

一面せん断強度に關係する岩石の亀裂形状の数学的表現方法について

京都大学工学部

正会員 大西有三

京都大学工学部大学院

学生会員 岩本 宏 ○龍原 毅

1. はじめに

岩石のせん断面の粗さ(roughness)は、そのせん断強度を決定する上で重要な要素である。一般に、不連続面の壁面の粗さという用語は、起伏及び凹凸によって特徴づけられる。起伏は大規模な粗さで、凹凸は小規模な粗さである。大規模な粗さである起伏は、膨張(ダイレイタンス)を引き起こし、小さな凹凸はせん断変形時に削り取られやすい。粗さを調査する目的は、せん断強度とダイレイタンスに関する最終的な推定または計算のためである。それにより実際にせん断試験を行わなくともある程度せん断強度を推定できるようになる。本論は粗さの解析結果とせん断強度の関連を調べることを目的としている。

2. せん断強度の推定方法と岩石亀裂の数学的解析方法について

まずJRCによる岩のせん断強度の推定方法²⁾について説明しておく。この方法はBartonによるもので図1に示す1から10までの基準化された断面形と実際の節理の断面形とを比較して0から20までのJRC値を決めて粗度の指標とするものである。このJRCは次の式により節理面のせん断強度と関連づけている。

$$\tau = \sigma_n \tan \{ \phi_b + JRC \log (q_u / \sigma_n) \} \quad \phi_b: \text{基本摩擦角}$$

$$\sigma_n: \text{垂直応力, } q_u: \text{節理面の圧縮強度}$$

しかしながら、測定された粗さ形状からJRCの値を算定する上記の方法は明らかに主観的である。そこで客観的方法として、不連続面を数学的に解析することを考える。岩の切断割れ目の表面は複雑な形状をしているが、それをフーリエ・スペクトルや菊地らの考案した方法を用いるとある特徴的な数値で表現することができる。そうすれば主観的要素は入らず、誰が計算しても同様の数値が得られる。それらの数値とせん断強度との関係が明らかになれば、せん断強度を客観的に推定することが可能となるであろう。

フーリエ・スペクトルは複雑な波形を多くの単振動に分解したものであり、各単振動の周波数を $f_k = k / N \Delta x$ とおくと

$Y(x) = \sum [A_k \cos 2\pi f_k x + B_k \sin 2\pi f_k x]$ というように複雑な波形を数式化できる。 A_k , B_k を有限フーリエ級数といい $X_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}$ に波の長さを乗じたものをフーリエ・スペクトルという。フーリエ・スペクトルでは、その各成分波の振幅の割合に意味がある、と言える。

つぎに菊地らの方法について述べよう。菊地は、岩石の節理の断面形において、起伏の最大高低差および基準線から節理面までの距離から求めた標準偏差によって、次式のような粗度指数(W)を定義し、 $[W = \sqrt{(\text{高低差}) \times (\text{標準偏差})}]$ これによって粗度を評価しようとした(図-2)

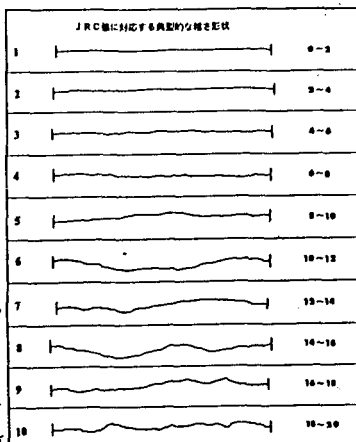


図1

粗さ形状とそれに対応するJRC値

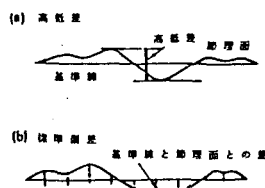


図2 菊地による粗度の評価法

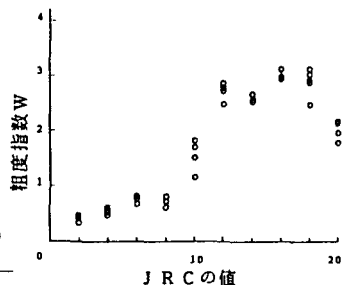


図3 JRCの値と粗度指数Wの關係

YUZO OHNISHI, HIROSHI IWAMOTO, TAKESHI TATSUHARA

基準線は、水平とする。実際にこの菊地らによる粗度指数と JRC 値との関係は図 3 のようになり、両者には関係があるといえるだろう。

3. フーリエ・スペクトルの計算結果について

ひとつの岩石の断面についてフーリエ・スペクトルを求めたものが、表 1 である。ただし途中までで省略してある。全部で 637 個の切断断面波形について解析を行った。フーリエ・スペクトルの値 (表 1) からだけでは断面形の特徴は分かりにくいので、次のような計算式を考えた。

