

■ 特 集 ■ 採鉱技術から見た資源開発

金属鉱物資源の採鉱技術

Mining Technology in Metal Mine

天 野 勲 三 *

Kunsou Amano

1. 緒 言

我が国は、国土面積が約37万km²と云う狭い面積にもかかわらず、その地質的、鉱床の環境条件から産出する鉱物資源の種類は多く、また、主要金属鉱物である銅、鉛、亜鉛鉱石については、昭和30年頃まではほぼ自給自足できる状態であった。しかし、その後国内資源の限界がみえはじめ、金属鉱物資源の不足が表面化し、海外資源への依存度が急増した。これに呼応して国内の採鉱活動も活発化し、新鉱床発見の努力が傾注されたが、新規の鉱山開発は次第に少くなり、30年代後半には、鉱量の涸渇とコストの上昇から、止むなく閉山に追い込まれる鉱山が出始めるようになった。このような国内鉱山の衰退傾向は、40年代に入るとますます顕著となり、オイル・ショックに端を発した世界的な需要減退と、これによる地金在庫の増大、さらにこれに追打ちをかけるが如き急激な円高により、国内地金価格が暴落し、非鉄金属業界は未曾有の苦境におちいった。そのため、国内鉱山数は表1に示すように急激な減少傾向を示している。

この危機を乗り切るためには、大巾な体質改善が要求され、いくつかの新しい採鉱技術が開発された。

こゝでは金属鉱山における最近の採鉱技術の一部を紹介するとともに、まだ多くの研究課題をかゝえている深部採鉱の問題点について述べる。

2. トラックレスマイニング

従来の鉱山の開発方式は、水平坑道と立坑または斜坑を組合せた坑内構造が基本的な姿となっており、水平坑道や斜坑には軌道（トラック）が敷設され、機関

表1 国内金属鉱山数の推移

鉱種	年度	31	35	40	45	50	53
金、銀		53	58	39	33	17	12
銅、鉛、亜鉛		239	173	111	85	39	32
硫黄、硫化鉄		46	30	8	6	0	0
鉄、砂鉄		122	155	93	41	0	0
マンガン		237	240	136	51	16	14
クローム		15	13	6	4	5	3
タングステン		26	22	10	11	7	11
モリブデン		21	18	11	15	22	17
その他の他		21	18	11	15	22	17
合 計		759	709	414	246	106	89
%		100	93	55	32	14	12

車によって鉱車を索引し、鉱石、人員、材料などの運搬が行われていた。このような従来の開発方式では、鉱床にアプローチするための坑内構造が複雑になり、立坑を通して垂直に落下する鉱石や研を水平方向に積替えする手間がかゝるなど種々の欠点があった。一方近來小型高性能のディーゼルエンジンが急速に発達し、狭い坑内に適合したタイヤ使用のディーゼルエンジン駆動の高性能積込機（L.H.D機と呼ばれている）が開発された。

このような背景のもとで我が国の鉱山でも十数年前から、タイヤあるいはクローラタイプの車輛や採鉱機械を導入することによって、坑内から軌道をなくする開発方式、すなわちトラックレスマイニングが注目されるようになり、神岡鉱山、深沢鉱山などの金属鉱山をはじめ、大叶鉱山、氷川鉱山などの石灰石鉱山でも、この方式が採用されるようになった。

トラックレスマイニングは、その中核となるLHD機やせん孔機械などが、いずれもタイヤまたはクローラ型で登板力を含む機動性に富み、軌道なしで自走するため、坑内で適宜に緩傾斜坑を開さくすることに

