

岩盤サク井事例からみた破碎帯と地下水について

株式会社ナイバ 正会員 ○ 石井 秀明
株式会社ナイバ " 長野 恒一

1. はじめに

温泉（冷鉱泉）を含む岩盤地下水の開発では、破碎帯中の地下水を期待してサク井することが多い。サク井事例によると、破碎帯のすべての割れ目が良好な地下水脈を形成しているとはかぎらず、深度および地点毎の変化が著しい。香川県下の丘陵地で行った40例の岩盤サク井事例（深度約100m～500m）をもとに、破碎帯と岩盤地下水（湧出深度や水量、被圧状況等）について考察する。また、県下の代表的な断層破碎帯などのサク井事例を紹介する。

2. 香川の地質概要とサク井地点

香川県の基盤は花崗岩類から構成されている。地形および地質から次の4つの部分に分けられる。

- (1) 南部の和泉層群よりなる讃岐山脈（標高600～1,000m）
- (2) 阿讃山脈北側の前山丘陵地帯および瀬戸内火山岩類をのせた山塊群（400～600m）
- (3) 三豊層群および焼尾峠礫層からなる丘陵地（洪積台地；50～150m）
- (4) 沖積低地などからなる讃岐平野

主要な断層としては、長尾、鮎滝断層（花崗岩丘陵）、江畑、樫原、田中断層（讃岐山脈北麓）がある。

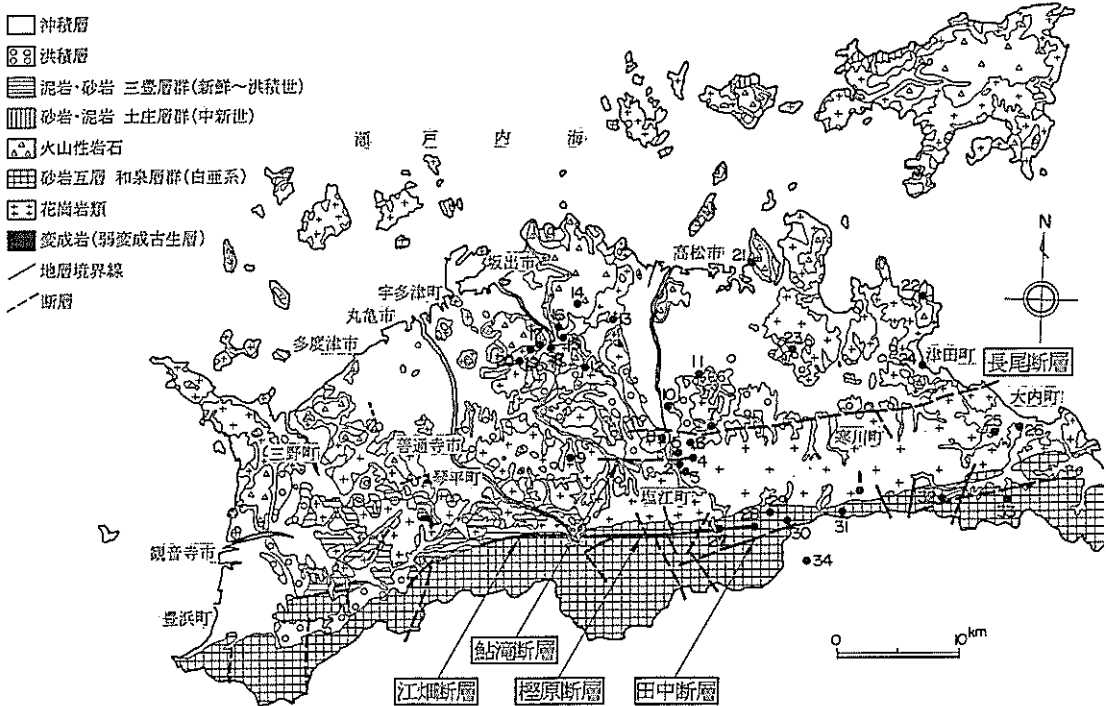


図-1 香川県の地質図とサク井地点（齊藤・長谷川，1989を簡略化）

On the Relationship between Groundwater and Shearzones in Bedrock Investigated by the Data of Welldrilling in Kagawa Prefecture, Japan

Hideaki ISHII, Taneiti NAGANO, Naiba Co., Ltd.

