

# ジャワ島中部地震における地震動特性と ライフライン被害

Strong Ground Motion and Lifeline Damage during the Java Jogjakarta Earthquake

高田 至郎<sup>1)</sup>

Shiro Takada

鎌田 泰子<sup>2)</sup>

Yasuko kuwata

田熊 靖史<sup>3)</sup>

Yasushi Takuma

柴田 安啓<sup>4)</sup>

Yasuhiro Shibata

上野 淳一<sup>5)</sup>

Junichi Ueno

概要：本報告は、2006年5月27日午前5時54分（インドネシア現地時間）にインドネシア・ジャワ島中部で発生した地震の被害に関して現地調査を行った結果をまとめたものである。本調査では、オパック断層近傍における表面波探査を実施するとともに、アンケート震度・加速度調査を行った。また、水道・電力関連機関を訪問してヒヤリングを行って、被害・復旧状況についてまとめた。その結果、オパック断層付近は火山灰堆積層が厚く比較的軟弱な表層地盤であること、断層周辺の加速度はせいぜい200～300ガル程度であること、ライフラインの構造的被害は軽微であったが、家屋倒壊の影響によって機能被害は深刻であったこと、などが知られた。

キーワード：Java Jogjakarta earthquake, Opac fault, Surface wave test, Seismic intensity questionnaire, Lifelines, Restoration process

## 1. はじめに

本報告は、2006年5月27日午前5時54分（インドネシア現地時間）にインドネシア・ジャワ島中部で発生した地震の被害に関して現地調査を行った結果をまとめたものである。調査の目的は、(1)被災地であるインドネシア・ジャワ島中部のジョグジャカルタ州周辺の地震動分布を把握すること、および(2)水道・電力を中心とするライフラインの被害と復旧に関して調査を行い、被災地のライフライン施設の脆弱性と緊急対応について把握することである。2004年12月にはスマトラ島沖で海溝プレート型の巨大地震が発生し、震源に最も近いインドネシアのアチェでは10万人を超える人が津波で流されて亡くなった。スマトラ島沖地震では、地震と津波の二つの外力が重なり、地震動による施設の脆弱性を明らかにすることができなかった。しかし、今回の地震では内陸型の地震で、津波も発生していないことから、インドネシアのライフライン施設の脆弱性が明らかにできるものといえる。また、断層周辺に被害が分布しているが、被害の大きい地域が局所的に発生していること、断層のすべり方向に兵庫県南部地震にも見られた震災の島があることなど、地震動分布にも特徴がある。そこで、本調査では、表面波探査およびアンケート震度・加速度調査を行い、被害との関連についても検討を行った。

現地調査は、神戸大学工学部土木系教室地震防災研究グループを中心とする著者らによって、地震発生か

ら1ヶ月半後の2006年7月8日から13日にかけて、表-1.1に示す調査行程のもとで行われた。

表-1.1 調査行程

2006年7月8日	日本発(シンガポール経由)インドネシア(Jakarta着) バンドン工科大学のメンバーと面会
7月9日	Jogjakarta着 10:00 Gadjah Mada 大学土木工学科 Nizam 教授と面会 午後 Bantul 県の被災地調査(Bantul 県: Bantul、Banbanlipuro、Imogri)
7月10日	午前 Jogjakarta 州施設管理局副局長 Sunjoto 氏と面会 午前 Bantul 県水道局 DPAM 技術部長 Agun Darmag 氏と面会 午後 表面波探査およびアンケート調査(Bantul 県: Bantul、Sabdadadi、Sumber Agung)
7月11日	午前 電力会社 PLNJogjakarta 支社営業課 Aris Edi Susangkiyono 氏と面会 午後 表面波探査およびアンケート調査(Klaten 県: Gantiwarno) 表面波探査およびアンケート調査(Bantul 県: Trimulyo)
7月12日	午前 アンケート調査(Bantul 県) Jogjakarta 発(Jakarta、シンガポール経由)
7月13日	帰国

## 2. 地震と地震動

### (1) 地震の概要

2006年5月27日現地時間午前5時54分(インドネシア現地時間)(日本時間午前7時54分)インドネシアのジャワ島中部を震源とするマグニチュード Mb5.9、Mw6.3 (Badan Meteorology and Geophysics Observatory: BMG (インドネシア気象地球物理庁))の地震が発生した。BMG と広帯域地震観測 (Realtime-JISNET) を行っている防災科研によると、南西—北東方向の走行をもつ横ずれ断層が 15km 以下で発生していると報告されている<sup>1)</sup>。走向、傾斜、すべり角は 56°, 70°, 11.2° であり、断層の破壊は北東方向に向かって伝播していったと推定されている。八木の解析<sup>2)</sup>によると、破壊は2段階に分かれて発生しており、サブイベント1の破壊は主に地上(北方向)と北東方向に向かって、サブイベント2の破壊は主に北東方向に向かって破壊が伝播したと報告されている。本地震の断層は、Opak 川に沿った Opak 断層と見られているが、マグニチュードのレベルからも 40km 近くある断層の中で一部分が滑ったと考えられている。BMG の観測網の中で最も近い観測点は、震源から 100km 以上離れた図-2.2 中の BJI のサイトであったことから、震源を特定することが難しい。



図-2.1 ジョグジャカルタの位置

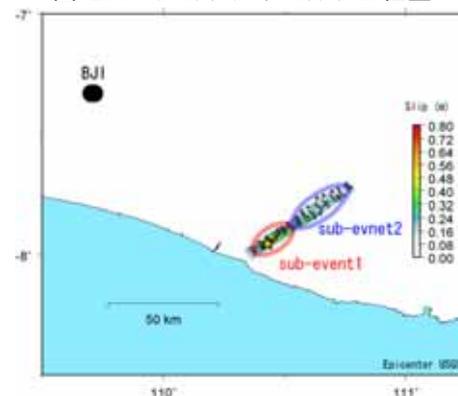


図-2.2 ジョグジャカルタの震源と断層

### (2) ジャワ島中部のプレート構造と地震活動

ジャワ島周辺のプレート構造は、島の南側でユーラシアプレートの下にインド・オーストラリアプレートが沈み込む構造となっている(図-2.3)。プレート境界が集中する構造で、過去にも大地震が繰り返し起きている地帯である。このプレート境界で近年大地震が発生している(図-2.4)。スマトラ島西側で発生した2004年スマトラ島沖地震・津波、2005年ニアス島地震、さらに本地震の約2ヶ月後に発生した2006年7月17日のジャワ島西部地震・津波など、一連の地震はこのプレート境界のすべりによって引き起こされた地震である。図-2.5に示す過去の地震の震央分布からも、ジャワ島の南から北へプレートが下がっており、そのプレ

ート境界面でマグニチュード4から7程度の地震が頻発している。しかし、震源深さや余震活動からみて、本地震はジョグジャカルタ州にある Opak 断層が運動した内陸型の地震である。

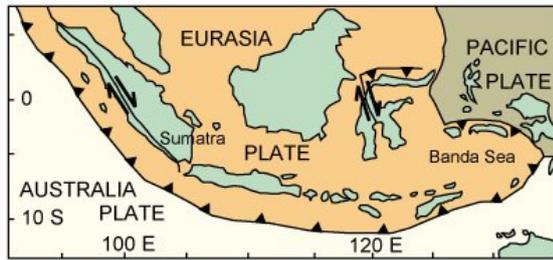


図-2.3 ジャワ島周辺のプレート構造 (USGS) <sup>3)</sup>

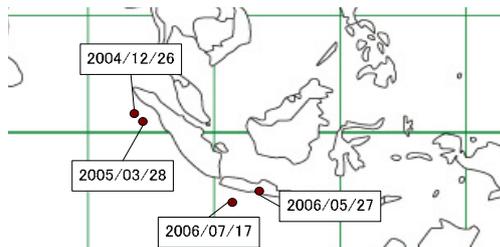


図-2.4 インドネシア周辺の地震の震央分布

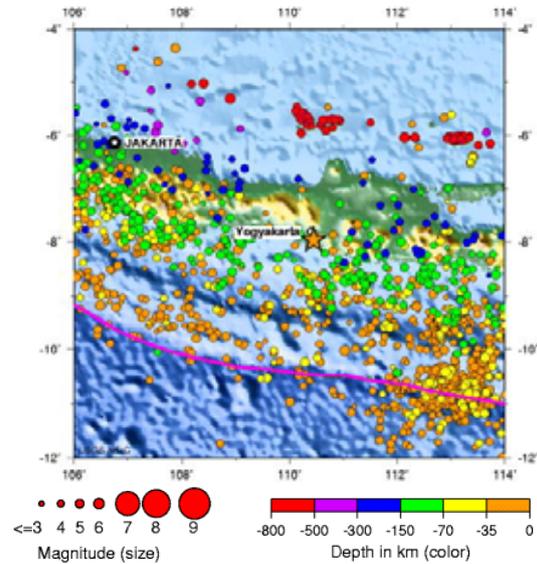


図-2.5 ジャワ島周辺の過去の地震の震央分布 (USGS) <sup>3)</sup>

### (3) ジャワ島中部の歴史地震

表-2.1 は、バンドン工科大学 <sup>4)</sup>によってまとめられたジャワ島中部の歴史地震の記録である。過去 200 年間の間に、修正メルカリ震度階で最大 IX (日本気象庁震度階で 5 弱程度) の地震が発生している。被害状況は、建物の壁にクラックが入る程度である。8~10 世紀にかけて建てられたジョグジャカルタ北西のプランバナン寺院遺跡が過去の地震で被害を受けていないことをみると、この地域では過去に大規模な地震は発生していないといえる。また、ジョグジャカルタにおいては、1867 年、1937 年、1981 年に地震が発生しているが、これらの震源が本地震と同じであるとは、本記録から確認できない。