* 秋田大学鉱山学部採鉱学科教授

☎ 010 秋田市手形学園町1-1

より、在来の開発方式に比べてはるかに自由にそれぞれの鉱床にアプローチできる大きな特色をもつほか、つぎのような利点がある。

- (1) 坑内構造が単純であり、巻上設備が不用のため固定配置人員がすくなくてすみ、管理が容易である。
- (2) 人員、資材はトラックで採掘現場の近くまで容易に運搬ができ、かつ、大型あるいは重量物の運搬も極めて容易である。
- (3) 開発に使用した各種車輛類は、そのまま営業段階に入っても使用でき、無駄がない。
- (4) 鉱床上部の地表は急峻な山間部であっても、坑口は平坦地の近くに設置することができるため、道路、橋梁の築造などの開発準備工事が極めて少なく、また、営業段階に入ってからでも従業員の通勤、鉱石、資材の運搬、道路の維持ならびに冬期の除雪などの点で極めて有利である。
- (5) 開発準備が極めて少なく、大型搬出機械を使用している坑道掘進または緩傾斜斜坑の掘進が主体であるため、従来の開発方式に比べて工期が短い。

一方、トラックレスマイニングで使用される重機械類は、高性能であるが1台1台が高価であり、それぞれの機械が100%の能力を発揮するためには、十分な整備とそれを使いこなすための準備が必要である。

また、これらの重機械類が坑内を走り廻るためには、坑道の断面はその機械に十分な大きさが必要であり、退避所や交換のための空間、曲線路の曲率や高速運転のための警報装置などの整備が考慮されなくてはならない。さらに、鉱石処理の能率やタイヤの損耗などの点からも、鉱石の積込みを行なうドローポイントや主要運搬路の床面のコンクリート舗装などが必要となる。排気ガスの問題も重要である。トラックレスマイニングに使用されている大型機械類のかなりのものが、ディーゼルエンジンを装備している。そのため、COガスを

主体とする有毒ガスの対策を忘れることはできない。十分な通気量を確保するとともに、エンジンにスクラバなどの排気浄化装置をとりつけ、常に整備点検を心掛ける必要がある。

図-1は、工期2ヶ月、資金36億円を投じ、全山トラックレスマイニングによって開発され、1979年10月から出鉱を開始した同和鉱業餌釣鉱山の坑内模式図を示すものである。当鉱山は、平均品位金1.2g/t、銀180g/t、銅0.89%、鉛3.32%、亜鉛10.1%を含む高品位黒鉱鉱床で、埋蔵鉱量は約300万tonと云われている。

餌釣鉱山は、生産規模10,000吨/月、採掘法はモルタル人工天盤による下向き充填採掘法で、小規模ながらも坑口から切羽まで、全山トラックレスマイニングとし、最新技術を結集した鉱山である。特に、坑内から坑外1次破碎施設までの鉱石、研の運搬をすべて低床式ダンプトラックによることとした設計は、今後の坑内鉱山開発の一つのモデルとして注目される。

3. ロックボルト支保

ロックボルト支保は、鉱山においてはかなり以前から使用されていたが、当時のボルトはウエッジ型あるいはエクспанション型の先端定着式で、比較的堅い岩盤を対象として使用されていた。そのため、その作用効果についても、坑道周辺に発生するゆるみ領域における岩塊の安定に注目し、その領域の岩塊を吊下がないし一体化して地山の崩落、崩壊を防止して、坑道の安定をたもとうとする考え方であった。その後、全面接着型のロックボルトが開発され、軟弱な岩盤にも使用することができるようになった。また、接着剤などの改良進歩も著しいものがあつた。一方、オーストラリアをはじめヨーロッパ各国では、二十年位前からNATM工法と略称される新オーストラリヤトンネル工法が開発され、重圧を発生する岩盤や極めて軟弱な岩

