

遠隔離島における地下空間利用のための調査研究検討委員会
中間とりまとめ及び今後の検討事項

2018年6月
事務局

委員長

東京理科大学 理工学部 土木学科 教授 菊池 喜昭

委員

山口大学 大学院創成科学研究科 地球圏生物物質科学系専攻

准教授 川村 喜一郎

応用地質株式会社 エネルギー事業部 計測探査部 上級専門職 坂下 晋

エスケイエンジニアリング株式会社 代表取締役 社長 武村 貢

(第6回より中村委員に代わり参加)

東洋建設株式会社 顧問 谷 伸

東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 環境学研究系系長

教授 徳永 朋祥

秋田大学 大学院 国際資源学研究科 資源開発環境学専攻

教授 長縄 成実 (第4回より参加)

エスケイエンジニアリング株式会社 常務取締役 中村 常太 (第4回より参加)

新日鐵住金株式会社 建材事業部 建材開発技術部 土木基礎建材技術第二室

室長 原田 典佳

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 取締役 事業本部長兼技術本部長 柳浦 良行

鹿島建設株式会社 土木管理本部 土木技術部 担当部長 横尾 敦

事務局

国立研究開発法人海洋研究開発機構 理事 阪口 秀

国立研究開発法人海洋研究開発機構 イノベーション・事業推進部

企画調整統括 山田 康夫 (第4回より参加)

委員会概要

1. 委員会設置の趣旨

我が国の本土を構成する北海道、本州、四国、九州及びその周辺地域は、複数のプレートが集合しているために、地震・火山噴火等の地殻活動が地下深くから地上まで至るところで活発である。しかし、日本列島の南方に広がる太平洋には、日本列島や周辺の他の島嶼から遠く離れたいわゆる遠隔離島(沖ノ島、南鳥島等)が存在する。このような島々は、海洋プレート上に火山島として誕生したものであるが、火山活動が終焉してから一千万年以上が経過している。

そこで、将来我が国が、このように非常に特殊な条件を有する国土である遠隔離島及び周辺 EEZ 内海域の地下空間を積極的に有効利用することを想定して、地盤・地形・地質に関する情報及び調査技術、施工技術に関する提案と助言を行い、さらに施工計画、経済効果、社会的インパクトも含めた実現可能性を検討する委員会を設置した。具体的な技術的検討項目としては、以下の点が掲げられる。

- 1) 陸地及び海底地盤の安定性・遮水性の検討
- 2) 1) に必要な現場データ調査方法の検討
- 3) 2) を行うための技術開発項目の検討
- 4) 施工技術の検討
- 5) 遠隔離島の海底地下空間利用方法の検討

なお、本検討事項は、目的を限定せず、今後生じる可能性のある当該地域における地下空間の有効利用において参考にできるものとする。

2. 開催概要

(別紙参照)

委員会での検討概要（中間とりまとめ）

1. 遠隔離島及び周辺海底地盤および地下水の特性、安定性の検討

日本列島の南方に広がる太平洋には、日本列島や周辺の他の島嶼から遠く離れたいわゆる遠隔離島（沖ノ鳥島、南鳥島等）が存在する。このような島々は、海洋プレート上に火山島として誕生したものであるが、火山活動が終焉してから一千万年以上が経過している。火山島の成因となったマグマの供給源からは遠く離れてしまっているため、今後火山活動が再開されるとは考えられていない。

また、沖ノ鳥島、南鳥島等に関しては、これらの島が載っている海洋プレートと他のプレートとの境界から数百キロメートルは離れている。現在のプレート運動から推定すると、異なるプレートの相互作用で発生する地殻変動（断層、地震、隆起等）の影響は今後、数百万年以上は受けないと考えられている。

遠隔離島内の地下水の動きについては明らかではないが、沖ノ鳥島、南鳥島に関して言えば陸部の標高が低いため、水頭差に起因する地下水流は緩徐なものと推定される一方、地表からの蒸発による塩分濃度の差によって生じる地下水の動きが知られており、このような地下水の動きは検討すべき課題である。また、海流が島の岩体にぶつかることで発生する動圧が、極めて微細な地下水流を生じる可能性については、今後の検証が必要である。

以下に、遠隔離島周辺における地下空間利用に関する検討結果をまとめたが、現時点での知識が十分でない面があるほか、長期安定性については、ほぼ手付かずと言わざるを得ない状態であることから、今後、知識の充実及び研究環境改善・研究人材育成を図る必要がある。

