

## 2-4-2 金の鉱物特性

各鉱物試料については、金鉱物の所在を特定し、各試料の鉱物特性に関する一般情報を得る目的で鉱物試験を実施した。試験に先立ち、試料を典型的な浮選原鉱を代表するように $75\mu\text{m}80\%$ に粉砕した。

各試料についての金の鉱物分布の概要を Table II-2-3 に示す。

Table II-2-3 Occurrence of gold minerals

Body name and Type of ore	Rakah Body Stockwork	Hayl as Safil B. Stockwork	Rakah Body Massive	Bishara B. Breccia
Liberated native gold	15	20	3	4
Locked in sulphides	46	37	57	60
Locked in silicates	12	17	4	4
Undifferentiated $-20\mu\text{m}$	27	27	36	33

全試料について主要硫化鉱物は、黄鉄鉱と黄銅鉱であった。ラカー鉱体の塊状鉱試料には単体粒子として存在する輝銅鉱が相当多量に含有されていた。それに対し、黄銅鉱は黄鉄鉱との連晶として産出することが多い。ラカー鉱体の塊状鉱試料には、未特定鉱物の黄鉄鉱との連晶が認められたが、おそらく別の銅鉱物と考えられる。

## 2-4-3 ボールミル仕事指数

$75\mu\text{m}$  約 80%の産物を得るのに  $106\mu\text{m}$  のスクリーンを使用するボンドの標準法を採用し、各鉱物試料のボールミル仕事指数を測定した。結果の詳細を Appendix 8B に示しているが、Table II-2-4 にボールミル仕事指数の概要を示す。

Table II-2-4 Ball mill work index

	Rakah Body Stockwork	Hayl as Safil B. Stockwork	Rakah Body Massive	Bishara Body Breccia
Feed 80% Passing, $\mu\text{m}$	2,415	2,167	2,214	2,405
Product 80% Passing, $\mu\text{m}$	82	84	85	80
Work Index, kWh/tonne	19.1	16.2	14.2	15.5

ラカー鉱体のストックワーク鉱は、 $19.1\text{kWh/t}$  の最大粉砕仕事指数を記録したが、他の試料は、 $14\sim 16\text{kWh/t}$  の値を示した。

## 2-4-4 浮選試験

### (i) 粉砕粒度の確定

各鉱種から  $1\text{kg}$  ずつを幾つかに分けて取り、回分式ロッドミルにより 60%の濃度で異なった時間粉砕した上、その産物をふるい分けて粒度分布を測定した。各産物の 80%通過粒度をミルの回転数に対してプロットして粉砕粒度の確定曲線を作成した。これから目標の  $P_{80}$  サイズを求め

るのに必要なミルの回転数を内挿法で得ることができる。

回分浮選試験の一次摩鉱粒度  $P_{80}=70\mu\text{m}$  が選定されたが、一部の試験については  $P_{80}=90\mu\text{m}$  を使用した。これらの粉碎を実施するのに必要なミルの回転数を Table II-2-5 にまとめた。

Table II-2-5 Grind requirements

	Rakah Body Stockwork	Hayl as Safil B. Stockwork	Rakah Body Massive	Bishara Body Breccia
Mill revolutions for $P_{80} 70\mu\text{m}$	1,240	1,270	980	1,200
Mill revolutions for $P_{80} 90\mu\text{m}$	1,060	980	760	1,010

## (2) 回分浮選試験

ミル給鉱の70%はストックワーク鉱で構成されることが予想されるため、試験作業の取り掛かりは、まずラカー鉱体のストックワーク鉱に焦点を絞ることとした。他の三つの試料に対しては、後に続くエンジニアリング部門による予備プロセス設計の作業を簡単にするため、ラカー鉱体のストックワーク鉱のフローシートからの変更をできるだけ小さくすることに狙いを定めた。

過去に実施された選鉱試験(Minproc, 1994)の結果を今回最初の浮選条件を決めるために参照した。この試験で使用された捕集剤はイソプロピルザンセート・ナトリウム(SIPX)とミネレック(Minerec)2030であったので、今回の試験計画でも同じ捕集剤を継続使用した。

## (3) ラカー鉱体のストックワーク鉱

### (3)-1 粗選試験

浮選条件、結果及び粗選精鉱品位-実収率曲線を Appendix 8C に示す。

試験番号 FL01-3 は、ラカー鉱体のストックワーク鉱について最初に行った試験である。

試験番号 FL01 では、1994年の試験作業の最良条件に黄鉄鉱浮選段階を付け加えたものを適用した。続いて原鉱の分析値が明らかとなり、試験中には黄鉄鉱が殆ど無いことが示された。FL02 及び FL03 は、pH を FL02 で 9.5、FL03 で 11 に変更した以外 FL01 と同一条件であった。

この試験の中で最良の結果は、FL02 で粗選 1-3 段の精鉱合計で品位 11.0%Cu、実収率 95.6% で銅が回収された。浮選時間は僅か 3 分で、連続商用規模に換算すると 6~8 分に相当する。清掃段では更に原鉱含有量の 1.7%の銅が回収されたが、品位は 0.5%に過ぎなかった。96%の硫黄はそれ以前の段階で浮上していたため、黄鉄鉱系統での硫黄実収率は僅か 1%であり、この系統は無利益であることが証明された。

今回の試料は、硫黄分が 14.4%あった 1994年のラカー鉱体のストックワーク鉱試験試料に比較してかなりの相違があり、硫黄含有量は 3.35%であった。

FL02 で得られた結果は、フローシートコストを節約する方法を試すのに十分良好であった。そのため、次の変更が行われた。

- ・ 試験 FL04 では、粉碎粒度を  $P_{80}=90\mu\text{m}$  に粗くした。
- ・ 試験 FL05 では、捕集剤の添加量を減らした。

- ・ 試験 FL06 では、強力ではあるが選択性の小さい捕集剤であるアミル・ザンセート・カリウム(PAX)を SIPX に変更した。また清掃段での添加量を半分にした。

上記試験での pH は、9.5 であった。

粉碎粒度の粗粒化は、粗選実収率が品位 11.4%Cu で僅か 88%にまで低下するという悪い影響をもたらした。捕集剤の減量は、粗選精鉱品位が 16.9%にまで向上したものの、銅実収率は 86%に低下した。最良の結果は FL06 で、第 1,2 粗選精鉱品位が 18.5%Cu で実収率 87.2%であった。第 1 粗選だけでは、品位 24.2%Cu、実収率 54%であった。

次のラカー・ストックワーク鉱試験は FL16 で、SIPX の添加量を倍増し、M2030 も添加した。以前の試験で得られた結果は、銅鉱物は単純で黄鉄鉱の随伴が少ないことが示されたので、単純な試薬添加法が良い結果をもたらした。また設備費や運転費が安くなる筈である。情報収集の段階であるため、前段での低銅実収率の場合には、第 2 清掃段階が付け加えられた。

試験 FL16 では、総合実収率は維持されたものの、粗選精鉱品位は低下した。試験 FL06 は同じ混合捕集剤で、第 1,2 粗選実収率は同じであったが、粗選精鉱品位は 3.1%高かった。そのためその後の試験でも、同じ混合捕集剤を使い続けることを決定した。

### (3)-2 精選試験

粗選清掃条件は基本的に FL06 と同一で、3 回の精選試験(FL17,FL21 及び FL22)が実施された。

その最初の試験 FL17 では、粗選 1 及び 2 の精鉱を統合して pH9.5 で追加の捕集剤を添加せずに精選及び再精選を実施した。粗選 3 と清掃精鉱は、当分の間個別に保存することとした。粗選 3 の精鉱と精選尾鉱は、一緒にして後の試験で再摩鉱してから再処理した。

試験 FL17 で得られた再精選精鉱は、品位が 24%Cu で実収率 68.8%であった。これを FL06 と比較すると、粗選 1 精鉱単独で品位が 24.8%Cu で実収率 53.9%であった。同様に粗選 1~3 で見ると、FL06 の総合成績は品位が 13.5%Cu で実収率 93.4%であったのに対し、FL17 では、品位が 12.2%Cu で実収率 90.8%あり、それ程の問題はない。

試験 FL21 では、あるプラントでサイクロン底流から回収された高品位フラッシュ浮選精鉱のように、粗選 1 精鉱はそのまま何もしないこととした。しかし精鉱品位 25%Cu を確保するために、浮選時間が 30 秒から 20 秒に減少した。粗選 2 の浮選時間は、実収率を維持するために 70 秒に延長された。粗選 2 の精鉱は pH9.5 で精選され、その尾鉱は粗選 3 の精鉱と合わせて再摩鉱を行ない、pH9.5 で浮選して清掃精選の精鉱と尾鉱がえられた。実際のプラント操業では清掃精選精鉱は精選に繰り返され、清掃精選尾鉱は、粗選系に繰り返されるか、直接最終尾鉱に行くことになる。銅実収率を向上させるために、精選及び清掃精選で少量の捕集剤が添加された。

しかしながら、予想よりも高い重量歩留まりの結果として、粗選 1 精鉱品位は 21.1%Cu に留まった。これは試験目標を下回るものであった。以前の粗選試験での粗選第 2 精鉱は FL05 を除き、9~13%Cu の範囲にあった。それにも拘わらず FL22 の粗選 2 精鉱は、精選後で 11.2%Cu に過ぎず、説明の付かない結果に終わっている。この精選段階での一次尾鉱を粗選 3 精鉱と一緒に

に浮選すると、その精鉱は 9.3%Cu となり、粗選 2 精鉱を精選したものより遥かに低いというわけではない。最初の方の試験で粗選 3 精鉱が FL06 で 2.8%Cu と低品位であったことを考えると、粗選 2 精鉱尾鉱が高品位であったことは理解できる。実際、粗選 3 精鉱はその精選段階で単純に浮いておらず、その結果全部が粗選 3 精鉱の精選尾鉱に入ってしまったものと考えられる。総合した結果は、粗選 1 精鉱と他の 2 つの精鉱と合わせると、品位 16%Cu で実収率 84%に過ぎない。

試験 FL06 では、粗選だけで 13.5%Cu、実収率 93.4%が得られている。

試験 FL22 では、FL21 のすぐ後に実施されたが、その条件は精選と清掃精選での pH が、品位—実収率の関係に対する影響を確かめるために、11 と高くされたことを除き同一であった。

試験 FL22 の結果は、FL21 と同様であった。粗選 1 精鉱は 20.2%に過ぎず、二つの精選精鉱も期待より低い品位を示した。

2 つの後期精選試験での金実収率は、粗選試験からの期待に沿うものであった。

### (3)-3 浮選産物の鉱物鑑定

鉱物組成に起因する銅選鉱への制約について、ある程度の理解を得るために、試験 FL22 の次の産物につき鉱物試験を実施した。

- ・ 粗選 1 精鉱
- ・ 粗選 2 精鉱の精選精鉱
- ・ 粗選 3 精鉱の精選精鉱

銅品位 20.2%Cu の粗選 1 精鉱では、黄銅鉱が卓越する鉱物であった。その単体分離度は約 50%であった。この産物中の黄鉄鉱及びケイ酸鉱物の単体分離度は低く、それぞれ約 30%、20%を示した。この産物中には、重量比 10%程度の十分に分離した黄鉄鉱及びケイ酸鉱物と重量比 27%程度の片刀状の黄鉄鉱及びケイ酸鉱物が存在することから、いくらか捕集剤量及び浮選時間を減らした条件において高い精鉱品位を得られるものと考えられる。これは片刀状物質を、再摩鉱系統に接続している第 2 粗選系に押しやることになる。

銅品位が僅か 10.8%Cu の粗選 2 精鉱の精選精鉱では、黄銅鉱の 1/3 だけが単体分離した。主な不純物は黄鉄鉱で、産物の 40%を占めていた。粗選 2 精鉱の再摩鉱は必要である。黄銅鉱中には、直径 1~30 $\mu$ m の黄鉄鉱とケイ酸鉱物の連晶が存在しているため、非常に細かい再摩鉱が要求される。

粗選 2 精鉱の精選尾鉱と粗選 3 精鉱(2%Cu)を合わせて浮選した尾鉱産物では、ほぼ 90%が単体分離していた。この産物の粒度は、主に 30 $\mu$ m 以下であったことは注目に値する。

鉱物組成から粗選 2 精鉱と粗選 3 精鉱は、両方とも 40 $\mu$ m 以下に再摩鉱する必要がある。

### (3)-4 金回収

ラカー鉱体のストックワーク鉱試料について金鉱物の性状について鉱物を行った結果を Table II-2-6 に示す。

試験 FL06 では、74%の金が粗選 1-3 で回収され、さらに 12%が清掃精鉱中に回収された。後

者は主として黄鉄鉱に伴うものであると考えられる。

Table II-2-6 Gold mineralogy of Rakah stockwork

Size Fraction	Mode of occurrence	Distribution (%)
+20 $\mu$ m	Liberated native gold	15
	Locked in silicates	12
	Locked in sulphides	46
-20 $\mu$ m	Undifferentiated	27

金の実収率は、単体分離した金でも粗過ぎて浮かなかったり、ある金は黄鉄鉱に伴うものであったり、またケイ酸鉱物に伴う大部分の金は尾鉱に流失するので、その鉱物的な物性に依存する。粗選精鉱中の金は、採算レベル(通常 1~2g/t)以上であった。

#### (4) ハイル・アス・サフィール鉱体のストックワーク鉱

##### (4)-1 粗選試験

浮選条件、結果及び粗選精鉱品位-実収率曲線を Appendix 8C に示す。

試験番号 FL07 及び FL08 は、ハイル・アス・サフィール鉱体のストックワーク鉱について行った試験である。試験番号 FL07 は、ラカー鉱体のストックワーク鉱の試験 FL02 と同一条件を採用した。試験 FL08 では、高い pH レベルの 12.5 を採用した。FL07 での黄鉄鉱浮選を除き、他の条件はすべて同一であった。

pH12.5 の試験では、粗選 1-3 精鉱で品位 12.2%Cu、実収率 94.8%と遥かに良い成績が得られた。金品位は採算レベル以上ではあったが、実収率は 50%に過ぎなかった。とは言え、金の原鉱品位は僅か 0.16g/t である。

試験 FL13 の条件は FL06 と同じであったが、pH だけは 12.5 と高く設定された。これらの試験の品位-実収率曲線は、粗選精鉱の品位 16%Cu と実収率 92%で交差していた。しかし試験 FL13 では浮選剤の使用量が少な過ぎたので、FL06/pH12.5 を標準とした。そのほか、試験 FL08 では逆算原鉱品位が若干低くなっており、このことから尾鉱品位が低く出過ぎたことが示唆される。この点は FL13 では好転している。

全体としての目的は、最適の選鉱成績を得るのに pH 条件だけを変えることでラカー鉱体のストックワーク鉱と同一捕集剤条件を使用したフローシートを開発するということであった。これはプラントの運転や制御を容易にし、かつ設備費や恐らく操業費も低減させることであろう。試験作業のこの段階で、ラカー鉱体のストックワーク鉱とハイル・アス・サフィール鉱体のストックワーク鉱については、粗選・清掃系の条件では達成されたことになる。

##### (4)-2 精選試験

次に行った試験は、ラカー鉱体のストックワーク鉱の FL17 と同一条件の精選試験 FL18 であった。結果は、ラカー鉱体のストックワーク鉱の精選試験と同様であったが、FL18 での全体的

な結果は品位-実収率曲線で僅かに粗選系だけが、FL17に比肩できるものであった。試験 FL13 では、粗選 1 精鉱単独で、品位 22%Cu, 実収率 73%であるのに対し、FL18 の精選精鉱は品位 24%Cu, 実収率 75%であった。再精選精鉱品位は 28%Cu であったが、実収率は僅か 47.5%であった。

#### (4)-3 鉱物鑑定試験

試験 FL13 の次の産物について鉱物鑑定試験を実施した。

- ・ 銅粗選 1 精鉱
- ・ 銅粗選 2 精鉱

鉱物鑑定結果を Appendix 8D に示す。

この2つの産物は、90%の回収銅量を含有していた。この鉱石については、主としてラカー鉱体のストックワーク鉱の試験産物と比較するために銅の単体分離度を測定することにした。

銅粗選 1 精鉱(22%Cu)は、ラカー鉱体のストックワーク鉱の試験 FL22 と同程度の銅含有であった。しかし単体分離度は、ラカー鉱体のストックワーク鉱が僅か 50%であったのに対し 90%に達していた。ケイ酸鉱物及び黄鉄鉱の鉱物物性は同様であった。ラカー鉱体のストックワーク鉱と同じく浮遊性を弱くする条件で高品位精鉱が得られ、脈石はより多く再摩鉱に回るに違いない。

銅粗選 2 精鉱(8.8%Cu)は、ラカー鉱体のストックワーク鉱の試験 FL22 の粗選 2 精鉱と類似した特性を持ち、単体分離度は貧弱であった。前述のハイル・アス・サフィール鉱体のストックワーク鉱の鉱物鑑定に基づいて作成したフローシートは、ハイル・アス・サフィール鉱体のストックワーク鉱にも適用可能と考えられる。

#### (5) ラカー鉱体の塊状鉱

##### (5)-1 粗選試験

浮選条件、結果及び粗選精鉱品位-実収率曲線を Appendix 8C に示す。

試験 FL07 では、ラカー・ストックワーク鉱に対して高実収率が得られた FL02 と同じ条件が適用された。ラカー塊状鉱では、黄鉄鉱精鉱が遥かに大きな重要性を持つことが期待された。この試料は 3.8g/t の金を含有していて、黄鉄鉱精鉱への金分布は特別の関心が払われた。試験 FL10 は、この試料について黄鉄鉱の抑制を高める必要性から pH9 で実施した。

高 pH の試験は、良好な結果をもたらした。粗選 1-3 精鉱は 84.9%の実収率で品位 26.5%Cu であった。黄鉄鉱精鉱は、品位 32%S, 実収率 57.9%であった。試験 FL09 では銅粗選系で黄鉄鉱が浮いたために、硫黄実収率は僅か 42.5%であった。全体的な条件での試験 FL09 の黄鉄鉱実収率は、最終尾鉱中の硫黄が試験 FL10 の 22.3%と比較して 6%と低かったため、成功だったと言える。

試験 FL09 の粗選条件で銅品位を上げるためには、黄鉄鉱は精選段階で排除する必要があるであろう。しかしこの条件下では、試験 FL10 の条件下よりも黄鉄鉱の総合実収率は改善される

可能性がある。中程度の pH レベルでは、黄鉄鉱の抑制効果は減少するものの、後に続く黄鉄鉱粗選系で実収率が增大すると共に、良好な銅粗選品位が獲得されたと考えられる。

従って試験 FL14 では、ラカー鉱体のストックワーク鉱での最善結果の条件(FL06)通りとしたが、pH 値だけは 11 とした。その結果は、(以前銅に対し最良であった) FL10 と 1 つの例外を除きほぼ同様であった。2 つの試験は、黄鉄鉱浮選の段階では同一条件で実施されたが、硫黄実収率は FL14 では 54% と FL10 の 72% に比較して著しく低下した。

#### (5)-2 金回収

試験 FL09 において、粗選精鉱中の金品位が 13~35g/t の範囲では銅と金品位間で顕著な相関が示された。しかし実収率は 3 つの精鉱を合わせても 37% しかなかった。残りの半分は清掃精鉱に、後の半分は黄鉄鉱精鉱に含まれた。黄鉄鉱中の金品位は 4g/t しかなく、焙焼/浸出による回収を保証するには低過ぎる可能性があった。この試験の最終尾鉱には、10.5% の金と 5.5% の硫黄が含まれており、単体分離した金か、または何かのケイ酸塩と結びついた金のロスがあることが示された。

ラカー鉱体の塊状鉱に伴う金の分布は Table II-2-7 に示したように測定された。

Table II-2-7 Gold mineralogy of Rakah massive sulphide ore

Size Fraction	Mode of occurrence	Distribution (%)
+20 $\mu$ m	Liberated native gold	3
	Locked in silicates	4
	Locked in sulphides	57
-20 $\mu$ m	Undifferentiated	36

これには、ラカー鉱体のストックワーク鉱(46%)より多い硫化物と結びついた金(57%)が存在する。ケイ酸鉱物との片刀は、3%対 12%と遥かに少ない。

試験 FL09(pH9 での銅浮選)では FL10(pH11 での銅浮選)に比べて高い硫黄実収率が得られ、これが銅精鉱(黄鉄鉱が多い)と黄鉄鉱浮選精鉱(硫黄実収率が高い)の両方に高い金実収率をもたらしたことは明らかである。

