

第 6 章 汚染源調査

第6章 汚染源調査

ソハール鉱山地域の汚染源としては、廃さい堆積場、PS-2 ポンプ場、ズリ堆積場、坑内採掘跡、オープン・ピット跡、銅製錬所および付属蒸発池からなる。

6.1 廃さい堆積場

6.1.1 廃さい堆積場の概要

廃さい堆積場および廃さいについてそれぞれ表 6.1 および表 6.2 に示し、その概要を以下に述べる。

- ・ 廃さい堆積場はワジ・スーク川の最上流部に位置し（図 1.1）、堆積方法は内盛り嵩上げ方式である。
- ・ かん止堤は東側と南側の2面からなり、堆積面は505,000m²であり、堆積量は約1,100万tである。
- ・ 廃さいはシルト～細粒砂サイズであり、20～35%の黄鉄鉱を含んでいる。
- ・ 廃さいの表層は乾燥により固結し、多角形の収縮亀裂が認められる。亀裂は深度10～50cmの範囲に垂直に発達し、長さ20cm程で、一部酸化し黄褐色を呈している。
- ・ 表層の廃さいを溶解すると、pH2～3の強酸性を示す。
- ・ 表層から2～3m以深では灰～暗灰色を呈し、含水も高く軟弱であり、還元状態を呈する。
- ・ 廃さいの表層は、厚さ2～10cmの細粒状廃さいで覆われており、細粒状廃さいは風により堆積場から四方に300～500mほど飛散している（図 6.1）。
- ・ 選鉱用水は1982年～1989年の間全量海水で賄われ、1991年には全量清水に切り替えられた。
- ・ 廃さい堆積場に投棄された海水は約500万m³と見積もられ、塩分量では17.5千tに達する。
- ・ 廃さい堆積場では現在トレンチ-2で集水した汚染地下水をトレンチ-1で中継し、蒸発乾固を主な目的として廃さい堆積場に戻している。

6.1.2 廃さいのリーチング試験結果

廃さいについて、ボーリング調査等により試料を採取し、リーチング試験を行った。リーチング試験は溶出試験（15成分：pH、E.C.、Hg、Cd、Cr、As、Pb、Cu、Mn、Fe、Ni、Sn、Zn、SO₄、Cl）、全硫黄（T-S）、中和可能度（Net Neutralization Potential: NNP）および最大可能酸性度（Maximum potential acidity）からなる。

廃さいの試料およびリーチング試験の結果をそれぞれ表 6.3 および表 6.4(1)～(2)に示す。

廃さいは硫黄を多量に含んでいることから、極めて強い酸発生能を有する。廃さいのNNPは360～840 t (CaCO₃/1,000t)であり、廃さい1,000 tが酸化を受けた場合360～840 tの酸性水が生成される可能性を示している。酸化を受けた表層の廃さいの溶出液はpH2～3を示す。

表 6.1 廃さい堆積場について

1. Tailing dam	Location	Uppermost part of Wadi Suq, between 0.93 km and 1.95 km from beginning of the river																	
	Area (m ² , ha)	567,000 m ² (56.7 ha) Piled area : 505,000 m ² (50.5 ha) Embankment area: 62,000 m ² (6.2 ha)																	
	Elevation (m)	265m - 235m																	
	Length (m)	1.02 km																	
	Width (m)	Max. : 850 m Length of embankment: 650 m																	
	Gradient (°)	Gradient of basement of dam : 1.7 ° (1:34) Gradient of present piled surface: -0.52 ° (1:110)																	
2. Groundwater (Polluted water)	2 drill holes surveyed for the Study project	(1) D-1A: 50 m west from embankment of the dam (2) D-1B: 110 m west from embankment of the dam																	
	Groundwater level (m)	Depth from surface of tailings: DH No. D-1A: -32.64 m DH No. D-1B: -18.53 m Elevation of water table : DH No. D-1A: 230.08 m DH No. D-1B: 242.98 m																	
	Present condition of countermeasures	(1) Trench -1 (2) Trench -2 (3) Pumping and return polluted water from Trench-1 and Trench-2 to Tailing dam : Total volume of polluted water returned to the T/D per month and year between 1997 and 2000 : <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Monthly</th> <th>Yearly : (m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1995 : Ave.</td> <td>18,950</td> <td>227,399</td> </tr> <tr> <td>1996 : Ave.</td> <td>17,356</td> <td>208,272</td> </tr> <tr> <td>1997 : Ave.</td> <td>9,956</td> <td>119,466</td> </tr> <tr> <td>1998 : Ave.</td> <td>8,589</td> <td>103,073</td> </tr> <tr> <td>1999 : Ave.</td> <td>8,274</td> <td>49,645 (6 months)</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Monthly	Yearly : (m ³)	1995 : Ave.	18,950	227,399	1996 : Ave.	17,356	208,272	1997 : Ave.	9,956	119,466	1998 : Ave.	8,589	103,073	1999 : Ave.	8,274
Year	Monthly	Yearly : (m ³)																	
1995 : Ave.	18,950	227,399																	
1996 : Ave.	17,356	208,272																	
1997 : Ave.	9,956	119,466																	
1998 : Ave.	8,589	103,073																	
1999 : Ave.	8,274	49,645 (6 months)																	

T/D: Tailing dam

表 6.2 廃さいについて

1. Tailings	Total tonnage (t)		11,000,000 t
	Density (g/cm ³)		Dry base: Ave. 2.95 g/cm ³ Wet base: Ave. 3.35 g/cm ³
	Total volume (m ³)		3,280,000 m ³
	Total sulfur: Content of sulfur (%) Total tonnage (t)		Ave. 19.4 % 2,135,000 t as Sulfur
	Total pyrite: Content of initial pyrite (%) Total volume of pyrite (m ³) Total tonnage of pyrite (t)		(Inferred as pyrite under the initial condition) 36.4 % 834,000 m ³ (Pyrite SG: 4.8) 4,003,000 t
	Average neutralization potential		10.31 CaCO ₃ equivalent: t/1000t dried base
	Maximum potential acidity		646.05 CaCO ₃ equivalent: t/1000t dried base
	2. Sea water for mineral dressing	Used period	
Total volume (m ³)		5,000,000 m ³	
Total tonnage of salt (t)		175,000 t (NaCl: 3.46%, Cl: 34,600 ppm)	
Residual salt in tailing dam (t)		Approx. 150,000 t	
Flowed salt from tailing dam (t)		Approx. 25,000 t	
3. Groundwater (Polluted water)	Pumping volume in T/D (m ³)		Approx. 72,000 m ³ /year (6,000 m ³ /month)
	Reserving volume in T/ D (m ³)		Volume: 39,600 m ³
	Water quality	pH: 4.8, EC: 8.40 S/m, Hg: 0.0047 mg/L, Cd: 0.027 mg/L, As: 0.012 mg/L, Pb: 0.59 mg/L, Cu: 1.21 mg/L, Zn: 0.30 mg/L, SO ₄ : 1,434 mg/L, Cl: 31,600 mg/L	
4. Surface water	Volume of precipitation (m ³)		198,000 m ³ /year
	Volume of evaporation (m ³)		158,400 m ³ (Rate: 80%)
	Surface water in-flowed to T/D		Volume: 39,600 m ³ (Rate: 20%)
	Outflow by groundwater		Volume: 39,600 m ³
	Recycling volume by pumping		Volume: 72,000 m ³

