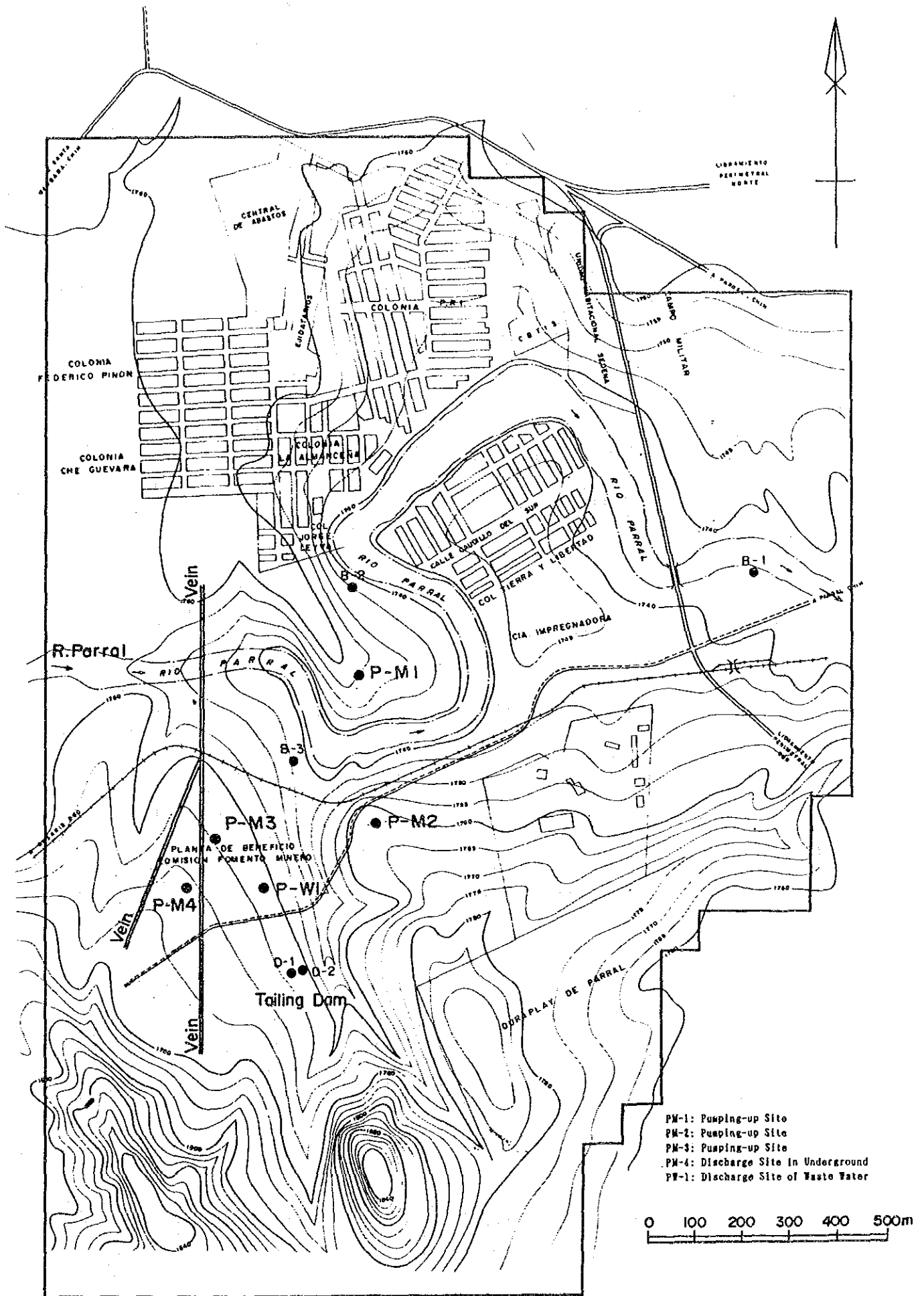
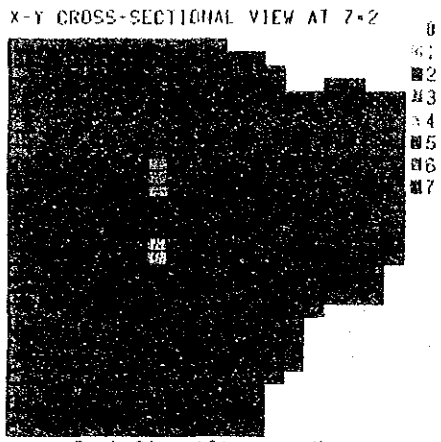


Fig. 4-4-5 Analysis Map of Groundwater Reservoir (4)

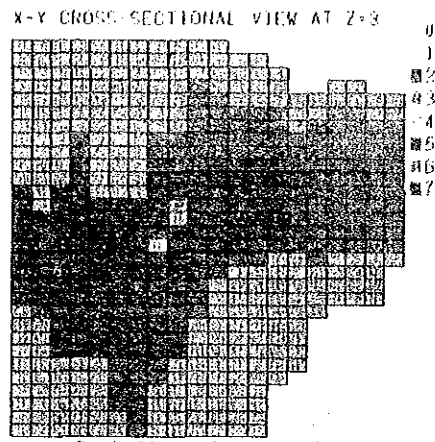


- PM-1: Pumping-up Site
- PM-2: Pumping-up Site
- PM-3: Pumping-up Site
- PM-4: Discharge Site In Underground
- PW-1: Discharge Site of Waste Water

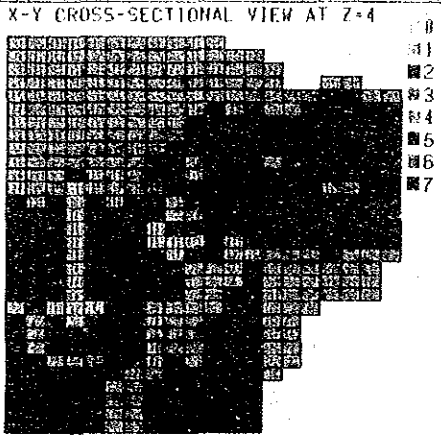
Fig. 4-4-8 Groundwater Simulation Area



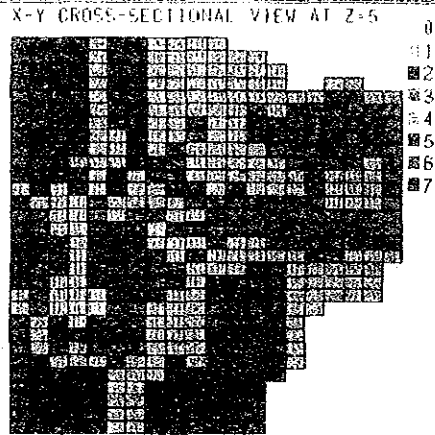
Rock Classification Map



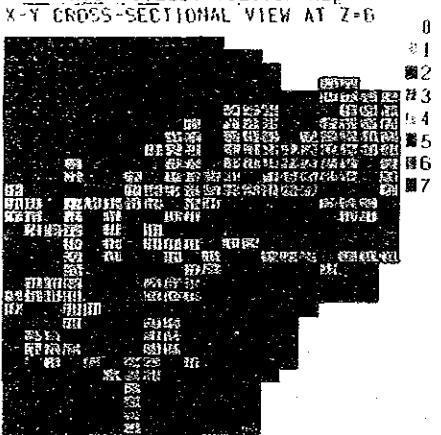
Rock Classification Map



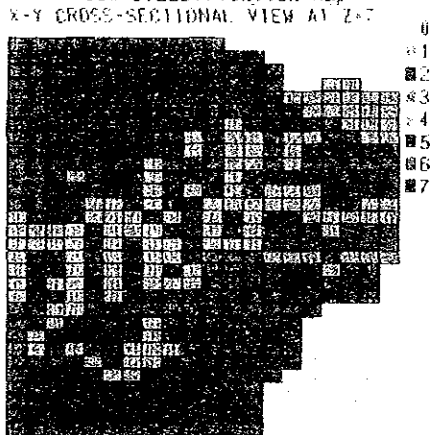
Rock Classification Map



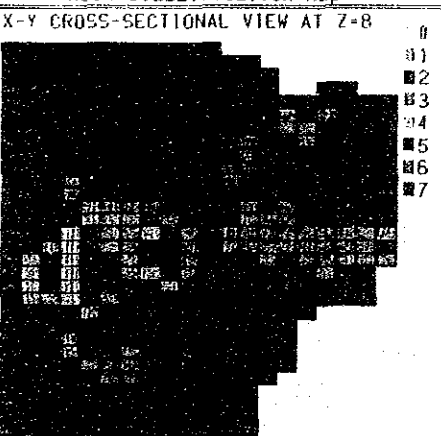
Rock Classification Map



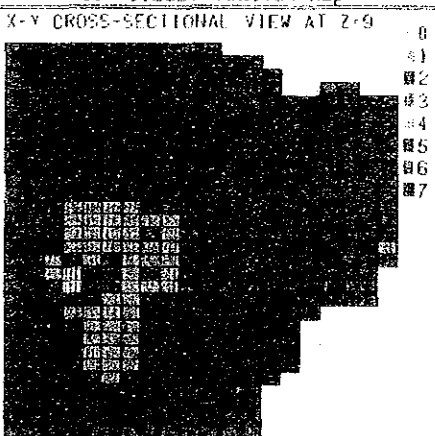
Rock Classification Map



Rock Classification Map



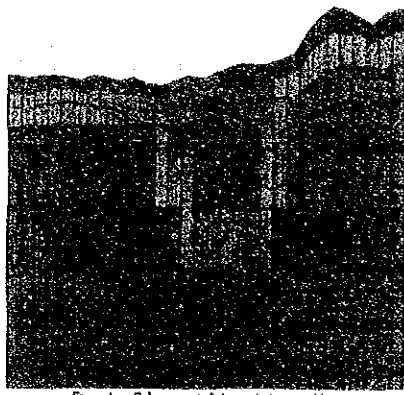
Rock Classification Map



Rock Classification Map

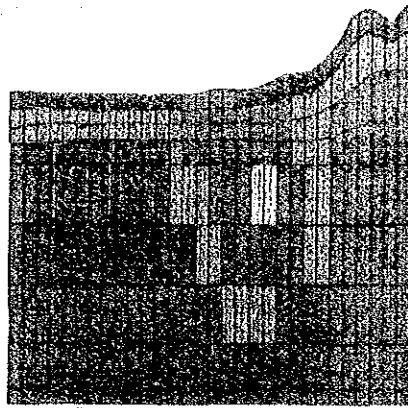
Fig. 4-4-9 Rock Classification Map (1)

Y-Z CROSS-SECTIONAL VIEW AT X=1



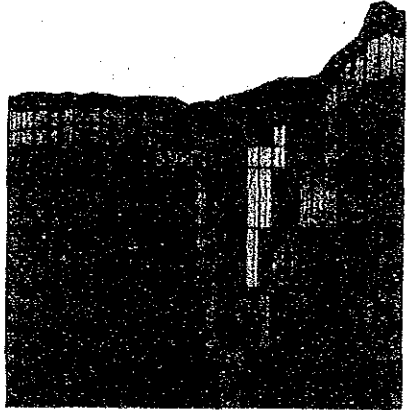
Rock Classification Map

Y-Z CROSS-SECTIONAL VIEW AT X=2



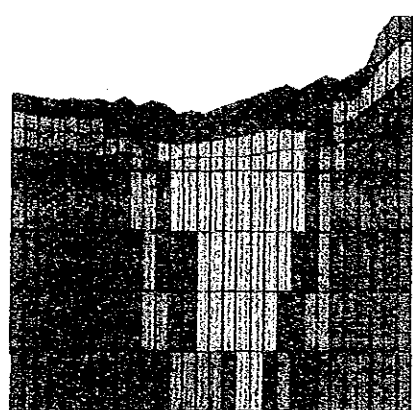
Rock Classification Map

Y-Z CROSS-SECTIONAL VIEW AT X=3



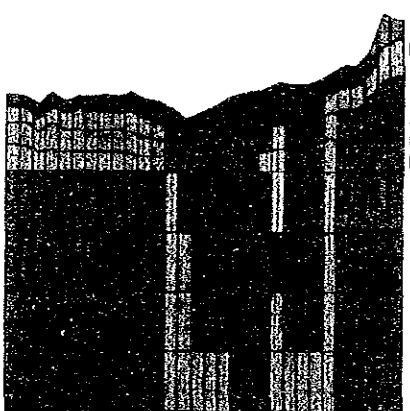
Rock Classification Map

Y-Z CROSS-SECTIONAL VIEW AT X=4



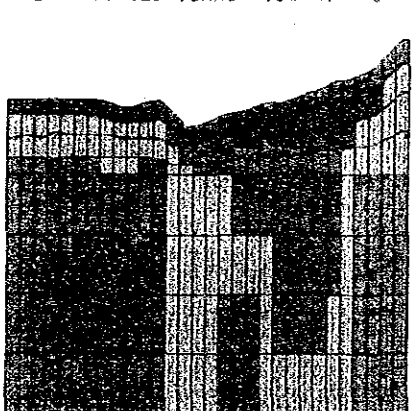
Rock Classification Map

Y-Z CROSS-SECTIONAL VIEW AT X=5



Rock Classification Map

Y-Z CROSS-SECTIONAL VIEW AT X=6



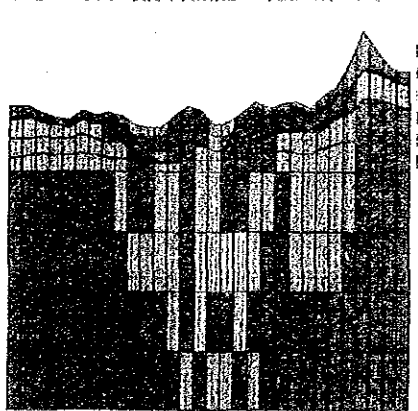
Rock Classification Map

Y-Z CROSS-SECTIONAL VIEW AT X=7



Rock Classification Map

Y-Z CROSS-SECTIONAL VIEW AT X=8



Rock Classification Map

Fig. 4-4-9 Rock Classification Map (2)

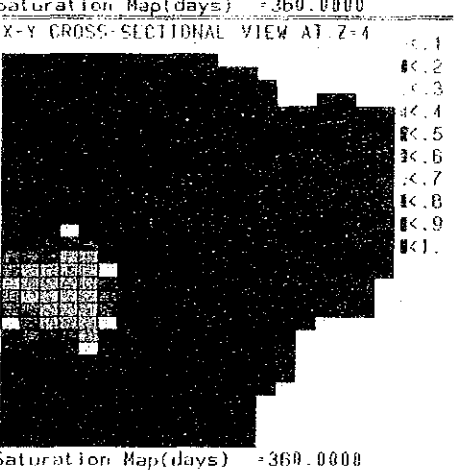
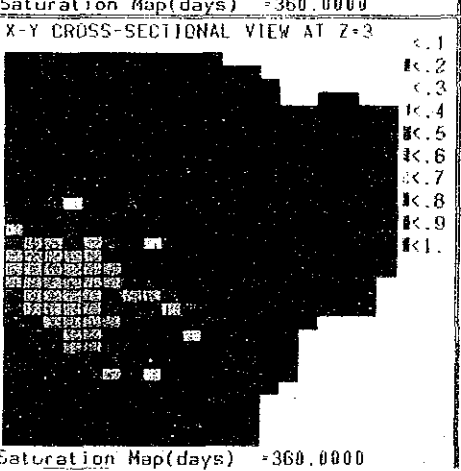
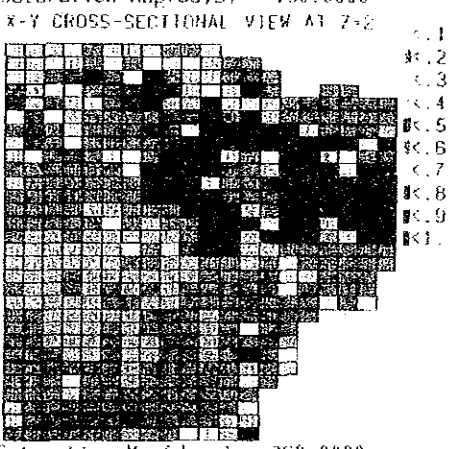
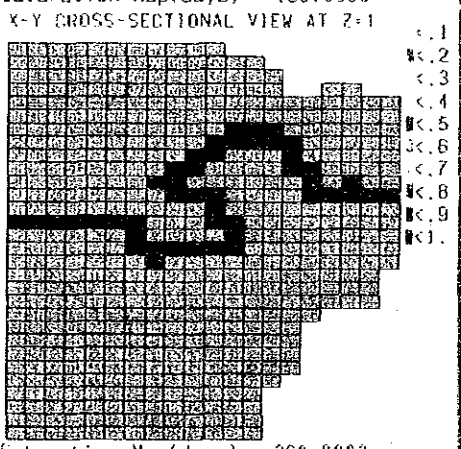
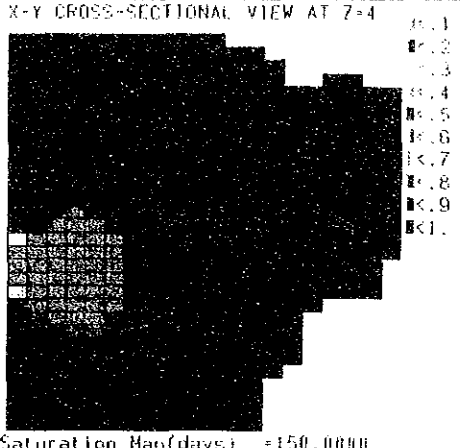
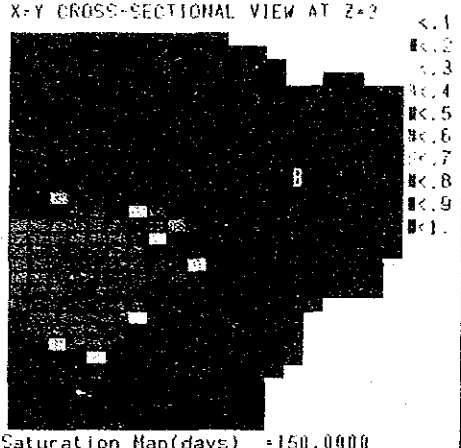
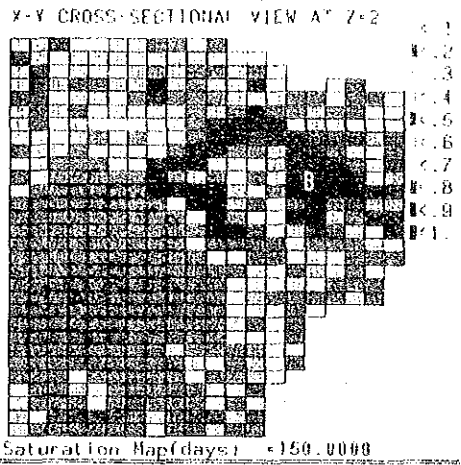
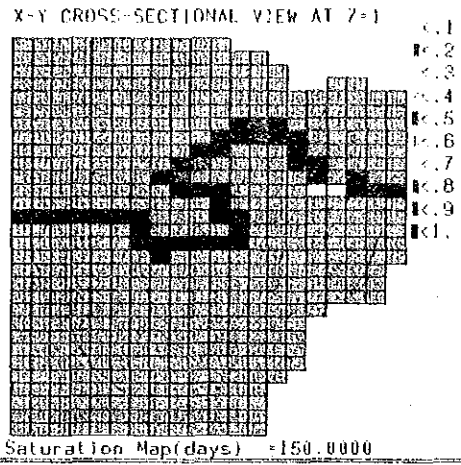
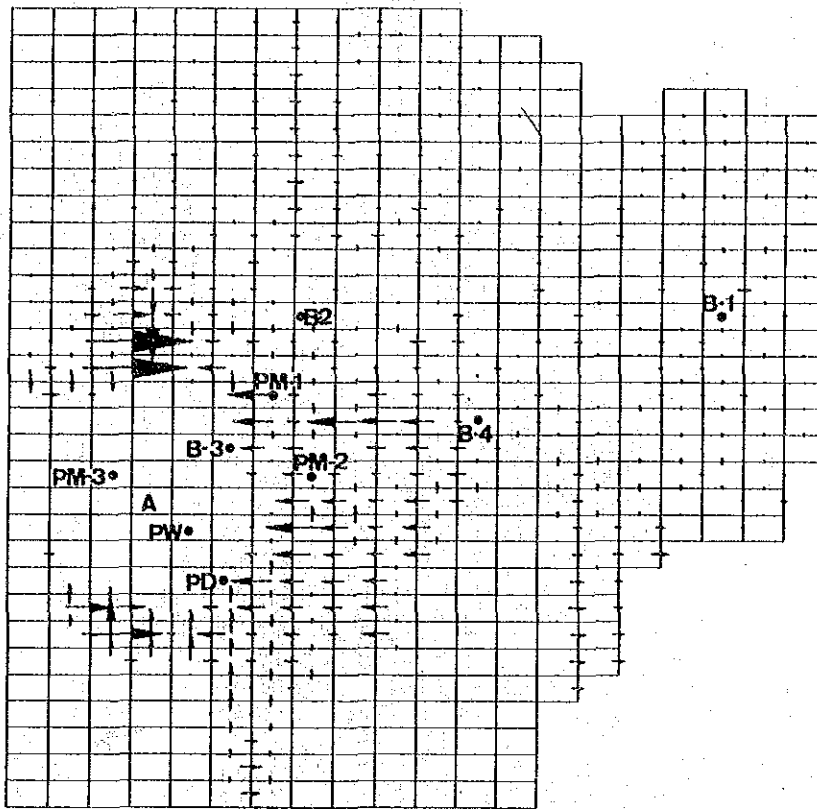


