研究ノート

岩盤壁面の亀裂線形スケッチに見られる 構造異方弱面の抽出

山田 俊雄*・高橋 学**

A Survey of Structural Anisotropic Trend Planes in Cracked Linearments on the Sketch of a Rockwall

Toshio YAMADA * and Manabu TAKAHASHI **

キーワード：岩盤，亀裂，線形，方位，面の傾斜，異方性，フラクタル

Key Words：Rock, Crack, Linearment, Direction, Dip, Anisotropy, Fractals

1. はじめに

岩石には，必ず割れ易いとか壊れ易いとかいう向きがある。通常その観察される特徴を亀裂，割れ目，すじ目，目，すじ，微細亀裂，マイクロクラックなどと呼称して，状態を説明する目的の内容によって多様な表示が使われている。岩石試験体の破壊実験とか，岩盤掘削作業などにおいて遭遇する「割れやすい目」などもこれに当たる。一般に自然岩盤の壁面には多岐多様なすじや亀裂線形がランダムにある。成分や構造の違いによる材質の色彩とか，粒度の境界であったり，はっきりした割れ目のすじであったりする。そうした部分はランダムな面状に広がって強度的に弱い割れ目になることが多い。こうした目を削岩，爆破では弱面として巧みに利用している。目があることは，浸水，結水，風化作用などの影響をうけ，しばしば崩落，崩壊などの災害を誘う背景にもなったりしている。細かな目のときには葉理のように水気のない，やっと見えるようなフィルム状のすじのような場合もある。大きな（割れ）目などにおいては砂礫，粘土，水で充満されていることもある。花崗岩のように結晶質な岩石にあっては，微細な結晶構造の境界が微小亀裂（マイクロクラック）となって巨視的にみるとランダムに分布している。何れにしてもこうした目は，場のミクロ，マクロに関わらず個体に強度的な弱い方向，強い方向をもたらして，構造強度に異方性をもたらす結果になっている。

顕微鏡拡大レベルの亀裂のケースに関しては，花崗岩におけるマイクロクラックについて既に一部を報告（山田・高橋，1997）した。本報告では岩盤構造に異方性を与える目視レベルの線形を用いて亀裂を構成すると思われる弱面を定量的に把握する一手法について述べる。

2. 目 的

自然岩盤の壁面に見られる線形の長さは数cmから数m，数10mに亘る。こうした線形は長さ，方向そして頻度（分布密度）には岩種による特徴はあるが，狭い範囲では分布状態に大きな変化はない。しかし広域では地域，地質，深度によってはかなりの差異がある。面状の破壊ゾーンを形成したり，交差連結した破壊面，断層面になっていることもある。

通常岩壁面上に観察できる線形は，亀裂面，弱面が作る平面と開削した観察する面との交会線である。開削空洞などの踏前（底盤）と側壁において立体的に相互に接続した面状の構造が観察される。面の方向に注目して「弱い面が発達している」という表現もされる。大きなサイズの弱面を例にとれば，岩壁や斜面の崩壊の一要素として，3次元構造における岩盤の定量化された現実の弱面のあり方の具体的な抽出も忘れてはならない。基盤としての安定と安全に関して，岩盤の弱面はその強度に異方性を与える直接要因の一つになっている。作業場管理においても大小の壁面線形の観察は構造を推定して安全を保持するための重要なポイントの一つになっている。

壁面は概ね大きな不定曲率をもった乱曲平面である。大きく観察面を通過するような断層などを除いて，弱面の作る線形の分布は各壁面ごとにまちまちに見えて相互の連続性は確定しづらい。地形・地質に関する地上線形もしばしば調べられている。しかし計測諸量は総体の統計学的な検討に終始していることが多い。本稿では，検討する領域内の亀裂，筋目などが作る観察しやすい線形に注目して素材の破損に関わる弱面の選択と抽出を目指して，立体3面

1997年12月1日受付，1998年2月19日受理

* 336-0012 浦和市岸町2-12-3 Kishimachi, Urawa - City, Saitama 336-0012, Japan

** 地質調査所環境地質部 Environmental Geology Department, Geological Survey of Japan, 1-1-3 Higashi, Tsukuba - City, Ibaraki 305-0046, Japan

