

ボーリングコアの評価手法の研究と課題

宮田 浩志郎¹・桑野 一彦¹

¹(一社)関西地質調査業協会 技術委員 (〒550-0004大阪市西区靱本町1-14-15本町クィーバービル4階)

(一社)関西地質調査業協会では、「ボーリングコアの評価手法」について、検討・研究中であり、本発表ではその成果について報告する。従来、ボーリングコア採取は、主にコア採取率をもって評価されてきたが、本研究では「コア採取の難易度」と「コアの見栄え」の2つの観点を反映するコア評価手法を検討してきた。「コア採取の難易度」は硬軟の不均質性や亀裂の発達度や特殊地質の有無、地下水の状況等を評価項目とし、「コアの見栄え」は従来の採取率に加え、試料の乱れや割れ目の状態等を評価項目とした。また、検討したコア評価手法(案)を用いて、コア評価した結果を分析・評価し、コア評価手法の妥当性を確認した。

キーワード：ボーリングコア、コア評価手法、コア採取の難易度、コアの見栄え

1. はじめに

関西地質調査業協会技術委員会では、「ボーリングコアの評価手法」について検討・研究を行っている。本発表はその研究成果の中間報告であり、H28～H31年度の全国地質調査業協会連合会主催の技術フォーラムで「ボーリングコアの評価手法の研究と課題(その1～その4)¹⁻⁴⁾」のその後の検討成果をまとめた報告である。

従来、ボーリングコア採取の品質評価は主にコア採取率により評価されてきたが、本研究では「コア採取の難易度」と「コアの見栄え」の2つの観点を反映するコア評価手法を検討してきた。本発表では、検討してきたコア評価手法(案)を報告し、この評価手法を用いた評価結果について分析・評価を行い、妥当性について検証を行った。

2. 本研究の目的

本研究の目的は、下記の2点である。関西地質調査業協会では、本研究を通じてボーリングコア採取技術の適正な評価、ひいてはボーリング調査の技術力向上に寄与したいと考え、取り組んでいる。

- ① ボーリング掘削単価に対して採取したコアの品質を反映するための手法を検討すること
- ② 若手技術者・ボーリングオペレータの技術力向上

地質調査における業務目的を達成するためには、その目的に応じた品質の良いボーリングコアの採取が必要である。例えば、断層や地すべり面の存在を確認するためには、重要な部分の地盤をできる限り自然な状態を保持したまま採取することが求められる。このような良質なボーリングコア採取には、ボーリングオペレータの熟

練した「技術力」と丁寧な作業にかかる「労力」、多様な地質条件に対して最適なツールズで対応するための「様々な資材の準備」が必要である。

一般にイメージされる、良い品質(乱れが少ない)のボーリングコア、悪い品質(乱れが多く、元状態を想像できない)のボーリングコアのイメージを図-1に示す。

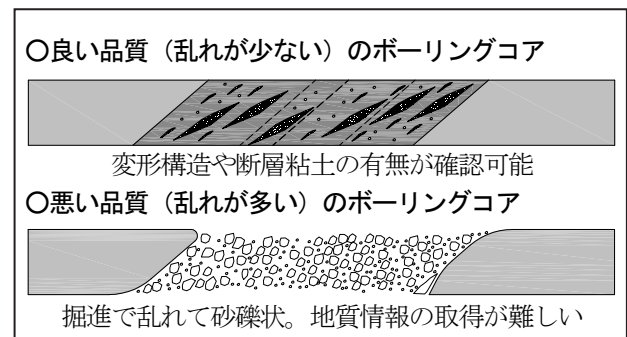


図-1 コア品質の違いのイメージ(破碎帯の場合)

現状では、主に地盤の硬さや土質などによって掘進単価が設定されているものの、対象とする地盤条件によっては、業務の目的を満足する品質のコア採取に、掘削単価以上の労力や費用がかかる場合もある。そこで、本研究では、ボーリングコアの品質評価にあたり、従来のコア採取率だけでなく、対象とする地盤に応じたコア採取の難易度及び採取したコアの見栄え(自然状態の保持の程度)を評価の対象に加えることを検討した。

