

# インドネシア・ジャワ島中部地震による 住宅被災原因と地盤

The relationship between the ground condition and the cause of housing damage induced  
by The May 2006 Java earthquake

沖村 孝<sup>1)</sup>

Takashi Okimura

鳥居宣之<sup>2)</sup>

Nobuyuki Torii

堀内雅宏<sup>3)</sup>

Masahiro Horiuchi

谷本育水<sup>3)</sup>

Ikumi Tanimoto

概要：2006年5月27日午前5時54分にインドネシア・ジャワ島中部に位置するBantul県の南部を震源とするMw=6.3の地震が発生し、Bantul県を中心に多くの被害が発生した。この地震による住宅被害と地盤との関係を調べるため、現地調査を9月10日～14日にかけて、Yogyakarta市南部のBantul県Jetis地区、Pleret地区で行った。また、Yogyakarta東部のPrambanan地区では斜面災害調査を行った。

キーワード：インドネシア・ジャワ島中部、住宅被害、斜面災害

## 1. はじめに

2006年5月27日午前5時54分（日本時間：午前7時54分）にインドネシア・ジャワ島中部に位置するBantul県の南部を震源とするMw=6.3の地震が発生した。この地震により、インドネシア・ジャワ島中部に位置する古都のYogyakarta市南部のBantul県を中心に多くの被害が発生し、死者5,782人、負傷者36,299人、倒壊家屋135,000棟と報告されている（インドネシア政府調べ）。

神戸大学都市安全研究センターでは、この地震による住宅被害と地盤との関係を調べるため、本研究センターの教員2名と大学院自然科学研究科の院生2名の計4名からなる調査団を現地に派遣した。なお、現地調査は9月10日～15日にかけて、Yogyakarta市南部のBantul県Jetis地区、Pleret地区ならびに東部のPrambanan地区（斜面災害調査）で行った（図-1参照）。以下に、現地調査結果を述べる。

## 2. 現地調査

### （1）調査行程

9月10日～15日にかけて住宅被害の調査をBantul県Jetis地区（エリアA）、Pleret地区（エリアB）で、斜面災害の調査をPrambanan地区（エリアC）で行った。以下に調査行程を表-1に示す。