#### (6) 尾鉱の鉱物鑑定

この試料の低銅粗選実収率の原因を突き止めるため最終尾鉱の鉱物試験を実施した。銅粗選 1-3 の実収率は 85% で、対応するラカー鉱体のストックワーク鉱やハイル・アス・サフィール鉱体のストックワーク鉱の数値に比べて約 10% 低かった。分布率で 10% の銅を含有する試験 FL20 の最終尾鉱に対し、鉱物試験を実施した。その結果の概要を Table II-2-8 に示す。

この鉱石から高い銅実収率を上げるためには、より細かい一次粉砕が必要なのは明らかであるが、鉱量の少ない鉱種についてはこの限りではない。

Table II-2-8 Tailing mineralogy of Test FL20

	Chalcopyrite	Covellite
Mineral proportion in Tailings, %	30	70
Mineralogy		
% liberated		10
% locked with pyrite	100	20
% locked with non-sulphide		50
% locked in complex particles		20

### (6)-1 精選試験

1回だけの精選試験 FL20 を実施した。銅粗選及び清掃は、FL14 と同条件で行ったが、石灰は FL10 と等量をミルに添加した (FL14 でミルに更に 1,500g/t が追加されたが、効果は認められなかったため)。3 つの粗選精鉱を集めて、精選/再精選を行った。銅清掃精鉱は別に残した。硫黄実収率をできるだけ高めるために黄銅鉱浮選の pH を 8.5 に抑えた。

精選精鉱は、品位 43.4%Cu, 実収率 78.3%であった。これは精選給鉱である粗選精鉱 1-3 の品位 31%Cu, 実収率 84.6%に対比されるものであるが、12%高品位の精鉱は、輸送・製錬費を考えると 6.3%の実収差を差し引いても実収入でより有利になると思われる。

ラカー鉱体の塊状鉱が、同鉱体のストックワーク鉱について FL21 及び FL22 で試験した精選フローシートにうまく対応しない理由はないと考えられる。試験 FL14 では、粗選 1 精鉱は、41.5% Cu の品位を示した。もし高品位の粗選精鉱 1 がそのまま最終精鉱となるようなフローシートが組み込まれれば、ラカー鉱体の塊状鉱は鉱石調合の過程で“甘味料”の役割を果たすに違いない。

各試験の比較をする上で、銅粗選条件が一致している試験 FL14 及び FL20 の結果は、指摘しておく価値がある。

Table II-2-9 Comparative results of Test FL14 and 20

Test No.	Rougher 1-3 Grade, % Cu	Rougher 1-3 Recover, % Cu
FL14	30.9	85.5
FL20	31.0	84.6

Table II-2-9 の結果は、別の精選/再精選フローシートの評価ができないことを抜きにして、優れた再現性を示しているといえる。

### (7) ビシャーラ鉱体の角礫状鉱

#### (7)-1 粗選試験

浮選条件、結果及び粗選精鉱品位-実収率曲線を Appendix 8C に示す。

ビシャーラ鉱体の角礫状鉱について、最初に 2 つの試験を行った。試験 FL11 には標準として



採用した FL06 の条件が適用された。試験 FL12 の条件も FL06 にならったが、試験的に pH8.5 とした。

両試験の結果はほぼ同じで粗選 1-3 精鉱の実収率は共に 66% しかなかった。他の試料とは異なり、高い比率(10%)の銅が清掃段階で回収された。試験 FL15 では条件を FL11 と同じにしたが、銅実収率を改善するため、捕集剤添加量を増やした。銅粗選で各捕集剤を、粗選 2 と 3 でそれぞれ 7g/t, 3g/t に増量した。また、清掃系の捕集剤を倍増し、浮選時間を同じに留めた。

試験 FL15 の結果は、試験 FL12 を少し上回っただけであった。清掃尾鉱には、19%の銅が流出した。現時点までに実施したこの試料の 4 つの試験で粗選 1 精鉱の品位は 20~23%であった。

#### (7)-2 尾鉱の鉱物鑑定

銅の損失の性状把握のため試験 FL15 の最終尾鉱の鉱物試験を実施した (Appendix 8D 参照)。銅はすべて黄銅鉱で、そのうち単体分離していたのは僅か 1%であり、大部分(74%)の黄銅鉱は 3 つの鉱物がからむ複雑な片刀を形成していた。

#### (7)-3 精選試験

精選試験は、ラカー鉱体のストックワーク鉱に対する試験 FL21 をベースにして行った。この試験では、黄鉄鉱浮選をラカー鉱体の塊状鉱に準じて行い、全産物について金分析を実施した。

ビシャーラ鉱体の角礫状鉱原鉱の硫黄分は 28%S であり、ラカー鉱体の塊状鉱より低かったが、ラカー鉱体のストックワーク鉱やハイル・アス・サフィール鉱体のストックワーク鉱に比べると遥かに高い。

この試験の結果は若干失望的であった。第一に、浮選時間を短くしたにも拘わらず粗選 1 精鉱の品位は 19.2%に過ぎなかった。これは多分に実験技術の結果と言える。なぜなら実収率は予想したより高かったからである。第二に、粗選 2 精鉱(以前の試験では 13%Cu)を精選した精鉱の品位が 13.8%しかなかったことである。粗選 1 精鉱と精選精鉱を合わせた品位は 17.3%Cu, 実収率 63%で試験 FL19 で粗選 1 精鉱と粗選 2 精鉱を合わせたものと何ら変わりが無かった。

銅清掃尾鉱中の硫黄分は 84%で、そのうちの半分以下が黄鉄鉱精鉱に取り込まれた。金はその 43%が最終尾鉱に取り残された。銅清掃尾鉱中には分布率 20%の銅が残り、その半分が黄鉄鉱精鉱に入った。黄鉄鉱精鉱自体の金品位は僅か 1.4g/t であった。

#### (7)-4 鉱物鑑定試験

次の産物が鉱物鑑定試験に供された。

- ・ 試験 FL23 の粗選 1 精鉱
- ・ 試験 FL15 の粗選 2 精鉱
- ・ 試験 FL23 の清掃精鉱

鉱物鑑定の結果を Appendix 8D に示す。

試験 FL23 からの粗選 1 精鉱(19.2%Cu)は、ラカー鉱体のストックワーク鉱の試験 FL22 から

の同産物と類似するものであったが、含まれる黄鉄鉱が多く、ケイ酸鉱物が少なかった。しかし単体分離度は類似していた。ラカー鉱体のストックワーク鉱、ハイル・アス・サフィール鉱体のストックワーク鉱と同様に、ビシャラ鉱体の角礫状鉱からも高品位の粗選 1 精鉱が得られる筈である。

試験 FL15 の粗選 2 精鉱(13.2%Cu)の単体分離度は貧弱で、鉱物鑑定の結果に示されているように、30 $\mu$ m 以下に再摩鉱することが不可欠である。

試験 FL23 の清掃精鉱(品位 3.2%Cu, 分布率 7%)の単体分離度は極めて低かった。90%以上の黄銅鉱が黄鉄鉱に取り囲まれていた。この産物には、他の試料の同等産物より多い銅が含有されていた。この高い分布率は、明らかに採用された標準的な一次粉碎粒度によるこの試料全体の単体分離不足に起因していると推定される。前述した尾鉱の鑑定結果はこの試料についても適用可能である。

#### (8) 回分浮選試験結果の概要

各試験による粗選シリーズで得られた最良の結果を Table II-2-10 に示す。pH だけは試料間で変えたが、捕集剤は全試験で SIPX と M2030 の混合捕集剤を使用した。

Table II-2-10 Summary of best rougher/scavenger flotation tests

	Rakah B. Stockwork	Rakah B. Massive	Hayl as Safil Stockwork	Bishara B. Breccia
Test No	FL06	FL14	FL13	FL15
Grind P <sub>80</sub> , $\mu$ m	70	70	70	70
pH	9.5	11	12.5	9.5
Cu Recovery, %				
Cu Ro Con l	53.9	38.7	72.9	38.2
Cu Ro/Sc Con	95.7	88.0	94.4	80.8
Cu Grade, %				
Cu Ro Con l	24.8	41.5	22.0	22.6
Cu Ro/Sc Con	8.6	18.1	10.7	10.3
Au Recovery, %				
Cu Ro/Sc Con	86	27.6	40.9	23.9
Py Con	--	35.6	--	28.5 <sup>(1)</sup>
Au Grade, %				
Cu Ro/Sc Con	3.2	10.8	1.3	2.4
Py Con	--	3.5	--	1.4 <sup>(1)</sup>

Ro: Rougher, Con: Concentrate.

(1): Results for pyrite concentrate produced in test FL23.

計画ミル給鉱の鉱種比率は、およそストックワーク鉱が 70%、角礫状鉱が 15%、塊状鉱が 15%と予想される。ラカー鉱床及びハイル・アス・サフィール鉱床の 2 つのストックワーク鉱の比率を 50:50 と仮定すると、全体的なミル給鉱に対する平均的な銅粗選 1 精鉱は品位 25.6%Cu, 実収率 56.2%と予想される。

### (9) 精鉱の分析

3 鉱種についての回分浮選試験中に得られた高品位粗選精鉱については、最終精鉱内の適切な水準の目安を求めるため一連の成分の分析を行った。

それぞれの精鉱の分析値は Appendix 8E に示した。ラカー鉱体とハイル・アス・サフィール鉱体のストックワーク鉱からの精鉱はほぼ同じ内容であるが、ラカー鉱体のストックワーク精鉱はヒ素の含有量が高い(600ppm 対 50ppm)。

ラカー鉱体の塊状精鉱は、ストックワーク精鉱とは若干内容が異なっている。塊状精鉱はヒ素の含有量が 6,600ppm と著しく高く、水銀もストックワーク精鉱の<1ppm に比べて高く 11ppm 含有している。また塊状精鉱は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O、MgO、SiO<sub>2</sub>が低い。

### (10) 大量試料の浮選

浮選後の試料用の十分な量の精鉱や尾鉱を準備するために、各鉱種についてそれぞれ 21kg の試料を処理した。

P<sub>80</sub>=70 μm に砕かれた回分試料 7kg を、容量約 15 リットルの 2 連式回分浮選機で前回の回分浮選試験の条件を使って浮選した。試験の概要やそれぞれの条件を Table II-2-11 に示す。

Table II-2-11 Flotation of bulk samples

Sample	Test Conditions	Products
Rakah Stockwork	as per test FL05	Cu ro con 1+2, Cu tails
Hayl as Safil Stockwork	as per test FL13	Cu ro con 1, Cu tails
Rakah Massive Sulphide	as per test FL10	Cu ro con 1+2, Cu tails
Bishara Breccia	as per test FL23	Cu ro con 1, Cu ro con 2+3, Py con, Py tails

ro: rougher, con: concentrate.

試験で得られた産物を、秤量や分析を行うことなく、沈降試験やろ過試験用に湿ったケーキの状態に保管した。

#### 2-4-5 沈降及びろ過試験

各鉱種の銅浮選精鉱について沈降及びろ過試験を実施した。各鉱種の浮選尾鉱については、沈降試験だけを行った。

##### (1) 凝集剤選定試験

ラカー鉱体のストックワーク鉱の精鉱及び尾鉱について、凝集剤選定の予備試験を実施した。次の 3 種類の凝集剤を試験した。

- Nalco9903 (ノニオン系)
- Magnafloc M455 (カチオン系)
- Nalco9602 (アニオン系)

各凝集剤をメスシリンダに入れた各精鉱や尾鉱のスラリーにいろいろな添加量で注入した。大体の沈降速度と上澄水の透視度を記録し、フロックの性状を観察した。

2つの凝集剤 Nalco9903 と Magnafloc M455 が初期沈降速度と上澄水の透視度の条件で、同程度の性能を持ち、添加量は 10~20g/t 程度で有効であることが判明した。

以上の結果をふまえて、Nalco9903 を添加量変量試験用に選定した。

## (2) 沈降試験方法

湿ったろ過ケーキを 600mL のメスシリンダに入れほぼ 25%濃度のスラリーになるように調整した。プランジヤで攪拌し固体粒子を懸濁させ、0.05%濃度の凝集剤を（水で 50mL に希釈して）4段階に添加した。プランジヤを更に深く入れ、4回上下させて固体と凝集剤を良く混合した後、プランジヤを抜き取って、スラリーの初期高さを記録した。

その後、沈降試験に入り、定期的に界面レベルを記録した。固体が沈降して圧縮域に入ったところで、6回転/時間で回転するピケット・レーキを沈降泥に挿入した。更に 16 時間後、最終沈降泥面高さを記録した。

沈降試験の終了時に沈降した固体をろ過、乾燥、秤量し、固体比重を測定した。界面の高さを時間に対してプロットし、Talmage と Fitch により修正された Kynch の技法を使って、近似沈降所要単位面積を計算した。（シクナ面積の決定、Talmage and Fitch, Ind. and Eng. Chem., Vol 47 No.1）

## (3) 銅精鉱沈降試験

大量試料の浮選で生産された精鉱を、沈降試験に先立ち乾燥しないで湿ったろ過ケーキの状態で保管した。

沈降試験は、凝集剤 9903 を使い、添加量およそ 0, 5, 10, 20g/t で実施した。実際の添加量は、沈降試験の原鉱として使用した湿潤ろ過ケーキの水分量の推定に基づく試料重量の変動によって多少の変動が生じた。

最適添加量は試料間で差異があるが、凝集剤添加量 10g/t を使って得られた結果を Table II-2-12 に要約した。

Table II-2-12 Settling tests of copper concentrates (10g/t flocculant)

	Rakah B. Stockwork	Hayl as Safil Stockwork	Rakah B. Massive	Bishara B. Breccia
Final U/F % Solids	67	62	64	64
Estimated Thickener Area m <sup>2</sup> /tpd				
55 % Solids U/F	0.07	0.13	0.05	0.11
60 % Solids U/F	0.09	0.16	0.06	0.13
65 % Solids U/F	0.11	0.17	0.06	0.14

U/F: using 9903 flocculant.

#### (4) 銅浮選尾鉱の沈降試験

沈降試験用の各鉱種別銅浮選尾鉱が、大量試料の浮選で生産された。製造された尾鉱を、沈降試験に先立ち乾燥しないで湿ったろ過ケーキの状態に保管した。尾鉱試料からは、(金採取試験用の)黄鉄鉱精鉱も生産されたが、沈降試験に使われた試料は銅浮選尾鉱つまり黄鉄鉱浮選の前の状態に相当することに留意されたい。即ち本来試験試料は金採取処理をした後の黄鉄鉱精鉱を再混合した黄鉄鉱浮選尾鉱であるべきであり、それがプラントの最終尾鉱になる筈であるからである。

沈降試験を、凝集剤 9903 を使い、添加量およそ 0, 5, 10, 20g/t で実施した。実際の添加量は、沈降試験の原鉱として使用した湿潤ろ過ケーキの水分量の推定に基づく試料重量の変動によって多少の変動が発生した。

最適添加量は試料間で差異があるが、凝集剤添加量 20g/t を使って得られた結果を Table II-2-13 に要約した。

Table II-2-13 Settling tests of copper tailings (20g/t flocculant)

	Rakah B. Stockwork	Hayl as Safil Stockwork	Rakah B. Massive	Bishara B. Breccia
Final U/F % Solids	63	67	70	68
Estimated Thickener Area m <sup>2</sup> /tpd				
55 % Solids U/F	0.37	0.12	0.03	0.14
60 % Solids U/F	0.41	0.15	0.04	0.17
65 % Solids U/F	0.44	0.17	0.06	0.19

U/F: using flocculant

#### (5) 銅浮選精鉱のろ過試験

##### (5)-1 試験方法

精鉱試料は、水を加えて 60%濃度に調整し、凝集剤 Nalco9903 を 10g/t を添加し、固体粒子を凝集させた。次にスラリー試料を、Neotex6044 のろ布を張った上部給鉱式真空フィルタに注入した。

真空を作用させ、フィルタケーキ形成時間(ケーキ表面から自由水が消失するまでの時間)を記録した。所定時間真空を作用させてケーキを脱水した。最終ケーキの厚さを計測した後、ろ布からケーキを剥離させ湿重量を記録した。乾燥後ケーキ乾重量を測定した。

各試験について異なるケーキ厚さが残るように、固体重量を変えて 3 回の試験を実施した。一連の脱水時間/ケーキ水分のデータが得られるように、ケーキ形成時間の 5, 10, 0.2 倍に相当する脱水時間を採用した。

##### (5)-2 試験結果

試験結果の要約を Table II-2-14 に示す。

ハイル・アス・サフィール鉱体のストックワーク精鉱は、他の試料に比べてかなり劣悪なる過を示した。

Table II-2-14 Filtration tests of copper flotation concentrates

Sample	Dry: Form Time Ratio	Cake Moisture	Cake Thickness mm	Formation Rate kg/h.m <sup>2</sup>
Rakah Stockwork	5 : 1	15.4	5	1,908
	1 : 1	16.3	10	1,141
	0.2 : 1	16.9	15	823
Hayl as Safil Stockwork	5 : 1	17.6	5	735
	1 : 1	17.5	10	449
	0.2 : 1	17.7	15	282
Rakah Massive Sulphide	5 : 1	16.2	5	1,968
	1 : 1	16.5	10	1,745
	0.2 : 1	16.6	15	975
Bishara Breccia	5 : 1	16.9	5	1,750
	1 : 1	17.0	10	875
	0.2 : 1	17.1	15	655

#### (6) 運搬限界水分

運搬限界水分(TML)は、全鉱種の大量試料の銅浮選精鉱産物を混合した銅精鉱を用いて測定された。

使用された方法は、1989年ロンドンの国際海事機構発行の固体ばら荷安全運用規定に記載された手順である。測定はスランプテーブルの上で流動化が観察されるまで精鉱試料の水分を逐次上昇させていくものである。流動水分点は、流動化が起こる直前、直後の水分含有量の平均値で決めるので、TMLは90%とする。

混合銅浮選精鉱のTMLは11.5%と推定された。

#### 2-4-6 青化法による金の回収

銅浮選尾鉱に金回収試験を行うのに十分なだけの金量を保有しているのはラカー鉱体の塊状鉱とビシャーラ鉱体の角礫状鉱だけであった。また両試料から黄鉄鉱精鉱を浮選で回収した後、その尾鉱にかなりの金が存在していたので、浸出試験は2つの黄鉄鉱と尾鉱について実施した。

ラカー鉱体の塊状鉱試料の黄鉄鉱精鉱とその尾鉱は、回分浮選試験 FL09, FL10, FL14 の産物を一緒したものであるが、ビシャーラ鉱体の角礫状鉱試料は大量試料浮選で入手された。

#### (1) 黄鉄鉱精鉱の焙焼

各黄鉄鉱精鉱は、(自然発火による過度の高温の機会を減らすために)2倍量の砂と混合し、マッフル炉により700℃で4時間焙焼された。炉内に空気が吹き込み、試料全体が確実に酸化されるように精鉱が定期的にかき混ぜられた。希釈砂の影響を補正した後の試料分析値と焙焼による損失重量の概要をTable II-2-15に示す。

Table II-2-15 Roasting of pyrite concentrates

	Rakah Massive Sulphide	Bishara Breccia
Initial sample weight, g	313	348
Final calcine weight, g	208	285
Weight loss in roast, %	34	18
Assays, Au g/t		
Before roast	3.5	1.8
After roast <sup>(1)</sup>	5.3	2.3

(1) Calculated from assay of un-roasted concentrate and weight loss during roast

## (2) 黄鉄鉱浮選精鉱の青化浸出

黄鉄鉱精鉱試料は、NaCN 0.15% (公称) pH11 で 48 時間浸出された。所定の時間間隔で溶液試料を採取し、金品位と自由シアン量を分析した。試薬 (NaCN と消石灰) は所要条件を維持するための必要量が添加された。最終残査については金銀の分析を行った。

