

大深度地下空間有効利用の研究 (釜石鉱山マールホールにおける実験) Study on Utilization of Huge Deep Underground Spaces (Experiments at KAMAISHI Mine Mable Hall)

大村 裕章*
Hiroaki Omura

神谷 宏***
Hiroshi Kamiya

高橋 信一郎**
Shin-ichirou Takahashi

牧野 清****
Kiyoshi Makino

要 約

近年、地下空間の有効利用に関する研究開発が盛んに行われている。

本報告は、地下空間利用の可能性を探るために、釜石鉱山白色石灰岩採掘跡の空洞を使用して、地下空間における音響、照明等の基礎実験および音楽ホールやギャラリーとして利用した場合の演出方法について、平成4年から2年間にわたって実施した結果をまとめたものである。

音響については、空洞内岩盤の反射音特性を調査すると共に、実在する空洞の残響時間、音圧分布、明瞭度等のデータを、また、照明については、各種光源による照明方法の視覚的効果を確認した。これらの基礎実験データをもとに、「音と光と水」を用いて空洞内に音楽ホール、憩いの広場、ギャラリーなどを設けて各種の演出を行った。

これらの実験結果から、鉱山の廃坑は近い将来、観光施設として十分利用できる有望な空間であることが明らかになった。

目 次

- §1.はじめに
- §2.地下空洞の概要
- §3.音響実験
- §4.照明実験
- §5.イベントスペースとしてのモデル実験

§ 1. はじめに

大都市周辺において、限られた土地の有効利用を図る上で、地下空間は未来のニューフロンティア空間としてその可能性を期待されている。わが国における現状の地下空間利用は、市街地の駅周辺に見られる地下街や地下駐車場などに限られており、北欧のように岩盤をくり抜いたアイススケート場やオペラハウスといった大規模な施設ははまだ建設されていない。

しかし、最近では国内でも地下空間をギャラリーやコンサートホールに利用することが計画され始めている。こうした背景から、地下空間有効利用の研究を進めるた

* 建築設計部設計課
** 建築設計部設計課長
*** 技術研究所環境研究課長
**** 技術研究所環境研究課係長

め、今回は釜石鉱山の採掘跡を利用して各種の音響・照明実験およびその活用方法を探るためのモデル実験を行った。

本報では、その概要を報告する。

§ 2. 地下空洞の概要

実験に使用した鉱山採掘跡の空洞は、地下900mにある白色石灰岩層をくり抜いた高さ4m、幅60m、奥行き90m、全容積12,000m³の通称マールホールと呼ばれる大空間である。内部は全面が純白度90%以上の白色石灰岩で、年間を通して温度12℃、湿度90%前後の環境である。空洞内の所々には採掘時に岩盤安定のために残された巨大な柱(5m×5m)が存在し、空間が格子状に分割された状態になっている(図-1、写真-1)。

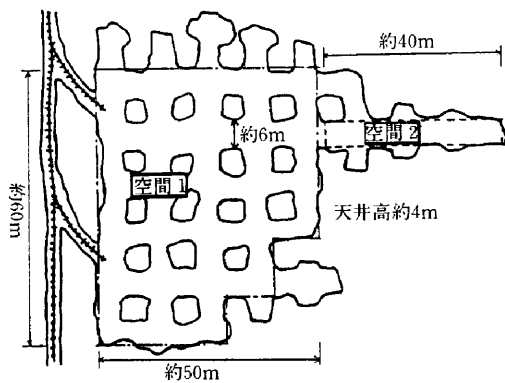


図-1 空洞平面図



写真-1 空洞内状況

§ 3. 音響実験

実験は、採掘跡の岩盤そのままの状態における反射音と、空洞内の音響特性を把握する目的で行った。

3-1 岩盤の反射音測定

岩盤の反射音特性を調査するため、ホール内に周囲のグラスウール厚が0.9m、内寸法が幅5m×奥行き6m×高さ2.2mの簡易無響室を設けた。測定対象とした岩盤は、比較的平坦な床面と凸凹の激しい壁面の2箇所を選び、測定時に無響室の一面がそれらの岩肌に接するようにした。測定方法は図-2に示す。