$$F = \frac{1}{100} \sum \frac{FS_k}{f_k} \quad \begin{array}{l} FS_k : \text{フーリエ・スペクトルの値} \\ f_k : \text{周波数} \end{array}$$

フーリエ・スペクトルの解析結果においては、周波数の小さな波つまり波長の長い波が多く含まれているほど、全体のうねりの大きい波といえよう。上の F は、そのことを考慮して周波数の小さい波のフーリエ・スペクトルの値ほど大きく影響を与えるように、周波数の逆数 (つまり波長) をその重みと考えて、フーリエ・スペクトルの値を補正し、その和をとったものである。100 で割っているのは、調整のためである。

この式の値 F と菊地らによる粗度指数 W との関係を示したのが、図 4 である。図を見て明らかのように、両者にははっきりとした相関関係があることがわかる。F の値から粗度指数 W をかなりの正確さで推定できるし、その逆も可能であろう。また、図の中の 1~10 の数字のついた丸印は JRC の基準図 (図) について F と W の値を計算してプロットしたものである。JRC の値を JRC の基準図を眺めながら主観的に推定するよりも、図 4 の中に岩石の切断断面波形に関する解析結果をプロットして推定した方がより客観的で正確であり、最終的には JRC を用いなくとも F の値とせん断強度との関係を明らかにすれば、主観が入ることなくせん断強度を推定できるようになるであろう。

4. 結論 フーリエ・スペクトルを使って考えた F の値は JRC 値や菊地らの提案した粗度指数と相関があることが認められた。この F の値を将来せん断強度と結び付けることにより、せん断強度を客観的に推定することができるようになるであろう。

参考文献 1) 大崎順彦 地振動のスペクトル解析入門; 鹿島出版会 2) ISRM 指針 Vol.3 岩盤不連続面の定量的記載法 岩の力学連合会 3) 実務家のための岩盤工学セミナー 不連続性岩盤の工学的取り扱い方 社団法人システム総合研究所 1985

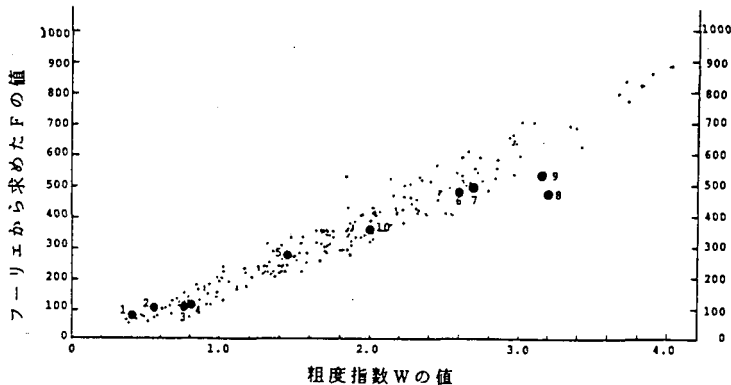


図 4 実際の岩石の切断断面における

菊地による粗度指数 W とフーリエ・スペクトルから求めた値 F との関係
ただし 1~10 の番号は JRC の基準図 (図 1) についてのものである

表 1 ある岩石断面の
フーリエ・スペクトルの値
(左が周波数、右がフーリエ)

1.252003E-002	5.7558660
2.504006E-002	14.0046800
3.756010E-002	15.5092800
5.008013E-002	11.9235900
6.260016E-002	5.9533480
7.512020E-002	2.3746470
8.764023E-002	5.4437120
1.001603E-001	2.0116130
1.126803E-001	3.0729350
1.252003E-001	2.6518270
1.377203E-001	1.5036780
1.502404E-001	1.8800890
1.627604E-001	2.1484720
1.752805E-001	1.3958840
1.878005E-001	1.2921760
2.003205E-001	1.5090740
2.128405E-001	1.0375800
2.253605E-001	1.1907480
2.378805E-001	1.3348640