

丙第349号証の2

20年が経過した岩石品質指定(RQD)

Don U. Deere (フロリダ州ゲーンズビル、コンサルタント)

1989年2月

米国商務省

米国技術情報サービス局

NTIS

契約報告書 GL-89-1
20 年が経過した岩石品質指定(RQD)

著者
Don U. Deere
コンサルタント
32608 フロリダ州ゲーンズビル
及び
Don W. Deere
地質工学技術者
ロックー・マウンテン・コンサルタンツ・インク
80501 コロラド州ロングモント

1989 年 2 月 最終報告書
公衆への発表を承認、配布は無制限

複製者
米国商務省 米国技術情報サービス局
22161 バージニア州スプリングフィールド

契約番号 DACW39-86-M-4273 に基づき
米国陸軍省 米国陸軍工兵隊 20314-1000 ワシントン DC のため作成

米国陸軍工兵隊の水路研究所 により監視
39181-0631 ミシシッピ州ヴィックスバーグ 私書箱 631

分類なし

本ページのセキュリティ分類

報告書情報管理ページ		書式承認 OMB 番号 0704-0188	
1a 報告書セキュリティ分類 分類なし		1b 制限標識	
2a セキュリティ分類管轄		3 報告書の配布/利用可能性	
2b 機密解除/格下げスケジュール			
4 実施組織報告書番号		5 監督組織報告書番号 契約報告書 GL-89-1	
6a 実施組織名称 (裏参照)	6b 事務所略号 (あれば)	7a 監督組織 USAEWES 地盤工学研究所	
6c 住所(州、市、郵便番号) (裏参照)		7b 住所(州、市、郵便番号) 39181-0631 ミシシッピ州ヴィックスバーグ私書箱 631	
8a 資金/支援組織名称	8b 事務所略号 (あれば)	9 調達手段識別番号 DACW39-86-M-4273	
8c 住所(州、市、郵便番号) 20314-1000 ワシントン DC		10 資金源番号 プログラム要索番号 プロジェクト番号 タスク番号 業務ユニット取得番号	
11 タイトル(セキュリティ分類を含む) 20 年が経過した岩石品質指定(RQD)			
12 著者個人名 Deere, Don U., Deere, Don W.			
13a 報告書種別 最終報告書	13b 対象期間の範囲 _____から _____まで	14 報告年月日 1989 年 2 月	15 ページ数 100
16 補足事項 米国技術情報サービス局 (22161 バージニア州スプリングフィールド ポートロイヤルロード 5245) より入手可能			
17 科学・技術情報委員会コード 分野 グループ サブグループ		18 主題語 (必要なら裏へ続けて番号で特定すること) ボーリングコア 岩石分類 RQD 割れ頻度 岩石力学 現地係数 岩石の質	
19 要約 (必要なら裏へ続けて番号で特定すること) 岩石品質指定(RQD)を実用に供して 20 年が経過した。RQD は岩石の質の指標であり、NX サイズ以上の径のコア 4 インチ (100mm) 以上の健全なコア片のみ計数することで得られる修正したコア回収率のパーセンテージである。経験から、より小さい径 (NQ) または大きい径のコアでも適切であること、手でくずれない程度の、弱風化又は中風化コアは含めて良いこと、長さの計測はコアの中心線又は軸に沿って行うべきであること、必要長さ 4 インチ (100mm) はそのままにする必要があることが分かっている。薄い層、片岩、特に硬い砂岩又は石灰岩の間に挟まっている弱い粘土質の岩では、コアの破碎や損失に関する問題が発生する。問題は大きな径のコア、短いコアボーリング、最善のボーリング機器/技術の利用で改善する。RQD はある工学パラメータと相関づけられているが、RQD をパラメータとして含む最近の分類システム (Bieniawski や Barton et al.) の方が設計・建設パラメータ推定に (続く)			
20 要約の配布/利用可能性 [x] 分類なし/無制限 [] RPT 同じ [] 限定ユーザー		21 要約のセキュリティ分類 分類なし	
22a 責任者氏名		22b 電話番号(市外局番含む)	22c 事務所略号

分類なし

本ページのセキュリティ分類

6a 実施組織名称

Don U. Deere、コンサルタント

6b. 住所

Don U. Deere

32608 フロリダ州ゲーンズビル S.W.35th ストリート 6834

ロックキーマウンテン・コンサルタント・インク

80501 コロラド州ロングモントインダストリアルサークル 1960 スーツ A

19 要約

は好まれている。RQDを得るには、最良のボーリング技術と現地で適格な地質工学の専門家か地質工学技術者の素早いコア記録化を用いるべきである。RQDは独立した設計パラメータではなく、詳細な地学的・地質工学的側面の評価と共に用いなければならぬ。

本ページのセキュリティ分類
分類なし

序文

本報告書は、フロリダ州ゲーンズビル在住のダム、トンネル、地下発電所に関する独立系国際コンサルタントである Don U. Deere 氏及び、コロラド州ロングモント在住の地質工学エンジニアでありロッキーマウンテン・コンサルタント・インク社代表の Don W. Deere 氏により書かれたものである。

本研究は、1986 年 9 月 2 日付契約番号 DACW39 86M 4273 及び 1986 年 10 月 22 日付変更 P00001 に基づき、ミシシッピ州ヴィックスバーグに所在する米国陸軍工兵隊の水路研究所(WES)地質工学実験施設(GL)の支援を受けて実施された。

プロジェクトは、Don C. Banks 博士（地質工学・岩石力学部長）及び W.F. Marcuson III 博士(WES GL 施設長)の全体的な監督の下実施された。Col. Dwayne G. Lee 大佐(EN)が WES の指揮者及びディレクターであった。Robert W. Whalin 博士がテクニカルディレクターであった。

目次

	頁
序文	i
パート I はじめに	1
背景	1
目的	1
アプローチ	2
パート II RQD 概念の開発	3
RQD の原型(1963 年)	3
開発期間(1964-65 年)	6
試験期間(1966-69 年)	8
パート III 推奨される RQD 記録化技術	11
コアの直径	11
コア片長さの測定	13
健全性の評価	16
コアボーリング長さ	19
パート IV RQD の関係付け	21
トンネル支保/補強設計	21
原位置試験による係数予測	26
基礎沈下の関係	30
割れ目頻度	31
線形割れ目頻度	32
体積割れ目頻度	32
パート V 後の岩石分類システムにおける RQD の利用	35
Bieniawski の岩石評価システム(地質工学的分類)	35
Barton の Q システム(ノルウェー地質工学研究所)	37
パート VI RQD に関する実用上の質問	40
RQD 決定の仕組み(1)	40
コア直径(1A)	40
コア片長さの測定(1B)	42
コアボーリングの長さと RQD 間隔(1C)	44

特別な RQD 記録化に関する問題(2)	46
ボーリング機器と技術(2A)	46
コアの迅速な記録化(2B)	47
ある岩石種の適用可能性(2C)	47
一般的な問題	47
頁岩、粘土質岩、間に挟まれた堆積岩	48
溶解孔隙のある石灰岩	49
火山岩と變成岩	50
向きの影響(2D)	51
追加の地質観察が望ましい状況(3)	52
節理の状態(3A)	52
局所的な地質、風化、割れ目頻度(3B)	52
工学や建設への応用(4)	53
一般(4A)	53
掘削、浚渫、水中発破(4B)	54
基礎、原位置試験による係数(4C)	55
トンネル(4D)	55
耐浸食性、粗さ(4E)	56
RQD の一般的な有用性(5)	57
満足できる経験(5A)	57
欠点、制約(5B)	59
パート VI 結論	61
参考文献	64
添付資料 A 米国陸軍工兵隊からの RQD に関するコメント及び質問	
<u>表のリスト</u>	<u>頁</u>
表 1 岩石品質分類	22
表 2 岩盤中の直径 20-40 フィートのトンネルに対する主要トンネル 支保選定のためのガイドライン	23
表 3 係数比と RQD 及び速度指数との関係	28
表 4 節理が発達した岩石上での許容接地圧 q_a	30

<u>図のリスト</u>	<u>頁</u>
図 1 RQD 記録化	12
図 2 RQD のためのコア長さ測定	14
図 3 岩石の質と様々な大きさのトンネルの支保要件	24
図 4 RQD 対係数比	27
図 5 RQD 対割れ頻度	33

パート I: はじめに

背景

岩石品質指定(RQD)は岩の品質の指標として策定されたものであり、1964年に実施された設計・建設業務と、1964～1965年の追加作業においてこの指標が初めて使用された。その後数年にわたり、米国空軍及び米国運輸省の支援を受けて、イリノイ大学で研究が続けられた。この期間中も、RQD はトンネルや立坑が関わるコンサルティング業務に使用された。RQD が土木や地質学の専門家の注意を引いた最初の文献は、イリノイ大学の Deere 及びその同僚らによる 1967 年の論文であった(Deere et al., 1967)。翌年、Stagg と Zienkiesicz (1968)による岩盤力学の本の中で Deere (1968)が書いた章において、この概念が国際的に紹介され、多くの国で受け入れられて利用されるようになった。

Bieniawski (1973) や Barton et al., (1974) が後に策定した土木工学目的の岩石分類体系では、どちらとも、入力パラメータとして RQD が含まれている。これら体系がますます利用されていることから、RQD の記録化手法及び適用に関心が寄せられている。

目的

本研究の目的は、上席著者が 20 年に渡り多くの国で実施してきた数多くの工学プロジェクトでの、多くの岩種の RQD に関する経験について評価することである。

大勢のフィールドエンジニアリング地質学者や地質工学技術者らとの対話や手紙のやりとりにより、RQD の起源、測定や記録化の様々な手法、最適なコアの直径やコアボーリングの長さ、ボーリング及び取扱い中のコア破損(破損)の問題や、工学設計への利用に関する問題が出てきた。共著者は、過去 15 年に渡る米国内や国外の多くのサイトでの、様々なコアの記録化を行い、地質工学的調査を管理し、RQD 設計相関式を利用した後の自らの経験を紹介し、疑問を提起している。

アプローチ

研究のアプローチとしては、パート II で策定初期に関連する参考文献をまとめ、パート III で推奨される RQD 記録化手法について考察・規定し、パート IV で RQD 相関式を紹介・評価し、パート V では Bieniawski (1973) 及び Barton の岩盤分類体系(Barton et al., 1974)について詳細に論じるものとした。

パート VI では米国陸軍工兵隊のエンジニアや地質学者からや、数名の地質工学コンサルタントからの RQD に関する質問について検討する。パート VII は結論である。

本報告書に関する研究期間中、「岩石分類システムに関する ASTM シンポジウム」に対し「岩石品質指定(RQD)の指標の実際」と題する、短めの仮バージョンが提出された(Deere and Deere, 1988)。

パート II: RQD 概念の開発

RQD の原型(1963 年)

米国で岩盤力学が発展した 1960 年代初期、ヨーロッパの技術者や地質学者とかなり交流しており、特に Leopold Muller 指導の下、オーストリア・ザルツブルク大学の岩石力学教室との交流があった。上席著者の概念の多くは、「岩石力学に関するザルツブルク会議紀要」に関し出された論文や行われた討論から形成されたものである。そのため上席著者は Geologie und Bauwesen 誌から派生した、Muller 博士編集の新しい論文誌 Felsmechanik und Ingenieuraeologie (岩石力学及び土木地質学)誌の最初の巻に感謝し満足して寄稿することを快諾した。

論文は「岩石コアの工学目的の技術的解説」(Deere, 1963)のタイトルで発表された。紹介されたアイデアは、ザルツブルクでの関係を背景としたものだけでなく、著者が実施してきた基礎工法、地質工学や鉱山工学分野でのコンサルティング活動や、イリノイ大学で発展してきた岩盤力学に関する大学院でのプログラムや研究にも基づいたものとなった。

RQD の概念は 1963 の論文ではまだ全体として着想されておらず紹介されなかった。しかし、岩石工学に影響する、地質学的に重要な特性が、岩石コア研究から得られる情報であると強調されていた。以下のパラグラフ中で数多くの節を引用したが、これは(1)公表された

記事が容易に利用できるものでなく(2)公表されたアイデアが次の年に RQD の発展に直接元になったものを形作ったからである。

「...岩石コアの技術的解説。ボーリング孔から得た岩石コアを注意深く研究することで、現場岩盤の性質に関し有益な情報が得られる。地質学的に重要な特性は、岩盤の均質性に影響する特性であり、(1) 不連続の表面及び(2) 硬度が異なる物質を伴う岩帶の発生を含む。これらの特性について詳細に観察し、ボーリング記事に記録しなければならない。岩盤力学の研究や、請負業者が現場岩盤の性質を評価し、建設手順を計画・実行できるようにするには、完全で正確な説明が必要である。」

「...本論文では、岩石コアで観察され著者が岩石工学で重要と考えるそれらの地質学的特性について強調する。重要な特性には、(1) 硬度の多様性及び(2) 物理的不連続に関する、ほぼ圧倒的に岩盤の均質性に直結する特性が含まれる。岩石コアを観察する時には、関連する特性について解釈を最小にしつつ事実について記録を残す様態で、注意深く言い表してボーリング記事に記録すべきである。岩盤の特徴に関する解釈は、このようなボーリング記事から可能となる。」

「...物理的不連続は、平面または分離面の形で全ての岩盤中に存在している。地質学的には、これらの不連続は節理、断層、層理面または岩石の劈開面として認識される。Terzaghi はこのような特性を岩石の力学的欠陥と呼んだ。岩盤の透水性、剪断強度及び変形は全て、岩帶に存在する不連続の数と種類により影響を受ける。不連続を評価してその影響を設計や建設の際に考慮しない限り、ダム基礎、トンネル、地下発電所及び切り取り斜面に関わる工学プロジェクトは悪影響を受けるだろう。」

「...岩石コアをしっかり調査することで、コアを採取した岩盤中の力学的欠陥の発生及び性質に関し有用なデータが得られる。様々な種類の観察」で可能のことについて以下のパラグラフで述べる。

記事は続いて、不連続の種類(節理、層理面、劈開面、断層)を説明し、節理間隔や層理単位の厚さを説明する用語を提案している[例:中程度の節理間隔は1~3 フィート(30cm~1m)、中程度の厚さの層理も 1~3 フィート(30cm~1m)としている]。RQD の発展により重要なと思われる記載である。

「...岩石コアについて説明する際、各コアボーリングで採取したコア片の長さを測定し記録しておくよう助言する(例: 20cm 長さのもの 1 個、10~15cm のものが 4 個、2~10cm のものが 25 個、等)。これらの長さは節理や割れの間隔や層理厚さを直接反映したものである。残念なことに、それらはボーリング方法や技術によっても影響を受ける。それでも、筆者の意見としては、説明を正当化するのに十分重要なものである。」

その後、不連続の表面特性や充填鉱物の重要性について強調した。

「...不連続構造が横切る岩盤の工学プロジェクトの際の挙動は、不連続構造の存在自体よりも、節理表面の特徴や不連続に沿って存在する充填鉱物の種類の方からより大きな影響を受けるようである。

そのため、岩石コアについて説明する際には、表面の緊密性及び不規則性、及び、近接した表面間またはそれに沿って存在する充填鉱物の種類に関する観察について、特別な注意を払わなければならない。」

緊密性の程度は緊密または空隙があるかで、平坦性の程度は平坦、カーブしている、または不規則かで、平滑性は滑りやすい、なめらかまたは粗いかで、また、

充填物または変質鉱物については厚さ、種類及び硬度について説明できることが言及されていた。論文は岩石学や硬度の検討で締めくくられており、特に硬度の違いから生起しうる、厳しい設計上・建設上の問題について言及していた。

「...遭遇する状況の例は、間に挟まれた頁岩及び石灰岩を伴う場合、石灰岩地形において溶食されて広がり粘土質が詰まった節理、断層帶及び層理面を伴う場合、何らかの種類の岩盤中において及び 断層及び剪断帯に沿って変質し弱くなった岩を伴う場合、及び、かなり硬い岩石の節理塊の残部(球状が多い)が節理近傍の岩石の風化の進行や化学的風化作用により生成した土状の物質で囲まれている、風化帶中の様々な風化生成物の場合である。これら条件の多くは地質マッピングの間に明らかになるだろうが、条件の広がりの決定はボーリングを利用してのみ可能である。そのため、大きな硬度変化を検出することを最大限に考慮しながら岩石コアを研究すべきである。」

開発期間(1964~65年)

1964年、上席著者は、ネバダ試験サイトでの地下核実験のため立坑、トンネル及びチャンバーの立地及び設計に関するコンサルティング業務の間に、サイトの花崗岩が代替サイトと比較して質が悪いことに気がついた。しかし、十分能力のある地質学者の作成した詳細なコア観察記録からは差が直ちに分からなかった。その理由はおそらく岩石学、鉱物学や変成について強調されていたことや、節理面についての長い説明のためであった。

岩石を見たときにコンディションが悪いと分かるコアの特性は、コアが数多くの小さな断片になっていて、風化した節理や剪断作用を受けた表面、

たくさん存在する岩片、時に変性が視覚的にわかる花崗岩のコア片に囲まれていることである。対照的に、代替サイトで採取した岩石コアは硬くほとんど風化していない花崗岩のずっと長いコア片であった。通り一遍の試験ですら、化学的な変化や変成、節理面や剪断作用の量は代替サイトの方がずっと少なかった。

当初のサイトと比較して代替サイトの方が変成や節理面が少ないことを説明し、岩質を図示できるようにする取り組みの中で、長さ 4 インチ(100mm)以上の健全な花崗岩片のみ数えるという、「修正コア回収率」の手順を使うことにした。そのため、岩石コアの品質は、岩片、必要な長さに満たないコア片、変成した花崗岩片や回収できなかつたコアを数えないことにより下方修正された。中程度の間隔に近い節理の組を 3、4 組含む、良い品質の岩盤に関する合理的な下限にすると相当検討した後に、必要な長さとして 4 インチ(100mm)を選択した。

次の日、設計者やマネージャーに対する、図を交えた口頭発表が行われた。各サイトの大規模なボーリング記事について、深さに対し「修正コア回収率」をプロットして説明された。ここで、この値が 95%より大きい時(後に 90%に変更)その間隔を青色で表し、岩の品質を「非常に良好」とし、75-95%のときは「良好」で緑色、50-75%は「普通」の品質でオレンジ色、25-50%及び 0-25%は赤色でそれぞれ「悪い」及び「非常に悪い」にした。手順全体の名称を

