

岩盤不連続面表面形状の簡易測定システムについて

A simple measuring system for the surface morphology of rock discontinuities

アイダン オメル* 渡嘉敷直彦** 清水泰弘*** 川本脩万****

Ömer AYDAN, Naohiko TOKASHIKI, Yasuhiro SHIMIZU and Toshikazu KAWAMOTO

In this study, a simple measuring system developed for measuring the surface morphology of rock discontinuities is described. The authors developed a special profilometer, which could easily be transported and operated in the field (Aydan and Shimizu, 1995). Using the new system, the recorded profiles were automatically digitized and analyzed to obtain surface morphology characteristics of the discontinuities in different rock types. Surface morphology parameters obtained by three different measuring methods are compared and their implications are discussed. The validity of the new measuring system for the surface morphology of rock discontinuities has been confirmed by the comparisons and a good agreement has been found between the proposed method and the other measuring methods.

1. まえがき

岩盤の挙動を大きく支配する不連続面の力学的挙動を把握するため、不連続面の幾何学的特性を検討することが重要な課題となっている。不連続面の幾何学的特性として、長さ、間隔、方向、幅などの分布状態や表面形状を把握することが重要である。これまでに、不連続面の表面形状の特性を評価するために、多くの数値的測定や数値解析的研究が行われている。表面形状測定の多くは、非接触式のレーザー変位測定装置を用いた方法が採用されている。しかしながら、測定装置の制約から、自然の岩盤不連続面の表面形状を原位置にて直接測定することが困難であり、不連続面を含む岩石ブロックを採取し、実験室にて表面形状を測定する方法や、人工的に割裂した岩石の表面形状を測定する方法が用いられている。

著者らは、原位置において岩盤不連続面の表面形状を容易に測定できるローラー接触式表面形状測定装置を開発し、表面形状特性の定量化を行うシステムを提案^{1), 2)}した。開発された表面形状測定システムは、手動で動作する測定装置で計測されたアナログの表面形状データを手動でデジタル化し、表面形状特性パラメータを求めて、不連続面の表面形状特性の評価を行っていた。しかしながら、開発当初の方法は、表面形状データの処理に人為的な処理が必要なため、表面形状特性を得るまでに多くの時間を要し、また、表面形状データのデジタル化の段階で、人為的誤差を生ずる要因を含んでいた。

本研究は、開発された表面形状測定装置を用いて得られた表面形状データの迅速な処理と、データ処理の人為的誤差を生じないデータ処理を行い、表面形状測定のシステム化を図って、より合理的な岩盤不連続面表面形状特性の評価を行うことを目的としている。まず最初に、ローラー接触式表面形状測定装置の概要を紹介する。つぎに、

*	正会員	工博	東海大学助教授	海洋学部海洋土木工学科
**	正会員		琉球大学講師	工学部環境建設工学科
***	正会員	工博	名城大学助教授	理工学部土木工学科
****	正会員	工博	愛知工業大学教授	工学部土木工学科

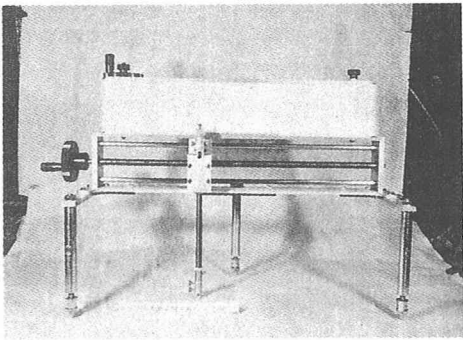
記録された表面形状データのイメージ処理によるデジタル化と、表面形状特性の定量化について述べる。最後に、本手法によって定量化された表面形状の基本特性について検討を行い、レーザー式変位計測装置による表面形状特性との比較を行って、本システムの有効性と実用性について述べる。

2. 不連続面表面形状特性評価システム

2.1 ローラー接触式表面形状測定装置

岩盤不連続面の表面形状を測定する方法は、大きく非接触式測定法および接触式測定法に分けられる。各測定法とその特徴を表－1に示す。一般に用いられているレーザー式表面形状測定装置は、レーザー光を用いて非接触で表面形状を測定する方法である。この方法は、現場での測定には不向きである、型取器は、本来は家具を製造する際に用いられる道具であり、すだれ機構を用いているため、すだれの幅より小さい表面形状をトレースすることはできない。

