

2009年スマトラ島パダン沖地震による建築物被害の調査速報

岸本一蔵（大阪大学）

真田靖士（豊橋技術科学大学）

1. はじめに

2009年9月30日にインドネシア、スマトラ島パダン沖においてマグニチュード7.6の地震および翌日の10月1日に余震が発生した。

【発生事象】

発生時間：9月30日 19:16 頃

震源地：インドネシア西部スマトラ島沖（南緯 0.789 度，東経 99.961 度）

震源の深さ：80km

地震の規模（マグニチュード）：M7.6（当初は 7.9 と発表：米地質調査所）

【余震情報】

発生時間：10月1日 10:52 頃

震源地：インドネシア西部スマトラ島南部（南緯 2.497 度，東経 101.540 度）

震源の深さ：15 km

地震の規模（マグニチュード）：M6.6

2009年10月16日から19日にかけて、JSCE（土木学会）、JAEE（日本地震工学会）、EWBJ（国境なき技師団）の合同調査団として被害調査を実施した（表1）。なお調査はそれぞれの専門分野別（建築構造物，土木構造物，地質・地震動）に行われ，建築グループでは岸本，真田の両名で16日～18日の3日の行程で調査を行った。

表1：合同調査団参加者一覧

氏名	所属機関	役職
濱田政則	早稲田大学	教授
アイダン・オメル	東海大学	教授
三輪 滋	飛島建設	技術研究所長
岸本一蔵	大阪大学	准教授
真田靖士	豊橋技術科学大学	准教授
Rusnardi Rahmat Putra	京都大学	大学院博士課程

