

Fig. 3-5-1 Analysis Map of Chemical Data of Soil (6)

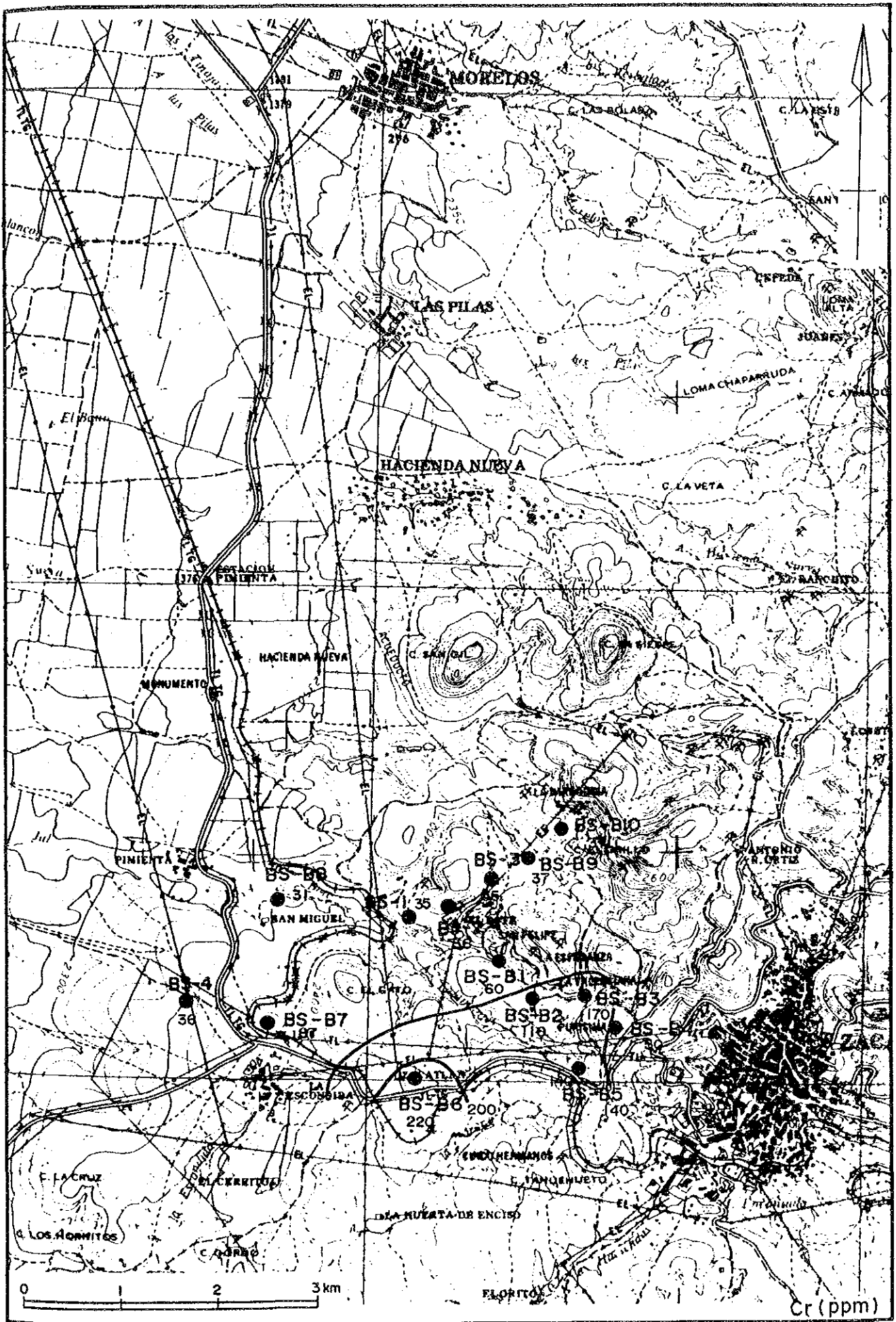


Fig. 3-5-1 Analysis Map of Chemical Data of Soil (7)

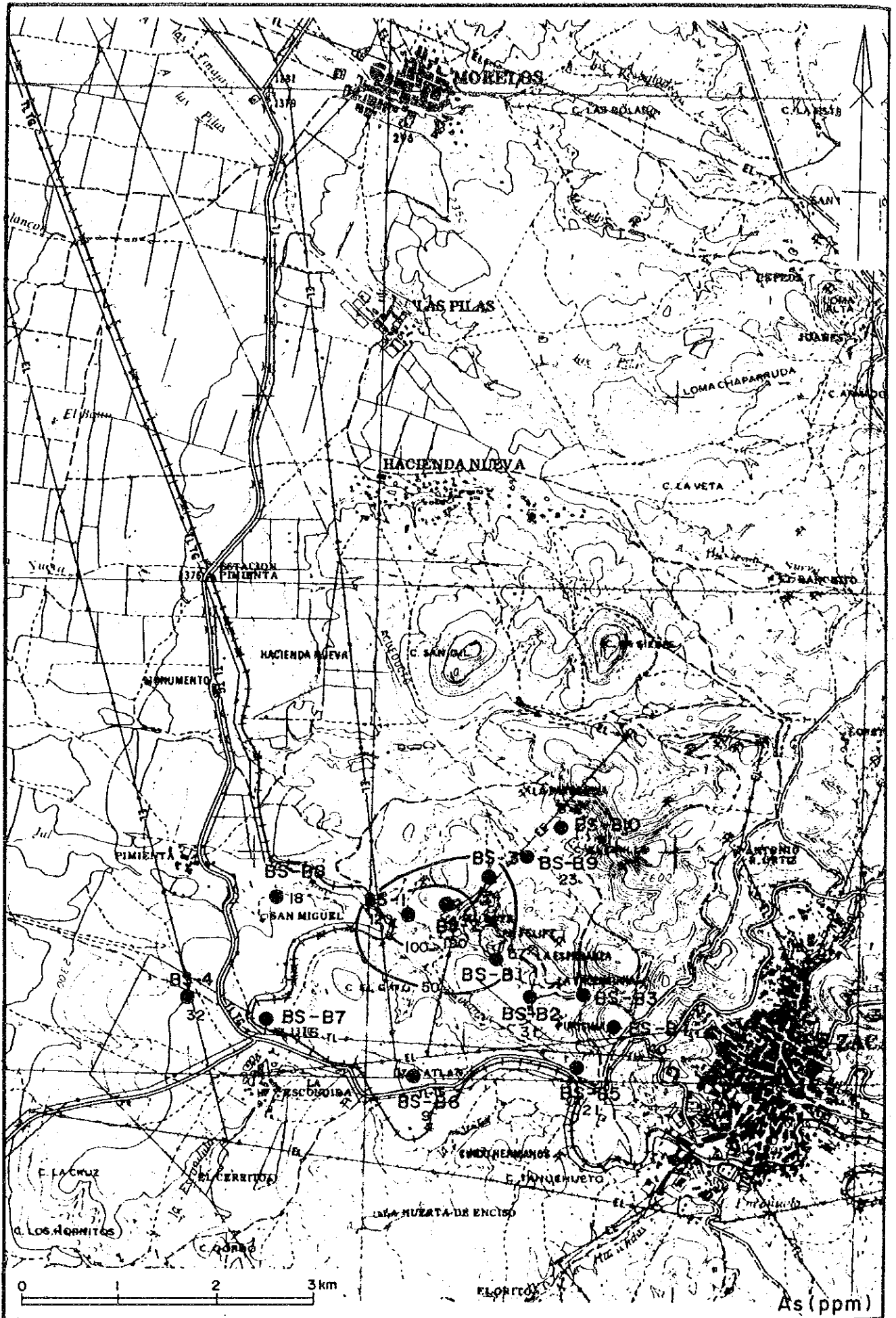


Fig. 3-5-1 Analysis Map of Chemical Data of Soil (8)

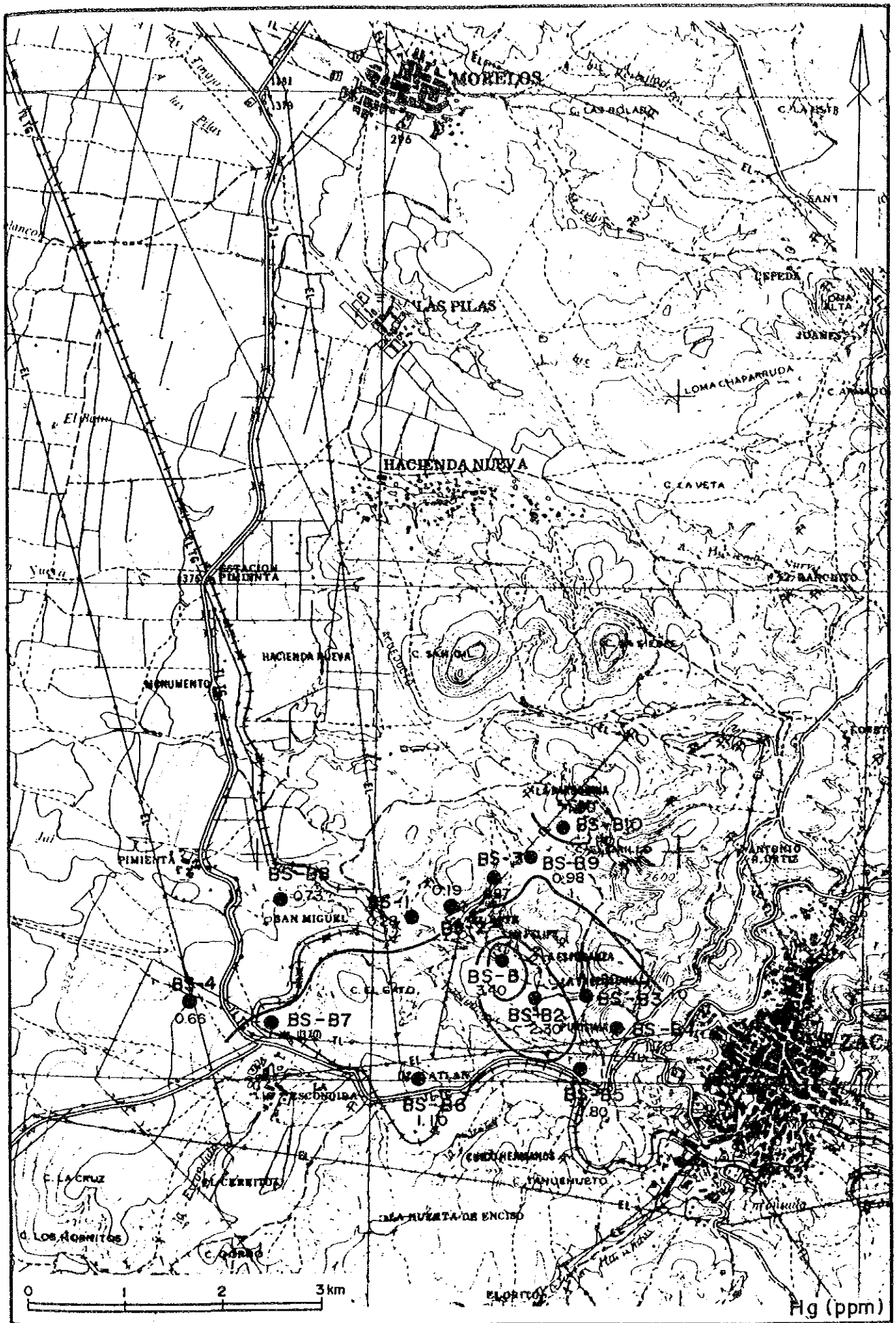


Fig. 3-5-1 Analysis Map of Chemical Data of Soil (9)

