

未利用地下空間の現状と有効利用・合理的閉鎖方法に関する一考察
Inspection and study of reuse/closure of disused underground space

坂 英昌*・西 淳二**・益田 光雄***・輪達 隆志****
Hidemasa SAKA, Jyunji NISHI, Mitsuo MASUDA and Takashi WACHIGAI

There will be an increase of abandoned mine, underground space of disused road and discontinued railroad in the future. It is necessary to utilize these for different purpose or close in order to keep the safe condition against the collapse et cetera. In this study, the investigation of current condition of disused underground space and examples of reuse/closure have been carried out. The reuse and closure of disused underground space have been proposed based on the result of the investigations.

Key words : disused underground space, reuse, closure

1. はじめに

現代社会においては、交通の高速化とアクセス圏の拡大による道路・鉄道トンネルの構築、都市問題の解決を目的とした地下鉄、地下街の開発、鉱物を採掘した結果として生じた坑道空間など、新しい地下空間の構築が継続的に行われている。しかし、このように新たな地下空間が構築される一方で、年月を経て老朽化したり、時代のニーズに適合した新規空間に取って代わられたりして、利用されなくなった地下空間（未利用地下空間）が増加しており、さらに今後も増加することが予想される。

このような状況を背景に、地下空間の物理的特性（恒温・恒湿性、遮音・遮光性、耐震性など）の活用が有効な施設や、本来高額な建設コストの縮減が可能な施設については、未利用地下空間を利用する調査研究が行われてきており、実際、学術研究施設の設置などに各種の地下空間が活用されている。また、鉱山においては起砕ズリをペースト化して空洞充填する技術の研究が行われるなど、不安定で複雑な形状を持った地下空間における陥没事故防止や汚染地下水の漏出防止などに有効と考えられる研究が行われ始めている。

このような実態も踏まえたうえで、対象を特定の地下空間や施設に限定することなく、包括的に未利用地下空間についての調査を実施し、未利用地下空間の有効利用方法の検討や経済性、付加価値、安全性などを考慮した閉鎖方法について広い視野で検討することが、今後の研究におけるひとつのステップになると考えられる。

ここでは以上の考えに基づき、さまざまな地下空間の情報収集と整理を行うことで未利用地下空間の現状

キーワード：未利用地下空間、再利用、閉鎖

* (株)熊谷組 土木本部 トンネル技術部

** フェロー 工博 名古屋大学教授 大学院工学研究科地圏環境工学専攻

*** (株)熊谷組 土木本部 トンネル技術部

**** (財)エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター

を認識し、再利用と閉鎖の事例を紹介するとともに、地下空間の特性とその特性を活用できる再利用方法のあるべき姿と合理的な閉鎖方法について考察を加える。

2. 未利用地下空間の現状

主に国内における未利用地下空間についての現状調査を、①鉱山・炭坑跡地、②廃線鉄道トンネル、③廃線道路トンネル、④地下遺跡、⑤地下採石場、⑥自然地下空洞、⑦防空壕の7つに区分して実施した。調査は、地下空間の名称、所在地、空間の規模（断面、延長）、空間内の状況などについて、文献、アンケート、インターネット検索などを利用して実施した。

以下にそれぞれの地下空間の現状に関する調査方法と結果について記述する。

2・1 鉱山・炭坑跡地

調査は、文献調査およびインターネット検索によって実施した。その結果、鉱山は355箇所、炭坑は469箇所を数えることが判明した。さらに長期にわたる鉱山・炭坑の歴史を考慮すると、文献に掲載されることのない鉱山・炭坑跡地の存在が予想され、その総数は膨大になると考えられる。ここでは、有効利用されているものや空間規模などの情報が判明しているものに限定することとし、約80件のデータについて分析した。分析結果について以下に述べる。

82箇所のうち延長が明記されていた50箇所の鉱山・炭坑坑道について延長別箇所数を表-1に示す。全体の46%が10km以上であり、100km以上の坑道も16%存在する。鉱山・炭坑では鉱脈、炭層沿いに掘削を行う必要性から、延長が他の空洞（道路・鉄道トンネルや遺跡等）と比較し長距離化するものとする。