青化浸出に先立ち次の前処理を行った。

- ・ 浮選したまま
- ・ 再摩鉱
- ・ 700°Cで焙焼

青化浸出試験結果の詳細は、Appendix 8F に記載されているが、概要を Table II-2-16 に示す。

Table II-2-16 Cyanide leaching of pyrite concentrates

	Rakah Massive Sulphide			Bishara Breccia		
	As Floated	Reground	Calcined	As Floated	Reground	Calcined
Grind P <sub>90</sub> , μm	70	34	70	70	18	70
Head Assay, Au g/t	3.53	3.53	5.30	1.84	1.84	2.26
Calc. Head Assay, Au g/t	3.37	3.61	8.12	1.97	1.91	2.16
Residue Assay, Au g/t	2.42	1.93	1.18	1.40	1.13	0.75
Au Extraction, %						
8 hours	28	40	82	28	28	62
48 hours	28	44	85	30	30	66
NaCN Cons, kg/t	5.9	7.8	13.2	17.6	17.6	46.1

両試料とも浮選精鉱そのままの浸出率は、ほぼ 30% と低調であった。再摩した精鉱では、それぞれ 40%、45% に上昇し、焙焼鉱ではラカー鉱体の塊状鉱が 85%、ビシャーラ鉱体の角礫状鉱が 66% と最高の浸出率が得られた。

浮選精鉱の低浸出率、再摩後の比較的小さな浸出率の上昇は、金粒が硫化物 (黄鉄鉱及び恐らく硫砒鉄鉱) 中に極度に細かい状態で分散していることを示唆している。

一方焙焼後達成された高い金抽出率からは、何らかの手段例えば焙焼、加圧酸化、バクテリア酸化による精鉱の酸化が金浸出率を最大にする最高の機会をもたらすことが想定される。

しかし、青化ソーダの消費量は大きく、焙焼鉱については特に高くなっている。試験結果によると、青化物のコストはビシャーラ鉱体の角礫状鉱の含有金価値を上回ることになり、ラカー鉱体の塊状鉱の大部分でも同様である。

高い青化物消費は、黄鉄鉱精鉱中に残留している銅鉱物が溶解する結果によるものか、または黄鉄鉱物との直接反応によるものと考えられる。

消費量の減少は（金抽出率を低下させないで）浸出時間の短縮によって可能ではあるが、青化物の消費率は、これらの試料から総合金実収率を最適化する際、処理しなければならない大きな問題である。

### (3) 黄鉄鉱浮選尾鉱の青化浸出

黄鉄鉱尾鉱試料を、NaCN0.05%（公称）pH11で48時間浸出した。所定の時間間隔で溶液試料を採取し、金品位と自由シアン量を分析した。試薬（NaCNと消石灰）は所要条件を維持するために必要量を添加した。最終残査について金銀の分析を行った。

青化浸出試験結果の詳細は、Appendix 8Gに記載されているが、概要をTable II-2-17に示す。

Table II-2-17 Cyanide leaching of pyrite tailings

	Rakah Massive Sulphide	Bishara Breccia
Head Assay, Au g/t	1.93	0.92
Calc. Head Assay, Au g/t	1.66	0.87
Residue Assay, Au g/t	1.09	0.72
Au Extraction, %		
8 hours	31	16
48 hours	35	19
NaCN Cons, kg/t	6.7	4.3

両試料とも金浸出率は低く、ラカー塊状鉱が35%、ビシャーラ角礫状鉱が19%であった。青化ソーダの消費量は、黄鉄鉱精鉱と同様に高く、特に金回収率が低い割に高率である。

## 2-5 考察

### 2-5-1 銅浮選

銅実収率は、ストックワーク鉱については粗選/清掃の段階で94~96%に変動し、ラカー鉱体の塊状鉱、ビシャーラ鉱体の角礫状鉱が80~90%であった。銅精鉱品位も同様に変動が大きく、第一粗選精鉱でラカー鉱体の塊状鉱が約42%、他は22~25%であった。

ビシャーラ鉱体の角礫状鉱を除き、オマーンの試料は、中程度の細かい粒度 $P_{80}=70\mu\text{m}$ において粗選/清掃の段階での挙動は非常に良好であった。またビシャーラ鉱体の角礫状鉱ではより細かい粒度で実収率の向上が認められず、清掃尾鉱での銅損失は完全に片刀によるものであった。ラカー鉱体の塊状鉱での中程度の粗選/清掃実収率もまた単体分離度の制約によるものであった。

本試験での重要な成果は、全試料が同じ捕集剤で同じ良好な反応を示し、個々の鉱種で最適条



件を得るための pH 条件だけが異なることである。

## 2-5-2 金の実収率

各試料の金品位, 及び銅精鉱中への金実収率 (粗選での最良の結果) を Table II-2-18 にまとめた。

Table II-2-18 Gold recovery to copper concentrates

	<b>Rakah B. Stockwork</b>	<b>Hayl as Safil Stockwork</b>	<b>Rakah B. Massive</b>	<b>Bishara Breccia</b>
Test No	FL06	FL13	FL14	FL15
Head assay, Au g/t	0.45	0.16	3.78	1.06
Au recovery to Cu con	86.1	40.9	27.6	23.9
Au grade in Cu tail	0.08	0.16	2.8	0.94

ストックワーク鉱中の金品位は低かったが, ラカー鉱体のストックワーク鉱については, 高い銅粗選精鉱金実収率が得られた。

ラカー鉱体の塊状鉱とビシャーラ鉱体の角礫状鉱だけが, 金実収率向上を目的とした黄鉄鉱精鉱生産が正当化されるのに十分な金を含有していた。

処理の各段階での総合金実収率を Table II-2-19 に示す。イタリック体で示した数字は給鉱試料から実際に回収された金の実収率を示す。

Table II-2-19 Overall gold recoveries

	<b>Rakah B. Stockwork</b>	<b>Hayl as Safil Stockwork</b>	<b>Rakah B. Massive</b>	<b>Bishara Breccia</b>
Test No	FL06	FL13	FL14	FL15, FL23
Head assay, Au g/t	0.45	0.16	3.78	1.06
Au recovery to Cu con, %	<i>86.1</i>	<i>40.9</i>	<i>27.6</i>	<i>23.9</i>
Au recovery to Py con, %			35.6	28.5
Au extraction by cyanidation of Py con (calcine), %			<i>31.3</i>	<i>18.8</i>
Au recovery to Py tail, %			36.8	43.4
Au extraction by cyanidation of Py tail, %			<i>12.9</i>	<i>8.2</i>
<b>Total Au Recovery, %</b>	<i>86.1</i>	<i>40.9</i>	<i>71.8</i>	<i>50.9</i>

このように金品位と実収率は試料間で著しい差がある。

ラカー鉱体の塊状鉱, ビシャーラ鉱体の角礫状鉱の黄鉄鉱精鉱及び尾鉱の青化物消費量が高過ぎて, そのコストが回収金の価値を上回る程であることが今回の試験で明らかになった。それに加え, 黄鉄鉱精鉱は妥当な金抽出率を得るためには酸化が必要であった。

試験試料の性質から, 金回収のための特別なシステムを設けることの利益は, 相当に高品位の金を含有している鉱石の量に依存することになる。

異なった鉱種の量は別として、比較的難処理性の金は、処理する上で困難が伴う。このことから、全鉱種から銅浮選精鉱への金実収率をできるだけ高める方法を試験する選択肢も考慮の対象になり得る。

現段階での総合フローシートのを Fig. II-2-3 に示す。

## 2-6 今後の選鉱試験に対する提言

### 2-6-1 今後の浮選試験への提案

ラカー鉱体の2鉱種及びハイル・アス・サフィール鉱体について、現在までに実施した浮選試験の範囲内で成功が収められていない。このため、今後の浮選試験は、精選段階に焦点を絞る必要がある。

ラカー鉱体の塊状鉱を除くすべての試験産物の鉱物鑑定から次の事項が明らかになった。

- ・ 3鉱種すべてについて、高品位の粗選1精鉱の採取が可能である。
- ・ 3鉱種すべての粗選1及び2精鉱産物は、少なくとも40 $\mu$ m以下に再摩鉱する必要がある。ビシャーラ鉱体の角礫状鉱は、恐らくこれよりもっと細かく砕くことで有利になる。すべての試料において、この2産物間に品位の格差があることにより、両者を一つの再摩鉱系で処理するために一緒にする試みには抵抗があるかも知れない。
- ・ ビシャーラ鉱体の角礫状鉱試料の清掃精鉱は、どうしようもない程の片刀であり、この産物が持っている価値の低さは、多分に他の試料にも該当する事例であろう。

再摩鉱のレベルが超微粉碎技術を使わないでも達成できることから、鉱物鑑定試験の結果は大いに有益である。通常のタワーミル或いは横型のボールミルでさえ十分用が足りる。再摩鉱のレベルは、試験の次の段階の中心事項にならざるを得ない。

### 2-6-2 今後の金回収試験への提案

現試験計画の中で実施された青化浸出試験の結果に基づいて、将来実施する試験項目として下記の項目を含めることを提案する。

- ・ 黄鉄鉱精鉱の焙焼、加圧酸化法、バクテリア酸化法による酸化
- ・ 黄鉄鉱精鉱の超微粉碎
- ・ 青化濃度及び浸出時間の最適化
- ・ 残留金の性状を特定するための浮選尾鉱浸出残渣の鉱物試験
- ・ 黄鉄鉱と硫砒鉄鉱粒子間の金分布の情報を得るための黄鉄鉱精鉱浸出残渣の鉱物試験

この種の試験は、銅精鉱への銅と金の実収率を最大にし、青化法に付随する困難を最小化するための浮選成績最適化の追加試験と共に実施すべきである。

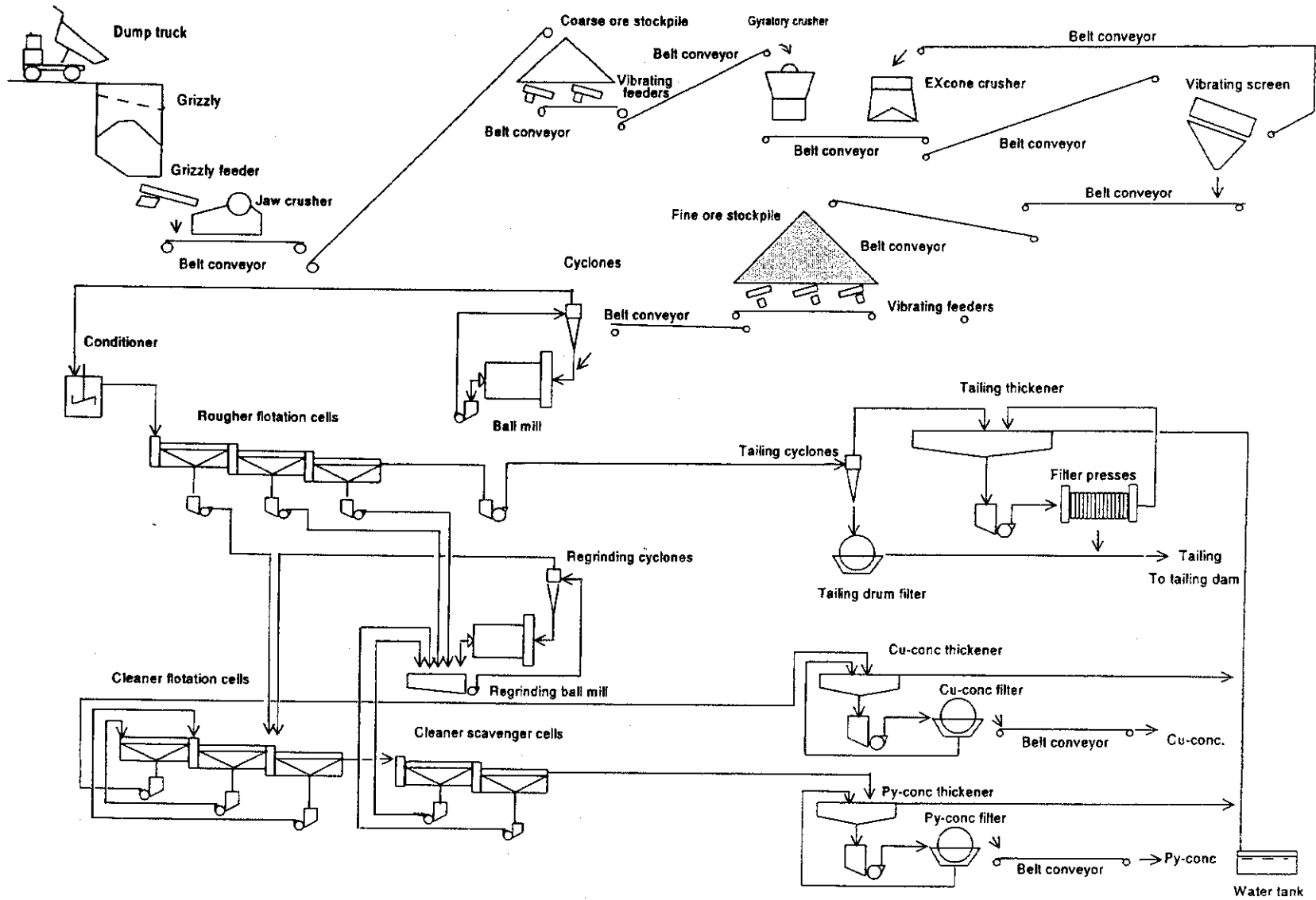


Fig. II-2-3 Proposed ore processing flowshee

## 第3章 環境調査

### 3-1 調査の目的

ラカー鉱床及びハイル・アス・サフィール鉱床周辺において地下水の挙動、透水性及び水質を調査するため、ボーリング孔を掘削し、水位回復試験、水質分析を実施した。

### 3-2 調査方法

#### 3-2-1 ボーリング掘削

##### (1) 掘削位置

地下水調査のため、Fig. II-3-1 に示す5 地点でボーリング掘削を実施した。

##### (2) ボーリング孔の構造

ボーリング孔の仕様を、Fig. II-3-2 に示す。ボーリング孔は、将来モニタリング孔として利用する可能性があるため、保孔管を装入し、地上部は流水による埋没や住民等による悪戯を防止するために堅固な孔口保護を行った。

##### (3) 掘削実績及び工程

ボーリング掘削実績表を Table II-3-1 に示す。

掘削工程は以下に示す通りである。

- ①手掘り及び古ドラム缶埋設及びコンクリート打設による孔口保護
- ②孔径 17-1/2 インチ 4.75m 掘削、カッティングス・サンプルの採取
- ③13-3/8 インチ×5m のケーシング鋼管挿入、セメントモルタルで固定
- ④孔径 12-1/4 インチ 70.25m 掘削、1m ごとにカッティングス・サンプル採取
- ⑤8 インチ PVC スクリーン管挿入
- ⑥スクリーン管周辺に洗浄した豆砂利を投入
- ⑦4 インチ・エアリフト鋼管挿入し、孔内排水洗浄
- ⑧4 インチ・エアリフト管撤去
- ⑨13-3/8 インチ孔口保護管取り付け
- ⑩保護管周辺に型枠取り付け
- ⑪セメントモルタル打設
- ⑫型枠撤去
- ⑬塗装