第1図 解析計算した亀裂線形例図。右側破損要素境界図の変形拡大部分表示図。角筒供試体 2D モデルの左辺固定，右辺上向き単純せん断負荷を与えた RBSM 弾塑性解析による。

のまちまちなそして計測誤差も大きい筈の線形から，領域およびその近傍の空間的な構造弱面群を直平面と仮定して把握し，特にその優勢な方位を推定する方法について報告する。

3. 仮想平面の抽出方法

3.1. 仮想平面の定義

岩盤上の線形は大小に拘らず一般に立体的に少数の目立った面に対して枝面を直接分岐したように，あるいは近傍に併走追従したように分布している。開削岩盤において直交 3 軸に準じた壁面を計測すると，亀裂線形を作っている亀裂面は計測面の広さよりも大きいものもあれば，遥かに小さいものもある。こうした線形の散らばり方はフラクタルである。このことは一つの計測壁面に見られる線形の散布から別の壁面の出現を直接に特定の関数によって推定できないことを意味している。こうした線形が幾何学的に亀裂面と壁面との交会線であると考えても，特に小さい線形は別の面への関与の程度は小さく，計測誤差も大きく関数的には特定しにくい。

しかしながら，

- 1) 壁面サイズに対して十分に長い線形（例えば断層面）は別の壁面に線形が空間的に延長され面として観測できる。
- 2) 岩盤の残留壁面に見られる粒塊のように，相互に分離しかかった破断面の境界線の並びに，優勢劣勢を持った方向が明瞭に見受けられる。
- 3) 岩石力学的な破壊挙動の解析計算による破損の線形は，狭小部分を取り出せば優勢亀裂面がほぼ一定の方向を

向いている。（第1図参照）

こうした事実を参酌すると，第2図のように3壁面上の特定の線形 a, b, c は，

一つの仮想した直平面上に乗っている

とする仮定の下に考察を進めることができる。すなわち，3壁面から各1個の線形を選んだ組み合わせによって作られる仮想平面は，計測基準軸と A, B, C で交差する面として表現でき，AB 上の線形 a と BC 上の b に対し，C'A 上の c はある裕度で CA 上にあるというモデルが構成できる。

仮想平面を形成できるならば，構成される線形のもつ出

第2図 仮想する直平面 ABC が，線形 a, b を含む平面で形成できる仮定の説明図

現頻度に関わるウェイトから仮想平面の出現ウェイトが想定できる。このウェイトがあれば抽出された複数の弱面に対して相対的であっても出現優勢順位が推定できる。以下に具体的な仮想平面抽出に関わる前提と仮定を順次述べる。

3.2. 処理と手法

第3図を用いて説明を進める。この例の計測範囲は15m×15m×15mの程度であって地質構造の変動場としては前節3)項のように岩石力学的に局所である。局所的な亀裂線形を集録データとして利用するのであれば、弱面構造と仮想される面は1つの面に乗るか、あるいは平行にあるものとした仮定の下に充分検討ができる。

第3図 計測した線形図。各面約15m×15m。3面の計測軸配置は第4図参照。

第4図 亀裂線形計測傾斜角説明図

個々の線形が平面に乘る可能性は、

- 不特定な面を探索するので位置座標から離れて、各側面の個々の線形の傾き角だけを用いて算定する。
- 傾斜角をデータ集録精度をも配慮して、ここでは5°刻みに区分し、
- 各区分に属した線形の多少（単純頻度）を、長さをウェイトにした頻度にして把握しておく。
- 区分ごとの線形平均長も算出できる。
- 区分角度をこの頻度の降順に整理する。

計測3面のうち2面を選び、降順に頻度の大きい区分角を用いて幾何学的に残1面のあるべき線形の（理論）傾斜角を算出する。その結果を計測線形傾斜角と対比し、裕度を設けて合致を判定をする。裕度は集録データの精度を配慮して0.1°～2.0°程度の範囲にとった。判定された3個の線形傾斜角はそれぞれ属する区分角の頻度を保持しているの、それらの出現頻度をもとに判定された仮想平面の相対頻度パラメータが算出できる。

