

海底熱水性鉱床の工学的特性と 採掘装置の基礎的検討

富島康夫*¹ 山崎哲生*¹ 半田啓二*¹ 鶴崎克也*¹

沖縄近海の伊是名海穴及び東太平洋のゴルダ海嶺で採取された海底熱水性鉱床試料について、比重、圧縮強さ、引張強さ、硬さ等の各種工学的特性値の測定を行うとともに、海底熱水性鉱床として生成し陸上で稼働している黒鉱鉱床との比較検討を行った。また、海底熱水性鉱床の採掘法についても若干の検討を行った。

その結果、海底熱水性鉱床試料と黒鉱鉱床試料の真比重は、極めて近い値を示しているが、空隙率の値は海底熱水性鉱床試料の方が、かなり大きい値であることが明らかとなった。また、ショア硬さ、一軸圧縮強さは黒鉱試料の方が大きく、マイクロ・ビッカース硬さ、非整形片圧裂引張強さは、両者かなり近い値を示していることが分かった。さらにこれらのことより、海底熱水性鉱床は黒鉱と比較して、その構造が不均質であり、比較的硬い部分と軟らかい部分とが同程度に存在しており、硬い部分の強度は黒鉱のそれに近い値であることが明らかとなった。また、海底熱水性鉱床はその賦存場所、賦存状態という産状、さらには試料採取方法、試験方法といった取扱によって、強度、硬さ等の値にばらつきがあることが明らかとなった。

今回の測定結果から海底熱水性鉱床の採掘法を考えると、鉱床を掘削する掘削機構、鉱石を採集する集鉱機構については、現在鉱山で使用されている技術、あるいは研究開発されている深海底のマンガン団塊の採掘技術等を応用することにより、多くの部分是对応できると思われる。しかし、これらの機構を搭載して移動するための走行機構については、海底熱水性鉱床の局所的な地形変化の激しさ、そのスポット的賦存状況を考慮すると、これらの条件を克服できるような技術、装置を開発する必要がある、採掘法を検討していくうえで重要な課題と思われる。

Physical and Engineering Properties and Basic Consideration of Mining Machinery of Massive Submarine Polymetallic Sulfide Deposits

Yasuo TOMISHIMA*², Tetsuo YAMAZAKI*², Keiji HANDA*² and
Katsuya TSURUSAKI*²

Massive submarine polymetallic sulfide deposits, which include several metals such as zinc, lead and silver, have been focused as one of deep sea mineral resources following manganese nodules and cobalt-rich manganese crusts. At Izena Cauldron near Okinawa Island, silver- and gold-rich polymetallic sulfide deposits have been found recently (Halbach et al., 1989).

*¹ 工業技術院 公害資源研究所

*² National Research Institute for Pollution and Resources.

The geological distribution characteristics of massive submarine polymetallic sulfide deposits have been studied at some institutes in U.S.A., France, Japan and so on. However, their physical and engineering properties which are essential data for design of mining machinery are known almost nothing.

This study aims to clarify physical and engineering properties of polymetallic sulfide deposits in order to design mining machinery of them.

Samples from Izena Cauldron at the north-west region of Okinawa Island and from Gorda Ridge at East Pacific Rise were prepared for the following measurements:

Physical properties such as bulk density, solid density, porosity, and acoustic wave velocity, and engineering properties such as uniaxial compressive strength, tensile strength through the point load test, Young's modulus, micro-Vickers hardness, and Shore hardness. These data were compared with the data of the Kuroko ore which are considered to be the same origin with polymetallic sulfide deposits. The specific gravity of polymetallic sulfide deposits is close to that of Kuroko, but their porosity is much higher than that of Kuroko. Shore hardness and the uniaxial compression strength of polymetallic sulfide deposits are lower than those of Kuroko. Micro-Vickers hardness and the tensile strength of both ores indicated almost the same value. It is clear that polymetallic sulfide deposits are composed of the portion which is as hard as Kuroko ore and softer portion.