また、ボーリングコアの品質評価手法に加え、品質の良いボーリングコアの例、悪い場合の例などを公表・共有することで、若手地質調査技術者やボーリングオペレータの技術力向上を促していく参考資料とすることも重要な目的の一つである。

3. ボーリングコアの評価手法の検討

前述の研究目的を満足するためには、評価者が異なっても同様の評価結果となるような客観性・再現性がある評価基準が必要となる。また、良い品質や悪い品質のボーリングコアについて公開していくためには、業務の発注者に理解をいただく必要があることも本研究の課題である。

ボーリングコアの評価手法について、下記着目点について詳述する。

- ① ボーリングコア例（写真・柱状図）の収集
- ② 評価項目の大分類
- ③ 評価項目の小分類
- ④ 評価基準表の試験運用と調整

(1) ボーリングコアの例（写真・柱状図）の収集

ボーリングコアの評価にあたり、基礎資料となるボーリングコア写真および柱状図を収集した。収集したボーリングコア資料は、花崗岩などの火成岩、結晶片岩などの変成岩、砂岩・泥岩などの堆積岩である。

(2) ボーリングコア評価項目の大分類

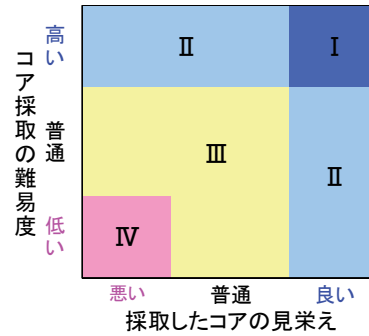
ボーリングコアの品質は、「見栄え」、「難易度」、の2点をもとに評価することが必要と考えられる。本研究の目的は、「品質及び技術の向上」であり、上記2点の評価が高いほど、良質なボーリングコアであると判断できる。評価の要点は以下のとおりである。

1点目の評価項目は「コアの見栄え」であり、地下の状態をどれだけ保持できているかという点で評価する。ボーリングコアの利点は地下の地質情報を直接観察できることである。つまり、地下の状態そのままの形で地上に抜き出せたボーリングコアが最も良い品質であると言える。そのため、採取率の低いもの（細粒分などが流出）や乱れた、割れ目が開いてしまったものは、品質の低いボーリングコアと判断する。

2点目の評価項目は「コア採取の難易度」であり、採取が難しいほど高く評価する。熟練のオペレータにしか採取できないと認識されている地質・地層がある一方、熟練度の低いオペレータでも容易に採取できる地層も存在する。つまり、ボーリングコアの採集が困難なほど、オペレータの掘進技術や労力、多様な資機材など必要となる。このことを考慮すると、同程度の見栄えのコアであっても採取難易度の高いコアであれば、品質はより高く評価すべきと考えられる。

コアの見栄えは、体操競技にたとえると「Eスコア」に当たるもので、採取したボーリングコアの見目の良さを表現する。コア採取の難易度とは、体操競技における「Dスコア」に当たるもので、ボーリングコアを採

取る難しさを表現する。図-2 に評価手法のイメージ図を示す。



| | |
|-----|----------------------------------|
| I | 普通工法ではごく一部のオペレータしか採取できないレベル |
| II | 普通工法では熟練の技術力を要するオペレータしか採取できないレベル |
| III | 通常の技術力を要したオペレータが普通工法で採取可能なレベル |
| IV | 技術力の低いオペレータであり、調査目的によっては掘り直すレベル |

図-2 評価方法のイメージ図

(3) 評価項目の小分類

具体的な評価項目を以下に示す。

a) コア採取の難易度の評価項目

コア採取の難易度は、「地質条件」と「掘削条件」の2つに区分し、地質条件により重点を置いて評価する。地質条件は、岩盤の硬軟の不均質性など地質に起因する難易度を評価し、掘削条件は作業性に起因する難易度を評価する。

なお、ボーリングコアの観察に関する経験・知識の度合いによって評価が異なることを極力防ぐために、客観的かつ再現性を確保できるよう、ボーリング柱状図の記載事項をもとに評価することとした。