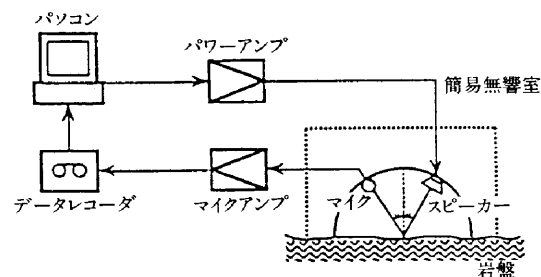


図-2 測定システム

3-2 空洞内音響特性

空洞内を柱の林立する大きな空間(1)と、トンネル状の空間(2)の2つのエリアに分け、それぞれの残響時間、音圧分布、明瞭度試験、エコータイムパターン、ダミーヘッド録音による聴感の評価を行った。

3-3 測定結果

(1) 反射音

今回測定したデータのうち、 $\theta = 30^\circ$ における岩盤の反射音特性を図-3に示す。これを見ると凹凸のある壁面は、床面に比べて拡散性が著しいことが分かる。

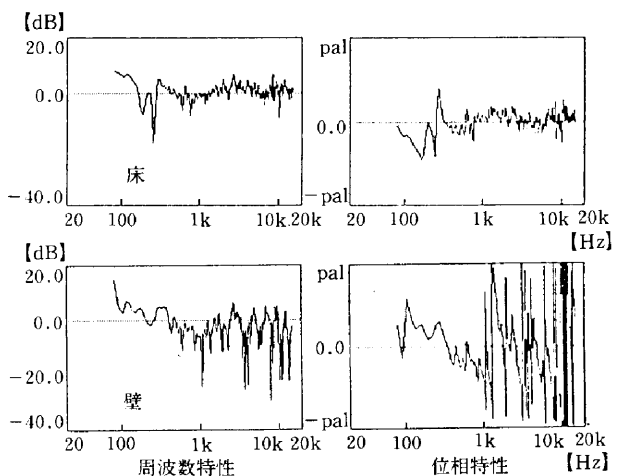


図-3 $\theta = 30^\circ$ の反射特性

今回の測定で得られた岩盤床面および壁面の各反射特性と、厚さ、剛性、損失係数などが大きく異なるベニヤ合板および石膏ボードの反射特性とを比較してどのように異なるかについて、評価実験を行った。

この結果、岩盤の反射音はベニヤ合板などに比べて「柔らかい」「厚みがある」音として捉えられることが分かった（図-4）。

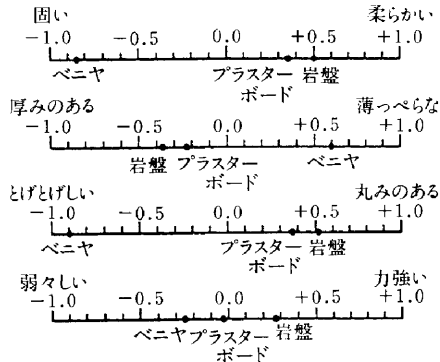


図-4 一体比較実験結果

(2) 残響時間

空間(1),(2)における残響時間は、500Hzでは空間(1)が1.7秒、空間(2)が1.3秒であった。各周波数毎の残響時間を見ると、いずれも低音域に比べ高音域での残響時間が短い。これは、掘削時に岩肌に付着した粉塵やホール内のあちこちに残されているズリ（掘削屑）の影響により、中高音域での吸音力が増加したためと思われる（図-5）。

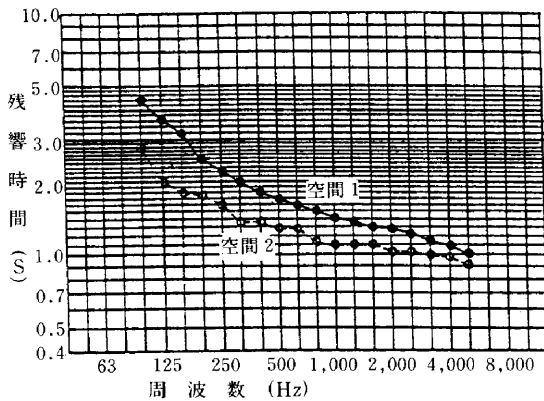


図-5 残響時間周波数特性

(3) 音圧分布 (500Hz, 2kHz)

空間(1)は特殊形状のため、林立する巨大な柱の影響を受けた距離減衰性状を示している（図-6）。

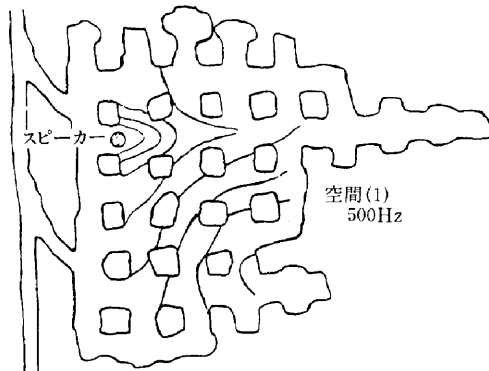


図-6 音圧分布

(4) 明瞭度試験 (RASTI)

