

P53.沿岸地域の地下水特性に関する研究

Studies on the groundwater characteristic in the coastal area

○ 塩手康之, 田中和広, 小野雅弘(山口大学), 嶋田 純(熊本大学), 中田英二(電力中央研究所),
飯島幸夫(三井松島リソース)

○ Yasuyuki SHIOTE, Kazuhiro TANAKA, Masahiro Ono(Yamaguchi Univ), Jun SHIMADA(Kumamoto Univ),
Eiji NAKATA(Central Research Institute of Electric Power Industry),
Yukio IJIMA(Mitsui Matsushima Resources Co.)

1. はじめに

近年、放射性廃棄物の地層処分場やLPG岩盤地下貯蔵施設のための空洞の建設が沿岸海底下に計画されており一部はすでに掘削されている。これらの構造物は地下水環境およびその変化の影響を強くうけることが予想されている。特に塩水の影響による構造物等の腐食、空洞掘削による湧水、海水準の変動による塩水域の移動などについての議論が求められている。

これらの問題を解決するためには沿岸海底下における地下水の流動特性および地下水の地化学特性データの取得が必要であると考えられる。しかし、我が国では太平洋炭鉱¹⁾、宇部炭鉱²⁾等の海底炭鉱や青函トンネル等³⁾の海底トンネルでデータが取得されているにすぎない。筆者らは長崎県池島の池島炭鉱において2002年に新しく掘削が開始された研修坑道で坑内湧水・割れ目水・間隙水を採取するとともに地質構造調査を実施した。今回研修坑道周辺の地下水のタイプとその賦存状態について検討を行ったのでその結果を報告する。

2. 調査地域の概要

池島は長崎県西彼杵半島の西方約6kmに位置し、東西1.5km、南北1km、周囲4kmで、最高標高が114mの起伏に富んだ島である(図-1)。池島地域に分布する地質の層序は下位から古第三紀松島層群の苺島層、崎戸層、西彼杵層群の板浦層、蛸浦層、徳万層である⁴⁾。これらを中新世瀬戸玄武岩類の輝石かんらん石玄武岩が不整合に覆っている(図-2)。本研究の調査範囲になる海面下130mの研修坑道には蛸浦層が分布している。

池島の東部の海岸沿いには徳万層上位層の露頭が連続的に認められる。この露頭には、主に凝灰質砂岩がみられ薄い砂質泥岩を挟んでいる(Loc1)。地層の走向/傾斜、N32°W/12°SWである。海岸沿いのさらに南には玄武岩の露頭がみられる。玄武岩には板状節理が発達している(Loc2)。

3. 地質・地質構造

今回調査を行った坑道は2002年に海面下130mに新たに掘削された研修坑道(以下調査坑道とよぶ)である(図-3)。調査坑道は木枠で覆われて

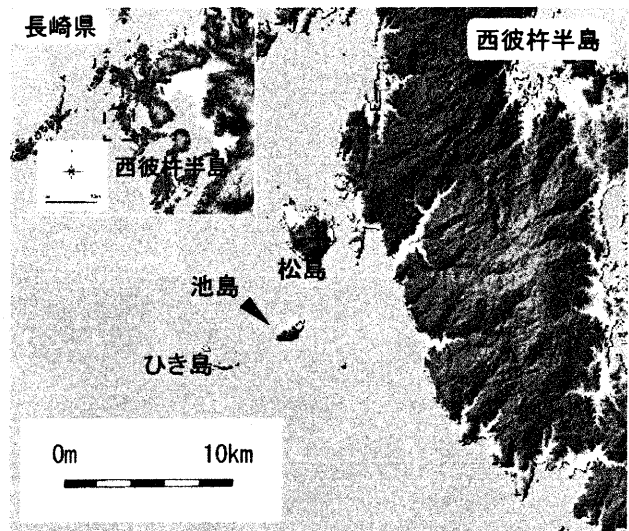


図-1 調査地域位置図

おり、露頭がみられるところは限られている。調査坑道には、N40°E/10°Sの走向傾斜を示す細粒砂岩が広く分布している。調査坑道Bの中ほどには中粒砂岩が分布しており、その南側には貝化石の*Glycymeris*が細粒砂岩中に産出する。調査坑道Aには破碎帯が2本認められた。