図 1 に建築グループの調査地域の衛星写真を示す。

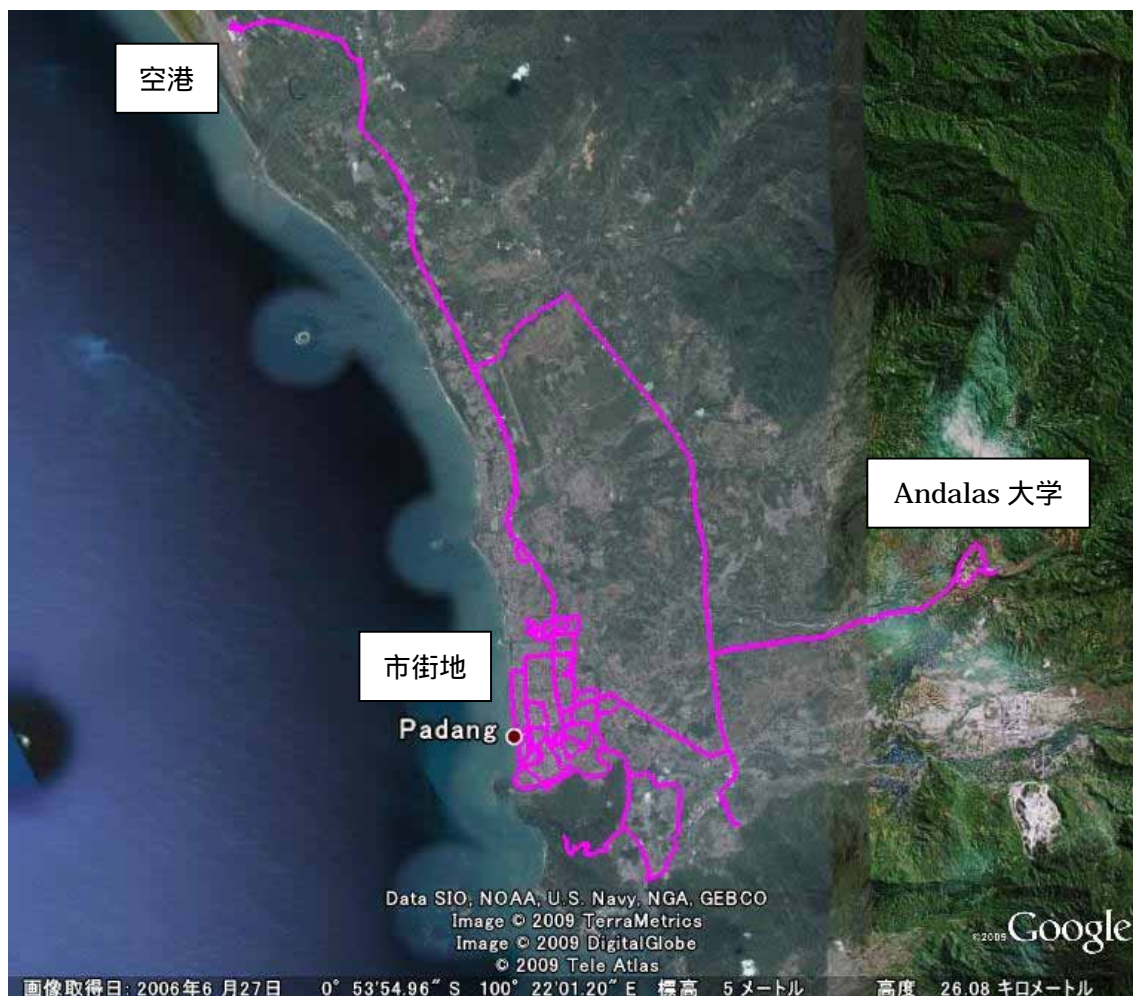


図 1 調査地域概要(軌跡は全行程を示す)

2. 被害調査の方針

現地で見られた構造形式は、主として無補強組積構造，枠組組積構造，鉄筋コンクリート（RC）構造であり，稀に木構造，鉄骨構造も見られた。規模的には高層建物は比較的少なく，最も高いもので 8 層程度，多くの大型建物で 4 層程度のものが多かった。本被害調査団（ここでは建築グループ）は RC 建物の被害の概要を把握することを主目的とする先隊として位置づけられたこと，また，調査期間，調査人員数が限られたことから，

- 1) 調査地域をパダン市内とし，被害分布の概略を把握する
（近郊地域については車移動による簡易調査）
- 2) 比較的規模の大きい RC 建物を対象とし被害の特徴を把握する

以上の 2 点を調査方針とした。

3. RC 建物の被害の概要

今回の地震被害の特徴の一つは、パダン市内の比較的規模の大きい RC 建物の被害が際立っていたことである。特に行政関連施設、銀行関係施設など社会的重要度が高い建物の被害が目立った。これらのうち被害が大きいものは完全崩壊、層崩壊に至っている。