直接音が届く場所では、RASTI値が平均0.6程度で、C聴感上も比較的明瞭性が得られているが、巨大な柱の陰では0.4程度となり反射音のみが到達するため聞き取りにくい状況になっている（図-7）。

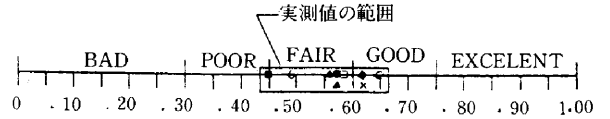


図-7 RASTI値対主観的明瞭度

(5) 試聴

ダミーヘッドで録音したドライソースを試聴した感じでは、残響時間の周波数特性が示すように、低音域の長さが多少気になるが、総じて濁りのないクリアな音が得られており、空間(1)と空間(2)とでは形状による音感の違いが感じられるものの、どちらも音源から20~30m離れた位置が音感上最も好ましい。

§ 4. 照明実験

暗闇の世界である地下空間の有効利用の可能性を研究する上では、照明が重要な要素となる。ここでは照明手法による光の見え方、拡がり方について把握するために、以下の実験を行った。

4-1 演出照明実験

照明によってこの空間がどのように変化して見えるかを確認するため、「未知の幻想世界」というテーマで次のようなシーンの演出を試みた。

- ① 暗転 : 未知の世界へ突入
- ② 湧き出る光 : 新しい世界の発見
- ③ 両脇が点灯 : 次第にその世界が広がる
- ④ 全体が点灯 : 雄大な姿を現した未知の世界
- ⑤ 青白い壁面 : 幻想世界へ到達
- ⑥ 暗転 : 再び未知の世界へ



写真-2 演出照明実験状況

4-2 基礎照明実験

各種照明手法による効果の違いを把握するため、以下の実験を行った。

- ① カラーフィルターによる照明効果の違い
〈カラーフィルター青、赤、500Wハロゲンスポットライト4台〉
- ② 照射方向による照明効果の違い
〈500Wハロゲンスポットライト4台〉
- ③ 光源による照明効果の違い
〈カラーHIDランプ400W青、緑、ナトリウム灯400W赤〉

4-3 結果および考察

(1) 演出照明実験

空間の形状や岩盤の特徴を引き出すように、さまざまな演出を試みたが、幻想的な世界を表現するのはなかなか難しく、地下空間の持つ神秘性を十分表現するまでには至らなかった。この理由として、初めての実験ということもあり照明方法が単調であったこと、シーンの数が足りなかったことなどがあげられる。また、光による視覚だけの表現で十分な心理的効果を上げるには限界があり、より印象を深めるためには音楽と組み合わせて聴覚にも訴える演出が必要であると感じた。

(2) 基礎照明実験

カラー照明は演出を盛り上げる上で大変効果的な手段であり、広範囲の照明に使用されるHID投光器などは、光の拡がり表現するには欠かせないものであると考えられる。



写真-3 基礎照明実験状況

§ 5. イベントスペースとしてのモデル実験

平成4年から続けてきた音響・照明の基礎実験を踏まえ、平成5年はこの白色石灰岩採掘跡の空洞をひとつのイベントスペースとしてとらえ、その可能性を探るためのモデル実験を行った。

真白な石、林立する巨大柱、そして暗闇という特異な空間に光・音・水を使用して、この地下空間の雰囲気を生かしたギャラリーや音楽ホールなどを想定し、アメニティスペースとしての利用可能性を検討するため、いくつかのシーンを演出してみた。

