

2006年7月6日

九州大学大学院・人間環境学研究院・教授 川博 博
九州大学大学院・人間環境学府・修士課程 中村壮志

1. 調査の概要

2006年5月27日午前5時53分にインドネシアのジャワ島でマグニチュード6.3の地震が発生し、死者は5,700名を超え、負傷者も3万6千人以上、約14万戸もの家屋が倒壊したといわれている。地震はいわゆる内陸直下型と推定されているが、これまでほとんど地震が起きていない地域に発生した。今回の地震被害の特徴は、地震規模が小さい割には極めて大きな人的、物的被害が発生していることである。その原因を究明することは、同じ悲劇を繰り返さないために、現地の研究者・技術者にとって重要であるとともに、同じ直下型地震が多く発生している日本にとっても有用であると考えられる。

九州大学は、九州大学とガジャマダ大学がこれまで密接な学術交流を続けてきたことから、今回のジャワ島中部地震の地震災害に際してガジャマダ大学を応援しようという基本的立場で、余震観測に工学研究院の江原幸雄教授のチームを早期に現地に派遣するとともに、被害調査および地盤振動調査のために、工学研究院の渡邊公一郎教授と人間環境学研究院の川瀬博、海外での地震被害調査の経験が豊富な山口大工学部の村上ひとみ助教授および人間環境学府の修士課程2年の中村壮志の計4名からなる調査団を編成して現地に派遣することを決定した。その準備期間中に文部科学省科学研究費補助金（特別研究促進費）の申請が承認され、このチームはそのままこの科研費の地震動評価チームも兼ねることとなった。以下に今回の被害調査および地盤振動調査の行程を示す。

6月20日	福岡	発 10:30	(SQ989)	Singapore
	Singapore	発 16:40	(SQ146)	Denpasar
6月21日	Denpasar	発 13:10	(GA253)	Yogyakarta
	UGM	でブリーフィング、予備調査		Yogyakarta 泊
6月22日	Pleret	測線調査		Yogyakarta 泊
6月23日	Imogiri	測線調査		Yogyakarta 泊
6月24日	Klaten 県	調査		Yogyakarta 泊
6月25日	UGM	建物微動調査		
	Yogyakarta	発 17:00	(GA213)	Jakarta
	Jakarta	発 20:15	(SQ167)	Singapore
6月26日	Singapore	発 01:00	(SQ990)	福岡着

以下には6月21日から6月25日までの5日間の調査概要を示す。表1には微動を観測した地点の緯度・経度と観測日時を示した。

6月21日

ガジャマダ大学工学部建築学科にてブリーフィングを受ける。仮設住宅の提案や補強ガイドラインを作成していることを紹介される。独自の被害調査については、応急危険度判定を実施しようとしたところ行政サイドから混乱を招くとして中止を要請され、結局実施できなかったとのことであった。

その後、最も被害のひどい Desa Pleret (Pleret 村)、Kecamatan Jetis (Jetis 地区、村より大きい、日本の郡ほどのサイズではないが以下では郡と呼ぶ) および Imogiri 市の概況を調査に行った。Jetis から Imogiri に向かう南北の街道沿いに被害の酷い地域から少ない地域に急激に変化するの非常に強く印象に残った。この急激な変化は UNOSAT の被害程度推測図 (図1) の赤の領域からオレンジの領域にはっきり対応しており、この推測図はかなり精度が高いことを実感した。ただし、マップでは記載のない Pleret の東の山あいの部落でも高い被害率が出ており、現地調査の必要性も証明されたともいえる。

6月22日

Pleret から東西に断層線を横切る約 10 km の測線で詳細調査を開始した。調査地点は部落の中心に位置することの多い小学校もしくは部落役場をターゲットに決定し、その校庭や中庭で常時微動観測を実施しつつ、その周辺の被害の状況を調査するとともに、震度決定のためにアンケート調査票を用いて聞き取り調査を実施した。平行して役場で部落単位の被害統計情報を収集した。全部で7地点 (表1の No.1 から No.7) の調査を実施した。2箇所では2F建ての学校の校舎の微動も計測した。その位置については図2を参照されたい。

6月23日

Imogiri から東西に断層線を横切る約 10 km の測線で詳細調査を継続した。平行して役場で統計情報を収集した。全部で7地点 (表1の No.8 から No.14) の調査を実施した。この測線は上記の Pleret 測線ほどは被害率が高くない。図2にその位置を示す。

6月24日

UNOSAT の衛星から推定した被害域分布では何らマップされていないが、非常に高い被害率が出ているという Klaten 県南部の調査を実施した。最初に Plambanan 遺跡に許可をもらって入り、被害状況の調査と微動計測を行った。内部には石で尖塔のような空間が作られているが天井被害は生じていない。次に Klaten 南部の農村部の小学校あるいは役場の調査を Pleret 測線・Imogiri 測線と同様のパターンで実施した。全部で6地点の調査を実施した (表1の No.15 から No.20)。Klaten 南部では建物被害も酷いがそれ以外の被害もかなり生じている。道路の亀裂も多く (それらのすべてが地震起源でないかもしれない)、高圧線が支持部からはずれて垂れ下がってしまっている場所も見つかった (通過時点で修復中であった)。なお鉄塔には被害は生じていない。図3にその位置を示す。