岩石品質指定(RQD)とした。聞き手は視覚的な表現と関連説明を直ちに理解し、すぐに岩盤の状態が良い代替サイトを選定すると決定された。後に、施設は選定したサイトで一般に良い岩石状態を考慮して建設された。

過去には、コア回収率のパーセンテージは岩石品質の指標としてしばしば使用されていた。しかし、ボーリング技術の改良や、コアリングビットやバレルの進歩があり、コア回収率のパーセンテージは節理帯や断層帯付近であってもしばしば 100%近くになった。そのため、「修正コア回収率」と RQD の概念は、破碎、剪断作用や変成の効果を考慮する工学的目的で岩石品質を指標化する、より有効な技術の可能性を提案したのである。

当該概念を次に試験したのは、ノースカロライナ州高速道路局に対するピジョンリバーでの高速道路トンネルプロジェクト(珪岩、片麻岩及び片岩)や、片岩及び片状片麻岩の岩盤上に建設されたニューヨークのワールドトレードセンターの基礎部分調査に対するコンサルティングにおいてであった。異なる質の岩帶の説明について、設計や建築の大きな変更(顧客ファイル)につながる、有意義な結果が得られた。

試験期間（1966～69 年）

コンサルティングプロジェクトにおいて RQD が早期に成功したので、イリノイ大学の岩盤力学・地質工学の研究グループに当該概念について追加研究・調査をしてもらう価値があることが分かった。

現場岩盤の工学的分類の開発に関し、米国空軍からの資金援助を得た。Deere et al. (1969b) は完全な調査報告書を発表した。より適切な結果の一部はその以前に発表されていた (Deere et al., 1967; Deere, 1968; Hendron, 1968)。

1967 年に発表された、イリノイ大学の Deere や同僚らによる参考文献(Deere et al., 1967) は、工学や地質学の専門家に対し、RQD の概念を初めて公刊された形で発表した文献となつた¹。RQD を導入した、公刊された論文は国際的に広く読まれ、疑いなく数多くの国で早々に受け入れられた。1968 年に出版された Stagg と Zienkiewicz の著書「工学利用における岩石力学」の中で 1 章が Deere (1968) に、もう 1 章が Hendron (1968) に割かれ、その中で RQD の概念と適用について論じられた。

US 空軍の研究では数多くのサイトを訪問し、既存の岩石コアや特に研究プロジェクトのためにボーリング掘削したコアについて RQD 測定を行った。コア片について RQD 計数に必要な長さやいくつか変えて、重量測定手順とともに試してみた。重量測定手順は全てのコア片の計数に関わるが、

¹ Deere が 1964 年の論文「工学目的での岩石コアの技術的解説」中に RQD を導入したと認証した本論文中において、不注意にも不正確な参照が言及されていた。実際に、2 つのミスが関与していた。1 つは、掲載論文の日付は 1964 年でなく 1963 年でなければならない。2 つ目は、RQD 概念については 1964 年まで開発されておらずコンサルティング報告書の写しでのみ利用可能であり、RQD 概念はその論文では紹介されていない。

1 フィート(300mm)未満のコア片全てについて長さの二乗を用いることで、コア片が短くなると重量は小さくなる。4 インチ(100mm)において不連続面が消えた一方、手順が難しくなり、結果がはっきり良くなつたようには見えなかつた。そのため、元と同じく 4 インチ(100mm)を必要長さとした。

空軍研究には、他の岩石品質指標、現場岩盤の性質、トンネル支保や掘進速度との相関関係が含まれている。多くのこれらの相関関係についてはパート IV で考察する。

US 運輸省は 1960 年代後半にもイリノイ大学のトンネル支保システムに関する研究に資金を提供した。この研究には支保工の種類や量を予測するための品質指標として RQD を含まっていた(Deere et al., 1969a; Peck et al., 1969; Deere et al., 1970)。

パート III: 推奨される RQD 記録化技術

本セクションでは、いくつかのコア RQD 記録化技術について概説する。元の参考文献に書かれた手順(Deere et al., 1967; Deere, 1968)について、著者や他の方が遭遇した問題や提案された改良方法と共に論じる。

RQD は修正コア回収率のパーセンテージであり、長さが 4 インチ(100mm)を超える健全な全コア片を加え合わせ、ボーリングコア長さで割って求めた値である。正しい RQD 測定手順を図 1 に示す。RQD は、風化が進み、軟弱で破片に分かれており、剪断作用や節理作用を受けた、問題の多い岩石を岩盤に対し考慮する、岩石品質の指標である。従って、あるボーリング孔区間から回収した「良い」岩石のパーセンテージを単純に測定したものである。

コアの直径

RQD は元来、NX サイズのコア(2.155 インチまたは 54.7mm の直径¹)を用いて開発された。Deere (1968)は、ダブルチューブのコアバレルと共に得た最小の NX サイズのコアを使うべきであると規定した。過度に小さいコアサイズやシングルバレル方式は回収率が悪く過度のコア破壊につながりうる方式であり、最小サイズはこれらコアボーリングを地質工学的調査で利用する時の一般的な慣行をやめさせるために規定された。

¹ 本報告で言及したコア直径は公称値である。実際の直径はコアバレル制作業者により若干変化する。

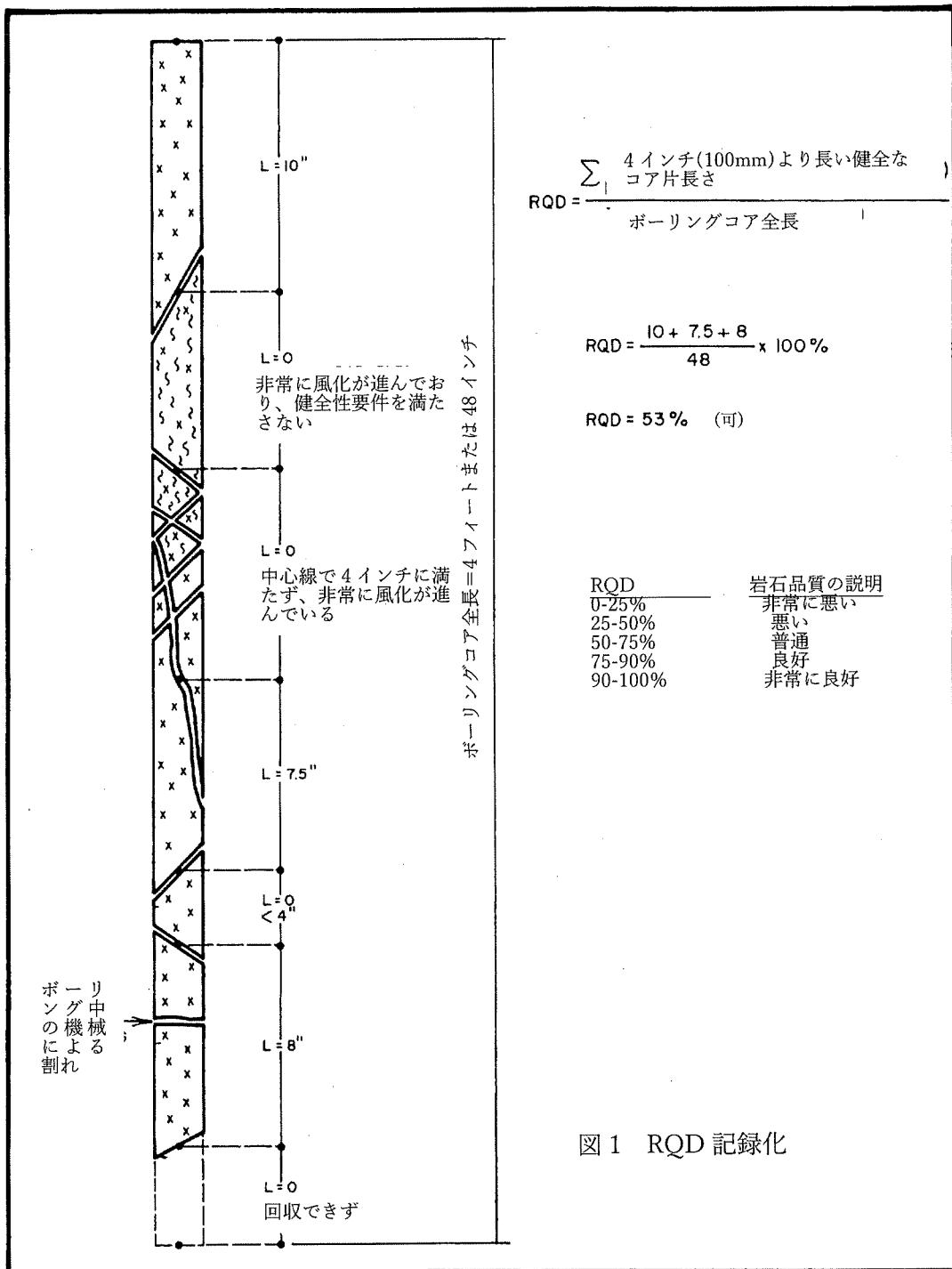


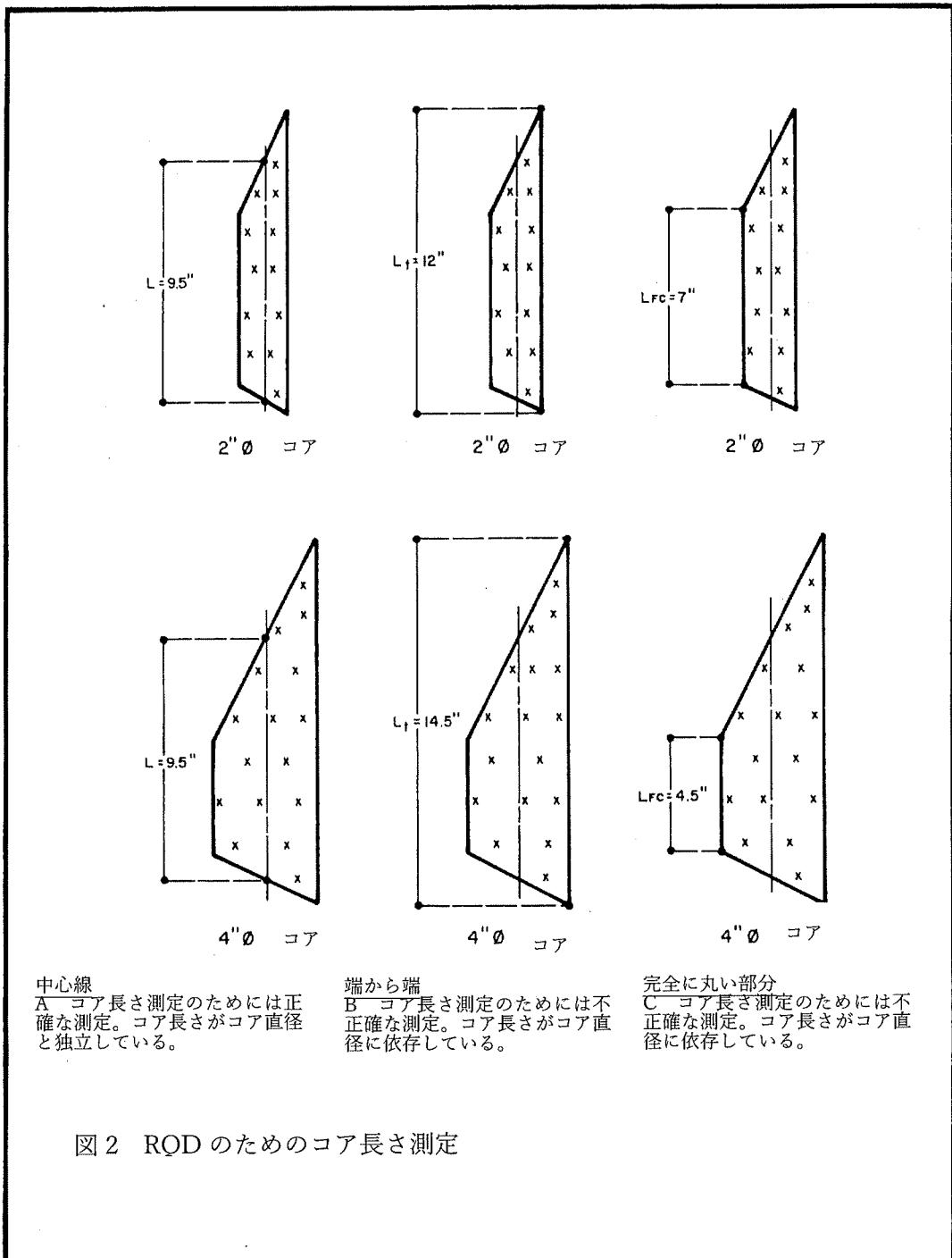
図1 RQD 記録化

近年の経験から、NX より大きい径、及びわずかに小さい径については、RQD 計算に使用できることが分かっている。一般的な有線コアである NQ (直径 1.875 インチ(47.6mm)) は現在広く使われており、許容できると考えられる。そのため、より大きな一連の有線コアの、径が 2-3/4 インチ、4 インチ及び 6 インチである HQ 及び PQ も許容される。より小さな BQ 及び BX は、コア破壊や損失が起きる可能性がより大きくなるため勧められない。それらのサイズを利用する時は、ボーリング記事上に、推奨される NQ 以上のサイズから採取した時に比べコア回収率と RQD が若干小さくなる可能性があることを示す注記をすべきである。コア直径についてはパート VI でさらに詳細に検討する。

RQD 測定について、長さ要件を可変にすることが提案された(Heuze, 1971)。例えば、必要長さとして標準的な 4 インチ(100mm)を使用する代わりに、コア直径の 2 倍の長さ(例えば、直径 30mm の AX コア使用時に必要長さを 60mm 長さとする)が推奨された。著者らは、標準化及び比較の目的から、全ての場合において必要長さとして 4 インチ(100mm)を用いるべきであると考える。さらに、連續していない天然の節理の間隔は変化しないので、良いボーリング技術を用いると、中心線測定時のコア片長さはどのコア直径を使用しても同じになる。

コア片長さの測定

同じコア片に対しては、3 つの方法、すなわち、中心線に沿った長さ、端から端までの長さ、またはパレルの断面が完全な円形になっている部分沿いの長さについて測定できる(図 2)。Deere の以前の論文



中心線

A コア長さ測定のためには正確な測定。コア長さがコア直径と独立している。

端から端

B コア長さ測定のためには不正確な測定。コア長さがコア直径に依存している。

完全に丸い部分

C コア長さ測定のためには不正確な測定。コア長さがコア直径に依存している。

図2 ROD のためのコア長さ測定

(Deere et al., 1967; Deere, 1968; Deere* et al., 1969b)では、特に指示が与えられていなかった。推奨される手順は、中心線に沿ってコアの長さを測定することである(図 1)。本手法は国際岩石力学学会(ISRM)の実験室及び原位置試験の標準化に関する委員会(1978, 1981)が推奨している。中心線測定はコア軸に沿ったスキャンラインと等しい。中心線測定が良いとされる理由は 1)コア直径に依存しない標準化された RQD が得られることと、2)ボーリング孔に平行に割れて 2 つ目の塊により切れている場合に岩盤品質を不当に悪くすることを避けるためである。

ボーリングプロセスでコア破損が発生した時は、破損部をくっつけて 1 個として数えるべきである。ボーリングによる破損は、普通、粗い新鮮な表面により明らかとなる。片状や薄板状の岩石の場合、自然に亀裂が入っているのか、ボーリングによる破損かを見分けるのは困難ことが多い。割れ目について疑いがある場合、大多数の利用においては、RQD の計算を保守的にするため、自然の亀裂とみなされるべきである。この慣行は、RQD をリッピングや浚渫推定の一部に利用する時には保守的とならない場合がある。

頁岩や粘土質岩のような岩の中には、時間の経過と共に小さいディスク状や小片状にばらばらに割れることが多い。最初 RQD が 100% であった岩石コアでも、時間、または日が経過すると割れて RQD が 0 のコアになることがあり得る。この現象は、スレーキング、乾燥、応力除去割れや膨張の悪化プロセスが一つ以上発生することによる。そのため、コア回収時にオンサイトで RQD の記録を取るのは必須である。ただし、時間経過に伴うコアの割れについては、

構造設計を制御しうる岩石の特徴の証拠となるため、ボーリング記録に記載すべきである。

健全性の評価

「硬く健全」(国際岩石力学学会、1978, 1981)でない岩石コア片は、必要長さ 4 インチ (100mm)であったとしても RQD で計算に入れるべきでない。健全性要件の目的は、岩石の表面風化の作用物質または熱水活動により変質し弱くなった場合、その岩石の質では計算に入れないと降格することである。明らかに、多くの事例においては、化学的変成の度合いがコア片を拒否するのに十分かどうか判定する必要がある。

著者らが使用してきた手順では、健全性要件に合致するか(粒の脱色又は漂白、強い染色、孔食、または粒境界が弱まっている等の理由で)疑いが生じた場合、コア片を計算に入れない。この手順は岩石の質を不当に低く扱っている可能性があるが、それは保守的な扱いである。近年著者らが時折使用してきた 2 つ目の手順では、変成岩は RQD 内でパーセンテージの合計に加えるが、アスタリスクをつけて(RQD*)健全性要件に合っていないことを示してきた。この方法の長所は、健全性がないことに言及しつつ、RQD*が破碎の程度に関する岩石の質を表していることである。

Bieniawski (1974)は健全性要件について以下のように扱っている。

「...RQD 決定の際硬く健全なコアのみを含めるので、このことは、非常に風化が進んだ岩石コアの RQD がゼロになることを意味する。この目的から、『非常に風化が進んだ岩石』は岩盤全体に風化が広がっていることを意味する。岩石物質は一部もろくなつており、つやがなく、石英以外の物質は全て退色または着色している。風化の進んだ岩石は地質学者のつるはしで掘ることができる...」

健全性要件評価はさらに検討するときにメリットがある。風化が進んだ岩石の RQD をゼロにするという、Bieniawski の示唆に異論はない。国際岩石力学学会の風化グレード(1978, 1981) (I-新鮮、II-弱風化、III 中風化、IV-強風化、V-完全に風化、及び VI-風化残積土)を用いて、グレード I-新鮮を RQD 計数に含めグレード VI-風化残積土を計数から除外することは疑いない。残り 4 つのカテゴリーは全て、判定が必要な風化の度合いを代表している。グレード II-弱風化は、「退色が岩石物質及び不連続面の風化を示している。岩石物質は全て、風化により退色していることがあり、外側では新鮮な状態と比べて強度が弱くなっていることがある。」と説明されている。いくらかの強度低下を伴う場合があるが变成は退色に限られることから、この「弱風化」のグレード II の度合いを RQD 計数に含めることは論理的と考えられる。グレード V-完全に風化の状態は、名前の通り、RQD 計数で記載されるコアがなくなってしまっている。その説明は「全ての岩石物質が破碎している、土まで分解している、又はその両方である。元の岩盤構造はまだ