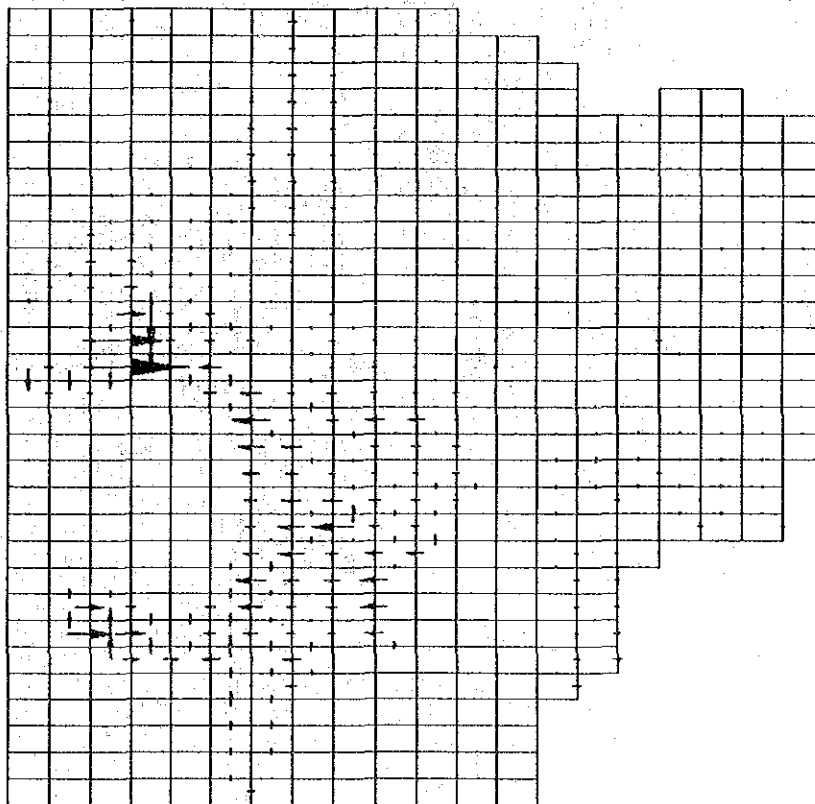
Fig. 4-4-10 Groundwater Saturation Map

X-Y CROSS-SECTIONAL VIEW AT Z=4



Velocity MAP(days) =150.0000

X-Y CROSS-SECTIONAL VIEW AT Z=4



Velocity MAP(days) =360.0000

Fig. 4-4-11 Groundwater Velocity Map

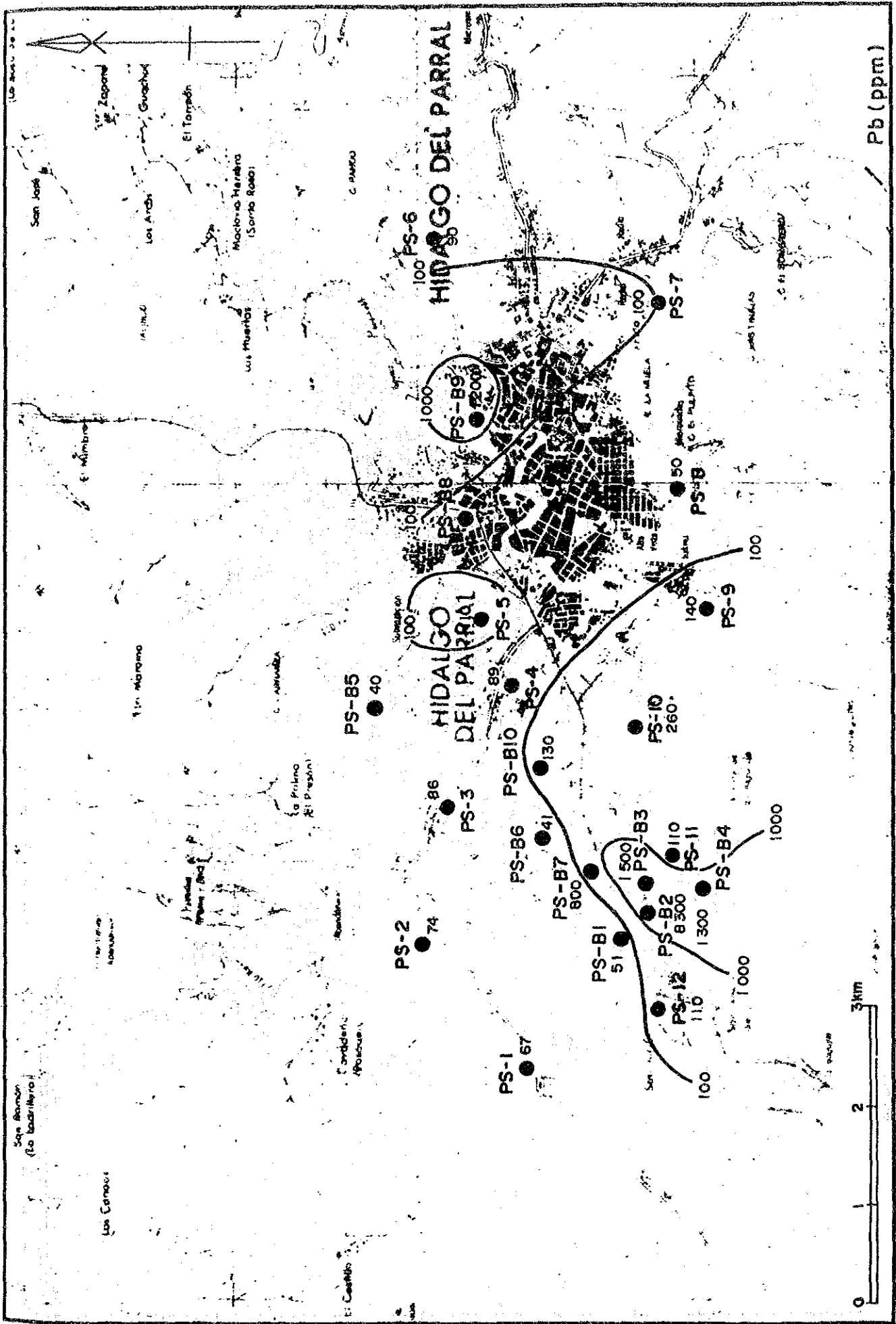


Fig. 4-5-1 Analysis Map of Chemical Data of Soil (2)

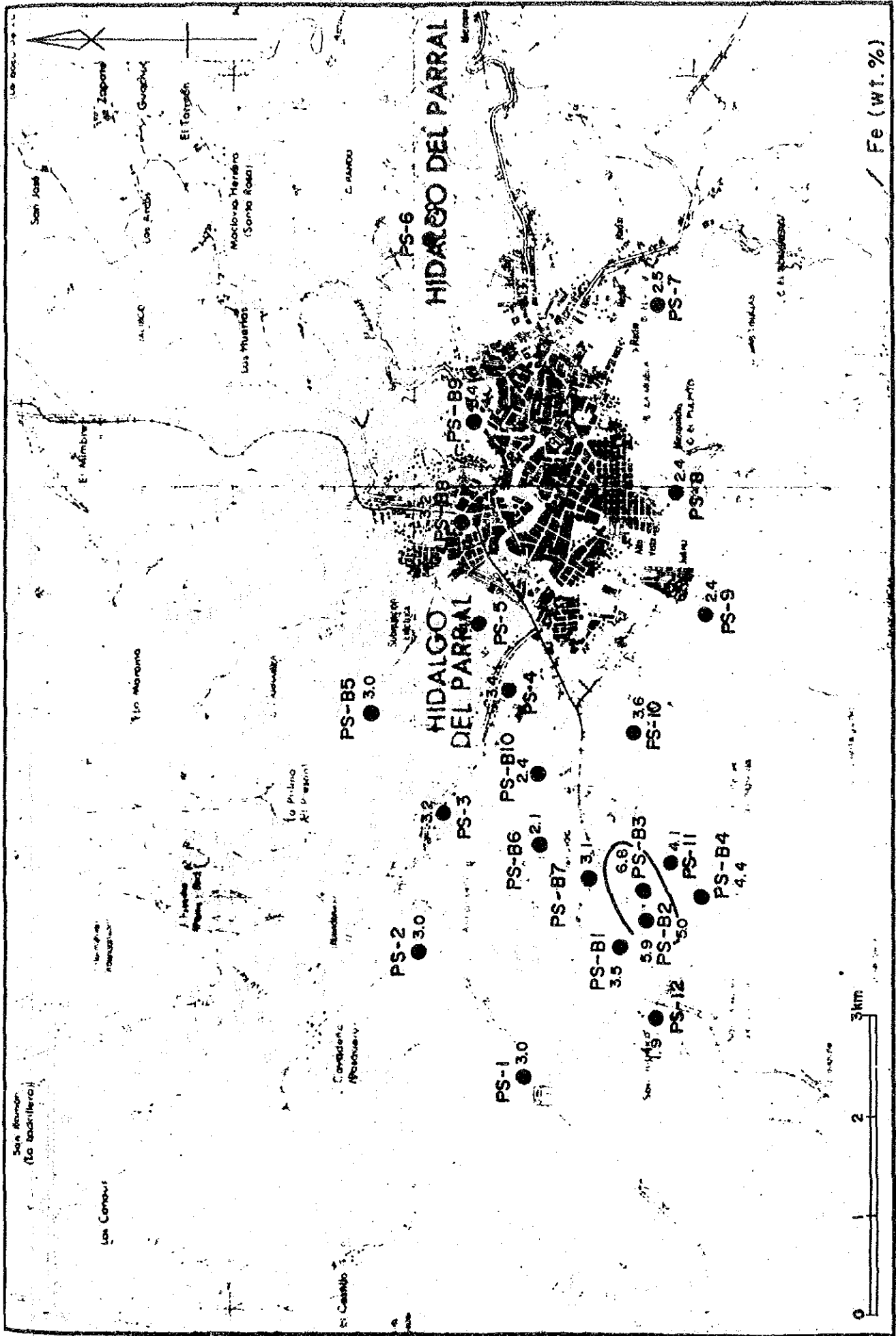


Fig. 4-5-1 Analysis Map of Chemical Data of Soil (4)

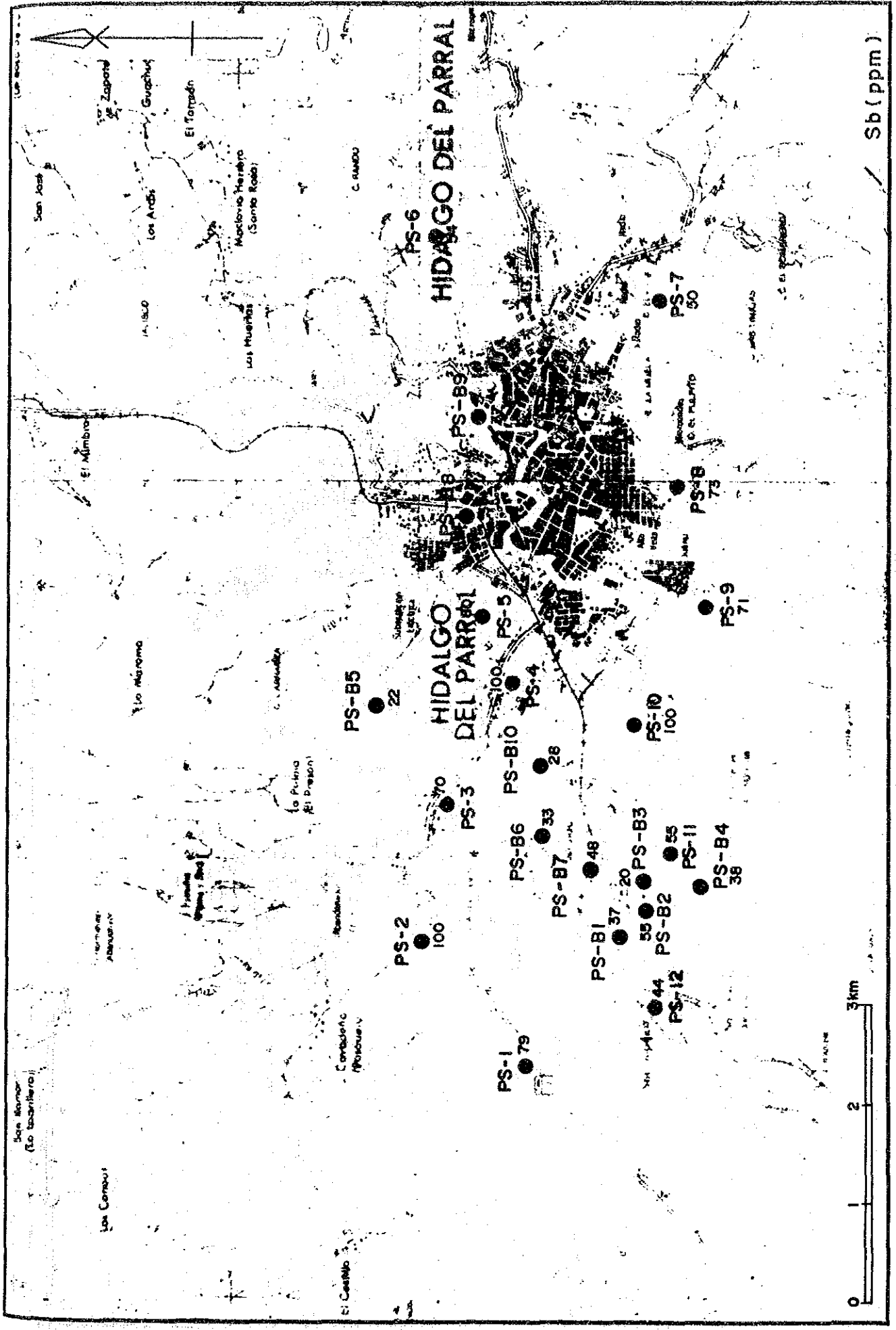


Fig. 4-5-1 Analysis Map of Chemical Data of Soil (6)

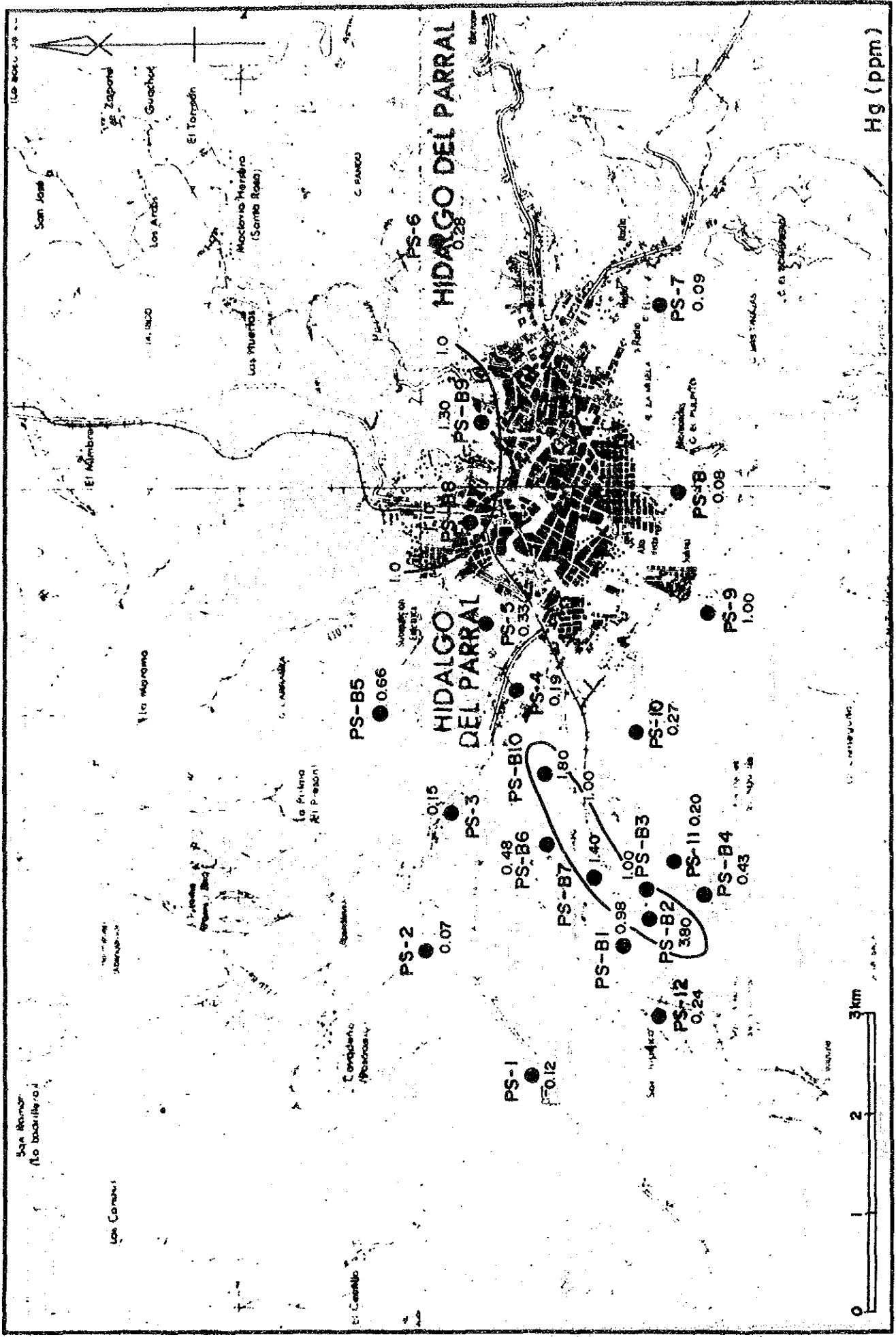


Fig. 4-5-1 Analysis Map of Chemical Data of Soil (9)

● Boring point
▲ Sampling point

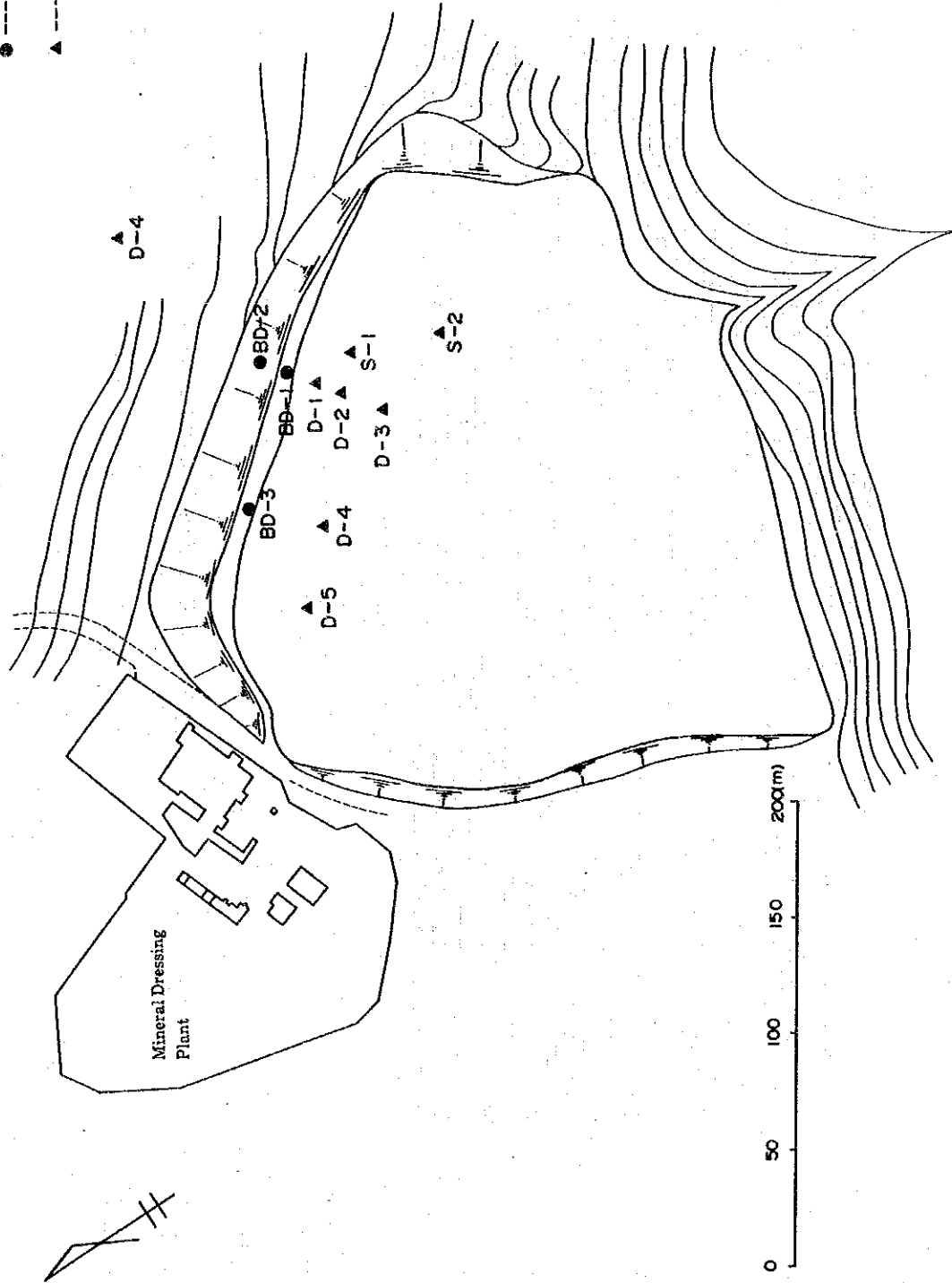


Fig. 4-6-1 Boring and Soil Test Sample Point

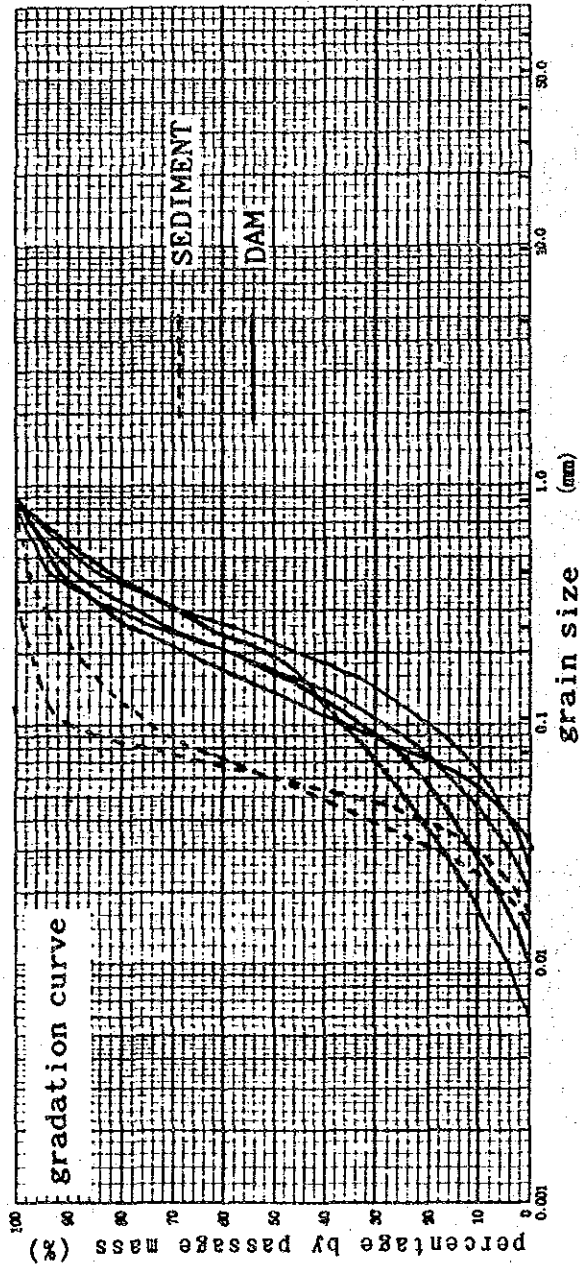


Fig. 4-6-2 Grain Size Accumulation Curve

- ① SEDIMENT-1 (SAND)
- ② SEDIMENT-2 (SILTY SAND)
- ③ SHALE
- LINES OF SEEPAGE

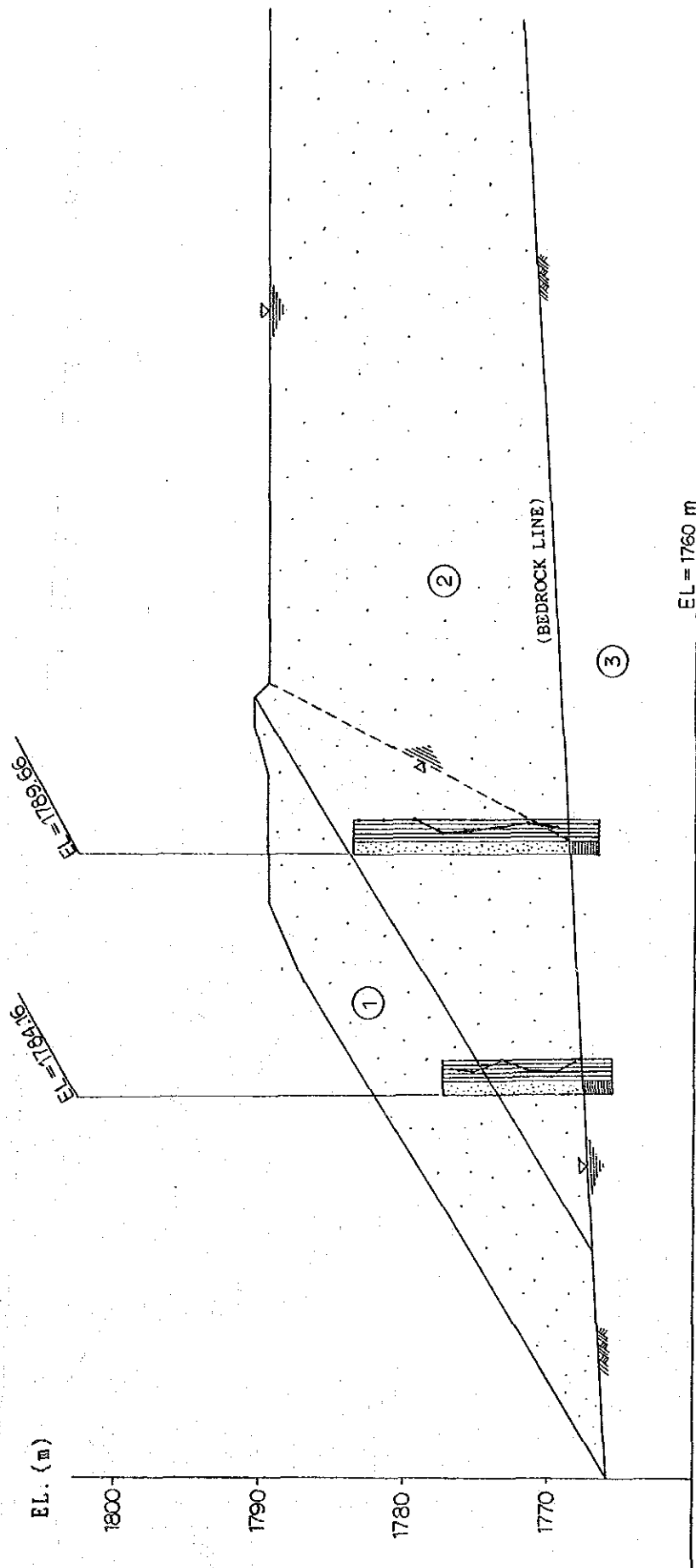


Fig. 4-6-3 Parral Tailing Dam Geological Cross Section

CONDITION OF SOIL

Zone No.	SOIL	PARTIAL SATURATION DENSITY ρ_s (g/cm ³)	SATURATION DENSITY ρ_{sat} (g/cm ³)	COHESION C (kgf/cm ²)	SHEARING RESISTANCE ANGLE ϕ (°)
①	SEDIMENT-1	1.910	2.094	0.00	30.0
②	SEDIMENT-2	1.689	1.816	0.10	23.0