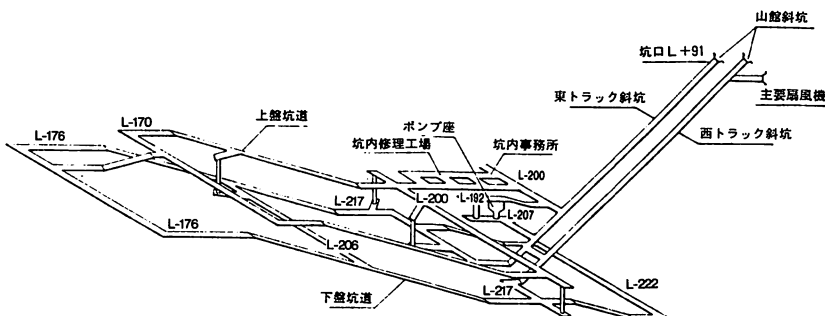


図-1 坑内構造模式図

盤に対して、優れた施工法として脚光を浴びるようになった。

NATM工法は、従来のトンネル工法が鋼棒支保工と厚肉コンクリートライニングを主たる支保メンバーとするのに対して、ロックボルトと薄肉コンクリートを主たる支保メンバーとする工法で、従来の工法に比べてつぎのような特徴をもっている。

- (1) 掘さくによって岩盤が露出すると、できるだけ早く吹付けコンクリートやロックボルトを打設することにより、岩盤の初期変形を減少させ、地山をゆるめずに掘さくする。
- (2) システムロックボルトの施工により、岩盤が本来有している支持力を充分に利用する。
- (3) 岩盤の変形を無理矢理拘束すると、非常に強大な土圧がライニングに作用するが、一次ライニングを薄肉にするなど可縮屈構造にして適当な変形を許し、強大な土圧を防止する。
- (4) 施工中のトンネルで土圧や変形量の計測を行い、支保が適正であるか否かを打診し、静的平衡が得られていることを確かめながら二次ライニングを施工する。

NATM工法は我が国のトンネル技術者の間でも、数年前から注目されるようになり、上越新幹線中山トンネル、会津田島線向山トンネルなどの施工実績から、極めて軟弱な岩盤に対しても有効であることが実証された。このような背景のもとで金属鉱山においても、以前から使用されていたロックボルトの支保効果を再検討しようとする気運が高まってきた。

ロックボルトが岩盤にどのように作用し、支保としてどのような効果があるか、また、その設計はどのようにすべきかと云う問題については、従来から多くの研究結果が発表されているが、定性的なものが多く、いまだに充分解明されたとは云えない。こゝでは日本鉱業会の「軟弱岩盤のロックボルト支保に関する技術研究委員会」がロックボルトの作用効果について検討した結果を引用させていたゞく。

図-2(1)に模式的に示すように、坑道の切羽付近にロックボルトが打設されたのち、切羽が進行すると、応力の再配分がおり、岩盤は坑道内に押し出されるような動きをするので、ロックボルト周辺の岩盤は(2)のような変形をするものと考えられる。すなわち、壁面に近い部分は岩盤がロックボルトを引抜くように、奥の部分はロックボルトを固定するように働く。これは岩盤とロックボルトの変形係数が異なるため、両者

の間に相対変位が生ずるが、壁面近くと奥ではその方向が逆になるためである。これを変位曲線で示すと(3)のようになる。ハッチを施した部分が相対変位の大きさをあらわし、相対変位のない点Aを中立点と呼び、これより壁面側を受動部、奥を固定部と呼んでいる。ここで岩盤がロックボルトに作用する力を考えて見ると、その相対変位から考えて(4)に示すようなせん断力が作用し、その大きさは相対変位量に關係して(5)のように表わされる。また、ロックボルトに発生する軸力Nは、中立点Aで最大となる(6)のような分布をすることがわかる。一方、ロックボルトが岩盤に作用する力は、ロックボルトに作用する力と大きさは等しく、方向は逆となるから、中立点から壁面側では岩盤の変形を抑制するような力が働くことになる。

いま、岩盤は連続体と考え、ロックボルト打設後の岩盤の変形量と変形モード、岩盤の変形係数とロックボルトの軸剛性、ロックボルトの長さなどを与えて、有限要素法を用いた数値解析によって、ロックボルト長と自由面での変位減少量との関係を計算すると、図-3のようになり、ロックボルト長を長くすることによって自由面での変形量を減少させることが可能となることがわかる。