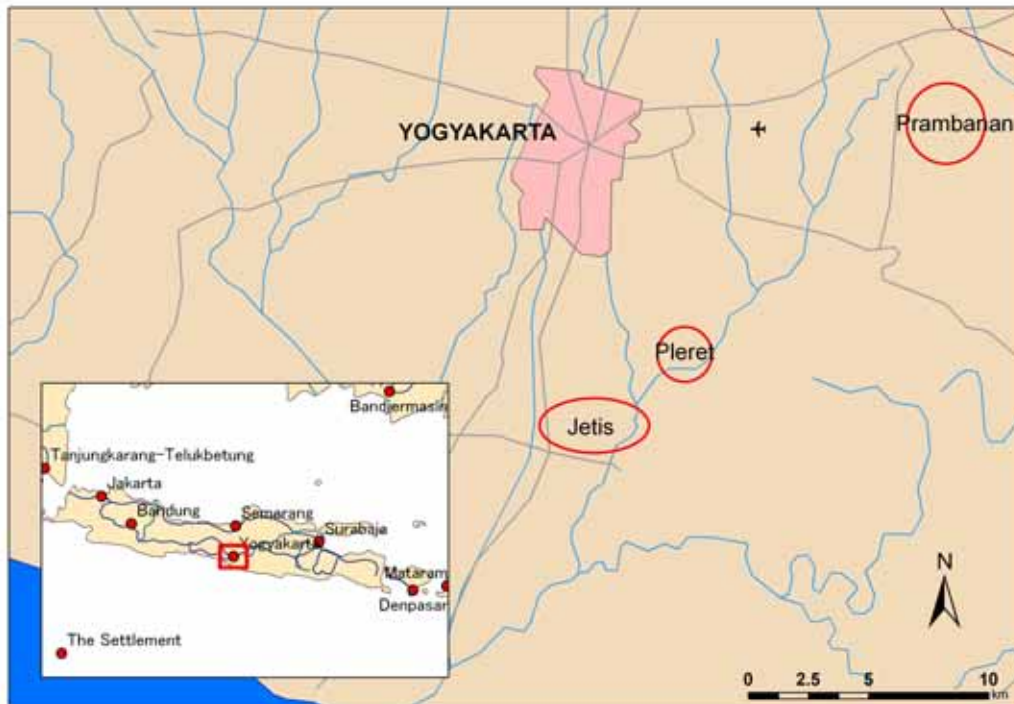


図 - 1 調査位置図

表 - 1 調査行程

日	時間	項目
9月10日	11:00 ~ 16:30	大阪出発 ~ Denpasar ( Bali ) 到着
	19:00 ~ 19:10	Denpasar ( Bali ) 出発 ~ Yogyakarta 到着
9月11日	08:30 ~ 10:30	Rifai 博士と打合せ ( UGM ) , 資料収集
	10:30 ~ 13:00	Jetis 地区の視察
	14:00 ~ 15:30	Sutanta 氏と打合せ ( UGM )
9月12日	15:30 ~ 17:00	Pleret 地区の視察
	08:00 ~ 17:00	Jetis 地区での現地調査 ( 建物被害状況調査 , 縦断測量 )
9月13日	17:00 ~ 17:30	Nizam 博士と打合せ ( UGM )
	08:00 ~ 12:00	Pleret 地区での現地調査 ( 建物被害状況調査 , 縦断測量 )
9月14日	13:00 ~ 16:30	Jetis 地区での現地調査 ( 建物被害状況調査 , 縦断測量 )
	08:00 ~ 13:00	Prambanan 地区での現地調査 ( 斜面災害調査 )
9月15日	19:45 ~ 22:00	Yogyakarta 出発 ~ Denpasar ( Bali ) 到着
	00:10 ~ 08:30	Denpasar ( Bali ) 出発 ~ 大阪到着

( 2 ) Bantul 県 Jetis 地区 ( エリア A ) での現地調査結果

a ) 住宅被害の現地調査結果

図 - 2 に現地調査の測線位置図を示す . なお , 図中に示した A - の記号は , 集落 ( 建物密集地 ) の呼び名を , P の記号は測線上で行った縦断測量の測点名を示している .

各集落で行った住宅被害の現地調査結果を以下に列挙する .

ゾーン : A - 1

被害は無し . 幹線道路沿いの集落で地形形状はほぼフラット . 大半の建物が新しい . 標高は 35m 前後 .

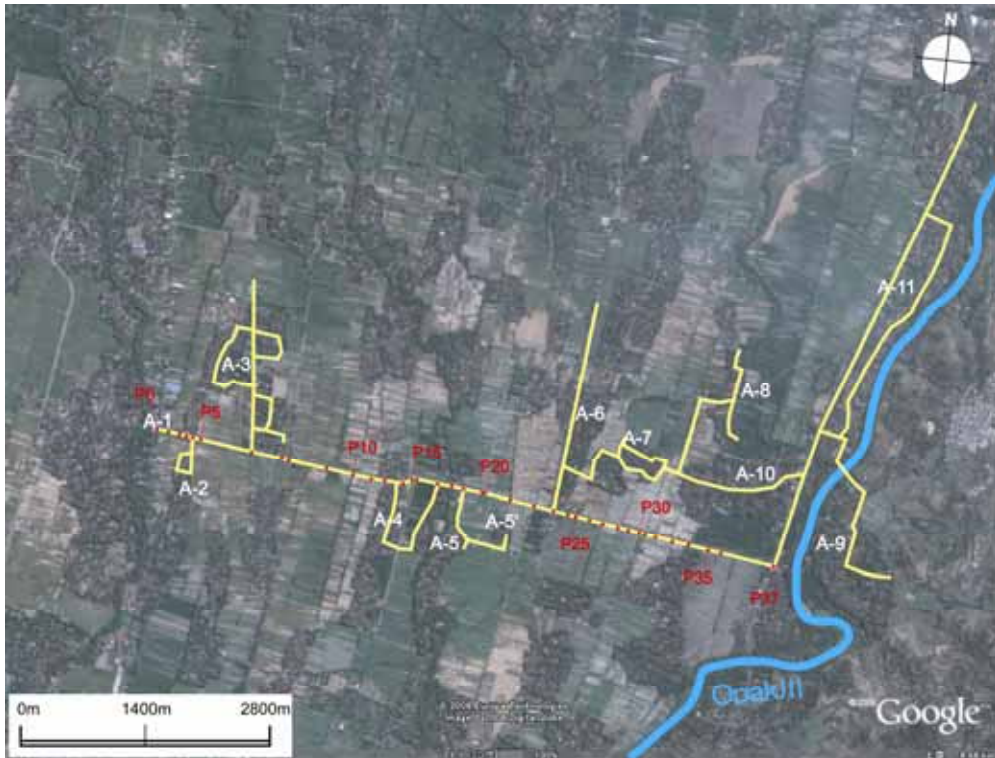


図 - 2 Jetis 地区 (エリア A) の現地調査測線位置図 (背景図に Google Earth を使用)