大きく損傷を受けていない」(国際岩石力学学会、1978, 1981)。

残り 2 つのカテゴリーは III-中風化及び IV 強風化である。後者のカテゴリー、IV-強風化は、Bieniawski (1974)が RQD 計数から除外したカテゴリーである。ISRM の説明では、「半分以上の岩石物質が破碎している、分解して土になっている、またはその両方である。新鮮または退色した岩石が不連続のフレームワークまたはコアストーンとして存在している」としている。Little (1969)は熱帯残積土についての説明の中で、強風化という同じ用語を用い、「岩石がかなり大きな片が手の中で崩壊するほど、風化により強度が弱くなっている。時に注意深いロータリーボーリングによりコアとして見つかる。リモナイトで着色している。」と述べている。強風化とされる岩石は、手の中で崩せるというところまで風化していることから、RQD 計数に含めるべきでないことは明白である。

グレード III-中風化のカテゴリーは「岩石物質の半分以下が分解、破碎またはその両方で土になっている。新鮮または退色した岩が連続的なフレームワークまたはコアストーンとして存在する。」(国際岩石力学学会、1978, 1981)と説明されている。Little (1969)は中風化の岩石について「かなり風化している。ある程度の強度を有する。大きな一片(例: NX ドリルコア)は手で割ることができない。リモナイトは着色していることが多い。発破を利用しないと掘り起こすことが難しい。」と説明している。このカテゴリーがボーダーラインに近いことから、別の説明(Fookes and Horswill, 1970)でも「用語、中風化、

グレード III、略語 Mw...岩石は退色している。不連続になっている場合がある。表面はより大きく変色している。内部に入り込むように变成している。現場で損傷がないと決定された岩石は新鮮な岩石と比べ著しく強度が弱い。」と検討されている。

グレード III-中風化の岩石は RQD 計数に含めて良いが、健全なものに比べ質が悪いためアスタリスクをつけて特定するよう勧告する。ただし、このグレードの岩石は、中風化であっても手でコア片を割ることができないほど十分な強度を有している。

まとめると、グレード I (新鮮)及び II (弱風化)は RQD 計数に含め、グレード III (中風化)は計数に含めて良いがアスタリスクをつけて示す。グレード IV (強風化)、V (完全に風化)及び VI (風化残積土)は RQD 計数から除くものとする。

コアボーリング長さ

RQD はボーリングコア長さの影響を受ける。例えば、巨岩中の 11.8 インチ(300mm)長さの非常に亀裂が入った岩帯の RQD 値は、ボーリング長さ 12.9 フィート(3m)、4.9 フィート(1.5m)及び 1.6 フィート(0.5m)に対しそれぞれ 90%、80%、及び 40% となった。そのため、ボーリング長さが短くなるほど、RQD の影響は大きくなり、この場合、RQD の値が小さくなる[亀裂が入った岩帯全体の 11.8 インチ(300mm)のボーリングについてはゼロになった]。

著者らは、一般に、RQD 計算は実際にフィールドで使用したボーリングコア長さを使って計算するよう、

できれば 5 フィート(1.5m)未満とし、その長さの 2 倍を絶対超えないよう推奨する。実際の長さ及び岩帶の性質が良いか悪いかについては、ボーリング記録に記載すべきである。これは岩帶の質が良いかそれとも悪いのかについて強調するために、変動する「人工的なボーリングコア長さ」の変化に関し RQD を計算することで補完できる。何度もボーリングプロセス中では自然とこの判別が発生する。質が悪い岩帶に遭遇すると、コアリングビットの閉塞を防止しコア回収率を上げるためコアボーリング長さが短くなる。ISRM の実験室及びフィールド試験の標準化に関する委員会(国際岩石力学学会、1978, 1981)は、変動する「ボーリング長さ」を用いた RQD 記録化を推奨している。これは、個々の岩床、構造ドメイン、弱岩帶等を分離して固有の変動性を示すよう、また、RQD 値が変則的に低い又は高い岩帶の位置及び幅をより正確に描けるようにするためである。

パート IV: RQD の関係付け

元来、RQD はトンネル掘削条件を予測するため実施する初期のサイト評価のために開発された。ボーリング間で、また岩帶の異なる深さの間で岩石の質の違いを容易に可視化できる。岩体内の質が悪い岩帶を赤色にして簡単に見分けることができる。開発直後、RQD とトンネル支保要件との間で関係付けがなされた。この適用は RQD の岩盤係数や基礎岩盤沈下との関連づけに拡張された。1970 年以降、RQD は岩盤分類システムの基本要素として使用されてきた。その後、RQD または割れ目頻度について一方のパラメータのみが測定された時にもう一方を理論計算できるよう、RQD と割れ目頻度との間で関係付けがなされた。

トンネル支保/補強設計

RQD はトンネル掘削条件予測やトンネル支保選定のため初期に行う簡単な岩盤分類であった。米国陸軍工兵隊(1978)は出版物「岩盤の中のトンネルと立て杭」の中で RQD 法の利用について検討した。

RQD 支保規準は RQD と鋼アーチ支保工、吹きつけコンクリートやロックボルトといった支保システムに替わる建設方法を関係づける。その手法は実際にあった数多くのコンサルティング事例や公表された過去事例を利用し開発された。トンネル支保設計のための RQD 利用については、

Deere et al., (1969a, 1969b)、Peck et al., (1969)、Deere et al., (1970)、Cecil (1970)、Cording and Deere (1972)及び Merritt (1972)の論文の中で詳細に検討されている。

RQD は一般に、表 1 (Deere et al., 1970 より引用)に示すように、トンネル採掘業者の一般的な分類と関係づけられている。

表 1
岩石品質分類

岩石品質	RQD (%)	トンネル採掘業者の一般的な分類
非常に良好	90-100	損傷をうけていない状態
良好	75-90	中程度に節理が存在
普通	50-75	ざらざらした、でこぼこした状態
悪い	25-50	粉々、非常にざらざら、でこぼこな状態
非常に悪い	0-25	破碎した状態

直径 20~40 フィート (6.1m~12.2m) のトンネルに対する RQD に基づいたトンネル支保/補強システム選定のためのガイドライン (Deere et al., 1970) を表 2 に示す。機械で掘削したトンネルは岩盤擾乱が少ないため、従来の発破掘削で掘ったトンネルと比べ支保が少ないことがわかる。

Merritt (1972) は様々なサイズのトンネルについて RQD と必要なトンネル支保の関係をまとめた(支保または局所的なボルト、パターン化したボルト止め、または鋼アーチ支保工なし)。彼がとりまとめた関係について、吹きつけコンクリートを含む Cecil (1970) の推奨値と共に図 3 に示す。

RQD は直接には重要な岩盤特性(節理充填物、

表2 岩盤中の直径20~40フィートのトンネルに対する主要トンネル支保選定のためのガイドライン

岩石品質	建設方法	鋼アーチ支保工		ロックボルト(a)[質が悪いまたは非常に悪い岩石で從来使用]		ロックボルト(b)[質が悪いまたは非常に悪い岩石で從来使用]		追加支保
		岩石加重 (B=ト ンネル幅)	支保工の重 さ	間隔 の間隔	追加要件及び固定具の制限	天端 全厚	側面	
非常に良好(d) RQD>90	機械掘削	(0.0-0.2) B	軽	無~時折	ペターンボルト の間隔 まれ	無~時折局所的に使 用	無	無
	発破掘削	(0.0-0.3) B	軽	無~時折	無~時折	無~時折局所的に使 用2~3インチ	無	無
良好(d) RQD75~90	機械掘削	(0.0-0.4) B	軽	時折~ 5-6フィート	時折メッシュやストラップ 5-6フィート	局所的に使用2~3 インチ	無	無
	発破掘削	(0.3-0.6) B	軽	5-6フィート	時折メッシュやストラップ 5-6フィート	局所的に使用2~3 インチ	無	無
普通 RQD50~75	機械掘削	(0.4-1.0) B	軽~中	5-6フィート	必要時メッシュやストラップ 4-6フィート	2~4インチ	無	ロックボルト に備える
	発破掘削	(0.6-1.3) B	軽~中	4-5フィート	3-5フィート	4インチ以上	4インチ以上	ロックボルト に備える
悪い, RQD25~50	機械掘削	(1.0-1.6) B	中~円	3-4フィート	3-5フィート	4~6インチ	4~6インチ	必要ならロックボルト(約 4-6フィート)
	発破掘削	(1.3-2.0) B	中~重円	2-4フィート	2-4フィート	6インチ以上	6インチ以上	必要ならロックボルト(約 4-6フィート)
非常に悪い RQD<25	機械掘削	(1.6-2.2) B	中~重円	2フィート	2-4フィート	固定具を得るのが困難、メ ッシュやストラップが相当 必要	固定具を得るのが困難、メ ッシュやストラップが相当 必要	必要なら中一 式
	発破掘削	(2.0-2.8) B	重円	2フィート	3フィート	固定具を得るのが困難、メ ッシュやストラップが 100%必要	固定具を得るのが困難、メ ッシュやストラップが 100%必要	必要なら重一 式
非常に悪い	両方	250フィートまで	非常に重円	2フィート	2-3フィート	固定具を得るのが困難、メ ッシュやストラップが 100%必要	固定具を得るのが困難、メ ッシュやストラップが 100%必要	特定の状況に対するガイ ドラインの利用及び制限に関する検討についてはDeere et al. (1969a)参照。

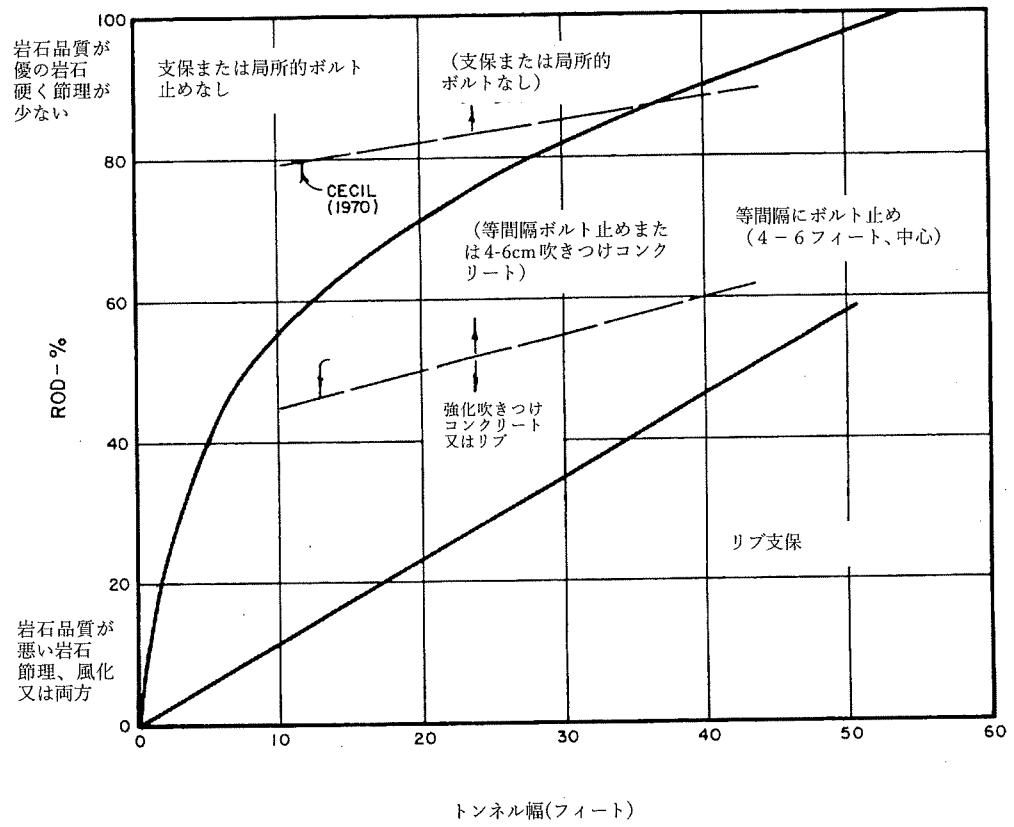
注 表は1969年の米国での用語を反映している。特に品質の悪い岩石については、これらガイドラインと共に、地下水条件や断面寸法、風化の詳細について考慮しなければならない。特定の状況に対するガイドラインの利用及び制限に関する検討についてはDeere et al. (1969a)参照。

a ボルト直徑=1インチ、長さ=トンネル幅の1/3から1/4。品質が悪い、又は非常に悪い岩石については、機械で固定するロックボルトによる固定具を得ることが難しかったり不可能だったりするかもしけない。非常に湿ったトンネルではグロウト剤でのアンカーもうまくいかない可能性がある。

b 吹きつけコンクリートの距離が限られているため、岩の品質が悪いときの支保については一般的なガイドラインのみ与えている。

c 鋼アーチ支保工のロギング要件は通常、品質非常に良好の岩で最小となり、良好の岩で25%、非常に悪い岩では100%となる。

d 品質が良好及び非常に良好の岩盤については、支保要件は通常最小になるが、節理の幾何条件、トンネル直径、及び節理とトンネルの相対的な向きに依存する。



出典 : Merritt 1972

注 : 実際に岩圧がかかるかまたは膨張性/押出性の地盤の火山岩及び
変成岩からの支持データは存在しない。

1M = 3.28 FT.

図3 岩石の質と様々な大きさのトンネルの支保要件

粗さ、配向、ストレスの状態等)について考慮していないが、著者らはそれが地表状態やトンネルの支保要件を予測するのに今でも有用なツールであると考えている。解析が素早く安価にでき、経験を積んだトンネル技術者や地質学者のためだけの設計手法として、あるいは、単に他のより包括的な設計手法に関するチェックガイドとして使用可能である。

著者らは、RQDが必要なトンネル支保とうまく相関しなかったケースに遭遇した。例えば、RQDが良好～非常に良好の幅にあっても、トンネル支保が相当必要なケースがある。このような2例は以下の通りである。

- 石灰岩盤中において溶食で開口した節理。

この岩盤をトンネル掘削したところ、溶食した節理で囲まれた大きな岩石ブロックを移動することになった。

- 粘土質が詰まった小規模の節理または剪断。中程度の間隔が開いていたが通常の岩盤と逆向きに配向していた。この岩を通過してトンネル掘削した結果、地面が非常にがたがたになり、RQDでの予測より多く支保が必要となった。

非常に低いRQD値のため支保/補強要件が過剰予測となっているケースには以下が含まれる。

- 非常に亀裂が入った火山岩(または花崗岩質)--節理または割れ目が粗く、密で、不連続、よくかみ合っていて、十分な応力がかかっていてばらばらにならない。

原位置試験による係数予測

1960 年代後半に行われたイリノイ大学の RQD 研究の別の面は、RQD (または速度比)を原位置試験での変形係数と関係づけたものである。明らかに、破碎及び変性が大きくなると、RQD が小さくなり係数も低くなる。関係付けはこのことが本当であることを示した(Deere et al., 1967; Hendron, 1968; Deere et al., 1969b; Coon and Merritt, 1970)。

損傷がない岩石標本の係数または弾性は、一軸圧縮試験の中で応力をひずみに対してプロットすることで、実験室内で測定できる。損傷がない岩石標本の実験室での係数は E_{t50} (破壊応力 50%における応力-ひずみカーブの接線の傾き)として定義できる。

原位置岩盤には不連続や節理が存在するため、この実験室弾性係数はもちろん岩盤の変形係数(静弾性係数)より高い。損傷がない実験室係数(E_{t50} または E_{lab})の原位置岩盤係数(E_d または $E_{rockmass}$)に対する比は一般的に RQD と相関がある。

Coon and Merritt (1970)が作成した係数比の RQD との関係を図 4 に示す。この関係は $RQD > 60\%$ のときに有用だが、低 RQD の範囲については十分なデータが存在しない。

共著者は、大規模な原位置試験を実施するには経済的に実現可能でない小プロジェクトにおいてこの関係を利用した。例えば、この関係は

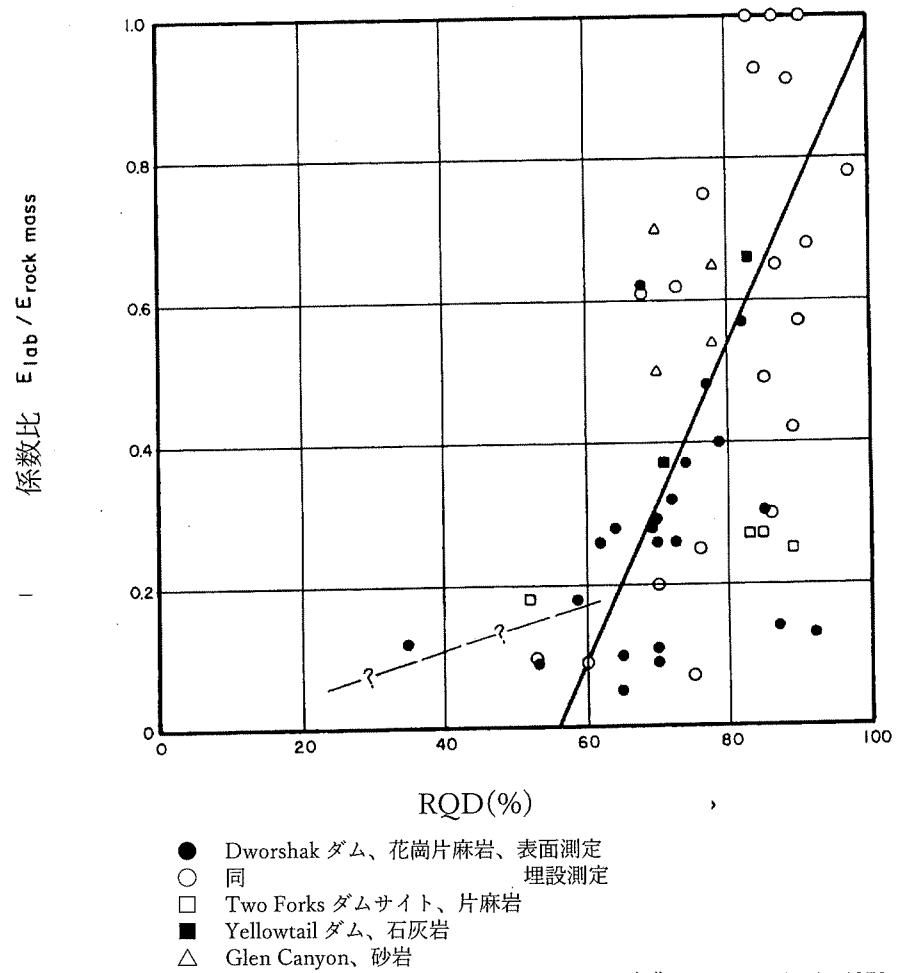


図 4 RQD 対係数比

洪水越流からの負荷の対象となる既存のコンクリートダムの、基礎の変形係数をインプット因子にする必要がある安全評価において非常に有用なことが分かった。基礎岩盤のボーリングコアを実験室係数について試験し、その後係数比減衰因子により補正した。