2. 遠隔離島の地下空間利用に必要な基礎的データと調査法の検討

A. 遠隔離島の成因

遠隔離島周辺の地下空間の利用を検討する際、地下空間の長期安定性は重要なファクターである。このため、遠隔離島の成因や、離島誕生後の地理的・地質的变化、火山活動の変遷、地滑りの履歴は長期安定性を評価する上で重要な情報となる。

遠隔離島は海洋プレートがホットスポットを通過した際の火山活動により形成されたと考えられている。個々の遠隔離島がどのような火山活動を経て形成され、どのような地質構造を持つのかを把握することが大変重要である。

また、海洋プレート上の島嶼や海山で同様の成因を持つものの中で、直下のモホロビッチ不連続面がアイソスタティックコンペンセーションされていないものがある。このような島嶼や海山が、今後どのような挙動を行うのかの理解がないと、長期安定性を議論できない。

さらに、海洋プレート上にはプチスポットと呼ばれる、ホットスポットに起因し

ないと考えられる火山活動による小規模な海山が認められる。このようなプチスポット活動が海洋プレート上の島嶼や海山の下で起こりうるとすれば、長期安定性の議論に影響を及ぼす。しかしながらプチスポットに関する情報は不足し、理解は進んでいない。このため、プチスポットの位置、規模、活動時期等、更には成因について、今後の基礎的な調査・研究が不可欠である。

B. 地質・岩石物性

1) 炭酸塩岩と玄武岩の境界深度

遠隔離島の地下空間を利用する場合、下位の玄武岩層が対象となると考えられるため、上位の炭酸塩岩層の厚さ（境界深度）は、地下空間利用の経済性を評価する上で必要不可欠なデータである。

南鳥島では、海上保安庁水路部（2001）による音波探査の音響的層相の特徴から、炭酸塩岩の最大層厚は1000mに達するとされている。

また、しんかい6500等による過去の潜航調査では、境界はおおよそ水深1200m～1400m付近と予想されている。

このように南鳥島などの太平洋上の遠隔離島では、1000mを超える厚さの炭酸塩岩層が予想され、事業の経済性への影響が懸念されるため、技術的課題の検討を含め、事業の経済性評価のために、境界深度のデータは不可欠である。

境界深度を推定するための物理探査については、陸上で実施する微動アレイ探査および電磁探査（MT法）や陸上と海上からの反射法地震探査が有効と考えられる。最終的には概査試錐による確認が必要となる。

2) 炭酸塩岩、玄武岩の物性

遠隔離島では玄武岩の基盤の上にサンゴ礁が形成され、石灰岩化により厚い炭酸塩岩層が形成される。

物理探査データの解析、長期の安定性に関するシミュレーションには、地下空間を構成する岩石の物性値が不可欠である。

遠隔離島の炭酸塩岩には空隙が多い層とコンパクトな石灰岩の層が存在していることが報告されている。このような場合、掘削に困難を伴うことが予想される。

また、ムルロア環礁では石灰岩との境界部の玄武岩は角礫状で間隙率が高いことが知られており、今後、試錐や坑道の掘削計画を立案する上でも、これらの岩石の物性値が必要になる。

必要な物性値：密度、比抵抗、間隙率、透水率、弾性波速度、強度特性等
調査手法：概査試錐によるサンプリング

3) 地殻熱流量

遠隔離島周辺の地下空間の利用にとって、マグマ活動の存在は阻害要因となるため、遠隔離島周辺における地殻熱流量のデータは必須である。また、プチスポットが今後当該離島の周辺で発生するとすれば、これも阻害要因となるため、プレート運動による当該離島の進行方向の海底地形を精査し、プチスポットの可能性が想定される場合には、地殻熱流量のデータを取得しておくべきである。

地質調査総合センターが公開しているデータベースによれば、南鳥島周辺では高い地殻熱流量値を示す点があった。(4地点のうち最大が $120\text{mW}/\text{m}^2$ 。最低は $50\text{mW}/\text{m}^2$ 。通常の見山では $60\text{mW}/\text{m}^2$ 程度であることが多い)

一方、2017年のJAMSTECの調査では、山体部3カ所で地殻熱流量を測定したが、いずれも低い値($8\sim 50\text{mW}/\text{m}^2$)であり、山体部($40\text{km}\times 60\text{km}$)の範囲では最近のマグマ活動を示す証拠は得られなかった。