表-2.1 ジョグジャカルタ、ジャワ島中部周辺で発生した歴史地震 <sup>4)</sup>

地震発生日	状況	MMI 震度	出典
1821/12/25	Jepara、ジャワ島中部- Jepara で有感、震度は MMI 震度階で VI-VII。	VII	NT
1840/01/04	Purworejo、ジャワ島中部- Purworejo で地震発生、建物に甚大な被害。2 棟倒壊。ジャワ島中部の北海岸の Semarang と Demak、Salatiga、Kendal でも有感。	VIII-IX	NT
1852/10/15	Kebumen、ジャワ島中部- 中規模地震。建物や住家の壁にクラック発生。	VI-VII	NT
1856/01/19	Semarang、ジャワ島中部- ジャワ島中部で有感。壁にクラック発生。	VII-VIII	NT
1863/08/13	Banyumas、ジャワ島中部- 砂糖製造建物に甚大な被害が発生。	VII	NT
1865/07/17	Banyubiru、ジャワ島中部- 数件の建物・住家に甚大な被害が発生。	VII	NT
1866/04/22	Ambarawa、ジャワ島中部- 住家の壁にクラックが発生。	VI	NT
1867/06/10	Yogyakarta、ジャワ島中部- Yogyakarta と Surakarta の地域( Bantul から Klaten までの範囲) で被害大。372 棟の住家が全壊または半壊。5 名死亡。メラピ火山で地すべり発生。	VIII-IX	NT
1871/03/27	Banyumas、ジャワ島中部- 政府建物や住宅にクラック発生。	VI	NT
1872/10/10	Salatiga、ジャワ島中部- 強震動が発生し、壁にクラックが入る。	VI	NT
1877/02/21	Kudu、ジャワ島中部- Kudu と Wonosobo で強震動が発生。数件の建物に被害あり。	VI	NT
1890/12/12	Pati、ジャワ島中部- Juwana でも揺れ、多くの住家に被害あり。数名の死傷者あり。	VIII	NT
1916/09/09	Maos、ジャワ島中部- Maos とその周辺に被害あり。Maos と Kasugian では	IX	GN-2

	レンガ・セメント造の建物 340 棟が倒壊し、その他の建物でも壁にクラックが入るなどの被害あり。粘土地盤で液状化が発生し、噴水のように穴から水が吹き上げた。Selarang 地区では 400 棟の住家が倒壊した。構造物の被害、地盤の亀裂が数箇所確認された。耐震的に脆弱な学校校舎で甚大な被害が発生。震源近くの緩い地盤や建物構造の脆弱な地域で被害が集中した。		
1923/05/15	Maos、ジャワ島中部- ジャワ島中部の西側で有感地震が発生。Maos 周辺で被害が発生。	IX	GN-2
1924/11/12	ジャワ島中部- 震央が山間地であったため、地すべり被害が発生。	VIII-IX	GN-2
1924/12/02	Wonosobo、ジャワ島中部- 上記地震の余震と考えられている。Wonosobo で被害が発生し、Wonosobo 郊外の石造たても 被害あり。約 2,250 棟の住家が倒壊し、いくつかの村は地すべりに飲み込まれた。27 名死亡。政府は被害総額 61,000 <b>gulden</b> (古いインドネシアのお金の単価)と推定。	IX	GN-2
19XX/12/13	Prupuk、ジャワ島中部-Prupuk と Margasari で被害が発生; Dubuktengah と Kaligayan、Wonosari、Danurejo、Jembayat、Pakulaut、Kalisosok で軽微な被害が発生。数名負傷。	VIII-IX	GN-2
19xx/01/21	Bumiayu、ジャワ島中部- 古く脆弱な建物に被害が発生。	VIII	GN-2
1937/09/27	Yogyakarta -東部まで有感地震動が観測された。ジャワ島中部の南側では被害は甚大で、東部ジャワでは軽微なクラックが発生。Yogyakarta では甚大な被害が発生。一名死亡。Prambanan で レンガ・セメント造住家 326 棟が倒壊した。Klaten では 2、200 棟に被害があり、地中管路が数箇所切断された。	VIII-IX	GN-2
1937/06/27	ジャワ島中部- Cirebon では、外装モルタルがレンガ・セメント壁から削れる。Sodomantra と Jepara、Manis Kidul で甚大な被害。	VII	GN-2
1943/07/23	Yogyakarta - Garut と Surakarta の間の 250km に及ぶジャワ島中部の南海岸沿いに被害が集中した。213 人死亡、2,096 人重傷、2,800 棟に被害発生。	VIII	GN-2
1976/02/14	Purwokerto、ジャワ島中部- 多くの人々が地震で起こされ、建物から悲鳴が聞こえた。地震は Ajibarang や Kedungbanteng、Tegal、Brebes、Pekalongan、Magelang、Semarang でも揺れたが、被害に関する報告はなし。	IV	E.R
1981/03/13	Yogyakarta -Yogyakarta で有感。Ambarukmo ホテルの壁にクラックが入るが、建物や住宅には被害なし。	VI	E.I

注 ) 資料は下記の資料をもとに作成された。

1. Die Erdbeben des Indischen Archipels bis zum Jahre 1857 (by Arthur Wichmann)
2. Die Erdbeben des Indischen Archipels von 1858 bis 1877 (by Arthur Wichmann)
3. Geophysical Notes by the meteorological and geophysical agency, Jakarta
4. Macro seismic survey reports up to 1984 by the meteorological and geophysical agency, Jakarta

### 3 . 被害統計

#### ( 1 ) 住家・人的被害

本地震による被害は、Jogjakarta ( ジョグジャカルタ ) 特別州と中部Java ( ジャワ ) 州で発生した。インドネシア政府によると、2006年7月3日現在で、死者5,778人、負傷者37,883人、家屋倒壊 ( collapse ) 139,859戸、家屋全壊 ( heavy damage ) 190,025戸と報告されている。その内、被害の大部分を占めるジョグジャカルタ州の被害を表-3.1に示す。ジョグジャカルタ州は、Jogjakarta県、Bantul県、Kulon Progo県、Gunungkidul県、Sleman県の5つの県で構成されている。Bantul県の死者が最も多く、州内の死者の88%にあたる。死者の主な原因は、脆弱な住家が倒壊し、その下敷きになったことによるものである。とくに、地震の発生時刻が早朝で在宅率が高かったことも影響している。インドネシアの建築物設計基準は1974年に施行され、1991年、2001年に改訂されている。この基準は、主にニュージーランドの基準を参考に策定されたものである。しかし、被災地では基準にしたがって建設された建物( Engineered building )は少なく、個人で建設したNon-engineered buildingが多く被害を受けている。

Bantul県の死者率は5.31人/千人と非常に高い。兵庫県南部地震では、神戸市東灘区、灘区、長田区における死者率がそれぞれ、7.7人/千人、7.2人/千人、6.7人/千人であった。今回の地震の規模は中規模であるが、

建物が脆弱であるために被害は兵庫県南部地震と同じ程度で発生していることがわかる。

表-3.1 ジョグジャカルタ州の被害統計 (2006/07/08 現在) <sup>5) 6)</sup>

県	人口(2000年)	死者	被災集落数	被災世帯数	被災者数	住家被害			死者率 (人/千人)
						倒壊	全壊	一部損壊	
Yogyakarta	396,700	218	1,921	29,916	145,796	6,095	8,408	15,364	0.55
Bantul	781,000	4,143	5,630	223,117	764,517	71,763	71,372	73,669	5.31
Kulon Progo	371,000	23	1,677	19,090	74,976	4,623	5,196	9,041	0.06
Gunungkidul	670,400	84	3,585	42,606	175,419	7,454	11,033	27,218	0.13
Sleman	901,400	243	-	95,865	204,562	19,133	-	76,752	0.27
計	3,120,500	4,711	12,813	410,594	1,365,270	109,048	96,009	202,044	1.51

## (2) 緊急対応・復興支援

地震後の被災地での緊急対応・復興支援について、被災地のガジヤマダ大学土木工学科 Nizam 教授とジョグジャカルタ州施設管理局副局長の Sunjoto 氏との面談から、以下の通りにまとめる。

地震後の対応について、ジョグジャカルタ州で地震対策を推進していたわけではないが、地震の3、4ヶ月前から州北部にあるメラピ山の火山活動が活発になり、防災機関では火山活動のモニタリングや医療対応の準備など、緊急時の準備が行われていたことが、本地震での緊急対応を効率よくさせた。また、地震後すぐに、1,000棟以上の学校や病院などの公共施設の被災調査が行われている。この被災調査は、ガジヤマダ大学の学生ボランティアが各被災地に派遣されて、被災度判定、情報収集を行ったものである。7月2日には新学期が始まることもあり、それに合わせて緊急に行われた。次に、米やボトル水、インスタントラーメン、ビスケットなどの食糧が配給されている。建物については、応急措置としてテントや建材となる竹が配給されている。インドネシア政府からは、倒壊住宅に30millionルピア(36万円)、全壊住宅に20millionルピア(24万円)、半壊住宅に10million(12万円)が支援される計画がある。しかし、まだ全額が援助されておらず、支援が引き延ばしになっているために、住民の中には安価な建材で復旧し始めている人もいる。表-3.2はジョグジャカルタ州における復興支援を示している。支援には、義援金と米が挙げられているが、計画に対して全額が支給されている比率が低い。