地質条件の評価項目は、以下の4つに区分した。

- ① 硬軟の不均質性
- ② 亀裂の発達度
- ③ 特殊地質の有無
- ④ 地下水状況

①及び②で示すような硬軟に不均質性がある場合や亀裂が発達する場合は、掘進によってボーリングコアに乱れや流失が生じやすい。そのため、良質なボーリングコアの採取には、コアチューブ先端のビットに対し、給圧や回転数を細かく調整する必要があり、その技術的難易度を評価するものである。

③特殊地質である場合には、①・②と同様に掘進時の技術的難易度が高くなると判断される。

④地下水状況は、孔壁の乱れや湧水・漏水などがボーリングコア採取の難易度に寄与する。

掘削条件の評価項目は、「孔径」、「深度」、「方向」の3つに区分した。これらの項目は現場での作業性に関する評価である。

b) コアの見栄えの評価項目

コアの見栄えは、コア採取率、乱れ、割れ目の状況の3項目とした。

コア採取率は、「ボーリングコアが1削孔長の長さに対するボーリングコアの全周が採取されているものの合計の長さの百分率で表す」と定義されており、コア評価の基本的な項目と考えられる。

乱れは、採取できたコアの乱れの度合いを評価する。掘進によるコアの乱れ、岩質や構造等の識別の可否で評価する。

割れ目の状態は、割れ目が掘削により自然な状態で採取しているかを評価する。例えば、振動により亀裂が開く場合やスライム(掘くず)が付着する場合などは見栄えが悪いと評価する。

(4) 評価基準表の調整

作成したボーリングコア評価基準表を用いて、ボーリングコアの評価を複数の技術者で実施し、その結果に基づき評価の調整を検討した。検討した項目は、次のa)～d)の項目について、評価表の修正を行った。

a) 硬軟、亀裂の発達度

・硬軟の評価のバラツキは、評価文書の見落としによる差異で発生している。そのため、評価手順のマニュアルを修正し、注意事項を記載した。

・亀裂の発達度における評価のバラツキは、一つの評価区間に異なる亀裂状態が存在する場合に、どの亀裂状態を評価するのか評価者によって差異が発生した。このため評価区間を按分し、最も区間長が長いもの、区間長が同じ場合は、難易度評価点が高い方を採用することとした。

・コア状態が互層や評価区間で細かく変化する場合には、劣化側の評価を採用することとした。

b) 特殊地質

・特殊地質は、岩種と構造のグループに分けた。
 ・特殊地質は、複数の要因が重なる場合があるため、複数選択を可とした。例えば、破碎帯と変質などのダブルカウント、破碎帯内にすべり粘土がある場合などを認めた。

・地すべり土塊(岩塊)としていた項目は、掘進が難しい地すべり面およびその周辺の岩盤劣化に変更した。

・蛇紋岩は、膨張性の少ないものがあるため、膨張性の顕著な蛇紋岩などに表記を変更した。また、膨張性の顕著な場合、高確率で掘削が非常に困難となるため、配点を引き上げた。

・片岩は片理面で割れやすい性質があるため、掘進方向に対して高角度に片理面が発達する場合、掘進時に振動などにより碎ける可能性が高く、コアとして採取するためには技術を要する。そのため、「高角度の片理面が発達した片岩」を追加した。

・破碎帯の評価は、評価のばらつきを抑えるため、柱状

図内に破碎帯の記号があればカウントし、記事にだけ記載されている場合はカウントしないこととした。

・変質の評価は、評価のばらつきを抑えるため、柱状図に変質記号：4が記述されている場合に評価し、記事にあっても評価しないこととした。

c) 地下水状況

・湧水は、評価のばらつきを抑えるため、地表面まで地下水水位が上がった場合にのみ、著しい湧水として評価することとした。

・逸水の判断は、顕著な逸水があった場合のみ評価し、顕著な逸水は送水量の50%未満の排水量の場合とした。(50%以上が逸水した場合が顕著な逸水と定義する)

d) コア採取率の問題

コアの見栄えの評価項目であるコア採取率は、コア写真と柱状図の採取率を見比べた場合、採取率の定義とずれた評価がなされているものが多く見受けられた。そのため、コア採取率に評価の大きな比重を置くことで客観性に問題があると判断した。そのため、コアの流出率という項目を追加した。なお、コアの流出率は、「コアが完全に採取できた場合の体積を100%とし、そこから掘進によりコアが流出した堆積を百分率で表す」と定義した。