T/D: Tailing dam

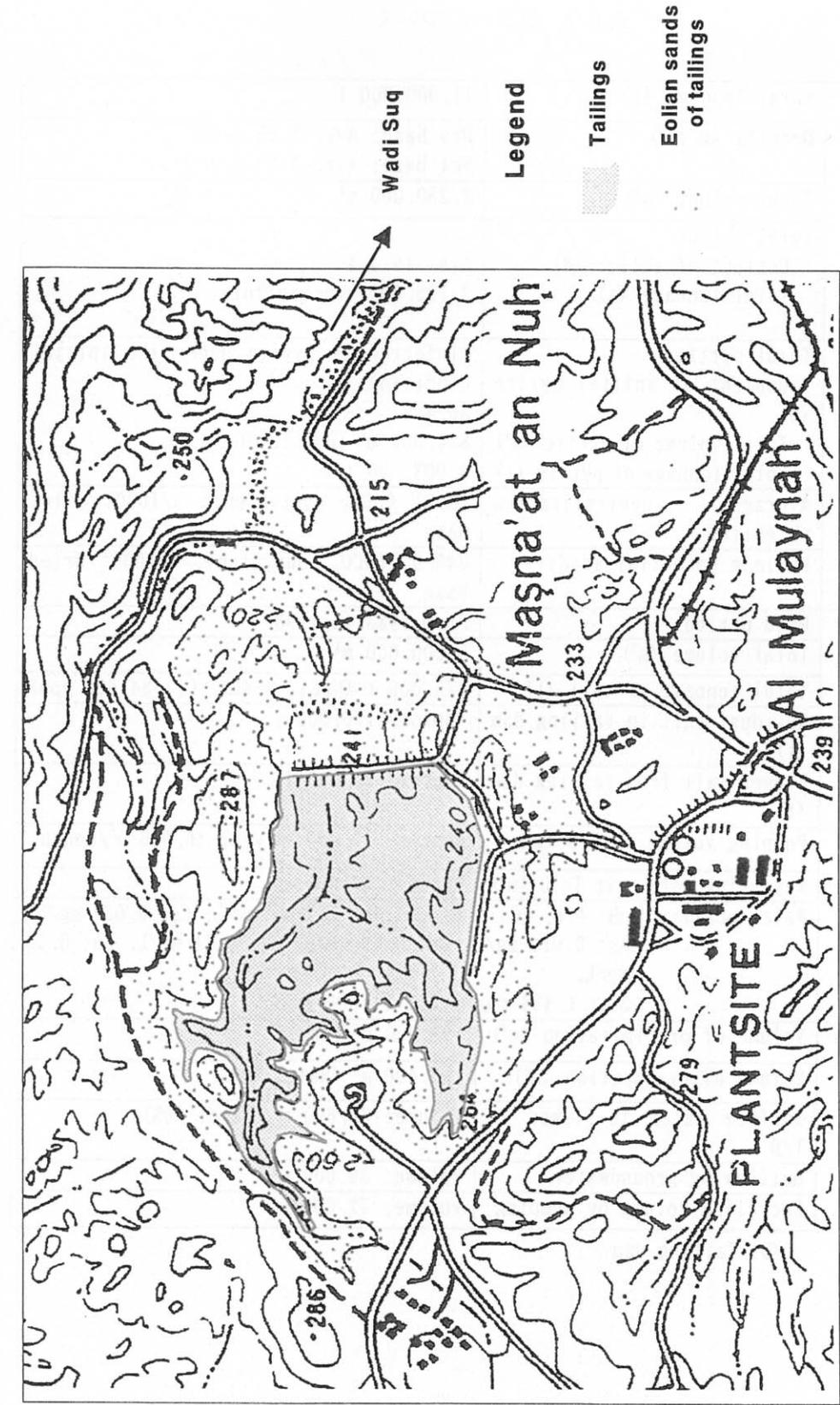


図 6.1 廃さいの飛散分布図

表 6.3 廃さいおよびズリについて

Sample No.	Area name	Materials	Size	Color	Oxidation	Sulphide	Remarks
LT-D1A1	Tailing dam area	Tailings	Fine sand	Brownish-yellowish grey	Weakly oxidized	Rich pyrite	Dry in top surface
LT-D1A2	Tailing dam area	Tailings	Fine sand	Dark greenish grey		Rich pyrite	Wet
LT-D1A3	Tailing dam area	Tailings	Fine sand	Dark greenish grey		Rich pyrite	Wet
LT-T/D	Tailing dam area	Eolian Tailings	V. fine - fine sand	Yellowish grey	Partly oxidized	Rich pyrite	Dry
LT-D1B1	Tailing dam area	Tailings	Fine sand	Brownish-yellowish grey		Rich pyrite	Dry in top surface
LT-D1B2	Tailing dam area	Tailings	Fine sand	Dark greenish grey		Rich pyrite	Wet
LT-D1B3	Tailing dam area	Tailings	Fine sand	Dark greenish grey		Rich pyrite	Wet
LT-D1B4	Tailing dam area	Tailings	Fine sand	Dark greenish grey		Rich pyrite	Wet
LT-L1	Lasail area	Waste	Fines to boulder	Grey to dark grey	Oxidized		Dry
LT-L2	Lasail area	Waste	Fines to cobble	Grey to grey/green			Dry
LT-LW1	Lasail West area	Waste	Fines to boulder	Brownish grey	Oxidized		Dry
LT-LW2	Lasail West area	Waste	Fines to boulder	Dark greenish grey		Py disseminated	Oberburden, basalt; dry
LT-LW3	Lasail West area	Waste	Fines to boulder	Brownish-reddish grey	Gossanized		Dry
LT-LW4	Lasail West area	Waste	Fines to boulder	Dark greenish grey		Py disseminated	Dry
LT-A1	Aarja area	Waste	Fines to pebble	Light grey to tan	Oxidized		Gausen stockpile, dry
LT-A2	Aarja area	Waste	Fines to cobble	Red to reddish brown			Overburden, dry
LT-A3	Aarja area	Waste	Fines to boulder	Yellowish to dark grey		Py disseminated	Dry
LT-A4	Aarja area	Waste	Fines to cobble	Brown to poly-color	Oxidized		Top soil, dry
LT-A5	Aarja area	Waste	Fines to boulder	Dark grey to grey/green		Py disseminated	Dry
LT-B1	Bayda area	Waste	Fines to boulder	Dark greenish grey		Py disseminated	Oberburden, basalt; dry
LT-B2	Bayda area	Waste	Fines to boulder	Reddish brown	Gossanized		Dry

Py: pyrite

表 6.4 リーチング試験の結果(1)

Sample No.	Area name	Depth (m)	Material	Neutralization potential	Total sulphur content	Maximum potential acidity
				CaCO ₃ Equivalent (Tons/1000t of dried material)	%	CaCO ₃ Equivalent (Tons/1000t of dried material)
LT-D1A1	Tailing dam area	0-10m	Tailings	2.59	20.43	638.44
LT-D1A2	Tailing dam area	10-20m	Tailings	14.61	26.46	826.88
LT-D1A3	Tailing dam area	20-30m	Tailings	25.71	20.98	655.63
LT-T/D	Tailing dam area	Surface	Eolian tailings	7.70	19.25	601.56
LT-D1B1	Tailing dam area	0-3.60m	Tailings	17.87	21.22	663.13
LT-D1B2	Tailing dam area	3.60-10m	Tailings	11.10	11.86	370.63
LT-D1B3	Tailing dam area	10-20m	Tailings	2.49	13.58	424.38
LT-D1B4	Tailing dam area	20-30m	Tailings	14.91	27.36	855.00
LT-L1	Lasail area	Surface	Wastes	7.30	13.47	420.94
LT-L2	Lasail area	Surface	Wastes	11.40	10.26	320.63
LT-LW1	Lasail West area	Surface	Wastes	9.56	20.09	627.81
LT-LW2	Lasail West area	Surface	Wastes	14.45	1.15	35.94
LT-LW3	Lasail West area	Surface	Wastes	14.43	0.38	11.88
LT-LW4	Lasail West area	Surface	Wastes	22.15	0.16	5.00
LT-A1	Aarja area	Surface	Wastes	9.11	4.61	144.06
LT-A2	Aarja area	Surface	Wastes	9.11	4.56	142.50
LT-A3	Aarja area	Surface	Wastes	11.26	29.16	911.25
LT-A4	Aarja area	Surface	Wastes	75.41	0.84	26.25
LT-A5	Aarja area	Surface	Wastes	43.48	3.10	96.88
LT-B1	Bayda area	Surface	Wastes	57.04	0.13	4.06
LT-B2	Bayda area	Surface	Wastes	28.66	0.67	20.94

表 6.4 リーチング試験の結果(2)

No.	Sample No.	Area	Material	pH	E.C. S/m	Hg mg/L	Cd mg/L	Cr mg/L	As mg/L	Pb mg/L	Cu mg/L	Mn mg/L	Fe mg/L	Ni mg/L	Sn mg/L	Zn mg/L	SO ₄ mg/L	Cl mg/L
1	LT-D1A1	Tailing dam area	Tailings	4.52	0.49	0.0011	0.124	0.178	0.072	0.531	62.70	2.81	1.40	0.07	0.01	100.15	2994	369
2	LT-D1A2	Tailing dam area	Tailings	6.70	0.19	0.0007	<0.001	0.088	0.085	0.327	0.03	2.24	0.03	0.06	0.01	0.86	1062	35
3	LT-D1A3	Tailing dam area	Tailings	6.97	0.22	0.0013	0.022	0.097	0.077	0.413	0.19	4.14	0.03	0.07	0.01	28.39	983	149
4	LT-T/D	Tailing dam area	Eolian tailings	3.97	0.93	0.0017	0.243	0.255	0.068	0.267	165.50	120.70	26.24	2.54	0.01	10.10	4991	865
5	LT-D1B1	Tailing dam area	Tailings	3.99	0.87	0.0024	0.118	0.246	0.028	0.285	92.90	74.70	4.86	1.39	0.01	10.08	3787	1050
6	LT-D1B2	Tailing dam area	Tailings	5.01	0.36	0.0018	0.039	0.161	0.031	0.242	4.72	4.69	0.07	0.14	0.01	8.99	1855	241
7	LT-D1B3	Tailing dam area	Tailings	5.57	0.34	0.0019	0.025	0.146	0.054	0.321	1.21	6.75	0.15	0.16	0.01	7.35	1713	255
8	LT-D1B4	Tailing dam area	Tailings	5.98	0.33	0.0013	0.045	0.146	0.048	0.372	1.50	8.07	0.14	0.21	0.01	7.14	1694	227
9	LT-L1	Lasail Mine area	Waste	3.72	0.51	0.0003	0.048	0.276	0.042	0.385	78.40	23.07	90.09	0.57	0.01	9.45	5152	14
10	LT-L2	Lasail Mine area	Waste	3.47	0.88	0.0004	0.037	0.434	0.050	0.541	841.40	34.11	103.4	1.24	0.01	8.62	10472	11
11	LT-LW1	Lasail West Mine area	Waste	3.21	0.65	0.0004	0.104	0.370	0.062	0.457	840.00	13.95	104.5	2.40	0.01	9.98	5962	11
12	LT-LW2	Lasail West Mine area	Waste	7.00	0.06	0.0010	<0.001	0.119	0.071	0.138	0.06	0.12	0.09	0.06	0.01	0.13	199	14
13	LT-LW3	Lasail West Mine area	Waste	7.10	1.47	0.0009	<0.001	0.142	0.073	0.242	0.04	0.08	0.11	0.07	0.01	0.05	746	14
14	LT-LW4	Lasail West Mine area	Waste	7.44	0.04	0.0009	<0.001	0.118	0.065	0.168	0.05	0.02	0.12	0.06	0.02	<0.01	82	14
15	LT-A1	Aarja Mine area	Waste	4.17	0.39	0.0007	1.075	0.188	0.058	0.237	53.80	44.71	31.84	1.57	0.02	9.87	2800	11
16	LT-A2	Aarja Mine area	Waste	3.73	0.25	0.0008	0.048	0.159	0.042	0.213	67.00	8.82	18.59	0.61	0.01	7.90	1393	35
17	LT-A3	Aarja Mine area	Waste	2.26	1.51	0.0005	1.115	0.949	0.112	0.627	810.10	25.05	9747	1.41	0.02	10.67	10388	7
18	LT-A4	Aarja Mine area	Waste	7.50	0.05	0.0005	<0.001	0.135	0.085	0.138	0.11	0.39	3.77	0.07	0.02	2.11	115	14
19	LT-A5	Aarja Mine area	Waste	7.21	0.08	0.0004	<0.001	0.141	0.074	0.227	0.04	0.12	0.12	0.05	0.01	<0.01	273	11
20	LT-B1	Bayda Mine area	Waste	7.51	0.04	0.0004	<0.001	0.138	0.068	0.285	0.04	<0.01	0.15	0.05	0.01	0.04	58	18
21	LT-B2	Bayda Mine area	Waste	7.21	0.15	0.0004	<0.001	0.166	0.070	0.310	0.05	1.35	0.11	0.07	0.02	0.56	770	11

