6.4 建設材料

6.4.1 Nam Ngaoダム

コンクリート表面しゃ水壁型ロックフィルダムが採用されている。

(1) ロック材料およびコンクリート骨材

－ ロック材料

ロック材料およびコンクリート骨材採取候補地点として、Fig.6-10に示したMae Lui 沢右岸の尾根を選定した。この地点の地質は石灰岩と砂岩と頁岩の互層である。石灰岩は新鮮、堅硬で塊状であり、一部には溶解空隙が認められる。一方、砂岩と頁岩の互層は若干風化していると思われる。地表地質踏査結果によれば、表層堆積物は薄く、露頭において堅硬、新鮮な岩石が観察され、ロック材料あるいはコンクリート骨材として概ね良好と判断される。

－ コンクリート骨材

コンクリート骨材としては、上記の Mae Lui沢右岸尾根に分布する石灰岩から製造する他に、下記(2)のトランジション材料として調査する河床堆積物についても検討することが考えられる。また、細骨材については、Ngao川とYuam川の合流点付近に広く分布する河床堆積物の砂が対象として考えられる。

(2) トランジション材料（フィルター材料）

トランジション材料としては、前記の原石山から得られる細粒のロック材料や、ダムその他構造物の掘削ズリの利用が考えられる。

また、周辺に分布する地質とその性状を考えると、トランジション材料の対象となる地質は現河床堆積物である。本調査では、現河床堆積物を対象にダムサイト上流0.2kmからNam Ngaoダムサイト№3までの間に深さ1.2～2.0mの17抗の立抗を掘削した。この他、段丘堆積物を対象に Mae Lui沢からNam Ngaoダムサイト№3までの間に深さ2.7～4.8mの7抗の立抗を掘削した。その立抗試料から採取した試料による土質試験結果をTable 6-10およびFig.6-12に示す。

その結果によると、現河床堆積物は粒度分布がやや良好であり、トランジション材料としては利用が可能と考えられる。ただし、賦存量は少ないものと思われる。

段丘堆積物は細粒で、トランジション材料としては不適であるが土質しゃ水壁材

料の一部として利用することは可能である。

(3) 土質しゃ水壁材料

Nam Ngaoダムの型式は、コンクリート表面しゃ水壁型ロックフィルダムが選択されている。しかし詳細設計段階では中央土質しゃ水壁型ロックフィルダムの可能性もあることから、土質しゃ水壁材料についても調査を行った。

土質しゃ水壁材料調査地区は、ダム地点より約 0.2km上流左岸のA地区と、ダム地点より約 0.7km下流左岸のB地区、ダム地点より約 0.1km下流右岸のC地区および1km下流のD地区である。Fig.6-10に各地区の位置を示す。

調査はA,B およびD 地区に深さ2～7mの立坑18坑、C地区に長さ2 ～ 7mのトレンチを掘削した。地表踏査の結果、これらの地区に分布している材料は砂岩と頁岩を母岩とする崖錐堆積物と風化残留土である。

試験は各地区の立坑より試料を採取し、物性試験および力学試験を実施した。試料の採取および試験はEGATにより実施された。立坑、トレンチおよびオーガーボーリングの数量を以下に示す。

項　　目	数　　量				
	A地区	B地区	C地区	D地区	合　計
立　　坑	7	7	—	4	18
道路法面ﾄﾚﾝﾁ	—	—	3	—	3
ｵｰｶﾞｰﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	5	5	7	27	44

— 試験項目および試験数量

A、B、C、Dの各土質しゃ水壁材料調査地区で掘削された立坑において得られた試料に対して実施された試験の項目および数量は、以下に示す表の通りである。

試験項目	試験数量				
	A地区	B地区	C地区	D地区	合計
自然含水比	11	11	4	5	31
比重	11	11	4	5	31
液性及び塑性限界	11	11	4	5	31
粒度	11	11	4	5	31
突固め	10	11	4	5	26
透水	2	2	1	1	6
三軸圧縮	2	2	1	1	6

－ 試験結果

各立坑より採取された試料に対して行われた諸試験の結果をTable 6-9 およびFig.6-12に示す。オーガーボーリングの結果はAppendixに示す。

・ 粒度分析によるとA、B、CおよびDの4地区に分布する材料の粒度分布範囲は、－4.76mm含有率39～99%、－0.074mm 含有率17～65%の値を示し、土質しゃ水壁材料としては細粒なものが多い。また、液性限界は29.0～59.0%の間に分布しているが、大半のものが40%前後の値を示している。塑性指数はほぼ10%～20%の範囲に分布している。この様な材料は、統一土質分類法ではシルト質砂（SM）～シルト（MH･ML）に分類される。

・ 突固め透水試験の結果では、上述の材料の最大乾燥密度は1.535～1.926t/m³（ただし19.0mmフルイ通過材料）の範囲にあり、この時の透水係数（＝最適含水比時透水係数）は、$1.2 \times 10^{-7} \sim 2.8 \times 10^{-8}$ cm/sec の範囲に分布している。

－ 考　察

・ 土質しゃ水壁材採取地点A、B、C及びDの何れの地区も、土質しゃ水壁材料として充分なしゃ水性を有している。

・ 土質しゃ水壁材料採取地を比較すると、AおよびC地区はダムに近接した位置にあり、ダム敷になるとすれば、そこに分布する細粒土は掘削除去する必要があると考えられる。掘削土となるのであれば、細粒材として利用すると経済的である。ただし、施工工程との調整、仮置きなどの検討が必要である。

BおよびD地区はダムと離れた位置にあり、工程との調整は不要である。

・ 土質しゃ水壁材料は、透水係数の点から考えると、細粒分を多く含むことにより、十分なしゃ水性が得られるが、圧密による沈下、強度及び施工性等を考慮すると、しゃ水性の許される範囲で粗粒なものとする事が望ましく、従って材料の質の改善と施工性の向上及び材料の質の均一化を計るために仮置をする事が望ましい。

6.4.2 Mae Lama Luangダム

Mae Lama Luangダムの型式は中央土質しゃ水壁型ロックフィルダムが選択されている。

(1) 土質しゃ水壁材料

土質しゃ水壁材料調査地区は、ダム地点より約 0.7km下流右岸のA地区、ダム地点より約 1.3km下流左岸のB地区、ダム地点より約2km下流右岸のC地区及びダム左岸斜面部である。Fig.6-11に各地区の位置を示す。

調査はこれらの地区に深さ2～7mの立坑を19坑掘削した。地表踏査の結果、これらの地区に分布している材料は、石灰岩や片岩を母岩とする崖錐堆積物である。各地区で掘削された立坑の数量を以下に示す。

項　目	A地区	B地区	C地区	ﾀﾞﾑ左岸	合　計
立　坑	7	5	3	4	19
トレンチ	1	—	—	1	2
ｵｰｶﾞｰﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	15	47	—	—	62

－　試験項目及び試験数量

各土質しゃ水壁材料調査地区に掘削された立坑において得られた試料に対して実施された試験の項目及び数量は、以下に示す表の通りである。

試験項目	試験数量				
	A地区	B地区	C地区	ダム左岸	合計
自然含水比	13	6	8	12	39
比重	13	6	8	12	39
液性及び塑性限界	13	6	8	12	39
粒度	13	6	8	12	39
突固め	13	6	8	10	37
透水	13	1	1	1	6
三軸圧縮	1	1	0	0	2

－　試験結果

各立坑より採取された試料に対して行われた諸試験の結果を Table.6-11 , Fig.6-13に示す。

・　粒度分析によるとその粒度分布範囲は、-4.76mm含有率40～90%, -0.074mm含有率30～65%の値を示し、土質しゃ水壁材料としては細粒なものが多い。また液性限界は25～40%の間に分布している。塑性指数はほぼ3～10%の範囲であり、一部NPとなっている。このような材料は、統一土質分類法では粘土質シルト(CM)～シルト(ML)に分類される。

・　突固め透水試験の結果では、上述の材料の最大乾燥密度は1.520 ～ 1.920 t／m³（ただし19.0mmフルイ通過材料）の範囲にあり、この時の透水係数は 8.9×10^{-7}～1.5×10^{-7}cm／sec の範囲に分布している。

・　有効応力解析条件での三軸圧縮試験結果では、粘着力0 ～ 0.3kg／cm²、内部摩擦角31.5～35° となっている。

－ 考　　察

Ａ地区およびＢ地区の何れの地区の材料も、土質しゃ水壁材料として充分なしゃ水性を有し、賦存量も充分である。しかし、塑性指数がNP～８と低塑性で、粒度分布が細粒である。そこで、コア材採取地に分布する細粒土と他の粗粒土を混合して、強度の増加や施工性の改良を計ると良いと思われる。

Ａ地区よりＢ地区の方が採取可能な範囲が広く、施工性が良好と考えられるので、土質しゃ水壁材料の採取地としてＢ地区が望ましい。

(2) フィルター材料

フィルター材料採取候補地点として、Fig.6-11に示したダムサイト下流７kmのYuam川とMoei川の合流点上流Sop Moei村周辺河床部が選定された。そこには、蛇行するYuam川に沿い現河床堆積物が比較的広範囲に分布している。地表踏査の結果によると、直径５～10cm大の円礫を多く含む砂礫からなる堆積物であり、大きな礫は少ない。

本地点では35坑の立坑が掘削されており、立坑試料を用いて粒度や最大乾燥密度試験が行われた。立坑の掘削深度は0.45m～3.10mである。

試験結果の概要をTable 6-12, Fig.6-13に示した。当採取地の試料は、今後突固め透水試験や三軸圧縮試験を行って、透水性や力学的な強度を把握する必要があるが、今回の調査結果からみるとフィルター材料として概ね使用可能と考えられる。

(3) ロック材料、コンクリート骨材

原石山候補地点としてFig.6-11に示した原石山Ａ地区と原石山Ｂ地区の２地点が選定されている。これらの地点では、これまでに露頭から採取した岩石ブロック試料を用いて、比重、吸水量、ロサンゼルス試験などが行われている。その結果をTable 6-13に示した。

－ 原石山Ａ地区

原石山Ａ地区はダムサイトの右岸下流1.5kmに位置し、頂部の標高が 500m～600mの北西－南東方向に延びる尾根状地形である。その周辺には塊状かつ新鮮で堅硬な石灰岩が分布している。

－　原石山Ｂ地区

原石山Ｂ地区はダムサイトの右岸上流1.0㎞に位置し、原石山Ａ地区と同様に頂部の標高が 500m～ 600mの東北東－西南西方向に延びるYuam川に沿う尾根状地形であり、川側に面した斜面は急崖をなしている。当尾根の地質は、上流側に砂質石灰岩が、下流側に珪岩や石英片岩が分布している。その性状については、下流における同一層準の岩石の性状、ならびに地形から考えて、堅硬・塊状な岩石が分布するものと思われる。

原石山Ａ地区、Ｂ地区の両地点に分布する岩石は、現地での肉眼観察あるいは室内での岩石試験結果からみて、ロック材料やコンクリート骨材として良好と考えられる。また、その賦存量についても計画堤体積量の約 270万m³を充分供給できると考えられる。コンクリート骨材としては、人工的に製造する他に前記のフィルター材料採取地点の河床砂礫を検討することが考えられる。

候補地として選定されている原石山Ａ地区、Ｂ地区は両地点とも同等の材質であるが、上流貯水池内に位置するＢ地区の方が、採取による貯水容量の増加、採取跡地の処理が少ない等の点において有利であると考えられる。

Table 6-9 Results of Soil Tests (Nam Ngao Dam Site)

1/	Sample No.	Depth (m)	Classification of Soil by Unified System	Specific Gravity	Natural Water Content (%)	Atterberg Limits LL (%)	Atterberg Limits PI (%)	Gradation Analysis -19.0 (%)	-4.76 (%)	-2.0 (%)	-0.42 (%)	-0.074 (%)	-0.01 (%)	-0.002 (%)	Compaction & Permeability Maximum Dry Density (t/m³)	Optimum Water Content (%)	Coefficient of Permeability (cm/sec)	Molded Water Content (%)	Triaxial Compression Strength Total Stress C (Kgf/cm²)	Total Stress (deg)	Effective Stress C (Kgf/cm²)	Effective Stress (deg)
A	NG-2	0.4-5.9	ML	2.68	11.21	37.75	12.47	100.0	98.46	95.40	8 —	52.13	39.98	30.15	1.787	15.4	-	-				
	NG-4	0.5-4.1	MH	2.73	19.96	54.10	19.45	74.77	61.25	57.63	54.79	50.29	38.75	25.15	1.580	23.2	-	-				
	NG-6	0.5-66.5	SM	2.63	22.11	30.81	6.58	100.0	99.89	98.96	89.34	47.98	34.15	22.23	1.757	17.0	-	-				
	NG-8	0.4-2.7	MH	2.74	14.27	53.70	22.68	100.0	91.51	81.46	74.08	64.78	52.50	40.00	1.675	21.0	-	-				
	NG-10	0.5-2.2	GM	2.75	4.37	54.20	22.79	86.54	68.65	62.23	58.56	50.38	39.98	30.00	1.654	21.2	-	-				
	NG-12	0.4-1.8	SM	2.71	15.65	41.61	13.67	100.0	74.51	65.42	61.10	45.31	34.10	22.50	1.722	17.8	-	-				
	"	1.8-6.3	ML	2.68	12.04	27.04	3.51	100.0	96.73	93.73	89.61	52.80	36.00	18.17	1.710	17.2	-	-				
	"	0.4-6.3	SM	2.70	3.82	34.75	9.63	97.57	83.62	77.49	71.98	47.70	37.10	22.75	-	-	-	-				
	NG-14	0.6-3.6	SM	2.67	1.45	29.00	4.60	96.98	78.32	68.44	57.78	41.06	27.50	17.52	1.775	17.0	-	-				
	NG-2, 4, 6, 8	-	SM	2.70	13.75	47.70	17.76	84.04	66.12	59.19	49.47	35.85	16.25	18.85	1.790	15.4	2.8×10^{-8}	17.8	0.2 ~ 0.3	12.2 ~ 13.9		
	NG-10, 12, 14.	-	GM	2.70	6.63	30.50	7.15	71.68	53.97	48.99	45.85	31.12	22.30	13.50	1.775	15.6	1.2×10^{-7}	18.1				
B	NG-1	0.3-1.8	SM	2.69	10.88	45.18	15.27	90.62	66.83	45.96	34.40	28.87	24.15	20.00	1.775	17.6	-	-				
	NG-3	0.5-4.9	ML	2.67	18.78	45.10	16.43	100.0	98.19	95.30	87.87	62.63	49.20	37.60	1.686	18.3	-	-				
	NG-5	0.5-4.5	SM	2.68	15.89	33.30	6.66	100.0	94.08	88.74	44.16	44.16	32.50	20.00	1.765	16.5	-	-				
	NG-7	0.4-0.9	GM	2.74	18.39	51.40	21.31	82.23	60.73	50.63	34.76	34.76	28.00	22.35	1.770	16.5	-	-				
	"	2.9-3.8	CC	2.71	11.16	39.80	15.25	74.31	54.58	48.93	33.19	33.19	24.15	15.96	1.806	15.1	-	-				
	"	0.4-3.8	GM	2.72	14.78	42.60	15.33	84.53	59.24	50.14	30.21	30.21	21.90	15.16	1.786	15.2	-	-				
	NG-9	0.4-3.3	MH	2.72	16.23	54.65	25.19	98.64	85.18	76.51	59.70	59.70	48.85	37.65	1.613	22.3	-	-				
	NG-11	0.5-3.1	GM	2.69	11.46	50.45	22.32	70.13	39.53	27.35	17.82	17.82	15.00	11.75	1.757	16.4	-	-				
	NG-13	0.4-2.3	MH	2.69	19.81	59.00	21.33	95.83	68.71	60.00	54.10	54.10	47.00	38.10	1.535	26.5	-	-				
	NG-1, 3, 5, 7	-	SM	2.69	7.74	44.30	15.47	87.61	73.83	66.72	37.12	37.12	27.75	20.90	1.793	16.3	3.1×10^{-8}	17.7	0.1 ~ 0.2	13.2 ~ 13.9		
	NG-9, 11, 13	-	MH	2.71	17.98	57.70	25.52	91.44	72.26	62.63	50.28	50.28	43.75	35.00	1.680	19.6	3.1×10^{-8}	20.6				
C	NG-16	0.5-7.0	GC-GM	2.72	1.7	32.80	9.59	78.0	51.8	41.5	30.6	20.4	14.9	9.5	1.926	12.6	-	-				
	NG-18	0.5-3.5	GC-GM	2.73	4.0	38.60	13.53	60.2	41.3	35.7	30.1	21.0	17.5	13.5	1.788	17.0	-	-				
	NG-20	0.4-1.6	MH	2.73	13.4	52.10	20.77	100.0	98.6	96.5	53.9	76.5	64.7	52.7	1.576	23.0	-					
	NG-16, 18, 20	-	GM	2.68	-	35.50	10.56	81.5	59.2	53.8	47.4	37.2	29.3	22.2	1.845	16.0	5.0×10^{-8}	17.6	0.3	12.2		
D	NG-21	0.2-3.8	ML	2.71	11.4	33.60	8.83	100.0	97.5	93.2	85.3	65.1	50.3	26.4								
	NG-22	0.2-2.2	ML	2.74	12.4	38.60	9.50	96.7	83.7	76.2	61.5	56.1	45.1	32.6								
	NG-24	0.2-2.4	CL	2.71	10.2	37.80	13.15	100.0	88.7	84.7	78.9	52.9	43.5	32.6								
	NG-25	0.2-3.3	MH	2.73	15.4	55.40	21.54	96.6	88.7	85.8	82.8	65.1	55.7	44.1								
	NG-21, 22, 24, 25	-	ML	2.74	9.9	40.80	14.58	100.0	86.5	81.9	76.0	58.2	48.7	36.7	1.684	18.4	4.8×10^{-7}	20.7	0.2	15.1		

Remarks: 1/The name of Borrow Area.

Table 6-10 Results of Transition Material Tests (Nam Ngao Dam Site)

(1) Rever deposits

SAMPLE No.	DEPTH (m)	USCS. SOIL GROUP	C_u	C_c	FM	Gradation Analysis -76.2mm	-50.8mm	-25.4mm	-4.76mm	-2.38mm	-1.19mm	-0.59mm	-0.297mm	-0.105mm	Dry Density (t/m³)	Percentage of wear (%)
TFNG-1	0.4 - 1.9	GP	120.00	8.53	7.42	73.64	50.76	37.42	21.30	17.50	14.41	11.46	6.40	2.67		
TFNG-2	0.3 - 1.9	GP	71.43	0.90	6.19	95.27	86.06	61.71	35.77	28.75	23.64	18.06	5.70	2.01		
TFNG-3	0.3 - 2.1	GP	75.86	0.16	5.72	96.41	75.18	63.05	43.32	37.64	31.63	25.04	11.55	3.36		
TFNG-4	0.5 - 1.9	GP	78.33	10.25	7.53	77.68	63.94	39.84	16.97	14.24	12.52	10.47	4.48	1.31		
TFNG-1,2,3,4		GP	140.00	1.27	6.72	75.34	68.05	48.99	31.37	26.94	23.39	19.56	9.79	3.76	2.151	
TFNG-5	0.0 - 1.6	GP	130.23	59.97	7.75	82.88	43.00	24.78	16.97	15.91	15.30	13.28	5.73	1.91		28.41
TFNG-6	0.3 - 2.5	GP	106.00	18.26	7.60	76.85	54.68	33.32	18.31	16.73	15.47	11.33	3.81	1.14		
TFNG-7	0.4 - 2.3	GP	148.57	17.80	7.47	77.89	58.16	36.66	17.92	16.42	15.34	13.27	8.43	3.86		
TFNG-8	0.3 - 1.8	GP—SP	93.33	0.06	4.78	100.00	84.27	69.04	52.01	48.79	45.59	42.40	25.28	11.55		
TFNG-5,6,7,8		GP	142.42	34.11	7.38	84.02	66.68	32.46	17.73	16.47	15.53	14.02	9.92	5.06	2.170	
TFNG-9	0.2 - 1.8	SP	2.17	1.04	2.16	—	100.00	97.96	91.64	82.12	75.15	71.02	56.36	16.06		
TFNG-10	0.2 - 1.5	GW	152.78	2.13	7.14	73.92	56.74	44.20	26.45	20.57	16.52	13.64	8.67	3.46		
TFNG-9,10		GP	311.11	0.10	6.34	66.47	62.91	50.37	37.73	33.13	29.64	27.41	20.98	6.85	1.856	
TFNG-11	0.1 - 1.2	GP	82.76	24.28	7.63	78.00	63.55	30.09	18.55	16.62	14.31	11.15	4.54	1.08		
TFNG-11,12		GP	66.67	0.31	6.05	90.12	79.33	62.45	39.20	34.20	29.41	20.73	6.65	1.39	2.105	
TFNG-13	0.1 - 1.4	GP	62.22	21.61	7.94	76.75	42.88	25.67	16.16	14.69	12.31	7.71	1.95	0.49		
TFNG-14	0.2 - 1.6	GP	36.67	7.58	7.45	100.00	69.77	39.60	14.13	11.16	10.14	8.86	4.25	1.51		
TFNG-15	0.1 - 1.4	GP	52.44	3.43	7.11	100.00	72.91	45.22	21.12	17.01	12.71	9.33	4.32	1.20		
TFNG-14,15		GW	80.00	2.72	6.69	87.28	76.47	56.13	28.25	23.31	18.55	14.67	7.04	2.43	2.205	
TFNG-16	0.2 - 1.8	GW	14.00	2.24	8.28	64.73	46.71	29.11	9.75	6.99	5.71	4.96	2.82	1.02		
TFNG-17	1.0 - 2.0	GW	352.94	1.98	7.39	46.00	38.93	34.08	29.52	28.87	27.70	20.01	6.76	1.41		
TFNG-16,17		GP	167.39	7.23	7.77	49.73	45.24	37.30	20.51	17.78	16.18	12.73	5.31	1.43	2.155	

(2) Terrace deposits

SAMPLE No.	DEPTH (m)	USCS. SOIL GROUP	SP.GR.	C_u	C_c	FM	Gradation Analysis -19.1mm	-4.76mm	-2.38mm	-1.19mm	-0.297mm	-0.105mm	-0.074mm	COMPACTION Max. r_D (t/m³)	Wopt. (%)
TRNG-1	0.4 - 3.4	ML	2.59				—	94.51	90.03	89.75	86.36	71.30	51.59		
TRNG-1	3.4 - 4.3	GP	2.54	168.0	30.86	6.91	31.67	22.27	19.49	17.51	11.64	7.42	5.23		
TRNG-2	0.3 - 4.8	GM	2.55				62.17	54.42	52.51	51.33	46.38	31.41	22.49		
TRNG-3	0.3 - 4.3	ML	2.57				—	100.00	99.97	98.76	85.37	67.65	53.47		
TRNG-4	0.3 - 3.1	SM	2.57				72.67	70.33	69.11	68.20	62.40	41.27	26.92		
TRNG-5	0.3 - 3.3	SM	2.56				68.08	60.07	56.40	49.42	32.90	21.93	15.31		
TRNG-6	0.3 - 2.7	SM	2.58				100.00	95.82	94.68	93.43	81.83	39.53	22.30		
TRNG-6	2.7 - 4.1	GM	2.61				48.53	39.82	37.84	36.35	31.42	21.35	15.67		
TRNG-7	0.4 - 4.1	SM	2.58				95.41	87.27	82.53	78.76	76.52	56.71	42.70		
TRNG-1,2	—	SM	—				76.75	71.40	70.26	69.12	60.68	42.03	33.63	1.838	13.3
TRNG-3,4	—	SM	—				88.34	85.18	78.54	75.48	73.98	54.46	39.19	1.783	13.8
TRNG-5,6,7	—	SM	—				83.23	76.66	73.15	69.28	58.05	35.60	26.19	1.812	13.1

Table 6-11 Results of Soil Tests (Mae Lama Luang Dam Site)

