

インドネシア地震 (1992年12月12日)

国際緊急援助隊

専門家チーム

報告書

平成5年3月

国際協力事業団
国際緊急援助隊事務局

J R
国 緊
92-04

インドネシア地震 (1992年12月12日) 国際緊急援助隊専門家チーム 報告書

平成5年3月

108
553
JJC

15.3

JICA LIBRARY



1114341(9)

インドネシア地震 (1992年12月12日)

国際緊急援助隊

専門家チーム

報告書

平成5年3月

国際協力事業団
国際緊急援助隊事務局



序 文

日本国政府は、平成4年12月14日、インドネシア共和国政府からの要請に基づき、同年12月12日に同国フローレス島中部マウメレ市沖合36kmを震源とする地震により発生した地震・津波災害に対し、緊急援助を行うことを決定しました。

これを受けて国際協力事業団は、平成4年12月20日から12月30日まで、東京大学地震研究所 阿部 勝征教授を団長とする国際緊急援助隊（専門家チーム）を同国に派遣しました。同援助隊は今回の地震に対し、我が国の経験に基づく周辺部の被災地における応急対策・災害復旧に関する技術的助言及び防災対策に関する提言等を行い、帰国後、活動結果を本報告書に取り纏めました。

本報告書がインドネシア共和国の今後の本格的災害復旧・復興計画策定に貢献し、両国の友好・親善の一層の発展に寄与することを期待致します。

終わりに、今回の緊急援助活動にご協力とご支援をいただいた関係者の皆様に対し、心から感謝の意を表します。

平成5年3月

国 際 協 力 事 業 団

理 事 西 野 世 界

目次

序文

I. はじめに	1
II. 援助隊構成と行動日程	3
1. メンバー	3
2. 行動日程	5
III. 調査報告と提言	7
1. 本震と余震	7
1.1 フローレス島の概要：被災場所	7
1.2 インドネシアにおける地震活動と地震災害	7
1.3 フローレス島近辺で発生した1992年12月12日地震	8
1.4 余震活動	8
1.5 提言	9
2. 被害概況	15
2.1 概要	15
2.2 シツカ摂政管区における被害状況	19
2.3 エンデ摂政管区における被害状況	19
3. 津波の挙動とその被害	23
3.1 まえがき	23
3.2 津波到達高さの調査	23
3.3 津波による被害	23
3.4 津波対策	28
3.5 提言	29
3.6 結語	29
4. 建物被害	32
4.1 エンデ市における被害	32
4.2 マウメレ市における被害	32
4.3 被害分析	36
4.4 地震関連規制	36
4.5 提言	38
5. ライフライン施設に対する被害	51
5.1 まえがき	51
5.2 道路と橋梁の被害	51

5.3	空港における被害	55
5.4	港湾における被害	55
5.5	河川施設が受けた被害	55
5.6	公益事業施設の被害	55
5.7	地震動	55
5.8	地盤の液状化	56
5.9	提言	59
6.	斜面崩壊(地すべり・斜面崩壊)と地盤の液状化	69
6.1	地理的環境	69
6.1.1	フローレス島	69
6.1.2	地形及び地質	69
6.2	地盤の液状化現象	73
6.2.1	地盤の液状化現象	73
6.2.2	調査区域における液状化現象の概要	73
6.2.3	マウメレ港における地盤の水平移動	75
6.2.4	マウメレ市における液状化による家屋の損壊	75
6.2.5	沿岸地域とウリンにおける地盤の液状化	75
6.2.6	バビ島における地盤の液状化	76
6.2.7	地盤の液状化現象の特性	76
6.3	地すべり・斜面崩壊	76
6.3.1	概要	76
6.3.2	マウメレから東の海岸沿いのルートにおける道路側面の斜面の崩壊	77
6.3.3	マウメレからエンデにいたる山岳地帯における地すべり・斜面崩壊	77
6.3.4	地すべり・斜面崩壊と道路側面の斜面の崩壊	78
6.3.5	地すべり・斜面崩壊の特徴	81
6.4	地形変化	83
6.5	全体的な説明	83
6.6	提言事項	83
7.	災害に対する非常時対策	96
7.1	緊急活動の概要	96
7.2	復旧工事と再建	99
7.3	今後の災害対応策	99
7.4	提言事項	100
IV.	提言事項のまとめ	105

付属資料

I. はじめに

1. はじめに

1992年12月12日午後1:29分(現地時間)インドネシア共和国、フローレス島マウメレ市北北西およそ40kmを震源とする地震が発生した。表面波マグニチュードは7.5(Ms)であった。余震のデータから、震源の破壊域はフローレス島の東に向かって約100kmほど延びていると推定される。インドネシア国は同地震による強烈な地盤の揺れと津波によって大きな被害を被った。

今次地震がもたらした甚大な被害に鑑み、日本国政府は国際協力事業団(JICA)を通じて50万米ドル相当の緊急援助物資を供与することを決定した。

また地震の被害に最も悩まされている国のひとつである日本は、この分野では世界で最高度の専門知識を持っているので、インドネシア政府は、主として緊急対策を専門とする専門家チームを派遣することを日本に要請した。

インドネシアからの要請に応じて日本政府は「国際緊急援助隊の派遣に関する法律(昭和62年9月16日公布)」に基づき、建設省、国土庁、文部省及びその他の関係省庁の協力をもとに直ちに専門家の選定を開始し、12月20～30日の期間、JICAから国際緊急援助隊(専門家チーム)を派遣することを決定した。今回のチームは地震学、建築学、土木及び震災応急対策の分野における8人の専門家により構成されている。チームは短期滞在ながらインドネシア国の関係者から情報を集め、フローレス島で現地調査を行い、被災地域で救助活動を指揮している人たちとの会合を開き、英文の中間報告書を作成した。中間報告書では、今回の地震、被災状況及び被害の応急復旧対策について説明するとともに23項目にわたる提言事項が記載されている。この中間報告は専門家チームが日本に帰る直前の12月28日にジャカルタの「社会福祉省」大臣に手交された。

本報告書には、前記中間報告書及び滞在中に行った調査の結果の一部に関しその後日本で実施した研究分析の結果に基づく提言を記した。限られたデータを基に短期間の間にまとめたもので、今後の資料の蓄積によっては修正追加を要する箇所もあり得ることをご了承頂きたい。

現地での活動を円滑に行うにあたり、BAKORNASPB及びインドネシア政府の関係諸機関から多大な便宜を図っていただいた。また、専門家チームの活動に対してフローレス島当局から惜しみない支援を得た。調査を行う上で、これら関係諸機関や組織の協力は非常に重要であった。

また、今回の緊急援助隊の専門家チームの活動に関して、在ジャカルタ日本大使館、在ジャカルタJICA事務所はもとより、JICA長期専門家1名とそのC/Pからも有益な協力があつた。

この報告書は専門家チームとこれらの方々との共同活動によって初めて可能となったとも言えるものであり、専門家チームに寄せられた関係各機関からの協力に対して、ここに記して謝意を表する次第である。

本報告書は地震一般に関する我々自身の経験にもとづく被災度評価方法の適用や被災建造物の緊急修復、更に今後の復旧方法についての提案を述べたものである。インドネシアにおける災害復旧活動にとって本報告書が役立ち、一日も早い復興ができることを切に願う次第である。

1993年3月
国際緊急援助隊(専門家チーム)
団長 阿部 勝征

II. 援助隊構成と行動日程

II. 援助隊構成と行動日程

1. メンバー



写真1. 国際緊急援助隊のメンバーとマウメレにおける協力者

前列(左から右へ): 川島一彦、宇多高明、阿部勝征(団長)、中田慎介

後列(左から右へ): 丸山英朗、真野勝友(JICA派遣専門家)、赤桐毅一、
浜田和郎、藤井友竝、E.T.Putranto(協力者)

インドネシア地震国際緊急援助隊(専門家チーム)メンバー・リスト

	氏名	所属先・役職	指導科目
団長	阿部 勝征	東京大学地震研究所教授	総括
団員	浜田 和郎	科学技術庁防災科学技術研究所 地圏地球科学技術研究部長	地震研究(津波を含む)
	藤井 友竝	国土庁防災局震災対策課長	震災対策・土木
	中田 慎介	建設省建築研究所 建築試験室長	耐震構造
	川島 一彦	建設省土木研究所 地震防災部 耐震研究室長	地震・橋梁
	宇多 高明	建設省土木研究所 河川部 海岸研究室長	海岸
	赤桐 毅一	建設省国土地理院 地理第二課長	地盤・地すべり
	丸山 英朗	国際協力事業団秘書室	業務調整(総合)

2. 行動日程

日付	時間(現地時間)	行動内容
12月20日(日)	13:00~18:40 20:00~22:00	東京→ジャカルタ 日本大使館及びJICAと打ち合わせ
12月21日(月)	08:30~09:35 10:00~12:00 13:00~15:00 15:30~16:30 17:00~18:00 18:30~20:30	公共事業省(カルトモ長官) 鉱山エネルギー省 (長官:アジャット・スドラジャット博士) 社会福祉省 (災害局長:H.R.ジャズスマン) 日本大使館 日本の報道関係者に対する記者会見 インドネシア駐在大使 JICAとの打ち合せ
12月22日(火)	04:30 10:08~14:50 16:20~16:45 16:45~17:05 17:05~17:30	プレジデントホテル→空港 ジャカルタ→マウメレ マウメレ→バビ島 調査(バビ島) バビ島→マウメレ
12月23日(水)	07:10~07:30 07:30~12:00 14:50~15:15 16:00~18:00	マウメレ→エンデ 調査(エンデ) エンデ→マウメレ 調査(マウメレ内外で)
12月24日(木)	09:00~11:00 11:00~18:00	シッカ県庁 調査(マウメレ内外で)
12月25日(金)	09:00~17:00 17:00~19:00	調査(マウメレ内外で) シッカ県庁
12月26日(土)	14:15~20:00 20:45~23:00 23:00~	マウメレ→ジャカルタ 日本大使館及びJICAとの会議 報告書作成
12月27日(日)	06:00~	報告書作成
12月28日(月)	09:00~09:30 10:00~10:30 11:00~15:00 16:00~17:30 18:00~20:00	日本大使 調整大臣に報告書を提出 インドネシアの関係省庁担当者との会議 日本の報道関係者に対する記者会見 日本大使との打ち合わせ
12月29日(火) 12月30日(水)	22:00~07:00	公共事業省大臣と会見 ジャカルタ→東京

III. 調査報告と提言

Ⅲ. 調査報告と提言

1. 本震と余震

1.1 フローレス島の概要:被災場所

フローレス島はインドネシア列島弧に属する幅の狭い(12~70km)、東西に長く伸びる(360km)島である。人口はおよそ140万である。フローレス島には印象的な火山や美しい湖、及び森林が存在する。同島はインドネシアにおいて訪れる価値のある最も美しい場所の1つに数えられている。

現代のプレート・テクトニクスの学説によれば、フローレス島はアジアプレートとインド-オーストラリアプレートの境界に沿ってアジアプレート上にあり、この境界部分においてインド-オーストラリアプレートはほぼ北方に向かってアジアプレートの下にもぐり込んでいる(図1.1)。

このように現在、プレートの沈降が起こっているためフローレス島は地質学的に若く、活動的である。同島の地表は主に第四紀と第三紀の火山岩から成り、若い第四紀の火山噴出物で覆われた火山が幾つか存在する。

1.2 インドネシアにおける地震活動と地震災害

インドネシアの主たる列島弧は、地球上でも活発な地震帯の上に位置している。この活発な地震活動はインド-オーストラリアプレートがアジアプレートの下に沈降しつつあることに起因する。

図1.2は、1900年以降、 10°N – 20°S 、 90° – 130°E の区域の中でインドネシアに被害をもたらしたマグニチュード7又はそれよりも大きな地震の発生場所を示している。