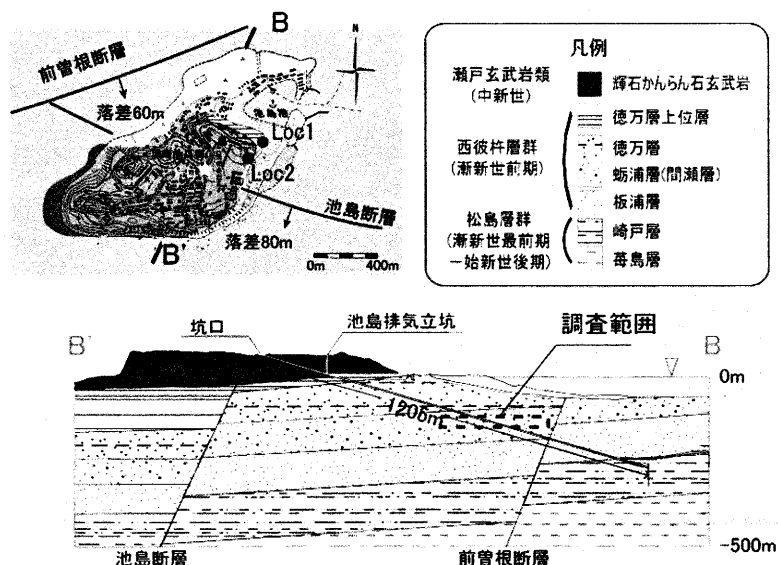


図-2 地質概要図
(小野, 2005修論) に一部加筆

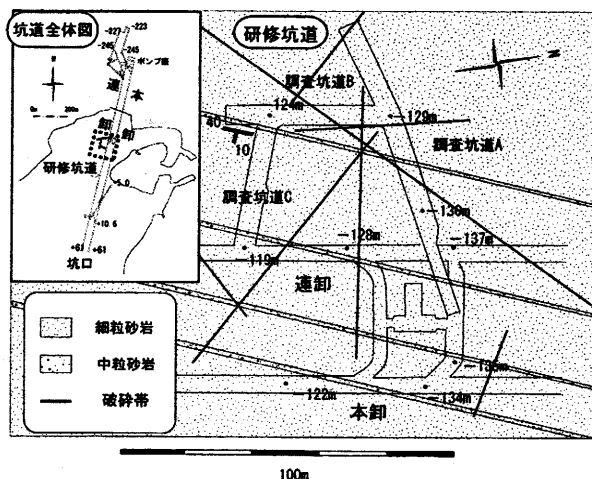


図-3 研修坑道の地質水平断面図

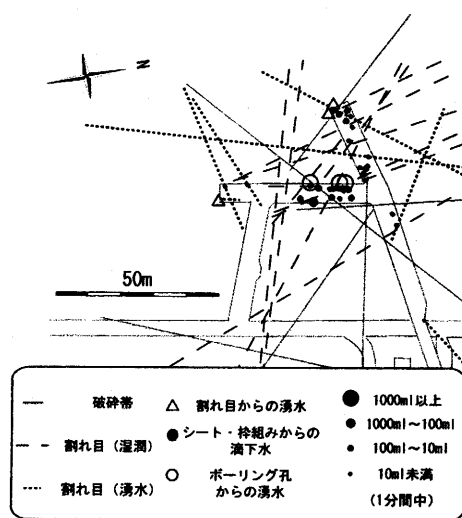


図-4 透水性割れ目分布図

調査坑道に存在する「割れ目」は水みちとしての機能を考慮し、長さ30cm以上、坑壁からの奥行き5cm以上あるものを割れ目として記載し、湧水が認められるかまたは湿潤な割れ目を特に透水性割れ目と定義した。透水性割れ目の位置を図-4に示す。

