

インドネシア共和国

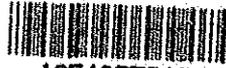
メラピ火山砂防基本計画策定調査

プロGRESSレポート

昭和54年3月

国際協力事業団

JICA LIBRARY



1054987E13

インドネシア共和国

メラピ火山砂防基本計画策定調査

プログレスレポート

昭和54年3月

国際協力事業団

國際協力事業団		
受入 月日	84. 5. 2	108
登録No.	04161	61.7
		SDS

まえがき

インドネシアには、128以上の活火山があるが、このプログレスレポートは、中部ジャワのクラピ火山周辺地域の土砂被害の軽減及び防止に関するものである。クラピ火山は、インドネシアの文化の中心的な都市であり、極めて人口稠密なジョグジャカルタ南方32kmに位置し、現在も活発な噴火が続いている。世界でも有数の活火山である。

火山噴火に伴う流出土砂による直接、間接の被害は極めて大きく、地域の発展を阻害している。

1967年に起きた前回の噴火の際にも、多大なる被害が記録され、自然条件に恵まれたこの地域の文化遺産の防護と発展を促進させるために、防衛計画による Nuée Ardente 及び Lahar 等の火山噴出物の制御に関して総合的な対策が望まれている。

インドネシア政府の要請に基づき、日本国政府並びに国際協力事業団は、クラピ火山砂防基本計画作成のために3ヶ年(1977~1979年度)の調査を実施することになった。当該調査は Nuée Ardente 及び Lahar 等の火山噴出物、並びに洪水からの被害を制御、減少させる目的で行なわれる。

国際協力事業団は、武岳有恒教授を委員長とする5名の監理委員会、及び谷 勲 団長以下、水理・水文、河川、地形、地質、社会、経済、防衛、測量の専門家16名の調査団を任命し、現地に1978年6月12日~7月25日の間派遣し、調査を実施した。調査団は、インドネシア関係各方面と接触をはかり、それらの協力の元に、調査を遂行してきた。

調査地域は、メラピ火山南西斜面の約700km²の地域及びK. Progo, K. Opakのトラブルスポットと広範囲であるが、インドネシア政府の積極的な協力のもとに調査は順調に進められた。

なお、今回は本調査に関する3回目のものである。すでに次の2回のレポートが出されている。

○ Progress Report March '77

1977年7月～1978年2月の現地作業及び資料とりまとめ報告書

○ Progress Report Sept '78

1978年6月～9月の現地作業報告書

Final Reportは1979年度末に予定されている。

調査団は本調査実施に関してインドネシア政府の積極的な協力に感謝するとともに、この調査がメラピ火山周辺地域の防災と地域発展に寄与すると同時にインドネシア国と日本国との国際友好関係の拡大に役立つことを望むものである。

目 次

	ページ
まえがき	
1. 調査の概要	1
1.1 調査目的	1
1.2 調査の範囲	1
1.3 調査項目	1
2. 地域の一般概要	4
2.1 地形	4
2.2 地質	8
2.2.1 地質層序	8
2.2.2 メラピ火山の活動史	8
2.2.3 生成物の名称	9
2.2.4 土質	11
2.3 水理水文	22
2.3.1 降雨	22
2.3.2 計画高水流量	29
2.3.3 流過能力・流砂能力	29
2.3.4 河床変動の検討	41
2.4 河川のトラブルスポット	45
2.4.1 K. Progo, K. Opakの特徴	45
2.4.2 トラブルスポット	53
2.5 社会経済	57
2.5.1 人口	57

2.5.2	土地利用	57
2.5.3	農業	59
2.5.4	灌漑状況	73
2.5.5	社会基盤施設	85
2.6	被害の状況	91
2.6.1	被害記録(67年~76年)	91
2.6.2	警戒避難	93
2.7	災害危険区域	99
2.7.1	災害の区分	99
2.7.2	Nuée Ardente, Lahar, Banjir の領域区分	99
2.7.3	Lahar, Banjir 氾濫危険区域	110
2.8	生産及び流出土砂量	116
2.8.1	Type-I地区の生産・流出土砂量	116
2.8.2	Type-II, III地区の生産・流出土砂量	128
3.	防災基本計画	132
3.1	計画目標	132
3.2	地域防災計画	135
3.2.1	計画地域区分と対策	135
3.2.2	施設計画試案	165
	A. Type I (K. Krasak)	181
	B. Type II (K. Woro)	200
	C. Type III (K. Boyong)	210
3.3	河川のトラブルスポット対策	216

3.4 評価	ページ 222
3.4.1 経済評価	222
3.4.2 社会評価	246

Appendix

1. 調査日程	1-1
2. 調査関係人員	2-1
3. 工事単価及び工事費	3-1
4. 砂防施設計画図	4-1
5. アネクト項目	5-1

1.1 目的

本年度の調査はメラヒ砂防基本計画策定調査(1977~1979年度)の中間年度として、計画策定に必要な基礎的資料の収集解析並びに計画試案の作成である。

主な調査目的は次の通りである。

1. 1977年度及び1978年度に収集した基礎的資料(地形、地質、木理・木丈・河川・社会・経済及び災害)の整理・解析を行い、当該地域の特徴・特質について把握する。
2. 上記結果のもとに計画の基本となる計画条件及び計画目標について設定する。
3. 又、Type I・II・IIIの地域の特徴すなわち K. Krasak, K. Woro, K. Boyongiについて具体的な砂防施設計画試案を作成する。
4. K. Progo, K. Opakのトラブルスポット対策を設定する。
5. 計画試案についてその経済的効果、社会的効果について検討し、計画策定の基礎とする。

1.2 調査の範囲

調査地域は次の範囲である。

- (1) K. Pabelan と K. Progo 及び K. Woro と K. Lusah の間にある
支川
- (2) K. Lusah が K. Denkem に合流する地点までの K. Woro
- (3) K. Progo と K. Opak の河口までのトラブルスポット

1.3 調査項目

本年度の調査項目は次の通りである。

- (1) 木理・木丈の調査

- a) 計画洪水流量の決定
- b) 河床変動と流過能力の調査
- (2) 河川調査
 - a) 氾濫面積と被害のタイプ
 - b) K. Progo, K. Opak のトラブルスポット
 - c) 対策の決定
- (3) 氾濫危険区域調査
 - a) Lahar / Banjir 災害の調査
- (4) Lahar 堆積物, 土質, 地質調査
 - a) 1969年流出土砂量の算定
 - b) 1977年~1978年の年流出土砂量の算定
 - c) 計画流出土砂量の決定
- (5) 社会・経済調査
 - a) 地域の一般的・社会経済調査
 - b) 地域の農業調査
 - c) 防災対策の効果の評価
- (6) 航空測量調査

Type-I地区 (G. Merapi 頂上を含む 156km²)

1:10,000

- (7) 防災計画調査
 - a) 計画目標の設定
 - b) 計画基準の設定
 - c) 計画地域区分
 - d) 警戒避難調査
 - e) 灌漑調査

(8) 砂防施設計画調査

a) 砂防施設の効果

b) 砂防施設計画 (K. Krasak, K. Weir, K. Boyong)

c) 建設費

2. 地域的一般概要

2.1 地形

計画地域は G. Merapi (2968^m) の西～南山麓にあたる。G. Merapi はコニテ型²⁾の活火山であるが、中腹部(北東～東側)を古い山体が取り囲んでいるので、現在の火山活動の影響は南西部に顕著にあらわれている。

G. Merapi を水源とする主な河川は、①西～南西に流下して K. Progo に入る K. Pabelan, K. Blonkeng, K. Patih, K. Bebung, K. Krasak, ②南に流下して K. Opak に入る K. Boyong, K. Kuning, K. Gendol, 及び ③ K. Denkeng に入る K. Woru がある。

地域を地形的に区分すると、上部斜面(2000m以上) 中部斜面(500～2000m), 下部斜面(500m以下)に分けられる。(Fig-2.1.1, 2) 各々の特徴は次の通りである。

上部斜面は火山活動の影響を直接受けている地域であり、火山碎屑物や、溶岩により形成されている。地形はきわめて急峻で35°以上を示している。又この地域は常に新しい噴出物による影響により、植生はみられず、火山碎屑物の斜面には無数の細いガリーが飛垂している。現在南西側に火口が開き、長大な崩壊斜面が形成され、火山噴出物はほとんど南西山麓の Type-I の諸河川に流入している。

中部斜面は新ラピ火山噴出物から成る斜面と、古ラピ火山の形成した山体からなり、複雑な地形を形成している。この地域は大噴火の際には噴出物

(Nuée Ardente, Lahar)の流下によって谷が埋められたり、河道が変移したりするが、噴火活動が弱まると、堆積物は侵食され、たゞさら深い谷が形成される。この結果深い谷が G. Merapi を中心に放射状に形成されている。地形面は小起伏に富み、緩斜面と急斜面が繰返し現われ、下方に行くに従って次第に勾配が小さくなっている。この急斜面は G. Merapi 山頂から同心円状に分布している。