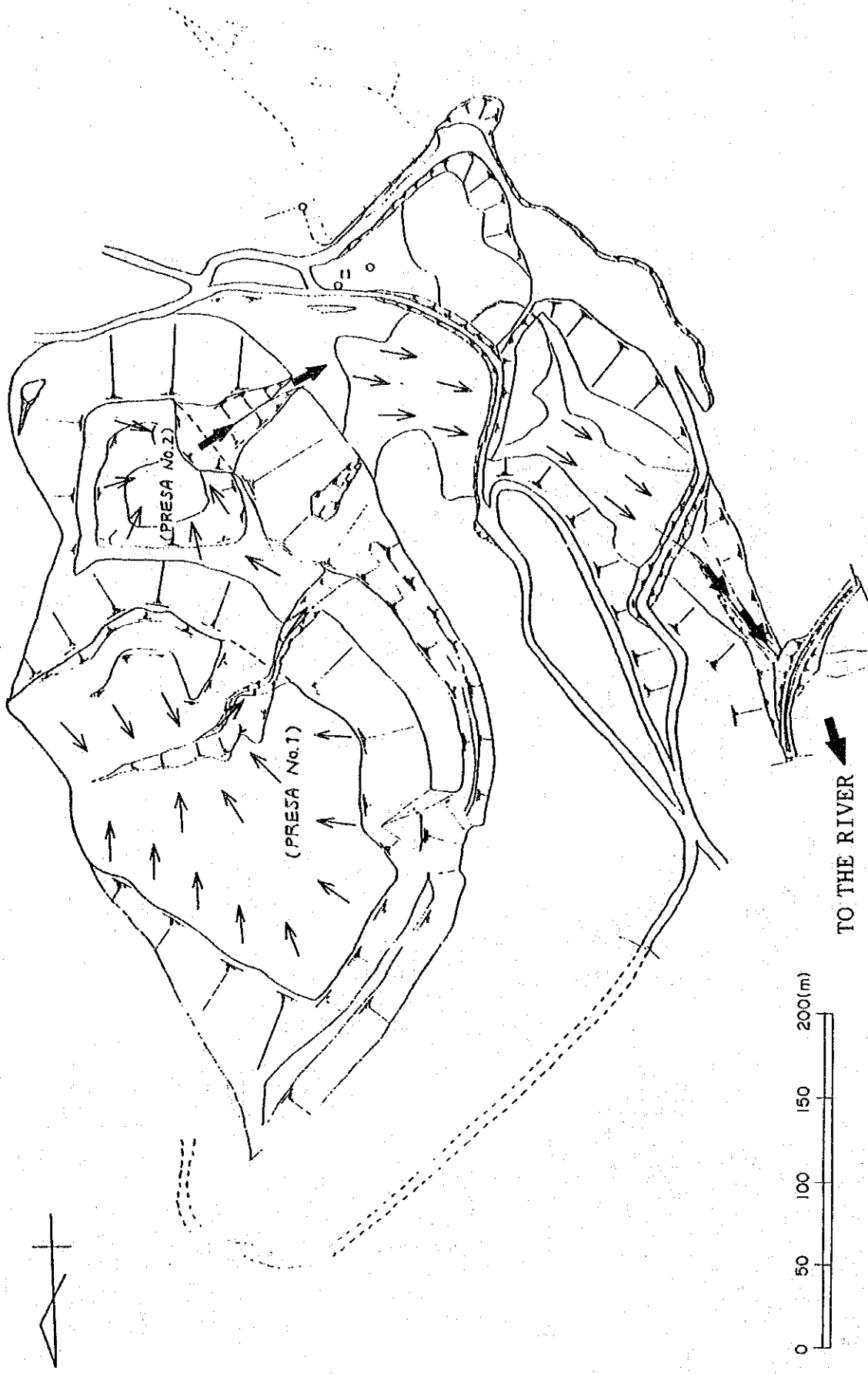


Fig. 3-6-1 The Flow of Rainwater

- ----- Boring point
- ▲ ----- Sampling point

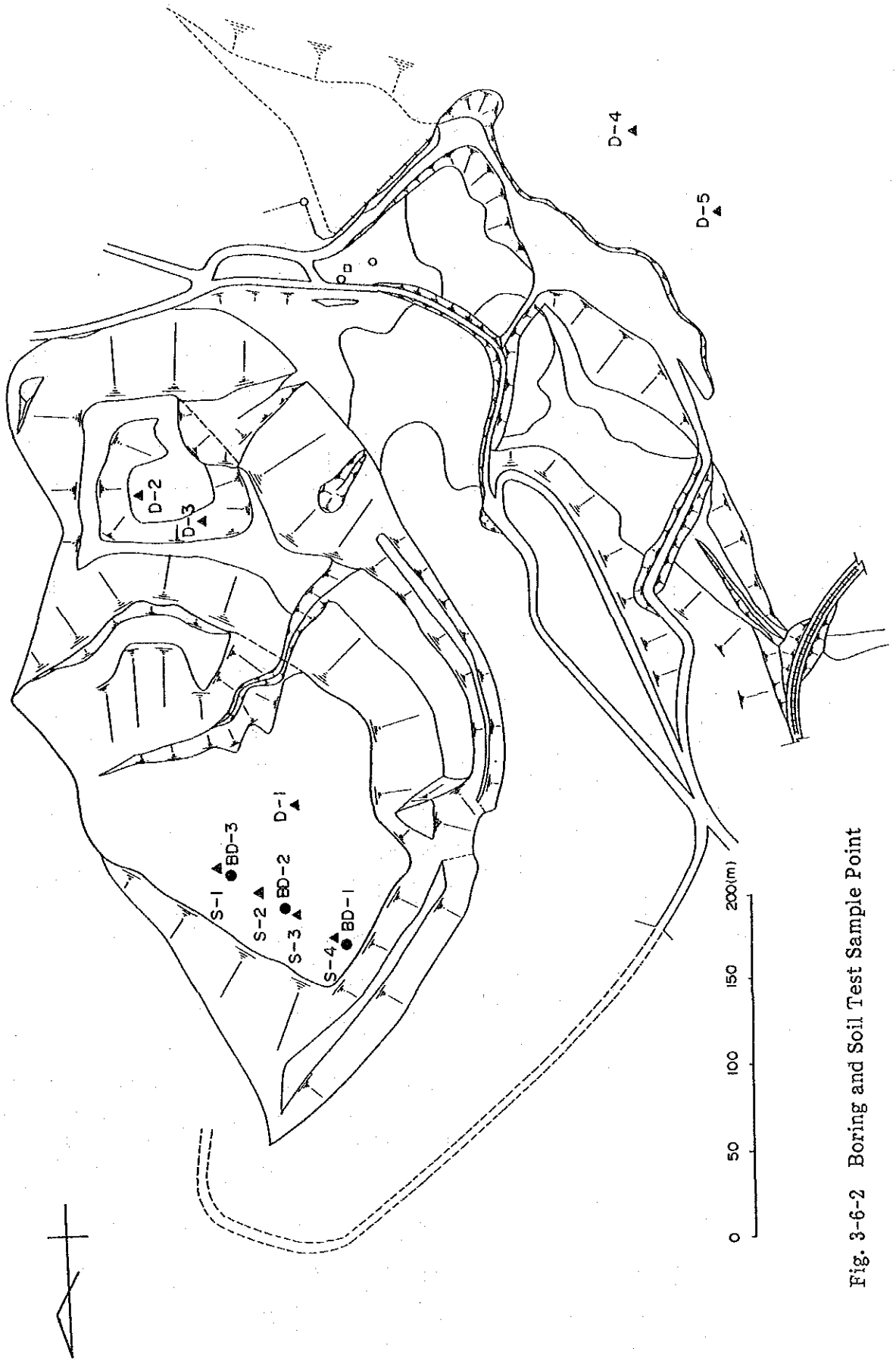


Fig. 3-6-2 Boring and Soil Test Sample Point

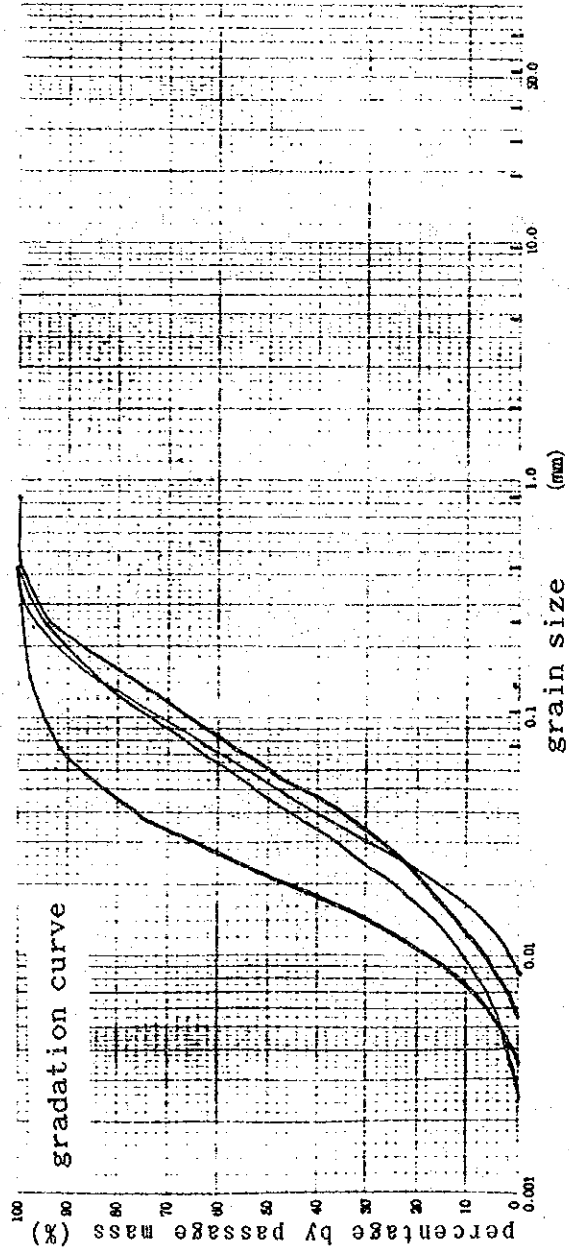


Fig. 3-6-3 Grain Size Accumulation Curve

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

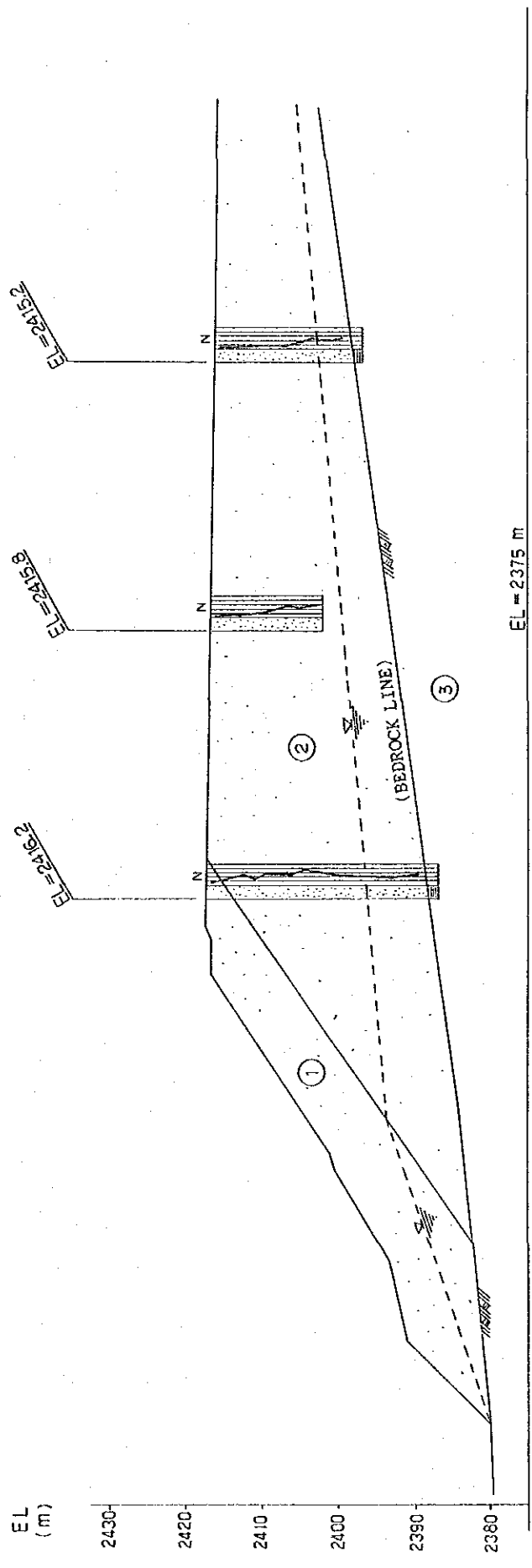


Fig. 3-6-4 El Bote Tailing Dam Geological Cross Section

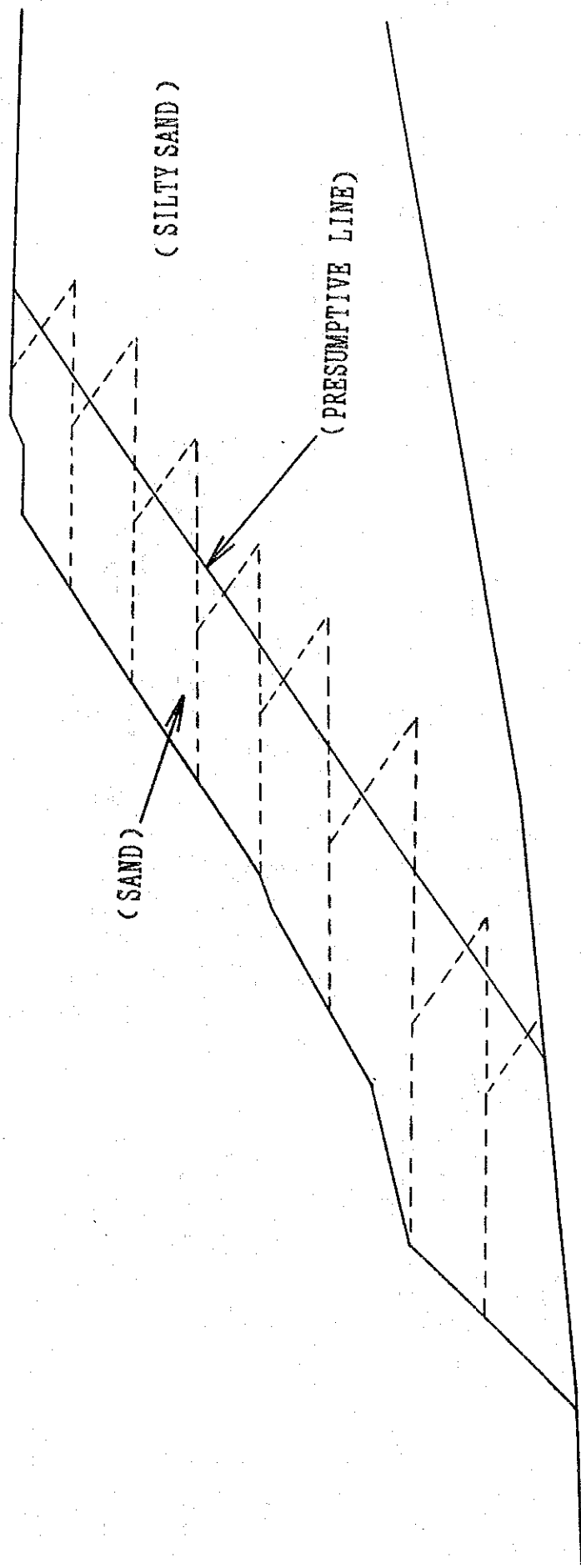


Fig. 3-6-5 The Method for Presumption of Border Line

CONDITION OF SOIL

Zone No.	SOIL	PARTIAL SATURATION DENSITY ρ_s (g/cm ³)	SATURATION DENSITY ρ_{sat} (g/cm ³)	COHESION C (k g f/cm ²)	SHARING RESISTANCE ANGLE ϕ (°)
①	SEDIMENT-1	1.736	1.933	0.00	30.0
②	SEDIMENT-2	1.774	1.810	0.10	23.0

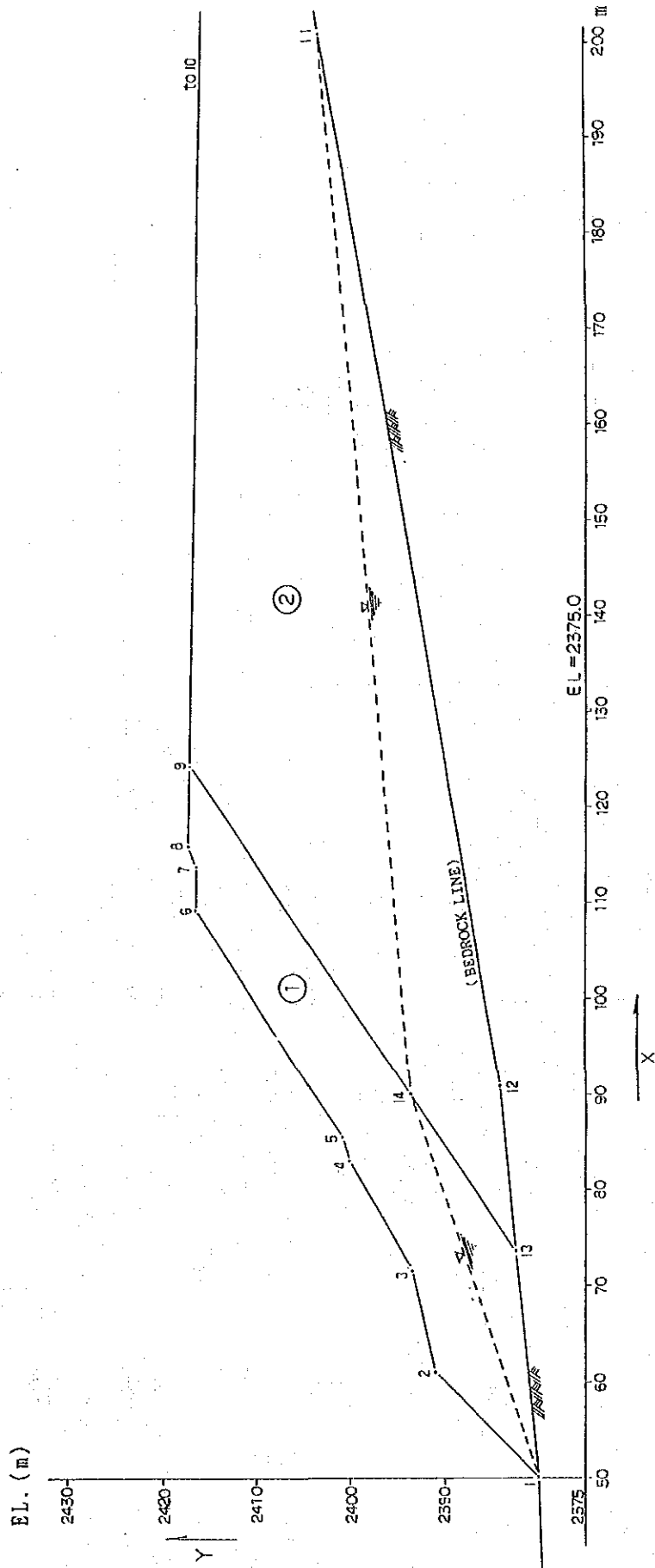


Fig. 3-6-6 The Model of Tailing Dam Stability Analysis

(DURING EARTHQUAKE : KH = 0.00)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY

X = 50.00 m
 Y = 2388.00 m
 R = 6.66 m
 Mr = 17.508 t-m
 Md = 26.383 t-m
 Fs = Mr/Md = 0.6636

2495
(90.30)

1.892
(86.93)

2433
(80.45)

1.436
(49.42)

2362
(70.60)

1.755
(67.23)

2313
(60.75)

1.689
(57.38)

2279
(50.90)

1.330
(21.00)

2289
(41.04)

0.977
(12.34)

2402
(31.19)

0.736
(9.00)

1520
(83.56)

1.140
(57.00)

1.398
(47.51)

0.998
(48.12)

1.197
(39.00)

0.933
(35.75)

0.976
(30.23)

0.929
(21.86)

0.933
(13.49)

0.922
(30.47)

1.002
(5.12)

0.942
(58.00)

0.925
(49.26)

0.966
(42.00)

0.971
(46.26)

1.023
(36.31)

0.965
(14.97)

1.175
(5.56)

1.263
(16.40)

0.959
(61.00)

0.938
(61.96)

0.951
(52.01)

1.025
(42.05)

1.137
(32.09)

1.241
(22.14)

1.311
(33.9)

0.979
(67.71)

1.027
(57.76)

1.057
(47.79)

1.070
(37.84)

0.994
(21.25)

0.657
(13.73)

0.664
(6.66)

E.L. (m)

2430

2420

2410

2400

2390

2380

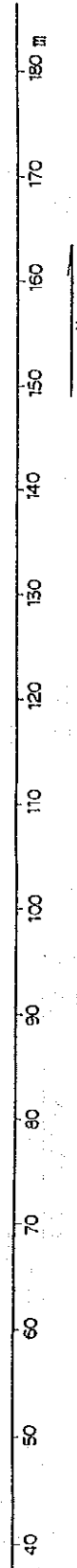


Fig. 3-6-7 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (1)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY BY EACH DISTANCE

(DURING EARTHQUAKE : $EH=0.00$)

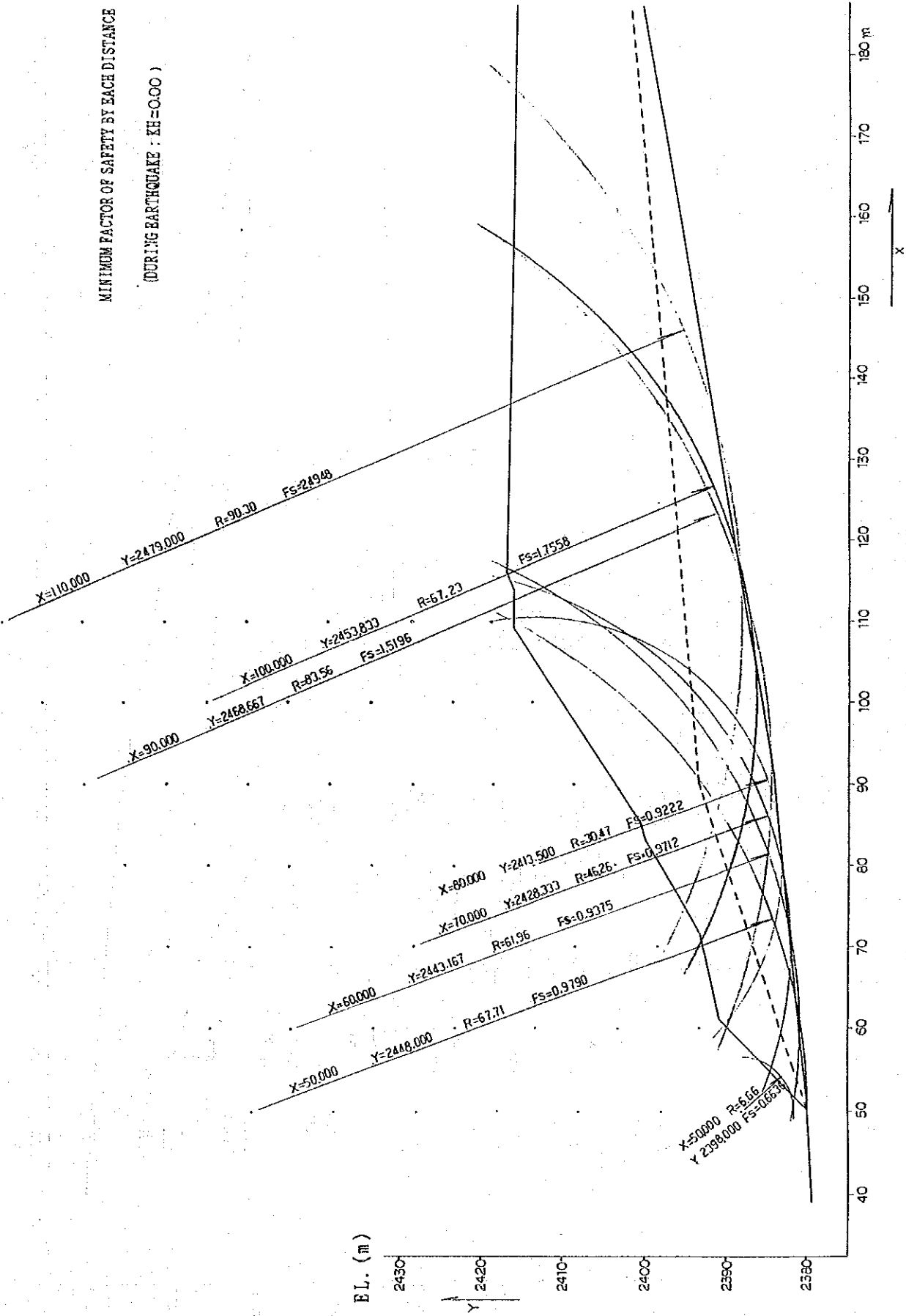


Fig. 3-6-8 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (2)