第5図 3壁面間の計測角関係説明図。θ₁はy軸からの傾斜角を示す。

1) 集録データの幾何学的構成

壁面の計測は作業を配慮して第4図に示したように、観測者の立つ水平面をv-u面、正面の垂直面をw-u面、左側壁面をw-v面にとる。個々の線形は直線視できる範囲に端点両側の座標を読み取ってθ₁、θ₂、θ₃などを算出する。この際、線形の確認、選定、計測などには壁面凹凸の状況から、どうしても観測者の主観が大きく影響するが止むを得ない。

解析のため、3図のv-u、w-u、w-v面の基準軸を改め第5図のようにy-x、z-y、z-x（軸）面にそれぞれ置き換える。一つの面は直交する基準3軸と交差する点をA、B、Cとした三角形で表示できるので、三辺の傾斜θ₁、θ₂、θ₃は各計測面の線形傾斜θ₁、θ₂、θ₃とそれぞれ対応させて整理できる。傾き角は示してあるように各面水平にとった基準軸からI、II象限の象限角における、0～180度の範囲になるように各計測座標軸を基準に算出する。図例においてθ₂だけが90より大であることに留意されたい。

2) 傾斜角の作る仮想平面

第5図を参照しながら、この3つの角度の間には幾何学的に、ABの長さを1.0、oCを Lw とおいて、

$$\tan \theta_2 = -Lw / \cos \theta_1 \quad (1)$$

$$-Lw = -\tan \theta_2 \cdot \cos \theta_1 \quad (2)$$

$$\tan \theta_3 = -Lw / \sin \theta_1 \quad (3)$$

(1)~(3)式の関係から (4)式が誘導される。

$$\tan \theta_2 = -\tan \theta_1 \cdot \tan \theta_3 \quad (4)$$

すなわち、(4)式によって第1面の θ_1 と第3面の θ_3 から第2面の理論角度 θ_2 が得られる。頻度降順に整理された計測第2面の線形の中から判定裕度角しきい値を満たす傾斜の線形を探して仮想平面を定める。

第6図 走向・傾斜関係説明図

3) 仮想平面の走向と傾斜

仮想平面は走向、傾斜による表示が便利なので変換する。第6図に示すように、第5図で設定された3点表示面 $\triangle ABC$ において基準軸原点を o とし、AB上に点Hを設け、 $CH \perp AB$ 、 $oH \perp AB$ と置いて、y軸の方向をN(北)方向と定める。走向(DIR)、傾斜(DIP)には度数を用い、式中ではラジアン表示とする。

走向は直ちに(5)式のように示せる。

$$\cos(DIR) = \cos \theta_1 \quad (5)$$

$DIR < 90^\circ$ は西(W)偏、 $DIR > 90^\circ$ は $(DIR - 90)^\circ$ 東(E)偏となる。

傾斜については(6)~(8)式の間を経由して(9)式のように示せる。

$$\begin{aligned} \triangle OAB &= a \cdot b / 2 \\ &= oH \cdot \sqrt{(a^2 + b^2)} / 2 \end{aligned} \quad (6)$$

但し、 $o-A$ 、 $o-B$ 間の長さを各 a 、 b とする。

$$oH = ab / \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (7)$$

$$\tan \phi = \frac{c}{oH} = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{ab} \cdot c \quad (8)$$

$$\tan(DIP) = \tan \phi \quad (9)$$

従って、走向(DIR)は(5)式のようにABの方向、最大傾斜角度(DIP)は(9)式のようにCHの傾き ϕ から得られる。

4) 仮想平面の出現頻度パラメータ

計測された壁面の線形はフラクタルであるから、巨視的に各壁面で独立であると仮定できる。線形のつくる仮想平面の立体的出現頻度パラメータ W_T は各面の線形の傾斜の属する刻み角における出現の長さ加重頻度(W_1, W_2, W_3)の算術平均として(10)式のように設定できる。