下部斜面は中部斜面の深い谷が消失する地域から下方に広がり、この地域は起伏の少ない緩く傾いた 3° 以下の平坦面を形成している。下部斜面を火山噴出物の堆積物によって形成された地形であり、また K. Boyong, K. Kuning, K. Woro では扇状地形が認められる。

G. Merapi の火山噴出物及び堆積物に伴う Lahar/Banjir を火山山麓地形形成の一過程としてとらえると、地形的特徴と近い過去の Lahar/Banjir との関係から、地形条件と Lahar/Banjir はよく対応を示すことが明らかになった。地形からみた主な氾濫地帯は ① 河川勾配の変化点及び屈曲点 ② 斜面勾配変化地域であり、又河谷を溢流した Lahar/Banjir は旧河道、浅い谷、付近に発達する中小の河谷に流入し、再度氾濫を繰り返す傾向を示している。

Fig. 2.1.1 Idealized Profile of the River and Slope

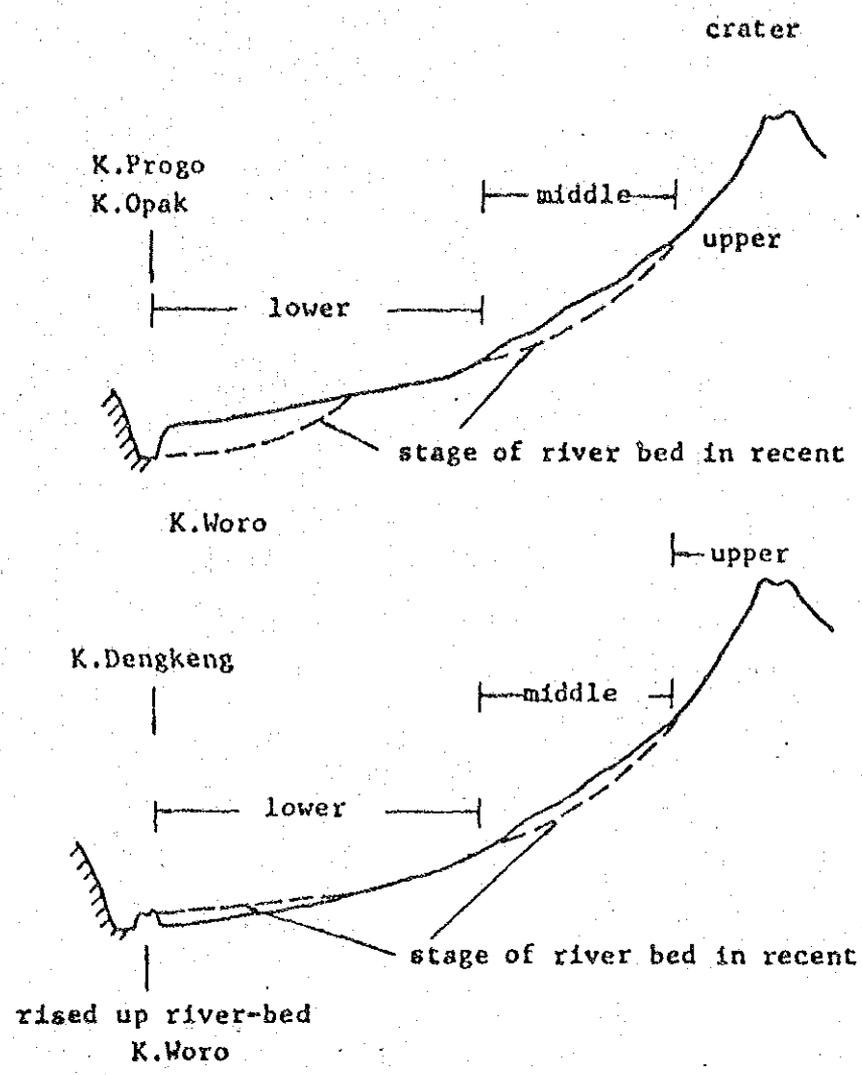
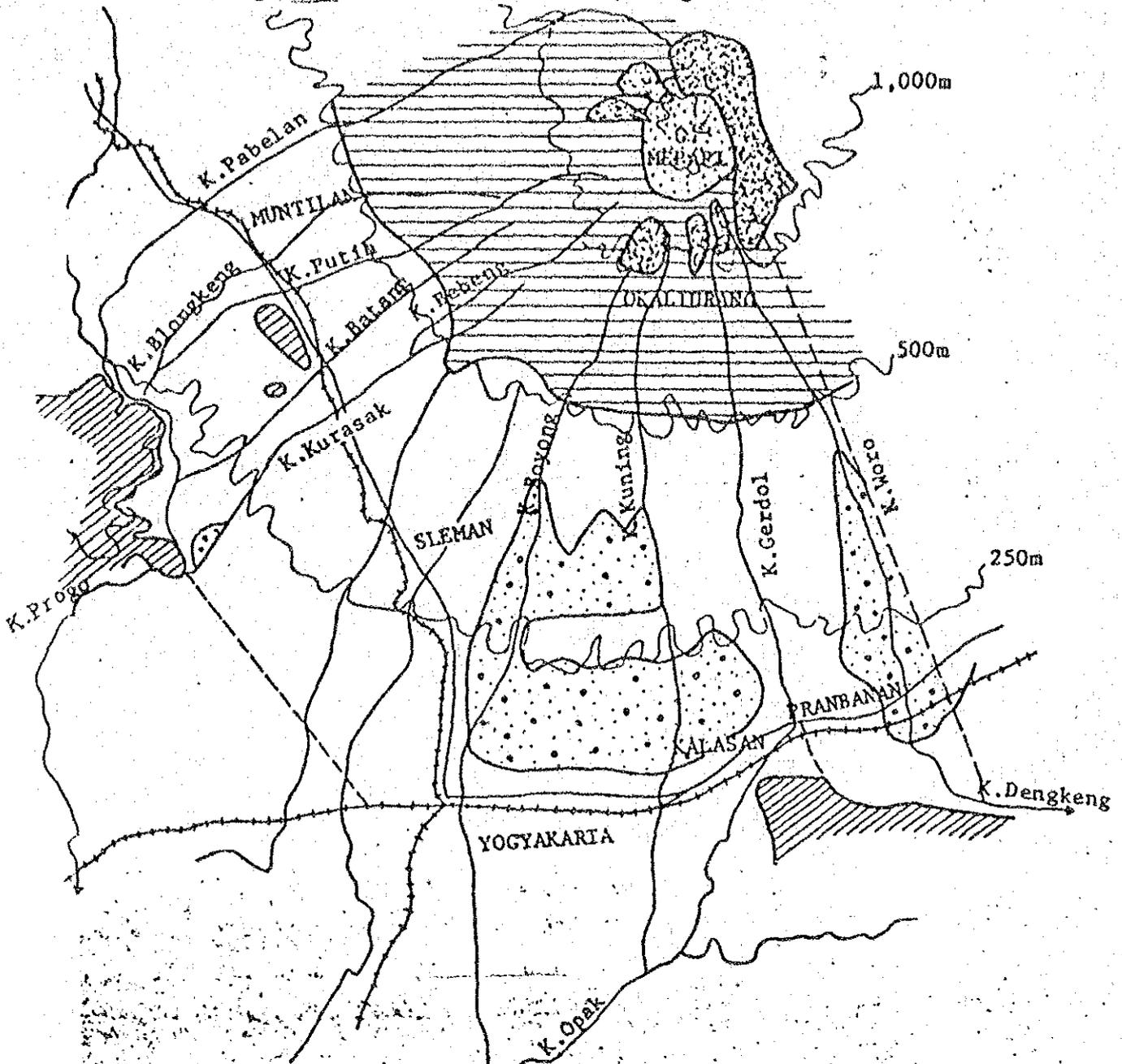


Fig. 2.1.2 General Idea of Morphological Condition



Legend

-  Upper Mountain Side
-  Middle Mountain Side
-  Foot slope Zone
-  Fragment of old Mt. MERAPI Zone
-  Hilly Area
-  Fan like Zone