##### (4) 使用機器一覧、消耗品及び数量

使用機器一覧表、消耗品及び数量を Table II-3-2 に示す。

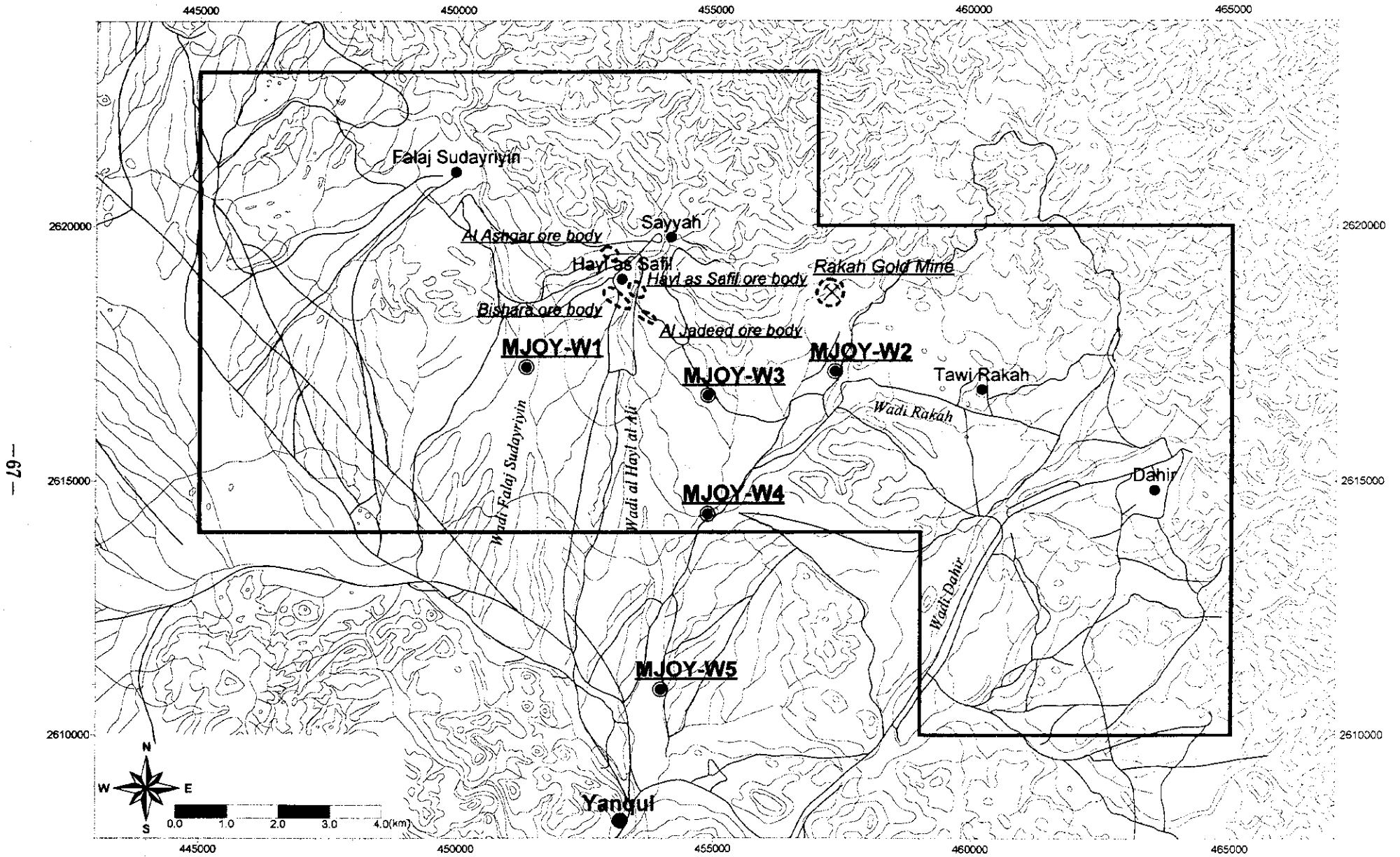


Fig. II -3-1 Location map of boreholes for groundwater survey

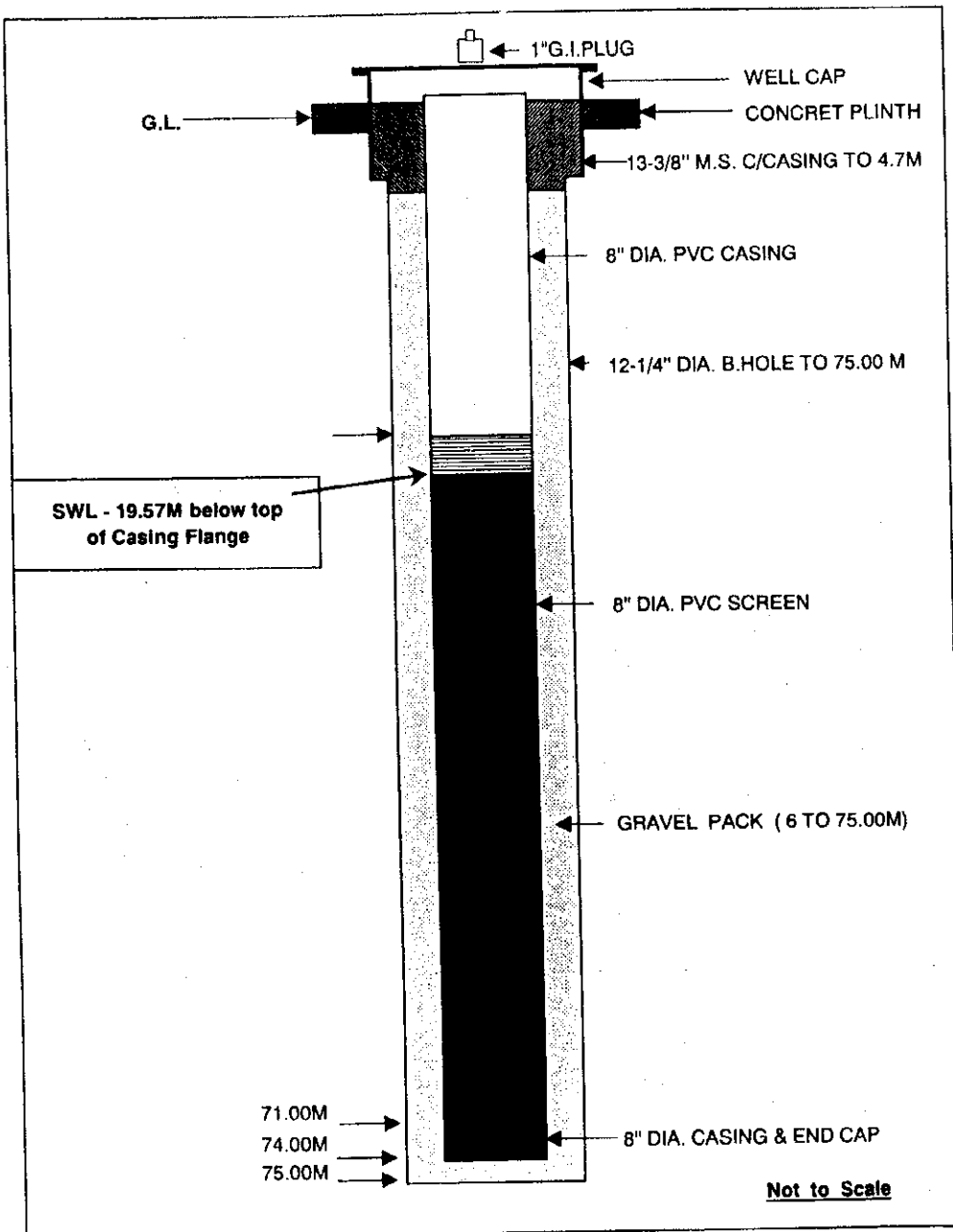


Fig. II-3-2 Bore well construction details

Table II-3-1 Drilling work for groundwater survey

Drill Hole No.	Location	UTM Coordinate		Ground Level (m)	Depth (m)	Pumping test	Water sampling
		Northing (km)	Easting (km)				
MJOY-W1	Wadi Falaj Sudayriyin	2,617.235	451.334	630	75.00	S.D.T *1 C.D.T *2 R.T *3	1
MJOY-W2	Wadi al Hayl al Ali	2,617.148	457.335	660	75.00	S.D.T *1 C.D.T *2 R.T *3	1
MJOY-W3	Wadi Rakah	2,616.673	454.867	640	75.00	S.D.T *1 C.D.T *2 R.T *3	1
MJOY-W4	Wadi Rakah & Wadi al Hayl al Ali	2,614.358	454.867	600	75.00	S.D.T *1 C.D.T *2 R.T *3	1
MJOY-W5	Wadi Rakah	2,610.903	453.964	565	75.00	S.D.T *1 C.D.T *2 R.T *3	1

\*1 : S. D. T : Step Drawdown Test

\*2 : C. D. T : Constant Discharge Test

\*3 : R. T : Recovery Test

Table II -3-2 List of equipments

Items	Equipments	Remarks
<b>1. Drilling Equipment</b>	1) Type	Model-T4W Top head drive rig
	2) Manufacturer	Ingersollrand, USA
	3) Quantity	1 set
	4) Mounting method	4WD Truck mount
	5) Drilling capacity	400m
	6) Drill rod	4-1/2" $\phi$ $\times$ 25'L $\times$ 54m
	7) Drill	collar 6-5/8" $\phi$ $\times$ 7.6m
	8) Drill bit	17-1/2" and 12-1/4" TCT each 1 pc
<b>2. Vehicles</b>	1) Crane	4.5t UNIC hydraulic winch $\times$ 1 set
	2) Water tanker	6.5m <sup>3</sup> $\times$ 1 set
	3) Truck	9t Long chassis $\times$ 1 set 9t Long chassis $\times$ 1 set
	4) Pick-up	Double cab type $\times$ 1 set
<b>3. Consumables</b>	1) Drilling foam	Shell, UK $\times$ 650Lit
	2) Drilling polymer	NL Baroid Industries Inc., USA EZ Mud $\times$ 60kg Aqualgel $\times$ 185kg
	3) Well casing	Cosmoplast Industrial Co., Ltd 8" $\phi$ PVC casing pipe $\times$ 104m 8" $\phi$ PVC screen $\times$ 207m PVC End cap $\times$ 5pcs 13-3/8" $\phi$ Mild steel conductor pipe $\times$ 30m 13-3/8" $\phi$ Mild steel flanged caps $\times$ 5pcs
	4) Pea gravel	Al-Turki Crusher, Oman $\times$ 20 m <sup>3</sup>
	5) Cement	Oman Cement Co. LLC $\times$ 2000 kg
	6) Fuel	Diesel oil $\times$ 11,000 Lit
	7) Lubricant	Shell Lubricant $\times$ 200 Lit



### 3-2-2 地下水調査

#### (1) 地下水水質

各ボーリング孔から地下水を採取し、地下水表面付近の pH、電気伝導率、水温を測定した。

#### (2) 揚水試験

掘削したボーリング孔において、揚水ポンプで水を汲み上げた後、水位の回復状況を自然水位まで測定し、水位の復元性を測定した。水位の回復試験の測定時間は原則的に Table II-3-3 に示すとおりとした。

Table II-3-3 Measurement time interval for the recovery test

Starting time of measurement	Measurement interval
After 0 min. to 10 min.	Every 1 minute
After 10 min. to 20 min.	Every 5 minutes
After 20 min. to 60 min.	Every 10 minutes
After 60 min. to 120 min.	Every 15 minutes
After 120 min. to 300 min.	Every 30 minutes
After 300 min.	Every 60 minutes

#### (3) 水質分析

2001年2月6日～2月16日にかけて、水位回復試験前の地下水表面付近の地下水を全孔から採取した。現地での水質測定項目は pH 及び電気伝導度 (EC) であり、室内の分析項目は重金属類である Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, Fe, Mn, Hg, SO<sub>4</sub> の9成分について分析を行った。

### 3-3 調査結果

#### 3-3-1 ボーリング調査結果

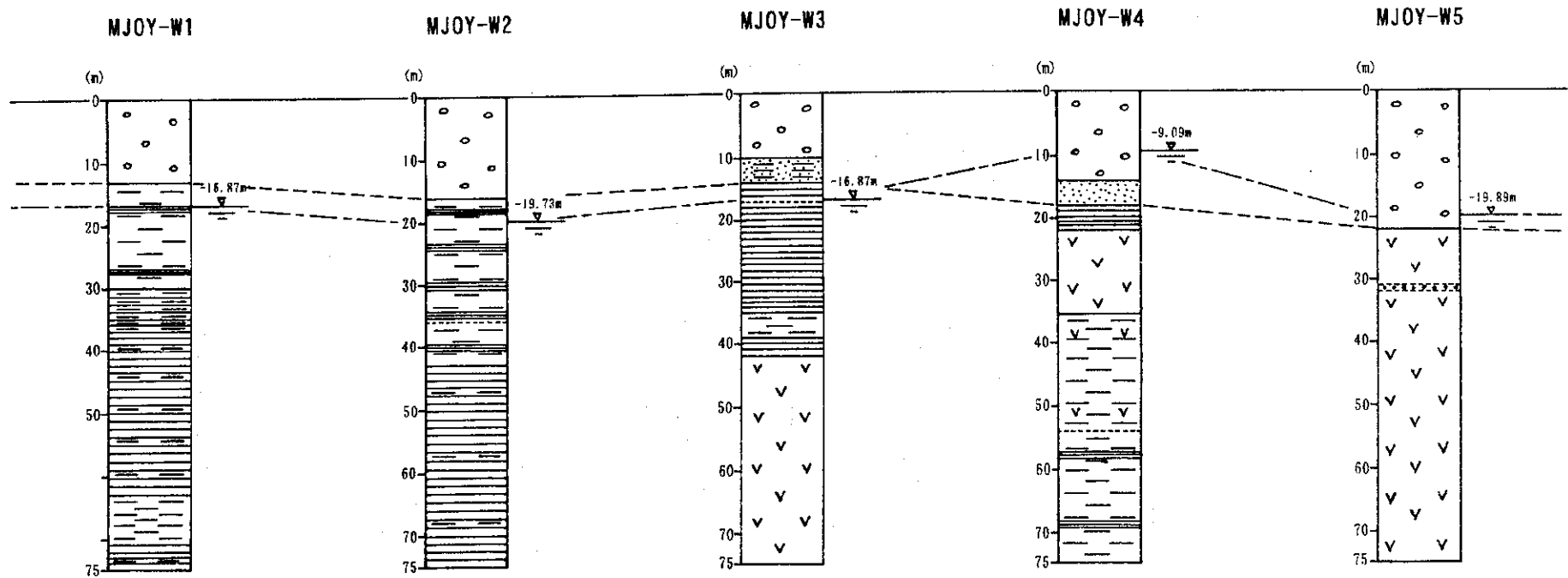
MJOY-W1～W5の5孔のボーリング孔の地質柱状図を Fig. II-3-3 及び Appendix 3C, 地質断面図を Fig. II-3-4(1)～(4)に示す。

いずれも表層は 13～22m のワジ堆積物及び段丘堆積物からなる。周辺の段丘堆積物の層厚は 30～40mに及んでいるが、各ボーリング孔の掘削位置がいずれもワジ内であることからワジによる侵食を受け薄くなっている。

ワジ堆積物はルーズな砂礫からなり、数mと比較的薄い。段丘堆積物は主に砂礫からなるが、砂礫の基質部は一般に白色の石灰質沈殿物 (カルクリート) により充填され固結している。段丘堆積物の最下部には部分的に砂層を挟在する。

#### (1) MJOY-W1 孔

- ・0～13.00m : ルーズな砂礫からなるワジ堆積物～カルクリート質砂礫からなる段丘堆積物。



Legend

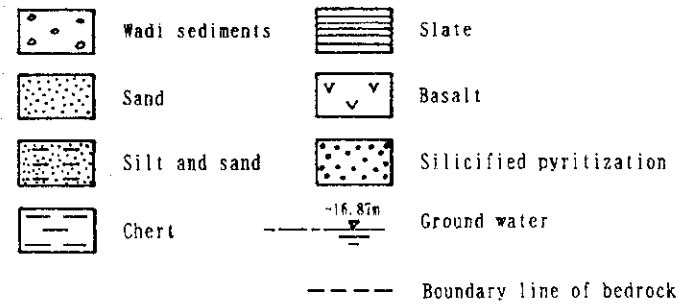
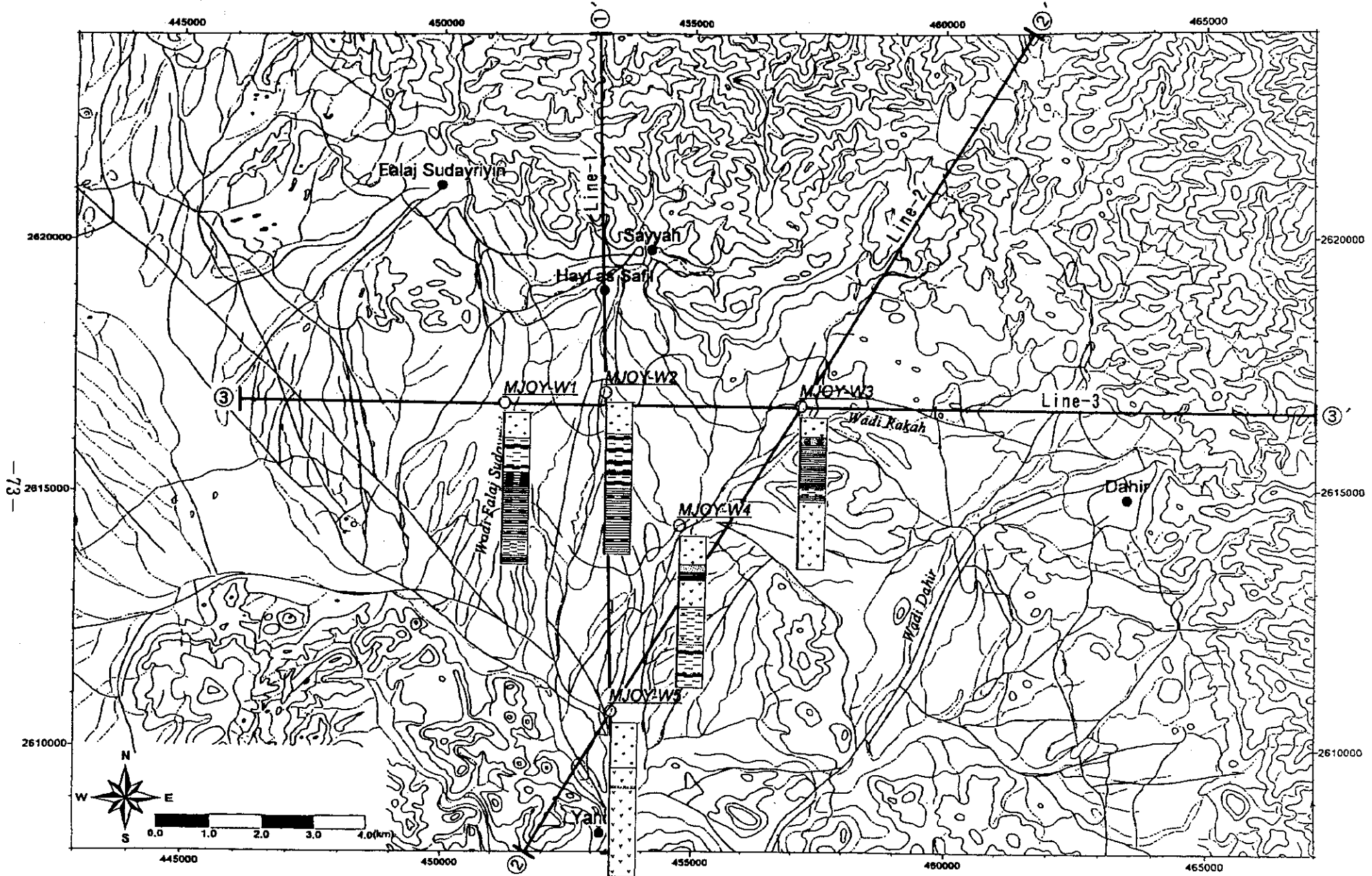


Fig. II-3-3 Geological columnar section



— : Geologic section

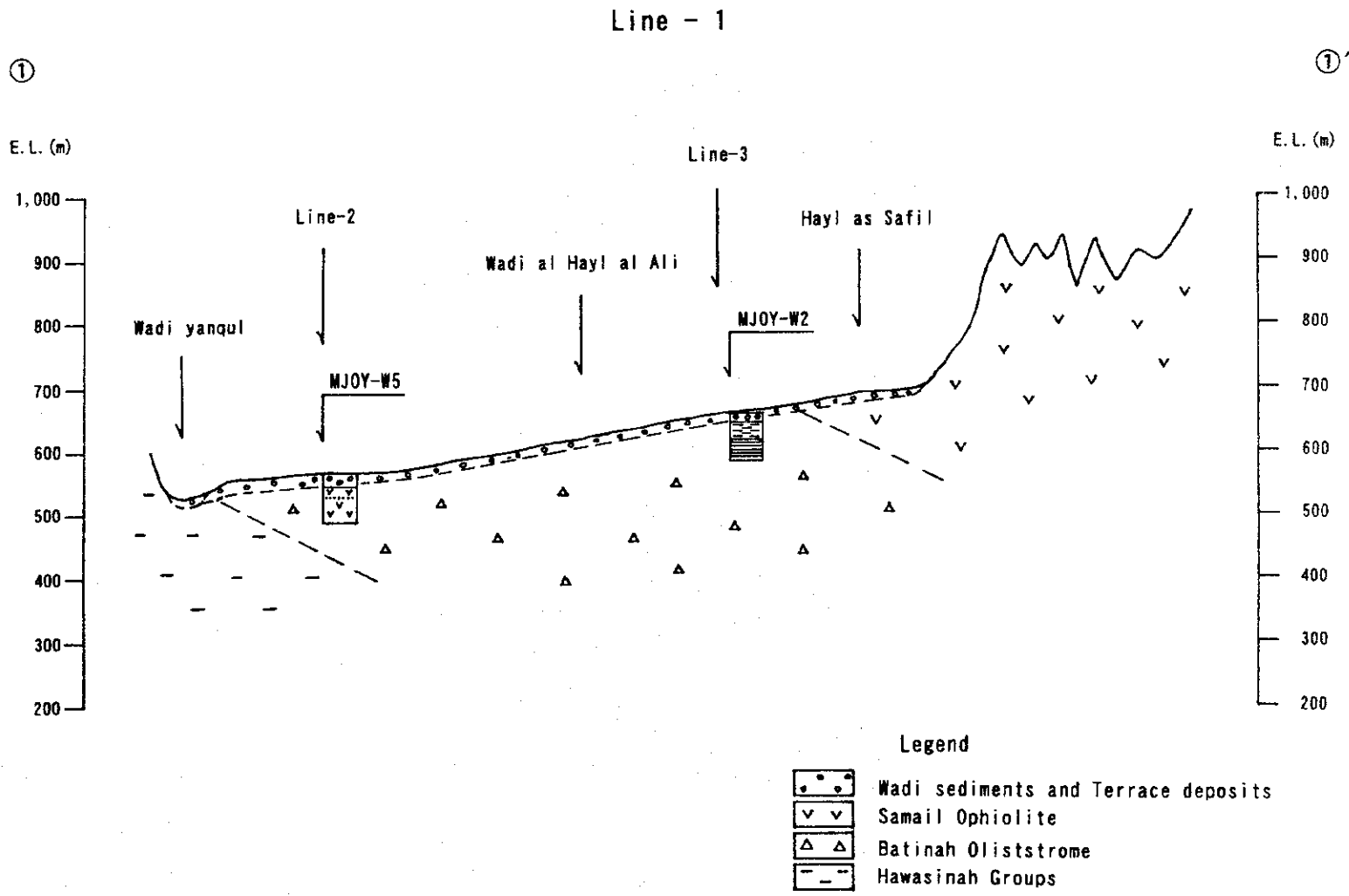


Fig. II-3-4(2) Geological section(2)

