

2004年スマトラ沖地震： バンダアチェにおけるアンケート震度調査

本田 利器¹・高橋 良和²・Mulyo Harris Pradono³・Rudi Kurniawan⁴

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

²正会員 工博 京都大学 都市社会工学専攻

³正会員 工博 京都大学 都市社会工学専攻

⁴M. Eng. Syiah Kuala 大学

2004年スマトラ沖大地震の際のバンダアチェにおける地震動の強さや、地震動による被害の分布等を推定する基礎資料を得るため、アンケートによる震度評価を行い、地震動強度の評価を試みた。市内の幹線通り沿いや、津波により甚大な被害を受けた海岸部では、震度は5強～6弱程度であり、これらの地区でも、グランドモスク周辺と同等の地震動及び同程度の地震動被害が生じていたと考えられるという結果を得た。

Key Words : Sumatra Earthquake, Banda Aceh, questionnaire method, JMA seismic intensity

1. はじめに

2004年12月26日7時58分(現地時間)に、スマトラ沖(北緯3.3度、東経95.9度)震源深さ30kmで、マグニチュード9.0(～9.3)の大地震が発生した。この地震によって強い津波が発生し、インドネシアだけでも死者・行方不明者は16万人あまり(2004年4月7日現在)、それ以外の国の死者・行方不明者を合わせると25万人に及ぶ死者が出たとされる。

津波による被害が甚大であるためにその被害が多くの方面の関心を集めているが、復旧戦略の策定などのためにも地震動強さの評価が望まれる。

筆者らは、京都大学家村浩和教授を団長とする調査団の活動の一部として、甚大な被害を受けたバンダアチェで、2005年2月28日～3月7日に調査を行った。その調査の一環として、バンダアチェにおける地震動強さを検証するために、アンケートによる震度(気象庁震度)の評価を行った。本稿ではその結果を報告する。

2. 強震記録

バンダアチェには地震計を有する気象観測所(図-1)がある。地震当日の地震動の記録も観測されているが、図-2の下に示されるように、この記録は完全に振り切れてしまっているため、地震動の評価には利用できない。同じ写真の上部に、通常地震記録の例が写っている。この記録は一般的な地震波形の時刻歴である。これとの比較により、本地震の際の地震動の揺れが、こ



図-1 バンダアチェの観測所



図-2 当該地震の強震記録(振り切れている。)

の地震計の計測可能範囲を(振幅においても、継続時間においても)大きく逸脱するものであったことが見



図-3 バンダアチェ市内の領域分け

てとれる。

したがって、代替手法として、アンケートによる震度評価を行い、地震動強度の評価を試みた。

3. アンケート震度調査

(1) 調査方法

太田ら¹⁾の提案した方法論を用い地震動強さの推定を行う。これは、被災地域で被災者へのアンケートに基づき地震動強さ（気象庁震度）を評価する手法である。兵庫県南部地震（1995）をはじめし、グジャラート地震（インド、2001年）、バム地震（イラン、2003年）を含む海外の地震等、多くの地震に適用された実績を有し、信頼性も高い。本調査では、アンケートの英語・インドネシア語訳¹を作成し、現地での協力を得て調査を実施した。

調査に当たっては、バンダアチェ市内を中心に A～L の 12 地区を設定した。地区 A～H は図-3 に示されるようにバンダアチェ市内に位置する。

地区 A,B,C は、市街の基幹道路沿いの重要な商業地域である。これらの地区では多くの構造物が津波により失われてしまった。地区 D,E,F,G は、大規模な住宅

地であった地域である。これらの地区においてもほとんどの家屋が津波により流出してしまった。これらの地区は重要な地域でありその被害程度には社会的な関心が高いと思われる。しかし、被災した構造物の多くが津波により流出もしくは損壊してしまっているため地震動による被害の程度を直接調査することができない。そこで、本調査では、被害の推定にも援用することを視野にいれた地震動推定を試みるものとした。