しかし、実際の廃さいダムの浸出水は pH5~7 を呈している。その理由として、石灰を混ぜて pH9.3 に調整していたこと、廃さいの内部はほとんど還元状態で酸化が進行していないことおよびワジ堆積物内のカルクリート層並びに基岩との岩石・水反応による緩衝作用をしていると考えられる。

なお、将来において、廃さいの表層から深部にかけて酸化が促進される場合、多量の酸性水が発生すると共に重金属類の溶出が促進され、各成分の濃度は表 6.4(2) に示す溶出濃度に依存するものと予想される。ただし、浸出する酸性水と溶出成分は堆積場内の過剰石灰、ワジ堆積物内のカルクリート層並びに基岩が有する岩石・水反応による緩衝作用が機能すると考えられるが、余剰の酸性浸出水は集水および処理を行う必要がある。

重金属類中には特に Cd および Pb がオマーン国の飲料水環境基準値を大幅に超える区域が拡大する可能性も示唆される。

6.2 PS-2 中継用ポンプ場周辺

PS-2 中継用ポンプ場周辺の土壌調査を実施した。表層土壌を採取し、溶出する Cl 成分の分析を行った。分析結果を表 3.2 の C1S-49~68 に示し、Cl 濃度分布を図 6.2 に示す。

選鉱用海水はマジスからポンプ送水されていたが、PS-2 中継用ポンプ場で相当量の漏水を生じ、PS-2 ポンプ場上流部約 200~350m に亘って高濃度の塩分が土壌中に残留していることが確認された。なお、Cl 濃度の垂直断面では深度 0.2~0.8m までは塩の結晶 (halite) が認められた。しかし、SP-2 井戸および DH-3 孔の地下水の Cl 濃度は 6,000~6,500mg/L である。

したがって、PS-2 周辺の現状の残留塩は約 300m に亘り Cl 高濃度帯を形成し、Cl 高濃度帯は表層に限り、直接地下水には接していないと推定される。

6.3 ズリ堆積場

ズリはラサイル、ラサイル・ウエスト、アージャおよびベイダ鉱山周辺のズリ堆積場に廃棄されている (図 6.3)。

各鉱山のズリ堆積場の状況を図 6.4~図 6.7 および表 6.5 に示す。また、各鉱山のズリ堆積場から採取した 13 試料の状況およびリーチング試験の結果を前述の表 6.3 および表 6.4(1)~(2) に示す。

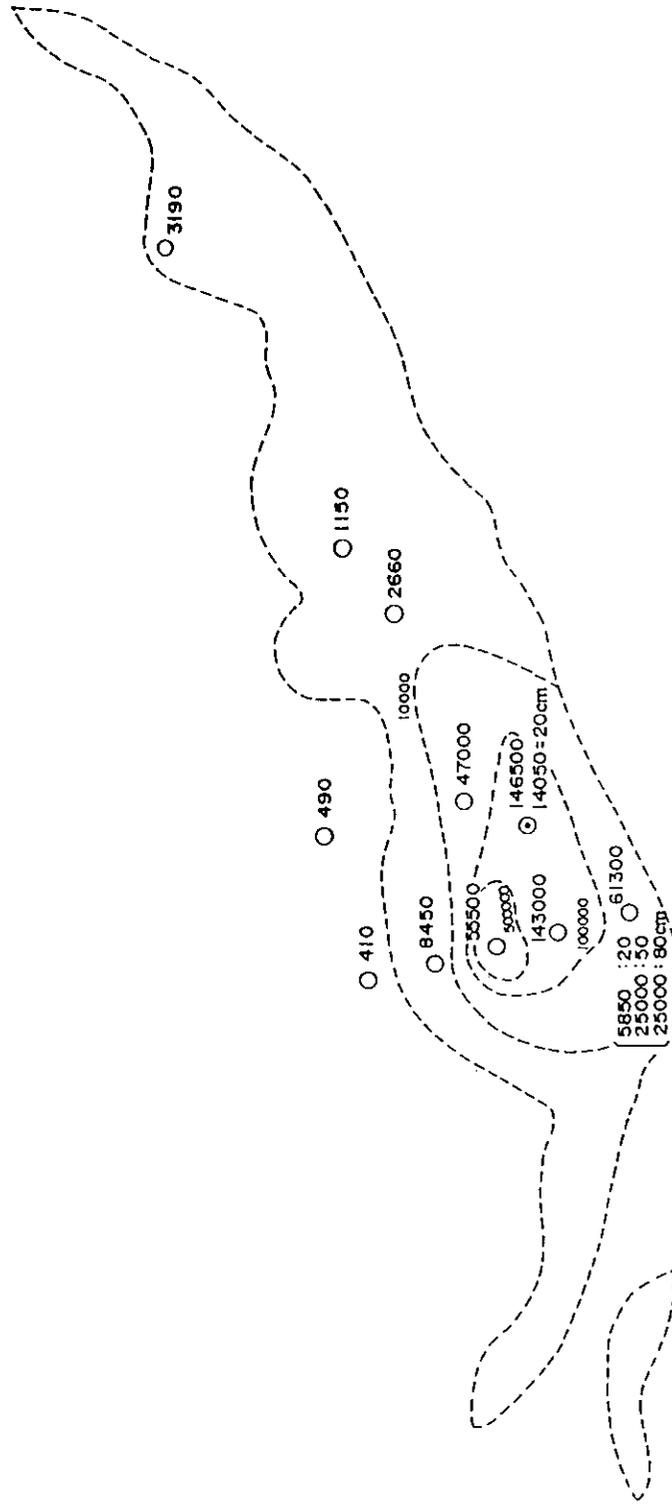
6.3.1 ラサイル鉱山

ラサイル鉱山のズリの分布を図 6.4 に示す。ズリは主に西~北東側の丘陵の山間部に堆積させており、水系ではワジ・アル・オワイナ川に属する 3 本の支流の分水嶺に相当する。したがって、堆積場からの浸出水は北、東および南側に流出する 3 本の支流に分割して排水されている。東部に流出する支流には高さ 1.5m・幅 15m の突出水防止用の擁壁が設置されている。その他の支流に

Salt contaminated zone



- > 410 mg /kg : c1
- > 10000 mg /kg : c2
- > 100000 mg /kg : c3
- > 500000 mg /kg : c4