開発されたローラー接触式表面形状測定装置の状況を写真－1に示す。本測定装置は、種々の状況下にある岩盤不連続面の表面形状を原位置で容易に測定できるように、三脚で設置の調整を行い、また、電源の必要な電動機構を採用せず、手動で動作するトレース機構とロール紙記録方式を採用している。また、4種類の接触ローラー（3mm～10mm径）を用いて、測定を行っている。一回のセットで測定できるトレース長は、500mmである。測定可能な不連続面の傾斜角は、0～90度であり、適用条件の柔軟さが特徴の一つである。



写真－1 ローラー接触式表面形状測定装置

表－1 不連続面表面形状測定法および特徴

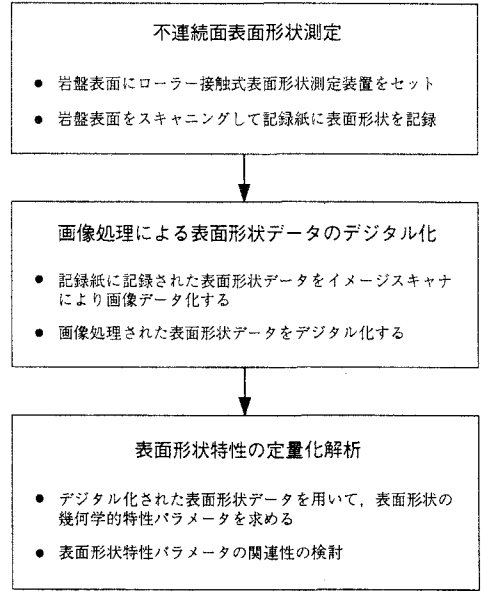
測定手法・装置			特 徴
非接触式測定法	レーザー式表面形状測定装置 (レーザー式変位測定装置)		- レーザー光を用いて岩石の表面形状を計測する。 - 主として室内での計測に用いられ、原位置での測定は、装置が大きかりとなるため、不向きである。 - 計測データは、デジタルデータとして得られるので、データ処理が容易である。
	型取り器		- 原位置で容易に岩盤の表面形状を測定できる。 - すだれの幅より小さい表面形状は、測定できない。 - 計測されたデータは、アナログデータであり、デジタル化の処理が必要。
	ローラー接触式表面形状測定装置 (ローラー接触式変位測定装置)	従来型システム	- 可搬型であり、必要な地点の岩盤表面形状が容易に測定できる。 - 計測されたデータは、アナログデータであり、デジタル化の処理をマニュアルで行っている。
		新システム	- 可搬型であり、必要な地点の岩盤表面形状が容易に測定できる。 - 計測されたアナログデータの自動処理を行い、データ処理の迅速化が図られている。

2.2 表面形状測定データ処理システム

従来行われていた表面形状データ解析処理の問題点を改善するため、図－１に示す表面形状データの解析処理方法を提案する。原位置における不連続面表面形状の測定は、これまでと同じ方法で行う。つぎに、現場から持ち帰った表面形状データをデジタル処理するために、パーソナルコンピュータによる画像解析を行う。各測線ごとに記録紙に記録されたデータをイメージスキャナにより画像変換し、所定の間隔で表面形状を自動的にトレースしデジタル化する。

つぎに、デジタル処理されたデータを用いて、表面形状特性の定量化解析を行う。著者らは、表面液状特性を評価するために、次節に示す表面形状特性パラメータを提案^{1), 2)}した。得られた表面形状データを用いて、表面形状の幾何学的特性、すなわち、高低、傾き、および周期性に関する各パラメータを計算する。さらに、これらの各パラメータ間の関連性について検討を行う。

これらの一連の処理は、パーソナルコンピュータ上でシステム化されており、人為的エラーの発生を極力抑えたとともに、解析処理の迅速化が図られている。



図－１ 表面形状データ解析処理法

2.3 表面形状パラメータ

岩盤不連続面表面形状の幾何学的特性を表す指標として、表面高さ、傾き、形状の周期性および基準面に対する表面積の比が上げられる。著者らは、これらの幾何学的特性を表す種々のパラメータを提案^{1), 2)}している。ここでは、異なる測定法で得られた測定データによる幾何学的特性の比較を行うため、用いられたパラメータの代表的なものを示す。