坑道を開さくすると、そのまわりの岩盤に高い応力

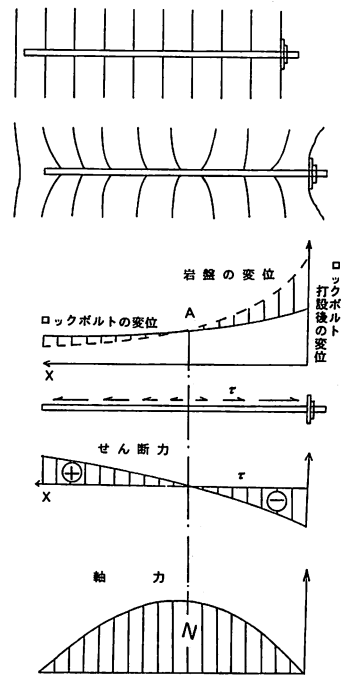


図-2 ロックボルトに作用する力

集中がおこる。この応力が岩盤強度を超過すると、壁面付近の岩盤は破壊される。岩盤強度を超過しない場合でも空洞周辺の岩盤は発破などの損傷で、その強度が低下しており破壊されていることが多い。支保工の設計理論を解明するためには、この破断領域における岩盤の性質および挙動を明らかにする必要がある。

従来、岩石の一軸圧縮を行なうと、応力が圧縮強度に達した直後に瞬間的に破壊するものと考えられていた。しかし、最近このような現象は、試験機の剛性が十分高くないために起こることが明らかになった。剛性の十分高い試験機をもって岩石の圧縮試験を行なうと、図-4に示すように、応力が岩石強度に達したのちでも試験片は抵抗力を減少しつつさらに大巾に変形をつづける。また、封圧 δ_3 が大きくなると、圧縮強度が増大し、破断領域における応力、歪曲線の傾斜が小さくなり、耐圧力が増加する。

さきに、ロックボルトを打設した坑道では、打設していない坑道に比較して、壁面付近の変形量が減少することを明らかにした。いま、ボルトが打設されてい

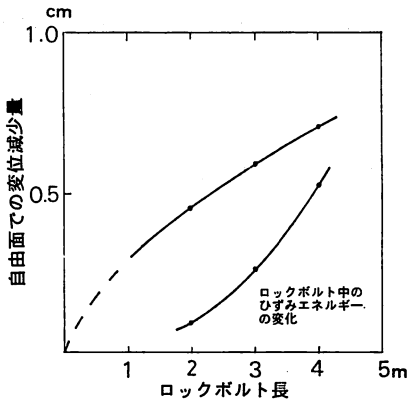


図-3 自由面での変位減少量

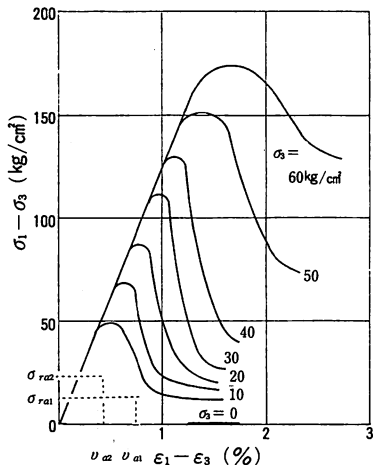


図-4 三軸応力下における岩盤の応力ひずみ曲線

ない坑道の壁面の変形量を u_{a1} 、打設されている坑道のそれを u_{a2} とすれば、図-4からボルトの打設によって、破断領域の岩盤の支持力は $(\delta_{ra2} - \delta_{ra1})$ だけ補強されたことになる。また、破断領域における支持力が δ_{ra1} から δ_{ra2} に増加することは、その奥にある岩盤の封圧 δ_3 が大きくなることであるから、岩盤の圧縮強度が増大し、破断領域の進行を抑制することになる。このような考え方から、ロックボルトの作用効果は破断領域の岩盤の支持力の補強と碎断領域の進行の抑制の2つ評価によって説明することができる。