この目的のため、グランドモスクの周辺である地区 H を設けた。この地区は中心街にあたり、様々な種類の建物が存在する。この地区も浸水したが、破壊力を持った津波は到達しなかったため、津波による建物の損壊被害は小さかった。そのため、地震動により被災した様々な建物が津波に流されずに残っている。これらの点を鑑み、地区 H を、他の地点における地震動による被害を推定するための基準とすることができると判断した。

上記地区の他、大きな津波被害を受けたセメント工場（地区 I）、前述した気象庁の測候所（地区 J）、Krueng Raya 港の西に位置する海岸部（地区 K）、Meulaboh（地区 L）の 4 地区においても調査を行った。

アンケートは被災した方々を対象とし、アチェ語の分かる方の通訳を通して補助的な説明を加えながら行った。避難場所は、被災前の居住地区ごとにまとまって

¹ 作成した英語・インドネシア語版アンケートは
<http://www.catfish.dpri.kyoto-u.jp/~honda/aceh2004/>
 から入手可能である。

表-1 各地区の震度の評価結果

地区	地区の説明	震度 *1	データ数
A	Jl. Mohammad Daud Beureueh (east part)	5.4912 (5+)	22
B	Jl. Mohammad Daud Beureueh (middle part)	5.3517 (5+)	34
C	Jl. Mohammad Daud Beureueh (west part)	5.6139 (6-)	64
D	Vicinity of Dayah Raya (Makam Syiah Kuala.)	5.4198 (5+)	31
E	Vicinity of Alue Naga	5.4229 (5+)	25
F	Vicinity of Kajhu	5.6341 (6-)	41
G	Vicinity of Kecamatan Meuraxa	5.4685 (5+)	74
H	Vicinity of the Grand Mosque	5.4443 (5+)	27
-	Whole Banda Aceh City	5.4977 (5+)	329
I	Vicinity of the cement factory	5.4298 (5+)	19
J	Meteorological observation station	5.1922 (5+)	24
K	Damaged area in the west of Krueng Raya Port.	6.1382 (6+)	4
L	Meulaboh	5.6590 (6-)	5

*1 () 内の数は気象庁震度を表す。

設けられており、それぞれの地区で被災された方々が避難されている場所の情報は全く問題なく入手することができた。そのほか、中学校、高等学校等の教員や職員の方にもアンケート回答に協力をいただいた。

(2) 調査結果

得られた回答数及び評価された震度を表-1 に示す。有効回答総数は 381 である。バンダアチェ市内の A ~ K 地区においては、算出された震度の値は最も低い B 地区と高い F 地区でもその差は 0.3 程度でありばらつきは小さい。

幹線通り沿い (地区 A ~ C) や、津波により甚大な被害を受けた海岸部 (地区 D ~ F) では、震度は 5 強 ~ 6 弱程度であり、震度 6 弱を与えた基準地区 H と同程度の地震動が生じたと考えられる。一方、津波による大被害が見られたが地震動に起因すると思われる被害は限定的であったセメント工場 (地区 I) の震度の評価は、5 弱と若干低い。

バンダアチェ市内 A ~ H 地区での震度のばらつきが小さいため、市内での全ての回答をまとめて処理することは妥当であると考えられる。バンダアチェ市内であることはわかっているが、その詳細な場所が特定できなかった回答を含めると、該当する回答の数は 329 であった。これらを処理すると、震度の評価値は 5.4977 となり、震度 5 強と 6 弱のほぼ境界の値を与える。これは、USGS²⁾の発表したバンダアチェの震度である VIII (修正メルカリ震度・気象庁震度で概ね 6 に相当する。)よりは若干低い評価値であると考えられる。

なお、上記の結果の解釈においては、時間的制約もありアンケートの実施枚数が限られていること、また、

マグニチュード 9 の地震はアンケート震度の提案された時点では想定されていなかったこと、等の理由から、推定精度は必ずしも高くない可能性があることを認識しておく必要がある。

