の流失(Kuala Tadu)

調査区域は道路条件や時間的な制約から、ムラボーの北約15kmのクアラ・ブボンから約30km南のクアラ・タドゥ(Kuala Tadu)に制限された。橋梁の主な被害は、津波による上流側への橋桁の変位ないし流失、取付け盛土の津波による流失などである(図-

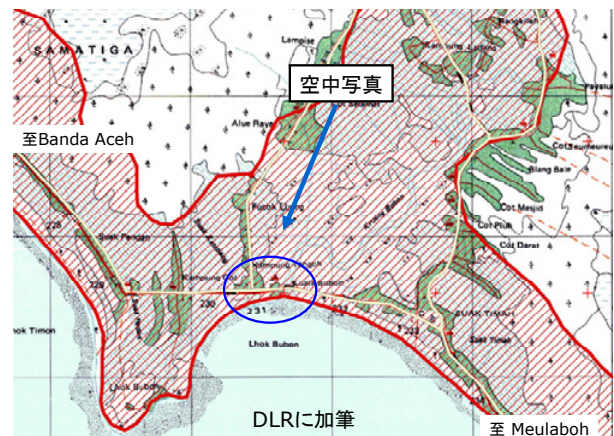


図-10 クアラ・ブボン周辺の津波浸水域と図-8に示す空中写真の撮影方向(Center for Satellite Based Crisis Information⁵⁾に加筆)



図-11 落橋したトラス橋の右岸側橋脚(Kuala Bubon)



図-12 フェリー栈橋の流失(Ujount Kalang)



図-13 取付け盛土の流失(Kuala Tadu)

13). クアラ・タドゥでは、取付け部の盛土が流失したため応急的にやしの木10本程度をバイクのチェーンで縛りつけ橋脚に渡して使っていた。

4. まとめ

スマトラ島沖大地震における強震動や地盤の液状化など津波以外の被害の実態を明らかにすることを目的として現地調査を行った。本報告では、特に低平地における地盤、土構造物、および沿岸構造物に関する被害について報告した。調査の結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) バンダ・アチェ沿岸部の陸地の流失は、液状化と津波の複合作用で海側の砂州が侵食された結果、海岸線が後背低地まで後退したものと推察される。
- 2) Aceh分水の河川堤防盛土の一部が崩壊した原因は、その崩壊形態から液状化が第一義的な要因であると考えられる。
- 3) ウリーリーの漁港護岸の被災原因については、背後地盤が粘性土の卓越する地盤であることから、地震動あるいは津波によるものであると推察される。
- 4) バンダ・アチェとムラボー間の幹線道路が津波により寸断されたのは、道路が海側の砂州上に建設されていたこともその要因の一つである。
- 5) 地震動とそれに伴う液状化により橋梁取り付け部の盛土が沈下したことで、車・バイクによる避難が妨げられた可能性がある。津波のような、短い時間での避難が要求される場合には、避難経路の耐震化も重要である。

謝辞

本調査は、平成16年度科学技術振興調整費「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」のサブテーマ「地震津波災害の脆弱性要因の調査」（代表：家村浩和京都大学教授）の一環として実施されたものである。現地では、Mex氏(現在UNJLC勤務)に自宅を宿舎として提供して頂くなど全面的にお世話になった。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Center for Satellite Based Crisis Information: Indonesia/Sumatra – Banda Aceh Region, 2005.
- 2) Wafid, M. W.: Banda Acehの地質図, Engineering Geology Subdivision, Directorate General of Geology and Mineral Resources, Indonesia, 2005.
- 3) 建設技研: Banda Aceh津波災害報告書 (Inception Report), (株) 建設技研インターナショナルメダン事務所, 2005.
- 4) 土木学会調査団: 「スマトラ島沖地震・津波災害」土木学会スマトラ島調査団報告, 土木学会誌5月号, pp. 31-34, 2005.
- 5) Center for Satellite Based Crisis Information: Indonesia/Sumatra - Meulaboh - Map Sheet 052011, 2005.

(2005.6. 16 受付)

Damage to earth structures after the 2004 Sumatra-Andaman, Indonesia, Earthquake

Tetsuo TOBITA, Susumu IAI, Banta Chairullah, Wimpie Asper

Behind the damage due to the devastating tsunami after the 2004 Sumatra-Andaman earthquake, it was not clear how much damage was caused by the strong motion of magnitude 9.3 earthquake. To investigate this reconnaissance was carried out after two months of the event. Damage to the ground including liquefaction, earth structures, and port facility are reported. The investigated areas were Banda Aceh and Meulaboh where the closest city from the epicenter in west coast of the Sumatra Island.