また、断面積については、用途・目的により煩雑に変化するが、文献によると鉱山の坑道断面積は5㎡～10㎡となる場合が多い。また炭坑では10㎡以上となる場合が多く、特に立坑では30㎡を有するものがある。

表-1 鉱山・炭坑坑道の延長別箇所数

延長	箇所数	割合(%)
1km未満	8	16
1km以上～10km未満	19	38
10km以上～50km未満	10	20
50km以上～100km未満	5	10
100km以上	8	16
計	50	100

2・2 廃線鉄道トンネル

調査は、文献調査、インターネット検索、および鉄建公団国鉄精算事業部（元国鉄精算事業団）から提供していただいた資料によって実施した。

入手した情報から名称や所在地が不明なトンネルを削除し、全国で合計519ヶ所の鉄道廃線トンネルの所在が明らかになった。以下に、これらの廃線トンネルの現状について規模・構造についてまとめた。

519箇所のうち延長が明記されていた417箇所の廃線トンネルについて延長別箇所数を表-2に示す。

全体の81%においてトンネル延長が500m以下であり、最長が台場隧道（京葉線、東京都大田区）の5,995mである。現在廃線となっているトンネルは西暦1900年初めに作られたものが多く、現在とは、材料や工法も異なるため、山腹をほうようにして延長の短いトンネルを数多く作らざるを得なかったと考えられる。

表-2 鉄道廃線トンネルの延長

延長	箇所数	割合(%)
100m以下	114	28
101～200m	110	27
201～500m	111	26
501～1,000m	39	10
1,000m以上	43	9
合計	417	100

519箇所のうち覆工構造が明記されていた約300箇所の廃線トンネルについて覆工構造別箇所数を表-3

に示す。ただし、複合構造の場合はダブルカウントしている。

コンクリートが本格的に使用されるようになったのは昭和時代に入ってからであり、レンガ構造や石積みが8割を占めている。その他として、素堀のトンネルや利用が廃止される前にライナープレートやコンクリートで補強、拡張されているトンネルもみられた。

表－3 鉄道廃線トンネルの覆工構造

覆工構造	箇所数	割合(%)
レンガ	196	56
石	93	27
コンクリート	52	15
その他	7	2
合計	348	100

2・3 廃線道路トンネル

道路の廃線トンネルについては、文献および都道府県の道路管理者へのアンケート調査を実施し、明らかになった全国80ヶ所の廃線道路トンネルの規模・構造について整理した。

80箇所のうち延長が明記されていた78箇所の廃線トンネルについて延長別箇所数を表－4に示す。

全体の95%においてトンネル延長が500m以下であり、最長が一般国道291号中山隧道（新潟県）の877mである。

構造については、覆工構造別箇所数を表－5に示す。廃線トンネルの利用開始年が昭和時代にはいつてからのものが多く、コンクリートによる覆工が6割を占めている。その他として、素堀のトンネルが19件と非常に多く、そのほかにモルタル（コンクリート）吹付けのみのトンネルも4件見られる。

表－4 道路廃線トンネルの延長

延長	箇所数	割合(%)
100m以下	34	51
101～500m	40	44
500m以上	4	5
合計	78	100

表－5 道路廃線トンネルの覆工構造

覆工構造	箇所数	割合(%)
コンクリート	45	61
レンガ	5	7
石	1	1
その他	23	31
合計	74	100

2・4 地下遺跡

地下遺跡の調査については、文献およびインターネット検索で行った。

遺跡という分類上、種類は多岐に渡る。そのうちの典型的なものとして歴史的な鉱山跡、洞窟寺院や墳墓等がある。

特徴的なものは国外に多く、中国の陽陵のように東西6km・南北3km、面積にして約10km²に渡る敷地に地下空間が存在する大規模なものや、ポーランドのビエリチカ塩鉱のように、1000年以上の歴史を持ち、地下深く坑道が広がり内部には水路や礼拝堂がある史跡もある。カッパドキア地方の遺跡群では、多岐にわたる地下空間が構築され、現在では地下8階におよぶ地下都市、地下教会、城塞跡などが公開されている。