主鉄筋量が十分であり、コンクリートの質もある程度確保されているにもかかわらず柱梁接合部の損傷が散見されることから、同部位の不適切な構造詳細（設計？施工？）が大きな被害をもたらした可能性が考えられる。規模の大小にかかわらず非構造壁として用いられる組積造壁には各所に損傷（崩落、せん断ひびわれ）がみられた。その他の構造被害としては、柱の曲げ破壊、せん断破壊、圧縮破壊等も見られた。以下に、特徴的な被害事例を写真により紹介する。尚、写真のタイトル右側の番号は後述の地図上の位置を指す。

完全崩壊、層崩壊

図 1 の市街地 - 空港間道路（Jl. Jenderal Sudirman およびその延長上の道路）に沿って完全崩壊、層崩壊した建物が複数見られた。



写真 1 層崩壊した建物 (Area 1-3)



写真 2 完全崩壊した建物 (Area 1-3)



写真 3 層崩壊した建物 (Area 1-3)



写真 4 層崩壊した建物 (Area 2-2)

宿泊した Inna Muara Hotel (Area1-1) 付近で複数の完全崩壊，層崩壊が見られた．



写真 5 Inna Muara Hotel(Area1-1)



写真 6 Ambacang Hotel(Area1-1)



写真 7 Hotel Mariani(Area1-1)