RQD 情報が利用できない時、又は限られたボーリングのみ実施された場合、速度指数は RQD の代わりになる。速度指数は、現場の PS 検層速度(V_f)の超音波速度(V_1)に対する比の二乗、すなわち(V_f/V_1)²で定義される。現場の PS 検層速度は地震波屈折、クロスホール又はダウンホール技術を用いて得られる。超音波速度は、コア標本に 3000psi (211kg/cm²) のレベルの応力をかけて測定する。相関は RQD と速度指数の間でほぼ 1 対 1 である。表 3 に、RQD、速度指数及び係数比の関係を示す(Coon and Merritt, 1970 より抜粋)。

表 3
係数比と RQD 及び速度指数との関係

分類	RQD	速度指数	係数比 $E_{rockmass}/E_{lab}$
非常に悪い	0-25	0-0.20	< 0.20
悪い	25-50	0.20-0.40	< 0.20
普通	50-75	0.40-0.60	0.20-0.50
良好	75-90	0.60-0.80	0.50-0.80
非常に良好	90-100	0.80-1.00	0.80-1.00

Kulhawy (1978)は、節理の剛性に関する追加パラメータを含めることにより、RQD/係数比または減衰因子について解説した。彼は、RQD を測定し節理の剛性を様々な種類の岩石に関する代表的な測定値の表から推定した場合において、

係数の減衰を推定できるようにするような、一連の曲線を作成した。その後、基礎岩盤の沈下量の合理的推定に使えるよう、係数の推定値を提案した。

Bieniawski (1978)は、RQD をパラメータとする自身の RMR のレーティングに基づき、変形係数の推定手法を提案した。彼の予備的な業績は、合理的に良い相関を示した。相関は以下のように表された。

$$\text{RMR} > 50 \text{ のとき } E_{\text{rock mass}} = 2 \times \text{RMR} - 100 \quad (1)$$

ここで $E_{\text{rock mass}}$ = 原位置静変形係数(単位 GPa)

RMR = 地盤力学的分類に従った岩盤レーティング

$$\text{及び } \text{RMR} < 50 \text{ のとき } E_{\text{rock mass}} = 10^{(\text{RMR}-10)/40} \quad (2) \text{ (Serafim et al., 1983)}$$

上席著者は過去 10 年間、RQD 関係式を広範囲に利用しなかったが、予備的推定の際に、地震波 P 波速度または地震係数と原位置静変形係数の非公開の関係式($E_{\text{seismic}}/E_{\text{static of rock mass}} = 1.5 \sim 10$ 、 $4 \sim 5$ のことが多い)、または Bieniawski (1978)による Schneider の剪断波周波数との相関式を使用してきた。著者らは、重要なケースについては、大きな岩石節理を適切に試験できるよう、試験の加重方向をプロトタイプ構造のそれに近似した大規模な原位置試験の方を好んで行っている。

結論として、RQD 係数減衰の相関は、原位置変形係数の粗い推定値を得るのに有用である。

著者らは他の係数推定技術と共にそれを使うよう推奨する。

基礎沈下の関係

Peck et al. (1974)は、RQDに基づき節理性岩(盤)上の許容基礎接地圧を提案した。彼らは風化していない岩盤上での沈下に関し以下のように述べた。

「亀裂がない岩石の強度が非常に低く、おおよそ標準コンクリートの強度以下でもない限り、基礎直下の許容接地圧は岩石中の亀裂に関連した沈下のみに支配され、強度には支配されない。圧縮率は、節理の間隔や方向、節理が緊密に存在するか間が開いているか、及び、それらの中により柔らかい鉱物が詰まっているかそれとも表面をコーティングしているかに密接に関連している。節理が緊密に存在しているか、1 インチの割れ目よりも狭い場合、圧縮率は RQD により反映される(5.3 章)。」

表 4 は Peck et al., (1974)が提案した最大全沈下量 0.5 インチ(12.7mm)のときの、様々な RQD 値に対する最大許容接地圧を示している。岩盤の一軸圧縮強度を超える場合、表にした許容値は使うべきでない。

表 4
節理が発達した岩石上での許容接地圧 q_a

RQD	q_a (トン/平方フィート)	q_a (ポンド/平方インチ)
100	300	4170
90	200	2780
75	120	1660
50	65	970
25	30	410
0	10	140

Peck (1976)は後の論文で同じ表を掲載し、以下のように記載している。
「...堆積物の地質学に関する詳細な知識で鍛えられていれば、この相関は

有用な結果を与える。ただしそれは単に最初の未熟な一歩だ...」

Kulhawy (1978)はこの概念について論文でレビューし、以下のように同意している。「それは岩盤上の基礎評価において便利な開始点となる。」彼は、前に書いたような、RQD、減衰係数または比、及び節理の剛性に基づいた基礎岩盤沈下の定量的な推定を行う手法を提案した。

割れ目頻度

割れ目頻度を RQD に、またはその反対に変換するのに有用な例がある。例えば、岩盤分類システムを利用すると通常、RQD をインプットにする必要があるが、コアについて RQD を直接測定していない場合、露頭のスキャンライン調査からの割れ目頻度測定値を変換できる。様々な変換因子が導出されており、以下で検討する。

注意点を挙げる。岩盤または岩石コア品質は割れ目頻度に比べずっと一般的な手段であるため、利用可能な、直接的又は全体的に適切な変換は存在しない。RQD はコア損失や風化の進んだ、または柔らかい岩帶を考慮していない(健全性要件)。割れ目頻度と RQD は密接に関係しているが、破碎によってのみ損傷を受けた、風化していない岩盤に対するものである。

割れ目頻度/RQD の相関について論じた様々な文献が存在している。その中に含まれる文献を年代順に紹介すると、Deere et al., (1967)、Priest and Hudson (1976)、

Kulhawy (1978)、Goodman and Smith (1980)、Wallis and King (1980)、Priest and Hudson (1981)、Palmstrom (1982)、Hudson and Priest (1983)、Sen (1984)、Sen and Kazi (1984)、Kazi and Sen (1985)が挙げられる。

線形割れ目頻度

Priest and Hudson (1976)は、線形割れ目頻度と RQD の間の相関関係について、ランダム分布として定義した。

$$RQD = 100^{e^{-0.1\lambda}} (0.1\lambda + 1) \quad (3)$$

ここで $\lambda = 1$ メートルあたりの平均不連続面頻度

または

$$6 < \lambda < 16 \text{ の時 } RQD = 110.4 - 3.68\lambda \quad (4)$$

これらは岩石露頭スキャンライン調査での使用に合理的な関係式に見えており、未固結石灰岩及び泥岩の調査 27 件により確認された。このランダム分布の理論的関係については、Wallis and King (1980)が花崗岩内のサイトにおいてフィールドで確認した。

Goodman and Smith (1980)は、理論モデルと相関関係の可能な領域について調査した。RQD と割れ目頻度の間の関係を図 5 に示す。前に紹介した Priest と Hudson の相関関係 (1976) は、図で示した平均の線を近似して求めており、望ましい式であるように見える。

体積割れ目頻度

Palmstrom (1982) は体積節理計数値 (J_v) の概念を開発した。これは節理作用の度合いを表す単純な手段であり、1 立方メートルあたりの節理の数を表す。Palmstrom は

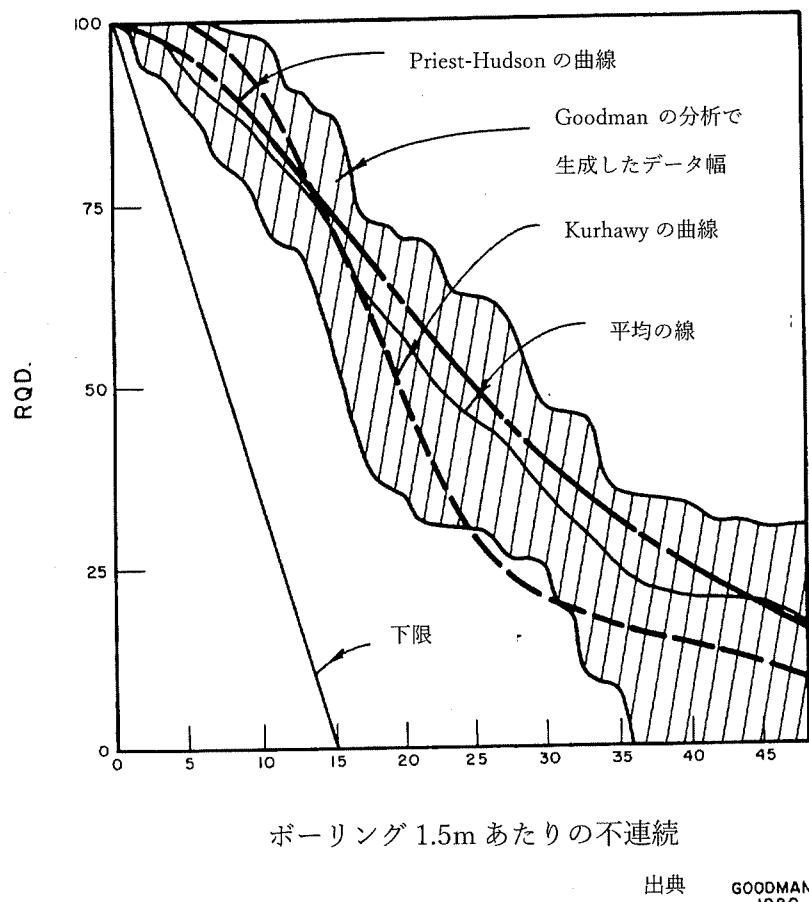


図 5 RQD 対割れ頻度

J_v と RQD の間の理論的関係を以下のように導出した。

$$J_v \geq 4.5 \text{ に対し } RQD = 115 - 3.3 (J_v) \quad (5)$$

この変換係数は Barton et al., (1974)が Q システム岩盤分類での利用のために推奨しており、また国際岩石力学学会(1978)も推奨している。

Kazi and Sen (1985)は体積 RQD (V. RQD) という名称の岩盤パラメータを提案した。V. RQD は 0.001 m^3 [つまり一辺 4 インチ(100mm)の立方体] より大きな、損傷がないブロックを合計し、全岩盤体積で割ることで計算され、パーセンテージで表される。

体積節理計数値(J_v)と体積 RQD (V. RQD)は、不連続が 3 次元であることを説明するよう、線形割れ目頻度や RQD を改良したものである。それらは、定方位コアリングや 3 次元岩石露頭が検査に利用できる場合でこれらパラメータの事例について経験がある時には有用なことがある。

パート V: 後の岩石分類システムにおける RQD の利用

1970 年代初め、数多くの岩石分類システムが導入された。国際的に受容され利用が増えつつある 2 つの分類システムが、Bieniawski (1973) のシステム及び Barton et al., (1974) のシステムである。両方とも RQD をインプットパラメータとして用いている。

Bieniawski の岩石評価システム(地質力学的分類)

Bieniawski (1973) は自らが開発した節理の発達した岩盤分類について紹介する際、以下のように述べている。

「...Deere の非常に実用的でシンプルなアプローチ⁷ は RQD のトンネル支保²¹ や岩盤変形の推定²²への関連づけにおいて大きな可能性がある。しかし、RQD 法は、いくつかの場合では全て非常に重要となり得る節理配向、連続性やガウジ物質の影響を無視している。」

Bieniawski (1973) は自分の地盤力学分類のために以下のパラメータを組み込むことを提案した。

- RQD
- 風化の状態
- 損傷がない岩の一軸圧縮強度
- 節理または層理の間隔
- 走向傾斜の向き
- 節理の分離
- 節理の連続性、及び
- 地下水の流入

RQD に関し、彼は以下のように述べている。

「...ボーリングプログラムで回収した岩石コアの状態は、現場状態とおそらく岩盤の工学的挙動をもよく示す価値あるものである¹⁰。コアの岩石の質を定量的に説明するには、コア回収率、破片のサイズ、割れ目頻度またはRQD等、様々な規準を用いることができる。実際の選定には個人的な好みが大きいが、RQDはトンネル支保システム選定目的の岩盤分類に特に有用であることが分かっているため^{2, 20, 21}、著者らはRQD使用を推奨する。」

「...注意として、RQD決定のためには、直径50mm以上のコアを用いるべきであり、回転しない内部バレルを有するダブルチューブのNサイズコアバレル(75mm OD)が強く推奨される。²⁴」

Bieniawski (1973)はRQDとその実用的な利点について以下のように述べている。

「...RQDの制限は、節理配向、連続性やガウジ物質の影響を無視していることである。一方、RQD手順はシンプルで、安価で再現可能である。結果として、この方法が米国やヨーロッパで広く使われており、現在南アフリカでも急速に受容されつつある。」

「...RQD法をコア記録化に使用する場合、割れ目頻度(つまり任意長さに対する割れ目の数)または破片サイズについては、重複作業となるので決定する必要がない。」

1973年の記事では、RQDパラメータの評価点として、分類手順の非常に質の悪い岩石に対する3点から非常に質の良い岩石に対する16点までが与えられた。他のパラメータに関しても評価点をつけ、足し合わせて、全体の評価点を得る。全体の評価点から岩盤分類を定義した。例えば、70~90点の時、その岩は分類2の品質が良い岩となった。

時が経過してより多くの経験が積まれると、分類システムはいくつか変更された。Bieniawski が最近、1987 年 6 月シンシナティで開催された、工学目的の岩石分類システムに関する ASTM シンポジウムにおいて発表した、現在の分類手順及び手法の利用に関する論文(Bieniawski, 1988)を参照してほしい。用語「岩盤評価システム」(RMR)が以前の名称「地質工学的分類」よりも好まれているようである。

Barton の Q システム(ノルウェー地質工学研究所)

ノルウェー地質工学研究所(NGI)のグループはトンネル支保設計のための岩盤の工学分類を提案した(Barton et al., 1974)。彼らは 6 つの分類パラメータ、すなわち RQD 指標、節理の組数 J_n 、一番弱い節理の粗さ J_r 、最も弱い節理に沿った変性または充填物の程度 J_a 、水流入の程度 J_w 、及び応力減少因子 SRF を検討して得られる、岩盤品質 Q を提案した。RQD に関し、同グループは以下のように述べている。

「...RQD 指標は、節理や変成等が存在する場合、節理頻度と変成や不連続面充填物の度合いを組み合わせた尺度であることから、よりよい単一パラメータのひとつとなっている。ただし、岩盤の重要な性質のいくつか、特に変質した節理充填物の割れ目角度(Cording and Deere, 1972)や節理面の粗さと平面性に対しては比較的敏感に反応しない。」

Barton el al., (1974)は、以下の指標を考慮した適切な係数値を掛けることにより RQD を改良した。

1. ブロックの相対的な大きさ(RQD/Jn)
2. ブロック間の剪断強度(Jr/Jn)
3. かかっている応力(Jw/SRF)

全体の品質 Q は以下の積で与えられる。

$$Q = (RQD/Jn) (Jr/Ja) (Jw/SRF) \quad (6)$$

Q の 9 つの幅について以下の用語で説明するように規定した(簡単化したいこととあまり関係ないことから、ここでは数値幅のうち最も低いものや高いものについては省いた)。極めて悪い (0.01-0.1)、非常に悪い (0.1-1)、悪い (1-4)、可 (4-10)、良い (10-40)、非常に良い (40-100) 及び極めて良い (100-400)。

Barton et al., (1974) は、ボーリングコアが利用できない時、RQD を以下のように推定可能と規定した(Barton は Palmstrom との私信(1974)を引用している)。

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \quad (7)$$

ここで $J_v = 1m^3$ あたりの全節理数

($J_v < 4.5$ の場合 $RQD = 100$)

手法やトンネル掘削支保選定への適用の詳細については、Barton (1988) の最近の論文を参考すること。

Hoek and Brown (1980) は著書の中で以下のように述べている。

「大量の情報を含む…[使用説明に関する表]…をみると、NGI のトンネル掘削品質指標が不要に複雑であり実際の問題の解析に使用するには難しいと思うかもしれない。これは真実からほど遠く、典型的な岩盤について Q 値を決定しようとすると、指示がシンプルかつ明確であることに納得させられ、慣れれば…[表]…も使いやすくなるだろう。」

Bieniawski (1976)は自分の RMR 評価と Barton の岩石の質を表す Q 値について 111 件の比較を行い、以下の関係で合理的に良い相関を得た。

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad (8)$$

Bieniawski (1976)は以下のように述べている。「...著者らは NGI システムについて、ユーザーがその原理に完全に慣れてしまえば比較的適用しやすいことを発見した。」彼は、クロスチェックの目的から、各プロジェクトについて地質工学的分類(RMR)と NGI 分類(Q)の両方を利用するよう推奨している。著者らは、2つの分類の関係だけでなく設計パラメータや建設経験との関係においても、経験を蓄積していくためには、両方実施することには価値があると同意する。

パート VI: RQD に関する実用上の質問

ミシシッピ州ヴィックスバーグの米国陸軍工兵隊の水路研究所地質工学実験施設の Don C. Banks 博士(地質工学・岩石力学部長)に対し、米国陸軍工兵隊各管区及び各師団のからコメントや質問が寄せられた。1986 年 12 月と 1987 年 1 月に手紙を部隊から全部で 28 件受領し、同時に、多くの地質工学コンサルタントから部隊にたくさん頂いた。

本報告書の著者らは頂いた質問やコメントを以下の 5 つのカテゴリーに分けた。

1. RQD 決定のしくみ
2. 特別な RQD 記録化に関する問題
3. 追加の地質観察が望ましい状況
4. 工学や建設への応用、及び
5. RQD の一般的な有用性

返信 28 件から抜粋した質問やコメントをカテゴリー毎に分けて添付資料で紹介する。本セクションでは著者らの回答を紹介する。各トピックの見出しの後に受けた番号は、添付資料の概要に対応している。