3. サク井方法および破砕帯と地下水の調査

筆者らは岩盤のサク井に超高圧コンプレッサーを用いたエアハンマー削孔法を行い良好な結果を得ている。本削孔法は、超高圧の圧搾空気にてロッド先端部に取り付けられているハンマーを作動させ、ビットの打撃で岩盤を細かく破砕しながら掘進し、破砕された岩片等のスライムはハンマーを駆動した空気により地上に運搬排出される。本サク井法の最大の利点は、掘進途中で地下水が認められた場合にはスライムと共に地下水が孔口に吹き上げられ、地下水の湧出箇所や水量を把握しながら掘削ができる点にある。また、破砕帯や岩質の変化は、掘進スピードの変化による把握だけでなく、径 2cm 程度の岩片を含むスライムが常に地上へ排出されていることからある程度の肉眼判定が可能である。

筆者らは吹き上がってきた地下水をノッチ箱等に引水し、現場で地下水の水量を測定しながら掘進する方法を採用している。この水量測定を、ここでは簡易揚水試験と呼び、本文中に記載している地下水の湧出量はこの試験により求めた概略水量である。なお、地表水などの浅層地下水については、孔口処理を行い完全に遮水している。

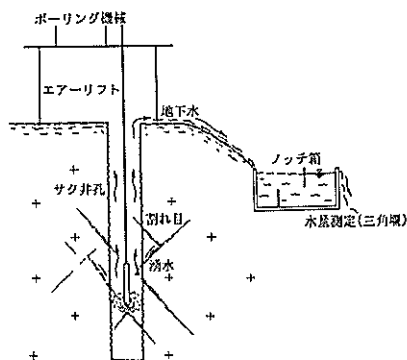


図-2 簡易揚水試験（エアリフト揚水）

4. 開発事例からみた破砕帯と地下水について

筆者らがこれまで関係した香川県内の丘陵地における岩盤のサク井は、温泉（冷鉱泉）の開発に端を発したものである。岩盤サク井事例をもとに、破砕帯に伴う地下水の湧出深度と湧出量を岩種別に整理し図-3に示す。また、地質・地下水状況ならびに泉質・泉温等のサク井データの一覧を図-4に示す。