(1) 不連続面平均高さ (Centre-line average height)

$$CLAH = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} |\phi| dx \quad (1)$$

ここで、 L ：測定長、 x ：原点からの距離、 ϕ ：基準線からの表面までの高さ、である。

(2) 不連続面直線長さと表面長さの比 (Ratio of profile length)

$$RPL = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} ds = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} \left(1 + \frac{d\phi}{dx} \right)^{\frac{1}{2}} dx \quad (2)$$

(3) 不連続面傾き平均 (Weighted asperity inclination)

$$WAI^* = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} \left| \frac{d\phi}{dx} \right| dx, \quad WAI = \tan^{-1}(WAI^*) \quad (3)$$

3. 岩石の表面形状特性解析結果

筆者らは、開発したローラー接触式表面形状測定装置を現場に持ち込み、本州中部地方の各種岩盤の表面形状の測定を行って、その表面形状特性解析結果を報告¹⁾している。一方、実験室内において、岩石の表面形状を自動的に測定できるレーザー式表面形状測定装置を開発し、現場から採取した種々の岩石の不連続面の形状特性を求めている²⁾。本研究は、ローラー接触式表面形状測定法による新たな表面形状特性評価システムの有効性を示すため、他の測定法による表面形状特性結果との比較検討を行う。文献²⁾および³⁾の報告に示すように、レーザー変位測定法および型取り器法により種々の岩石の表面形状特性を得ているので、同じ岩石試料を用いて、ローラー接触式表面形状測定法により表面形状特性を求め、検討を行った。また、本計測手法により得られた表面形状特性に与える要因について検討した。

表-2に、各測定法によって求めた安山岩の表面形状特性パラメータの値を示す。本測定システムで評価された特性パラメータを表の最下段に示してある。安山岩の測定結果では、各測定手法が評価する特性パラメータの値に大きな差異は見られず、比較的良い一致を示している。しかしながら、岩石の種類によっては、測定手法によって特性値の間に大きな差が見られるケースがある。ローラー接触式測定法における従来の特性パラメータ評価システムの各特性パラメータは、本システムの評価値に比べて若干大きく評価されている。

図-2に、接触式測定法および非接触式測定法により求めた花崗岩の不連続面平均高さ (CLAH) の値を示す。この場合、本測定法とレーザー式測定法による特性値は、ほぼ一致している。接触式測定法におけるリング径の違いによる特性値の差異は小さく、リング径の影響は見られない。

表-2 各種測定法による表面形状特性の比較 (安山岩)

表面形状測定法	不連続面表面 高さ (mm) CLAH	不連続面表面 長さ (mm) PL	不連続面表面 傾き平均 (度) WAI	不連続面直線 長さ と 表面長さ の比 RPL
レーザー変位測定法	0.4444	157.08	11.60	1.047
型取り器測定法	0.4362	152.59	10.73	1.028
ローラー接触式測定法 (従来システム)	0.5198	153.20	10.78	1.032
ローラー接触式測定法 (新システム)	0.4582	150.47	9.57	1.041

一方、図-3に示す泥岩の不連続面傾き平均 (WAI) は、二つの測定法の間で特性値に大きな差が認められる。この場合、非接触式測定法において、岩石表面の測距を行う際、レーザー光の乱反射による影響が現れているものと推察される。また、接触式測定法においても、ローラー径の影響が若干認められる。

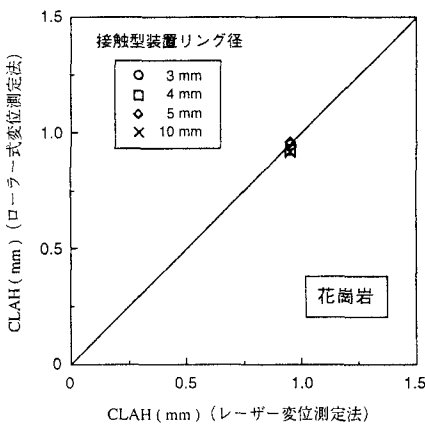


図-2 接触、非接触測定法による形状特性比較 (CLAH)