It is considered from these results that the conventional technics will be adaptable for the excavating mechanism of polymetallic sulfide miner. But unique technology will be required for its mobile mechanism because the topography of polymetallic sulfide area is very complicated.

These data and considerations would be very useful information for conceptual design of mining machinery of massive submarine polymetallic sulfide deposits.

1. はじめに

近年、マンガン団塊、コバルト・リッチ・クラスト、海底熱水性鉱床等の、深海底鉱物資源に対する関心が高まっている。この中で海底熱水性鉱床は、大西洋中央海嶺、ファンデフーカ海嶺、東太平洋海膨などで品位、量的に有望なものが発見され、将来の亜鉛、鉛、銀の供給源として注目されている。日本近海においても、先般沖縄近海において、金、銀の含有量が極めて高いものが発見された(中村ほか, 1988)。

これら深海底鉱物資源の中で、マンガン団塊については、現在その採鉱法の開発に関してかなり詳細に検討されており、実際の海域での採鉱実験

に向けた機器製作が行われている(青木, 尾山, 1988)。しかし、海底熱水性鉱床については、各方面で活発に調査、研究が実施されてはいるものの、それらは賦存状況、品位、成因等地質学的、鉱床学的見地に立つものが大半を占めており、強度、硬さといった工学的特性に関する研究は、ほとんど行われていない。しかし、鉱物資源として利用するために不可欠な採鉱法を検討するためには、これら工学的特性を把握することがまず必要となる。

深海底鉱物資源の採鉱システムは、海面上の採鉱船、海底面上を移動して鉱石を採取する採掘装置、採取した鉱石を海面上に輸送する揚鉱装置、

これらの海中機器のハンドリング装置などに大別される。海底熱水性鉱床は、マンガン団塊と同じように深海底鉱物資源ではあるが、マンガン団塊が平坦な海底堆積層の上に、玉砂利を敷き詰めたように一様に分布しているのに対し、チムニー、マウンドといったような極めて変化の激しい地形的賦存状態を呈している。したがって技術開発がかなり進んでいるマンガン団塊の採掘法のうち、海底条件と密接な関係を有する採掘装置については、応用が効かない部分が多いと思われる。そのため、マンガン団塊とは異なった方式を考える必要があるが、現段階では概念検討のみに留まっている。

今回、沖縄トラフ伊是名海穴及び東太平洋ゴルダ海嶺から採取された試料を用いて、採掘装置を実際に開発する上で極めて重要な因子となる、各種工学的特性の測定を実施したので、その結果を示すとともに、海底熱水性鉱床として生成し、陸上で稼行している黒鉱鉱床との比較、またその採掘法についての若干の考察を行ったので、それらについて報告する。

2. 鉱床賦存状況

海底熱水性鉱床は、海底下の熱源、海水の地殻中への下降・侵入、地下深部で形成された熱水の上昇、鉱物の沈澱（海底下、海底面）の要素が合わさって形成されたものといわれている。このような条件を備えている場所は、大洋中央海嶺及びそれと類似の地質学的、地球物理学的特徴を有する縁海、背弧海盆等である。実際このような場所の海底面で、活動的なあるいはすでに活動を停止しているチムニー、マウンド等として、10数mから数10mの規模で海底熱水性鉱床が発見されている（水野，1983）。今回使用した試料についていえば、伊是名海穴のものは背弧海盆、ゴルダ海嶺のものは中央海嶺のものである。

3. 鉱床の工学的特性

3.1 試料

各海底熱水性鉱床試料の採取場所、採取状況等を表1に示した（伊是名海穴試料の詳細な記載、分析値は本号浦辺報告参照）。今回の測定に使用した海底熱水性鉱床試料は、沖縄トラフ伊是名海

表1 採取試料一覧表

Table.1 Basic geological data of samples

試料番号	採取場所	鉱種	賦存状態
360-4	伊是名海穴 (しんかい2000)	黒鉱	マウンドの礫
360-7	伊是名海穴 (しんかい2000)	黒鉱	マウンドの礫
360-8	伊是名海穴 (しんかい2000)	黒鉱	マウンドの礫
U-1	ゴルダ海嶺	チムニー	チムニーの一部