4. 坑内気象条件

鉱山および炭鉱の採掘切羽は稼行年数の増加とともに、地下深部に移行してゆくのが通例であり、我が国の炭鉱では毎年30mの割合で採掘切羽の深度が増加すると云われている。そのため、坑内温度の高い鉱山の数は年々増加の傾向を示し、坑内気象条件の改善が重大な問題となっている。

4.1 坑内気流に与えられる熱量

坑内気流に与えられる熱源としては(1)、岩盤から気流に与えられる熱量(2)、空気の自己圧縮に基因する温度上昇(3)、各種機械設備、照明設備、坑内労働者などから発生される熱量(4)地下高温湧水からの伝熱量(5)石炭・鉱石・坑木などの酸化熱、などを挙げることができる。

(1) 地山温度(岩盤の初期温度)

地表面付近の地山温度は坑外気温の影響を受けて季節的な変化をする。しかし、この温度変化は地表面からの深さが増加するにしたがってだんだん減衰し、地表面から15m位の深さになると年間を通じてほぼ一定の温度となる。この地帯を恒温帯と呼び、恒温帯の地山温度はその地点の年間平均気温にほぼ等しい。恒温帯からさらに深さが増加すると、地山温度は深度とともにほぼ直線的に上昇するが、その上昇割合すなわち地下増温率は鉱山によって異なる。

南アフリカ共和国のウイトワータスランドの金山地帯の増温率は極めて低く、平均0.0087°C/mである。このため、この地方では地山温度の上昇度が低く、大規模な坑内冷却装置の採用と相まって、現在地下3300mの深部まで採掘が行なわれている。我が国の鉱山では増温率が比較的高く、三井四ツ山坑では0.033°C/m、別子鉱山では0.019°C/mである。

温泉水の影響を受けている特殊な鉱山の例を除けば、増温率は岩石の熱伝導率にほぼ反比例する。こ

のことは世界各地で測定されている地殻放熱量の値が $1 \sim 2 \times 10^6 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{s}$ であることから理解できる。いま、地殻放熱量を $1.5 \times 10^6 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{s}$ 、 λ_g を地殻の熱伝導度 (Kcal/m. h. °C) とすれば、増温率は $P = 5.4/100 \lambda_g$ (°C/m) となる。

(2) 岩盤から気流に与えられる熱量

岩盤から気流に与えられる熱量は、坑道が開さくされて通気が開始された直後は相当大きな値を示しているが、通気開始後の時間経過とともに急激に減少し、1~2ヶ月経過すると比較的小さな値となる。そして、その後も時間の経過とともに減少するが、その減少速度は次第に緩慢となり、1~2年を経過するとはほぼ一定値に近づく。したがって、主要通気坑道のように坑道開さく後相当時間を経過した坑道では、つぎの近似式によって岩盤から気流に与えられる熱量 Q_R (Kcal/h) を計算することができる。

$$Q_R = 2.4 \lambda_g S (\theta_0 - \theta)$$

上式において λ_g は岩盤の熱伝導度 (Kcal/m. h. °C)、 S は坑道延長 (m)、 θ_0 は地山温度 (°C)、 θ は気流温度 (°C) である。

なお、年間平均気温よりも暖い半年間 (夏期) は、空気から岩盤に熱が吸収され、逆に年間平均気温よりも寒い半年間 (冬期) には、この吸収された熱量が岩盤から空気に向けて放散される。この作用によって、坑内気温は入気坑口から遠ざかるにしたがって温度振巾が小となり、季節による温度差がすくなくなる。

