

# 室内試験による大深度礫岩コアの品質評価

川崎 了<sup>1</sup>・中川加明一郎<sup>2</sup>・江藤芳武<sup>3</sup>・野崎明人<sup>4</sup>・小泉和広<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 (財)電力中央研究所地盤耐震部主任研究員(〒270-1194 我孫子市我孫子1646)  
(現 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻)

<sup>2</sup>正会員 工博 (財)電力中央研究所地質部上席研究員(〒270-1194 我孫子市我孫子1646)

<sup>3</sup>正会員 九州電力(株)総合研究所土木グループ主幹研究員(〒815-8520 福岡市南区塩原2-1-47)  
(現 西日本技術開発(株)地盤調査部)

<sup>4</sup>正会員 修(工) 九州電力(株)総合研究所土木グループ研究員(〒815-8520 福岡市南区塩原2-1-47)

<sup>5</sup>正会員 (株)ダイヤコンサルタント技術研究所物性研究室研究員(〒330-8660 大宮市吉野町2-272-3)

地下構造物を大深度礫岩に建設する際には、礫の影響によりコアの強度および剛性が原位置岩盤よりも過大に評価されたり、逆に、サンプリングによる乱れの影響によって、原位置岩盤よりも過小に評価されることが想定される。そこで、深度600mのボーリングコアを用いた大深度礫岩の室内試験を実施し、礫岩コアの品質評価を行った。その結果、礫岩コアの品質に影響を与えるサンプリングによる乱れには、礫分含有率と方解石含有率の2つが複雑に関与しており、特に、方解石含有率が小さく礫分含有率が小さいほど、礫岩コアがサンプリングによる乱れの影響を受けやすいことがわかった。

**Key Words** : conglomerate, mechanical property, sample disturbance, gravel fraction content, calcite content

## 1. はじめに

近年、大型構造物である原子力発電所の基礎岩盤あるいは水封方式による圧縮空気貯蔵ガスタービン発電システム(CAES)の研究<sup>1)2)3)</sup>の対象岩盤として、不均質岩盤である礫岩を対象とするケースが生じている。礫岩は、物性が異なる礫と基質の複合材料であり、礫と基質に関する複数の要因が礫岩物性に対して複雑に関与している。最近では、礫岩の礫の分布特性に関する評価手法の研究<sup>4)5)</sup>や、礫混じり軟岩の力学特性についての研究<sup>6)</sup>、大深度堆積礫岩の力学特性についての研究<sup>7)8)</sup>等が報告されるようになったが、礫岩は世界的に見ても調査・研究事例が少なく、礫を含むことによる岩盤物性への影響等、未だ解明されていない部分が多いのが現状である。

一方、礫岩の物性評価手法の現状について目を向けてみると、現段階では適切な礫岩の物性評価手法がないことから、大型構造物の基礎岩盤の安定性評価に用いる物性値としては、従来の試掘坑を利用した原位置岩盤試験(岩盤せん断試験、平板載荷試験)あるいは試験仕様、より大型の原位置岩盤試験の結果を用いている。また、小規模構造物の場合には、経済的な制約により十分な調査・試験が実施できないことから、安全側の設計と称して礫岩の最も強度

の小さい部分、例えば基質の物性のみを用いて岩盤物性を見なすことが多い。しかし、一般に礫岩には割れ目がほとんど存在しないことから、岩盤としての礫岩の物性をコア試験から評価できる可能性がある。すなわち、礫岩を均質要素として評価できる条件、例えば礫岩の強度・変形特性と、礫径および供試体寸法との関係等が明らかとなれば、コア試験により岩盤の物性評価が可能になるものと思われる。そのためには、乱れのない(少ない)礫岩コアを用いた室内試験を実施して、礫岩の強度・変形特性に関する寸法効果の影響について検討し、得られたコア試験結果と岩盤試験結果との比較検討を行う必要がある。さらに、CAESのような大深度岩盤の場合には、従来の試掘坑内による岩盤試験は多大な費用と時間を要することから、将来的には地表からのボーリング掘削により得られたコアの室内試験による物性評価も重要になると考えられる。しかし、コアの採取深度が非常に大きいため、コアの寸法が小さくならざるを得ないこと、あるいはサンプリング時の乱れの影響等によって、コアの強度および剛性が原位置岩盤よりも過大あるいは過小に評価されること、等の問題が生じる可能性がある。

以上のことから、筆者らは礫岩の品質・物性評価手法に関する研究を、今後新たに展開していく必要

があるとする。図-1に、(財)電力中央研究所で進めている礫岩の品質・物性評価に関する研究のフローおよび本報告の位置付けを示す。既報告<sup>7),8)</sup>では、調査・研究事例の少ない大深度の礫岩コアを用いた室内試験結果を速報として述べた。また、地質学的な観点に主眼を置いて、特に方解石含有率に着目した大深度の礫岩コアのゆるみに関して報告<sup>9)</sup>を行った。その後、筆者らは、この方解石含有率に加え、礫分含有率に関しても、コアの乱れに影響を与える要因であると考えて、これらの両要因の乱れに対する影響の程度に注目しながら工学的な観点から追加検討を実施した。本報告では、既報告<sup>7),8),9)</sup>の内容に対して礫分含有率に関する新しい知見を加味して再構成することにより、大深度礫岩コアの品質評価を試みた結果を報告する。

## 2. 試料採取地点の地質と室内試験の概要

### (1) 試料採取地点の地質および地質構造

ボーリング調査地点は、福岡県北九州市の小倉港の埋め立て地である。既往の文献<sup>10),11),12)</sup>および周辺の露頭調査により、その地下には礫岩を主体とした堆積岩が分布しているものと推定される。本地点において、深度600mのボーリング掘削および試料採取を実施した。