表1.1は1900年以降、インドネシアの内外で発生した $M \geq 7$ の地震のうち災害をもたらしたものを幾つか選んで示したものである。

1900年から1990年までの90年間の、地震による死者の総数は983である(津波が発生した地震と発生しなかった地震とがある)。983人の死者のうち790(80パーセント)は津波による。100人以上の死者を出した悲惨な地震のすべてが津波を伴っていた。1992年12月12日、フローレス島の北側沿岸の沖合で地震が起こって津波を引き起こした。1992年12月26日現在で確認された死者の総数は2080に達した。この地震による死者の数は1900年以降、最大であった。

インドネシア国民にとって地震とそれに伴う津波がきわめて大きな被害をもたらすことを知る必要がある。

1.3 フローレス島近辺で発生した 1992年12月12日地震

この地震は1992年12月12日、フローレス島の北側沿岸の沖合で発生した。そこでは1900年以來、マグニチュード7を超える地震が起こったことはなかった。計算の結果、震源パラメータが次のように求められた：

	BGM(改訂)	USGS	ハーバードC.M.T.
発生時刻	5:29:28.0(UT)	5:29:27.1(UT)	5:29:56.9(UT)
位置	8.63° S 121.90° E	8.48° S 121.93° E	8.34° S 122.37° E
深さ	44km	36km	15km
マグニチュード	Mb=6.8±0.4	Ms=7.5	Mw=7.8
発震機構		P軸：351° プレンジ：15°	MO=6.4×10 ²⁷ STRIKE; DIP; SLIP NP1:=61 ;=32 ;=64 NP2:=272 ;=61 ;=106 (最適ダブルカップ)

BGM： インドネシア通信省、気象地質庁

USGS： 米国地質調査所

ハーバードC.M.T.： ハーバード大学、セントロイド、モーメントテンソル解

図1.3にUSGSで記録した本震の震央と一部の余震の震央を示す。この震央の分布状態は最初の破断が震源域西端で始まったことと、その破壊が東北東の方向に100kmにわたって伝播したことを示している。この地震は低角逆断層と見られ、またインド-オーストラリアプレートの沈降によるのではなく、弧の背後に作用するスラストによって引き起こされたと考えられた。この背弧スラストは地質研究開発センターが1992年に発行したインドネシアの地震テクトニクス地図に示されている(図1.4)。

1.4 余震活動

余震活動は、フローレス島のマウメレ市に一時的に設けた可搬式のステーションによってモニターされている。同市はこの地震で大きな被害をこうむったと報じられた場所である。おそらくマウメレ市は震源域に最も近い都市である。観測ステーションは鉱山エネルギー省の地質研究開発センターが管轄、運用している。このステーション(複数)において計測された余震の回数は下記の表に示すように、12月22日現在で減少傾向をたどっている。また、時間の経過とともに余震の規模も小さくなっている。

日付	頻度	最大マグニチュード
1992年12月13日	34回	6.0
14日	28	5.5
15日	18	4.9
16日	11	4.0
17日	18	5.7
18日	9	3.0
19日	7	4.5
20日	6	4.6
21日	4	4.5
22日	4	4.5

余震の回数と規模の低下は現在の地震活動が終わりに近づいていることを示している。余震活動の空間的な分布に関する情報はきわめて重要であるが、しかし、観測体制が不十分なために余震の空間的分布はまだ明確には決定されていない。

1.5 提言

本震と余震の位置に関する地震活動関連の情報は、現在のところ不十分である。

震源位置を確定するには観測ステーションをもっと密なネットワークとして設置する必要がある。そして各観測ステーションには、迅速なデータ処理のためにテレメトリーシステムを備えた3成分の地震計を設けるべきである。また、地震の機構を解明するために広帯域地震ステーションも重要である。

強烈な地面の強震動と建物の応答とを評価するため、強震加速度計を地上と建物に設置するべきである。

表 1.1 インドネシア国民に大きな被害を与えた、M=7又はそれ以上の地震の一部

年月日	時分	緯度	経度	Long	M	死者数	津波	摘要
1907	625	754U	2.0	96.3	7.8		有	インドネシア(スマトラ): グナング・シトリ(ニアス)
1909	6.03	1841U	-2.5	101.5	7.5	200	有	インドネシア(スマトラ): コリンジ・ジャンビ(Ms=7.3)
1913	3.14	845U	4.5	26.5	8.3	少数		インドネシア: サンギエ島
1914	6.25	1906U	-4.0	102.5	8.1	多数		インドネシア(スマトラ): ベンクレン、Ms=7.6
1921	9.11	401U	-11.0	111.0	7.5		有	インドネシア(ジャワ)Ms=7.5
1931	2.10	634U	-5.3	102.5	7.1	18		インドネシア(スマトラ)
1932	5.14	1311U	0.5	126.0	8.3	5		インドネシア: モルッカ海峡Ms=8.0
1933	6.24	2154U	-5.5	104.7	7.5	76		インドネシア(スマトラ南東): リワ Ms=7.5
1936	8.23		5.0	95.0	7.3	91		インドネシア(スマトラ北西)
1938	5.19	1708U	-1.0	120.0	7.9	8	有	インドネシア(セレベス): ドンガラ、マンバラ、Ms=7.6
1950	10.08	323U	-3.7	128.2	7.6		有	インドネシア: セーラム島、Ms=7.4
1950	11.02	1527U	-6.5	129.5	8.1		有	インドネシア: バンダ海 _m B=7.4
1963	11.04	117U	-6.8	129.6	8.2		有	インドネシア: バンダ海 _m B=7.8
1964	4.02	111U	5.8	95.6	7.0	110	有	インドネシア(スマトラ)
1965	1.24	11U	-2.4	126.0	7.5	71	有	インドネシア: セーラム海、サナナ(スル)、Ms=7.5
1968	8.10	207U	1.4	126.2	7.6		有	インドネシア: モルッカ海峡 Ms=7.5
1968	8.14	2214U	0.1	119.7	7.4	392	有	インドネシア(セレベス)
1977	8.19	608U	-11.1	118.5	8.0	189	有	インドネシア(スンバワ島 Eq.) Ms=8.1
1990	4.18	1339U	1.1	122.8	7.4	3		インドネシア(セレベス): ボラン-ゴロンタラ

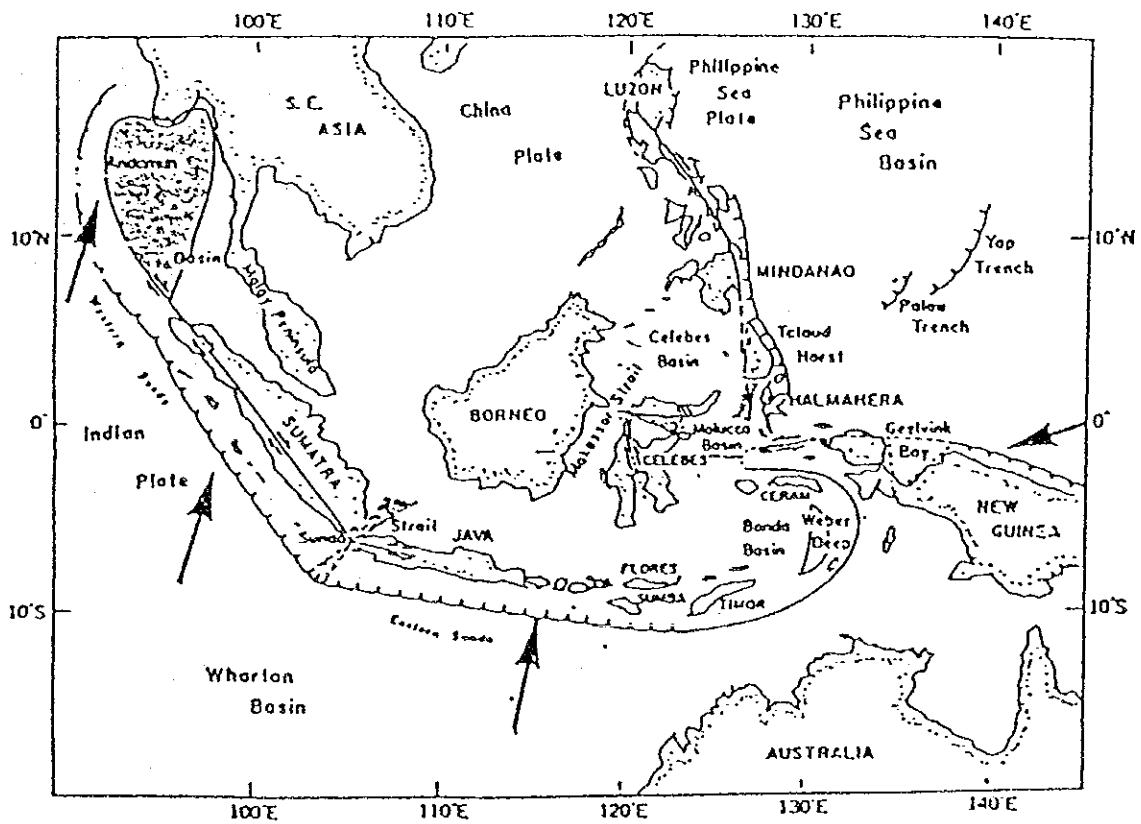


図 1.1 インドネシア島弧のテクトニクス
 矢印はプレートの動きの方向を示す。

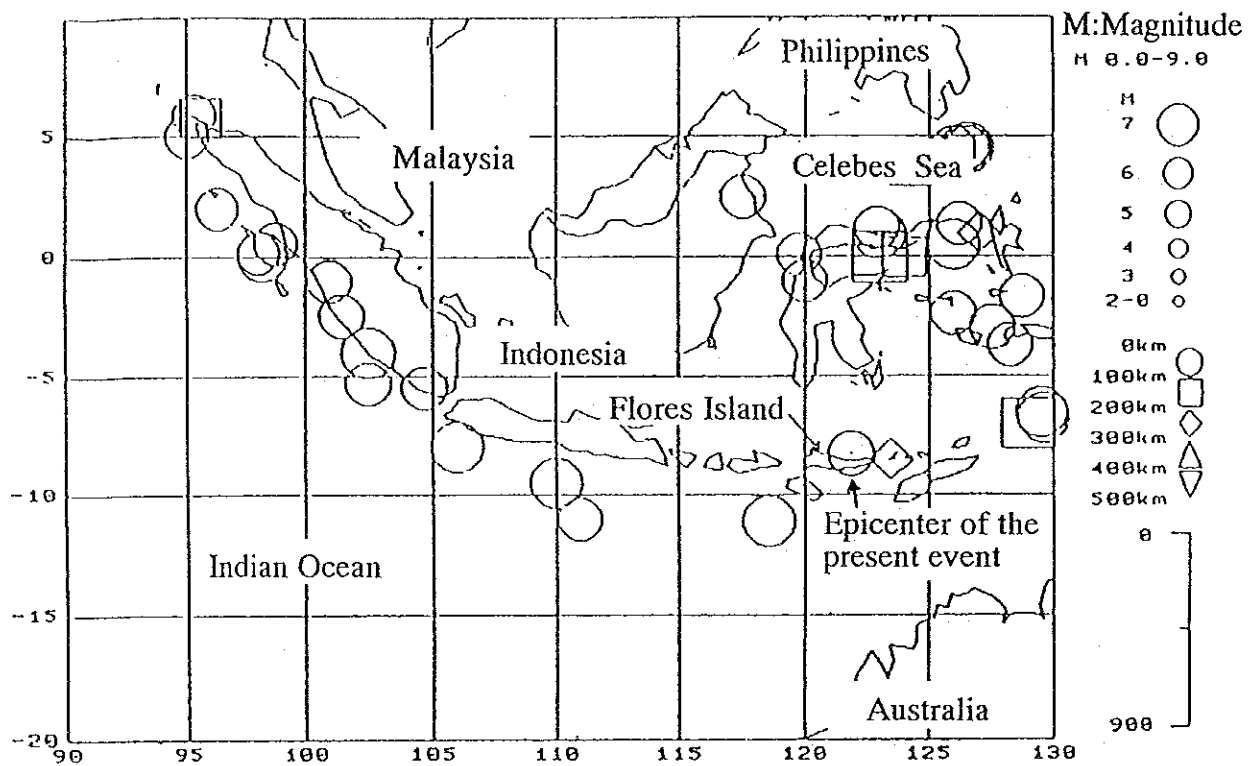


図 1.2 M=7 またはそれ以上の被害地震 (一部)