6月25日

本日はアンケートの整理を実施するとともに、建物の基本特性を把握するためガジャマダ大学の建物の微動計測を行った。全部で7棟の建物の観測を実施した。7階建てが1棟、6階建

てが2棟、5階建てが1棟、3階建てが2棟、2階建てが1棟である。先に被災地で測定した2階建て2棟を加えると全部で9棟の建物微動を計測したことになる。

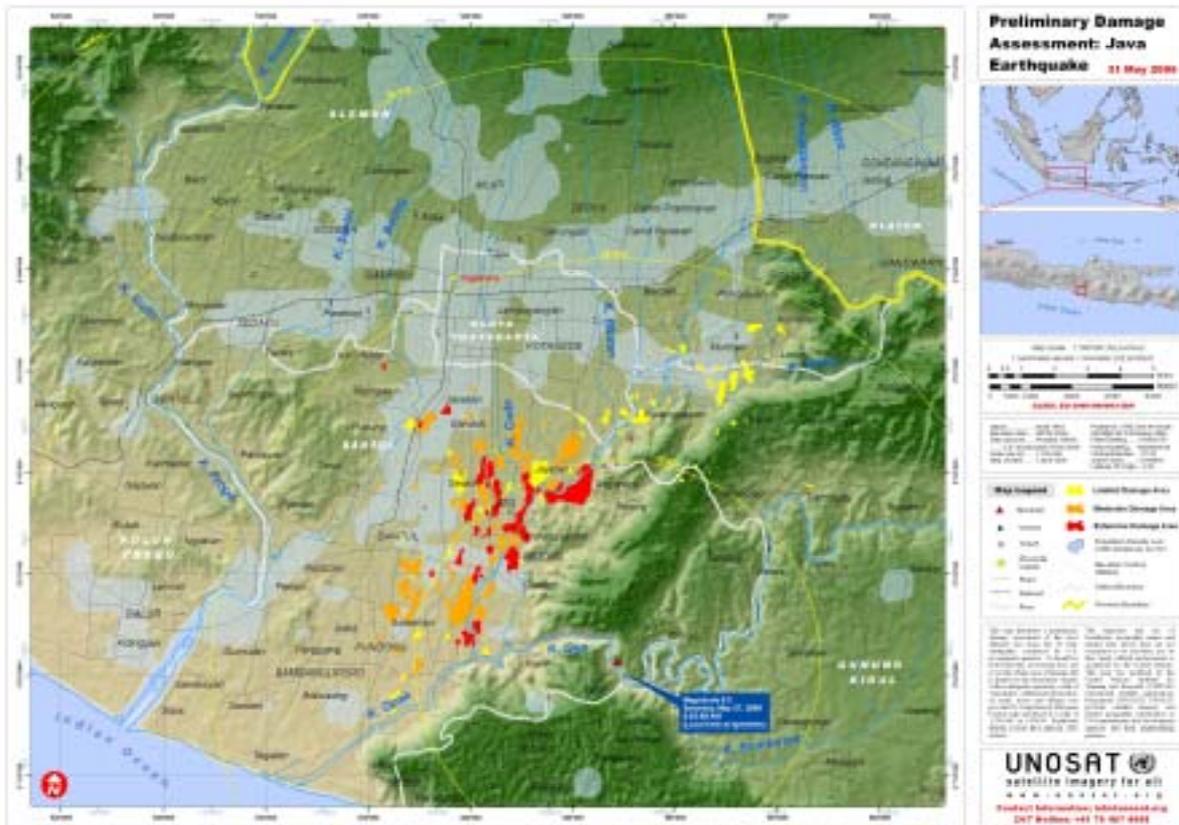


図1 UNOSAT のウェブサイトにある衛星写真から推定した被害の甚大な地域
震源位置は USGS による

(<http://unosat.web.cern.ch/unosat/asp/>)