2.2 地質

2.2.1 地質層序

メラピ火山周辺の地質は、次の5グループに大別される。

1) 最新期メラピ火山噴出物

噴出時代の明らかには1888年以後の溶岩とその碎屑物および1930年以後のLahar堆積物を主体とするグループ。

2) 段丘等未固結堆積物

主として河道内に分布する現河床堆積物や段丘堆積物と下流部の扇状地堆積物および沖積層からなるグループ。

3) 新期メラピ火山噴出物

時代未詳(1930年以前)のLahar堆積物と溶岩流からなるグループ。

4) 古期メラピ火山噴出物

古メラピ火山の溶岩流、貫入岩、火山碎屑岩からなるグループ。

5) 基盤岩類

メラピ火山の基盤をなす第三紀の火山岩類および堆積岩類。

以上の結果をまとめると Table 2.2.1 「地質層序表」のごとくなる。

2.2.2 メラピ火山の活動史

メラピ火山は歴史時代に入ってから、数多くの噴火を繰返している。サンスクリットや古イタリヤの物語を刻んだ石碑には1006年に大洪水による被害が記されている。

また記録に残っている土砂災害に伴う大規模な噴火には1672年に熱雲と火山泥流による死者3,000名とがある。R. W. Bemmelenは1800年以降のクラピ火山の活動史をとりまとめた。これに近年の記録を加えて整理したのがTable 2.2.2である。これによれば1~7年の活動期間と1~6年の休止期間が繰返されている。これらの活動やそれに伴ったであろう災害の規模などは近年のものを除いて明確ではない。

近年の溶岩の流出方向を記録からまとめるとFig-2.2.1のごとくなる。火口からNW-W-SW-W-NW-W-SWと変遷している。SE方向には旧クラピの火口壁が残っており、ある程度溶岩の溢流を規制すると考えられるので今後とも、Nuée Ardenteの危険区域はSW-W-NWの方向が主体と仮定する。

2-2-3

生成物の名称

R. W. Bemmelen, I. Suryoなどの記述をもとに、現地における堆積物の観察をふまえて、日本チームがマスタープラン策定調査で使用する火山生成物の名称は次のとおりである (Fig. 2.2.2 参照)。

① 阿波型 (Avaranche Type) の Nuée Ardente

クラピ火山の活動期において、粘着性溶岩が火口の縁から流出し溶岩舌を形成する。その前縁が崩壊し、赤熱した溶岩塊が細片化されつつ、本質及び類質火山

破屑物をまき込んで岩屑はたれとなり、煙や dust を伴って流下する。R. V. Benimelenによると、溶岩塊の量が 100m^3 以下だと単なる岩石はたれとなり、煙や dust は小さいが、 1000m^3 以上だと熱と細片化された溶岩片も多くなり Nuée Ardente 的な外観を呈する。これらの自熱した火山破屑物の流下をインドネシア語で Lahar と呼ぶ。

はたれ型の Nuée Ardente は、通常火口から $1\sim 3\text{km}$ まで到達するが、大きなものでは 9km にも達する。またはたれ型の1回の堆積厚はせいぜい 1m 前後である。

② 噴火型 (Explosion Type) の Nuée Ardente

活動の最盛期やガスの多い時期に、溶岩塊は火道から放出され、その一部は火口壁をこえて落下し、火山破屑物をまき込んで熱雲を伴う自熱岩屑流となって流下する。また堆積厚は最大でも 50cm 程度である。なお①型と②型の Nuée Ardente の相異点は②型、つまり噴出型は常に上昇するカリフラワー状の噴煙を伴うという点である。

③ Lahar

Lahar はもともとクルー火山とメラピ火山の火山泥流に対して用いられたインドネシア語である。

メラピ火山の Lahar はすべて降雨に起因する。噴火の最中あるいは直後に堆積した熱い火山噴出物に降雨が加わった場合、火山岩塊や火山灰が高密度の飽和状態となって流下するものを、また熱を有するため Hot Lahar と呼ぶ。またこの現象が冷えた状態で発生した場合は、Cold Lahar と呼ばれる。集合運搬の形態をとる事、

大～巨礫を多数混入する事、堆積物は厚くかつ層状構造をもたない事、直進性がある事など日本以外の土石流と非常に類似する。

(4) Banjir

日本の土石流や洪水流に相当し、非常に水分が多く、主として、掃流形態及び掃流状集合流動形態で流下する。その堆積物は、小～中礫や砂を主体とし、堆積深はうすくかつ明瞭な層状構造を有する。破壊的な力はないが、広範に氾濫するに於て耕地等に多大の被害を与えることが多い。

2-2-4 土質

主として K. Krasak 及び K. Bebenq で 1977 年、1978 年に実施した(場所は Fig-2.2.3)結果は Table-2.2.3 Fig-2.2.4, 5 に示す。土質の特徴について述べると、

- (1) 比重は上流と下流部とでは大きな差異はみられず、ほぼ 2.75～2.80 であった。これは日本の河床材料と比較して若干高い値であり鉄の含有率が多いためと思われる。
- (2) 間隙率 (Porosity) はほぼ 25%～30% であった。
- (3) 内部摩擦角は 10° ～ 33° とかなりのバラツキが見られるが、この理由はサンプル資料がブルズなためと思われる。
- (4) 粒度分布は 1969 年の Lahar 堆積物は縦断的に変化はみられず、他に比べてシルト分 ($< 0.074 \text{ mm}$) と礫分 ($> 2.0 \text{ mm}$) が多い。しかし現河床堆積物について

は、シルト分が少ないう特徴を有し、K. Krasak や K. Vore の Sandpocket では砂分が 85% 以上を占め、かなり粒度が均等である。

各ヶ所での堆積時代

1977年度

No. I-1	現河床堆積物
I-2	1976年のBanjir
II-1	現河床堆積物
II-2	1976年のBanjir
II-3	1969年のLahar
III-1	現河床堆積物
III-2	1976年のBanjir
III-3	1969年のLahar
IV-1	現河床堆積物
IV-2	1976年のBanjir
IV-3	1969年のLahar
V-1	1976年のBanjir
V-2	" "

1978年度

No. I-1	1976年のBanjir
I-2	1969年のLahar
I-3	" "
I-4	" "
II-1	現河床堆積物
III-1	" "
III-2	" "

Table-2.2.1 地層順序表

最新期 Merapi Volcanics) 最近期 Merapi 噴出物	火山碎屑物 (Volcanic fragment)		火山灰, 火山岩塊, 火山碎 Volcanic ash, block, bomb
	1969年 Lahar 堆積物 (Lahar deposit of 1969)	L3	火山岩塊, 火山灰, 火山砂 etc Volcanic block, ash, sand
	1961年 Lahar 堆積物 (Lahar deposit of 1961)	L2	"
	1930年 Lahar 堆積物 (Lahar deposit of 1930)	L1	"
未固結堆積物 (Unconsolidated deposits)	沖積層 (Alluvial deposit)	Al	砂, 礫, 粘土 Sand, gravel, clay
	段丘堆積物 (Terrace deposit)		礫, 砂 Gravel, sand, etc
	扇狀地性堆積物 (Fan like deposit)	Fl	"
新期 Merapi Volcanics) 新期 Merapi 噴出物	扇狀地性堆積物 (Fan like deposit)	Fu	"
	火碎流堆積物 (Pyroclastics)	YMP	火山角礫, 火山灰 etc Volcanic breccia, ash etc
	溶岩類 (Lava)	YML	兩輝石安山岩質溶岩 Hyperthene-angite andesite lava
古期 Merapi Volcanics) 古期 Merapi 噴出物	ロ-土層 (Loam)	Lo	軽石層を含有するロ-土 Pumice bearing loam
	火山碎屑岩類 (Pyroclastics)	OMP	火山角礫岩, 凝灰角礫岩, 凝灰岩 etc Volcanic breccia, tuff breccia, tuff etc
	溶岩類 (Lava)	OML	含カラン石・シソ輝石・普通輝石玄武岩, 安山岩 Olivine bearing hyperthene angite basalt, andesite
基盤岩類	Bemmelen 累層 (Bemmelen formation)	Tb	安山岩質溶岩, 角礫岩 Andesitic lava, and breccia
	Semilir 累層 (Semilir formation)	Ts	凝灰角礫岩, 凝灰岩, 泥岩 Tuff breccia, tuff, claystone

Table 2.2.2 History of Volcanic Activity of G. Merapi

Period of activity	Date of eruption and/or nuée ardente	Duration in years	Period of dormancy	Remarks
1806-07		1		
		2	1807-09	
09-10		1		
		1	10-11	
11-12		1		
		6	12-19	
19-23	23-31 Jul. 22	4		Lahar to Pabelan, Blongkeng in 1822
		8	23-31	
31-38		7		
		1	38-39	Lahar to Blongkeng in 1937.
39-40		1		Accumulated on valleys
		5	40-45	3 km long, 60 m wide and 25 m thick
45-49	16-18 Nov. 45	4		
		5	49-54	
54-56	29. Aug. 54 Oct. Nov. Dec. 55	2		
		5	56-61	
61-67	Apr. 61. 23 May 63	6		
		4	67-71	
71-72	24 Apr. 71, 24 Sept. 71	1		Lahar down to the national road of Blongkeng
		4	72-76	
76-77	Aug. 76 ~ Jun 77	1		
		4	77-82	
82-85	Dec. 83 12 Nov. 85	3		
		1	85-86	
86-89	31 Mar-3 May 86 19 Feb-19 Mar 88, 27-29 Mar 89	3		
		1	89-90	
90-91		1		
		1	91-92	
92-94		2		
		4	94-98	
98-99		1		
		1	99-1900	