ゾーン : A - 2

被害は小。道路測線よりも 0.5m ほど標高が低い位置にある集落。古い建物で、RC 柱無しレンガ (現地では Bata と呼ばれている) 造の建物は倒壊 (写真 - 1 a) 参照), RC 柱有りの建物は壁が崩れる程度 (写真 - 1 b) 参照)。新しい建物は、被害無し。聞き取り調査では、倒壊した建物が 20%, クラックの入った建物は 60%。



a) レンガ (Bata) 造の家 (RC 柱無)



b) レンガ (Bata) 造の家 (RC 柱有)

写真 - 1 建物被害の様子

ゾーン : A - 3

西部, 南部, 南東部は被害が小。周辺部より 0.5m ほど高くなっている所に位置する集落。集落の西側には畑。新しい家が多いため, 被害は軽微。一方, 北部では古い建物が多いため, 被害は中。もともと, 集落は川沿いに発達し, その後人口増加に伴い農業への要求が高まり丘陵地形にも集落が発達し始めたとのこと。

ゾーン：A - 4

被害は小～中。周辺部より0.3mほど高くなっている所に位置する集落。集落の東部を川が流れ、さらに東には畑がる。古い建物は、40～50年前に建てられたもので、RC柱無しのレンガ造の建物のみが倒壊し、RC柱有りの場合は被害無し(写真 - 2 参照)。この地域の東部を流れる河川沿いでは雨期に洪水被害にみまわれるとのこと。

ゾーン：A - 5

被害は中。周辺より0.6mほど低くなっている小河川沿いに形成された集落。古い建物は、築50～70年。一部の建物では、レンガ同士の接着にモルタルではなく粘土を使用しているため、倒壊後のレンガが再利用可能(写真 - 3 参照)。RC柱有りの場合は被害が少ない。なお、一般的なRC柱の主鉄筋は6mmが4本で、帯筋は3～4mmでそのピッチは広い(写真 - 4 参照)。この集落も雨期に洪水被害にみまわれるとのこと。

ゾーン：A - 5

被害は大。集落はフラットな地形上にある。築40～50年の古い建物が多く、新しい建物2軒のみが倒壊を免れた。レンガ造の建物は、セメントが高価なため、接着面のモルタルが少なく、RC柱がないものが多い。

ゾーン：A - 6

集落の南部では被害が小で、北部では被害は大。集落はフラットな地形上にあるが、北部の幅は広く、南部では狭い。北部の建物は築60～70年の古いレンガ造の建物(RC柱無し)が数多く倒壊。

ゾーン：A - 7

被害は大。幅の広い丘陵状の地形に位置する集落で、南から北にかけて0.3～0.5m程度高くなっている。



写真 - 2 レンガ(Bata)造の家(RC柱有)



写真 - 3 再利用可能なレンガ(Bata)



写真 - 4 RC柱の様子



写真 - 5 建物被害の様子(レンガ造(RC柱無))

レンガ造の建物（RC柱無し）で被害が多く（写真 - 5 参照），RC柱有りの場合は被害が少ない．

ゾーン：A - 8

被害は大．幅の狭い古い集落．レンガ造の建物（RC柱無し）で被害が多く，RC柱有りの場合は被害が少なく，壁が一部壊れる程度．柱，梁，窓枠等に木材を使っている建物がある．

ゾーン：A - 9

被害は大．Opak 川の左岸に位置する集落．山麓に近づくにつれて標高が上がっていく（0.3～0.5m）．東部の山麓部に位置する村の住民によると，建物の倒壊により 17 名が死亡．地震発生時には，津波の襲来を恐れて，山の方へ子供を抱きかかえながら避難したとのこと．

ゾーン：A - 10

被害は大．Opak 川の右岸に位置する集落で，道路測線よりも 1m 程度標高が高い．木造，コンクリート構造物が少ない．

ゾーン：A - 11

被害は大．Opak 川の右岸に位置するやや丘陵地形を呈する集落．レンガ造の建物（RC柱無し）が数多く倒壊．コンクリート構造物，木造構造物ならびモスクでは被害がない．

図 - 3 に建物被害状況の結果をまとめたものを示す．図 - 3 より，被害の大きな集落は調査対象地域の東部を流れる Opak 川沿いに位置している．また，小河川沿いに位置する集落でも比較的大きな被害が発生している．