国内においては、上下3段で全長1km以上の洞窟を有する鎌倉市の田谷山瑜伽洞や、横穴群の規模としては日本一を誇る埼玉県東松山の吉見百穴が挙げられる。

2・5 地下採石場跡

地下採石場については、文献および日本石材協会等への聞き取り調査、アンケートを行って情報を収集した。

地下採石場の規模・構造について、詳細な情報が収集できたのは7箇所であった。このうち日本石材協会に属するものはすべて露天掘りで、地下空間として閉鎖中のものはないという。地下空間の代表的なものとして、東西4km・南北6km、高低差最大100mにおよぶ範囲に坑道が分布する大谷採石場がある。海外においては、米国カンザスシティーのように採石時から天井を高めに、そして天井・床は平らに掘っていくと

いう将来の利用を視野に入れた採掘を行った約200万 m^2 におよぶ広大な地下坑がある。

2・6 自然地下空洞

鍾乳洞、溶岩洞、海蝕洞、手彫り洞窟、岩屋、岩窟、洞門を対象として、インターネット検索によって自然地下空洞の概略情報を入手した。

入手した全国の洞窟リストでは、登録総数が1466箇所(平成11年7月10日現在)にも及んだ。この情報は、都道府県別に洞窟名称と所在地のみが記載されており、空間の大きさや環境については記述されていない。登録されている洞窟のうち100箇所以上は、岩手(106,陸中海岸)、山梨(103,富士山)、鹿児島(117,大島)、沖縄(124)に集中している。これに、世界の洞窟を加えると洞窟の総数は、膨大な数が存在すると考えられる。

日本洞窟学会(所在地:山口県秋吉台科学博物館内)からは、日本の溶岩洞リストが記載されている。これによると溶岩洞窟は、一般的に石灰岩中にできる鍾乳洞に比べて空間は小さく、単純な形をしたものが多い。また、日本では富士山周辺や九州などに多く存在し、最大のものは静岡県朝霧高原にあって、その総延長は2kmを越えている。

2・7 防空壕

情報の収集は、一般に入手できる出版物を用いるとともに、インターネット検索結果を参考とした。

今回得られた防空壕11箇所、核シェルター5箇所について、表-6に延長別の箇所数を示す。

防空壕の延長については、総延長が1,000m以上の大規模な事例は4箇所あり、このうち最大のものは浅川地下壕と松代大本営で、総延長は10km以上に及んでいる。

調査結果からは判断できないが、国家レベルで計画・構築したものを除いて、戦争の動乱時に無計画につくられたものが多く、大多数の防空壕は規模が小さいと予想される。防空壕の断面は、幅4m、高さ2.2~3mの範囲が標準的なサイズとなっている。しかし、松代大本営には高さ8mの大断面もつくられている。

表-6 防空壕、核シェルターの延長別箇所数

延長	箇所数	割合(%)
100m以下	1	6
101~500m	2	12
501~1,000m	1	6
1,001m以上	4	25
不明	8	50
合計	16	100

構造については、自然地下空洞を利用したものと新規に掘削したものがある。平面的構造は、小規模なものでは本線トンネルから枝線が構築されていて、大規模なものは網の目状につくられている。核シェルターについては、今回の調査では規模・構造についての情報はほとんど入手できなかった。

3. 未利用地下空間の再利用

ここでは未利用となった地下空間が、どのように再利用されているかを、構築当初の用途別に調査、整理した結果について示す。

3・1 鉱山・炭坑跡地

国内における鉱山・炭坑跡地の再利用をその目的別に整理して表-7に示す。この表から、観光目的としての利用が最も多く、次いで研究施設として利用されている事例が多いことが分かる。

鉱山・炭坑で特徴的なのは、閉山することは就業者が労働の場を失うことを意味しているということである。また、多くの就業者が離れることによってその地域が活力を失うことにもなる。このことから、閉山の前から再雇用創出と地域振興を目的として、事業主や地域自治体が観光施設などの再利用を検討することで成功を収めている事例もみられる。