上記検討結果を踏まえ作成したボーリングコアの評価基準表(案)を表-1に示す。「コア採取の難易度」および「コアの見栄え」ともに100点満点となるように配点・重み係数を調整した。

4. 評価手法の妥当性

表-1に示す評価表(案)の妥当性を確認するため、数値解析等を用いて、分析・評価を行った。その結果は、以下のとおりであり、「評価表の評点や評価の閾値」は妥当と考えられる。

評価手法の妥当性の確認にあたり、「コア採取の難易度」および「コアの見栄え」の評価点の閾値を柱状図およびコア写真から検討し、以下のとおり、仮設定した。

「コア採取の難易度」の閾値

容易(0～20点)

普通(20～40点)

困難(40～100点)

「コアの見栄え」の閾値

悪い(0～30点)

普通(30～80点)

良好(80～100点)

図-3に示したコア評価プロット図は、表-1をもとに評価した結果である。なお、コアの見栄えの評価区間は、ボーリングコアの評価区分は、難易度の評価区間と同様に硬軟等の変化毎に評価した。

表-1 ボーリングコア評価基準表(案)

| | | 地質条件(90点満点) | | | |
|--------------------|---|---|--|------|---|
| | | (①~②は評価区間の主体となる項目(同じ割合の場合は配点が高い方)を1つ選択、 ③は該当する構造、岩種から各1つ選択可、④は該当する項目を選択) | 配点 | 重み係数 | |
| コア採取の難易度 | ①硬軟の不均質性 (25点満点) | 隣接する上部区間から著しく軟質となる岩盤 (硬軟区分3ランク以上の軟質に変化する場合 :例A⇒D・E、B⇒Eなど) | 5 | 5 | |
| | | 隣接する上部区間から大きく軟質となる岩盤 (硬軟区分2ランクの軟質に変化する場合 :例A⇒C、B⇒Dなど) | 3 | | |
| | | 隣接する上部区間から軟質となる岩盤 (硬軟区分1ランクの軟質に変化する場合 :例B⇒C、C⇒Dなど) | 1 | | |
| | | 隣接する上部区間に硬軟の差が無い もしくは、軟質から硬質へ変化する岩盤 | 0 | | |
| | ②亀裂の発達度 (25点満点) | 砂状~粘土状が主体の岩盤 (形状区分VI~VII、亀裂が認められない) | 3 | 5 | |
| | | 角礫状が主体の岩盤 (形状区分V) | 4 | | |
| | | 片状コアが主体の岩盤 (形状区分IV、亀裂間隔が概ね5cm以下) | 5 | | |
| | | 片状から短柱状コア主体の岩盤 (形状区分III、亀裂間隔が概ね5以上15cm未満) | 2 | | |
| | | 柱状~棒状コア主体の岩盤 (形状区分I~II、亀裂間隔が概ね15cm以上) | 0 | | |
| | ③特殊地質 (30点満点) | 構造 | 破碎帯・破碎部(岩盤が破碎され、粘土~礫状部) ※柱状図に破碎帯記号がある場合のみ | 5 | 3 |
| | | | 変質帯・変質部(変質安山岩など) ※柱状図に変質記号4が記載されている場合のみ | | |
| | | | 地すべり面(地すべり粘土など)およびその周辺の岩盤劣化部 ※柱状図の記事に記載がある場合のみ | | |
| | | 岩種 | 構造として特殊な地質ではない | 0 | |
| | | | 膨張性が顕著な蛇紋岩など | 5 | |
| | | | 亀裂が多い硬質岩(チャートやホルンフェルスなど) 高角度の片理面が発達した片岩 岩種として特殊な地質ではない | | |
| | ④地下水状況 (10点満点) | 湧水が地表面以上(被圧水)に認められる | 5 | 2 | |
| | | 逸水が顕著(送水量の50%以下の排水量)に認められる。 地下水の問題はない | 0 | | |
| | 掘削条件(⑤~⑦より該当する項目を選択)(10点満点) | | 配点 | 重み係数 | |
| | ⑤掘削孔径 (1点満点) | φ66mm以下 | 1 | 1 | |
| | | φ86mm以上 | 0 | | |
| ⑥掘削深度 (6点満点) | 50m以下 | 0 | 2 | | |
| | 50m超80m以下 | 1 | | | |
| | 80m超120m以下 | 2 | | | |
| | 120m超 | 3 | | | |
| ⑦掘削方向 (3点満点) | 鉛直下方(鉛直±10°) | 0 | 1 | | |
| | 斜め下方(水平から下方10~80°) | 1 | | | |
| | 水平(水平±10°) | 2 | | | |
| | | 斜め上方~上方(水平から上方10~90°) | 3 | | |
| 採取したコアの見栄え | ①~④より該当する項目を選択(100点満点) | | 配点 | 重み係数 | |
| | ①コア採取率 (16点満点) | 90%以上 | 2 | 8 | |
| | | 70%以上90%未満 | 1 | | |
| | | 70%未満 | 0 | | |
| | ②コアの流出率 (24点満点) | 1%未満 | 3 | 8 | |
| | | 1%以上20%未満 | 1 | | |
| | | 20%以上 | 0 | | |
| | ③コアの乱れ (40点満点) | 割れ目や礫状部等にコアの乱れないコア  | 5 | 8 | |
| | | 掘進による割れ目の開口、マトリックスに乱れ生じているが、岩質や構造等の識別が可能もの | 3 | | |
| | | 岩質や構造、割れ目等の識別が不能なコア。あるいは、スライム  | 0 | | |
| ④割れ目の状態 (20点満点) | 割れ目が自然状態に保たれている。 | 5 | 4 | | |
| | 掘削時の振動などで生じた割れ目の開口が見られる。場合によっては、新たな割れ目が生じていたり、割れ目にスライムが付着したりする。 | 3 | | | |
| | 掘削の影響で、コアが角礫状等に砕け、割れ目の識別ができない。 | 0 | | | |