PARRAL TAILING DAM

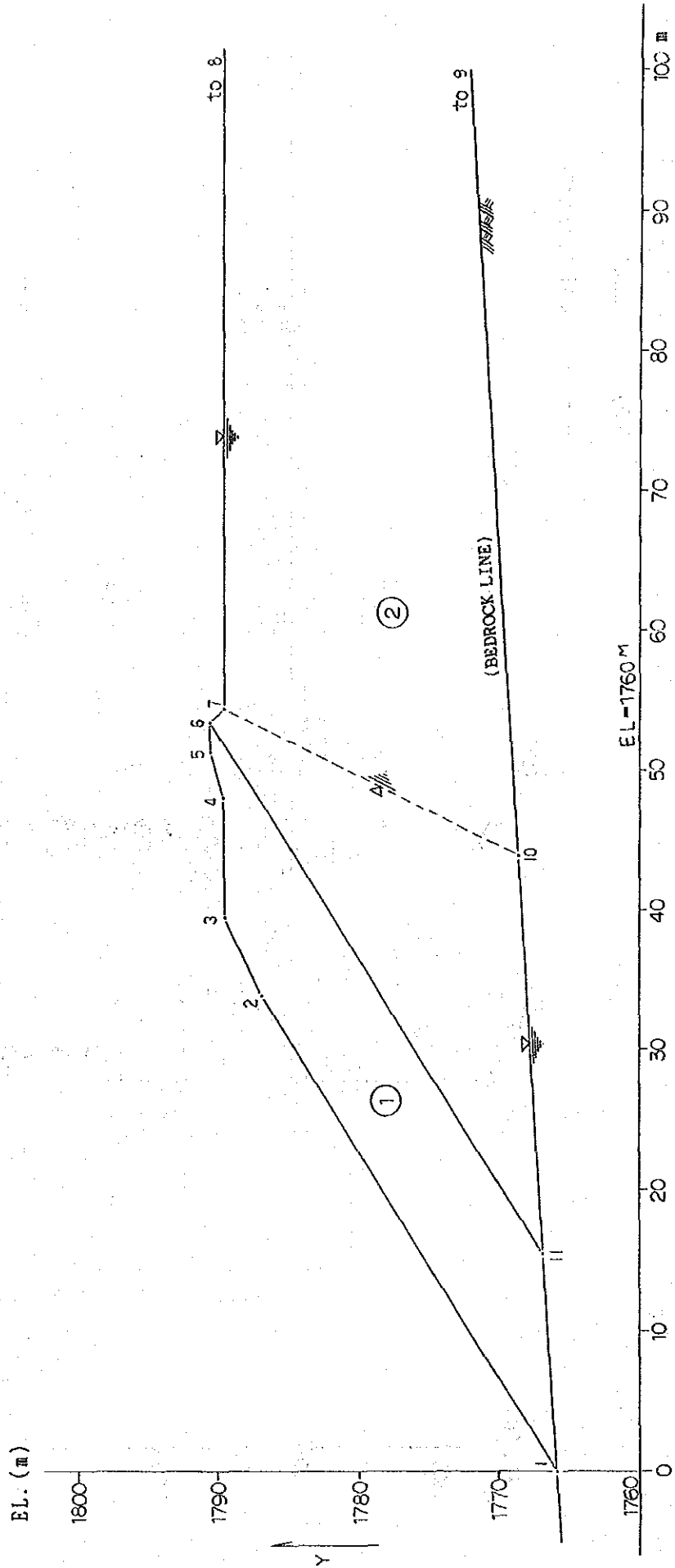


Fig. 4-6-4 The Model of Tailing Dam Stability Analysis

(DURING EARTHQUAKE : KH = 0.00)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY

X = 25.00 m
 Y = 1785.00 m
 R = 12.00 m
 MR = 1562.197 tf-m
 Mp = 1817.977 tf-m
 Fs = Mp / Ms = 0.8593

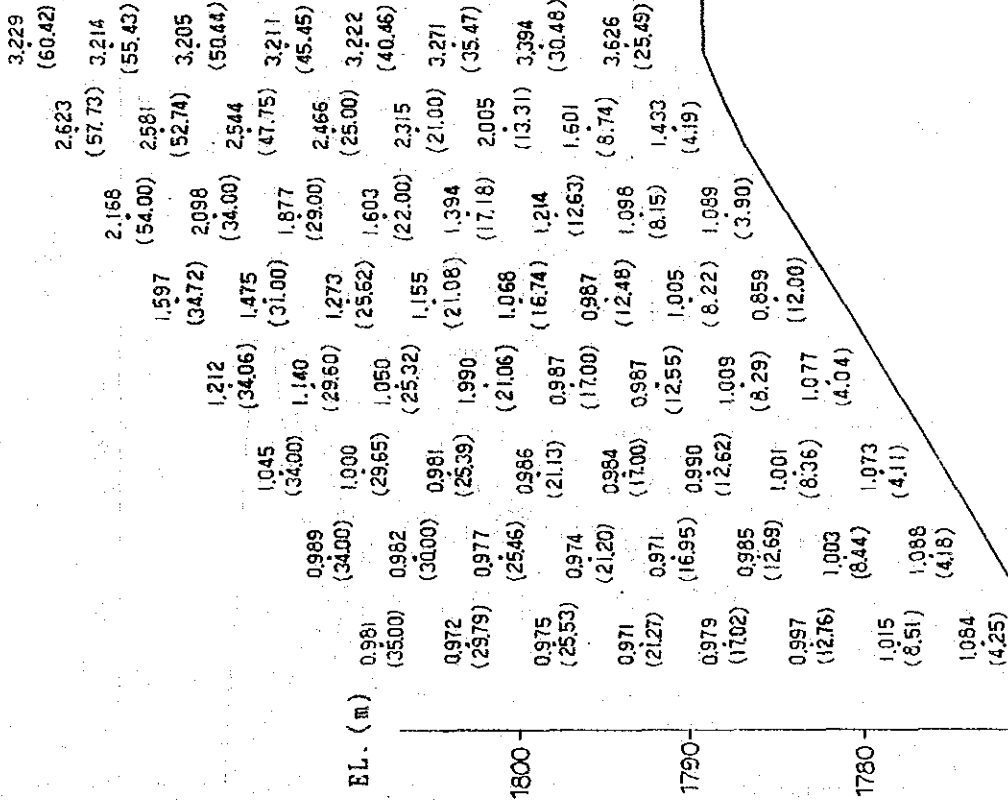


Fig. 4-6-5 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (1)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY BY EACH DISTANCE

(DURING EARTHQUAKE : KH=0.00)

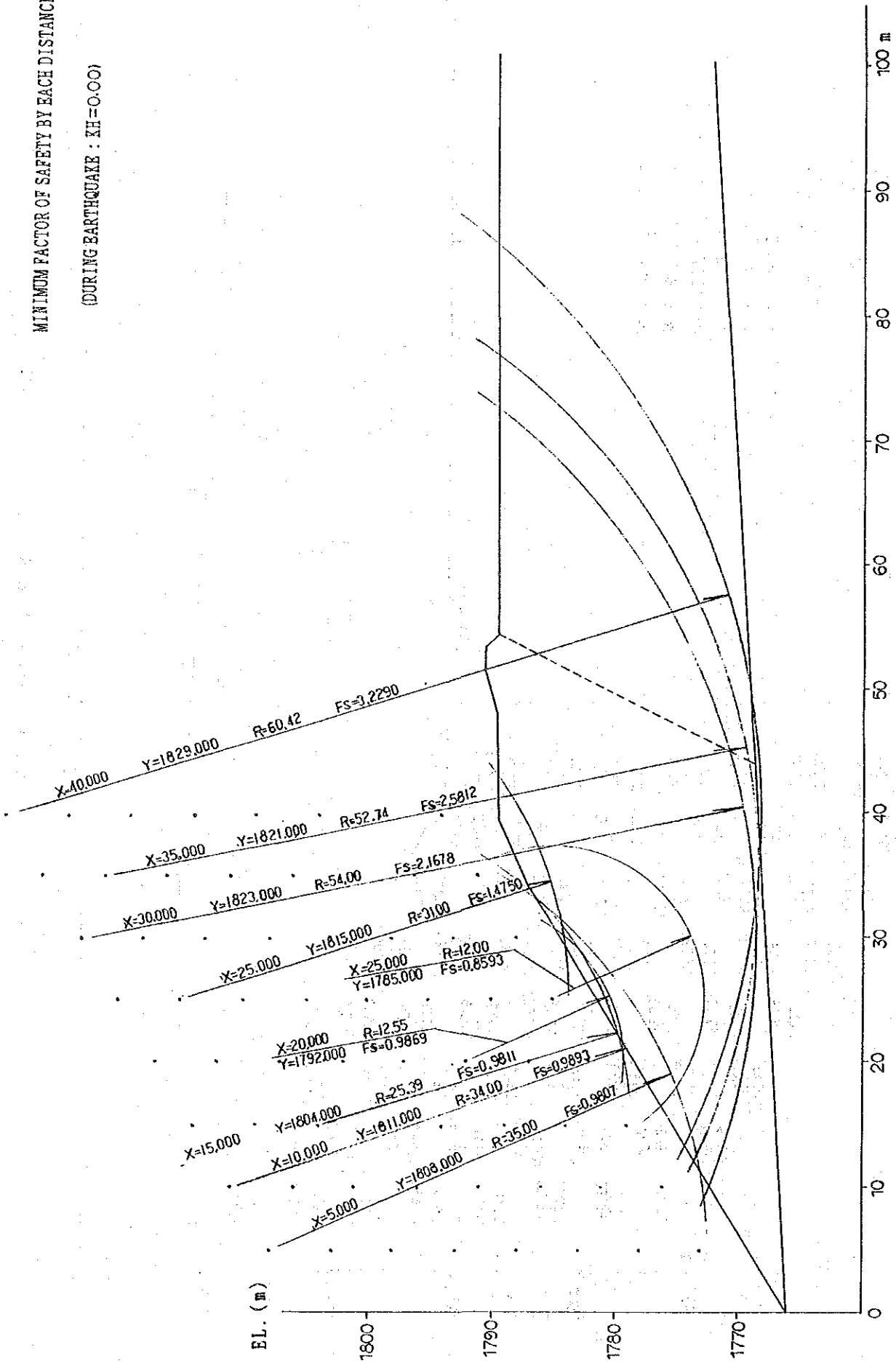


Fig. 4-6-6 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (2)

(DURING EARTHQUAKE : KH = 0.15)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY

X = 25.00 m
 Y = 1785.00 m
 R = 11.00 m
 Mr = 1139.282 tf-m
 Mb = 1625.844 tf-m
 Es = Mr/Mb = 0.7007

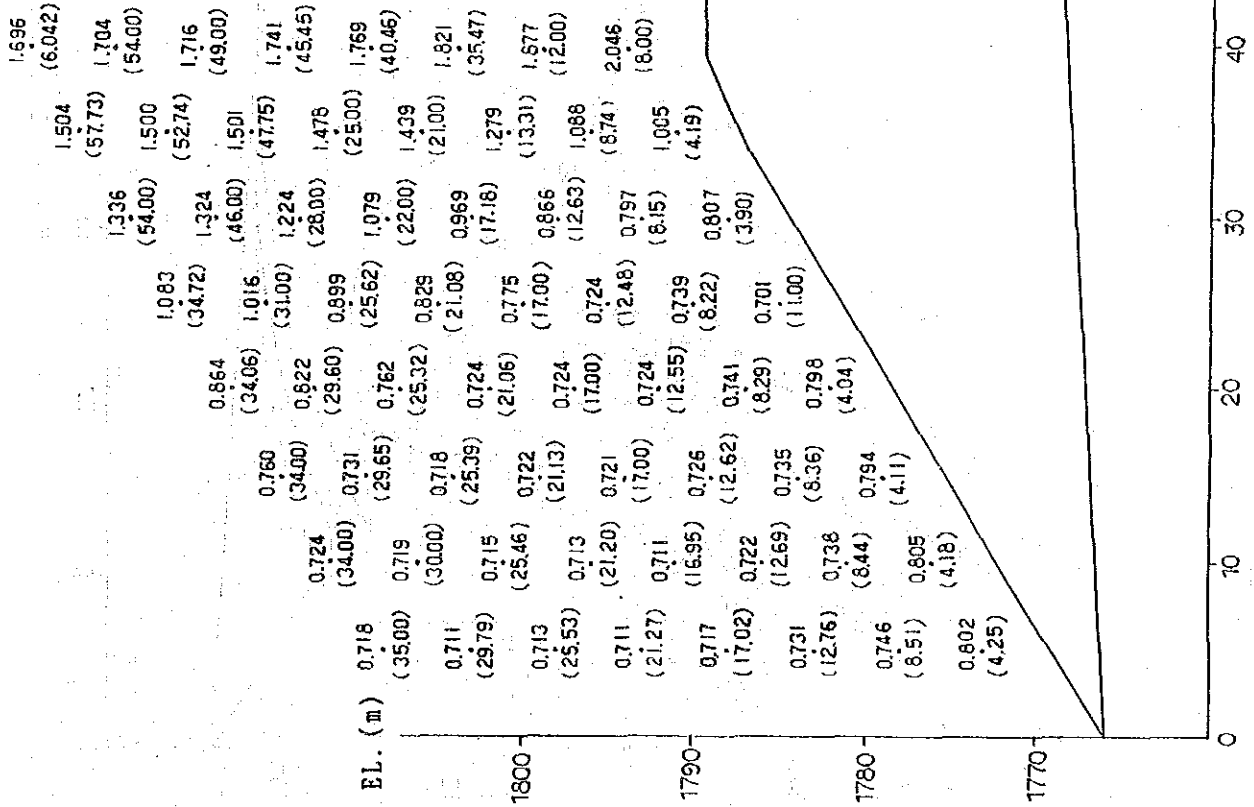


Fig. 4-6-7 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (3)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY BY EACH DISTANCE

(DURING EARTHQUAKE : KH=0.15)

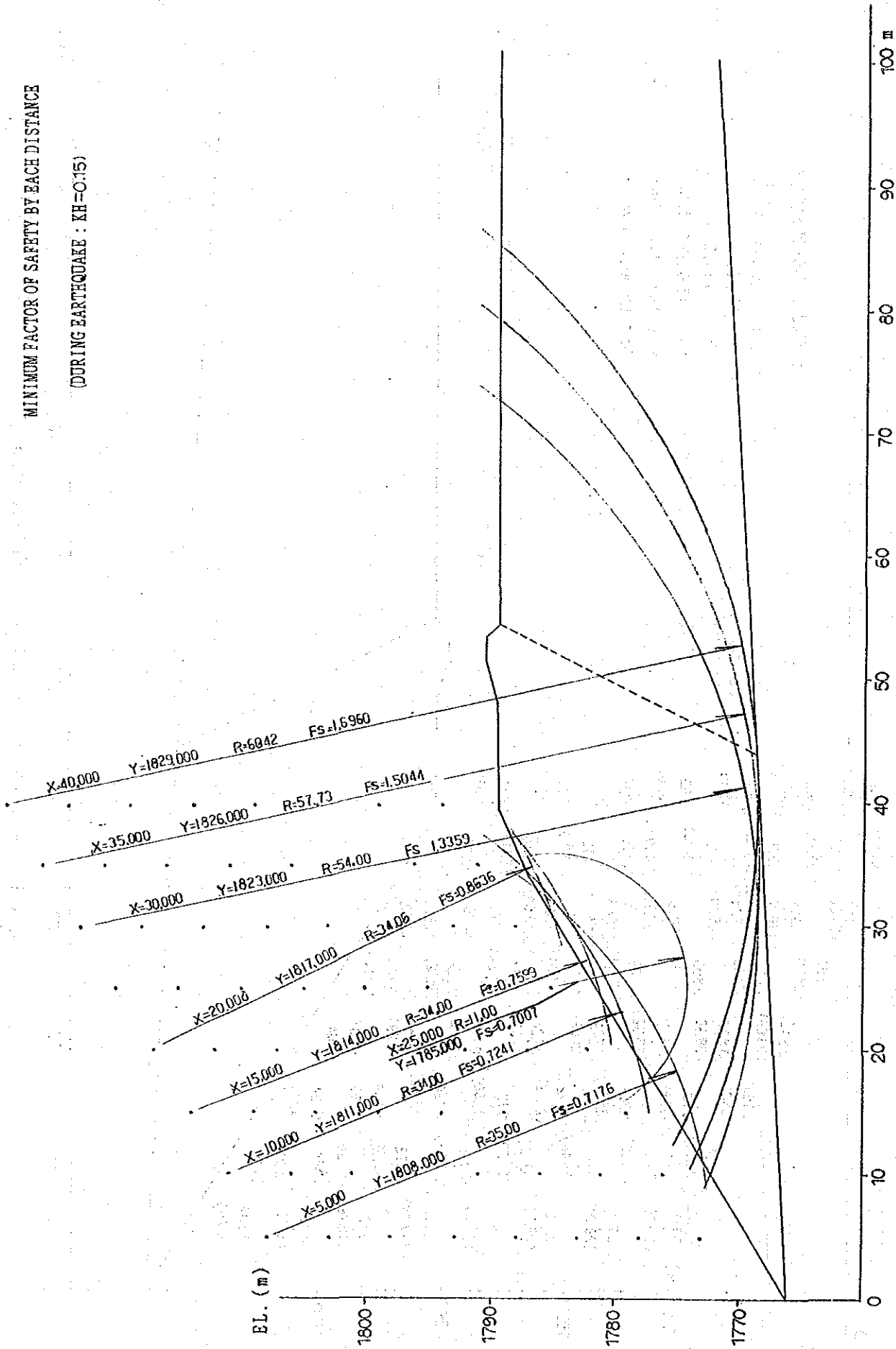


Fig. 4-6-8 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (4)