3・2 廃線鉄道トンネル

旧国鉄、JR 関連、私鉄における廃線鉄道トンネルの再利用をその目的別に整理して表-8 に示す。

廃線トンネルの延長は数 10m～2,600m まで様々であるが、そのほとんどが単線トンネルであるため断面寸法が小さく、遊歩道、自転車道、自動車道として利用されている。一部では、農業や倉庫として利用している事例もある。

表-7 鉱山・炭坑跡地の再利用目的

利用目的	箇所数	具体的事例
観光	18	トロッコ電車を利用した鉱山観光、資料館など
研究	4	落下型無重力実験装置、陽子破壊観測実験施設、地震観測施設など
工場	2	野菜工場など
農場	2	ウド栽培、シイタケ栽培
処分場	2	一般廃棄物焼却灰、フライッシュ、カーバイト滓
倉庫	2	みかん貯蔵など
下水道	1	坑道を利用

表-8 廃線鉄道トンネルの再利用目的

利用目的	箇所数	備考
道路	45	片側交互通行となっている場合が多い
遊歩道	26	10 箇所は確氷トンネル
水路	3	
農場	3	しいたけ栽培
倉庫	3	貯蔵酒、建設資材倉庫
公園	2	
その他	23	自転車道、貯水池、擁壁、研究、記念碑、通路、下水として利用

3・3 廃線道路トンネル

調査結果によると、道路トンネルの再利用事例は鉄道トンネルと比べて少ない。道路トンネルの特性としてアクセスが良好なことから、地下空間の有効利用として保管庫の代用として利用されている事例が 5 件と最も多い。次ぎに文化財的価値を

利用して歩道とする事例が 4 件、市町村道に移管したものを合わせると全体の 50% が道路として再利用されている。

表-9 廃線道路トンネルの再利用目的

利用目的	箇所数	備考
資材・機材置場	5	
市町村道	3	登録文化財（1 件）
歩道	2	
県道	1	登録文化財（踊り子道）
農業利用	2	キノコ栽培

3・4 自然地下空洞

有効利用のほとんどが、鍾乳洞の自然造形の美しさを活用した観光地として利用されている。また 1 件であるが酒造メーカーの醸成場として使われているものもある。調査結果には含まれていないが、沖縄に多数ある鍾乳洞は古酒（泡盛）の貯蔵場として利用されているとの報告もある。ほとんどの自然地下空洞が天然記念物的意味合いをもっており、観光資源として利用されている。また、貯蔵施設（酒造りの醸成場）については製造工場からの距離、運搬路などのアクセス利便性に加えて空洞内部の形状が利用しやすい状態であったものと考えられる。

3・5 地下採石場跡

採石場跡の再利用事例は極めて少ない。その中で大谷石採掘場跡は観光施設（資料館）のほかに研究、貯蔵、食品工場、音楽会・結婚式の開催場など多目的に使用されている。

また海外では米国カンザスシティの石灰岩採石跡においては、約 200 万 m³ におよぶ広大な地下坑の四分の一を工場、オフィス、冷凍倉庫などとして利用している。地下利用に関する法整備も確立されており、「地表権は深度 30m まで、それより深い部分には地下権を適用する」ことになっており、カンザスシティでは地上と地下が別々に販売できるようになっている。また、地下空間の安全性の基準についても定められている。

3・6 地下遺跡

地下遺跡はもともと学術研究対象として扱われてきたが、その価値が一般的に知れ渡ることによって観光資源としての意味合いを持つに至ったものとする。世界的に著名な地下遺跡の中には、発掘および調査研究途中のため観光施設としての利用が行われていないものも数ヶ所ある。

3・7 防空壕

国内外の著名な防空壕（地下工場、野戦病院、核シェルター）を含む11件について表-10に整理した。

国内においては研究観測施設および地下農場の2件以外は、平和を祈念するための戦争遺産とする現状維持型の利用とする傾向にある。海外では第2次大戦後の施設が対象となったこともあり、研究施設の他にレジャー施設など積極的な利用が特徴的である。

表-10 再利用用途

利用目的	箇所数	備考
観光施設	5	国内3件、海外2件
戦争遺産	4	保存運動
レジャー施設	2	スポーツセンター、スイミングプール
研究施設	2	研究観測施設、地下実験施設
地下農場	1	ウド栽培