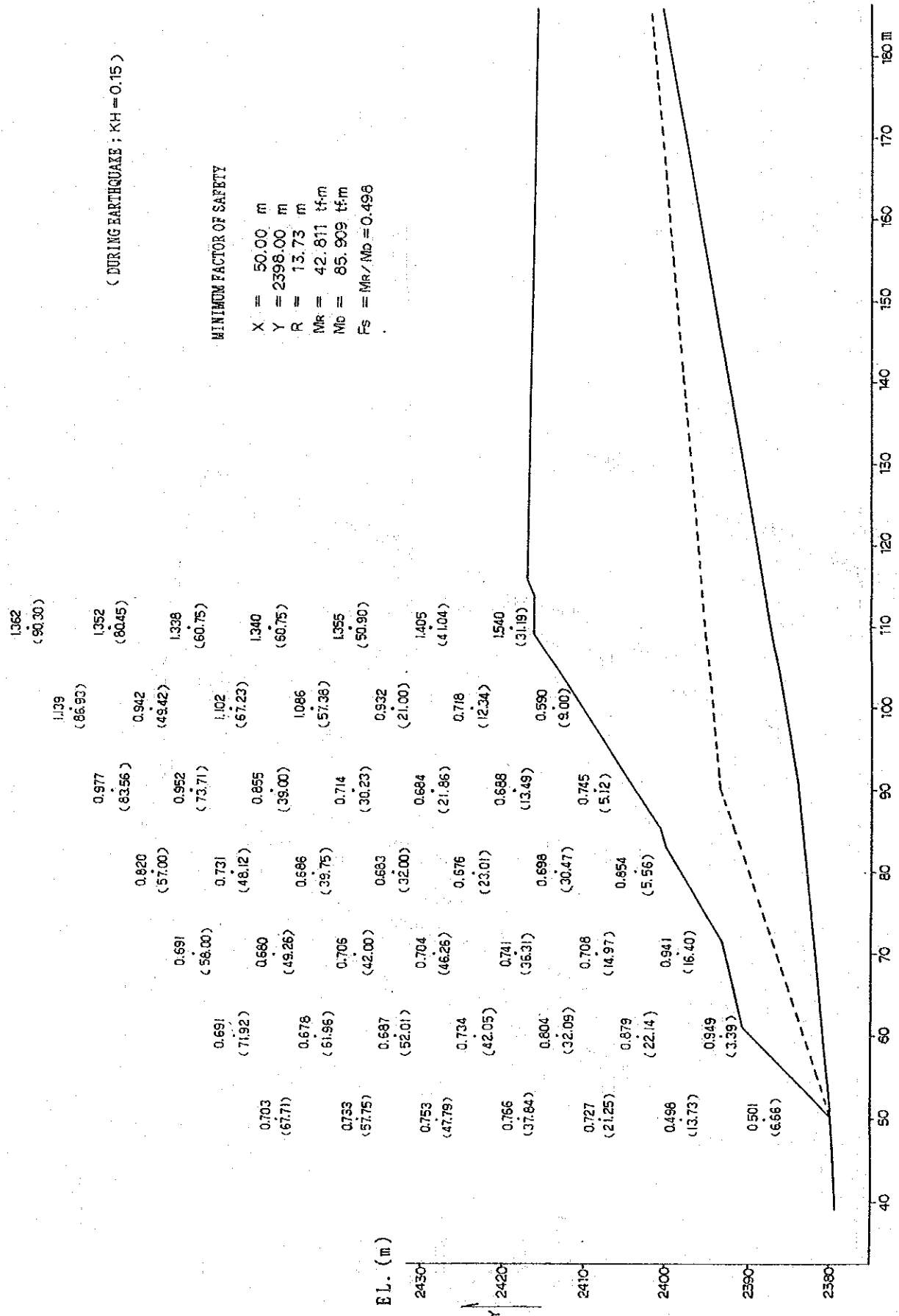


Fig. 3-6-9 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (3)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY BY EACH DISTANCE

(DURING EARTHQUAKE ; KH = 0.15)

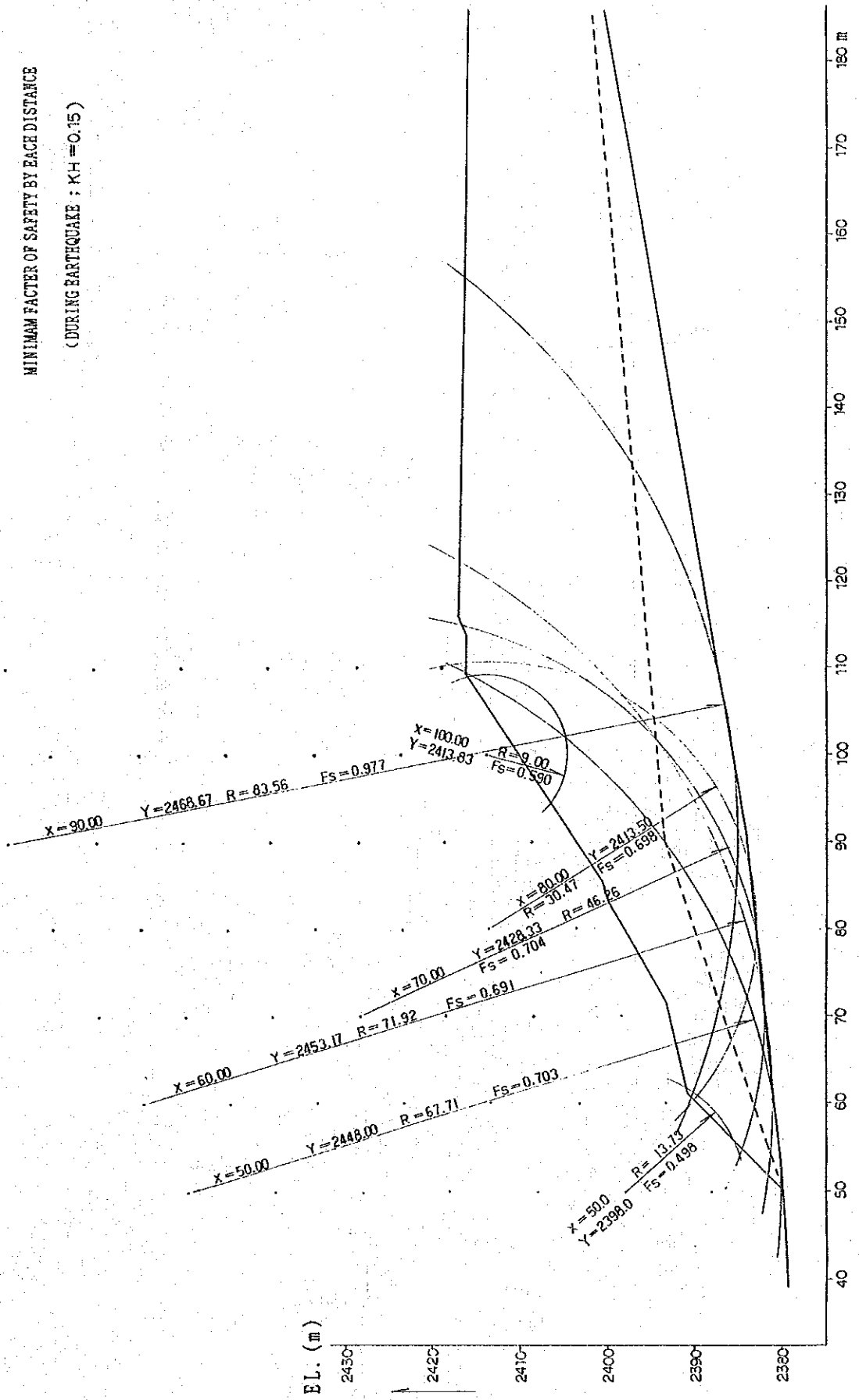


Fig. 3-6-10 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (4)

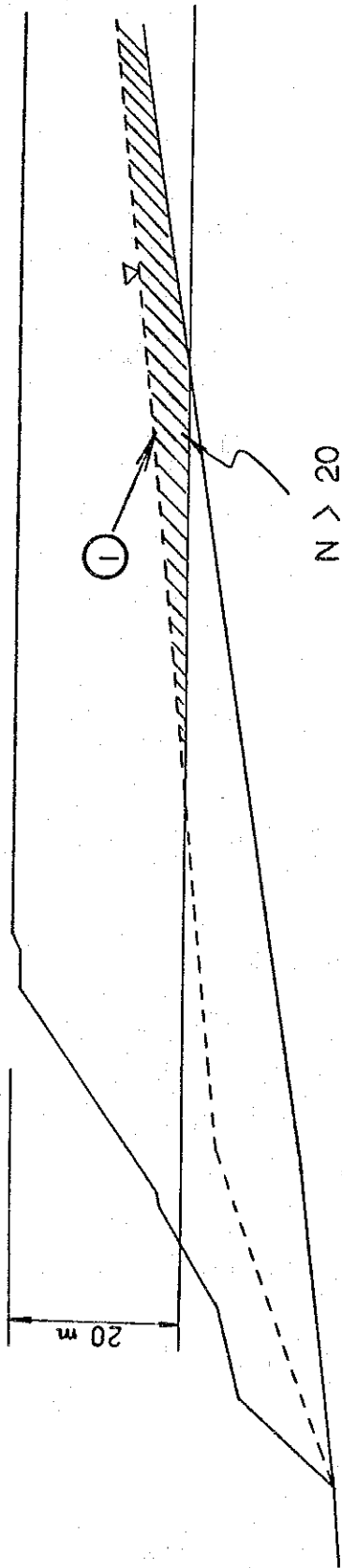


Fig. 3-6-11 The Scope for Danger of Liquefaction

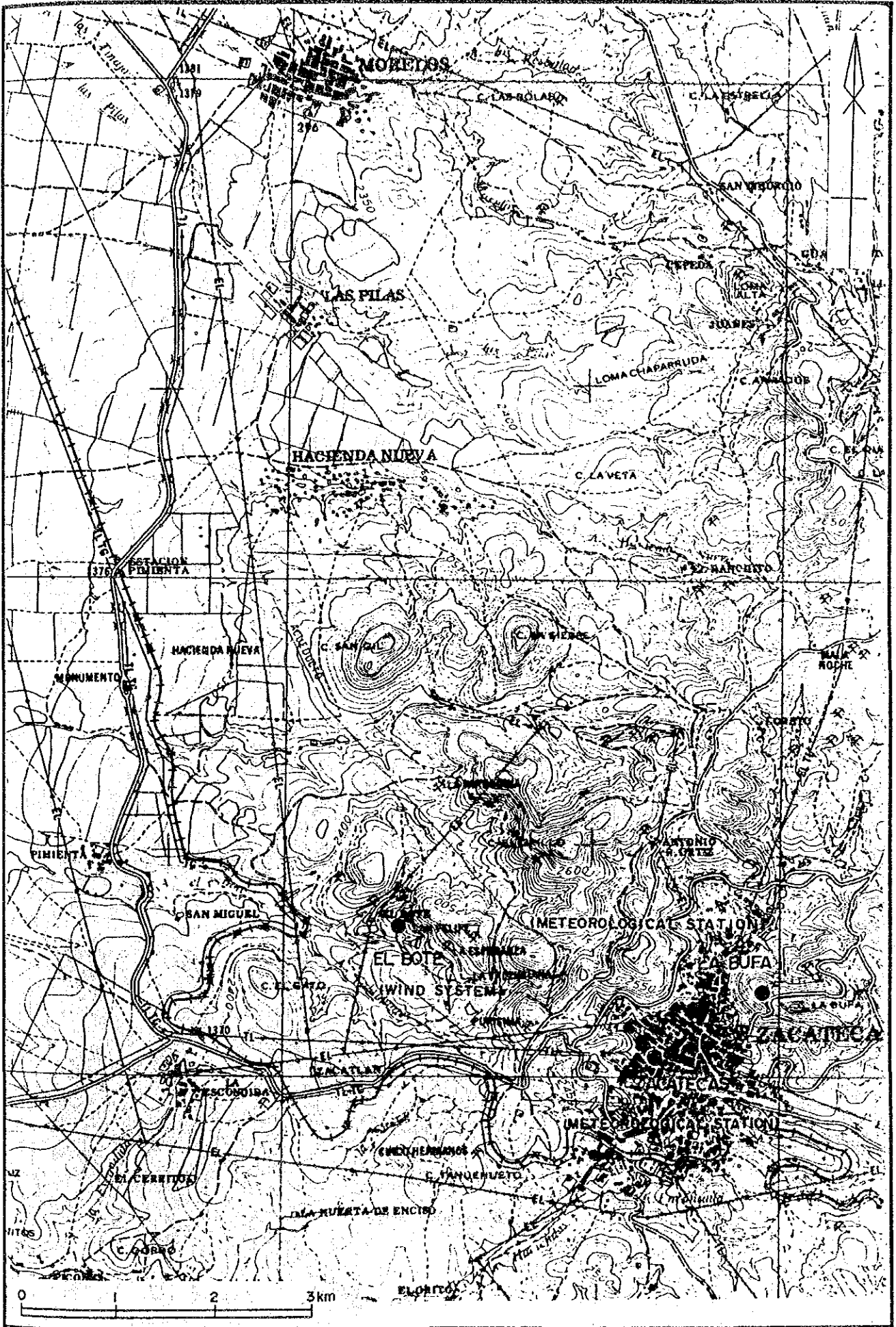


Fig. 3-7-1 Location Map of Meteorological Station (El Bote)

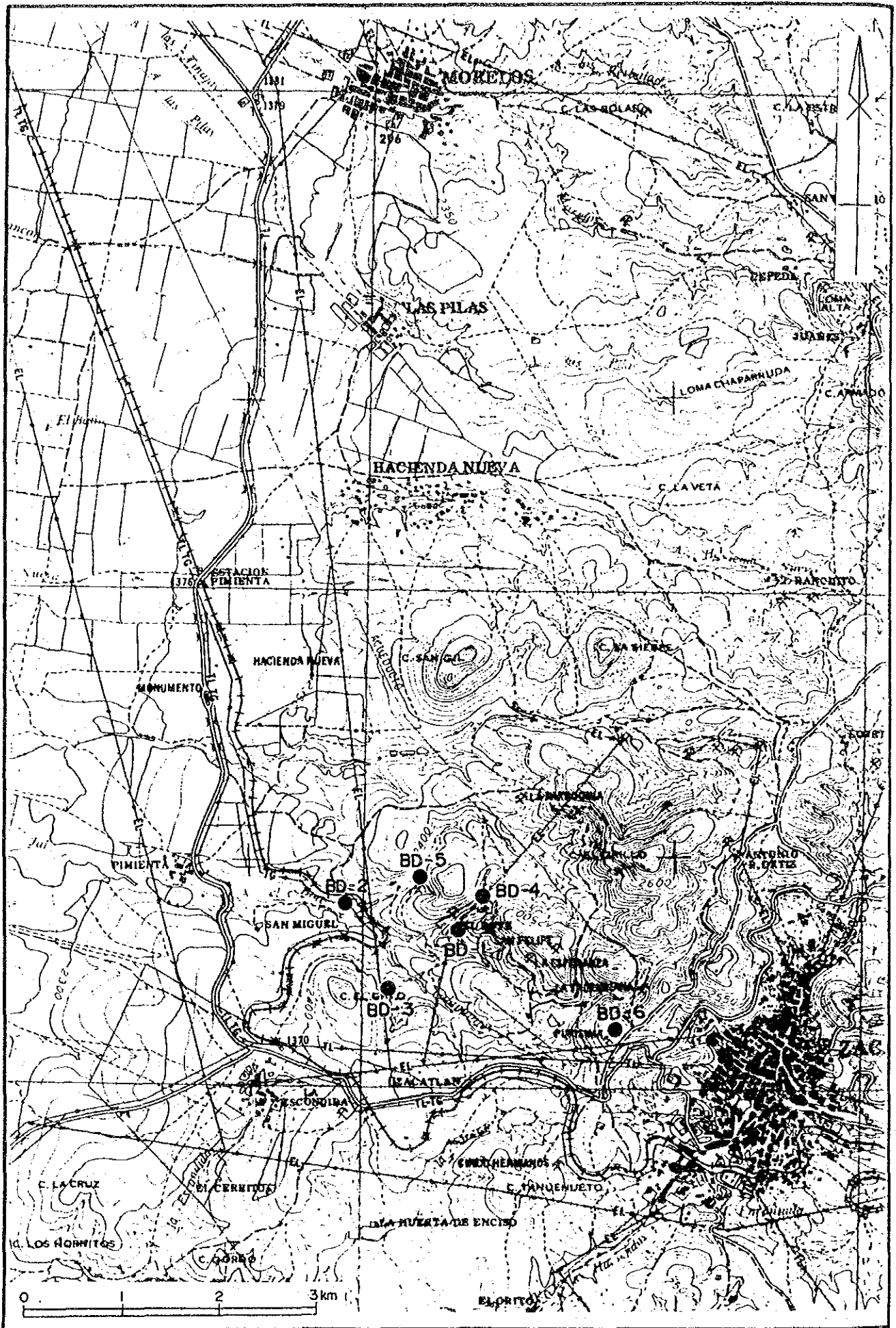


Fig. 3-7-2 Location Map of Dust Jar Sampling (El Bote)

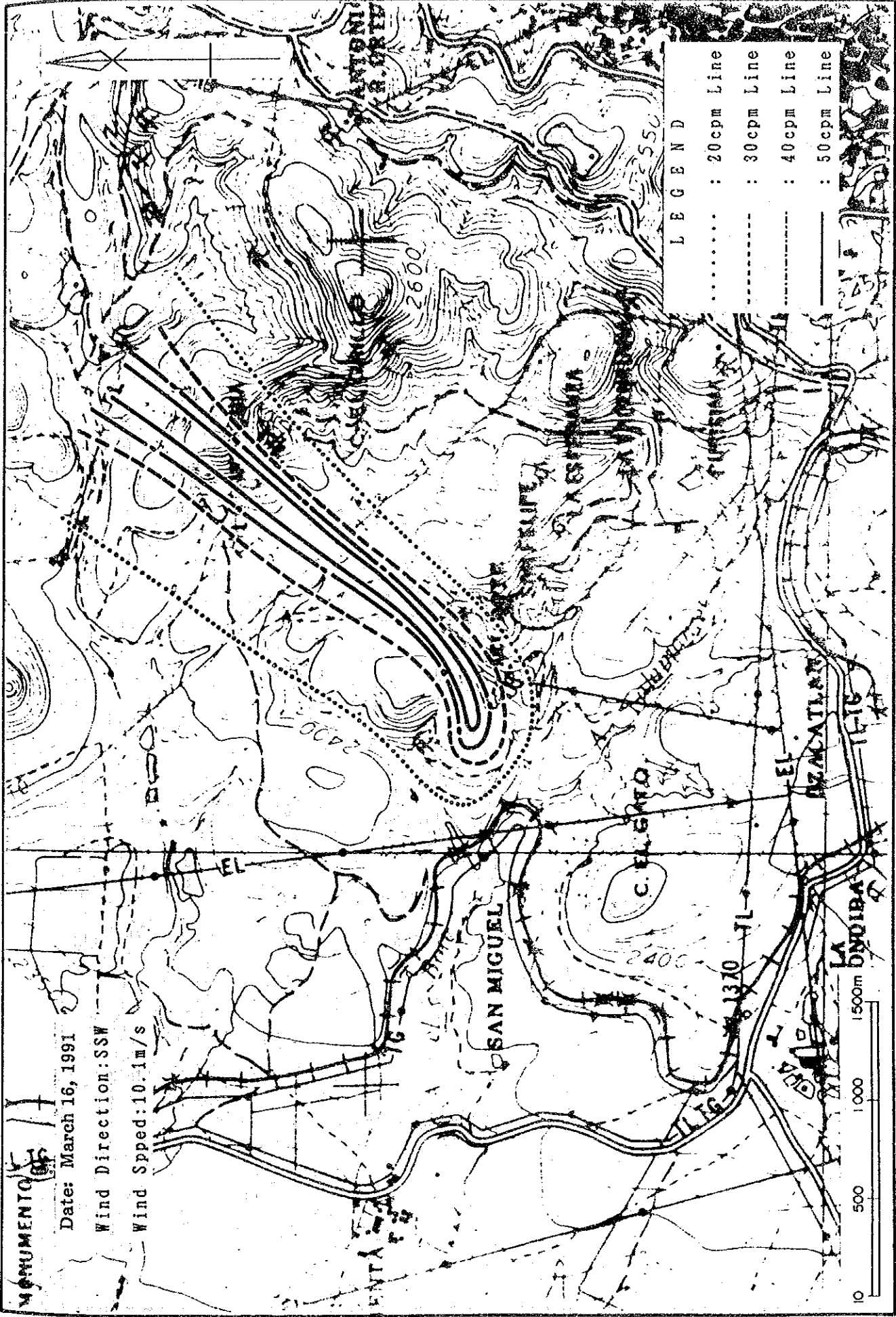


Fig. 3-7-5 Analysis Map of Digital Dust Monitors (El Bote) (1)