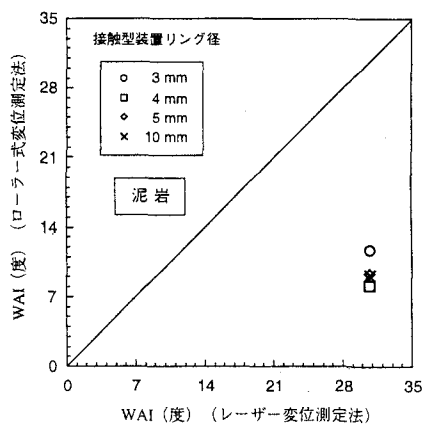
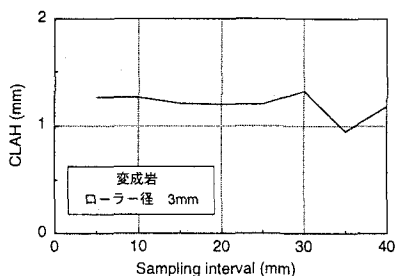
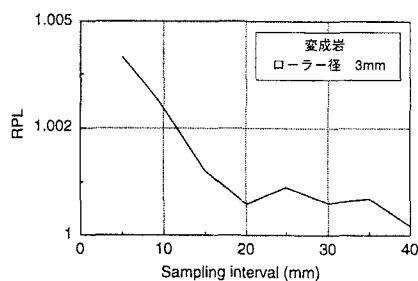


図-3 接触、非接触測定法による形状特性比較 (WAI)

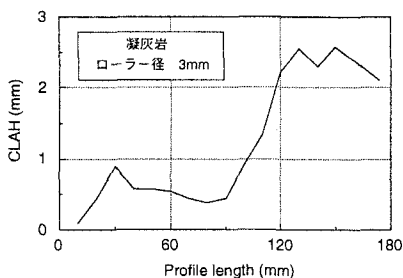


(a) CLAH

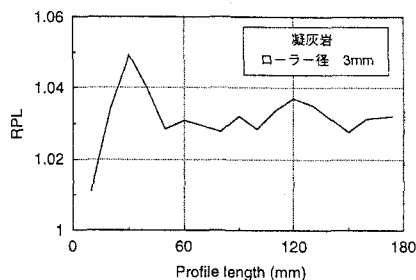


(b) RPL

図-5 表面形状特性に与えるサンプリング間隔の影響



(a) CLAH



(b) RPL

図-6 表面形状特性に与える計測長の影響

図-5および図-6に、表面形状特性に与えるサンプリング間隔および計測長の影響を示す。変成岩の形状特性 CLAHは、サンプリング間隔の影響をほとんど受けないが、RPLは、サンプリング間隔の増加につれて特性値は減少している。なお、傾き平均 WAIも同様の傾向を示している。一方、計測長については、計測長がより短いほど、表面形状特性に与える影響が大きく、計測長はできるだけ長く取らなければならないことを示唆している。これらの結果は、他の岩石の表面形状特性についても同様の傾向を示している。

4. 結論

自然岩盤不連続面の表面形状を原位置で測定可能なローラー接触式表面形状測定装置の開発を進める中で、得られた表面形状データの迅速的な処理と人為的なデータ処理の誤差を少なくすることを目的として、新たな表面形状特性評価システムを構築した。室内試験における種々の表面形状測定法による特性パラメータとの比較から、本評価システムによる表面形状特性解析の妥当性が確認された。開発されたローラー接触式表面形状測定装置と表面形状特性評価システムの組み合わせにより、より実用的な岩盤不連続面表面形状特性の評価が可能となった。

5. 参考文献

- 1) AYDAN, Ö. and Shimizu, Y. : Surface morphology characteristics of rock discontinuities with particular reference to their genesis, *Fractography: Fracture topography as a tool in fracture mechanics and stress analysis*, Geological Society Special Publication, No.92, pp.11-26, 1995.
- 2) Shimizu, Y., AYDAN, Ö. and Kawamoto, T. : The effect of measuring methods on surface morphology characteristics, *Proceedings of the Korea-Japan Joint Symposium on Rock Engineering*, pp.231-236, Seoul, Korea, 1986.
- 3) 大畑光博, 岡田敦: 不連続面の表面形状の計測方法について: 名城大学理工学部土木工学科卒業論文, 1996.