4. 未利用地下空間の閉鎖事例

一般的に閉鎖とは内外間の出入りができなくすることを指すが、ここでは、地下と地上との間に仕切りを設けたり（閉鎖）、地下空間自体を充填したり（閉塞）、供用終了後に何ら手を加えられていない地下空間（放置）のことを閉鎖と総称することとする。

4・1 地下空間の閉鎖事例

鉱山・炭坑跡地、鉄道廃線トンネル、道路廃線トンネルの閉鎖、放置について整理し、閉鎖の方法やその傾向について分析した。

全体を見た場合は、9割近くが閉鎖、閉塞されているが、閉塞しているのは1割程度であり、大部分の地下空間について未利用となった後も地下空間が存在していることが見て取れる。

放置事例を除く閉鎖、閉塞事例について全体を通してその内訳を大きく分類した場合、閉鎖・閉塞の方法は約6割が容易に閉鎖解除が可能な禁柵によるものである。再利用可能性を閉鎖の面からのみ考えた場合には、大部分の地下空間が可能性を持っているといえる。

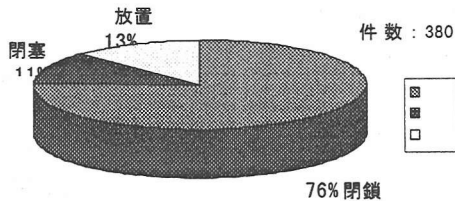


図-1 閉鎖の内訳

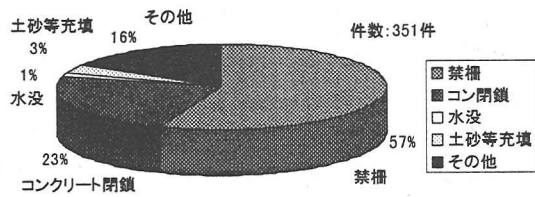


図-2 閉鎖・閉塞方法の内訳

4・2 地下空間充填材

ここでは充填材に着目して、未利用地下空間の閉鎖事例における充填の実態について把握するため、閉塞（空間充填）している事例の現状について整理・分析した。

閉鎖事例345例のうち、空間を充填していることが判明しているのはわずか24例にとどまっている。

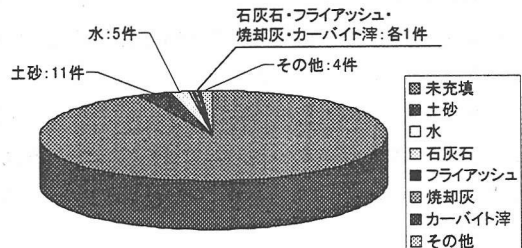


図-3 地下空間充填材の内訳

充填材の種類を見てみると、地下空間を土砂によって充填している事例が11例と最も多く、水で水没させているものが5例と続いている。このほかの例として石灰石、一般廃棄物焼却灰、火力発電所のフライアッシュ、カーバイト滓（炭酸カルシウム）がある。

5. 未利用地下空間の再利用のあり方

一般に未利用地下空間を再利用するうえで重要視しているように見受けられないが、これまでなされている検討内容に加えて考慮することで未利用地下空間の再利用が促進すると考えられる事項について、以下のよう考察する。

- ①未利用地下空間の存在を地方自治体、中央省庁にアピールし、生活関連施設、エネルギー関連施設、治水関連施設、その他の施設（研究・実験施設）などの比較的規模の大きな公共施設を計画する際に再利用を積極的に推進する。
- ②これまでの未利用地下空間の再利用の考え方は、一般的に利用者（受益者）を地域外の人々と想定している場合が多く、これが再利用率を低下させている一因であるとも考えられる。即ち、人口密度の低い地域において市街地の地下空間利用をそのまま適用することは不可能であっても、施設としての利用方法、システム、考え方を応用した小規模な「地域なりの利用方法」の創出を検討する。

上記の再利用のあり方を考慮しつつ検討を進めることは重要であるが、再利用とは事業開発を行うことであり、再利用の成否は、事業として成立するか否かに関わっているともいえる。事業性の検討においては、国内の成功事例の分析に加え、不成功事例における失敗要因や海外における再利用コンセプトなどを参考にすることも肝要であろう。