	Sample No.	Depth (m)	Classification of Soils by Unified System	Specific Gravity	Natural Water Content (%)	Atterberg Liamits LL (%)	Atterberg Liamits PI (%)	Gradation Analysis -19.0 mm (%)	-4.76 mm (%)	-2.0 mm (%)	-0.42 mm (%)	-0.074 mm (%)	-0.01 mm (%)	-0.002 mm (%)	Compaction & Permeability: Maximum Dry Density (t/m²)	Optimum Water Content (%)	Coefficient of Permability (cm/sec)	Molded Water Content (%)	Triaxial Compression strength: Total Stress υ (Kgf/cm²)	Total Stress φ (deg)	Effective Stress υ (Kgf/cm²)	Effective Stress φ (deg)
1) A	LY-1	0.1-1.7		2.71	9.1	31.45	6.35	54.8	42.4	37.4	32.0	24.9	17.6	5.0	1.735	15.2						
	LY-2	0.2-0.4	CM	2.65	8.5	27.00	5.03	82.7	67.2	61.4	56.1	45.5	27.2	12.5	1.830	13.4						
	LY-3	0.2-2.4	CM	2.62	5.0	NP	NP	63.0	48.8	44.6	40.3	27.5	16.7	8.5	1.810	14.65						
	LY-4	0.1-4.2	CM	2.69	6.1	35.55	10.86	77.6	70.2	65.7	60.7	48.4	31.9	19.6	1.835	14.5						
	LY-5	0.1-2.3	CM	2.66	6.4	NP	NP	57.7	45.3	40.3	35.6	24.6	15.1	8.1	1.849	11.9						
	LY-1, 2, 3, 4, 5	——	CM	2.69	6.6	30.10	7.14	89.8	72.6	65.9	60.4	48.8	28.5	13.0	1.820	14.0	3.0×10^{-7}	17.0	0.1	16.5	3.0	31.5
	LY-15	0.3-1.2	CM	2.70	3.1	36.50	8.53	71.4	58.1	49.7	45.4	39.1	28.7	13.5	1.836	14.0	(3.5×10^{-7})	1)				
	〃	1.2-5.7	CM	2.73	5.9	28.00	1.84	49.0	27.0	21.7	16.9	12.1	7.5	2.3	1.7614	16.1						
	〃	0.3-5.7	SM	2.73	4.7	32.25	5.80	86.3	69.5	59.0	52.3	44.0	31.5	16.0	1.807	15.7						
	LY-16	0.2-2.5	CM	2.66	7.1	26.60	3.89	83.1	72.9	65.4	59.1	44.2	25.0	12.1	1.842	12.8						
	〃	2.5-4.5	CM	2.66	5.1	NP	NP	57.8	43.0	33.0	21.6	13.4	6.5	2.3	1.868	12.4						
	〃	0.2-4.5	CM	2.68	5.9	NP	NP	76.6	59.8	50.4	42.3	30.1	16.9	7.5	1.856	12.3	8.9×10^{-7}	14.6				
	Trench R	0.3-1.5	SM	2.72	7.7	28.70	3.55	90.9	70.4	58.3	47.1	37.1	26.2	7.5	1.776	14.3	7.0×10^{-7}	16.4				
1) B	LY-6	0.3-5.9	CM	2.65	6.3	NP	NP	79.1	55.6	45.1	35.5	23.2	14.6	9.5	1.920	11.6						
	LY-7	0.4-4.5	CM	2.68	4.2	NP	NP	76.4	65.0	62.2	59.6	42.4	17.5	7.2	1.586	15.2						
	LY-8	0.4-5.1	ML	2.64	8.9	35.80	4.11	95.0	84.9	83.3	81.8	66.0	27.5	13.0	1.645	18.6						
	LY-9	0.3-5.9	ML	2.65	11.8	32.00	5.73	89.9	86.9	85.6	84.2	64.1	33.1	15.1	1.700	18.1						
	LY-10	0.3-6.6	ML	2.67	16.8	43.30	11.19	96.5	85.1	81.5	79.0	71.2	44.9	28.5	1.678	17.7	1.5×10^{-7}					
	LY-6, 7, 8, 9, 10	——	ML	2.66	13.0	33.80	5.78	88.4	77.9	74.3	71.0	58.1	32.8	19.9	1.725	16.8	2) (1.4×10^{-6})	19.2	0	17.5	0	35.0
1) C	LY-17	0.3-3.9	ML	2.67	7.1	41.80	4.72	100.0	97.8	96.5	94.6	82.5	51.9	27.1	1.640	21.7						
	〃	3.9-5.5	CM	2.70	7.5	44.20	5.24	77.9	63.3	57.3	52.7	46.6	28.4	11.0	1.627	19.4						
	〃	0.3-5.5	ML	2.68	8.2	41.60	5.63	88.1	81.7	78.8	76.8	68.2	40.4	20.0	1.630	19.7						
	LY-18	0.2-2.0	MH	2.67	19.6	54.70	17.06	87.6	72.7	68.5	67.3	63.2	43.0	29.3	1.645	20.5						
	LY-19	0.2-2.4	MH	2.68	9.3	58.85	17.16	100.0	96.8	96.1	95.2	89.5	58.0	36.8	1.520	23.6						
	〃	2.4-5.8	ML	2.69	7.7	43.00	5.02	89.5	83.6	81.7	80.8	70.6	25.1	7.5	1.544	20.0						
	〃	0.2-5.8	ML	2.70	6.2	43.90	4.92	98.4	92.9	91.6	90.8	84.2	44.9	26.1	1.531	23.1						
	LY-17, 18, 19	——	ML	2.66	7.8	43.80	8.51	92.3	85.3	83.0	81.4	73.8	44.0	25.0	1.601	20.2	3.0×10^{-7}	24.6				
Left bank of dam	LY-11	0.2-3.0	CM	2.64	4.3	25.40	2.69	85.6	66.2	55.7	46.5	34.1	22.5	10.0	1.846	13.0						
	〃	3.0-6.0	CM	2.67	7.5	23.55	2.42	79.0	53.1	42.2	33.3	23.1	12.0	5.0	1.830	14.4						
	〃	0.2-6.0	CC-CM	2.67	0.4	25.40	5.97	82.9	55.1	45.6	37.7	27.7	18.2	8.1	1.845	14.3						
	LY-12	0.4-3.0	CM	2.71	10.4	28.40	4.96	72.6	66.6	64.0	60.2	46.1	22.5	14.8	1.781	14.7						
	LY-13	0.3-3.0	ML	2.74	12.4	31.08	6.26	97.0	86.2	80.8	75.4	64.0	43.1	13.2	1.737	16.9						
	〃	3.0-6.0	CM	2.76	9.5	NP	NP	27.6	20.5	18.3	15.8	12.1	7.5	2.0	1.700	17.0						
	〃	0.3-6.0	CM	2.76	9.5	NP	NP	65.2	52.8	48.7	44.2	36.6	23.5	7.56	1.745							
	LY-14	0.1-1.0	CM	2.65	6.4	37.80	9.45	77.2	61.2	51.9	44.4	38.2	28.6	15.1	1.820	15.2						
	LY-11, 12, 13	——	CM	2.65	2.6	28.90	4.37	86.3	71.9	65.2	58.4	46.4	30.2	12.4	1.751	15.0						
	Drill Hole SP-1	1.0-2.0	ML	2.74	-	26.00	2.39	97.4	87.1	79.6	67.7	52.1	33.4	10.0								
	〃	11.0-12.0	SM	2.79	-	NP	NP	100.0	95.5	86.5	67.0	49.3	32.2	7.1								
	Trench L	0.3-2.5	ML	2.67	5.0	31.40	4.82	90.3	78.6	73.4	68.8	58.3	39.4	13.5	1.753	18.3	5.0×10^{-7}	19.5				

Remarks : 1) The name of Borrow Area

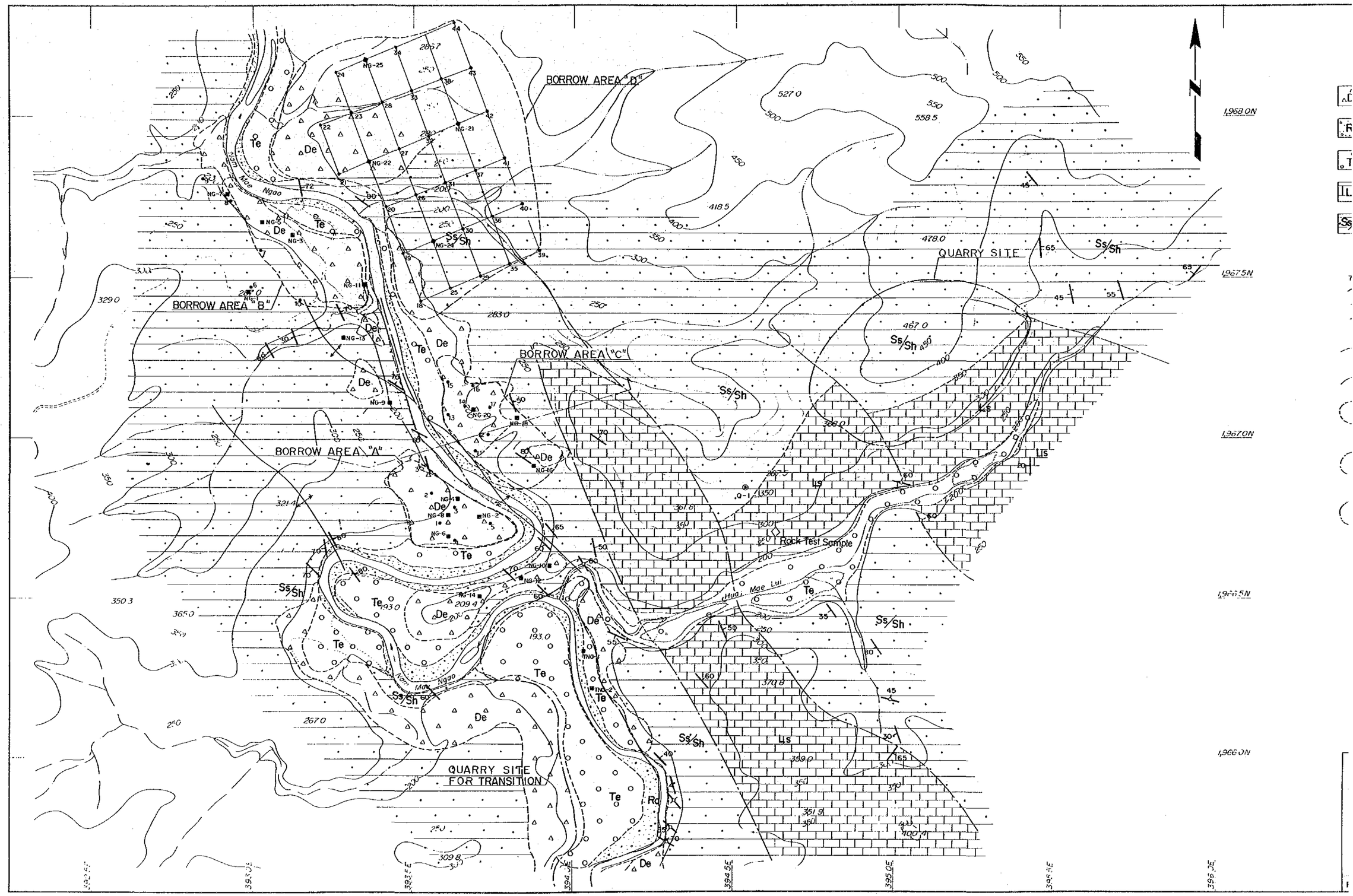
2) Coefficient of Permeability at optimum water content 2

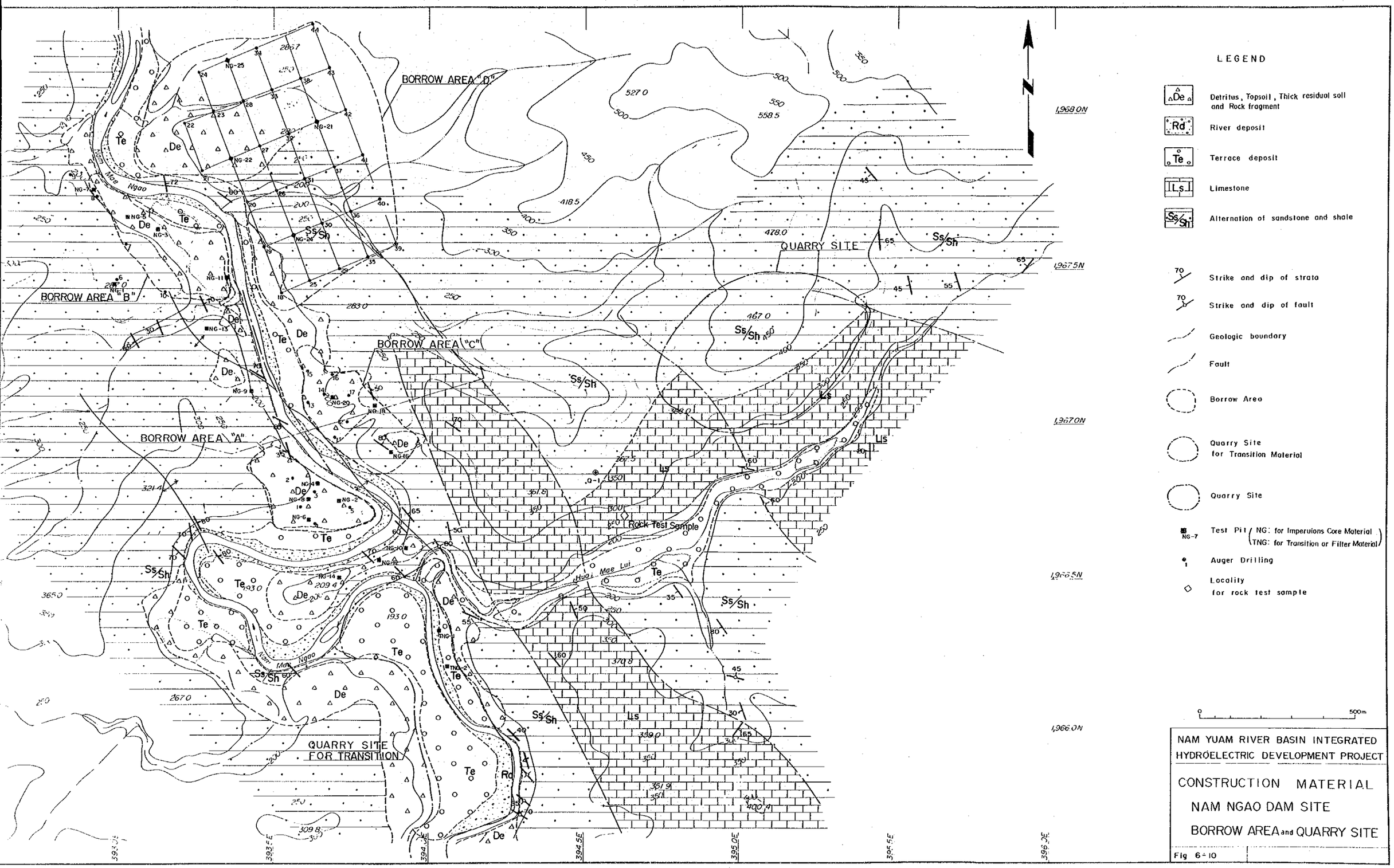
Table 6-12 Results of Filter Material Tests (Wae Lama Luang)

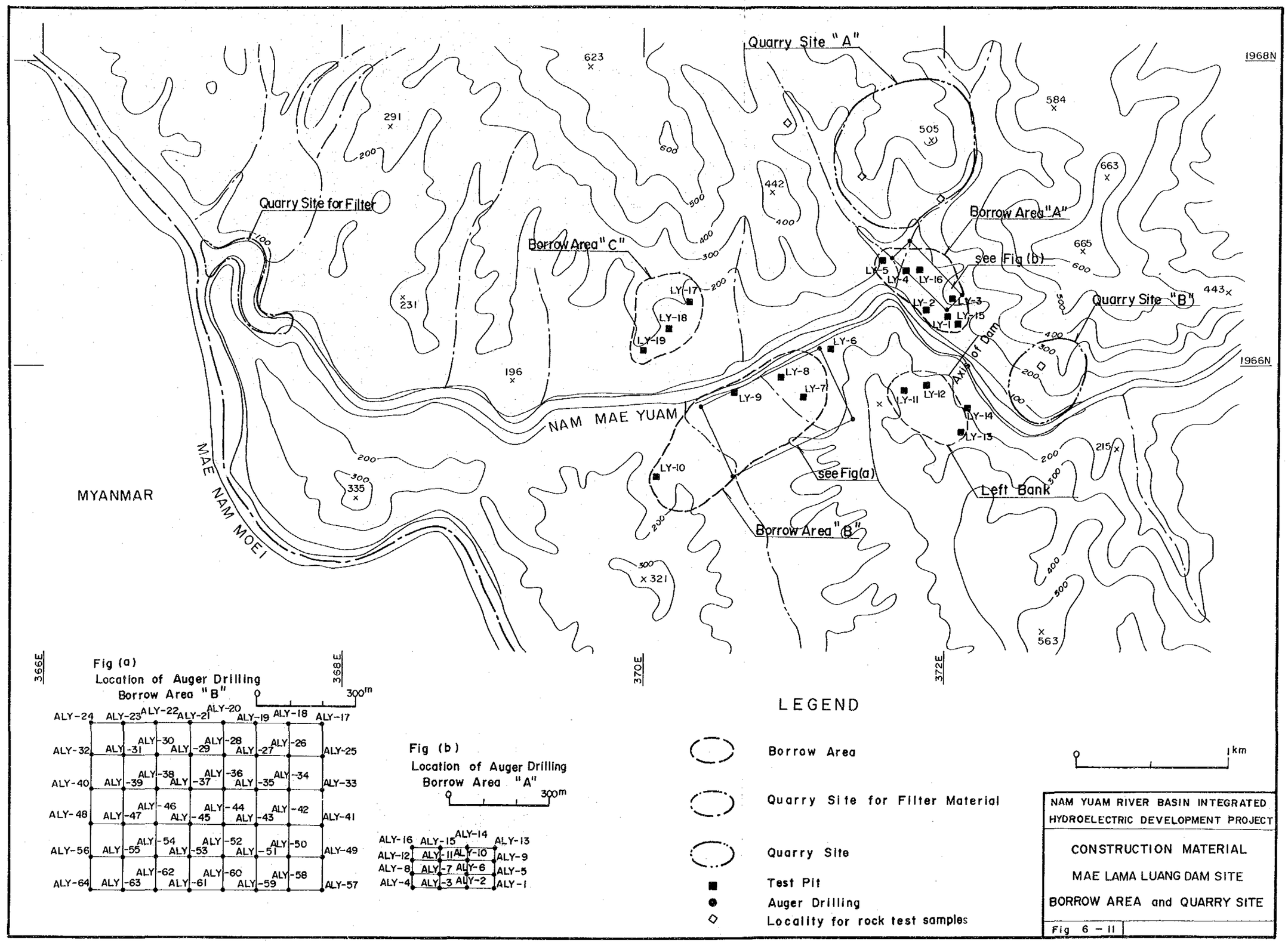
Sample No.	Depth (m)	Uscs. Soil Group	Max. Dry Density (t/m³)	C_u	C_c	FM	Gradation Analysis -75 mm	-38.1 mm	-19.1 mm	-9.52 mm	-4.76 mm	-2.0 mm	-0.84 mm	-0.42 mm	-0.105 mm	Percentage of Wear (%)
TFLY-1	0.0 - 1.50	SP		3.75	1.20	3.85	100.0	95.27	94.68	89.28	84.50	71.80	30.75	10.83	2.24	
TFLY-2	0.0 - 0.70	SP	2.133	1.91	1.25	2.51		100.0	95.95	92.27	90.34	86.89	81.46	63.36	3.22	
TFLY-3	0.0 - 3.10	GP		55.77	0.15	6.18	100.0	65.00	53.94	44.32	39.38	34.44	23.15	7.24	0.74	
TFLY-4	0.0 - 2.10	GP		35.56	0.70	6.86	86.30	59.41	52.69	39.37	30.58	21.17	9.59	2.72	0.48	
TFLY-5	0.0 - 0.80	GP	2.192	48.75	4.62	7.21	91.84	59.40	37.39	28.60	22.23	17.17	10.96	5.30	1.19	
TFLY-6	0.0 - 1.80	GP		39.29	0.36	6.30	100.0	78.26	57.16	42.10	34.92	26.03	14.34	8.30	0.88	
TFLY-7	0.0 - 1.80	GP	2.219	32.05	0.63	6.63	83.50	66.63	60.11	40.64	34.03	23.43	10.85	5.76	1.09	
TFLY-8	0.0 - 0.55	GW		66.67	2.19	6.70	90.74	65.72	45.10	34.78	28.14	19.45	13.10	9.30	1.53	
TFLY-9	0.0 - 2.10	GP		48.65	6.34	7.19	84.50	63.98	38.24	26.18	21.73	18.07	12.00	5.69	2.08	Grade "A" = 27.09
TFLY-10	0.0 - 1.65	GP	2.186	27.69	7.71	7.35	100.0	60.43	30.53	19.74	15.58	12.19	8.14	5.65	3.96	
TFLY-11	0.0 - 1.50	GP		100.0	6.72	7.28	89.91	50.98	35.23	26.57	21.66	17.71	13.75	7.58	2.05	Grade "E" = 20.47
TFLY-12	0.0 - 1.75	GP		119.57	11.42	7.27	90.92	48.17	33.20	24.73	20.75	18.33	14.65	8.75	3.02	
TFLY-13	0.0 - 0.95	SP-SM		17.33	0.33	4.51	100.0	69.69	65.00	63.69	62.36	58.76	44.98	33.51	13.10	
TFLY-14	0.0 - 2.00	GW		24.67	2.18	7.22	93.50	64.28	42.17	29.20	21.01	12.60	5.74	2.53	1.13	
TFLY-15	0.0 - 1.90	GW	2.244	53.33	2.09	7.18	88.64	55.93	43.12	30.36	22.75	14.94	9.60	6.54	1.45	
TFLY-16	0.0 - 1.00	GP		31.67	0.22	5.99	100.0	80.05	59.24	47.41	40.10	33.55	16.94	4.59	0.47	
TFLY-17	0.0 - 1.80	GP		56.92	0.63	6.70	89.41	61.94	50.05	39.46	32.23	25.08	13.80	4.69	1.13	
TFLY-18	0.0 - 0.70	SP		3.37	0.79	2.91			100.0	98.61	92.67	83.05	59.78	27.09	2.82	
TFLY-19	0.0 - 1.75	GP		76.68	8.90	5.76	100.0	70.12	54.81	49.14	45.27	39.39	26.99	12.16	2.11	
TFLY-20	0.0 - 0.95	GW	2.223	58.95	2.71	7.51	73.00	52.75	37.36	27.34	21.59	16.50	8.79	3.46	1.06	
TFLY-21	0.0 - 1.50	GP		77.61	0.51	7.05	80.18	50.19	41.46	34.96	30.39	24.16	13.20	4.41	1.55	
TFLY-22	0.0 - 2.40	GP	2.305	59.42	9.05	7.45	78.11	54.55	32.82	25.78	19.18	14.23	11.25	7.61	1.55	
TFLY-23	0.0 - 0.80	GP	2.305	79.31	5.40	7.34	78.42	53.59	40.29	27.09	20.31	14.85	12.44	9.07	1.88	
TFLY-24	0.0 - 1.20	GW	2.266	361.11	2.05	6.64	83.29	49.90	40.93	33.35	29.91	27.32	24.19	19.25	7.76	
TFLY-25	0.0 - 1.20	GP		106.82	0.21	6.67	85.00	55.77	42.28	38.09	35.13	30.39	18.92	8.89	0.78	
TFLY-26	0.0 - 1.55	GW	2.266	45.83	1.32	6.91	87.46	63.22	45.92	36.01	27.85	21.19	11.04	4.84	1.59	
TFLY-27	0.0 - 1.90	GP		96.87	0.61	7.14	82.43	49.54	40.96	33.46	29.75	24.87	14.15	5.31	1.43	
TFLY-28	0.0 - 0.45	GW		40.82	2.45	7.27	79.14	59.30	41.68	29.61	23.89	18.01	8.34	4.12	2.28	Grade "A" = 27.09
TFLY-29	0.0 - 1.30	GW	2.219	25.33	1.72	7.33	84.63	61.42	43.34	29.01	20.67	13.72	8.55	3.79	0.67	
TFLY-30	0.0 - 0.45	GP		37.50	0.38	6.59	100.0	69.28	47.68	38.40	32.72	26.88	14.53	4.26	0.76	Grade "E" = 20.47
TFLY-31	0.0 - 1.55	GP	2.190	78.26	7.57	6.04	100.0	87.60	65.10	40.98	28.29	21.99	20.01	17.50	2.87	
TFLY-32	0.0 - 0.75	GP	2.190	40.98	0.24	6.55	71.50	66.44	66.21	44.10	37.14	30.81	15.29	5.83	1.51	
TFLY-33	0.0 - 1.00	GW	2.218	101.82	1.33	6.93	61.50	53.19	40.61	31.79	26.87	18.89	12.63	7.59	1.53	
TFLY-34	0.0 - 1.05	GP	2.218	67.27	0.41	6.64	86.50	58.97	46.50	40.79	34.58	26.30	14.08	7.77	4.87	

Table 6-13 Results of Rock Material Tests (Mae Lama Luang)