RQD 決定のしくみ (1)

コア直径(1A)

コア直径のトピックは、コメントや質問でより多いものの一つであることが分かった。この項には 13 件の回答で対処した。主な質問は、

NX サイズより大きいまたは小さいものが使えるかどうか、及び、相関係数が必要かどうかであった。陸軍工兵隊のいくつかの管区で NQ、HQ 及び、PQ 有線コア、4 インチ(100mm)コアボーリングまたは両方を使用している。

パート III に記載したように、当初の RQD 作業はほとんど NX サイズのコアのみで実施していた。Deere (1968) は、ダブルチューブコアバレルから得られる NX サイズ以上のコアを適切なボーリング監督の下で使用するよう推奨した。

この 10 年間の経験から、一連の有線コアビット及びバレルの使用が、特に深いボーリング用に増えてきていることが分かっている。今は直径¹1-7/8 インチの NQ コア(1.875 インチ、47.6mm)がおそらく NWX (または NWM) サイズ(2.155 インチ、54.7mm)と同じくらい一般的になっており、RQD はどちらかのサイズで行われている。これらは相関係数を利用することなく互換性があり、実用上許容できると思われる。

今度はそれより次に小さい、または大きいサイズについての質問が出てくる[BWX または BWM(直径 1.655 インチ(42.0mm)、及び BQ(直径 1-7/16 インチ(1.438 インチ、36.5mm)]。経験から分かることとして、質が良い岩盤では、これらのサイズはより大きなサイズの結果と同じような結果が得られる。しかし、風化が進み大きく亀裂が入っている岩盤や、軟弱な堆積岩、及び、面構造が発達するか片状になっている変成岩の中では、コアの割れが、また、おそらくコア損失も、より多くなる傾向があった。コアの割れをくっつけようと試みることはできる。割れの一部を補修するため、コアの測定用にコアの割れ目を

¹ 本報告中のコア直径は公称値である。実際の直径はコアバレル製造業者により若干変わる可能性がある。

くっつけ直そうとすることはできる。著者らは、RQD は BWX 及び BQ コアを実施すべきだが、ボーリング記事に、コア回収率と RQD 値の両方が、推奨された NQ サイズ又はそれより大きいもので実施した場合と比べ、若干低くなることがあると指摘を付け加えるべきであると考える。AWX-AWM サイズ及び AQ サイズ(それぞれ直径 1.185 インチ(30mm)及び 1-1/16 インチ(27.0mm))は、コアの割れ、破碎や損失が発生する可能性があるため、RQD には小さすぎると考えられる。

一方、より大きな直径の HQ (2-1/2 インチ、63.5mm)、2-3/4 インチ(2.690 インチ、68.3mm)、PQ (3-11/32 インチ(3.343 インチ)、85.0mm)、4 インチ(3.970 インチ、100.8mm)、及び 6 インチ(5.970 インチ、151.6mm)の各サイズについては、全て RQD に使用できる。特にボーリング孔の上部については HQ 及び 2-3/4 インチサイズのものが現在非常に一般的である。より大きな直径のコアを使用する際、次のセクションに説明するように、RQD 測定はコア軸の中心線に沿って行わなければならない。測定するコア片の長さ要件 4 インチ(100mm)はここでも適用される。

コア片長さの測定 (1B)

このトピックについて受け取った 10 件のコメントや質問は、3 つに分けられる。(1) 測定位置、(2) 必要長さとしてコア直径の 2 倍の長さを用いる勧告(他の研究者による)及び(3) 自然の割れと誘発された割れとの区別に関する問題である。これら事項についての検討はパート III でも紹介している。

イリノイ大学の同僚らによる RQD の原論文は、1つのコアのどこで長さ測定をすべき場合について特に説明していないので、明確化が必要である。経験上、長さは国際岩石力学学会(1978, 1980)の推奨するコア軸または中心線で測定すべきである。この測定方法はスキャンラインと同等であり、そのためコアのサイズとは独立であり、節理の角度の影響をあまり受けない。

必要長さに関する混乱は、他の研究者ら(Heuze, 1971; Goodman, 1981)の文献で RQD を「コア半径の 2 倍を超える長さのコアの回収率(%)」としていることから発生した。この記載がほぼ正しいのは N サイズのコアのみである。適用可能な全てのコアサイズに対して、中心で測定した 4 インチ(100mm)の必要長さを用いるべきである。連続していない天然の節理の間隔はコアサイズでは変化しない。

亀裂が自然にできたものか、人工的にできたものか区別することは非常に難しいことが多い。

国際岩石力学学会(1978, 1981)の委員会は、この問題に関し以下のように対処した。

「...頻度又は RQD をボーリングコアから推定する時、明らかにボーリングプロセスで発生した新鮮な人工的な破損(割れ)と、コアをコアボックスに納める際故意に作った割れを係数から除く必要がある。以下の規準を推奨する。

- (i) 個々の造岩鉱物に新鮮な劈開面を伴う、粗くもろい表面は、人工的な割れであることを示す。
- (ii) 一般になめらかでいくらか風化した表面であって、柔らかいコーティングまたは充填鉱物（滑石、ジプサム、緑泥石、

雲母または方解石)を伴うものは、明らかに自然の不連続面であることを示す。

- (iii) 葉状構造、劈開または層理を示す岩石では、自然の不連続と人工的な割れを区別するのは、潜在的な弱い面と割れが平行な時には難しいことがある。ボーリングを注意深く実施した場合には、保守的な結果を得るよう、疑わしい割れを自然の割れと数えるべきである。
- (iv) ボーリング機器によっては、コア長さの一部は時に内部バレルと共に回転することがあり、そのとき不連続の表面が破碎して割れが発生する場合がある。軟弱な岩石の種類では、得られた丸い表面が天然なのか人工の特徴なのか決定するのが非常に難しいだろう。疑わしい時は、保守的な仮定をすべきである。すなわち、割れは自然のものとすべきである。
- (v) 軟弱な堆積岩、及び面構造が発達しているか片状になっている変成岩上での発破が影響する可能性を評価するため、人工的な割れの頻度（及びそれが関連し低くなった RQD）について別途記録を残すと有用である。」

コアボーリングの長さと RQD 間隔 (1C)

RQD 測定に適切な間隔やボーリング長さに関する質問やコメントは 5 件あった。この概念についてはパート III で検討しており、以下でもさらに検討する。

RQD はボーリングコア長さや間隔から非常に影響を受けるので、長さが短くなるほど、岩帶が異常に「悪い」または「良い」という説明が増える。著者らは以下の手順を推奨する。

1. コアが地表に出されたら、実際のボーリング長さに基づき、RQD の記録をとり、ボーリング記録を記載する。コアボーリング長さはできれば 5 フィート(1.5m)を超えないようすべきだが、回収率 100% のより巨大な岩の場合、10 フィート(3m)のボーリングは許容できる。
2. ボーリングの間、事実を伝える書き方で、ボーリング記録の中に質が悪い岩帯と良い岩の実際の長さの説明を記入すべきである。また、岩帯の質の悪さまたは良さや岩石学状の変化等に重点を置いた「可変の人工ボーリング長さ」について RQD を計算することで補足すべきである。これはボーリング内での 2 フィート(6m)間隔で実施するパッカー透水性試験の標準的実施方法に合わせたものであり、続いて、地下水面が高いまま残ったエリアでより狭い間隔で限定した試験を実施する。
3. 上記の記録化手順で適切な現地情報を集めた後、加重平均を計算することで、RQD 値は様々なエリア、深さについてまとめることができる。例えば、サイトのあるエリアを他のエリアと比べるため、各ボーリングについて RQD の加重平均を計算することができる。あるトンネル線形の 2、3 のトンネル直径内で取った RQD の加重平均を組み合わせてトンネル掘削岩盤の分類に使用できる。加重平均はまた、遭遇した各岩石種、各構造ドメイン及び上部の風化した岩帯について計算できる。

特別な RQD 記録化に関する問題 (2)

ボーリング機器と技術 (2A)

RQD の再現性はヒューマンファクター（ボーリング実施者のスキルや態度）や使用した機器に依存することから、再現性の疑わしさのコメントが 3 つあった。著者らは、これらが深刻な問題となり得ることに同意する。RQD 測定のためだけでなく、地質工学的調査全ての面で可能な最上の情報を得ることが重要である。地質工学者や地質工学技術者は(1) 入札書類のボーリング機器の仕様を適切に準備する（例：ダブルまたはトリプルコアバレル等）、及び(2) ボーリング中、現場に訓練を受けた技術監督担当者を置くことで、これらの運用上の因子を減らすことができる。

加えて、正確な RQD 測定をするには、機械によりできたコア破壊について、いつも簡単に見分けられるとは限らないものの減らすことが求められる。共著者は、2 段階構造の支払いシステムを規定することで、ボーリングによる破損やコア損失を減らすことにいくらか成功してきた。この支払い方法では、回収 95% を超える回収に対してはフィート単位のある金額率で、回収率がそれより悪い時には 2 番目のより安い率で支払う。この支払いシステムは、ボーリングオペレータが毎日フィート毎のボーナスを自分の会社から受け取るという伝統的なシステムに対抗するのに役立っている。これは熱心なボーリングにつながるかもしれない。

コアの迅速な記録化(2B)

特に薄い層状の粘土質岩をボーリングするときの、時間経過と取扱いによるコア劣化が指摘された。

著者らは地面から掘り出した直後のコア記録化を推奨する。コアを扱う全ての時間に価値のある情報が失われる。この要件は、時間依存性のスレーキング、乾燥、応力除去割れまたは膨張が進行する頁岩を扱う時最優先となる。

ある岩石種の適用可能性 (2C)

RQD のある岩石種への適用可能性に関するコメントや質問が群を抜いて一番多かった。この話題については全部で 16 件のコメントをいただき、添付資料セクション 2C に一覧を示した。コメントをさらに分類すると(1) 一般的な問題、(2) 頁岩、粘土岩、間に挟まれた堆積岩、(3) 溶解空隙のある石灰岩、及び(4) 火山岩及び変成岩に分かれた。

一般的な問題。この見出しについては 6 つのコメントや問い合わせを頂いた。主な質問は、RQD 手順を全ての岩の種類に適用できるかということのようにみえる。そのとおり、全ての岩石種について適用してきた。困難が持ち上るのは薄い層状の、薄板状堆積岩、及び片状または面構造が発達した変成岩のことが多い。このような岩石は、ボーリング及び取扱い間に、潜在的な軟弱な表面に沿って壊れてしまう傾向がある。最小の振動で大直径のコア (HQ 以上) を使った良いボーリング技術から

損傷がないコアを得ることができる。これらについては、取扱い、乾燥及び応力除去割れにより割れてしまう前に、直ちに記録を取らなければならない。ボーリングが弱い方向に対し準平行になっている時、破損やコアの損失が発生することなく、コアを得るのは非常に難しい。方向による影響の受けやすさを調査するため、ボアホールは様々な向きで実施すべきである。

もう一つの問題は、必要長さ 4 インチ(100mm)の RQD 計数における人工的な不連続面である。このような割れがあると、約 3 インチ(76mm)の厚さ(及び層面節理)で硬く薄い層を形成するシルト岩や石灰岩等の場合、値が不当に低くなってしまう。振り返ってみると、全てのコア片を RQD 計数に含められるよう、加重平均のような形を選べばよかつたのかもしれない。しかし、現在の利用状況では、引き続き必要長さを利用して、ボーリング記事に RQD の値が低くなった理由を注記するのが最良に思える。より大きな直径のドリルビットを用いて最良のボーリング技術を使い、短いボーリングを実施することで、潜在的な層面節理に沿ったコア破損は減り、より現実的な RQD 値が得られる。これは、以前から存在する、応力除去及び風化により自然に形成された層面節理には適用されない。

頁岩、粘土質岩、間に挟まれた堆積岩。このカテゴリーについて問い合わせが 5 件あった。おそらく一部は前のコメントと重複する。粘土質岩は軟弱で、振動や湿分の変化によりボーリング・取扱い・貯蔵中に破損しやすいため、最もトラブルが発生する。ルーチンのボーリングや記録化では良い試料も正しい RQD 値も得られない。前のセクションで言及した、より注意深い

技術を使って、最適な結果を得なければならない。

上席著者は、何年も前に実施された、コロンビアでの水力プロジェクトにおけるコア試験を思い起こしている。頁岩コアがディスク状(ポーカーのチップ状)に割れてしまい、RQD 記録化がほぼ不可能に見えた。しかし、ボーリングサイトへ行き彼らが回収したコアを調査したところ、コアは軽く結合した層理面を横切るような損傷がないように見え、横断するよう切られた節理が簡単に認識できた。RQD 記録化は可能だった。

硬い石灰岩や砂岩の間に挟まれた頁岩や粘土質岩に対する RQD の適用可能性が、問い合わせのいくつかの共通の懸念となっていた。これは米国やその他の多くの場所で一般的な状況である。より硬いコア片が柔らかい頁岩の上で回転したりその逆になったりする傾向がある。2-1/2~5 フィート(0.75~1.5m)と短めのボーリングで大きめのコア直径にすると、通常改善される。

最も重要な変数を分離するため、コア直径、ボーリング長さ、及びボーリング技術が異なる方法で、このような間に挟まれた地質を有する様々な管区において、近接孔をボーリングする、一連の原位置試験を実施するのは有用だろう。

溶解空隙のある石灰岩。4つのコメントがこの状況に対応する。RQD をサイトの地質から隔離すべきでない。ボーリングコア中空隙の存在をボーリング記事に正式に記録すべきである。全体の RQD に加えて、部分的な「人工的」ボーリング長さとその長さに対応する RQD (空隙なしの場合を含む) を示すことができる。

火山岩と变成岩。特に玄武岩と变成岩に関し、コメントが1件あった。RQD係数には短いコア片を使わないことから、これらの強い岩盤は本来よりも低い評価になる可能性があるのではというものであった。著者は同意する。緊密に絡み合った、不規則な不連続の節理を含む岩盤は非常に強固で、不透水性であり、係数が高いことがある。

アルゼンチンで最近実施されたプロジェクトで、2つの小断層の間にある、大きな割れが非常に多い安山岩帯は、割れの性質上(発破後の泥の山の中はほとんど小さな破片で、現場は非常に割れが進行しているような外観であり、岩帯を調査するためいくつかの短いボーリングを最近行った時のRQDは約25)、高いコンクリート重力ダムの2ブロック用基礎としては疑わしかった。弾性波探査を実施したところ、13,000～15,000 フィート/秒(4,000～4,500m/秒)と驚くほど高いP波速度を得た。この値は、硬い流紋岩の貫入を含み、ほとんど割れのない近くの安山岩と似た値であった。非常に割れが進行した岩帯についてより詳細な調査が実施され、非常に緊密で、つるはしで取り除くことが難しく、節理が硬い緑簾石コーティングと再癒合していたことがわかった。薄く硬いコーティングは岩盤品質を改善するのに十分であり、それにより基礎岩盤として許容できるものになっている。しかし、コアボーリングと発破で節理の結合が壊れて小さな破片となっていた。

この例は疑いなく、支持力と係数に関し、岩石のRQD値が低すぎた数多くの例の一つである。しかし、骨材や捨て石の生産に関しては、RQDがこれらの利用に矛盾のない値を与えたと言えるかもしれない。

向きの影響 (2D)

節理の向きに関しボーリング孔の向きが異なることにより発生しうる RQD の偏りに関し、質問やコメント 3 件をいただいた。節理が 3、4 組存在する場合問題は深刻ではないが、ボーリング孔がそのうちの一つに平行な時偏りが存在しうる。

変成岩の中に葉状構造または片理節理のような支配的な節理の組、水平な層状の堆積岩の中に節理 1、2 組が存在する時、大きな問題が発生する。良いコア回収率、少ない破損、及び支配的な節理を真の間隔で横断という観点から、良い結果を得るには、ボーリング孔の向きは節理に対し垂直にすべきである。このような向きは実用的でないことが多いが、45~55 度程度で交差するよう試みるべきである。

急角度（約 60~90 度）で交差した場合、コア破損の可能性が大きくなるだけでなく、かなりの偏りが以下の 2 つのどちらかの形で存在する可能性がある。ボーリング孔が支配的な節理面を全く捉えず、または単に 1、2 回横切っていて、そのため RQD が高くなってしまう可能性がある。反対に、ボーリング孔が節理に最初からヒットし、その後かなりの距離にわたって、節理が続く場合、コア破損や円筒形コアの不存在につながることもある（要するにコアがボロボロになる）。岩石の質を大きく過小評価しないためには、前に書いたように、中心線又は軸測定を推奨する。

1 つ以上の場所で著者が使用してきた推奨手順は、支配的な節理の組が存在する場合、

異方性を決定するため、好ましい交差角度と好ましくない交差角度と両方でボーリング孔を削孔することである。この事実を指摘する注記をボーリング記録に追記可能である。

追加の地質観察が望ましい状況 (3)

岩盤の他の特徴を観察し記録する重要性についてのコメントが 8 件あった。著者は、岩盤挙動を説明または特徴付けしようとした時、RQD が独立したものではないことには確かに同意する (Deere, 1963)。RQD は、設計上有用な関係がある多くの制約もある、土壤の標準貫入試験(SPT)の N 値に類似した単独の指標として特徴付けできるかもしれない。

節理の状態 (3A)

RQD の開発中、節理の重要な特性の多くが RQD に含まれていないことと、地質工学的な観察や説明を追加して行うのが必要であることは認識されていた。Bieniawski (1973) や Barton et al., (1974) が後に発表した岩盤分類システムには、節理の重要な特性のほとんどが含まれている。実際、彼らの分類システムは、コア記録化やフィールドマッピングから決定されるべき節理の特徴のチェックリストを提供することに大きく寄与した。

局所的な地質、風化、割れ目頻度 (3B)

これらのトピックについて頂いた多くの素晴らしいコメントは、自ずと明らかなものである。RQD は、サイトの地質、立地構造の理解や基礎の深さ及びトンネル支保の選定に役立ついくつかの

ツール又は技術の一つにすぎない。風化、岩石学、地層学や構造的特性を含む、局所的な地質についての良い知識がなければ RQD を利用すべきでない。

工学や建設への応用 (4)

一般 (4A)

このカテゴリーには 2 つのコメントが寄せられた。一つは RQD の岩石品質表について「...用語の意味を様々な岩石種、及び様々な種類の構造、トンネル掘削、ボーリング及び基礎の設計に適用されるとみなすには、岩石の質の説明(非常に悪い-非常に良好)の誤解釈を防ぐための制限を組み入れ」るような改訂及び拡大を求めている。