写真 8 完全崩壊した建物(Area1-1)

上記の層崩壊は最下層が崩壊した事例であるが，中間層崩壊や最上層の崩壊も見られた．



写真 9 中間層崩壊した建物(Area1-3)



写真 10 最上層が崩壊した建物(Area1-2)

柱梁接合部の破壊



写真 11 柱梁接合部の破壊 (Area1-1)



写真 12 柱梁接合部の破壊 (Area1-1)

柱の曲げ破壊，せん断破壊，圧縮破壊



写真 13 曲げ破壊 (Area1-2)



写真 14 曲げ破壊に伴う主筋の座屈 (Area1-1)



写真 15 せん断破壊 (地図範囲外)



写真 16 せん断破壊 (地図範囲外)



写真 17 圧縮破壊(Area1-1)

非構造壁の破壊



写真 18 非構造壁の破壊(Area1-3)



写真 19 非構造壁の破壊

地盤の変状



写真 20 海岸通りのひび割れ(Area1-2)



写真 21 川沿いの地面のひび割れ(Area1-1)

4．被害の地域性について

地図 1 に主な調査区域の全体を、地図 2～6 に、それぞれの地域別に被害の大きな建物(倒壊,大破,一部中破)の位置を示す。これらから大きな被害はパダン市街地の南側(Area1-1), 中心地区(Area1-2 の内陸側(左側)～Area2-2, Area1-3 の街道沿い)に分布していることがわかる。Area2-2 の海側にはプロット(×印)は少ないが、地図中央に位置する街道沿いの建物には随所に非構造壁の損傷がみられ、また GPS の軌跡が示すように調査の空白域となっている(軌跡がない)ことから調査がなされておらず被害が大きい可能性もある。

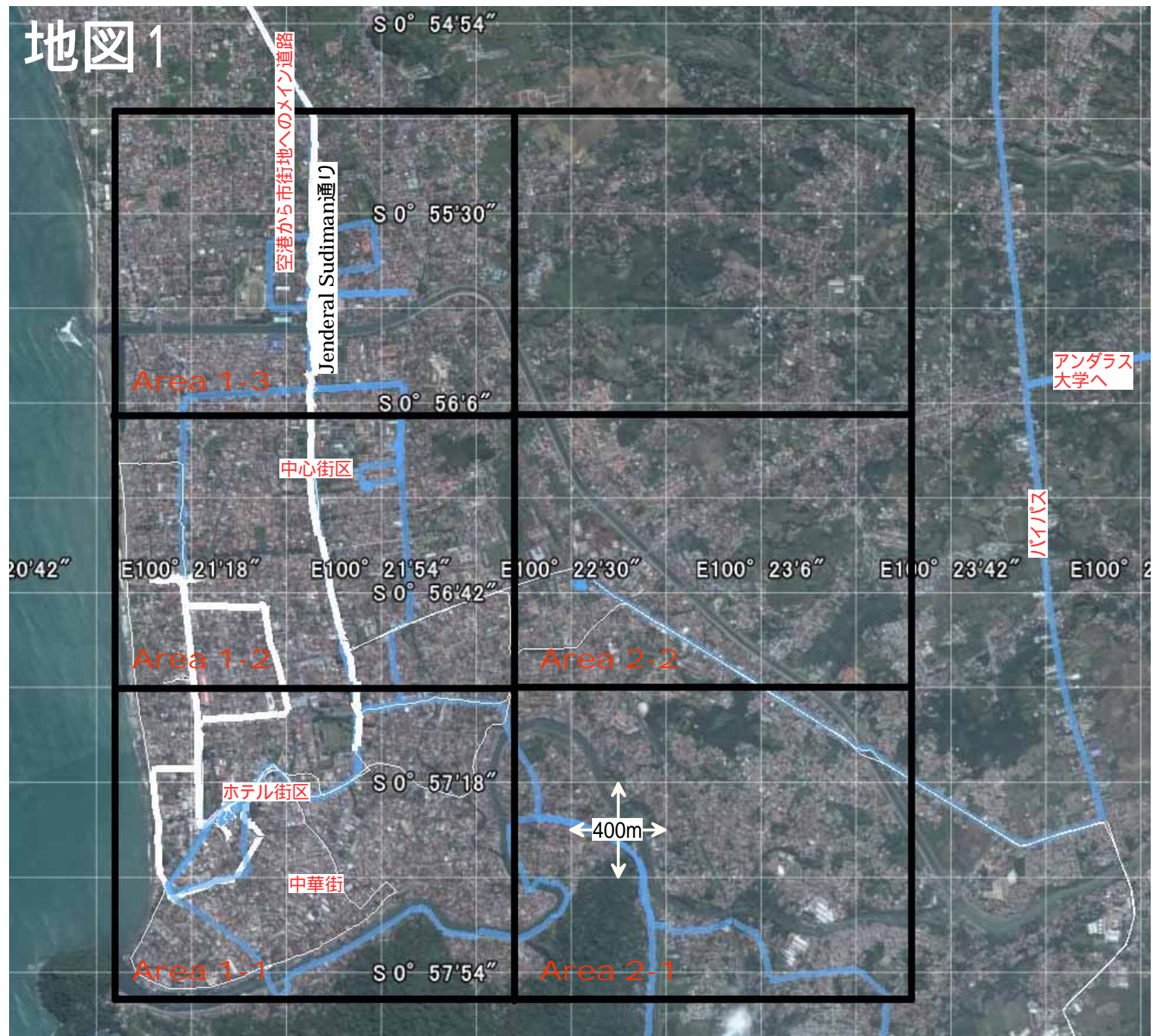
RC 構造物のような比較的大きな建物は主要道路に沿って建設されているが、それ以外の道路(例えば主要道路より一本内側の通り)沿いは低層の住宅街である場合が多い。この傾向は市の最も中心部である Area1-2 の Jenderal Sudirman 通り沿い(行政関連施設が存在する)についても同様である。従って、今回のような主要道路沿いの調査で被災地の被害状況を概ね把握できているものと考えられる。