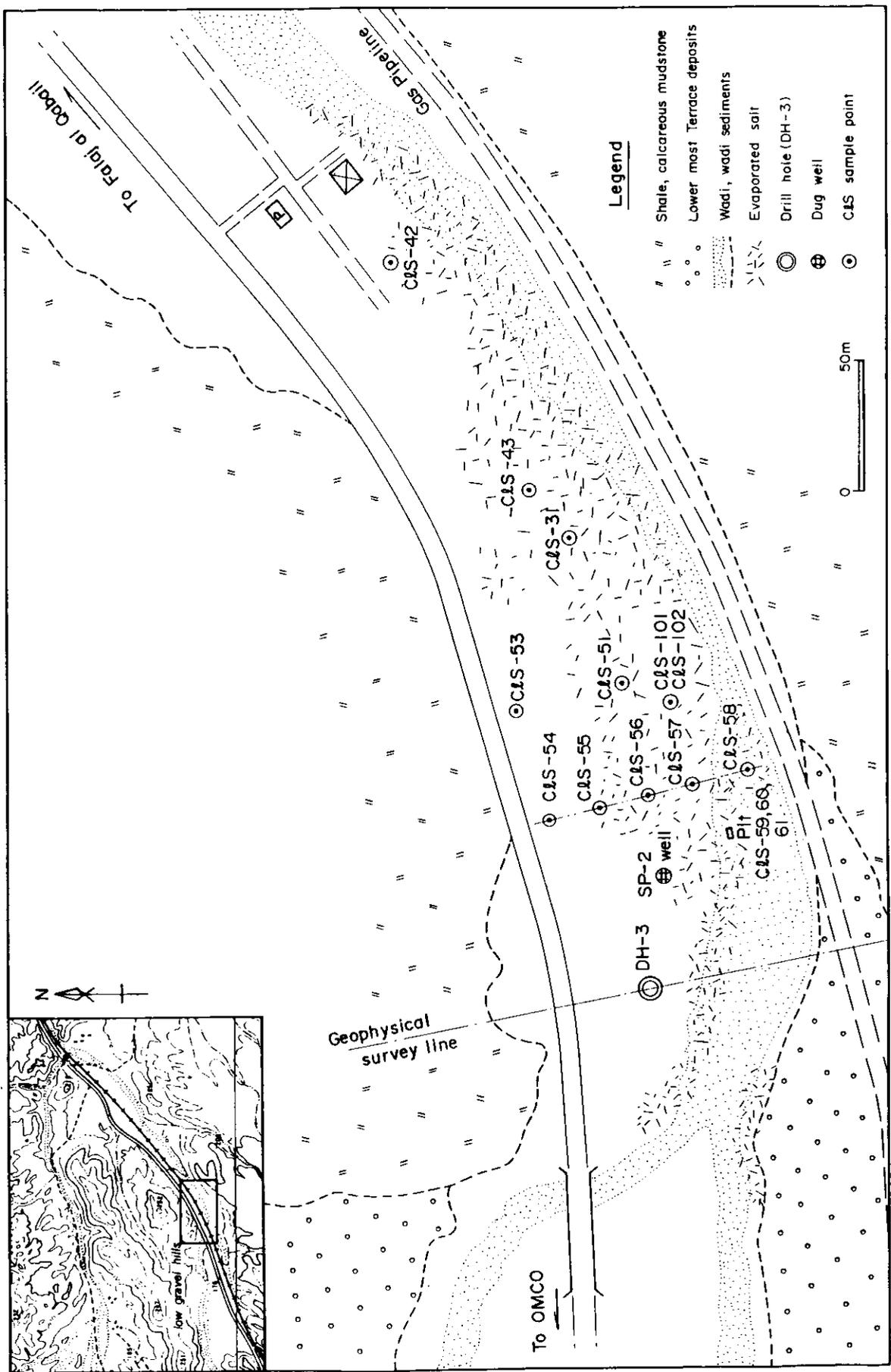


図 6.2 SP-2 地点周辺の土壌中の塩素濃度分布

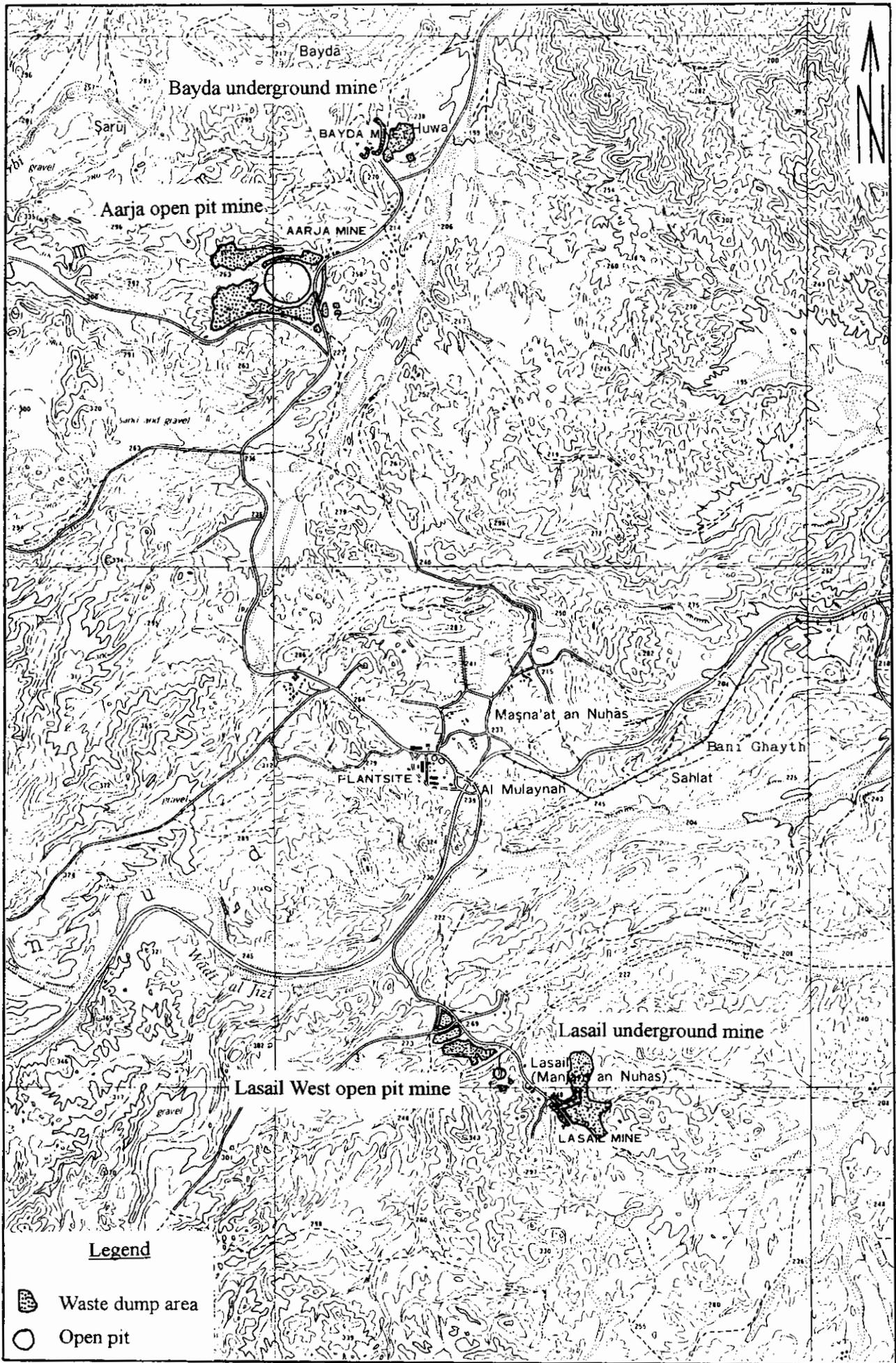


図 6.3 ズリの分布

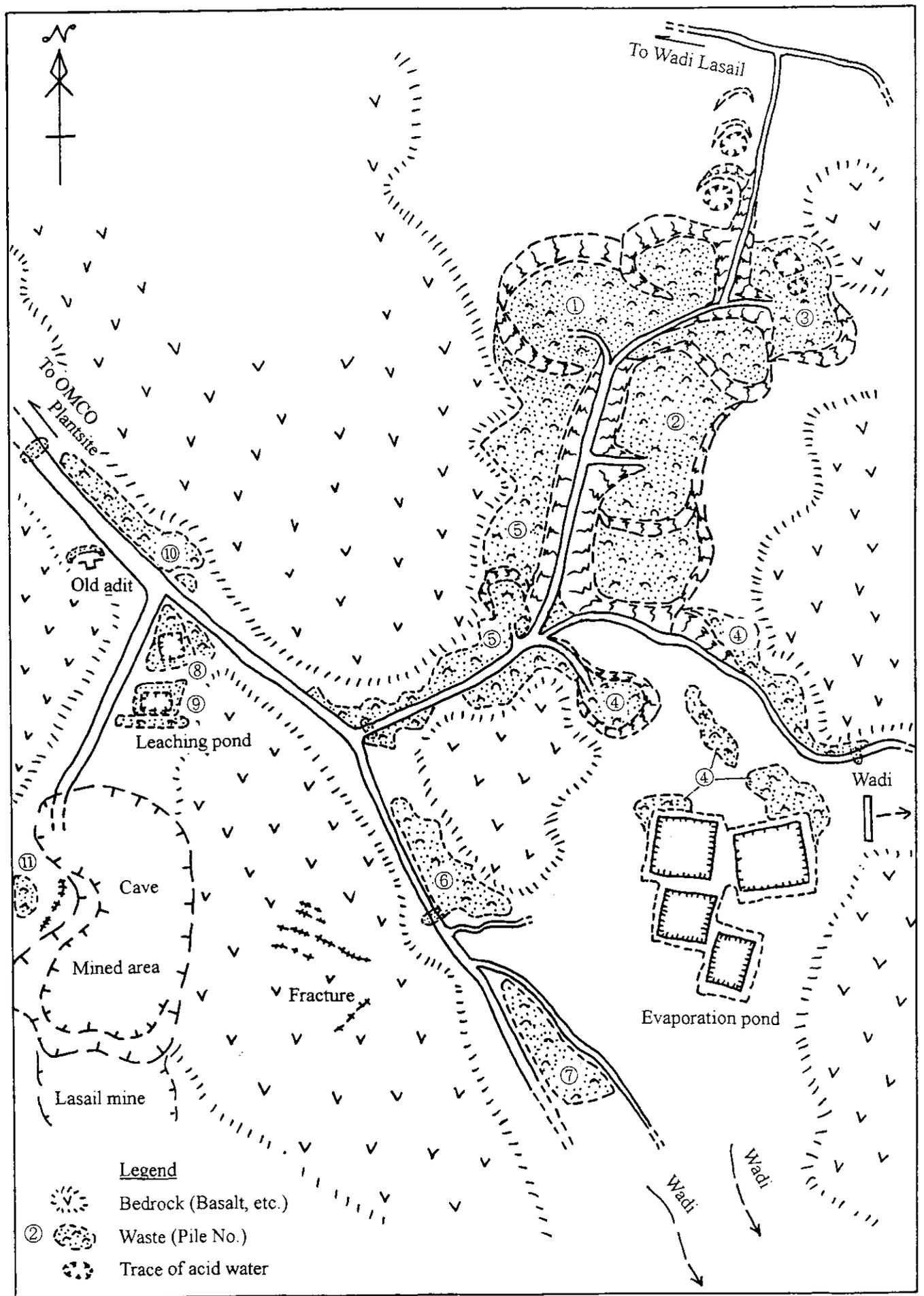


図 6.4 ラサイル鉱山周辺のズリの分布

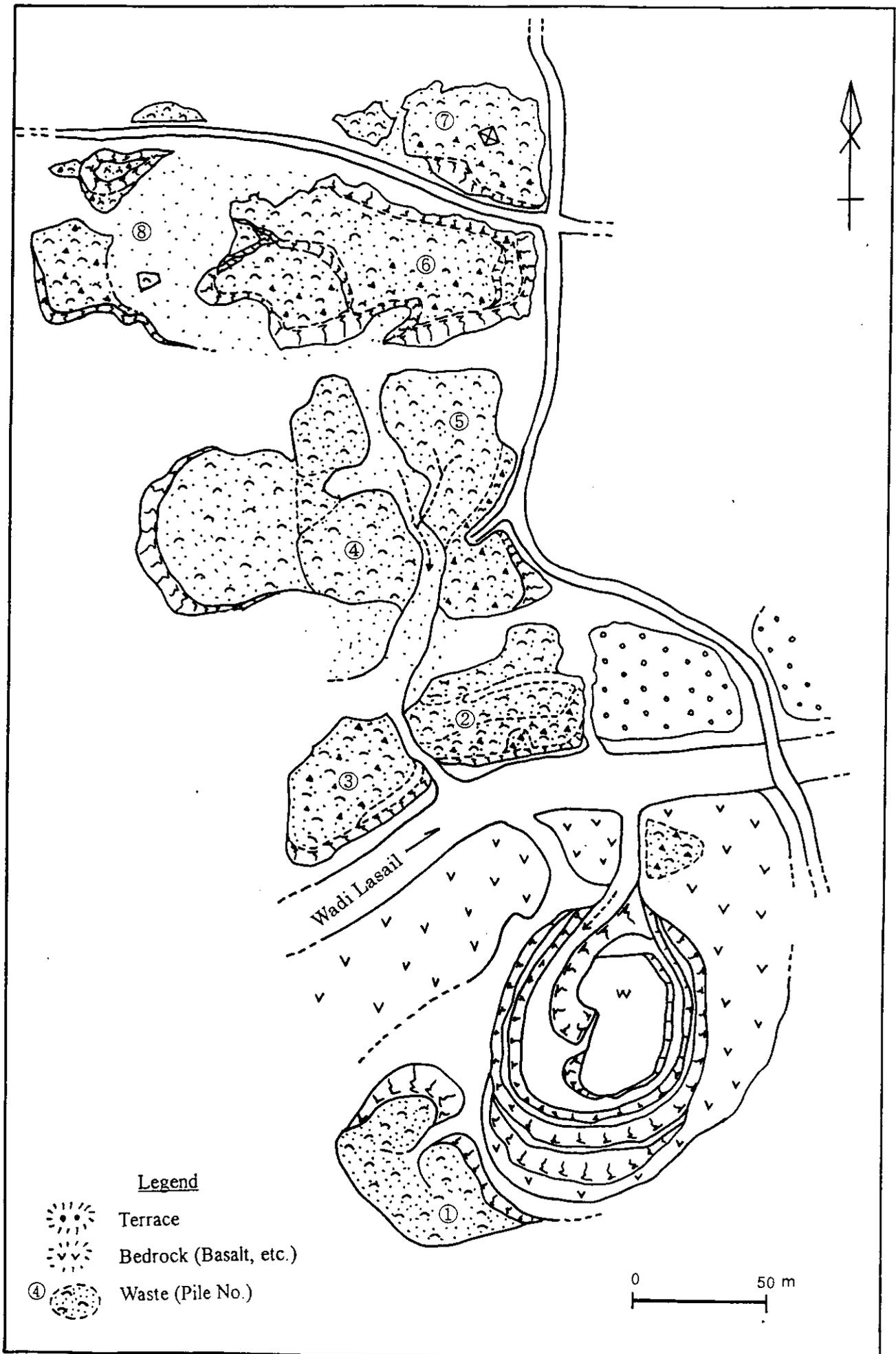


図 6.5 ラサイル・ウエスト鉱山周辺のズリの分布
6-12

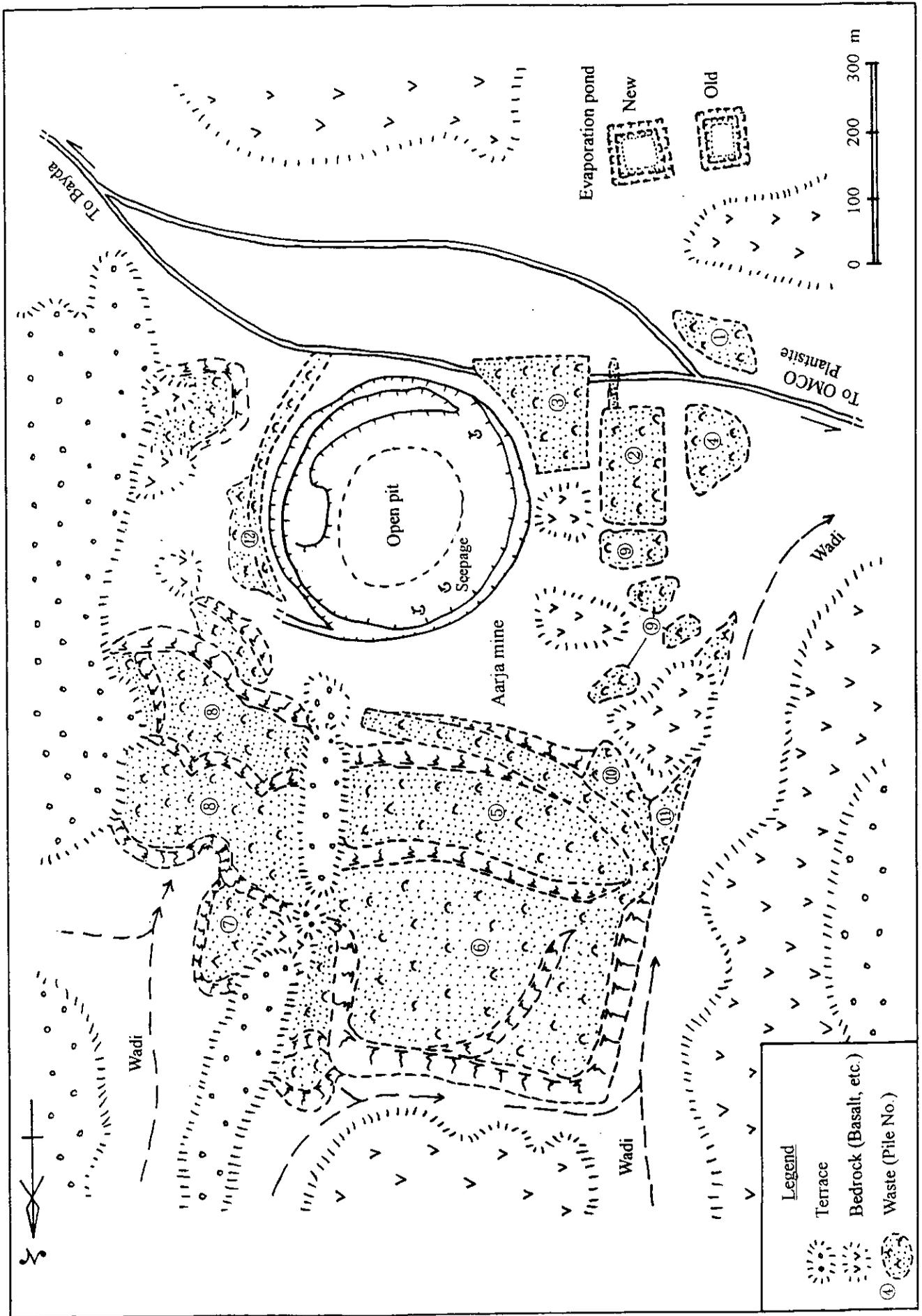


図 6.6 アージャ鉱山周辺のズリの分布

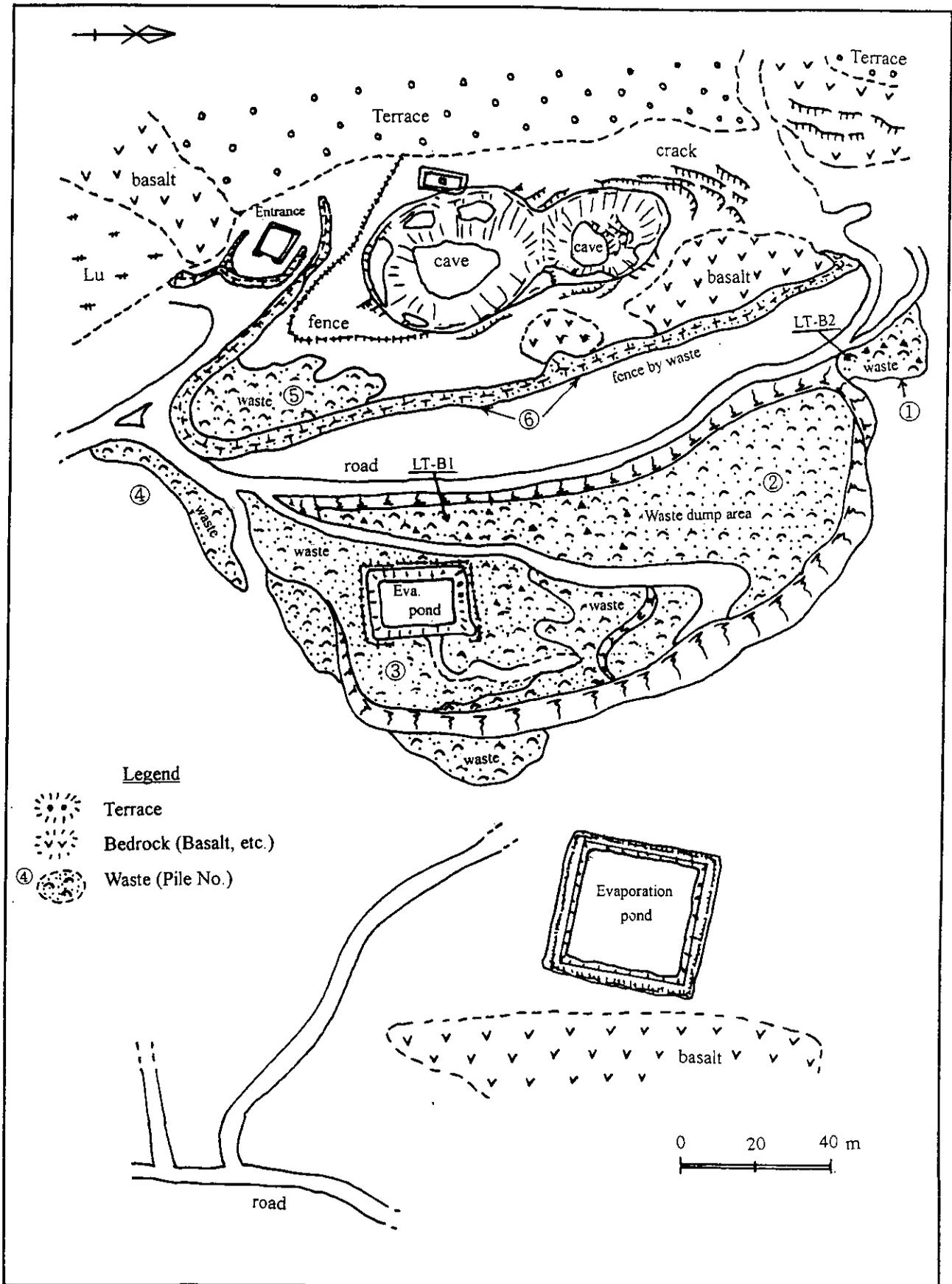


図 6.7 ベイダ鉱山周辺のズリの分布

表 6.5 鉾山周辺のズリ

Location *1	Description	Approximate Dimensions			Approximate volume (m ³)	Particle size	Color / Physical condition	Sample No.
		Length (m)	Width (m)	Height (m)				
Lasail underground mine								
1	Waste rock pile, weak py disseminated	90	120	14	151,200	Fines to boulder	Grey to dark gray outside, yellowish orange under surface	LT-L1
2	Waste rock pile, weak py disseminated	160	60	12	115,200	Fines to boulder	Grey to dark gray outside, yellowish orange under surface	None
3	Waste rock pile, weak py disseminated	70	70	8	39,200	Fines to boulder	Grey to dark gray outside, yellowish orange under surface	None
4	Waste rock pile, weak py disseminated	320	60	4	76,800	Fines to boulder	Grey to dark gray	None
5	Waste rock pile, weak py disseminated	280	70	6	117,600	Fines to boulder	Grey to dark gray	None
6	Waste rock pile	65	50	4	13,000	Fines to cobble	Grey to gray/green	None
7	Small leach pads	120	40	4	19,200	Gravel to small cobbles	Grey to dark gray, reddish grey	LT-L2
8	Settling pond fines, reddish overburden	70	50	3	10,500	Fine grained materials	Light tan, some piled up, others left in pond bottom	None
9	Interburden foundation area	70	70	3	14,700	Fines to cobble	Grey to gray/green	None
10	Waste rock pile, weak py disseminated	60	20	3	3,600	Fines to cobble	Reddish, rough graded	None
11	Boulder pile	60	50	3	9,000	Large boulders	Greenish grey	None
Total					570,000 m ³			
Bayda underground mine								
1	Waste rock pile, pyrite disseminated	40	30	2	2,400	Fines to boulder	Reddish to brownish/greenish grey, oxidized	LT-B2
2	Waste rock pile, strongly pyrite dissem.	70	70	6	29,400	Fines to boulder	Greenish to yellowish grey, oxidized in surface, weathered	None
3	Waste rock pile, strongly pyrite dissem.	60	100	5	30,000	Fines to boulder	Greenish to yellowish grey, oxidized in surface, evaporation po	LT-B1