15

Period of activity	Date of eruption and/or nuée ardente	Duration in years	Period of dormancy	Remarks
1900-09	18 Apr. 04, 1 Nov. 05. 17 Dec. 07	7 1	1907-08	
08-13	2 Nov. 11, 23 Jun. 31, Jul. 13	5 1	13-14	
14-16	1 Jul. 14, 5 May Jun. 16	2 1	16-17	
1917-19	16-18 Jun. 17, 16 Sep. 17 8 v 10 Mar. 18, Aug. 18 28 Feb v Mar. 19	5	1919-24	
20-24		4 2	24-26	Lahar to Blongkeng, Batang and Senow in 1920
26-27	5 v 11 Feb. 27, 28, Apr. 27	1 2	27-30	A major disaster due to large-scale nuée ardante and Lahar in 1930 to 1931
30-35	May Jun. 25 Nov. 1930 18-19 Dec. 30. 2 Jan. 31 27, Apr. 31. 17 Feb. 32. 21 Apr. 34	5 4	35-39	
39-40		1 2	40-42	lava dome 40
42-43	5 v 11 Apr. 43	1 4	43-47	
47-49		2 4	49-53	Lava 48
53-55	22 Mar. 15, Apr. 53, 30 Jul. 53, 18-21, Jan. 54	2 2	55-56	Frequent occurrence of Lava avalanches. Nuée Ardante to Trising and Senow in 1953 and to Apu in 1954
56-58	3 Jan. 56	2		Large damage by nuée ardante avalanche and Lava to Apu in 1956 and 1957. Frequent Lava avalanches in 1957 and 1958
60-61		2 1	58-60	Lahar to Batang and Blongkeng

Period of activity	Date of eruption and/or nuée ardente	Duration in years	Period of dormancy	Remarks
67-69	23 Sept. 7~8 Oct. 67 7~9 Jan. 69	2 6	61-67	Lahar to Blongkeng and Krasak
			3	" "
72-76		4		Lahar to Blongkeng and Batang

Fig. 2.2.1 Direction of Lava Flow in Recent Years

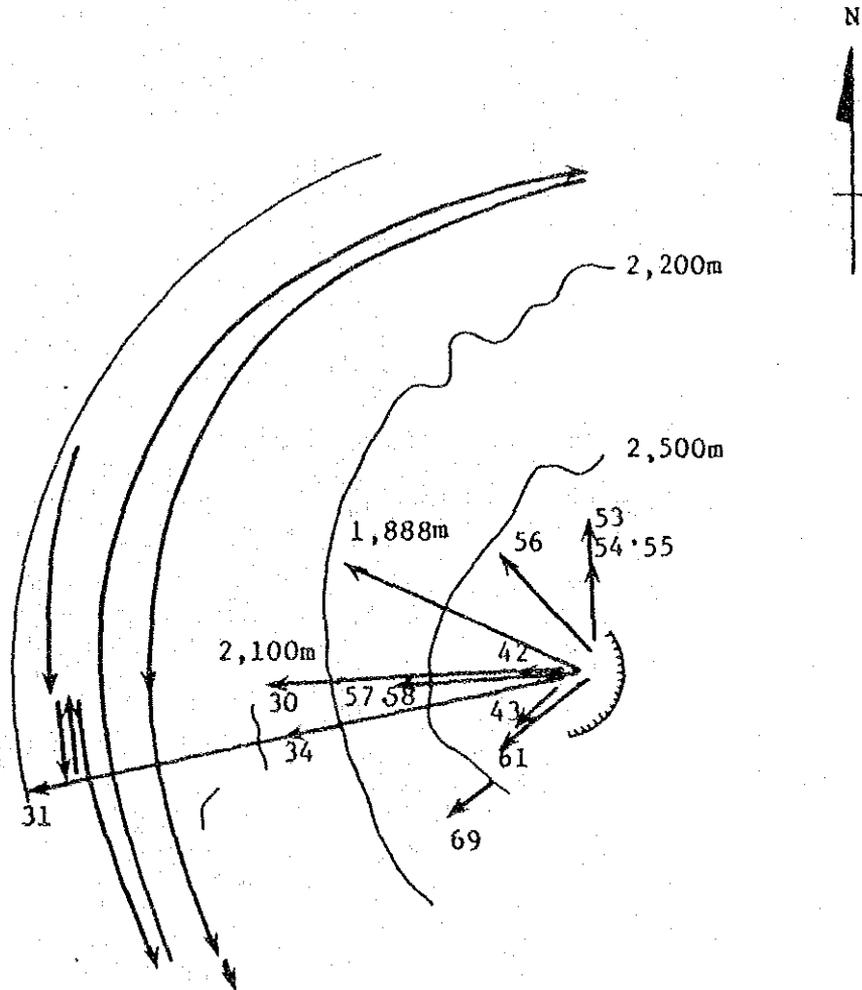
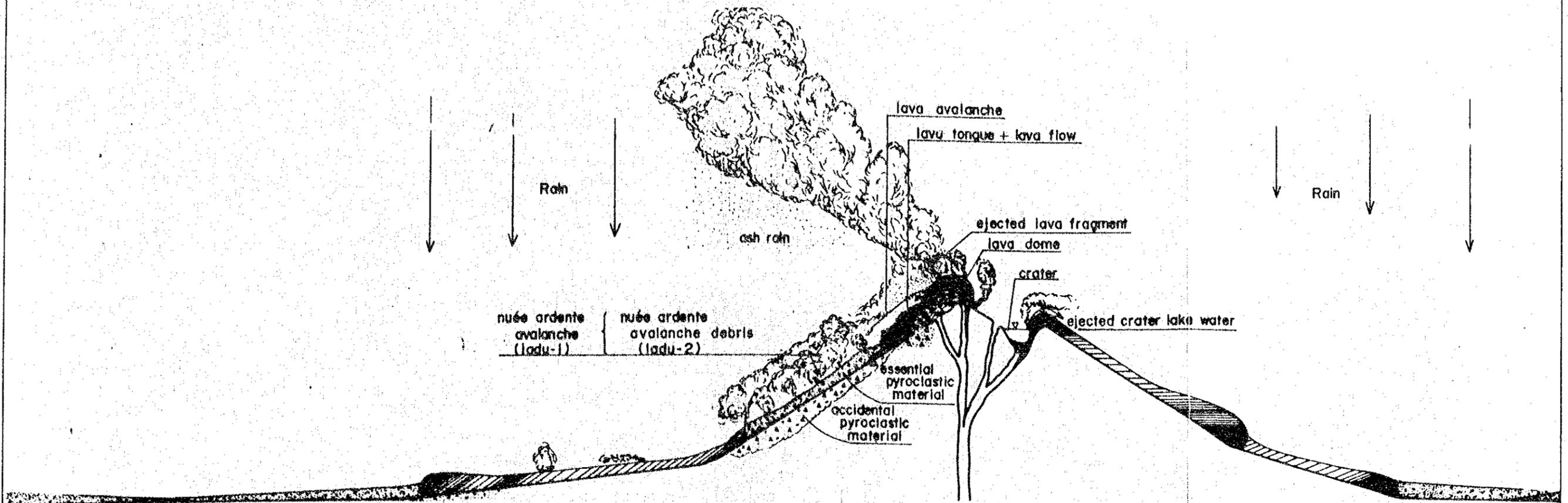


Fig. 2.2.2 模式的土石流状態名称図
 (Figure showing the schematic states of Lahar)



気象条件 (weather condition)	Wet		Dry	Dry + crater water	Wet	
連続的に流下する場合の名称 (names of Lahar in a state of continuous motion)	banjir		rain lahar (secondary lahar)	nuée ardent avalanche (nuée ardente) (avalanche debris)	eruption lahar (hot mud flow) (primary lahar)	secondary mud flow (secondary lahar) banjir
日本語 (Japanese)	洪水流 ← 土石流		土石流	pyroclastic flow (火砕流)	volcanic mud flow (火山泥流) lahar (土石流) → 土石流 (泥流) → 土石流	
運搬型式 (Type of sediment)	A. 各個運搬 (掃流運搬) (浮流運搬) Individual objects (bed load) (suspended load)		B. 掃流状集合運搬 (tractive-mass (bed load and massive flow) C. 集合運搬 (massive flow)	debris deposit (岩屑堆積物) pyro-volcanic deposit (ladu-3) 火山碎屑物 特に谷底に堆積したもの (ladu-4)	lahar deposit (泥流堆積物)	lahar deposit (泥流-土石流堆積物)
活動範囲 (Range of Activity)	A		B	C		