4. ボーリング調査

ボーリングの位置と掘進長、掘削方向・角度を表-1、図-5に示す。ボーリングコアはD1孔のみで採取した。採取されたD1孔コアは、直径5cm、長さが30mである。湧水量の変化を図-6に示す。

調査坑道内におけるボーリング孔からの湧水量変化には複数のボーリング孔間における影響がみられる。掘削当初は掘削中のボーリング孔から大量の湧水が認められるが、その後2日から3日で湧水量は減少する。この時に周辺にある既存の数本のボーリング孔の湧水量が増加する。この湧水量の変化から、No14-18-A, No15-18-19-A, No18-19-D1-Aにおいてボーリング孔を連結し、水みちとな

る割れ目のネットワークが形成されている可能性が想定される。

表-1 ボーリング孔の掘削長・掘削角度・方向

ボーリング孔 No.	掘削長(m)	掘削の傾斜角度	掘削方向
No14	25.1	+7° 30'	N78E
No15	18.9	+6° 30'	N63E
No16	25.3	+3° 00'	N86W
No17	31.2	+13° 20'	N72W
No18	52.2	+7° 40'	N87W
No19	66.9	+5° 50'	N78E
NoA	25.1	+6° 30'	N88E
D1	30.0	-3° 30'	N67W

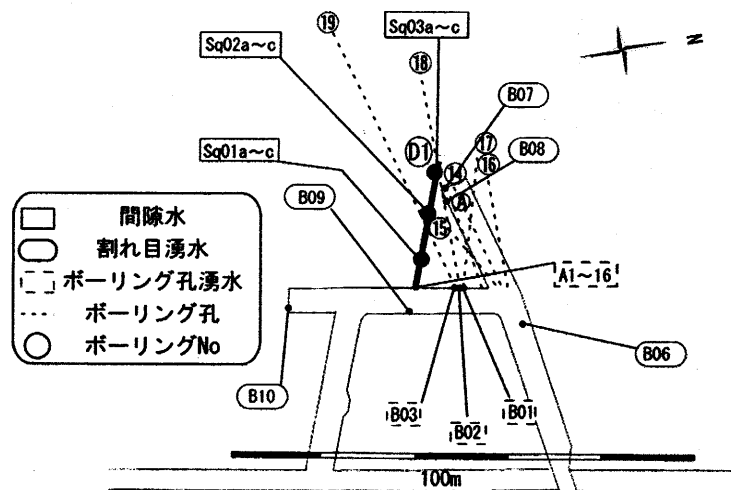


図-5 ボーリング孔位置・採水箇所

5. 水質分析、酸素・水素同位体測定

採水方法と採水位置によって分析試料を以下の3つに区分した。圧縮抽水により搾り取った水を間隙水、割れ目・破碎帯から採水した水を割れ目湧水、ボーリング孔から採水された水をボーリング孔湧水とした。3種類の分析試料の採取箇所は図-5示す。