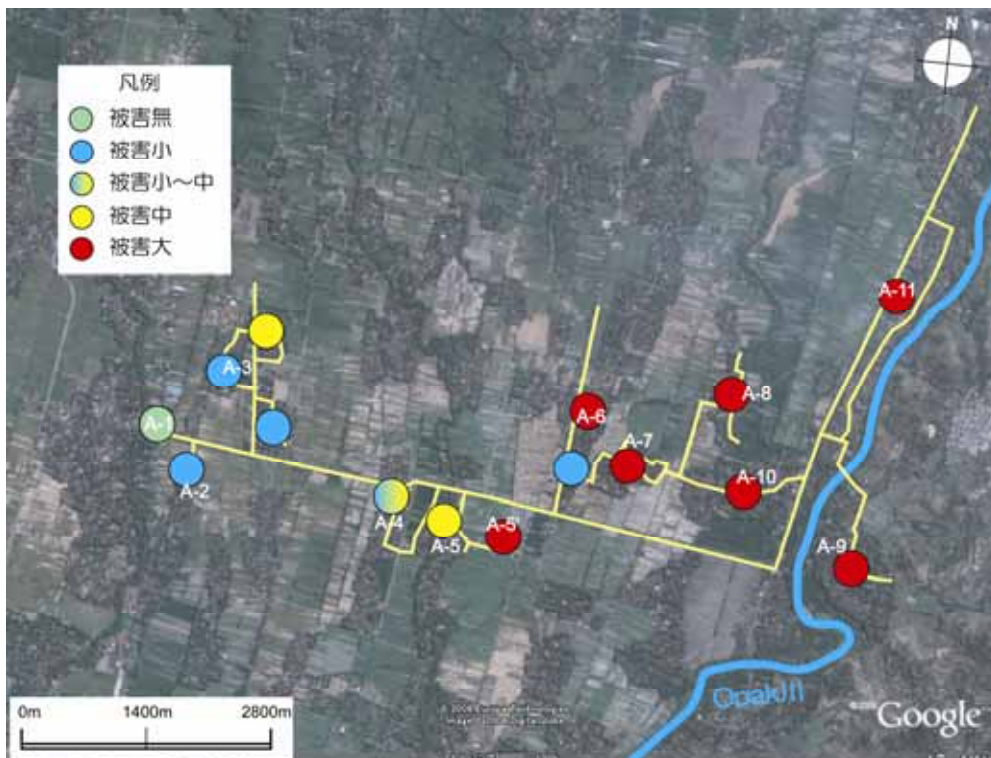


図 - 3 Jetis 地区（エリア A）の建物被災状況（背景図に Google Earth を使用）

#### b) 縦断測量結果

図 - 2 に示した測点での縦断測量結果を図 - 4 に示す．図 - 4 より，西側から東側に標高が低くなっているが，その高低差は約 2 m 程度であった．集落が縞状に分布していることから，河川沿いの集落は自然堤防

上に形成され、被害の軽微な集落よりも、上に凸型を示す微高地（地震動が増幅しやすい）を形成していることが想定されたが、縦断測量結果からはそのような差異は見られなかった。

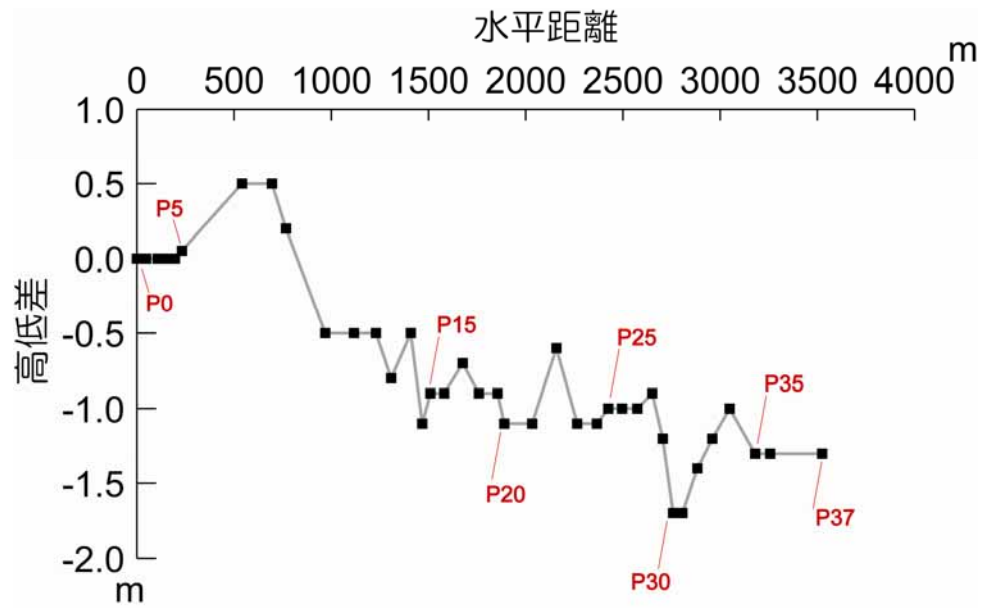


図 - 4 Jetis 地区（エリア A）縦断測量結果

（3）Bantul 県 Pleret 地区（エリア B）での現地調査結果

a) 住宅被害の現地調査結果

図 - 5 に、Pleret（エリア B）で行った現地調査の測線位置図を示す。なお、図中に示した B - の記号は集落の呼び名を、P の記号は測線上で行った縦断測量の測点名を示している。