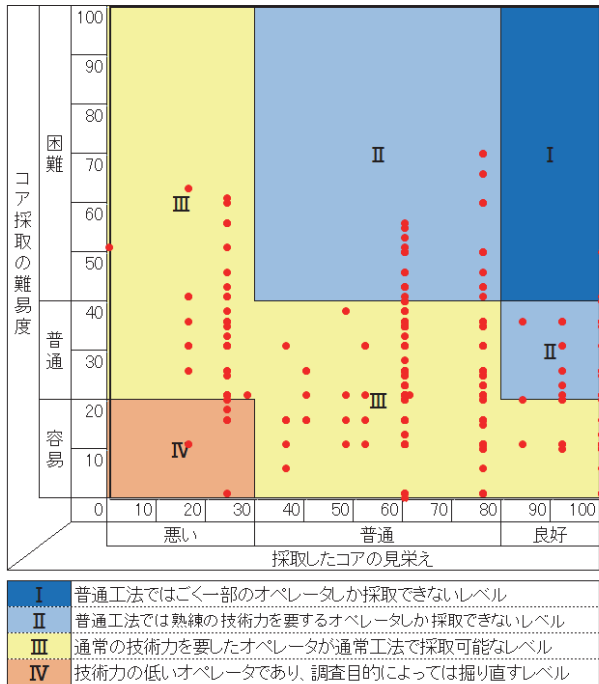


図-3 コア評価プロット図（評価表(案)による評価）

分析・評価の手法で、頻度分布図、数量化Ⅱ類による分析、AHP計算による分析の3つを実施した。

(1) 頻度分布図による評価

図-4は、コア採取の難易度と見栄えを対比した図であり、全体的な評価の分布傾向の把握した。

採取が容易なものほど見栄えが良いものが多く、採取が困難のものほど見栄えが悪いものが多いことを示しており、感覚的に理解しやすい結果となった。

従って、頻度分布が示す傾向からは、今回作成したボーリングコアの評価表は、概ね妥当な傾向を示していると評価される。

(2) コア採取の難易度の評価

コア採取の難易度の妥当性を確認するため、数量化Ⅱ類による分析をもとに評価を検討した。

- ・2軸評価(容易-普通-困難の一元評価)を行った(図-5)。
- ・「容易-普通」および「普通-困難」のうち各種項目が、どちらのグループに属するか判別した(図-6)。