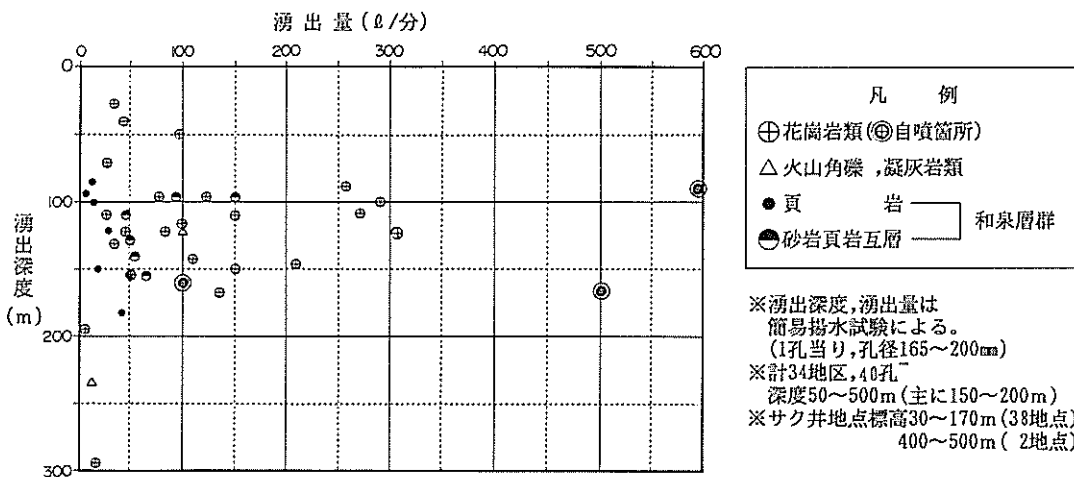
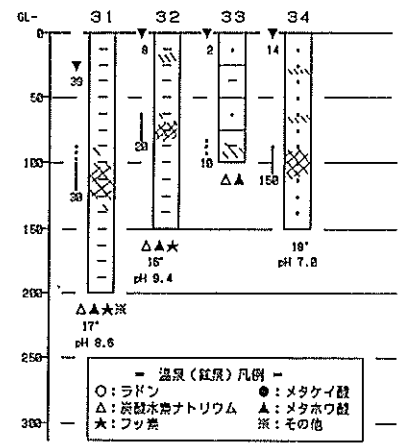
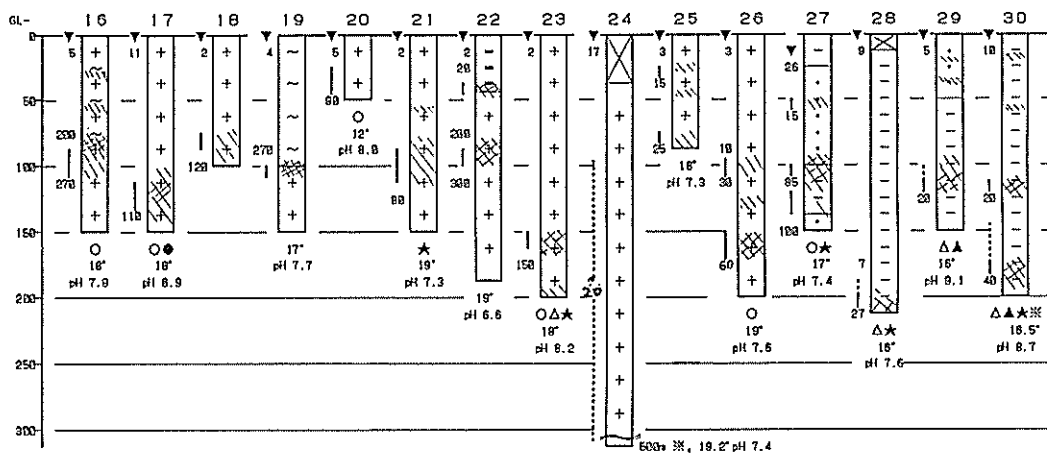
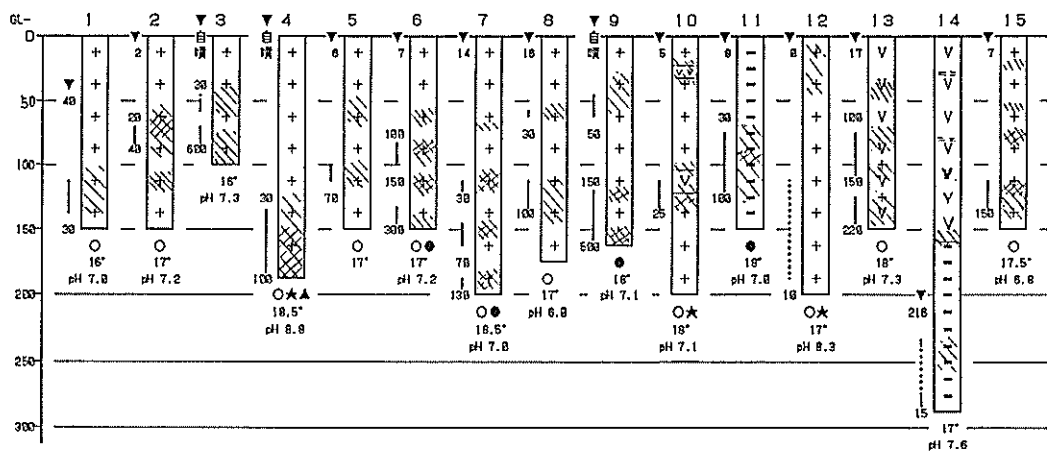


図-3 岩種と岩盤地下水の湧出深度および湧出量

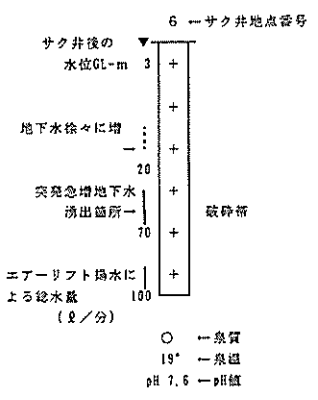
40例の岩盤地下水の湧出量には地質（岩種）の違いやサク井地点によりかなりのバラツキが見られるが、湧出量が 0 の地点はない。これらの地下水は岩盤中の破砕帯に付随した地下水と考えられ、湧出量の差が大きいことから破砕帯がすべて良好な地下水脈となっているわけでもない。水量については岩種による差が比較的明瞭であり、花崗岩の破砕帯では 1 孔あたり 10~600 ℓ/分の地下水の湧出があり、地点毎のばらつきが大きい。平均すると 1 孔あたり約 150 ℓ/分の湧出量となる。一方和泉層群の頁岩では、1 孔あたりの湧出量は 50 ℓ/分以下であり、岩種による差が明瞭に表れている。このことは、頁岩の破砕帯に比べて花崗岩の破砕帯は透水性が大きいこと示していると思われる。