Fig-2.2.3 LOCALITY MAP OF TEST PIT

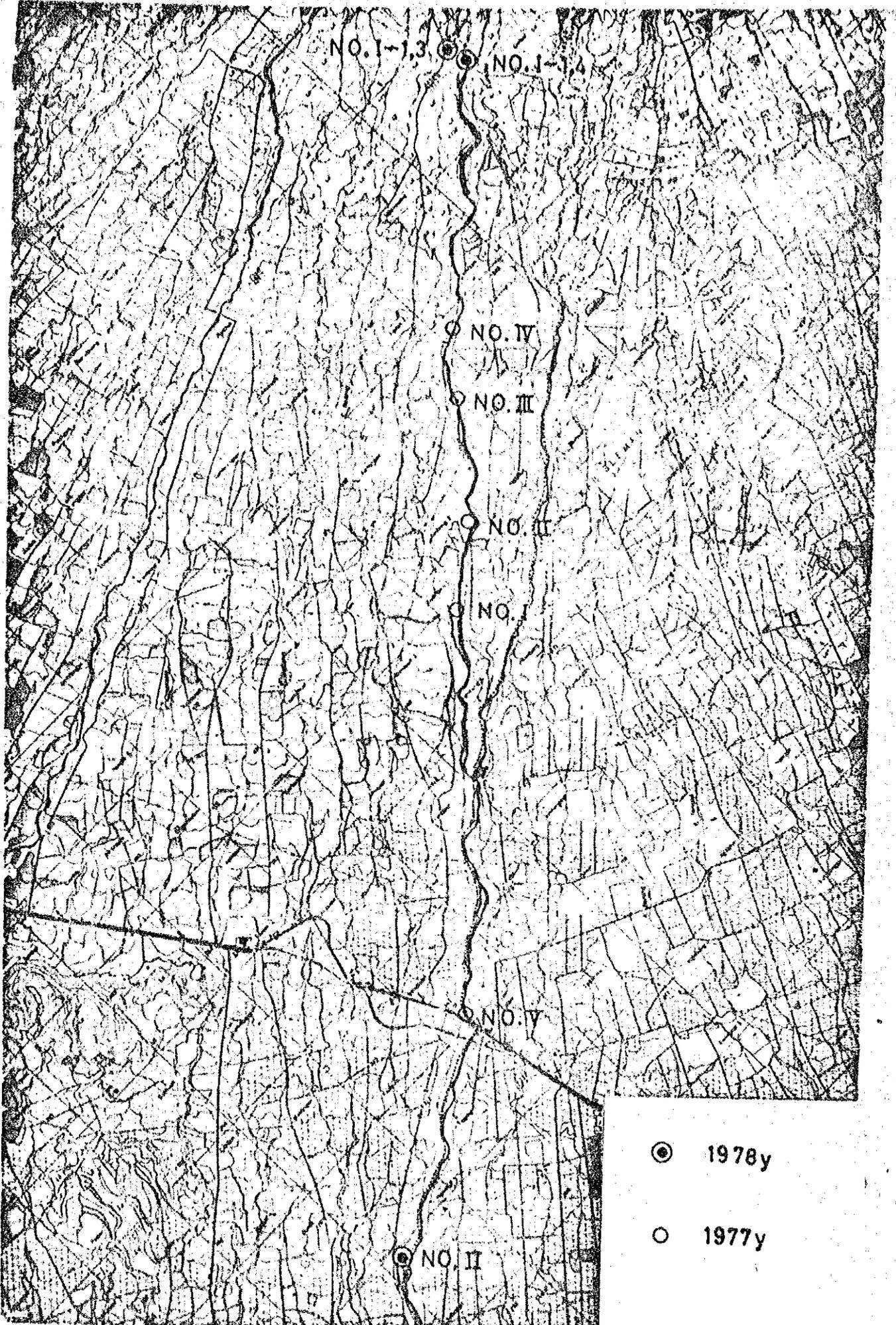


Table - 2.23

SUMMARY OF SOIL TEST (1978 y)

Location and sample No.		K. Bebung				K. Krasak	K. Word		
		I-1	I-2	I-3	I-4	II-1	III-1	III-2	
Grain size	Gravel (> 2.0mm) (%)	37.3	38.8	45.0	64.9	10.3	3.6	11.4	
	Sand (0.074 ~ 2.0mm) (%)	58.4	54.0	48.2	32.5	88.7	93.3	84.0	
	Silt and clay (< 0.074mm) (%)	4.1	7.0	6.9	2.3	1.0	3.1	4.7	
Water content w (%)		3.93	7.62	4.71	5.01	8.01	2.60	3.29	
Specific gravity G _s		2.642 (2.839)	2.781 (2.771)	2.797 (2.759)	2.797	2.736	2.900	2.783	
Compaction test	Moisture content w (%)	11.95	12.92	13.06	14.37	16.34	12.59	12.59	
	Bulk density ρ _t (γ _m ³)	2.195	2.24	2.25	2.258	2.10	2.234	2.223	
	Dry density ρ _{dr} (γ _m ³)	1.955	1.98	1.99	1.974	1.80	1.77	1.77	
	Void ratio e	0.35	0.41	0.40	0.42	0.52	0.64	0.57	
Direct shear	Compact condition	φ	35°00'	57°23'	55°37'	52°25'	37°27'	45°57'	47°07'
		c	0.38	0.16	0.06	0.00	0.25	0.09	0.15
	Loose condition	φ	27°	24°	10°	10°	20°	33°	15°
		c	0	0	0	0	0	0	0
Sampling total weight W (kg)		1569.5	979.6	767.9	1031.8	4.976	3.994	3.485	
Cubic volume V _s = $\frac{W}{2.8}$ (1000cm ³)		560.5	350.0	274.3	368.5	1.78	1.43	1.24	
Capacity V (1000cm ³)		793.6	473.0	366.0	511.0	2.90	1.89	1.51	
Porosity $n_a = \frac{V - V_s}{V} \times 100$ (%)		29.4	26.0	25.1	27.9	38.6*	24.3*	17.9*	

() of specific gravity are the data of Japanese Laboratory.
 * data is not sure caused by a little sample

Fig-2.2.4

GRAINSIZE ACCUMULATION CURVE (1978y)