本地点の地質構造<sup>1)</sup>を図-2に示す。この地点の地質は、小倉炭田を構成する古第三紀層の大辻層群出山層からなり、本地点のボーリング調査および周辺の露頭調査の結果から、出山層は概ね走向N45°Wの単斜構造で、平均傾斜角8~9°と推定される<sup>1)</sup>。表層の約20mは埋土および沖積層からなり、これより以深は上位から順に、中原層(層厚約225m)、日明層(層厚約68m)、入口層(層厚約88m)、下到津層(層厚約76m)、上到津層(層厚約93m)、天籟寺層(層厚約28m)の6つの地層から構成される。上位の中原層および日明層では、電研式岩盤分類による岩級区分でC<sub>M</sub>~C<sub>II</sub>級が、また入口層以深ではC<sub>II</sub>~B級が卓越し、それぞれの地層は概ね上部から頁岩、砂岩、礫岩の順で岩相が変化している。ボーリング全長600mに占める各岩相の構成比率は、頁岩7%、砂岩26%、礫岩67%である。平均RQDは86%であり、全体的に破碎帯等の地層の断裂箇所は非常に少ない。

### (2) 室内試験の概要

採取した試料を用いて各種の室内試験を実施した。試験項目としては、物理試験の密度試験、そして力学試験の超音波速度試験、一軸圧縮試験である。なお、試験に用いた供試体は、直径5cmおよび高さ

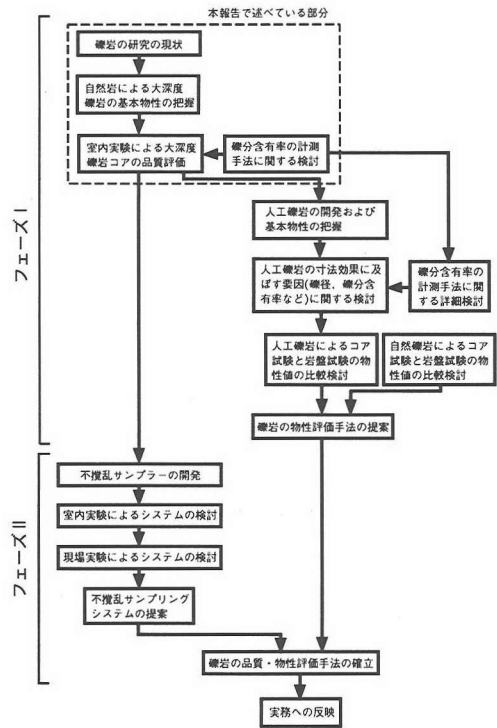


図-1 礫岩の品質・物性評価に関する研究のフロー図

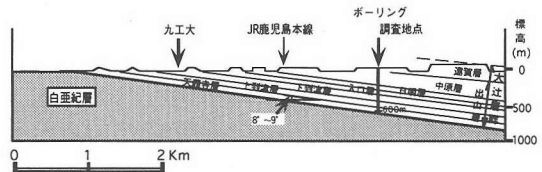


図-2 地質構造概要<sup>1)</sup>

10cmの円柱形である。また、供試体の直径 $d$ と最大礫径 $D_{max}$ の比 $d/D_{max}$ については、供試体の数値的条件から一般的に採用されている5~20程度の値を満足していない供試体を多く含んでいる。しかし、密度、超音波速度、一軸圧縮の各室内試験から得られた種々の物性値を対象とした予備調査によれば、すべての物性値において、 $d/D_{max}$ の値が5~20を満たす供試体と(それ以下の値の)満たさない供試体との間に差は見られなかった。このことから、 $d/D_{max}$ の値が本論文の結論に与える影響はないと考える。ひずみ計測については、供試体側面に貼付したゲージ長60mmのひずみゲージにより行った。また、対象とした岩種は主に礫岩であるが、比較のために砂岩および頁岩についても同様の室内試験を実施した。

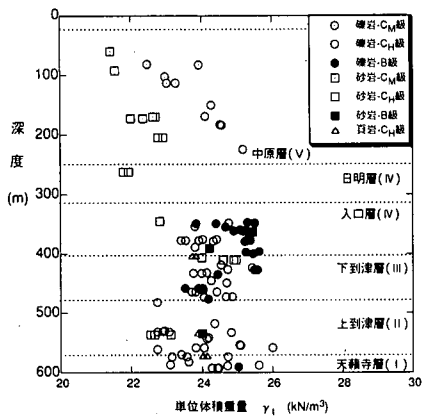


図-3 単位体積重量の深度分布

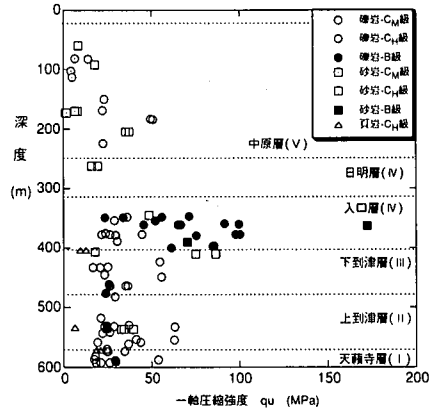


図-4 一軸圧縮強度の深度分布

以下に、室内試験結果の一部を示す。

a) 単位体積重量

図-3に単位体積重量  $\gamma_v$  の深度分布を示す。頁岩および砂岩に関しては、ほぼ深度との相関が見られるが、礫岩に関してはバラツキが大きいことがわかる。一般的に、堆積岩の物理特性に関しては深度依存性があり、特に軟岩においては明瞭であるといわれているが、今回の試験結果を見る限りでは、とりわけ礫岩に関して明瞭な深度依存性は見られない。

b) 一軸圧縮強度

一軸圧縮強度  $qu$  の深度分布を図-4に示す。同図中には、C<sub>11</sub>級あるいはB級と判定された礫岩コアにおいて、 $qu$  が20MPa付近のデータが見られる。

c) S波速度

超音波速度試験によるS波速度  $V_s$  の深度分布に関しては、図-5に示す通りである。この図より、 $V_s$  の深度分布は岩種によらず、明瞭な深度依存性が見られないことがわかる。