4	Overburden	20	30	3	1,800	Boulders	Brown to reddish/greenish grey, partly oxidized	None
5	Waste of gossazied area, oxidized soil	30	40	2	2,400	Fines to cobble	Reddish to brownish grey, oxidized	None
6	Waste, used for fence of the mined area	500	3	2	3,000	Fines to cobble	Brownish to greenish grey, oxidized, including evaporation po	None
Total					69,000 m ³			
Aarja open pit mine								
1	Gausen stockpile	120	40	4	19,200	Fines to small gravel	Light gray to light tan, end-dumped in small piles	LT-A1
2	Reddish overburden, some sulfide	150	90	3	40,500	Fines to cobble	Red to reddish brown, end-dumped in piles	LT-A2
3	Low grade ore stockpile, w/sulfide	100	70	4	28,000	Fine to large cobbles	Yellowish to gray or dark gray, dumped in random piles	LT-A3
4	Top soil mixed with rock	70	90	6	37,800	Fine to large cobbles	Brown soil mixed with rocks of various colors, uniform pile	LT-A4
5	Waste rock pile, No. 1, w/pyrite	340	270	15	1,377,000	Cobble to boulder	Dark gray to gray/green rock, huge stock pile	LT-A5
6	Waste rock pile, No. 2, w/pyrite	460	350	12	1,932,000	Fines to boulder	Gray with streaks of yellow, end-dumped graded flat on top	None
7	Waste rock pile, No. 3, w/pyrite	160	140	6	134,400	Cobble to boulder	Dark gray to gray/green rock, huge stock pile	None
8	Waste rock pile, No. 4, w/pyrite	360	260	12	1,123,200	Cobble to boulder	Dark gray to gray/green rock, huge stock pile	None
9	Reddish overburden	-	-	-	4,000	Fines to cobble	Red to reddish brown, multiple small piles	None
10	Brown overburden	120	45	4	21,600	Fine soil to large cobbles	Brown soil mixed with rocks of various colors, uniform pile	None
11	Fine gray sulfide overburden	220	75	7	115,500	Fines with small gravel	Uniformly gray, dumped at edge of Wadi and graded flat	None
12	Light tan pit berm	610	15	6	54,900	Fines with small gravel	Light gray to light tan, fashioned into a berm on N side of pit	None
Total					4,888,100 m ³			
Lasail West open pit mine								
1	Waste rock pile, overburden, basalt	20	40	2	1,600	Pebble to boulder	Greenish grey, partly brown oxidized	None
2	Overburden with oxidized rocks	40	60	1	2,400	Fines to boulder	Greenish grey to reddish brown, partly py dissem.	LT-LW3
3	Waste rock pile, overburden, basalt	80	60	2	9,600	Fines to boulder	Greenish grey to dark grey, partly py dissem.	LT-LW4