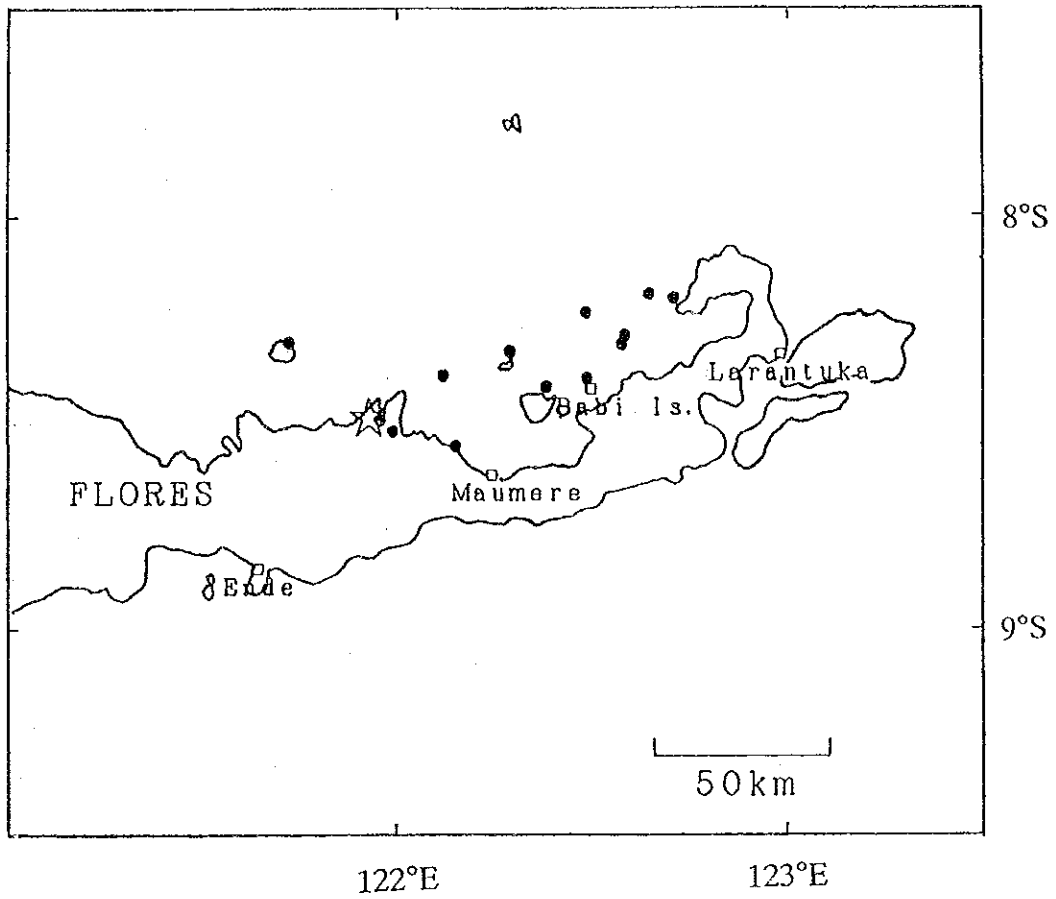


図 1.3 USGS が記録した本震の震央 (☆) と幾つかの余震の震央 (●)

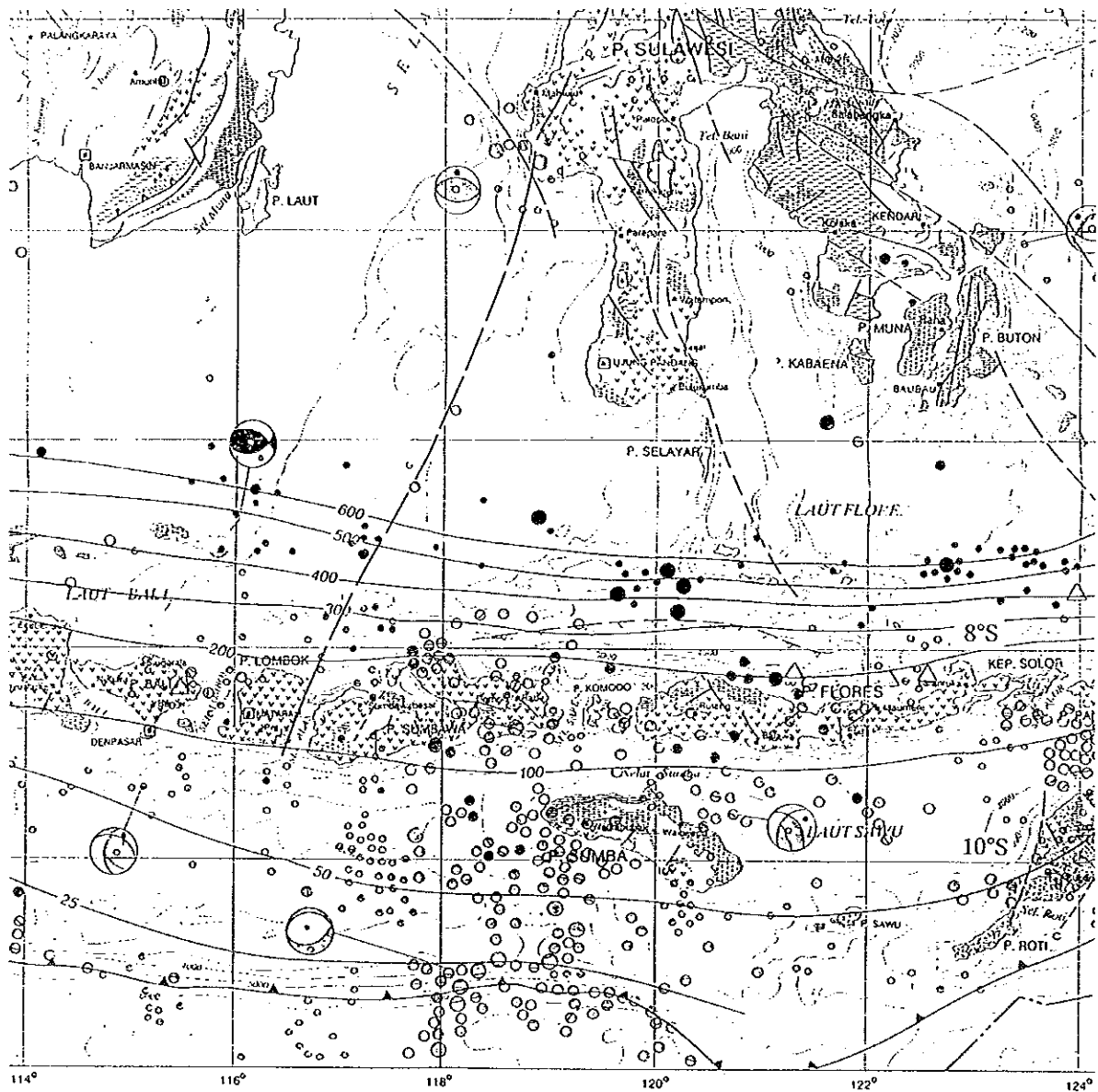


図1.4 地震テクトニクス地図。地質研究開発センサーが1992年に発行したもの。

円は過去10年間にインドネシアで起こったM5以上の地震の震央を示す。等深線はワグチ・ベニオフ帯の深さを示す(単位: km)。

▽▽▽記号はスラスト断層を示す。この断層はフローレス島の北岸の沖合にある(118~122° E, 8° S)。

2. 被害概況

2.1 概要

フローレス島の東部では被害が広範囲にわたっている。とくに被害が大きかったのは震央に最も近い、シッカとエンデ摂政管区である。ヌガデとフローレス・チムール摂政管区でもいくらか被害が認められた。

今回の地震によるこれらの被害は大まかに次の4つに区分することができる：

1. 地震の揺れによる被害
2. 津波による被害
3. 液状化による被害
4. 地すべりによる被害

しかし、被害は複合要因によって生ずることが多いことから明確に上記の各区分に分けることはむずかしい。

典型的な被害形態は次の通りである：

- (1) 地震の揺れによる被害は政府の部局の建物や教会、イスラム教寺院、学校施設、住民の住宅など非常に多くの建物で認められた。
揺れによって被害をこうむった建物の数は 30,000 棟を超える。その少なくとも半数は完全に倒壊、又は部分的に倒壊した建物である。地震による建物被害の大半は煉瓦造り又は石造建築に見られる。さらに、完全に、または部分的に倒壊した建物、あるいは甚大な被害を受けた建物はマウメレ市やエンデの都市部だけでなく、シッカやエンデ摂政管区の広い地域にも見られる。
- (2) フローレス島の北側の長大な沿岸やフローレス海に浮かぶ島々の沿岸は津波による被害をこうむった。津波による被害はフローレス島の北側沿岸に沿って少なくとも 100km に及んだ。マウメレ摂政管区のウーリング地区とバビ島、及びフローレス・チムール摂政管区の東部における被害の程度は他の場所における被害よりもはるかに深刻であった。津波による死者の数はそれぞれ 87人、約 750人、約 200人である。総合計では 1000人以上が津波によって命を失い、死者の総数のうち津波の犠牲者が半数近くに達した。
- (3) 地盤の液状化現象はシッカまたはエンデ摂政管区の北部沿岸の広い範囲で起こった。液状化現象の多くは無人数帯で発生したが、マウメレ市の海岸に近い場所では建物が液状化によって大きな被害を受けた。その近辺では傾斜した建物や道路の亀裂が認められる。
- (4) マウメレとエンデを結ぶ主要道路(単数)は山岳地帯を走っている。この道路のおよそ20ヶ所で地すべりが発生した。この結果、道路交通が寸断され、マウメレとエンデの交通が不可能になっている。その結果、マウメレからエンデへの輸送能力が著しく減少したと言われている。
- (5) マウメレ空港 {ワイオチ空港(滑走路長さが1470m)} 及びエンデ空港(滑走路長さが900m)の滑走路には被

害がなかった。したがってマウメレ、エンデ両空港は現在も使用可能である。しかし各管制塔は大きな被害を受けた。両方の管制塔とも今なお使用不能である。

- (6) マウメレ港の棧橋は従来通りに使用可能である。ただし護岸構造の一部が地震の揺れ又は津波の打撃を受けて軽度の被害をこうむった。
- (7) マウメレ(ワイオチ)空港にある陸軍本部が発表した被害情報を図2.1と表2.1に示す。
- (8) 本報告書の中の図と文章中で使われている数字は公式に認められた数字ではない。したがって被害の状況や程度を表す幾つかの数字が相互に矛盾することがある。

表 2-1 全般的被害

1992年12月26日

行政区	人口 (1995 現在)	面積 (km ²)	人的被害				建物の被害				
			死者 (人)	負傷者		行方不明者 (人)	事務所建築 (棟)	教会、モスク (棟)	住宅 (棟)	学校 (棟)	その他 (棟)
				重傷 (人)	軽傷 (人)						
シッカ	296,091	1,781.9	1,457	252	1,256	8	56	47	10,200	324	4
エンヂ	212,343	2,046.6	229	106	227	-	314	183	13,804	281	154
ヌカタ	188,353	3,037.9	18	2	4	-	67	45	1,194	100	68
フローレス・ナムール	267,295	3,079.2	376	15	241	61	26	22	2,920	80	50
合計	904,088	9,895.6	2,080	375	1,728	69	493	307	28,118	785	276