図-7は間隙水、割れ目湧水、ボーリング孔湧水の分析結果をヘキサダイアグラムにして種類別にまとめたものである。

① 間隙水においては Na^+ , Cl^- 濃度が海水や他の湧水に

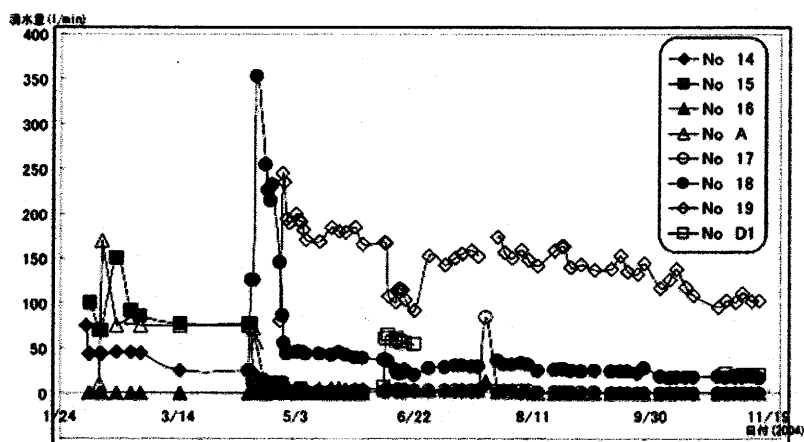


図-6 ボーリング孔からの湧水量変化

くらべて低い値を示し, Na^+ , Cl^- 濃度は坑道から離れるほど減少する。

- ② ボーリング孔湧水は, 海水に比べて Na^+ 濃度が低く Ca^{2+} 濃度が高い。このうち A16 はボーリング孔 D1 を掘削終了後に採取した地下水であるが, D1 孔では掘削時に採水を実施している。ヘキサダイアグラムの形に大きな変化は認められないが, 水質は掘削長の増加にともない Na^+ 濃度で約 500ppm, Cl^- 濃度で約 600ppm の減少がみとめられた。
- ③ 割れ目湧水ではヘキサダイアグラムの形に 2 種類認められる。破碎帯からの湧水である B09 は海水のものに近い形を示し, 残りのものはボーリング孔湧水に近い形を示している。

水素同位体は全分析試料において測定を行ったが, 酸素同位体は A1 から A15 のボーリング孔湧水と海水についてのみ測定した(図-8)。

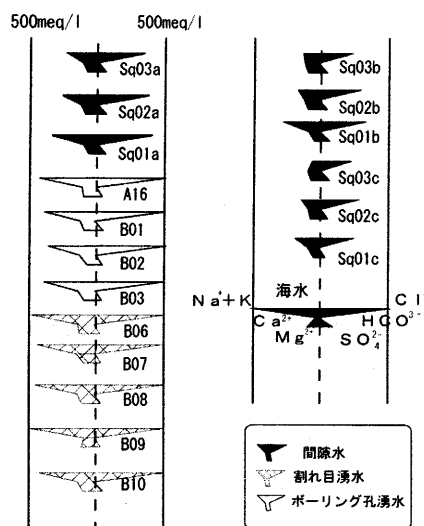


図-7 水質分析結果

池島の降水は天水線の直上にはプロットされないが, その付近にプロットされる。池島の海水は SMOW の付近にプロットされた。小野ほか⁵⁾によって, 池島の坑内水が降水と海水を結ぶ直線上にプロットされることが明らかにされている。ボーリング孔湧水はこの直線上または, その付近にプロットされる。

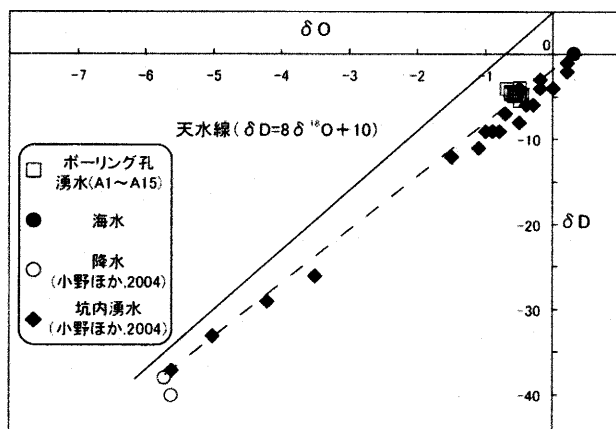


図-8 δ ダイアグラム

6. 考察

図-9 は Cl^- 濃度と δD 値との関係を示したもので, 海水の降水による希釈の過程を示す。小野ほか⁵⁾は坑壁からの湧水(坑内水)や天井からの滴下水が池島の海水と降水を結ぶ坑内水希釈ライン上にプロットされることや, ボーリング孔の初生水や深部のボーリング孔湧水は坑内水希釈ラインよりも軽い降水と海水を結ぶ坑内水希釈ラインに平行な化石水希釈ラインが認められることを報告している。さらにこのライン上の地下水を化石水と呼んだ。本研究のデータをこのグラフにプロットすると 5 つの水質タイプが認められた。

- ① W1 タイプ: 天井の割れ目から約 7ml/min で湧出していた割れ目湧水。他の割れ目湧水に比べて軽く, 化石水希釈ライン付近にプロットされる。
- ② W2 タイプ: 現海水付近もしくは坑内水付近にプ