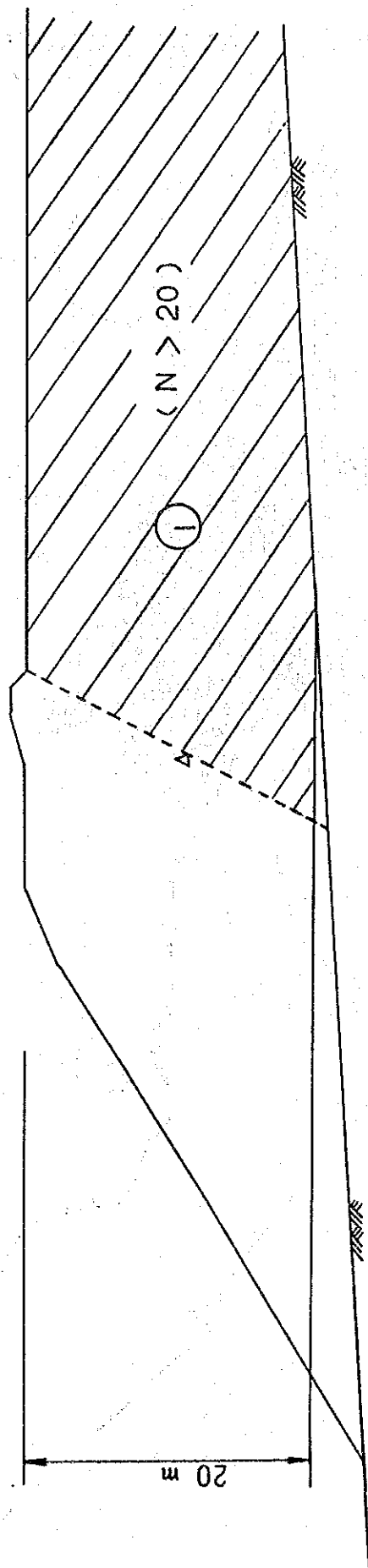


Fig. 4-6-9 The Scope for Danger of Liquefaction

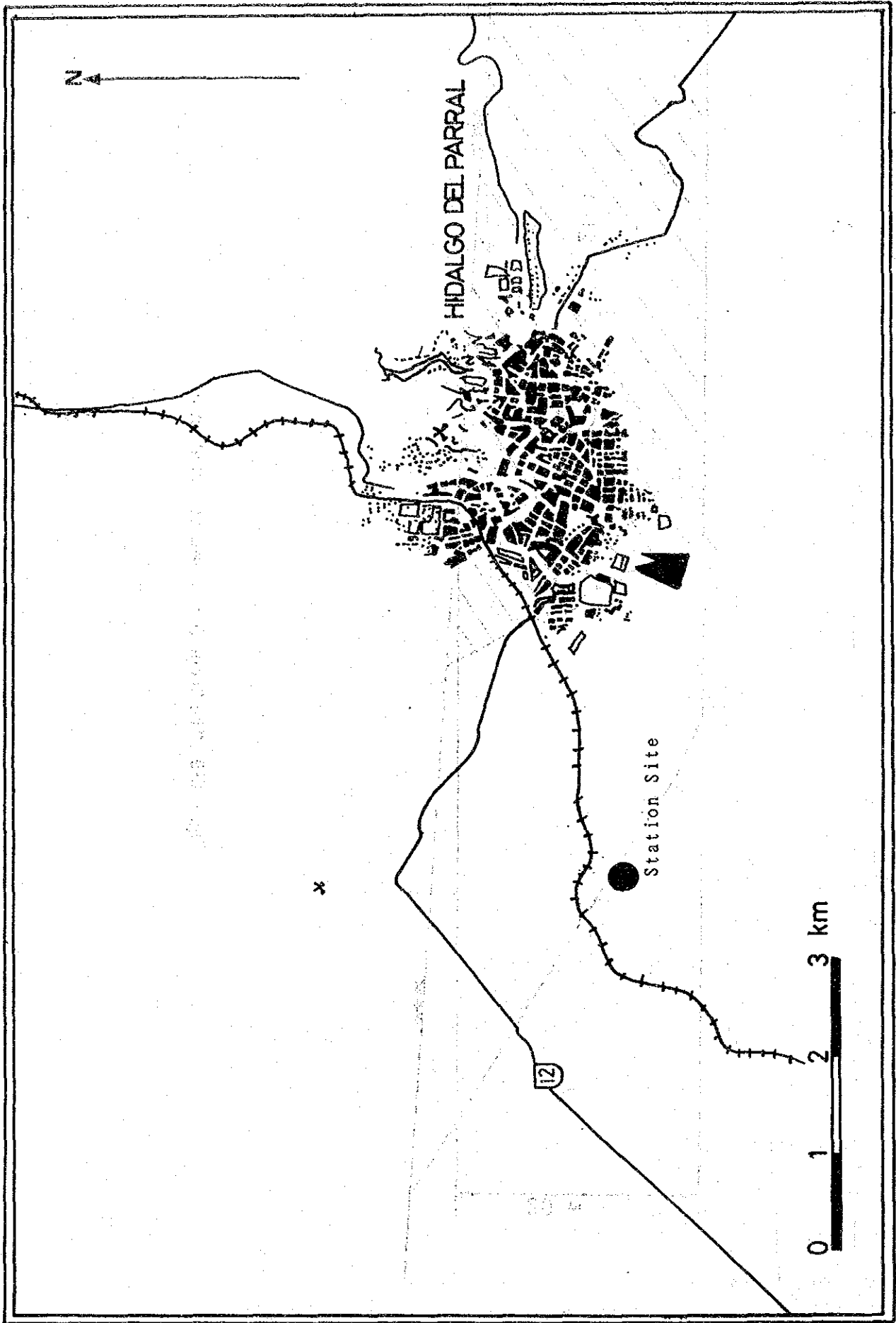


Fig. 4-7-1 Location Map of Meteorological Station

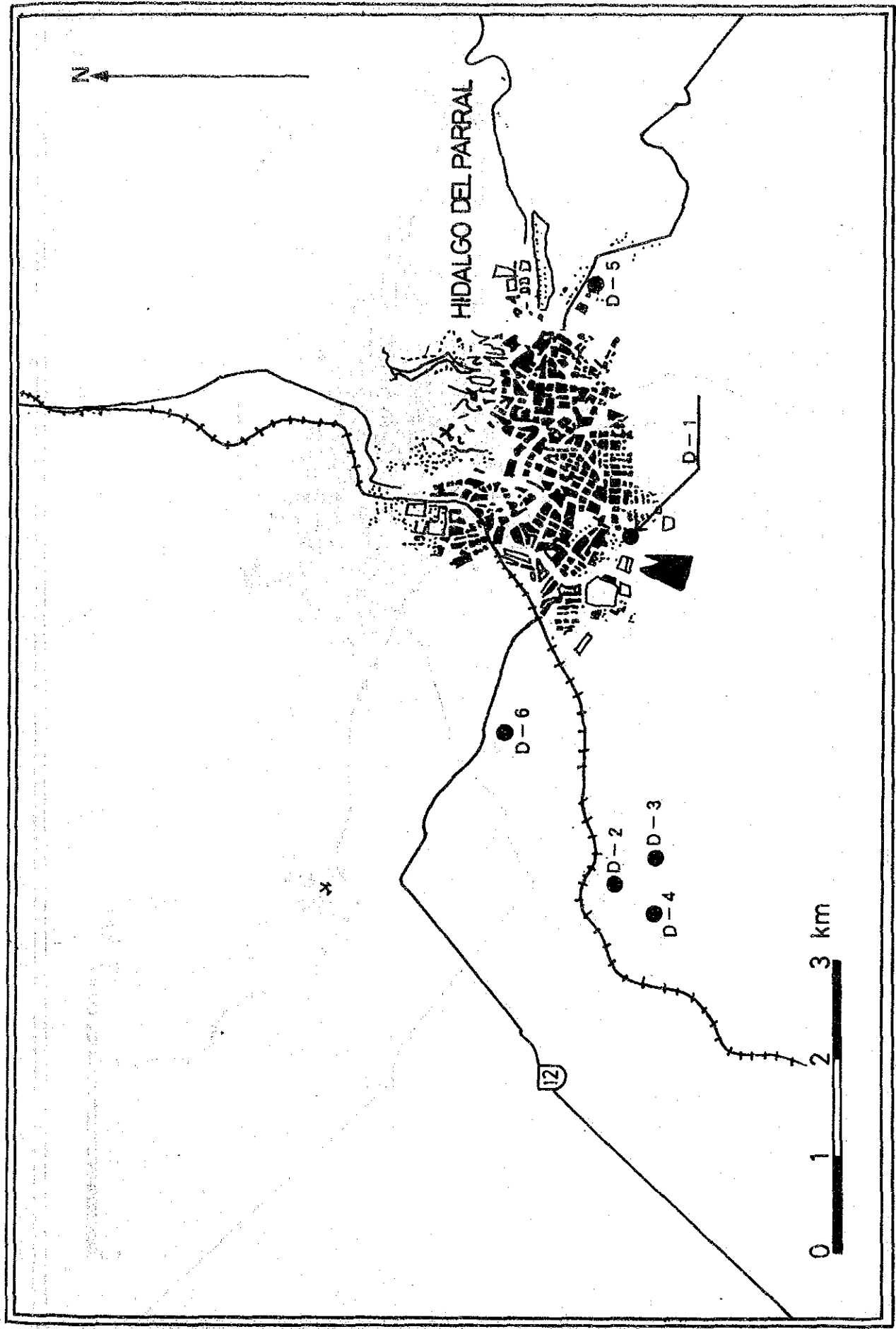


Fig. 4-7-2 Location Map of Dust Jar Sampling

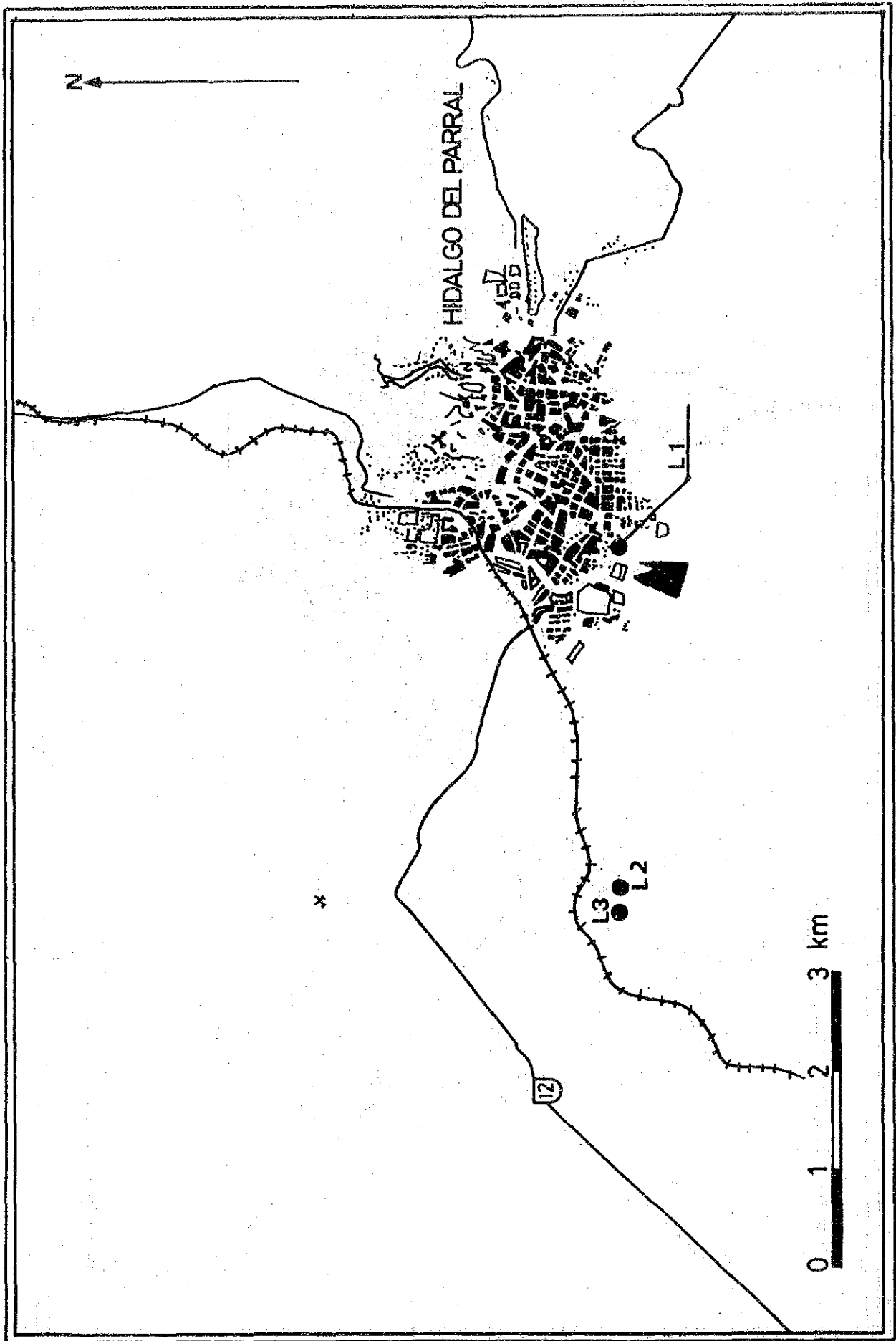


Fig. 4-7-3 Location Map of Low Volume Sampler

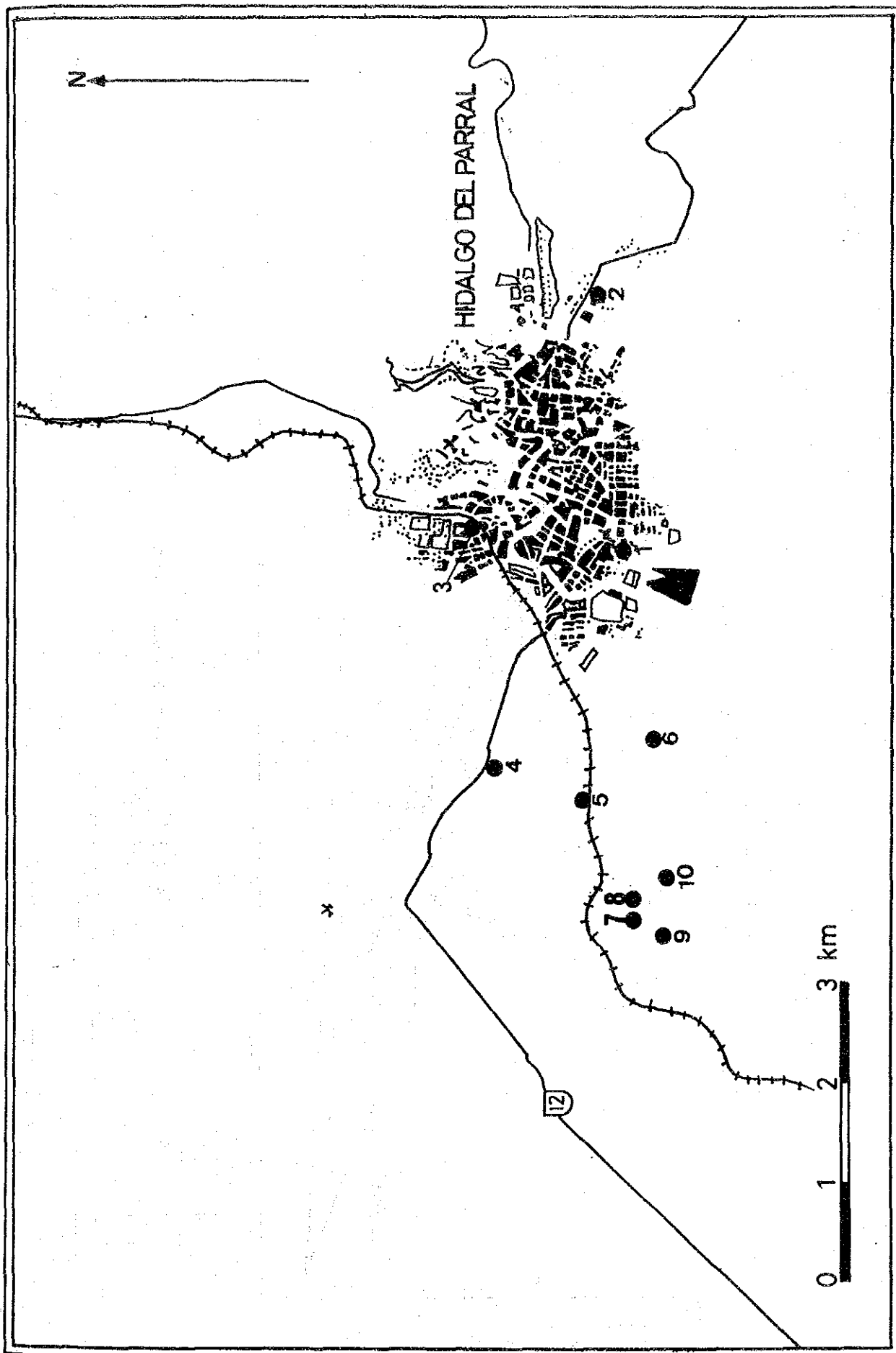


Fig. 4-7-4 Location Map of Digital Dust Monitors

■ Cut and Bank
▨ Bank

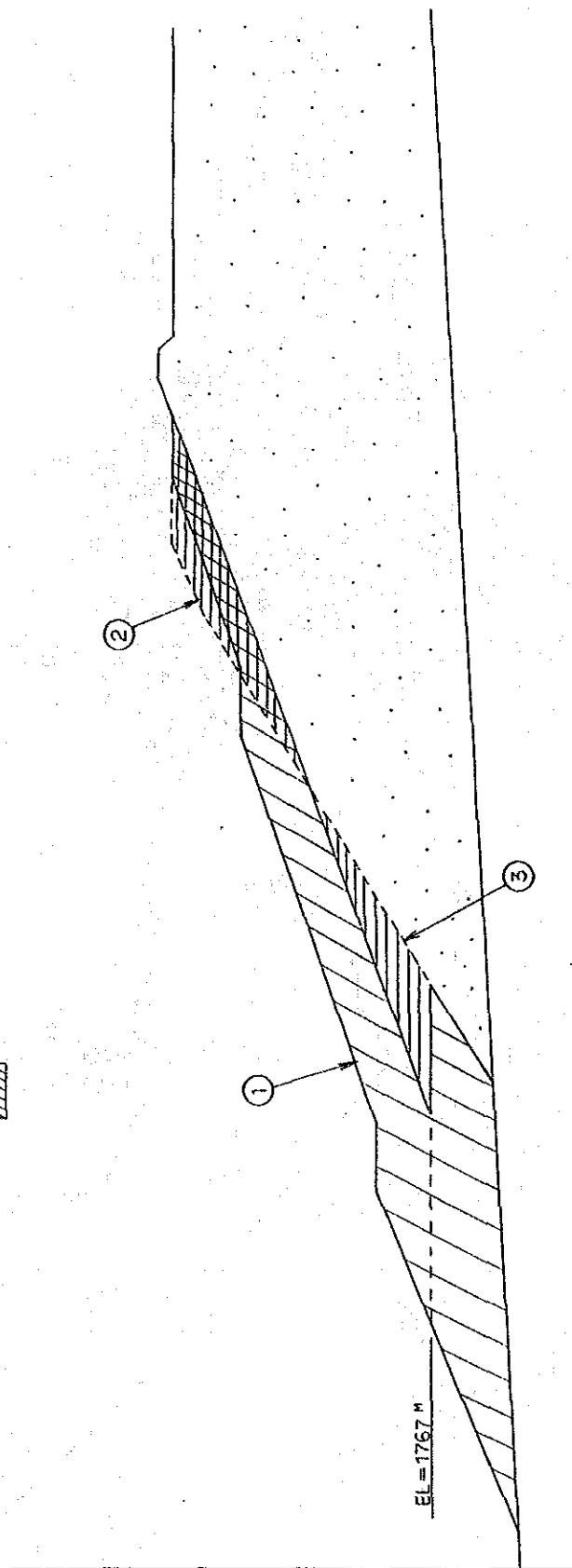


Fig. 4-9-1 The Model of Counter Load

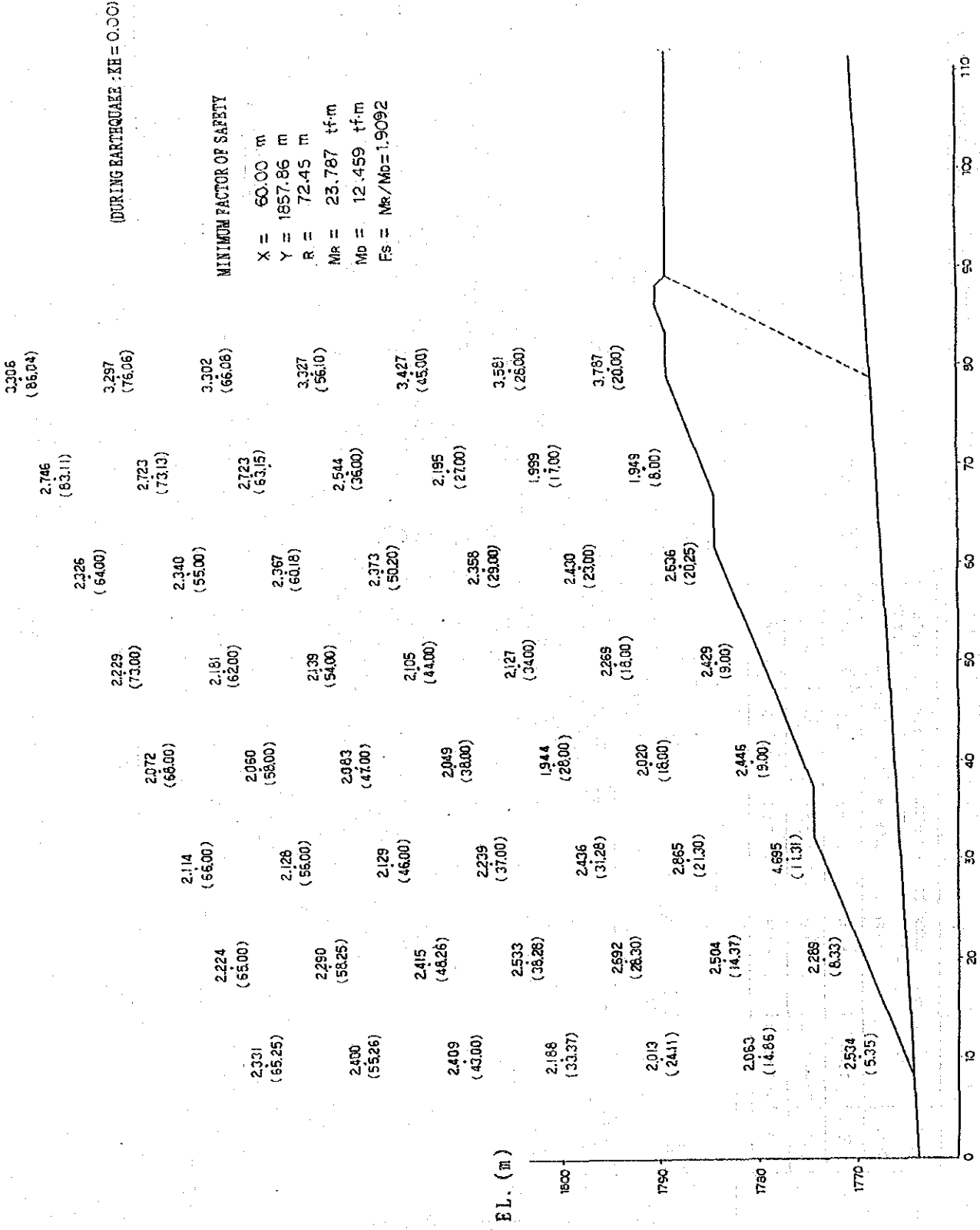


Fig. 4-9-3 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (1)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY BY EACH DISTANCE

(DURING EARTHQUAKE : KH=0.00)

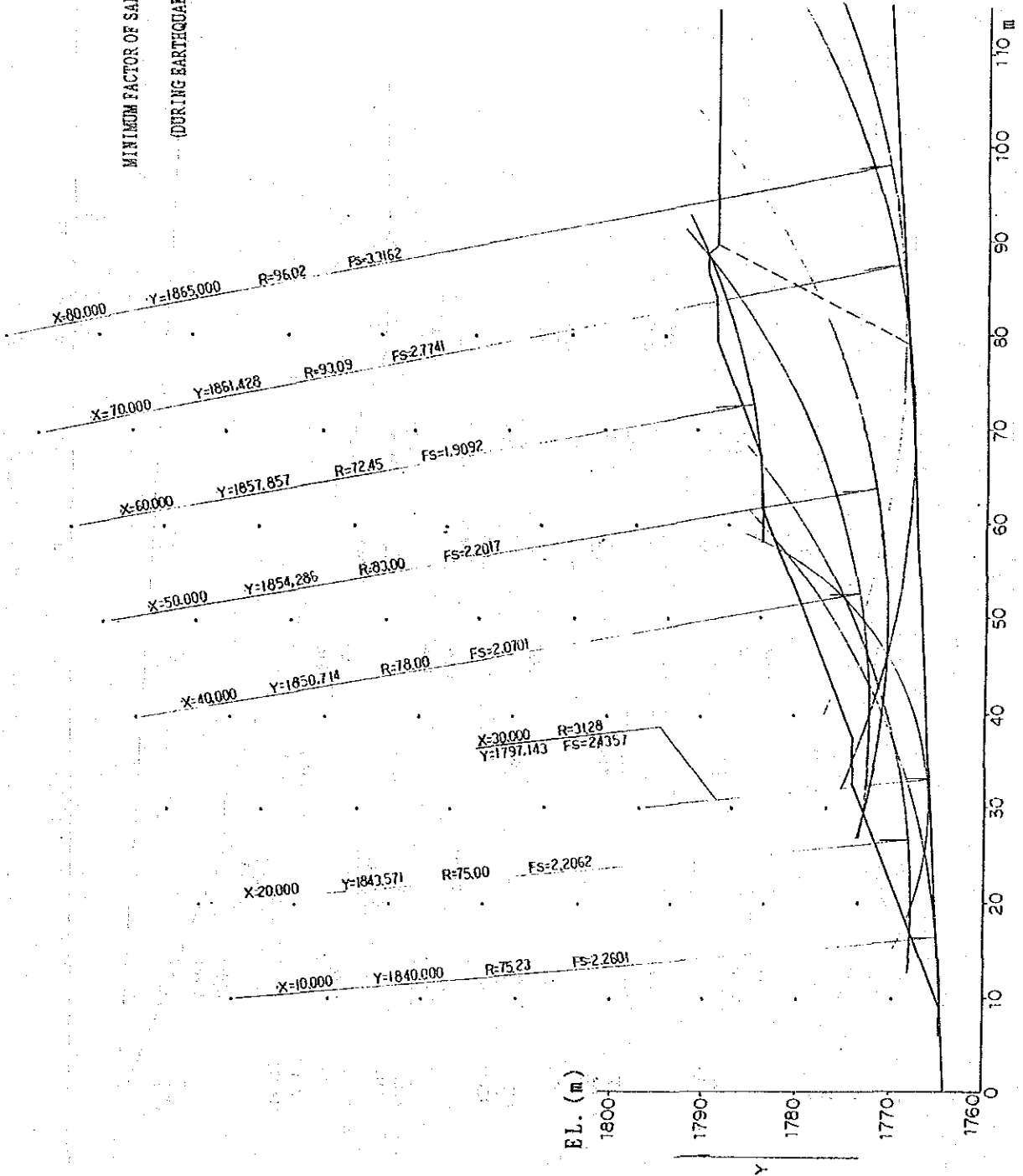


Fig. 4-9-4 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (2)

(DURING EARTHQUAKE : KH = 0.15)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY

X = 40.00 m
 Y = 1800.71 m
 R = 28.00 m
 Mr = 3474.457 tfm
 Md = 2686.650 tfm
 Fs = Mr/Md = 1.2932

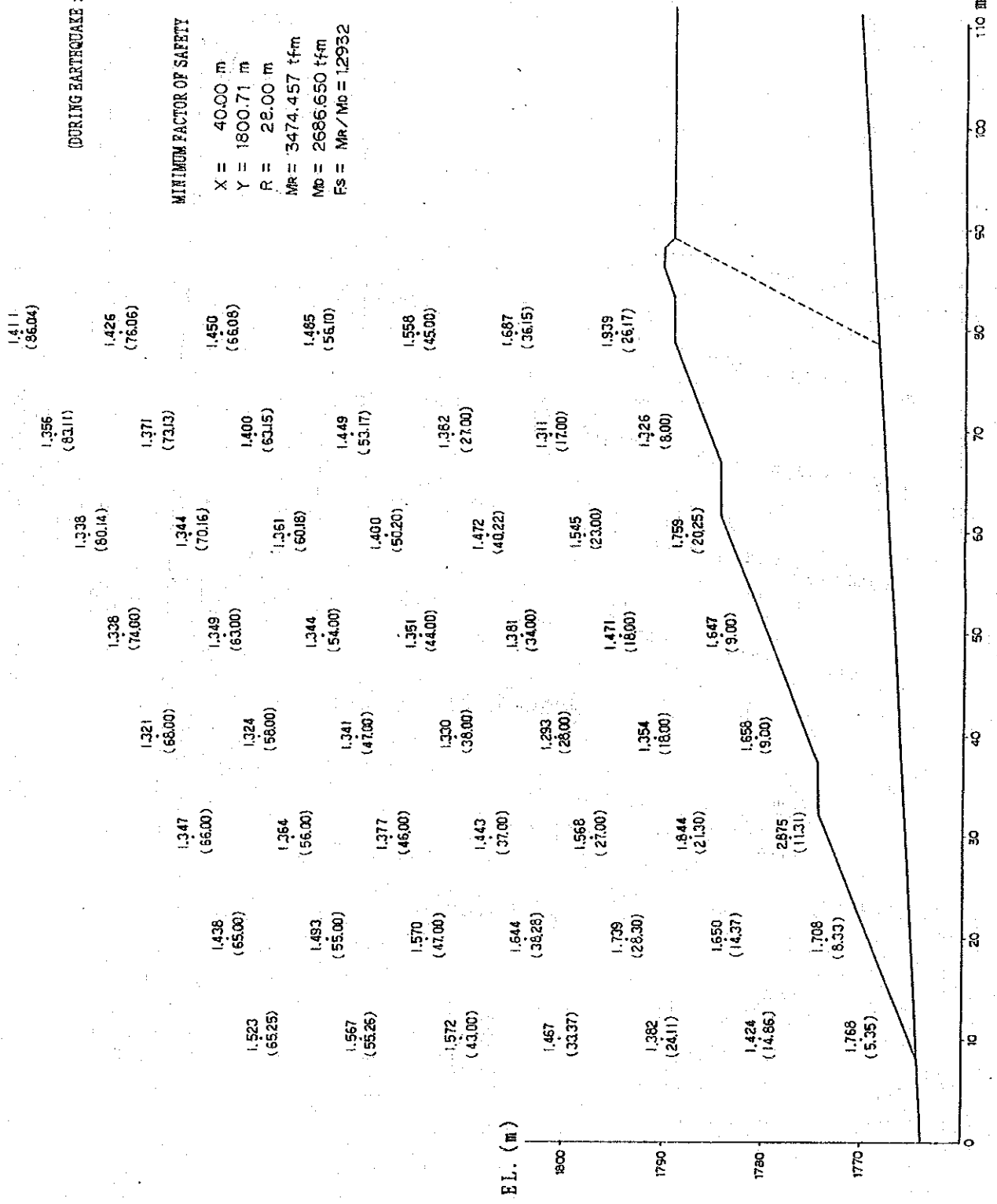


Fig. 4-9-5 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (3)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY BY EACH DISTANCE
 (DURING EARTHQUAKE : KH=0.15)