表 1 観測点の緯度経度と観測日時

No.	CODE	Date	Observation duration	Latitude	Longitude
1	WONO	2006/6/22	10:45 ~ 11:00	-7 ° 52 10.32	110 ° 23 29.04
	bldg.	2006/6/22	11:03 ~ 11:18	-7 ° 52 10.32	110 ° 23 29.04
2	KAUM	2006/6/22	11:44 ~ 11:59	-7°52 00.96	110 ° 24 26.52
3	KEDUN	2006/6/22	13:19 ~ 13:34	-7°52 59.76	110 ° 25 28.98
4	TEGAL	2006/6/22	14:23 ~ 14:38	-7°52 27.18	110 ° 24 52.86
5	PACAR	2006/6/22	15:31 ~ 15:46	-7°52 34.98	110 ° 22 32.10
6	KOWEN	2006/6/22	16:41 ~ 16:56	-7°52 43.14	110 ° 21 42.90
7	MELIK	2006/6/22	17:36 ~ 17:51	-7°52 30.18	110 ° 20 09.60
8	KARAN	2006/6/23	9:38 ~ 9:53	-7°55 13.62	110 ° 22 53.28
9	SRIHA	2006/6/23	11:22 ~ 11:37	-7°56 37.92	110 ° 22 23.16
10	MANGG	2006/6/23	13:05 ~ 13:20	-7°54 32.94	110 ° 23 02.10
11	PULOK	2006/6/23	15:03 ~ 15:18	-7°54 44.04	110 ° 22 01.74
12	BAKUL	2006/6/23	15:35 ~ 15:50	-7°54 30.72	110 ° 20 51.72
13	PENI	2006/6/23	16:09 ~ 16:24	-7°54 16.62	110 ° 19 51.30
14	GILAN	2006/6/23	17:05 ~ 17:20	-7°54 24.42	110 ° 18 50.58
	bldg.		17:23 ~ 17:38		
15	PLANB	2006/6/24	10:02 ~ 10:17	-7°45 11.82	110 ° 29 29.70
	lower GL.		10:40 ~ 10:55		
16	CUCUK	2006/6/24	11:39 ~ 11:54	-7°45 45.24	110 ° 31 11.46
17	MLESE	2006/6/24	14:35 ~ 14:50	-7°45 49.74	110 ° 33 09.18
18	PASUN	2006/6/24	15:39 ~ 15:54	-7°46 32.76	110 ° 35 42.36
19	JABUN	2006/6/24	16:32 ~ 16:47	-7°46 07.80	110 ° 33 59.46
20	NGAD	2006/6/24	17:32 ~ 17:47	-7°47 17.46	110 ° 32 56.70



図2 Pleret 測線と Imogiri 測線の観測地点配置



図3 Klaten 測線の観測地点配置

2. 大被災度地域の観測点での建物被害状況

以下に Pleret 測線・Imogiri 測線の観測点のうち、特に被災度の高い東側の観測点を中心に、観測点周辺の被災状況写真をいくつか紹介する。最初に概要をまとめておく。

被害の酷かった農村部では地名が以下のように整理されている。KECAMATAN が地区、DESA が村、その下に部落（使用した二万五千分の1地形図には記載されていないが DUSUN がそれに相当するインドネシア語か）がある。概略10部落で1村、10村で1地区という感じで構成されている。1部落の世帯数は100から300世帯、人口は300から1000人程度と推定される。以下では実際には日本の郡よりは小さいが村の集合体なので KECAMATAN / 地区を郡と訳す。部落の役場に行くと被災統計（日本でいう罹災証明用判定レベル）が入手できることがある。我々が入手したいいくつかの部落のものは山口大学村上助教授がコンパイル中で別途報告される予定である。

以下の写真に示すように、被害の酷い地域の建物の特性というか種別としてはほとんどが平屋の無筋煉瓦造で、上部のリングビームなし、木造小屋組で瓦屋根である。周辺に RC フレームがあるものとなないものがあり、古いものはまずないが、新しいものには大抵あるように見受けられた。しかし、たとえ RC フレームがあっても大変細いもの（15cm 角～20cm 角）であり、中の鉄筋もたいへん細い（6mm 程度）。なお2階建ては1部落に数棟しかなく、おそらくは部落内の金持ちに限られる。また店舗建物がいくつか見られるが、通常店舗は前面開口部が大きく、その直交方向にばったり倒壊することが多いが、今回は店舗建物に生き残っているものも多く見られた。これも建築時に掛けている資金の違いが反映しているものと推察される。また煉瓦の壁厚も1段積みと1.5段積み、2段積みなどがあり、当然厚い方が丈夫なはずだが、被害の酷い地区では厚いものでも崩壊しているものが見られ、必ずしも有意に耐力が高いとはいえないようである。なお被害の酷かった農村の住居には RC 造建物はほぼ皆無である。

No.1 観測点：MAN Wonokromo 高校

Ketonggo 部落/Wonokromo 村/Pleret 郡/Bantul 県

（Bantul 市から Pleret の中心に向かう街道と Yogyakarta から Jetis に向かう街道の北東角）

この高校は被害の酷かった Ketonggo 部落において、中破程度に留まっており、二階の梁が一本壊れているのと、二階の教室の角の屋根と天井が落ちているのが目立つ程度で、一階はひび割れが生じただけに留まっていた。写真 No.1-1 から写真 No.1-4 にその様子を示す。見た目には煉瓦インフィルの RC 造に見えるが、果たしてこの建物が本当に RC 造であるかどうかについては確認が取れていない（計測時には当然そうだとばかり考えていたが、別の場所で見えて煉瓦造の建物があつたために確信が揺らいでいる）。この村の一般住居の被害はかなり酷く、入手した統計情報では 388 棟の建物のうち 232 棟が全壊とされており、全壊率は 71%となっている。入手した情報では、村の住人 793 人に対して死者は 3 名で、その年齢は 80 歳/80 歳/2 歳となっており、災害弱者ばかりとなっている。

No.2 観測点：Kauman 部落の小学校

Kauman 部落/Pleret 村/Pleret 郡/Bantul 県

(Pleret の中心の部落、小学校は全壊、隣に建つ Pleret の村役場は無事)