穴から「しんかい2000」DIVE360で採取されたものとゴルダ海嶺から採取されたものであり、チムニーの一部であったものと、マウンドの礫として存在していたものとに分れる。

伊是名海穴は、琉球背弧海盆拡大の中軸から約40km火山フロント寄りに位置し、矩形（約6×3km）をした陥没凹地であり、凹地の最深点は水深約1,660m、周縁部は1,150～1,250mで完全に閉じている（中村ほか，1988-a）。ゴルダ海嶺は東太平洋の北緯43度に位置し、中軸の地溝（水深3,500m）が顕著に発達しており、一部に現在活動中の火山活動の場と考えられている rift valley ridge が存在している（水野，1983）。

黒鉱試料は、花岡鉱業の餌釣坑及び、深沢坑から採取されたものである。

3.2 品位

測定に使用した海底熱水性鉱床、黒鉱の各試料の品位を表2に示した。表中の試料Eは、黒鉱試

表2 各試料の品位

Table.2 Metal content of samples

	360-4*	360-7*	360-8*	U-1	E	F
Au (g/t)	12.8	6.30	5.90	0.3	1.2	0.6
Ag (g/t)	967	491	676	18.6	180	93
Pb (%)	16.05	18.75	21.29	0.01	3.32	3.3
Fe (%)	2.98	3.41	5.37	39.65	4.1	4.4
Cu (%)	13.33	0.895	8.14	9.91	0.89	1.13
Zn (%)	29.95	50.20	28.45	0.07	10.1	15.4

(*：浦辺，本号報告)

料のうち餌釣坑から採取されたものであり、Fは同じく深沢坑から採取されたものである。海底熱水性鉱床試料のうち伊是名海穴で採取されたもの

は、亜鉛、鉛、銀の含有率が黒鉱に比べて非常に高くなっている。また、金の含有量も高く、特に試料 360-4 については、採鉱コストが陸上の鉱石と比較してそれほど高くなければ、金鉱石としても十分に適用するものである。しかし、ゴルダ海嶺から採取された試料 U-1 については、銅の含有率は黒鉱に比べて高いものの、亜鉛、鉛、銀及び金の何れの含有率もかなり低く、鉱石としての利用価値は低いと思われる。

3.3 測定方法

P 波速度、比重、一軸圧縮強さ、非整形片圧裂引張強さ、マイクロ・ビッカース硬さ、ショア硬さの 6 項目について測定を行った。測定の流れは



図 1 測定フロー

Fig.1 Flow chart of measurements

図 1 に示す通りであり、各測定法は以下に示す通りである（山口、西松、1967）。なお、一軸圧縮強さ測定は完全乾燥状態、その他はすべて湿潤状態の試料を用いた。

(1) P 波速度

一軸圧縮強さ測定に使用する直方体の整形試験片を用いて、一軸圧縮強さの測定直前に測定を実施した。海底熱水性鉱床の生成方向によって、P 波速度が異なることが考えられるため、直交する 3 方向について P 波速度の測定を行った。1 方向の測定につき 5 回の測定を行い、平均値をその方向の測定値とした。

(2) 比 重

試料整形時に生じた適当な大きさの切り屑を用いて、乾燥重量、水中重量を測定し、真比重及び空隙率を求めた。

(3) 一軸圧縮強さ

岩石等で行われている一軸圧縮試験では、円柱

形の試験片を使用するのが一般的であるが、今回入手した海底熱水性鉱床試料の大きさ及び強度面の制約から、円柱形に整形することが困難なため、本測定で使用する試験片の形状は直方体とした。また、試験片の大きさが極端に小さくなれば、寸法効果の影響が大きく現われ、強度が高くなること、比較検討するためにはできる限り同じ大きさの試験片を用いる必要があること等を考慮して、海底熱水性鉱床、黒鉱いずれも約 $20 \times 20 \times 40\text{mm}$ の大きさの直方体試料を用いて測定を行った。