示唆は良いと思うが、Bieniawski (1988)と Barton (1988)の新しい 2 つの分類システムは RQD を改良したものであり、様々な設計や建設経験に関連した、より最近の、より包括的な事例を盛り込んでいることから、それらの関係の利用が望ましいように思われる。

2 つめのコメントは、他の要因を考慮しない、設計支援としての RQD 利用に関するものである。確かに、サイトの地質をその関連要因全てと共に考慮しなければならない。上に述べたように、Bieniawski や Barton のより新しい分類システムが推奨されている。それらには RQD が含まれているが、単に他のいくつかの重要因子の一つとしてである。

RQD 自体は変更してはならないというのが著者の考え方である。RQD の有用性はそのシンプルさにある。RQD 値が小さいことは、なぜその小さい値になったのか、理由（岩石の風化、剪断帶、薄い層理等、又はボーリング技術が悪い）を調査しなければならない地質工学者や岩石技術者にとってはいわば「赤信号」である。RQD はそれ自体が目的ではなく、調査し説明すべき状況を表す一つの指標である。

掘削、浚渫、水中発破 (4B)

掘削に関しては 3 件の問い合わせがあった。RQD は掘削性と相關するツールとして独立したものではないが、掘削性予測のパラメータの一つとして利用されてきた。共著者は以下を利用したプロジェクトで掘削性予測を行い成功を収めてきた。(1) クラムシェルを使った地中連続壁掘削性予測のため、短い間隔での RQD 計測と一軸圧縮強度を利用、及び(2) D-8 ドーザーに取り付けた一枚刃リッパによる掘削性予測のための、RQD、一軸圧縮強度及び地震波の屈折波速度を利用。全て現地でのリッパ掘削性予測試験により相関。

近年、パラメータとして RQD を利用した 2 つの掘削性予測システムが発表された。いくつかの事例を利用して関係づけられている。Smith (1986) はリッパ掘削性を推定するため RMR システムを利用している。Kirsten (1988) は修正 Q システムを利用して、溝掘り、採掘、ブルドーザ掘削、リッパ掘削の掘削性を特徴付けている。

各種の水中掘削については、各地質工学ユニットについて適切な説明とパラメータを用いて実際的な地質断面図を作成できるよう、よくコントロールしたボーリングを十分な数行うことが重要である。

基礎、原位置試験による係数（4C）

基礎の支持力係数または原位置試験による係数を RQD と関係付けることの有用性について、回答者の約 3 分の 1 が問い合わせてきた。これらのトピックはパート IV 内で説明した。

これらの関係はどちらとも開始点として有用であり、他の関係と組み合わせて、または原位置試験のチェックとして利用すべきである。Kulhawy's (1978) の基礎岩盤沈下モデルと、Bieniawski's (1978) による変形係数との相関は、どちらとも、節理の性質を含めることで RQD の概念を改良したものである。

上席著者が RQD を基礎に利用する主な場合は、立地プロジェクトで高いコンクリートダムに対し許容できる岩の掘削深さを比較する時である。

トンネル（4D）

RQD の非常に深いところでの開口部への適用可能性に関する問い合わせを頂いたが、筆者らは、プロジェクトの立地や、品質が悪い岩帶であることのいわば「赤信号」の警告といった主な利用目的には適用可能と考えている。地山の応力が高いことによりコアのディスク状破壊が発生する可能性があり、このため RQD 利用ができない。地山応力の損傷がない一軸圧縮強度に対する比が

トンネル壁安定性のようにコアのディスク状破壊を制御する。詳細については Barton (1988) を参照すること。

トンネルラインに沿った水平のボーリングは、剪断、断層及び密な節理帯の急勾配の構造特性に交差してそれぞれの RQD が決められる状況において最も有用である。複数のトンネル建設中、弱い岩帶や含まれる地下水について事前に警告するため、トンネル切羽から水平な「さぐり孔」または調査孔がボーリングされてきた。

時には、探索フェーズ中にトンネル坑口部から水平な孔がボーリングされてきた。しかし、実用目的上、トンネル探索用ボーリングは、疑わしい弱い割れ目と交わり層理や節理面の 3 次元画像を与えるような角度の孔と垂直にされる。

耐浸食性、粗さ (4E)

水用トンネルや水路中を流れる水により発生する岩盤浸食に関し、2つ面白い質問を頂いた。上席著者は運用開始直後すぐから数年経ったくらいまでの素掘りの排水トンネル、圧力トンネル、放水路トンネルおよび岩溝を数多くの調査してきた。

圧力トンネルは流速が最大秒速 13~16 フィート (4~5m) と小さく、質が可から良の岩石は浸食によく耐えていた。これらの場合、軟弱で非常に亀裂が入った岩石帶や剪断帶は

コンクリートまたは補強吹きつけコンクリート及びロックボルトで保護されている。洪水の間、排水トンネルはより大きな流速、おそらく秒速 36~46 フィート(11~14m)で流れる水の対象となり、保護されていない弱い岩帯や非常に亀裂が入った岩帯ではインバート壁や下側面の壁の両方でいくらか浸食しているのが見つかった。同じような速度やそれ以上の時には放水路でも起こりうる。弱い岩帯(一例では、より層理のない片麻岩内の片状岩帯)がかなり浸食されている。

RQD は弱い岩帯の検出や層理のより少ない岩石エリアの線引きに役立つ一方、耐浸食性や粗さの予測についてはおそらく、地質工学的説明を可能にするに過ぎない。

RQD の一般的な有用性 (5)

RQD での望み通りの経験と欠点の両方について多くのコメントを頂いた。ここでは頂いたコメントをまとめ、RQD 利用について整理してみる。

満足できる経験 (5A)

RQD が有用だったと特に記されていた回答から 3 つのコメントを抜き出した。一つ目のコメントは、この指標が岩石コア品質推定の実用的なパラメータとなってきた、また、工学指標としては適用した時に問題はなかったと述べていた。もう一つは、欠点を挙げた一方、工学的特性に対する岩盤の性質が

素早くできるシンプルな様態でまとめられている、また、単純化を損なうような変更は害であると感じたとのことであった。さらに「...RQD システムというものは、経験のない人々に経験の因子を付け加える」とあった。3つめのコメントは、RQD が他の指標特性のように様々な工学的利用における岩石挙動評価に利用できるツールであると述べていた。

著者らは、RQD の有用性が以下の基本カテゴリーに分けられると考えている。

- 「赤信号」効果。RQD は工学的特性が悪い岩石エリアの地質学者や設計技師の注意を引く。これらは、プロジェクトの設計を制御できるエリアであり、対処するにはそれらを避けるか利用できる十分な手段を利用しなければならない。
- 設計指針。RQD と岩石の特徴やプロジェクトの業績とを相関させることで、岩盤上構造物に対する予備的設計指針にできる。
- 職業への刺激。RQD は岩石力学の分野が生まれたばかりの頃に開発された。RQD は岩石風化や不連続の重要性に注意を集め、岩石コアからそれらに関する情報を収集するのに役立った。RQD の概念は疑いなく、関連する割れ目頻度の研究やスキャンライン調査、また現代の工学分類システムの開発に対し他の人たちを刺激した。

欠点、制約 (5B)

RQD の欠点や制約は一般的な主題であり、10 件のコメントや問い合わせがこの件についてであった(添付資料参照)。著者らは手紙にあった思慮深いコメントに感謝しており、一般に、その多数に同意する。

おそらく最も一般的な不満は RQD 自体に対してではなく、地質学的な詳細事項やサイトの全体的な地質学的評価を考慮することのない单一のパラメータとして設計によく使われる方法に関するものである。確かに、コア記録化は適格な地質工学者または地質工学技術者がボーリング時にサイトにおいて行うべきである。ボーリング作業者や技術者にまかせたり、コアを輸送し乾燥し応力を除去しその他条件をかき乱してから何日か又は何週間か後に実験室で行ったりすべきではない。

構造、水路や高速道路設計技術者は、地質学的に重要な詳細だけでなく工学設計・建設例の知識を持つ地質工学者、地質工学技術者または岩盤力学専門家の情報なしで相関表を誤つて利用する可能性が高い。RQD は独立したものになり得ない。他の地質学的因素を含む、後の分類システム(Barton, 1988; Bieniawski, 1988)に入れられたのは、利用において理に適った進歩であった。

一つのコメントで、風化した岩盤での基礎深さ選定には RQD はあまり有用でないと述べられていた。この経験は著者らの経験とは反対である。著者らは適用したところ

基礎深さだけでなくトンネル掘削やダム掘削深さでも非常に良い結果が得られた(Deere and Deere, 1988)。

何件かのコメントが手法のシンプルさについてのものであり、好ましいという意見も良くないという意見もあった。また、特定のサイトや特定の工学的問題に適用できるとは限らない、良、可等の定性的な用語から発生した誤用についてのコメントもあった。著者らは同意すると共に、良い事例の良い基盤を形成していくよう、上記のより包括的な分類システムを適用するよう推奨する。

パート VII: 結論

RQD 記録化及び RQD 指標を工学分野で利用してきた 20 年の経験について、本報告書の前の方で検討してきた。主な結論を以下にまとめる。

1. RQD 記録化に使用するコア直径は NQ または NWX (NWM) サイズとすべきである。軟弱な粘土質岩または面構造が発達した岩盤についてはより大きな径が望ましい。それより小さい BQ 及び BWX サイズは使うべきでなく、使用する時はそのことを注意と共に特記すべきである。
2. コア片長さの測定は ISRM(1978, 1981)が推奨するように中心線(軸)に沿って行うべきである。ボーリングや取扱いによるコアの割れがある時は、割れたものを合わせて一つとして数えるべきである。全てのコアサイズについて必要長さは 4 インチ(100mm)のまとすべきである。
3. 新鮮及び弱風化の岩石を RQD 係数に用いるべきである。手では割れない中風化の岩石は RQD に含めるがアスタリスクをつける(RQD*)。風化が進んだ岩石(手で押すと割れるもの)、完全に風化した岩石、及び残積土は含めないべきである。
4. コアボーリング長さは理想的には 5 フィート(1.5m)とするが、現実には長くても短くてもよい。コア回収率 100% の品質の良い岩盤については 10 フィート(3m)長さが容認される。ボーリングが難しい

片状、薄板状、軟弱で硬い層の間に挟まれたもの、及び、節理または層理の向きが望ましくない岩石については、2-1/2~5 フィート(0.75~1.5m)以下の短いボーリング長さを推奨する。コアの記録化の際、非常にばらついた岩帶の RQD を特定するときには、短い「人工的」なボーリング長さや間隔になってもよい。

5. トンネル支保要件、原位置試験による係数、許容支圧及び割れ目頻度との RQD の相関は文献から利用できる。この一部は本論文にも含まれている。これらは事前研究には今でも役立つと考えられる。おそらく、RQD を実際に利用する際の最も重要な利用目的は、初期の概要説明または質が悪い岩帶に「赤信号」を出すことである。
6. より最近の分類システム(Bieniawski の RMR 及び Barton の Q)は、RQD と工学目的の観点で範囲を広げより厳密に岩石の質を定義する他のパラメータを含んでいる。これらは国際的に認められており、本稿でも推奨する。
7. 米国陸軍工兵隊の様々な管区及び師団内での RQD 記録化手順や利用に関する関連質問やコメントについてレビューし、5 つのカテゴリーに分けて検討した。多くの懸念は最初の 6 つの結論ででてきたものと同じであった。特に懸念があったこの一つ目は、ボーリングの監視と、フィールドでの適切な記録化を

適格な地質工学者か地質工学技術者が最良のボーリング機器及び技術で得たコアについて行う必要性についてであり、2つ目は、設計の際必要な地質学・地質工学の情報がないまま RQD を単一のパラメータとして利用することで起こるかもしれない RQD の誤った利用についてであり、3つめは、損傷がないコアと信頼できる RQD 値を頁岩や、間に挟まれた硬い、または柔らかい岩盤の中で得ることの難しさについてであった。

8. 研究プログラム実施を推奨する。これは、陸軍工兵隊が、間に挟まれた硬い、または柔らかい岩盤について、近い場所において様々な角度、コアサイズ、ボーリング長さ及びボーリング技術でボーリングを行い、回収率と RQD を比較するものである。

著者らは、重要な課題に重点を置いて活躍して米国陸軍工兵隊の様々な管区及び師団の RQD ユーザーの皆様から興味、質問及びコメントを頂いたことに感謝する。

添付資料 A

米国陸軍工兵隊からの RQD に関するコメント及び質問

添付資料 A

米国陸軍工兵隊からの RQD に関するコメント及び質問

目次

1. RQD 決定の仕組み
 - 1A. コア直径
 - 1B. コア片長さの測定
 - 測定位置
 - 直径の 2 倍のコア長さ
 - 天然と誘導された割れの区別
 - 1C. コアボーリングの長さと RQD 間隔
2. 特別な RQD 記録化に関する問題
 - 2A. ボーリング機器と技術
 - 2B. コアの迅速な記録化
 - 2C. ある岩石種の適用可能性
 - 一般的な問題
 - 貝岩、粘土質岩、間に挟まれた堆積岩
 - 溶解孔隙のある石灰岩
 - 火山岩と変成岩
 - 2D. 向きの影響
3. 追加の地質観察が望ましい状況
 - 3A. 節理の状態
 - 3B. 局所的な地質、風化、割れ目頻度
4. 工学や建設への応用
 - 4A. 一般
 - 4B. 堀削、浚渫、水中発破
 - 4C. 基礎、原位置試験による係数
 - 4D. トンネル
 - 4E. 耐浸食性、粗さ

5. RQD の一般的な有用性

5A. 満足できる経験

5B. 欠点、制約

1. RQD 決定のしくみ

1A. コア直径

質問

- 1A 1: RQD は NX、ダブルチューブのコア採取に基づいているが、モービル管区では何年にもわたり利用していない。NX、NQ 有線及び他のサイズや種類の採取具またはそのいずれかとの間で、相関性は調べられているか？
- 1A 2: コア直径の 2 倍に対する改良コア回収率の決定に使うコアの長さを長くして、NX サイズよりも大きなコアに RQD を適用する(つまり直径 6 インチのコアについて は 12 インチ長さのコア片のみを計数する)のは有効か？
- 1A 3: RQD 値は NX サイズのコア以外にも適用できるか？
- 1A 4: RQD は NX コアに基づいている。それより大きい、又は小さい径のコアに対しどのように RQD を利用し、測定し、関係を付けるとよいのか？
- 1A 5: 異なる岩石の性質、現場の地質、コアサイズ等にこのシステムを適用に関する情報を含めて改訂された RQD 表をみせてほしい。
- 1A 6: ...NX より大きい又は小さいコア直径について規定されておらず、ボーリングコア内の非常に亀裂が入った岩帯についての指示もない...
- 1A 7: ...近年、当管区はほとんど 4 インチのコアバレルのみ使用してきたが、今は HQ 有線器具をかなり利用している。私たちが扱う岩石とその性質がプエルトリコの非常に亀裂が入った岩石やフロリダの軟弱な石灰岩であるため、当管区では NX サイズコア機器を使用していない。フィールド地質学者の間で NX 以外のフラグメント長をどのように測定するかについて質問が出た時、私たちはボーリングコアをつなぎ合わせて、コア上端の中心を基準線として使用することに決定した。明らかに、私たちは個々のコア片の長い又は短い側を測定することも、4 インチと NX コアの間で直接関係付けすることもできない。私たちは、コア直径によらない、代表する中間の長さの幅を中心の基準線で算出することに決めた。...
- 1A 8: -作成中の「地盤工学ハンドブック」に異なるサイズや種類のコアバレルを用い、類似した岩石をボーリングした時の RQD 値の比較検討を含めるべきである。Deere 博士は RQD に NX サイズのコアのみの利用を意図したと聞いた。いくつかのテキストが 50mm 以上の

コアの RQD 値決定を論じている。ご存じのようにコア直径が大きいほどコア回収率は良くなり、ほとんどの場合 RQD 値も高くなる。

1A 9: RQD は NX 以外のコアサイズに合理的に拡張できるのか？ 拡張できる場合、どれが可能（または不可能）であり、その理由は何か？

1A 10: RQD がコア直径に関連している経験はあるのか？ RQD が NX コアに対して開発されたもので、ソリッドコア長さをコア直径で割ると 2 に等しいことは理解している。3 インチコアを使うと、NX の時の 4 インチでなく、6 インチ（の必要長さ）に基づいて RQD を求めることになる。一般的慣行では、全てのコアサイズに対し 4 インチの破片が使われると信じられている。このことについて明らかにすべきである。

1A 11: 最もコスト効率が良い、岩石回収率・品質が高い、またはその両方の様態で業務を処理するのに NX が唯一の選択肢の時、現在のコアボーリング作業では RQD 利用は非常に限られている。私たちはますます有線システムを使う。この再研究では RQD を NX に加え他のサイズとの関係付けにも対処するのか？ 特に、もっと大きな直径(4 インチ、2-3/4 インチ)のものや PQ、HQ 等の有線のサイズ、トリプルチューブコアバレルと関係付けをする必要がある。

1A 12: RQD の主な欠点の一つは、コアサイズとの関係、つまり、コア直径が大きいほど RQD が小さくなることである。岩盤の真の指標特性として利用するため、RQD は孔径とは独立でなければならない。この問題を補うことは可能か？

1A 13: ...RQD の定義と利用について最近多くの検討を行った。私たちの感想を 3 つの分野についてお伝えしたい。(1) 私たちの理解では長さ 4 インチ以上のボーリングコア片のみを計数して RQD を計算する。現場の岩盤状態を真に反映したものではないので、これは適切な手法に見えない。(2) 陸軍工兵隊による RQD 利用は NX コアのみに限定されている。北西部におけるボーリング孔の大部分は NX より大きな径(HQ)であるため、これでは制約が大きい。

1B. コア片長さの測定

質問

測定位置：

1B 1: RQD の測定について説明を求める。コアのどこで行うのか？

添付資料 A-5

1B 2: ...フィールド地質学者の間で NX 以外のフラグメント長をどのように測定するかについて質問が出た時、私たちはボーリングコアをつなぎ合わせて、コア上端の中心を基準線として使用することに決定した。明らかに、私たちは個々のコア片の長い又は短い側を測定することも、4 インチと NX コアの間で直接関係付けすることもできない。私たちは、コア直径によらない、代表する中間の長さの幅を中心の基準線で算出することに決めた。...