とくに、被災地では住民が安全な住家に対する知識を持たないまま、勝手に自宅を復旧することが問題になっている。そこで、ガジヤマダ大学ではメディアや地域コミュニティを通して、安全な住家の復旧方法に関する広報活動を行っている。また、ガレキ処理についても問題になっている。被災地では倒壊したガレキの中から再利用できるレンガが分別されて、再建時に利用されている。

表-3.2 ジョグジャカルタ州の復興支援 (2006/07/08 現在) <sup>5)</sup>

県	要救援者	復興計画		支援状況(2006/07/08)		計画比(%)	
		義援金 (百万 Rp.)	米(kg)	義援金 (百万 Rp.)	米(kg)	義援金 (百万 Rp.)	米(kg)
Yogyakarta	195,456	13,122	1,457,960	6,157	684,120	47%	47%
Bantul	779,287	68,807	7,645,170	41,470	3,454,770	60%	45%
Kulon Progo	74,976	6,748	749,760	6,079	675,410	90%	90%
Gunungkidul	179,631	15,788	1,754,190	11,814	1,309,970	75%	75%
Sleman	364,286	18,411	2,045,620	13,500	1,500,000	73%	73%
計	1,593,636	122,874	13,652,700	79,019	7,624,270	64%	56%

## 4. 断層近傍の被災と地盤・地震動特性

### (1) 断層付近の表面波探査

本地震により甚大な被害を受けた Bantul 県西部には Opak 断層の存在が確認されており、この断層近傍に被害が集中していることから、断層付近において表面波探査を実施することとした。なお、断層の東側は山地となっており、西側には平野が広がっている。被害は断層の西側で深刻であることから、西側を中心に断層を横断する形で表面波探査を実施した。また、Jogjakarta 州 Bantul 県の北東にある中部 Java 州の Klaten 県では、断層から離れているにもかかわらず大きな被害が発生していることから、Klaten 県内においても表面波

調査を実施した。表-4.1 に、各調査箇所の村名・緯度・経度等を示す。

表面波調査とは、地盤の地表付近を伝わる表面波（レイリー波）を多チャンネルで測定・解析することにより深度 20m 程度までの地盤の S 波速度を二次元断面として画像化する技術であり、測定・解析が簡単なため、素早く低コストで S 波速度構造を求められることができるという利点がある。その原理は、不均質な地盤の表面付近を伝わる表面波（レイリー波）は、その波長（周波数）によって伝播速度が変化するという事を利用して、表面波は長い波長ほど深部の速度も反映するため、短い波長（高周波数）では速度が遅く、長い波長（低周波数）では速度が速くなる。波長（周波数）による伝播速度の違い（分散）を逆解析することにより、不均質な地盤の S 波速度構造を求めするのである。表面波調査の測定方法を図-4.1 に示す。また、写真-4.1 に調査状況を示す。

表-4.1 表面波調査箇所の概要

村名	緯度	経度	標高	測定方向
Bantul (Bantul 県)	S7°53'37"	E110°20'40"	44m	W
Sabdodadi (Bantul 県)	S7°53'24"	E110°21'19"	64m	W5°N
Sumber Agung (Bantul 県)	S7°54'36"	E110°22'20"	52m	S70°E
Trimulyo (Bantul 県)	S7°53'44"	E110°23'18"	61m	E
Gantiwarno (Klaten 県)	S7°46'05"	E110°34'40"	146m	S25°W

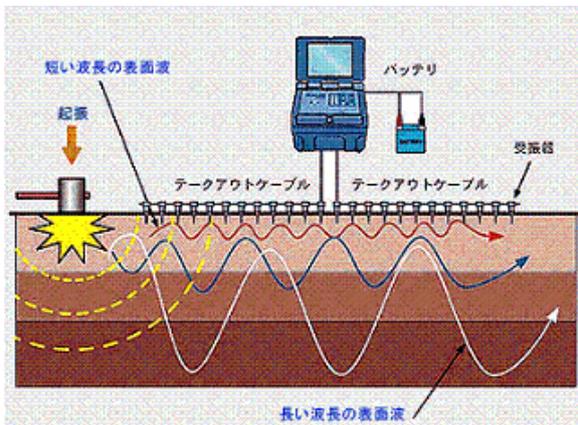


図-4.1 表面波調査の測定方法



写真-4.1 表面波調査の様子

表面波調査結果を図-4.2～4.6 に示す。Bantul（調査点）における S 波速度構造によると、深度による地盤硬さの違いはそれほど大きくなく、地表付近でせん断波速度  $V_s=220\text{m/s}$ 、4m 以深で  $V_s=260\text{m/s}$  となっており、比較的硬質地盤であることが知られた。また、Sabdodadi（調査点）における S 波速度構造からは、地表から 4m 辺りまでが  $V_s=150\text{m/s}$  程度の軟弱な層となっているが、それ以深では地下 20m 近くまで  $V_s=240\text{m/s}$  程度の硬質地盤がとなっている。硬質な地盤の上に軟弱な地盤が堆積している。Sumber Agung（調査点）では、地表から深度 20m 付近まで  $V_s=190\text{m/s}$  程度の比較的緩い地盤が深いところまで堆積しており、工学的基盤は確認できない。また、この付近には、断層運動による地表面地盤の亀裂が著者の調査で確認された。その詳細については 4.4 節で後述する。Trimulyo（調査点）の S 波速度構造は、地表で最も地盤が軟らかいところで  $V_s=250\text{m/s}$ 、地下 10m 以下では  $V_s=400\text{m/s}$  を超える岩盤が現れており、この地域の地盤は非常に硬いことが知られた。Klaten 県の Gantiwarno（調査点）では、地表 2m 以浅および 8m 以深で  $V_s=210\text{m/s}$  となっており、その間に  $V_s=170\text{m/s}$  の軟弱な層が挟まれている。

以上の Bantul 県の 4 箇所の調査点のうち、東西の両端にあたる調査点（と）において比較的硬質地盤が確認され、その間の二点（と）では比較的軟弱な地盤が確認された。Opak 川以外にも Bantul の周辺には農業用水や川幅の狭い川が流れており、厚い堆積地盤があると考えられる。

図-4.7、4.8 には、Bantul 県と Klaten 県の地質図に調査箇所を示している。ここで、調査地域の地質・地盤構造<sup>4)</sup>についてまとめる。Bantul の地盤は、東側にある火山角礫岩と石灰岩からなる台地と、西側にある Progo 川の境界に囲まれている。さらに東に行けば、Kulon Progo 山地がある。基本的には、Bantul とその周辺の地盤はスレマン層やジョグジャカルタ層といわれる層厚 60～100m のメラピ火山系の堆積層である。この堆積層は、東側の Opak 川と西側の Progo 川に沿った断層境界に形成された岩盤の上を覆っている。火山性の堆

積層は表層地盤として Bantul 地域に広がっており、溶岩と多孔質の火山灰で構成されている。Opak 川と Progo 川以外の川の周辺には、粘性をもつ砂の堆積物があり、大部分は層厚 2、3m のシルト風化土に覆われている。

また、地盤構造としては、傾斜した岩盤層と破碎帯がある。しかし、地表には明瞭な断層線は見られない。Opak 川沿いの Nhlanggran 層では 5 ~ 40cm ほどの破碎のずれがあることが確認されている。破碎は東西方向、南北方向に入っており、ジャワ島の南方からの圧縮場によって形成されている。これらの破碎帯はスレマンのある北東方向に伸びている。Opak 川に沿った Opak 断層は正断層として知られており、Gunung Kidul 周辺の川西の丘は Bantul 周辺の川東の丘よりも高くなっている。

また、Klaten 県の南側には東西に延びる山地が広がっている。Klaten 県の地盤もまた、メラピ火山系の堆積層である。堆積層は溶岩と火山灰で構成されたもので、シルトから粘土程度の径をもつ火山岩の風化土である。この粘土は窯業の材料として用いられている。地盤構造が確認できるのは、岩砂、粘土岩、凝灰岩からなる Kebobutak 層の岩盤層である。この岩盤層に 20 ~ 40cm ずれた破碎帯が確認できる。Kebobutak 層とメラピ火山系地盤の境界は断層があり、東方向に伸びている。

これらの地盤構造と今回の表面波探査の結果とを比較する。Bantul ( 探査点 ) と Sabdodadi ( 探査点 )、Sumber Agung ( 探査点 ) では地盤の硬軟はあるが探査できた地下 20m 近くまで同様な地盤が堆積していることから、地質図のメラピ火山系の堆積層であり、調査地盤以深にもまだ同様な堆積層があると考えられる。また、Trimulyo ( 探査点 ) では、地質図で示されている火山角礫層のような岩質系の地盤の傾向が現れている。Klatem 県の Gantiwarno ( 探査点 ) では、昔、湿地帯であったこともあり、比較的緩い地盤が部分的に堆積している。

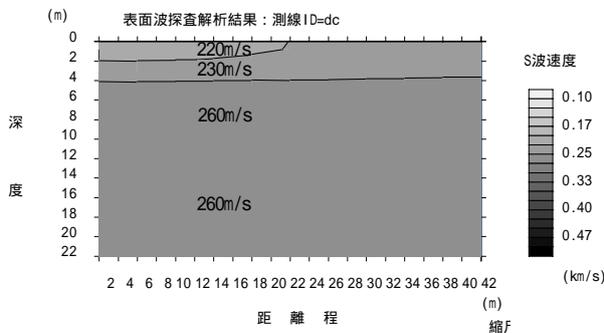


図-4.2 Bantul の S 波速度構造 ( 探査点 )

