

(81) 釜石鉱山における

採掘跡空洞を利用した水力発電システムの開発

日鉄鉱業（株）資源事業本部（正会員）○野口義文

日鉄鉱業（株）資源事業本部 長 久

清水建設（株）技術開発本部（正会員） 根上義昭

清水建設（株）技術開発本部（正会員） 傳田 篤

The Case Study of Hydroelectric Power Plant System Using Mined Caverns at Kamaishi Mine

Nittetsu Mining Co., Ltd. Y. Noguchi, H. Cho

Shimizu Corporation Y. Negami, A. Denda

Abstract

Mined caverns can be used as one of resources to make better use of underground. Disposal site of industrial waste is a practical use of mined caverns. We are trying to develop a system of hydroelectric power plant using mined caverns at Kamaishi mine, too.

The part of mined cavern that has 200000m³ in volume will be used as a upper reservoir. The steel pipe line for water supply to the generator will be constructed along existing drifts, shafts and inclines. It is 300m in height from the level of generator to reservoir. Such planned hydroelectric power system will generate 575kw of electricity using 0.25m³/sec of water supply.

According to the in-situ water storage test in the mined cavern, there is little leak of water from the cavern as a reservoir. Then, we are going ahead with a plan to realize it in 6 years.

1. はじめに

国土の有効利用という観点から、地下空間利用が話題になり始めて、既に10数年以上にもなろうか。社会的需要の高まりから揚水式地下発電所や石油地下備蓄、地下倉庫あるいは産業廃棄物の処分場としての利用など、用途も拡大されてきた¹⁾。最近では、コンサートホールなど、地下空間でのアメニティー施設の建設も推進されていると聞く。これらの空洞は、大部分新たに掘削されるものであるが、鉱山の採掘跡のような既存の空洞が再び活用される方向にも目が向けられている。後者の実際としては産業廃棄物による空洞の充填などが上げられる。そこでは掘削のための大工事ももちろん不要であり、また、すべて既存の地下空間を利用する設備にすれば周辺環境への影響が非常に少ないなどの利点を有する。このように、既存の空洞を一つの資源として見直すことは、国土の有効利用に大いに資するものと考えられる。

ところで、大都市における電力不足が問題になって久しい。また、化石燃料の燃焼による地球環境の問題も顕在化している。このため水力発電の見直しが行われており、通産省では 2010年を目処に新たに 600万kwに及ぶ中小水力発電所建設の必要性を指摘している。しかし、中小規模といえども、適地が減少している上に、環境破壊の問題、用地の取得難など、現実には建設困難な状況にある。

本稿で述べる水力発電システムの開発計画は、上記のような電力利用に関する背景と採掘跡を資源として活用するという観点から、通産省の新発電技術実用化開発費補助金を受け、平成3年度から6カ年計画で着手されたものである。そこでは、鉱山などの既存空洞を地下空洞貯水池として利用し、調節池機能を有する電力ピーク対応型発電システムの可能性を検討し、最終的には 500~600kw程度の小規模実証プラントを建設することを目指している。

ここでは、開発計画の概要を紹介するとともに、その意義を考察する。また、現在実施中のいくつかの

調査試験の結果について述べ、釜石鉱山において選択した採掘跡空洞の貯水性能が比較的良好であったことを報告する。なお、本計画はその達成に向け鋭意作業を推進中である。

2. 開発計画の概要²⁾

釜石鉱山は、これまでに約 7000万トンの鉄および銅鉱石を採掘しており、数多くの採掘跡空洞が残されている。本計画の対象となるような比較的大規模な空洞は、無充填のサブレベルストーピングで採掘されたものであるが、周辺岩盤が比較の強固であることから、採掘後 十数年～ 20数年経過した現在でも、そのほとんどが無支保で自立している。図 1 は、7 D 鉱体と呼ばれる採掘跡空洞群を投影した南北方向縦断面図である。図のように標高 300m～ 700mの間に幅数十m～ 50m、高さ数十m～200mの空洞が三次元的に多数存在する。また、採掘およびその準備のために掘削した水平坑道や立坑が、全ての空洞に通じている。これらのことは、任意の落差の確保、最適な配管経路の検討を可能にする。

本計画の対象は図 1 に示す 7 D 上部既存空洞とした。標高約 540m～690mに位置し、高さ約 150m、長さ約 70m、幅 20～30mの南北に長い空洞である。容積は概ね 20万 m^3 に達する。この既存空洞を上部貯水池とし、図 2 に模式的に示したように、空洞下部から既存の坑道、立坑あるいは斜坑を利用して導水管を敷設し、その終端部（標高 250m）に発電機を設置する。なお、貯水池への湛水には、対象とする空洞よりも上部に位置する坑道や立坑の湧水を利用するものとした。従って、水利権は問題にならない。また、この坑内湧水は、長年に及ぶ鉱山の水質検査の結果によれば、有害な物質を全く含んでおらず、環境問題を引き起こす心配もない。現状で直ちに利用可能な湧水量は 8 m^3/min 程度であり、16時間をかけて約 7500 m^3 を貯水し、15 m^3/min の排水で 8時間発電する計画とした。この時、発電量は 575kw程度と見込める。