4	Waste rock pile, pyrite disseminated	70	80	2.5	14,000	Fines to boulder	Greenish grey to dark grey, partly py dissem.	None
5	Waste rock pile, overburden, basalt	300	120	8	288,000	Pebble to boulder	Greenish grey, partly oxidized	LT-LW2
6	Brown to yellow overburden, py dissem.	130	70	4	36,400	Fines to cobble	Brownish to yellowish grey, strongly oxidized	LT-LW1
7	Brown to yellow overburden, py dissem.	50	60	3	9,000	Fines to cobble	Brownish to yellowish grey, strongly oxidized	None
8	Brown to yellow overburden, py dissem.	100	60	3	18,000	Fines to cobble	Brownish to yellowish grey, strongly oxidized	None
Total					379,000 m ³			
Grand total					5,906,100 m ³			

は排水溝等の鉱害対策設備はない。ただし、人が坑内に立入らないために、鉱山入口には盛土で封鎖している。

ズリの堆積量は約 60 万 m³ と推定され、高さ 3～14m に堆積させている。ズリは主に緑灰色を呈した玄武岩等からなり、径数 10cm の大礫から数 cm の細礫状のものまでである。ほとんどの玄武岩類は黄鉄鉱を主とする硫化物の微弱～弱鉱染作用を受けている。特に強く鉱染を受けた一部のズリ (LT-L1) は風化による酸化を受け、黄褐色を呈し脆弱化している。

ズリ堆積場の南部には、幅 30～50m 方形の 4 基の蒸発池が設置されている。深さ約 1.5m で坑内からの坑廃水を処理しており、石膏等の沈殿物により満たされているが、坑廃水はない。本蒸発池は現在使用されていない。

6.3.2 ラサイル・ウエスト鉱山

ラサイル・ウエスト鉱山のズリの分布を図 6.5 に示す。ズリのほとんどはワジ・ラサイル川の対岸の段丘面上からワジ沿いに堆積させている。ズリの一部はオープン・ピットの西側にも分布している。

水系ではワジ・ラサイル川に属し、堆積場からの浸出水は最終的に南側のワジ・ラサイル川に流出する。堆積場内および周辺には排水溝等の鉱害対策設備はない。ただし、人が坑内に立入らないために、鉱山入口には盛土で封鎖している。

ズリの堆積量は約 40 万 m³ と推定され、高さ 2～6m 程に堆積させてあり、径 1m の巨礫から数 cm の細礫状～粘土状のものまでである。ズリは主に緑灰～黄褐色を呈した玄武岩等からなり、一部低品位鉱も含まれている (LT-LW1)。ほとんどの玄武岩類は黄鉄鉱を主とする硫化物の弱～強鉱染作用を受け、特に強く鉱染を受けた北部のズリは風化による酸化を強く受け、黄褐色を呈し脆弱化している。堆積場内には浸出水が流出した溝が分布しているが、現状では乾燥している。

6.3.3 アージャ鉱山

アージャ鉱山のズリの分布を図 6.6 に示す。ズリは主に北～南西側の谷間および平坦地に堆積させており、ズリの一部はオープン・ピットの東側にも分布している。

水系ではワジ・バニ・ウマール・アル・ガルビ川の 2 本の支流にまたがっている。したがって、堆積場からの浸出水はすべて南側に流出し、そのほとんどはオープン・ピット内に流入する状況である。堆積場内および周辺には排水溝等の鉱害対策設備はない。ただし、人が坑内に立入らないために、オープン・ピット周辺には金網のフェンスおよび鉱山内に立入らないように盛土で封鎖している。

ズリの堆積量は約 500 万 m³ と推定され、緑灰、褐灰、黄、黄褐～赤褐色の様々な色相を呈したズリからなり、一部低品位鉱も含まれている (LT-A3)。ズリのサイズは径数 10cm の大礫から数 cm の細礫状～粘土状のものまでである。特に西～南西部のズリは細粒であり、一部旧表土をあらか

じめ区分して堆積させている。

ほとんどのズリは黄鉄鉱を主とする硫化物の微弱～強鉱染作用を受け、特に強く鉱染を受けた一部のズリは風化による酸化を受け、黄褐～赤褐色を呈し極めて脆弱化されている。

ズリ堆積場の南西部には、幅 60～80m 方形の 2 基の蒸発池が設置されている。深さ約 2 m で坑内からの坑廃水を処理していたが、現在も製錬所からの排水の処理に使用している。

6.3.4 ベイダ鉱山

ベイダ鉱山のズリの分布を図 6.7 に示す。ズリは主に東側の山間部の平坦面に堆積させており、水系ではワジ・バニ・ウマール・アル・ガルビ川の支流の上流部にあたる。堆積場からの浸出水は東側のワジ・バニ・ウマール・アル・ガルビ川に全量流出される。