6. 未利用地下空間の合理的閉鎖方法

4. 閉鎖事例の調査結果から、現状の閉鎖されている地下空間を再利用する際の可能性と問題点について考察する。地下空間が現在閉鎖されている理由としては、以下が考えられる。

- ① 将来の利用のための一時的閉鎖、② 利用中止により将来の利用は考慮せずに閉鎖、③ 放置

多くの場合は②であると考えられるが、閉塞事例でも、水、土砂およびブロック、石灰石などの充填材であり、将来の利用に可能性を残している。また、閉鎖事例については、その多くは坑口の軽微な閉鎖であることから、再利用しようとした場合に、ごく容易に地下空間へのアクセスを従前の状態に戻すことが可能である。

次に、充填材の利点と問題点を挙げ、充填目的別に充填材に求められる特性について考察を加える。

一般廃棄物焼却灰、火力発電所のフライアッシュ、カーバイト滓（炭酸カルシウム）などの廃棄物を充填材として受け入れる場合には、収入が見込めるため充填材としては有力な候補といえる。しかし、国内では廃棄物の処理及び清掃に関する法律と施行令により地中空間利用処分が禁止されているため、廃棄物を充填材として検討することは困難と考えられる。現状では既存の埋立処分場に対する適用除外規定を適用することで、運営を可能としている。

地下空間の再利用を考慮した場合、最も有利と考えられるのは水を充填材とすることが考えられる。その理由として、再利用にあたっては空間に充填した材料を取り除く必要があるが、除去作業および除去後の処理が用意であることがあげられる。ただし、地下空間を安定させることを目的として充填する場合には、安定性に対する寄与の度合いが小さいため、充填前の状態においてある程度安定した地下空間を対象とするか、安定処理を行う必要があると考えられる。

(c)充填材に求められる特性

地下空間を閉鎖する場合の目的としては、地下空間の安定化を図る場合と、再利用するために一時的に閉鎖する場合とに分けられ、目的別に求められる充填材の特性としては表-11 の内容が望ましいと考える。

表-11 閉鎖目的別充填材の特性

閉鎖目的	要求される充填材の特性
地下空間の安定化（陥没防止による環境保全など）	・ 充填後に強度を有する ・ 密実に充填できる
再利用のための一時的閉鎖	・ 容易に取り除くことができる ・ 除去後の処分が容易、または除去後に有効利用できる
共通事項	・ 充填性がよい ・ 環境に悪影響を及ぼさない ・ 管理が容易、または不要である

5. おわりに

未利用地下空間の現状調査結果から再利用方法、閉鎖方法について整理することで、再利用方法のあり方と合理的閉鎖方法について考察を加えることができた。今後も検討を進めていく上で、課題と考えられる事項を以下に列挙する。

未利用地下空間の再利用を目的とした場合には、①再利用開発の事業としての成立性、②地下空間の持つ特性を十分に活用できる施設の選定、③交通アクセス、居住地からの距離など周辺環境を考慮した利用方法の検討、④社会的要求、および法規に適合した利用方法の検討、⑤再利用方法を計画に組み入れた地下空間の構築方法、などが挙げられる。米国ミズーリ州カンザスシティに見られる石灰岩地下採石場のように、これらの条件を全て満足し成功している事例がある。

また、合理的閉鎖を目的とした場合は、①空間形状、空間安定性に適合した充填材、充填方法の選定、②長期的安定性を考慮した充填材、充填方法の選定、③経済性の検討、④社会的要求、および法規に適合した閉鎖方法の検討、などの検討が重要である。

また、既存地下空間における再利用事例や合理的閉鎖事例の実施に至るまでの検討経緯などを詳細に調査して、その成功要因、失敗要因を分析することも具体的事例を検討する場合には参考になると考えられる。

最後に、本調査研究は、通商産業省 機械工業振興資金の補助事業として、（財）エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センターの委託により実施したものである。

6. 参考文献

1) 平成 11 年度未利用地下空間の合理的閉鎖・付加価値利用システムに関する調査研究報告書、（財）エンジニアリング振興協会 地下空間利用研究センター