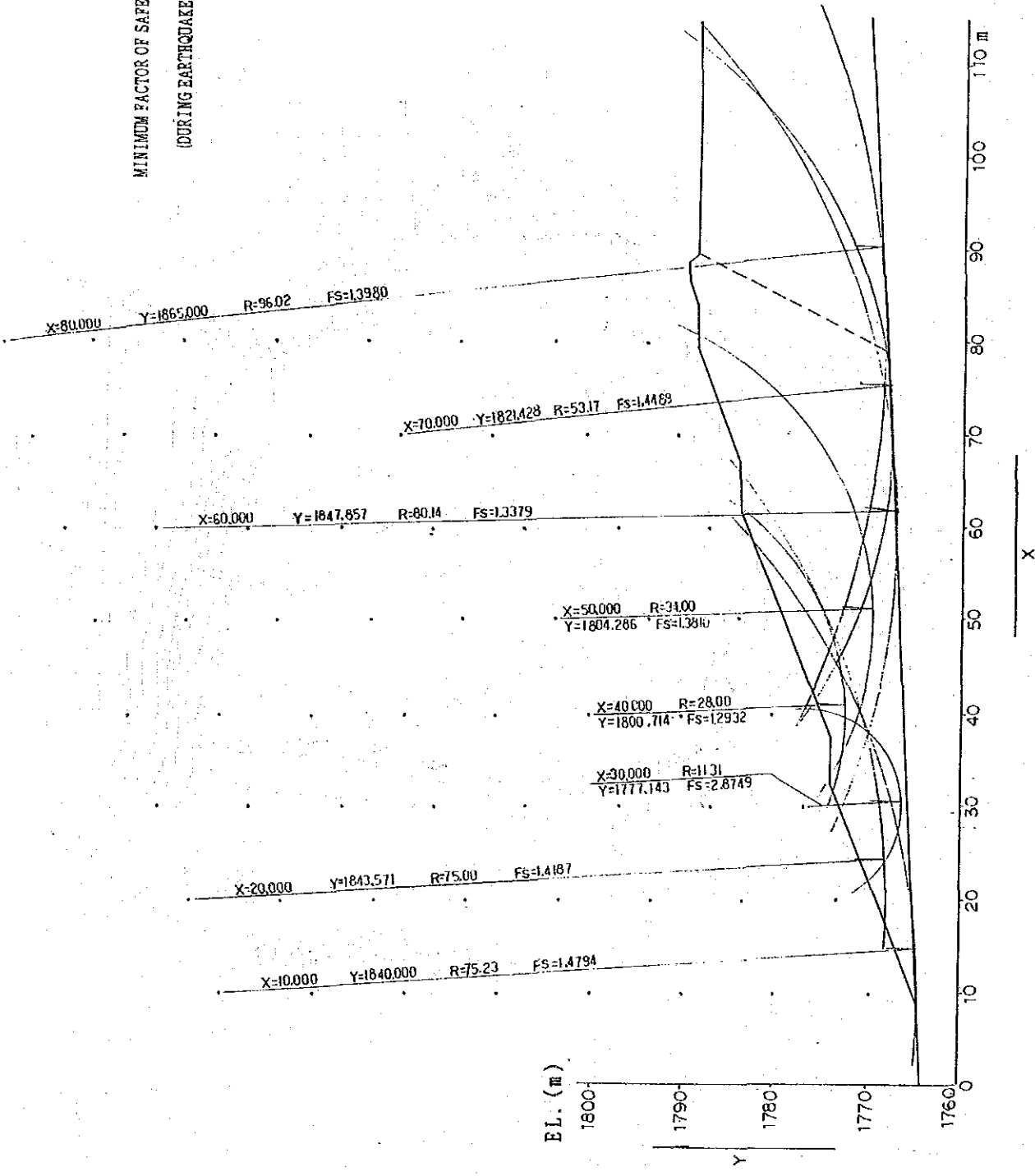


Fig. 4-9-6 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (4)

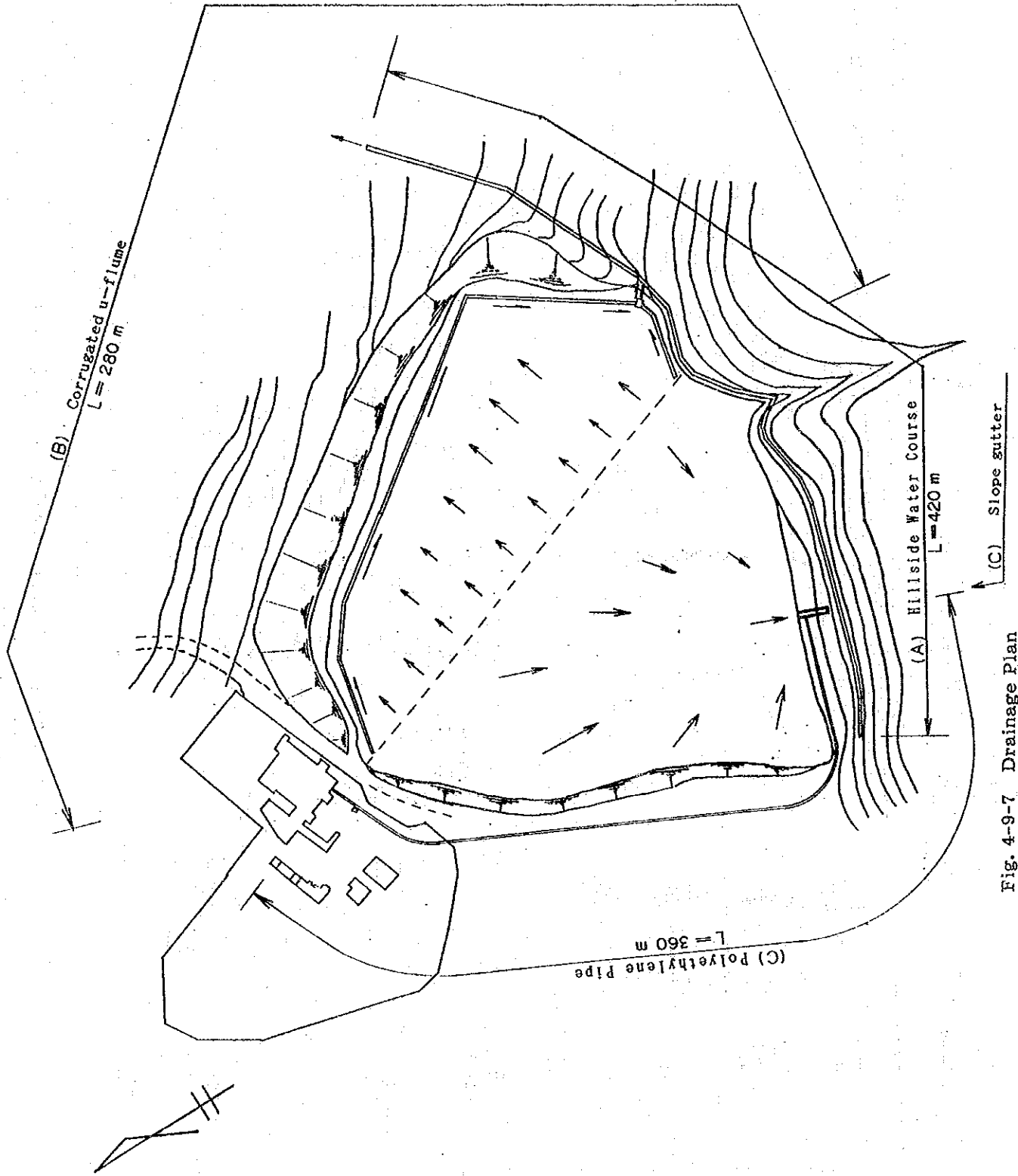
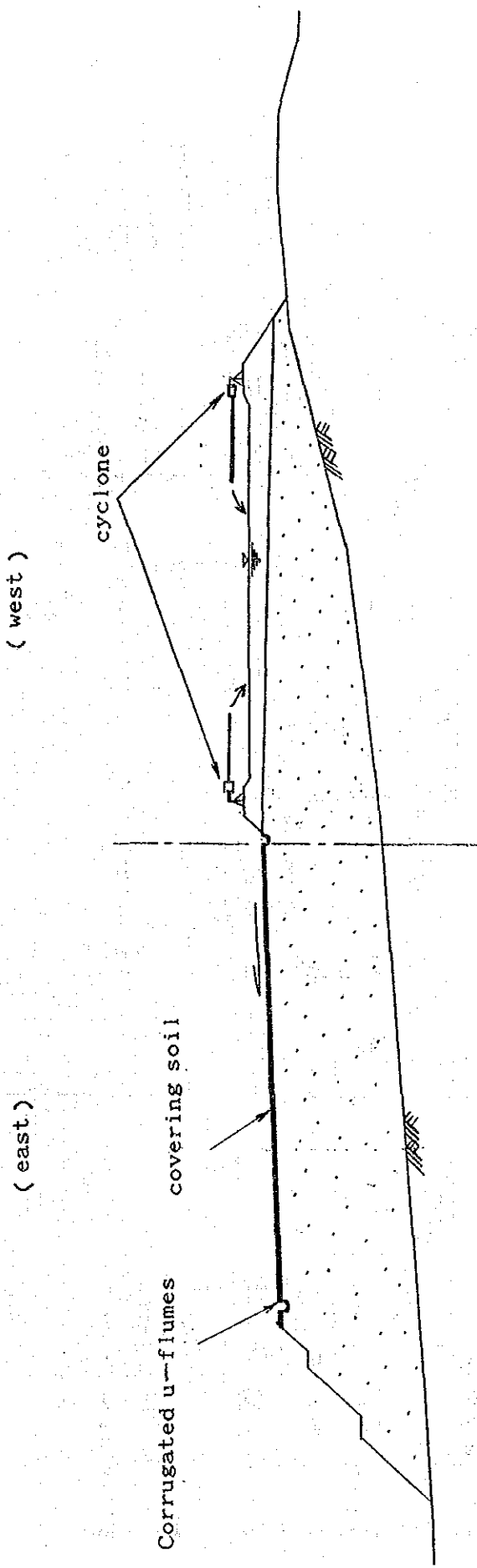


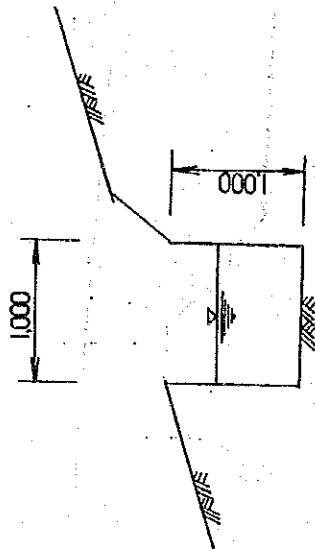
Fig. 4-9-7 Drainage Plan



method of accretion

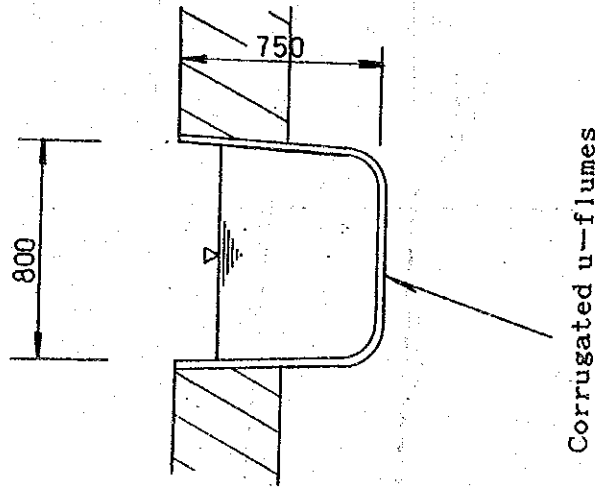
Fig. 4-9-8 Drainage Section

(A)



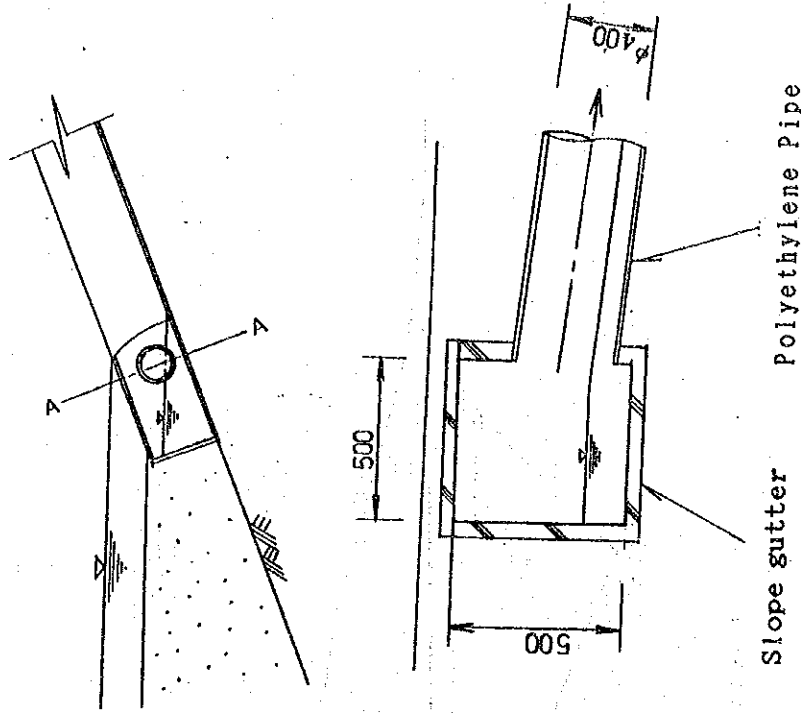
Hillside watercourse

(B)



Corrugated u-flumes

(C)



Slope gutter
Polyethylene Pipe

Fig. 4-9-9 Typical Cross Section of Drainage

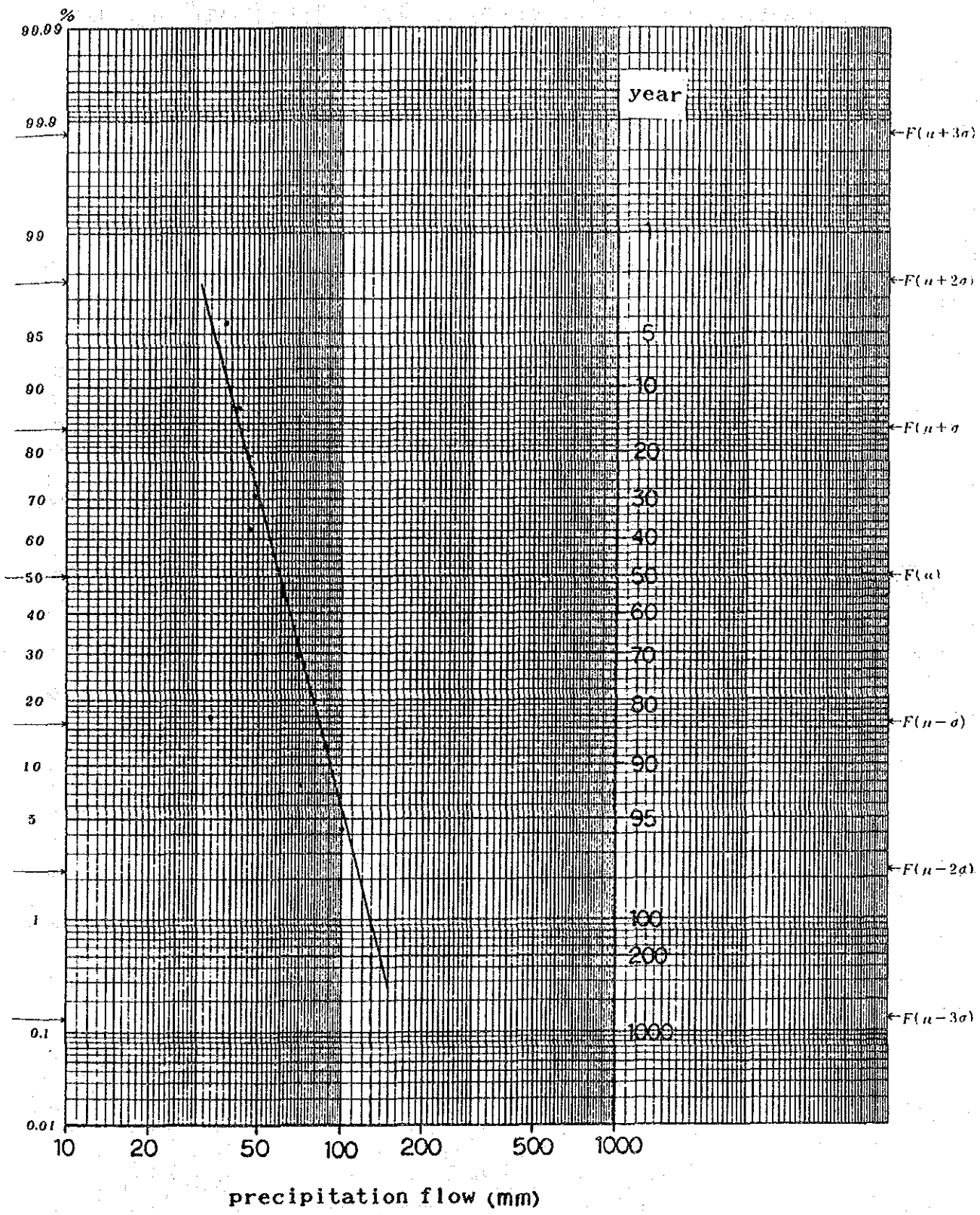


Fig. 4-9-10 Probability Precipitation

Table 4-4-1 Hydrologic Measurement of Surface Water (Parral)

Site	Season	Date	Section of Flow (m ²)	Velocity (m/sec)	Flow Rate (m ³ /sec)	Daily Flow (m ³ /day)
No. 1	Dry	11, Mar.	0	0	0	0
	Rainy	30, Aug.	0	0	0	0
No. 2	Dry	11, Mar.	0.0305	0.1777	0.542×10^{-2}	468.3
	Rainy	30, Aug.	0.014	0.2754	0.386×10^{-2}	333.1
No. 3	Dry	11, Mar.	0.1875	0.0983	1.843×10^{-2}	1,592.4
	Rainy	30, Aug.	11.182	1.3077	14.623	1.263×10^6
No. 4	Dry	11, Mar.	0.0785	0.2143	1.682×10^{-2}	1,453.2
	Rainy	30, Aug.	14.380	1.5829	22.763	1.967×10^6
No. 5	Dry	11, Mar.	0.0265	0.4132	1.095×10^{-2}	946.1
	Rainy	30, Aug.	17.0575	1.5071	25.707	2.221×10^6

Table 4-4-2 Background and Water Supply Ceiling of Chemical Components in Water (ppm)

Background Value	Cu	Pb	Zn	Fe	Cd	Total Cr	As	Hg	Cr ⁶⁺	CN
Fresh Water	0.003	0.003	0.020	0.1	0.032 × 10 ⁻³	0.001	0.002	0.07 × 10 ⁻³	0.001	0
Water Supply Ceiling	1	0.05	5	0.3	0.01	0.05	0.05	0.002	0.05	0

after Rose, W., Hawkes, H. E., and Webb, J. S. (1979): Geochemistry in Mineral Exploration Water Supply Ceiling is by U. S. Environmental Protection Agency (1977)

Table 4-4-3 Chemical Analysis of Surface Water (El Bote)

Site	Season	Date	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Cd (ppm)	Total Cr (ppm)	AS (ppm)	Hg (ppm)	Cr ⁶⁺ (ppm)	CN (ppm)	pH
P-R1	Dry	11, Mar.	0.10	1.1	2.2	43	0.009	0.003	0.36	0.002	n.d.	0.1	8.40
	Rainy	30, Aug.	0.30	0.15	0.11	0.47	0.001	0.013	1.0	0.0009	n.d.	0.1	9.23
P-R2	Dry	11, Mar.	5.0	0.14	1.2	1.4	0.006	0.10	0.04	n.d.	0.04	4.2	8.20
	Rainy	30, Aug.	0.29	0.30	0.20	1.2	0.003	0.022	0.13	n.d.	n.d.	n.d.	9.00
P-R3	Dry	11, Mar.	n.d.	n.d.	n.d.	0.18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	8.42
	Rainy	30, Aug.	0.017	0.085	0.080	0.84	0.004	0.025	0.028	0.0043	n.d.	n.d.	7.80
P-R4	Dry	11, Mar.	4.9	0.07	0.86	0.07	0.01	0.08	n.d.	n.d.	0.045	3.9	8.37
	Rainy	30, Aug.	0.023	0.053	0.085	1.3	0.002	0.030	0.025	0.0012	n.d.	n.d.	7.92
P-R5	Dry	11, Mar.	0.03	0.23	0.08	1.2	0.004	0.008	0.03	n.d.	n.d.	n.d.	8.48
	Rainy	30, Aug.	0.017	0.040	0.091	0.89	0.002	0.035	0.023	0.0008	n.d.	n.d.	7.93
P-R6	Rainy	30, Aug.	0.020	0.047	0.085	0.95	0.001	0.043	0.022	0.0007	n.d.	n.d.	7.97
P-R7	Rainy	30, Aug.	0.022	0.048	0.057	0.84	0.002	0.051	0.021	0.0004	n.d.	n.d.	7.87
P-D1	Dry	11, Mar.	16	0.47	0.16	0.12	0.009	0.05	0.004	0.0003	n.d.	10	8.90
	Rainy	30, Aug.	43	0.44	25	0.72	0.10	0.059	n.d.	0.0077	n.d.	150	11.05
P-W1	Rainy	31, Aug.	40	0.37	33	0.88	0.058	0.056	n.d.	0.0004	n.d.	120	11.50

R: River, D: Tailing Dam, W: Waste Water

Electric Conductivity (µs/cm) is:
 P-R1(Dry)=82, P-R1(Rainy)=35, P-R2(Dry)=45, P-R2(Rainy)=90,
 P-R3(Dry)=43, P-R3(Rainy)=45, P-R4(Dry)=43, P-R4(Rainy)=45,
 P-R5(Dry)=43, P-R5(Rainy)=45, P-R6(Rainy)=45, P-R7(Rainy)=44,
 P-D1(Dry)=120, P-D1(Rainy)=155, P-W1(Rainy)=150

Table 4-4-4 Micro Flow Measurement Data (Parral B-1)

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
3.38	60	0	Up-flow	0.40
4.38	60	0	Up-flow	0.40
5.38	60	8	Up-flow	1.34
6.38	60	6	Up-flow	1.11
7.38	60	11	Up-flow	1.70
8.38	60	9	Up-flow	1.46

DATE 29 AUG 1991
 TIME 05:02:32 PM
 HOLE No. =B-1
 WATER LEVEL=2.38m
 DEPTH=10m

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
3.37	60	0	Up-flow	0.40
4.37	60	2	Up-flow	0.63
5.37	60	4	Up-flow	0.87
6.37	60	7	Up-flow	1.22
7.37	60	1	Up-flow	0.51
8.37	60	0	Up-flow	0.40

DATE 02 SEP 1991
 TIME 03:42:53 PM
 HOLE No. =B-1
 WATER LEVEL=2.37m
 DEPTH=10m

Table 4-4-4 Micro Flow Measurement Data (Parral B-2)

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
10.46	60	0	Up-flow	0.40
11.46	60	0	Up-flow	0.40
12.46	60	0	Up-flow	0.40
13.46	60	15	Up-flow	2.17
14.46	60	7	Up-flow	1.22