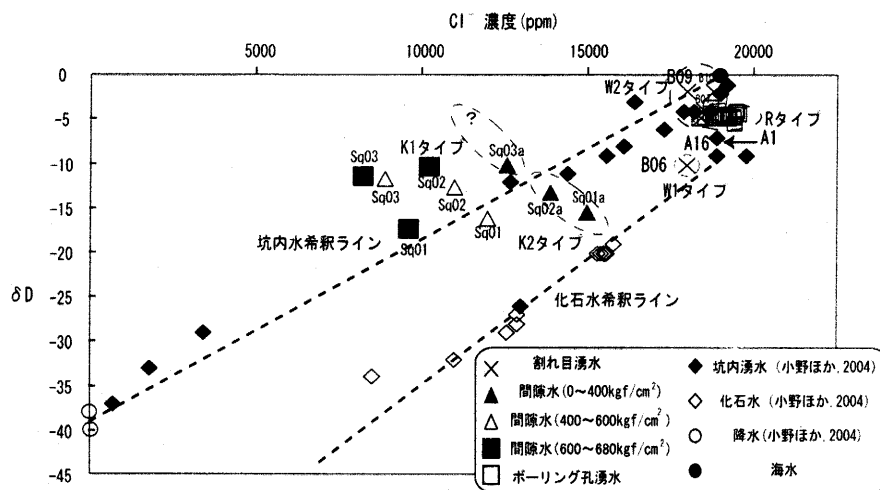


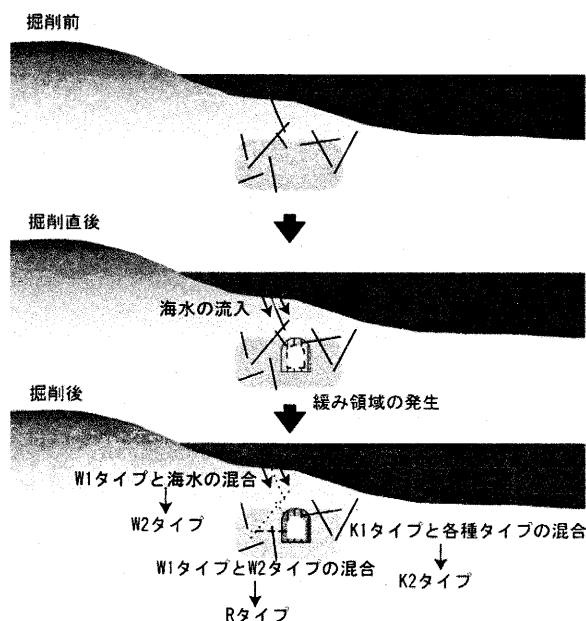
図-9 地下水の分類

ロットされる割れ目湧水。海水付近にプロットされる地下水破碎帯から湧出するものであり, その湧水量は 100~1000ml/min と W1 タイプに比べて多い。

- ③ R タイプ: 坑内水希釈ラインと化石水希釈ラインの中間にプロットされるボーリング孔湧水。掘削長が増加するのにもない化石水希釈ラインから坑内水希釈ラインへの移動が認められる。
- ④ K1 タイプ: K2 タイプよりもさらに Cl^- 濃度が低く重い間隙水。坑内水希釈ラインをこえてプロットされる。本研究においてもっとも坑道から離れている間隙水は Sq03a であるが, さらに坑道から離れるとさらに Cl^- 濃度が低く重い間隙水が存在する可能性もある。
- ⑤ K2 タイプ: 化石水希釈ラインから坑内水希釈ラインの間にプロットされる間隙水。坑道に近い間隙水は化石水希釈ラインに近く, 坑壁から離れると坑内水希釈ラインに近づく特徴をもっている。