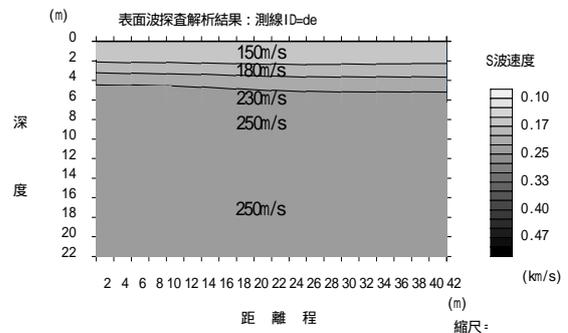


図-4.3 Sabdodadi の S 波速度構造 ( 探査点 )

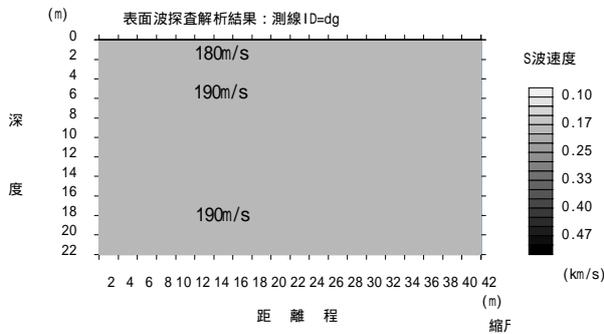


図-4.4 Sumber Agung の S 波速度構造 ( 探査点 )

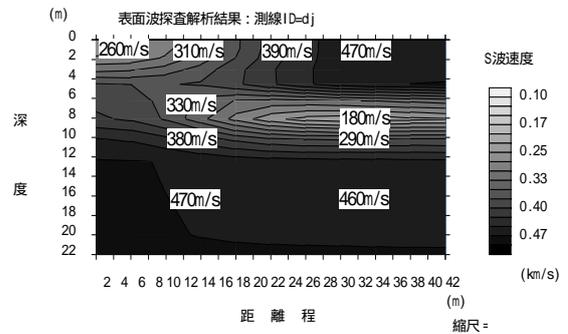


図-4.5 Trimulyo の S 波速度構造 ( 探査点 )

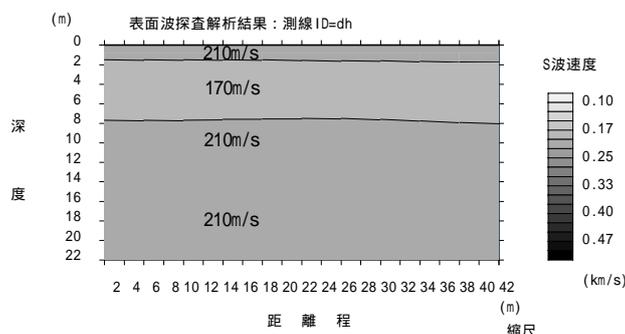


図-4.6 Gantiwarno の S 波速度構造 ( 探査点 )

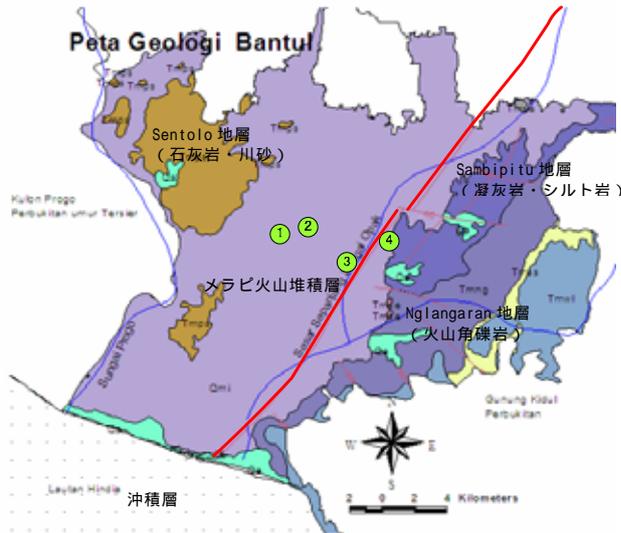


図-4.7 Bantul 県の地質図 (ITB 報告書<sup>4)</sup>の図に加筆)



図-4.8 Klaten 県の地質図 (ITB 報告書<sup>4)</sup>の図に加筆)

## (2) アンケート震度調査

表面波探査と並行して探査箇所周辺でアンケート震度調査を行った。アンケート震度とは、太田ら<sup>7)</sup>によって提案されたアンケートに基づく地震動強さの指標である。建物や室内の被害などの幾つかの質問で構成された質問票を用いて被災住民に調査を行い、統計的調査結果を扱うことでその地域の震度が評価される。また、この調査で得られるアンケート震度と日本気象庁震度階との関係式から、震度の推定ができる。ただし、太田らの評価法は、震度5までの地震におけるアンケート結果に基づいて提案されたものである。そこで、震度7を出した兵庫県南部地震でのアンケート結果をもとに、震度6を超えるような高震度階に適用できるように係数などの修正が著者ら<sup>8)</sup>によって行われた。本調査で用いたものは、後者の修正されたものである。

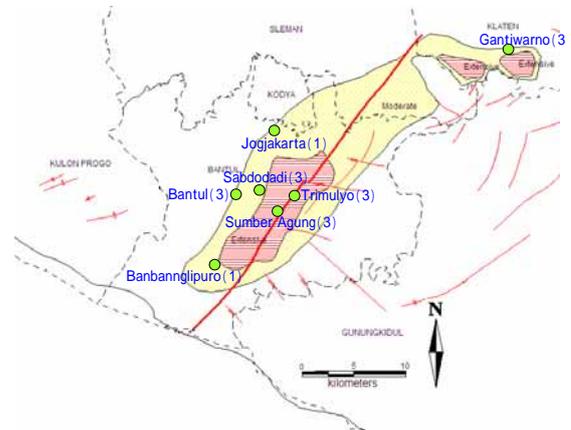


図-4.9 アンケートを行った場所 (ITB 報告書<sup>4)</sup>の図に加筆)

さらに、震度と最大加速度との関係から、各質問の回答に与えられている震度係数を加速度係数に読み替え、アンケート震度ではなくアンケート加速度を推定できる手法が提案されており、本調査ではその手法を適用した。評価方法は、参考文献<sup>9)</sup>を参考にされたい。また、日本とインドネシアとでは、建築物の耐震性も異なる。そこで、木造在来軸組工法と組積造のフラジリティ関数を参考にして、基準となる日本の木造の建物係数が1.0にあるのに対して、組積造の係数を0.8として与えた。

今回、被災地となった Bantul (3 件)、Sabdodadi (3 件)、Sumber Agung (3 件)、Banbanglipuro (1 件)、Gantiwarno (3 件)、Trimulyo (3 件)、Jogjakarta (1 件) の計 17 箇所においてアンケートを実施した。アンケートを実施した場所を図-4.9 に示す。さらに、被災地の 17 箇所におけるアンケート震度から求められたアンケート震度と気象庁震度階、アンケート加速度を表-4.2 に示す。

震度では、Bantul では震度5強・5弱、断層近傍の Sumber Agung や Trimulyo では、震度6弱・5強程度の地震動であったことが推定できる。最大加速度については、Sumber Agung で 360gal であった。Trimulyo では、調査した地域が Trimulyo の中でも山側で比較的地盤が良いこともあり、断層近傍ではあるが Sumber Agung ほどの地震動ではなかったものと考えられる。さらに、バンドン工科大学<sup>4)</sup>が、福島・田中の距離減衰式を用いて、Bantul 県が最大で、0.25g の最大加速度であると推定していた。局所的な地盤増幅による地震動の幅を考慮すれば、本調査で得られた震度、平均加速度は妥当なものといえる。

表-4.2 アンケート震度結果

地名	アンケート震度	気象庁震度階	震度階級	アンケート加速度 (gal)	平均加速度 (gal)
Bantul	4.2	5.2	5 強	177	181
Bantul	4.5	5.4	5 強	241	
Bantul	3.9	4.9	5 弱	124	
Sabdodari	4.8	5.8	6 弱	362	297
Sabdodari	4.8	5.7	6 弱	335	
Sabdodari	4.3	5.2	5 強	194	
Sumber Agung	5.0	5.9	6 弱	411	364
Sumber Agung	4.6	5.6	6 弱	289	
Sumber Agung	4.9	5.8	6 弱	391	
Trimulyo	4.1	5.0	5 強	148	213
Trimulyo	4.5	5.4	5 強	247	
Trimulyo	4.5	5.4	5 強	242	
Banbannglipuro	4.6	5.5	6 弱	274	274
Gantiwarno	4.4	5.4	5 強	231	262
Gantiwarno	4.7	5.6	6 弱	314	
Gantiwarno	4.5	5.4	5 強	243	
Jogjakarta	4.2	5.2	5 強	170	170

(3) 調査地域の建物被害と被害の分布

表面波探査・アンケート調査を行った付近の建物被害の特徴を以下に述べる。Bantul の探査地点の周辺は、商店などがある街であり、建物が完全に倒壊するような被害はほとんどなく、比較的被害の小さい地域である。建物の一部倒壊（写真-4.2）や壁へのクラック等が多く見られた。また、写真-4.3 のように屋根の部分が落ちた住家があった。Sabdodadi では、路上に面した建物（写真-4.4）が完全崩壊していることは無かったが、路地を入るとガレキの山となっている。ただし、被災した家の中では生活できず、ガレージや比較的軽微であった家に大家族が集まり、生活していた。Sumber Agung の地域は田園地帯が広がる田舎である。レンガ造の脆弱な住家が倒壊し、ガレキが残ったままその周囲にテントや簡易的な小屋を建てて生活している（写真-4.5、4.6）。しかし、比較的大きな住宅では、ほとんど被害がなかった。Trimulyo では、表面波探査の結果、地盤が非常に硬いことが知られたが、建物被害は決して小さくなかった（写真-4.7）。この探査点は断層の東側であると思われるが、Sumber Agung 同様、断層に近かったために大きな揺れが発生し、甚大な被害をもたらしたことが推測される。なお、この地域にも小さく脆弱なレンガ造の住家が多かった。