各集落で行った住宅被害の現地調査結果を以下に列挙する。

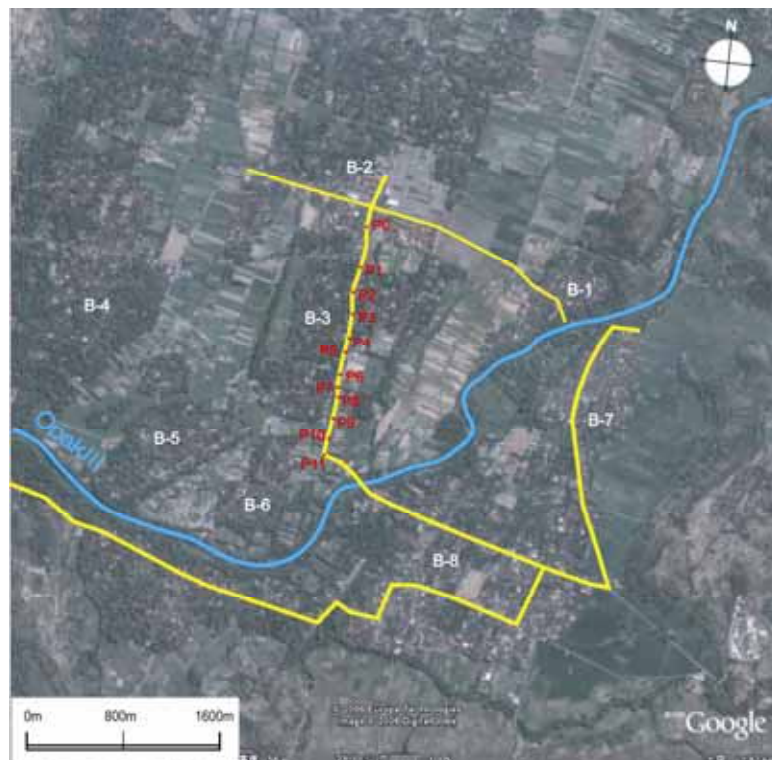


図 - 5 Pleret（エリア B）の現地調査測線位置図（背景図に Google Earth を使用）

ゾーン：B - 1

被害は大。Opak 川の右岸に位置する古い集落で、川との比高差は 6 m 程度。レンガ造の建物（RC 柱無し）で被害が多く、モスクは被害無し（写真 - 6 参照、なお、窓枠の板張りは埃よけのためで、修復ではない）。

ゾーン：B - 2

被害は小。ゾーン B - 1 の集落より 3 ~ 4 m 程度高い位置にあり、幹線道路沿いに形成された集落。コンクリート造の建物が多い。古いレンガ造の建物は倒壊。学校の門は、トップヘビー構造にもかかわらず、柱がしっかりしているために被害は無く（写真 - 7 参照）、敷地境界にあった南北方向のレンガ造の塀は倒壊。