DATE 29 AUG 1991
 TIME 05:55:37 PM
 HOLE No. =B-2
 WATER LEVEL=9.46m
 DEPTH=20m

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
10.94	60	1	Up-flow	0.51
11.94	60	2	Up-flow	0.63
12.94	60	0	Up-flow	0.40
13.94	60	1	Up-flow	0.51
14.94	60	3	Up-flow	0.75

DATE 02 SEP 1991
 TIME 04:36:48 PM
 HOLE No. =B-2
 WATER LEVEL=9.94m
 DEPTH=20m

Table 4-4-4 Micro Flow Measurement Data (Parral B-3)

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
5.58	60	34	Up-flow	4.42
6.58	60	26	Up-flow	3.47
7.58	60	20	Up-flow	2.76
8.58	60	22	Up-flow	3.00
9.58	60	14	Up-flow	2.05
10.58	60	7	Up-flow	1.22
11.58	60	17	Up-flow	2.41
12.58	60	22	Up-flow	3.00
13.58	60	7	Up-flow	1.22
14.58	60	10	Up-flow	1.58
15.58	60	9	Up-flow	1.46
16.58	60	0	Up-flow	0.40
17.58	60	0	Up-flow	0.40
18.58	60	0	Up-flow	0.40
19.58	60	0	Up-flow	0.40
20.58	60	0	Up-flow	0.40
21.58	60	0	Up-flow	0.40
22.58	60	0	Up-flow	0.40
23.58	60	0	Up-flow	0.40
24.58	60	0	Up-flow	0.40
25.58	60	0	Up-flow	0.40
26.58	60	0	Up-flow	0.40
27.58	60	0	Up-flow	0.40
28.58	60	0	Up-flow	0.40
29.58	60	0	Up-flow	0.40
30.58	60	0	Up-flow	0.40
31.58	60	0	Up-flow	0.40
32.58	60	0	Up-flow	0.40
33.58	60	0	Up-flow	0.40
34.58	60	0	Up-flow	0.40
35.58	60	0	Up-flow	0.40
36.58	60	0	Up-flow	0.40
37.58	60	0	Up-flow	0.40
38.58	60	0	Up-flow	0.40
39.58	60	0	Up-flow	0.40

DATE 29 AUG 91
 TIME 11:58:11 AM
 HOLE No. =B-3
 WATER LEVEL=4.58m
 DEPTH=40m

Table 4-4-4 Micro Flow Measurement Data (Parral B-3)

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
5.36	60	39	Up-flow	5.01
6.36	60	39	Up-flow	5.01
7.36	60	23	Up-flow	3.12
8.36	60	35	Up-flow	4.54
9.36	60	38	Up-flow	4.89
10.36	60	30	Up-flow	3.95
11.36	60	34	Up-flow	4.42
12.36	60	30	Up-flow	3.95
13.36	60	30	Up-flow	3.95
14.36	60	30	Up-flow	3.95
15.36	60	35	Up-flow	4.54
16.36	60	32	Up-flow	4.18
17.36	60	39	Up-flow	5.01
18.36	60	37	Up-flow	4.77
19.36	60	21	Up-flow	2.88
20.36	60	12	Up-flow	1.82
21.36	60	26	Up-flow	3.47
22.36	60	29	Up-flow	3.83
23.36	60	19	Up-flow	2.64
24.36	60	32	Up-flow	4.18
25.36	60	45	Up-flow	5.72
26.36	60	29	Up-flow	3.83
27.36	60	15	Up-flow	2.17
28.36	60	18	Up-flow	2.53
29.36	60	0	Up-flow	0.40
30.36	60	23	Up-flow	3.12
31.36	60	14	Up-flow	2.05
32.36	60	0	Up-flow	0.40
33.36	60	0	Up-flow	0.40
34.36	60	1	Up-flow	0.51
35.36	60	0	Up-flow	0.40
36.36	60	0	Up-flow	0.40
37.36	60	0	Up-flow	0.40
38.36	60	0	Up-flow	0.40
39.36	60	0	Up-flow	0.40

DATE 02 SEP 91
 TIME 01:46:30 PM
 HOLE No. =B-3
 WATER LEVEL=4.36m
 DEPTH=40m

Table 4-4-4 Micro Flow Measurement Data (Parral B-4)

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
6.24	60	0	Up-flow	0.40
7.24	60	0	Up-flow	0.40
8.24	60	0	Up-flow	0.40
9.24	60	16	Up-flow	2.29
10.24	60	0	Up-flow	0.40
11.24	60	0	Up-flow	0.40
12.24	60	0	Up-flow	0.40

DATE 29 AUG 1991
 TIME 04:24:53 PM
 HOLE No. =B-4
 WATER LEVEL=5.24m
 DEPTH=15m

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
6.44	60	0	Up-flow	0.40
7.44	60	1	Up-flow	0.51
8.44	60	5	Up-flow	0.99
9.44	60	0	Up-flow	0.40
10.44	60	0	Up-flow	0.40
11.44	60	0	Up-flow	0.40

DATE 02 SEP 1991
 TIME 03:13:10 PM
 HOLE No. =B-4
 WATER LEVEL=5.44m
 DEPTH=15m

Table 4-4-5 Characteristic of Aquifer (Parral)

Site	Season	Date	Elevation (m)	Thickness of Aquifer	Flow Rate (m ³ /sec)	Flow in Bore Hole(m ³ /day)	Width of Aquifer	Total Flow (m ³ /day)
B-1	Dry	9, Mar.	1,727 to 1,731	4m	0.0040	69.1	---	---
	Rainy	29, Aug.			0.0120	207.4		
		2, Sep.			0.0073	126.1		
B-2	Rainy	29, Aug.	1,732 to 1,735	3m	0.0070	220.3	---	---
		2, Sep.	0.0055		71.3			
B-3	Dry	9, Mar.	1,712 to 1,742	14m	0.0103	622.9	150m	1.869x10 ⁶
	Rainy	29, Aug.		10m	0.0191	825.1		2.475x10 ⁶
		2, Sep.		30m	0.0298	3,862.1		11.586x10 ⁶
	Rainy	29, Aug.	1,742 to 1,745	3m	0.0395	511.9		1.536x10 ⁶
		2, Sep.	0.0438		567.6	1.703x10 ⁶		
B-4	Rainy	29, Aug.	1,744 to 1,745	1m	0.0135	58.3	250m	0.175x10 ⁶
		2, Sep.	0.0070		30.2	0.091x10 ⁶		

Table 4-4-6 Chemical Analysis of Groundwater (Parral)

Site	Season	Date	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Cd (ppm)	Total Cr (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)	Cr ⁶⁺ (ppm)	CN (ppm)	pH
P-B1	Dry	11, Mar.	0.06	0.50	0.52	28	0.006	0.02	0.04	0.0003	n. d.	n. d.	7.45
	Rainy	29, Aug.	0.014	0.063	0.13	0.52	0.003	n. d.	0.0011	0.0031	n. d.	n. d.	7.34
P-B2	Rainy	29, Aug.	0.010	0.051	0.13	0.73	0.003	0.010	0.0003	0.0009	n. d.	n. d.	7.46
P-B3	Dry	11, Mar.	0.04	0.54	4.3	1.7	0.009	0.009	0.005	n. d.	n. d.	n. d.	4.35
	Rainy	29, Aug.	0.020	0.12	35	0.79	0.088	0.019	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	6.70
P-B4	Rainy	29, Aug.	0.056	0.13	0.15	3.4	0.007	0.033	0.013	0.0003	n. d.	n. d.	8.83
P-M1	Rainy	30, Aug.	0.033	0.11	0.067	0.35	0.007	0.035	0.003	0.001	n. d.	n. d.	7.28
P-M2	Rainy	31, Aug.	0.033	0.11	0.056	0.39	0.007	0.041	0.001	0.0058	n. d.	n. d.	7.69
P-M3	Rainy	31, Aug.	0.049	0.17	15	0.44	0.074	0.046	n. d.	0.0049	n. d.	n. d.	4.83

Electric Conductivity (μm/cm) is:
 P-B1(Dry)=38, P-B1(Rainy)=51, P-B2(Rainy)=38, P-B3(Dry)=135,
 P-B3(Rainy)=56, P-B4(Rainy)=41, P-M1(Rainy)=47, P-M2(Rainy)=46,
 P-M3(Rainy)=150

B:Drilling Hole, M:Interior of Mine

Table 4-4-7 Permeability Coefficient Data

Sample Number	PR-1	PR-2	PR-3	PR-4	PR-5	PR-6	PR-7
D 10(mm)	0.0056	0.0010	0.0007	0.0050	0.0040	0.0028	0.0005
D 60(mm)	0.1600	0.1000	0.2600	5.5000	0.1380	0.0460	0.1600
Uniformity Coefficient	28.6	100.0	371.4	1100.0	34.5	16.4	320.0
K (cm/sec) by Hazen's Formula	4.18E-05	1.33E-06	6.54E-07	3.34E-05	2.13E-05	1.05E-05	3.34E-07

K: Permeability Coefficient (cm/sec)

D10(mm): Particle-size (mm) on 10% Cumulative Curve = Effective Size (de)

Table 4-4-8 Permeability and Porosity Model

Legend No.	Matrix Permeability pkm(cm/sec)	Fracture Permeability pkf(cm/sec)	Fracture Zone Width hef(m)	Matrix Porosity porm(%)	Fracture Porosity porf(%)
1 (Vein)	10^{-3}	0	0	100	30
2 (Aquifer)	10^{-6}	10^{-8}	25	15	30
3 (Aquitard)	10^{-6}	10^{-8}	12	15	30
5 (Aquiclude)	10^{-6}	10^{-8}	6	15	30
7 (Aquifuge)	10^{-7}	10^{-8}	0	5	30

Model's Block Permeability(K) = $(hef/\Delta x) \times pkf + (1-hef/\Delta x) \times pkm$

Δx = block width(m)

Table 4-5-1 Chemical Analysis of Soil

(Parral)									(ppm)
No.	Cu	Pb	Zn	Fe(wt%)	Cd	Sb	Cr	As	Hg
PS-1	27	67	110	3.0	2.8	79	25	20	0.12
PS-2	19	74	85	3.0	2.8	100	26	25	0.07
PS-3	13	86	140	3.2	2.5	70	12	30	0.15
PS-4	13	89	110	3.4	3.1	100	10	72	0.19
PS-5	19	110	270	4.7	4.1	80	13	300	0.33
PS-6	18	90	140	3.0	2.4	54	12	34	0.28
PS-7	16	100	160	2.5	2.5	50	12	35	0.09
PS-8	19	50	92	2.4	1.9	73	24	14	0.08
PS-9	26	140	170	2.4	2.5	71	24	40	1.00
PS-10	35	260	770	3.6	5.2	100	29	70	0.27
PS-11	18	110	140	4.1	2.7	55	8	55	0.20
PS-12	20	110	190	1.9	2.1	44	21	48	0.24
PS-B1	20	51	99	3.5	3.5	37	18	35	0.98
PS-B2	170	8,300	14,000	5.9	110.0	55	45	6,000	3.80
PS-B3	160	1,500	220	6.8	5.8	20	9	1,000	1.00
PS-B4	130	1,300	1,400	4.4	10.0	38	16	120	0.43
PS-B5	21	40	99	3.0	2.6	22	8	17	0.66
PS-B6	16	41	100	2.1	3.4	33	17	11	0.48
PS-B7	80	800	1,500	3.1	11.0	48	22	52	1.40
PS-B8	16	77	120	3.2	3.1	37	10	22	1.10
PS-B9	200	1,200	3,000	3.4	24.0	37	6	150	1.30
PS-B10	16	130	130	2.4	2.7	28	15	13	1.80

(Background in Soil)									(ppm)
Elemnts	Cu	Pb	Zn	Fe(wt%)	Cd	Sb	Cr	As	Hg
Background	15	17	36	2.1	0.5	2	43	7.5	0.056

by Rose, A. T. et al. (1979): Geochemistry in Mineral Exploration, Academic Press, 657P.

Table 4-5-2 Chemical Analysis of Solution Extracted from the Soil Samples

(ppm)

NO.	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Sb	Cr	As	Hg	CN	pH
PS-B1	n. d.	0.83	2.1	n. d.	3.0	n. d.	n. d.	2.9	0.023	n. d.	1.31
PS-B2	n. d.	4.300	1.000	8.4	1.6	0.14	n. d.	2,700	0.099	9.6	1.58
PS-B3	41	29	93	0.29	100	3.2	0.36	69	0.016	0.14	4.61
PS-B4	3	320	140	2.0	2.6	6.26	n. d.	39	0.008	n. d.	1.32
PS-B5	n. d.	2.0	2.3	n. d.	11	n. d.	n. d.	6.2	0.069	n. d.	2.92
PS-B6	n. d.	4.3	1.3	n. d.	1.6	n. d.	n. d.	5.1	0.042	n. d.	2.45
PS-B7	61	170	78	1.3	5.0	n. d.	n. d.	25	0.012	n. d.	1.21
PS-B8	n. d.	4.9	4.5	n. d.	6.2	n. d.	n. d.	5.0	0.003	n. d.	1.44
PS-B9	17	370	730	9.4	12	n. d.	n. d.	17	0.007	n. d.	1.50
PS-B10	n. d.	17	1.6	n. d.	1.3	n. d.	n. d.	6.1	0.029	n. d.	3.80

n. d. : Not Detected

Table 4-6-1 Soil Test Quantity

Dry Season		Rainy Season	
No.	Depth (m)	No.	Rainy (m)
BD-1	0.0- 0.3	BD-3	3.0- 3.6
	5.0- 5.6		7.0- 7.6
	10.0-10.6		10.0-10.6
BD-2	0.0- 0.5		14.0-14.6
	3.0- 3.6		16.0-16.6
	6.0- 6.6	S-1	1.0- 1.5
	9.0- 9.6	S-2	1.0- 1.5
D-1	0.8- 1.0		
	1.5- 1.7		
D-2	0.8- 1.0		
	1.5- 1.7		
D-3	0.8- 1.0		
	1.5- 1.7		
D-4	0.8- 1.0		
	1.5- 1.7		
D-5	0.8- 1.0		
	1.5- 1.7		
D-6	1.0- 1.2		
Total	18 samples	Total	7 samples

Table 4-6-2 Soil Test Data

(Dry Season)

Sample No.	BD-1			BD-2				D-1	
	0.0~ 0.3	5.0~ 5.6	10.0~ 10.6	0.0~ 0.5	3.0~ 3.6	6.0~ 6.6	9.0~ 9.6	0.8~ 1.0	1.5~ 1.7
Depth (m)									
Water Content (%)	9.1	8.7	6.8	6.8	9.1	9.2	8.5	38.8	30.5
Specific Gravity	2.66	2.59	2.61	2.64	2.57	2.63	2.67	2.60	2.63
Wet Density (g/cm ³)	1.675	1.573	1.594	1.730	1.557	1.652	1.593	1.990	1.853
Liquid Limit (%)	29.7	50.0	34.2	30.5	29.7	35.2	45.3	45.0	53.0
Plastic Limit (%)	16.6	23.0	16.8	18.1	16.6	18.2	22.4	25.0	26.0
Angle of Internal Friction (°)	35.5	33.8	34.2	33.6	34.4	32.0	30.5	26.0	23.5
Cohesion (tf/m ²)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.5
Coefficient of Permeability (cm/sec)	4.74 ×10 ⁻⁴	5.95 ×10 ⁻³	6.45 ×10 ⁻⁴	2.53 ×10 ⁻³	9.68 ×10 ⁻⁴	2.15 ×10 ⁻³	1.69 ×10 ⁻³	2.23 ×10 ⁻⁵	2.02 ×10 ⁻⁴

(Dry Season)

Sample No.	D-2		D-3		D-4		D-5		D-6
	0.8~ 1.0	1.5~ 1.7	0.8~ 1.0	1.5~ 1.7	0.8~ 1.0	1.5~ 1.7	0.8~ 1.0	1.5~ 1.7	1.0~ 1.2
Depth (m)									
Water Content (%)	41.7	37.0	37.9	35.8	22.7	21.5	23.3	20.8	15.5
Specific Gravity	2.60	2.58	2.61	2.59	2.62	2.62	2.65	2.63	2.55
Wet Density (g/cm ³)	1.869	1.832	1.984	1.836	1.575	1.623	1.591	1.600	1.615
Liquid Limit (%)	29.6	35.8	30.2	27.7	25.6	33.5	28.5	28.8	42.6
Plastic Limit (%)	19.1	25.0	22.3	19.5	18.2	23.5	20.2	17.6	18.5
Angle of Internal Friction (°)	27.0	24.5	22.0	23.5	23.0	21.0	22.5	19.5	17.0
Cohesion (tf/m ²)	1.0	0.7	0.5	0.5	1.3	1.2	1.4	1.0	6.8
Coefficient of Permeability (cm/sec)	9.14 ×10 ⁻⁴	8.48 ×10 ⁻⁴	4.39 ×10 ⁻⁴	4.17 ×10 ⁻⁶	4.37 ×10 ⁻⁵	2.10 ×10 ⁻⁴	1.05 ×10 ⁻⁴	2.15 ×10 ⁻⁴	4.18 ×10 ⁻⁶

(Rainy Season)

Sample No.	BD-3					S-1	S-2
	3.0~ 3.6	7.0~ 7.6	10.0~ 10.6	14.0~ 14.6	16.0~ 16.6	1.0~ 1.2	1.0~ 1.2
Depth (m)							
Water Content (%)	5.5	5.7	7.8	11.2	9.3	26.7	29.9
Specific Gravity	2.66	2.60	2.61	2.61	2.67	2.57	2.67
Wet Density (g/cm ³)	1.930	1.895	1.903	1.910	1.912	1.701	1.677
Liquid Limit (%)	19.0	21.3	19.0	17.2	20.0	36.0	40.0
Plastic Limit (%)	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	21.6	23.4
Angle of Internal Friction (°)	31.0	27.0	29.5	32.5	32.5	23.8	24.2
Cohesion (tf/m ²)	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	2.0	1.0
Coefficient of Permeability (cm/sec)	5.76 ×10 ⁻³	7.89 ×10 ⁻³	3.75 ×10 ⁻³	3.27 ×10 ⁻³	4.63 ×10 ⁻³	0.75 ×10 ⁻³	1.11 ×10 ⁻³

Table 4-6-3 Natural Moisture Content and Wet Density

	Tailing Dam	Deposits
Natural Water Content (W)	7.9%	28.3%
Wet Density(ρ_s)	1.910g/cm ³	1.689g/cm ³

Table 4-6-4 Consistency Data of Soil

	Tailing Dam	Deposits
Liquid Limit (L.L)	19.3 %	38.0 %
Plastic Limit (P.L)	N.P	22.5 %
Natural Water Content (W)	7.5 %	28.4 %

Table 4-6-5 A Result of Tailing Dam Stability Analysis

Element		Ordinary Condition (Kh=0.00)	Earthquake Condition (Kh=0.15)
Center of Circular Arc	X(m)	25.00	25.00
	Y(m)	1785.00	1785.00
Radius R(m)		12.00	11.00
Resisting Moment MR(tf·m)		1562.197	1139.282
Sliding Moment MD(tf·m)		1817.977	1625.844
Safety Factor Fs=MR/MD		0.8593	0.7007

Table 4-7-1 Wind Speed Data

(Parral in Rainy Season)		8/4	8/5	8/6	8/7	8/8	8/9	8/10	8/11	8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19	8/20	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25	8/26	8/27	8/28	8/29	8/30	8/31	9/1	9/2	Total	Velocity	
Time	0 h	1.0	3.5	3.5	4.0	1.5	0.0	3.5	1.0	4.5	3.0	4.0	2.5	2.5	3.5	2.5	0.0	2.5	0.5	1.5	3.0	1.0	2.5	2.5	2.5	0.5	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5	2.5	71.5	2.4
1	1.0	5.0	3.5	2.5	1.0	1.0	3.0	1.0	3.0	1.0	3.0	4.5	2.5	1.0	1.5	3.0	6.0	2.5	1.0	2.5	4.0	1.0	4.5	1.5	2.5	0.5	2.5	4.0	3.0	2.5	75.0	2.5		
2	1.0	5.5	3.5	1.0	1.5	3.0	0.5	0.5	3.0	4.5	3.5	4.5	2.0	3.0	0.5	0.5	1.0	2.0	3.0	0.5	1.0	2.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	3.5	3.0	2.5	59.5	2.3	
3	1.0	4.0	2.5	0.0	1.5	0.0	3.0	2.5	2.0	2.0	5.5	4.0	0.0	0.5	2.0	4.5	2.5	2.0	2.5	5.0	2.5	3.0	2.5	1.0	2.0	1.0	1.0	2.5	2.5	0.5	1.0	56.5	2.2	
4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	2.5	0.5	3.5	5.5	3.5	1.5	1.5	4.5	3.0	0.5	2.5	3.0	0.5	2.5	3.0	5.0	2.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5	1.5	0.5	0.5	59.5	1.7	
5	1.0	1.0	2.0	0.0	1.0	0.0	1.5	1.0	3.0	2.0	3.5	0.0	2.5	4.0	2.0	3.5	4.5	2.0	3.0	3.5	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5	3.0	1.0	1.5	52.0	1.7
6	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	0.0	0.5	1.0	1.5	4.0	4.0	1.0	2.5	3.5	3.0	2.5	0.0	2.0	1.5	3.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5	3.0	0.0	2.0	53.0	1.8
7	1.0	1.0	1.0	2.0	0.5	0.0	0.0	0.5	2.0	1.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	4.5	2.5	2.5	2.0	0.5	1.0	1.0	3.0	1.0	2.5	2.5	1.0	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0	53.0	1.8
8	1.0	2.0	1.5	1.5	0.0	1.0	1.5	2.5	3.0	3.5	3.0	3.5	3.0	0.0	1.5	3.5	3.0	2.0	2.5	0.5	2.5	2.5	3.0	1.0	0.5	2.5	1.0	2.0	2.0	2.0	1.0	51.0	1.7	
9	1.0	1.0	2.5	0.5	2.5	1.0	1.0	2.5	2.0	1.0	2.5	2.0	2.0	2.0	3.5	2.5	2.5	1.0	0.5	3.5	2.5	1.5	3.0	1.0	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	57.5	1.6	
10	0.5	1.5	1.0	1.0	2.0	1.5	0.5	2.5	1.0	0.0	0.0	1.5	2.5	4.0	1.0	0.5	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	3.0	1.0	3.0	1.5	3.0	1.5	2.5	1.5	3.0	46.5	1.6	
11	1.5	2.5	1.0	2.5	2.5	1.5	1.5	0.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5	3.5	1.0	1.5	1.5	0.5	2.0	1.5	3.0	2.5	3.0	1.5	3.0	2.0	1.5	1.0	1.0	51.5	1.7	
12	1.5	2.5	1.5	1.0	3.0	2.5	3.0	1.5	2.0	1.5	3.5	2.5	2.5	1.0	3.0	2.5	1.5	0.5	2.5	0.5	1.0	1.5	3.0	2.5	3.0	1.5	2.0	2.0	3.5	0.0	2.5	50.0	2.0	
13	2.0	1.0	1.5	0.5	1.5	3.5	3.0	1.0	3.0	1.5	3.5	1.0	1.5	2.5	2.5	2.5	1.5	2.5	1.0	1.5	2.5	2.0	1.5	2.0	3.0	1.5	2.5	2.5	4.5	0.0	1.0	61.0	2.0	
14	2.0	2.5	2.0	2.0	2.5	5.0	1.5	1.0	1.0	2.0	2.5	2.5	1.5	1.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	3.5	3.5	3.0	1.5	3.5	3.5	5.0	0.0	0.0	70.5	2.4	
15	3.0	2.5	2.5	2.5	6.0	3.5	4.5	1.5	3.0	2.0	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	4.0	2.5	4.0	2.5	2.5	3.5	3.0	3.0	4.0	3.0	1.5	2.5	1.0	1.5	81.5	2.7	
16	2.0	2.5	2.5	3.5	2.5	2.5	3.0	1.0	1.5	3.0	2.5	3.5	3.0	2.5	3.0	2.5	2.0	1.5	3.5	2.0	1.5	2.5	3.5	5.0	3.0	1.5	5.0	2.0	1.0	0.0	2.5	74.5	2.5	
17	3.5	4.5	2.5	3.5	1.0	2.5	1.0	3.5	2.5	2.5	2.0	3.5	2.0	2.5	2.0	3.5	3.0	6.0	1.0	1.5	2.5	3.5	3.5	5.0	3.0	1.5	5.5	2.5	2.5	1.5	2.5	84.0	2.8	
18	8.5	3.5	4.5	5.0	1.0	3.0	1.5	1.5	3.5	2.5	2.5	3.0	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5	3.0	1.5	2.0	2.5	2.0	3.5	5.0	3.0	1.0	1.5	5.5	2.5	2.0	3.0	88.5	3.0	
19	6.0	6.5	1.0	3.5	1.0	1.5	1.0	1.5	0.5	2.5	6.5	2.5	3.0	2.5	1.0	0.5	2.5	2.5	3.5	2.0	1.0	2.5	2.5	3.0	3.0	1.0	4.0	5.0	2.5	2.5	3.0	83.0	2.8	
20	7.5	3.5	2.5	5.0	0.0	2.5	1.0	1.0	0.5	6.0	1.0	1.0	2.5	0.5	1.0	2.5	2.5	5.0	2.0	1.0	2.5	2.5	2.5	2.0	3.0	2.0	4.5	6.0	1.5	0.5	3.0	76.0	2.5	
21	6.0	0.0	1.5	5.5	1.0	0.0	1.0	2.5	5.0	3.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.5	1.5	2.0	0.0	1.5	0.5	2.5	2.5	2.0	2.0	3.0	1.0	4.0	5.5	1.0	0.5	3.0	63.0	2.1	
22	1.0	4.5	2.5	1.0	1.0	1.5	0.5	3.0	5.0	1.5	0.0	1.0	3.5	2.0	2.0	1.0	0.0	5.0	2.5	2.5	1.0	1.0	2.0	2.5	1.0	4.0	3.0	2.0	1.5	3.5	62.5	2.1		
23	0.0	2.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	2.5	4.0	1.5	1.0	3.0	3.0	1.0	2.0	0.0	3.0	0.5	3.0	2.5	2.5	2.0	2.5	1.0	2.5	5.0	1.5	0.5	3.0	60.5	2.0	
Total	55.0	85.0	51.0	52.0	37.0	38.0	40.5	54.5	65.0	65.0	56.0	43.0	54.0	43.0	56.0	42.0	56.5	40.0	56.0	43.0	56.0	49.0	70.0	58.5	57.5	38.0	54.5	58.5	50.0	29.0	49.5	157.2	52.4	
Count	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	720	24
Mean	2.3	2.7	2.1	2.2	1.5	1.6	1.6	1.7	2.3	2.7	2.7	2.3	1.8	2.3	2.5	2.4	1.8	2.4	1.7	2.3	2.0	2.9	2.4	2.4	1.6	2.7	2.9	2.5	1.2	2.1	65	2.2		
Max	8.5	6.5	4.5	5.5	6.0	5.0	4.5	5.0	5.0	6.5	5.5	4.0	4.5	3.5	4.5	6.0	3.5	6.0	3.5	5.0	3.0	5.0	5.0	3.0	4.0	5.5	6.0	5.0	3.5	3.5	147	4.9		
Min	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.0	1.0	0.0	0.0	11	0.5	