この小学校は地震でメインの校舎が全壊しており、その跡地には残骸がうず高く積まれていたが(写真 No.2-1) 直交する教室は壁が残されており、また図書室や倉庫、および敷地内に建てられたモスクや役場の建物は生き残っており(写真 No.2-2, 3) それらのうち倉庫を用務員の夫婦が住居として使用していた(彼ら自身の家屋は大破)。彼らの証言によれば、丁度校庭の掃除を始めていた用務員の男性は校舎倒壊のプロセスを目撃しており、地震の揺れを感じてから時間にしてせいぜい3秒で教室全体が一気に、真下に崩れ落ちたと語った。この最大の揺れに達する時間が短いことはこの地域がアスペリティに近いことを示唆している。またこの男性は、揺れは立ってられないほどのものだったかという質問に対し、立っていることはできたが歩くことはできなかったと語った。これは地震動のレベルが兵庫県南部地震の神戸でのようなレベルには達していなかったことを示唆している。揺れは10秒ほどで収まったとしており、M6.3の地震の継続時間としては妥当な数字である。

この部落の被害率は、入手した統計情報では総数201棟に対して全壊建物が152棟で75%に達しているが、印象としてはもう少し低いのではないかと感じた。生き残っている住宅の例を写真 No.2-4 に示す。この部落の死者は1名でその年齢は75歳であった。

No.3 観測点：Kedungpring 部落の小学校

Kedungpring 部落/Bauran 村/Pleret 郡/Bantul 県

(Pleret から一坦南に下がって川を渡って東に行った山の裾野の部落。小学校もモスクも全壊)

この部落は Pleret の中心からかなり東に行った地点で、図1の UNOSAT の被災度分布地図には記載されていない地点に当たるが、その被害率は見た目でも60%以上はあり、微動計測した小学校においても校舎が1・2棟全壊している他、めずらしくモスクが全壊していた(写真 No.3-1)ので、軟弱地盤による増幅が考えにくい丘陵地に近い場所であるにも拘わらず、相応の地震動が生じていたものと推察される。ただし、そのレベルは写真 No.3-2 に示す店舗建物が小破で生き残っていること、村の中心部のモスクの敷地に建てられた鉄塔が無傷で残っていることから見ても200Galを大きく上回るものではなかったのではないかと推測される。

No.4 観測点：Tegalrejo 部落の小学校

Tegalrejo 部落/Bauran 村/Pleret 郡/Bantul 県

(Kedungpring から戻る道を北西に分岐した先、小学校何棟かは全壊、一部は生き残っている)

この部落は No.2 観測点 Pleret の役場から川をはさんで対岸に位置し、No.3 地点よりは川に近いので表層地盤による増幅が考えられる。被害程度も大破・倒壊率は100%に近く、Pleret 測線の観測点の中では一番酷いといってよい。微動を観測した小学校では半年前に建てられた新しい校舎が全壊しており、その妻壁が、我々が現場に到着してすぐに目の前で崩壊した(写真 No.4-1, 2)。この校舎の梁は RC 製のように見えるが鉄筋の存在は確認できなかった。なお隣にあった古い教室2棟は全壊を免れている。この近所に墓地があり、変わった墓標が並んでいたが(写真

No.4-3) 新しいものは穴に差し込むだけでなく針金で引っ掛ける構造になっており、高さも低いこととあいまって、その転倒率は低く、地震動レベルの推定には用いることができなかった。またあちこちで貯水槽を見かけたが、トップヘビーの構造であるにもかかわらず、ひび割れ一つ生じないで生き残っている例が散見され(写真 No.4-4) 地震動レベルがそれほど大きくないことを証明している。

No.5 観測点：Pacar 部落の小学校

Pacar 部落/Timbulharjo 村/Sewon 郡/Bantul 県

(No.1 観測点を越えて西にいった地点)

この小学校は校舎がほとんど全壊したようで、すでに敷地はきれいに片付けられてそこに仮設の教室とテントが敷設されていた(写真 No.5-1)。この部落は家具工場に隣接している部落で、その長い家具工場そのものが大きく損傷しており東西の街道筋に目立った存在となっていた。部落の建物の全壊率はかなり高いが、その中でセメントらしきものをリヤカーで運搬していた子供たちの明るい笑顔がせめてもの救いであった(写真 No.5-2)。この部落においても彩色を施した瀟洒な住宅は見かけほとんど無傷で生き残っており(写真 No.5-3) 高品質の住宅はかなりの耐力があるものと推察される。この部落ではモスクも大破に近い被害を受けている(写真 No.5-4)。

No.6 観測点：Kowen の小学校

Kowen 部落/Timbulharjo 村/Sewon 郡/Bantul 県

(No.5 観測点のさらに西)

ここまできると被害率はかなり低下してきており、印象としては 40%から 50%の全壊率ではないかと感じられる。小学校の校舎も 1 棟は生き残っていたが、1 棟は全壊であった(写真 No.6-1)。耐震性の低い門も歪んではいたが持ちこたえていた(写真 No.6-2)。