$$W_T = \frac{(W_1 + W_2 + W_3)}{3} \quad (10)$$

ただし、 W_{ii} 、($i=1,2,3$)は観測面毎の長さのウェイト付き頻度を示す。

5) 解析データの調整

亀裂線形の分布はフラクタルである。データの分布が自己相似である性質を利用して、線形の長大部分の幾何学的な特徴も自己相似であるとして(精度に問題のある計測データにあっては厳密にそうではないかもしれないが)長大部を抽出して解析する(山田・高橋, 1997)。抽出のために各面毎に長さの平均値、分散を求め、遮断しきい値として平均値、そして偏差を単位に平均値 $+\sigma$ 、 $+2\sigma$ などを用意する。しきい値の大きさは対象とするデータの質(地質、岩質、計測面の状態、線形のレンジ、計測法、データ加工処理の程度など)によって試行して選択する。ここでは、短小部(平均値 $+2\sigma$ 以下)を放棄したデータを解析に使用する。当然、解析目的によってはデータ精度を配慮しながら逆に短小部を取り上げるケースも出てこよう。

6) 面の表示

選択された面の方位(DIR, DIP)はステレオネットに投影表示できる。この際投影点は仮想平面の頻度パラメータ値の大小を比例させた径の円形で示し優勢度が分かるようにした。しかし、投影図では頻度の分布が不明確なので走向と傾斜の個別グラフを添えることにした。

走向を示す図は水平軸に走向方位角($W90 \sim E90$ を $180 \sim 0$ に表示)、縦軸に長さウェイト付き頻度(軸上側コラム)、単純頻度(下側コラム)そして上側コラムを重ねて実線で区分角内平均長さを示した。傾斜角については区分角度ごとのウェイト付き頻度を小さなレーダチャート

にして示した。(DIR,DIP)で示される平面の法線の方向余弦 $\cos X$, $\cos Y$, $\cos Z$ が必要であれば,(11)式のように変換すればよい。

$$\begin{aligned}\cos X &= \cos(DIR) \cdot \sin(DIP) \\ \cos Y &= \sin(DIR) \cdot \sin(DIP) \\ \cos Z &= \cos(DIP)\end{aligned}\quad (11)$$

但し、座標基準軸 y を方位北(N)とする。

4. 処理アルゴリズム

線形の集録に当たって曲線に見える線分や、交差のある長い直線分は便宜的に折れ直線に分解して集録している。さらに計測という点から実岩壁面の3次元的凹凸の上の立体的な割れ目の計測、微細な亀裂面・線形の把握には方向長さに関して、完全な客観性がとれず計測者の主観が関わり、データには曖昧さが残る。そうしたことへの対策としてデータの処理において傾斜角は 5° 刻みに区分したり、仮想平面の判定に裕度を持たせたりして検討を進める。

計測した3面の線形データの処理手順を以下のように定めた。

- (1) 各壁面の集録データ（ここでは300～400個の線形）はそれぞれ遮断長を設けて選別する。（ここではしきい値を平均値+ 2σ にして短小部を放棄した。
- (2) 各面の線形から傾斜を求め、区分傾斜角（ 5° 刻み）単位に整理して、区分ごとの頻度に長さのウェイトを持たせたパラメータを算出する（線形全てに傾斜角とパラメータが決る）。
- (3) 各面の線形から求めた傾斜角はパラメータの降順に任意個数（ここでは20個以下）を採る。
- (4) 基準データとして y - x 面（第1面）のデータを、制御データとして z - x 面（第3面）のデータを採るようにして、 θ_1 , θ_3 をそれぞれパラメータの降順に傾斜角区分平均値¹⁾を用いて第6図のように演算をおこなう。

a) (4)式を用いて z - y 面（第2面）の理論傾斜角 θ_2 を算出（第7図ループ内枠囲い参照）。

b) 第2面の計測傾斜角値と照合し、

c) 判定裕度角（しきい値 $EPS = 0.1 \sim 2.0^\circ$ 程度）以下で合致した面を、弱面の仮想平面とする。^{2),3)}

d) a)～d)を繰り返すと、 s 枚の仮想平面が定まる。

このa)～d)で得られた3個の線形の一群は必ず頻度パラメータの大きい順に各線形の組み合わせが把握されている。

注：*1) 用いたデータ集録精度の関係上、直接観測線形傾斜角を用いなかった。（演算は可能である）

*2) 平面出現ウェイトは、組み合わせたデータの各パラメータを用い(10)式による単純平均を当てる。

*3) 必要あれば(DIR, DIP)面は(11)式を用いて法線の方向余弦に変換する。

5. 事例

5.1. 集録データ

A工事現場の岩盤空洞における3壁面の亀裂線形を第3図に示したようなスケッチに纏めた。各壁面は第4, 5図に記したように計測第1面, 第2面, 第3面と呼称す

第7図 傾斜角演算の面データ組み合わせ説明図。 n_a , n_b , n_c は各面の計測線形数内数, θ_1' , θ_2' , θ_3' は計測傾斜角, θ_2 は算出角(脇数字は面番号) EPSは判定裕度角しきい値(degree)を示す。