注記 1. フローレス・ナムールにおける死者数には津波による死者約 200 を含む。

2. 建物被害のうち住宅には部分的な損害を受けたものを含む。

出典：マウメレ、WALTI 空港による非常時活動陸軍本部

(数字は検討に供するため、1992年12月23日に大統領府にて提出された)

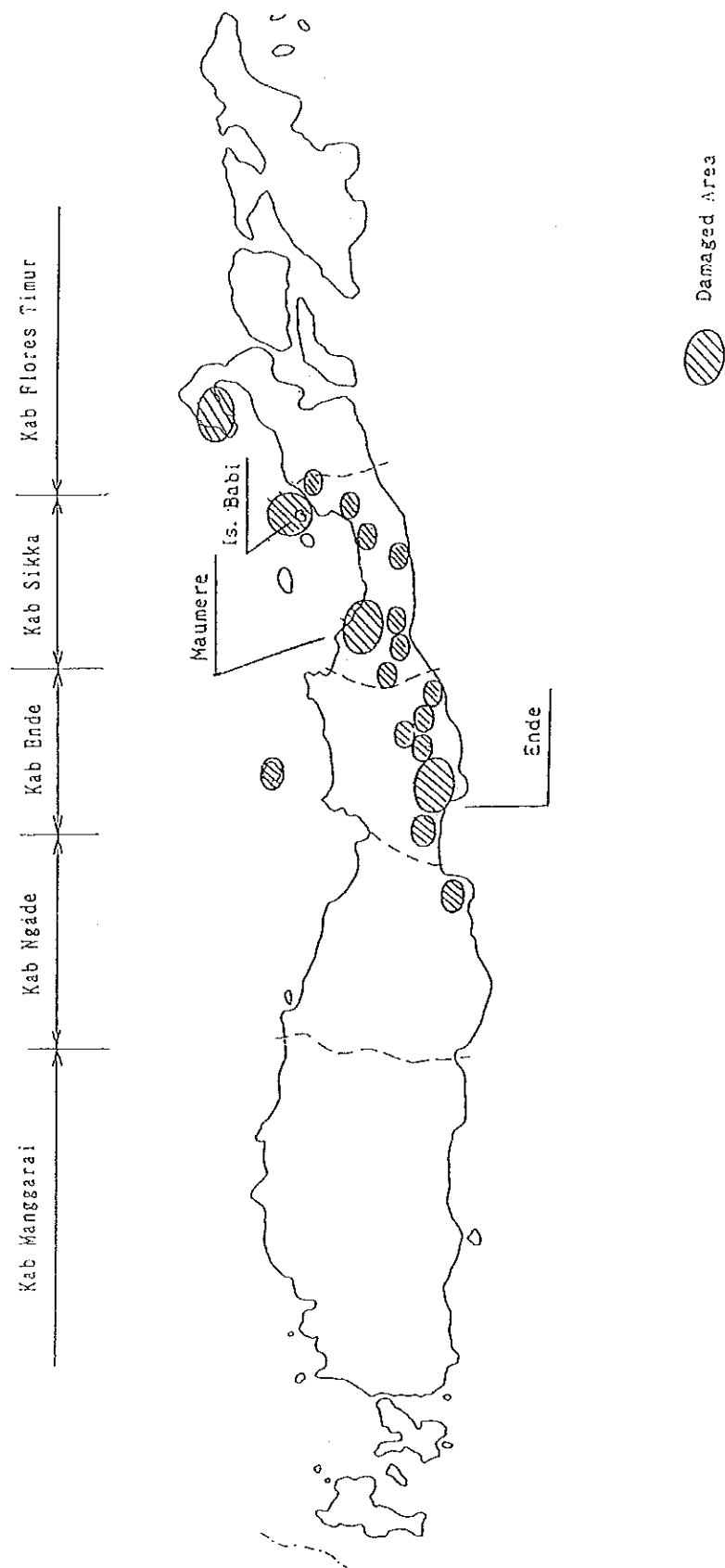


图 2-1 被害地域

2.2 シッカ摂政管区における被害状況

- (1) シッカ摂政管区は最も深刻な被害をこうむった。同管区のほぼ全域にわたって被害が生じた。およそ1,100人が死亡し、完全に倒壊した建物の数は8,000棟以上にのぼった。
- (2) シッカ摂政管区の主要部分を占めるマウメレ準摂政管区(アロク準摂政管区を含む)は甚大な被害をこうむった。死者数は933人、完全に倒壊した建物の数は4,000棟以上、部分的に壊れた建物の数は3,199棟に達した。なお、これらの数字は1992年12月23日午後8時現在の数値である。
- (3) 注目すべき被害は、マウメレの中心部に建っていた建物がこうむった被害である。マウメレはカリマチ川の扇状地の上に発展してできた町である。この地域周辺で液状化現象が起こった。倒壊した建物、又はひどい損害をこうむった建物の多くはレンガ建築物である。
- (4) 津波による特徴的な被害がマウメレの郊外の西部にあるウーリング、及びバビ島で起こった。死者数はウーリングでは87人、バビ島では約750人である。さらに、バビ島で行方不明となった人の数は50ないし100人に達すると言われている。現在ではバビ島は無人島と化している。
- (5) マウメレとエンデを結ぶ主要道路(単数)は山岳地帯を走っている。この道路は多数の箇所地震による地這り被害を受けたと報じられた。この結果、約21ヶ所が通行不能となった。とくにムニとエンデの間の14kmの道路区間は大きな被害を受け、11ヶ所で寸断された。
- (6) マウメレでは多数の井戸が破壊された。その結果、地震発生後3日間は水の供給が途絶えた。地震前に給水を受けていた受給者の半数以上において給水量が減った。なお、これらの数字は1992年12月24日現在のものである。
- (7) 被害状況を表2.2に示す。

2.3 エンデ摂政管区における被害状況

- (1) エンデ摂政管区の広い範囲が被害をこうむった。多くの建物が地震の揺れによって倒壊し、地這りによる被害も起こった。
- (2) 揺れはエンデ摂政管区の北部において大きかったが、人口が少なかったため被害は少なかった。被害が大きかったのはエンデ準摂政管区とその近辺である。
- (3) エンデ準摂政管区の都市部では死者の数が57人、被害を受けた住宅の数は3,637棟であった。
- (4) 発電所には被害がなかった。しかし何ヶ所かで送電線が切断された。この結果、2日間、停電が続いた。水の供給がしばらく途絶えたが、現在では水は使用可能である。

表2-2 シッカ攝政管区における全般的被害

1992年12月23日

準攝政管区	人的被害				建物被害							
	死者 (人)	負傷者		民間事務所建築 完全倒壊 (棟)	政府事務所建築		民間事務所建築		教会、モスク			
		重傷 (人)	軽傷 (人)		大被害 (棟)	軽被害 (棟)	完全倒壊 (棟)	大被害 (棟)	軽被害 (棟)	完全倒壊 (棟)	大被害 (棟)	軽被害 (棟)
ハカ	14	7	14	-	71	14	67	45	38	-	3	2
レカハイ	7	9	27	57	4	2	1	2	-	8	2	1
レーラ	13	16	64	12	13	9	4	7	12	4	2	1
ニタ	16	42	116	15	22	5	36	5	8	3	8	1
アロク	142	205	1,155	10	41	10	67	45	38	2	8	5
マウメレ	791	54	73	28	4	4	35	6	3	12	3	5
ハルエ	8	5	5	-	21	35	-	1	-	-	-	1
ケワハンチ	9	13	87	11	36	5	5	13	18	-	6	1
ボラ	18	12	21	10	31	11	9	17	28	-	3	-
タリアラ	82	27	30	25	36	10	-	-	-	14	8	4
ワイゲチ	1	3	4	-	36	21	2	8	10	-	-	2
シッカ合計	1,101	393	1,596	168	318	126	226	149	155	43	43	23

準攝政管区	建物被害											
	住宅				学校				合計			
	完全倒壊 (棟)	大被害 (棟)	軽被害 (棟)	完全倒壊 (棟)	大被害 (棟)	軽被害 (棟)	完全倒壊 (棟)	大被害 (棟)	軽被害 (棟)	完全倒壊 (棟)	大被害 (棟)	軽被害 (棟)
ハカ	221	38	132	-	6	2	288	103	188	-	-	-
レカハイ	303	231	42	-	-	-	369	239	45	-	-	-
レーラ	232	225	336	1	3	3	253	250	361	-	-	-
ニタ	2,042	670	140	4	4	2	2,100	709	156	-	-	-
アロク	443	1,035	1,478	11	8	5	533	1,137	1,536	-	-	-
マウメレ	3,413	325	174	3	1	1	3,491	339	187	-	-	-
ハルエ	48	105	89	-	-	-	48	127	125	-	-	-
ケワハンチ	228	279	255	3	7	1	247	341	280	-	-	-
ボラ	117	104	79	-	3	2	136	158	120	-	-	-
タリアラ	541	102	109	-	4	4	580	153	123	-	-	-
ワイゲチ	31	401	119	-	4	2	33	449	154	-	-	-
シッカ合計	7,619	3,515	2,933	22	40	18	8,078	4,065	3,275	-	-	-

- (5) エンデ摂政管区の北部に位置するパル島にはおよそ1,000人が住んでいる。南東の方向から津波がこの島を襲った。島民は津波の来襲方向の反対側に住んでいるので津波による被害はなかった。しかし大きな地這りが何件か発生して8人が死んだと言われる。
- (6) 被害状況を表2.3に示す。

表 2-3 エンデネ行政区における全般的被害

1992年12月22日

東恩行政区	人的被害			建物被害							水道施設の被害		
	死者 (人)	負傷者		事務所 (棟)	教会 モスク (棟)	住宅 (棟)	学校 (棟)	学生 寄宿舎 (棟)	汚損 (棟)	旅籠 (棟)	合計 (棟)	貯水池	浄水施設
		重傷 (人)	軽傷 (人)										
エンデ	25	16	-	9	9	73	10	-	-	-	110	-	-
エンデ・セラタン	32	62	200	114	29	3,564	70	12	23	8	3,825	-	-
スドナ	30	32	62	35	23	813	42	1	-	2	916	27	12
ナカ・ハンタ	5	5	10	50	48	1,196	39	3	8	1	1,345	11	-
チツコロ	9	27	9	37	17	1,997	28	-	-	-	2,079	-	-
ウォロ・ワル	35	26	-	-	-	1,272	-	-	-	-	1,272	-	-
マオロレ	21	4	50	43	22	2,250	31	2	2	-	2,350	2	-
コタハル	17	50	-	15	4	1,153	10	-	11	-	1,193	-	-
ワツネソ	3	5	-	3	4	15	3	-	-	-	25	-	-
ウォロシタ	2	1	-	10	11	314	17	-	-	-	352	-	-
ワイアボサ	14	-	-	8	3	540	2	-	-	-	553	-	-
アカウ・エンデ	-	-	2	9	3	155	5	-	-	-	172	-	-
エンデ合計	193	228	333	333	173	13,342	266	18	49	11	14,192	40	12

出典：エンデ行政区管理局

3. 津波の挙動とその被害

3.1 まえがき

1992年12月12日13時29分にフローレス島沖で発生したマグニチュード7.5の地震によって大きな津波が引き起こされた。フローレス島の長い海岸線の近くがこの津波によって被害を受けた。ベサル島の東およそ10kmにあるバビ島では村民総人口950人のうち750人も死んだ。村はこの津波によって完全に破壊された。本報告書は数ヶ所の津波の到達高さ、及びとくに大きな被害をこうむったバビ島・ウーリング区域・マウメレ港における津波被害のフィールド調査の結果をまとめて説明する。さらに、津波に対する今後の対応計画と有益な提言を述べる。