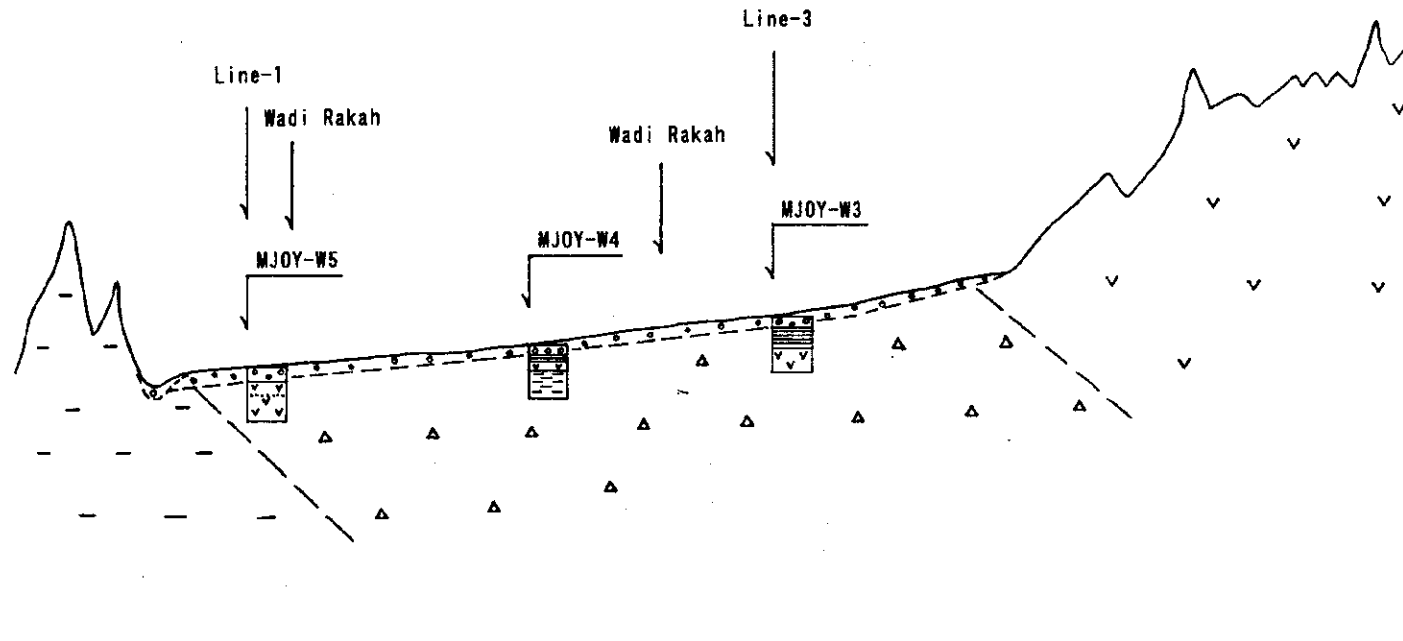
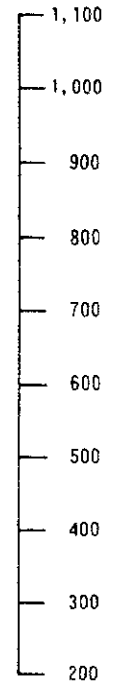
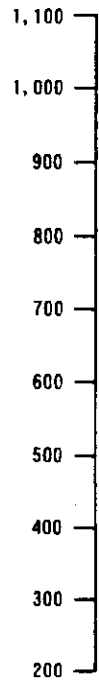
Line - 2

②

②'

E.L. (m)

E.L. (m)



Legend





-  Wadi sediments and Terrace deposits
-  Smail Ophiolite
-  Batinah Oliststrome
-  Hawasinah Groups

Fig. II-3-4(3) Geological section(3)

Line - 3

③

③'

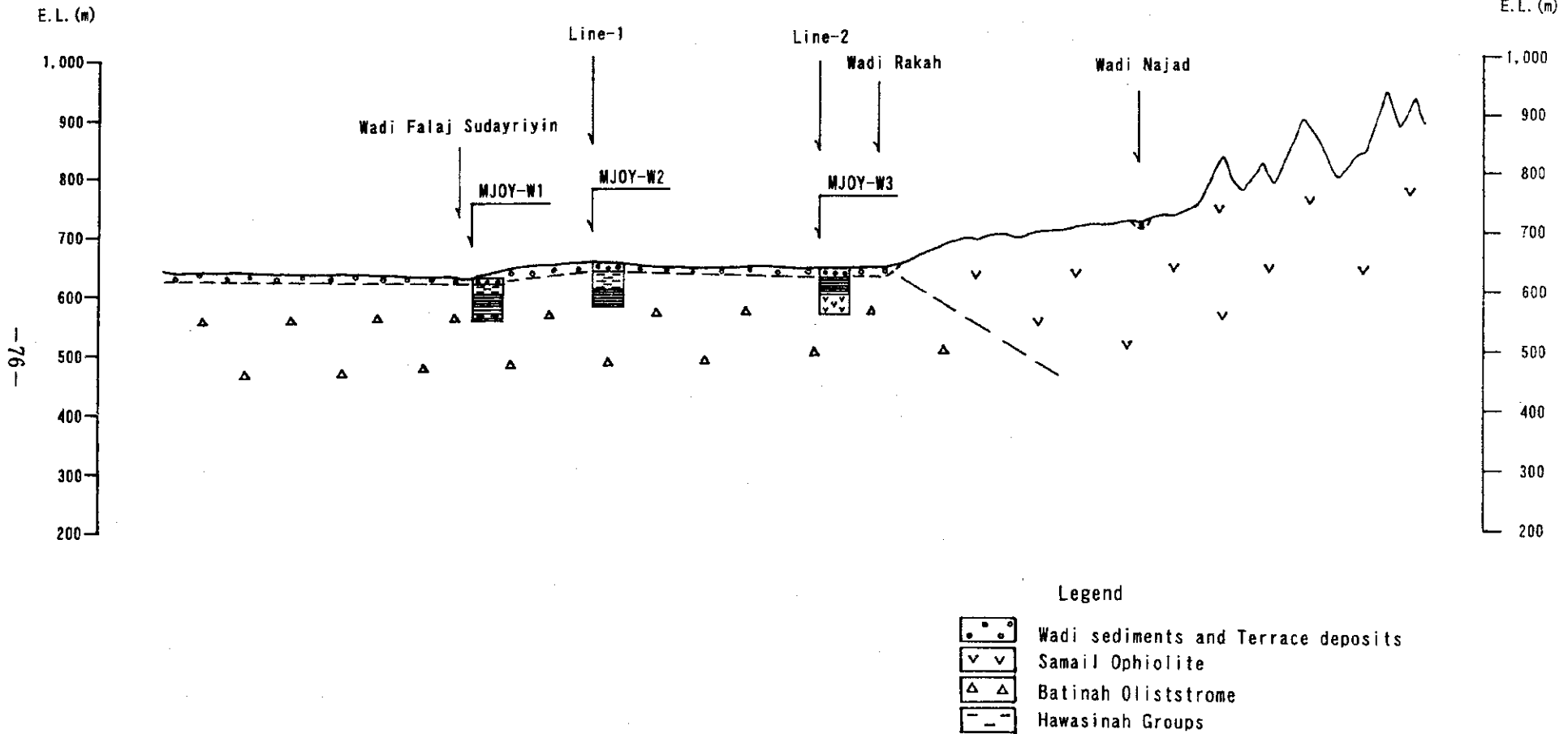


Fig. II-3-4(4) Geological section(4)

- ・ 13.00～30.00m : 赤褐色チャートで、灰色粘板岩を挟在する。
- ・ 30.00～37.00m : 赤褐色チャートで、灰色粘板岩を挟在する。
- ・ 37.00～63.00m : 赤褐色チャート及び灰色粘板岩の互層。
- ・ 63.00～71.00m : 赤褐色チャート。
- ・ 71.00～75.00m : 灰色粘板岩。

(2) MJOY-W2 孔

- ・ 0～16.00m : ルーズな砂礫からなるワジ堆積物～カルクリート質砂礫からなる段丘堆積物。
- ・ 13.00～36.00m : 赤褐色チャート及び灰色粘板岩の互層。
- ・ 36.00～43.00m : 赤褐色チャートで、灰色粘板岩を挟在する。
- ・ 43.00～75.00m : 灰色粘板岩で、まれに赤褐色チャートを挟在する。

(3) MJOY-W3 孔

- ・ 0～14.00m : ルーズな砂礫からなるワジ堆積物～カルクリート質砂礫及びシルト質砂からなる段丘堆積物。
- ・ 14.00～35.00m : 灰色粘板岩。
- ・ 35.00～39.00m : 赤褐色チャート。
- ・ 39.00～42.00m : 灰色粘板岩。
- ・ 42.00～71.00m : 褐～灰色玄武岩。

(4) MJOY-W4 孔

- ・ 0～18.00m : ルーズな砂礫からなるワジ堆積物～カルクリート質砂礫及び砂からなる段丘堆積物。
- ・ 18.00～22.00m : 灰色粘板岩。
- ・ 22.00～35.50m : 玄武岩。
- ・ 35.50～54.00m : 赤褐色チャートで、緑色玄武岩をまれに挟在する。
- ・ 54.00～75.00m : 赤褐色チャートで、灰色粘板岩を挟在する。

(5) MJOY-W5 孔

- ・ 0～22.00m : ルーズな砂礫からなるワジ堆積物～カルクリート質砂礫からなる段丘堆積物。
- ・ 22.00～75.00m : 赤褐～暗灰～褐灰色を呈する玄武岩。

3-3-2 地下水について

掘削中に湧水が認められたボーリング孔はMJOY-W3, MJOY-W4及びMJOY-W5孔であった。

MJOY-W5 孔では深度 23m の掘削時に相当量の湧水があったことから、被圧地下水の存在が推定される。また、MJOY-W3 及び W4 孔については少量の湧水のみであった。

各ボーリング孔の地下水位を Table II-3-4 及び Fig. II-3-3 に示す。

Table II-3-4 Ground water level (2001/2/16)

Drill Hole No.	Depth (m)	Drill hole No.	Depth (m)
MJOY-W1	-16.87	MJOY-W4	-9.09
MJOY-W2	-19.73	MJOY-W5	-19.89
MJOY-W3	-16.87		

各孔の地下水位は-9.09m～-19.89m の間に位置している。MJOY-W1, W2, W3 及び W5 の地下水位はほぼ基岩線と一致しているが、MJOY-W4 孔は-9.09m と浅く、砂礫層中に位置している。

### 3-3-3 揚水試験結果

揚水試験の結果を Table II-3-5 及び Appendix 7 に示す。

Table II-3-5 Pumping test of groundwater

Drill Hole No.	Location	Groundwater Level (m)	Pumping Test	
			Pumping Volume (L/s)	Permeability Coefficient (cm/s)
MJOY-W1	Wadi Falaj Sudayriyin	-16.87	-	1.66 E-7
MJOY-W2	Wadi al Hayl al Ali	-19.73	-	3.23 E-6
MJOY-W3	Wadi Rakah	-16.87	0.4	1.47 E-6
MJOY-W4	Wadi Rakah	-9.09	1.5	2.92 E-5
MJOY-W5	Wadi Rakah	-19.89	5.0	4.55 E-5

揚水試験の結果から算出された透水係数は、地域内の帯水層では 4.55 E-5～1.66 E-7 cm/s の範囲にあり、下流側ほど高い傾向を示す。

### 3-4 考察

#### (1) 水質の特徴

水質分析結果を Table II-3-6 に示す。この分析結果から認められる水質の特徴を以下に述べる。

カルシウムは 17～216 mg/L、ナトリウムは 34～164 mg/L の濃度範囲にあり、ワジ・ラカーの上流部に位置する MJOY-W3 孔で最も高い値を示した。

炭酸水素イオンは、96～257 mg/L の濃度範囲にあり、ワジ・ラカーの下流部に位置する MJOY-W4 孔が最も高い値を示した。



硫酸イオンは 11~415 mg/L, 塩素は 23~305 mg/L の濃度範囲にあり, いずれも MJOY-W3 孔が最も高い値を示した。

硝酸イオンは, 3.1~12.3 mg/L の濃度範囲にあり, 西側のワジ・ファラージ・スダイリインの中流部に位置する MJOY-W1 孔が最も高い値を示した。一般の地下水では 0.1~1 mg/L 以上含まれているが, 本調査地域では全孔とも比較的高い値を示す。

pH (25°C) は 7.60~7.76 の中性の範囲にあり, 全孔でほぼ一定している。

電気伝導度 (25°C) は 378~1949  $\mu$  S/cm の範囲にある。この結果から溶存成分量はワジ・ラカーの中流部に位置する MJOY-W2 孔が最も高い値を示し, より上流部に位置する MJOY-W3 孔が最も低い値を示した。

Table II-3-6 Results of water quality analysis

Items	Unit	MJOY-W1	MJOY-W2	MJOY-W3	MJOY-W4	MJOY-W5
Total dissolved solids	mg/L	449	207	1200	460	504
Total alkalinity as CaCO <sub>3</sub>	mg/L	98	98	79	211	127
Calcium hardness as CaCO <sub>3</sub>	mg/L	65	43	540	105	133
Magnesium hardness as CaCO <sub>3</sub>	mg/L	49	70	41	148	95
Total hardness	mg/L	114	113	581	253	228
Calcium	mg/L	26	17	216	42	53
Magnesium	mg/L	12	17	10	36	23
Sodium	mg/L	110	34	164	70	120
Potassium	mg/L	10	3.4	4.8	6.6	6.1
Carbonate	mg/L	1	1	1	1	1
Bi-Carbonate	mg/L	120	120	96	257	165
Sulphate	mg/L	77	11	415	73	31
Chloride	mg/L	125	23	305	82	174
Nitrate	mg/L	12.3	3.1	6.6	10.5	8.4
PH Value @ 25°C		7.76	7.60	7.62	7.67	7.68
Electric conductivity @ 25°C	$\mu$ S/cm	816	378	1949	814	911

## (2) 水質区分

各孔の地下水の水質へキサ・ダイアグラムを Fig. II-3-5 に示す。また, 比較のため, グザイン地域の地下水 (井戸 GW-1, GW-2) のものもあわせて示した。

本調査地域の地下水は下記に示すとおり 3 グループに区分される (Fig. II-3-6)。

グループ 1 : MJOY-W3

グループ 2 : MJOY-W2, MJOY-W4 (≒ GW-1, GW-2)