写真-4.2 2階部分の倒壊 (Bantul)



写真-4.3 天井部の剥落 (Bantul)

一般に被災地で多く見かけられる建物構造は、焼レンガの組積造である。鉄筋コンクリートのフレームはあるが、工法は、柱・はりの枠組を先に作り上げてその間にレンガを充填するのではなく、レンガを積み上げ、その組積壁と他の壁とを連結させるように鉄筋のフレームにコンクリートを充填して柱を形成していく Confined Masonry である。したがって、RC はりと柱の連結も弱く、組積壁にせん断亀裂が入って面外に崩落する被害が多くなる。被災地では鉄筋だけが残っているケースをよく見かける（写真-4.8）。組積壁は軽く脆いレンガを粗悪なセメントで連結されているために、組積壁としてせん断耐力を持たず、柱との連結も弱い。また、鉄筋の写真-4.9 に示すように針金のような細い鉄筋が使用されている。写真-4.10 は日本からの援助で



写真-4.4 住家の壁の亀裂 (Sabdodadi)



写真-4.5 住家の被害 (Sumber Agung)



写真-4.6 建物が倒壊し井戸と風呂だけ残存  
(Sumber Agung)



写真-4.7 ガレキの周辺に並ぶテント (Trimulyo)



写真-4.8 柱鉄筋だけ残った2階 (Sabdodari)



写真-4.9 針金のような柱の鉄筋 (Sabdodari)



写真-4.10 日本の援助による建物再建 (Klaten)



写真-4.11 倒壊したレンガの再利用 (Sabdodari)



写真-4.12 厚いレンガ壁に載っている屋根組 (Sabdodari)



写真-4.13 壁だけが残る住家 (Sumber Agung)

学校施設が再建されており、現地の住宅に使用されているもの比べて鉄筋は太く、細かい間隔で帯鉄筋が巻かれている。また、倒壊した住家のレンガ(写真-4.11)や窓枠が再利用されている。屋根は、木もしくは竹で屋根組が作られた上に瓦を載せているために固定されておらず、地震によって瓦が崩落している(写真-4.12、4.13)。被災地でも壁が残っているが、屋根組や瓦がなくなっている家も多い。また、住家の補修の際に、組積壁を作らず、竹で編み込んだシートで壁代わりにしている住家もあった。

以上のことから、被災地で被害が局所的に集中しているのは、脆弱な組積造が多かったことが第一に挙げられる。ただし、表面波探査からも分かるように、BantulやTrimulyoでは比較的硬い地盤が表層に現れているのに対して、SabdodariやSumber Agungでは比較的軟らかい地盤が堆積していた。そのため断層西側の地域では、地震動が閉じ込められて増幅し、被害が大きくなったと考えられる。さらに、同じ断層上であってもTrimulyoの川の西側(探査地はTrimulyoの川の東側)の方がSumber Agungよりも被害が大きかったのは、Trimulyo東側に硬い地盤は露出しており、地震動の反射などの影響があったと考えられる。

ここで、本地震の断層と被害分布図と兵庫県南部地震の被害分布図を比較してみる(図-4.10、図-4.11)。兵庫県南部地震は衛星写真を反転し、90°回転させている。両図のスケールはほぼ同じものである。ジョグジャカルタの地震では震源がOpak川の河口付近であり北東方向に断層の破壊が伝播しており、兵庫県南部地震では淡路島の野島断層が震源となり、北東方向(図の右上方向)に断層の破壊が伝播している。とくに山地近傍の堆積層で被害が増大していること、断層の進行方向の先に、震災の島と呼ばれる震度7の帯と離れたところで被害が局所的に増大していることは、兵庫県南部地震とジョグジャカルタの地震は似ているところが多いといえる。短期間で行った調査結果をもとにしているが、これらの類似点については断層の破壊メカニズムや被害の詳細な分布をもとに、さらに詳細な分析が必要である。

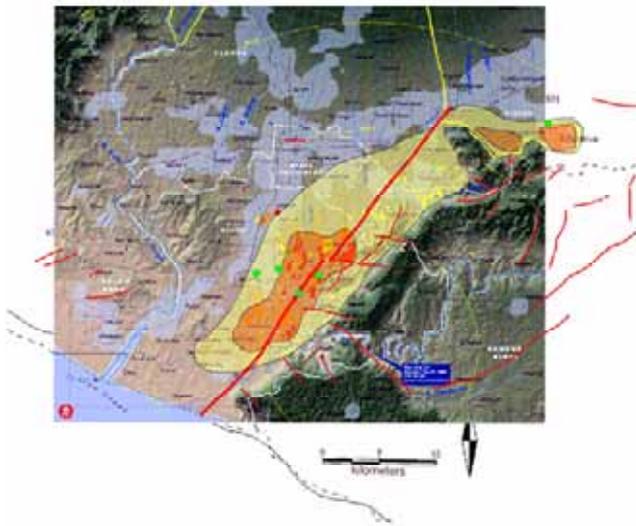


図-4.10 Opak 断層と被害分布図  
(UNSAT<sup>10)</sup>の地図にITB<sup>4)</sup>の被害分布を加筆)

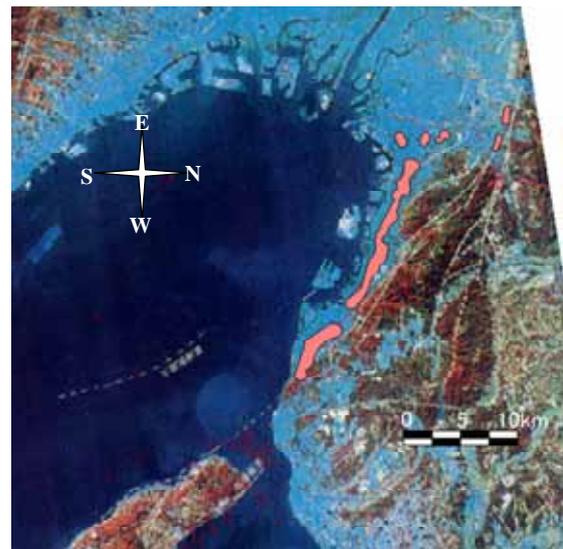


図-4.11 兵庫県南部地震の地形図と震度7の帯  
(地図を反転し90°回転したもの、  
左下が淡路島)

#### (4) 断層上の建物・土木施設の被害

Sumber Agung の探査地域の付近で、断層運動に伴う地表面地盤の亀裂が確認された。その周辺の Quick Bird の衛星写真を写真-4.14 に示す。また、亀裂が確認できた場所を図-4.12 に示す。周辺の橋梁や地盤、水槽や建物の亀裂状況を、写真-4.15～4.18 に示す。写真-4.15 の橋梁よりも西側では水田が広がっているため、亀裂が確認できなかった。橋梁の中央部でコンクリート桁に亀裂が2箇所入っていたが、その他の部分では損傷が見られなかった。建物敷地にあったコンクリートブロック壁は北東の亀裂方向に全て転倒していた。その先にあるコンクリート水槽には、地震前に水が溜められていたが、地震で発生した亀裂によって漏水し、調査時には干上がっていた。亀裂の進行方向には、構造物だけでなく、地盤にも北東方向の亀裂が確認できた。さらに、この亀裂は、建物の中の壁の中央へと進展している。この建物の住人の話によると、地震直後は奥行き方向に10cm程度ずれていたが、日ごとにそのずれ量が小さくなっている。調査時では最大5cm奥行き方向にずれていた。

この住人は、地震当日午前5時に起床し、地震時には家の外で草花の水遣りをしていた。その時、バイクが通るような音がしながら、地盤が盛り上がったということであった。地盤の揺れは、波に乗っているかのように大きな回転を伴うような揺れがあり、そして上下動、水平動に変わっていった。直後、奥さんの様子を確認しに、家の中に入った。地震によって建物の壁は亀裂が入っていたが、残っていた。屋根も落ちていなかったが、余震などの安全のため、全て落とされていた。



写真-4.14 断層近傍の衛星写真<sup>11)</sup>

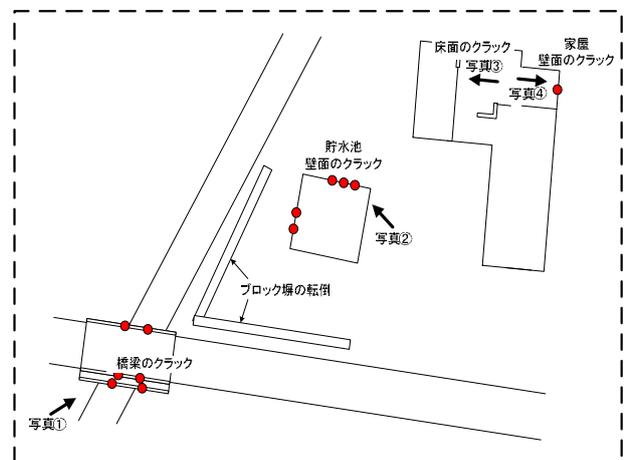


図-4.12 地表面亀裂の箇所



写真-4.15 橋梁の亀裂（図-4.12 写真）



写真-4.16 貯水槽の亀裂（図-4.12 写真）



写真-4.17 建物内床の亀裂（図-4.12 写真）



写真-4.18 建物内壁の亀裂（図-4.12 写真）

## 5 . 水供給施設の被災と復旧

本章では、被害が最も甚大であった Bantul 県の水道システムについて報告する。

### （1）水道システム

ジョグジャカルタ特別州では、県ごとに PDAM（Perusahaan Daerah Air Minum）と呼ばれる水道局が地中配水管網を使って水供給を行っている。本地震で被害が最も大きかった Bantul 県の PDAM では、県内に 12 個のそれぞれ独立した水道システムがある。1 システムは、川の表流水から取水して配水しているシステムであり、残りの 11 システムは、深井戸から取水している。取水した水は、一度貯水槽に入れられ、浄水処理して顧客へ配水されている。