試験片に加える荷重は、試験機の加圧板のロードセルにより測定した。また、試験片のひずみは、直交 2 軸型のひずみゲージを試験片の各測面に合計 4 個取り付けて測定した。海底熱水性鉱床試料は多孔質であり、表面が極めて脆い構造になっているものもあるため、ひずみゲージが確実に固定されるように、接着面を予め接着剤を用いて、強度に影響しない程度にできる限り薄くコーティングして滑らかな接着面を作り、その上にひずみゲージを接着した。また測定は、加圧板の変位速度一定という条件のもとで行った。

図 2 に、整形試料を一軸圧縮試験機にセットした状態を示した。

(4) 非整形片圧裂引張強さ

自然の岩盤や岩石の塊には、多くの割れ目が存在し、破壊は一般に割れ目から始まる。そのため採取試料を整形加工して試験片を作る操作の際に、その割れ目から破壊が起って、得られた整形試験片が、採取試料の最も強度の大きい部分で構成されていることが考えられる。また、極めて軟弱な岩石では、整形加工の際に試料が破壊し、整形試験片を得ることが困難な場合も考えられる。特に海底熱水性鉱床のように、一般の岩石に比べて不均質であり、緻密でないものでは、この影響が大きいと思われる。したがって、割れ目の影響も含めた平均的な海底熱水性鉱床試料の強度を知るためには、なるべく手を加えていない試験片を用いて試験を行うことが重要である。

非整形試験片の強さ試験としては、破碎性試験、衝撃強さ試験、あるいは圧縮試験、圧裂引張試験等があるが、ここでは整形試験片により一軸圧縮強さの測定を実施しているため、非整形片の試験として圧裂引張試験を行った。非整形試験片の圧

裂引張試験は、直径 7.5 mm の半球状突起の間に試験片をはさんで荷重試験を行い、次式によって引張強さを得るものである（平松ほか、1965）。

$$St = 0.9 P / d$$

St : 引張強さ

P : 破壊荷重

d : 荷重点間隔

なお、測定に供した試料として比重測定と同様に、試料整形時にできる切り屑のうち、試験に使用できる適当な大きさのものをを用いて測定を行った。

(5) ショア硬さ

ショア硬さ測定装置を写真 2 に示した。ショア硬さは反発硬さの一種であり、任意の高さからダイヤモンド・ハンマを落下させ、その跳ね上がりの高さで材料の硬さが定義される。今回使用した測定装置は、 $\frac{3}{4}$ インチの高さから約 36 g のダイヤモンド・ハンマを落下させるもので、D 型と呼ばれるものである。

(6) マイクロ・ビッカース硬さ

マイクロ・ビッカース硬さ測定装置を写真 3 に示した。マイクロ・ビッカース硬さは、押し込み硬さの一種であり、ダイヤモンド等の剛体に近い圧子（ハンマー）を材料の表面に圧入し、永久ひずみを生じさせ、そのひずみを生じさせるのに要した荷重と、材料表面に生じたひずみの寸法から硬さが定義される。今回の測定では、対角面が 136° のダイヤモンド製の正四角錐圧子を用い、次式からマイクロ・ビッカース硬さを求めた。

$$Hv = 1.854 F / l^2$$

Hv : マイクロ・ビッカース硬さ

F : 試験荷重 (kg f)

l : 永久ひずみの対角線の長さの
の平均値 (mm)

ショア硬さ測定、マイクロ・ビッカース硬さ測定のいずれの測定も、一般的には非破壊試験と考えられているため、P 波速度測定後、一軸圧縮強さ測定前の整形試料を用いて測定を行うのが、測定値の比較を考えるうえでは最適である。しかし、海底熱水性鉱床試料のような軟らかい試料の場合には、これらの測定により、試料表面に強度に影響する傷をつける恐れもあり、極端な場合には試料が破損することも考えられたので、一軸圧縮強