3.2 津波到達高さの調査

12月23日から25日にかけてフローレス島とバビ島の海岸線に沿って津波の到達高さの現場観察を行なった。到達高さの測定には棒と携帯用水準器を用いた。土地の基準高さが不明であったので、到達高さは測定時刻における海面を基準として測量した。現場観察を行なったあとマウメレ港における平均海面からの到達高さを計算した。計算にあたって、日本の運輸省、海上保安庁のJODCが予測した、マウメレ港における天文潮位をもとにした。

フローレス島の多くの場所で、建物の外壁に残された痕跡から津波が達した高さを明瞭に読み取ることができた。一方、バビ島ではすべての建物が破壊されてしまっていたので樹木に付着している浮遊ごみの高さから津波の高を読み取った。

図3.1に観察場所を示す地図と、津波の到達高さの測定値(メートル)を掲げる。到達高さの最大値はフローレス島のウーリング地区で測定された。津波の到達高さはウーリングにおける値を最高にして東の方に向かって減少している。これはベサル島が防護壁の役目を果たしたからである。また、西の方に向かって減少しているが、これは沖合に珊瑚礁が存在するからである(図3.2)。バビ島では最高到達高さはおよそ3.7mで、ウーリング地区での到達高さよりも1.2mほど高い。

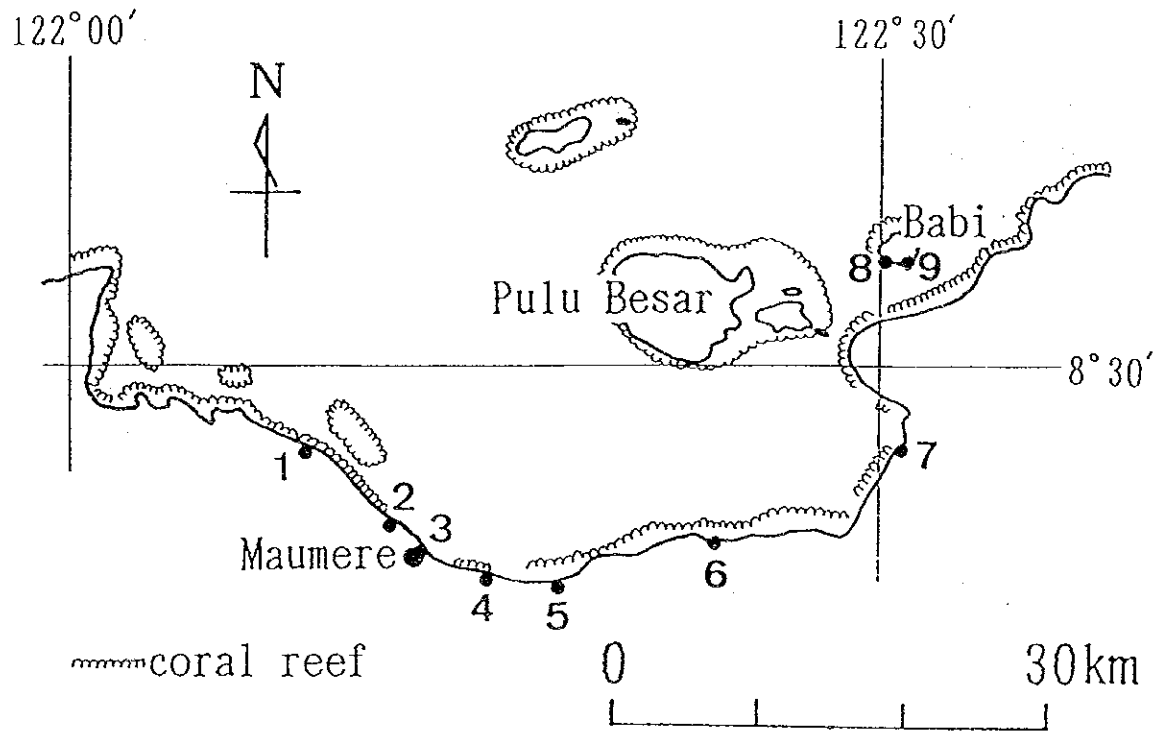
3.3 津波による被害

津波は広い地域にわたって多数の死傷者をもたらしたが、津波特有の被害が観察されたのはバビ島とウーリング地区においてである。小さなバビ島では950人の住民のうち750の生命が奪われ、辛うじて200人が津波を逃れることができた。同様にウーリング地区では79人の死者が確認された。下記に、2ヶ所における津波被害、及びマウメレ港の被害状況を説明する。

(1) マウメレ港

津波、および地震に伴う土地の液化化現象によって港湾施設が甚大な損害をこうむった。写真3.1はマウメレ港の埠頭の上に乗上げた船を示す。地震発生時における埠頭岸壁の高さは海面上およそ1.5mであった。この船の喫水を考えると、この場所における津波の高さは現在の地面よりも約1m高かったと推定される。この点から東の或る地点では、写真3.2に見られるように埠頭が地震と津波の双方によって完

全に破壊されている。そして津波の返し波によって1台のトラックが棧橋の先端の方に運び去られている。写真3.3はある建物の外壁に残された津波の到達高さを示す。測量者の右手が指しているのが到達高さであり、外壁面での深さは約50cmである。



位置	津波の到達高さ(m)
① ナンガフーレ	2.28
② ウーリング	2.45
③ マウメレ港	2.25
④ ワロチ	2.29
⑤ ワイバレ(の東)	1.86
⑥ ワイガテ	2.22
⑦ ナンゴブロク	1.77
⑧ (西)バビ	3.68, 3.48, 3.28
	3.28, 3.28
⑨ (東)バビ	3.67, 3.52, 3.70

図3.1 位置関係図と津波の到達高さデータ

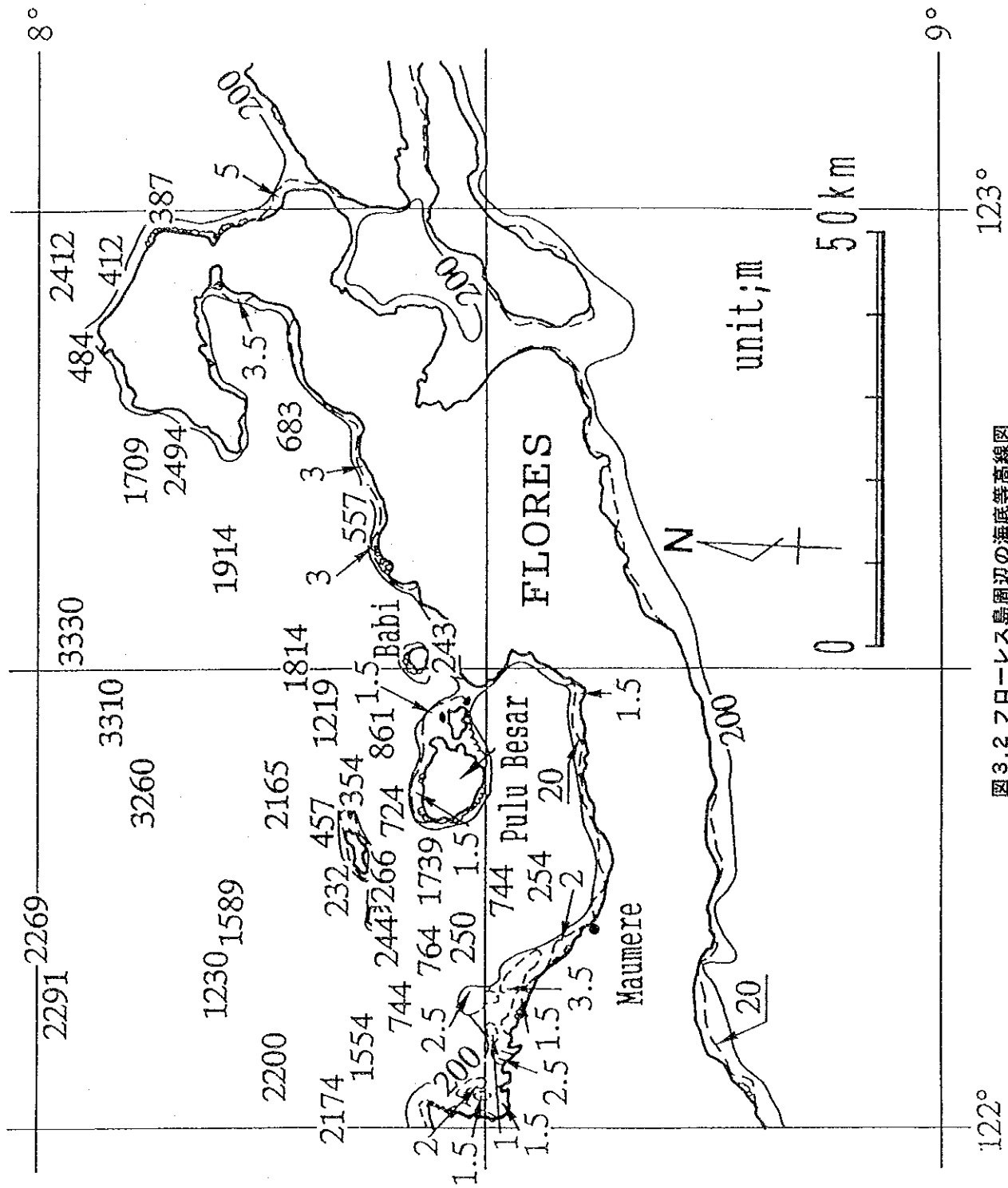


図 3.2 フローレス島周辺の海底等高線図

(2) ウーリング地区

ウーリングはマウメレ港の北東およそ 2km に位置する。一般に津波の特徴は、海が荒れているときに障害物を乗り越える波よりも大きなエネルギーを保持した膨大な量の海水が、海岸線から内陸に向かって押し寄せるところにある。すなわち津波による被害区域は海水面が徐々に上昇して洪水に至る場合の被害区域とは全く様相を異にする。住宅を含むあらゆる物が破壊され、ごた混ぜになって運び去られる。さらに漁港の近くでは漁船が建物や住宅に衝突して建物被害を大きくする。写真 3.4 はウーリング地区で見られた破壊のつめ跡を示す。この写真から大量のごみが一杯に散らばり、漁船がここまで押し流されてきていることがわかる。写真 3.5 に示すのは、写真 3.4 の現場よりも海寄りの場所における状況である。ここでは高床式の建物の多くが破壊され、多数の船の残骸が陸上に散らばっている。写真 3.4 に示す場所は海岸線からかなり内陸に寄っているので一部の建物はもとの位置に残っているが、写真 3.5 を撮影した場所は手ひどい被害をこうむった。ウーリング地区では高床式住居が多いが、そのほとんどが破壊された。

写真 3.6 では到達高さが建物の白い外壁面上で明瞭に読み取ることができる。ここの地面高さは約 1m である。地面から到達水の跡までの高さが 1.6m であることがはっきりと分かる。つまり、この写真に写っている人物の背の高さに等しい津波がこの場所を起こったのである。この地区での最終的な死者数は 79 である。ウーリング地区における津波被害をまとめると、次のようになる：

- 1) ウーリング地区はベサル島による防護地帯の外に位置している。
- 2) ウーリング地区はこの西にある浅い珊瑚礁によっても保護されなかった。
- 3) ウーリング村は U 形の湾の西側海岸に位置しており、そこではグリーン効果によって津波の高さが増した。
- 4) 高床式住居の多くが低地に建てられていた。