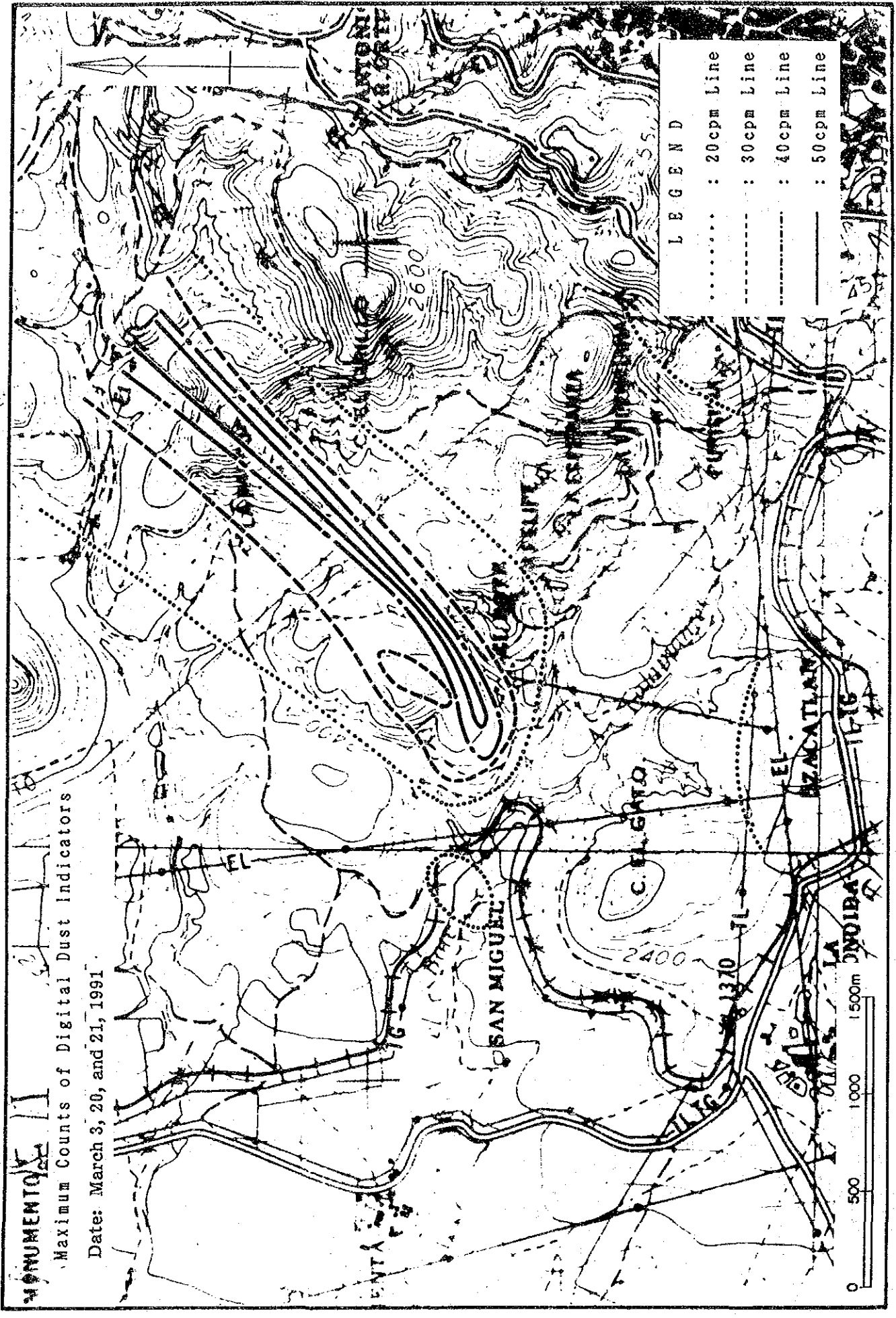


Fig. 3-7-5 Analysis Map of Digital Dust Monitors (El Bote) (4)

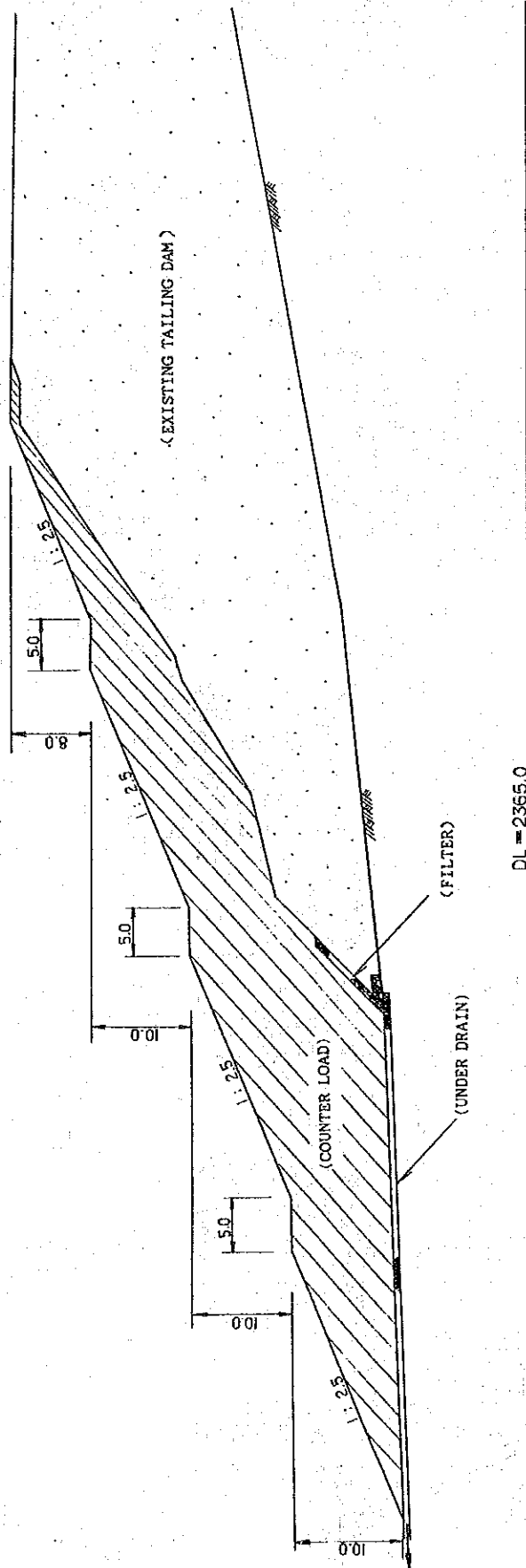


Fig. 3-9-1 The Model of Counter Load

CONDITION OF SOIL

EL BOTE TAILING DAM

Zone No.	SOIL	PARTIAL SATURATION DENSITY ρ_s (g/cm ³)	SATURATION DENSITY ρ_{sat} (g/cm ³)	COHESION C (kg f/cm ²)	SEPARING RESISTANCE ANGLE ϕ (°)
①	GRAVEL	1.800	1.812	0.00	37.0
②	SEDIMENT-1	1.736	1.933	0.00	30.0
③	SEDIMENT-2	1.774	1.810	0.10	23.0

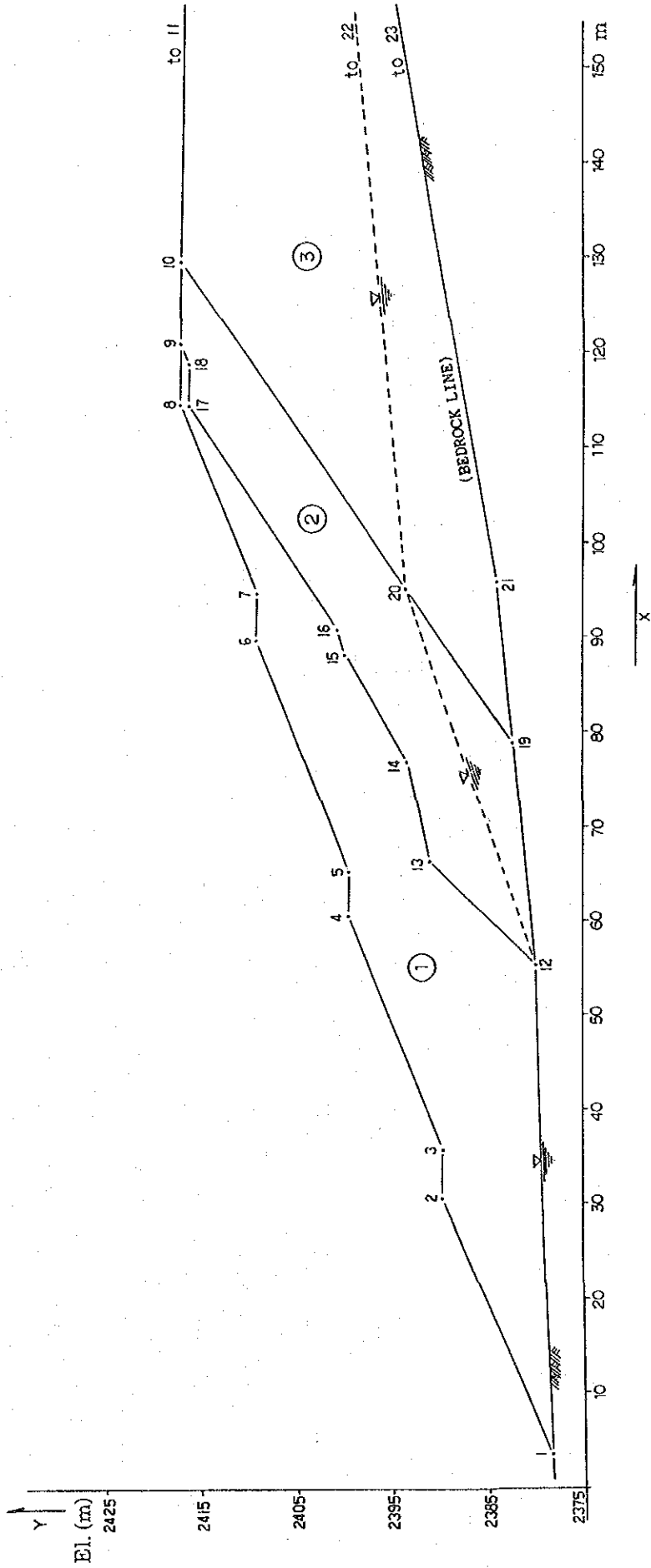


Fig. 3-9-2 The Model of Tailing Dam Stability Analysis

(DURING EARTHQUAKE ; KH = 0.00)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY

- X = 100.00 m
- Y = 2435.00 m
- R = 24.00 m
- MR = 840.456 tf-m
- Md = 448.808 tf-m
- Fs = MR / Md = 1.873

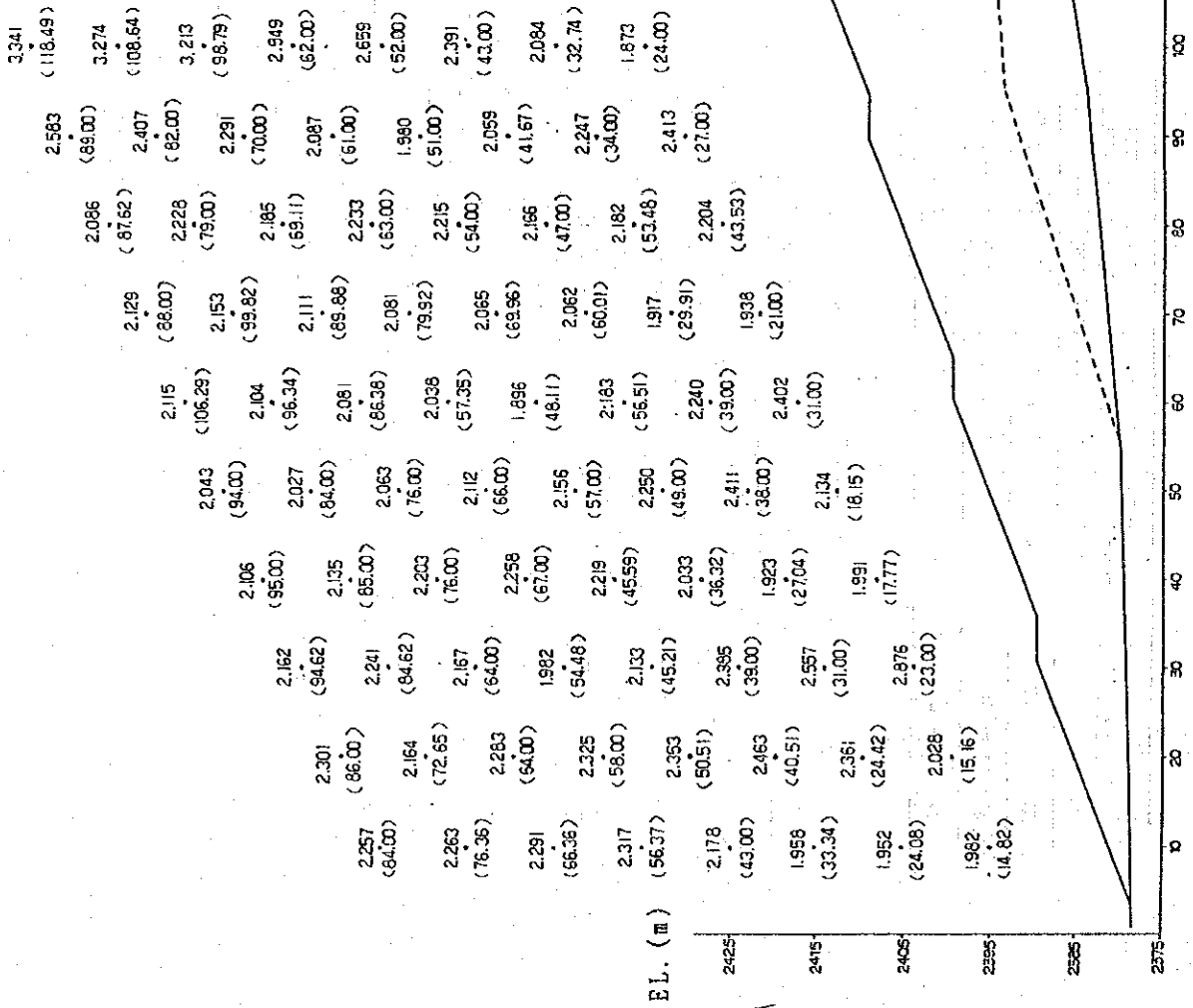


Fig. 3-9-3 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (I)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY BY EACH DISTANCE

(DURING EARTHQUAKE ; KH = 0.00)

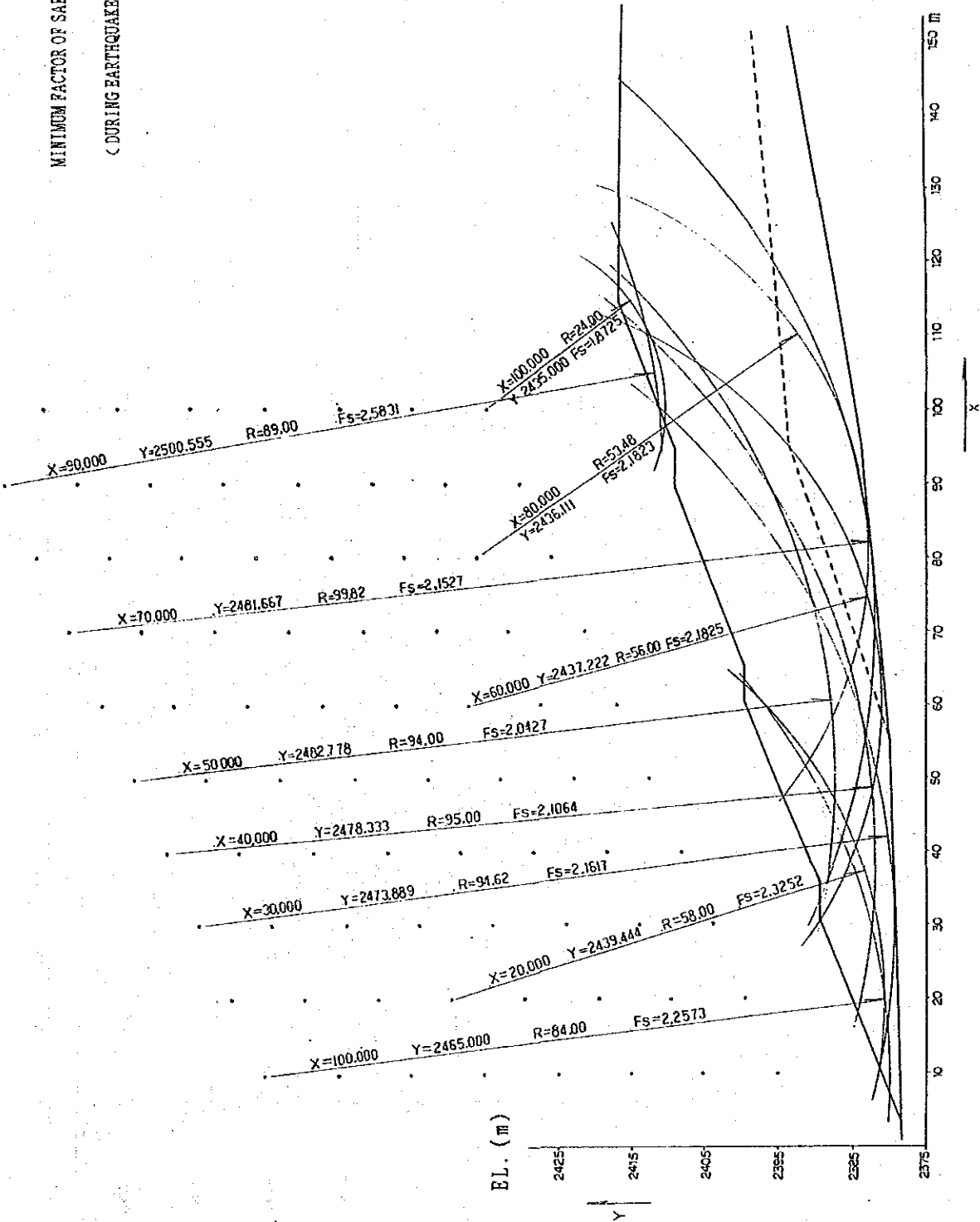


Fig. 3-9-4 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (2)

(DURING EARTHQUAKE : KH = 0.15)

MINIMUM FACTOR OF SAFETY

X = 100.00 m
 Y = 2435.00 m
 R = 24.00 m
 Mr = 797.318 tf-m
 Mo = 623.934 tf-m
 Fs = Mr/Mo = 1.2779