各シーンの演出意図を以下に示す（図-8）。

(1) アプローチ

およそ4kmの距離をトロッコに乗り、辿り着いた見学

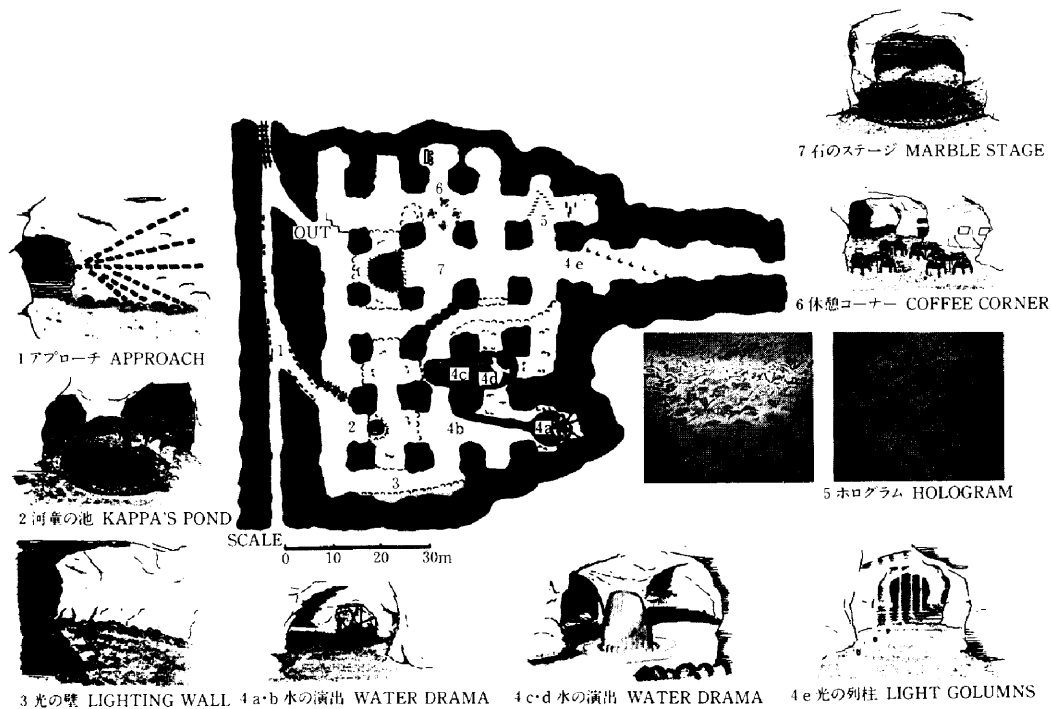


図-8 イベント実験概要

者はまずブラックライトと蛍光塗料によって怪しく光るトンネルに導かれ、徐々にホール内へと進んでゆく。

(2) 河童の池

釜石鉱山に近い民話のふるさととして有名な「遠野」にちなんで、ホール床に直径3m、深さ1.5mのすり鉢状の穴を掘り、岩盤からしみ出た地下水を溜めた河童の池を設ける。石灰岩粉によってほどよく白濁したその池には、エアポンプによる泡が湧き出ている。池全体は淡い光のスポットライトに照らされ、あたりから“蛙の合唱”“カッパのささやき”などをイメージしたBGMがどこからともなく聞こえてくる。池の中からは時々ポコリと漫画家 牧野圭一氏制作の愛きょうのある顔をしたカッパが浮かびあがる（写真-4）。



写真-4 河童の池

(3) 光の壁

高さ4m、長さ20mの掘削されたままの荒々しい姿をした岩盤に強烈な白色光があたり、白色石灰岩の持つダイナミックな表情を壮大な音楽とともにアピールする。

(4) 水の演出・光の列柱

ズリ（掘削屑）を積み上げた小山の中の噴水から誕生した水は、やがて細流（せせらぎ）となり、薄明かりの中を流れて行く。細流の底には光ファイバーが埋められ、あたかも蛍が乱舞しているかのように光り、幻想的な雰囲気をかもし出す。やがて大きな池に流れ込んだ水は、強烈な水中ライトに照らされ、青白く輝き、あたり一面に静寂感をただよわせている。

池の中の飛石を渡るとやがてトンネル状の細長い空洞に到達する。そこには霧が充満し、霧の中に浮かぶ緑色した光の列柱が奥の方まで続いている。低音用の大型スピーカーから流れる音楽は身体に響き、天井に吊り下げられた複数のスピーカーからは空間を飛び回るような音が聞こえる（写真-5）。



写真-5 水の演出

(5) ギャラリー

白色の岩肌に覆われたギャラリーには、ホログラフィーアーティスト 石井勢津子氏制作の大量のホログラムが展示されている。スポットライトの光を浴びたホログラムは、色とりどりの鮮やかな色彩に輝き、白色の岩肌にもその影が柔らかく映え、雰囲気にもマッチした澄んだ音色が頭上から降りそそぎ、透明感ある空間を創り出す（写真-6）。