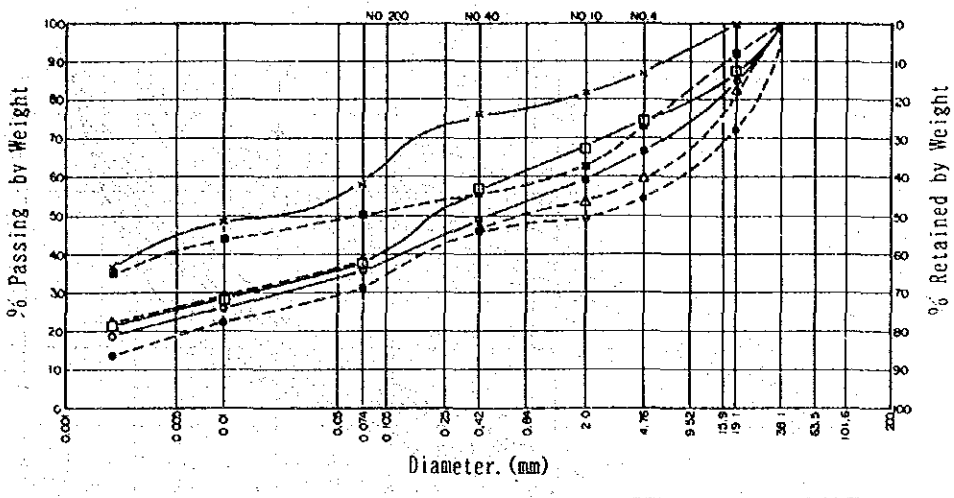
Categories	Unit	Quarry Site "A"		Quarry Site "B"	
		R-1	R-2	Q-1	Q-2
Los Angeles abrasion test					
Percentage of wear grade "A"	%	24.07	24.64	20.57	24.62
Percentage of wear grade "E"	%	34.90	32.33	16.27	18.63
Crushing value	%	24.16	23.00	15.82	19.08
Wt. loss in soundness test	%	0.12	0.22	0.34	0.23
Specific gravity (Sat. surface-dry)	—	2.70	2.71	2.64	2.72
Water absorption	%	0.43	0.48	0.64	0.73
Elongation index (BS : 812)	—	0.60	0.43	0.73	0.81
Flakiness index (BS : 812)	—	0.37	0.33	0.26	0.47


BORROW AREA "D"
BORROW AREA "B"
BORROW AREA "C"
BORROW AREA "A"
QUARRY SITE
QUARRY SITE FOR TRANSITION
Rock Test Sample
Mae Ngao
Mae Lui
Te
De
Ss/Sh
Ls
Ra
1,968.0N
1,967.5N
1,967.0N
1,966.5N
1,966.0N
392.5E
393.0E
393.5E
394.0E
394.5E
395.0E
395.5E
396.0E


BORROW AREA "D"
BORROW AREA "B"
BORROW AREA "C"
BORROW AREA "A"
QUARRY SITE
QUARRY SITE FOR TRANSITION
Rock Test Sample
Mae Ngao
Huai Mae Lui
LEGEND
Detritus, Topsoil, Thick residual soil and Rock fragment
River deposit
Terrace deposit
Limestone
Alternation of sandstone and shale
Strike and dip of strata
Strike and dip of fault
Geologic boundary
Fault
Borrow Area
Quarry Site for Transition Material
Quarry Site
Test Pit (NG: for Imperuions Core Material TNG: for Transition or Filter Material)
Auger Drilling
Locality for rock test sample
0
500m
NAM YUAM RIVER BASIN INTEGRATED HYDROELECTRIC DEVELOPMENT PROJECT
CONSTRUCTION MATERIAL
NAM NGAO DAM SITE
BORROW AREA and QUARRY SITE
Fig 6-10

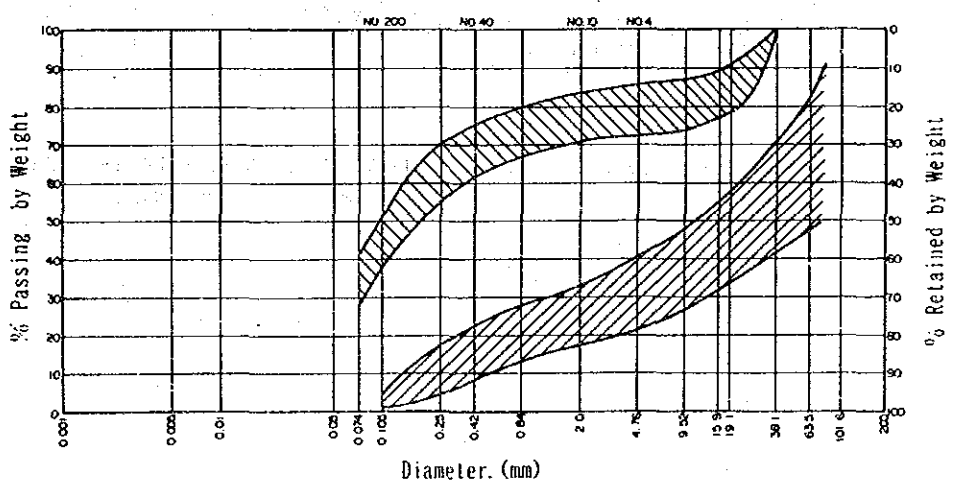

Quarry Site "A"
Quarry Site for Filter
Borrow Area "C"
Borrow Area "A"
see Fig (b)
Quarry Site "B"
Axis of Dam
NAM MAE YUAM
MAE NAM MOEI
MYANMAR
see Fig(a)
Left Bank
Borrow Area "B"
1968N
1966N
366E
368E
370E
372E
LY-1
LY-2
LY-3
LY-4
LY-5
LY-6
LY-7
LY-8
LY-9
LY-10
LY-11
LY-12
LY-13
LY-14
LY-15
LY-16
LY-17
LY-18
LY-19
Fig (a)
Location of Auger Drilling
Borrow Area "B"
300m
ALY-24 ALY-23 ALY-22 ALY-21 ALY-20 ALY-19 ALY-18 ALY-17
ALY-32 ALY-31 ALY-30 ALY-29 ALY-28 ALY-27 ALY-26 ALY-25
ALY-40 ALY-39 ALY-38 ALY-37 ALY-36 ALY-35 ALY-34 ALY-33
ALY-48 ALY-47 ALY-46 ALY-45 ALY-44 ALY-43 ALY-42 ALY-41
ALY-56 ALY-55 ALY-54 ALY-53 ALY-52 ALY-51 ALY-50 ALY-49
ALY-64 ALY-63 ALY-62 ALY-61 ALY-60 ALY-59 ALY-58 ALY-57
Fig (b)
Location of Auger Drilling
Borrow Area "A"
300m
ALY-16 ALY-15 ALY-14 ALY-13
ALY-12 ALY-11 ALY-10 ALY-9
ALY-8 ALY-7 ALY-6 ALY-5
ALY-4 ALY-3 ALY-2 ALY-1
LEGEND
Borrow Area
Quarry Site for Filter Material
Quarry Site
Test Pit
Auger Drilling
Locality for rock test samples
km
NAM YUAM RIVER BASIN INTEGRATED HYDROELECTRIC DEVELOPMENT PROJECT
CONSTRUCTION MATERIAL
MAE LAMA LUANG DAM SITE
BORROW AREA and QUARRY SITE
Fig 6 - 11

(a). Impervious Core Materials



No	SAMPLE NUMBER	DEPTH (m)	SYMBOL	SOIL CLASSIFICATION	SPECIFIC GRAVITY	WATER CONTENT	ATTERBERG LIMITS		
							LL	PL	PI
1	Area "A" NG-2.4.6.8	0.4 ~6.5m mixed	—○—	SM	2.70	13.8	47.7	29.9	17.8
2	Area "A" NG-10.12.14	0.5 ~6.3m mixed	--●--	CM	2.70	6.6	30.5	23.3	7.2
3	Area "B" NG-1.3.5.7	0.3 ~4.9m mixed	—□—	SM	2.69	7.7	44.3	28.8	15.5
4	Area "B" NG-9.11.13	0.4 ~3.3m mixed	--■--	MH	2.71	18.0	57.7	32.2	25.5
5	Area "C" NG-10.18.20	0.4 ~7.0m mixed	--△--	GM	2.68	—	35.5	24.9	10.6
6	Area "D" NG-21.22.24.25	0.2 ~3.8m mixed	—×—	ML	2.74	9.9	40.8	26.2	14.6

(b) River deposits and Terrace deposits

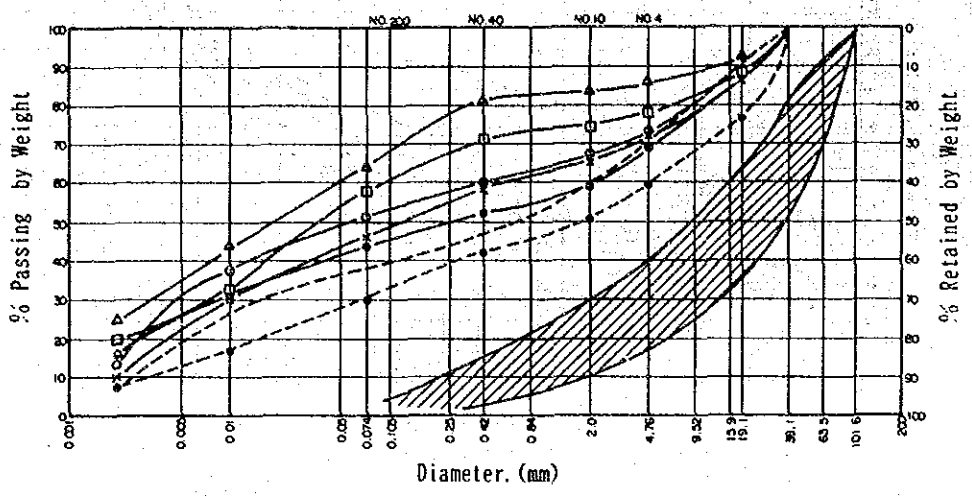


Legend

River deposits TFXG 1 ~17. 0.0 ~2.0m

Terrace deposits TRXG 1 ~7. 0.3 ~1.8m

Fig. 6 12 Particle Size Distribution of Impervious Core and Transition Materials (Nam Ngao Dam Site)



	No.	SAMPLE NUMBER	DEPTH (m)	SYMBOL	SOIL CLASSIFICATION	SPECIFIC GRAVITY	WATER CONTENT	ATTERBERG LIMITS		
								LL	PL	PI
Impervious Core Materials	1	Area "A" LY-1~5	0.1~4.7m mixed	—O—	CM	2.69	6.6	30.1	23.0	7.1
	2	Area "A" LY-15	0.3 ~5.7	—o—	CM	2.73	4.7	32.3	26.5	5.8
	3	Area "A" LY-16	0.2 ~4.5	—●—	CM	2.68	5.9	—	NP	—
	4	Area "A" Trench R	0.3 ~1.5	- - - -	SM	2.72	7.7	28.7	25.1	3.6
	5	Area "B" LY-6~10	0.3~6.6m mixed	—□—	ML	2.66	13.0	33.8	28.0	5.8
	6	Area "C" LY-17~19	0.3~5.8m mixed	—△—	ML	2.66	7.8	43.8	35.3	8.5
	7	Left Bank LY-11~13	0.2~6.0m mixed	—×—	CM	2.65	2.6	28.9	24.5	4.1
Filter Materials		TFLY-1~35	0.0 ~3.10	////	GP・GW	—	—	—	—	—
		(except TFLY-1・2	・13・18・25・32)							

Fig. 6 -13 Particle Size Distribution of Impervious Core and Filter Materials (Mae Lama Luang Dam Site)

第7章　地　　震

第７章　地　震

目　次

頁

7.1　概　要 …… 7－1

7.2　地質構造 …… 7－1

7.2.1　地質概要 …… 7－1

7.2.2　タイ国の地質構造 …… 7－2

7.2.3　タイ国の主要断層 …… 7－5

7.2.4　Moei-Uthai Thani断層 …… 7－6

7.3　タイ国の地震活動度 …… 7－10

7.3.1　タイ国周辺域のネオテクトニクス …… 7－10

7.3.2　タイ国周辺域の地域的応力場 …… 7－11

7.3.3　タイ国の地震活動度 …… 7－12

7.3.4　プロジェクト計画地点の地震活動性 …… 7－12

7.3.5　1983年の地震について …… 7－15

7.4　地震危険度解析 …… 7－35

7.4.1　最大加速度の推定 …… 7－35

7.4.2　タイ国の地震危険度マップ …… 7－38

7.5　計画地点の設計震度 …… 7－49

List of Tables

Table 7-1 Major Historical Earthquakes in and near Thailand

Table 7-2 List of Selected Earthquakes for Fault Plane Solutions

Table 7-3 Representative Reservoir Induced Earthquakes

Table 7-4 Number of Earthquakes in a Year during the Period from 1901 to 1987

Table 7-5 Distribution of Magnitude and Epicentral Distance of the Seismicity Data

Table 7-6 Maximum Annual Acceleration during a Year from 1959 to 1987

Table 7-7 Maximum Acceleration expected at the Project Site for Four Return Periods (gal)

Table 7-8 Estimates of Maximum Acceleration at Nam Yuam Project Area

Table 7-9 Estimated Value of Design Seismic Coefficient based on the Maximum Accelerations

List of Figures

Fig. 7-1 General Geological Structure of Southeast Asia

Fig. 7-2 Schematic Structural Map of Thailand and Surrounding Regions

Fig. 7-3 Major Faults in the North-Western Part of Thailand

Fig. 7-4 Distribution of Major Tectonic Plates on the Earth and Plate Boundaries

Fig. 7-5 Epicenters of Earthquakes of Magnitude : $M \geqq 4$ and Focal Depth : $H \leqq 100$ km which Occurred during the Period from 1964 to 1982 in the World

Fig. 7-6 Epicenters of Earthquakes of Magnitude : $M \geqq 4$ and Focal Depth : $H \geqq 100$ km which Occurred during the Period from 1964 to 1982 in the World

Fig. 7-7 Lithospheric Plates and Microplates in North-eastern to Middle Asia and the Direction of Micro Plate Movements relative to the India-Eurasia Collision

Fig. 7-8 Epicenters of Earthquakes Occurred in Asia

Fig. 7-9 Average Positions of Pressure Axes in Southeast Asia

Fig. 7-10 Average Positions of Tension Axes in Southeast Asia

Fig. 7-11 Distribution of Shallow Earthquakes ($M \geqq 6$) since 1900

Fig. 7-12 Asismic Area in Asia

Fig. 7-13 Distribution of Epicenters of Strong Earthquake and Structural Lines in Asia

Fig. 7-14 Epicentral Distribution of Earthquake within 500 km Radius from Mae Lama Luang Damsite

Fig. 7-15 Epicenters of Earthquakes ($3.0 \leqq M \leqq 4.5$) within 1,000 km Radius from Mae Lama Luang Damsite

Fig. 7-16 Epicenters of Earthquakes ($4.5 \leqq M \leqq 5.0$) within 1,000 km Radius from Mae Lama Luang Damsite

Fig. 7-17 Epicenters of Earthquakes ($5.0 \leqq M \leqq 6.0$) within 1,000 km Radius from Mae Lama Luang Damsite

Fig. 7-18 Epicenters of Earthquakes ($6.0 \leqq M \leqq 7.0$) within 1,000 km Radius from Mae Lama Luang Damsite

Fig. 7-19 Epicenters of Earthquakes ($7.0 \leqq M \leqq 8.5$) within 1,000 km Radius from Mae Lama Luang Damsite

Fig. 7-20 Seismotectonic Map of Thailand and the Adjoining Regions

Fig. 7-21 Seismicity Map around Mae Lama Luang Damsite

Fig. 7-22 Projections of the Locations of Earthquakes and Fault Plant Solutions

Fig. 7-23 'Time Lag' between Impoundment and First RIS Event

Fig. 7-24 'Time Lag' between Impoundment and Larger RIS Event

Fig. 7-25 Magnitude of the Largest RIS Event Versus 'Time Lag' of accepted Cases of RIS

Fig. 7-26 Magnitudewise Distribution of reported RIS Cases

Fig. 7-27 Annual Distribution of the Earthquakes ($M \geqq 3.0$) within 1,000 km in Radius from Mae Lama Luang Damsite (1964 - 1971)

Fig. 7-28 Annual Distribution of the Earthquakes ($M \geqq 3.0$) within 1,000 km in Radius from Mae Lama Luang Damsite (1972 - 1979)

Fig. 7-29 Annual Distribution of the Earthquakes ($M \geqq 3.0$) within 1,000 km in Radius from Mae Lama Luang Damsite (1980 - 1987)

Fig. 7-30 Seismicity of All Data in 1901 - 1987
Total Number of Plots in the Area of $D \leqq 1{,}000$ km is 1,107

Fig. 7-31 Return Period for Maximum Acceleration Estimated by Eq.-(1) [Oliveira]

Fig. 7-32 Return Period for Maximum Acceleration Estimated by Eq.-(2) [McGuire]

Fig. 7-33 Return Period for Maximum Acceleration Estimated by Eq.-(3) [Esteva & Rosenblueth]

Fig. 7-34 Return Period for Maximum Acceleration Estimated by Eq.-(4) [Katayama]

Fig. 7-35 Comparisons of Various Attenuation Models (M = 7.0)

Fig. 7-36 Regional Distributions of the Maximum Earthquake Motion in and around Thailand. Vmax for Return Period Tr = 50 Years.

Fig. 7-37 Seismic Risk Map in and around Thailand Vmax for Return Period Tr = 100 Years.

Fig. 7-38 Seismic Risk Map in and around Thailand Vmax for Return Period Tr = 200 Years.

Fig. 7-39 Seismic Risk Map in and around Thailand Amax for Return Period Tr = 50 Years.

Fig. 7-40 Seismic Risk Map in and around Thailand Amax for Return Period Tr = 100 Years.

Fig. 7-41 Seismic Risk Map in and around Thailand Amax for Return Period Tr = 200 Years.

Fig. 7-42 Seismic Zoning Map for Thailand and the Adjacent Regions

第７章　地　震

7.1　概　要

計画地点は、タイ国とミャンマー国の国境をなすMoei川より約５km東方に位置し、ヒマラヤ造山帯の東側に位置する。この地域には、北北西－南南東方向の構造線が多数分布し、そのうち有名なのが Taunggy断層（ミャンマー国）－Moei-Uthai Thani断層（タイ国）である。

Moei-Uthai Thani断層については、ＥＧＡＴが詳細な調査を行い、"Tentative Report on Seismicity Study of Nam Yuam Project ; Geology Section, Survey and Ecology Department, EGAT, February 1989." として報告されている。

本調査団は、ＥＧＡＴと共に、Moei-Uthai Thani断層の現地調査を行った。現地調査結果を含め、計画地域の地質構造，地震活動度・地震危険度および、耐震設計に用いるべき設計震度の評価等について、その概要を以下に述べる。

なお、本検討において活用した参考文献リストは Appendix に付した。

7.2　地質構造

7.2.1　地質概要

Mae Lama Luangダムを含む計画地域は、北緯約17° 47′東経97° 48′のタイ国北西部のMae Hong Son県に位置する。既往報告書 "Evaluation of Seismicity in the Kanchanaburi Province ; June 1984, prepared for EGAT by EBASCO" によると、タイ国の地質構造については下記のように報告されている。

タイ国を地形、地質、地質構造発達史を基に分類すると、以下の３つに区分できる。

1)　Khorat Plateauに代表されるタイ東方部

2)　タイ湾とその北方延長にあたる中央峡谷の低地帯

3)　南方のマレーシア山脈に続く西部～北西山岳地帯

この区分によると、本計画地域は 3) に属する。同報告書は、さらにこの地域の地質構造の背景を次のように述べている。

タイ西方部は、現在その北西側のヒマラヤ造山帯と南方のインドネシア孤に沿う海洋サブダクション帯の中間部となっている(Le Dain and others, 1984)。Andaman ベース内では、東西に広がった多数の軸に沿って南北方向に継続して伸長していること

が、地震観測記録の解析によって示唆されている(Hutchinson, 1978) 。Andaman 海の広がりと、インドの反時計廻りの回転および継続した移動 (Bguchiand others, 1979; Chandra, 1981) は、Sumatra 西岸とAndaman 海のトランスフォーム断層や、ミャンマーにおける主要な南北方向の走向すべり断層に沿う右横ずれ変位とよく対応している(Asuachinda, 1978 ; Hamilton, 1979 ; Verma and others, 1979)。

これら最新の地殻変動や応力方向の解析結果によれば、タイ西部の第三紀、および新期堆積物の変形は、主として北ないし北西方向の主要断層に特徴づけられる(Chantarawee, 1978) 。タイ西部の主要な断層としては、Moei-Uthai Thani断層とThree Pagoda断層がある。両断層とも Asuachinda の文献によれば、中生代の花崗岩と新生代の堆積盆地を左横ずれ変位させているとされている (Asuachinda, 1978) 。両断層に沿う動きは、Shan Scarpとミャンマー北西に延びる Haninzee Sagaing 断層に関連したものであり、後期新生代まで続いたとされている(Chantarawee, 1978) 。

ナムユアム川開発計画区域の地質および地質構造は、以下のようにまとめられる。

— 分布する岩石は、前期古生代から中生代までの多種類の岩石がみられ、各地層の方向は、顕著に北西－南東方向を示す。

— いわゆるMoei-Uthai Thani断層は、ミャンマーにおける Pan Laung及びTaunggy 断層に連続するもので、その方向は地層の方向と一致した北西－南東方向を示す。

— Moei-Uthai Thani断層は正断層、衝上断層あるいは、走向移動断層複合帯として位置づけられる。また、左横ずれの水平変位が認められる。

7.2.2 タイ国の地質構造

インドシナ半島地域の最古の岩石は、先カンブリア時代末期または古生代初期の造山運動で生じた変成基盤岩類である。この地域では、古生代後期から現在までの間に次に示すような３回の造山運動が発生した。

造山運動	活動時期
1．ヘルシニア期	(石炭紀)
2．インドシナ期	(二畳紀からジュラ紀まで主に三畳紀)
3．ヒマラヤ期	(白亜紀から第四紀まで)

新しい時代の造山帯は、古い時代の造山帯を同心円状にとりまくように生じた。現在の陸地はヘルシニア期造山運動により形成されたと考えられており、この陸地は、古地理学的には"Annamia"と呼ばれている。その後、ヘルシニア期造山地域をとり囲むようにインドシナ期の造山帯が形成された。これらの造山運動では、いつも既存の大陸の周縁部は新しい造山帯にとり囲まれたが、新しい造山帯の大部分は既存の大陸のまわりの大洋底に形成された。従って、大陸地殻は次第に外側へ向かって成長した。

インドシナ期の造山運動によって、この地域にできた大陸塊はインドシニア(Indo-sinia)と呼ばれている。このインドシニア大陸の周縁部は、後にヒマラヤ期造山帯にとりこまれたが、もとのインドシニア大陸は大部分が現在まで安定地域として残存している。

インドシナ半島地域の一般的な地質構造を Fig.7-1に示す。またタイ国およびその周辺域の地質構造概要を Fig.7-2に示す。

インドシナ半島西域の海底は、シルル紀に Shan-Thaiクラトンの東縁に沿って沈み込みを開始した。西側への沈み込みは、初期中生代まで続き、シルルーデボン紀、石炭紀－前期二畳紀、後期二畳紀－ジュラ紀ならびに後期三畳紀－ジュラ紀に押出された中央タイの安山岩性、ならびに、流紋岩性の火山岩で代表される、重畳した火山性弧状統が形成された。 Shan-Thaiクラトンとインドシナクラトンの衝突は、三畳紀から前期ジュラ紀に発生した。しかし、Burton(1984)によれば、この 2つのクラトンは中期二畳紀から後期二畳記までは接触していたと報告されている。衝突ゾーンは、タイ中央の Nan縫合線で代表される地域である。この衝突によって、線状の変動帯がほぼ南北に走るタイの地質学的特徴が形成された。

ほとんどの変動帯（褶曲ならびに押かぶせ断層）は、破砕帯や曲線状断層によって形成されている。タイの主要断層帯は、北東ならびに北西方向に並んでいる。

山脈の殆どは、白亜紀から後期始新生代にかけて生成された厚いタービダイト性頁岩ならびに砂岩で形成されている〔Brunnschweiler, 1966；Mitchell, 1981〕。

フリッシュは、山脈に沿って密に褶曲しており、南側よりもNaga Hillsでより顕著である。インドビルマ山脈は、新生代にインドプレートがユーラシアプレートの下に沈み込んだ結果形成されたというのが通説である〔CurrayならびにMoore, 1974; Curray その他, 1978 ; Mitchell, 1981 〕。

プレートの沈み込み期間中、オフィライトメイランジを有する厚いタービタイトプリズムがインドプレートに漸次衝上した。陸地の短縮は後期白亜紀から現在に至るまで、大なり小なり、明らかに絶えず生じてきている。フリッシュは、山脈の西縁に沿って中新生デルタ性あるいは陸水性モラッセが被さっている〔Currayならびに Moore, 1974〕。(Fig.7-2)

Arakan Yoma の東側のある地域では、変成片岩ならびに超塩基性岩（カンラン岩ならびに閃緑岩が様々な度合いで蛇紋岩化したもの、ならびに、クロム鉄鉱岩及びニッケル鉱を含む）が西方へ衝上しフリッシュに乗り上げている(Fig.7-2)〔Brunnschweiller, 1966；Mitchell, 1981〕。