E.L. (m)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
2425	1.496 (84.00)	1.506 (86.00)	1.428 (72.65)	1.481 (84.62)	1.407 (85.00)	1.426 (94.52)	1.385 (95.00)	1.339 (102.80)	1.318 (106.29)	1.317 (109.77)	1.384 (97.62)	1.495 (115.63)	1.614 (118.49)		
2415	1.494 (72.00)	1.481 (63.00)	1.460 (64.00)	1.454 (76.00)	1.399 (67.00)	1.337 (76.42)	1.305 (48.11)	1.435 (57.00)	1.430 (56.56)	1.430 (60.01)	1.357 (63.42)	1.453 (56.73)	1.378 (33.00)		
2405	1.521 (66.36)	1.481 (63.00)	1.460 (64.00)	1.493 (67.00)	1.501 (49.00)	1.494 (39.00)	1.385 (36.32)	1.501 (49.00)	1.322 (29.91)	1.375 (53.46)	1.474 (46.98)	1.278 (24.00)			
2395	1.339 (33.34)	1.553 (24.42)	1.676 (31.00)	1.368 (17.77)	1.609 (39.00)	1.612 (31.00)	1.354 (27.04)	1.609 (39.00)	1.337 (21.00)	1.418 (43.53)					
2385	1.342 (24.08)	1.391 (15.16)	1.868 (21.00)	1.368 (17.77)	1.445 (18.15)										
2375	1.365 (14.82)														

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

MINIMUM FACTOR OF SAFETY BY EACH DISTANCE

(DURING EARTHQUAKE : KH=0.15)

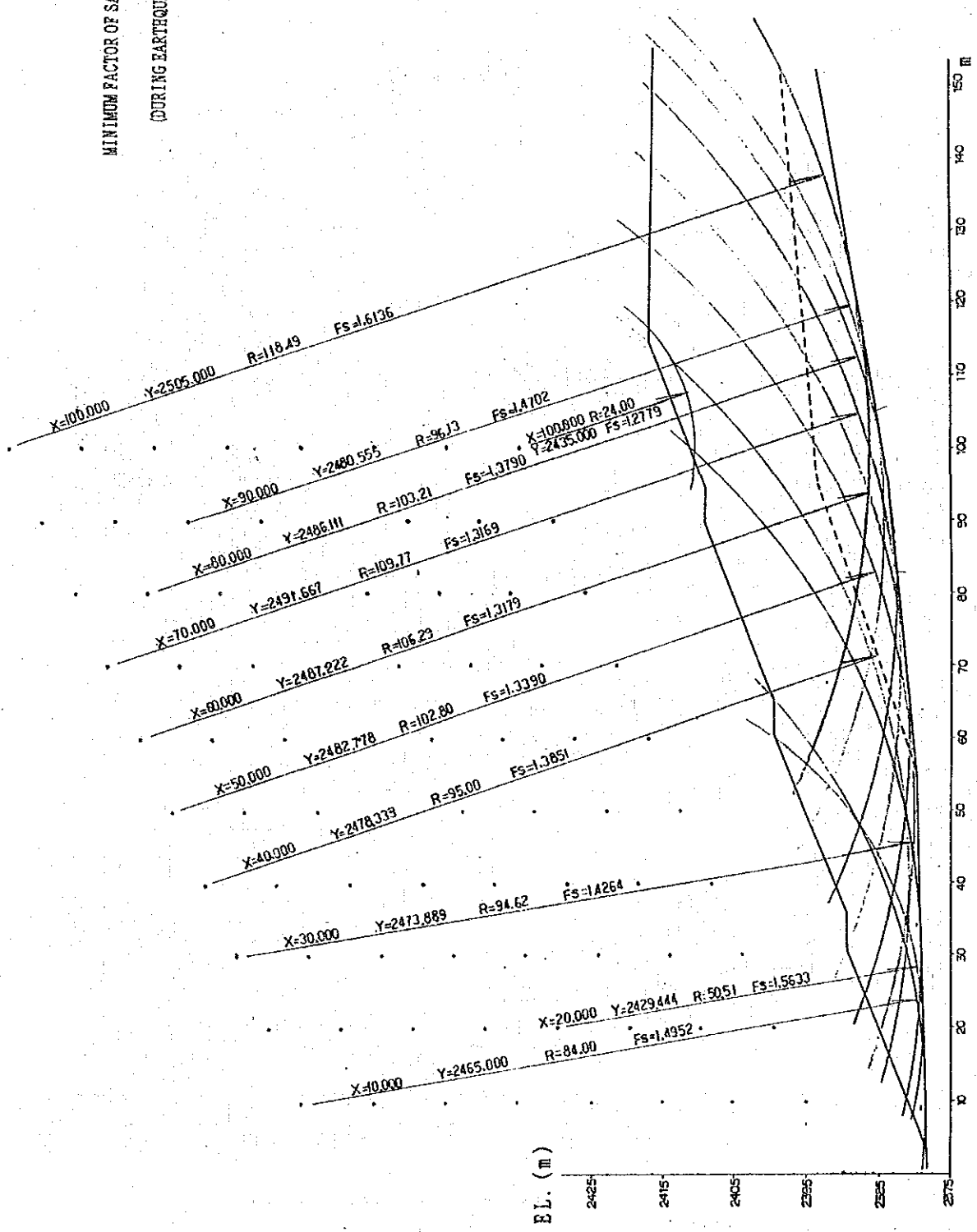


Fig. 3-9-6 A Result of Tailing Dam Stability Analysis (4)

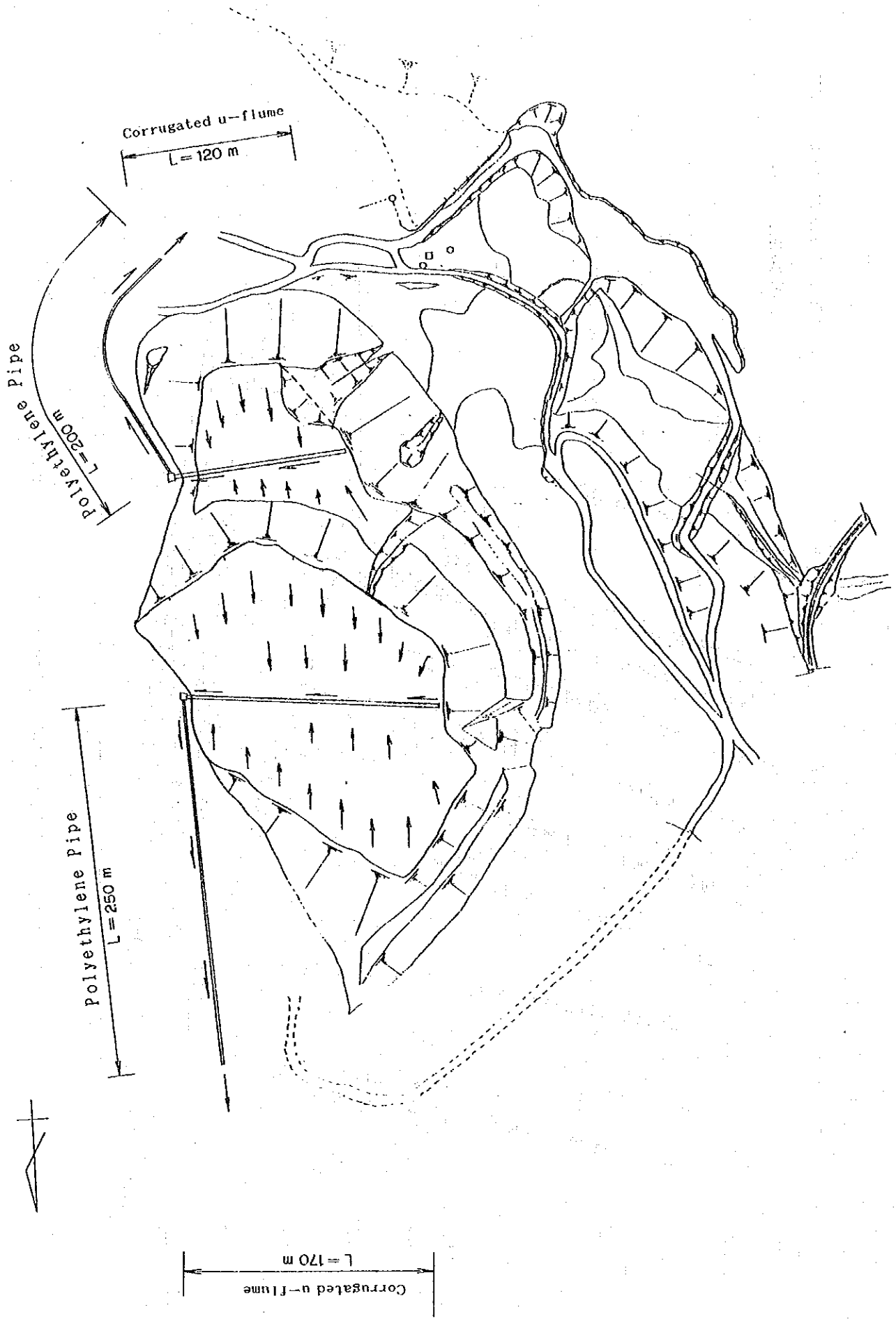


Fig. 3-9-7 Drainage Plan

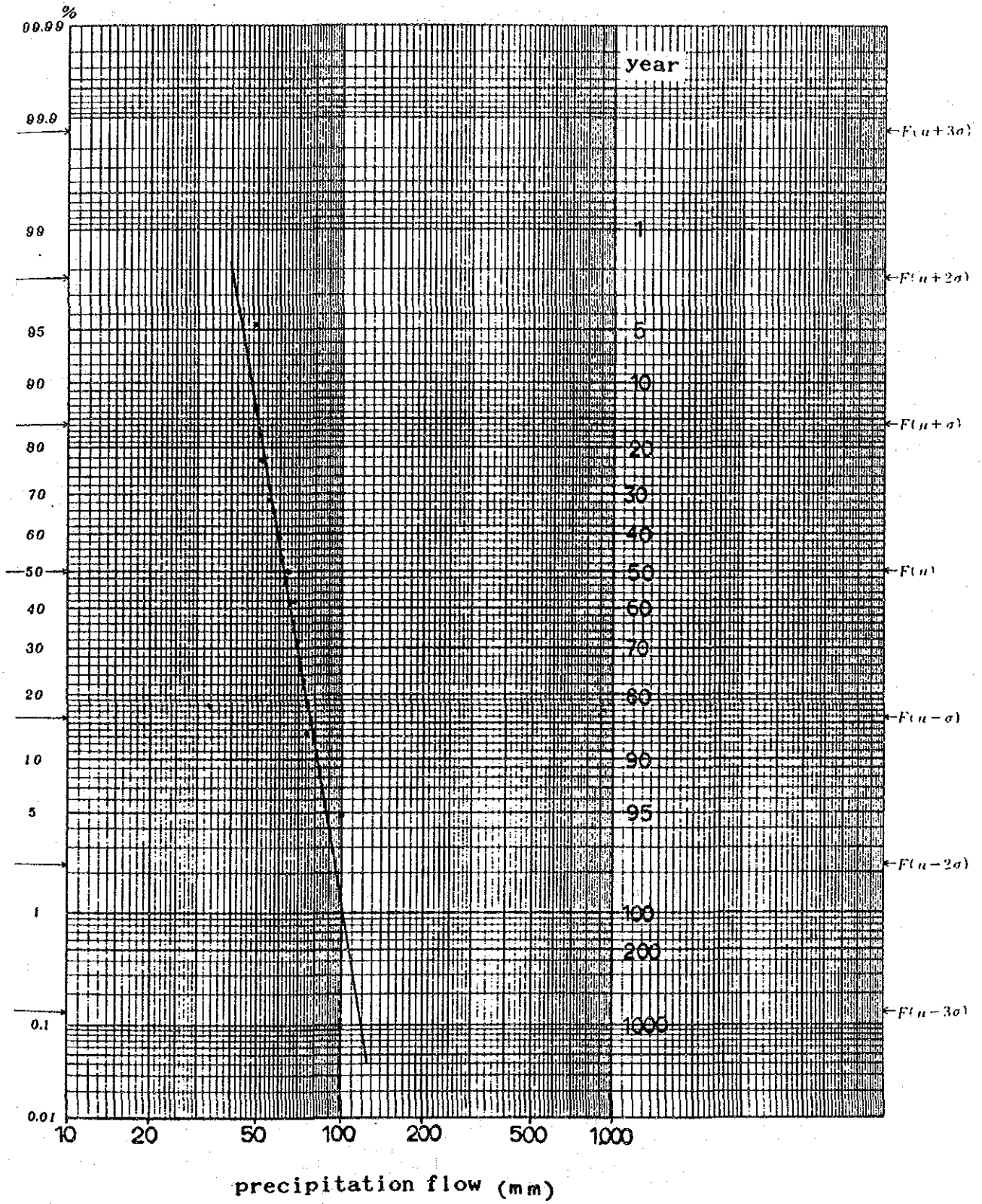


Fig. 3-9-8 Probability Precipitation

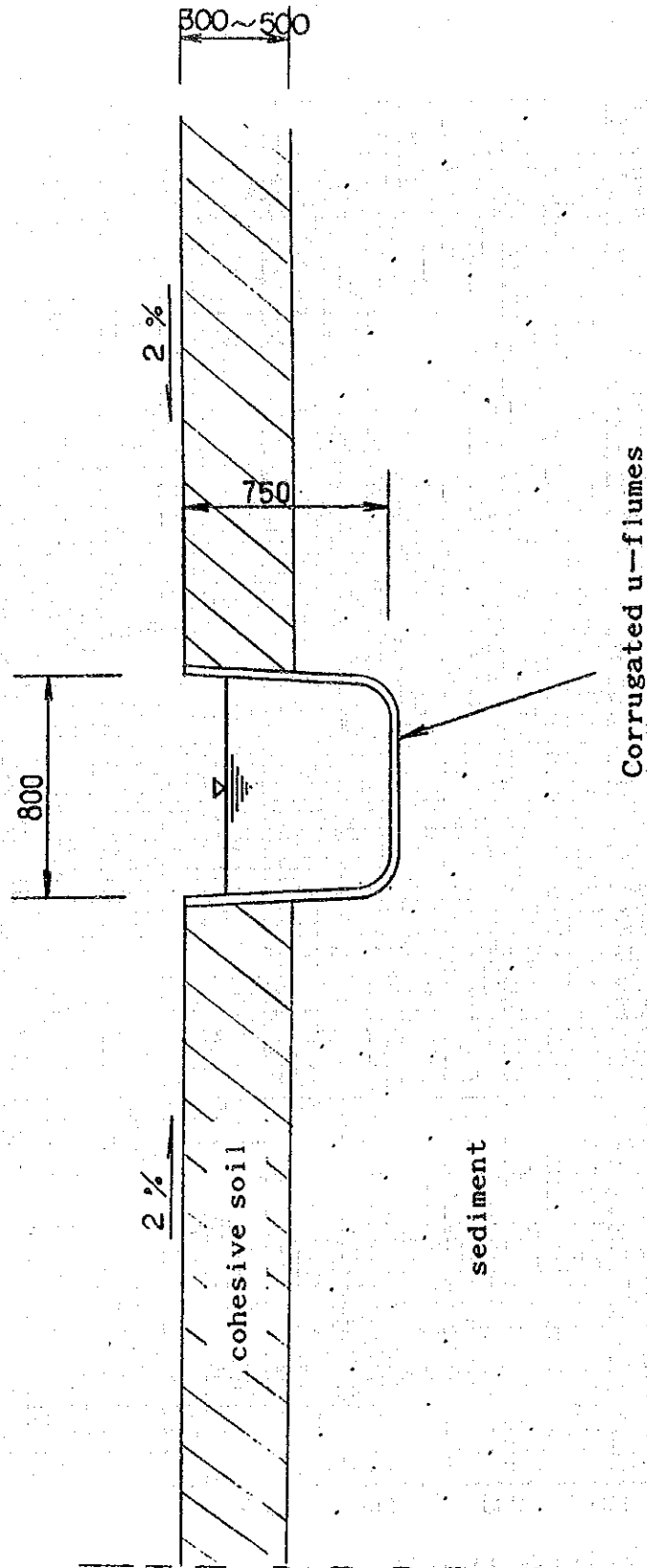


Fig. 3-9-9 Typical Cross Section of Drainage

Table 3-4-1 Hydrologic Measurement of Surface Water (El Bote)

Site	Season	Date	Section of Flow (m ²)	Velocity (m/sec)	Flow Rate (m ³ /sec)	Daily Flow (m ³ /day)
No. 0	Rainy	12, Aug.	0.16	0	0	0
No. 1	Dry	20, Mar.	0.0480	0.2122	1.019×10^{-2}	880.4
	Rainy	13, Aug.	0.0578	0.0896	5.177×10^{-3}	447.3
No. 2	Dry	20, Mar.	0	0	0	0
	Rainy	13, Aug.	0.0114	0.2313	2.631×10^{-3}	227.3
No. 3	Dry	20, Mar.	0.0112	0	0	0
	Rainy	12, Aug.	0.0127	0.0477	6.042×10^{-3}	522.0
No. 4	Dry	20, Mar.	0.0590	0.2380	1.404×10^{-2}	1,213.1
	Rainy	12, Aug.	0.0795	0.1767	1.405×10^{-2}	1,213.9
No. 5	Dry	20, Mar.	0.0318	0.2082	0.662×10^{-2}	572.0
	Rainy	12, Aug.	0.0735	0.1909	1.403×10^{-2}	1,212.3
No. 6	Dry	20, Mar.	0.0450	0.1051	0.473×10^{-2}	408.7
	Rainy	12, Aug.	0.0513	0.1048	5.372×10^{-3}	464.2

Table 3-4-2 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 3-4-3 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
B-R1	Dry	20, Mar.	0.37	0.019	4.9	1.9	0.09	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7.93
	Rainy	13, Aug.	0.037	0.32	4.9	0.68	0.13	n.d.	0.003	0.0002	n.d.	n.d.	7.89
B-R2	Dry	20, Mar.	240	1.5	7,800	910	55	0.33	5.2	0.0004	n.d.	n.d.	2.54
	Rainy	12, Aug.	85	0.54	1,100	190	12	0.11	0.29	n.d.	n.d.	n.d.	2.56
B-R3	Dry	20, Mar.	0.03	1.0	6.5	0.31	0.12	0.009	0.03	n.d.	n.d.	n.d.	7.94
	Rainy	12, Aug.	0.005	n.d.	2.1	0.23	0.076	n.d.	0.003	0.0001	n.d.	n.d.	8.18
B-R4	Dry	20, Mar.	0.011	0.06	3.3	0.53	0.09	0.013	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	8.15
	Rainy	12, Aug.	0.036	0.015	3.9	0.40	0.11	0.003	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	7.76
B-R5	Dry	20, Mar.	0.33	0.09	5.3	1.4	0.12	0.02	0.003	n.d.	n.d.	n.d.	8.10
	Rainy	12, Aug.	0.019	0.002	3.2	0.54	0.11	n.d.	0.001	0.0004	n.d.	n.d.	7.75
B-R6	Rainy	12, Aug.	0.030	0.003	4.3	1.6	0.11	n.d.	0.008	n.d.	n.d.	n.d.	7.77
	Rainy	13, Aug.	0.059	0.022	3.9	1.7	0.065	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7.72
B-D1	Dry	20, Mar.	0.06	0.21	10.4	1.2	0.21	0.04	0.003	n.d.	n.d.	n.d.	7.51
	Rainy	13, Aug.	0.092	0.37	6.9	1.3	0.25	0.055	n.d.	0.0011	n.d.	n.d.	7.77
B-W1	Rainy	13, Aug.	0.19	0.60	1.7	2.5	0.11	0.065	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7.43