さて、対象とした既存空洞は、大規模な発破で掘削され、ほとんど補強が施されていない空洞である。また、鉱床部は元来岩盤内に存在するひとつの地質学的な弱線にあたるとみられ、付近には大小の亀裂群が発達している。従って、上記のような計画を進めるにあたり、特に、有効に貯水できるかどうか、あるいは長期に岩盤の安定性が保てるかどうかなどが懸念され、空洞周辺岩盤の水理地質学的、力学的性質の把握、改善が課題になるものと予想される。図 2 に、この 6年間の調査研究で明らかにし、考慮すべきと考えられる項目を付記した。これらのうち一部については、現在調査を実施中である。

3. 空洞周辺岩盤の水理地質学的状況

空洞周辺の坑道において、スキャンライン法により亀裂の分布を調査した。この時、比較的大規模とみられる、坑道全面にわたって露出しているもののみを対象とした。図 3 に亀裂の極のシュミットネット下半

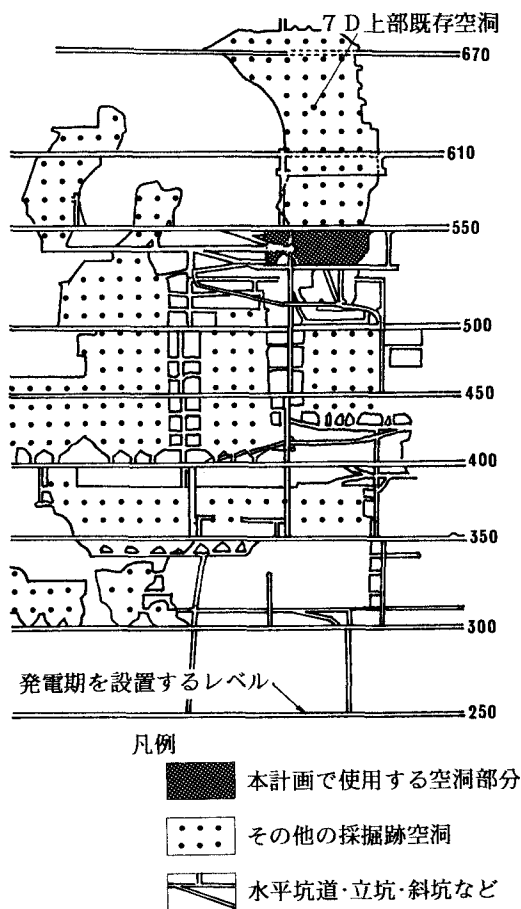


図 1 7 D 採掘跡空洞群と対象空洞

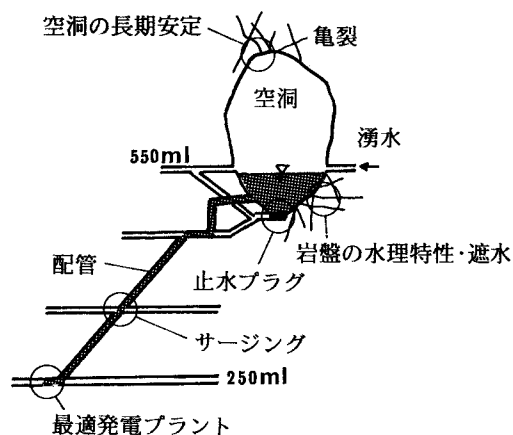


図2 発電計画の概念図

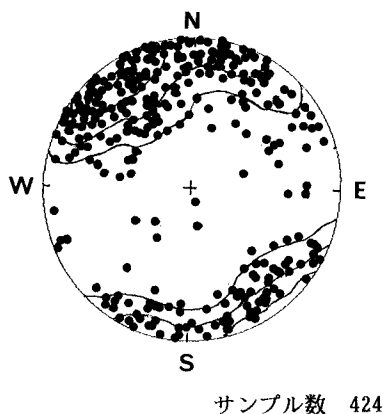


図3 坑道における亀裂の極の分布

球投影図を示す。図より亀裂の方向は $N35^{\circ}E$ 付近にピークがあり、概ね $N10^{\circ}W$ の走向を持つ鉱体の並びに斜交するような傾斜の急な亀裂が卓越する。亀裂密度は 3.0 本/ m 程度である。これらの亀裂群を介した漏水が懸念されるため、図4に示すような、隣接空洞間に進められた水平ボーリング孔CH-1を用い、区間長 $5m$ で透水試験（低圧注水試験）を行うとともに、マルチパッカーを設置して間隙水圧をモニターすることとした。なお、図中破線で示した部分は隣接空洞であり、最下底の位置が7D上部既存空洞のそれよりも約 $20m$ 下にあり、高さ約 $25m$ である。7D上部既存空洞の周辺 $100m$ 以内には、この空洞のほかは隣接するものはない。図5に透水試験の結果を頻度分布図で示す。また、図6はボア