1B 3: コアボーリング軸に平行な割れについて説明が欲しい。TVA では、長さ x のコアセクションが半分の長さで割れていてその長さが 4 インチ以上の時、損傷がないコアの合計の際に $x/2$ の値を数えるというルールを利用している。

直径の 2 倍のコア長さ

1B 4: コア直径の 2 倍に対する改良コア回収率の決定に使うコアの長さを長くして、NX サイズよりも大きなコアに RQD を適用する(つまり直径 6 インチのコアについては 12 インチ長さのコア片のみを計数する)のは有効か?

1B 5: RQD がコア直径に関連している経験はあるのか? RQD が NX コアに対して開発されたもので、ソリッドコア長さをコア直径で割ると 2 に等しいことは理解している。3 インチコアを使うと、NX の時の 4 インチでなく、6 インチ(の必要長さ)に基づいて RQD を求めることになる。一般的慣行では、全てのコアサイズに対し 4 インチの破片が使われると信じられている。このことについて明らかにすべきである。

1B 6: 利用できる元のデータに基づくと、RQD 決定には 4 インチのコア長さを適用している。過去 20 年間のデータはこれを支持しているか、それとも別の長さの用が良さそうか?

1B 7: ...天然の割れのみを用いてコアの RQD を測定する場合、ボアホールカメラを用いて得た値と近いものにならなければならない。... 現在ここ北西師団でボーリングしているボーリング孔のサイズは HQ であり、陸軍工兵隊の方針により RQD 計算に使用できない。上記の RQD 計算方法を使うなら、NX や 6 インチのコアホールで行った計算結果とは、どちらとも地中にあるものの測定値のため違いはないのだが。現在の RQD 計算方法では、ボーリングの間、ボーリングコアにかかる機械による様々な応力のため、癒合した割れ、層理面または葉状構造に沿って異なる度合いの割れが引き起こされて、おそらく様々な値になるだろう。繰り返すが、自然に発生した割れが発生したもののみ計数するので

RQD計算で使用するボーリング孔のサイズがどのようなサイズでも許容できるのである。

天然の割れと誘発された割れの区別:

IB 8: 割れが天然か機械によるものかの明確化が必要である。

IB 9: コア片を合わせる以外に、頁岩または頁岩質シルト岩、砂岩シーケンス中の天然（現場）の分離とボーリングが誘発した分離を区別するのにフィールド地質学者や技術者が使用できる方法はあるのか？この決定は正確な RQD 定義に必須である。

IB 10: S 深部コアで応力解放によるコアのディスク状破壊が発生する。応力解放によるコアのディスク状破壊は小さめのコアに関する大きな問題であり、大きめのコアでも発生する。応力解放によるコアのディスク状破壊によるコアの割れの RQD 係数に含むべきでない。地質学者にはコアのディスク状破壊を節理と混乱するものもある。フィールドでの記録化手法に関する指針があると有用である。

IB 11: 技術報告書 GL-85-3 「岩石及び岩盤の地盤工学的説明」によると、RQD の定義はコアボーリングから岩盤状態を説明するのに用いる手法となっている。岩盤の状態は天然に発生した破碎や割れを含むものと仮定されている。

これは、RQD を計算する時、長さ 4 インチ以上のコア片のみ計数すると説明されていることではない。現場の岩盤を説明する時には、ボーリング孔が横切った岩盤の癒合していない割れの間の間隔のみ見なければならない。ボーリングや取扱いでコアに機械の力がかかることなくコアを得ることができれば、破碎のみが開口していて、閉じた割れや剪断帶は断層となるのだろうが。通常のボーリング作業中に発生したような形では、癒合した割れはどれも割れず、葉状構造分離の層理も発生しない。すると RQD は 4 インチ以上の間隔で天然の割れを含むコア全体の測定値ではないのか。これがワラワラ管区における懸念である。というのも、コアを見ながら測定した RQD 値は、NX ボーリング孔カメラを用いて孔内で測定した RQD やボーリング孔分析パッケージから得た RQD とは大きく異なっている。天然の割れのみを用いてコアの RQD を測定する場合、孔内写真法を用いて得た値と近いものにならなければならない。

IB 12: ニューヨーク管区での岩盤掘削は主に、浅くボーリングを実施中の最初の 5 フィートに限られている。その後、岩石コアを調査する一地質学者として気がついたことは、一般的な岩石の説明には RQD がいつも与えられているとは限らないが、検査実施者にとって天然の割れと機械による割れを区別することが困難なため、

それらの説明がしばしば、岩石の質を過小評価していることである。管区は「非常に亀裂が入った」岩石を除去できないボーリング機器に関する苦情に直面することがある。そのため、Deere 博士にこの問題と、こうなることを避けるのが可能な方法を検討して頂けるとありがたい。

私は様々な岩石コアリング手法やコアが機械で壊れる方法に精通している。時に天然の割れの特定で苦労するが、通常、割れの 3/4 が機械的なものとして除外できる。奇妙な割れに加え、コアボーリングプロセスで開いてしまった緊密な割れを含めないことにしている。

私は最近、1 年半に及ぶ、ニュージャージー州パサイック川盆地の洪水排水路トンネルに沿った深孔コアリングプログラムを完了させた。ニューヨーク管区で大規模なコアボーリングを実施したのは近年では初めてである。10~20° の層面節理を含む頁岩や砂岩、及び、10~20° の応力解放節理と 80~90° の柱状節理を含む玄武岩が存在した。岩表面の 100 フィート以上下にある 3 つのトンネル径の岩帯についてのみ RQD 値を得た。岩石の質は良好から非常に良好であったが、コア自体は非常に亀裂が入っていた。幸い岩石の質のおかげで、ほとんどの場合岩石コアを測定することなく、機械的な割れを除いた後に RQD を推定できた。ある日、岩石データを取ることになっているコンサルタントらが来て、ボーリングを調査した。彼らは非常に亀裂が入った 10 フィートのコアを見て、私が 95% RQD 値であるというのを聞いて驚いた。もう一つのケースは機械的な割れが検出できないものであった。自分自身を満足させコンサルタントにも安心してもらうため、私は攪乱されていない岩に関する自分のボーリング記録及び孔中写真を使い、GDM 報告用のグラフを作成した。南西師団実験所の Bill Tanner のカメラを主に利用しても、個々の天然の割れをフィルム上で検知した。

グラフの写しを同封する。私はまず両データ源からの節理を合計して 10° 間隔に分けた。ご覧のように、私は多くの天然の割れ(400)を見逃した。大きな食い違いは、私がボーリング記録を行った時、非常に亀裂が入った岩帯(例: 1 インチ毎に節理 2 カ所)から各節理を記録化していないせいかもしれない。私が見落とした節理の割合は決定できなかった。

攪乱されていない岩データ(写真)と攪乱された岩データ(コア観察記録)を比べた同封のグラフから、見逃した天然の割れを追加しても RQD 値が小さくならないことが分かる。代わりにほとんどの部分で、攪乱されていない岩は私が決定したよりも高い RQD 値になった。見落とした天然の割れは平均して 11 フィートにつき節理を 1 カ所増やすが、

4 インチ未満の岩石コアは計数に含めないとする RQD 測定要件に基づき RQD 値は減少しない。

1C. コアボーリング長さと RQD 間隔

質問

- 1C 1: 思い浮かんだのは質問一つのみである。Deere 博士は指標計算のために、ボーリングコア、コアボックスのフィート単位の金額率またはコア孔全体のフィート単位の金額率のような単位を設定しているのか？ 簡単にするためと間隔の統一性を維持するため、私たちは RQD 決定のためのコアボックスについては全長に対しての金額率を使っている。
- 1C 2: 5 フィート毎、10 フィート毎、ボーリング長さ毎、コアボックス毎等に対し RQD を%単位で測定すべきなのかどうか、明確化が必要である。
- 1C 3: RQD 報告のための間隔選定については統一した指針がない。例えば、最長 10 フィートの、任意でばらつきのあるボーリングコアを使って平均の RQD を計算可能である。10 フィートに対し平均の RQD 値が 50 というのは、岩の上部 5 フィートの RQD が 0 で下 5 フィートの RQD が 100 の場合、現地の状態を満足に反映していない。岩石の質が急激に変化する場合、RQD 値は各区間にについて分けて報告すべきである。
- 1C 4: RQD はボーリングした岩の全長に基づくので、結果は岩の品質だけでなくボーリングプロセスの質も反映している。不適切なビットタイプ、送り量、水圧、バレルの調製、コアサイズや他の要因が岩の回収率や回収状態に大きく影響しうる。これらの影響は特に頁岩において問題になる。... RQD は回収したコアの長さに基づくものだが、豊富な経験や山脈に対する「印象」がこのような変化により危険にさらされるのではないか。
- 1C 5: ... 私たちは Deere 博士が原論文でかかれたような南大西洋師団の地盤工学マニュアル中の指針に従っている。私たちはボーリングで回収された 4 インチを超える長さの健全で新鮮な岩片の全長を、ボーリング長さで割っている。請負業者の立場は、1 回のボーリング全体でなく岩石中のボーリング長さのみを使うべきだというものである。わたしたちの立場は、今でも、(修正なしで)100%回収しない限りどこが「土」でどこが「岩」か分からぬとするものである。このような言い方をする理由は、私たちの場合、真の意味では土ではなくむしろ軟弱な岩帶または固まっていない物質の層がより硬い、固まった層の中にあるためである。請負業者の方法を使うと回収できなかった分は「土壤」とみなされ、

全ての軟弱な岩帯もまた「土壤」と呼ばれる。実際には、いつも「岩」を 100%(修正なしで)回収している。

その後、4 インチ以上の長さの全破片を数え、この全長に基づき RQD を計算する。

その結果、RQD の値は自然とずっと高い値となってしまう。

2. 特別な RQD 記録化に関する問題

2A. ボーリング機器・手法

質問

- 2A 1: RQD 適用の際無視されているように見える因子がボーリング作業員のスキルである。これは重要な因子であるように見える。どのように評価すべきなのか？
- 2A 2: 2つのボーリング機、リグ又は機器を使って同じ物質の試料を採取する際、同じ結果にならないことから、同等なデータを得るにはどんな「ミッキーマウス」因子を適用すべきか？ …ビットタイプ、「岩石」サイズと分布、回転速度、ツール重量、削孔水の種類、圧力と体積、コアバレル長さ、ドリルカラーや「トラッシュバスケット」の使用、及びボーリングコアの長さもまた、試料の回収率及び状態に寄与する因子である。
- 2A 3: RQD はボーリングした岩石の全長に基づいていることから、結果は岩石の品質だけでなく、ボーリングプロセスの影響も受ける。不適切なビットタイプ、送り量、水圧、バレルの調製、コアサイズや他の要因が岩の回収率や回収状態に大きく影響しうる。これらの影響は特に頁岩において問題になる。

2B. コアの迅速な記録化

質問

- 2B 1: コアバレルから取り除く時、取扱い中及び箱詰め中、試料の状態について観察せず、適格な人が直ちに記録を取らないと、提示されたデータは下の特徴からかけ離れたものになるかもしれない。私たちは輸送後記録を取っていないコアサンプルを、時には入手してから数日又は数週間、しばしばそのままにしている。
- 2B 2: ハンティントン管区では、薄い層状の堆積性頁岩・砂岩の中での業務が大半である。私たちは特に頁岩では RQD がボーリング技術、コアの取扱い、剥離性による速い劣化の影響を受けることを分かっている。そして RQD はせいぜい、頁岩、硬結性粘土質及び固まり具合の悪い粘土質岩石の品質に関する一般指標に過ぎないと感じている。

添付資料 A-11

2C.ある岩石種の適用可能性

質問

一般的な問題

2C 1: ...異なる岩石の性質、現場の地質、コアサイズ等にこのシステムを適用に関する情報をお問い合わせ改訂された RQD 表をみてほしい。...

2C 2: RQD が様々な岩石カテゴリー（火山岩・堆積岩・変成岩）に対して、あるいは与えられたカテゴリーの中で（つまり頁岩・砂岩・石灰岩）、多かれ少なかれ適用できることを示すのに十分な経験は積み上がってきたのか？

2C 3: 以下は全て、RQD が小さくなる傾向がある。面構造が発達した岩帯、断層帯、頁岩、多孔質の石灰岩、及び薄い層状の石灰岩のような固結岩。上記岩帯の上下にある岩石ユニットは相当な強度と固結性がある場合があるが、RQD が低いと思われる。各現場のケースに基づいて RQD を大きくすることは可能か？

2C 4: RQD では、層が 4 インチ未満の厚さの場合、割れ、破碎した岩石や、最小の破碎と風化を伴う間に挟まれた薄い層の間で区別がつかない。

2C 5: RQD を使って、損傷がないが非常に強度が弱くなる限定面である、頁岩中のベンタナイトの継ぎ目、または火山岩の中の雲母層等、特性の影響を説明する方法が存在すべきではないか？

2C 6: コア記録化中、フィールドで RQD を適用する際、いくつかの問題にぶつかった。

- ボーリングにより潜在的な割れ面に沿って分離してしまうような軟弱な岩盤層では利用が困難である。
- 弱く角礫化する種類の岩石は、天然の割れに沿って破碎しないことが多く、そのため実際には岩盤の質が非常に悪い時でも RQD 値が高くなる。

頁岩、粘土岩、間に挟まれた堆積岩

2C 7: 圧密タイプの粘土質頁岩や、間に挟まれた粘土質頁岩及びより硬い石灰岩の中のような、柔らかい岩石コアに対して RQD 値は適用可能か？

2C 8: ヴィックスバーグ管区は今まで RQD 法を使用してきておらず、近い将来、利用できるようなエリアでの作業を見込んでもいい。ヴィックスバーグ管区は他の管区が収集した RQD 情報を使って作業を行っており、岩の質が柔らかいため不適切であるという意見であった。

2C 9: RQD、様々な岩石種での適用について、利用できる文献が非常に少ない。例えば、頁岩の記録をいつ取ったか、または誰が記録を取ったかにより、薄い層になっている石灰岩は、または大量の柔らかい頁岩でさえも、同じような悪い RQD 値、または反対の RQD 値となる。

質問: より具体的な指針をこの面でだしていただけないか?

2C 10: 元の相関関係には砂岩の一部や頁岩のような弱い岩石は含んでいなかった。これらの相関は現在発展したのか?

2C 11: RQD を間違って利用する可能性とは無関係に、手順自体が固有の問題を有している。ある種の岩石については、RQD 利用により現場にある岩石の工学的特性について大きな誤解が生まれうる。特に問題なのが、例えばテネシー州中部に多い薄い層の頁岩質石灰岩である。これらの岩石の多くが経験のあるボーリング技術者によりコアボーリングを行ってさえ、頁岩質の積層に沿って割れる傾向があり、これは RQD がどんな長さのボーリングコアに対しても非常に低くなる限り、現場のものか、ボーリングで誘発されたものを確実に指定できない。するとその岩石について行う間違った推測が工学品質の悪さにつながる。
しかし、基盤岩中の積層の存在は、これら岩石の非常に大きな圧縮荷重に耐える能力にあまり影響を与えない。これらの種類の岩石の機械的性質における高い度合の異方性のため、RQD にいくらかの度合いで依存するのは、工学評価において非常に誤解を招きやすい。

溶解空隙を伴う石灰岩

2C 12: 加えて、炭酸塩岩の溶食能がしばしば空隙を生み出し、これに対応して RQD 値は低く、コア回収率も低くなる。しかし、空隙が硬く連続している石灰岩により囲まれて隔離されている場合、この低い値は連続する岩石の荷重支持品質を誤って伝える可能性がある。

これらの理由から、割れ目頻度等の代替パラメータの方が RQD よりも良い岩石の質の指標となりうる。

2C 13: 溶食やオープンシーム、孔隙、泥シーム等の風化特性は、破碎又は薄い層理と区別できない。

2C 14: RQD を利用して石灰岩やその他溶解する基盤岩の工学的品質を説明する際のもう一つの問題は、RQD 手順が構造的完全性に関する岩盤中の空隙厚さまたは位置の影響を考慮していないことである。例えば、中央部に 2 フィート厚さの孔隙があるのを除けば基本的に健全な 10 フィートのボーリングコアは、RQD 値が 80%で「良」と説明される。この場合、たとえ岩石の大半が硬く固結していても、体積の 20%を占める孔隙の存在は見過ごせない。実際、回収コアの状態ではなく、孔隙の性質と位置こそが、基盤岩の工学的性質に影響を与えるもっとも重要な問題となりうるのである。

2C 15: 加えて、炭酸塩岩の溶食能がしばしば空隙を生み出し、これに対応して RQD 値は低く、コア回収率も低くなる。しかし、空隙が硬く連続している石灰岩により囲まれて隔離されている場合、この低い値は連続する岩石の荷重支持品質を誤って伝える可能性がある。

これらの理由から、割れ目頻度等の代替パラメータの方が RQD よりも良い岩石の質の指標となりうる。RQD は回収したコアの長さに基づくものだが、豊富な経験や山脈に対する「印象」がこのような変化により危険にさらされるのではないか。より実際的には、RQD に影響を与える条件を単に記録して、条件が疑わしい場合、別のパラメータの使用を示唆するほうが価値がある可能性がある。

火山岩と変成岩

2C 16: システムには当初から問題が内在しており、私たちは心から導入できずにいる。最初に、岩石の質決定の際に短いコア片を計数に入れることにより、玄武岩や変成岩等の強固な岩盤の一部は、それらの本来の値よりも低い評価を受けてしまう。良い例が、不規則な割れ面がある性質のため、垂直に切り立った(張り出し気味ですらある)崖の中に存在する、局所的なさいの目状の玄武岩ユニットである。RQD システムは 割れの様子や割れに沿った粘土質充填物の存在を組み込んでいない。

2D. 向きの影響

質問

- 2D 1: ポーリング孔の向きは RQD 値にかなり偏りを生む可能性があり、実際そうなることが多い。つまり、大きく平行な割れにより誤解を招くような高い RQD 値を示し うる。この欠点にはどのように対処できるか？
- 2D 2: ポーリング孔に対する節理や層理の向きにより RQD に違いが出る。なにか利用可 能な相関関係はあるのか？でなければ手順に注意を含めるべきである。
- 2D 3: 垂直ポーリングで得たコアの RQD 測定値から、どのようにして、垂直節理や角度 の大きな節理が岩盤の工学的性質に与える影響を正確に予測できるか？

3. 追加の地質観察が望ましい状況

3A. 節理の状態

質問

3A 1: 連續性、平面性、節理・剪断面に沿った鉱物の変性は岩盤特性に主に影響を与える岩石の不連続に関する特性である。RQD はこれら重要な特性を反映していないことが非常に多い。