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

Electric Conductivity (µs/cm):
 B-R1(Dry)-43, B-R1(Rainy)-54, B-R2(Dry)-240, B-R2(Rainy)-160,
 B-R3(Dry)-43, B-R3(Rainy)-40, B-R3(Dry)-42, B-R3(Rainy)-40,
 B-R4(Dry)-31, B-R4(Rainy)-35, B-R5(Dry)-43, B-R5(Rainy)-40,
 B-R6(Dry)-42

Table 3-4-4 Micro Flow Measurement Data (El Bote B-1)

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
6.73	60	0	Up-flow	0.40
7.23	60	0	Up-flow	0.40

DATE 13 AUG 1991
 TIME 09:58:53 AM
 HOLE No. =B-1
 WATER LEVEL=6.23m

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/s)
6.78	60	0	Up-flow	0.40
7.28	60	0	Up-flow	0.51

DATE 15 AUG 1991
 TIME 11:59:13 AM
 HOLE No. =B-1
 WATER LEVEL=6.28m

DEPTH=10m

Table 3-4-4 Micro Flow Measurement Data (El Bote B-2)

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
7.76	60	0	Up-flow	0.40
8.76	60	0	Up-flow	0.40
9.76	60	0	Up-flow	0.40
10.76	60	1	Up-flow	0.51
11.76	60	0	Up-flow	0.40
12.76	60	0	Up-flow	0.40
13.76	60	0	Up-flow	0.40
14.76	60	1	Up-flow	0.51
15.76	60	0	Up-flow	0.40
16.76	60	0	Up-flow	0.40
17.76	60	0	Up-flow	0.40
18.76	60	0	Up-flow	0.40
19.76	60	0	Up-flow	0.40
20.76	60	0	Up-flow	0.40
21.76	60	0	Up-flow	0.40
22.76	60	0	Up-flow	0.40
23.76	60	0	Up-flow	0.40
24.76	60	0	Up-flow	0.40
25.76	60	0	Up-flow	0.40
26.76	60	0	Up-flow	0.40
27.76	60	0	Up-flow	0.40
28.76	60	0	Up-flow	0.40

DATE 12 AUG 1991
 TIME 11:50:06 AM
 HOLE No. =B-2
 WATER LEVEL=6.76m
 DEPTH=30m

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
7.83	60	2	Up-flow	0.63
8.83	60	0	Up-flow	0.40
9.83	60	6	Up-flow	1.11
10.83	60	6	Up-flow	1.11
11.83	60	0	Up-flow	0.40
12.83	60	3	Up-flow	0.75
13.83	60	1	Up-flow	0.51
14.83	60	0	Up-flow	0.40
15.83	60	0	Up-flow	0.40
16.83	60	0	Up-flow	0.40
17.83	60	0	Up-flow	0.40
18.83	60	0	Up-flow	0.40
19.83	60	0	Up-flow	0.40
20.83	60	3	Up-flow	0.75
21.83	60	0	Up-flow	0.40
22.83	60	0	Up-flow	0.40
23.83	60	0	Up-flow	0.40
24.83	60	0	Up-flow	0.40
25.83	60	0	Up-flow	0.40
26.83	60	0	Up-flow	0.40
27.83	60	0	Up-flow	0.40

DATE 15 AUG 1991
 TIME 10:41:53 AM
 HOLE No. =B-2
 WATER LEVEL=6.83m
 DEPTH=30m

Table 3-4-4 Micro Flow Measurement Data (El Bote B-3)

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
5.36	60	0	Up-flow	0.40
6.36	60	0	Up-flow	0.40
7.36	60	0	Up-flow	0.40
8.36	60	4	Up-flow	0.87
9.36	60	2	Up-flow	0.63
10.36	60	0	Up-flow	0.40
11.36	60	15	Up-flow	2.17
12.36	60	13	Up-flow	1.93
13.36	60	0	Up-flow	0.40
14.36	60	15	Up-flow	2.17
15.36	60	0	Up-flow	0.40
16.36	60	1	Up-flow	0.51
17.36	60	9	Up-flow	1.46
18.36	60	0	Up-flow	0.40

DATE 12 AUG 91
 TIME 10:19:24 AM
 HOLE No. =B-3
 WATER LEVEL=4.36m
 DEPTH=20m

Depth (m)	Time (sec)	Impellor Count	Flow Direction	Velocity (cm/sec)
5.36	60	0	Up-flow	0.40
6.36	60	0	Up-flow	0.40
7.36	60	1	Up-flow	0.51
8.36	60	0	Up-flow	0.40
9.36	60	37	Up-flow	4.77
10.36	60	1	Up-flow	0.51
11.36	60	2	Up-flow	0.63
12.36	60	2	Up-flow	0.63
13.36	60	13	Up-flow	1.93
14.36	60	17	Up-flow	2.41
15.36	60	26	Up-flow	3.47
16.36	60	15	Up-flow	2.17
17.36	60	6	Up-flow	1.11
18.36	60	1	Up-flow	0.51

DATE 15 AUG 1991
 TIME 09:57:51 AM
 HOLE No. =B-3
 WATER LEVEL=4.36m
 DEPTH=20m

Table 3-4-5 Characteristic of Aquifer (El Bote)

Site	Season	Date	Elevation (m)	Thickness of Aquifer	Flow Rate (m/sec)	Flow in Bore Hole(m ³ /day)	Width of Aquifer	Total Flow (m ³ /day)
B-2	Dry	19. Apr.	2,308 to 2,310	2m	0.0040	34.6	250m	172,800
	Rainy	12. Aug.			0.0044	38.0		190,080
		15. Aug.			0.0071	61.3		306,720
	Dry	19. Apr.	2,315 to 2,320	5m	0.0048	103.7		518,400
	Rainy	12. Aug.			0.0040	86.4		432,000
		15. Aug.			0.0052	112.3		561,600
B-3	Dry	19. Apr.	2,302 to 2,314	12m	0.0073	378.4	-	-
	Rainy	12. Aug.			0.0093	482.1		
		15. Aug.			0.0150	777.6		

Table 3-4-6 Chemical Analysis of Groundwater (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
B-B1	Rainy	13. Aug.	0.039	0.065	0.43	0.89	0.006	0.012	0.002	n. d.	n. d.	n. d.	7.97
B-B2	Dry	20. Mar.	0.13	0.14	n. d.	1.3	n. d.	0.04	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	7.70
	Rainy	12. Aug.	0.015	0.080	0.52	2.8	0.007	0.010	n. d.	0.0003	n. d.	n. d.	7.33
B-B3	Dry	20. Mar.	0.11	0.27	n. d.	2.0	n. d.	0.05	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	7.48
	Rainy	12. Aug.	0.014	0.021	0.41	1.2	0.011	0.022	n. d.	0.0004	n. d.	n. d.	7.53
B-M1	Rainy	13. Aug.	0.042	0.12	1.7	0.65	0.17	0.031	n. d.	0.0016	n. d.	n. d.	7.52
B-M2	Rainy	14. Aug.	0.21	0.14	140	2.1	2.5	0.032	n. d.	0.0006	n. d.	n. d.	6.35
B-M3	Rainy	14. Aug.	0.071	0.11	3.9	1.6	0.13	0.043	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	7.30

B:Drilling Hole, M:Interior of Mine

Electric Conductivity (µs/cm) is:
 B-B1(Dry)=30, B-B1(Dry)=30, B-B1(Rainy)=32, B-B3(Dry)=33,
 B-B3(Rainy)=31, B-M1(Rainy)=40, B-M2(Rainy)=85, B-M3(Rainy)=46

Table 3-4-7. Permeability Coefficient Data

(E1 Bote)

Sample Number	BR-1	BR-2	BR-3	BR-4	BR-5
D 10 (mm)	0.2600	0.1100	0.0065	0.0014	0.0014
D 60 (mm)	2.0000	0.6500	0.1900	0.3900	0.5000
Uniformity Coefficient	7.7	5.9	29.2	278.6	357.1
K (cm/sec) by Hazen's Formula	9.02E-02	1.61E-02	5.64E-05	2.61E-06	2.61E-06

K: Permeability Coefficient (cm/sec)

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

Table 3-4-8 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	30	30
2 (Aquifer)	5×10^{-4}	10^{-2}	0	30	30
3 (Aquitard)	10^{-4}	10^{-3}	0	20	30
5 (Aquiclude)	10^{-6}	10^{-3}	0	15	30
7 (Aquifuge)	10^{-7}	10^{-3}	0	5	30

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

Δx = block width(m)

Table 3-5-1 Chemical Analysis of Soil

(El Bote)									(ppm)
No.	Cu	Pb	Zn	Fe(wt%)	Cd	Sb	Cr	As	Hg
BS-1	140	740	1,900	2.6	13.0	20	35	120	0.28
BS-2	220	1,400	3,200	4.2	26.0	26	36	190	0.19
BS-3	470	560	940	3.6	9.0	62	55	74	0.87
BS-4	33	100	130	2.7	2.4	50	36	32	0.66
BS-B1	160	840	4,200	3.7	44.0	39	60	57	3.40
BS-B2	89	1,000	1,900	4.8	19.0	36	110	31	2.30
BS-B3	100	69	190	7.5	7.3	48	170	7	1.20
BS-B4	72	5,300	710	4.2	5.7	32	50	40	1.70
BS-B5	110	130	310	8.3	8.1	42	140	21	1.80
BS-B6	57	120	210	6.7	7.1	68	220	9	1.10
BS-B7	88	94	100	4.9	1.6	61	87	16	1.00
BS-B8	37	67	200	3.2	4.2	28	31	18	0.73
BS-B9	110	98	220	2.7	3.8	35	37	23	0.98
BS-B10	31	83	200	3.2	3.9	37	37	8	1.30

(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 3-6-1 Soil Test Quantity

Dry Season		Rainy Season	
No.	Depth(m)	No.	Depth(m)
BD-1	0.0- 0.6	S-1	0.5- 1.0
	5.0- 5.6	S-2	0.8- 1.2
	10.0-10.6	S-3	0.6- 1.2
	15.0-15.6	S-4	0.5- 1.0
	20.0-20.6		
BD-2	0.0- 0.6		
	5.0- 5.6		
	10.0-10.6		
	15.0-15.6		
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		
Total	19 samples	Total	4 samples

Table 3-6-2 Soil Test Data

(Dry Season)

Sample No.	BD-1					BD-2			
	0.0~ 0.6	5.0~ 5.6	10.0~ 10.6	15.0~ 15.6	20.0~ 20.6	0.0~ 0.6	5.0~ 5.6	10.0~ 10.6	15.0~ 15.6
Depth (m)									
Water Content (%)	10.0	9.7	11.3	3.5	2.3	16.2	15.0	13.7	20.3
Specific Gravity	2.59	2.62	2.60	2.64	2.61	2.62	2.63	2.60	2.60
Wet Density (g/cm ³)	1.573	1.496	1.632	1.593	1.521	1.594	1.630	1.575	1.485
Liquid Limit (%)	24.0	30.0	25.0	26.2	23.0	24.7	22.0	24.0	25.7
Plastic Limit (%)	21.0	19.0	20.0	17.8	20.0	19.5	20.0	20.0	12.6
Angle of Internal Friction (°)	34.0	36.5	32.0	35.0	31.5	26.5	28.0	25.0	22.5
Cohesion (tf/m ²)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	0.5	1.0
Coefficient of Permeability (cm/sec)	3.01 ×10 ⁻³	4.88 ×10 ⁻³	3.24 ×10 ⁻³	2.85 ×10 ⁻³	3.13 ×10 ⁻³	1.06 ×10 ⁻³	3.35 ×10 ⁻⁴	9.84 ×10 ⁻⁵	9.79 ×10 ⁻⁵

(dry season)

Sample No.	D-1		D-2		D-3		D-4		D-5	
	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	0.8~ 1.0	1.5~ 1.7
Depth (m)										
Water Content (%)	16.7	13.4	14.3	15.3	14.6	18.4	8.7	6.5	7.2	9.1
Specific Gravity	2.66	2.63	2.63	2.60	2.62	2.65	2.61	2.61	2.62	2.60
Wet Density (g/cm ³)	1.625	1.590	1.531	1.655	1.630	1.622	1.780	1.695	1.701	1.700
Liquid Limit (%)	22.3	26.0	20.4	34.3	31.0	25.0	38.0	41.0	40.2	39.0
Plastic Limit (%)	18.8	19.0	16.4	21.3	18.0	16.0	8.5	7.6	10.0	6.8
Angle of Internal Friction (°)	21.0	23.0	22.6	24.5	20.5	25.0	19.5	21.0	23.2	19.0
Cohesion (tf/m ²)	1.0	1.0	2.0	1.5	2.0	1.0	5.0	5.0	4.5	5.0
Coefficient of Permeability (cm/sec)	3.38 ×10 ⁻⁵	3.35 ×10 ⁻⁴	1.09 ×10 ⁻⁵	4.07 ×10 ⁻⁵	5.90 ×10 ⁻⁵	1.35 ×10 ⁻⁴	1.03 ×10 ⁻⁵	1.21 ×10 ⁻⁵	7.17 ×10 ⁻⁶	8.71 ×10 ⁻⁶

(Rainy season)

Sample No.	S-1	S-2	S-3	S-4
Depth (m)	1.0~ 1.5	1.0~ 1.5	1.0~ 1.5	1.0~ 1.5
Water Content (%)	36.9	33.5	36.7	14.8
Specific Gravity	2.64	2.61	2.64	2.61
Wet Density (g/cm ³)	1.762	1.685	1.875	1.933
Liquid Limit (%)	37.6	38.2	42.4	23.1
Plastic Limit (%)	25.6	22.8	21.2	19.3
Angle of Internal Friction (°)	25.3	20.6	25.6	31.8
Cohesion (tf/m ²)	1.2	0.9	1.3	0.0
Coefficient of Permeability (cm/sec)	8.52 ×10 ⁻⁵	12.65 ×10 ⁻⁵	8.29 ×10 ⁻⁵	3.95 ×10 ⁻³

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

	Tailing Dam	Tailing
Natural Water Content (W)	14.8 %	35.7 %
Wet Density(ρ_s)	1.933 g/cm ³	1.774 g/cm ³

Table 3-6-4 Consistency Data of Soil

	Tailing Dam	Tailing
Liquid Limit (L.L)	23.1 %	39.4 %
Plastic Limit (P.L)	19.3 %	23.2 %
Natural Water Content (W)	14.8 %	32.7 %
Plasticity Index (Ip)	3.8 %	16.2 %
Consistency Index (Ic)	2.2 %	0.4 %

Table 3-6-5 A Result of Tailing Dam Stability Analysis

Element		Ordinary Condition (Kh=0.00)	Earthquake Condition (Kh=0.15)
Center of Circular Arc	X(m)	50.00	50.00
	Y(m)	2388.00	2398.00
Radius R(m)		6.657	13.728
Resisting Moment MR(tf·m)		17.508	42.811
Sliding Moment MD(tf·m)		26.383	85.909
Safety Factor Fs=MR/MD		0.6636	0.4983

Table 3-7-1 Wind System Data

Times	Date (y.m.d.)		Wind Velocity Data (m/sec)			Wind Direction Data		
	Starting	Ending	Max.	Min	Average	Main Dir.	Count	Total Count
1	91. 3. 15	91. 3. 21	16.0	1.5	7.5	S W	88	127
2	91. 4. 17	91. 5. 1	12.0	0.0	2.5	S	107	181
3	91. 5. 19	91. 6. 11	-	-	-	S E	109	259
4	91. 7. 19	91. 7. 25	-	-	-	S E	66	76

Table 3-7-4 Dust Jar Measurement Data

St	Start time	End time	Dust Weight(mg)*1	Dust Weight(mg)*2	pH
BD-1	3/15 14:50	3/21 12:00	21.2	693.2	7.1
BD-2	3/15 15:40	3/21 10:40	15.9	16.9	7.3
BD-3	3/15 16:20	3/21 10:20	15.3	16.3	7.3
BD-4	3/15 16:55	3/21 13:30	11.3	79.3	7.4
BD-5	3/15 17:10	3/21 11:40	10.5	53.5	7.6
BD-6	3/15 18:00	3/21 10:00	8.8	127.8	7.3

*1 Dust Weight of Insoluble Components (mg)

*2 Dust Weight of Soluble Components (mg)

Table 3-7-5 Chemical Analysis of Falling Dust

Chemical Composition of the Dust Samples

sample Number	SiO ₂ (%)	Al (%)	Fe (%)	Ca (%)	Na (%)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)
BD-1	66	3.1	3.2	0.15	0.14	800	740	1,900	20
BD-4	77	2.7	3.6	0.49	0.17	320	2,400	4,400	33
BD-5	65	2.8	3.3	0.33	0.16	530	1,700	3,800	27
Standard	61	15.6	5	5.17	3.91	55	15	70	0.2

The Ratio of Chemical Composition to Al Contents in the Samples

Sample Number	SiO ₂ /Al	Al/Al	Fe/Al	Ca/Al	Na/Al	Cu/Al ×10000	Pb/Al ×10000	Zn/Al ×10000	Cd/Al ×10000
BD-1	21.29	1.00	1.03	0.05	0.05	258.1	238.7	612.9	6.45
BD-4	28.52	1.00	1.33	0.18	0.06	118.5	888.9	1629.6	12.22
BD-5	23.21	1.00	1.18	0.12	0.06	189.3	607.1	1357.1	9.64
Standard	3.91	1.00	0.32	0.33	0.25	3.5	1.0	4.5	0.01

The Calculation of the Heavy Metal Enrich Ratio

Sample Number	Cu	Pb	Zn	Cd
BD-1	74	249	136	645
BD-1	34	926	362	1222
BD-1	54	632	302	964

Table 3-7-6 Condition of Low Volume Air Sampler

Starting Time	Ending Time	Running Time	Absorption Ratio (l/min)	Absorption Volume (l)
90. 3. 18 10:45	90. 3. 20 17:10	54. 45hrs.	15	48, 975

Table 3-7-7 Low Volume Air Sampler Measurement Data

Sample Weight (mg)	Concentration of Particles in Atmosphere (mg/m ³)
2.0	0.041

Table 3-7-8 Digital Type Dust Monitor Data (1)

(mg/m³)