グループ 3 : MJOY-W1, MJOY-W5

グループ 1 は, MJOY-W3 孔の地下水であり, カルシウム・硫酸イオン (石膏質) 及びナトリウム・塩素イオン (塩分質) が高濃度である特徴を示す。

グループ 2 は, MJOY-W2 及び MJOY-W4 孔の地下水からなり, 炭酸水素イオンが相対的に高

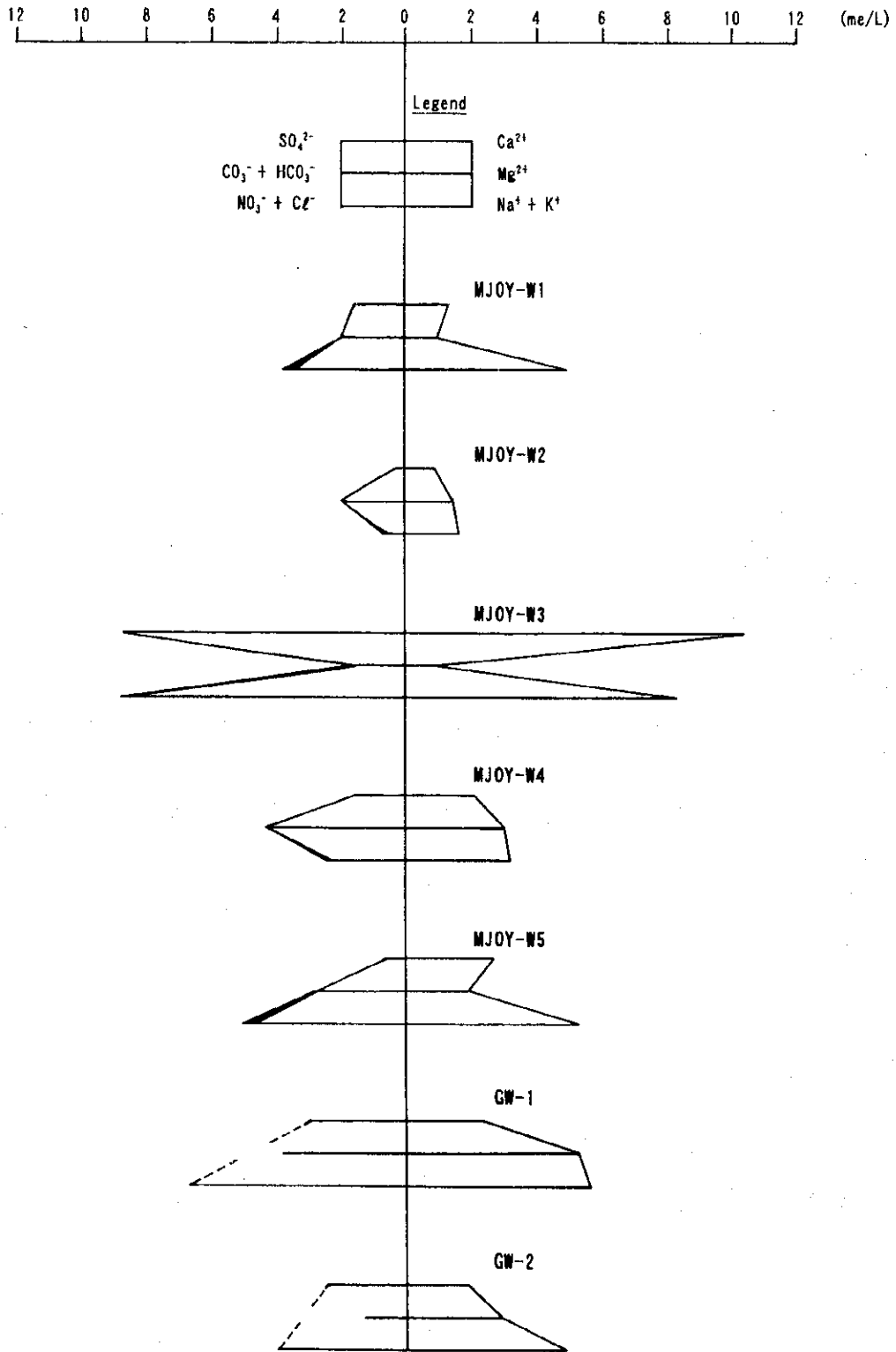


Fig. II-3-5 Hexa-diagram of groundwater

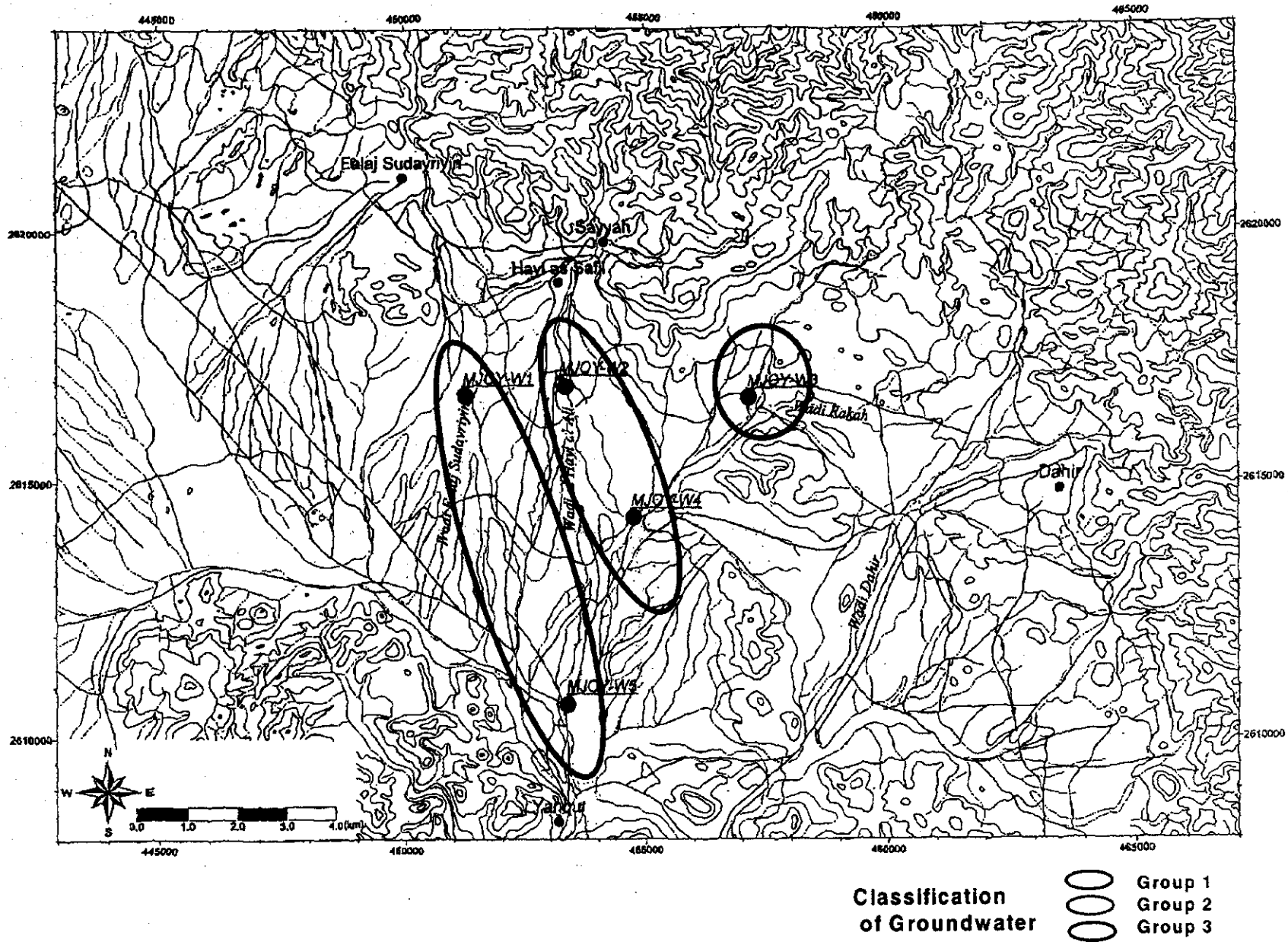
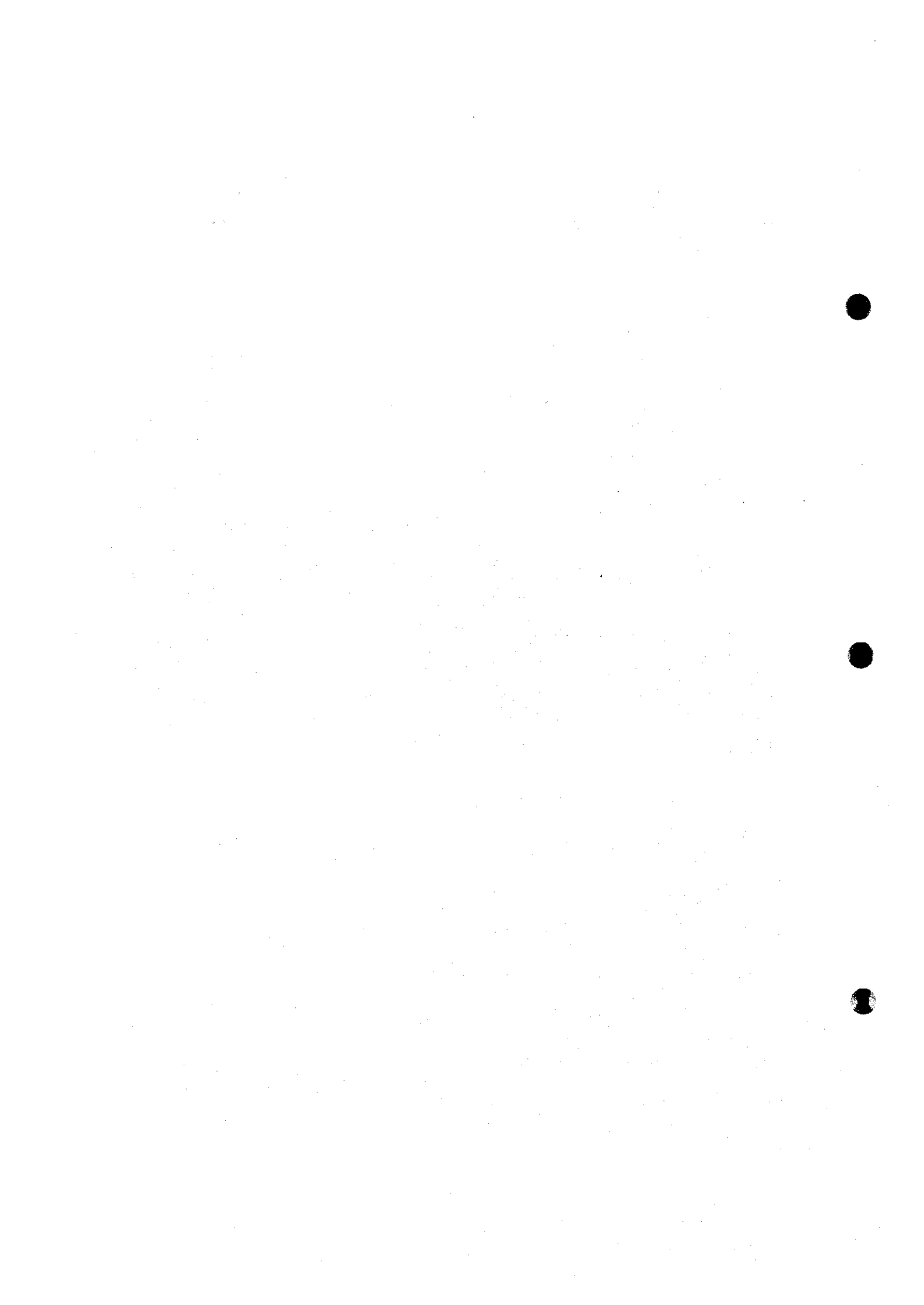


Fig. II-3-6 Classification of groundwater



濃度である特徴を示し、溶存成分量では MJOY-W4 孔の地下水の方が多い。同グループであることは、地形的にワジ・アル・ハイル・アル・アリ川とワジ・ラカー川は MJOY-W4 孔付近で合流していることから裏付けられる。また、グループ 1 の水質特徴はグザイン地区の GW-1 及び GW-2 の井戸水の水質と類似している。

グループ 3 は、MJOY-W1 及び MJOY-W5 孔の地下水からなり、ナトリウム・塩素イオン（塩分質）が高濃度である特徴を示す。ワジ・ファラージ・スダイリイン川とワジ・ラカー川下流部の水質がほぼ一致していることは、地形的にもワジ・ファラージ・スダイリイン川とワジ・ラカー川が MJOY-W5 孔付近で合流していることから支持される。

### (3) 水質及び地下水量の検討

グループ 1 の地下水は、ワジ・ラカー川上流部のラカー鉱床～MJOY-W3 孔付近に滞留していると推定され、地下水量としては少ない。

グループ 2 の地下水は、ワジ・アル・ハイル・アル・アリ川に沿う地下水であり、ワジ・ラカー川の中流部の地下水と一致する。したがって、MJOY-W4 孔付近ではワジ・ラカー川上流部から流入する地下水は極めて少ないと推定される。

グループ 3 の地下水は、ワジ・ファラージ・スダイリイン川に沿う地下水であり、ワジ・ラカー川下流部の水質とほぼ一致していることは、ワジ・ファラージ・スダイリイン川からの地下水流量がワジ・アル・ハイル・アル・アリ川に沿う地下水流量を上回っていることが示唆される。また、MJOY-W5 孔での湧水量が 5L/s (18m<sup>3</sup>/h) であり、被圧水であることから、地下水量は比較的豊富であると推定される。

## 第4章 既存データ解析

### 4-1 調査の目的

オマーン国商工省等が保有している調査地域に関する地質調査、ボーリング調査、選鉱試験結果等の既存資料について、その内容を収集・整理し、調査地域内の鉱床の鉱量・品位計算及び鉱床評価のためのデータに資することを目的とする。

### 4-2 収集した既存資料

商工省鉱物局及び OMCO において収集した既存試料のリストを Table II-4-1 に示す。

#### 4-2-1 過去に実施された F/S の概要

##### (1) Geological and Mine Audit of The Hayl as Safil and Rakah Copper Deposits by Robertson Group plc(1991)

1991年6月7日現在で利用可能なデータに基づき、地質鉱量、可採鉱量、採掘計画、採鉱起業費/操業費に関する監査を実施した。このデータには 1989～1990 年に実施された JICA/MMAJ による地域開発調査・ラカー地域報告書も含まれている。その結果、鉱量計算に必須の比重測定を再実施し、比重が銅品位ではなく、鉄含有量に相関していることを明らかにした。また、内部充填ボーリング調査の結果等を踏まえて、鉱量計算を実施している。選鉱、環境等鉱山操業に不可欠な分野にはアクセスしていないが、前提に基づく採算予測分析を実施し、結論として、3,000 トン/日規模の操業では、カットオフ品位を 0.4% とすべきで、この場合の採算限界銅価格は \$1.12/lb であるとしている。同時に、採算性を向上させるために、この地域でのシステムティックな探鉱を提言している。

本調査とは別に、広汎な選鉱試験を行い、プロジェクト全般に及ぶ F/S を実施したとう記載があるが、その基礎データを収集することはできなかった。

##### (2) Engineering and Capital Cost Estimate for Rakah Copper Project Feasibility Study by Minproc Engineers Limited(1994)

選鉱設備と関連するインフラに関する F/S で、1994年2月に完成した。1994年末～95年初に鉱量枯渇による閉山が予想されるソハール・プロジェクトの遊休設備を最大限に活用し、円滑な操業と選鉱実収率を犠牲にしない範囲で起業費を出来る限り低く抑え、プラント寿命は5年のオーダーという方針に従って設計された。

この調査には、既存選鉱試験の回顧と更に必要な試験の実施、プロジェクト・サイトとソハール・プロジェクト及びオマーンの機材製作/調達/施工能力を視察し、前記方針に従って、プロセス設計基準の確立、プロセス・フローシート/予備 P & ID/プラント・レイアウトの開発及び電気設備の予備設計に基づく、±15%精度での起業費の算出とプロジェクトの実施スケジュールの立案とが含まれている。

Table II-4-1 List of existing data

Title of Reports on each field		Prepared by	Date
<b>Feasibility Study</b>			
1	Feasibility for the Development of a Copper Mine and Recovery Plant at Hayl as Safil and Rakah (Near Yanqul) in the Sultanete of Oman	Oman Mining Company LLC	Mar-94
2	Rakah Copper Project Environmental Impact Assessment Draft	Oman Mining Company LLC	May-94
3	Rakah Copper Project Revised Feasibility Study	Minproc Engineers Limited	Jun-95
4	Geological and Mine Audit of the Hayl as Safil and Rakah Copper Deposits, Sultanate of Oman	The Robertson Group plc	Sep-91
<b>Exploration</b>			
1	Core log sheets of Rakah body	Oman Mining Company LLC	-
2	Core log sheets of Hayl as Safil body	Oman Mining Company LLC	-
3	Core log sheets of Bishara body	Oman Mining Company LLC	-
4	Core log sheets of Al Jadeed body	Oman Mining Company LLC	-
5	Core log sheets of Al Ashgar body	Oman Mining Company LLC	-
6	Report on The Application of mechanised mining techniques to the exploitation of Copper ore reserves in Oman	OMCO Sohar Copper Project	Apr-93
<b>Water Resource</b>			
1	Al Masarrat Water Supply Scheme	Ministry of Water Resources	-
2	Groundwater Resource Evaluation Upper Wadi Dank Catchment	Ministry of Water Resources	Jun-93
3	Detailed Hydrotechnical Recharge Studies in Wadi Al Aridh and Wadi Yanqul	Ministry of Water Resources	Oct-93
4	Groundwater Resource Evaluation for a Proposed Mine near Yanqul	Ministry of Water Resources	Jan-92
<b>Environment</b>			
1	Guidelines for Obtaining Environmental Permits	Directorate General of Environmental Affairs	-
2	Ministerial Dcision 79/94 Issuing Regulation for Noise Pollution Control in Public Environment	Ministry of Regional Municipalities and Environment	Jan-00
3	Ministerial Dcision 17/93 Regulation for the Management of Solid Non-Hazardous Waste	Ministry of Regional Municipalities and Environment	Feb-93
4	Ministerial Dcision 18/93 Regulation for the Management of Hazardous Waste	Ministry of Regional Municipalities and Environment	Feb-93
5	Ministerial Dcision 248/97 Regulation for the Registration of Hazardous Chemical Substances and the Relevant Permits	Ministry of Regional Municipalities and Environment	Jul-97
6	Interim Guideline on Environmental Impact Assessment		Jun-99
<b>Others</b>			
1	Daily Rainfall Record at Al Falaj Sudayriyn 1992-2000	Ministry of Water Resources	-
2	Daily Rainfall Record at Al Rudhah, Al Dhahirah-W. Yanqul Region 1993-2000	Ministry of Water Resources	-
3	Daily Rainfall Record at Yanqul 1994-2000	Ministry of Water Resources	-

本 F/S の操業規模は 3,000 トン/日で、ビジャラ鉱体を除く 4 鉱体が対象である。テーリングダムは湿式のサブ・エアリアル方式を採用している。

(3) Feasibility for the Development of a Copper Mine and Recovery Plant at Hayl as Safil and Rakah by Oman Mining company LLC(1995)

1994 年 9 月のソハール鉱山閉山に備え、1994 年 3 月に OMCO がこれまでの調査に基づき作成した F/S である。5 鉱体、可採鉱量 1,160 万トン (0.93%Cu、0.40g/tAu) を対象に、3,000 トン/日の操業規模で、9.5 年間の操業としている。また、オープンピットを主とし、坑内掘を一部実施することとしている。

なお、1994 年 5 月には環境アセスメント調査 (EIA) も実施している。

(4) Revised Feasibility Study Rakah Copper Project by Minproc Engineers Ltd.

OMCO が実施した 3,000 トン/日操業規模の F/S を再検討した結果、採算的に不味であると判断された。そこで操業規模を 1,000 トン/日にし、ソハールの遊休設備を最大限に利用する事により起業費を抑え、操業に柔軟性を持たせることにより、採算的にプロジェクトをより実行しやすいものとした。テーリングダムは乾式を採用。

(5) 平成 9 年度資源開発協力基礎調査・フォローアップ調査 (JICA/MMAJ)

1988~90 年に実施された JICA/MMAJ による資源開発協力基礎調査以降、OMCO 及び鉱物局により実施された各種調査データの収集・解析を行い、その結果に基づいて現時点における予備的な F/S を実施した。同時に、今後実施すべき調査を提言している。

### 4-3 解析結果及び抽出された課題

上述の F/S における各作業項目毎の結果と、それらに対する解析及び本調査でさらに検討すべき課題を以下に述べる。

#### 4-3-1 鉱量計算について

鉱量計算は、JICA/MMAJ (1990, 1998)、Robertson Group (1991)及び OMCO (1992, 1994, 1995) により実施されている。それらの比較を Table II-4-2 に示す。

鉱種としては、初生鉱化作用でできた鉱石 (珪質鉱、塊状鉱、角礫状鉱、ストックワーク鉱) と、ゴッサン化及び二次富鉱化作用を受けた鉱石が各鉱床にみられるが、鉱量計算にあたっては鉱種単位ではなく鉱体単位で扱われている。また、鉱量計算の基礎となるボーリングのコア調査では、この鉱種の分類に一貫性を欠いていると判断された。これらの鉱種間では比重や選鉱実収率に顕著な差が予想されるが、これまでの調査ではそれは考慮されておらず、定量的な取扱がなされていない。

各鉱体における品位の割り付けについても、鉱種毎のドメインに分けて検討がなされて



Table II-4-2 Comparison of geologic ore reserves of each ore body

Ore Body	Company and Date	Tonne	%Cu	g/tAu	ton Cu	Kg Au
Rakah	Robertson Group (Jun.1991)	3,760,090	0.90	0.40	32,995	1,384
	Minproc Engineers Ltd. (Mar.1994)	4,357,178	0.88	0.30	37,385	1,203
	Oman Mining Company (Aug.1994)	2,836,000	1.25	-	34,564	-
	Oman Mining Company (Jan.1995)	2,392,363	1.24	0.99	28,987	2,314
	JICA/MMAJ (1998)	3,679,000	1.09	2.42	39,099	8,191
Hayl As Safil	Robertson Group (Jun.1991)	7,046,720	1.03	0.30	70,767	1,945
	Minproc Engineers Ltd. (Mar.1994)	6,480,634	0.91	0.32	57,499	1,908
	Oman Mining Company (Aug.1994)	6,284,000	1.30	-	79,650	-
	Oman Mining Company (Jan.1995)	4,748,443	1.37	0.47	63,460	2,160
	JICA/MMAJ (1998)	6,100,000	1.37	0.60	81,481	3,367
Al Jadeed	Robertson Group (Jun.1991)	-	-	-	-	-
	Minproc Engineers Ltd. (Mar.1994)	445,766	1.51	0.92	6,563	377
	Oman Mining Company (Aug.1994)	809,946	1.29	-	10,187	-
	Oman Mining Company (Jan.1995)	660,442	1.38	0.85	8,912	547
	JICA/MMAJ (1998)	907,000	1.17	0.39	10,347	325
Al Asghar	Robertson Group (Jun.1991)	-	-	-	-	-
	Minproc Engineers Ltd. (Mar.1994)	379,817	2.36	1.37	8,740	479
	Oman Mining Company (Aug.1994)	946,947	2.67	-	24,651	-
	Oman Mining Company (Jan.1995)	893,679	2.48	1.22	21,531	1,063
	JICA/MMAJ (1998)	1,742,000	2.23	0.90	37,875	1,442
Al Bishara	Robertson Group (Jun.1991)	-	-	-	-	-
	Minproc Engineers Ltd. (Mar.1994)	1,133,400	1.00	0.35	11,051	365
	Oman Mining Company (Aug.1994)	2,024,500	1.19	-	23,489	-
	Oman Mining Company (Jan.1995)	2,116,259	1.32	0.74	27,227	1,518
	JICA/MMAJ (1998)	3,697,000	0.98	1.83	35,325	6,224
Total	Robertson Group (Jun.1991)	10,806,810	1.93	0.70	103,761	3,329
	Minproc Engineers Ltd. (Mar.1994)	12,796,795	0.95	0.37	121,237	4,331
	Oman Mining Company (Aug.1994)	12,901,393	1.34	-	172,541	-
	Oman Mining Company (Jan.1995)	10,811,186	1.39	0.76	150,117	7,602
	JICA/MMAJ (1998)	16,125,000	1.30	1.32	204,126	19,550

\* Robertson G. The calculation was conducted only about Rakah and Hayl as Safil bodies.

おらず、統計的手法が適用されていないので、その是非をチェックする必要がある。

鉱石及び母岩の比重については、Robertson Group が指摘している様に、Fe 含有量との相関が強い。しかし、実用的には、鉱体毎の平均比重を用いても大差がないもの考えられる。

#### 4-3-2 岩石の地質工学的性質について

鉱床の性質が類似した、ソハール地域における開発計画作成と操業を通しての実経験を生かし、本プロジェクトのピット設計に必要な地質工学的データは適宜取られ、設計に反映されていると Robertson Group の報告書では述べている。データの保管が悪く、その妥当性を検討することはできないが、ソハールの Aarja オープンピットの採掘跡、及び Lasail と Bayda 坑内掘鉱山の崩落跡を視察した限りでは、OMCO のピット設計基準は信頼がかけられるものと考えられる。

#### 4-3-3 選鉱

予想選鉱成績については何回も見直されてきたが、その根拠となっているのは JICA/MMAJ によるプレ F/S 時の三菱中央研究所と Minproc Engineers による F/S 時の豪州 Amdel 社の 2ヶ所で実施された浮選試験である。この両所で行われた浮選試験の対象鉱石は同じではないが、試験結果からみると対象鉱石の浮選特性には共通点が見受けられる。即ち鉱床中の Cu 鉱物には浮選特性で分類すると 2種類あり、非常に分離性の良い Cu 鉱石群ともう一つは黄鉄鉱と緻密に結合しているため Cu 鉱物の浮選分離が非常に困難な鉱石群に分けられる。

過去に実施された F/S で推定されている予想選鉱成績のうち、比較的分離性の良い Cu 鉱石群に関する成績(70~80%程度の Cu 実収率分)は実際の試験の結果に基づいて推定されているが、浮選試験で分離がうまく出来ない所謂 Middling 部分の浮選が困難な Cu 鉱石群については、上記 2ヶ所で実施された試験のみでは不十分で、この部分の成績推定値の信頼性は低いと考えられる。

本調査の選鉱成績予想で最も注意を要する点は、この分離性の難しい鉱石群の挙動であり、この鉱石群の浮選成績次第でプロジェクトの採算性は大きく左右されるので、この部分に主眼を置いた追加試験を十分に行ない、確度の高い予想成績を得る必要がある。また、鉱石中の Au については、これまでの諸試験で Cu 精鉱中への副産物としての回収を前提としてその回収率は 40%程度と推定されているが、その賦存状況等に関しては詳しく調査されていない。本調査の経済性を高めるためにも鉱石中の Au の回収に力点をおいた調査・試験がさらに必要である。

#### 4-3-4 テーリング・ダムについて

コンベンショナルな湿式ダム、湿式で粘土或いは合成材料をダム底及び側壁にライニン

グしたセミ・エリアルなダム、乾式ダム、及び採掘済ピットを利用する湿式テーリングダムが検討されている。しかし、実施する立場にたった詳細な検討は充分になされていないと思われる。テーリング・ダムは本プロジェクトの経済性を左右する大事な問題点の一つであるので更なる検討・調査が必要であろう。