No.7 観測点：Melikan SMP2 (Melikan 第二中学)

Melikan/Bantal 市/Bantul 県

(No.6 観測点のさらに西、Bantal 市と Yogyakarta を結ぶメインの街道沿い)

この地点での全壊率はさらに下がり、おそらく 20%以下と推察される。中学校自体も小破～中破レベルの被害に留まっている(写真 No.7-1)。中学校の向かいには 2 階建て RC 造と思われる店舗建物があつたが外観には被害が見られなかった。Bantul 市への入り口を示すゲートも耐震性が高そうなものではないがひびわれがいくつか生じている程度で小破レベルの被害であった(写真 No.7-3)。近くの住宅もその被災度は高くない(写真 No.7-4)。

No.8 観測点：Imogiri 村の村役場

Imogiri 村/Imogiri 郡/Bantul 県

(Jetis から Imogiri に向かう街道が突き当たったところ。役場は無事)以下写真は詳報にて。

ここは UNOSAT の地図では被害地域にはなっていないところである。実際被害のレベルは低

く、そのすぐ北部の街道沿いの地域とは際立った違いがある。街道沿いの商店街の店舗兼住宅では天井の一部や壁の一部が壊れていたが、築60年ということで、そのような建物でも倒壊を免れたことは震動レベルが大きくなかったことを示唆している。

No.9 観測点：Tunggalan の小学校

Tunggalan 部落/Sriharjo 村/Imogiri 郡/Bantul 県

(Imogiri から街道を一旦西にとり、その後まっすぐ南に向かったところ。小学校は全壊と中破)

ここは UNOSAT の地図で甚大被害域(図1で赤の領域)に判定されている地域のはずれに位置し、厳密に見ると領域外のように思われるが、実際には部落の被害は酷く、全壊率70%程度の印象であった。

No.10 観測点：Manggung の小学校

Manggung 部落/Wkisari 村/Imogiri 郡/Bantul 県

(Imogiri の村役場から Jetis に向かう街道を半分弱戻った街道沿い。小学校は全壊)

この部落は被害の集中している Yogyakarta から Jetis を経由して Imogiri に向かう街道沿いの部落で、被害率は非常に高く印象としては80%以上という感じがした。しかしその中でも生き残っている建物は必ず存在しているのが印象的であった。この地区には小学校・中学校が並んで設置されており、そのうちの一つでは竹で作る架設住宅が軍によって製作されていたが、なぜか中断したままであった。

No.11 観測点：Pulokadang 中学校

Pulokadang 部落/Canden 村/Jetis 郡/Bantul 県

(Imogiri から西に向かう街道沿い、少し下がったところにある。小学校全壊)

この中学校は全壊であったが、一棟はほぼ骨組みが生き残り、もう一棟は壁だけが生き残っていた。

No.12 観測点：Bakulan 小学校

Bakulan 部落/Patalan 村/Jetis 郡/Bantul 県

(No.11 から西に向かう細い道の曲がり角。小学校は中破～大破)

小学校の校舎はまだ立っていたがかなりの被害である。村の被害としては全壊率50%程度の印象である。

No.13 観測点：Peni 小学校

Peni 部落/Palbang 村/Bantul 郡/Bantul 県

(西に向かう街道沿いの小学校。隣に SMP 3 第三中学校がある。小学校は小破)

ここまでくると被害は少ない。教室の壁にもほとんどひび割れは見られない。モスクも健在であった。この小学校の後ろに SMP 3 PENI 第三中学校があつて概観からは無被害に見えたが校

門がしまっており調査・微動計測ができなかった。

No.14 観測点：Pandak SMP1 第一中学校

Karangasem 部落/Gilangharjo 村/Pandak 郡/Buntal 県

(Yogyakarta と Buntal を結ぶメインの街道よりもさらに西、東西の街道沿いの中学校。小破)

この中学校は大きな中学校で、校舎も平屋と2階建てがコの字状に配置され、いずれも小破のレベルに留まっていた。ただし2階建て校舎の屋根被害は甚大であった。この2階建て校舎もRC造に見えるが確信は持てない。

No.15 観測点：Prambanan の寺院

(現在応急修復中で許可なしには立ち入れない)

ガジャマダ大学工学部応用地質工学科の先生の紹介で Prambanan の遺跡のメインの構造物である Siva の神殿の微動を計測した。遺跡の被害は外見上は思ったほどではなく、多数の石像やレリーフが塔から落ちて割れていたが、それぞれの塔そのものはほぼ原型を保っていた。管理の責任を負っている遺跡の所長によれば、修復時に接着剤を使っていたため、それが石をくっつけていたのはいいのだが、ねじれた石を元に戻そうとする際にその接着をはがさなくてはならないので大変手間がかかるとのことであった。

No.16 観測点：Gupolo の小学校

Gupolo/Cucukan 村/Prambanan 郡/Klaten 県

(空港から Prambanan に向かうメインの街道から離れて南に入ったところ。小学校は全壊)