ゾーン：B - 3

被害は小。北から南にかけて標高が 5 m 程度低くなる地形上に位置し、幹線道路沿いに形成された集落。標高は 50m 前後。

ゾーン：B - 4, B - 5, B - 6

空中写真判読によると、B - 4 の被害は小、B - 5 の被害は中、B - 6 の被害は大（写真 - 8 参照）。

ゾーン：B - 7

被害は大。Opak 川の左岸に位置する集落。周辺部は、田・畑。地盤は粗砂からなる。古いレンガ造の建物が多く被害が大きい。コンクリート造の建物は被害無し。

ゾーン：B - 8

被害は大。Opak 川の左岸に位置する集落。全体的に古い建物が多く、被害が大きい。瓦礫に木材が含まれている建物が多い。



写真 - 6 モスクの様子



写真 - 7 学校の門の様子



写真 - 8 倒壊した建物の様子

図 - 6 に建物被害状況の結果をまとめたものを示す。図 - 6 より、Opak 川沿いに位置する集落で大きな被害が発生していたことが分かる。

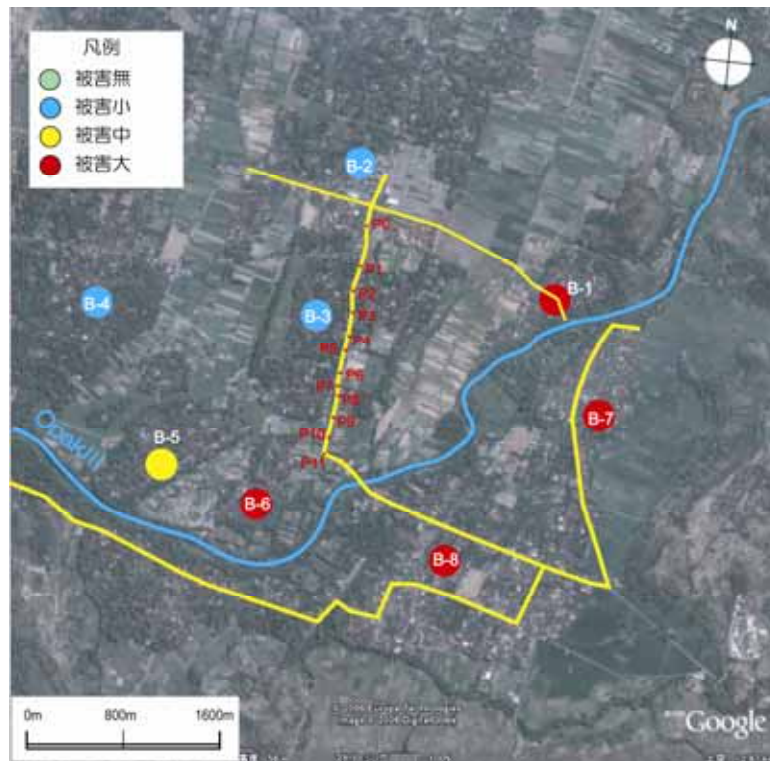


図 - 6 Pleret (エリア B) の建物被災状況 (背景図に Google Earth を使用)

b) 縦断測量結果

図 - 5 に示した測点での縦断測量結果を図 - 7 に示す。図 - 7 より、北側から南側に標高が低くなっており、その高低差は 5.5m 程度であった。また、ゾーン B - 1 とゾーン B - 2 との高低差も 3 ~ 4 m 程度であった。

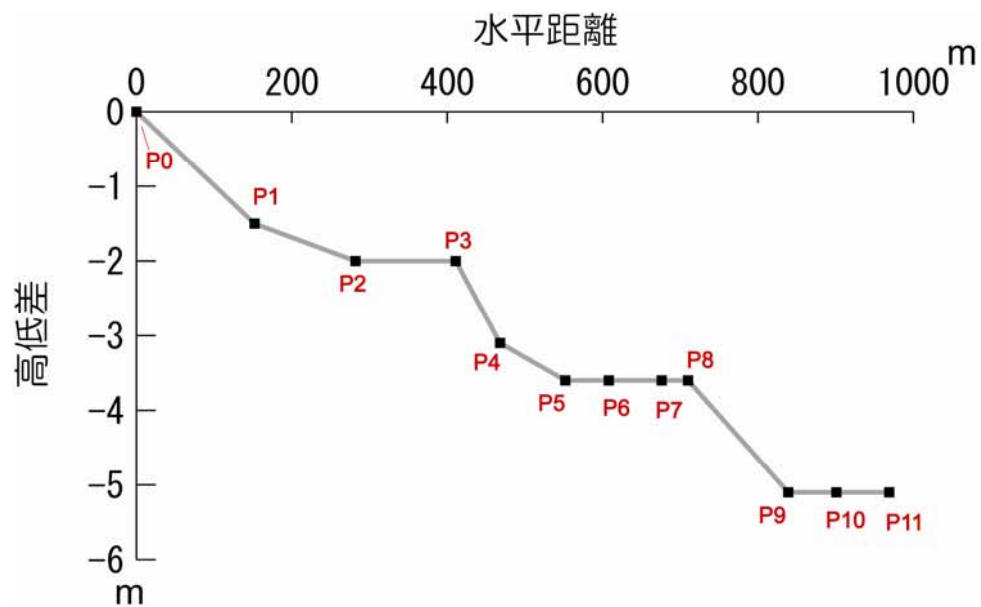


図 - 7 Pleret (エリア B) 縦断測量結果



#### (4) 住宅被害のまとめ

Jetis 地区 (エリア A), Pleret 地区 (エリア B) で被害の大きかった地区は, Opak 川沿いならびに小河川 (旧河川) 沿いに発達した集落であった。これらの集落では, 水を利用することが容易であるため, 古くから集落が形成されてきており, そのため古い建物が多く存在していたことが考えられる。また, 倒壊建物のほとんどは, レンガ (現地では, Bata と呼ばれている) 造の住宅であった。しかし, レンガ造の住宅であっても, 柱に鉄筋コンクリート (RC) を使用しているものについては, 一部壁が崩れるといった被害はあったものの, RC 柱を使用していない住宅に比べるとその被害程度は軽微であった。また, この地震による人的被害の多くは, これらのレンガ造住宅の倒壊によるものであった。