#### 4-3-5 用水について

どの F/S においてもプロセス用水を出来るだけ回収して再使用する計画となっており、不足分は地下水を汲み上げて使用することとなっている。これは水資源省が実施した広汎な水資源調査結果に基づいたものである（水資源省による Ground water Resource Evaluation for a Proposed Mine near Yanqul(1992) 他）。しかしながら、水資源省は、ダンクーフィダ水系の地下水及びその上流の地下水はオマーン国の将来の経済発展による水需要増と住民感情を考慮すると銅鉱山開発プロジェクトには供給出来ないという見解を示しているため、水源を他に求める必要がある。

#### 4-4 鉱量計算

既存資料の検討によって多くの課題が指摘された鉱量計算と選鉱試験の検討を本年度において実施した。このうち選鉱試験については第 2 章で述べた。

鉱量計算は F/S の根幹をなすものであり、できるだけ現実的な選鉱及び採掘計画を作成するためには、鉱量計算の精度をまず上げる必要がある。本調査ではそのために、鉱種ごとの正確な鉱量と分布を明らかにすることを目的とした。

##### 4-4-1 基礎データの作成

これまでに実施されたボーリングのコア調査資料を用いて、鉱種ごとの分布を明らかにした地質断面図の作成を行った。分類した鉱種とそれらが分布する鉱体は次の通りである。

塊状鉱：ラカー鉱体の一部、ハイル・アス・サフィール鉱体の一部、及びアル・アシュガル鉱体に分布。

角礫状鉱：ビシャラ鉱体とアル・ジャディード鉱体を構成し、一部は塊状鉱的である。

ストックワーク鉱：ラカー鉱体とハイル・アス・サフィール鉱体の主体をなす。

鉱体の断面図の間隔は、各鉱体における過去に実施されたボーリング孔の密度に応じて以下のように設定した。

断面間隔 20m：ラカー鉱体、アル・ジャディード鉱体

断面間隔 25m：ビシャラ鉱体、アル・アシュガル鉱体

断面間隔 50m：ハイル・アス・サフィール鉱体

##### 4-4-2 使用ソフトウェアと計算パラメータの設定

使用するソフトウェアは、オーストラリア国 ECS 社の Minex を用いることとし、鉱量計

算に引き続いてピット設計も行う。この鉱量計算のための各種パラメーターを Table II・4・3 に示すように設定した。

Table II-4-3 Parameters for ore resources calculation

Parameter	Contents	Printed results	Contents
<b>Specific Density</b>	Determined by each ore type.	<b>Wireframing</b>	Including Cu, Au by domains, Drill traces.
<b>Assay below detection limit</b>	Adopted a half of detection limit.		
<b>Top cutting</b>	Cut and fix by thresholds at 95 % for raw Cu and Au assay data.		
<b>Composites</b>	Rakah : 6m Other than Rakah : 5m	<b>Drill hole location (Plan)</b>	Including geology and drill collars.
<b>Block size</b>	Rakah : 10m × 10m × 12m Other than Rakah : 10m × 10m × 10m	<b>Block grade plans</b>	Cu, Au and CuEq by each bench.
<b>Block grade interpolation</b>	Ordinary Kriging.	<b>Block grade sections</b>	Cu, Au and CuEq. Including drill traces.
<b>Anisotropy</b>	Vertical anisotropy should be considered.		
<b>Domains (Ore classified)</b>	Stockwork, Massive, and Brecciated ores.	<b>Birds eye view</b>	Each deposit, including domains.
<b>Cu equivalent grade factor</b>	Determined based on metallurgical tests.	<b>Block classified plans</b>	Each bench.
<b>Area for evaluations</b>	Determined by each deposit.	<b>Block classified sections</b>	Each section.
<b>Boundary</b>	Simplified boundary. Hard or soft boundaries determined by each domain.	<b>Ore grades and tonnages</b>	COG : 0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0%Cu By each ore type classified and deposit.
<b>Search radii</b>	Determined after geostatistics evaluations.		
<b>Ore resources classification</b>	Determined by composites number and search radii (measured, indicated, inferred)		

## 第5章 TDIP 法調査

### 5-1 調査の目的

本調査は、オマーン国ヤンキル地域において地質調査で推定された鉱床胚胎層準に対して TDIP 法調査を実施し、鉱床賦存の可能性のある鉱化帯を捕捉することを目的とする。

### 5-2 調査位置及び調査量

本年度の調査地区は、ヤンキル地域内のラカー金鉱床を中心とした東西 9 km、南北 5 km の矩形範囲内で鉱床胚胎層準と推定された約 20km<sup>2</sup> の範囲である。調査範囲内には既知鉱床であるハイル・アス・サフィール鉱床、ラカー金鉱床及び既知鉱徴地であるタウィ・ラカー地区が含まれる。測線数は 44 本、測線総延長は 95.9km、データ取得点数は 3220 点である。また、露頭及びボーリングコアから岩石サンプルを採取し、室内実験によって比抵抗、分極率を測定した。

### 5-3 調査方法

#### 5-3-1 測定方法

測定手法は時間領域強制分極法 (TDIP 法) を用いた。地下に金属鉱物が存在する場合、大地に直流電流を流した時金属鉱物の表面に電荷が蓄えられ、直流電流を遮断すると蓄えられていた電荷が徐々に放出される現象 (分極現象) が起こる。比抵抗値と共にこの分極現象を測定することにより、比抵抗の変化のみでは検出できない地下の金属鉱床を探查することができる。

本調査では、直流電流として 1/8Hz の休止波形を流し、通電中の一次電位から見掛比抵抗を求め、電流切断後の減衰電位 (二次電位) から分極率を測定した。

電極配置は、ダイポール・ダイポール配置とし、電極間隔は 100m、電極隔離係数は  $n=1\sim 4$ 、測線間隔は 200m とした。ダイポール・ダイポール電極配置及び測定データのプロット概念図を Fig. II-5-1 に示す。各測点における測定は、原則としてスタッキング回数を 10 回以上とした。

本調査地域におけるデータの品質は総じて良好であったが、ワジ内の測点の一部や比抵抗の極端に低い測点において分極率にバラツキが認められたため、必要に応じ再測定を行った。

測定に用いた信号源の出力波形を Fig. II-5-2 に、二次電位のサンプリング方法を Fig. II-5-3 に示す。

#### 5-3-2 使用機器

本調査に使用した測定機器は米国の Zonge 社製送受信システムである。機器の仕様一覧を Table II-5-1 に示す。

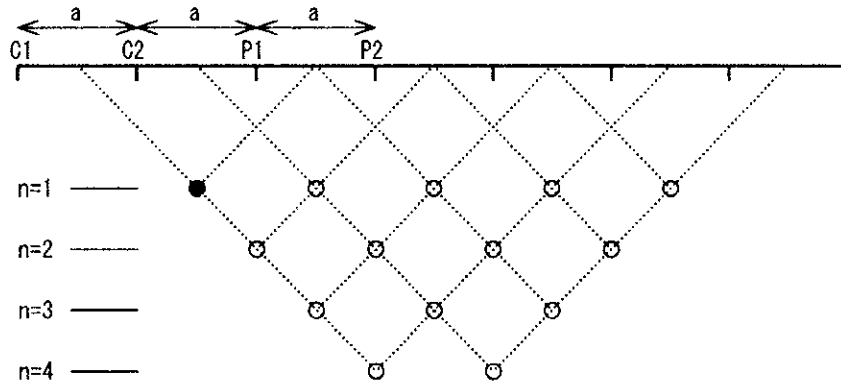


Fig. II-5-1 Dipole-dipole array and plotting procedure

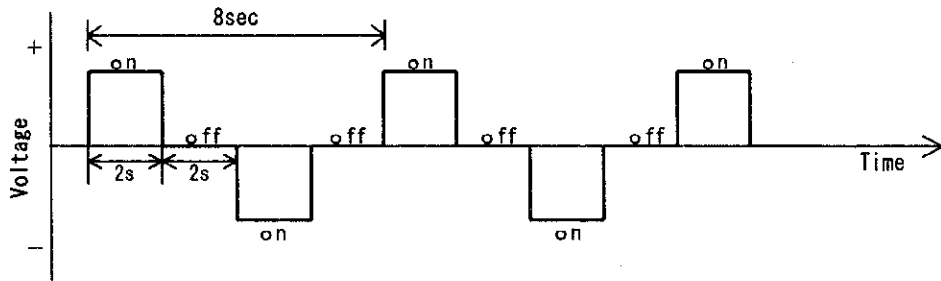


Fig. II-5-2 Waveform produced by the transmitter

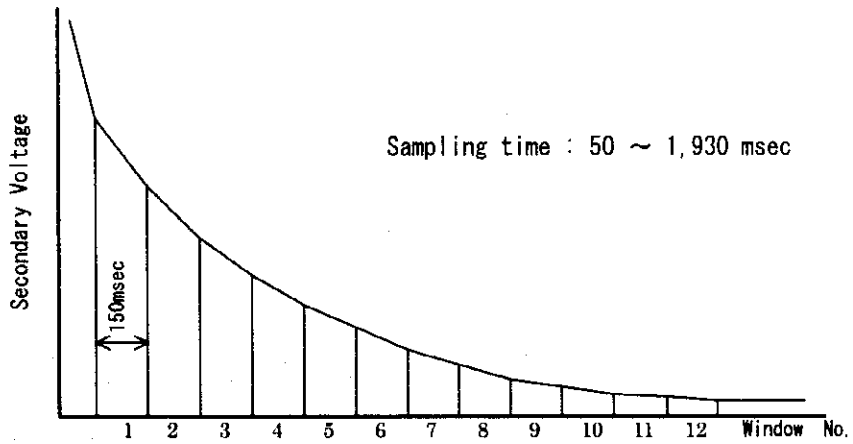


Fig. II-5-3 Sampling interval of the TDIP receiver

Table II-5-1 Specifications of TDIP survey instruments

<b>Receiver</b>	<b>Zonge GDP-16</b>
Frequency range	DC to 8KHz
Number of Channels	8
Number of Stacks	8096
Detectable signal	1 $\mu$ V
A/D Conversion	16 bits
Number of Windows	13(from 50 to 1,930ms)
<b>Transmitter</b>	<b>CH-95A</b>
Output Power	2kw,800v,12A
Output Frequency	DC to 10KHz
Frequency control	Automatic
<b>Generator</b>	<b>Geonics GPU2000</b>
Maximum output	2Kw
Output Voltage	200V
Output Frequency	400Hz

#### 5-4 解析方法

##### 5-4-1 データ処理

電気探査における大地の見掛比抵抗値 ( $\rho$ ) は,

$$\rho = K \frac{V_p}{I}$$

で表される。ここで  $V_p$  は、電流電極 ( $C_1, C_2$ ) 間に直流電流 ( $I$ ) を供給した時に、電位電極 ( $P_1, P_2$ ) 間において測定される一次電位である。また、 $K$  は電極配置係数と呼ばれ、一般に次式で表される。

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_1 P_2} - \frac{1}{C_2 P_1} - \frac{1}{C_2 P_2}}$$

特にダイポール・ダイポール配置で電流電極と電位電極の間隔が電極間隔の  $n$  倍である場合は,

$$K = \pi a n(n+1)(n+2)$$

と表される。ここで  $a$  は電極間隔である。

また、直流電流通電中の一次電位と、電流切断後 450msec ( $t_1$ ) から 1100msec ( $t_2$ ) までの電位の過渡現象 (二次電位:  $V_i$ ) の時間積分値の比を IP 効果の大きさの指標 (分極率:  $M$ ) としており、次式により表される。

$$M = \frac{1.87}{V_p} \int_{t_1}^{t_2} V_i dt$$

見掛比抵抗値及び分極率は、測定機に各種測定条件を入力することによりリアルタイムで自動



算出される。調査時に、これらデータの品質チェックを行い、測定値がばらつく場合には、再測定を行いデータ品質の向上に努めた。

また、鉱化作用を示す指標であるメタルファクター (MF) は、上記の見掛比抵抗値及び分極率より、次式により算出される。

$$MF = \frac{M}{\rho} \times 100$$

低比抵抗で高分極率の鉱床が存在した場合、メタルファクターは高い値となる。

#### 5-4-2 地形補正

測定により得られた見掛比抵抗値は、各電極を無限平面に配置したものとして電極配置係数を仮定し算出されている。しかし本調査地域内には地形の起伏が激しい部分があり、そのような場所における見掛比抵抗値は地形起伏による影響を受けている。

ダイポール・ダイポール電極配置では、山地形の場所では電流密度が高くなり高比抵抗異常、谷地形の場所では電流密度が疎となり低比抵抗異常が形成される。

そのため、本調査では全測線に対し、2次元有限要素法を用いて地形補正係数を求め、見掛比抵抗値を補正し断面図及び平面図を作成した。

#### 5-4-3 2次元モデル解析

IP法の解析には、標準モデルによる見掛比抵抗分布や分極率分布を参考にしながら断面図・平面図を定性的に解析する定性解析及び推定地下構造モデルを作成しその理論値を計算する定量解析が用いられている。この定量解析は一般にモデルシミュレーションと呼ばれている。

本調査では、有限要素法によるモデル計算 (Forward modeling) と非線形最小二乗法による自動解析法を組み合わせた2次元インバージョン解析法を使用した。地下構造が測線方向に変化する場合、水平多層構造を仮定した1次元解析では地下比抵抗構造を十分反映した解析が不可能であり、測線方向の比抵抗不連続境界の影響を含めて解析できる2次元解析が必要である。従来は、地下構造を任意の比抵抗ブロックに分割し、この比抵抗ブロックに推定される比抵抗値を当てはめた地下比抵抗モデルを作成し、この地下比抵抗モデルにより計算される理論値と実測値とを比較し、測定値にできるだけ近い応答を示すモデルを試行錯誤で組み立てていくフォワードモデリングが試みられていたが、この方法は解析者の恣意が含まれるなどの問題があった。今回解析に使用したインバージョン解析法は、各ブロックに当てはめる比抵抗値を非線形最小二乗法により推定させる自動反復解析法を適用することにより、解析者の恣意に依らない客観的な解析結果を得ることが可能である。モデルでは隣り合った測点の中間に比抵抗ブロック境界を設け、さらに各測点下のブロックを深度方向に浅部では薄く、深部では厚くなるように分割した四角形比抵抗ブロックを作成した。これを地表の地形に合わせて変形させ、水平方向には地形と平行な形の比抵抗ブロックとした。これらの一つ一つの比抵抗ブロックに比抵抗値が与えられると、有限要素法によるモデル計算により地下の比抵抗構造に対応する地表での応答として各測点における見掛

比抵抗が得られる。これらの地表での応答と測定値の残差が最も小さくなるように比抵抗ブロックの値を最小二乗近似法による自動反復解析により求めた。反復解析を行う第一回目の比抵抗ブロックの値(初期値)は全て同一比抵抗として与え、初期値が解析結果に与える影響を除去した。

## 5-5 調査結果

物理探査調査位置図を Fig. II-5-4 に示す。

見掛比抵抗、分極率及びメタルファクターの断面図を Fig. II-5-5~11 に示す。また、平面図を Fig. II-5-12~15 に示す。見掛比抵抗は数 $\Omega\text{m}$ ~1,300 $\Omega\text{m}$ の範囲で分布し、平均値は約 160 $\Omega\text{m}$ である。測線 200W 以東では全体的に高い値を示しており、シート状岩脈群が分布する箇所では 500 $\Omega\text{m}$  以上の高比抵抗となっている。測線 200W 以西では、調査範囲の南部において低比抵抗帯が東西方向に分布している。これは堆積岩によるものと考えられる。分極率は 0~45mV/V の範囲で分布し、平均値は 7.5mV/V である。鉱化作用を示すと考えられる高分極率異常は、既知の鉱床及び鉱徴地を含む以下の 5 箇所で認められる。

- ・ ラカー金鉱山周辺
- ・ 調査地域北東部(クルン・アル・アクバブ地区)
- ・ タウィ・ラカー鉱徴地
- ・ ハイル・アス・サフィール鉱床周辺
- ・ 測線 1600E, 測点 700N 付近(ナジャイド地区)

これらの IP 異常について以下に記述する。

### 5-5-1 ラカー金鉱山

ラカー金鉱山周辺の TDIP 平面図を Fig. II-5-16 に示す。また、2次元解析断面図及び平面図をそれぞれ Fig. II-5-17, 18 に示す。ラカー金鉱山はオープンピットが稼動中でありピット内に測線を設定することができなかつたため、ピットにかかる測線 200E 及び 400E はそれぞれ西と東にずらして設定した。

TDIP 平面図によるとオープンピットの南東部(測線 400E, 測点 1600N)を中心とした分極率異常が  $N=1$  で認められ、深部に行くにしたがって南方に延びるように分布する。現地調査後実施した 2次元解析の結果では、分極率異常の中心は測定データと同様に浅部から深部まで測線 400E, 測点 1600N 付近にあるものの、その平面的な広がりとは逆に、深部になるにつれて北東方向に延びる傾向が認められる。ラカー金鉱山周辺で実施された過去のボーリング調査の結果によると、現在オープンピットがある場所から北東方向に傾斜してストックワーク鉱が確認されており、2次元解析の結果はこのストックワーク鉱を反映していると考えられる。

測線 400E について分極率の擬似断面を見ると、確認されている鉱体と逆方向に傾斜して異常が現れている。IP 法調査では傾斜した低比抵抗・高分極率の異常体が存在した場合、実際の傾斜とは逆の方向に分極率の異常が出現するという現象があり、測線 400E の結果はその現象のためと考えられる。鉱体の位置や形状を正確に求めるためには定量的な数値計算による解析が必要で