長期にわたる地下空間利用の安全確保のためには、将来における火山活動の可能性に係るデータは必要不可欠であることから、より細かい空間間隔で山体部および周辺海底での地殻熱流量を測定することが必要である。

C. 地滑り、山（島）体崩壊に関する情報

1) 過去の地滑りの履歴

遠隔離島海底部の地滑り、山体崩壊は、遠隔離島の地下空間の安定性に大きな影響を与える可能性がある。このような遠隔離島海底部の地形変化の発生、およびその影響を予測するために、地滑りの原因や過去の履歴を知ることが必要で、このため詳細な海底地形及び過去の地滑りの規模（崩壊土量）・原因・頻度・地滑りが起きた年代に関する情報が必要である。

このため、以下の調査が必要である。

ROV・AUVによる詳細な海底地形調査・バックスキヤッタ調査。

ROV等による採泥調査・露頭調査。

コア試料の採取、年代測定。

D. 遠隔離島の深部地下水

1) 深部地下水のpH、溶存酸素、同位体比、含有成分、微生物等

後述のように、地下空間に設置される鋼材の腐食やコンクリートの劣化を予測する上で、深部地下水の性質に関するデータが必要となる。

遠隔離島を形成する玄武岩及び石灰岩の中に存在する地下水のpH、溶存酸素、含有成分、含有される微生物等のデータ及び地下水の年代についての調査が必要である。

2) 海流による静水圧変化

遠隔離島の深部地下水の動きは、島全体に均等な静水圧が掛っているため、極めて小さいと考えられるが、海流がある場合、島の前面と背後で海流による圧力勾配が生じる可能性があり、遠隔離島の深部地下水の超長期の挙動を議論する際には影響を与える可能性がある。このため、上記の地下水の年代測定に加え、各層の海流の長期観測、シミュレーション等により、深部地下水の挙動を把握する必要がある。

3) 一般的な遠隔離島の水理特性

地下空間を利用する場合、地下水の影響は避けられないことから、遠隔離島及びその周辺の水理特性が重要となる。

海山の水理特性研究の一例としては、Harris et al. (2004) の論文があり、海山中の流体の挙動を計算により再現し、海山での透水係数を $10^{-12} \sim 10^{-13} \text{m}^2$ で検討している。なお、そのときの地殻熱流量は一般的な海山の値である 60 mW/m^2 を用いている。

海山を構成する玄武岩には気泡が多く存在し、また、一部角礫状となっていることから水を通しやすいと推測される。また、それを被覆する石灰岩層では、長年の埋没作用により天然のセメントが生じ（続成作用という）、それによって透水性が悪くなっている層準と、セメントされていない透水性の良い層準とが混在しているが、全体的には水の通りやすい地下環境となっている。

3. 遠隔離島の地下空間利用に関する技術的課題と技術開発項目

A. 炭酸塩岩層の坑道（立坑）掘削の技術的課題

太平洋上の遠隔離島の炭酸塩岩層には、砂泥層を含む空隙率の高い石灰岩層と、続成作用が進んだコンパクトな石灰岩層が混在すると想定されている。岩盤強度の異なる互層に対する坑道の掘削、保坑には土木工学的な困難が予想され、技術的対策の検討が必要となる。