掲載地図以外の地域の被害としては、Jenderal Sudirman 通り沿いの北側(空港側)には数は少ないが倒壊や大破の建物もみられた。建物規模が当然市街地よりも小さくなるため、RC 建物の棟数そのものも少ない。山側の地域、特にバイパス道路より山側の地域では RC 建物の絶対数が少ないこと、また被害程度そのものもあまり大きくない。市街地より南側の地域は山間部に点在する小規模住宅、およびそのすそ野に点在する村落が中心であり RC 建物は殆ど存在しない。

以上より以下の点について調査が重要と考える

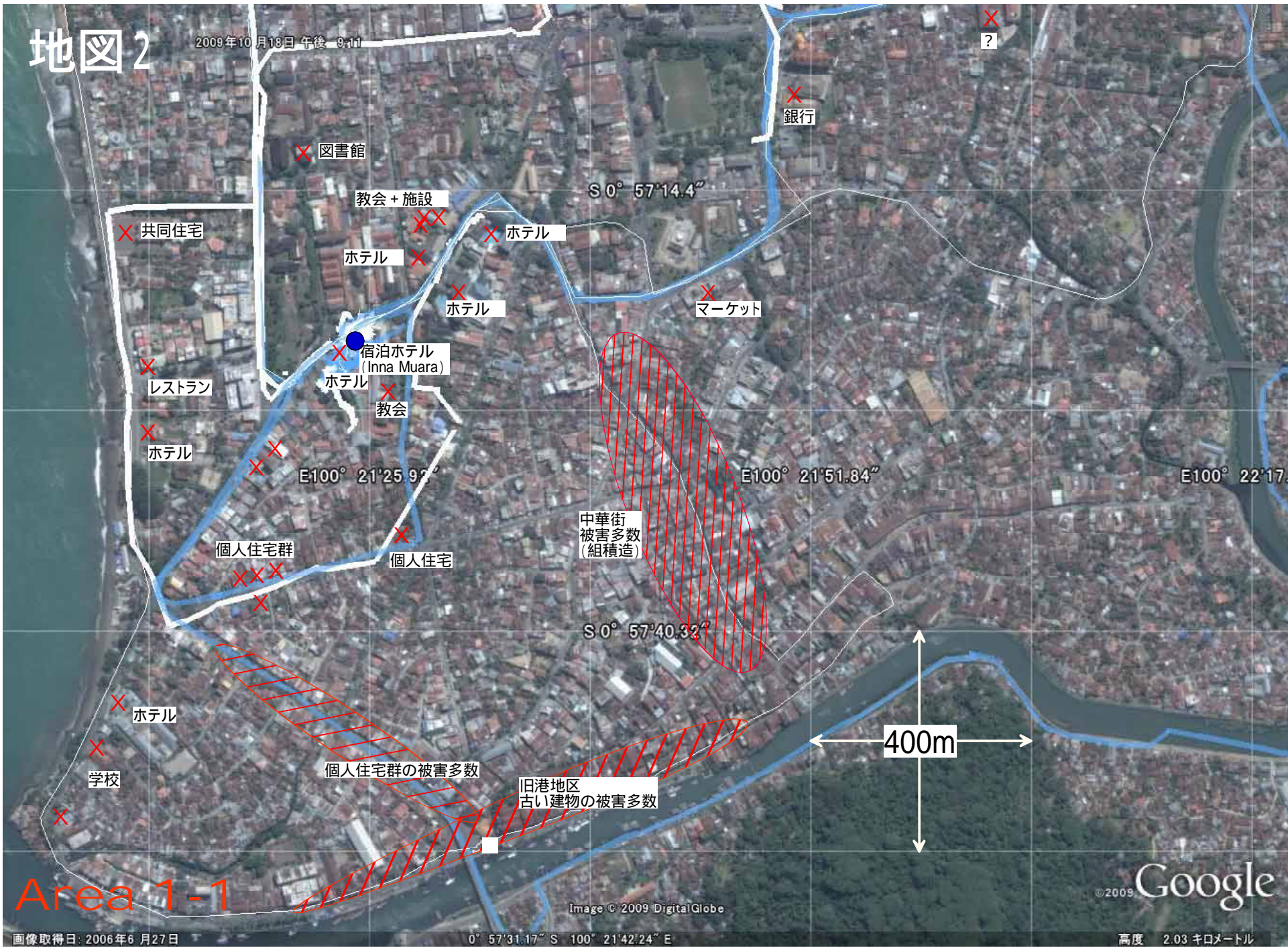
- 1) Area1-1 のホテル街から南側の地区。(例えば、ホテル等の比較的大型の RC 構造物の被害と中華街の組積造建物の被害比較。全数調査による被害率。)
- 2) Area1-2～1-3 の Jenderal Sudirman 通り沿い。(例えば、柱梁接合部の損傷の原因検討、柱梁接合部の損傷と建物被害の関係等、地震動の方向性)

地図 1



地図2

2009年10月18日 午後 9:11



Area 1-1

画像取得日: 2006年6月27日

0° 57'31.17" S 100° 21'42.24" E

Image © 2009 DigitalGlobe

©2009 Google

高度 2.03 キロメートル

地図2

午前 8時

2009年10月18日 午後 9:11

午後 9時

クライシスセンター
(アンダラス大学)

×
政府関係
建物

400m

E100° 21'25.92"

E100° 21'51.84"

×
病院

E100° 22'17.16"

×
海岸に沿った道路
にひび割れ

通りに沿って
被害多数

S 0° 56'48.48"