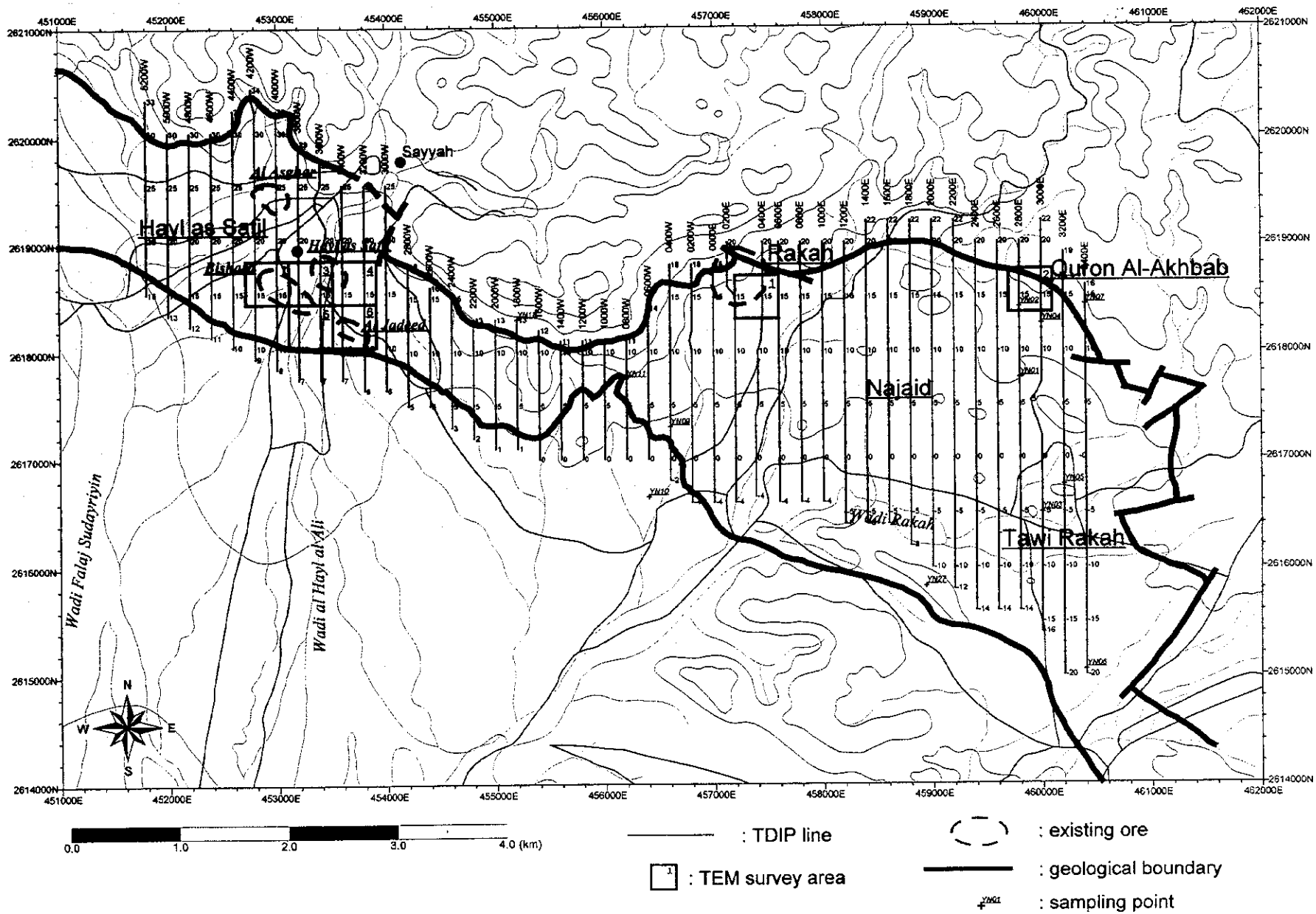


Fig. II -5-4 Geophysical survey location in Yanqul area



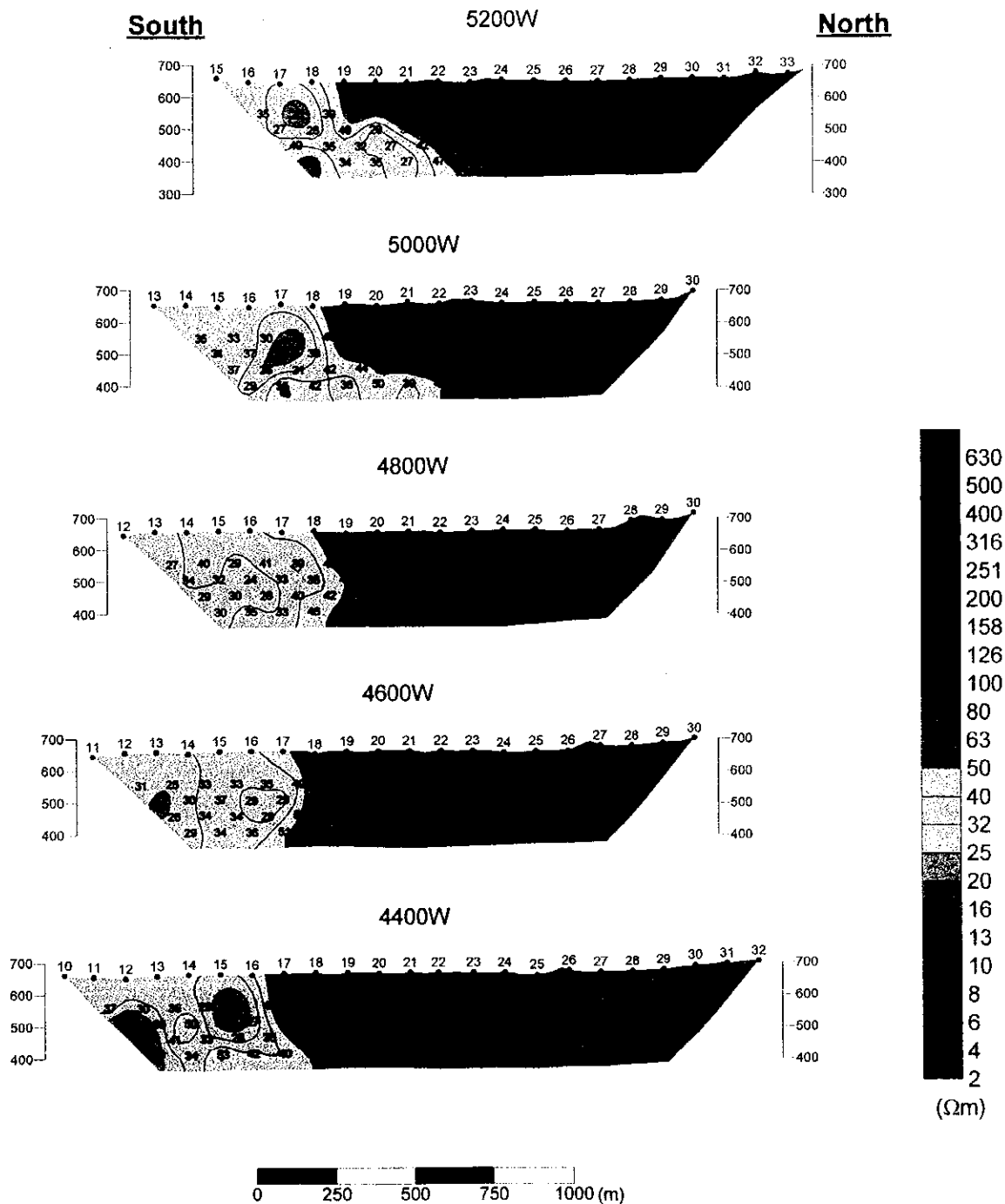


Fig. II-5-5(1) Apparent resistivity pseudo-sections(5200W-4400W)



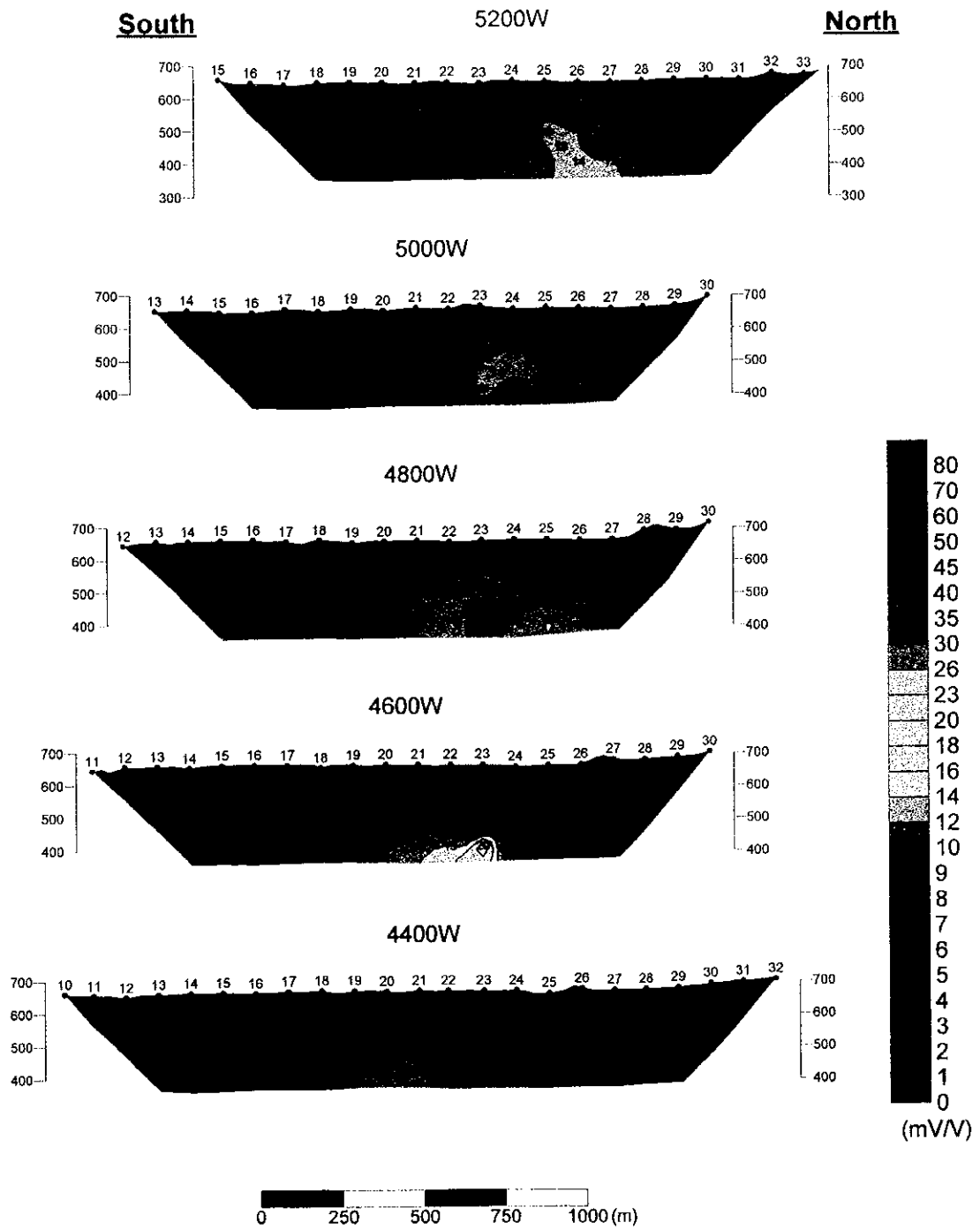


Fig. II -5-5(2) Chargeability pseudo-sections(5200W-4400W)





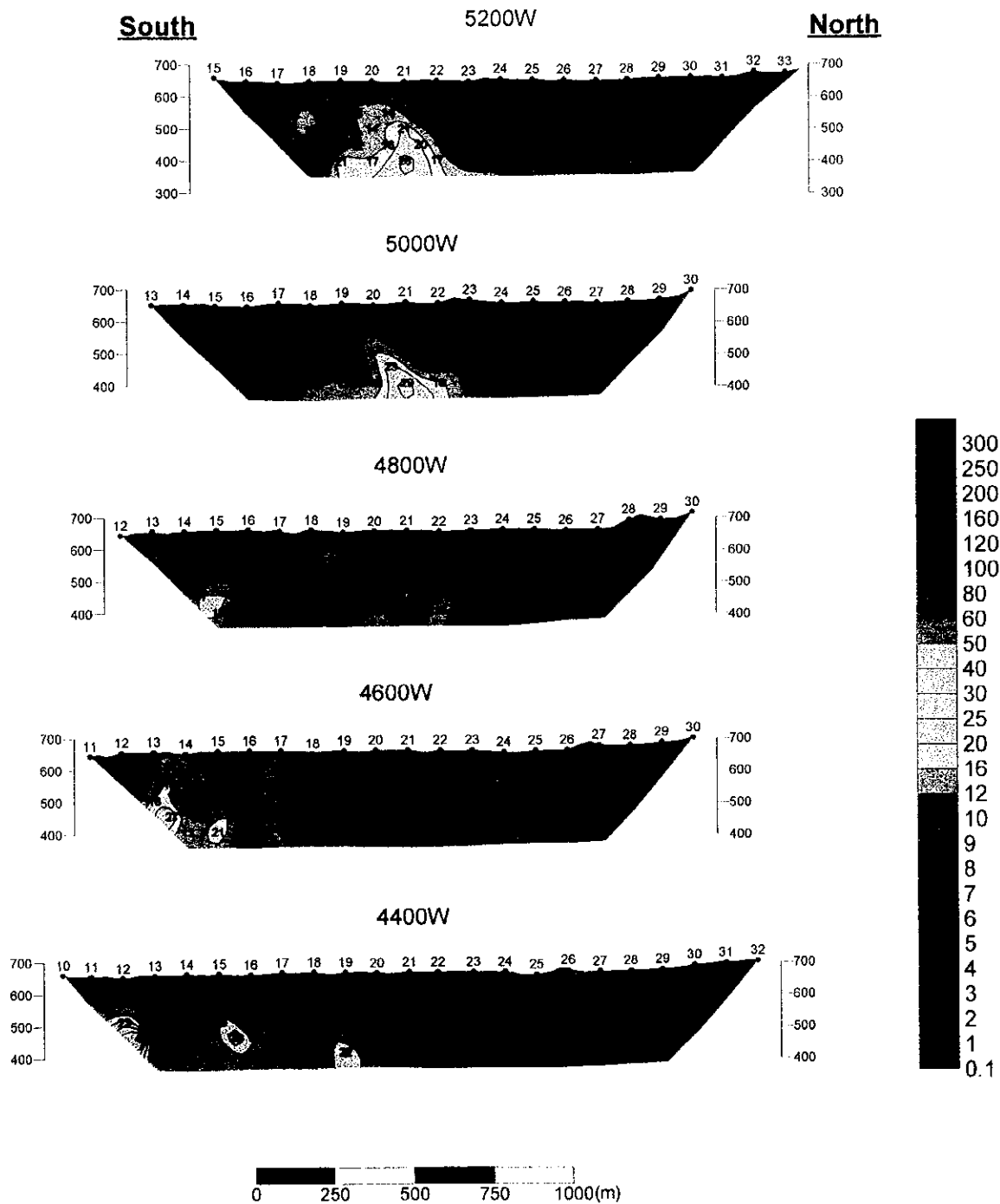


Fig. II -5-5(3) Metal factor pseudo-sections(5200W-4400W)



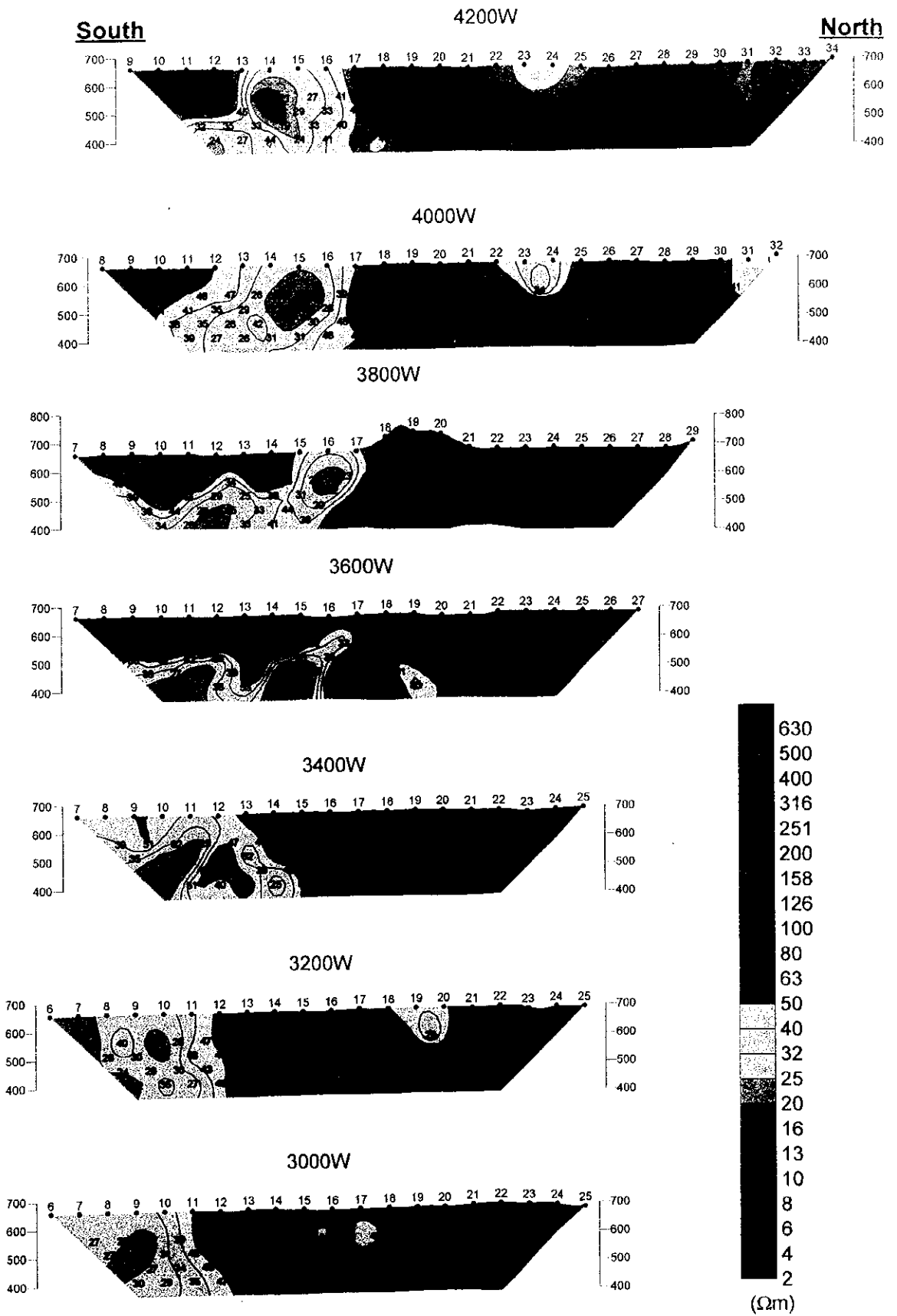


Fig. II -5-6(1) Apparent resistivity pseudo-sections(4200W-3000W)



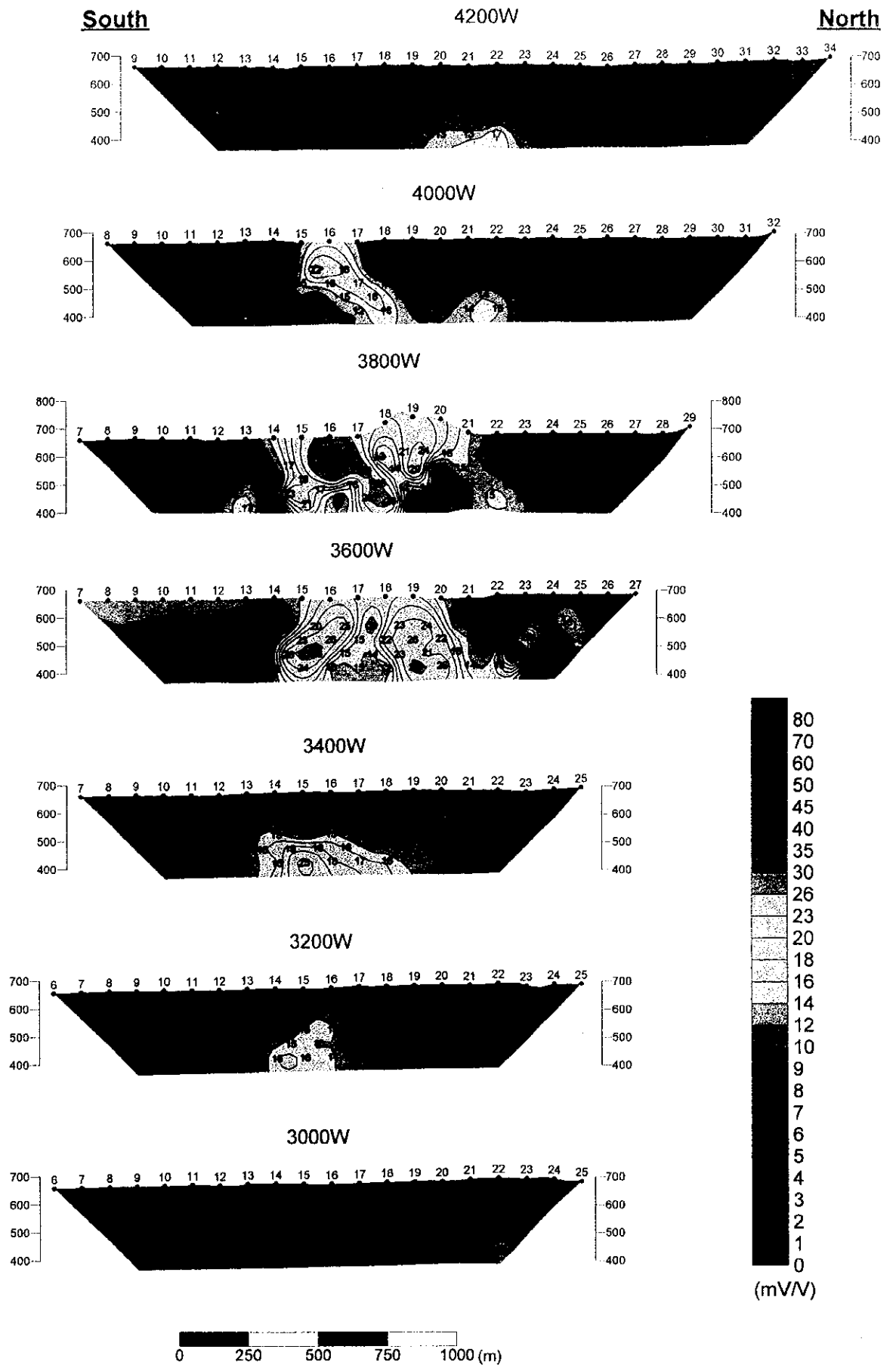


Fig. II -5-6(2) Chargeability pseudo-sections(4200W-3000W)