No.17 観測点：Mlese の小学校

Mlese 部落/Mlese 村/Gantiwarno 郡/Klaten 県

(街道沿い。大きな体育館がある。校舎は崩壊していたが体育館は小破)

No.18 観測点：SMK Satyapraja 高校

Karangan 部落/Pasung 村/Wedi 郡/Klaten 県

(Klaten の中心から南に向かう街道沿い。校舎は中破)

No.19 観測点：Jabung Wetan の役場

Jabungwetan 部落/Jabung 村/Gantiwarno 郡/Klaten 県

(No.18 から西に戻った No.17 に近いところ。役場も大破)

No.20 観測点：Ngoreyan のモスク

Ngoreyan 部落/Ngangdong 村/Gantiwarno 郡/Klaten 県

(山際の部落の一番南側。モスクは小破、隣の役場は全壊)



写真 No.1-1 MAN Wonokromo 高校の主校舎を中庭から見た全景



写真 No.1-2 二階廊下の垂れ下がった天井とひび割れた梁



写真 No.1-3 二階の屋根と天井の被害



写真 No.1-4 隣接する別の教室棟



写真 No.2-1 完全に倒壊した小学校校舎の瓦礫と健全に生き残ったモスク



写真 No.2-2 壁だけが残った別の校舎、RCの梁が見える



写真 No.2-3 生き残った古いモスクの内部、RC のしっかりした梁が見える



写真 No.2-4 ほぼ健全に生き残った外壁がプラスターにペイント仕上げされている住宅



写真 No.3-1 全壊していた小学校の敷地内のモスクの残骸



写真 No.3-2 全壊した小学校の隣で生き残っていた2階建て店舗住宅



写真 No.4-1 全壊した築半年の小学校の教室



写真 No.4-2 同じ小学校。梁が鉄筋でくっついているように見えるが端部には見えない



写真 No.4-3 墓地の様子



写真 No.4-4 貯水槽の例



写真 No.5-1 片付けられた小学校の校舎の瓦礫と仮設の教室



写真 No.5-2 瓦礫の中で働く子供たち



写真 No.5-3 被害の酷い部落の中で無傷で生き残っている住宅



写真 No.5-4 中破～大破の被害を受けたモスク



写真 No.6-1 壁だけを残して崩壊した小学校の校舎



写真 No.6-2 かろうじて持ちこたえた小学校の門



写真 No.7-1 街道沿いの中学校の校舎、小破程度の被害



写真 No.7-2 中学校の前に立つ街道沿いの商店



写真 No.7-3 Bantul 市への入り口を示すゲート、軽微な被害



写真 No.7-4 観測点近くの住宅の被害、小破～中破

3. 観測点での微動の分析結果 (Pleret 測線)

今回の微動計測では、工藤式 SMAR-6A 3 P (アカシ製) を用いてアンプ倍率 500 倍、サンプリング周波数 100Hz、周波数フィルター 50Hz で 3 成分同時計測を実施した。地表面計測時は 1 点のみとし、その水平 / 上下スペクトル比を求める。建物計測時は建物 1 階と最上階の同じ柱 (通常は階段室) に上下に配置して両者の間のスペクトル比を求める。計測は 15 分間とし、解析は 40.96 秒の波形を 50% オーバーラップさせ 6 区間のアンサンプル平均を複数求めた。その解析には平滑化のため 0.25Hz の Parzen Window を用いている。

図 4 には No.3 地点 KEDUN (最も東側) の H/V スペクトル比を示す。この図から No.3 地点での表層はかなり薄いことが推察できる。この図ではピーク振動数が 6Hz となっているが、時間区間によっては 4Hz の場合もあり、変動幅が大きい。仮に表層 S 波速度を 250m/sec としたとき 1/4 波長則から得られる表層厚さは 10m から 15m となる。しかしピークレベルが小さいことからこの地点では明瞭な層構造がなく、S 波速度が漸増する構造をしている可能性が高い。

図 5 には同じく No.4 地点 TEGAL の H/V スペクトル比を示す。ここではピーク振動数は 2.5Hz に低下し、ピークレベルは 10 倍近く、区間によっては 10 倍を越えており、明瞭な速度コントラストがある層の存在を示唆している。表層 S 波速度を 200m/sec と仮定すればその層厚は 20m、その下の基盤速度は 1,000m/sec 程度が推察される。