さ測定用の試料を用いずに、同一の試料母体から各測定用の試料を作製した。

ショア硬さは 20 回の測定値の平均を測定結果とし、マイクロ・ビッカース硬さでは 10 回の平均を測定結果とした。

3.4 結 果

各測定結果を表 3 に示した。表により明らかな

表 3 測定結果一覧

Table.3 Test results

試料番号	P 波速度 (m/s)	ヤング率 (GPa)	$v(Pa-c^{-1})$ 3-3 測定値	圧入深さ (mm)	一軸圧縮 強さ (MPa)	圧裂引張 強さ (MPa)	空隙率 (%)	浸透率 (%)
360-4	3360	21.9	162.0	10.2	24.0	2.23	4.63	37
360-7	3550	25.2	218.2	18.3	38.2	6.09	4.55	15
360-8	3050	18.5	154.1	14.8	21.0	3.54	4.49	39
0-1	3730	24.5	—	—	9.08	0.09	4.68	33
E-1	4520	62.6	225.6	35.0	144	2.08	4.20	0
E-2	4660	59.0	223.7	35.4	126	1.97	4.69	3
F-1	3930	29.5	190.8	22.8	89.0	8.43	4.45	0
F-2	4090	40.5	219.7	32.5	83.6	13.35	4.18	1
F-3	3400	49.1	178.2	33.7	122	2.78	4.20	1
F-4	4570	51.9	195.3	36.9	107	2.70	4.20	1

※ — : 測定不可

ように、海底熱水性鉱床試料と黒鉱試料の真比重は極めて近い値を示しているが、これは両者が同一起源の鉱床であるとする説を裏付けるものである。しかし、空隙率は、海底熱水性鉱床試料が極めて大きな値を示している。

ショア硬さ、マイクロ・ビッカース硬さについて見てみると、海底熱水性鉱床試料のショア硬さは、黒鉱試料の半分以下であるのに対して、マイクロ・ビッカース硬さは両者よく似た値を示している。この理由としては、ショア硬さは試料の強度がかなり低く、脆い場合でも測定が可能であるのに対して、マイクロ・ビッカース硬さの場合は試料の表面がある程度滑らかで、試料の強度があまり低くなく、かつ脆くないことが必要であるため、試料全体の平均的な硬さより大きな値を示していると考えられる。実際、これらの理由により数回測定のやり直しを行っている。

一軸圧縮強さは、海底熱水性鉱床試料の方が極めて小さな値であるのに対して、圧裂引張強さは、特に伊是名海穴で採取されたものは黒鉱試料と同程度か、あるいはそれ以上の値を示しており、両者の一軸圧縮強さと圧裂引張強さの比に、大きな違いがある。これは、海底熱水性鉱床の特徴の一

つであると考えられる。しかし、本来試料の平均的な強度を測定するための非整形試料を用いた試験ではあるが、比較的小さな切り屑しか用いることができなかったために、結果的には逆に強度の高い部分を選択的に用いて測定したこと

となり、圧裂引張強さが本来の値より高い値を示しているとも考えられる。いずれによるものかは、今後のデータ収集を待たねば結論は出せないと考えられる。

ショア硬さ、マイクロ・ビッカース硬さ測定結

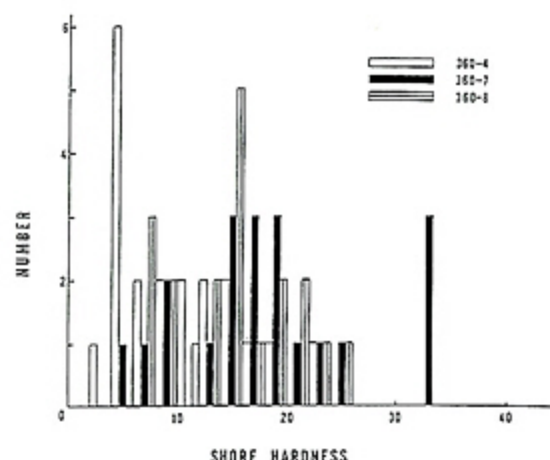


図 2(a) ショア硬さ度数分布 (海底熱水性鉱床)