(3) バビ島

バビ島はマウメレ港の北東およそ 38km に位置する。バビ島は円形をなし、その直径は約 2.5km である。図 3.3 に示すように、この島の周囲には珊瑚礁がよく発達している。島の北の海岸の沖合には風波の発生によって幅の広い礁が発達しているが、南の海岸の沖合では幅が狭くなっている。加えて島の南側には 2 つの大きな尖形前方地が広がっている。これらの地形学的な特徴は次のことを意味する：最も激しい風的作用を受ける場所は北と北西海岸であり、2 つの尖形前方地は“砕け散る波の作用で礁の端近くで生じ、島をめぐる沿岸海流によって運ばれる”珊瑚の死骸の屑が堆積して形成されたものである。したがって 2 つの尖形前方地の砂浜の前面斜面と浜の高さは、島の風下側で砕けた波が到達する高さ(1~1.5m)にほぼ等しい。

津波の前波はこういう砂浜を南側から襲った。そこには珊瑚礁が存在しないので水深は非常に深い。下記に述べるような観察結果から、津波の動いた方向が南から北であったことが確認された。

- 1) 図 3.3 に示すように、破壊された家屋の屑はもとの位置の北にあるヤシの树林の中に散らばっていた。
- 2) ヤシの木は津波で引き倒され、その根は南を指していた。
- 3) 今回の災害の 1 人の目撃者が「津波は南から来た。」と証言した。

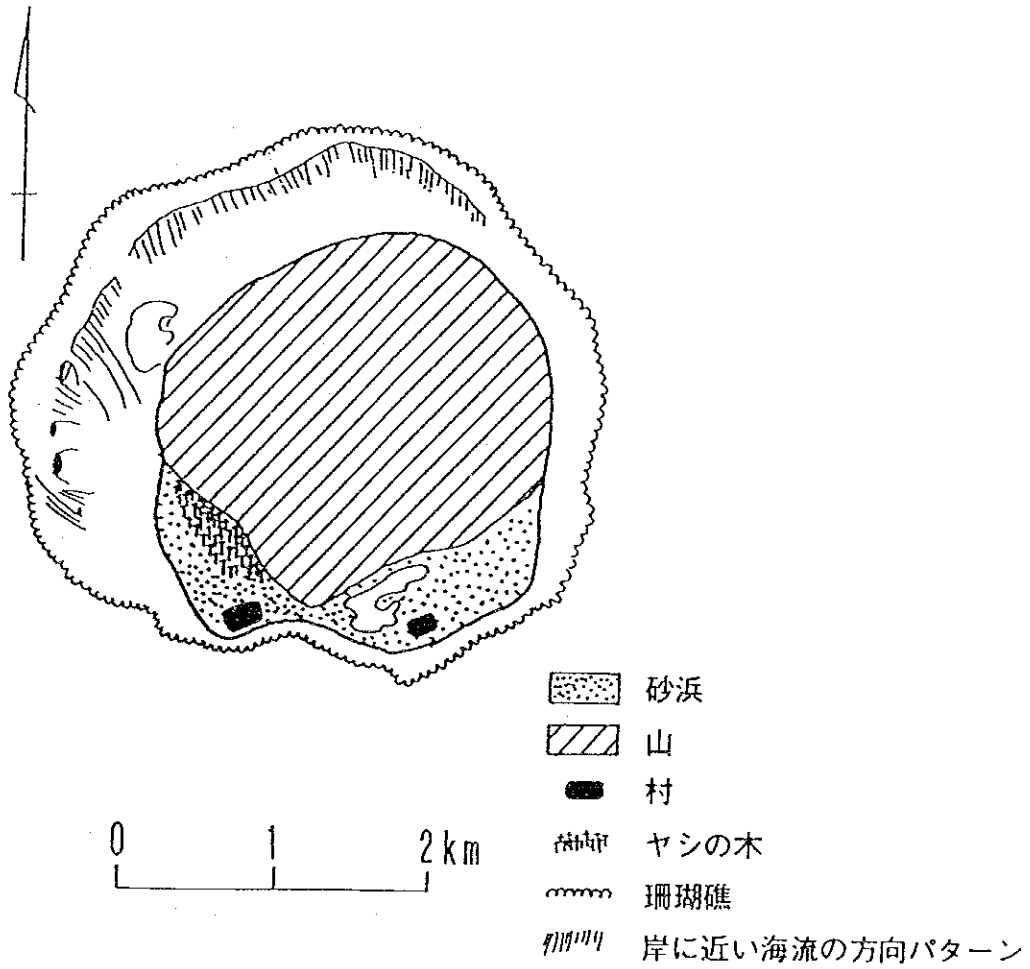


図 3.3 空中写真から読み取った、パビ島の地形図

この津波によってこの村の建物はすべて破壊された。写真3.7は山の中腹から南西方向に見下ろすように写したもので、津波によって大被害を受けた村の風景を示している。津波は南の方からこの村を襲ったから、家屋の破片屑は北の方に運ばれ、ヤシの木林の中に取り残された。たとえばヤシの木林の中の様子を示す写真3.8から膨大な量の屑が散らばっているのが分かる。この村は砂浜の上に存在しているから津波によって破壊し尽くされた。写真3.9は倒壊した学校の建物のコンクリート基礎を示す。

バビ島における津波の到達高さの観察にあたっては、樹木に付着している破片屑の位置から高さを求めた(写真3.10)。建物、家屋は1つ残らず破壊されたので外壁面に残された水の跡を読み取ることはできなかった。ポールのゼロ点を高さ1mの地表面の上に固定して破片屑の跡の高さを測ったところ約2.5mであった。この砂浜の海面基準の高さは約1mである。それゆえ津波の到達高さは海面を基準としておよそ3.5mだったと言える。

上述したように、バビ島の南海岸には幅の広い礁が発達しているが、南海岸では珊瑚礁はあまり発達していない。そのうえ南海岸の海底の傾斜は非常に急角度である。尖形前方地が突き出ており、また北方からの風波をバビ島自体がよく防いでいるので島の風下側は停泊地として利用されてきた。しかし津波の波長は風波のそれよりもはるかに長い。したがって津波のエネルギーは比較的小さな島であるバビ島の風下側にまで到達する。だから風波に対して安全な地帯が津波に対しても安全な地帯であるとは限らない。もし、護岸施設が村を取り巻くように砂浜の上に建設されていたならば、津波の被害は生じなかったに違いない。事実、村が壊滅したのは護岸施設がなかったからである。1933年に起こった三陸津波で岩手県の田老村が完全に破壊されたのも同じような状況下においてであった。

上述した三例をまとめると次のようになる。一般的に言って、土地の高さが高い沿岸地帯では津波による被害は大きくない。バビ島の場合、風波の堆積作用によって前浜上に形成された海岸地帯の土地の高さは1~1.5mしかなく、したがって被害が大きくなった。同様にウーリングでも多くの家屋が高さ1m未満の土地の上に建てられていた。これが被害を大きくした。

3.4 津波対策

このセクションではバビ島のケースを例にとって津波に対する対応策を論ずる。津波のあとバビの全住民はフローレス島に移り、現在はこの島は無人島となっている。しかし時がたつにつれてバビ島に返って来る人が増えてくると思われる。島の住民の多くが漁業に従事していたからである。長期的に見れば再び昔のような村が形成されるだろう。このように津波は直接的被害の他に間接的にもこの島に被害をもたらしているのである。島を見捨てることなく、この問題を解決するには海岸線に沿って堤防を築く必要がある。沿岸堤防は丘陵の両端を結んで、砂浜の海岸線に沿って建設しなければならない。このプロジェクトの重要点を幾つか挙げると：

- 1) 沿岸堤防の前面の斜面、頂上部、及び後面斜面はコンクリート製とする。コンクリートの厚さは30cm以上が必要である。
- 2) 沿岸堤防の頂上高さは平均海水面からおよそ3.5mとする。この値は今回の津波の到達高さの測定値=3.7mを考慮に入れたものである。すなわち、設計頂上高さは津波到達高さの実測値よりやや低くする。頂上部の高い沿岸堤防の建設はコストがかかる。沿岸堤防としては、(堤防を)乗り越える津波によって破壊されることのない構造であることが要求されるのである。

3.5 提言

- (1) 地震が起こったらできるだけ速やかに、津波の被害を受けるおそれのある場所から避難しなければならない。津波あるいは船の動きを見るために海岸に近づくことは厳重に禁止すべきである。
- (2) バビ島はそれ自体が外洋の影響を受けにくい場所にあるため風波に対しては防護が完全であった。しかし、そのことは津波に対しても安全であるということを必ずしも意味しない。インドネシアにはバビ島と同じような条件を持つ島がたくさんある。これらの島々が津波に対して安全であるかどうかチェックすることが望ましい。
- (3) ヤシの木やその他の樹木の林は津波のエネルギーを減ずる効果を発揮するから、保護しなければならない。
- (4) マウメレ港など、津波の到達高さ(ふつうは、家屋の外壁面に残された跡)が高かった場所では、津波の危険性を知らせるとともに津波災害を永く忘れないようにするため、到達高さを示す標識や目印などを一般の人々に見えるように掲げるべきである。
- (5) バビ島におけるように、津波に襲われる危険性のある場所に人が住まなければならない場合は沿岸堤防のような護岸施設を建設することを勧める。

3.6 結語

今回の津波災害の緊急調査においてはフィールド調査期間がわずか3日間しかなかったため、津波の到達した高さの測定を多数の箇所で行うことが不可能であった。したがって本報告書ではかなり狭い海岸地区だけに限って到達高さを報告した。幸いにも日本の文部省の調査団が他の地区での到達高さを調査したから、のちほど発行される報告書によって詳細な情報が得られる予定である。

我々は日本の運輸省の海上保安庁のJODCが、マウメレ港の予測潮位データの利用を許可してくれたことに対して感謝する。さらに、我々は東京大学地震研究所のつじ・よしゆき準教授が潮位予測及び津波の原因について討議に応じてくれたことに感謝する。

調 査 日 程

- | | |
|--------|-----------------------------------------------------|
| 12月22日 | C-130 便にてジャカルタからマウメレ空港に到着。ヘリコプターでバビ島を訪問。津波災害の最初の調査。 |
| 12月23日 | ウーリングとネベの間の海岸線に沿って津波の災害を調査し、津波の到達高さを測定した。 |
| 12月24日 | 船でバビ島を再訪。島までの所要時間は2時間半。島の8ヶ所で津波の到達高さを測定した。 |
| 12月25日 | マウメレとナンガフル(西海岸)の間で津波被害を調査した。 |

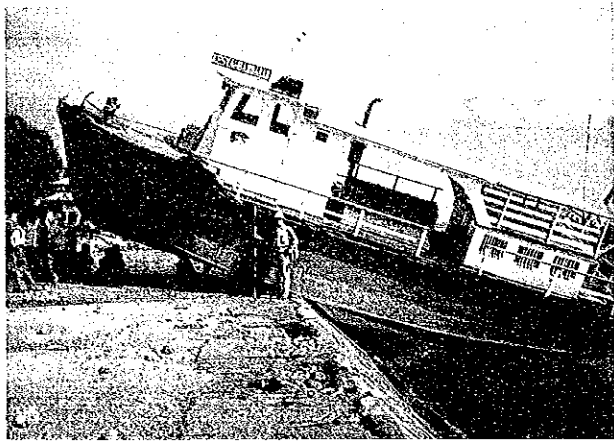


写真3.1 マウメレ港の埠頭の上に乗り上げた船

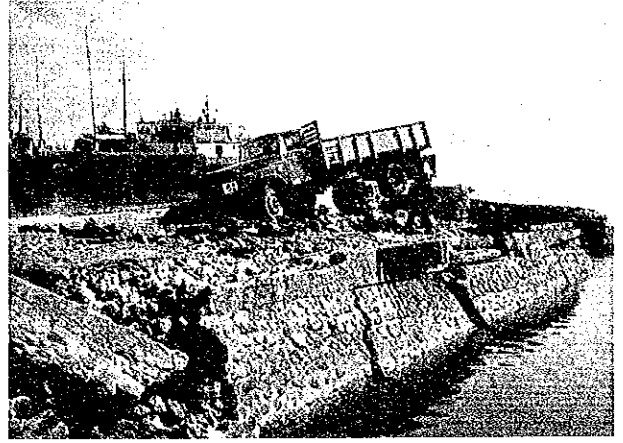


写真3.2 マウメレ港の破壊された埠頭と津波によって運ばれた1台のトラック



写真3.3 マウメレ港における津波の到達高さ



写真3.4 ウーリング地区の津波災害 (村の中心から陸地寄りの場所で撮影)