Shan急傾斜の東側には、Shan高原が中央低地の上に立ち上がっている。その平均高度は、南側で 2,000mであるが、北東部では 3,400mと増加している。構造的には、Shan高原（ならびにミャンマー東部の高地すべて）はインドシナ台地に属しておりインドシナ台地は後期三畳紀に、現在 Red River 縫合線と称されている線に沿って衝突したものと推定されている〔Bunopas, 1981 〕。

台地の基部は、前カンブリア紀の花崗岩、片麻岩片岩で構成されている〔 Maung Thein, 1973；Mitchell, 1981〕。

２つの主要山塊（すなわち Shan 〔北西マレーシア山塊〕、ならびに Khorat 〔南東マレーシア山塊〕）がインドシナを構成しているが、これらは中生代初頭に縫合したものと考えられる〔Bunopas ならびに Vella, 1978；Hamilton, 1977, Mitchell, 1977, 1981；Sengor, 1981; Stocklin, 1980〕。

このような推論は、インドシナとマレー半島の先端を２分し（Fig.7-2)、主として両側で古生代後期ならびに中生代初期，すなわち二畳紀－三畳紀の花崗岩ならびに酸性火山に接しているオフィオライトならびにメイランジを有する帯状地域の存在によって提唱されている。

インドシナ山塊のほとんどに堆積している中生代後期堆積物は、大陸性あるいは浅海性堆積物である。褶曲ならびに変成作用は、Shan高原の西側でジュラ紀に起こったものである〔Mitchell, 1981〕。しかしながら、東側のKhorat台地のテーブル状赤色ベッドは、本質的に変形作用を受けていない。Shan高原ならびにマレー半島では、西側でごく最近に生じた貫入岩が認められる〔Beckinsale等, 1979；Bignell ならびに Snelling, 1977 〕。

以上より、マグマ活動ならびにテクトニック活動は中生代に西側へ漸動したものと考えられる。〔Hamilton, 1979 : Mitchell, 1981〕

7.2.3 タイの主要断層

Fig.7-3 にタイ西部の主要断層を示す。タイ国周辺地域には、わずかの小規模断層が見受けられるが、震央域そのものには活断層は認められていない〔ＥＧＡＴ, 1985〕。従って、この地域では、たとえ大規模な地震エネルギーの放出があったとして、断層運動にはほとんど直接の関係はないものと思われる。しかしながら、この地域は、2つの大規模断層、すなわち現在の震央から僅か隔てた地点を通過するThree Pagoda断層ならびにMoei-Uthai Thani断層、特に前者の移動によって恐らく大きなストレスを受けているものと考えられる(Fig.7-3参照)。現在の震央近傍周辺の水系もThree Pagoda断層に沿って発達している。Moei-Uthai Thani断層ならびにThree Pagoda断層は、この地域の顕著な地質構造を形成している。これらの断層は、北西－南東方向に沿って数百キロも分布している。何れの断層も北西端のミャンマーにある San Scarp 断層ならびに南東側のKlong Marui 断層と何らかの関係を有するものと考えられる。これら2つの右方向水平に伸びる断層は過去の不活性断層の名残であるとされてきているが、この地域の地質構造へ及ぼす影響は極めて顕著であると考えられる。これは地表節理パターンの解析によっても証明されている。しかしながら、これら2つの大規模断層が第三紀後期より再び活発化の過程にある事を示すいくつかの形跡も認められている。Moei-Uthai ThaniならびにThree Pagoda断層は、すでに述べた三畳紀－ジュラ紀における Shan-Thaiクラトンとインドシナクラトンの衝突によって生成したものと考えられている。西部タイのジュラ紀－白亜紀の造山作用は、これら2つの断層の活動が支配的な役割を果たしたが、その後次第に不活発になったものと考えられる。そして、第三紀後期には、インドプレートとユーラシアプレートの衝突が起こった時期であるが、この時期にこれら断層は再び活発になったものと考えられる。事実、インドプレートとユーラシアプレートの衝突は、タイの造山状況に変化をもたらしている。すなわち、南シナの時計方向運動は、この衝突によって停止されたものと考えられる。捻りストレスが無くなったため、南東アジアは恐らくストレスが開放され、第三紀盆地の堆積を生じ、タイ湾を形成し、その後、北方向への延伸をもたらしたものと考えられる〔Bunopas ならびに Vella, 1983〕。

7.2.4 Moei-Uthai Thani断層

既に述べた通り、いわゆるMoei-Uthai Thani断層は、北西－南東というこの地域の地質構造とよく一致した方向を示す。さらに、この断層は、１本の断層が全長に亘って連続しているのではなく、北西－南東方向を有するいくつもの断層の複合断層と思われる。

現地調査において、２ヶ所で圧砕岩に似た大規模な露頭を観察した。この露頭は恐らく極度の応力を被ったために、岩体に網目状の破断面が発生した岩石であろう。露頭の位置が、地質図上のMoei-Uthai Thani断層の位置と一致するため、岩体に働いた極度の応力が断層に起因していると判断すると、これら露頭は、Moei-Uthai Thani断層の一部である可能性が強い。

しかし、たとえこれらの露頭がMoei-Uthai Thani断層の一部であるとしても、この断層の活動性は不明である。この断層の活動性の検討については、今後断層周辺の詳細な地質調査、とくに第四紀堆積物の分布を詳細に調査することによって、この断層の活動性に関する多くの情報が収集されるであろう。

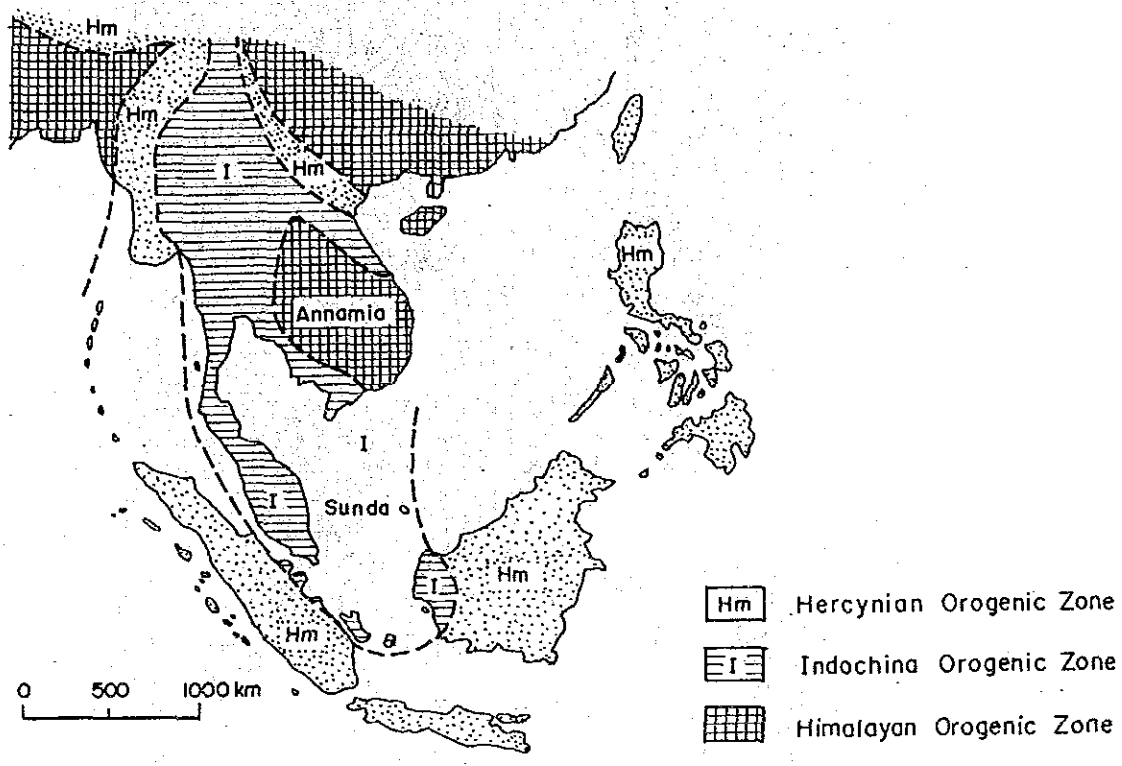


Fig. 7-1 General Geological Structure of Southeast Asia

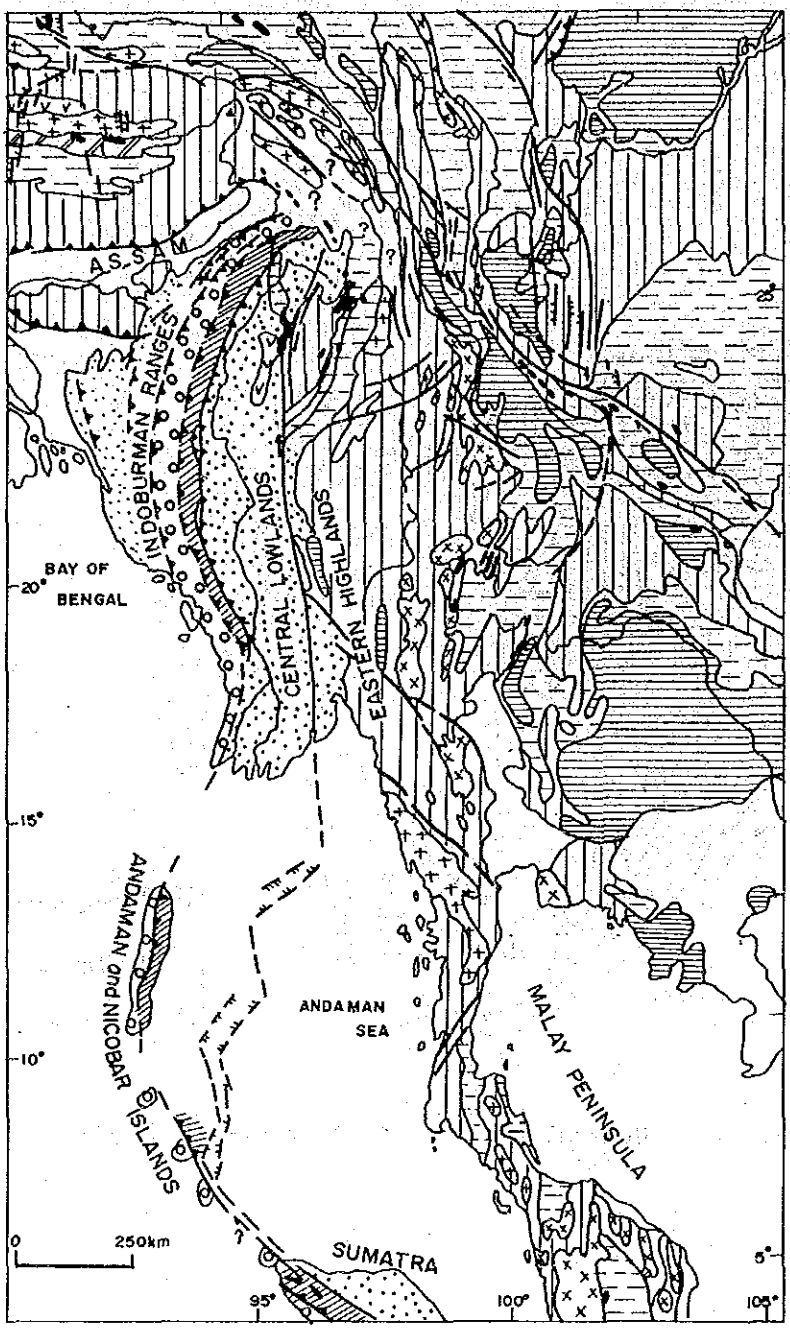


Fig. 7-2 Schematic Structural Map of Thailand and Surrounding Regions (after Le Dain et al (1984))

(Legend)

- Oligomiocene Molasses
- Eocene to Pleistocene molasses of the Burma Lowlands
- Eocene flysch (with exotic blocks at places)
- Flysch and melanges with exotic blocks
- Indus Triassic flysch
- Mesozoic, including Lower Mesozoic flysch
- Paleozoic and Proterozic
- Ophiolites
- Metamorphic complex (Naga Hills in particular)
- Upper Mesozoic platform sediments
- Late Paleozoic to Early Mesozoic granites
- Tertiary volcanics
- Middle to late Mesozoic granites
- Strike slip
- Major Fault overthrusts
- Normal

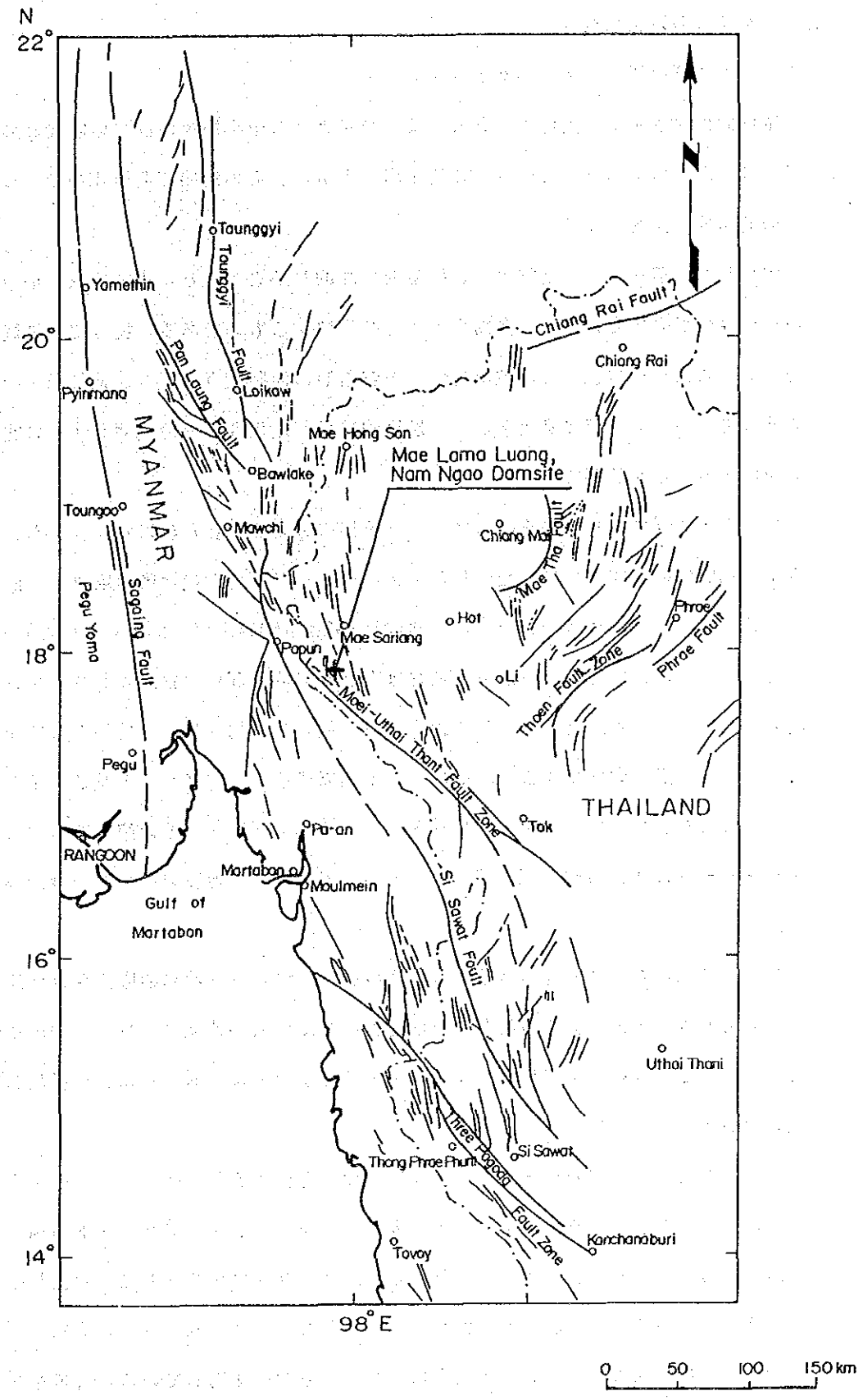


Fig. 7-3 Major Faults in the North-Western Part of Thailand

("Southeast Asia Association of Seismology and Earthquake Engineering" Series on Seismology Volume II, Thailand 1985)

7.3. タイ国の地震活動度

7.3.1 タイ国周辺域のネオテクトニクス

個別的に発生する巨大地震、あるいは、特定地域の中小規模の群発地震などの地震活動は、岩石の破壊現象という物理的側面とともに、その地域の造構運動の一環としての地学的側面を有する。

すなわち、個々の巨大地震は、造構運動の端的な結果であり、特定地域に集中した中小規模の群発地震は、その変動帯の特性を反映するものである。従って、地震現象を理解するためには、岩石の破壊特性、地震断層の活動メカニズム、地震発生の統計的性質等について詳細な研究を行い、最終的には、造構運動と地震活動性との関連性を解明することが肝要である。

世界の主要なプレートならびにプレート境界の分布をFig.7-4 に示す。また、1964年から1982年の期間に世界で発生したマグニチュード4以上の地震の震央をFig.7-5（震源の深さ 100km以浅）、Fig.7-6（震源の深さ 100km以深）に示す。Fig.7-4 とFig.7-5 , Fig.7-6 との比較から、地震は主として造構運動の結果として、プレート境界で発生していること、すなわち、プレート相互間の相互作用の結果として発生していることが良く理解できよう。更に、タイ国周辺域の主要プレート及びマイクロプレートの分布、ならびにインドプレートとユーラシアプレートの衝突に関連するマイクロプレートの移動方向を Fig.7-7に、アジアで発生した地震の震央を Fig.7-8に示す。

アジア地域においても地震活動度の高い地域は、プレート境界の限定された地域に分布しており、一方、安定地域あるいは地震活動度の低い地域はプレート内部に広く分布している。大陸の楯状地や大洋底の大部分は安定地域、もしくは、地震活動度の低い地域となっていいる。

タイ国周辺地域のプレートテクニクス進化の最も代表的な特徴は、3つの主要プレート、すなわち、ユーラシアプレート、太平洋プレート、インドプレートの相互作用の結果として、一般に説明することができる。ユーラシアプレートは、静止していると考えられている。また、インドプレートは、時計方向回転成分を含む北向きの動きを示し、その結果太平洋プレートは全体として西方向へ移動している。この相互作用の影響で、これらプレートの境界線ならびにタイ国周辺地域の造山性断層の殆どは薄型断層ならびに走向移動断層となっている。さらにインド洋と東海にある2つの拡大

中心域、および2つの並列沈み込み域は活動しており、三畳紀から現在にいたるまで東海方向へ移動している。このような特徴は、本地域の地震メカニズムにも現れている。すなわち走向移動が断層活動の主要形態となっており、これによって浅発地震が発生している。走向移動断層はこの地域における造構断層の典型をなしている。やや深発地震（震源の深さが中程度の地震）については、斜向移動運動が震源における主要形態となっている。

7.3.2　タイ国周辺の地域的応力場

東南アジアにおける地震の圧力軸ならびに引張軸をFig.7-9 ならびに Fig.7-10 にそれぞれ示す。東南アジアでは殆ど全ての構造ならびに断層系は北西－南東方向に向いている。インドシナ半島地域は、4つの小さな区域に分割して考えることができる。先ず第一の区域は、大規模な Red River断層を有する北部ベトナム中生代褶曲ゾーンを含む地域である。この区域における地震は全て地殻で発生している。

第二の区域は、子午線方向あるいは北西－南東方向に走る1連の大規模断層を有する西部ミャンマー新生代褶曲帯である。この区域では、上部マントルに達する深さで多数の地震が発生している。第三の区域は、新生代褶曲ゾーンであり、子午線方向の断層を有する地域である。この区域では、地震は地殻あるいはそれ以深の狭いバンドで発生している。第四の区域は、Sumatra(インドネシア）の新生代の褶曲ゾーンの一部を含む地震であり、太平洋新生代造構帯のアジア地震帯に属する。この区域における地震の殆どは、プレートの沈み込みゾーンで発生しており、深さは上部マントルに達する。

7.3.3 タイ国の地震活動度

近代の地震観測網の発達によって、マグニチュード5以上の地震については、世界中のどこで発生しても、もれなく検知されるようになっている。

マグニチュード6以上の地震に関しては、今世紀を通じて世界中の地震データを入手し、地震危険度解析等に活用することができる状況にある。

NOAA地震データファイルからマグニチュード6以上の地震を抽出して作成した1900年以降のアジアにおける地震分布をFig.7-11に示す。また、アジアにおける無地震地帯の分布をFig.7-12に示す。すでに記述したように、地球上には大別して地震活動性による 2種類の地域、すなわち高地震地帯と低地震地帯が存在する。

一般的に、インドシナ半島地域は、地震が少なく、タイ国は北部では若干地震活動が見られるが、全体としては安定した地震の少ない地域であると考えられる。

1500年以降に発生したマグニチュード6以上の地震の震央と、アジアの主要地質構造をFig.7-13に示す。

東南アジアという大きな観点から見た時、タイ国は地震の極めて少ない国であると考えることができ、タイ国の地震活動度は、ミャンマー、インド、中国、ネパール、日本等の周辺諸国に比して著しく地震活動性の低い地域であると指摘することができる。

7.3.4 プロジェクト計画地点の地震活動性

Mae Lama Luangダム地点から半径 500km以内で発生した地震の震央をFig.7-14に示す。この図からプロジェクト計画地点において揺れが感じられた地震の大部分はミャンマーおよびAndaman 海で発生していることが分る。マグニチュードの大きさにより分類した地震の震央分布をFig.7-15（3.0≦M≦4.5），Fig.7-16（4.5≦M≦5.0），Fig.7-17（5.0≦M≦6.0），Fig.7-18（6.0≦M≦7.0）およびFig.7-19（7.0≦M≦8.5）に示す。

これらの図より明らかなようにタイ国では、1900年から1987年に至る期間に、マグニチュード6.0以上の地震は全く発生していない。

タイ国及びその周辺域の地震構造図をFig.7-20に、タイ国近傍で発生した主な歴史地震の一覧を Table 7-1に、Mae Lama Luangダム地点周辺で発生した地震、およびそれらの震源断層面のメカニズム解をそれぞれFig.7-21およびFig.7-22に示す。

地震断層面のメカニズム解の評価対象となった地震の概要は Table 7-2に示す。歴史的に大規模な地震はいくつかあり、この地域における構造活動が依然活発である事と関連性があるものと考えられる。

1762年4月2日Arakan大地震では、ミャンマー沿岸における広範囲にわたる地表面高の変動が起こった〔Richter 1958〕。

また、1878年の地震では、Ramree島の西岸で6mの隆起が発生し（19° 20' N)、この島の北側に位置していた False島は海面下に沈没してしまったものと思われる〔Richter, 1958 〕。しかしながら、地震時の震度が最も大きかった地域は更に東方であったと考えられる。1881年の Andaman諸島西部で発生した大規模地震では、小規模な津波が発生している。深発地震ならびにやや深発地震はNam Hills, Chin HillsならびにArakan Yomaで発生している〔Fig.7-20参照、Gutenbergならびに Richter, 1954 : Santo, 1969 〕。やや深発地震の分布は、インドーミャンマー山脈の下約45° 東方で傾斜する単一のゾーンを示している。

このことは、改訂岩石圏が山脈の東方下部に沈み込んだことをうかがわせる(Fig. 7-22参照)。最近の構造運動によってChiang Maiの南西域ならびにShan台地の2地域に影響を及ぼしたものと考えられる（Fig.7-20参照）。これらの地域における浅発地震の地震断層面のメカニズム解は、「共役走向移動断層が活発な構造運動を特徴付ける」とする考え方を裏付けるものである。南部では、Moulmeinの北約 100km地点にMoei-Uthai Thani断層と呼ばれる大規模断層が存在している。この断層は Papun市を横切って北西方向に約 400km延びており、中世代花崗岩ならびに片麻岩を横断している(Fig.7-2, Fig.7-20参照）。この断層は、およそ19.0° N, 96.3° Eの地点でSagaing断層と交差し、主として走向移動断層形態を呈するものと考えられる。1975年2月17日の地震がこの断層で発生したと仮定すれば、対応する断層面のメカニズム解は、北西方向に延びる面で右横ずれの運動成分が存在する事をしめしている。タイでは、断層はいくつかの並列断層に広がり、南部の第三紀堆積層の中に消滅している。Moulmeinの東部には、顕著な崖が存在し、石炭紀堆積層ならびに基盤と貫入岩の限界にほぼ一致しており、正断層の形態構造を呈している（Fig.7-20参照）。このような正断層の走向はMoei-Uthai Thani断層上の右横ずれの移動に一致しており、また南側ではその他の断層と一致している。したがって、本地域の構造形態は、 Andaman海盆の構造形態と定性的に類似で、走向移動断層と

正断層が混在しているものと考えられる。

その走向は異なるが(Fig.7-20)、Moei-Uthai Thani断層はSagaing 断層の南端近くでは、いく分か右横ずれの変形挙動を吸収している可能性も考えられる。