一般に、堆積岩の物理および力学特性には深度依存性が見られる場合が多いが、本サイトにおける堆積岩の場合には、岩種によらず明瞭な力学特性の深度依存性が見られない。この傾向は、特に礫岩に関して顕著である。この理由としては、礫岩が不均質であることや、古第三紀の堆積岩であることによるセメンテーション効果の影響等によるものと推定される。このことから、礫岩の物性評価を行う際には、新第三紀以降の比較的均質な泥岩や砂岩等の堆積軟岩の物性を評価する時よりも、供試体の不均質性やセメンテーション効果等について考慮する必要があると考えられる。

しかし、今回のような大深度礫岩を対象とする場合には、礫岩と言えどもサンプリングに伴うコアの乱れが生じていることが予想され、礫岩の物性評価

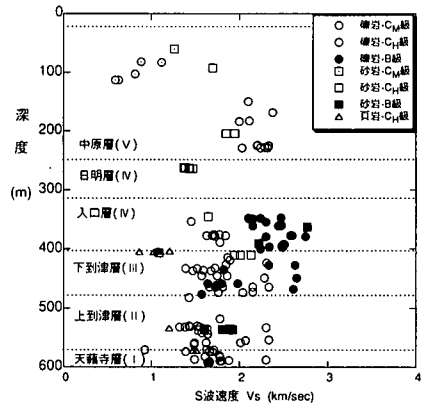


図-5 S波速度の深度分布

に先立ってコアの品質評価を実施しておくことが重要と思われる。よって、本論文では礫岩コアのサンプリングによる乱れの影響について調べるため、特に礫岩の不均質性(礫分含有率)、セメンテーション効果(方解石含有率)の2つに着目した礫岩コアの品質評価を行うこととする。

### 3. 礫分含有率の計測方法の検討

#### (1) 画像処理による計測方法の概要

ここでは、実用性に重点を置いた礫分含有率の計測方法について、精度と実務の両面から検討する。

供試体の礫分含有率を画像処理により計測するにあたり、画像中の礫とそれ以外の部分とを濃度の差を利用して、画像の2値化を行う。画像の素は、供試体の写真と展開図である。礫を含んだ2種類の画

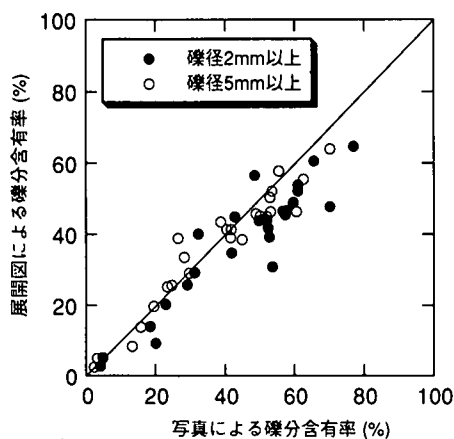


図-6 展開図による礫分含有率と写真による礫分含有率の関係

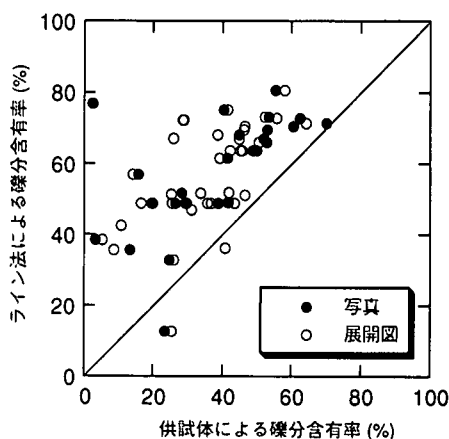


図-7 写真および展開図による礫分含有率とライン法による礫分含有率の関係

像，すなわち供試体の側面を一方向から撮影した写真と，供試体の側面に分布する礫を透明なOHPシートと油性マジックインキでトレースした展開図を，それぞれスキャナーで取り込む。礫とそれ以外の部分に分離された2値画像は，ソフトウェアによって礫分の計測処理が可能となる。なお，画像処理には当所で構築した創造的発想システム<sup>13)</sup>における静画像編集サブシステムを使用した。

## (2) 調査結果

### a) 画像処理結果

供試体側面の全周上の礫の分布状況を示す展開図より計測した礫分含有率と，供試体側面を一方向から撮影した写真を用いた場合とを比較した結果を図-6に示す。なお，同図中には，読み取りを行った礫径が2mm以上と5mm以上の2ケースについて示した。この図からは，展開図による礫分含有率と写真による礫分含有率の相関が高いこと，また，読み取りを行った礫径の最小値による違いが見られない，すなわち礫径の読み取りの精度に差が見られないこと等がわかる。通常，地盤工学の分野では，2mm以上の粒子径を持つ地盤材料を礫と称している。しかし，実際の現場における礫分含有率の計測作業を考えた場合には，2mm以上を礫として取り扱う計測は非常に困難であり，かなりの労力を要する。ここでは計測作業の軽減を考慮して，以下では5mm以上の礫を対象とする。なお，上述の結果を勘案すれば，5mm以上を礫として取り扱う方法が実務的であり，簡便法として有効であると思われるが，礫

径の読み取り精度による礫岩物性の違いに関しては，今後検討を要するところである。

図-7は，供試体の写真および展開図による礫分含有率と，供試体のサンプリング箇所を含むコアのライン法による礫分含有率との関係を示したものである。なお，ライン法による礫分含有率とは，長さ1mの1本の糸をコア上の長手方向に置き，その糸に沿った礫の占める線分の積算長を百分率で示した値である。同図より，ライン法による礫分含有率の方が供試体による礫分含有率よりも大きい値を示す傾向にあることがわかる。この違いは，対象とする礫岩の計測長さが異なること，また，ライン法では礫分含有率が小さいほど礫1個の存在の有無が礫分含有率の値に与える影響が大きいこと等が原因であると思われる。

### b) 画像処理結果と粒度試験結果の比較

供試体を構成している礫の粒度分布を直接求めるために，上記の方法により画像処理を行った供試体の中から任意に10供試体を選び出し，土質試験で通常実施されている室内粒度試験を行った。試験の前処理として，供試体はふるい分けが可能のように塩酸を用いてバラバラにした。