Table 4-7-2 Wind Direction Data

(Parral in Rainy Season)		8/4	8/5	8/6	8/7	8/8	8/9	8/10	8/11	8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19	8/20	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25	8/26	8/27	8/28	8/29	8/30	8/31	9/1	9/2	Total	
Direction	N	1	1	2	1	4	0	1	0	2	0	0	2	3	8	5	4	1	0	0	1	0	0	2	2	0	1	4	3	2	1	51	
	NW	0	2	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	13	
	W	13	7	7	7	1	3	7	13	5	14	10	13	9	10	12	8	6	6	6	0	4	11	6	0	17	4	11	8	8	4	230	
	SW	1	1	6	3	0	5	0	2	4	3	1	1	1	3	0	0	5	5	4	16	7	1	2	4	0	8	4	7	4	10	109	
	S	1	3	1	5	12	3	2	5	2	3	4	1	1	0	0	0	2	2	3	0	1	2	2	0	1	0	0	0	2	2	60	
	SE	2	3	1	0	1	0	0	2	1	4	2	0	3	0	0	0	1	3	1	0	0	4	0	8	1	4	0	0	0	1	42	
	E	3	5	4	5	5	11	1	3	0	4	2	3	1	5	7	5	5	7	6	12	6	7	9	5	4	4	2	3	5	151		
	NE	2	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3	1	2	2	3	0	0	2	1	0	0	2	1	0	2	1	4	5	0	35
Count	23	23	24	22	23	18	21	23	24	24	21	22	21	24	24	23	21	23	21	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	591
Main Dir.	W	W	SW	W	S	SW	E	W	E	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	SW	E	W	E	W	SW	W	SW	W	SW	W	SW

Table 4-7-3 Dust Jar Measurement Data

Site	Start time	End time	Runnig time	Sample weight(g)	pH
D-1	8/2 11:00	9/ 3 09:30	766.5hr.	0.0178	7.12
D-2	8/2 13:30	8/31 15:00	697.5hr.	0.0285	6.48
D-3	8/3 09:30	8/31 15:20	677.8hr.	0.0252	6.36
D-4	8/3 10:15	8/31 15:40	677.4hr.	0.0252	6.90
D-5	8/3 12:00	9/ 2 08:40	716.6hr.	0.0497	6.57
D-6	8/3 12:40	9/ 3 10/30	720.8hr.	0.0232	6.80

Table 4-7-4 Condition of Low Volume Air Sampler

Site	Start time	End time	Running time	Absorption Ratio	Volume(l)
L1	8/ 2 11:00	8/ 5 11:00	72hr.	15 (l/min)	64,800
L2	8/ 8 15:00	8/10 15:00	48hr.	15 (l/min)	43,200
L3	8/12 10:00	8/14 10:00	48hr.	15 (l/min)	43,200

Table 4-7-5 Low Volume Air Sampler Measurement Data

Site	Weight of Collected Particles (mg)	Concentration of Collected Particles(mg/m ³)
L1	3.0	0.046
L2	4.4	0.102
L3	5.7	0.132

Table 4-7-6 Digital Type Dust Monitor Data

(Parral in Rainy Season)													(cpm)
Site	8/5	8/6	8/7	8/8	8/9	8/10	8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	Mean
1	25	24	24	25	25	23	25	24	25	23	24	24	24
2	24	24	24	24	27	25	24	25	24	24	25	28	25
3	24	27	25	25	25	24	24	23	24	26	24	26	25
4	25	25	23	24	25	24	23	22	23	24	23	24	24
5	24	24	23	25	24	23	24	22	23	24	23	23	24
6	25	25	24	24	25	24	24	23	23	26	23	24	24
7	25	25	27	24	24	24	24	24	24	25	24	24	25
8	24	24	24	25	24	24	23	23	24	25	23	24	24
9	24	24	24	24	24	24	24	24	24	25	25	24	24
10	24	24	24	24	23	24	23	23	24	25	23	23	24

Table 4-9-1 A Result of Tailing Dam Stability Analysis

Element		Ordinary Condition (Kh=0.00)	Earthquake Condition (Kh=0.15)
Center of Circular Arc	X(m)	60.000	40.00
	Y(m)	1857.857	1800.714
Radius R(m)		72.447	28.00
Resisting Moment MR(tf · m)		23.787	3474.457
Sliding Moment MD(tf · m)		12.459	2686.650
Safety Factor Fs=MR/MD		1.9092	1.2932

Table 4-9-2 Day Probability Precipitation

Order i	Date	Precipitation (mm)	$\frac{2i-1}{2N} \times 100$
1	1990.7.18	02	4.17
2	1987.8.9	89	12.50
3	1981.8.16	78	20.83
4	1980.9.23	69	29.17
5	1988.9.7	67	37.50
6	1986.8.16	62	45.83
7	1983.7.4	58	54.17
8	1978.8.14	57	62.50
9	1979.8.19	49	70.83
10	1977.7.6	47	79.17
11	1982.9.8	43	87.50
12	1989.8.26	39	95.83

5. 新エルココ地域調査結果と対策

5. 新エルココ地域調査結果と対策

5-1 一般概況

現エルココ (El Coco) 選鉱場は、メキシコ中部太平洋岸のシナロア州マサトラン市の東北東約80kmに位置している。新エルココ (New El Coco) 選鉱場ならびに堆積場予定地は現選鉱場よりマサトラン市寄り約20km、標高約200mの地区である。この地域はサバンナ気候帯に属し、年平均気温は24℃である。6月～10月の5ヶ月間が雨期、11月～5月が乾期にあたる。年間降雨量は平均約800mmに達する(第5-1-1図)。周辺には広葉樹が茂り、植生は比較的豊かである。

現エルココ選鉱場は、処理能力150t/dayで1979年に建設されたが、谷の中腹の狭隘な場所に位置するため、粗鉱、精鉱の輸送が困難な上に堆積場能力が不足し、さらに建屋の老朽もはげしいことから、CFMは選鉱場と堆積場とを新たに建設する計画をたて、西方約20kmのマヒストラル (Magistral) 川流域の比較的平坦な地域を選定した。新選鉱場の処理能力は現状の30%増の200t/dayとなる予定である。

建設予定地は、周囲を急峻な山々で囲まれた、面積約0.15km²の平地であり、堆積場はその南方に位置する標高347mの山の斜面を予定している。予定地の下流約3kmに上水源があり、排水および浸透水の影響が懸念されるため、堆積場と選鉱場位置の選定には、地下水ならびに表流水の流れを十分に考慮して決定する必要がある。

5-2 地質

5-2-1 地質概説

調査地域はシナロア州の南端に近い、リゾート地マサトラン (Mazatlan) 市から東方へ約60kmの山地に位置している。シナロア州は、西側でカリフォルニア湾及び太平洋に接しており、その海底には東太平洋海嶺及び、世界的に有名な北米大陸最大の活断層である、サンアンドレアス断層と平行で同質な、NW-SE方向を示すトランスフォーム断層が、複数存在している。従って、これらの活動が調査地域へ影響を及ぼしていることは明らかであり、東西方向からの圧縮応力が働いているものと考えられる。

この活動の開始時期については、Rowell(1968)、Dickinson & Grantz(1968)などのサンアンドレアス断層の研究によれば、新生代(漸新世)に入ってから始まっており、当調査地域における断層のほとんどのものは、同時期に生じた可能性が高い。

調査地域の基盤は先第三紀の変堆積岩類であり、第三紀の火山碎屑岩類に覆われて、地窓状に分布している。変堆積岩類は粘板岩を主としているが、低変成作用を受けて千枚岩化している部分も多い。第三紀になると火山活動が活発化してひん岩や石英安山岩類が貫入し、地表には安山岩溶岩やトバ(Toba)火山碎屑岩類が噴出、堆積する。その後も熱水作用が続き、調査地域においてはNW-SE方向に変質帯を形成し、基盤の粘板岩中には貫入岩体との接触部に少量の銀、銅を伴って硫黄が晶出している。第四紀更新世には河川による下刻作用が活発化し、おおよそ3面の河岸段丘面を形成している。

現在ではマヒストラル川に沿って沖積段丘面を形成し、河道には粗粒堆積物が存在している。

5-2-2 地質及び地質構造

調査地域については写真判読、現地調査、ボーリング調査を実施して地質の把握に努めた。調査地域の基盤は、先第三系（ジュラ系あるいは白亜系）の変堆積岩類からなり、層内褶曲が著しいので走向・傾斜は一定しないが、大局的には走向はNNE-SSWあるいはNE-SW、傾斜はESE～SE方向を示している（第5-2-1図、第5-2-2図、第5-2-3図）。

この地域の基盤岩は、選鉱場予定地付近を北限としたマヒストラル川下流、及び国道40号から選鉱場予定地へ通じる道路沿いに露出し、ドーナツ状の分布をしている。

第三系の貫入岩であるひん岩や石英安山岩は、基盤岩を岩床状、岩脈状に貫き、マヒストラル川最下流及び国道40号沿いに露出している。貫入岩体の走向はほぼNW-SE方向である。

第三系のトバ火山碎屑岩類は一部に安山岩溶岩を挟在し、不整合で基盤岩を覆っている。また、変質酸性岩類は調査地域の西部に、概ねNW-SE方向で帯状分布し、貫入岩体との位置関係から考えれば、この変質帯の付近に貫入岩体が伏在していることは推定できる。

断裂系調査位置を第5-2-6図に、また断裂の方向をウルフネットに表したものを第5-2-7図に示す。測定した断裂はNW系やN-S系が卓越すが、漸新世頃から始まる東西方向からの圧縮応力によって、NW系とともにENE系の共役断層も多く発達している。このため、これらの断層によってブロック化した地塊ごとに、第三系の走向・傾斜が著しく異なる結果となっている（第5-2-1図、第5-2-2図）。

大局的にみると、選鉱場予定地北方のマヒストラル川が屈曲した部分で交差するNW系及びENE系の断層を境とした3つの大きなブロックに分けられ、その中心付

近である選鉱場予定地は陥ち込んだ地形をしている。西側及び南側ブロックの第三系は、走向がWNW-ESEあるいはNW-SE方向であり、傾斜はNNE-NE方向を示すが、東側のブロックでは、走向は前二者とほぼ同様であるが、傾斜は逆方向である。

第四紀の更新世に入ると、調査地域を含めた周辺地域一帯の相対的隆起あるいは海水準の低下により、河川による下刻作用が活発化して、高位、中位、低位の3つの河岸段丘面を形成し、各々の堆積物を生じ、現在に至る。

(1) 先第三系

調査地域の先第三系は、ジュラ～白亜系の間の堆積物と考えられている、粘板岩を主体とした変堆積岩類であり、部分的に砂岩を伴っている。

① 頁岩

粘板岩はボーリング調査（第5-2-4図、第5-2-5図）ではB-2孔、B-3孔及びB-5孔で確認され、地質踏査では、B-2孔付近より下流のマヒストラル川沿い、及び国道40号から新エルココ選鉱場予定地へ向かう道路沿いに分布していることが明らかになった。

地層の走向・傾斜は、層内の褶曲が著しく、また断層によるブロック運動によって一定しない。B-2孔ではGL. -21.90～-82.90m、B-3孔ではGL. -8.40m～-10.10m、B-5孔ではGL. -12.20m以深に存在し、新鮮な部分は黒色を呈している。

この粘板岩は葉理が著しく発達しており、露頭では葉理に沿って剥離し易い場合が多いが、ボーリングコアでは更に割れ目が発達して径5cm以下の細片状を呈し、割れ目に沿って方解石脈や黄鉄鉱微晶が認められる。B-2孔では、GL. -25.60m以深の粘板岩が灰色を呈し、石英脈や方解石脈が発達すると共に、黄鉄鉱の微晶も多く認められる。特に、後述する貫入岩との接触部ではその傾向が著しく、方鉛鉱を伴っている部分もある。

② 砂岩

砂岩は、ボーリング調査ではB-2、B-3で確認された。地表に露出している場所は少なく、マヒストラル川最下流の西方支沢、及び新エル・ココ選鉱場予定地へ向かう道路沿いに、僅かに見られるだけである。B-2孔ではGL. -25.30～-25.60m及びGL. -29.80～-31.20mに挟在し、B-3孔ではGL. -10.10m以深に、層厚を成している。

砂岩層は灰色を呈する中粒及び細粒の砂岩より成り、B-2孔では地表水の影響を受けルーズとなっているが、B-3孔では下部ほど変質し、割れ目だけでなく、組織中にも黄鉄鉱微晶を生じている。

(2) 第三系

調査地域の大半を占める第三系は貫入岩類、噴出岩類、トバ火山碎屑岩類、変質酸性岩類から構成されている。

① 貫入岩類

貫入岩類は、ボーリング調査ではB-2孔で、地表調査では小岩脈を除けばマヒストラル川最下流で確認される。これらはひん岩及び石英安山岩からなり、鉍化作用を伴って基盤の変堆積岩類を貫いている。

i) ひん岩

B-2孔では頁岩を貫き、GL. -35.20~-42.35m, -56.30~-74.00mに存在している。これは暗緑灰色を呈し、径1cmに達することもある長石斑晶を特徴的に含んでいるが、輝緑岩的部分も求められる。面構造が認められ傾斜は45°~55°を示し、頁岩層の傾斜とほぼ同角度である。調査地域南端のマヒストラル川河岸及び国道40号沿いには、同様のひん岩が露出しており、一部は花崗閃緑岩、輝緑岩様を呈している。マヒストラル川西側河床に露出しているひん岩は頁岩層と平行に貫入しており、岩床状を呈している。

ii) 石英安山岩

B-2孔のGL. -82.90m以深及びB-12孔のGL. -12.40m以深に存在する、灰白色石英安山岩である。径1~3mmの石英自形結晶を特徴とし、全体に変質してカオリン化している。

② 噴出岩類

主に玄武岩質輝石安山岩によって構成され、自破碎部、角礫部を伴って新エルココ選鉱場予定地の北方~東方に帯状分布している。ボーリング調査ではB-1孔のみに確認された。B-1孔ではGL. -8.25~-10.65mに紫灰色のひん岩質安山岩であり、引張性割れ目が発達して方解石脈を多く伴っている。

③ トバ火山碎屑岩類

調査地域では最も広く分布し、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩、凝灰岩、溶結凝灰岩より成る。

i) 凝灰角礫岩

ボーリング調査ではB-1, B-2, B-4, B-6, B-, B-8, B-9, B-10孔において確認

された。

凝灰角礫岩はB-1, B-7, B-9, B-10孔で紫灰～赤褐色を呈し、残りのボーリング孔では緑灰～灰白色を呈することが多い。礫は主に径3cm以下の安山岩、凝灰岩亜円～亜角礫より成るが、径27cmに達するものも含まれることがある。

基質は安山岩質であるが、変質作用を受け方解石脈や黄鉄鉱微晶を生じていることが多い。

地表踏査では、B-2孔付近より上流のマヒストラル川沿い、及び新エル・ココ選鉱場予定地東方の道路沿いに露出しており、特にB-2孔付近のマヒストラル川北岸では、基盤岩上を凝灰角礫岩が不整合に覆っているのが判る。

ii)火山礫凝灰岩

ボーリング調査ではB-1孔のGL.-27.50～-33.20mに存在し、地表踏査では選鉱場予定地東方の道路沿いに凝灰岩と互層を成して存在している。この火山礫凝灰岩は淡紫灰色を呈し、径0.2～1.5cmの安山岩角～亜角礫を多量に含んでいる。

iii)凝灰岩

ボーリング調査では、B-1孔のGL.-10.65～-13.60m、B-2孔のGL.-5.10～-12.40mに存在しているが、共に粗粒な凝灰岩である。B-1孔では級化層理が認められ、下位に行くに従い含まれている細礫が増加する傾向にある。B-2孔の場合は変質作用によって石英粒や黄鉄鉱粒を生じている。

地表踏査では選鉱場予定地付近に分布していることが、わかっており、主に細粒凝灰岩と粗粒凝灰岩の互層から成っている。

iv)溶結凝灰岩

これは選鉱場予定地東方に露出しているが、ボーリング調査では確認されていない。赤褐色を呈し、堅硬なため侵食によって尾根状の地形を呈している。

④変質酸性岩類

変質酸性岩類は調査地域の西側に分布しており、ボーリング調査では認められない。マヒストラル川西方の支川を踏査した結果、カオリン化作用、珪化作用によって粒状化しているため、源岩の組織がわからなくなっている。全体に白色を呈し、石英安山岩質である。

(3) 第四系

調査地域には段丘面が発達しており、更新統の高位、中位、低位段丘堆積物と現世の沖積段丘堆積物が存在している。また、中央部付近には明瞭な崖錐地形があり、選鉱場予定地にも崖錐堆積物が認められる。更に、河床には現河川堆積物がある。

① 高位段丘堆積物

調査地域南端のパヌコ (Panuco) 川沿いに、おおよそ EL. 225~235m の平坦面を形成して分布している。堆積物は、安山岩、凝灰角礫岩の角~亜角礫を伴う赤褐色砂質シルト層から成っている。

② 中位段丘堆積物

マヒストラル川沿いに広範囲に分布し、上流ではおおよそ EL. 240m、下流ではおおよそ EL. 200m の平坦面を形成している。選鉱場予定地もこの段丘面上にあり、B-4、B-6、B-7、B-8 の各孔でこの堆積物が確認される。堆積物は、概ね下位より礫層、礫混じり砂層、砂質粘土層で構成され、層厚は 8~10m 程である。

③ 低位段丘堆積物

マヒストラル川の最下流部のみに分布し、おおよそ EL. 190~195m の面を形成して堆積している。堆積物は下位より礫層、礫混じり砂質シルト層によって構成されている。層厚はおおよそ 3~4m である。

④ 現世段丘堆積物

この堆積物はマヒストラル川沿いに発達した沖積段丘面を形成しており、B-1、B-2、B-3 孔でも確認された。

B-1 孔では礫層、B-2 孔では下位より砂層、礫混じり砂層、礫層、B-3 孔では下位より礫層、礫混じり砂層、砂混じりシルト層が堆積し、層厚はおおよそ 4~6m である。全体に淘汰は悪い。

⑤ 現河川堆積物

この堆積物は河床の堆積物であり、径 1m 以上の礫も多く点在している。

5-3 電気探査

5-3-1 探査方法

エル・ポテ地域と同じシュランベルジャー法を用い、乾期に実施した。測定装置はSchinterx Model IPC-7(2.5KW)型で、A M N B電極系の最大A B間隔は400mである。測定は9測線に、合計26測点を配置して実施した。この測点配置図を第5-3-1図に示す。測定されたデータは、解析ソフトウェア—RESIX PLUS DCを用い、解析比抵抗値に変換した。

5-3-2 探査結果

解析比抵抗値は次の4グループに区分し、第5-3-2図に示した。

S : 数10～数1,000 $\Omega \cdot m$

L : 100 $\Omega \cdot m$ 以下

M : 100～200 $\Omega \cdot m$

H : 200 $\Omega \cdot m$ 以上

L帯は低比抵抗帯、M帯は中比抵抗帯、H帯は高比抵抗帯、S帯は低・高比抵抗複合帯を表している。

S帯は表層部分を形成している。厚さは3m～16mで、平均7mである。S帯の地質は現世(第四紀完新世)の河川堆積物(River Deposits)、第四紀鮮新世の段丘堆積物(Terrace Deposits)や、第三系と先第三系の風化土層からなる。

L帯はマヒストラル川沿いの、1-2-3測線及び4-5-8測線で、S帯の下部に広く形成されている。この測線にほぼ平行に大きな断裂系が確認されており、この影響で低比抵抗帯(L帯)が形成されたと判断される。このL帯の地質は第三系の石英安山岩や火砕岩からなる。

堆積場新設予定地のL帯は、9-11、12-14、15-17測線から判断すると、規則的には形成されていない。15-17測線の17測点(station)では、地表下200mの深部までL帯が形成されているが、それ以外の測点では、L帯の幅が狭く、深部まで達していない。このL帯の地質は第三系の石英安山岩や火砕岩からなる。

マヒストラル川下流のL帯は、18-23測線の19測点で、地表下150m以深まで形成されているが、21-23測線ではL帯は地表下150m以浅しか認められず、さらに下流の24-26測線ではL帯は認められない。このL帯の地質は第三系の石英安山岩からなる。

M帯は各測線のL帯周辺に形成されているが、その規模は小さい。比較的まとまってM帯が形成されているのは、堆積場新設予定地付近の、9、13、14、

16測点のS帯の下部である。測点16を除き、M帯は地表下120m以深まで形成されている。M帯の地質は第三系の火砕岩、安山岩溶岩からなる。

H帯はマヒストラル川下流の18-20、21-23、24-26測線や堆積場新設予定地の9-11測線に、比較的まとまって形成されているが、そのほかの測線では規模は小さい。H帯の地質は第三系の貫入岩であるひん岩や、先第三系の頁岩からなる。

ボーリングによる地下水調査では、L帯及びM帯で地下水の流動が観測されている。このことから、L帯が帯水層(Aquifer)であり、M帯が半帯水層(Aquitard)、H帯が難透水層(Aquiclude)または不透水層(Aquifuge)と判断される。

5-4 水理

調査地域の水系は、第5-1-1図に示すとおりであり、マヒストラル川が屈曲しながら南流し、パヌコ川へ合流している。特に選鉱場予定地の北側では、東岸からの大きな支川が、調査地域中央部付近では西岸からの大きな支川がマヒストラル川に合流している。本調査では、表流水及び地下水の挙動を把握し、今後の選鉱場建設計画の基礎資料を得ることを目的としており、乾期・雨期の2回にわたり、第5-4-1図に示す各地点で流量、水質などの調査を実施した。