Site No.	15/Mar	16/Mar	17/Mar	18/Mar	19/Mar	20/Mar	21/Mar	Mean
1	-	0.038	0.037	0.038	-	-	-	0.038
2	-	0.039	0.038	0.038	-	-	-	0.038
3	0.042	0.040	0.038	-	-	-	0.036	0.039
4	-	0.039	0.038	-	0.058	-	-	0.045
5	0.039	0.038	0.038	-	0.036	-	0.036	0.037
6	-	0.039	0.039	-	-	-	-	0.039
7	-	0.038	0.037	-	-	-	-	0.038
8	0.048	0.038	0.037	0.037	-	-	0.034	0.039
9	-	0.038	0.037	-	-	-	-	0.038
10	-	0.040	0.038	0.039	0.043	0.049	0.039	0.041
11	0.048	0.055	0.038	0.038	0.040	0.053	0.038	0.044
12	0.175	0.064	0.041	0.039	0.036	0.099	0.097	0.079
13	-	-	-	0.038	0.049	0.066	-	0.051
14	-	-	-	0.038	0.043	0.062	-	0.048
15	-	-	-	0.038	0.038	0.065	-	0.047
16	-	-	-	0.038	0.039	0.050	-	0.042
17	-	-	-	0.038	0.038	0.048	-	0.041
18	-	-	-	0.038	0.038	0.050	-	0.042
19	0.043	0.046	0.035	0.037	0.038	0.069	0.037	0.044
20	-	-	-	0.037	-	-	-	0.037
21	-	-	-	0.037	-	-	-	0.037
22	-	0.041	0.039	0.038	-	0.045	-	0.041
23	-	0.071	0.040	-	-	-	-	0.056
24	-	0.111	0.037	-	-	-	-	0.074
25	-	0.075	0.038	-	-	-	-	0.057
26	-	0.059	0.038	-	-	-	-	0.048
27	-	0.059	0.042	-	-	-	-	0.051
28	-	0.092	0.045	-	-	-	-	0.069
29	-	-	-	0.038	0.040	0.057	0.040	0.039
30	-	-	-	0.038	0.040	0.055	0.038	0.039
31	-	-	-	0.039	0.043	0.055	0.061	0.041
32	-	-	-	0.040	0.037	0.091	0.040	0.051
33	-	-	-	0.040	0.036	0.091	0.061	0.038
34	-	-	-	0.040	0.038	0.073	0.053	0.039
35	-	-	-	0.040	0.040	0.067	-	0.040
36	-	-	-	0.040	0.040	0.065	-	0.040

Table 3-7-8 Digital Type Dust Monitor Data (2)

(El Bote in Dry Season)								(cpm)
Site No.	15/Mar	16/Mar	17/Mar	18/Mar	19/Mar	20/Mar	21/Mar	Mean
1	-	18	18	19	-	-	-	18
2	-	19	18	19	-	-	-	19
3	21	19	19	-	-	-	17	19
4	-	19	19	-	28	-	-	22
5	19	19	19	-	17	-	17	18
6	-	19	19	-	-	-	-	19
7	-	19	18	-	-	-	-	18
8	23	19	18	18	-	-	17	19
9	-	18	18	-	-	-	-	18
10	-	19	19	19	21	24	19	20
11	23	27	19	18	20	26	19	22
12	85	31	20	19	18	48	47	38
13	-	-	-	19	24	32	-	25
14	-	-	-	19	21	30	-	23
15	-	-	-	19	19	31	-	23
16	-	-	-	19	19	24	-	21
17	-	-	-	19	18	23	-	20
18	-	-	-	19	19	24	-	21
19	21	23	17	18	19	29	18	21
20	-	-	-	18	-	-	-	18
21	-	-	-	18	-	-	-	18
22	-	20	19	19	-	22	-	20
23	-	35	20	-	-	-	-	27
24	-	54	18	-	-	-	-	36
25	-	37	19	-	-	-	-	28
26	-	29	18	-	-	-	-	23
27	-	29	21	-	-	-	-	25
28	-	45	22	-	-	-	-	34
29	-	-	-	19	20	28	20	21
30	-	-	-	19	20	27	19	21
31	-	-	-	19	21	27	30	24
32	-	-	-	19	18	45	20	26
33	-	-	-	19	18	45	30	28
34	-	-	-	19	19	36	26	25
35	-	-	-	19	20	33	-	24
36	-	-	-	19	19	32	-	24

Table 3-7-9 Comparative Data of Digital Type Dust Monitors

Date	Counting Time (Min.)	Dust Monitor Serial Numbers				
		1100754	1100762	1100766	1100768	1100774
15/Mar	30	0.993	1.259	1.010	1.159	1.000
16/Mar	12	0.944	1.272	1.046	1.174	1.000
17/Mar	10	0.998	1.267	1.030	1.126	1.000
18/Mar	10	1.052	1.263	1.013	1.078	1.000
19/Mar	15	1.039	1.280	1.014	1.093	1.000
20/Mar	25	1.121	1.338	0.921	1.149	1.000
21/Mar	10	1.117	1.335	0.924	1.149	1.000

Table 3-9-1 A Result of Tailing Dam Stability Analysis

Element		Ordinary Condition (Kh=0.00)	Earthquake Condition (Kh=0.15)
Center of Circular Arc	X(m)	100.00	100.00
	Y(m)	2435.0	2435.0
Radius R(m)		24.0	24.0
Resisting Moment MR(tf·m)		840.456	797.318
Sliding Moment MD(tf·m)		448.808	623.934
Safety Factor Fs=MR/MD		1.8726	1.2779

Table 3-9-2 Day Probability Precipitation

Order i	Date	Precipitation (mm)	$\frac{2i-1}{2N} \times 100$
1	1983.8.21	98.1	4.55
2	1990.8.23	83.8	13.64
3	1983.8.8	81.8	22.73
4	1991.7.12	79.7	31.82
5	1984.7.11	76.1	40.91
6	1986.7.13	73.5	50.00
7	1988.6.14	69.4	59.09
8	1981.6.15	64.7	68.18
9	1985.6.26	61.8	77.27
10	1982.7.1	58.5	86.36
11	1989.8.21	49.7	95.45

4. パラル地域調査結果と対策

4. パラル地域調査結果と対策

4-1 一般概要

4-1-1 位置・地形・気候

パラル(Parral)選鉱場は、メキシコ北部チワワ州南端のイダルゴ・デル・パラル市の西方約5km、標高1,800mに位置する。気候はステップ気候で、年平均気温は16℃である(第4-1-1図)。5月～9月の5ヶ月間が雨期、10月～4月が乾期にあたる。年間降雨量は平均約500mmである。乾期には強い西の季節風が吹く。

4-1-2 沿革・概要

パラル選鉱場は1967年、共同組合の運営により操業を開始し、1983年以降にCFMがこれを引き継いで現在に至っている。

チワワ州はメキシコ最大の鉱産州で、銀・鉛・亜鉛の産出量は第1位、銅は第2位を占める。パラル地域には中小の金・銀・鉛・亜鉛鉱山が約30社あり、パラル選鉱場はこれら鉱山から産出される硫化鉱・酸化鉱を買鉱し、硫化鉱からは浮選により精鉱を、酸化鉱からは青化精錬により合金銀殿物を、それぞれ回収している。浮選、青化精錬工場の処理能力は各400t/day、240t/dayである。

浮選はエルボテ鉱山と同様、粗鉱の鉛・亜鉛品位によって総合浮選(鉛亜鉛混合精鉱を採取)と優先浮選(鉛および亜鉛精鉱を採取)とに適宜切り換えて操業を行っている。優先浮選の場合には月間200kg程度の青化ソーダを使用する。青化精錬も粗鉱品位その他の状況によって間欠操業を行っているが、操業時には月間で1,500～2,000kgの青化ソーダを使用しており、これが鉱害問題に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

堆積場には、青化ソーダを含んだスライム(鉱滓)が多量堆積されており、近接河川にこれらスライムおよび排水が流入するおそれがあるため、その対策が必要である。

選鉱用水使用量は一日あたり約600m³で、このうち400m³は坑内水を、残り200m³は場内循環水を利用している。排水処理は行っていない。

4-2 地質

4-2-1 地質概説

調査地域は、チワワ(Chihuahua)州南部の西シエラマドレ山脈西縁に位置する、Upland(中山形)にあり、州都チワワから南へ約190kmのところを位置している。

このUplandは第三紀に生じた引張性断層によって形成されたと考えられている。

調査地域の基盤は早期白亜紀のパラル層であり、走向NW-SE、傾斜40~60° NEを示し、緻密で層状の局部的に砂岩薄層を挟在する頁岩層によって構成されている。これを、第三紀鮮新世の安山岩溶岩が不整合に覆い、さらに前二者を貫いて石英安山岩、流紋岩などの酸性岩類が、南北方向に帯状の低丘陵を形成して分布している。

新第三紀以降になると、次第に風化・侵食作用が進み、岩石物性の違いによる差別侵食の結果、堅硬な貫入岩体が残丘状に露出する特異な地形を呈することとなり、その後、第四紀になるとパラル川が蛇行しながら河岸段丘を形成して現在に至っている。

パラル地域は、1631年から採掘が始まったメキシコでも有数の鉱床地帯であり、酸性岩類の貫入によって生じた鉱脈からは鉛、亜鉛をとまなう多量の銀を産する。また、貫入岩との接触部付近には黄鉄鉱を伴って金が局部的に産する。

4-2-2 地質及び地質構造

調査地域については写真判読、現地踏査、ボーリング調査を実施して地質の把握に努めた。その結果、調査地域の基盤は早期白亜紀に属する走向NW-SE、傾斜40°~60° NEのパラル層であることが明らかとなった(第4-2-1図、第4-2-2-図、第4-2-3図)。パラル層は調査地域の南半部に広く分布し、堆積場を含めたパラル川南岸に露出している。これを推定走向WNW-ESE、傾斜NNE方向を示す不整合によって、漸新世に属する安山岩が覆っている。この安山岩は調査地域の北東部に分布し、パラル川沿いに露出している。漸新世の石英安山岩及び流紋岩は、パラル堆積場の北方のパラル川北岸及び東方に分布し、特に堆積場東方ではパラル川を横切り、南北方向に伸びた幅150~300mの狭長な帯状の丘陵を形成して露出している。この酸性岩類は南北方向性を持つ流紋岩岩脈を伴い、パラル層及び安山岩層を貫いている(第4-2-1図)。パラル川沿いには層厚5m以上の段丘堆積物が分布し、パラル堆積場北方のパラル川南岸では、同層中から粘性土を採掘し、レンガを製造している。

断裂系調査位置を第4-2-6図に、また断裂の方向をウルフネットに表したものを第4-2-7図に示す。これによると、断裂はN-S~NNW系やENE~WNW系が卓越する。構造的には、ENE-WSW方向性の断層が、WNW走向のパラル層や、南北の貫入方向を有する酸性岩類を切って、調査地の南半部に数本存在する。これらの断層の性質は不明瞭であるが、地形から判断すれば、北西側のブロックが相対的に落ちているものと考えられる。次に、ボーリング調査結果を主体として各地層の特性を記す。なお、ボーリング位置を第4-2-4図に、ボーリング柱状図を第4-2-5図に示す。

(1) 白亜系パラル層

パラル層は、地下水観測用のB-3孔及び土質試験用のD-1、D-2孔で確認された。D-1及びD-2孔に関しては土質試験を主体としたので、岩層の判定のみを行い、詳細な観察はB-3孔のボーリングコアのみを使用して実施した。

その結果、B-3孔の地点ではGL.-6.75m以深に頁岩を主とし、一部砂岩を伴うパラル層が分布していることが判った。

① 頁岩

頁岩はパラル層の主体をなす岩相であり、B-3孔ではGL.-6.75~-39.65mに存在する。淡緑灰~灰白色を呈し、葉理の発達した堅硬な岩質である。葉理の傾斜角から判断すると、パラル層の傾斜は概ね40°~60°と推定される。全体にボーリングコアの形状は長柱状の区間が多いが、これは割れ目が少ない訳ではなく、鉍化作用によって割れ目が石英、黄鉄鉍脈により充填癒着している場合が多いためである。黄鉄鉍脈中には黄銅鉍を伴うこともある。割れ目は不規則なものが多く、剪断性節理は認められなかった。

② 砂岩

砂岩はB-3孔ではGL.-39.65~-40.00mに存在する。灰白色を呈し、アルコーズ質で粗粒な砂岩である。割れ目はこの部分ではほとんど認められない。

(2) 新第三系漸新統

新第三系は安山岩、石英安山岩及び流紋岩、流紋岩岩脈からなり、調査地域の北半部及び中央部に分布している。

① 安山岩

安山岩はB-1孔ではGL.-3.10m以深、B-2孔ではGL.-8.90m以深、B-4孔ではGL.-6.20m以深に存在する。

淡灰~灰白色を呈し、長石や輝石の斑晶を多く含むひん岩質の安山岩である。B-1、B-4孔では変質しているが、全体に堅硬・緻密である。B-2孔では変質が著しく、カオリン化、緑泥石化が進み脆弱となっており、黄鉄鉍も晶出している。

② 石英安山岩及び流紋岩類

これらの酸性岩類はボーリング調査では確認できないが、パラル選鉍場の近隣

に露出している。灰白色を呈し、全体として珪化、カオリン化した堅硬な酸性岩であり、流紋岩岩脈に沿って南北方向に帯状に分布している。

③ 流紋岩岩脈

石英安山岩及び流紋岩類のメンバーであり、その一部はパラル川本川にも露出している。灰白～淡黄白色を呈し、石英斑晶を含む堅硬な流紋岩である。白亜系のパラル層を貫いて南北方向に帯状に分布しており、差別侵食により岩脈が突出し、その形状が一見して判る。

(3) 第四系

第四系は段丘堆積物と現河川堆積物からなり、パラル川に沿って分布している。

① 段丘堆積物

段丘堆積物は地下水観察用のB-1、B-2、B-3孔の3孔全部で確認されている。最下流に位置するB-1孔は層厚が3.10mであり、下位より礫層、礫混じりシルト質細粒砂層、砂礫層からなる。

中央付近に位置するB-2孔は層厚が8.9mであり、下位より礫層、礫混じりシルト質細粒砂層、シルト質細粒砂層、砂質シルト層、シルト質極細粒砂層からなる。

最上流に位置するB-3孔は層厚が6.75mであり、下位より極細粒砂層、砂質シルト層、礫混じり砂質シルト層、シルト層、シルト混じり細粒砂層からなる。礫を含まない砂層やシルト層は淘汰が良いが、礫を含む部分は淘汰が悪い。これは、B-3孔付近が、かつて細粒な物質を比較的穏やかに堆積するような、沼沢地的環境にあったことを示唆しており、B-3地点の東方に近接して、南北に貫入している第三系の酸性岩類から成る狭長な高まりが、これに関与していた可能性が高いと考えられる。

② 現河川堆積物

これはパラル川河床の堆積物であり、酸性岩類、安山岩、頁岩等の円礫を主とする淘汰不良な砂礫である。

4-3 電気探査

4-3-1 探査方法

エル・ボ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2-1測線に、合計60測点を配置して実施した。この測点配置図を第4-3-1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。

4-3-2 探査結果

解析比抵抗値は次の4グループに区分し、第4-3-2図に示した。

S : 数10～数1000 $\Omega \cdot m$

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5m～25mで、平均10mである。S帯の厚い所はパラル選鉱場周辺とパラル川沿いである。S帯の地質は現世の段丘堆積物や、白亜系と第三系の風化土層からなる。

L帯は1-12-28測線周辺の、S帯の下部を形成している。この測線沿いにはパラル選鉱場や堆積場が位置し、測点No. 19の地下400mでは地下水の汲み上げを行っている。この測線の東側や西側はM帯やH帯に移行する。このL帯はS帯の下部に、深さ150m以上にわたって形成されている。このL帯の地質は白亜系の頁岩からなる。

M帯は上述したL帯の周辺やパラル川沿いに形成されている。M帯の地質は白亜系頁岩、第三系安山岩溶岩、石英安山岩貫入岩である。

H帯はパラル選鉱場の東側に分布する第三系頁岩・石英安山岩貫入岩分布域や、同選鉱場の北東側に分布する第三系安山岩溶岩分布域に形成されている。

ボーリングによる地下水調査では、M帯の一部で地下水の流動が観測されたが、H帯では観測されなかった。このことから、M帯が半帯水層、H帯が難透水層または不透水層と判断される。

地質構造的には、パラル選鉱場の東側を、南北に走る石英安山岩貫入岩を境として、その西側ではL帯（低比抵抗帯）が、東側ではM帯（中比抵抗帯）及びH帯（高比抵抗帯）が分布している。パラル川はこの南北の構造を切って発達し、この川沿いでもL帯が形成されている。L帯は南北の主構造と、それを切る東西の副構造に規制され形成されていると判断される。

4-4 水理

調査地域の水系は、第4-1-1図に示すとおりであり、パラル川が堆積場の東西両脇を北流する2本の支川を合流し、蛇行しながら西から東へ流下している。本調査は、CFM選鉱場の廃滓堆積場が地下水及び表流水へどのような影響を与えているかを把握することを目的としており、第4-4-1図に示す各地点で流量、水質等の調査を実施した。

4-4-1 表流水

調査地域の河川は、パラル川本川以外は乾期・雨期ともに涸沢となっている支川が多い。パラル川本川は乾期には流量が減少し、容易に渡河できるが、雨期にはパラル川本川上流域で降雨量が急増するためか、増水が著しく、激流となり、流路形態も一変する。なお、P-R1地点では、東側から民間の選鉱場の汚濁排水が流入し、No.4とP-R4地点間のパラル川北岸では、休止鉱山の坑内からの揚排水が流入している。本調査では、乾期・雨期各々次の地点で流量・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 P-D1及びP-R1~P-R5

(雨期) 流量調査地点 No.1~No.5

水質調査地点 P-D1, P-W1及びP-R1~P-R7

(1) 表流水の流量

本調査では、No.1~No.5の5地点において河川横断面図を作成し、プライス電気式回転流速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4-4-1表に示すとおりである。これを模式化すると第4-4-2図のようになる。

第4-4-2図を検討してみると、乾期には下流へ行くほど流量が減少し、雨期には逆に増大している。これは季節的要因、即ち降雨量、蒸発量等の差が大きく関与している。尚、No.1~No.2地点間、No.2+No.3~No.4地点間、No.4~No.5地点間の3区間で流量の著しい変化が認められる。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

i) No.1~No.2地点間の流量増加

この区間には西岸にCFMの選鉱場、東岸に民間の選鉱場が存在し、特に後者からの濁排水が著しく、No.2地点での表流水はほとんどここからのものと考えてもよい。

ii) No.2+No.3~No.4地点間の流量減少

この区間では見掛け上、No.2とNo.3地点の合計流量である $2,060.7\text{m}^3/\text{day}$ から、No.4地点の $1,453.2\text{m}^3/\text{day}$ へと減少し、 $607.5\text{m}^3/\text{day}$ という多量の表流水が消失している。これはこの区間が $250\sim 300\text{m}$ しかないので、蒸発の影響はあまりないと考えられる。また、河川水の取水も行われていない。従って、No.3~No.4地点間の広い河床に多量の砂礫が堆積しているため、河川堆積物中を伏流しているか、地下への浸透が想定され、これによって見掛け上は流量が減少しているものと考えられる。

iii) No.4~No.5地点間の流量減少

この区間は約 2.39km あり、大きく蛇行しながら集落地の間を流下している。また、河床及び河岸には安山岩が露出しており、河川堆積物は余り厚くないようである。この区間で約 $500\text{m}^3/\text{day}$ が消失している原因は、主に地下への浸透や、河川水の利用、浅い井戸からの揚水などによるものと考えられる。

② 雨期における流量の変化

i) No.1~No.2地点間の流量増加

乾期と同様No.1地点付近は涸沢となっており、民間の選鉱場からの濁排水がNo.2地点での表流水のほとんどをなしていると考えられる。

ii) No.2+No.3~No.4地点の流量増加

パラル川本川の流量は乾期と異なり、大量の土砂の移動を伴う濁流となり、流路が変化し、その幅が著しく広がっている。この区間は河川堆積物が多いため、二点間の流量の差約 $700,000\text{m}^3/\text{day}$ がNo.3地点で伏流水として存在し、No.4地点付近で表流水に付加されたものと考えられる。

iii) No.4~No.5地点間の流量増加

この区間には露岩も多く、No.4地点より上流に比べて、堆積物が余り厚くないようである。従って、伏流水が表流水に加わるだけでなく、支川からの流入量も

多いと考えられる。

③ 乾期及び雨期における流量変化とその性質

調査地域における流量の季節的变化はパラル川本川で著しく、乾期には渇水状態にあるが雨期には濁流となるほど増水している。その流量のオーダーは乾期では $10^3 \text{ m}^3/\text{day}$ であるが、雨期では $10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ を示している。このことはパラル川本川の集水面積が非常に広いことに起因している。