堆積場内および周辺には排水溝等の鉱害対策設備はない。ただし、人が坑内に立入らないために、鉱山周辺には金網のフェンスおよび鉱山内に立入らないように盛土で封鎖している。

ズリの堆積量は約 7 万 m³ と推定され、主に緑灰、褐灰、黄褐～赤褐色を呈した玄武岩等からなる。ほとんどの玄武岩等は黄鉄鉱を主とする硫化物の微弱～強鉱染作用を受けている。特に強く鉱染を受けた一部のズリは風化による酸化を受け、黄灰～黄褐色を呈して脆弱化し斑点状を呈している。

ズリ堆積場内および東部には、25～40m 方形の 2 基の蒸発池が設置されている。深さ約 1～2m で坑内からの坑廃水を処理しており、石膏等の沈殿物により満たされているが、坑廃水は残留していない。本蒸発池は現在使用されていない。

6.3.5 溶出試験結果

(1) ラサイル鉱山

ラサイル鉱山のズリの硫黄含有量は 10～13% と高く硫化鉱の鉱染を受けており、最大酸発生能 (MPA) が 320～420 と高いが、全中和能力 (NPP) は低くなっている。また、溶出液の pH は 3.4～3.7 と強酸性を示し、Cu、SO₄、Fe および Zn の溶出濃度が高くなっている (図 6.8(1)～(2))。

また、緑灰色を呈する硫化鉱の鉱染の少ない母岩 (玄武岩類) からなるズリは他の区域の溶出状況から類推して、浸出水は中性で重金属類の溶出も低いと推定される。

今後、酸化がさらに進行することにより、一部のズリからは酸性水と共に重金属類の溶出が継続して浸出することが予想される。

(2) ラサイル・ウエスト鉱山

ラサイル・ウエスト鉱山のズリの硫黄含有量は 0.16～20.09% と幅が広く、低品位鉱から硫化鉱の鉱染の少ない母岩を含んでいる。低品位鉱の最大酸発生能 (MPA) は 627 と極めて高いがそ

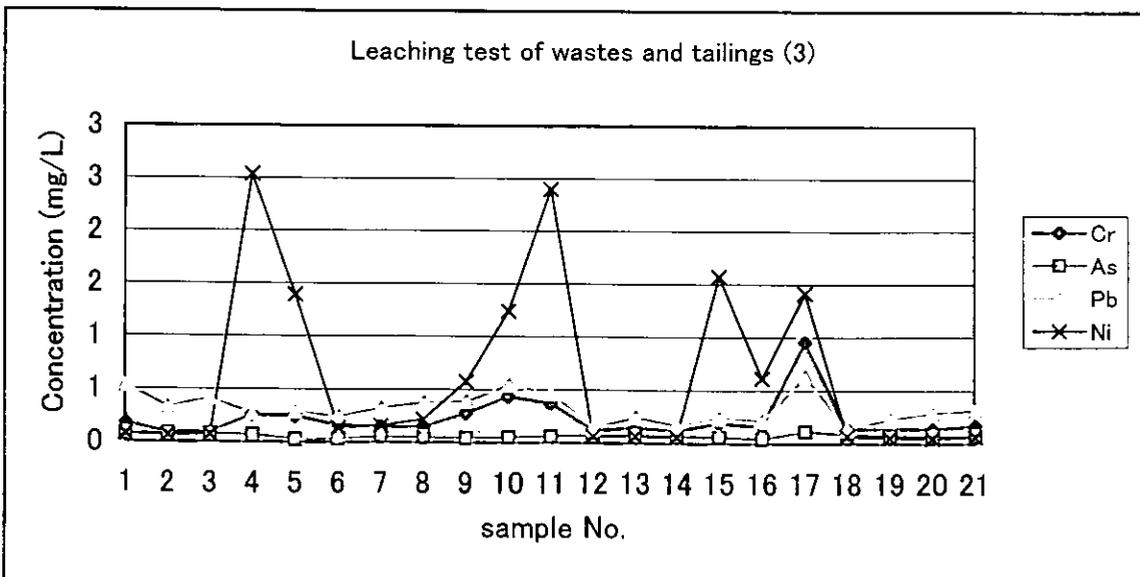
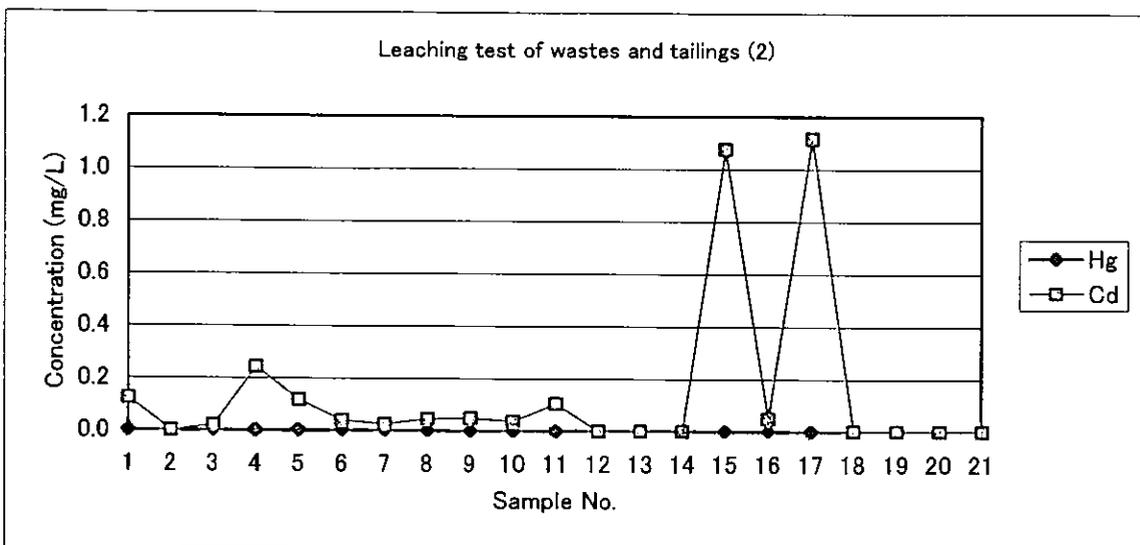
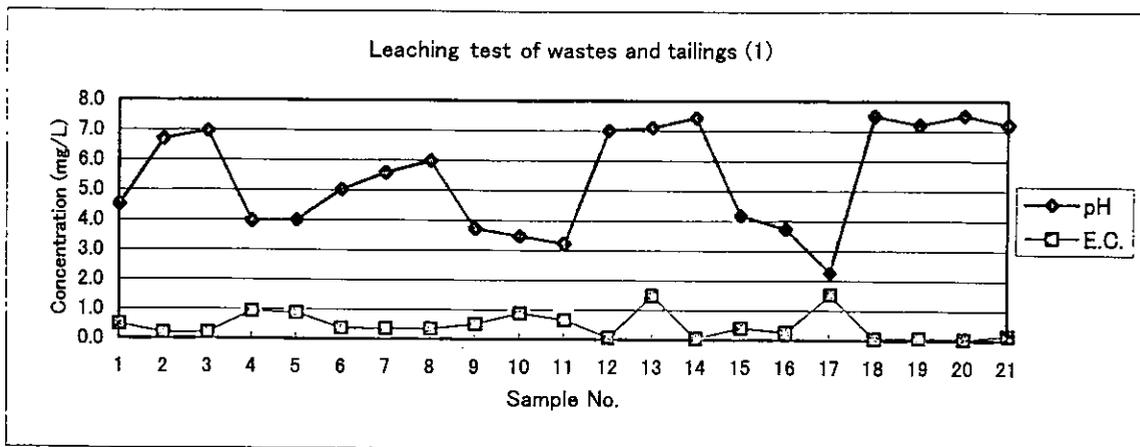
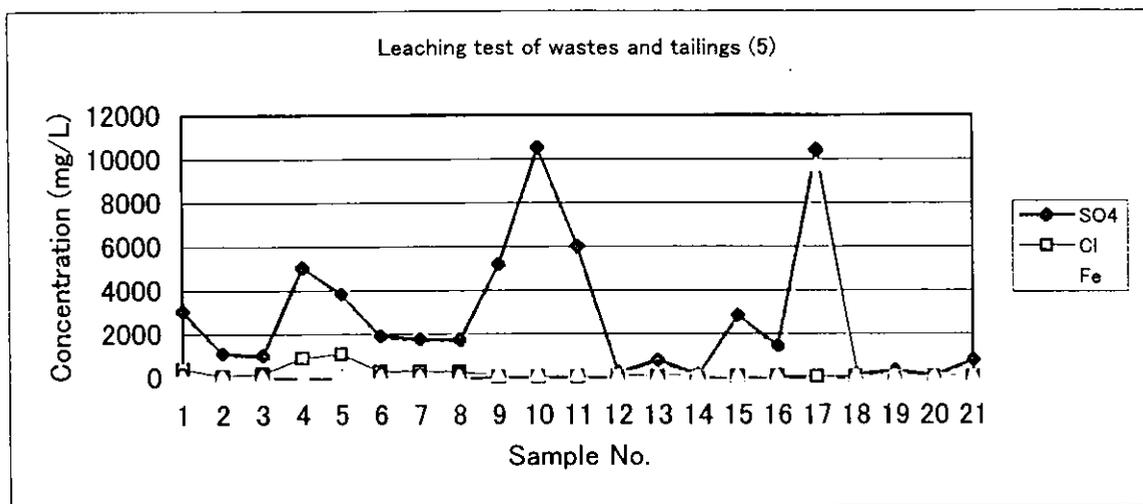
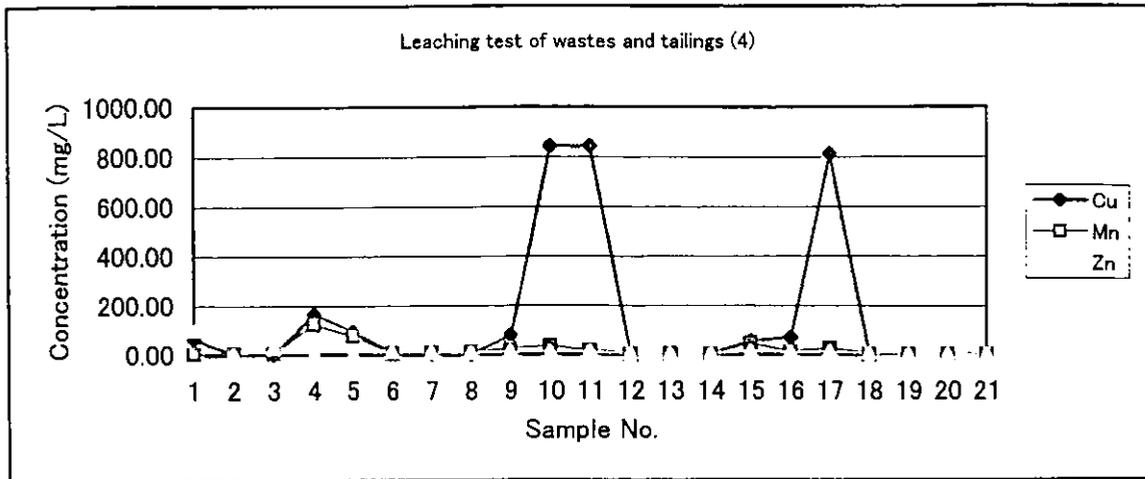