Fig.2 Frequency distribution of Shore hardness (massive submarine polymetallic sulfide deposits)

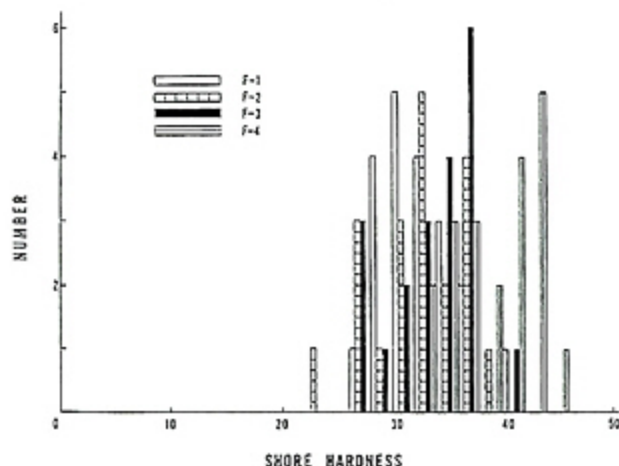


図 2(b) ショア硬さ度数分布 (黒鉱)

Fig.2 Frequency distribution of Shore hardness (Kuroko deposits)

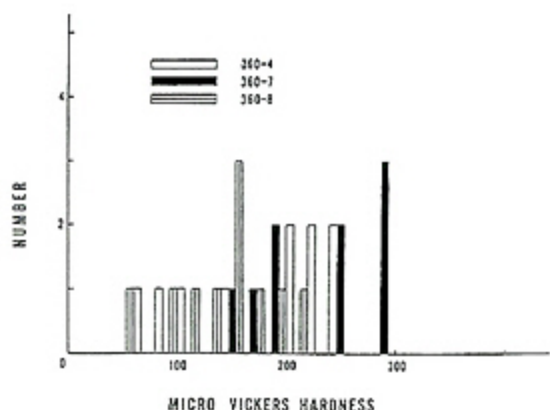


図 3(a) マイクロ・ビッカース硬さ度数分布 (海底熱水性鉱床)

Fig.3 Frequency distribution of micro-Vickers hardness (massive submarine polymetallic sulfide deposits)

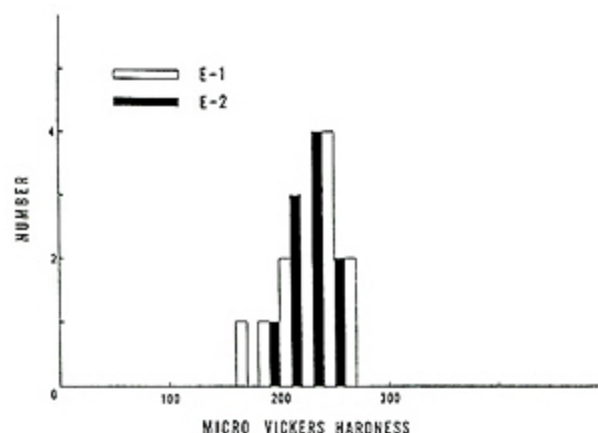


図 3(b) マイクロ・ビッカース硬さ度数分布 (黒鉱)

Fig.3 Frequency distribution of micro-Vickers hardness (Kuroko deposits)

果の度数分布を、図 2(a)(b)、図 3(a)(b)に示した。これらの図により、海底熱水性鉱床試料のほうが

分布の幅が大きいことが明らかであり、さらにその分布形態が正規分布のような山形の分布形では

なく、矩形になっていることが分かる。このことは、海底熱水性鉱床試料中に、硬い部分と軟らかい部分が同程度に混在していることを示すものである。

さらに、試料の数が少ないものの、海底熱水性鉱床試料の各測定値のばらつきは、かなり大きいとみることができる。これは前述のように各試料中に、硬い部分と軟らかい部分が混在していることがその理由として考えられるが、海底熱水性鉱床試料の採取場所あるいは採取状況等が、影響していることも考えられる。