(3) 空気の自己圧縮に基因する温度上昇

空気の流れにおいて高さが変化すると、ポテンシャルエネルギーが熱エネルギーに変換される。従来立坑を気流が降下する場合には、空気の自己圧縮によって 100m につき約 1 °C の温度上昇があると云われていたが、これは立坑壁面で熱交換が起らず、また水の状態変化も起らない場合のことである。実際の坑内で見られるように立坑壁面が水でぬれている場合には、立坑壁面で水蒸気の蒸発がおり、気流中の水蒸気量が増加するので、温度上昇はそれ程高くない、100m につき 0.4~0.5 °C 程度である。

(4) 機械類から発生される熱量

坑内に設置された機械が鉱石の巻上げやポンプによる水の吸上げなどのように、ポテンシャルエネルギーを高める仕事をするときはその仕事は熱にならないが、それ以外の仕事をするときはその仕事は結局熱となるものである。機械の入力からポテンシ

ャルエネルギーを高めるために使用された動力を差引いた動力 (断続運転の場合は時間的平均値) を P_1 (P_s) とすると、機械の運転によって発生する熱量 Q_M (kcal/h) は

$$Q_M = 75 \times 3600 \times A P_1 = 632 P_1$$

となる。また風道内に扇風機が設置されている場合には、扇風機が気流になす仕事 L (kg - m / kg) は扇風機圧を P_F (mmHg) 空気の比重量を ra (kg/m³) とすると、 $L = P_F / ra$ で与えられる。

4.2 坑内気象の改善方法

暑い坑内の気象条件を改善する方法としては、通気量を増加する方法と、冷凍機などを使用して坑内を人工的な手段によって冷却する方法とが採用されている。

(1) 通気による方法

地山温度よりも低い温度の空気を通気すると、時間の経過とともに岩盤温度は低下し、それに伴って気流温度も低下する。したがって、気象条件の改善のためには、まず通気状態をよくすることが大切である。

風量を多くすることは気温や湿度を低下させるのに有効である。しかしこの効果は風量が多くなるにつれてだんだん弱くなる。その程度は坑道の条件によって異なり、一概には云えないが、坑内冷却のための経済的な通気量 (m³/min) は各分流域の坑道の長さ (m) の 0.56~0.84 倍であると云われている。

(2) 冷水による方法

金属鉱山では炭鉱のように通気を考慮した開坑を行っていないので、坑道断面積が小さく通気抵抗が大である。したがって風量を増加するためには非常に大きな扇風機を必要とし、また大馬力の扇風機を据付けても漏風管理が困難なため有効風量の増加は余り大きくない。他方水は空気に比較すると単位体積当りの熱容量が大きく、水 1 m³ の有する熱容量は乾燥空気 3500 m³ のそれとほぼ等しい。そのため空気によって坑内を冷却する場合には大きな風道または扇風機を必要とする場合でも、水を利用すれば比較的小さなパイプラインをもって多量の熱を坑外に排出することができる利点がある。このような観点から別子鉱山や豊羽鉱山では、通気改善と並行して、比較的容易にえられる冷水を導管で坑内に導き、プレートフィンクーラーまたはスプレークーラーによって坑内空気を冷却している。

(3) 冷凍機による方法

冷水が得られない鉱山の坑内冷却には冷凍機が用

いられる。冷凍機を用いる場合、これを坑外に設置して入気全体を冷却する方法、冷凍機を坑内に設置して入気の一部を冷却する方法、冷凍機は坑外に設置し、これによって冷却された冷水を切羽の近くに導き、熱交換器でその空気を冷却する方法の3つが考えられる。冷凍機を坑外に設置する方式では、その建設工事、維持および運転が容易であり、冷却水の取扱いも容易であるが、冷却された空気が切羽に達するまでに岩盤からの伝熱量、圧縮熱などにより温まり、坑内冷却の効果が低い欠点がある。