歴史記録に示されている地震記録の分布は、山脈前線に沿い Andaman海の西縁ならびに Sundaアークの東部を通過するプレート境界が明らかに存在することを示す。前線アークに沿った衝上断層の活動地域における浅発地震の地震時のスリップは、インドプレートがユーラシアプレートに対し逆押かぶせとなっていることを示す。北東部の水平方向に延びる最大圧縮軸によって示されるストレス分布は、本地域における現在のプレートテクトニックとよく符号する。東西方向の垂直断面内における地震活動性は、深発地震がミャンマー山脈ならびに Andaman海の西部に沿う狭い帯状地域に分布している事を示している。東側へ深度およそ 180kmまで傾斜しつつ分布する地震活動性は、インドプレートが北西 Sundaアークに沿ってユーラシアプレートの下に沈み込んでいる事を示している。Andaman 海盆における浅発地震の活動性は、アンダマン－ニコバール海嶺ならびに中央 Andamanトラフを貫通するニコバール地溝に沿って明確な特徴を示している。 Andaman海の西側辺縁に沿って震源の浅い地震が狭いゾーンに分布している。ニコバール地溝近傍で発生している横ずれせん断滑りは、Sumatra 島のSamangko断層から延びた緩衝ゾーンに走向移動断層が連続している事を示唆している。

タイは、地震活動の活発なアークゾーンから少し離れて東側に位置している。タイは、活発な中央 Andamanトラフから東におよそ 400km離れた地震の少ないゾーンに位置し、地震活動は、タイの北部ならびに西部に散在する。この地域における地質構造は、Peter〔1969〕ならびに Mooreの記述によれば褶曲山系に属する。この山系はミャンマーのShan高原よりマレー半島まで延びている。これら褶曲の主な造山運動は、三畳紀ならびにジュラ紀に発生したものである。三畳紀ならびにジュラ紀の褶曲山脈は、タイの北部ならびに西部地域では非調和運動をその特徴としているが、これは岩体ならびに上載圧の不均一性に由来する。この結果、著しい褶曲と勾配の大きな断層が発生し、その走向はNSからNW－SE方向に走る構造軸に多少とも平行となっている。近代の地震記録に記載されているタイ近傍の地震は、激しい押かぶせ断層の分布する地域で発生している。

タイ国でこれまで発生した強震は、マグニチュード５程度であり、軽度の被害を

発生している（1978年9月1日：震源地：20.4° N, 100.6° E, 震度：Ⅳ 測定場所：Chiang Rai Province：1980年2月10日：震源地：19.4° N, 99.2° E, 震度：Ⅲ、測定場所：Phrae Province）。最近では、タイの西部における、地震活動が活発に報告されている。タイ西部では、1983年4月に僅か1週間の間にマグニチュード5以上の地震が3件も発生した。これらの中規模地震の震源は、3つの大きなダムを含むQuae Yaiプロジェクトのダムサイトの周辺域である。主要ダムとなるSrinagarind ダムは1977年より貯水を開始している。

Makerd〔1979〕は、地質学的な観点ならびにダムサイト貯水池の特性から本地域で地震活動が活発化する可能性があることに言及している。なお、1983年の地震現象ついては「7.3.5」において記述する。

7.3.5 1983年の地震について

(1) 貯水池誘発地震に関する一般的知見

貯水池誘発地震が発生したと考えられているダム地点としては、Koyna, Kariba, Kremasta, Hsinfengkiang, Aswan High, Oroville, Benmore, Encumbene, Houver, Akosombo, Marathonなどが有名である。貯水池誘発地震の代表的な事例をTable 7-3 に示す。貯水池誘発地震に関しては、いろいろな研究者によって、いくつかの仮説が提案されているが、貯水池誘発地震の主な特徴として一般に考えられている知見を以下に列挙する。

- 貯水池誘発地震は、主として貯水池の湛水の結果として発生すると考えられている。
- 地震活動度は、貯水池の湛水後に著しく増大する。

  大部分の貯水池誘発地震は、貯水池の湛水開始後、1～5年の内に発生している。(Fig.7-23～Fig.7-25参照)
- 地震活動度は、貯水池の水位変動に応じて増大－減少する。水位が低い時は地震活動度ならびにエネルギー開放の量も減少する。
- 貯水容量の大きなダムの大多数において地震活動が認められないことから、貯水池誘発地震と貯水容量との間には必ずしも直接の関連性はない。
- 貯水池誘発地震は、貯水池の湛水速度に関連性があると考えられている。

－　貯水池誘発地震の多くは、マグニチュード2.0～5.0である。(Fig.7-26参照)

－　貯水池誘発地震の最大のマグニチュードは、6.5ないし7.0と考えられる。

－　貯水池誘発地震は、貯水池の水深が 100m以深の場合に多い傾向がある。

－　貯水池誘発地震の震央距離は25km以内であることが多い。

－　貯水池誘発地震の震源深さは、3km以浅であることが多い。

－　貯水池誘発地震の大部分は、中地震帯又は低地震地帯に発生している。

－　貯水池誘発地震は正断層または、横ずれ断層を伴うことが多い。

－　貯水池誘発地震の最大マグニチュードおよび、震度は自然の地震のレベルを一般的には越えない。

なお、貯水池誘発地震の主な発生メカニズムについては以下のような原因が考えられている。

－　貯水池の貯水が外荷重として作用し、地盤内に応力を発生させ、地震を発生させる“ひきがね”として作用する。

－　貯水池の貯水そのものが地盤の破壊挙動を引き起こす。

－　貯水池の貯水により、地盤内の間隙水圧が増大し、有効拘束圧の低下に伴う強度低下を引き起こし、地盤の破壊を誘発する。

$$P = P_o - P_1$$

（有効応力）　（地殻応力）　（間隙水位）

(2)　Srinagarind貯水池における1983年の地震活動

タイ国はその北部を除き、インドシナ半島の安定した無地震地域に位置しており、この地域では地震エネルギーの解放は比較的まれな現象である。しかしながら、1983年4月22日に Srinagarind貯水池の近傍において、実体波マグニチュード MB=5.8の内陸地震が発生した。この本震に前後してマグニチュード2.0以上の前震が19回、またマグニチュード2.0以上の余震が 300回以上も発生した。これらの地震の震源深さは、地下8kmから12kmの範囲に集中した。

Gkase, Oike ら（1987年）は、これらの地震事象に対して次のような報告をしている。

Srinagarind 貯水池周辺で発生した1983年の地震は、タイ国の西側のプレートの沈み込み運動、およびそれに伴うバックアークの拡大過程とは直接的な関係がないものである。これらは、おそらくは脆弱な局部地域に蓄積されていた内部ひずみの解放に伴い発生したものと考えられる。基本的に、震源域の基盤は 2つの大断層すなわちThree Pagoda断層とMoei-Uthai Thani断層の作用により、応力を受けた状態にあったと考えられ、こうした状況下において、Srinagarind 貯水池の貯水がその化学的腐蝕作用により基盤構造を脆弱化させる付加的要因として働いたものと推定される。その結果として、基盤の摩擦抵抗が減少し、蓄積されていたひずみが最終的に解放され、その際に地震が発生したものと考えられる。貯水による基盤の化学的腐蝕がこの Srinagarind貯水池において特異な現象であったと考えることができる。

貯水池の湛水以来、6年間にわたり貯水は基盤に物理・化学的影響を及ぼし、特により鋭敏な花崗岩に対して強い物理・化学的影響を及ぼしたと考えられる。

このように、Srinagarind 貯水地周辺において1983年に発生した地震群は、一種のダム誘発地震であるが、この地点に特異な基盤と貯水との化学的浸食作用の存在が直接の最大の原因であった点が特徴的と考えられる。

Table 7-1 Major Historical Earthquakes in and Near Thailand

Date	Location	Magnitude or Brief Description
Mar. 23, 1839	Near Mandalay	"Very destructive"
Feb. 6, 1843	Near 19 1/2°N, 95 1/2°E	Caused eruptions of mud volcanoes on Ramree Island
Oct. 30, 1843	Also near 19°N, 95°E	More violent than preceding event
Jan. 3, 1848	Also near 19 1/2°N, 95 1/2°E	Strongest shaking at location given, but following earthquake False Island (at 18°38'N 95°55 1/2'E) apparently disappeared, "no trace of it being seen after the 24th August"
Dec. 31, 1881	West of Andaman Islands	Caused small tsunami, 1 m peak to trough in height, felt in Myanmer, Bengal, and India and damaging on Andaman, Nicobar Islands
May 23, 1912	21°N, 97°E	M = 8, I_{max} = IX; numerous foreshocks and aftershocks; zone of intensity VII elongated in a north-south direction parallel to Kyaukkuan fault; railroad tracks bent near fualt but little deformed elsewhere
Jun. 22, 1923	22 3/4°N, 98 3/4°E	M = 7.3
Sep. 9, 1923	25 1/4°N, 91°E	M = 7.1
Mar. 16, 1925	25°N, 100°E	M = 7.1
Aug. 8, 1929	Near 19°N, 96 1/2°E	Bent railroad tracks, bridges and culverts collapsed, and loaded trucks overturned
May 5, 1930	17°N, 96 1/2°E	M = 7.3, I_{max} = IX, in a zone trending north-south for 70 km south of Pegu (therefore, parallel to the Sagaing fault)
Dec. 3, 1930	18°N, 96 1/2°E	M = 7.3, railroad tracks twisted
Jan. 27, 1931	25.6°N, 96.8°E	M = 7.6, I_{max} = IX; numerous fissures and cracks
Dec. 26, 1941	21°N, 99°E	M = 7.0
Oct. 23, 1943	26°N, 93°E	M = 7.2
Sep. 12, 1946	23 1/2°N, 96°E	M = 7 1/2
Sep. 12, 1946	23 1/2°N, 96°E	M = 7 3/4
Feb. 2, 1950	22°N, 100°E	M = 7.0

Descriptions, intensities, and qualified locations from Chhibber [1934]. Coordinates without prefix "near" and magnitudes from Gutenberg and Richter [1954].

Table 7-2 List of Selected Earthquakes for Fault Plane Solutions

Event	Date	Location Lat(°N)	Long (°E)	H
Myanmer, South China, Laos, and Thailand				
1.	Jan. 22, 1964	22.33	93.58	60
2.	Feb. 27, 1964	21.65	94.40	91
3.	Oct. 17, 1969	23.09	94.70	124
4.	Feb. 6, 1970	23.10	100.78	-
5.	Jul. 29, 1970	26.02	95.37	68
6.	Apr. 28, 1971	22.93	101.03	-
7.	May 30, 1971	25.23	96.44	-
8.	May 31, 1971	25.19	96.51	-
9.	Sep. 14, 1971	22.97	100.71	-
10.	Dec. 29, 1971	25.12	94.67	-
11.	May 31, 1973	24.28	93.55	-
12.	Feb. 17, 1975	17.64	97.90	-
13.	May 21, 1975	23.87	94.11	72
14.	Jul. 8, 1975	21.49	94.70	157
15.	May 29, 1976	24.57	98.95	-
16.	Jul. 21, 1976	24.78	98.69	-
17.	May 12, 1977	21.74	92.99	-
Andaman Sea **				
18.	Jul. 28, 1964	14.17	96.12	-
19.	Sep. 15, 1964	08.90	93.03	89
20.	Feb. 14, 1967	13.75	96.47	-
21.	Sep. 6, 1967	14.65	93.55	-
22.	Mar. 28, 1971	11.77	95.05	-
23.	Jul. 27, 1971	13.71	95.87	-
24.	Nov. 13, 1972	12.44	95.23	-
25.	Jul. 9, 1973	10.69	92.58	44
26.	Feb. 16, 1974a	11.43	92.35	-
27.	Feb. 16, 1974b	11.45	92.36	-
28.	Dec. 11, 1976	07.49	93.81	-

H, depth (km)
* Fitch [1970].
** Eguchi et al [1979]

Table 7-3 Representative Reservoir Induced Earthquakes

M	Dam	Nation	Dam Height (m)	Pondage (10^8 t)	M of 1st RIS
M > 5	Aswan High	Egypt	111	1,600.0	5.6
	Kariba	Zambia, Rhodesia	128	1,603.7	5.8
	Koyna	India	103	27.8	6.5
	Kremasta	Greece	147	47.5	6.3
	Oroville	USA	236	43.0	5.9
	Hsinfengkiang	China	105	115.0	6.1
M ≦ 5	Benmore	New Zealand	118	20.4	5.0
	Encumbene	Australia	116	41.7	5.0
	Hoover	USA	221	367.0	5.0
	Keban	Turkey	207	30.6	3.5
	Kurobe 4	Japan	180	2.0	4.1
	Manicouagan 3	Canada	108	104.0	4.1
	Nurek	USSR	317	104.0	4.6

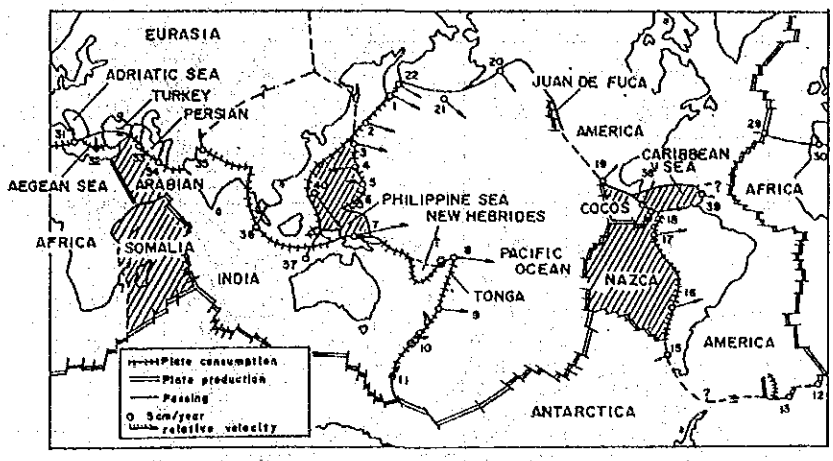


Fig. 7-4 Distribution of Major Tectonic Plates on the Earth and Plate Boundaries

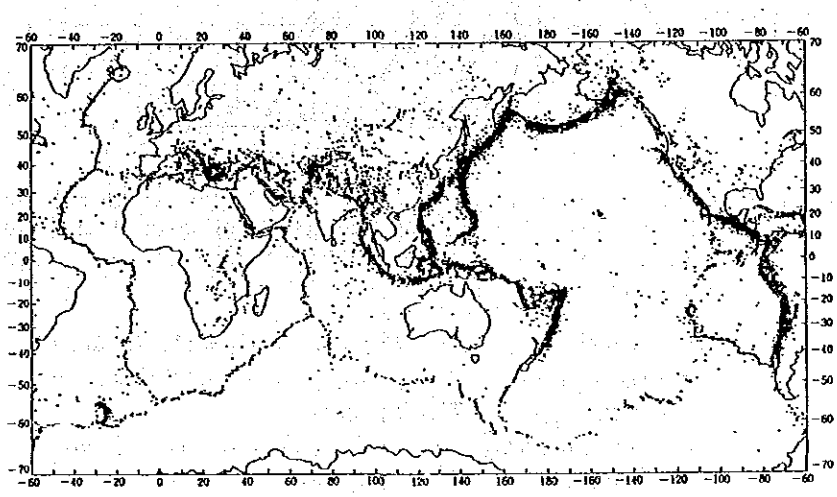


Fig. 7-5 Epicenters of Earthquakes of Magnitude : $M \geqq 4$ and Focal Depth : $H \leqq 100$ km which Occurred during the Period from 1964 to 1982 in the World

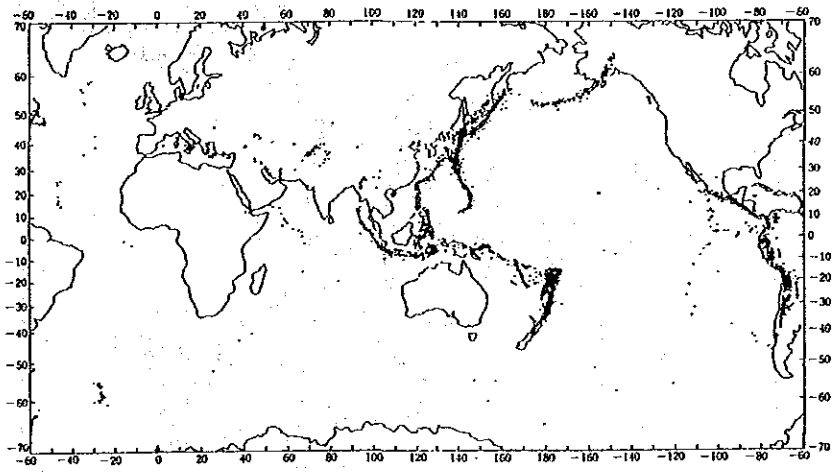


Fig. 7-6 Epicenters of Earthquakes of Magnitude: $M \geqq 4$ and Focal Depth : $H \geqq 100$ km which Occurred during the Period from 1964 to 1982 in the World

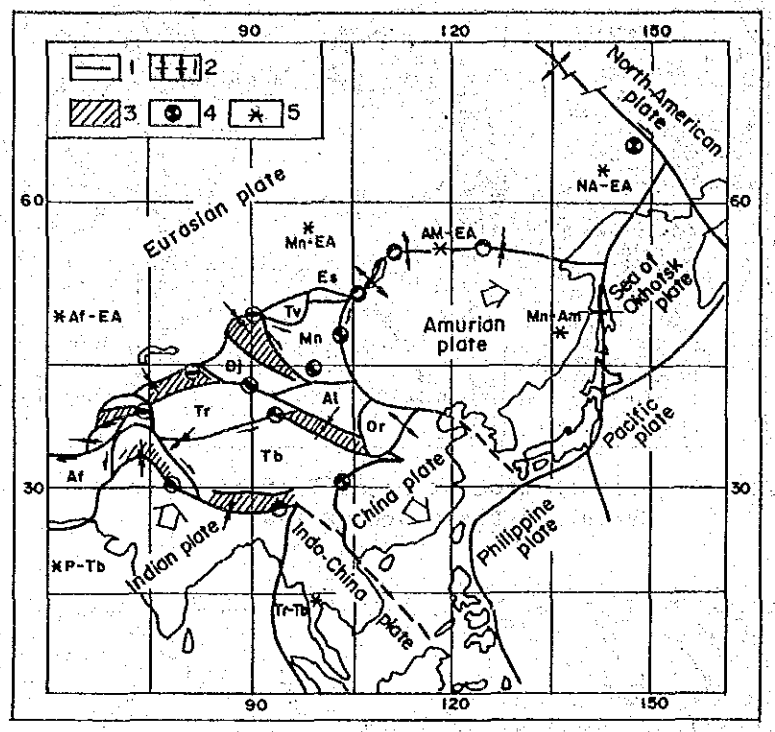


Fig. 7-7 Lithospheric Plates and Microplates in North-eastern to Middle Asia [after Zonenshain and Savostin (1981)] and the Direction of Micro Plate Movements relative to the India-Eurasia Collision

Al = Alashan , Af = Afghan , Dj = Dzungarian,
Mn = Mongolian, Or = Ordos , P = Pamir,
Tr = Tamir, Tb = Tibetan.
Smaller blocks : ES = Eastan Sayan, Tu = Tuva,
Td = Tadzhik , F = Fergana

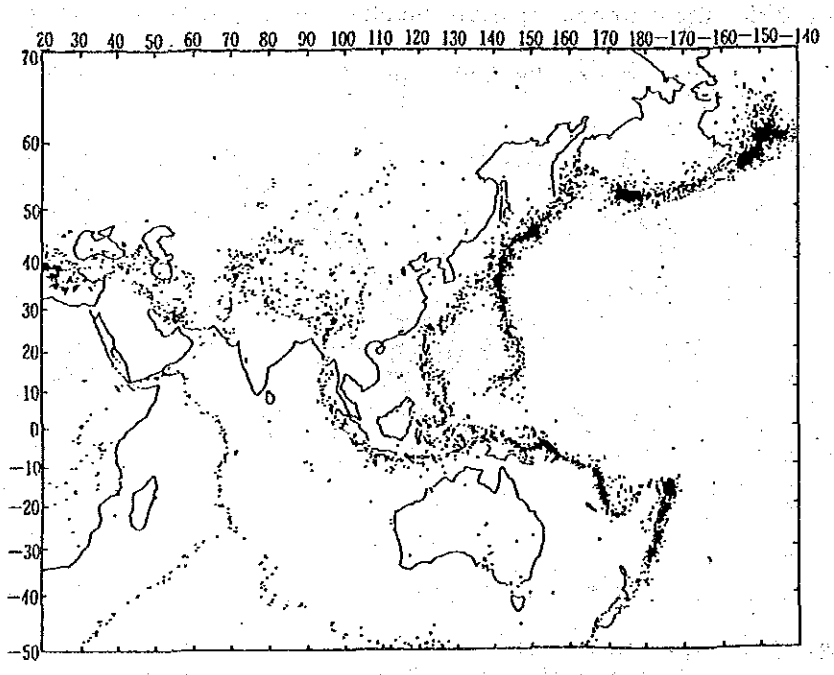


Fig. 7-8 Epicenters of Earthquakes Occurred in Asia

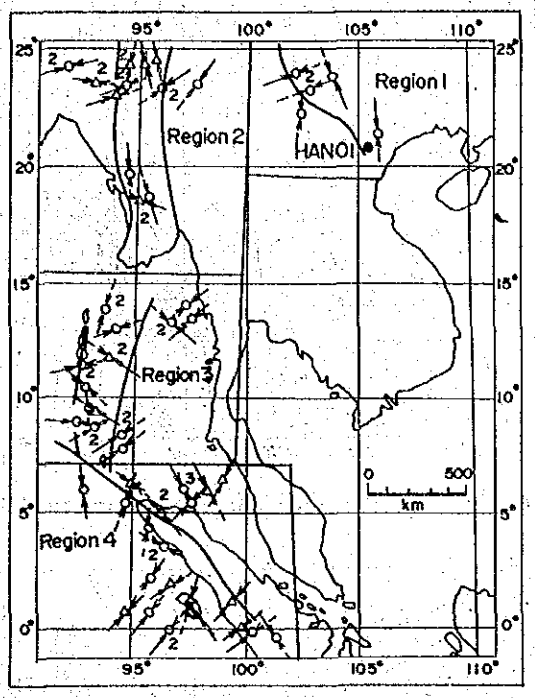


Fig. 7-9 Average Positions of Pressure Axes in Southeast Asia
Black dots and triangles show the location of single epicenters for shallow and intermediate earthquakes, respectively. The earthquakes with almost identical mechanism are shown by the numbers next to their average positions. The longest arrows indicate the plunge from 0 to 30°, the medium arrows from 31 to 60°, and the shortest from 61 to 90°. The solid lines show the main geological faults. The project site is shown by the cross.

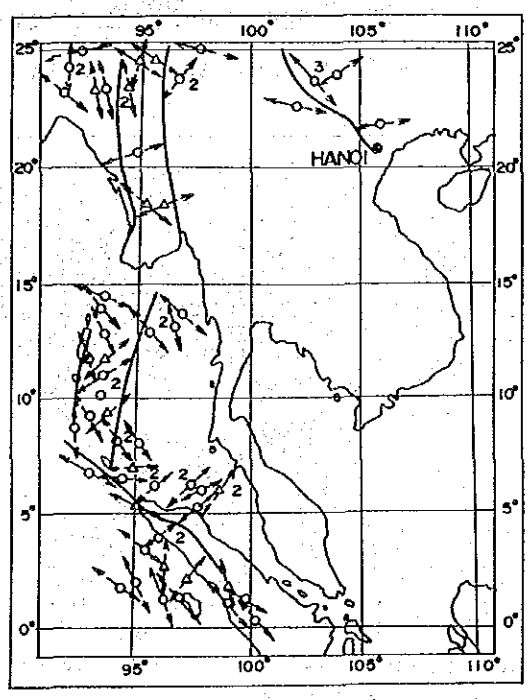


Fig. 7-10 Average Positions of Tension Axes in Southeast Asia
The symbols are the same as in Fig. 7-9.