4. 被害の概要

地震動に関するアンケートに先立ち、市内の被害程度の概要について調査を行った。上記の地区 A ~ G では、地震動による被災構造物のほとんどは、津波により流出しているか、もしくは地震動を上回る損傷を被っていた。したがって、これらの地区の地震動による被害程度を直接評価することは困難である。

一方、アンケート震度調査により、地区 A ~ G の地震動の分布が、地区 H とほぼ同等であることが明らかになったため、地区 H の被害程度を基準にこれらの地区の被害を推定することが可能であると考えられる。

(1) グランドモスク周辺 (地区 H) の被害

図-4 は、バンダアチェ市内の中心に位置するグランドモスクのそばの鉄筋コンクリートのホテルと、それに隣接する木造平屋のホテルを比較している。高層のコンクリート構造物が被災しているのに対し、平屋のホテルは外見上ほとんど被害を受けていない。必ずしも耐震性が高くない低層の軽い家屋が比較的小さい被害ですんでいるのに対して、3 階以上の RC 構造物が比較的大きい被害を受けている例は他にも見られた。

近くの給水塔 (図-5) も基部近くで曲げ破壊が生じていることが見て取れる。なお、この給水塔は現在も使用されておらず、水も満たされていない。したがっ



図-4 大きく被災した RC 構造物と、それに接する木造家屋（ホテル）



図-5 基部に曲げによるひびが見られる給水塔



図-6 グランドモスク前の塔は損傷を受けている



図-7 中央部分が折れ曲がる被害を受けている柱（地区 F 東側の沿岸部にて）

て、比較的長い固有周期を有していたと考えられる。

図-6 に示されるグランドモスク前の塔も、基部近くに、グランドモスクの本堂に比較して大きい被害を受けていた。

これらの事例から、本地震におけるバンダアチェの地震動が、一般家屋に影響を与える周波数帯よりも長い周期帯において大きい振幅を有するものであったことが推定される。これは、この地震がマグニチュード 9（以上）という非常に大きいものであり、またバンダアチェは震源から約 250km 離れていたため、比較的長周期の成分が卓越する地震動であったと推定されることと調和的である。

(2) 沿岸部の住宅地（地区 F の東方）

津波による甚大な被害を受けた沿岸部では、被災した構造物も含め、多くが津波によって流されてしまっているため、地震動に因る被災事例は多くは見られない。数少ない被災家屋を見ると、地震動による破壊とは異なるモードであることがうかがえる。図-7 に示す写真

では、柱の中央部分が折れ曲がっていることが分かる。地震動で破壊したのであれば、柱の基部が損傷を受けることが多い。この写真に見られる柱は、津波または津波により運ばれた瓦礫等が衝突することで破損したものであると推測される。逆に柱の基部に目立った損傷は見られず、地震動による被害は限定的であったと考えられる。

沿岸部から数 km 内陸側の住宅地であった地域においては、しっかりとした基礎が無い木造家屋は津波により流出してしまい形跡が残らない。基礎が残っている RC 建物でも、家屋は跡形もなく流されている被害が多い（図-8）これより、構造物の柱が基礎に固定されていた強度は小さかったことが推定される。一方、残存する基礎は沈下や破損の被害が少なかった。これは、比較的固い地盤であることを示唆すると考えられる。

ただし、他の調査によれば、例えば地区 G の沿岸部では液状化の報告もあるので、海岸部が一様に地盤が良好であったわけではない。



図-8 RC 構造物の基礎は残っているが、柱は見当たらない。木造構造物は流出してしまっている（地区 F 東側の沿岸部にて）

(3) 考察

アンケートによる気象庁震度の評価は、5 強から 6 弱程度であった。これは、小さくはないが、想像を絶するものでもなく、例えば、わが国においては毎年のように生じている強さの地震動である。また、地盤条件が良かったこと、耐震性能が低いと推定される家屋の破壊形態等からも、一般家屋に影響を与える周波数帯の地震動の影響は、技術的には対応が可能なレベルのものであったと考えられる。