海面下 130m 付近においては, 同じ割れ目湧水でも B09 のように海水に近い水質を示すものもあれば, その

他の割れ目湧水のようにボーリング孔湧水に近い水質を示すものもある。このことから、各水質タイプの水質の形成を以下に考察する(図・10)。



図・10 地下水水質形成モデル

空洞掘削前には間隙中に K1 タイプの間隙水、割れ目中には W1 タイプの割れ目水が存在する。空洞掘削がおこなわれると、空洞周辺には掘削の影響で坑壁沿いに割れ目ができ、緩み領域が形成される。空洞が掘削されたことにより、動水勾配が増大し、海底と連結する割れ目に海水の流入が起きる。流入した海水は W1 タイプの割れ目水と混合し、W2 タイプの割れ目水に変化する。破碎帯などのような大きな割れ目は小さな割れ目よりも海水の流入量が多く、その割れ目水は海水に近い特徴をもつと考えられる。W2 タイプである B09 が破碎帯の割れ目湧水であることもこの考えを支持している。海底と連結しない割れ目の中に分布する水は掘削による影響を受けないため、W1 タイプの割れ目水が掘削前後に関係なく存在する。ボーリング孔における R タイプは、掘削中に遭遇する割れ目の特性に影響されていると考えられる。

ボーリング孔の初生水に化石水が存在する原因としては、掘削中最初に遭遇した割れ目が W1 タイプの地下水を含むものであった可能性があげられる。空洞周辺の緩み領域においては各水質の地下水が間隙中の K1 タイプと混合し K2 タイプに変化すると考えられる。この緩み領域以外には K1 タイプの地下水が長期にわたり間隙水として粒子間に滞留しているものと考えられる。

7. まとめ

調査坑道の地質調査、ボーリングコアの観察、ボーリング孔からの湧水量のデータ整理、調査坑道で採取した地下水と圧縮抽水で採取した間隙水の水質分析と水素・酸素同位体測定を行い、以下の結果を得た。

① 海面下 130m の地下水流動

調査坑道の地質調査、ボーリング孔からの湧水量データの整理から調査坑道付近の地下水流動の場に関する情報を得た。透水性割れ目の分布から、割れ目のすべてが水みちになっているわけではない。新しくボーリング掘削を行うことによってほかのボーリング孔の湧水量が変化しているのは、ボーリング孔同士を連結する割れ目ネットワークが存在するためと考えられる。割れ目は重要な水みちのひとつであるが、全ての割れ目が水みちとなるわけではない。

② 海底下 130m に分布する地下水

調査坑道に存在する地下水を大きく 5 つの水質タイプに区分した。さらに試料の採水場所や空洞掘削の影響などの観点から各水質の形成モデルを以下の様に提案した。

- ・ 間隙中に安定的に長期にわたり涵養し全水質中もっとも Cl^- 濃度が低い K1 タイプ。
- ・ 緩み領域において各水質タイプの水と K1 タイプの水が混合してできた K2 タイプ。
- ・ 海に連続する割れ目ネットワークを持たない割れ目に存在し、化石水希釈ライン上にプロットされる軽い W1 タイプ。
- ・ 海に連続するネットワークを有する割れ目に存在し、掘削の影響で流入してきた海水と W1 タイプの水が混合してできた W2 タイプ。
- ・ ボーリング孔中で W1 タイプの水と W2 タイプの水が混合してできた R タイプ。

8. 参考文献

- 1) 佐藤 進, 1959, 太平洋炭鉱における坑内水探査. 日本鉱業会誌, 75, 855, 793-798p
- 2) 岩沢 栄・植田豊年, 1961, 宇部炭鉱における坑内水について. 日本鉱業会誌, 77, 875, 341-348p
- 3) 松山秀和, 2003, 北海道における海底下地下水の性状-旧太平洋炭礦と青函トンネルを対象として-. 北海道大学資源開発工学科地殻環境工学分野, 27p
- 4) 服部 仁・井上英二・松井和則, 1993, 神浦地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 126p
- 5) 小野雅弘・田中和広・嶋田純・大山隆弘・飯島幸夫, 2004, 長崎県池島炭鉱における地下水の同位体特性. 日本応用地質学会平成 16 年度研究発表会講演論文集, 125-128p