B. 玄武岩層の坑道（展開坑道）掘削の技術的課題

上記と同様、玄武岩層中には石灰岩との境界部付近に空隙率の高い脆弱岩盤の存在が予想され、大規模な坑道の掘削と保坑についての技術的対策の検討が必要である。

C. 超深度地下空間利用のための作井技術

超深度地下空間利用のための技術的課題を検討するために、現在の石油開発技術、

国内現有リグでどの程度の大坑径井がどこまで掘れるかの検討を行った。

ケーシングパイプの圧潰強度安全率が1.0の場合、

外径 36 inch (91.4cm) のケーシングパイプで 2000m 程度

外径 24 inch (61.0cm) のケーシングパイプで 3500m 程度

であり、今後、深度を増大するために改善、技術革新が必要な項目としては、以下の課題がある。

- 軽量、高圧潰耐力の大径管の開発
- 廃棄物収納容器の小径化
- 掘削リグの吊り能力向上（国内現有最大リグの2倍程度）

超深度の地下空間利用の実現のためには、まだ多くの技術的課題が残されており、今後の技術革新が望まれる。

D. 深部地下水による鋼材の腐食、コンクリートの劣化

鋼材の腐食に及ぼす環境因子、材料因子の代表的なものとして以下が挙げられる。

- ・ 環境因子：pH、温度、海水中の溶解成分、溶存酸素、流速、微生物
- ・ 材料因子：異種金属接触腐食（普通鋼とステンレス鋼など）

海洋及び港湾構造物は、厳しい腐食環境下にあり、さらに、集中腐食も生じるため、適切な防食対策が必要とされる。

また、強い放射線に晒された鋼材については、経年劣化事象として、中性子脆化、応力腐食割れ、および温度変化・圧力変化・振動等による疲労等について考慮すべきである。

地下での長期の埋設による鋼材の腐食は不可避であり、坑道の支保に用いられる鉄材が、腐食により地下水の移動経路となる可能性がある。

掘削坑道の支保には相当量のコンクリートが必要とされ、深部地下水の環境因子による支保コンクリートへの影響、劣化についての検討も必要になる。

4. 施工技術の検討

A. 坑道掘削、保坑に関する施工技術

上述のように炭酸塩岩層および石灰岩との境界部付近の玄武岩層での坑道掘削、保坑には相当な技術的困難が予想されるものの、未経験の課題ではなく、施工技術の高度化による対応が可能と考えられ、これらについての検討が進められるべきである。

B. ズリ置き場の問題

広範囲に地下空間を利用する場合、掘削に伴い大量の廃石（ズリ）が発生する。遠隔離島では一般に、地表面積が限られているため、地上に搬出する掘削土量の削

減方策と効率的な堆積方式の検討が必須である。

C. 水没、浸水問題

一般に遠隔離島は標高が小さく、平坦であるため、津波や高潮による地上施設の水没が懸念される。

津波に関しては、遠隔離島周囲は深海であるため、過去の観測では数十cm程度と、地上施設への影響は低いと考えられる。

高潮については、遠隔離島の一つである南鳥島では、大型台風による高潮の被害（水没）が報告されている。

今後、地球温暖化による台風の大型化、海面上昇も考えられ、将来を見据えた地上施設の高潮への対策は必要になると考えられる。

5. 遠隔離島の地下空間の多様な利活用

遠隔離島の地下空間は、地質学的安定性、周囲の海水に支配される安定した動水勾配や温度特性といった特性に鑑み、多面的、多様な利用が可能であろう。厚い石灰岩層の利用法、玄武岩中の空間の広範な活用法、深層水による冷却機能の活用も含め、今後、本委員会で検討を進める。

6. 環境・生態系保護のための環境影響評価

広大な太平洋上の孤島というユニークな自然環境にある遠隔離島の地下空間を利活用（開発）することに伴う、陸上や海中、海底の環境や生態系への影響については、科学的に合理的な根拠に基づく環境影響評価スキームが今後検討されるべきである。

7. その他

遠隔離島の地下空間を長期にわたり利用する際の安定性評価のための知識は十分とは言えず、今後、この分野での研究を進めるため研究環境の改善、研究人材の育成を図る必要がある。

遠隔離島への長距離輸送に関して、輸送中に第三者が関係したトラブルが懸念された。本土からの距離や移動・輸送手段が限定される問題点はあるものの、それは一方で、第三者からの隔離、アクセスの困難さ、移動中の監視の容易性は保安上のメリットとも言え、海上輸送の優位性が示された。

また、遠隔離島における港湾の適切な整備の重要性が認識され、大規模な試錐作業のための大型機材の搬入に必要なインフラ（大型岸壁、防波堤等）、搬入方法についての検討が行われた。遠隔離島では海岸付近から急深となることが多く、防波堤の設置に困難が伴う。防波堤の整備が行われないと、大型船舶が接岸できる日数が限定され、作業

効率に影響する。

以上

別紙

遠隔離島における地下空間利用のための調査研究検討委員会
開催概要

委員長

東京理科大学 理工学部 土木学科 教授 菊池 喜昭

委員

山口大学 大学院創成科学研究科 地球圏生物物質科学系専攻

准教授 川村 喜一郎

応用地質株式会社 エネルギー事業部 計測探査部 上級専門職 坂下 晋

エスケイエンジニアリング株式会社 代表取締役 社長 武村 貢

(第6回より中村委員に代わり参加)