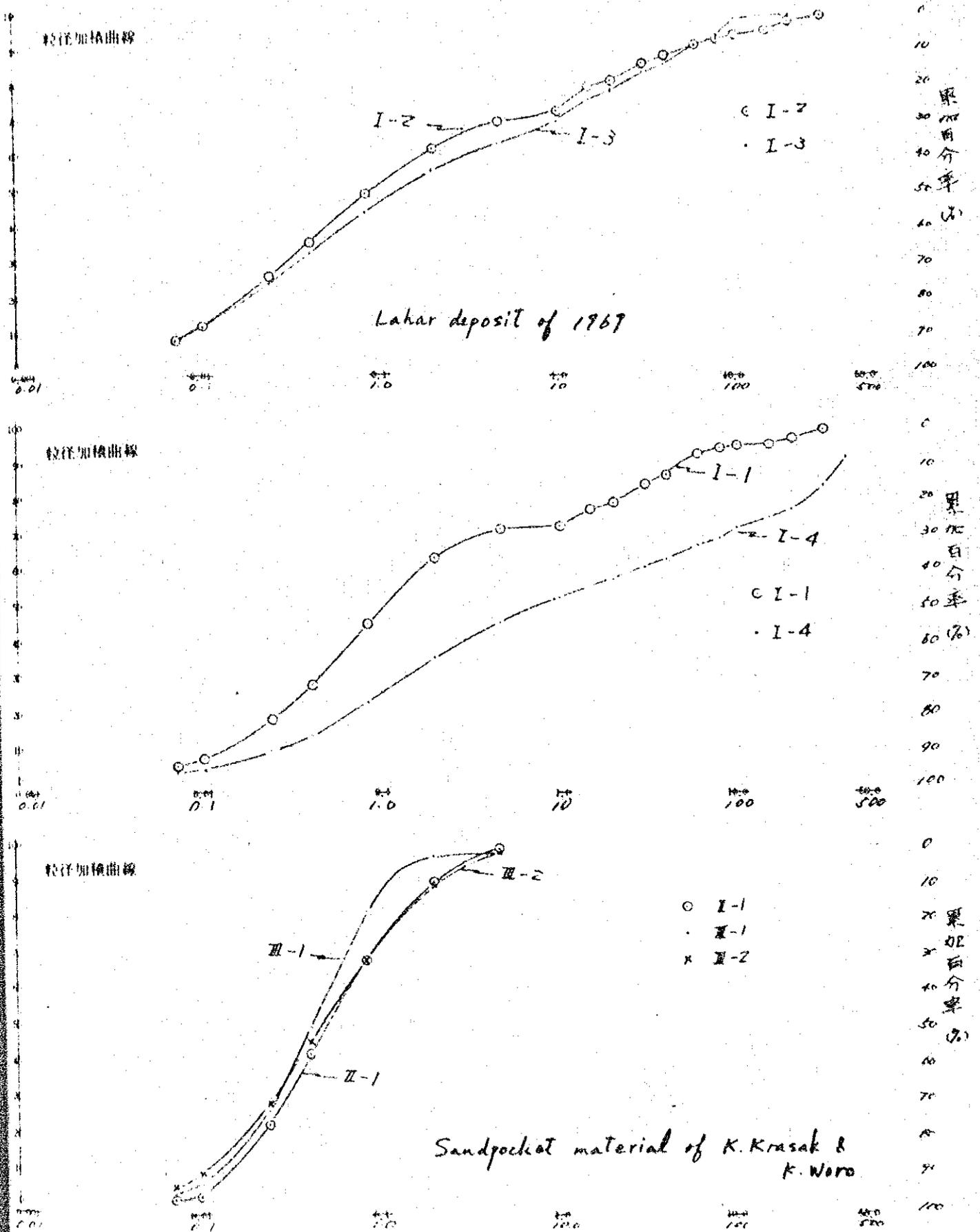


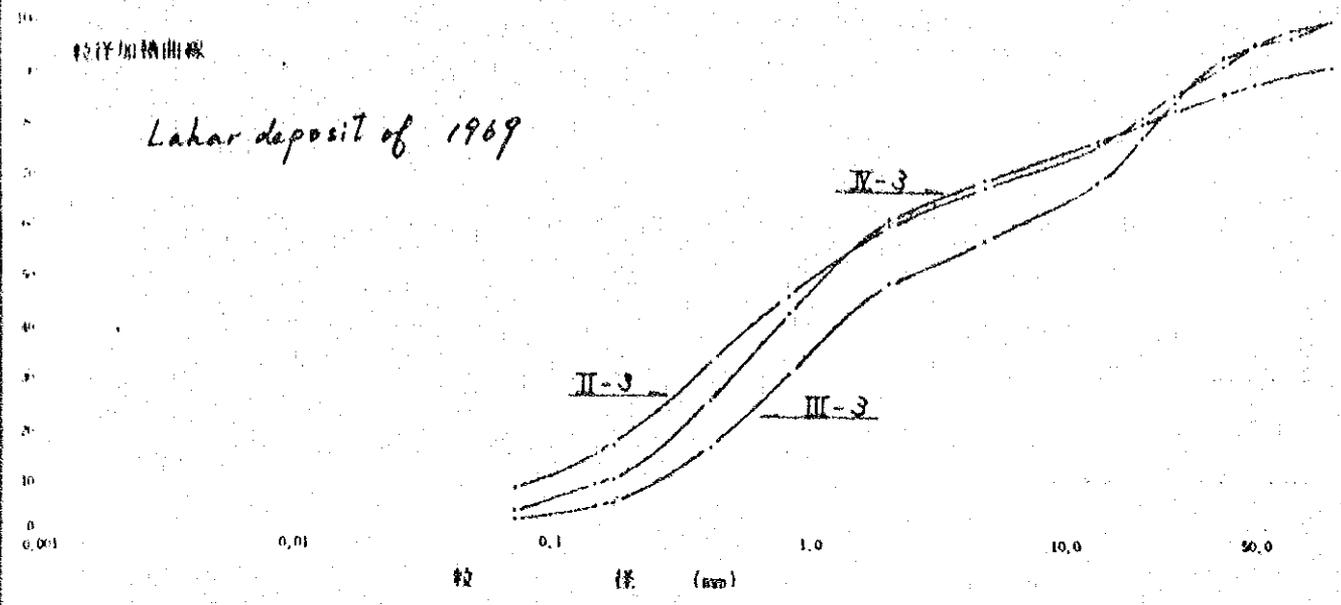
Fig-225

GRAINSIZE ACCUMULATION CURVE (1977,)

21

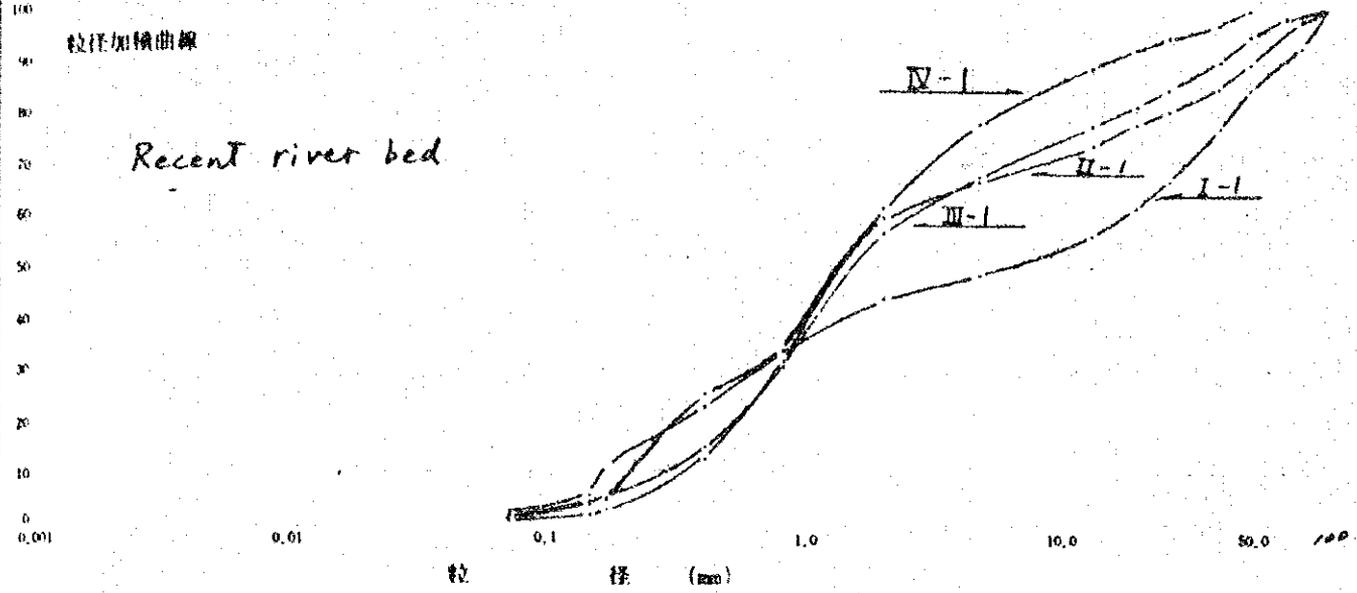
粒径加積曲線

Lahar deposit of 1969



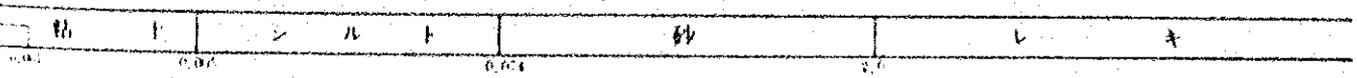
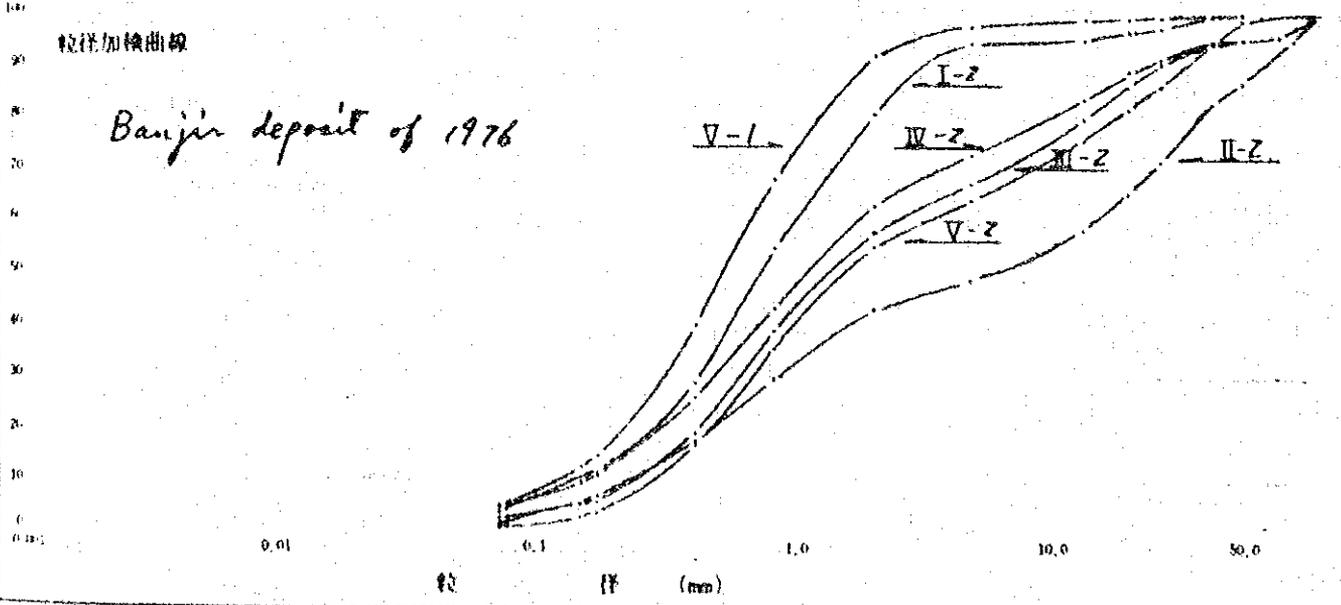
粒径加積曲線