しかし、廃滓堆積場付近の支川では季節による変化が認められない。これはパラル川本川に比較して集水面積が狭いことに起因している。

(2) 表流水の水質

本調査では、P-D1、P-W1、P-R1～P-R7の9箇所（第4-4-1図）で表流水を採取し、10項目の汚染物質の化学分析とともに、pHの測定も行った。P-D1試料は堆積場から、P-W1試料は選鉱排水から、P-R1～P-R7試料は河川から、それぞれ採取した。第4-4-3表に示すように、調査地域を流れているパラル川は、乾期と雨期では流量、濁度が著しく異なる。

① P-R3地点の状況

P-R3地点付近はCFM選鉱場よりも上流に位置し、乾期にはFeを除けば他の物質をほとんど含んでいない、比較的清浄で透明な表流水が流れている。しかし、雨期には Cr^{6+} 、CNを除く総べての汚染物質を含んだ濁水に変化し、特にPb、Fe、Hgなどは基準上限値（第4-4-2表）を越えることが明らかになった（第4-4-3図）。パラル川上流域での降雨量の増加が当地域内のパラル川本川の流量増加に関わっているのであるから、単純に考えれば表流水の汚染物質が希釈されて、分析値が全体的に低くなりそうなものである。しかし、これについては、P-R3地点直上流北岸にはいくつかの鉱山があり、大きな支川も流入しているので、雨期においては降雨の影響によって排水、鉱滓ならびに支川河床に集積した汚染物質が乱され、パラル川本川に混入する割合が増加していると考えられる。

② P-R4地点の状況

P-R4地点は、CFM選鉱場及び民間の選鉱場の排水が流入する南側の小支川が、パラル川と合流した地点に位置し、季節に余り関係なく様々な汚染物質が検出される。これは南側の支川から常時汚染物質が供給されていることを意味している。雨期のデータではパラル川本川の上流における同一汚染物質の混入によってその

傾向は不鮮明であるが、乾期のデータではCu, Pb, Zn, Fe, Cd, TotalCr, Cr⁶⁺, CNなどの汚染物質がこの支川から供給されていることが明瞭である。特に、CNに関しては自然に存在する物質ではなく、CFM選鉱場で使用されているものであるから、少なくともP-R4地点付近まではCFM選鉱場からの排水の影響があることは確実である。なお、雨期には増水によって希釈され、検出できなかった。

③ P-R5～P-R7地点の状況

P-R5～P-R7地点の3地点間ではCr⁶⁺, CNを含まず、成分及びその比率が似ており、変化が少ないが、PR-7地点でTotalCrがわずかに増加し、基準上限値を越えている。これについてはP-R7地点直上流の北側から流入している支川による影響が考えられる。この区間の汚染物質の量は、P-R5地点の乾期と雨期の表流水の分析結果を比較しても大差はなく、季節的変化の影響はほとんどないと考えられる。

④ P-W1及びP-D1地点の状況

P-W1地点はCFM選鉱場であり、この選鉱排水は全部廃滓堆積場に排水されている。従ってP-W1地点と廃滓堆積場にあるP-D1地点の表流水は第4-4-3表に示すとおり、成分とその割合が似ている。また、当選鉱場では、P-M3地点から汲み揚げた鉱山の坑内水を選鉱用水としている為、この用水の影響を受けていることは明らかである。P-W1, P-D1地点のサンプル中に含まれる成分は、この用水と鉱石の成分ならびに選鉱用薬品（特にCN）の量によって最も左右されており、季節的変化による影響はP-D1地点で若干ある程度にすぎないと考えられる。

P-W1, P-D1地点ではCr⁶⁺は検出されず、CNは常に含まれている。乾期のデータではCu, Pb, TotalCrが基準上限値を越え、雨期のデータではさらにZn, Fe, Cd, Hgも基準上限値を越えていた。前述したとおり、CNがパラル川本川のP-R4地点で乾期に確認されているので、当選鉱上の廃滓から流出する物質がパラル川を汚染の一因となっていることは明らかである。第4-4-3図を見ればCu, Pb, Zn, Cd, TotalCrの場合もそれを裏付けている。雨期においては不明確であるが、Pb, Feによる汚染の一因となっている。

⑤ P-R1及びP-R2地点の状況

P-R1地点は廃滓堆積場東方の支川対岸に存在する民間の選鉱場からの排水が合流する地点である。この地点のサンプルはCFM選鉱場の表流水とはやや異なる特徴があり、第4-4-3図で判るとおり、乾期にはFe, As, 雨期にはPb, Fe, Asが基準上限値を越えてP-R2地点まで到達している。特にFe, Asに関してはこの民間の選鉱

場が主な汚染源となっていることは明白である。但し、現状ではパラル川本川へのAsによる汚染の影響はまだ出ているとは言えない。

Cr⁶⁺の検出された地点はP-R1とP-R2の2地点だけであり、しかも乾期だけであった。特に明瞭な供給源はないが、酸性貫入岩体の分布位置と一致していることから、これに伴う鉱化帯から供給された可能性がある。

なお、下流のP-R5地点では乾期においてPb、Feのように基準上限値を越え、しかも上流のP-R4地点より高い値を示す場合があり、Asも存在している。この地点には南岸から排水が流入しており、この水によって汚染されているものと考えられる。

pH値についても、第4-4-3図に示すとおり、乾期にはP-D1地点でpH8.90を示し最もアルカリ性であるほかは、全地点共にpH8.20~8.48のほぼ一定に近い弱アルカリ性を示しており、廃滓堆積場からの影響は受けていない。

雨期にはP-D1地点でpH11.05という強アルカリ性を示し、その影響は南側の支川沿いのP-R1、P-R2地点に及びpH9.00以上となっている。しかし、その影響はパラル川本川には表れておらず、パラル川本川沿いのP-R3~P-R7地点では、pH7.80~7.97のほぼ一定した弱アルカリ性の値を示している。

電気伝導度は堆積場表流水(P-D1)、選鉱排水(P-W1)、及び河川のP-R1、P-R2地点のものが高い。

以上のことから、雨期になると流量が増大するため、より広域的な汚染しか表れず、局所的な汚染は不鮮明となり、逆に乾期になると局所的な個々の汚染が明瞭になる傾向があることが判り、主な汚染源とその汚染物質を特定することができた。

4-4-2 地下水

CFMの選鉱場及び廃滓堆積場から流出する汚染された水が、どの程度地下水に影響を及ぼしているかを検討するために、電気探査、観測孔による流量(流速)、水質の調査を実施した。

(1) 地下水の流動量

本調査ではパラル川に沿って下流から上流へB-1~B-3孔の3本、並びにB-2孔とB-3孔の間の河川の屈曲地点付近にB-4孔の1本、合計4本の観測孔を掘り、帯水層の位置と地下水の流速を求めた。この結果は第4-2-5図のボーリング柱状図、第4-4-4図の微流速測定結果図、第4-4-4表の微流速測定結果一覧表に示すとおりである。従って、観測孔中に確認された帯水層は次のとおりである(第4-4-4図、第

4-4-5図、第4-4-6図)。

①帯水層の分布状況

i)B-1孔

新第三系安山岩層中の帯水層：EL.約1,727～1,731m間

ii)B-2孔

新第三系安山岩層中の帯水層：EL.約1,732～1,735m間

iii)B-3孔

段丘堆積物中の帯水層：EL.約1,742～1,745m間

白亜系パラル層の頁岩層中の帯水層

：EL.約1,712～1,742m間

iv)B-4孔

新第三系安山岩層中の帯水層：EL.約1,744～1,745m間

ここで、帯水層の分布状況を検討するために、EL.1,710m,1,745m及び1,730mにおける地下水の比抵抗等値線図を作成すると第4-4-5図のようになった。その結果、EL.1,710m及び1,730mでは、 $150\Omega\cdot\text{m}$ 以下の低比抵抗帯がほぼ貫入岩体の分布地域で分断され、EL.1,720mでのみ低比抵抗帯が連続していることが明らかとなった。なお、EL.1,740m以浅はデータが少なく、大半が第四系堆積物であるので値にバラツキが多く作図が困難である。

従って、帯水層の分布は少なくとも $150\Omega\cdot\text{m}$ 以下の低比抵抗帯とほぼ同じと考えても差し支えない。地下水の流動方向は確かではないが、地形から判断して概ねNE方向に流下しているものと考えられる。

以上の結果をまとめると第4-4-5表のようになる。

②地下水の挙動

地下水の季節変化は、平均流速の変化に現れているが、地下水位についても乾期と雨期では大きく状況が異なる。B-1孔では、雨期になると乾期より約0.2m水位が上昇していた。B-2孔では乾期に地下水がなく、雨期になると孔底より約5.3～5.8mまで地下水が存在していた。B-3孔においては更に水位差が増大し、約19.3～

19.6mに達している。従って、調査地域内ではCFM選鉱場の位置する付近において、乾期になると著しい地下水位の低下を起こしていると考えられ、当然その流量も減少することは明らかであり、第4-4-5図に示される地下水流の流下方向にある地域にその影響が出るのが予想される。この主原因はP-M1~P-M3地点において、鉱山の坑内水を大量に揚水していることにある。揚水による影響をなくすには、少なくともB-3孔付近での地下水位をEL. 1,730m(GL-19.15m)程度以上に保つ必要があり、乾期における平均流速を第4-4-4表に示す0.0103m/secと仮定すれば、少なくとも $0.637 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ の増量を見込まなければならない。

(2) 地下水の水質

本調査では、P-B1~P-B4, P-M1~P-M3の7箇所(第4-4-1図)で地下水を採取し、10項目の汚染物質の化学分析とともに、pHの測定を行った。P-B1~P-B4試料はボーリング孔から、P-M1~P-M3試料は坑内から採取した。第4-4-6表にその結果を示す。

① P-B1地点(B-1孔)

P-R5地点に隣接しているにも関わらず、全体的にP-R5地点の表流水よりも各汚染物質の濃度が高く、乾期にはPb, Fe, 雨期には更にHgも基準値を越えていた。この地点には南側から排水が流入しており、この水が浸透して汚染物質の濃縮を生じていると考えられる。特にFeの含有量が異常に多いのが特徴的である。

② P-B2地点(B-2孔)

P-R6地点に隣接しており、P-R6地点の表流水及びP-B1地点(B-1孔)の地下水と類似した成分で、Pb, Feが基準上限値を越えている。

③ P-B3地点(B-3孔)

地下水は、乾期にはPb, Fe, 雨期には更にZn, Cdも基準上限値を越えていた。この地点は、地下水位の変動が著しく、雨期と乾期では約11.5mの水位差があった。従ってこのことが地下水の性質の変化に関連しているのではないかと考えられる。また、P-B3地点の南西方に位置するP-M3地点の地下水の成分と比較すると、Zn, Cdの濃度が他のサンプルに比べて共に非常に高く、雨期にはPb, Zn, Fe, Cdが基準上限値を越えているという共通の特徴を示した。これは、少なくともP-M3地点で揚水されている地下水と同一性質の地下水がP-B3地点の浅所に存在していることを示している。P-M3地点の地下水はGL. -150m(標高1,614m)及びGL. -135m(標高

1,629m)より汲み揚げています。

④ P-B4地点(B-4孔)

地下水は、P-B1～P-B3地点のものと全体的には似た性質であり、Pb, Feが基準上限値を越えているだけである。

⑤ P-M1及びP-M2地点

パラル川の兩岸に位置し、サンプル中の成分並びにその割合は酷似しており、全く同一の地下水層のものと考えられる。この分布は、流紋岩岩脈を伴う酸性火山岩類の分布に一致しており、何らかの関係があると考えられる。P-M1地点の地下水はGL.-82m(標高1,672m)より、P-M2地点の地下水はGL.-65m(標高1,696m)より汲み揚げられているので、少なくともその深度付近に分布する酸性火山岩類中の地下水と考えられる。

⑥ P-M3地点

地下水はGL.-135m(標高1,614m)より揚げられており、Pb, Zn, Fe, Cd, Hgなどが基準上限値を越えている全体的に重金属を多く含んだ地下水であり、鉍化帯中に存在していることを示している。これはP-B3地点の地下水にも影響を与えていることは前述したとおりである。また、この地下水が選鉍用水として利用されていることから、廃滓堆積場の表流水にもその影響が現れている。

pH値についても、第4-4-3図のようにP-M3付近でpHが最低となり酸性を示しているが、流紋岩岩脈の分布域より下流ではP-B4(B-4孔)のpH8.83を除けば、総てpHが7.28～7.69の範囲にあり、全体として弱アルカリ性を示している。

⑦ 廃滓堆積場浸透水の影響

CFM選鉍場の廃滓堆積場からの浸透水が地下水に及ぼす影響について考察してみると、P-D1地点の表流水は、P-M3地点から揚水された酸性(pH4程度)の地下水を使用して排出され、その過程で強アルカリ性(pH11程度)となったものであり、その成分はP-M3地点の地下水の影響を受けている。逆に、P-D1地点の表流水で基準上限値を越えているようなCu, totalCrは総べての地下水のサンプルで少なく、CNに関しては全く検出されていない。従って、廃滓堆積場から浸透する水が地下水に与える影響は現状ではほとんど無いと考えられる。

電気伝導度でも、P-M3地点やP-B3の地下水が高く、ほかの地下水は低いので、P-B3の地下水はP-M3の地下水の影響を受けていると考えられる。

4-4-3 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、パラル鉱山周辺の最適な地下構造モデル及び水理モデルを作成し、鉱山周辺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により、地下水位面や地下水の流れの方向、速度を明かにし、用水の有効利用、鉱山排水のリサイクル、鉱山から発生する溶存物質の分布・拡散予測などに資した。

(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

解析範囲は南北方向に3.0km、東西方向に2.0kmの矩形を呈する(第4-4-8図)。解析範囲の南西部にはパラル鉱山が位置し、坑内からは選鉱用水やパラル市の下水道用水を汲み上げ、地下水の水位低下をもたらしている。また、パラル鉱山の鉱脈や周辺の断裂系は南北の走向方向が卓越し、東西方向の断裂系を伴い、これら断裂系が地下水の流動を規制している。従って、坑内からの揚水による地下水位低下や、鉱山排水の浸透予測のために、上記の断裂系の方向に対応する軸方向及び地下水の水位低下の影響範囲を含む解析範囲に設定した。解析深度は、市水源が地表下150mから揚水しているため、海拔1500mまでとした。

地域の分割は南北方向に30ブロック、東西方向に20ブロックとし、1ブロックが100m×100mとなるように均等に分割した。図面では東西方向をX軸、南北方向をY軸とし、西端をX1、北端をY30とした。深度方向には9層に分割し、最上位に空気層を加え、計10層とし、図面上では最上位層をZ1とした。水理状況の明かな表層付近は10~20mと薄く、深部では50mと厚く分割した。各ブロックの標高はブロックの中心の標高で代表した(第4-4-9図)。

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、パラル川を挟んで南側には白亜系の泥岩が、北側では第三系の安山岩溶岩が分布し、これらを貫いて石英安山岩が南北方向に分布している。これら岩石は鉱脈周辺や断裂の発達するパラル川沿いを除き、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、帯水層は鉱脈分布域、貫入岩と白亜系の接触部、白亜系や第三系と段丘堆積物の境界部付近やパラル川沿いの東西方向の断裂部に、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段丘堆積物分布域に、また不透水層は石英安山岩貫入岩や、山体部の白亜系や第三系に対応している。

粒度試験から求め透水係数は、第4-4-7表に示すように、難透水層の段丘堆積物(PR-1~7)は $10^{-5} \sim 10^{-7}$ cm/secのオーダーで、 10^{-5} cm/secのものが多い。従って、難透水層の段丘堆積物は 10^{-6} cm/secを与えた。

パラル鉱山周辺には白亜系や第三系に鉱脈や断層などの断裂系が発達しているため、断裂系の発達するところには周辺岩石と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。断裂系の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4-4-8表に、これに基づき岩石物性区分図を第4-4-9図に示す。パラル鉱山には走向方向に1 km、幅200 mにわたって、複数の鉱脈が発達している。この鉱脈はすでに地表下130 mまでは採掘されており、空洞化している。この部分は大規模な断層相当の透水係数を有すると考え 1×10^{-3} cm/secを与えた。

第4-4-9図に示す平面図(X-Y CROSS SECTIONAL VIEW)では左端がX 1、上端がY 3 0である。断面図(Y-Z CROSS SECTIONAL VIEW)では左端がY 3 0、右端がY 1である。

③ 水理モデル

パラル鉱山北方に位置するパラル川は、東方に流下しパラル市を通る。パラル川ではNo. 4地点(第4-4-1図)で、乾期に $1,453 \text{ m}^3/\text{day}$ 、雨期に $1.967 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$

と流量に大きな違いがある。これはパラル川が西方に大きな集水面積を有しているため、雨期には大量の河川水が集積するためと判断される。従って河川流量は乾期の1～5及び11～12月に $1.453\text{m}^3/\text{day}$ を、雨期の6～10月に $1.967 \times 10^6\text{m}^3/\text{day}$ を与えた。

パラル鉾山東側の支川のNo.1地点では乾期・雨期ともに流れが観測されていないので、支川には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。ただし、パラル鉾山付近(第4-4-8図)の、P-M1地点では地表下82mで、P-M2地点では地表下65mで、P-M3地点では地表下150mでそれぞれ揚水しているため、これら3箇所の地下水位面を、それぞれ解析モデルの第6層、第6層、第7層の上面に設定した。

また、地下水の水質分析によれば、P-M3から採取した地下水はpH4.8の強酸性を示し、そのほかの溶存成分にも富んでおり、周辺のP-M1、P-M2から採取した地下水や河川水は弱アルカリ性を示すことから、このP-M3の地下水は温泉成分を有し、鉾脈を形成した深部断裂から上昇してきたものと判断し、P-M4地点の地表下1,550mから $2,000\text{m}^3/\text{day}$ が湧出するとし、この湧出箇所を第9層上面に設定した。

④ 気象モデル

既存資料によると、1977～1990年にかけての年間降水量は平均500mmである。降水量の95%は雨期の6～10月に集中するため、6～10月の5カ月間に475mm、その他の7カ月間に25mm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 $2\text{mm}/\text{day}$ に設定した。

⑤ 揚水・排水モデル

パラル鉾山付近の揚水している3箇所(第4-4-8図)のうち、P-M1地点では地表下82mで $450\text{m}^3/\text{day}$ 、P-M2地点では地表下65mで $450\text{m}^3/\text{day}$ 、P-M3地点においては地表下150mで $7,800\text{m}^3/\text{day}$ の揚水量を、それぞれ解析モデルの第6層、第6層、第7層に初期条件として与えた。

選鉾用水はP-M1地点で $400\text{m}^3/\text{day}$ 排水されているため、第2層上面にこの排水量を与えた。