冷凍機を坑内に設置する方法では、その建設工事や維持がやや面倒であり、また坑内で多量の冷却水を要し、その処理が面倒であるなどの欠点がある。

冷凍機を坑外に設置し、熱交換器を切羽近くに設ける方式では、設備費がやや高価につき、冷水が熱交換器に達するまでにいくぶん温まる欠点がある。しかし最近優秀な断熱材料が開発されているから、冷水の温まる点はあまり問題でなくなった。この方式は冷却水の処理が容易で、坑内作業箇所を有効に冷却できるから、この方式が最近よく用いられるようになった。

5. 山はね現象

山はね現象は岩盤内部に貯えられた歪エネルギーが急激に解放されることによってひきおこされる岩盤の破壊現象で、小規模のものは、坑道引立面または付近の壁面から岩石が薄片状にはがれ飛んだり、山鳴りがする程度であるが、大規模のものは、坑道または切羽あるいは一地带全体が崩落するものまで経験されている。

山はね現象は、南アフリカの金山では数十年前から経験されており、我が国の鉱山でも採掘切羽が深部に進むにつれてこの現象が経験されるようになってきた。さいわいにして現在までのところ、一、二の例を除いて大きな災害にはなっていないが、今のうちにその機構および予知、防止対策などについて研究しておく必要がある。

山はねは、坑道の引立面や側壁や切羽でおこることもあるが、鉱柱またはそれと条件の似たところでおこることが多い。しかも鉱柱も上下盤もともに弾性が著しい場合におこっている。また、地表から深くて地山応力が高く、かつ採掘空洞の面積と比較して鉱柱面積が小さい場合におこり易い。山はねの際は、程度の差こそあれ地震を伴う。統計によれば、山はねは発破の直

後にややおこり易いと云えないこともないが、むしろ時間に無関係におこっていると考えるべきであろう。

以上は、南アフリカ共和国の金山などの山はね頻発鉱山での経験である。これに対して実験室においてもつぎの事柄が経験されている。

材料試験機によって岩石試験片の圧縮試験を実施すると、岩石の種類によって試験片がはげしく破壊するものとそうでないものがある。例えば、乾燥した硬砂岩ははげしく破壊するが、石灰石はおだやかに破壊する。はげしい破壊の際には、大きい破壊音が発生し、破片が飛び散り、試験機が振動するのが普通で、あたかも鉱柱の山はねを思わせる。

山はね現象の機構および予知、防止対策については古くから盛んに研究が行なわれてきたが、なかなか満足できる結果が得られなかった。最近になって、岩石の剛性試験機によって岩石が完全に破壊するまでの変形特性が明らかになるにおよび、その発生機構についてつぎのように理解されるようになった。

剛性試験機を使用して珪岩を一軸的に圧縮すると、図-5に示す完全な応力-歪曲線が得られる。図-5の点Aは岩石内に1つまたはいくつかの微細な亀裂が成長を始める点であって、荷重をさらに増加すると、それによって微細な亀裂はつぎつぎと生成する。しかし荷重の増加をとめるとそれ以上亀裂の生成は進行しない。応力が点Bより高くなると、応力を増加しなくても亀裂の生成は進行するようになるが、試片は歪の増加とともにまださらに高い荷重に耐える。点Cは試片が最大の耐圧力を示す点であって、それより歪が増すと試片の抵抗力は減少する。AB間は安定ないたみ進行域、BC間は不安定ないたみ進行域である。

図-5の点A以下の応力であれば、試片は完全な弾性変形をするから、圧縮するために費されたエネルギーはほとんど全部試片内に貯えられる。C点以下の応力

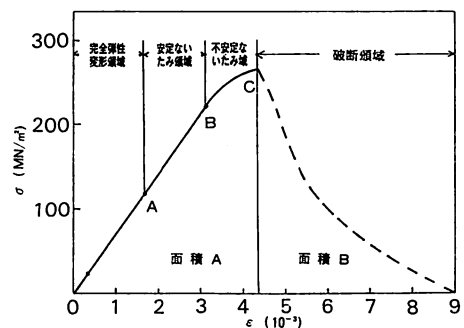


図-5 珪岩の完全な応力ひずみ曲線

であっても大部分のエネルギーは試片内に貯えられるが、一部分のエネルギーは塑性変形のために消費される。C点を超過するとそれ以後なされた仕事は歪エネルギーとして試片内に貯えられず、試片の破壊のために消費される。