第8図 線形の分布(密度)の表示例(第1面)。第3図計測第1面, 表示方位は同じ。

第9図 集録2面の線形長の分布(下:第1面,上:第2面,○印:単純頻度,●印:累計頻度)

a 線形長さの分布頻度特性。縦軸は頻度、横軸は区分長さ順序数。

b 線形分布密度特性（ボックスカウンティング法による）。縦軸は頻度、横軸は最大値を1.0としたセルサイズ。

第10図 線形の分布状態特性図（両対数グラフ）

第11図 区分長さ毎の線形傾斜角の分布（計測第1面）。下添え数字は区切り実長 m，放射線長さは長さウエイト付き頻度に比例。

る。各面の広さは約 15m × 15m である。線形の分布密度を見るために第 8 図に示したように線分の中点をとって線形の代表点とした。

1) 線形の分布

集録線形長さの分布は、単純頻度と累積頻度について第 9 図（第 3 図の第 1，2 面を例示）のようであった。縦軸に頻度数、横軸に区分長さの順序数（計測面ごとの最大長を刻み数 31 で等分割）をとってある。計測 3 面とも通常岩壁面で見られるような単純頻度曲線の分布形は対数正規分布様になっている。この例では共に曲線左側の立ち上がり方が少し低いようである。線形の長さとの累積頻度の関係を第 10a 図に、そして 第 8 図に示したような中点データをボックスカウンティング法で整理した結果を第 10b 図に示した。網目サイズと含点網目（セル）のカウンツ数の出現頻度について、縦軸に頻度、横軸にセルサイズの最大長を 1.0 とした長さ比を示してある。ともに両対数グラフである。この 2 つのグラフ曲線のパターンは 3 面についてほぼ同じ傾向であった。このグラフ b に右下がりの接線を当てるとフラクタル特性が求められるが、ここでは触れない。フラクタル性のあることはグラフ線形から窺える。第 10a 図において線形長の長短側の部分には第 4 章で記した集録の曖昧さが現われ、グラフ線に乱れが発生している。短小側では集録の躊躇と放棄が、曲線の曲率を大きく示し

a 集録したままの場合の例

b 縮分した場合の例

第12図 縮分による傾斜角表示比較図（計測第1面）。外側白抜き放射線は単純頻度表示、内側黒塗り放射線は長さウエイト付き頻度表示。

metrx1x2 [7] (Cutoff under Mean+2.0σ)

No	Stp	Ang.	wt.Parm.	Leng.
1	0	4.9	44.46	3.33
2	0	4.0	44.46	3.33
3	0	4.7	44.46	3.33
4	0	0.0	44.46	3.33
5	0	4.2	44.46	3.33
6	0	0.0	44.46	3.33
7	110	113.6	34.75	3.47
8	160	164.3	26.81	4.02
9	160	161.8	26.81	4.02
10	60	64.0	24.94	3.74
11	10	14.5	21.06	3.16
12	10	13.0	21.06	3.16
13	165	167.9	17.94	2.69
14	165	167.3	17.94	2.69
15	45	48.1	16.88	2.53
16	140	143.9	14.25	4.27
17	115	116.6	13.47	4.04
18	115	117.6	13.47	4.04
19	115	117.2	13.47	4.04

a 第1面

metrx2x3 [7] (Cutoff under Mean+2.0σ)

No	Stp	Ang.	wt.Parm.	Leng.
1	150	152.5	63.91	4.15
2	150	153.7	63.91	4.15
3	165	169.3	32.12	4.18
4	165	166.4	32.12	4.18
5	165	166.6	32.12	4.18
6	45	49.2	29.95	3.89
7	170	173.6	28.64	3.72
8	170	171.0	28.64	3.72
9	170	174.0	28.64	3.72
10	55	55.9	27.62	3.59
11	55	56.0	27.62	3.59
12	55	58.7	27.62	3.59
13	60	61.5	25.43	3.31
14	60	63.6	25.43	3.31
15	50	50.5	23.66	3.08
16	95	99.1	11.27	2.93

b 第2面

metrx1x3 [7] (Cutoff under Mean+2.0σ)