通りに沿って
被害多数

× 銀行

× マーケット

Area 1-2

Image © 2009 DigitalGlobe

通りに沿って
被害多数

2009 Google

画像取得日: 2006年6月27日

0° 56'37.53" S 100° 21'42.35" E

高度 2.03 キロメートル

X

地図 4

2009年10月18日 午後 9:11

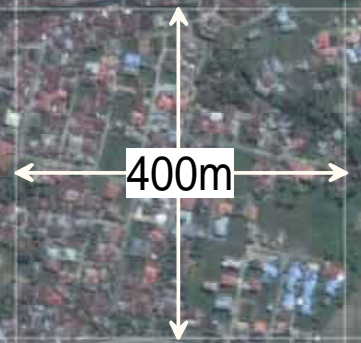
午前 8時

午後 9時

政府系建物 $S 0^{\circ} 55'30.72''$

政府系建物 X

政府系建物 X



$E 100^{\circ} 21'25.92''$

公共施設 X

$E 100^{\circ} 21'51.84''$

$E 100^{\circ} 22'17''$

通りに沿って
被害多数

$S 0^{\circ} 55'56.64''$

X 商業施設
X 商業施設

X 個人住宅

X 個人住宅?

X 大学

商業施設 X

Area 1-3

画像取得日: 2006年6月27日

Image © 2009 DigitalGlobe

$0^{\circ} 55'44.85'' S 100^{\circ} 21'41.62'' E$

© 2009 Google

高度 2.03 キロメートル

地図5

2009年10月18日 午後 9:11



Area 2-1

画像取得日: 2006年6月27日

0° 57'30.19" S 100° 22'53.16" E

高度 2.03 キロメートル

地図 6

午前 8時

2009年10月18日 午後 9:11

午後 9時



商業施設

学校

大学

共同住宅

個人住宅

400m

Area 2-2

Image © 2009 DigitalGlobe

©2009 Google

画像取得日: 2006年6月27日

0° 56'38.57" S 100° 22'53.44" E

高度 2.03 キロメートル

5. まとめ

本先見調査の結論として、比較的規模の大きい RC 建物の崩壊を含む被害が数多く確認されたことから、今後の二次調査団の派遣が必要と考える。現地の被害状況を総じて、以下のような詳細調査を提言する。

- ・ 被害がやや局所的に生じているため、街区を特定しての全数調査を実施し、街区ごとの被害率を算定する。
- ・ 全数調査の結果は、構造形式 - 被害程度関係、層数 - 被害程度関係、年代 - 被害程度関係、被害の方向性などの資料を提供する。今後想定されるパダン沖のプレート境界地震を想定した防災対策の基礎資料を整備する。
- ・ 被害の局所性は、地盤特性の影響を大きく受けている可能性があるため、常時微動測定などを通して地盤特性に関する資料を収集する。(ただし、建物被害の調査は緊急性がより強い)

この度の災害で亡くなられた方々に深く哀悼の意を表するとともに、被災地域の速やかな復興を心より祈願する。

謝辞

本被害調査は、JSCE (土木学会)、JAEE (日本地震工学会)、EWBJ (国境なき技師団) の合同調査団の成果である。また、現地での活動にあたり、とくに Andalas 大学 Fauzan 博士のご協力を得た。その他関係各位のご支援を含め、ここに記して謝意を表する。

(付録) 現地の状況等、気付いた点についてコメントを記す。

- ・ 現地では地図が入手できない。Google Earth や Google Map を利用してあらかじめ用意する事が必要。
- ・ ネット環境はよくない (回線はあるが、速度は遅い。(於：ホテルおよび大学))
- ・ 現地での移動は車。ただし、現地になれない日本人の運転は不可能 (危険)。
- ・ 地盤変状による道路遮断などはない (パダン市内)。
- ・ 空港 (パダン空港) からホテル街まで約 30 ~ 60 分。
- ・ 気温は 32 度程度で日差しはきつい朝晩は涼しい。建物内の冷房はきつい。
- ・ 食事は辛い。(ものを選べば日本人でも十分食事可能)