地質凡例

- +
- ~
- =
- ▽
-
-
- △
- ▲
- ※

サク井柱状図凡例



温泉(鉱泉)凡例
 ○: ラドン
 △: 炭酸水素ナトリウム
 ▲: メタホウ酸
 ※: その他

図-4 香川県下34地区の岩盤サク井柱状図

図-3によると、地下水の湧出深度は深度100~150m付近に多い傾向が見られる。また図-4によると深度150~200m以内で地下水を伴う破碎帯が1~3箇所出現する傾向を示す。

破碎帯に伴う地下水はサク井事例によると突発的に湧出する場合が多い。地下水は被圧されており、サク井地点標高30~170m程度で深度約200m以内に湧出する地下水は、湧出深度の違いや湧出量の多少にかかわらず水位は深度10m以内にまで上昇するケースが多く、自噴するところもみられた。自噴水量はサク井地点3で約20ℓ/分、サク井地点4で約5ℓ/分、サク井地点9で約35ℓ/分であり、サク井地点9では約1年経過した現在でも同じ水量が自噴している。その他のところは数カ月後に取水が開始されるなどして不明である。なお図-4に示したサク井地点1および14は、丘陵地の山頂部(標高400~500m)で実施したサク井事例であり、サク井後の水位は他に比べてかなり深くなっている。

破碎帯の地下水40例の鉱泉小分析結果(温泉分析)から泉質についてみると、花崗岩類ではラドン(Rn)が、また頁岩では炭酸水素ナトリウム(NaHCO₃)が圧倒的に多い。泉温は16°~19°を示している。

PH値は花崗岩類の地下水ではPH6.8~8.8、和泉層群ではPH7.0~9.4を示している。また花崗岩類の地下水では全般に鉄分がやや高い傾向を示す(約7割; 総鉄イオン 0.43~2.7mg/ℓ、約3割; 総鉄イオン 0.2~0.1mg/ℓ以下)。

5. 鮎滝断層および檜原断層沿いのサク井事例

花崗岩丘陵地帯の主要断層として、長尾断層と鮎滝断層がある。両断層とも県下の代表的な第四紀断層であり、各々幅数m以上の破碎帯を有し、ともに熱水変質帯を伴う特徴がある。南部の和泉層群地帯では西より江畑断層、檜原断層、田中断層と呼ばれている一連の断層が花崗岩地帯との地質境界付近を東西に走っている。

ここでは花崗岩地帯の代表として鮎滝断層のサク井事例を、また和泉層群地帯では檜原断層のサク井事例を紹介する。

・鮎滝断層(サク井データ番号4)