図-8は，礫岩供試体の写真および展開図を用いて画像処理により算出した粒度分布と，粒度試験による粒度分布を比較した一例である。同図中の粒径加積曲線を見る限りでは，全体的に粒度試験による方法と画像解析による2種類の方法的な曲線形状の違いは小さいように思われる。また，最大粒径や5mm礫径，およびそれらの百分率に関しても，計測方法

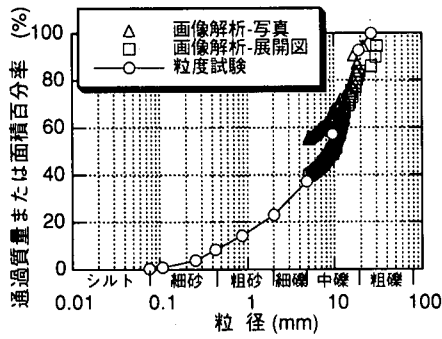


図-8 写真および展開図による粒度分布と粒度試験による粒度分布の比較例(深度346.69~346.79m)

による明瞭な違いは見られない。このことから、粒度試験による礫分含有率を基準と考えた場合には、展開図による画像処理は粒度試験とほぼ同等に、一方、写真による画像処理は粒度試験よりも過大気味に、それぞれ礫分含有率を評価する傾向にあることがわかる。以下では、展開図による面積比の礫分含有率を対象とする。

#### 4. 礫岩の基質および基質-礫間の充填鉱物

出山層から採取された深度600mまでの礫岩コアについて、基質および基質-礫間の観察を詳細に行った。その結果、基質および基質-礫間の充填鉱物として、カオリナイト、方解石、黄鉄鉱が確認された。白色粘土鉱物のカオリナイト(X線回折分析にて同定)および炭酸塩鉱物の方解石(X線回折分析にて同定)については、ボーリングコアの全般に渡って含まれているが、黄鉄鉱に関しては深度450~550m間付近において微量が確認された。黄鉄鉱は、酸化によって周辺地盤を劣化させる鉱物であるが、酸化しなければ礫岩の物性値に影響を及ぼさないと考えられる。ここでは、酸化のない新鮮な礫岩を対象とすることから、以下では基質および基質-礫間の充填鉱物として確認されたカオリナイトおよび方解石について述べる。

カオリナイトは、コア全体というよりは基質-礫間に部分的に固まりとして混入している場合が多い。また、カオリナイトが多量に混入している場合には基質が柔らかく、ボーリング掘削によりコア径が若干小さくなる等のコア形状に影響を及ぼしている。このことから、深度200~600m間に対してコアの

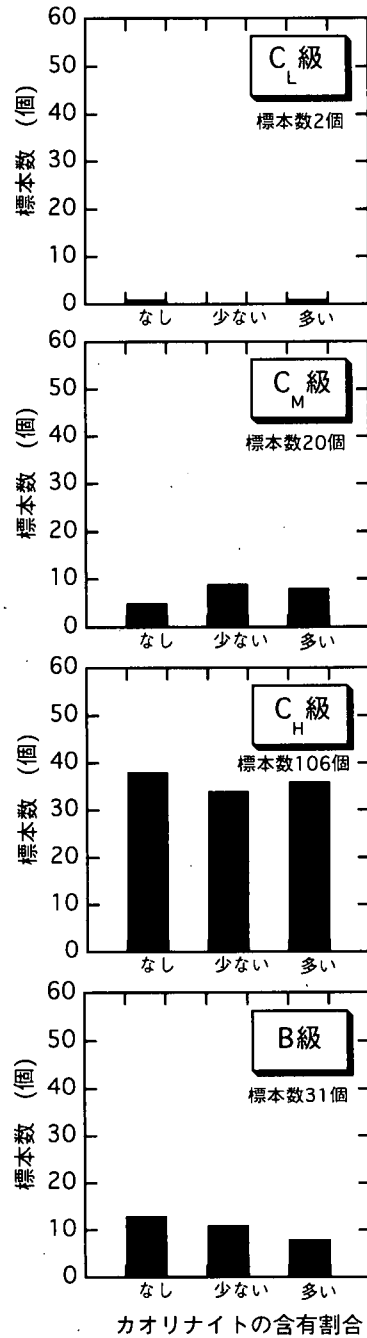


図-9 カオリナイトの含有割合と岩級の関係

表面観察による定性的な量比(なし, 少ない, 多い)を算出してみた。その結果を図-9に示す。同図中のカオリナイトの含有割合と岩級との関係を見ると、両者の間には明瞭な相関が見られないことから、カオリナイトの含有割合が岩級を支配する主たる要因にはなっていないことが知られる。

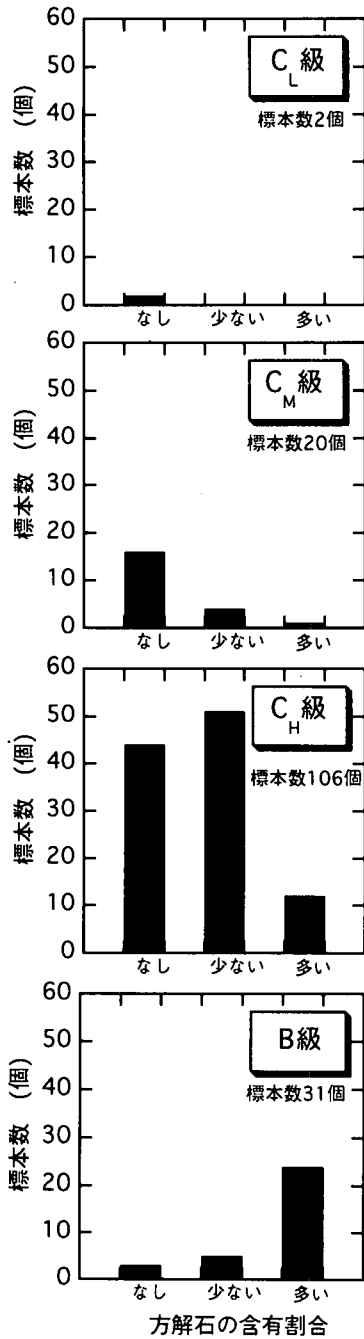


図-10 方解石の含有割合と岩級の関係

一方、堆積岩である出山層の礫岩には、長い年月の間に受けたセメンテーション作用によって生成されたカオリナイトの他に、入口層および下到達層付近を中心に方解石が多量に充填されている箇所がある。方解石が充填されている場合には、カオリナイトの場合と異なり、基質または基質-礫間の間隙を