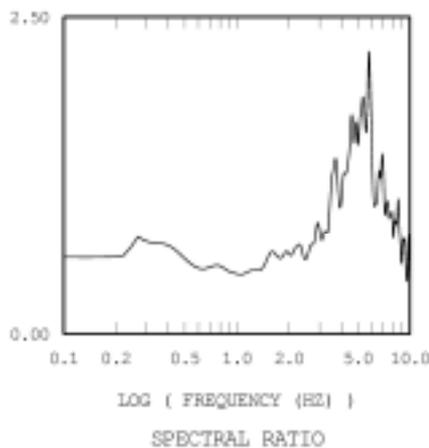


図 4 No.3 地点 KEDUN での H/V
スペクトル比

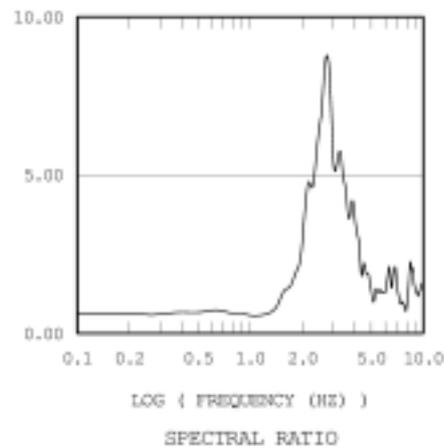


図 5 No.4 地点 TEGAL での H/V
スペクトル比

さらに西に向かった No.2 地点 KAUM における H/V スペクトル比を図 6 に、No.1 地点 WONO における H/V スペクトル比を図 7 に示す。KAUM でのピーク振動数は 1.5Hz で、Pleret 測線の観測点の中では最も低い。これは KAUM 地点で表層厚が最も厚いことを示唆するが、そのピークレベルは 2 倍程度で、速度コントラストが明瞭とはいえないようである。一方 WONO 地点におけるピーク振動数は 3.0Hz でピークレベルは約 3 倍となっている。西に向かうことにより逆に層厚が薄くなっていることが示唆される。S 波速度が 200m/sec で 1.5Hz なら層厚は 33m、3.0Hz なら 17m となる。インピーダンスコントラストが小さいことから 300m/sec の平均 S 波速度を仮

定すれば層厚はそれぞれ 50m と 25m となる。

さらに西に向かって、No.5 地点 PACAR と No.6 地点 KOWEN、そして最も西に位置する No.7 地点の MELIK の H/V スペクトル比を図 8～図 10 に示す。 図から No.5 地点 PACAR と No.6

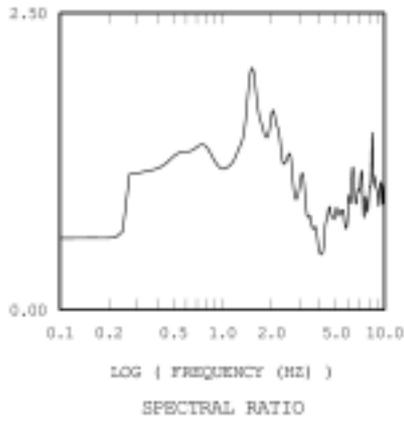


図 6 No.2 地点 KAUM での H/V スペクトル比

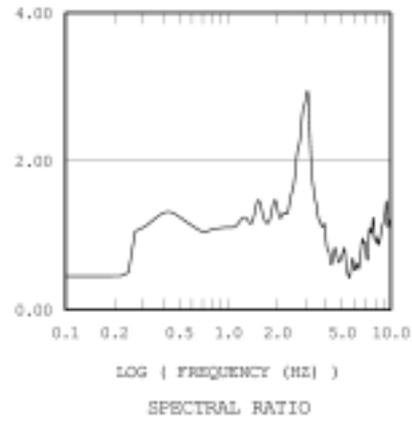


図 7 No.1 地点 WONO での H/V スペクトル比

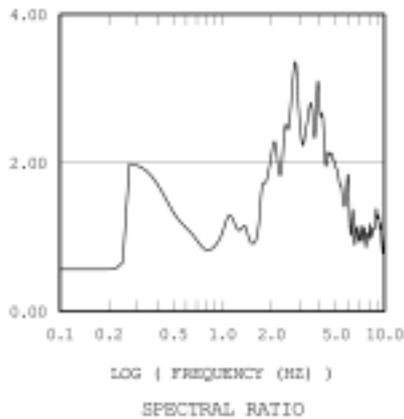


図 8 No.5 地点 PACAR での H/V スペクトル比

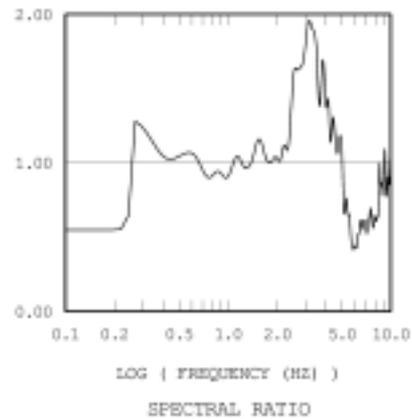


図 9 No.6 地点 KOWEN での H/V スペクトル比

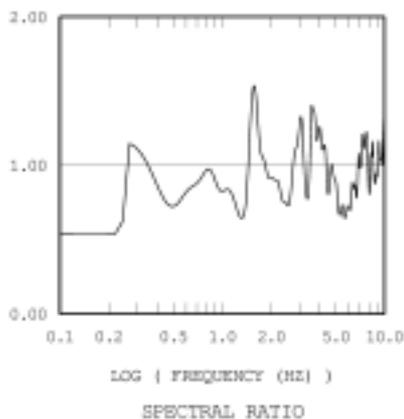


図 10 No.7 地点 MELIK での H/V スペクトル比

地点 KOWEN での卓越振動数は 2.5Hz～3Hz、ピークレベルも 4 倍あるいは 2 倍と、No.1 地点 WONO と大きな差は見られない (KOWEN でのピークレベルが低いことは指摘しておきたい)。しかし、No.7 地点 MELIK では明瞭なピークが見られず、振幅 1 前後で推移しており、インピーダンスコントラストの大きい層が存在しない岩盤サイトのような特性を示している。地質学的には沖積層に覆われているとされているこの地点でこのような特性になるためには、表層といえどもかなり速度が速く、しかもその速度が深くなるにつれて漸増する構造をしているものと推察される。