図-5では、分離性の悪いものや異常値と考えられるプロットがみられたため、値の精査を実施した。その結果として、以下の要素が見られた。

- ① 無水掘り箇所、地下水位以浅を評価している区間
- ② 風化土(岩)部分であり岩盤評価に相当しない区間
- ③ 「Ⅴ片状コア」と「Ⅳ片状～短柱状コア」では、配点がそれぞれ「10」と「25」であり、評価者による違いが想定される区間
- ④ 評価自体の間違い

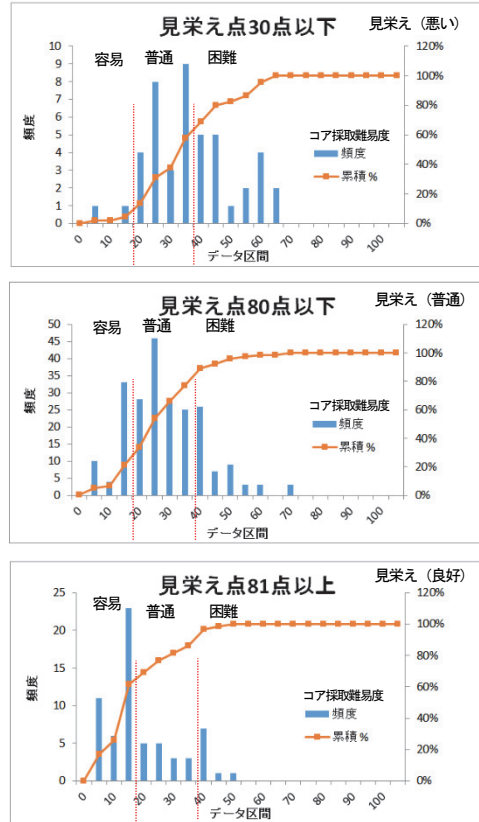


図-4 コア採取の難易度と見栄えの対比

分離性が悪いと評価された部分は、これらの傾向のうち、①および②のパターンを示す場合が多かった。そのため、評価基準表の不備ではなく、評価者の人的ミスであるため、現在使用しているボーリングコア評価表は「修正する必要なし」と判断した。

ただし、ボーリングコア評価を行う場合には、以下の2点の条件を追加する。

- ・無水掘り区間は対象外とする。
- ・土砂部分(崖錐を含む)は評価対象から除外する。

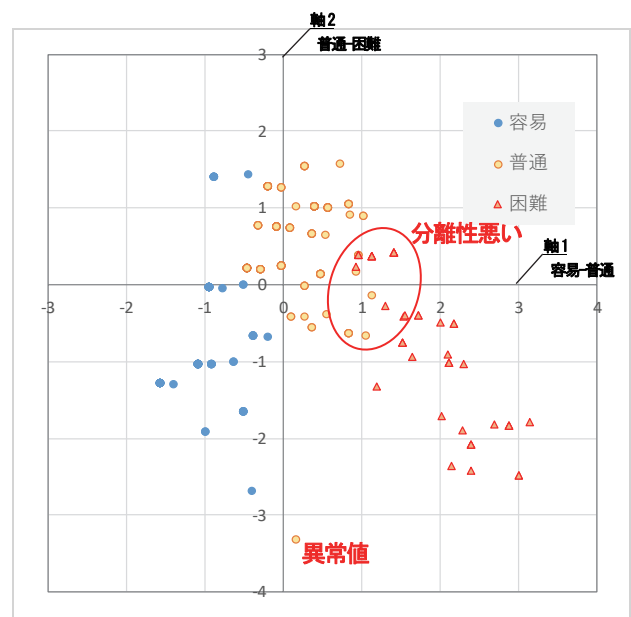


図-5 コア採取の難易度の判別分散図(2軸評価)