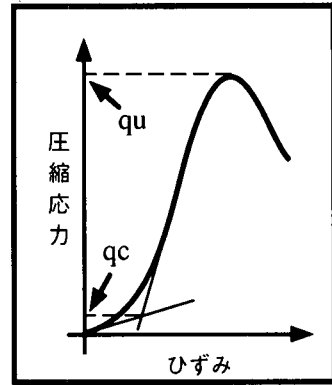


図-11 qcの算出方法

方解石が膠結して硬質化していることから、コア外径はビット内径とほぼ等しく、きれいな棒状である。カオリナイトの場合と同様に、コアの表面観察によって方解石の定性的な量比を調べた。その結果を図-10に示す。図-10の方解石の含有割合と岩級との関係を見ると、方解石の含有割合が大きくなるにつれて岩級がC<sub>L</sub>→C<sub>M</sub>→C<sub>H</sub>→Bと高い方に分類される傾向にあること、また、方解石が多い場合にはB級に分類されていること等がわかる。なお、カオリナイトは、基質が粗粒な礫岩に多く見られ、逆に方解石は、基質が細粒な礫岩に多く確認された。

以上のことから、深度600mの大深度から採取された礫岩のコア形状は、基質および基質-礫間の充填鉱物であるカオリナイトおよび方解石の含有割合が関与していることがわかる。また、特に方解石については、その含有割合が岩級に対して大きく影響していることが明らかである。

## 5. コアの品質に影響を与える要因に関する検討

### (1) サンプルングによる乱れの指標

サンプルングによるコアの品質を示す指標としては、一般に供試体の破壊強度や破壊ひずみ、初期変形係数などが用いられている<sup>14)</sup>。今回、礫岩コアの品質の変化に対して敏感な指標について検討した結果、以下に述べるqc/quとS波速度Vsの2つの指標が、他の指標に比べて有効であることがわかった。

最初の指標qc/quは、今回新たに定義する指標であり、図-11に示すように一軸圧縮試験により得られた応力-ひずみ曲線から、軸圧縮応力の載荷初期に見られる初期接線と最急勾配直線との交点の応

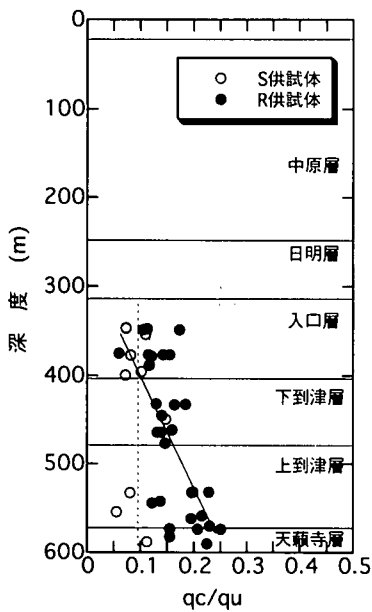


図-12  $qc/qu$ の深度分布

力 $qc$ と一軸圧縮強度 $qu$ の比 $qc/qu$ として算出した。この指標は、ゆるみを生じた供試体による一軸圧縮試験の応力-ひずみ曲線において、ゆるみの程度が大きいほど、軸応力の載荷初期に見られるS字曲線が明瞭に見られるという経験則に基づいており、供試体の一軸圧縮強度 $qu$ に応じたゆるみの程度、すなわち $qc$ を表現するために、 $qc$ を $qu$ で正規化している。 $qc/qu$ 値と深度との関係を図-12に示す。

一方、サンプリングによる礫岩供試体の乱れは、供試体中に含まれるセメンテーション物質、すなわち鉱物の種類や含有量などに左右されることが予想された。このことから、供試体の偏光顕微鏡観察を行った結果、定性的には方解石の含有率の大小に対応して、供試体表面が滑らかなものと粗いものと2つに大別できることがわかった。本論文では、本章の後半で詳述する方解石含有率 $Pca$ の値に着目し、 $Pca$ の値が15%以上のものをS供試体、逆に15%以下のものをR供試体と定義する。なお、供試体観察によれば、S供試体は供試体表面が滑らかであり、一方のR供試体は供試体表面が粗いことから、定性的な両者の区別は比較的容易である。また、供試体表面の粗度と方解石の含有率の組み合わせは以上の2通りだけであり、その他の組み合わせは存在しない。図-12によれば、S供試体の $qc/qu$ の値が深度に関係なく0.1程度の一定値を示すのに対し、R供試体では深度の増加と共に $qc/qu$ の値が0.05~0.25の範