写真3.5 ウーリング地区の津波災害 (村の中心部で撮影)



写真3.6 ウーリング地区における津波の到達高さ



写真3.7 バビ島の村の、南方尖形前方地部分。廃虚となっている。



写真3.8 バビ島のヤシの木林の中の破片屑

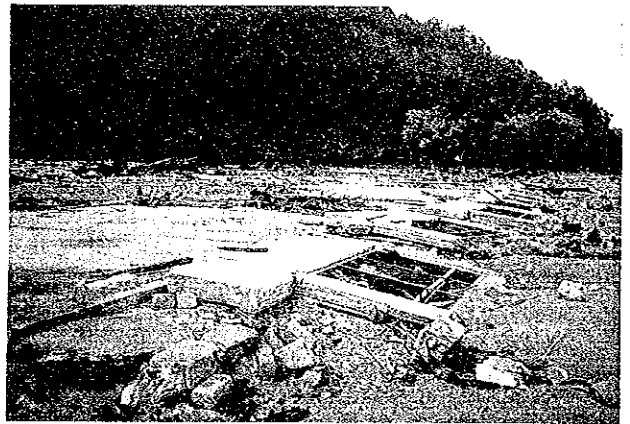


写真3.9 倒壊した学校の建物



写真3.10 バビ島の前浜における津波の到達高さ

4. 建物被害

4.1 エンデ市における被害

エンデ市はフローレス島の中央に位置し、サブ海に面する。人口はおよそ7万である。建物調査チームはエンデ県庁のスタッフに案内されて2時間かけてエンデ市部の44の建物を調査した。図4.1はエンデ市の概略地図である。この図の中の数字は我々が実際に調べた建物に付けた番号である。このセクションの後半にそれらの建物の写真を添付してある。

44棟の建物のうち倒壊したのは25棟である。損傷のない建物はほとんど見当たらなかった。建物の多くは煉瓦構造の平屋である。このような建築構造は世界中で一般に見られる二層積みの煉瓦でできている。

シッカ島の技術者に対するインタビューによると、ポルトランドセメント、砂、石灰の重量混合比は1.0:3.0:10.0である。これが煉瓦構造のモルタルに使われている。コンクリートブロック構造の建物もあった。その多くは大きな被害をこうむっていた。新しい建物は鉄筋コンクリートフレームを使っていた。しかし鉄筋コンクリート構造の柱と梁の断面積は日本でふつうに見られるものよりはるかに小さかった。鉄筋コンクリートの柱の断面寸法は約15cm×15cm程度で、長手方向の鉄筋の直径は13mmの丸鋼である。鉄筋コンクリート構造で異形鉄筋を使っている例は少なかった。

4.2 マウメレ市における被害

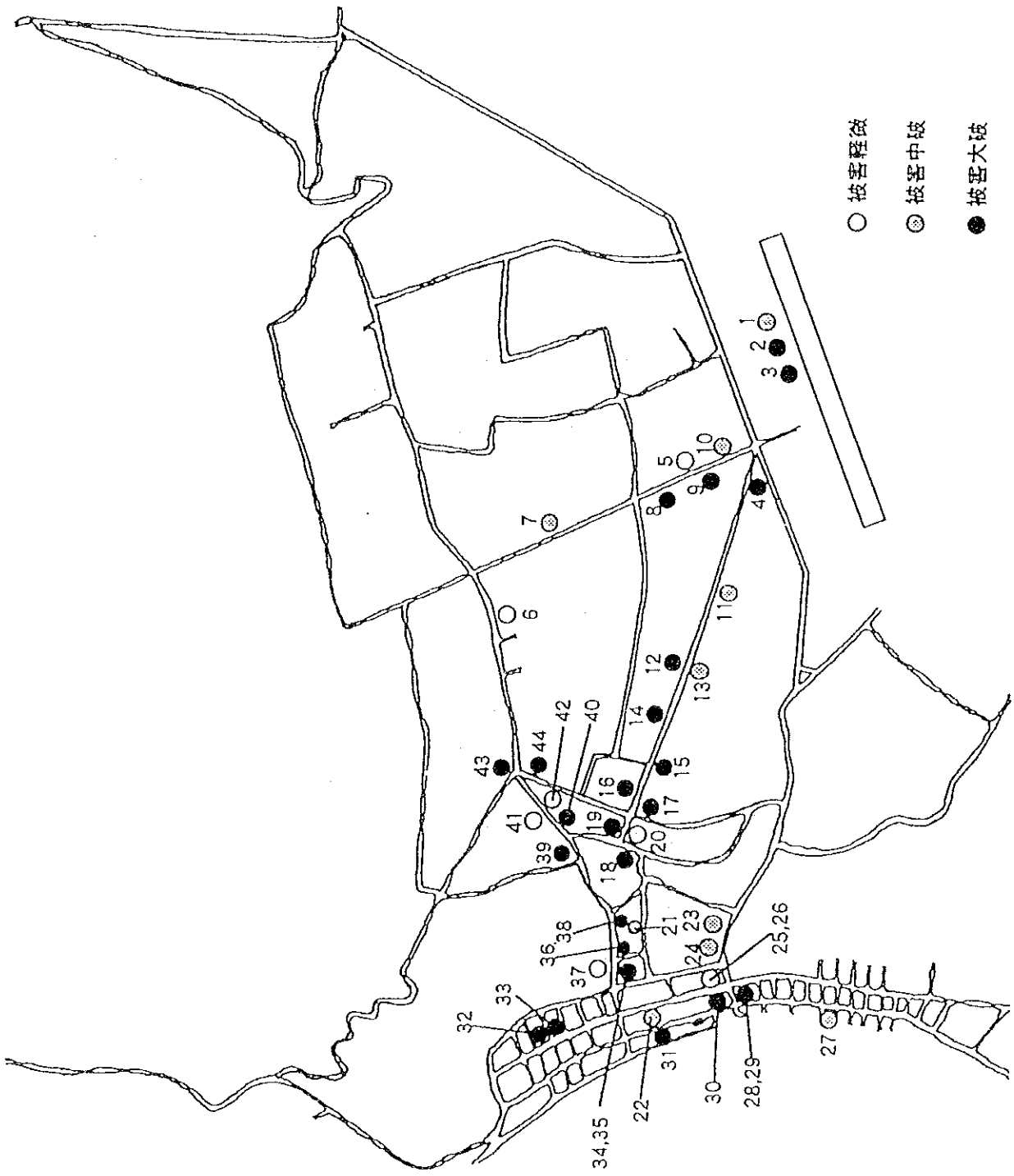
マウメレ市は人口がおよそ5万で、フローレス海に面する。同市は樹木の多い緑ゆたかな町である。都市部は東西方向の幅がおよそ3km、南北方向に2kmである。マウメレ市もまたひどい被害をこうむった。図4.2は同市のスケッチ図である。市の東部分は被害が少なかった。しかし空港施設と陸軍基地のキャンプの平屋の鉄筋コンクリート建物は甚大な被害を受けた。建物のほとんどは煉瓦づくりの平屋であった。屋根は木構造で、これを粘土タイルまたはブリキ板で覆っており、したがって屋根は軽量である。マウメレ市では建物の倒壊によっておよそ300人が命を失った。

図4.2に示すように、マウメレ市の中央部分は大きな被害を受けた。海岸に沿った地区の建物は地盤の液状化現象によって傾き、あるいは沈下した。中央部分で鉄筋コンクリートの貯水タンクはほとんど無傷であった。タンクの高さは約15mである。タンクを支える4本の柱の断面寸法は30cm×30cmである。こういう形式の鉄筋コンクリート貯水タンクがほとんど被害を受けなかったことを考えると、地震入力がそれほど大きくなかったと推定される。おそらく0.1g~0.2g程度と思われる。マウメレ市で一般に見受けられる煉瓦構造の壁の水平耐力は、ごくラフな仮定と計算によればベースシア係数で0.2gより大であると推定される。しかし煉瓦壁の面外方向の水平耐力は、上述の面内剪断耐力よりもはるかに小さかった。

とくにマウメレ市の商業中心地であるラジャセンティス通りに沿って、比較的詳細な被害状況調査を行なった。その結果を図4.3に示す。被害の程度のカテゴリは建物の外観観察にもとづいて決めた。

32棟の煉瓦建物(M)のうち15棟が倒壊した(47%)。鉄筋コンクリートフレーム煉瓦壁建物(RC+M)22棟のうち倒壊したのは2棟(9%)、大きな被害を受けたのは16棟(73%)であった。M構造の27棟も大きな被害をこうむった(84%)。