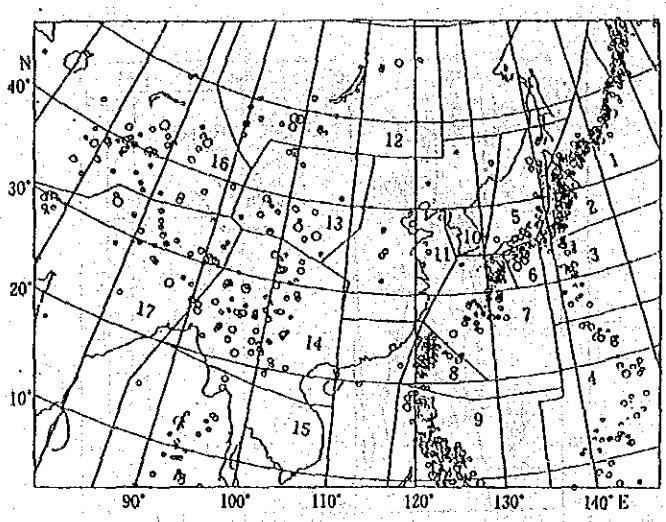


Fig. 7-11 Distribution of Shallow Earthquakes (M ≧ 6) since 1900

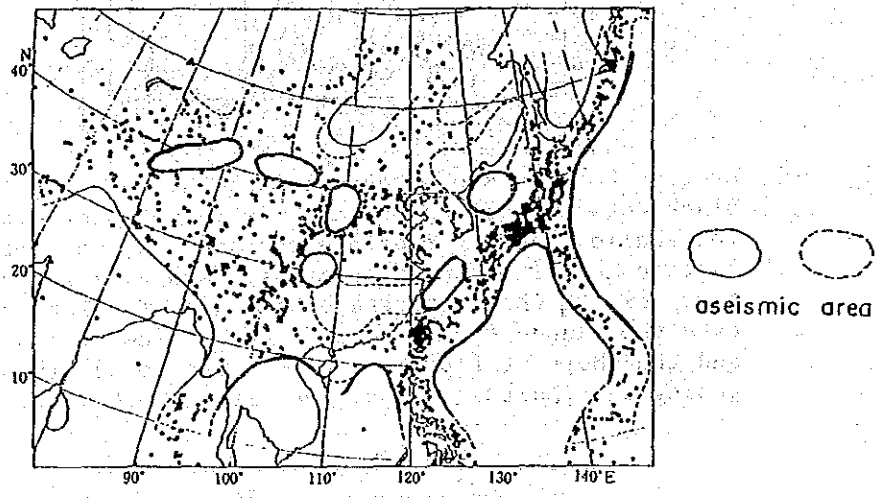


Fig. 7-12 Asismic Area in Asia

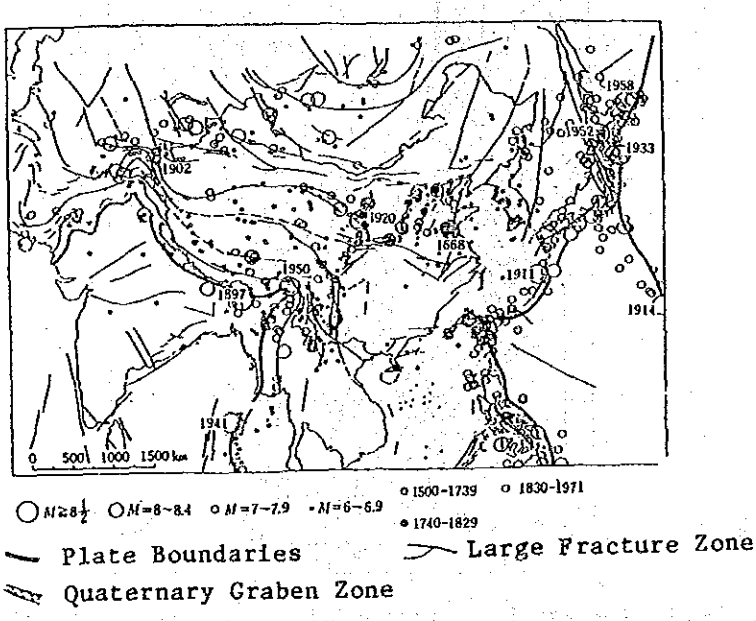


Fig. 7-13 Distribution of Epicenters of Strong Earthquake and Structural Lines in Asia

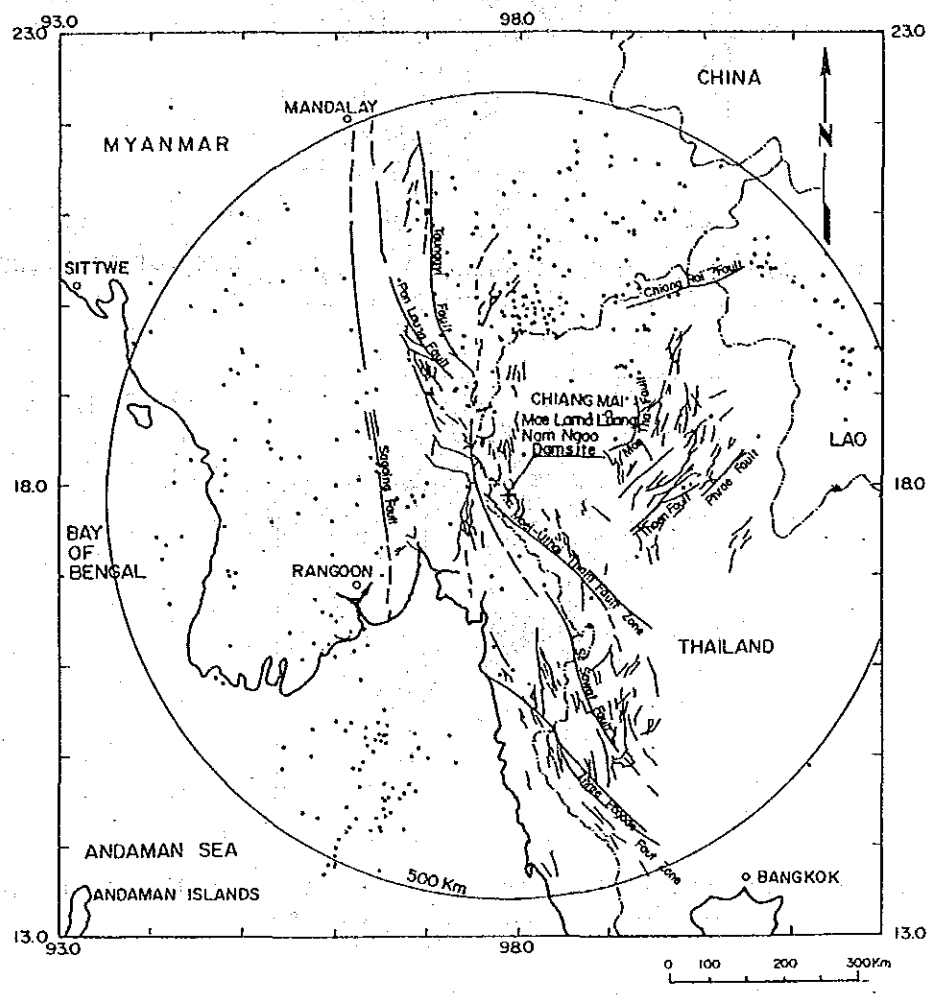


Fig. 7-14 Epicentral Distribution of Earthquake within 500 km Radius from Mae Lama Luang Damsite

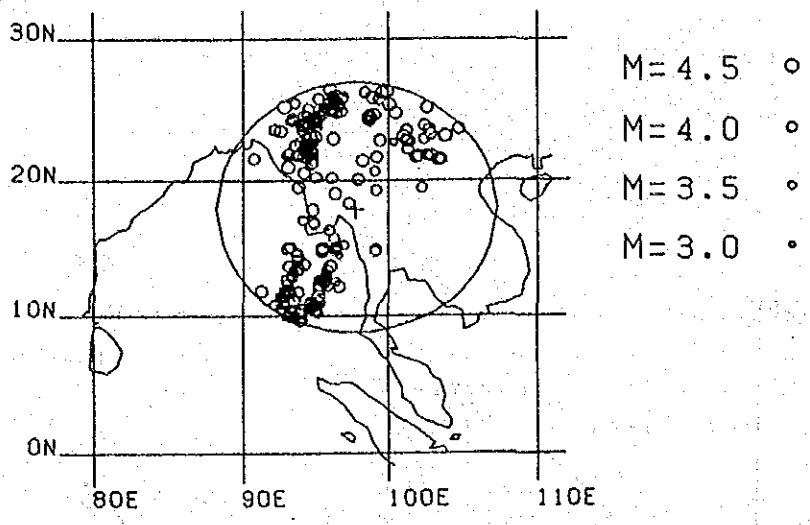


Fig. 7-15 Epicenters of Earthquakes ($3.0 \leqq M \leqq 4.5$) within 1,000 km Radius from Mae Lama Luang Damsite

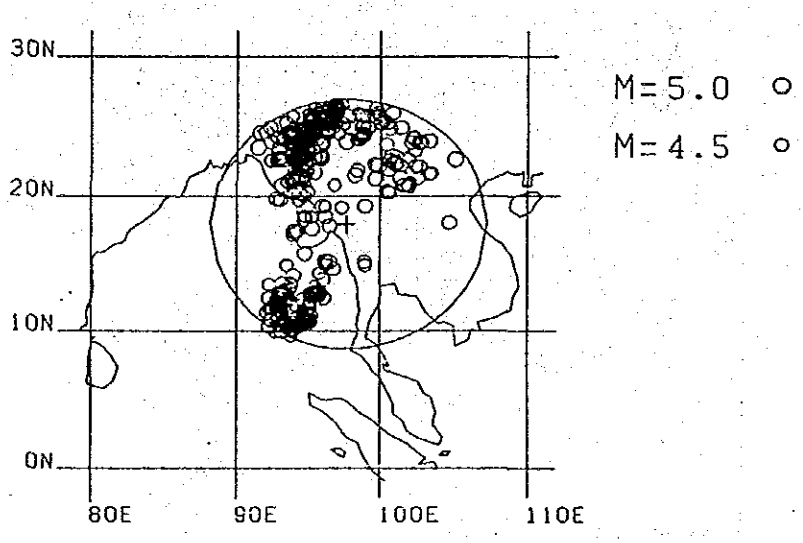


Fig. 7-16 Epicenters of Earthquakes ($4.5 \leqq M \leqq 5.0$) within 1,000 km Radius from Mae Lama Luang Damsite

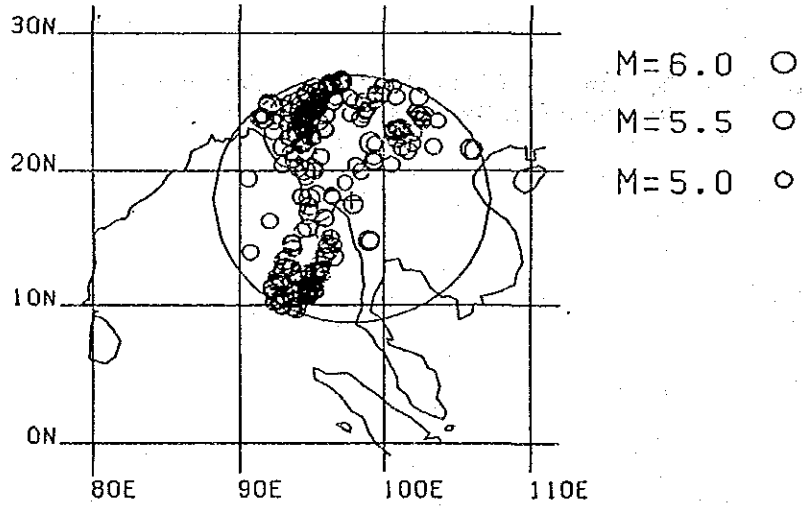


Fig. 7-17 Epicenters of Earthquakes ($5.0 \leqq M \leqq 6.0$) within 1,000 km Radius from Mae lama Luang Damsite

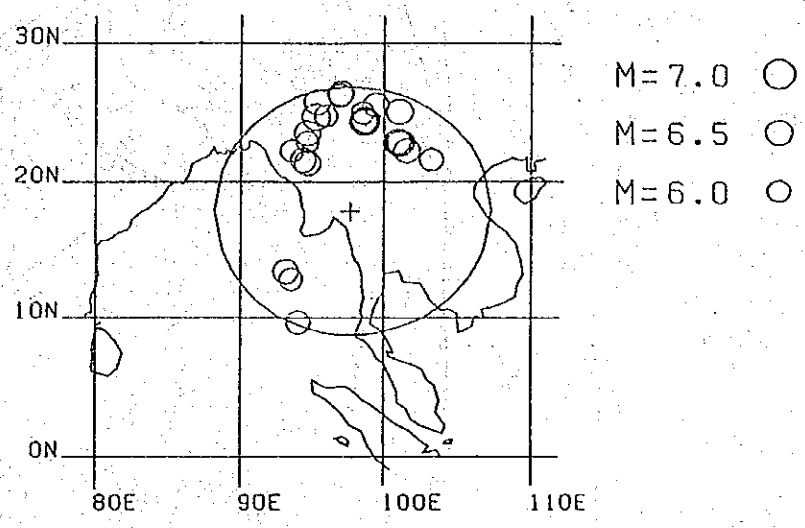


Fig. 7-18 Epicenters of Earthquakes ($6.0 \leqq M \leqq 7.0$) within 1,000 km Radius from Mae Lama luang Damsite

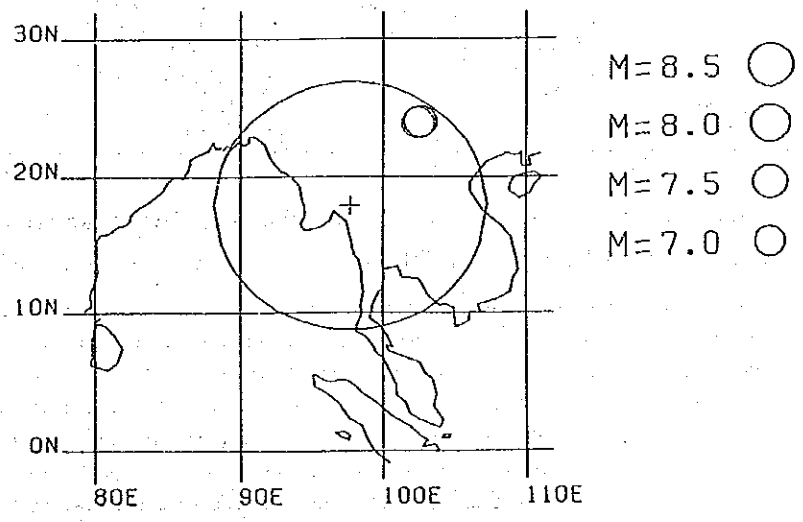


Fig. 7-19 Epicenters of Earthquakes ($7.0 \leqq M \leqq 8.5$) within 1,000 km Radius from Mae Lama Luang Damsite

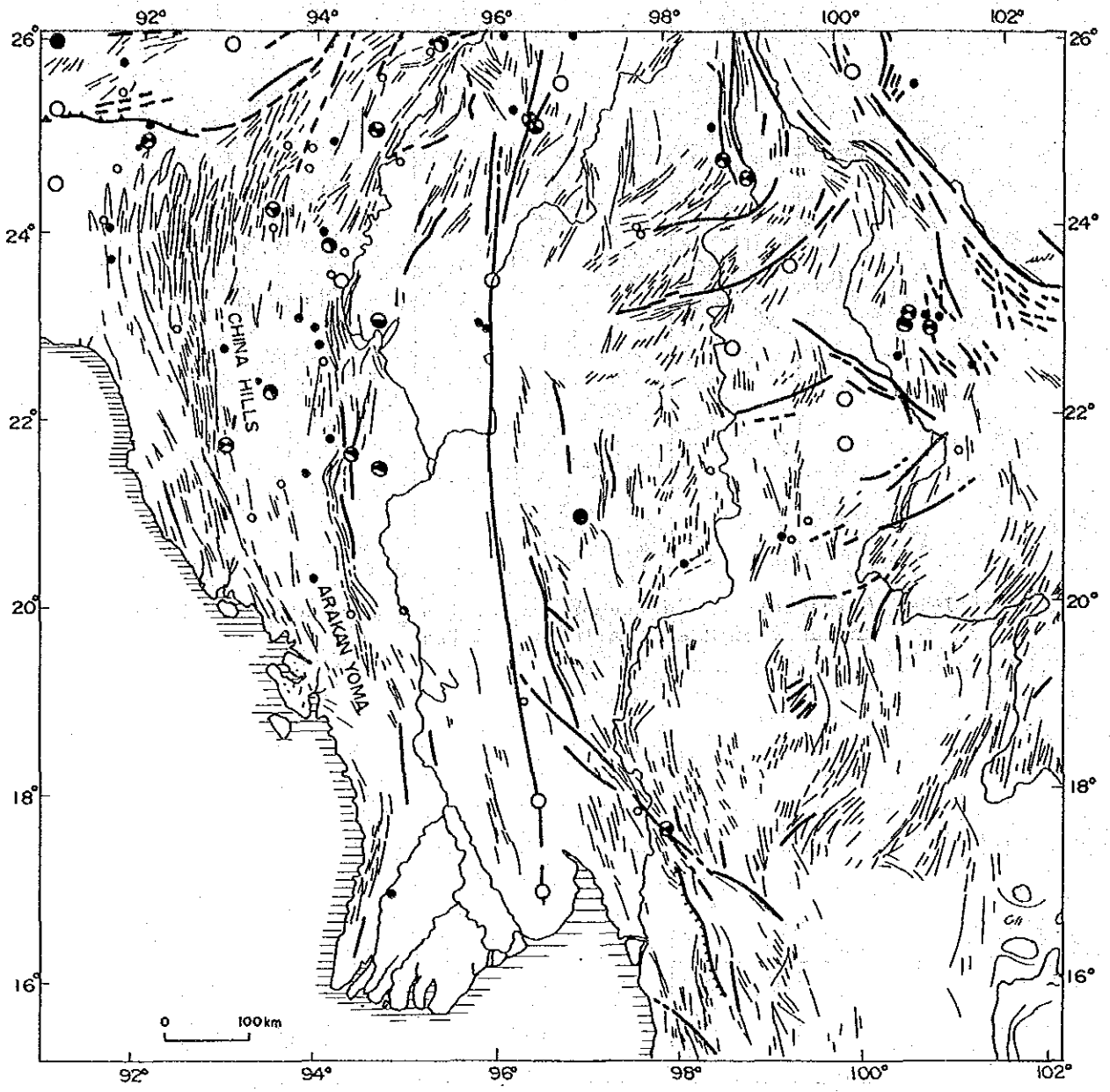


Fig. 7-20 Seismotectonic Map of Thailand and the Adjoining Regions

JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 89, NO. B1, PAGES 453-472, JANUARY 10, 1984

The Sagaing strike-slip fault, between Pegu and Mandalya, is a particularly outstanding active tectonic feature. Bold lines are major active faults; thin lines, less important faults; dashed lines, ancient or inferred faults; dotted lines, bedding trends in sedimentary rocks or occasionally trends of elongated topographic ridges. For lower hemisphere projections of fault plane solutions, shaded and dotted areas are quadrants with compressional first motions for shallow and intermediate earthquakes, respectively, and white areas are quadrants with dilatations. Large solid and open circles correspond to historic events with $M > 7.8$ and $7.0 < M < 7.8$, respectively; for other shallow events, solid circles represent locations with more than 25 stations with residuals less than 1 second and with at least two such stations in each quadrant, and open circles are those with more than 15 stations with residuals less than 1 s and with at least one such station in each quadrant. Corresponding locations for intermediate earthquakes are shown by circles with crosses and circles with dots. Elevations are in meters.

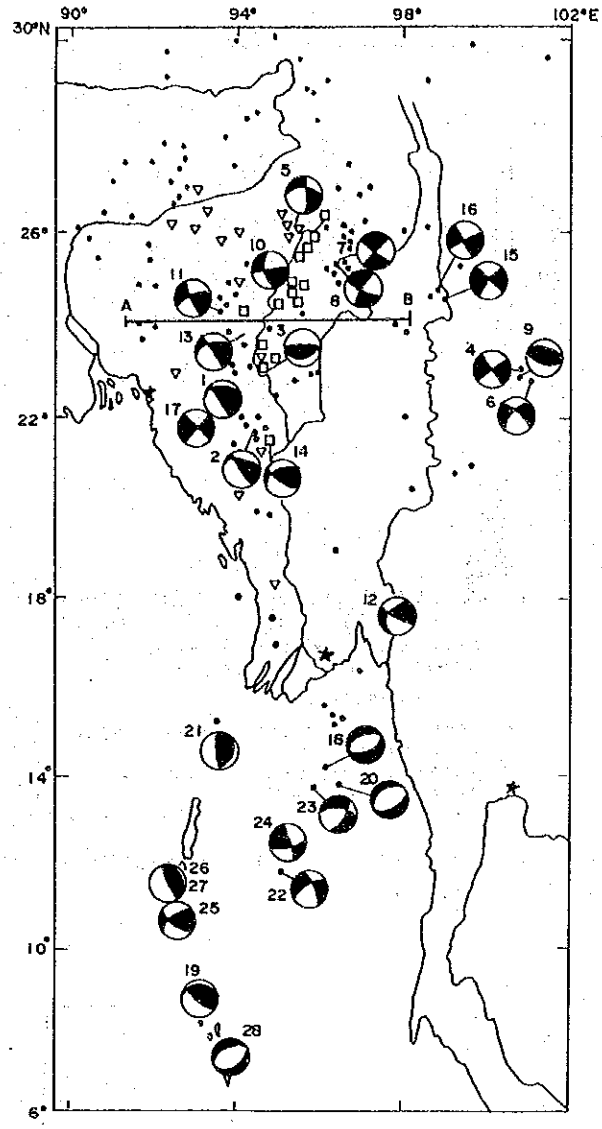


Fig. 7-21 Seismicity Map around Mae Lama Luang Damsite
The epicenters have been plotted with symbols corresponding to depth (z) intervals: dark circles, 0<z<45 km; triangles, 45<z<100 km; squares, 100<z<150 km. Symbols for fault plane solutions are the same as in Fig. 7-20.

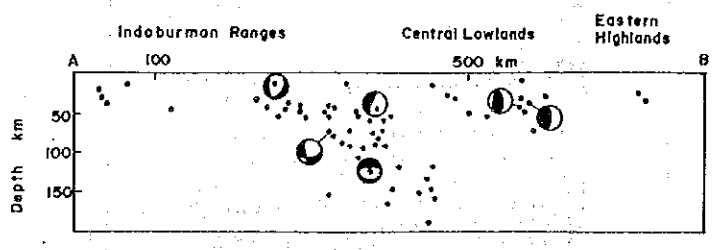


Fig. 7-22 Projections of the Locations of Earthquakes and Fault Plane Solutions onto the Plant A-B in Figure 7-21. Fault Plane solutions are plotted as back hemisphere projections. Symbols are the same as in Fig. 7-21.

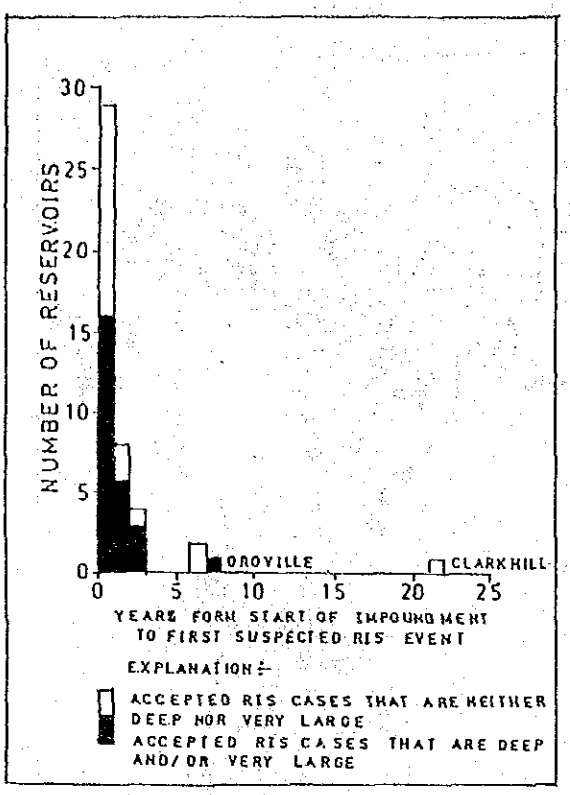


Fig. 7-23 'Time Lag' between Impoundment and First RIS Event (Packer et al, 1979).

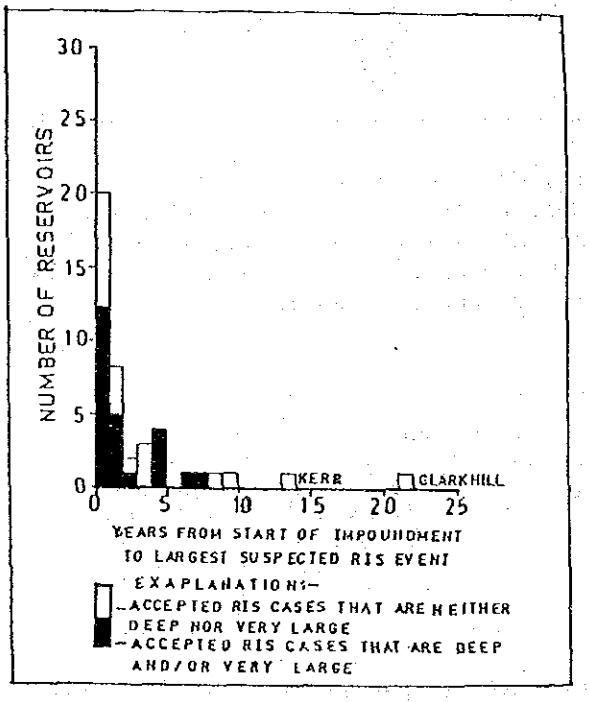


Fig. 7-24 'Time Lag' between Impoundment and Larger RIS Event (Packer et al, 1979).