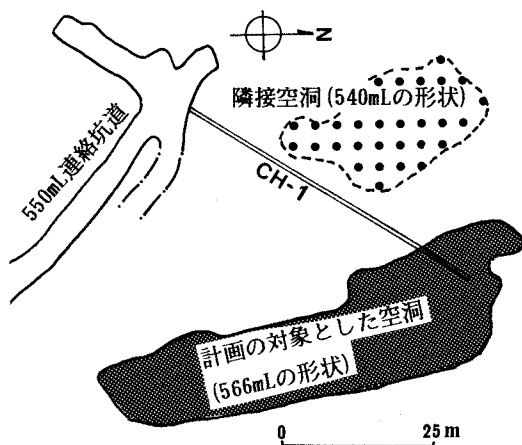


図4 透水試験の実施位置と隣接空洞

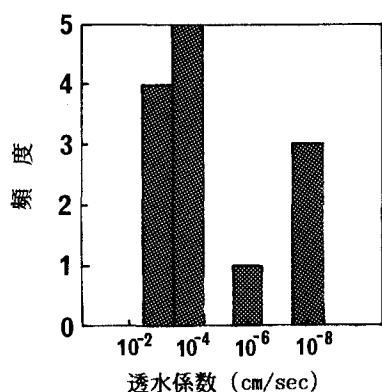


図5 周辺岩盤の透水係数

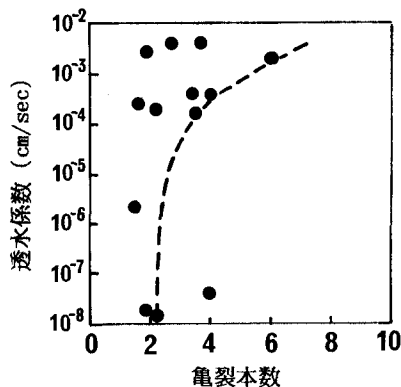


図6 試験区間の亀裂本数と透水係数

ホールTVで観察された、試験区間における全亀裂の数と透水係数との関係を見たものである。これらの図より、対象とした空洞の周辺岩盤には場所によっては透水性が比較的高い $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm/sec}$ の箇所が存在し、そこでは亀裂数が多い傾向にあることがわかる。このような透水係数の値が、実際の空洞の貯水能力にどの程度の影響を及ぼすかを以下に述べる貯水試験で調べた。また、周辺の間隙水圧は $2 \sim 3 \text{kg/cm}^2$ であり、付近の被りが 200数mであることを考えれば、空洞の存在によって地下水位がかなり低下しているものと思われる。

4. 既存空洞の貯水性能

採掘時は鉱石の積み出しに用いていたドロポイントと呼ばれる空洞最下底部のいくつかの坑道にコンクリート製の止水プラグを設け、そこから約5m上に取水口となるバルブを設置した。この間の空間は、貯水、排水の繰り返し時に落下すると予想される空洞壁面の浮石などを堆積させる部分となる。また、空洞に連絡する坑道の側溝を拡幅し、導水溝とした。これは、図1に示した 550mL に集まる湧水のうち $3 \text{m}^3/\text{min}$ 程度を空洞に給水しようとするものである。このとき、取水口から給水口のレベルまでは比高約 21m となる。オーバーフロー排水用の管路は給水口と同じレベルに位置する空洞の反対側に、コンクリート製の止水プラグを介して設置した。

上記のような工事を行った後、空洞の貯水性能を調べるために、当面の満水位（給水口のレベル）まで貯水し、数日間放置する貯水試験を実施した。図7に貯水水位の経時変化を示す。空洞に給水された量は導水溝に設けた四角堰で計量し、貯水水位は取水口に設置した水圧計でモニターした。現状では給水口より上のレベルからの流入水はほとんどない。図に示したように、貯水開始後約2日で満水となった。堰による計量によれば給水量は概ね $3.2 \text{m}^3/\text{min}$ であり、この時点で約 10000m^3 が給水されている。また、同じ図から取水口以下のレベルが約 2000m^3 であることがわかる。満水位に達した後、給水を止め、約2日間放置した。この間の水位低下は 1.2m であり、給水時の曲線から読みとると空洞貯水部から 1300m^3 程度が漏水したことになる。空洞への給水前と満水時に実施した周辺坑道における漏水状況の観察結果によれば、平面図に投影した場合に隣接空洞と当該空洞の間に位置する坑道の一部のみで漏水量の増加が顕著であった。そこで認められる地質学的な特徴は、3. で述べた卓越する方向の亀裂群の密度が比較的高く、支保が必要な箇所であるこ