図 6.8 廃さいおよびズリの溶出試験結果 (1)



No.	Sample No.
1	LT-D1A1
2	LT-D1A2
3	LT-D1A3
4	LT-D1B1
5	LT-D1B2
6	LT-D1B3
7	LT-A1
8	LT-A2
9	LT-L1
10	LT-L2
11	LT-LW1

No.	Sample No.
12	LT-LW2
13	LT-LW3
14	LT-LW4
15	LT-A1
16	LT-A2
17	LT-A3
18	LT-A4
19	LT-A5
20	LT-B1
21	LT-B2

図 6.8 廃さいおよびズリの溶出試験結果 (2)

の他のズリは5～36と低くなっており、既に酸化を受けている状況であることが説明できる。

また、溶出液のpHは低品位鉱が3.2と強酸性を示すが、その他は中性である。溶出重金属類は低品位鉱がCu、SO₄、Ni、FeおよびZnの溶出濃度が高くなっている。その他のズリはいずれも低濃度である（図6.8(1)～(2)）。

今後、酸化がさらに進行することにより、一部のズリからは酸性水と共に重金属類の溶出が継続して浸出することが予想されるが、現状より拡大することは少ないと考えられる。

(3) アージャ鉱山

アージャ鉱山のズリの硫黄含有量は0.84～29.16%と幅が広く、低品位鉱、酸化されたズリから硫化鉱の鉱染の少ない母岩を含んでいる。低品位鉱の最大酸発生能(MPA)は911と最も高い値を示すが、その他のズリは26～144と低くなっており、既に酸化を受けている状況であることが推定される。また、NPPも43～75と若干高い。

また、溶出液のpHは低品位鉱とLT-A1、LT-A2が2.2～4.2と酸性を示すが、LT-A4、LT-A5は中性である。溶出重金属類は低品位鉱がCu、SO₄、Ni、FeおよびZnの溶出濃度が高くなっている。その他のズリはいずれも低濃度である（図6.8(1)～(2)）。

今後、酸化がさらに進行することにより、一部のズリからは酸性水と共に重金属類の溶出が継続して浸出することが予想される。

(4) ベイダ鉱山

ベイダ鉱山のズリの硫黄含有量は0.1～0.67%と低く硫化鉱のほとんどは酸化されていると考えられ、現地の状況と一致している。最大酸発生能(MPA)は4～21と低いが、全中和能力(NPP)も28～57と低い。

また、溶出液のpHは中性であり、重金属類の溶出濃度も低い（図6.8(1)～(2)）。

今後の酸化の進行に伴う酸性水の発生および重金属類の溶出が促進されることは少ないと予想される。

6.4 坑内採掘跡およびオープン・ピット跡の坑内水

6.4.1 坑内採掘跡の坑内水

ラサイクルおよびベイダ鉱山は坑内採掘であり、坑内水は現在地表から確認出来ない。

また、人が坑内に立入らないために、鉱山周辺には金網のフェンスおよび高さ2mほどの盛土で封鎖している。

6.4.2 オープン・ピット跡の坑内水

ラサイル・ウエストおよびアージャ鉱山は露天掘りであり、現在旧オープン・ピット内の底部には鉱水が満たされている。

なお、人が坑内に立入らないために、オープン・ピット周辺には金網のフェンスおよび鉱山内に立入らないように盛土で封鎖している。

6.4.3 鉱水の水質

ラサイル・ウエスト鉱山およびアージャ鉱山のオープン・ピット坑内の鉱水を2000年6月、9月および11月の3回にわたって採取し、水質分析を実施した。分析結果を表6.6に示す。

水温は26.9～32.8℃で、11月の水温が6℃ほど低くなっている。

pHは5.80～7.45と弱酸性から中性の範囲にあり、ラサイル・ウエスト鉱山の方が若干低い。

電気伝導度(E.C.)は0.23～0.57S/mと、各鉱水ともほぼ一定し、アージャ鉱山の方が高い。

Hgは0.0004～0.0028mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、アージャ鉱山の方が高い。アージャ鉱水はオマーンの飲料水基準(0.001mg/L)を超えている。

Cdは0.01～0.09mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、両鉱水ともほぼ同濃度である。両鉱水ともオマーンの飲料水基準(0.01mg/L)を超えている。

Crは<0.01～0.05mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、アージャ鉱山の方が高い。

Asは0.003～0.006mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、両鉱水ともほぼ同濃度である。両鉱水ともオマーンの飲料水基準(0.05mg/L)を下回っている。

Pbは<0.01～0.01mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、両鉱水ともほぼ同濃度である。両鉱水ともオマーンの飲料水基準(0.1mg/L)を下回っている。

Cuは0.07～2.37mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、ラサイル・ウエスト鉱山の方が高い。

Mnは22.3～27.5mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、両鉱水ともほぼ同濃度である。

Feは<0.01～0.06mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水とも一定し、アージャ鉱山の方が高い。

Niは0.35～1.42mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水とも一定し、アージャ鉱山の方が高い。

Snは<0.01mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水とも一定している。

Znは1.63～3.93mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、アージャ鉱山の方が高い。

SO₄は1,102～2,046mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、アージャ鉱山の方が高い。

Naは160～610mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、アージャ鉱山の方が高い。

Kは0.70～2.00mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水とも一定し、アージャ鉱山の方が高い。

Mgは70～93mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、アージャ鉱山の方が若干高い。

Caは274～665mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、アージャ鉱山の方が高い。

Clは100～842mg/Lの濃度範囲にあり、各鉱水ともほぼ一定し、アージャ鉱山の方が格段に高

表 6.6 鉍水の水质

(1) First Monitoring in June, 2000

Location	Sample Type	Temp.	pH	ORP	E.C.	Hg	Cd	Cr	As	Pb	Cu	Mn	Fe	Ni	Sn	Zn	SO ₄	Na	K	Mg	Ca	Cl	HCO ₃
		(C.)		(mV)	S/m	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Aarja	Surface Water	32.8	7.41	126	0.57	0.0028	0.09	0.03	0.006	0.01	0.07	27.5	0.04	1.01	<0.01	3.55	2046	572	1.40	88.0	663	752	58
Lasail West	Surface Water	30.2	5.80	241	0.26	0.0004	0.08	<0.01	0.003	<0.01	2.37	25.3	<0.01	0.40	<0.01	1.85	1102	177	0.70	70.0	277	100	10

(2) Second Monitoring in September, 2000

Location	Sample Type	Temp.	pH	ORP	E.C.	Hg	Cd	Cr	As	Pb	Cu	Mn	Fe	Ni	Sn	Zn	SO ₄	Na	K	Mg	Ca	Cl	HCO ₃
		(C.)		(mV)	S/m	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Aarja	Surface Water	31.4	7.45	158	0.55	0.0025	0.01	0.05	0.006	0.01	0.10	24.9	0.05	1.36	<0.01	3.89	2026	560	2.00	93.0	665	784	55
Lasail West	Surface Water	31.5	6.42	268	0.23	0.0005	0.01	0.01	0.004	<0.01	2.33	22.3	0.01	0.38	<0.01	1.73	1138	160	1.00	74.0	274	108	11

(3) Third Monitoring in November, 2000

Location	Sample Type	Temp.	pH	ORP	E.C.	Hg	Cd	Cr	As	Pb	Cu	Mn	Fe	Ni	Sn	Zn	SO ₄	Na	K	Mg	Ca	Cl	HCO ₃
		(C.)		(mV)	S/m	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Aarja	Surface Water	26.9	7.32	89	0.54	0.0027	0.01	0.05	0.005	0.01	0.12	24.7	0.06	1.42	<0.01	3.93	2018	610	2.00	87.0	654	842	54
Lasail West	Surface Water	26.9	6.49	220	0.24	0.0006	0.01	0.01	0.005	0.01	2.14	22.4	0.02	0.35	<0.01	1.63	1200	170	1.00	83.0	285	124	12

(4) Average among three monitoring results

Location	Sample Type	Temp.	pH	ORP	E.C.	Hg	Cd	Cr	As	Pb	Cu	Mn	Fe	Ni	Sn	Zn	SO ₄	Na	K	Mg	Ca	Cl	HCO ₃
		(C.)		(mV)	S/m	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Aarja	Surface Water	30.4	7.39	124	0.55	0.0027	0.034	0.043	0.006	0.01	0.10	25.69	0.05	1.26	<0.01	3.79	2030	581	1.80	89.3	661	793	56
Lasail West	Surface Water	29.5	6.24	243	0.24	0.0005	0.036	0.008	0.004	0.01	2.28	23.33	0.01	0.38	<0.01	1.74	1147	169	0.90	75.7	279	111	11