Recent river bed



粒径加積曲線

Banjir deposit of 1976



only less than 100mm

2.3 水理・水文

2-3-1 降雨

計画地域の降雨には次のような特徴がある。

(1) 季節別降雨量

当地域の季節は乾期と雨期に区分され、乾期は5月～10月、雨期は11月～4月となっている。

年間の降雨量は、 $1,500. \text{mm}$ ～ $4,500. \text{mm}$ であり、降雨量の80%は雨期に降っている。

(2) 降雨量の地域分布

G. Merapi 周辺の降雨量は等高線に沿ってほぼ等降雨量分布し、東西方向についてもほぼ一様な地域分布となっている。

K. Denkeng 中流域における雨域の調査では、日雨量による雨量は $50 \sim 100 \text{km}^2$ の範囲にあるが、頻度的に多いのは、雨域が $30 \sim 50 \text{km}^2$ の降雨である。

(3) 降雨量の高度分布

年間降雨量の高度分布は標高約 $1,500 \text{m}$ までは、高度と共に増加しているが、高度が $1,500. \text{m}$ 以上となると、逆に減少傾向を示している。標高と降雨量の関係はおおよそ次の通りである。

高 度	降 雨 量
$100. \text{m}$	$2,000. \text{mm}/\text{year}$
$1,500. \text{m}$	$4,000. \text{mm}/\text{year}$
$3,000. \text{m}$	$3,000. \text{mm}/\text{year}$

(4) 日雨量の時間分布

1日で午後の15:00~17:00の2時間に降雨が集中し、
14:00~18:00の4時間に日雨量の約60%が降っている。

(5) 確率日雨量

Syumbung を中心に Gumbel 法で解析した確率日雨量
の結果を次の Table 2.3.2 と Fig. 2.3.1, 2.3.2 に示す。

(5) 時間降雨強度

確率日雨量と以下の式で示される降雨強度曲線 (Fig. 2.3.3)
とを組み合わせることで、確率時間雨量が求められる。

$$RA = \frac{109.48}{t + 1.353}$$

ここで RA: 降雨強度 (%/hr)

t: 降雨継続時間 (hr)

なお、上式から得られる中央集中型のモデル降雨を Fig.
2.3.4 に示す。

Table 2.3.1 Probable Rainfall Area and Number of Stations

Case	Probable Rainfall Area	Number of Stations	Remarks
1	Point rainfall	1	Srumbung station
2	78km ² (D = 10km)	4	
3	314km ² (D = 20km)	9	
4	707km ² (D = 30km)	16	
5	2,247km ²	31	Whole of K. Progo basin
6	4,383km ²	55	Whole of K. Progo; K. Opak; K. Denkeng

D: Diameter from center of point rainfall's station.

Table 2.3.2 Relation Between Probable Daily Rainfall and Area
(unit=mm)

Period (yrs)	S = Number of stations and A = Area in km ²					
	S = 1 A = 1	S = 4 A = 78	S = 9 A = 314	S = 16 A = 707	S = 31 A = 2,247	S = 55 A = 4,383
2	113	77	54	47	46	43
10	164	102	92	77	76	72
50	209	124	109	103	102	97
100	228	133	120	114	113	108
150	238	138	126	121	119	114
200	247	142	130	125	124	119

Fig. 2.3.1 Probable Daily Rainfall
(Point Rainfall, Srirangam)

Probability period
(year)

200
100
50
20
10
5

50 70 100 200 300

daily rainfall
(mm)

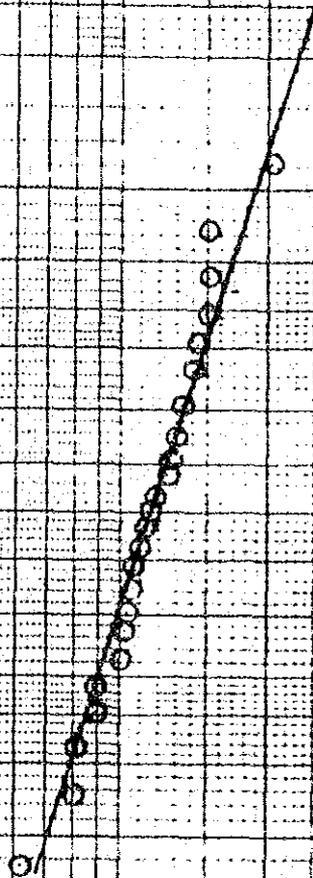


Fig. 4-3-2 Relation Between Probable Rainfall and Area (ft)

probable rainfall depth (mm)

250
200
150
100
50

Note

- : Probability period 200 Year
- : " " 100 "
- △ : " " 50 "
- : " " 30 "

500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000

Area (km²)

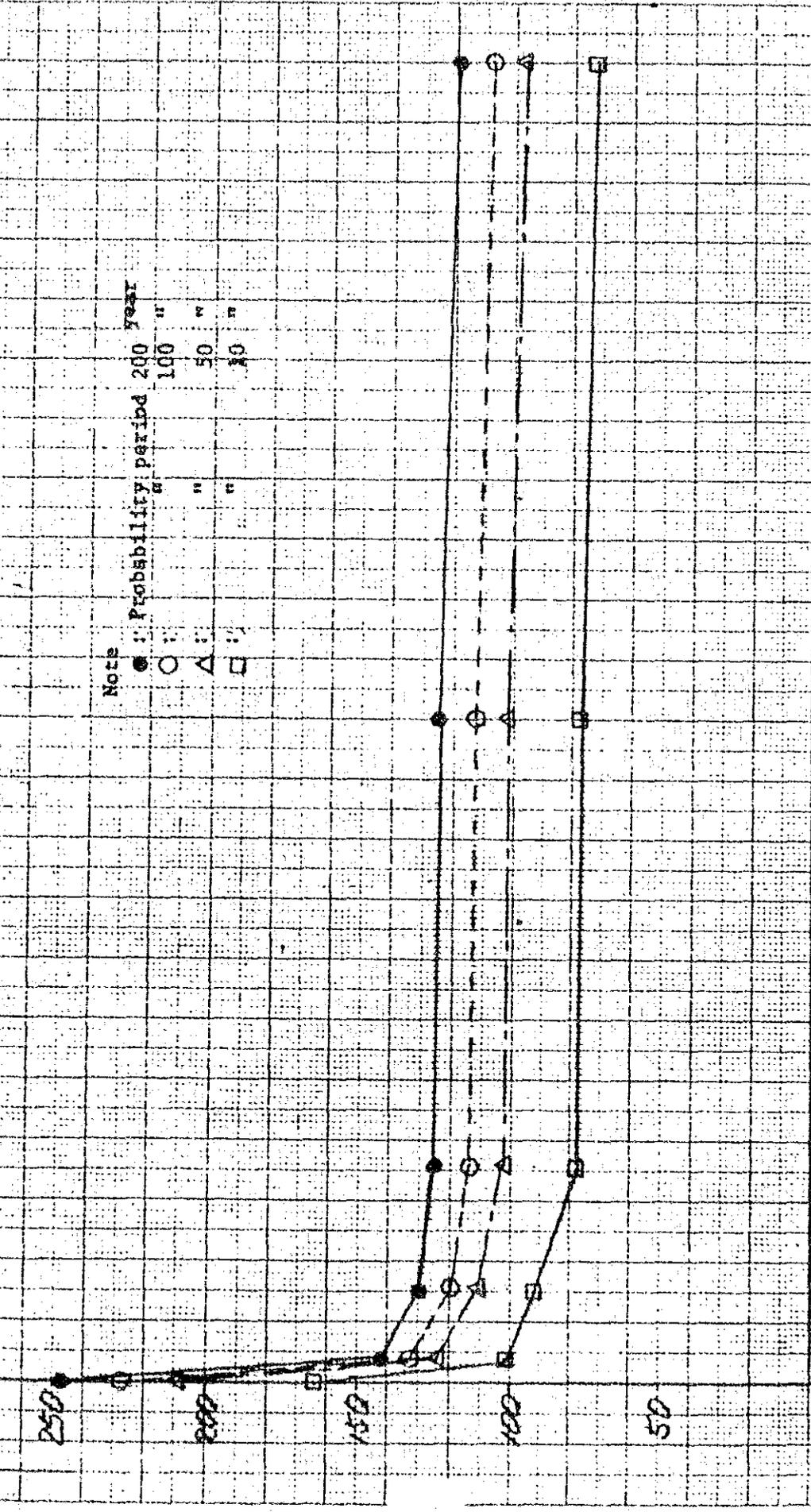


Fig. 2.3.3 Hourly Rainfall Intensity Curve (Z/hr)

rate of
rain fall depth

(%/hour)