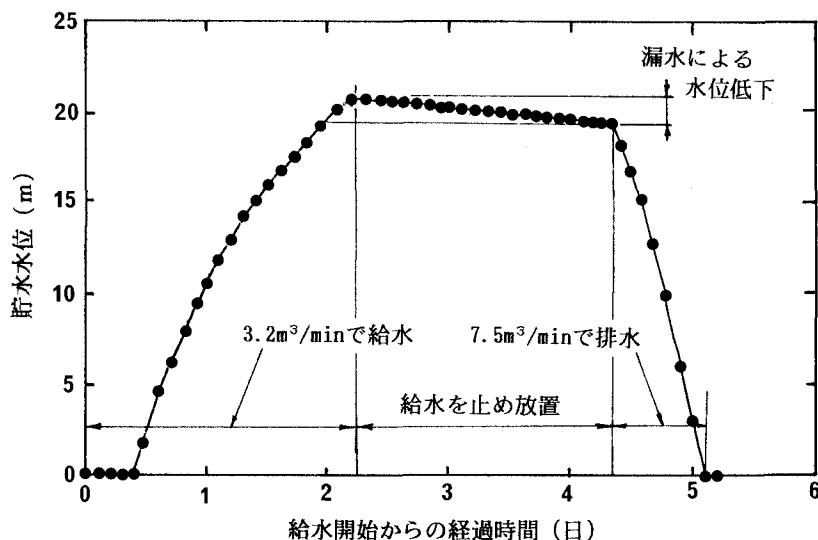


図7 貯水試験における水位の経時変化

と、鉬体の端部に位置し岩種が変わっていること、晶洞を伴う幅2～3m程度の比較的規模が大きい貫入岩が存在することなどがあげられる。先に述べた漏水量は、 $0.4\text{m}^3/\text{min}$ 程度であり、本開発計画で予定している空洞への給水量に比較すれば小さな値であるといえるが、一般的に採掘跡空洞の貯水性能を検討する場合、上記のような透水性を高くするような地質構造が多々存在すると思われ、そのような箇所の効果的な探査方法と止水法の研究が不可欠であろう。現在、止水材料の検討を含めた室内および原位置での研究を進めている。また、マルチパッカーを設置したボーリング孔では、貯水水位に対する周辺岩盤での間隙水圧の場所による応答性の違いを観測中である。その結果とコア鑑定やボアホールTVによる亀裂の分布、性状との比較から一定の成果が得られるものと期待している。

5. おわりに

通産省の「新発電技術実用化開発費補助金」を受けて、岩手県釜石鉬山で実施中の採掘跡空洞を利用したピーク対応型水力発電システムの開発について報告した。

本開発は平成3年度から6年計画で500kw程度の小規模実証プラントを設置しようとするものであり、原位置での基礎的な調査試験に着手したばかりである。その中で、実際に採掘跡空洞を選定して貯水を行ったところ、鉬床付近には比較的大きな亀裂が分布するなど特有の地質構造があり、また大規模な発破で採掘され、その後特に処置されていない空洞であることなどにも拘らず、貯水性能が比較的良好で、上部貯水池として有効に使用できることが明らかになった。現在、計画の達成に向けて鋭意作業中である。このようにして鉬山の採掘跡空洞を利用すれば、新たに空洞を掘削する必要も、改めて用地を取得する必要もなく、発電コストが低くなるものと期待される。また、すべて地下空間を利用するため、周辺環境への影響はきわめて小さい。さらに、電力の供給で地域社会に貢献できるほか、鉬廃水処理を抱える鉬山ではその処理に発電電力を利用できるであろう。

すでに実施されている産業廃棄物による空洞充填を含めて、採掘跡空洞のこのような活用は、その規模、地理的關係によっては、今後、国土の有効利用という観点からの社会的需要も高まらざるを得ないものと予想され、その可能性調査から積極的に推進すべきと考える。

参考文献

- 1). 資源・素材学会, 地下利用技術の現状と問題点: 資源・素材'88 (熊本), 分科研究会資料 [X], 1988
- 2). 日鉄鉬業・清水建設, 鉬山の採掘跡空洞を利用したピーク対応型水力発電の開発研究: パンフレット, 1992