後に掲げる写真の多くが煉瓦構造の“面外”倒壊を示している。



- 被害軽微
- ⊙ 被害中破
- 被害大破

図4-1 インダ市の地図

ウーリンでの倒壊比率は50%以上

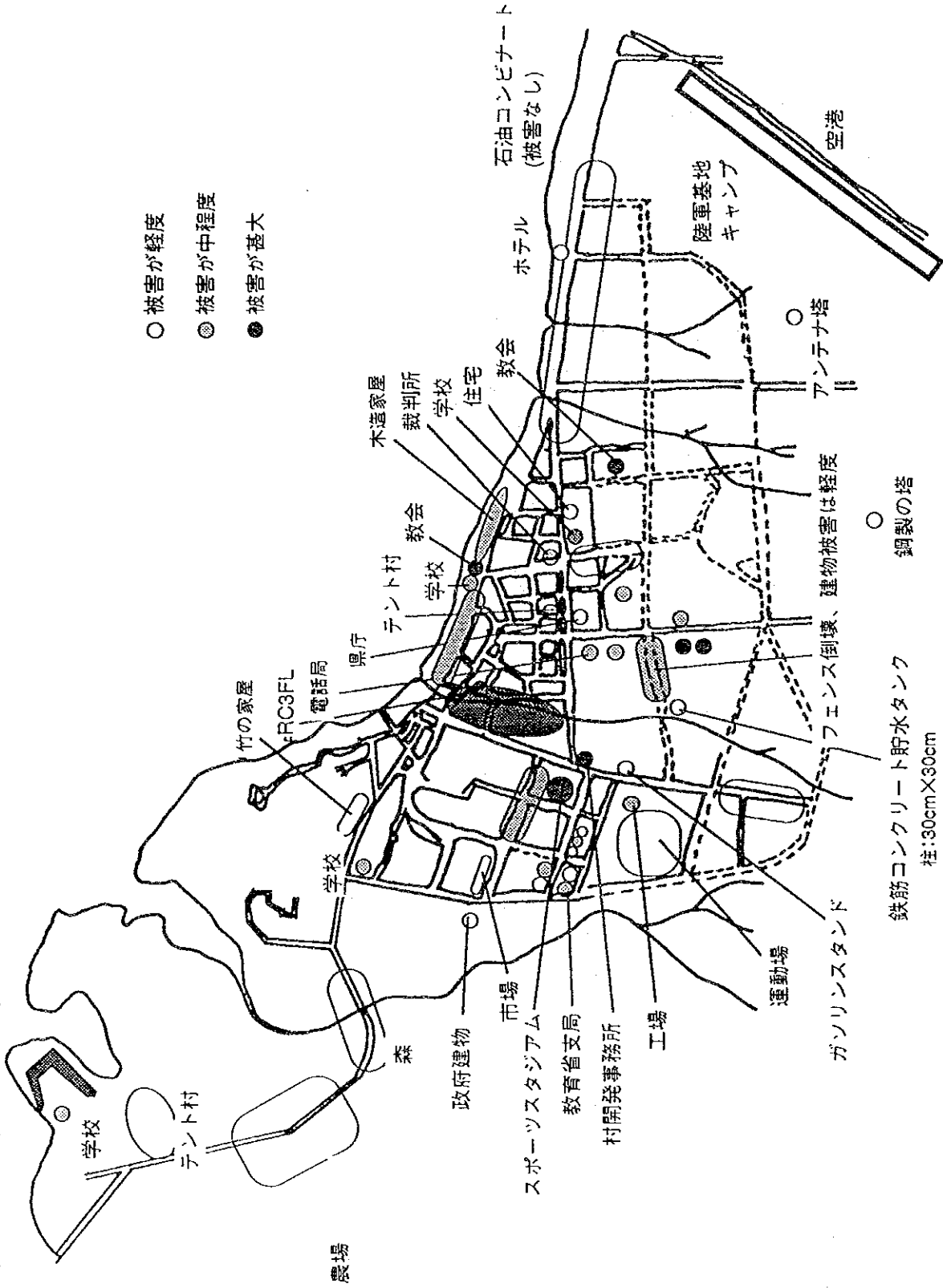


図4.2 マウメレ市の地図

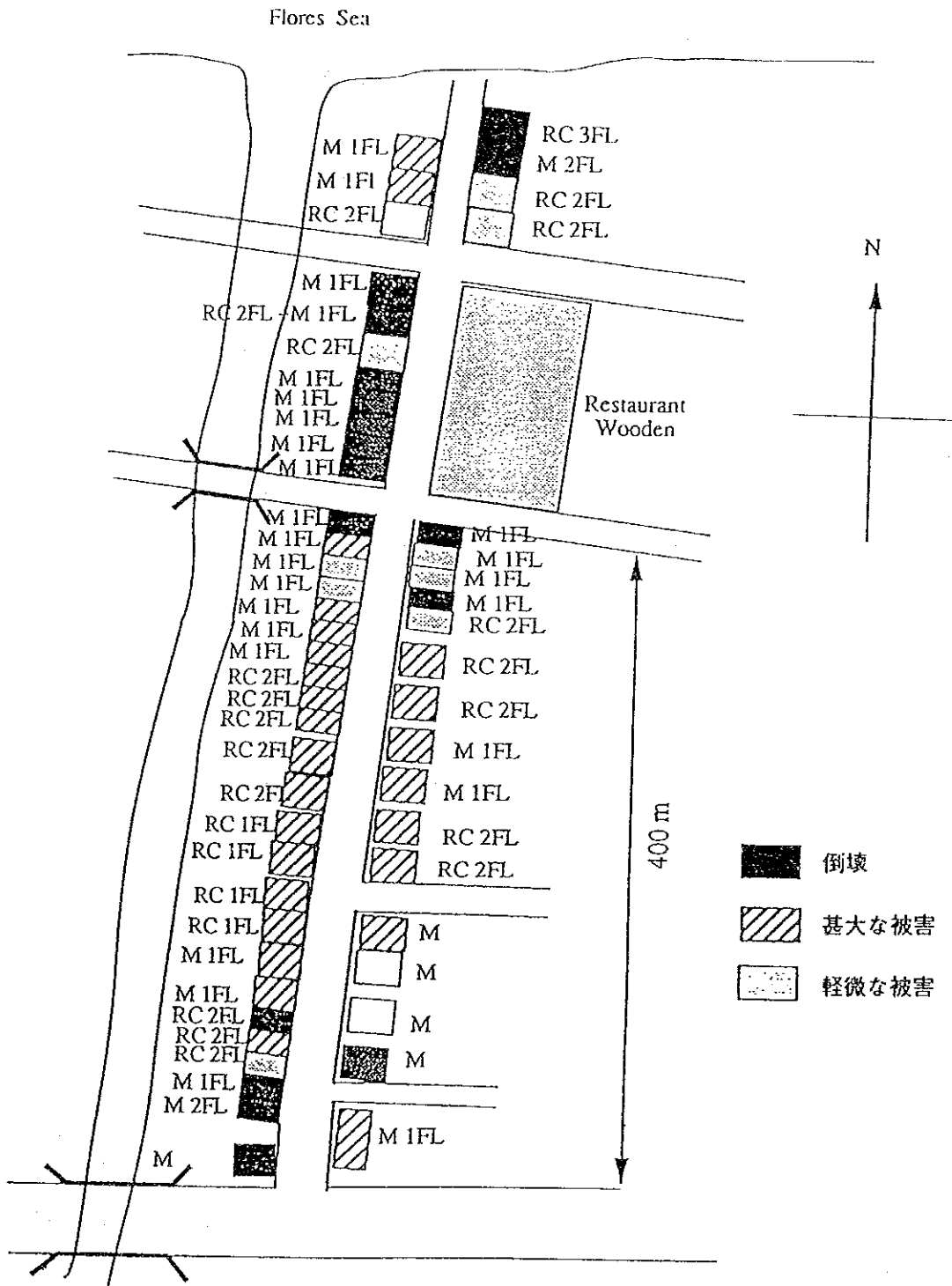


図4-3 マウメレ市商業地域

4.3 被害分析

建物被害の調査はわずか2日間、行なっただけである。下記に述べるのは建物被害の特徴をまとめたものであるが、おそらく不正確な記述が含まれているものと思う。

- 1) 屋根が木造で、煉瓦構造の建物の多くが倒壊した。それらの建物は補強鉄筋が用いられていない。これらの被害の原因は煉瓦壁区画の面外倒壊に起因する、と考えられる。
- 2) 繁華街地区では、2階建て以上の鉄筋コンクリートフレーム構造で、壁を煉瓦で造った建物が幾つか見られる。鉄筋コンクリート建築物の総数に対するこれらの建物の倒壊比率は、煉瓦構造の倒壊比率よりも小さかった。そしてこれらの建物の多くは被害が中程度にとどまっている。
- 3) 建築後、あまり年数を経過していないと見られる鉄筋コンクリート建物に対する被害はごく軽微であった。それらの建物の柱と梁の断面寸法は日本で使われているものに比べて非常に小さかった。
- 4) 基礎とフーチングの施工方法は、地震に対する煉瓦壁の面外抵抗力を考えると貧弱である。

4.4 地震関連規制

インドネシアの公共事業省の耐震によると設計地震係数、 C_d 、は次式(4.1)で定義される：

$$C_d = C I K \quad (4.1)$$

ここに C = ベースシア係数；インドネシア共和国全域において6つの区分帯が設けられている。各区分帯において地盤条件によって2つの値が定義される。フローレス島は図4.4の区分帯2に分類されている。

I = 重要度係数

一般建築物の場合、 $I = 1.0$

重要施設の場合、 $I = 1.5$

重要で危険な施設の場合、 $I = 2.0$

K = 構造係数

鉄筋コンクリートの場合、 $K = 1.0$

プレストレストコンクリートの場合、 $K = 1.4$

鋼構造の場合 $K = 1.0$

この規定によれば、図4.4は $I = 1.0$ 、 $K = 1.0$ と仮定した場合のベースシア係数である。区分帯2において固有周期が短い建物の場合、 C_d の値は固い地盤については0.09、軟弱地盤については0.07となる。

面内煉瓦壁構造の最終的なベースシア係数の計算値は、この設計係数よりも大きい。しかし面外抵抗力はおよそ0.1gと推定される。構造体に対する応答地震力が0.1gを超えることは容易に分かることであり、したがって煉瓦構造の建築物の多くが面外で倒壊した。地震による被害の状況を考えるとベースシア係数 C_d は再度、議論する必要がある。

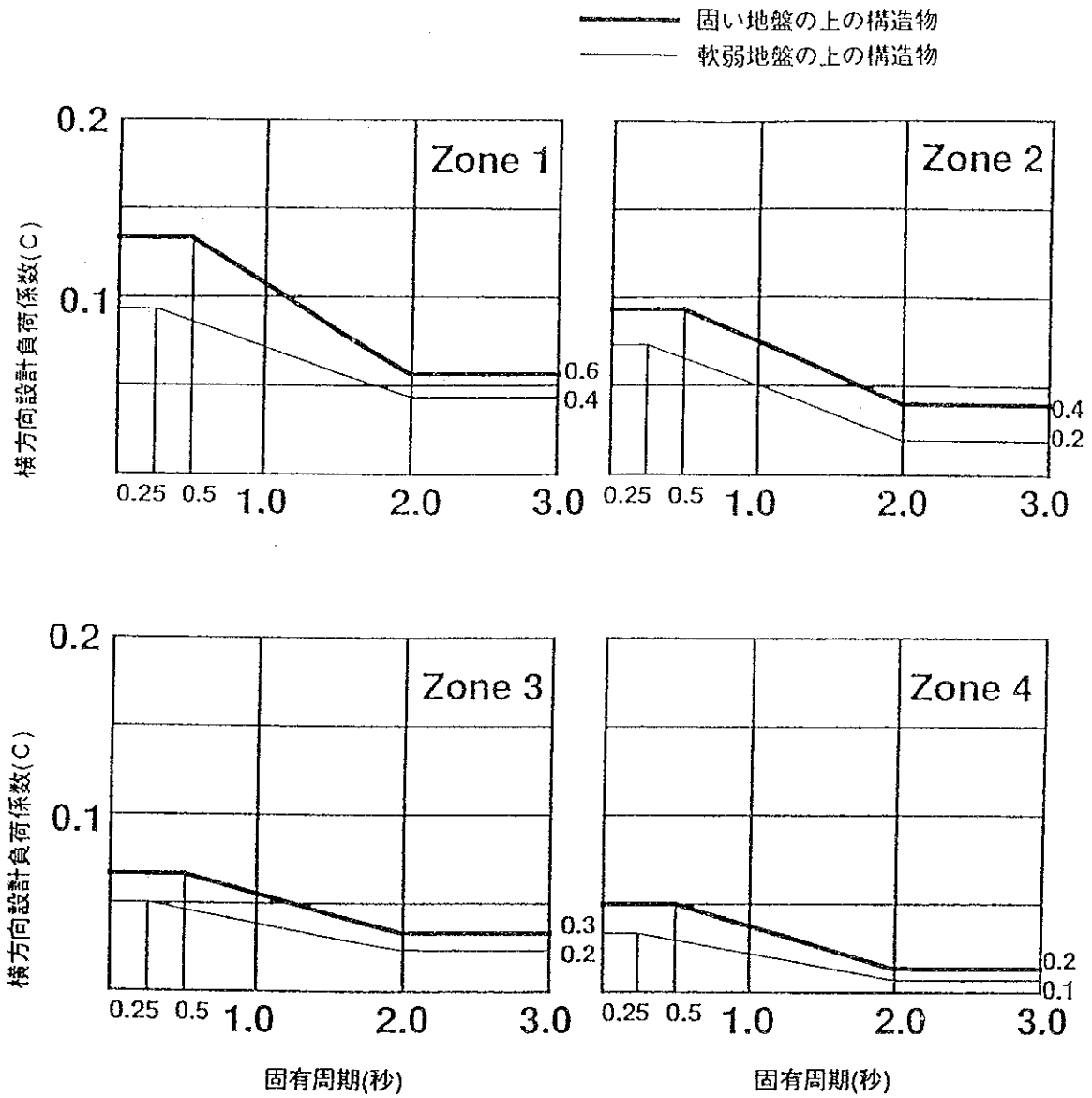


図4-4 無修正 C値