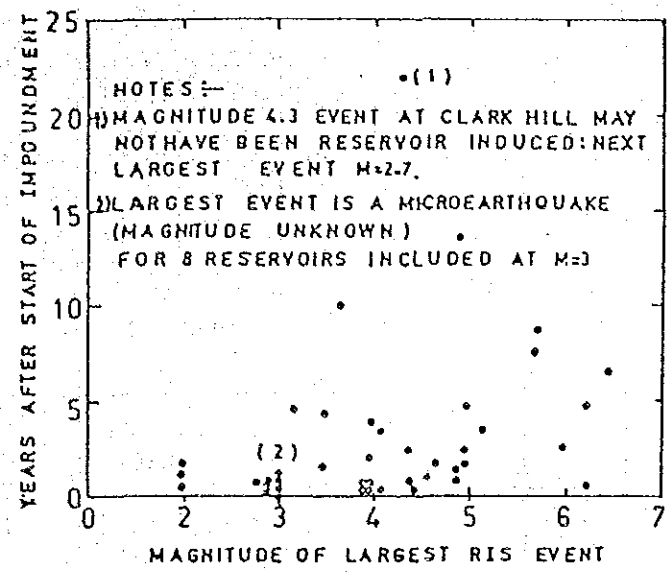


Fig. 7-25 Magnitude of the Largest RIS Event Versus 'Time Lag' of accepted Cases of RIS (Packer et al, 1979).

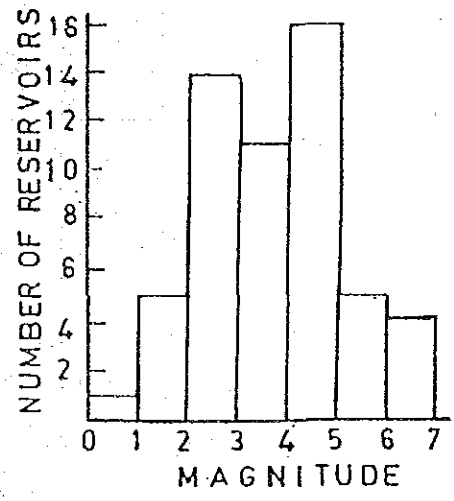


Fig. 7-26 Magnitudewise Distribution of reported RIS Cases. (after Guha, S. K.)

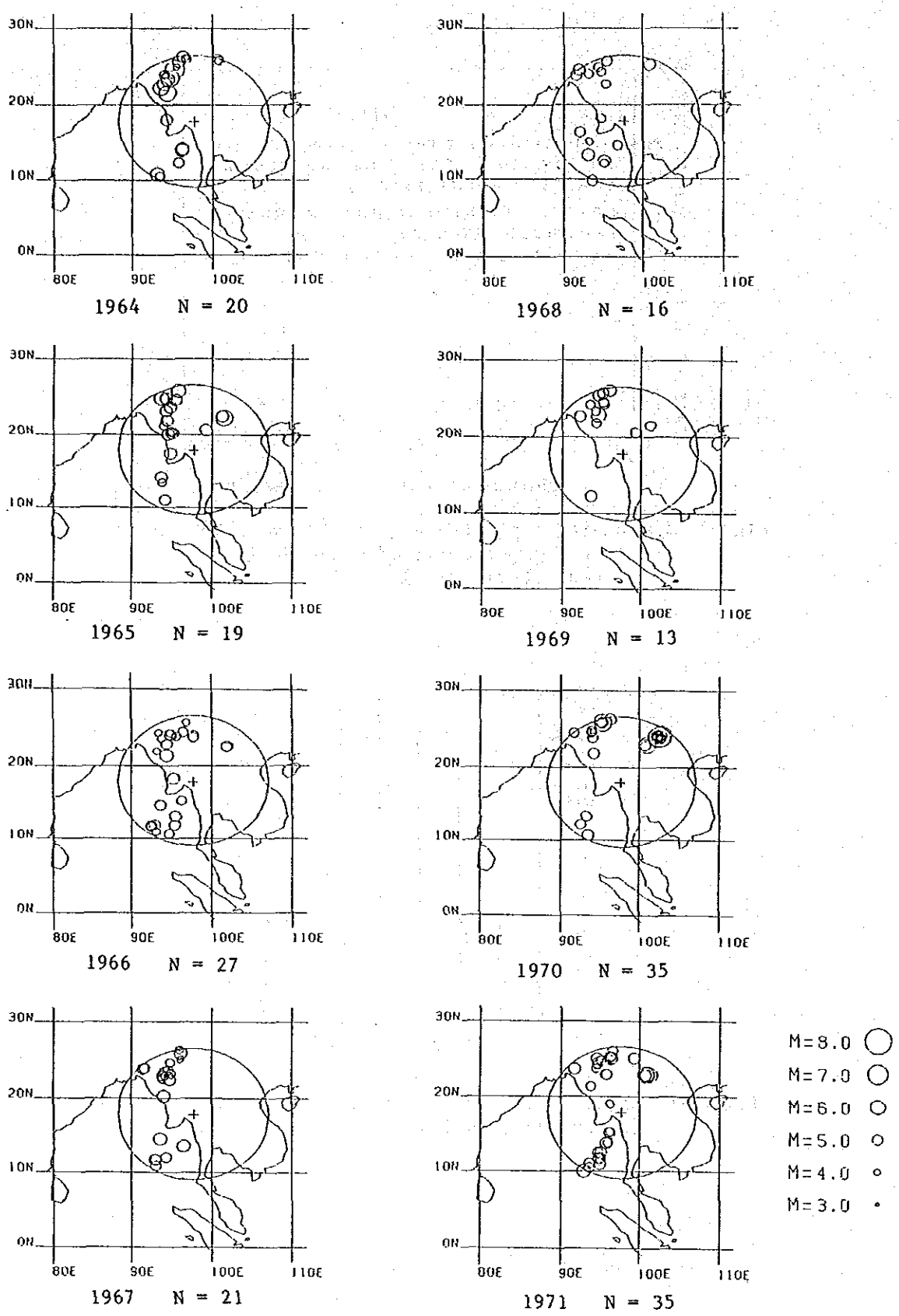


Fig. 7-27 Annual Distribution of the Earthquakes ($M \geq 3.0$) within 1,000 km in Radius from Mae Lama Luang Damsite (1964 - 1971)

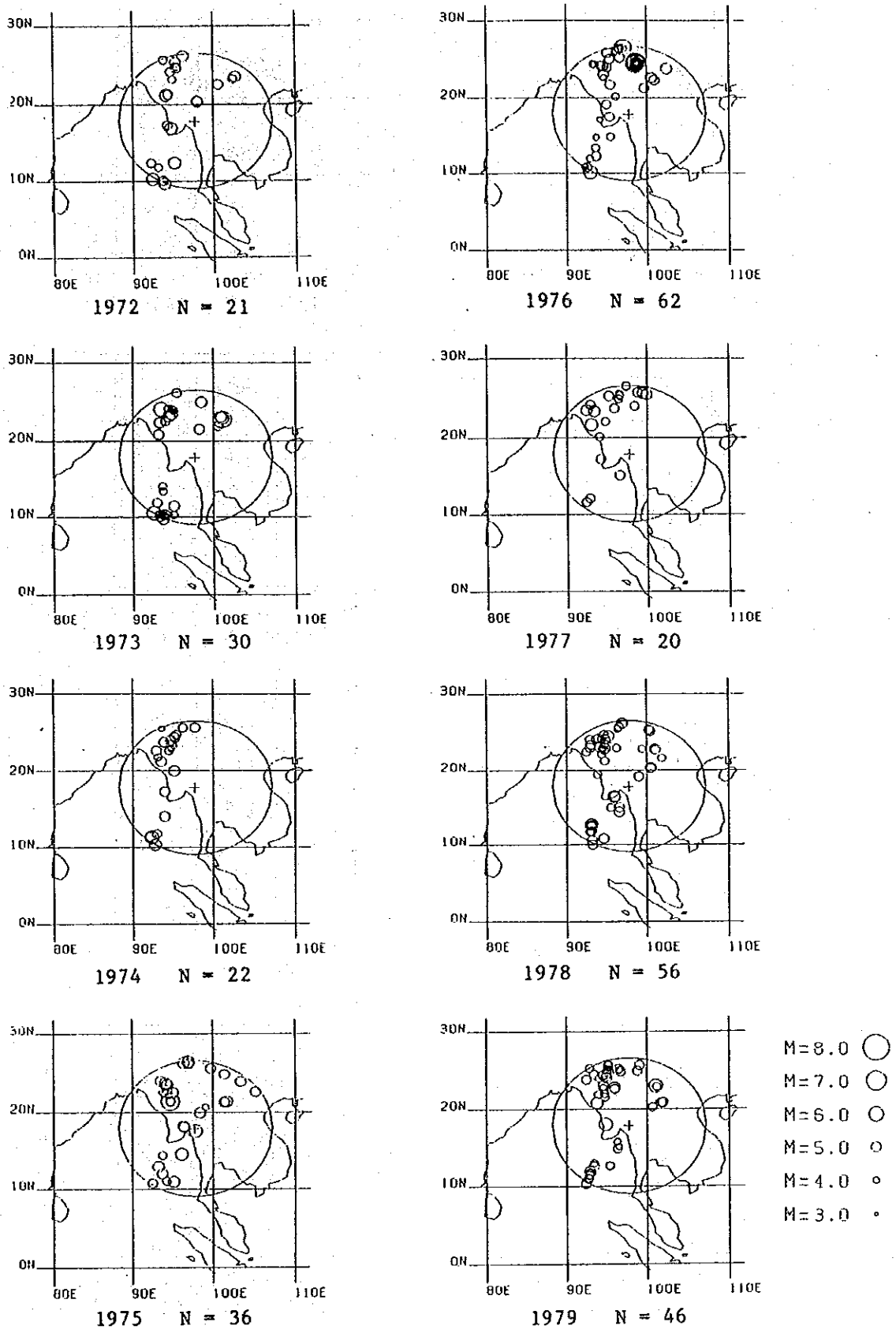


Fig. 7-28 Annual Distribution of the Earthquakes (M $\geq$ 3.0) within 1,000 km in Radius from Mae Lama Luang Damsite (1972 - 1979)

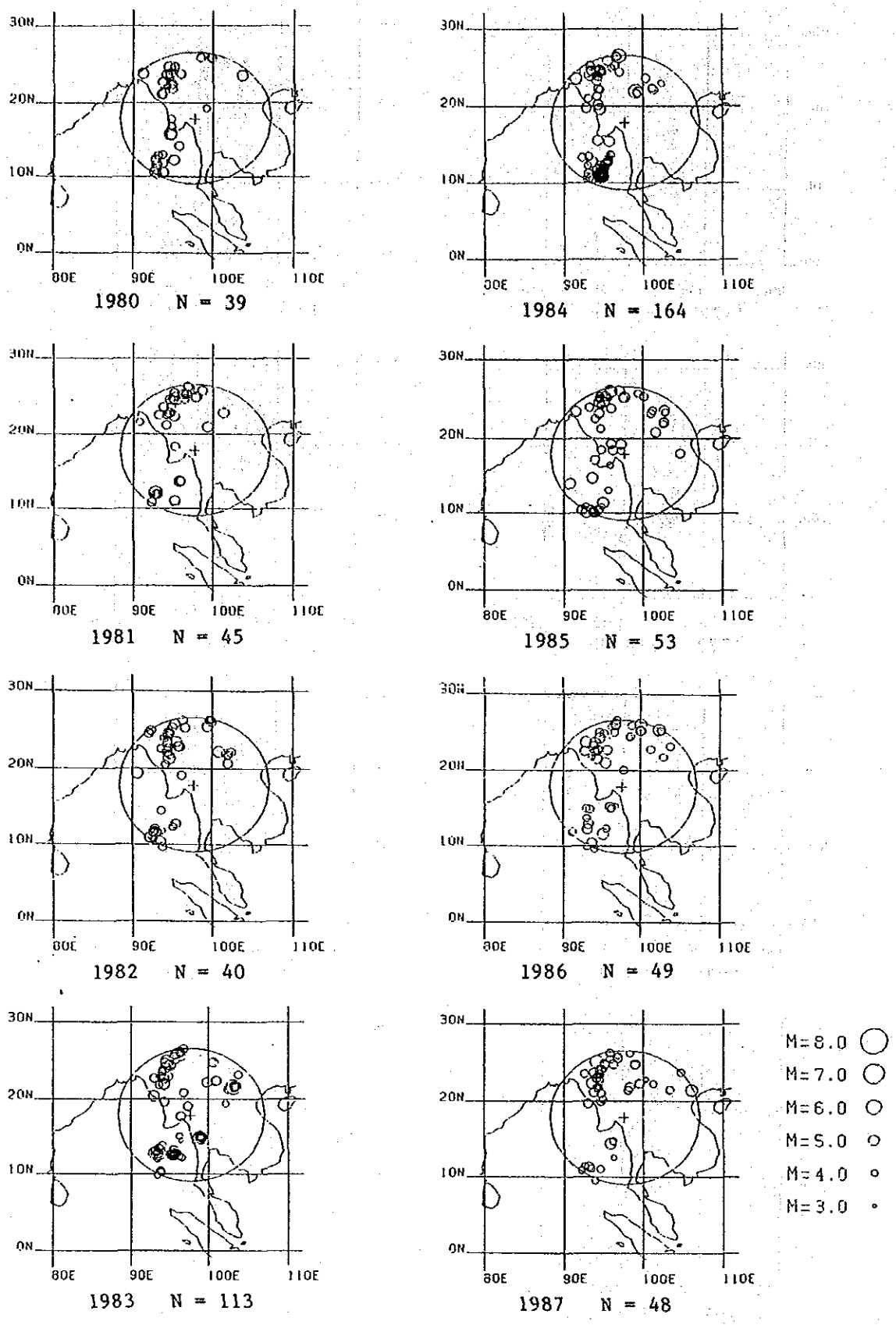


Fig. 7-29 Annual Distribution of the Earthquakes ($M \geqq 3.0$) within 1,000 km in Radius from Mae Lama Luang Damsite (1980 - 1987)

7.4 地震危険度解析

7.4.1 最大加速度の評価

(1) 地震データ

ここでの予測評価では、米国の国立地球物理データセンター提供のNOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 地震データファイルによる地震データを利用した。

Mae Lama Luangダムサイトから半径1000km以内に発生した地震は、1901年から1987年までの期間に1107回を数えた。それらの内、1958年以前の地震は、わずか42回であった。

評価対象としてここでは半径1000kmを設定したが、この設定は地震動の最大加速度の減衰特性を考慮すれば、十分な評価対象範囲であると判断される。

1901年以降の地震の震央をFig.7-30に示す。図中、計画地点（17° 47′ N,97° 48′ E)は＋で示されている。1901年から1987年までの期間の各年の地震発生数はTable 7-4 に示すとおりである。また、統計確率解析に使用した地震のマグニチュード、震央距離の分布概要は Table 7-5に示すとおりである。

(2) 距離減衰モデル

最大加速度の予測評価に適用した距離減衰式は、すでに提案されているものの中から次の４つの式を用いた。

なお、式中の"A" は最大加速度(gal) 、"M" は地震のマグニチュード、"R" は震源距離（km）を示す。

$$\mathrm{Log}\ A = 3.090 + 0.347\ M - 2\ \mathrm{Log}\ (R + 25) \qquad (1)$$

Proposed by C. Oliveira

$$\mathrm{Log}\ A = 2.674 + 0.278\ M - 1.301\ \mathrm{Log}\ (R + 25) \qquad (2)$$

Proposed by R. K. McGuire

$$\mathrm{Log}\ A = 2.041 + 0.347\ M - 1.6\ \mathrm{Log}\ R \qquad (3)$$

Proposed by L. Esteva and E. Rosenblueth

$$\mathrm{Log}\ A = 2.308 + 0.411\ M - 1.637\ \mathrm{Log}\ (R + 30) \qquad (4)$$

Proposed by T. Katayama

(3) Gumbelの極値理論

確率変数Xが確率関数G(X)に従うと仮定すれば、

$G(X) = Q(X \leq X)$

X が X1, X2 ……Xnのいずれよりも大きい確率は次のように定義される。

$Pn(X) = Q(X1 \leq X, X2 \leq X, \cdots\cdots Xn \leq X) = Gn(X)$

この時、再来周期：T(X)と変換変数：Zは次式のように表される。

$T(X) = 1 / \{1 - Pn(x)\}$

$Z = \ln \{-\ln Pn(x)\}$

Gumbelの極値理論（1958）は、確率変数の原分布が既知でなくても適用ができるが、地震事象に対して極値理論を適用する場合は、次のような仮定条件が満足されることを前提に、地震の発生頻度、および再来周期を予測評価することができる。

仮定① 過去における地震の発生状況は将来も確実に継続する。

仮定② 与えられた時間間隔の中で観測された最大地震事象は、独立事象である。

仮定③ 与えられた時間間隔の中の将来における最大地震の発生動向は、過去におけるのと同様である。

Gumbelの極値理論では、確率変数の最大値の挙動特性に応じて 3種類の極値漸近分布が提案されている。

第一漸近分布　$Pn(x) = \exp\{-\exp(-dn)(x - V)\}$

第二漸近分布　$Pn(x) = \exp[\{-(V - \varepsilon) / (x - \varepsilon)\}^{\kappa}]$

第三漸近分布　$Pn(x) = \exp[\{-(W - x) / (W - V)\}^{\kappa}]$

第１漸近分布は、確率変数に対する上限・下限がない。第２漸近分布には、確率変数に対する下限があり、第３漸近分布には上限がある。

ところで、ここで検討しているプロジェクト計画地点で想定される最大加速度の確率関数は未知である。しかし、任意の地点における地震動の最大振幅には上限があると考えられる事から、第３漸近分布を適用するのが合理的であると判断される。第３漸近分布式の中で、Wは最大振幅の上限、κは形状係数、Vは特性最大値、そしてxはランダムな確率変数を示す。ある地点の単位期間の最大地動

振幅を Amax とすればxは次式で表わされる。

$$X = \log Amax$$

また、単位期間の最大地震振幅のプロット位置は、次式で求められる。

$$P(m) = (N-m+1)/(N+1)$$

Nは解析対象とした単位期間の個数、mは最大値からの序列順を示す。

(4) 統計解析結果

統計解析による最大加速度の予測評価では、1959年から1987年までの29年間の地震データ（地震数1065）を使用した。ここではGumbelの“極値理論”に基づく確率モデルを等時間間隔を一年にとることにより設定した。ダム計画地点において予想される最大加速度の確率関数は未知であるが、前述のようにある地点における最大加速度の値には上限があると考えるのが合理的であることから、第3漸近分布を仮定した。最大加速値をプロットした結果をFig.7-31～Fig.7-34に示す。

これらの図には、第3漸近分布関数を用いて評価した 2種類の回帰曲線が実線で示されている。回帰曲線〔A〕は1975年の最大加速点を通るように評価された結果であり、回帰曲線〔B〕は全部の年最大加速点に対する最小二乗法による評価結果である。これらの結果から任意の再来周期に対する最大加速度値を評価することができる。

4つの再来周期50年、100年、200年および 500年に対するダム計画地点における最大加速度の推定結果を Table 7-7に示す。1958年から1987年までの期間の地震データに基づく統計解析の結果によれば、 McGuire式によって評価された結果は他の予測式、すなわちOliveiraの式、Esteva-Resenbluerhの式、片山式によって評価された結果に比して大きな最大加速度を与えている。Fig.7-32より分るように、長い再来周期に対する McGuire式を適用した場合の統計解析結果は、主として1975年の年最大加速度に支配されている。

Fig.7-31～Fig.7-34で明らかなように、いずれの図でも1975年の年最大加速度は他の点とは不連続的に分布している。

こうしたことから、工学的には回帰曲線〔A〕は必ずしも妥当な予測結果とは判断できないが、より安全サイドの予測結果であると判断することは可能である。

7.4.2 タイ国の地震危険度マップ

タイ国およびその周辺域を対象として作成された地震危険度マップを以下に紹介する。

地震危険度マップを作成するためには、任意の再来周期に対する任意の地点の最大地震動振幅の算出が必要となるが、ここでは、東経93°～111°、北緯0°～24°の範囲の地域に属する、緯度・経度それぞれ1°毎のすべての地点に関して、極値統計理論に基づき、Gumbelの第3漸近分布を適用した最大地震動振幅の推定を行なっている。使用した地震資料は、NOAA (National Oceanic andAtmospheric Administration Bnvironmental Data Service) 提供の地震データの中から、東経85°～125°、南緯5°～北緯35°の範囲に震源を有する1901年～1977年の地震データを使用している。なお、震源深さが未定の地震に対しては、震源深さを20kmと仮定しており、また、マグニチュードが未定の地震に対しては、便宜的に1950年以前の地震のマグニチュードはM6.0、1951年～1960年の地震についてはM5.0、1961年以降の地震についてはM4.0と仮定している。

Year	Assumed Magnitude
1901 - 1950	M 6.0
1951 - 1960	M 5.0
1961 - 1977	M 4.0

距離減衰モデルは、最大地動速度を推定するための予測式としては、日本において良く適用されている金井式を用いた。また、最大地動の加速度を推定するための予測式としては、Oliveira式と McGuire式の平均値を与える式を用いた。金井式は、基盤における最大速度を与える予測式であり、日本に関する地震危険度マップとタイ国に関するマップを直接比較することできる点で利点がある。Oliveira-McGuire平均式はFig.7-35中のⒶであるが、これは地盤特性は考慮せずに地表面での最大加速度を与える。全体的には世界で提案されている予測式の平均値な結果を与える式となっている。

金井式

$$\log V = 0.61M-(1.66+3.60/D)\log D-(0.631+1.83/D)$$

Oliveira-McGuire式

$$\log A = 2.882+0.3131M-1.651(R+25)$$

ここに　V：最大速度　(kine)

A：最大加速度 (gal)

R：震源距離　(km)

D：震央距離　(km)

〔参　考〕

Oliveiraの式

$$\log A = 3.090+0.347M-2\log(R+25)$$

McGuire の式

$$\log A = 2.674+0.278M-1.301\log(R+25)$$

タイ国およびその周辺域に関する、再来周期50年、100年、200年に対する最大地動速度の予測コンターをFig.7-36～Fig.7-38に示す。コンターは0.5, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40kineで記入されている。同様に、再来周期50年, 100年, 200年に対する最大加速度の予測コンターをFig.7-39～Fig.7-41に示す。コンターは 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500gal で記入されている。

以上の最大速度、最大加速度分布を考慮して作成されたタイ国およびその周辺域に関する地震危険度マップをFig.7-42に示す。

計画地点で推定される最大速度、最大加速度は、再来周期 200年に対してそれぞれ2～5kine、50～100galであり、Fig.7-42に示された6分類による地震危険度マップでは、D分類に入ることとなる。

Table 7-4 Number of Earthquakes in a Year during the Period from 1901 to 1987

Year	N	Sum of N	Year	N	Sum of N
1901	1	1	1945	0	25
1902	0	1	1946	0	25
1903	0	1	1947	0	25
1904	0	1	1948	1	26
1905	0	1	1949	0	26
1906	0	1	1950	3	29
1907	0	1	1951	1	30
1908	1	2	1952	1	31
1909	1	3	1953	0	31
1910	0	3	1954	1	32
1911	0	3	1955	4	36
1912	0	3	1956	4	40
1913	1	4	1957	2	42
1914	1	5	1958	0	42
1915	0	5	1959	1	43
1916	0	5	1960	1	44
1917	0	5	1961	6	50
1918	0	5	1962	3	53
1919	0	5	1963	14	67
1920	0	5	1964	20	87
1921	0	5	1965	19	106
1922	0	5	1966	27	133
1923	1	6	1967	21	154
1924	0	6	1968	16	170
1925	2	8	1969	13	183
1926	0	8	1970	35	218
1927	0	8	1971	35	253
1928	0	8	1972	21	274
1929	2	10	1973	30	304
1930	5	15	1974	22	326
1931	1	16	1975	36	362
1932	0	16	1976	62	424
1933	1	17	1977	20	444
1934	2	19	1978	56	500
1935	0	19	1979	46	546
1936	0	19	1980	39	585
1937	0	19	1981	45	630
1938	1	20	1982	49	679
1939	0	20	1983	113	792
1940	1	21	1984	165	957
1941	3	24	1985	53	1,010
1942	1	25	1986	49	1,059
1943	0	25	1987	48	1,107
1944	0	25			

Table 7-5 Distribution of Magnitude and Epicentral Distance of the Seismicity Data

	0< <50	<100	<200	<300	<400	<500	<600	<700	<800	≦1,000	Total
3.0 ≦ M < 3.5	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3
< 4.0	0	0	0	1	2	0	2	4	4	5	18
< 4.5	0	1	0	5	12	9	22	46	31	27	153
< 5.0	0	0	3	5	17	16	46	77	84	72	320
< 5.5	0	0	3	4	14	8	22	41	51	49	192
< 6.0	1	0	0	1	5	7	2	6	13	45	80
< 6.5	0	0	0	0	0	0	1	9	6	22	38
< 7.0	0	0	0	0	0	2	4	4	2	6	18
< 7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
< 8.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
< 8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1	1	6	16	51	42	99	188	193	228	825