インドネシア政府では, 以前からあった木造住宅を永久的な住宅とは認めず (老朽化すると危険なため), 30~40 年前からレンガ造住宅に建て替えることを奨励してきた。その結果, 初期に建て替えられた古いレンガ造の住宅 (RC 柱無し) で多くの被害が発生したのと考えられる。

また, 地震後, 建築資材として竹の値段が地震前の 2~3 倍に高騰したとのことであった。

#### (5) Prambanan 地区 (エリア C) での現地調査結果

図 - 8 に, Prambanan 地区 (エリア C) での調査位置図を示す。調査は, Sumbriejo での岩盤崩壊と Sumberharjo 村での地すべり発生箇所で行った。

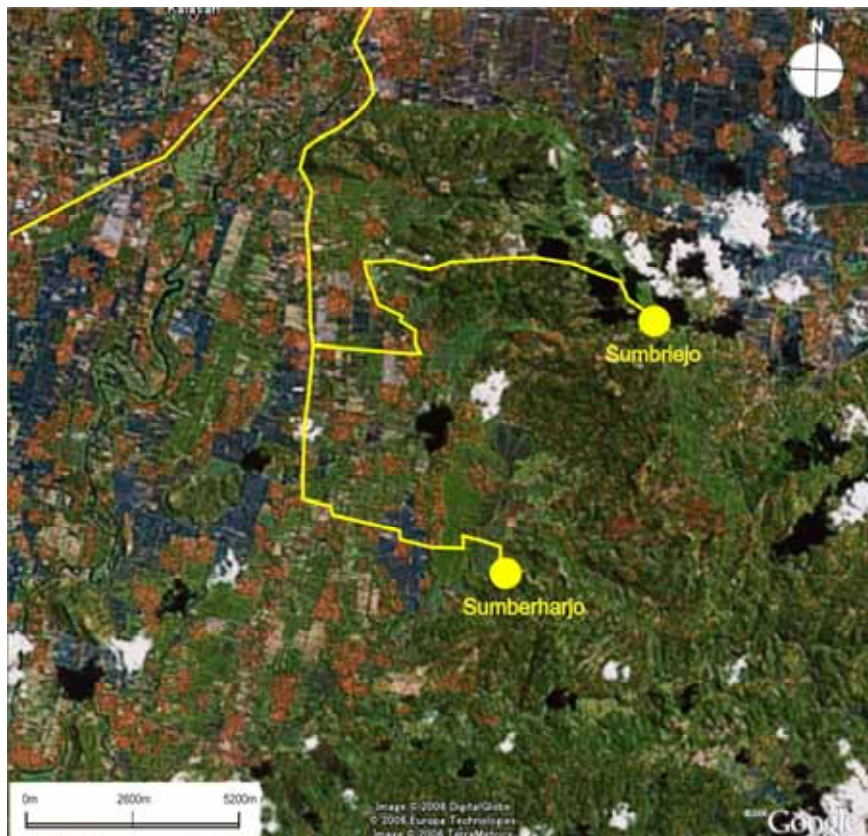


図 - 8 Prambanan 地区 (エリア C) の現地調査位置図 (背景図に Google Earth を使用)

##### a) Sumbriejo での岩盤崩壊

斜面頂部の採石跡地と見られる箇所に残っていた壁状の岩塊 (6m x 5m x 2m) が地震動により揺すられ, 斜面下流方向に斜面を削りながら滑り落ちている (写真 - a), b), 図 - 9 参照). 斜面上部に残っている岩塊には水平方向に亀裂が発生しており, 危険な状態のまま残っている (写真 - c) 参照). また, 斜面中腹の登山道にはクラック (幅 0.2m, 長さ 65m) が発生しており, 今後の雨期時の降雨浸透により, 登山道が崩れる可能性が懸念される (写真 - 9 d) 参照).