50

40

30

20

10

1 2 3

6

12

18

24

Duration of peak rainfall (hours)^c

Equation: $R_t = \frac{108.48}{t+1.359}$ (Z/hour)

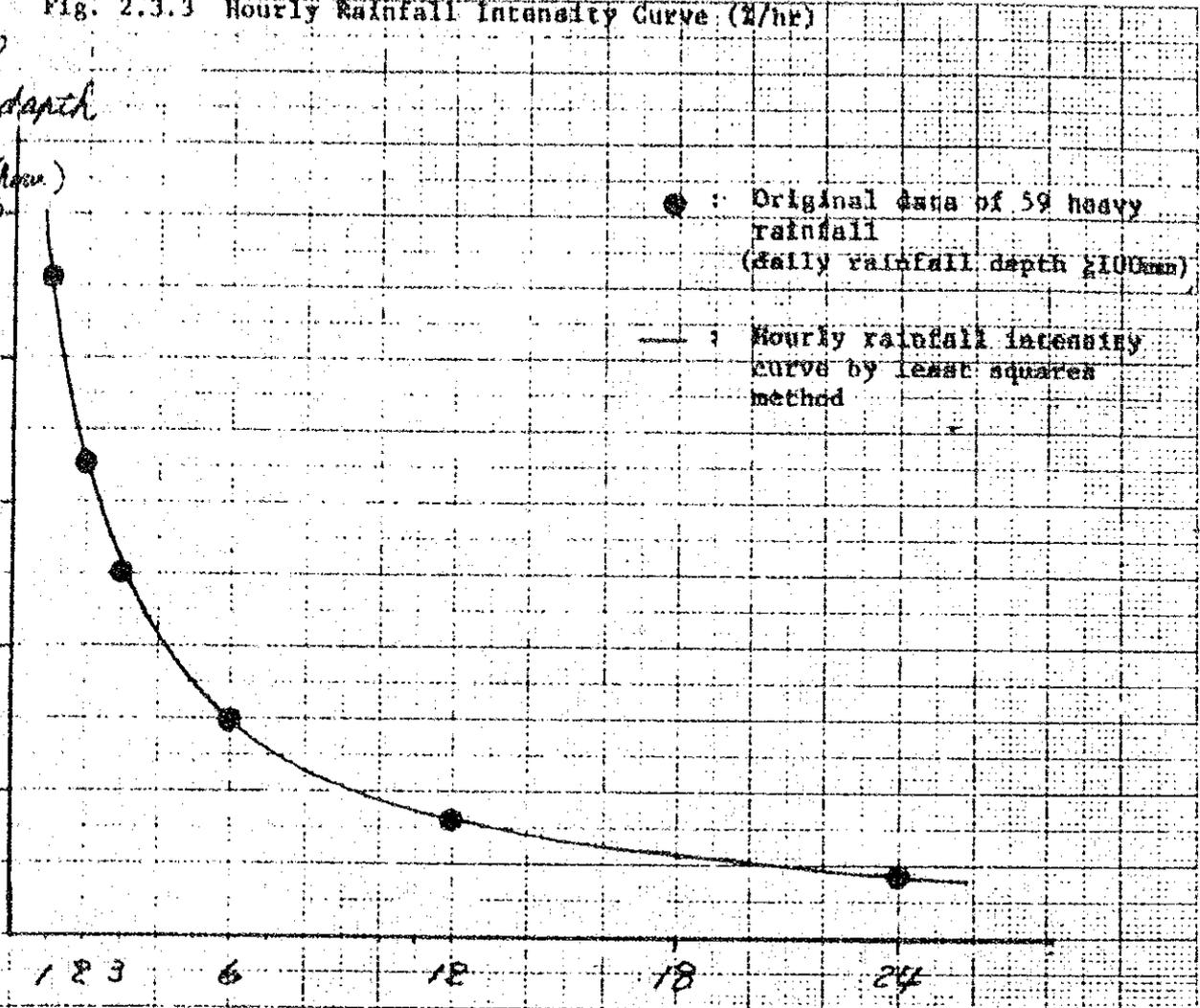
where

R_t : intensity of rainfall (Z/hour)

t : duration from the onset rainfall (hours)

● : Original data of 59 heavy rainfall (daily rainfall depth $\geq 100mm$)

— : Hourly rainfall intensity curve by least squares method



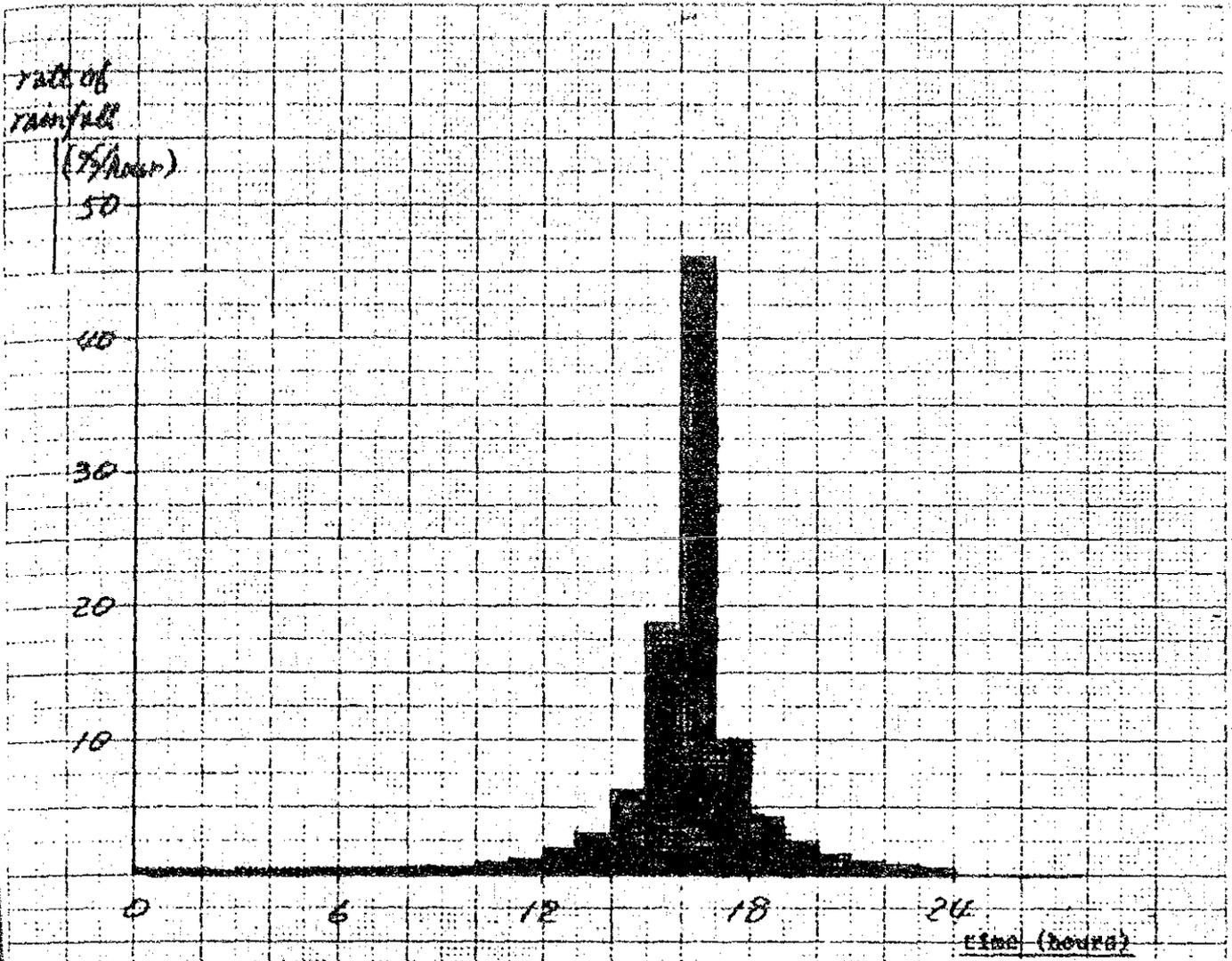


Fig. 2.3.6 Design Hydrograph by Hourly Rainfall Intensity Curve