: Epicentral Distance (km)
M : Magnitude

Table 7-6 Maximum Annual Acceleration during a Year from 1959 to 1987

Year	Oliveira, C. Eq. (1)	McGuire, R.K. Eq. (2)	Esteva, L. & Rosenblueth, E. Eq. (3)	Katayama, T. Eq. (4)
1959	0.22	3.53	0.30	0.99
1960	0.19	3.32	0.28	0.95
1961	0.27	3.97	0.35	1.11
1962	0.40	5.43	0.52	1.78
1963	0.22	3.62	0.31	1.06
1964	0.58	6.98	0.71	2.46
1965	0.77	7.44	0.80	2.29
1966	0.93	8.31	0.93	2.58
1967	0.44	5.32	0.51	1.55
1968	0.50	5.29	0.52	1.39
1969	0.44	4.95	0.48	1.30
1970	0.55	7.52	0.77	3.10
1971	0.72	6.64	0.69	2.00
1972	0.72	7.12	0.75	2.17
1973	0.46	6.04	0.59	2.07
1974	0.45	5.09	0.49	1.36
1975	53.77	120.67	80.38	67.52
1976	0.67	6.34	0.67	1.71
1977	0.53	5.53	0.55	1.47
1978	1.38	11.02	1.35	3.78
1979	0.90	8.42	0.93	2.75
1980	0.57	6.21	8.63	1.86
1981	0.47	4.86	0.48	1.18
1982	0.67	6.13	0.65	1.57
1983	2.24	13.86	1.99	4.48
1984	0.59	6.09	0.62	1.92
1985	2.75	14.74	2.41	4.36
1986	0.56	5.86	0.59	1.63
1987	0.42	4.89	0.47	1.32

Table 7-7 Maximum Accelerations Expected at the Project Site for 4 Return Periods (gal)

Attenuation Model	Return Period (Year)			
	50	100	200	500
(1) by C. Oliveira	56.0	57.2	57.8	58.0
(2) by R.K. McGuire	123.2	124.4	124.8	125.1
(3) by Est. & Rosen.	82.5	83.4	83.7	83.8
(4) by T. Katayama	69.3	70.1	70.4	70.5

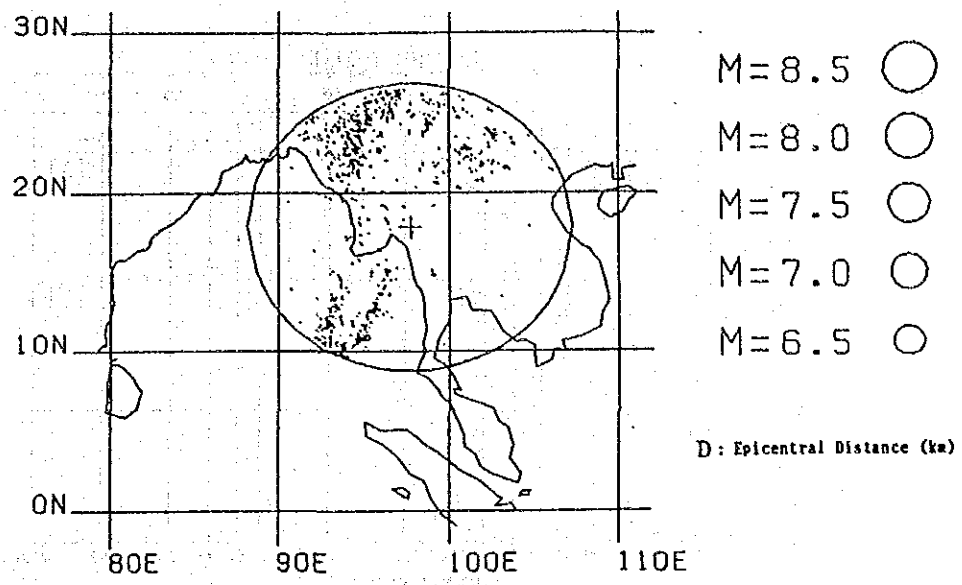


Fig. 7-30 Seismicity of All Data in 1901 - 1987
Total number of plots in the area of D $\lesssim$ 1,000 km is 1,107

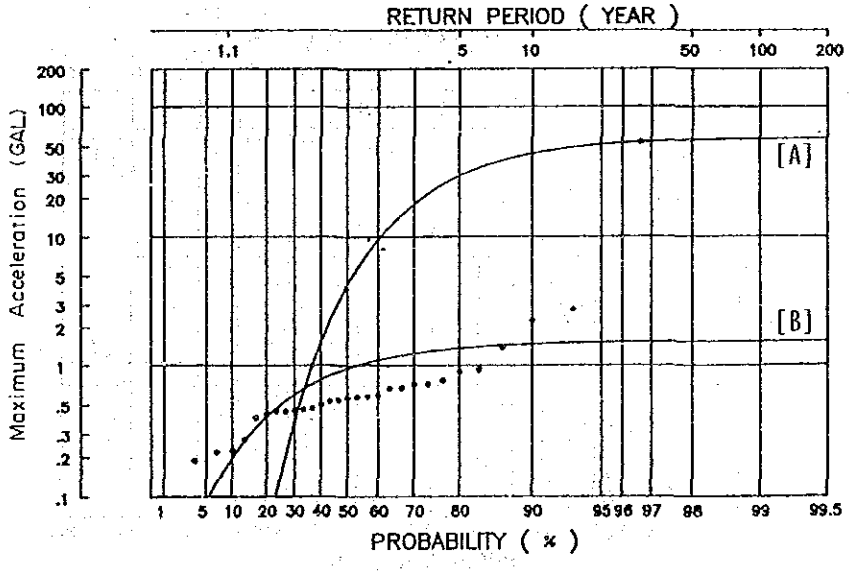


Fig. 7-31 Return Period for Maximum Acceleration Estimated by Eq.-(1) [Oliveira]

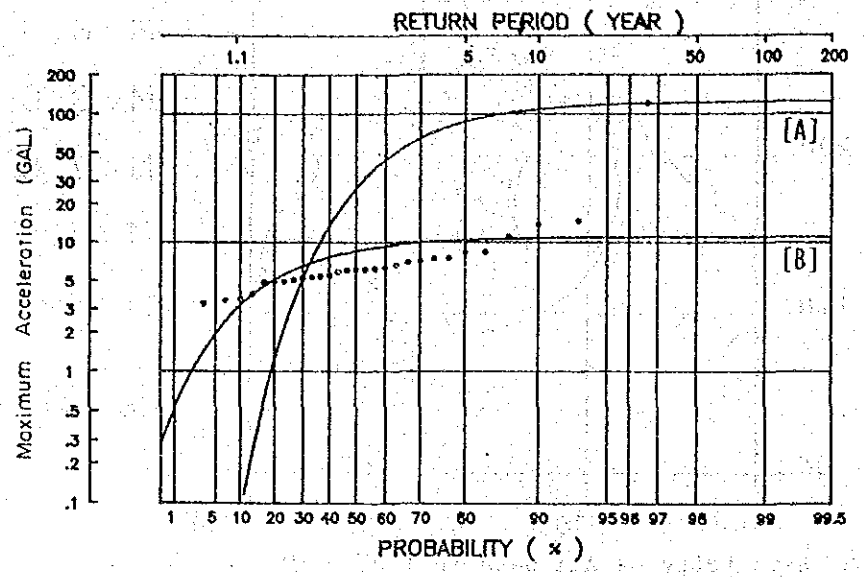


Fig. 7-32 Return Period for Maximum Acceleration Estimated by Eq.-(2) [McGuire]

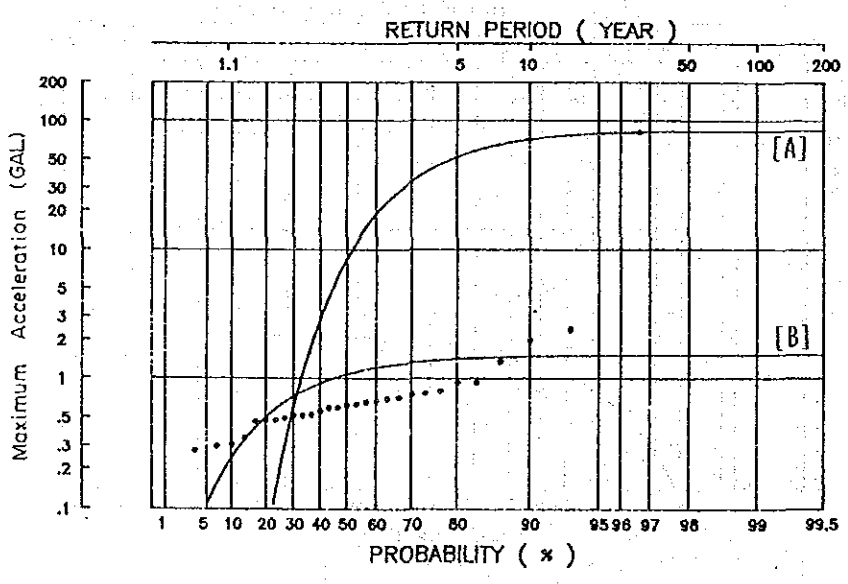


Fig. 7-33 Return period for Maximum Acceleration Estimated by Eq.-(3) [Esteva & Rosenblueth]

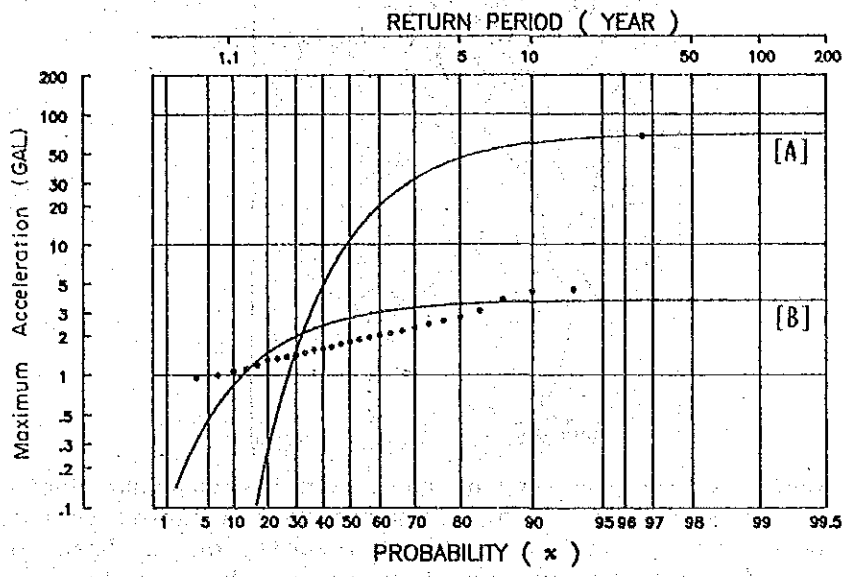
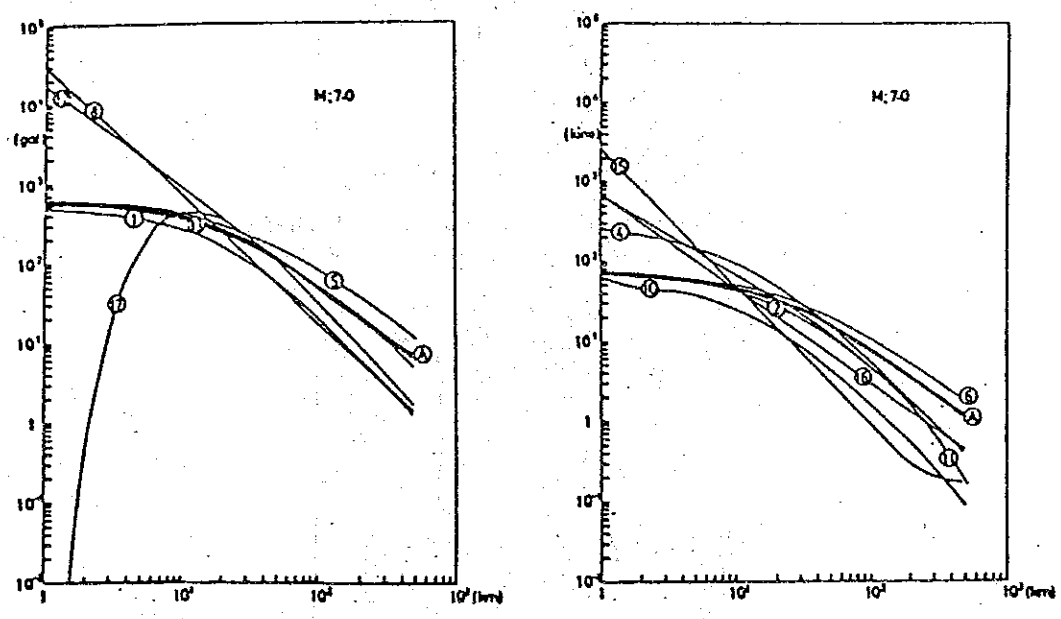


Fig. 7-34 Return Period for Maximum Acceleration Estimated by Eq.-(4) [Katayama]



(a) Maximum Acceleration (b) Maximum Velocity

Fig. 7-35 Comparisons of Various Attenuation Models (M = 7.0)

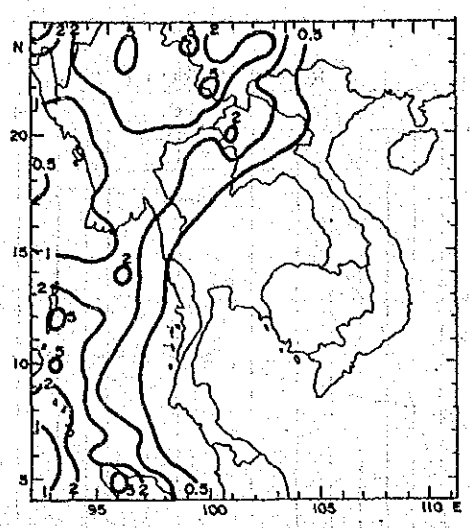


Fig. 7-36 Regional Distributions of the Maximum Earthquake Motion in and around Thailand. Vmax for Return Period Tr = 50 years. Vmax (Kine): Maximum particle velocity on the base rock. Amax (gal) : Maximum acceleration on the ground)

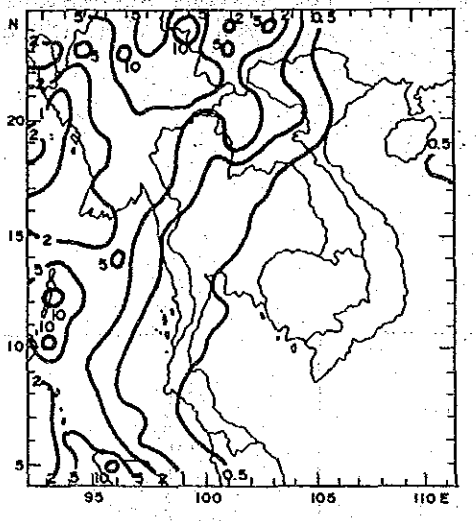


Fig. 7-37 Seismic Risk Map in and around Thailand Vmax for Return Period Tr = 100 Years.

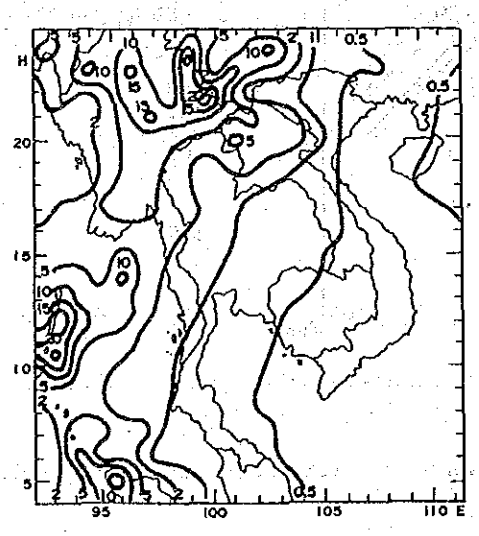


Fig. 7-38 Seismic Risk Map in and around Thailand Vmax for Return Period Tr = 200 Years.

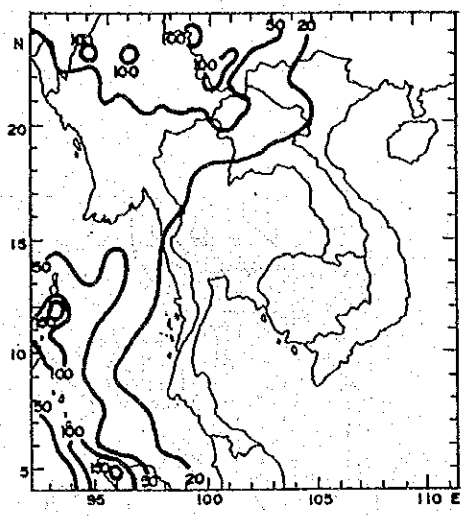


Fig. 7-39 Seismic Risk Map in and around Thailand
Amax for Return Period Tr = 50 years.

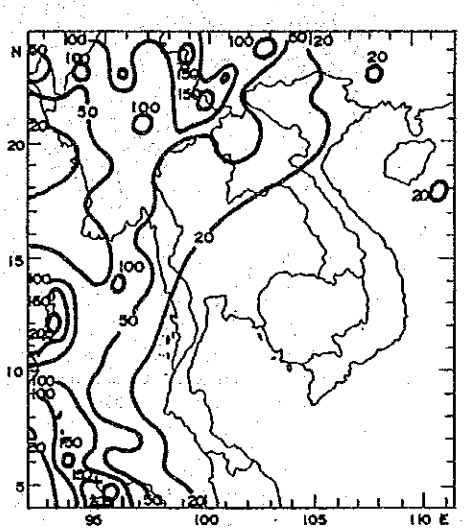


Fig. 7-40 Seismic Risk Map in and around Thailand
Amax for Return Period Tr = 100 Years.

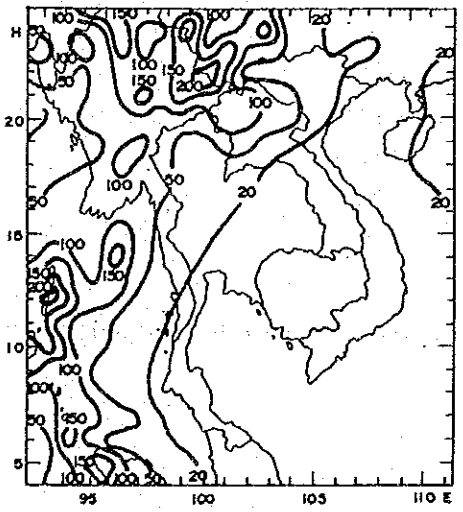


Fig. 7-41 Seismic Risk Map in and around Thailand
Amax for Return Period Tr = 200 Years.

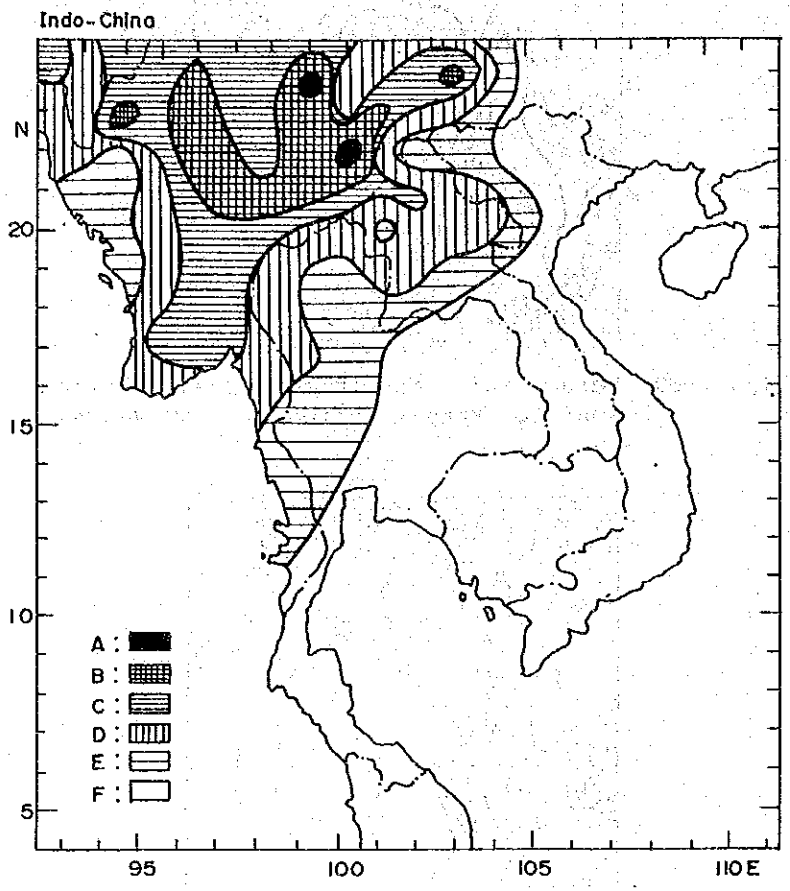


Fig. 7-42 Seismic Zoning Map for Thailand and the Adjacent Regions

A : 1st degree
B : 2nd degree
C : 3rd degree
D : 4th degree
E : 5th degree
F : no danger

Seismic zones are devided based on Vmax value.

7.5 計画地点の設計震度

Mae Lama Luangダム地点に関する最大加速度の予測結果を要約したものをTable7-8に示す。

地震動の最大加速度と設計震度の値の関係については、確立された理論はいまのところないが、地震動の最大加速度を設計震度に変換する方法として考えられるものを列挙してみると以下のようになる。

〔方法－1〕　Amaxを単純に 980で割る方法

$$\alpha = Amax / 980$$

α　：設計震度

Amax：地震動の最大加速度（gal）

980　：重力加速度　　（gal）

〔方法－2〕　有効設計震度として求める方法

$$\alpha\ eff = R \times \alpha = R \times Amax / 980$$

α eff：有効設計震度

R　　：低減係数

（低減係数は経験的には0.5～0.65程度の値が用いられる）

〔方法－3〕　動的解析により等価設計震度を評価する方法

〔方法－1〕は地震動の最大加速度を設計震度に変換する方法としては、最も単純な方法ではあるが、この方法は、“真の設計震度”より大きい値を評価する場合が多い。一般に、地震時にダム堤体内に発生する動的応力は、地震動の最大加速度を一定とした場合、地震動の卓越周期が長周期になるほど増大する。静的解析法は、地震力として静的慣性力を解析モデルに入力して応力・変位を評価する方法である。

換言するならば、静的解析法は、地震力として周期T＝∞の調和波を入力地震動として行なわれる動的解析法の一種として解釈することができる。

このような点を考えると、〔方法－1〕はしばしば設計震度を大きめに過大評価することになる。

〔方法－2〕は当初は経験的な知見に基づき提案されたものであるが、最近の動的解析と静的解析の比較研究で同様の結果が報告されている。〔方法－2〕は〔方法－1〕に比してより実用的な方法であると判断される。

〔方法－3〕は現時点で最も合理的な方法であると考えられる。しかしながら、この方法は設計用入力地震動、地盤－構造物モデル、地盤材料の物性値等が既知でなければ適用することができない。

以上のような点を考慮して、本検討においては、地震動の最大加速度を設計震度に変換する方法として、〔方法－2〕を採用することとした。その結果、Mae Lama Luangダム地点の水平設計震度は0.10が妥当であるとの結論を得た。(Table 7-9参照)

Table 7-8 Estimates of Maximum Acceleration at Nam Yuam Project Area

[Annual Maximum Acceleration]

Year	Location	Epicenter		M	R (km)	Estimates of Maximum Acceleration at the Site (gal)			
		LAT (°N)	LONG (°E)			Eq.-(1)	Eq.-(2)	Eq.-(3)	Eq.-(4)
1975	Near Field	17.638	97.902	5.6	20	53.77	120.67	80.38	67.52

[Statistical Analysis Result]

Return Period (year)	Probability (%)	Eq.-(1)	Eq.-(2)	Eq.-(3)	Eq.-(4)
50	98	56.0	123.2	82.5	69.3
100	99	57.2	124.4	83.4	70.1
200	99.5	57.8	124.8	83.7	70.4
500	99.9	58.0	125.1	83.8	70.5

R : Hypocentral Distance (km)
D : Epicentral Distance (km)
Eq.-(1) : proposed by C. Oliveira
Eq.-(2) : proposed by R. K. McGuire
Eq.-(3) : proposed by L. Esteva and E. Rosenblueth
Eq.-(4) : proposed by T. Katayama

Table 7-9 Estimated Value of Design Seismic Coefficient based on the Maximum Accelerations

Estimated Value	Basis for Estimation
R = 0.65	The estimated maximum acceleration by the statistical analysis is controled by the near field earthquake. Near Field Earthquake ⟶ Excell in High Frequency ⟶ High Reduction 0.65 is the empirical value, which is often used.
Amax = 125 (gal)	Maximum Acceleration by Attenuation Model 120.67 (gal) 1975 by Eq.-(2) Statistical Analysis Result 125.1 (gal): Eq.-(2)
eff = 0.10	eff = R.Amax/980 ⟶ 0.10