5-4-1 表流水

調査地域の河川は、山間地を流れているにもかかわらずマヒストラル川本川以外では表流水が少なく、特に乾期には本川以外はほとんど涸沢となってしまう。尚、選鉱場予定地及び調査地中央付近に広い平坦面を形成している、中位段丘堆積物の基底部には、湧水が認められる。本調査では乾期・雨期に次の地点(第5-4-1図)で流量・水質調査を実施した。

(乾期) 流量調査地点, No. 1~No. 5

水質調査地点, C-R1 ~C-R3

(雨期) 流量調査地点, No. 1~No. 6

水質調査地点, C-R1 ~C-R6

(1) 表流水の調査

本調査ではNo. 1~No. 6地点において河川横断面測量を行い、プライス電気式回転流測計によって計測した流速と、その流水断面積(流積)から流量を算定した。その結果は第5-4-1表のとおりである。

これらを乾期・雨期別に模式化すると第5-4-2図のようになる。なお、雨期には

平常時と増水時に各々測定を行ったのでこれらの相違も合わせて図化した。

第5-4-2図から、乾期・雨期共にNo. 1～No. 2地点間における流量変化の大きいことが明らかである。これらの変化は各々次のような原因が考えられる。

① 乾期における流量の変化

乾期にはマヒストラル川本川にしか表流水が存在せず、しかもNo. 2地点より下流では表流水が滞溜し、流下する状況にはない。No. 1～No. 2地点間で流量が急に減少し $0\text{m}^3/\text{day}$ となっている原因は、No. 1地点付近に断層が存在し、この付近の岩盤に割れ目が多く発達している為に、表流水の地下への浸透量が多いことにあると考えられる。

② 雨期における流量の変化

雨期にはマヒストラル川本川は流量が多くなり、支川においても表流水が認められるようになる。No. 1～No. 2地点間では平常時には流量が増加し、増水時には減少するという、一見矛盾した結果となっている。No. 1地点付近は河床に砂礫が厚く堆積しているため、不安定土砂が多く、乾期に比べると雨期には土砂移動が活発で、流路も変化している。これはNo. 1地点付近では伏流水が多いことを示しており、平常時の流量 $4,136.6\text{m}^3/\text{day}$ が見掛け上の値であり、本来はNo. 2地点の流量 $7,152.1\text{m}^3/\text{day}$ より大きいことが推定される。もちろん、乾期同様地下への浸透量も多いと考えられる。

また、平常時と増水時との流量を比較すると流量のオーダーが一桁異なることが判った。

③ 乾期及び雨期における流量変動とその性質

調査地域における流量の季節的变化は明瞭であり、乾期にはNo. 1地点付近以外では流量が $0\text{m}^3/\text{day}$ であったが、雨期には全体に流量が増加している。例えばNo. 1地点の流量について比較すれば、乾期では約 $4.2 \times 10^2\text{m}^3/\text{day}$ であるが、雨期の平常時には約 $4.1 \times 10^3\text{m}^3/\text{day}$ 、増水時には $8.6 \times 10^4\text{m}^3/\text{day}$ となっており、乾期と雨期だけでなく、雨期の平常時と増水時においても明瞭な差異が認められる。

(2) 表流水の水質

本調査では、マヒストラル川本川沿いのC-R1～C-R3地点、及び支川のC-R4～C-R6地点の計6箇所(第5-4-1図)で表流水を採取し、pHを測定すると共に9項目の重金属成分の化学分析を実施した。第5-4-3表にその結果を示す。

調査地域内の河川水には、Cd, Hg, Cr⁶⁺ が検出されないが、Cu, Zn, Fe, totalCr, As等が全域に分布している。特にFeは季節に関係なく常に含まれている。これらの重金属は、調査地域が広域的に鉱化作用を受けていることから考えても不思議ではない。

マヒストラル川本川沿いのC-R1～C-R3地点においては、乾期には基準上限値（第5-4-2表）を越えるものは全くなく、雨期においてもC-R3地点でFeが基準上限値を越えるだけである。従って、マヒストラル川本川上流から供給される表流水の汚染は比較的少ないことが判った（第5-4-3図）。

C-R4地点では、Feだけが基準上限値を越えている。この地点付近には安山岩が分布しており、安山岩の風化によってFe分が他の地点よりも多く混入しているのではないかと考えられる。

C-R5地点では、Asだけが基準上限値を越えている。この原因は定かではないが、地下水の項で後述するC-B1, C-B7地点の場合と同様に断層の位置とほぼ一致しており、断層に沿ってAsが濃集していると考えられる。

C-R6地点では、Pb, Feが基準上限値を越えている。この地点は選鉱場予定地のある中位段丘堆積物中から地下水が湧出している場所であり、ここの表流水は地下水とほぼ同じ性質のものである。

また、pHは上流から下流に向かって中性から弱アルカリ性へと変化している。これは、第三系の火山碎屑岩及び安山岩類が上流に、基盤の粘板岩が下流に分布していることに関係していると考えられる。電伝導度はほぼ同じ値を示すが、下流側でやや高くなる傾向にある。

5-4-2 地下水

新エル・ココ堆積場建設に先立ち、地下水がどのような分布状況にあり、バックグラウンドの水質がどのようなものを把握するために、電気探査、観測孔による流速、流量、流向及び地下水位の調査、水質調査等を実施した。

(1) 地下水の流量

本調査ではマヒストラル川沿いにB-1～B-3孔の3本、選鉱場予定地にB-4～B-12の9本、選鉱場予定地の南側にB-13孔の1本、計13本の観測孔を掘削し、微流速計によって帯水層の位置と地下水の流速を求めた。その結果は第5-2-5図のボーリング柱状図、第5-4-4表の流速測定結果一覧表、及び第5-4-4図の微流速測定結果図に示す。

B-2孔では、被圧地下水層が存在しているために自噴し、B-7, B-9, B-10,

B-13孔では地下水はあるが流動していなかった。また、B-3、B-6、B-8孔においては流動が断続的に生じているようである。

微流速計によって観測孔中に確認された帯水層は次のとおりである。

①帯水層の分布状況

i)B-1孔

トバ火山碎屑岩類中の帯水層：EL.約210～221m間
：EL.約200～208m間
：EL.約187～192m間

ii)B-2孔

現世段丘堆積物基底の帯水層：EL.約216～220m間

貫入岩体及びそれに挟まれた先第三系（基盤）中の帯水層

：EL.約165～184m間

：〔EL.約141～144m間〕，

観測孔掘削時に確認（被圧地下水）

iii)B-3孔

現世段丘堆積物基底部の帯水層：EL.約201～202m間

iv)B-4孔

中位段丘堆積物基底部及び岩盤の風化帯中の帯水層

：EL.約236～240m間

v)B-5孔

中位段丘堆積物基底部の帯水層：EL.約238～244m間

vi)B-6孔

中位段丘堆積物基底部の帯水層：EL.約244～246m間

vii)B-8孔

中位段丘堆積物基底部の帯水層：EL.約239～244m間

従って、調査地域の帯水層は先第三系（基盤）、トバ火山砕屑岩類、中位段丘堆積物、現世段丘堆積物中にそれぞれ存在している。岩盤中の地下水の挙動は容易には把握できないが、EL.約110~210mの間を10m毎にスライスした地下水解析図（等比抵抗値）を作成すると第5-4-5図のようになった。これから判断すると、岩盤中の地下水の流れは基本的には現在のマヒストラル川にほぼ沿っていると推定される。また堆積場予定地付近には深部まで100 $\Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯となっており、断層による影響が強いのではないかと考えられる。

②地下水の挙動

堆積場予定地の中位段丘堆積物中の地下水の挙動を把握するためにB-4、B-9、B-10孔に色粉を投入し、地下水追跡調査を実施したが、地下水の流れがほとんどない為にB-10孔方向に微弱ながら流れていることが判っただけである。堆積場予定地の中位段丘堆積物中の地下水は、第5-4-6図に示すとおり岩盤上限面が比較的平坦で、しかもB-4、B-5孔を除いてはほとんどど滞留した状態を示しており、小規則な盆状地形を形成しているものと考えられる。B-6、B-8孔で一時的な流れを生じている原因については、降雨によって浸透水が増加し、地下水位が上昇するにつれて上流部と下流部の水頭差が大きくなり地下水の流動が起こるという過程が推定される。また、一度流動が始まると平常時の安定水位に戻っても流動が止まらず、ある程度まで水位が下がってしまうと考えれば、地下水位の変動と地下水の流動の見掛上の矛盾、即ちB-8孔の場合、水位が最も高い時に流れを生じ、B-6孔の場合、水位が最も低い時に流れが存在していると言う事実を説明できる。

これはマヒストラル川下流のB-3孔についても言える。B-4孔については背後に急勾配な谷があり、降雨に速やかに反応して地下水の流動を生じていると思われ、流量（流速）の変化幅が大きい。乾期には降雨がほとんどない為、この付近での地下水の変動はないと推定される。B-5孔付近は季節の変化に関係なく地下水が流れており、堆積場予定地の中位段丘堆積物中に溜まった地下水の流出口に相当すると考えられる。

なお、第5-4-4図に示すとおり、B-2孔において、乾期には前述の2つの帯水層以外にも流速を測定できた層準があったが、雨期には全く確認できなかった。これについてはボーリング工事によって生じた一時的現象と考えられる、即ち、深部の被圧地下水層を貫いて自噴した為、間隙水圧が高まり割れ目の多い箇所で逸水による流出を生じた。そして更に、これらの箇所では間隙水によって割れ目が飽和状態となり、雨期の調査前には流動が止まってしまったものと推定される。

③ 水量に係る評価

以上のことから流量測定結果をまとめると第5-4-5表のようになる。

B-2孔は選鉱用水の確保を兼ねた観測孔として掘削したものであり、第5-4-5表の結果から十分に水量を賄うことが可能である。

また、調査地域における地下水位の変動と降雨との関係を把握する為に、B-1及びB-3孔に自記水位計を設置し、長期間に亘って測定を行った。その結果は第5-4-7図に示す降雨状況と比べると、7月上～中旬に降雨が集中し、水位もピークに達している。従って降雨に対応して地下水位も変動していることは明らかであり、流量もその影響を受けている。

(2) 地下水の水質

本調査ではマヒストラル川本川沿いのC-B1～C-B3地点、及び選鉱場予定地付近にあるC-B4～C-B13地点の計13箇所(第5-4-1図)のボーリング孔で、地下水を採取し、pHを測定すると共に9項目の重金属成分の化学分析を行った。第5-4-6表にその結果を示す。

第5-4-6表で明らかなように、調査地域内の地下水には Cr^{6+} が検出されず、Hgも局部的に微量存在しているだけである。Zn、Feは地下水に普遍的に含まれており、特にFeはすべてのサンプルで基準上限値を越えている。Cu、Pb、TotalCr、Asは全地点で存在が確認されたが、地下水の季節的変動に左右されて検出されなくなる場合もある。

① C-B1地点

既存資料及び空中写真判読によってNNW-SSE方向の断層が測定されていたが、ボーリング調査によって断層の存在が確認された。C-B1地点のサンプルではFe、Asが基準上限値を越えているが、これと同一組合せの例は断層のSE延長方向に近いC-B7地点だけである。また、Asだけに着目するとC-B1、C-B7以外にはC-R5地点しか基準上限値を越える例がない。このC-R5地点も空中写真によってNNW-SSE方向の断層の存在が推定されている。従って、断層(特にNNW-SSE方向性の断層)に沿ってAsが濃集している可能性がある。尚、乾期にはPbも基準上限値を越えている。

② C-B2地点

空中写真判読、地質踏査、ボーリング調査によってENE-WSW方向の断層が確認されているが、ここのサンプルはFeが基準上限値を越えているだけで特に特徴はない。C-B2地点(B-2孔)の地下水は、選鉱用水の対象として考えられているが、

Feの含有量が多いことを除けば他の成分は許容範囲にあり、パラルの選鉱用水に比べれば全く問題ない。

③ C-B3地点

Pb, Feが基準上限値を越えている。この付近にはひん岩が貫入岩体として分布しており鉱化作用を伴っている可能性がある。従ってC-B3地点（B-3孔）の地下水にもその影響が出ているものと考えられる。

④ C-B4～C-B12地点

選鉱場予定地内にあり、中位段丘堆積物中の地下水がほとんどである。全体的にはPb, Feが基準上限値を越える場合が多く、C-B7地点だけはAsも基準上限値を越えている。また、微量ながらHgの分布はこの地区のC-B8, C-B9, C-B11にのみ確認されている。これは推定されている断層の位置付近に相当している為、断層と関係がある可能性が高い。

⑤ C-B13地点（B-13孔）

Feだけが基準上限値を越えている以外、特徴はない。

pH値について考えるとC-B2地点の地下水が最も高く、pH8.46～8.87のアルカリ性を示すが、他の地下水は、ほとんどpH7～pH8の範囲の中性～弱アルカリ性である。電気伝導度もほぼ同じ値を示すが、B-1及びB-2地点でやや高い値を示している。

5-4-3 地下水流動シミュレーション

気象、地質、水文、ボーリング、揚水調査及び土質試験結果を総合的に解析することにより、最適な地下構造モデル及び水理モデルを作成し、新設堆積場予定地域の地下水流動シミュレーションを実施した。このシミュレーションではまず、堆積場設置前の現在の水理状況を解析することにより、地下水位面や地下水の流れの方向、大きさを明かにし、堆積場設置計画にはこの解析された水理状況を応用した、安価で安全な、堆積場周辺からの揚水方法、堆積場排水の溢流防止方法、排水の地下拡散防止方法、排水のリサイクル方法を水理的にモデル化した。新エルココの新設堆積場モデルには5-6章で述べる土木工学的なモデルのほか、ここで述べる水理的モデルも提案する。この水理学を応用した堆積場の排水リサイクルシステムは、地質調査所環境地質部丸井敦尚博士の堆積場排水モデルを

基本とし、現地調査結果から得られたデータを加え解析したものである。

(1) シミュレーション方法

東京大学工学部登坂博行博士により開発されたシミュレーターGWS3D2Pを使用した。シミュレーション方法は付録Aの「地下水流動シミュレーション法」で詳しく述べた。この数値解析法ではダルーシーの法則と質量保存の法則を有限要素法で3次元的に数値解析している。

(2) シミュレーションモデル

①ブロックモデル

解析範囲は北西方向に1.7km、北東方向に1.8kmの矩形を呈する(第5-4-9図)。解析範囲の西側ではマヒストラル川が南東から南西に向きを変え流下し、南側には新エルココ堆積場新設予定地が位置している。この予定地はマヒストラル川の旧河川堆積物上にあり、現在のマヒストラルは、予定地の西側を蛇行している。

モデル地域の断裂系は、NW方向とNE~ENE方向のものが卓越し、NS方向のものを伴う。マヒストラル川や旧河川の方向は、この断裂に規制されて形成されている。地域南方の安山岩貫入岩もNW方向の断裂に規制され分布している。

従って、新エルココ地域の水理状況は、段丘堆積物のほか特定な方向の断裂系に規制されているため、卓越する断裂の方向に対応する軸方向、及び堆積場新設予定地を含む稜線で囲まれた解析範囲に設定した。解析深度は堆積場揚水や排水の浸透予測も行うため、海拔25mまでとした。

地域の分割は北西方向に25ブロック、北東方向に29ブロックとし、堆積場予定地では1ブロックが50m×50mと小さく、縁辺では最大100m×100mと大きく分割した。図面では北西方向をX軸、北東方向をY軸とし、北西端を(X1, Y1)、北東端を(X25, Y29)とした。深度方向には8層に分割し、最上位に空気層を加え、計9層とし、最上位層をZ1とした。水理状況の明かな表層付近は2~20mと薄く、深部では100mと厚く分割した(第5-4-10図)。堆積場を加えた水理モデルでは、堆積場の層を空気層の下に加え、計10層とした(第5-4-13図)。各ブロックの標高はブロックの中心の標高で代表した。

②透水係数及び空隙率モデル

各ブロックに対応する透水係数や空隙率は地質、地質構造、鉱床、電気探査、ボーリングの各調査や土質試験結果を総合的に解析して決定した。

地質調査の結果、モデル地域には先第三系の頁岩、第三系の火山岩・貫入岩及び第四系の段丘堆積物や河川堆積物が分布している。先第三系や第三系は断裂の発達するマヒストラル川流域や旧河川沿いを除き、緻密で透水性が悪い。

電気探査とボーリング調査の結果、表層の高・低比抵抗複合帯と低比抵抗帯が帯水層、中比抵抗帯が半帯水層、高比抵抗が難透水層や不透水層に対応している。

地質及び地質構造から、帯水層は先第三系や第三系と段丘堆積物の境界部付近、先第三系や第三系中に発達する断層、及び貫入岩周辺部に、半帯水層は表層風化帯や断層周辺部に、難透水層は表土や粘土層を挟む河川堆積物・段丘堆積物分布域に、また不透水層は山体部の先第三系や第三系、及び貫入岩分布域に対応している。

電気探査とボーリング調査の結果、表層の高・低比抵抗複合帯と低比抵抗帯が帯水層、中比抵抗帯が半帯水層、高比抵抗が難透水層や不透水層に対応している。

地質及び地質構造から、この帯水層は第四系の扇状地堆積物分布域、三疊系と段丘堆積物の境界部付近や断層部に、半帯水層は砂質の段丘堆積物、表層風化帯、及び断層周辺部に、難透水層は表土や粘土層を挟む河川堆積物や段丘堆積物分布域に、また不透水層は山体部の三疊系分布域に対応している。

粒度試験から求めた透水係数は、第5-4-7表に示すように、難透水層の現河川堆積物(CR-1, 2)や段丘堆積物(CR-3, 4, 5, 6)は $10^{-6} \sim 10^{-7}$ cm/secのオーダーである。堆積場設計のために実施した土質試験(第5-6-2表)によれば、難透水層の粘土質な段丘堆積物(D-1~D-10)は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/secであり、透水層の砂質な段丘堆積物(B-11, B-12)は 10^{-3} cm/secである。

従って、難透水層の透水係数は上記値の平均値である 1×10^{-5} cm/secを、透水層には 1×10^{-3} cm/sec与えた。そのほかの透水係数はパラル地域と同様な方法で与えた。マヒストラル川や堆積場予定地周辺の先第三系や第三系には断裂系が発達しているため、周辺岩石とは異なる透水係数を与えた。これをフラクチャー透水係数(pkf)と呼ぶ。断裂系が発達していない部分はマトリックス透水係数(pkm)とした。ブロックの平均的な透水係数(K)は断裂の幅をhef(m)、ブロックの幅を ΔX (m)とすると、

$$K = (\text{hef} / \Delta X) \times \text{pkf} + (1 - \text{hef} / \Delta X) \times \text{pkm}$$

と表される。間隙率もフラクチャー間隙率porf(%)とマトリックス間隙率porm(%)に区分し、水理観測結果に対応する数値を与えた。

帯水層から不透水層にかけての透水係数や間隙率の一覧を第5-4-8表に、これに基づく岩石物性区分図を第5-4-10図に示す。

第5-4-10図の平面図(X-Y CROSS SECTIONAL VIEW)では左端が(X1, Y1)、上端が

(X25, Y29)である。断面図(Y-Z CROSS SECTIONAL VIEW)では左端がY29, 右端がY1である。

③水理モデル

マヒストラル川は乾期には, No.1地点(第5-4-1図)で $415\text{m}^3/\text{day}$ 表流しているが, それより下流のNo.2地点では伏流し, 流量が $0\text{m}^3/\text{day}$ である。支川にも河川水が認められない。雨期には, マヒストラル川や支川に連続的に河川水が観察され, No.1地点では $4,000\sim 86,000\text{m}^3/\text{day}$, 下流のNo.2地点では $7,000\sim 28,000\text{m}^3/\text{day}$ の流量を示している(第5-4-2図)。しかし, 乾期・雨期とも, No.1よりNo.2地点で河川流量が減少することが認められることから, No.1とNo.2地点間に河川水が浸透することが明らかになった。これは河川方向に大きな断層が確認されていることから, この断層に沿って, 河川水が浸透しているものと考えられる。このように, No.1とNo.2地点間では地下構造に起因し, 河川流量に変化が生じることから, 初期河川流量は, 乾期の1~5及び11~12月にはNo.1地点に $415\text{m}^3/\text{day}$ を, 雨期の6~10月にはNo.1地点に $4,000\text{m}^3/\text{day}$ を与えた。支川では乾期・雨期ともに流れが観測されていないので, 初期河川流量は与えていない。

地下水位は観測井で得られた深度を初期条件として与え, 地下水位面を空気層も含め上から第3層の上面になるように解析モデルの層厚を設定した。マヒストラル河川沿いのB-2地点(第5-2-4図)ではボーリング後, 地下水が $120\text{m}^3/\text{day}$ 自噴するようになったが, それ以前は被圧されていたので, ボーリング以前の地下水位に設定した。この地下水位は第三系の最上位面とした。

④気象モデル

既存資料によると, 1985~1990年にかけての年間降水量は平均 800mm である。降水量の90%は雨期の6~10月に集中するため, 6~10月の5カ月間に 720mm , その他の7カ月間の乾期に 80mm の降水量を与えた。蒸発量は新エルココの現地調査で $0.35\sim 0.84\text{mm}/\text{day}$ を得ているのでこれを用いた。降水量から蒸発量を引いたものが, 天水のかん養量となるので, 乾期のかん養量を $0\text{mm}/\text{day}$, 雨期のかん養量を $4\text{mm}/\text{day}$ に設定した。

⑤堆積場モデル

マヒストラル旧河川の段丘堆積物上に, 堆積場を新設する予定である(第5-4-9図)。このため, 堆積場設置以前の①から④のモデルで行った地下水流動シミュレーションの後に, 堆積場の容積, 透水係数, 空隙率や給排水サイクルを含めた

水理モデルでもシミュレーションを実施した。

5-6章で設計した適性堆積場容積は $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ である。形状は幅300m, 奥行き100m, 平均層厚10mとして, 分割ブロックの堆積場位置にこの容積を加えた。堆積物の透水係数は, エルボテ及パラルの廃滓堆積物の透水係数の平均値 10^{-9} cm/sec を与えた(第5-4-13図)。堆積場はこの図のD地点に位置する。

⑥揚水・排水モデル

廃滓の堆積量は 200 t/day と計画されているので, 選鉱用水使用量を廃滓と同量の $200 \text{ m}^3/\text{day}$ と設定した。 $200 \text{ m}^3/\text{day}$ のうち $50 \text{ m}^3/\text{day}$ を選鉱排水の溢流水を貯めおく沈澱池からリサイクル使用し, 残り $150 \text{ m}^3/\text{day}$ を2ボーリング箇所の地下水を揚水するようにモデル化した(第5-4-9図)。ボーリング深度はともに25mで, 全深度孔明管仕上げとし, 堆積場の西側ボーリング孔から $100 \text{ m}^3/\text{day}$, 東側ボーリング孔から $50 \text{ m}^3/\text{day}$ をそれぞれ揚水することとし, 揚水箇所はそれぞれブロックモデルの第5層に設定した。また, ボーリング孔B-2が $120 \text{ m}^3/\text{day}$ で自噴しているのを, これを生活用水堆積場周辺で使用し, この汚染されていない用水を, 沈澱池付近で $30 \text{ m}^3/\text{day}$ 河川へ放流するように, ブロックモデル第3層上面に設定した。

(3) シミュレーション結果(堆積場建設前)

堆積場建設前の現在の地下水飽和図を第5-4-11図に示す。雨期飽和図は雨期最終日である150日目めの, 乾期飽和図は乾期最終日である360日めの地下水の飽和状態を示している。青色は地下水に飽和され, 黄色に向かうに従って飽和度が低くなる。

乾期・雨期とも, マヒストラル川のB-2ボーリング地点より上流には, もっとも浅層の第2層に地下水位が認められ, 下流側では水位面が低下している。このことは, 第5-4-1, 2図で示したNo.1とNo.2間の河川流量の減少つまり, 河川水の地下への浸透とよい対応している。一方, 堆積場周辺では地下水位は第4層以深に認められ, これがマヒストラル川の地下水と連続する。

乾期と雨期の飽和図を較べると, 表層は乾期の方が飽和度が低い傾向にある。乾期には飽和帯周辺も不飽和の程度が大きくなり, 地下水の低下をもたらしているが, 雨期との大きな違いにはなっていない。このことは, ボーリング孔の水位観測結果と対応している。

堆積場建設前の地下水流速図を第5-4-12図に示す。雨期流速図は雨期最終日である150日目めの, 乾期流速図は乾期最終日である360日めの平面図と断面図に示している。地下水の流速はX成分(北西成分), Y成分(北東成分), Z成分