これらの結果により、海底熱水性鉱床は黒鉱と比較してその構造の均質の度合いは低く、硬い部分と軟らかい部分が同程度に存在していることが明らかであり、硬い部分は、圧裂引張強さ、マイクロ・ビッカース硬さが、黒鉱に比較的近いものであることが分かった。また、海底熱水性鉱床を工学的特性から評価・検討する場合には、その測定に供する試料の採取法、取扱い、試験方法等に十分に留意する必要があることも明らかとなった。

4. 採掘法の検討

海底熱水性鉱床の採掘装置は、チムニー、マウンド等を形成している海底熱水性鉱床を掘削する掘削機構、掘削された鉱石を採集する集鉱機構、さらに、これらの機構を搭載して採掘装置全体を動かす走行機構に大別される。今回の結果から採掘装置のこれら各機構の仕様について考えてみると、掘削機構については、軟～中硬岩掘進用のブームヘッド、集鉱機構については、ロードヘッドあるいは水力式集鉱装置を想定すれば十分であり、現有技術ないしはマンガン団塊の水力式取込機構の応用技術の範囲内にあると考えられる。

これに対して、走行機構には苛酷な条件が課せられている。これまでに公表されている海底写真、ビデオ、スケッチなどによると、海底熱水性鉱床は、局所的な地形変化が極めて激しく、既存の走行機構の適用は困難であると考えられる。このため、そのスポット的賦存状況も加味すると、採掘装置の移動方法としては自航式あるいは半自航式が適していると考えられる。すなわち、あるチムニー、マウンドの採掘が終了すると、採掘装置は離底し、自力あるいは採鉱船の力を借りて次の点へ移動す

るのである。この場合、掘削、集鉱に必要な反力をどのように得るかが問題となるが、これについては、海底熱水性鉱床の水中比重が比較的大きいことを利用する貯鉱方式が有効であると考えられる。これは採掘装置の中に貯鉱スペースを有し、その中の鉱石を増減することにより、自重をコントロールするものである。もちろん、自航機構を有しないものも考えられるが、採掘中に姿勢を変化させたり、短距離を移動する場合も起り得ることを考えると、自航能力と貯鉱量の増減によって運動能力を有するシステムの方が望ましいと考えられる。

5. ま と め

今回は、工学的特性については、各試料の測定結果について報告し、若干の考察を加えるに留めたが、今後はさらに同様の測定を継続して行い、海底熱水性鉱床の鉱床としての工学的特性について検討を行っていく必要があると思われる。また、実際の採鉱段階において不可欠な、海底の微地形変化、強度変化、あるいは鉱量の変化といった、原位置でのミクロな情報を測定する方法についても、併せて検討することが必要である。

謝 辞

測定に使用した海底熱水性鉱床試料及び、黒鉱試料を提供頂いた、地質調査所、海洋科学技術センター及び、花岡鉱業㈱に謝意を表する。

参 考 文 献

- 青木一男・尾山哲夫, 1988, マンガン団塊採鉱システムの研究開発, 日本鉱業会昭和63年度秋季大会講演予稿集K [海洋開発], 5～8
- 佐藤壮郎・水野篤行, 1983, 新しい海底鉱物資源—海嶺上の塊状硫化物—, 科学, 53, 101～106
- 鶴崎克也・半田啓二・山崎哲生・富島康夫, 1988, コバルト・リッチ・クラスト採掘装置のフィージビリティスタディ, 日本鉱業会昭和63年度春季大会講演予稿集, 89～90
- 中村光一・浦辺徹郎・丸茂克美・青木正博・金沢康夫・酒井均・P. ハルバック, 1988-a, 沖縄トラフ、伊是名海穴で発見された金、銀