サク井地点周辺の地形および地質を図-5に示す。

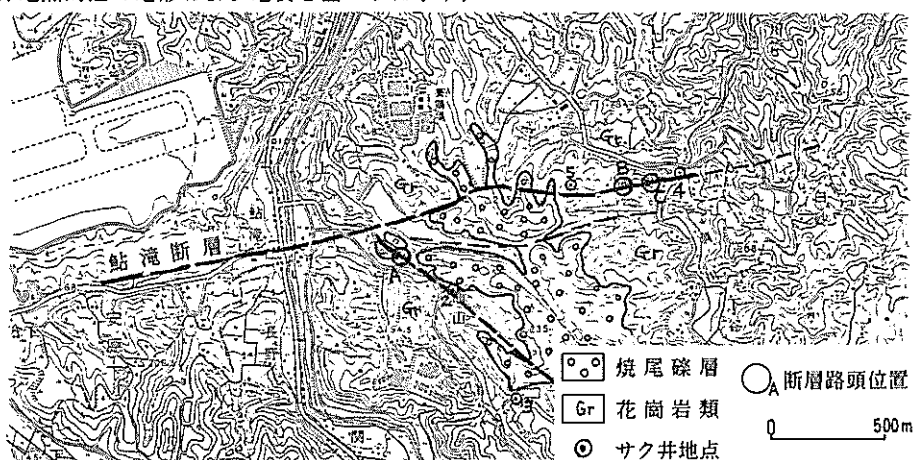


図-5 鮎滝断層サク井位置周辺の地質図

サク井地点は標高200m前後の花崗岩丘陵地帯に位置しており、中生代白亜紀の領家花崗岩類を基盤とし頂部に下部更新世の焼尾峠礫層が分布する地質状況となっている。サク井地点選定のための現地踏査によると、鮎滝断層の東方延長とみられる付近に熱水変質帯を伴う断層路頭が確認された。A地点では焼尾峠礫層を切って花崗岩が衝上する断層路頭が観察され、礫層と接する花崗岩側には約5mの破碎帯がみられた。断層面の走向・傾斜はN 40~50°W, 60°NEを示し、鮎滝断層とはかなり斜交する関係にある。Bおよ

びC地点では走向・傾斜がEW, 70~75°Nを示す破砕幅約3~7mの断層路頭が観察された。これらの断層路頭および地形等を参考にサク井地点を図中の4に選定した。

本地点では、深度130m付近から粘濁断層破砕帯とみられる破砕帯が確認され、最終的には100ℓ/分を越す地下水の湧出が認められるとともに、地下水が孔口から自噴する状況となり、その地下水にはたくさんの気泡がみられた。本地点のサク井状況を図-6にまとめて示す。また、地下水に伴う気泡の分析結果を表-1に示す。

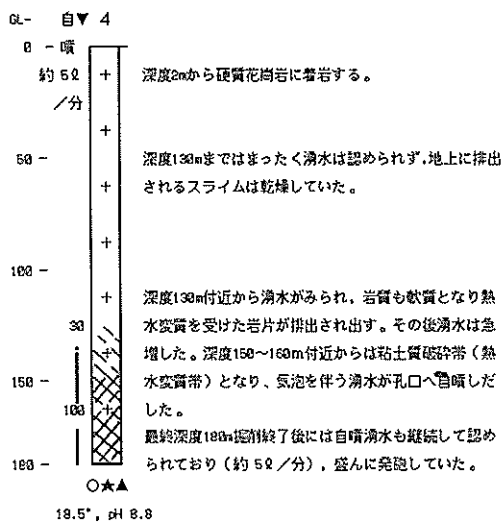


図-6 粘濁断層サク井柱状図

表-1 ガス成分測定結果一覧

(単位: %)

ガス成分	サンプル No 1	サンプル No 2
窒素 (N ₂)	88.9	89.0
酸素 (O ₂)	2.2	2.2
メタン (CH ₄)	8.8	8.7

・榎原断層 (サク井データ番号 27)

サク井地点周辺の地形および地質を図-7に示す。本地点では、約200m×100mの範囲に合計5本のサク井が行われている。

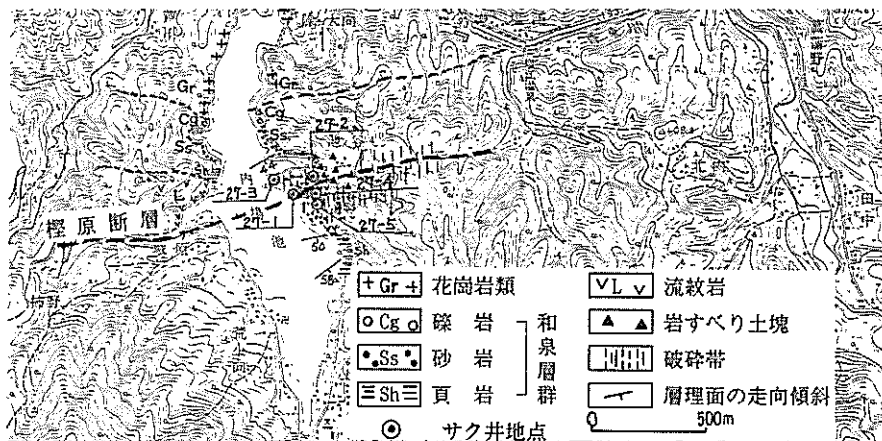


図-7 榎原断層サク井位置周辺の地質図

サク井地点は讃岐山脈北縁ある内場池の湖岸に位置しており、香川県地質図(1962)等によると榎原断層が通る位置にある。サク井地点付近の現地踏査では榎原断層とみられる断層露頭は見つかっていないが、敷地造成に伴う記録に走向が東西性で約70°の南傾斜の破砕帯が出現したことが記されている。サク井地点付近は砂岩が優勢であるが、流紋岩類の小貫入岩脈が頻繁にみられ、熱水変質により粘土化していると