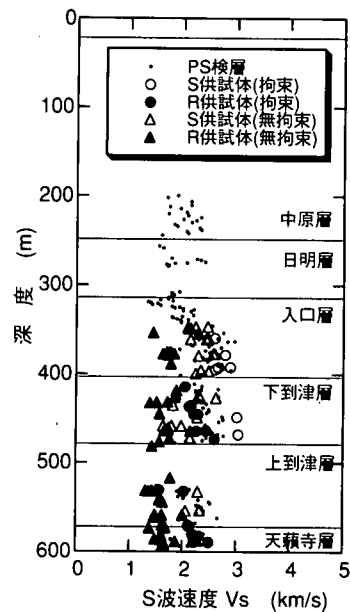


図-13 原位置および室内試験による $Vs$ の深度分布

囲で増加する傾向が見られる。これは、セメンテーション物質である方解石の含有率が小さいR供試体が、サンプリングによる乱れの影響を受けたものと思われる。

次に、S波速度 $Vs$ に関して述べる。図-13は、原位置<sup>1)</sup>でのPS検層および室内試験による $Vs$ の深度分布を示している。なお、 $Vs$ の測定区間は原位置および室内試験で、それぞれ1m、10cmと違いがあるが、本地点の礫岩には亀裂がほとんど存在しないことから、いわゆる $Vs$ に関する岩石と岩盤の違いは小さいと考えられる。同図より、土かぶり圧相当の拘束圧下における室内試験の $Vs$ は、供試体の種類によらず原位置のPS検層による $Vs$ とほぼ等しいこと、一方、無拘束圧下における室内試験の $Vs$ は、S供試体においてはPS検層の $Vs$ とほぼ等しいが、R供試体においては $Vs$ の値がPS検層の $Vs$ よりも低下していること等がわかる。このことから、上述した方解石の含有率の大小、サンプリングによる乱れが、物性に影響を与えていることが推察できる。

## (2) 礫分含有率

図-14は、 $qc/qu$ と礫分含有率 $Pg$ の関係を示している。なお、図中の実線および点線は、ともに最小二乗法により求めたものである。R供試体においては、 $Pg$ が大きくなるにつれて $qc/qu$ が小さくなる傾向が見られる。しかし、S供試体に関しては、こ

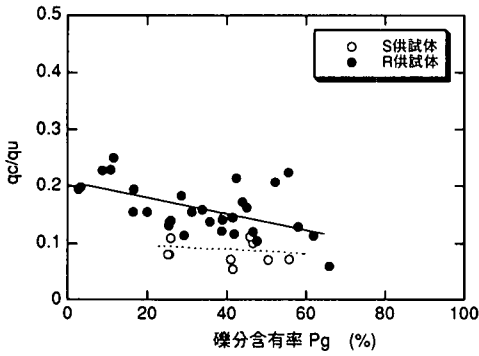


図-14 qc/qsとPgの関係

の傾向が明瞭ではない。また、図-12および図-14より、R供試体の $q_{ul}$ は深度が大きくPgが小さいほど、サンプリング時の乱れの影響を受けやすいものと推定される。

図-15は、方解石の含有率とPgに着目した場合の、無拘束圧下における室内試験のVsとPS検層のVsの深度分布である。PgによるVsの原位置と室内の違いは小さいが、供試体の種類によるVsの違いは明瞭である。すなわち、S供試体ではPgに関係なく原位置と室内のVsはほぼ一致するが、R供試体では室内のVsの方が原位置のVsよりも小さくなる傾向が見られる。

VsとPgの関係をわかりやすくするために、無拘束圧下の室内試験によるVsとPgの関係を図-16に示す。なお、図中の実線および点線は、ともに最小二乗法により求めたものである。同図より、S供試体がPgに関係なくVsがほぼ一定値を示しているのに対し、R供試体のVsはPgの影響を受けて、Pgが大きくなると共にVsが大きくなるのがわかる。このようにR供試体において、Pgが大きくなることに比例してVsが大きくなる理由としては、方解石の含有率が小さいためにサンプリングによる乱れを生じた基質の中に、Vsの大きい礫が多く含まれるにつれて供試体全体としてのVsが大きくなるためと考えられる。逆に、S供試体ではPgに関係なくVsがほぼ一定値を示している理由は、方解石の含有率が高いためサンプリングによる乱れを生じ難い基質が、礫のVsにほぼ等しいためと推定される。

### (3) 方解石含有率

これまでの検討結果から、礫岩コアの品質に影響を与える要因の1つとして方解石の含有率が重要で

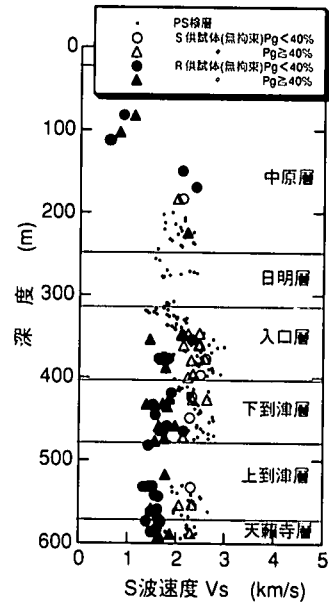


図-15 無拘束圧下における室内試験のVsとPS検層のVsの深度分布

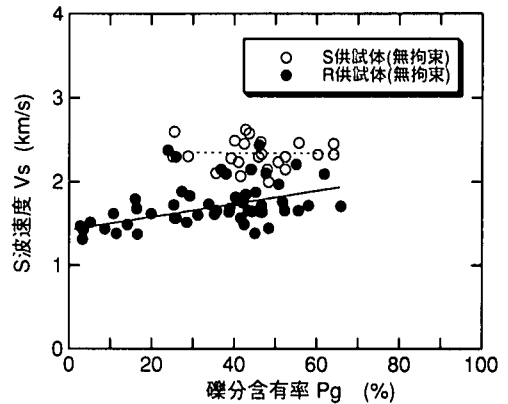


図-16 無拘束圧下の室内試験によるVsとPgの関係

あることがわかった。ここでは、方解石の含有率の定量化を試み、得られた方解石含有率Pcaと礫岩物性の関係について述べる。

#### a) 方解石の定量化

礫岩供試体の方解石の定量化については、供試体の表面のみでなく内部の方解石を含めた供試体全体の方解石について行う必要がある。そこで、方解石含有率Pcaは、塩酸により方解石を除去する方法、すなわち塩酸による処理の前後における供試体の重量差を処理前の供試体重量で割って算出した。