東洋建設株式会社 顧問 谷 伸

東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 環境学研究系系長

教授 徳永 朋祥

秋田大学 国際資源学研究科 資源開発環境学専攻

教授 長縄 成実 (第4回より参加)

エスケイエンジニアリング株式会社 常務取締役 中村 常太 (第4回より参加)

新日鐵住金株式会社 建材事業部 建材開発技術部 土木基礎建材技術第二室

室長 原田 典佳

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 取締役 事業本部長兼技術本部長 柳浦 良行

鹿島建設株式会社 土木管理本部 土木技術部 担当部長 横尾 敦

事務局

国立研究開発法人海洋研究開発機構 理事 阪口 秀

国立研究開発法人海洋研究開発機構 イノベーション・事業推進部

企画調整統括 山田 康夫 (第4回より参加)

1. 第1回委員会

(1) 日時 ; 2016年12月27日 10:00~12:00

(2) 場所 : 社団法人 地盤工学会 会議室

(3) 出席者 :

(委員) 菊池 (委員長)、柳浦、谷、原田、川村、坂下、横尾

(事務局) 阪口

(4) 議題 :

本委員会設置に関する説明、本委員会での検討の目的

2. 第2回委員会

- (1) 日時 ; 2017年3月14日 14:00~16:00
- (2) 場所 : 社団法人 地盤工学会 3階 会議室
- (3) 出席者 :

(委員)

菊池 (委員長)、柳浦、谷、原田、徳永、川村、坂下、横尾
(事務局)

阪口

- (4) 議題 :

遠隔離島における地下空間利用に関する技術的課題、問題点

3. 第3回委員会

- (1) 日時 ; 2017年5月29日 10:00~12:00
- (2) 場所 : 社団法人 地盤工学会 3階 会議室
- (3) 出席者 :

(委員)

菊池 (委員長)、柳浦、谷、原田、徳永、川村、坂下、横尾
(事務局)

阪口

- (4) 話題提供 :

話題提供 1 山口大学 大学院創成科学研究科 地球圏生物物質科学系専攻
准教授 川村 喜一郎

4. 第4回委員会

- (1) 日時 ; 2017年7月25日 (火) 10:00~12:15
- (2) 場所 : 社団法人 地盤工学会 3階 会議室
- (3) 出席者 :

(委員)

菊池 (委員長)、柳浦、谷、原田、徳永、川村、坂下、横尾
(ゲスト)

長縄、中村

(事務局)

阪口、山田

- (4) 話題提供 :

- 話題提供 1 山口大学 大学院創成科学研究科 地球圏生物物質科学系専攻
准教授 川村 喜一郎
- 話題提供 2 鹿島建設株式会社 土木管理本部 土木技術部 担当部長 横尾 敦
- 話題提供 3 エスケイエンジニアリング株式会社 常務取締役 中村 常太
- 話題提供 4 新日鐵住金株式会社 建材事業部 建材開発技術部
土木基礎建材技術第二室 室長 原田 典佳

5. 第5回委員会

(1) 日時 ; 2017年10月30日(月) 10:00~12:00

(2) 場所 : 社団法人 地盤工学会 地階 A会議室

(3) 出席者 :

(委員)

菊池(委員長)、谷、原田、徳永、川村、坂下、横尾、長縄、中村

(事務局)

阪口、山田

(4) 話題提供 :

話題提供 1 エスケイエンジニアリング株式会社 常務取締役 中村 常太

話題提供 2 国立研究開発法人海洋研究開発機構 イノベーション・事業推進部
企画調整統括 山田 康夫

6. 第6回委員会

(1) 日時 ; 2018年1月22日(月) 10:00~12:10

(2) 場所 : 社団法人 地盤工学会 地階 A会議室

(3) 出席者 :

(委員)

菊池(委員長)、川村、坂下、武村、谷、徳永、長縄、原田、柳浦、横尾

(事務局)

阪口、山田

(4) 話題提供

話題提供 1 応用地質株式会社 エネルギー事業部 計測探査部
上級専門職 坂下 晋

話題提供 2 山口大学 大学院創成科学研究科 地球圏生物物質科学系専攻
准教授 川村 喜一郎

話題提供 3 国立研究開発法人海洋研究開発機構 海洋掘削科学研究センター
海洋・リソスフェア研究グループ グループリーダー 田村 芳彦