ただし、被害調査の対象とした高層建物の被災事例において、梁柱接合部における塑性ヒンジ部において鉄筋が重ね継ぎ手されるなど、不適切な施工も散見され、これらが高層建物の損壊等におよぼした影響は少なくないと考えられる。経済的な制約はあるものの、本地震の地震動に対して耐えられる耐震性能を有する構造物を作るために、耐震工学の基礎知識の普及やエンジニアの育成をはかるための方法を考えていく必要がある。

5. まとめ

2004 年スマトラ沖大地震により被災したバンダアチェの地震動について、アンケートによる地震動強さの評価等を行い、地震動の分布について検討した。

バンダアチェ市内を通じて、地震動強さは、気象庁震度 5 強～6 弱の境界値近傍で小さいばらつきを示した。この結果から、被災構造物が津波により流出してしまった地域の地震動による被害は、津波被害を受けていないグランドモスク周辺と同じ程度であったと推定される。

グランドモスク周辺では、耐震性の高くない一般家屋よりも、高層の RC 構造物で大きい被害が見られ、本

地震ではやや長周期が卓越した地震動が生じたと考えられる。これは、マグニチュードが大きい地震であったこと、震源からの距離が大きかったことなどと調和的である。

これらの調査結果や、主なモスクが倒壊していないこと等から、技術的には、バンダアチェの地震動は、津波被害を受けた地区も含め、既存の耐震設計技術で対処可能な地震動であったと考えられる。

謝辞

本調査は、科学技術振興調整費「スマトラ沖大地震及びインド洋津波被害に関する緊急調査研究」の一環として行われました。

現地調査においては、京都大学生存圏研究所在学中のバンダアチェ出身の留学生 Syafwina さんにも多大なご協力をいただいた。また、バンダアチェ市の Maksalmina さんのご一家に大変お世話になりました。

アンケートの実施においては、京都大学都市社会学専攻 清野純二先生、飛島建設（株）防災 R & D センター 三輪 滋様、飛島建設（株）インドネシア支店 鈴木 智治様にもご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

以下の施設や学校の教員や職員の方には、アンケートにご協力いただきました。記して謝意を表します。

- Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 Banda Aceh（州立第 2 中学校）
- Sekolah Menengah Atas Peukan Bada（Peukan Bada 高等学校）
- Social Institution (an orphanage)（孤児院）
- Sekolah Menengah Atas Negeri 3（州立第 3 高等学校）
- Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Banda Aceh（州立第 1 中学校）
- Sekolah Dasar - Madrasah Islam Negeri Banda Aceh（イスラム第 1 小学校）
- Sekolah Dasar 19 PERSIT (Persatuan Istri Terntara) Banda Aceh,（軍付属の小学校）

最後に、この地震で命を落された方々のご冥福をお祈りし、被災した方々の生活が一日も早く復旧されることを願います。

参考文献

- 1) 太田裕，後藤典俊，大橋ひとみ「アンケートによる地震時の震度の推定」，北海道大学工学部研究報告第 92 号，1979。
- 2) “Off the West Coast of Northern Sumatra,” <http://earthquake.usgs.gov/eqinthenews/2004/usslav/>

(2005 年 6 月 13 日 受付)

ESTIMATION OF SESIMIC INTENSITY OF BANDA ACEH IN THE 2004 SUMATRA EARTHQUAKE BY USING QUESTIONNAIRES

Riki HONDA, Yoshikazu Takahashi, Mulyo Harris Pradono, Rudi Kurniawan

Intensity of the ground motion in Banda Aceh due to the 2004 Sumatra Earthquake has been estimated by means of the questionnaire-based method. In the whole city area, the intensity takes the value close to the boundary between 5+ and 6- in terms of the JMA seismic intensity. This allows us to conjecture that the whole area suffered similar level of damage due to the ground motion. In order to estimate the structural damage in the area which had been totally flattened by the earthquake-induced tsunami, we conducted the damage survey in the area around the Grand Mosque. The area was considered as a reference, because it had not suffered severe tsunami damage and most of structural damage survey was observable.