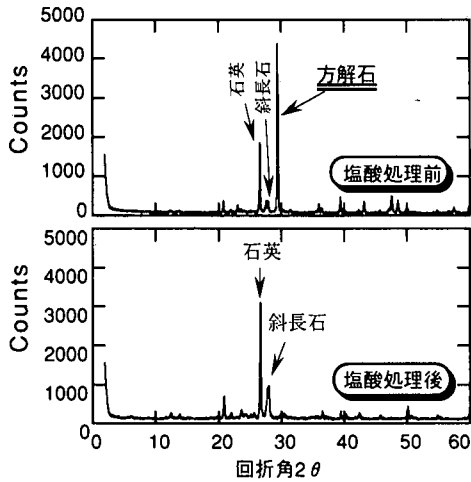


図-17 X線回折分析による塩酸処理前後における供試体の鉱物組成の比較

ところで、以上の方法では塩酸によって溶出される鉱物が方解石のみであることを確認する必要がある。そこで、X線回折分析による塩酸処理前後における供試体の鉱物組成の比較を実施した。その例を図-17に示す。同図に示すX線回折のチャートより、塩酸処理前の供試体に方解石のピークが確認されるが、処理後の供試体には方解石のピークが確認されないこと、また、塩酸による処理は方解石以外の鉱物には影響を与えていないこと等がわかる。

b) 物理・力学特性に及ぼす影響

方解石含有率 $Pca$ と単位体積重量 $\gamma_t$ の関係を、図-18に示す。なお、同図中のデータは、すべて $Pg$ が40~60%の供試体であり、図-14および図-16より、この程度の範囲では $Pg$ の違いが礫岩コアの品質に与える影響は小さいと考えられる。また、図中の実線は最小二乗法により求めたものである。同図によると、 $Pca$ が大きくなると共に $\gamma_t$ も大きくなる傾向が見られることが、 $Pca$ による $\gamma_t$ の変化の割合は比較的小さいこと、また、 $\gamma_t$ は深度よりも $Pca$ に依存していること、等がわかる。これは、礫岩の基質部の間隙を、水より比重の大きい方解石が埋めているためと推定される。また、前述した表面観察による $Pca$ の大小による分類、すなわちS供試体とR供試体の区別は、 $Pca$ が15%付近を境に分類されていたことがわかる。

次の図-19は、 $Pca$ と室内無拘束圧下におけるS波速度 $V_s$ の関係を示している。この図からは、 $Pca$ が大きくなると共に $V_s$ も大きくなっていることがわ

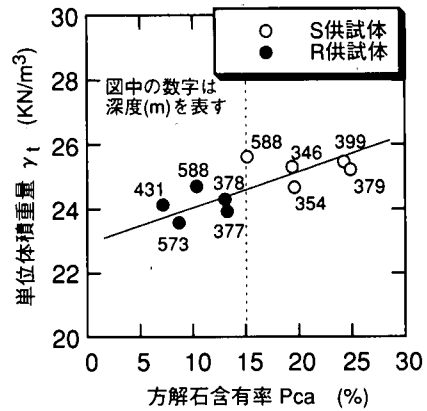


図-18  $Pca$ と $\gamma_t$ の関係

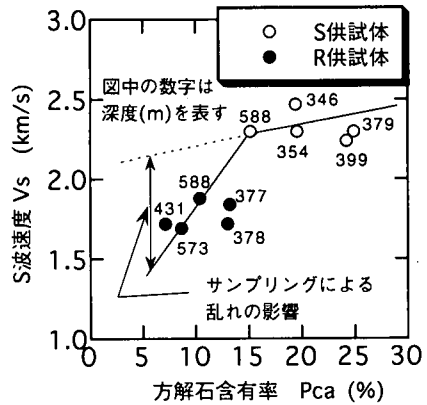


図-19  $Pca$ と室内無拘束圧下における $V_s$ の関係

かる。しかし、 $Pca$ による $V_s$ の変化は、 $Pca$ による $\gamma_t$ との関係よりも大きく、 $Pca$ が15%付近を境に折れ曲がるような関係が存在していると考えられる。また、この図からは $V_s$ の深度による依存性は見られず、例えば深度377~379m付近あるいは深度588mのS供試体とR供試体とを、それぞれ比較すれば明らかなように、R供試体の $V_s$ の方がS供試体と比較して小さくなっていることがわかる。以上の理由としては、 $Pca$ が小さく固結力の小さいR供試体がサンプリング、すなわち大深度のボーリング掘削や応力解放等の影響によって乱れが生じたため、S供試体の $V_s$ - $Pca$ 関係と比較して低下しているものと考えられる。

最後に、 $Pca$ と $qu$ の関係を図-20に示す。同図を全体的に見ると、供試体の種類に係わらず $Pca$ が大きくなるに従って $qu$ も大きくなっている。しかし、

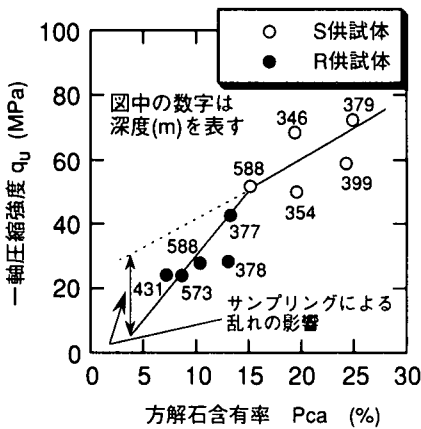


図-20 Pcaとquの関係

Pcaとquの関係をS供試体とR供試体について比較すると、前述したPcaとVsの関係と同様にPcaが15%付近で折れ曲がるような関係が見られる。一般に、quとVsとは相関が高い関係にあることから、quがPca≒15%付近で強度が低下している理由についても、サンプリングによる乱れの影響と推定される。

以上のことから、先に述べたように、C<sub>11</sub>級あるいはB級と判定された礫岩コアの一軸圧縮強度が20MPa付近の小さい値を示した理由としては、礫分含有率や方解石含有率が小さい場合(R供試体)においてサンプリングによる乱れが供試体内に生じてしまったためと考えられる。今後は、qc/quやVsといった指標を用いて、サンプリングによる乱れの程度に関する定量的な評価を行う必要がある。

## 6. まとめ

北九州市の古第三紀層である大辻層群出山層からサンプリングした深度600mの大深度礫岩を用いて、コアの品質評価を実施した。特に、礫分含有率、セメンテーション物質である方解石含有率が、礫岩コアの品質に与える影響について検討を行った。