Bantul 県の水供給には、各システムともに口径 150mm 以下の比較的小口径管路で、管の材質には離脱防止機能が付いていない TS 継手で連結された硬質塩化ビニル（PVC）が多く用いられている。また、一部のシステムでは、ダクタイル鋳鉄管や鋼管が使用されている。図-5.1 に、Bantul 県の水道配水管網を示す。現地で得られた管網図で、少し太くなっているところに管路がある。また、表-5.1 には、各システムの口径ごとの水道管路延長を示す。この内、いくつかの地区が統合されている。

Bantul 県の水道システムは 15 年から 20 年前に建設された比較的新しいシステムである。水道システムは県ごとに公益事業として整備されているが、顧客は人口の 10%程度に過ぎない。それ以外のほとんどの家庭では、親の世代から長年引き継いだ井戸を利用している。この理由には、契約して購入する水の費用が一般世帯の収入や水質、供給の安定性などと比較すると非常に高いことにある。水の購入費用は 1 リットルあたり 1 ルピア（およそ 0.012 円）である。一方、住民からは、水の臭いや安定しない水圧などによって信頼が十分得られていない。井戸水の飲用には一度煮沸されるため、井戸水を使用しているほうが安く、水質も住民の許容範囲であるという住民も多い。この井戸水の管理は、水道局ではなく、県の保険課が管理している。また、日本の指令都市の水道有収率（配水量に対する収益につながる水量）が 90%近くあるのに対して、Bantul

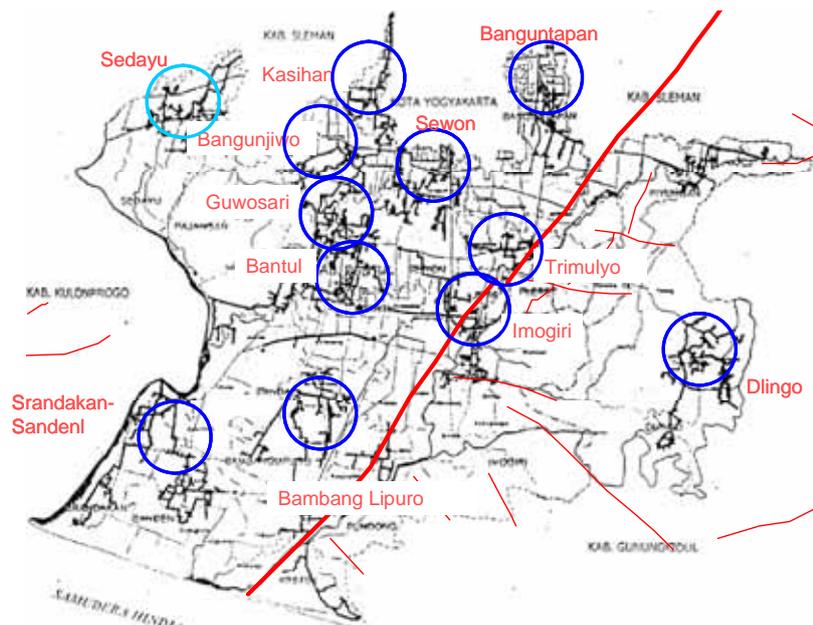


図-5.1 配水ネットワーク図

表-5.1 配水エリアの管路敷設延長(m)<sup>12)</sup>

No.	取水区	350	300	250	200	150	100	75	50	40	25	総延長
1	Sedayu			2,390	2,011	10,616	11,200	6,338	15,044	1,800	10,724	60,123
2	Kasihan		3,735			1,802	4,879	4,729	8,452	733	1,210	25,540
3	Bangunjiwo				3,851	6,343	2,143	832	6,996	11,196	2,849	34,210
4	Sewon					4,300	6,730	7,121	8,824	21,650	7,989	56,614
5	BangunTapan					3,577	1,265	10,677	14,785	5,498	16,367	52,169
6	Guwosari				4,502	6,154	2,924	6,634	8,751	22,232	4,356	55,553
7	Bantul				3,012	3,800	3,562	20,366	41,999			72,739
8	Pandak					4,900	2,000	4,450	3,890	3,600	17,660	36,500
9	Imogiri					6,550	2,672	2,550	5,742	3,810	8,560	29,884
10	Jetis					4,800	500	3,989	4,337	3,390	7,660	24,676
11	Pleret						2,260	563	525	2,380	7,270	12,998
12	Trimulyo	300	390	460	470			304	1,546	4,421	44	7,935
13	Spandakan				5,830	3,698	5,000	5,231	9,323	6,690	7,200	42,972
14	Sanden					2,197	176	2,275	3,800	3,461	9,375	21,284
15	Banbang Lipuro					647	11,016	6,319	5,242	19,256	5,935	48,415
16	Kretel					2,012	1,340	2,816	3,439	2,523	9,391	21,521
17	Pundong					1,505	971	1,983	1,854	4,588	11,191	22,092
18	Dlingo					2,000	5,650	8,000	9,750	4,300	5,000	34,700
	合計	300	4125	2850	19676	64901	64288	95177	154299	121528	132781	659925

県では有収率は60%程度と非常に低い。水道システムの利用者が低いのは、Bantul 県に限られたことではない。水道システム構築の遅れ、水道料金の高さなどに起因して国内の他の地域でも見られる。

インドネシア政府は、人口の急激な増加に伴い1990年から2020年までに国内の水需要が220%に伸びると予想してその対策に取り組んでいる。とくに、1998年には、世界銀行のWATSAL(水資源調整貸付セクター)から30億米ドルが貸付けられ、地元企業だけでなく国内外の民間企業がインドネシアの水資源再構築に乗り出している。とくに、1999年のインドネシアの水道法の改正案には、「Water as economic goods」の概念が組み込まれ、これまでの公益事業の概念から遠のき、海外民間企業の参入を認めたものとなっている。その一方で、同時期には1999年のアジア経済危機の煽りを受けて、国内地元企業の出資が滞り、事実上、欧州や米国の海外の民間事業者によって水道システムが構築されていった。1997年の統計によると、都市域のPDAM水道利用者は51.7%、国内のPDAM水道利用者は20.0%に達している。しかし、PERPAMSI(Indonesian Drinking Water Companies Association)の報告によると、インドネシア全293PDAM中、10%のPDAMだけが経営状態が良く、水道事業が上手く軌道に乗っているとはいえない。

(2) 水道システムの被害

地震によって物理的な被害を受けた取水システムは、12システム中3システム( Trimulyo、Dlingo、Guwosari ) あった。いずれも、ポンプシステムが焼失したことによるものである( 写真-5.1、5.2 )。この原因として、停電後に発電機の連系状態に問題があり、低い電圧がポンプに長時間印加して焼損したと推察される。地震動そのものによる施設の被害は軽微なものであり、現地調査からも確認できなかった( 写真-5.3、5.4 )。それ以外のシステムでは、停電が解消した地震1週間後には取水を再開している。管路の被害は、継手の被害や、管体の割れ、水間橋の橋台部分のずれによる被害などがあった。しかし、被害件数や場所について、詳細な被害記録は得られていない。また、配水流がモニタリングされているわけでもなく、地震後に目視などで被害の検知していることもなかった。管路の修繕は、顧客から断水しているとの報告を受けてから、周辺の被害箇所を検知して修繕を行っている。JICAによると Bantul 県の水道システムの復旧費用は 6.5billion インドネシアルピア (7,890 万円) と推定されている。この他、2,000 基の個人所有の井戸の洗浄に 0.72 billion インドネシアルピア (876 万円) 、公共井戸の修繕に 3.7billion インドネシアルピア (4,540 万円) が推定されている。各水道システムの修繕費用から見れば、Trimulyo や Dlingo に被害が多かったことが挙げられる。地震から1ヶ月半経った現地調査時では、取水システムに被害を受けた3システム以外のシステムでは、通常通り水供給が行われているが、3システムでは、ポンプ装置の修繕中であった。

表-5.2 Bantul 県 PDAM の被害概要<sup>12)</sup>

取水区	被害概要	修繕費 (Rp)
Trimulyo (緊急)	PVC 管路敷設 (26km) 、ポンプ・取水槽・取水施設の修繕、	478,000,000
Dlingo (緊急)	DIP 送水管路敷設 (7km) 、沈殿水槽補修、ポンプ建設、非常電源装置設置、PVC 管路敷設	952,000,000
Sewon (Bangunharjo)	沈殿水槽修繕・建設、水管橋の建設、深井戸の建設、電力供給 PLN33kVA、ポンプ建設2基、通気装置建設	772,000,000
Bangunjiwo	沈殿水槽・ろ過装置・ポンプの修繕、非常電源装置設置	165,000,000
Guwosari	沈殿水槽修繕、ポンプの建設、非常電源装置設置	245,000,000
Sedayu	取水施設の修繕、ポンプの建設、非常電源装置設置	351,500,000
Bantul	事務所建物・沈殿水道の修繕、非常電源装置設置、ポンプ電源の修繕	567,500,000
Kasihari	ろ過装置・沈殿水槽・通気装置の修繕、ポンプ建設、非常電源装置設置	421,500,000
Imogiri	深井戸建設、事務所建物修繕、ポンプ電源の修繕、非常電源装置設置	402,500,000
Bamnamglipuro	深井戸建設、非常電源装置設置	330,000,000
Banguntapan	事務所建物修繕、水管橋(PVC)修繕、非常電源装置設置、配水管修繕	235,500,000
Srandakan	深井戸建設、井戸修繕、電力供給 PLN22kVA、非常電源装置設置	377,500,000
合計	(計画監修費10%含まず)	5,298,000,000