に富む生成中の海底熱水性鉱床について, 三
鉱学会昭和63年度秋季講演会要旨集, 127 ~
128

中村光一・浦辺徹郎・丸茂克美・青木正博・金沢
康夫, 1988 - b, 沖縄トラフ, 伊是名海穴
の海底熱水性鉱床について, 第5回「しんか
い2000」研究シンポジウム予稿集, 67~70
水野篤行, 1983, 海底の熱水性鉱床—とくに多
金属塊状硫化物について—, 海洋科学, 15,
502~505

水野篤行, 1985, 深海底鉱物資源の研究の最近
の動向, 日本海学会誌, 39, 227~239

山口梅太郎・西松裕一, 1967, 岩石力学入門,
東京大学出版会

平松良雄・岡行俊・木山英郎, 1965, 非整形試
験片による岩石の引張強さの迅速試験, 日本
鉱業会誌, 81, 1024~1030

P. Halbach・Ko-ichi Nakamura・M. Wahsner・
J. Lange・H. Sakai・L. Kaselitz・R.-D.
Hansen・M. Yamano・J. Post・B. Prause・
R. Seifert・W. Michaelis・F. Teichmann・
M. Kinoshita・A. Marten・J. Ishibashi・S.
Czerwinski・N. Blum, 1989, Probable modern
analogue of Kuroko-type massive sulphide
deposits in the Okinawa Trough back-arc
basin, Nature, 338, 496~499

(原稿受理 1989年5月25日)



写真1 一軸圧縮試験供試体
photo. 1 Test piece for uniaxial
compressive test

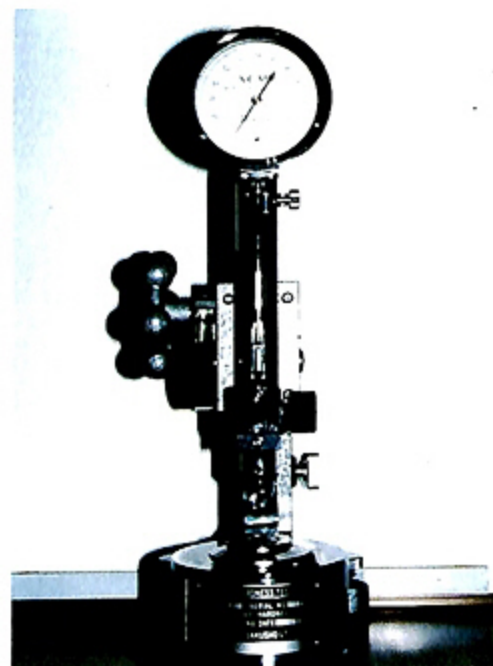


写真2 ショア硬さ測定装置
photo. 2 Measuring device of Shore
hardness

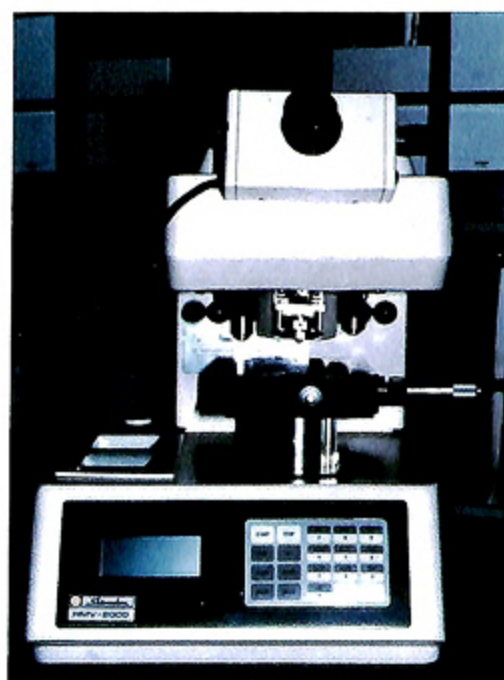


写真3 マイクロ・ビッカース硬さ測定装置
photo. 3 Measuring device of micro-
Vickers hardness