No	Stp	Ang.	wt.Parm.	Leng.
1	20	21.0	75.21	4.21
2	20	23.6	75.21	4.21
3	20	23.6	75.21	4.21
4	85	87.4	33.07	3.09
5	85	90.0	33.07	3.09
6	85	90.0	33.07	3.09
7	85	90.0	33.07	3.09
8	95	99.6	26.40	2.46
9	95	97.9	26.40	2.46
10	100	101.9	19.47	2.73
11	100	103.0	19.47	2.73
12	105	105.6	18.04	2.52
13	105	108.3	18.04	2.52
14	105	109.3	18.04	2.52
15	15	15.9	17.99	5.04
16	15	15.3	17.99	5.04
17	25	25.3	11.97	3.35
18	25	27.5	11.97	3.35
19	25	26.3	11.97	3.35

c 第3面

第13図 線形長大部の優勢傾斜角の対比。各左表の順序はウェイト付きパラメータ順。左列から番号、刻み角度、頻度平均角度、パラメータ、平均長さを示す。

て頻度が少な目であることを現している。b図では線形集録に当たって長さについて主観性が強く働いても、代表点を用いて線形の位置を定めているだけで、点の位置密度のあり方に大きな差異を与えないので、グラフの直線性が大きく乱されることはない。これはボックスカウンティング法の特徴でもある。

2) 線形長さと傾斜角度

次に計測面ごとの線形長さは、その傾きとどういう関係を持つかを調べた。線形最大長以下を31区分した区分長さに属する線形の傾斜角の分布状態を計測第1面を例にし

て第11図に示した。グラフの放射線の長さは刻み角度ごとのウェイト付き頻度値を示してある。下添え数字で区切りの実長 m を示し、左下隅より右方に、上段向きに長さが大きくなるように描いてある。扱っている線形長が12 cm以下～3.75m程度であることが分かる。長大部では特定の傾斜が顕著に見られる。短小部では長大部に比べ優勢な方向が顕著でなく、ランダム様である。すなわちデータのスケッチ集録時の曖昧さ(第5,3節2)項参照)が前節で見られたと同様に短小部で大きく影響していること(山田・高橋, 1997)が示される。

5.2. 線形長大部の抽出

線形がフラクタルであれば、線形短小部の幾何学的特徴は長大部に代表されるという仮定のもとに検討を進める。第11図の線形長の長大部の方向の単純さを利用する。各面ごとに集録線形の長さの平均値+2σ以下を除いた縮分データを用いて、5度刻み方位における頻度分布を改めて求め、降順に整理した縮分データを使用する。差異を見るため第1面を例にして第12a, b図に縮分前後の状態をレーダ・チャートで示した。縮分後の各面データの傾斜角と頻度パラメータなどは第13a, b, c図にデータと共に示したようになる。右側レーダチャートは縮分後のものである。縮分しても分布パターンの特徴は失われていない。

5.3. 仮想平面の算出

各面の縮分したデータを用いて、3節に記した手順のように仮想平面を探す。検討のため各面の長大部、短小部を用いた縮分データについて各ケースを検討する。

1) 線形長大部データの場合

第3, 2節のように(4), (5), (9)式を用いて平面を探索し、その走行方向 DIR , 最大傾斜角 DIP を求める。仮想平面判定裕度角しきい値をここでは1.5°とおいた。選択

== Presented Cracked Surface ==
→ 107.5(107.6)deg. = [15.98(%)] N 67.5 E

第14図 算出仮想平面の傾斜度三面図。基準軸を第3図におなじにした表示。

a ステレオ投影図

b 方位ウエイト

c 傾斜

第15図 長大線形による抽出仮想平面の分布状態

された仮想平面を構成する(区分)傾斜角を集録同様の直交3面上に線形スケッチ傾斜角相当の表示にして示すと第14図のようになる。縮分頻度降順データ用いているので第3図の各面線形に対応した優勢傾斜角を示していることになる。各面とも相互に約 60° で交差するパターンが特徴的である。