写真-5.1 取水ポンプの修繕(1)



写真-5.2 取水ポンプの修繕(2)



写真-5.3 タンク



写真-5.4 沈殿池

### (3) 水道システムの復旧

地震後の緊急対応について、地震は土曜日の朝6時前に発生したが、その後何人かの職員が参集し、12時には給水トラックで応急給水を始めた。停電で取水機能が停止していたシステムもあったが、ディーゼルによる非常用発電装置が可能な施設で給水車に入水することができたので、給水車で応急給水することができた(写真-5.5)。応急給水は、給水停止した顧客だけでなく、契約していない被災者に対しても行われた。し



写真-5.5 応急給水車への入水



写真-5.6 水道システムの水(Bantul 県)

かし、被災地には、大型の応急給水タンクは置いていなかった。緊急時の連絡は、個人の携帯電話を使って連絡が取られた。また、調査時には、Bantulの南側にあるBanbanglipuroでは、倒壊した建物の前に残った水道蛇口から水がでることを確認している。

元々、本水道システムには地震対策が行われておらず、今後も特に地震対策を行う計画はないとのことである。現在、水道局では、地震で深井戸の水質が変化しているのではないかと心配しているが、水質検査はまだ行われていない。

### (4) 井戸施設の被害

(1)で上述したように、被災地の一般の家庭では井戸が利用されている(写真-5.7)。井戸の中にパイプを挿入し、自宅の中にある小型ポンプで揚水し、宅地内の屋内管に給水される(写真-5.8)。場合によっては、貯水槽に水を揚げている井戸もある。断層近傍の被害の大きいところでは、地震から約1週間電力供給が停止し、ポンプが使用できなかった。そのため、住民は手で水を汲み上げていた。貯水槽は、トップヘビーの構造で地震時には被害を受けやすいとされているが、被災地では建物が倒壊しRCの貯水槽は被害を受けずに残っている光景をよく目にした。一般建築物に比べ井戸施設の被害はほとんどないと言ってよい。しかし、水位の低下や濁りがみられ、機能的・衛生的な被害を受けている。



写真-5.7 一般的な井戸



写真-5.8 井戸の汲み上げポンプ

## 6 . 電力施設の被災と復旧

### ( 1 ) 電力システム

インドネシアにおける電力供給は、1961年に設立された国営電力公社 PLN (Perusahaan Umum Listrik Negara) が行っている。同社はジャワ島を始め全国において発電から送配電の垂直統合型の一貫経営を行っている。なお、1994年より PLN は公社 (PN) から株式会社 (PT) に変更された。電力需要の伸びに発電能力が追いつかないために、1992年に発電分野への民間参入を促すために民間発電事業会社(IPP)制度を導入した。一般家庭への電力供給は 50 サイクルで電圧は 220V である。なお、送配電ロス、日本が 5% であるのに対し、10% 以上と大きい。原因は設備の老朽化および盗電が多いためである。今回の調査対象被災地においても被災者は電力会社の手を借りずに電力線を引き込んでいる状況が見られ、盗電が常態化している可能性がうかがわれた。なお、一般用の電気料金は、34,260 ルピア/KVA の基本料金および 621 ルピア/1kwh(7.6 円)の比例料金からなる逓増制で(2004年)、一般の物価水準と比べて割高であると思われる。雨期は落雷のため、乾期は渇水による水力発電所の操業率のため停電が多いとされるが、現地調査時にはジョグジャカルタ市内における停電には遭遇していない。

表-6.1 には、PLN と関西電力の会社概要の比較を示す。なお、PLN は発受電電力量の内、約 20% を上記 IPP 等外部より購入している。

表-6.1 会社概要比較

	PLN(2004年) <sup>13)</sup>	関西電力(2005年3月) <sup>14)</sup>
販売電力量	1.001 億 MW h	1.448 億 MW h
発受電電力量	1.202 億 MW h	1.580 億 MW h
供給電力	21,470MW	35,770MW
送電線延長	26,434km	18,184km
配電線延長	285,052km ( MV ) 322,703km ( LV )	126,363km
変電所容量	85,649MVA ( 送電 ) 30,595MVA ( 配電 )	149,400MVA
従業員数	47,288 人	22,482 人
顧客数	3,306 万	1,315 万 ( 契約口数 )

今回被害を受けたジョグジャカルタ特別州への電力供給は、ジョグジャカルタ市内の支社 ( APJ YOGYAKARTA ) が行っている。供給区域は同州全域である。今回、Bantul 県と並んで被害の多かった Klaten 県は中部ジャワ州の管轄である。支社の総従業員数は、283 人で、その内 90 人が市内のメインオフィスに勤務している。電力供給区域は表-6.2<sup>15)</sup> に示す 8 地区に区分されている。表-6.2 には、配電施設の概要も併せて示す。ジョグジャカルタ州への電力供給は 8 箇所の変電所 ( 150/20KV ) を介して行われている。表-6.3<sup>15)</sup>

には、これら変電所の概要を示す。

表-6.2 ジョグジャカルタ特別州の供給エリア<sup>15)</sup>

地区名称	位置	高圧線(JTM) 延長(km)	低圧線(JTR) 延長(km)	変圧器	
				ユニット数	容量(KVA)
Kalasan	ジョグジャカルタ市北東部	379.103	810.762	914	38,265
Wates	ジョグジャカルタ州西部	782.370	1,313.803	1,311	46,860
Bantul	ジョグジャカルタ市南部	628.423	967.432	1,393	59,940
Sedayu	ジョグジャカルタ市南西部	367.641	639.940	1,096	53,939
Wonosari	ジョグジャカルタ州東部	1,438.070	1,638.365	2,219	71,285
Sleman	ジョグジャカルタ州北部	453.596	697.453	1,216	59,475
Yogyakarta Utara	ジョグジャカルタ市内北部	140.233	362.692	967	83,274
Yogyakarta Selatan	ジョグジャカルタ市内南部	234.002	515.886	1,211	96,708
計		4,423.438	6,946.333	10,327	509,746

表-6.3 州内の配電用変電所(150/20kV)<sup>15)</sup>

変電所名	主たる供給地区	容量(MVA)	配電線路数(feeder)
Kentungan	Sleman, Ygk Utara, Kalasan	60	7
		30	3
Bantul	Sedayu, Ygk Selatan, Ygk Utara, Bantul	60	4
		60	6
Gejayan	Ygk Utara, Ygk Selatan, Kalasan	60	4
		60	4
Wirobrajan	Ygk Utara, Ygk Selatan, Sleman	60	5
Godean	Sleman, Sedayu, Ygk Utara	30	3
		30	3
Medari	Sleman	30	6
Wates	Wates	30	3
		16	2
Semanu	Wonosari	30	3
		30	2
計		586	55

## (2) 電力供給施設の被害

地震直後に、上記変電所のフィーダーごとに設置された、FCO および PMT により自動遮断が行われ全域が停電となった。前者の機器が日本におけるフィーダー遮断器で後者が保護継電装置 ( protection relay ) あるいは電力監視ユニットに相当すると思われる。一旦、停電となったが PLN の設備被害は軽微であり停電の原因となるものはなく、顧客側の家屋被害による地絡等に起因して自動遮断が行われた。PLN 側の構造被害としては、柱上トランスのずれ・移動および、それに伴う柱上の低圧開閉器の破損が発生した。このような被害の区間延長が約 5km で、電柱間隔が 50m であるので、被害個数は 100 箇所と考えられる。阪神大震災時のように、建物被害に起因する架空線の被害はなく、電柱の傾斜や破損もなかったとのことである。土木学会の現地調査<sup>16)</sup>においても震度推定の指標として電柱の調査が行われているが、電柱のクラックおよび根入れ部の地盤とのギャップはなかったと報告されている。また、ジョグジャカルタ市内の変電所において、変電機基礎が沈下し、傾斜していた停電が発生したとの報告<sup>17)</sup>があるが、停電の原因となるものではなかった。PLN 全体としては、Pedan、Klaten、Central Java 州の 500kV クラスの施設被害のため、損失額は 164 billion ルピア (19.2 億円)に達したとの報道<sup>18)</sup>があるが、当ジョグジャカルタ特別州内には発電所等高圧施設は少ないため、PLN の被害額は 40 billion ルピアで、その内 20%がビル関係とのことである。なお、ジョグジャカルタ市内には、街灯のネットワークがあるが、地震当日中に復旧している。現地調査では、柱状変圧器や電柱の甚大な被害は確認されていない(写真-6.1~6.3)。



写真-6.1 柱上変圧器



写真-6.2 柱上変圧器



写真-6.3 現地の電柱の様子

### (3) 電力供給システムの復旧

地震直後に全顧客（695,565戸）が停電したが、地震当日（5月27日）の午前10時には、Medari 変電所から被害がなく供給可能な Sleman 地区への配電が開始された。表-6.4 には復電戸数の時間推移を示す。図-6.1 には、既往の地震との復旧曲線の比較を示す。曲線の形状、日数が経過しても 0%に近づかない点などパム地震のケースに類似していることがわかる。表-6.5 には各地区の顧客数を示す。