a) 斜面上部の様子



b) 崩落した岩塊



c) 斜面上部の岩塊の亀裂



d) 登山道で見られたクラック

写真 - 9 Sumbriejo での岩盤崩壊の様子

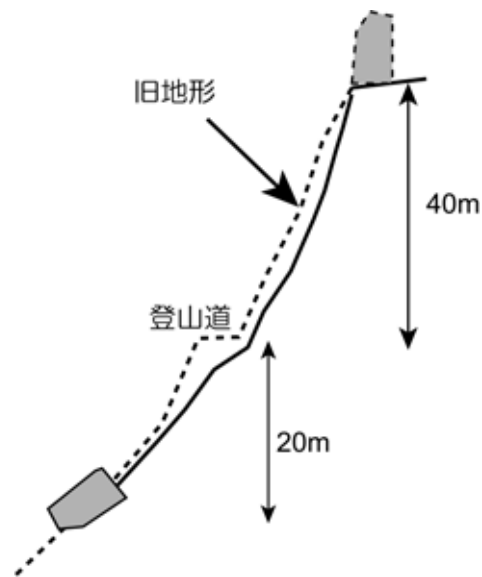


図 - 9 斜面縦断のスケッチ図

b) Sumberharjo での地すべり

Sumberharjo 村では、大規模な地すべりが発生した。地すべりの規模は、最大幅 200m で、すべり面の深さは 10~15m、滑動距離は約 30m であった。住民によると、地震と同時に滑動し、滑落崖付近に位置していた 3 つの住宅が破壊されたが、死者は 0 名とのことであった。すべり土塊上の家屋はそのまま状態で建ってい

ることから，ほぼ水平方向にスライドしたと考えられる（写真 - 10，図 - 10 参照）。



a) 斜面上部から見た地すべり土塊の様子



b) 側方から見た滑落崖ならびに地すべり土塊の様子



c) 地すべり土塊の末端部の様子

写真 - 10 Sumberharjo での地すべりの様子

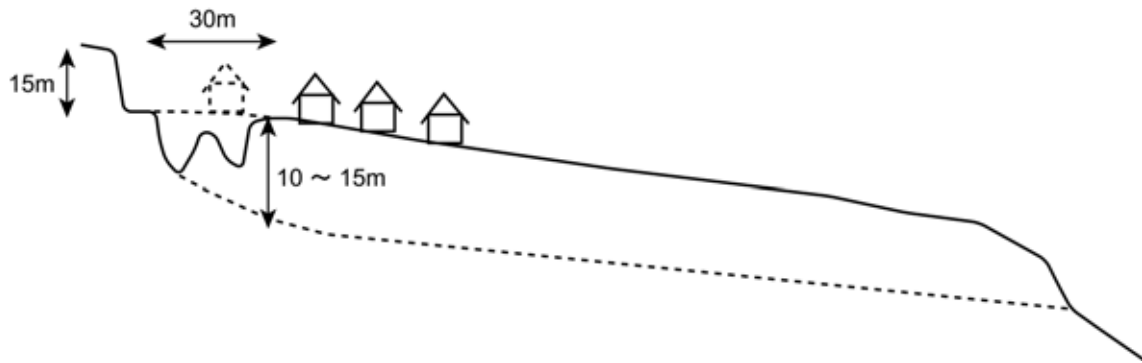


図 - 10 斜面縦断のスケッチ図

### 3. まとめ

2006年5月27日早朝に発生したジャワ島中部地震により Bantul 県を中心に多くの被害が発生した。この地震による住宅被害と地盤との関係を調べるため、現地調査を Yogyakarta 市南部の Bantul 県 Jetis 地区、Pleret 地区で行った。その結果、Jetis 地区、Pleret 地区で被害の大きかった地区は、Opak 川沿いならびに小河川（旧河川）沿いに発達した集落であり、これらの集落は古くから形成された集落のため、古い建物が多く存在していたことが被害を大きくなった原因であった。また、倒壊建物のほとんどは、レンガ（現地では、Bata と呼ばれている）造の住宅であったが、レンガ造の住宅であっても、柱に鉄筋コンクリートを使用しているものについては、一部壁が崩れるといった被害はあったものの、RC 柱を使用していない住宅に比べるとその被害程度は軽微であった。

また、Yogyakarta 東部の Prambanan 地区では岩盤崩壊や大規模な地すべり災害が発生していた。

### 謝 辞

本現地調査を行うにあたり、Nizam 博士をはじめとするガジャマダ大学工学部土木学科の教員ならびに学生の援助を得た。ここに記して、謝意を表します。

著者：1) 都市安全研究センター，教授，2) 都市安全研究センター，助手，3) 大学院自然科学研究科，院生