これらをステレオ投影すると第15a図のようになる。出現頻度パラメータを見るため頻度と傾斜についての個別グラフb,c図を付け加えてある。こうして観察すると、b図で走向DIRが4~5箇所で突出し、c図で傾斜DIPが垂直方向に優勢であることが分かる。ここまでの所で優勢平面の代表面が必要であれば、15a,b図を見比べながら目視手作業で定めることにしておく。

ネット投影図において特定の走向(刻み区分された)において傾斜角度が多様にあたり、無かったりする意義、そして立体的に約 $60 \sim 70^\circ$ の挟み角をもつ2つの平面には共役角が存在するかも知れないことなどが窺われるが、ここでは触れない。もっともこれまでに用いたデータだけでは十分な説明はできない。

2) 線形短小部データの場合

つぎに、長さの短小部データについて平均値以上を除いて縮分したデータを用いて特徴を検討する。

遮断長しきい値以下の長さの線形により誘導される仮想平面の走向と、傾斜を前項と同様の処理をして投影図他の表示にすると第16a,b,c図のようになる。第15,16の

a ステレオ投影図

b 方位ウエイト

c 傾斜

第16図 短小線形による抽出仮想平面の分布状態

a図を比較すると傾向は似ているが投影点の配列は一部が劣化し、膨満化した状態になっている。長さを関与させたb図を較べると16b図ではグラフコラムの突出が失せている。そもそも集録線形の短小微細部分の線形の集録に関しては、集録の放棄、認識の錯誤、集録計測の個人誤差、岩石構造の局所異常などによる混乱は長大部に較べてより多く潜在している。しかし、巨視的に見れば第15、16図のa図が示すように自己相似の特徴は反映されており、走向角の単純頻度（下向きコラム）の突き出し部位など第両ab図での整合傾向はどうか取れている痕跡があると言える。

要するに、長大部と短小部による差異は岩質に関わる破壊モードの破損線形生成の微妙な差異と、その線形に対して用いた検討技法のレベルに基づいて発生しているものである（山田・高橋, 1997）と理解できよう。したがって優勢平面の抽出には各壁面の線形長大部を利用することが誤認も少なく、好ましいことになる。

3) 代表的優勢仮想平面の抽出

これまで説明した処理方法で、弱面としての仮想平面が抽出できた。しかし、さらに感覚的に状態がより具体的に仮想面の傾斜をも含めて把握できる抽出平面の大円表示、優勢仮想平面の抽出手順に関する数値的問題点の存在とその解決策、そして代表的平面選出の客観化手法などの追究が要求されてくる。これらについては別稿で報告する。

岩盤の強度に関する弱面を定量的に評価する手がかりは、岩盤の挙動解析手法に対する損傷テンソル、透水テンソルなどに関わる優勢な弱面による異方性の付与と利用ができ、解析の具体的な展開が企図できる。

6. む す び

自然岩盤空洞内壁の直交する3面の亀裂線形スケッチを用いて、構造異方性を与える要因となる構造弱面の方位を求めた。

各面の線形長さを平均値+2 σ で遮断、以下を放棄し、傾斜角を5°刻みに区分して、区分角ごとに長さをウェイトにした出現頻度パラメータの降順に整理する。ここで集録3面の線形は3面内の線形の何れか各1個の組み合わせで一つの仮想直平面を形成していると仮定する。線分傾斜角を面毎の頻度の降順に、第1面と第3面の線形傾斜角から総当たりして第2面線形傾斜角に対応できる角度の探索演算を行なう。算出第2面角度が判定裕度角以下になった計測線形と組み合わせで1つの仮想平面と定める。決まった線形それぞれのパラメータから新たに仮想平面出現頻度パラメータ値を算出し再度降順に整理する。優勢度はこのパラメータに従う。

結果はステレオネット投影図表他に表示でき、代表的優勢な面（複数）が具体的に目視選択できるようになる。

文 献

- 山田俊雄・高橋学(1997) 研磨した花崗岩試験体端面における微小線形の異方性について。北海道応地研論文集。no. 8, pp. 129 - 136.