本研究で得られた主な知見をまとめると、以下に示す通りである。

(1)礫岩コアの品質に影響を与える礫分含有率について、計測精度および作業性の観点から有効な計測方法の検討を行った。その結果、粒径加積曲線による比較では、全体的に画像処理と粒度試験の曲線形状の違いは小さく大略同じ粒度分布であるが、実務上は供試体側面の展開図を用いた画像処理による方

法が有効であることがわかった。

(2)サンプリング時のコアの品質を示す指標として、礫岩コアの品質の変化に対して敏感な指標について検討した結果、qc/quとS波速度Vsの2つの指標が、他の指標に比べて有効であることがわかった。すなわち、qc/quが大きいほど、あるいはコアのVsが原位置岩盤のVsよりも小さいほどコアの品質が悪く、サンプリングによる乱れが大きい。

(3)サンプリングによる礫岩コアの品質に影響を与える要因の中で、ここでは礫分含有率と礫岩のセメンテーション物質である方解石含有率に着目して、礫岩コアの品質に関する検討を行った。その結果、方解石含有率が小さい場合(15%以下)には、礫分含有率が小さいほどサンプリングによる乱れの影響を受けやすいことがわかった。一方、方解石含有率が大きい場合(15%以上)には、礫分含有率の影響は、ほとんど認められなかった。

以上のことから、本サイトで見られる特に方解石含有率の小さい大深度礫岩(R供試体)の品質評価においては、qc/quやVsといった指標を用いてサンプリングによる乱れの程度を把握することが肝要である。また、今回の結果を工学的に利用する際には、例えば、礫分含有率が40~60%である供試体のVs-Pca関係の場合は、Pcaが15%以下の試験データに関してはサンプリングによる乱れの影響を受けていることが予想されるため、乱れのない(少ない)Pcaが15%以上の試験データを用いた関係式(例えば最小2乗法による直線)をPcaが15%以下まで外挿して、Vsを推定することが必要である。今後は、さらなる試験データの追加を含め、これらの指標を用いて、サンプリングによる乱れの定量的な評価を行う予定である。さらに、乱れを生じない、新しい概念によるサンプリング手法の開発に挑戦したい。

## 参考文献

- 金子和宏, 江藤芳武, 野崎明人, 中川加明一郎, 志田原巧, 川崎了: 堆積岩盤における水封機能実証試験について, 第6回圧縮空気貯蔵(CAES)研究連絡会, pp.9~16, 1996.
- 中川加明一郎, 川崎了, 志田原巧, 江藤芳武, 野崎明人: 堆積岩盤における地下水特性の試験結果, 土木学会第51回年次学術講演会, 第3部(A), pp.612~613, 1996.
- 金子和宏, 江藤芳武, 野崎明人, 中川加明一郎, 川崎

- 了：CAES-G/T発電における地下貯槽周辺地盤温度及び圧縮空気温度に関する熱解析，第7回圧縮空気貯蔵(CAES)研究連絡会，pp.25～30，1997.
- 4)和田弘，西田和範，亀谷祐志：ボーリングコアにおける礫含有率評価手法の検討，第26回岩盤力学に関するシンポジウム，pp.341～345，1995.
- 5)高橋康裕，西野隆之，入谷剛，亀谷祐志：面積法による礫含有率の評価精度に関する考察，土木学会第50回年次学術講演会，pp.36～37，1995.
- 6)小林隆志，吉中龍之進：礫混じり軟岩の強度・変形特性に関する研究，土木学会論文集，No.487/Ⅲ-26，pp.31～40，1994.
- 7)川崎了，中川加明一郎，江藤芳武，野崎明人，小泉和広：大深度堆積礫岩の力学特性—室内試験による一考察—，第32回地盤工学研究発表会，pp.1197～1198，1997.
- 8)川崎了，中川加明一郎，江藤芳武，野崎明人，小泉和広：堆積礫岩に及ぼす炭酸塩鉱物(方解石 $\text{CaCO}_3$ )の影響について，第32回地盤工学研究発表会，pp.1231～1232，1997.
- 9)川崎了，中川加明一郎，江藤芳武，野崎明人，小泉和広：方解石含有率に着目した大深度堆積礫岩の物性に関する検討，応用地質，第38巻，第5号，pp.252～264，1997.
- 10)唐木田芳文：日本の地質 9 九州地方，共立出版株式会社，pp.102～107，1992.
- 11)建設省計画局・北九州市：北九州市地区の地盤，都市地盤調査報告書，第18巻，pp.1～168，1968.
- 12)松下久道：洞海湾周辺地質調査報告 洞海湾周辺地質図，日本道路公団若戸橋調査事務所，1957.
- 13)萩原豊，角湯正剛，山本公夫：創造的発想システムの構築と景観シミュレーションへの適用，電力中央研究所報告，U95045，1996.
- 14)例えば，龍岡文夫，木幡行宏，壺内達也，村田健司，王林：軟岩のロータリーコアサンプリングによる試料の乱れ，サンプリングに関するシンポジウム発表論文集，(社)地盤工学会，pp.15～22，1995.

(1997.11.27 受付)

## QUALITY EVALUATION OF DEEP CONGLOMERATE CORE SAMPLES BASED ON LABORATORY TESTS

Satoru KAWASAKI, Kameichiro NAKAGAWA, Yoshitake ETO, Akito NOZAKI  
and Kazuhiro KOIZUMI

In case of constructing underground structures in deep conglomerate, it is considered that strength and deformation properties of conglomerate core samples are occasionally overestimated because of gravel effect, while the properties are underestimated because of sample disturbance by core sampling. A series of laboratory tests was therefore performed using deep conglomerate core samples and the quality evaluation of the samples was conducted. In this paper, it is presented that the sample disturbance which gives influences to the quality of the samples is complicatedly concerned with gravel fraction content and calcite content. Especially the smaller the calcite content and the gravel fraction content are, the more extensively the sample disturbance is influenced.