このような H/V スペクトル比の卓越振動数とそのピークレベルの変化は、ここでは省略したが Imogiri 測線においても同様に見られており、被害の集中している地域では卓越振動数が 1.5Hz から 3Hz に分布するのに対して、西側の地域では漸次振動数が増加し、ピークレベルが低下する傾向を示した。以上のことから、震源域、特にアスペリティが存在していたと推察される Imogiri から Pleret にかけての地域の中で被害の様相が場所によって大きくことなることに対して、地盤構造の影響があったことは間違いないと考えられる。

4. 調査によってわかったいくつかの知見

地震動のレベル

入力地震動の素のレベル (硬質地盤上のレベル) としては Pleret の東側の山中の部落での被害の程度から震度 (ただし計測震度の意味、すなわち地動加速度の対数レベルであって、建物などの被災度を考慮しない値) で 5 強、200 Gal 程度ではなかったかと推測される。それに対して、より軟弱な平野部東端部では地盤の増幅が加わって震度 6 弱、300 Gal～350 Gal 程度の地震動レベルではなかったかと推測される。ただしこの見積りは暫定的なものであって構造物の平均的な強度の評価を待って再検討すべきものである。

地震動のレベルの地域的変動の原因

Imogiri 北部から Pleret にかけて被害が大きい原因はアスペリティの位置によるものと推察される。それは上記の Pleret の東側の山中の部落での被害の程度が酷いので (そしてそこでは地盤による増幅は小さいと思われるので) 震源起因と考えざるを得ないからである。その周辺において被害の程度が場所によって大きく変動する理由は地盤構造によるものと考えられる。実際 Imogiri の役場付近とその北部 (No.10 観測点付近) では H/V 比で見た地盤の卓越振動数に大きな違いがあることが明らかとなっている。表層地盤は断層近傍で一番厚く、西に行くと浅くなるハーフグラベン状となっているものと推察される。

構造物から見た被害の原因

土木学会・建築学会合同調査団の報告にある通り、無補強の煉瓦造は一度限界耐力に達すると瞬時に崩壊しているものと考えられ、それが多数の死者に直結しているものと推察される。その点で彼らが「RC フレーム拘束煉瓦造の方が耐震的であり、推奨される」としているのも妥当なのではあるが、実際には被災度の高い地区では拘束煉瓦造の建物も多くが倒壊しており、単に RC フレームを入れただけでは決して限界耐力は有意には向上しないことが指摘される。これは RC フレーム自体の強度の問題もさることながら、基本的に RC フレームで拘束してお

くためには煉瓦壁が壁体として一体でなければならず、それが面外振動によって崩れ落ちていては自立できるほどの RC フレーム（それは最早 RC 造であるが）でなければ意味をなさないからである。従って品質管理されていない煉瓦壁に品質管理されていない RC フレームを付けたところで現地の建物ストック全体の（確率論的）安全性は向上しない。

彼らが指摘していない重要な要因は材料強度である。被害率が100%近い中で生き残っている建物は、表面にプラスターが塗られ、さらに彩色されている建物が多い。これはお金をかけて建てられているものは生き残ったということである。すなわち施工品質、特にモルタルの強度が生死を決定している可能性が高い。材料の調査に期待したい。

その他

ほとんどの場合、平らな煉瓦を平積みをしている影響も大きいと思われる。その結果、煉瓦壁は煉瓦の強度で耐力が決まっているというよりもモルタルの強度で決まっているのではないかと推察される。上記の記述が今回の被災地においてより重要となっている一つの理由である。

5 . 今後の検討

今後は地表面の微動結果から地盤の増幅特性を概略推定するとともに、それと過去の地震の経験的強震動レベルから震源域の地震動レベルを推定する。また、建物の微動計測結果から、建物の共振振動数を把握してその平均的特性を国際比較するとともに、日本の RC 構造物を対象に作られた被害予測モデルをテンプレートに、そのパラメーターを調整し、非線形時刻歴応答解析を実施して、震源域の強震動の推定レベルを求め、上記の経験的に求められたレベルを比較したい。

謝辞：

本速報に必要な素材を収集するに当り、同行していただいた九州大学大学院工学研究院渡邊公一郎教授・山口大学工学部村上ひとみ助教授には大変お世話になった。また現地ではガジャマダ大学工学部建築学科の Diananta Pramitasari 講師をはじめとする建築学科のファカルティの方々、および彼女の4名の学部学生（Dewi, Latri, Putri, Deta）に大変お世話になった。ここに記して深く感謝の意を表したい。