さて、採掘の進行によって空洞が拡大されると、空洞周辺の岩盤は空洞内部に押し出され重力エネルギーが変化する。岩盤を完全な弾性体と仮定すると、このエネルギーの半分は歪エネルギーとして岩盤内に貯えられるが、残りの半分は何らかの形で解放されなければならない。そして、その値は空洞開さく以前に空洞部の岩盤内に貯えられていた歪エネルギーとほぼ等しい。図-5において、面積Aは岩石試片内に貯えられた歪エネルギー量を示し、面積Bは試片が破壊される過程において消費されるエネルギー量を示す。したがって、面積BがAよりも大きい場合には、空洞の拡大によって解放されるエネルギーは岩石の破壊過程で消費され、通常の破壊現象となる。しかし、面積AがBよりも大きい場合には、岩石の破壊のみではこのエネルギーを消費することができないので、その一部が運動のエネルギーに転換される。

さて、後者のような性質をもった岩石が空洞周辺に

存在し、そのある部分の応力が岩石の破壊強度近くの応力状態にあると、発破などのショックによってその一部が突然破壊され、山鳴りまたは山はね現象をおこす。この場合、発破などのショックは引金の役目をする。しかし、発破などのショックが与えられなくとも不時に山はね現象がおこることがある。これは図-5のB点以上の応力状態を示す部分では、それ以上応力を増加しなくとも自然に破壊現象がおこるためである。

つぎに、山鳴り現象と山はね現象の相違について考えて見る。この両者は理論的にはまったく同じものであるが、エネルギー解放がおこる場所と大きさの相違で、現象面に差があるのであろう。その一因として、空洞周辺の岩盤内に存在する破砕帯の拡がり方が考えられる。すなわち、切羽面付近に巾広い破砕帯が存在する場合には、応力集中はその奥に存在する生きた岩盤内でおこり、その場所ではげしいエネルギーの解放が発生しても、破砕帯内の塑性変形によってそのエネルギーは消費され、山鳴り現象におわるのであろう。

山はねの予知法としては、山鳴り振動や、岩盤破壊音などの観測、また防止対策としては、応力集中をおこす残柱式採鉱法を避けることなどが考えられるが、これらの問題については今後の研究課題である。

話の泉

日本の技術開発は“超後進国型だ”（其の4）

~~~~~総合的な技術の融合をはかれ~~~~~

将来に向かって、わが国の問題点は初めにも言ったように“自然科学と技術の融合”これがまず大きな対策だと思う。ただ単に知識を自然科学の分野から技術の分野に流れるようにするのはなしに、両方が融合したことが昇華されるということです。総合的な知識を得る点においては、技術が自然科学に大きく影響する。いろんな専門化された分野に発散し、その成果を収斂する。いいかえれば分析と総合するということです。総合するには技術が非常に大きく影響する。たとえば原子力、コンピュータ、人工衛

星、レーザー、そういうものはみんな総合的な技術を要求する。つまり総合的な知識を要求、つまり知識の集大成という意味において融合していると思う。

私自身、20年前アメリカに行った一つの目的は、いろんなイノベーション、最も重要な発明とか発見が行われるアメリカはどんな国なのかということを知りたいという好奇心からでした。その好奇心の答えはいまになって考えますと、エンジニアリングと科学が結びついた部門、たとえば企業とか官庁の基礎研究所にあるように思いました。

（昭和55年11月22日、京大工学部）

（K）