図-6 カテゴリースコア

カテゴリースコアからは、「容易-普通」および「普通-困難」を判別する際に特徴があることがわかった。

・容易-普通

亀裂（図ではキレツと表記）、地下水の影響が大きい。特にカテゴリーでは柱状で容易になる。

・普通-困難

亀裂よりも硬軟の影響が大きくなる。相対的に地下水の影響が低下し、特殊地質や特殊岩質の場合困難となる。

(3) 重み係数の妥当性確認

図-7 は、コア採取の難易度で作成した「重み係数」について、AHP 計算により、現在設定している重み係数が妥当かどうか検討した。

計算の結果、現在設定している「重み係数」と同じ値採用値が得られたため、重み係数は妥当と判断した。

6. 今後の課題

今後の課題として、「柱状図の記載方法」、「評価の省力化」、「見栄えの評価手法の検討」が挙げられる。

(1) 柱状図の記載方法

柱状図の記載方法にも個人による差異があり、評価する際に整合がとれない記載が多く見受けられた。柱状図の記載事項により評価の大部分が決まるため、適切なコア評価を行うためには、柱状図の記載方法に基準を示す必要があると考えられる。そのため、コア評価のマニュアルに柱状図記載上の注意点をまとめる。

(2) 評価の省力化

現状では 30m のボーリングコアの評価に 10~20 分程度要すると想定されるため、評価する時間を短縮するこ

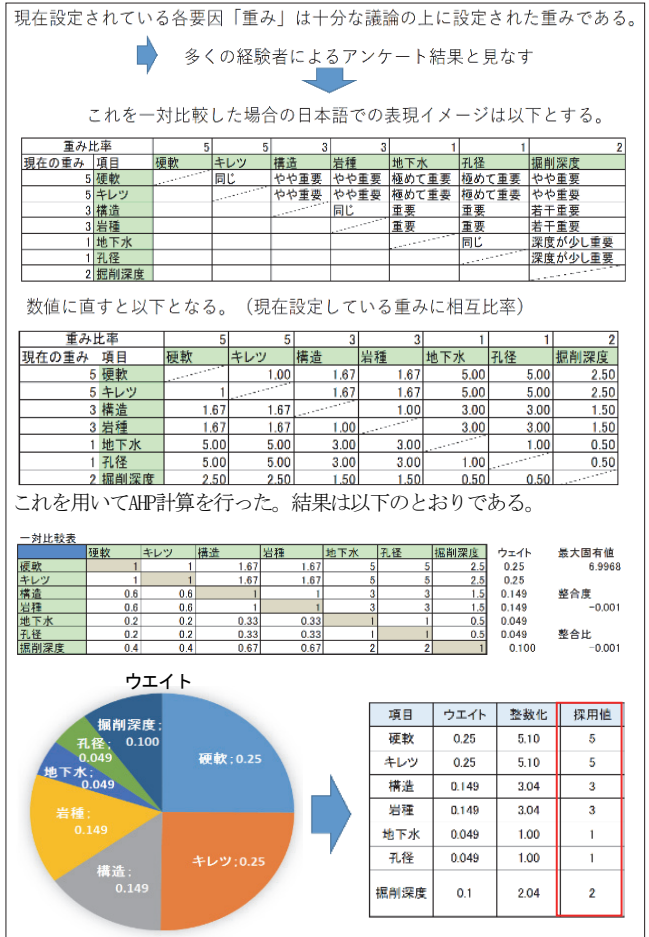


図-7 重み係数の妥当性の検討

とが必要である。そのため、評価の自動化(XML 形式からの変換など)を今後念頭に置く。これを利用し、出来高数量も同時に出力できるように検討したい。

(3) 見栄えの評価手法の検討

コア評価のもう1つの軸であるコアの見栄えの評価手法の検討が必要である。コアの見栄えは、主観的な評価となりやすく、評価のばらつきを抑えるため、評価区分を3段階程度にシンプルにする必要がある。評価項目は採取率、流出率、コアの乱れ具合、割れ目状態の4項目で評価しており、1つの項目による評点への寄与度が高い。そのため、評価項目の内容を検討する。

謝辞：本研究にあたり、ボーリングコアの写真および柱状図を提供いただいた関西地質調査業協会の会員会社の方々、ならびに貴重な意見をいただいた技術委員の皆様へ感謝する。

参考文献

- 1) 桑野他：全地連「技術フォーラム2016」熊本
- 2) 宮田他：全地連「技術フォーラム2017」旭川
- 3) 谷垣他：全地連「技術フォーラム2018」高松
- 4) 金田他：全地連「技術フォーラム2019」岡山