ころも見受けられる。また、サク井地点の県道を挟んで東側の緩斜面は岩すべり土塊からなるもので、その中に白色の流紋岩起源の地すべり粘土が介在している。東側斜面には断層破砕帯なのか岩すべりによってできあがった破砕帯なのか判然としない露頭も多い。いずれにしろサク井地点を含む南北幅約100m間が亀裂に富み破砕された岩盤状況となっている。また、鞍部地形が東西に連続していることからサク井地点付近に控原断層が通っていることはまちがいないと思われる。なお、サク井地点と内場池湖面との標高差は約30mである。

各地点のサク井柱状図を図-8に示す。27-1地点のサク井では深度100m付近から比較的明瞭な破砕帯があり、突発的に地下水の湧出がみられた。27-2地点では小規模な破砕帯が所々あり、その内の2箇所湧水が認められている。27-3地点は岩盤が他に比べて硬質で安定していた箇所、当初計画の深度150m掘削時点では乾燥スライムが排出されていた。そこで165mまで余掘りしたところ163mにて軟質箇所がみられ突発的に地下水の湧水がみられた。27-4地点は深度140mすべて白色の角礫質流紋岩で熱水変質し粘土質の破砕帯となっていた。また、27-5も砂岩の介在する箇所が多かったが白色の流紋岩が主体で27-4地点と似かよった地質状況であった。両地点とも浅い深度からスライムが湿りごく少量の地下水が認められており、掘削深度とともに少量づつ順次増加する地下水の湧出状況を示し、27-1～27-3地点でみられたような突発的な地下水湧出はなかった。全体として、本地点では1孔あたり40～100ℓ/分の地下水が湧出した。

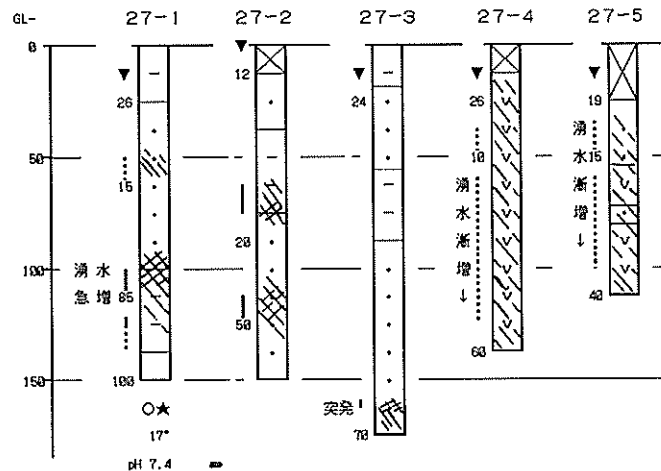


図-8 控原断層周辺サク井柱状図

6. あとがき

これまでの岩盤サク井事例から破砕帯には地下水が貯留されており、この地下水の取り出しやすさ、すなわち破砕帯に地下水が豊富で流動しやすいか否かという観点から破砕帯をみると、破砕帯を構成する岩種に大きく関係し、花崗岩類≧砂岩>>頁岩という図式が考えられる。このことは岩種による破砕様式の違い、たとえば砂礫状の破砕帯を作り易いか、細粒化した破砕帯を作り易いかが深くかかわっているように思われる。また、地下水は被圧しており、サク井後の孔内水位は浅いところにある。このことは少量だが常に地表への深層地下水の湧出が破砕帯を通して行われており、このような地下水が水資源に乏しい香川県にあって、丘陵地帯の貴重な水資源を形成していると思われる。サク井事例で示したように、1孔あたり平均150ℓ/分のそれほど多くない地下水開発水量ではあるが、現在もなお岩盤地下水に対する強い要望がある。このことを考えると、破砕帯については土木地質や防災地質の立場からみたイメージとは異なり、冷鉱泉を含む貴重な水資源の提供元としてとらえられる。ところで、破砕帯の地下水については、トンネル湧水の突発湧水に例えられ、長期的な取水は無理ではないかという意見が当初からあった。現在営業している井戸が14本あり、そのうち4年を経過したものが約半数あるが、追跡調査では支障なく取水できており、他の地下水障害も生じていない。

=参考文献=

長谷川修一、斎藤 実 (1989) : 讃岐平野の生い立ち, アーバンクボク No.28