表-6.4 復旧戸数の推移

日時	復旧戸数	復旧比率
5月27日（地震当日）	9万1千	13%
5月28日	28万5千	41%
5月29日	41万9千	60%
5月30日	56万4千	81%
6月2日	61万8千	89%
7月12日（調査時）	63万8千	92%

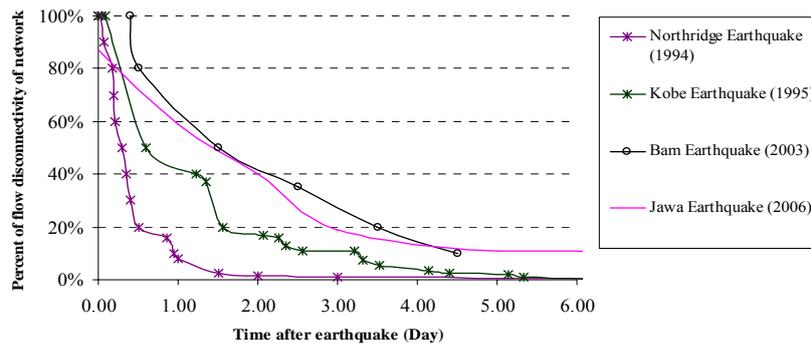


図-6.1 復旧曲線の比較

表-6.5 各地区の顧客数

地区名称	位置	顧客数(戸)
Kalasan	ジョグジャカルタ市北東部	64,854
Wates	ジョグジャカルタ州西部	74,290
Bantul	ジョグジャカルタ市南部	119,113
Sedayu	ジョグジャカルタ市南西部	77,255
Wonosari	ジョグジャカルタ州東部	115,276
Sleman	ジョグジャカルタ州北部	90,829
Yogyakarta Utara	ジョグジャカルタ市内北部	65,233
Yogyakarta Selatan	ジョグジャカルタ市内南部	88,715
計		695,565

地域的には、北部の(Sleman 地区、Yogyakarta Utara 地区) 西部(Wates 地区、Sedayu 地区) 東部(Wonosari 地区) の順に復旧した。震源に近く家屋被害の多い南部(Bantul 地区、Yogyakarta Selatan 地区) の復旧が最も遅れた。

復旧手順としては、地震当日に復旧した Sleman 地区への 6 フィーダー以外の配電線路について、変電所側より順次、開閉器を解放した上で、被害家屋の切り離しを行い、健全が確認された区間から開閉器を投入していった。6 月 2 日までこのような作業を行い、停電顧客は 7 万 8 千戸まで減少したが、顧客側の家屋の復旧が進まないために、地震後 46 日が経過した現地調査時に於いても 5 万 8 千戸が未復旧であった。その内、3 万 8 千戸が Bantul 地区の顧客である。上記復旧作業には約 800 人の作業人員が投入された。PLN からは当地区従業員 283 人の内 100 人が作業にあたり、200 人は地元の電気工事業業者、500 人は国内他地区からの PLN の応援部隊であった。

## 7. まとめ

本稿では、インドネシア中部地震のジョグジャカルタ周辺の地盤・地震動特性と被害分布について調査・分析した。また、水道と電力のライフライン施設の被害と復旧について報告した。本研究は以下のとおりまとめられる。

- ・ 本地震は、ジョグジャカルタ州東側の Opak 断層が横滑りした内陸地震であったと考えられている。
- ・ 被害は、ジョグジャカルタ州 Bantul 県と中部ジャワ州 Klaten 県に集中している。中程度の地震規模に対して、建物が脆弱なために被害が増大した。Bantul 県では死者率が 5.3 人/千人と高く、兵庫県南部地震の神戸市の被災地と同じ被災レベルであった。
- ・ 表面波探査の結果、Bantul 県の平野部は、地下 20m 近くまで比較的緩い地盤が堆積しており、断層東側の山地では、地下の浅いところに岩盤が露頭していることが分かった。地質図によると、Bantul の堆積地盤はメラピ火山系の堆積層であると考えられる。
- ・ 震度調査によると、Bantul では震度 5 強・5 弱、断層近傍の Sumber Agung や Trimulyo では、震度 6 弱・5 強程度の地震動であったことが推定できる。最大加速度で推定すれば、Sumber Agung で 360gal であった。

- ・ 本地震では、Bantul 県に走る断層の西側に被害が集中した。東側には硬い地盤の山間地があるため、地震動は山地との境界付近の堆積層で増幅し、被害を大きくさせたと考えられる。また、断層の破壊が伝播した方向には、被害の帯から独立した被災地域が局所的に分布しており、兵庫県南部地震でもみられた震災の島と同じ現象が現れている。
- ・ Bantul 県の Sumber Agung では、断層の走行方向に土木施設や建物に亀裂が入っていることが確認された。
- ・ 公共の水道施設は、深井戸を利用した小規模なもので、利用者は人口の 10% 程度に過ぎない。停電によりポンプが稼働せず、ほとんどの地域で電力が復旧するまでの 1 週間近く供給が停止した。地震後、多くの水道取水施設で非常用電源装置が設置された。
- ・ 300gal 程度の地震動に対して、電力施設は柱上トランスのずれ・移動および、それに伴う柱上の低圧開閉器の破損が発生したが、変電所の機器や支持物に大きな被害はなかった。ただし、住家の被害が甚大であったために、系統保護装置により自動遮断が行われ全域が停電となった。

謝辞：被災地の調査にあたり、ガジャマダ大学土木工学科 Nizam 教授、バンドン工科大学 I Wan Sengara 教授には多大な協力を頂いた。また、Jogjakarta 州施設管理局副局長 Sunjoto Dip. HE.氏、DPAM Bantul 技術部長 Agun Darmag 氏、電力会社 PLN Jogjakarta 支社営業課 Aris Edi Susangkiyono 氏には貴重な資料を提供していただいた。また、本調査は、文部科学省科学研究費補助金突発災害調査研究「2006 年 5 月 27 日インドネシア・ジャワ島中部地震による被害に関する調査研究」と科学技術振興調整費「スマトラ型巨大地震・津波被害の軽減策」に一部補助していただいている。ここに記して感謝の意を表す。

#### 参考文献：

- 1) 防災科学技術研究所：Realtime-JISNET の波形データを用いた 2006 年 5 月 26 日ジャワ島中部で発生した地震の震源メカニズム解析 [http://www.isn.bosai.go.jp/events/YogyaEq\\_20060526/index2.html](http://www.isn.bosai.go.jp/events/YogyaEq_20060526/index2.html)
- 2) 八木勇治：2006 年 5 月 26 日ジャワ島中部で発生した地震の震源過程 [http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press\\_HP/yagi/EQ/2006Jawa/](http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press_HP/yagi/EQ/2006Jawa/)
- 3) USGS (米国地質調査研究所)：Earthquake Hazard Program: <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/recenteqsww/Quakes/usneb6.php>
- 4) Institute of Technology of Bandung (Cord. I I Wayan Sengara, Edt. Hendarto, MT): Reconnaissance report on Jogjakarta Earthquake May 26, 2006 (in Indonesia)
- 5) ジョグジャカルタ政府：内部資料 (2006/07/08 付)
- 6) インドネシア統計局：人口 <http://www.bakornasbp.go.id/html/buletindijjateng.htm>
- 7) 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推定，北海道大学工学部研究報告，第 92 号，pp.117-128，1979
- 8) 高田至郎，上田直樹：計測震度に対応した新しいアンケート震度の算定手法，第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.631-636，1998
- 9) 新谷正樹，鎌田泰子，高田至郎：アンケート加速度係数とテレビ挙動解析を用いた最大加速度推定方法の提案，土木学会地震工学論文集 第 28 巻, Paper No.70 (10pages) (CD)，2005.
- 10) UNOSAT：被害分布図，  
[http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/indonesia/UNOSAT\\_Java\\_EQ\\_damage30may06\\_highres.jpeg](http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/indonesia/UNOSAT_Java_EQ_damage30may06_highres.jpeg)
- 11) Quick bird：衛星写真
- 12) DPAM Bantul：水道被害資料 (内部資料)
- 13) PLN：[http://www.pln.co.id/annual\\_reporten/menu.html#](http://www.pln.co.id/annual_reporten/menu.html#)
- 14) 関西電力 [http://www.kepcoco.jp/corporate/profile/company\\_profile/2005/index.html](http://www.kepcoco.jp/corporate/profile/company_profile/2005/index.html)
- 15) PLN：Informasi Perusahaan Triwulan I Th2006; PT PLN(Persero) APJ YOGYAKARTA
- 16) 土木学会；ジャワ島中部地震災害に対する調査団報告、2006.6.23、  
[http://www.jsce.or.jp/report/37/QuickReport\\_JSCE-AIJ\\_Rev2\\_20060623.pdf](http://www.jsce.or.jp/report/37/QuickReport_JSCE-AIJ_Rev2_20060623.pdf)
- 17) 愛媛大学防災情報研究センター；ジャワ島中部地震緊急調査報告、2006.7.5、  
[http://www.ccr.ehime-u.ac.jp/dmi/java\\_earthqk.pdf](http://www.ccr.ehime-u.ac.jp/dmi/java_earthqk.pdf)
- 18) <http://www.indonesia-relief.org/mod.php?mod=publisher&op=viewarticle&cid=25&artid=1678>

著者：1) 高田至郎、工学部建設学科、教授；2) 鎌田泰子、工学部建設学科、助教授；3) 田熊靖史、自然科学研究科建設学専攻、学生；4) 柴田安啓、自然科学研究科建設学専攻、学生；5) 上野淳一、(株)ライフライン工学研究所、代表取締役所長