3A 2: RQD が割れの粗さや粘土質等の充填物に結びつける何らかの方法が存在すべきである。どのようにして対する割れの性質が岩盤全体の質に大きく寄与することを反映させることができるか？

3A 3: RQD システムを岩盤分類のように拡大させるつもりなのか？ 節理の状態、節理の組、水等がより大きな役割を持つのか？

3B. 局所的な地質、風化、割れ目頻度

質問

3B 1: お尋ねになった私たちの RQD 測定利用に関しては、私たちはコアボーリングの際 RQD をルーチン的に利用している。しかし、実施において有用であるとは考えていない。私は普段、基礎を設計しコストを見積もるため、岩石の平均風化深さを推定しようとしている。そのときは通常、各コアを注意深く観察し、どこで大半の岩石風化が止まっている深さを拾おうとしている。RQD はその点であまり役に立たない。

3B 2: RQD は整然と計算できるが、いつも最良のボーリングコア評価方法とは限らないことが分かった。RQD はコア評価の独立した方法を意図していないが、岩盤の地盤工学的な性質を計算するのに一番使われている。他の状況に対しては、コアの割れ目頻度をプロットするのがより有用である。ボーリング孔内のどこで亀裂が入ったのか目で見てすぐ分かるからである。私たちは癒合した割れ目の割れ目頻度についてもプロットしている。というのも、それらは典型的には緑泥石と癒合しており、ボーリングすると、可能な採石物質に関する評価の一部分としては一致しなくなる傾向があるからだ。

3B 3: 基盤岩の工学的性質理解のツールとして RQD を利用する者は、基盤岩の工学的性質評価のあまりにも単純なアプローチに内在する制約についても理解しなければならない。局所的な地質の状況、つまり、岩石の岩石学的性質、基盤岩の地質学的構造、及び基盤岩風化の

添付資料 A-16

影響を受ける可能性等とは離れて、それ単体を考える時、RQD は意味のない数になる。確かに、Deere (1968)*は RQD システムの制約と、基盤岩と相互作用する工学プロジェクト設計時におけるサイト全体の地質を考慮する必要性を認識している。そのため、適切に使うためには RQD を地質評価全体のほんの一部とみなすべきであり、基盤岩の工学的な質を決定するため RQD だけを根拠とするような使い方はできない。

3B 4: ...私が RQD を利用したときにはそのほとんどの場合で役に立ったが、地質工学分野で訓練を受けていない技術者がこのシステムを誤って利用したり誤解釈したりすることが増えていることに気がついた。私たちの多くが知っているように、RQD 法は岩盤全体の適合性を決定するには他の要因も合わせて使う必要がある、数多くのツールの一つである。システムに関わる多くの因子や、基礎、トンネルまたは法面掘削を設計する際考慮しなければならない多くの地質学的条件を考慮することなく、RQD 表に照準を合わせる技術者や建築家（構造・高速道路）の数はますます増えている。

経験のないコアボーリング調査官を使う会社の数が増えている。彼らはうまく説明できるような記録化手法の訓練を受けておらず、そのため、岩石の質の説明が下手で、RQD 値に完全に頼ってしまうことになる。

私は AE が RQD 法を詳細な地質工学調査や岩石試験のコスト上昇に対する万能薬のように見なしているのではないかと疑っている。

3B 5: ...私たちは RQD システムを利用する必要がないが、私たちのところの多くの地質学者は何らかの利益があるとのことで利用している。RQD で提供されない追加情報を見出し、それを記録や報告書に記載してもらう限りは、私たちは RQD 利用について気にしていない。RQD の利点は、記録化ツールとしてのシンプルさ、世界的に高名なこと、そして、係数、必要な吹きつけコンクリート厚さ等の光学設計パラメータを含む、公表された相関関係表である。

添付資料 A-17

* 本添付資料中の参考文献については本文の末尾に挙げた。

4. 工学や建設への応用

4A. 一般

質問

- 4A 1: 異なる岩石の性質、現場の地質、コアサイズ等にこのシステムを適用に関する情報を含めて改訂された RQD 表をみてほしい。表は様々な岩石種や、様々な種類の構造、トンネル掘削、掘削及び基礎の設計に適用する語の意味を適格なものにすることで、岩石の質の説明(非常に悪い～非常に良好)の間違った解釈を防止するための制限を組み込むべきである。
- 4A 2: RQD は広く使われてきたツールである。多くの設計支援が岩の性質に関する他の情報と共に RQD を使ってなされるという事実から、誤って使用される可能性もある。これら支援を使うと、設計者たちは設計において RQD のみを取り上げることが可能である。報告書を作成する場合、意図的な使用及び制約について検討を含めるべきである。

4B. 掘削、浚渫、水中発破

質問

- 4B 1: Deere 博士への質問に、博士は発破なしである種の掘削・浚渫機器(バックホウ、クラムシェル、ショベル、浚渫等)を利用した RQD 値について相関を取った経験があるかどうか加えて頂けるとありがたいのですが。
- 4B 2: 水中発破について質問を追加できますか。私が以前送ったものに追加お願いします。
- 4B 3: 浚渫プロジェクト及び地表建設プロジェクトの両方における岩石掘削性を決める際の RQD 利用について博士のお考えをお伺いしたい。

4C. 基礎、現地計数

質問

- 4C 1: 基盤岩内で支える基礎に対し許容される支持力等の値を得るのに RQD 利用を提案している方々がいる。このような方法は現実的又は有効か？
- 4C 2: RQD は元来、トンネル設計評価方法として開発されたものと、私たちは理解している。RQD は過去何年もの間、基礎岩石品質の包括的ガイドとなってきた。従つて、RQD は現在、

全ての基礎設計において何らかの形で適用されている。現時点では、技術者/地質学者が RQD 値を利用するときは、経験に基づき他の既知のパラメータと共に利用ものか、Peck, Hanson 及び Thorburn の「基礎工法」の表 22.2 及び他の岩石の質指標を参考に許容接地圧に相関させた時と仮定されている。しかし、RQD をよく知らないか経験のない技術者や請負業者に生のボーリング記事に記録された RQD を渡し、見てもらう時には、解釈結果が誤解される可能性がある。質問。岩石コアを説明する方法を変更するか、質の指定を具体的な利用に対してより詳しく規定したりできないか？

- 4C 3: 簡潔に言うと、RQD は岩石コアのある性質についての説明に役立つものであり、有用なツールとなり得る。しかし設計への適用は大幅に限られる。RQD が「非常に良好」「良好」「悪い」といった語と関係づけられており、時には許容支持力(Peck, Hansen, Thornburn, 1974)とすら関係づけられているという事実が、RQD の誤った使用の機会を大幅に増やしている。設計者は基礎設計を決める根拠として RQD だけに頼ってはならない。せいぜい、基盤岩の工学的品質評価への使用に限られたツールとしてのみ役立ちうる。
- 4C 4: 元来、RQD と岩石係数または変形率の関係が極めて良かったものとは思われなかった。より多くのデータでこれらの関係を検証するのか？ もしくは改訂する必要があるのではないか？
- 4C 5: RQD は原位置岩盤の質の指標であるが、RQD から得られる情報は岩石の質についての粗い定性的測定値のみである。RQD を岩盤の変形係数と関係づけようとする試みがなされてきたが、手順は変形係数を制御する多くの因子を無視している。このため、数多くの技術者たちは RQD 法での岩盤係数評価には信頼性がないと考えている。基礎岩石上の構造の安定性解析に RQD 法を使って決定した変形係数を利用するのは安全か？
- 4C 6: 岩盤の変形係数は、不連続の数だけでなくそれらの性質にも依存する。RQD はこれらの特性に関する情報を提供しない。そのため RQD を現在の形式で岩盤の変形係数と関係づけるのは適切でない。RQD の形を不連続の特性を含めるよう変更できるか？
- 4C 7: 基礎岩盤上のコンクリート構造の安定性解析を実施するには、互いに垂直な 3 方向における岩盤の変形係数が

必要である。

加えて、これらの方向の剪断係数も必要である。RQD 法は直角方向の変形係数のみ提供する。この方法は水平方向への係数決定に、また、互いに垂直な 3 方向の剪断係数決定に拡張できるのか？

- 4C 8: 係数減衰因子と Deere 博士が開発した RQD の関係は、限られたフィールドデータに基づいており、多くの欠点がある、つまり、57 未満の RQD に対して適用できず、Deere の相関関係に示されたものと不連続面特性がかなり異なる岩盤の相関関係に使用するのは現実的でない。様々な不連続面の特徴を持つ源を集めてフィールド試験データを組み込むことで、関係を現実的にすることは可能か？

4D. トンネル

質問

- 4D 1: 非常に深いところでの問題、例えば、(10 または 100 メーターとは対照的な)1,000 メーターのオーダーの深さにある岩石の開口部に対して RQD の適用又は解釈を推奨するのに十分なエビデンスが出てきたか？
- 4D 2: 地質学者の中にはトンネル掘削に適用する時は RQD を水平な孔から決定すべきという人たちがいる。これは正しいのか？
- 4D 3: 私たちが過去数年間において適切なトンネル支保システム決定に RQD 指標を使用したのは 2、3 回だった。指標は岩石構造評価の概念や Bieniawski の地盤工学分類と共に、岩盤挙動解析に必要だった。これら定性的研究は、実際の経験に加え岩盤品質を説明するのにとても有用な方法と証明してきた。

4E. 耐浸食性、粗度係数

質問

- 4E 1: 岩盤の開水路及びトンネル掘削の両方でしばしば思いつきそうな質問は、このような掘削の際、様々な流速の河川流の浸食に対する耐浸食性について岩石評価をどのようにするのかである。私たちの質問は「RQD を岩石の河川流による浸食に対する耐浸食の指標として利用できるか？」及び、「RQD を岩盤が耐えられる最大河川流速の予測に使用できるか？」である。

4E 2: 頭に浮かんだもう一つの問題は、開水路排出量決定のための Manning の式を利用した粗度係数をどう評価するかについてである。基盤岩中の開水路の問題は、不連続の量及び向き等の変数全てによりこの値がどうなるかについて予測する方法に関するものである。RQD は粗度係数の値がいくつになりそうか推定する際、何か役立つような形で利用できるか？

5. RQD の一般的な有用性

5A. 満足できる経験

質問

5A 1: RQD を工学的指標として適用してきたが問題はなかった。実際、対象となっている利用方法においては、この指標が岩石コア品質を推定する実用的なパラメータであると私たちちは思っている。

5A 2: これらの意見は実際の作業における欠点を指摘しようとするもので、RQD システムの有用性をけなそうとしているのではない。このシステムにより、岩盤の性質を工学的特性と素早くシンプルな様態で組み合わせることができた。シンプルさを大きく損なうような変更は害となるだろう。結局、岩盤の自然に発生した特性が、非常にシンプルで注目しやすく、解析にちょうど必要な基本データを提供する。工学的特性に関する経験が加わると、必要なことは全てそろうだろう。RQD システムがすることは、経験のない人たちに経験の要素を付け加えることである。もちろんそれはうまくいく。なぜなら、広い経験をベースにしたものだからである。

5A 3: RQD は他の指標特性と同じく、様々な工学的利用における岩石拳動評価に利用できる一つのツールと思われる。この新しい研究では、どこでどのように使用すべきか、どこでどのように使用しないべきかを含む適切な視点で RQD を設定しなければならない。

5B. 欠点、制約

質問

5B 1: ... また、私たちの調査によると、大企業の中には顧客に要求されない限り RQD を使用しなかったところがあることが分かった。これは主に、フィールドで導かれるような方法に伴う問題、及び、設計上の使用に伴う問題によるものであった。明らかに、多くの技術者は RQD の数に基づいて、他の因子を考慮せずに設計するだろう。

5B 2: ...私が RQD を利用したときにはそのほとんどの場合で役に立ったが、地質工学分野で訓練を受けていない技術者がこのシステムを誤って利用したり誤解釈したりすることが増えていることに気がついた。私たちの多くが知っているように、RQD 法は岩盤全体の適合性を決定するには他の要因も合わせて使う必要がある、数多くのツールの一つである。

システムに関わる多くの因子や、基礎、トンネルまたは法面掘削を設計する際考慮しなければならない多くの地質学的条件を考慮することなく、RQD 表に照準を合わせる技術者や建築家（構造・高速道路）の数はますます増えている。

経験のないコアボーリング調査官を使う会社の数が増えている。彼らはうまく説明できるような記録化手法の訓練を受けておらず、そのため、岩石の質の説明が下手で、RQD 値に完全に頼ってしまうことになる。私は AE が RQD 法を詳細な地質工学調査や岩石試験のコスト上昇に対する万能薬のように見なしているのではないかと疑っている。

- 5B 3: RQD は広く使われてきたツールである。多くの設計支援が岩の性質に関する他の情報と共に RQD を使ってなされるという事実から、誤って使用される可能性もある。これら支援を使うと、設計者たちは設計において RQD のみを取り上げることが可能である。報告書を作成する場合、意図的な使用及び制約について検討を含めるべきである。
- 5B 4: RQD の定義と利用について最近多くの検討を行った。私たちの感想を 3 つの分野についてお伝えしたい。(1) 私たちの理解では長さ 4 インチ以上のボーリングコア片のみを計数して RQD を計算する。現場の岩盤状態を真に反映したものではないので、これは適切な手法に見えない。(2) 陸軍工兵隊による RQD 利用は NX コアのみに限定されている。北西部におけるボーリング孔の大部分は NX より大きな径(HQ)であるため、これでは制約が大きい。及び、(3) RQD は利用されるべきところよりも多く使用されているように見える。私たちは多くの状況で、割れ目頻度をグラフ表示するのがより有用であると感じている。RQD は、岩盤の工学的性質評価に使われる地盤工学分類システムまたは Q システムのような岩盤評価システムで利用するのに最も適しているように見える。
- 5B 5: お尋ねになった私たちの RQD 測定利用に関しては、私たちはコアボーリングの際 RQD をルーチン的に利用している。しかし、実施において有用であるとは考えていない。私は普段、基礎を設計しコストを見積もるために、岩石の平均風化深さを推定しようとしている。そのときは通常、各コアを注意深く観察し、どこで大半の岩石風化が止まっている深さを拾おうとしている。RQD はその点であまり役に立たない。
- 5B 6: 私はシンプルな指標特性がこれらの問題を説明できるか確信が持てない。明らかに、地質学的条件の研究や

添付資料 A-23

コア調査は、いつも地質工学設計者が行うべきであり、設計者はボーリング者、技術者又は両方が作成した単純なパラメータに頼ることにより、このプロセスを決して回避しようとしてはならない。

そのため、プロジェクトのパフォーマンスに悪影響を及ぼしかねない地質学的な詳細事項の包括的評価の実施からはなれて注目する場合、RQD 改善については注意して見なければならない。

- 5B 7: Deere (1968)が説明した岩石の質の指定は、基盤岩コアのある物理的特性を伝える手段を提供している。この方法は地質学者や技術者により、非常に一般的な用語をもちいて土木工事に関係した形で基盤岩の固結性を評価するのに、広く使用されてきた。残念なことに、手順の単純さは、RQD の数字の値を「悪い」「良好」及び「非常に良好」といった言葉と関係づける一般的な慣行と共に、RQD の誤った使用や誤解にしばしばつながっている。

基盤岩の工学的性質理解のツールとして RQD を利用する者は、基盤岩の工学的性質評価のあまりにも単純なアプローチに内在する制約についても理解しなければならない。局所的な地質の状況、つまり、岩石の岩石学的性質、基盤岩の地質学的構造、及び基盤岩風化の影響を受ける可能性等とは離れて、それ単体を考える時、RQD は意味のない数になる。確かに、Deere (1968)は RQD システムの制約と、基盤岩と相互作用する工学プロジェクト設計時におけるサイト全体の地質を考慮する必要性を認識している。そのため、適切に使うためには RQD を地質評価全体のほんの一部とみなすべきであり、基盤岩の工学的な質を決定するため RQD だけを根拠とするような使い方はできない。

- 5B 8: 簡潔に言うと、RQD は岩石コアのある性質についての説明に役立つものであり、有用なツールとなり得る。しかし設計への適用は大幅に限られる。RQD が「非常に良好」「良好」「悪い」といった語と関係づけられており、時には 許容支持力(Peck, Hansen, Thornburn, 1974)とすら関係づけられているという事実が、RQD の誤った使用の機会を大幅に増やしている。設計者は基礎設計を決める根拠として RQD だけに頼ってはならない。せいぜい、基盤岩の工学的品質評価への使用に限られたツールとしてのみ役立ちうる。

- 5B 9: システムには当初から問題が内在しており、私たちは心から導入できずにいる。
最初に、岩石の質決定の際に短いコア片を計数に入れないことにより、

玄武岩や変成岩等の強固な岩盤の一部は、それらの本来の値よりも低い評価を受けてしまう。良い例が、不規則な割れ面がある性質のため、垂直に切り立った(張り出し気味ですらある)崖の中に存在する、局所的なさいの目状の玄武岩ユニットである。RQD システムは割れの様子や割れに沿った粘土質充填物の存在を組み込んでいない。同システムは NX より大きいかまたは小さいコア直径について提供していないし、ボーリングコア中の非常に亀裂が入った岩帯の指標を与えていない。残念なことに、地質学者の中には RQD 値の観察のみ取り、割れの記録化において意味のある仕事をしたと考える者もいる。コアの割れの最も意味のある記録化方法は、外観、充填物や平滑性と共に個々の割れを記録することであることを、私たちは知っている。割れの間隔が狭すぎて、通常やるような形で個々には取り扱えない場合、ボーリング記事か岩帯に括弧で印をつけ、括弧内の割れについて説明することは、実際にそれらがある弱い層位を固定して、最善策となる。

- 5B 10: コアバレルから取り除く時、取扱い中及び箱詰め中、試料の状態について観察せず、適格な人が直ちに記録を取らないと、提示されたデータは元の特徴からかけ離れたものになるかもしれない。私たちは輸送後記録を取っていないコアサンプルを、時には入手してから数日又は数週間、しばしばそのままにしている。
- 私たちのスタッフの何人かが感じていることは、RQD は現在決定し利用する形では、現実世界では有用に適用されることがほとんどない、統計的作業以外の何ものでもないということである。Deere はもう 20 年を、岩石の質に実際には関係しないが RQD の値に大きく影響を与える変数に対する、値の修正や調整を行って過ごすこともできるだろう。