写真-6 ホログラム

(6) 休憩コーナー

人々がしばしの安らぎを求めて集うスペースは、白い壁と好対照な赤い色の椅子と円型テーブルが並び、卓上には小さなランプが灯る。その奥には壁面をくり抜いた光棚と色とりどりのピンが並び、カウンターに座ってカクテルを傾けながら楽しく語らう場がある。どこからともなくピアノの音色と鳥のさえずりが聞こえ、ゆったりとした雰囲気にひたる。壁には素敵な絵がかけられ、色

鮮やかな熱帯魚の泳ぐ映像やコミカルに動く時計が見え隠れする（写真-7、写真-8）。

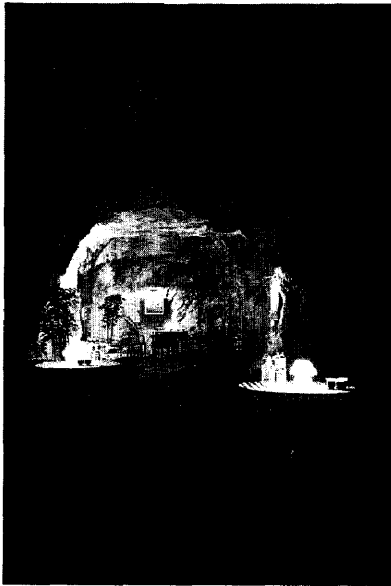


写真-7 休憩コーナー



写真-8 バーコーナー

(7) 石のステージ

空洞の一部には赤い絨毯を敷き詰めた石のステージがあり、ステージの周りはズリ山で囲まれ、四方には巨大な白い柱が立つ。天山氏作曲による音楽が流れると、ステージ天井には曲に合わせた赤や緑の色鮮やかな光が舞う。やがてクラシックやラテン音楽の生演奏がホール一杯に響く（写真-9）。

5-2 結果および考察

今回のイベントスペースモデル実験は、釜山の廃坑を

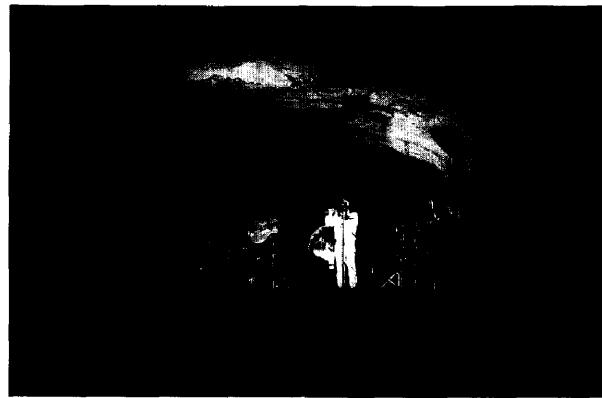


写真-9 石のステージ

利用して光、音、水、そして家具、絵画、ホログラムを使った様々な情景を演出してみた。また、コンサートホールとしての地下空間の利用についてもその中で演奏される音楽はどんな感じに聴こえるか、どのような音響システムが効果的なのかを検討した。

この結果、地下における照明の重要性が改めて認識された。ライトに写し出されたむき出しの岩盤や光の届かない奥の方に真暗闇な空間が見えると、地下の洞窟にいるという意識は拭えず、常に無意識の不安感がつきまとい、十分な照明が欲しくなることが分った。

また、この空洞の音響効果については、予想以上に澄んだ美しく厚みのある音を聴くことができた。外部からの騒音が遮断された地下空間は、音楽ホールとして十分に利用できる空間といえる。そして、ギャラリーやレストラン、広場といった施設も演出の方法によって地上と違った雰囲気が出せ、十分利用可能であると思う。

現在、閉鎖後の釜山跡地は、小規模な観光施設や種々の実験場、農業用地などとして利用されている。しかし、観光施設としての利用は釜山史の紹介など演出性の乏しい利用形態にとどまっているのが現状である。今後はそれぞれの釜山跡地の特色を生かした演出を考えると、観光施設としての利用もより一層有望なものになると思われる。ただし、釜山跡地の有効利用を図る上では光や音の演出だけでなく、アクセスや防災・安全対策、空調換気など今後検討が必要な多くの課題が残されている。

謝辞

本実験は日鉄鉱業（株）、松下電工（株）、日東紡音響エンジニアリング（株）と共同で実施したものである。また、実験に際して貴重な作品を貸与していただき、実験全般についても御指導いただいたホログラム作家の石井勢津子先生には、厚く御礼申し上げる次第です。