

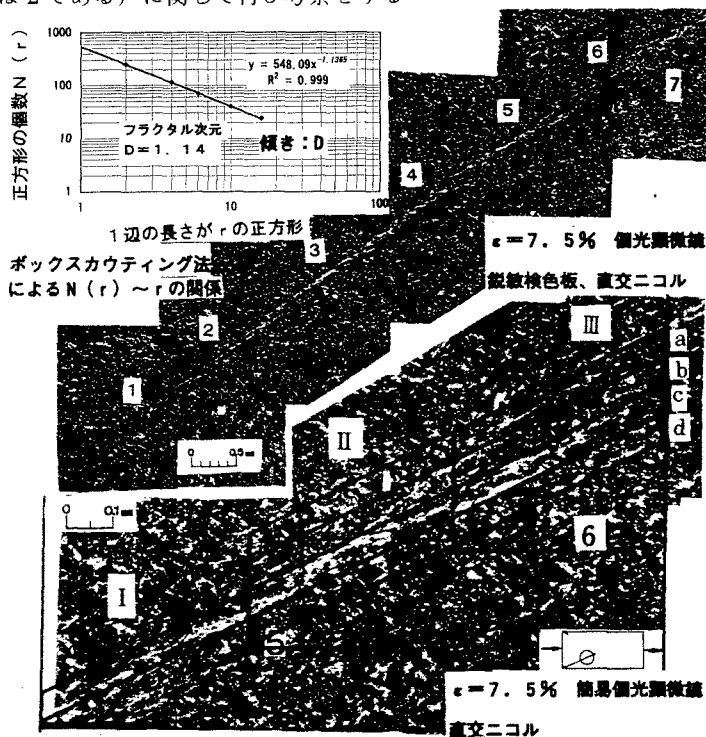
大阪産業大学大学院 学生員 ○松岡公彦
大阪産業大学 正会員 佐野郁雄

1. エシュロン細線群のフラクタル的性質 図表—1 写真に示されるせん断帯は、7本のせん断帯に対し雁行状に表れるエシュロン細線群としてすでに報告されている¹⁾が、観測倍率を変えたものである。観察倍率を高くすることによって、図表—2 写真に示すように、せん断帯の微視的な構造が次第に明確になり、複雑な構造が明らかになる。すなわち、せん断帯は細線群や細線などの複数の要素からなっており、エシュロンブリッジ構造やデュプレックス構造の「入れ子構造」をしている¹⁾。これは、せん断帯の構造がスケール変換に対して自己相似性を持つことを示している。また、せん断帯の形成過程に着目すると、グーテンベルグ・リヒター則が成立することが知られている²⁾。これらから、せん断帯はフラクタル的性質を有しており、フラクタルによるせん断帯の内部構造解析が可能である。ここでは、粘性土のせん断帯におけるフラクタル次元（例えば、直線は1、平面は2である）に関して再び考察をする³⁾

2. フラクタル次元解析

平面上の曲線、点の分布などに対し、フラクタル次元を求める一般的な方法であるボックスカウティング法⁴⁾を用いてフラクタル次元解析を行う。まず、平面を間隔 r の格子により、その平面上において図形の一部を含むような正方形の個数 $N(r)$ を数える。次に、 r をいろいろ変化させ、 $N(r) \sim r$ 関係の勾配からフラクタル次元 D を求める。

すなわち、図表—1 で示される50倍で観察したせん断帯のフラクタル次元は、 $N(r)$ と r に関する両対数グラフの傾きとして $D=1.14$ と求まる。また、図表—2 写真のように200倍に拡大されたせん断帯の特徴について、ある領域ごとに観測枠を限定して求めると、全領域で求めた場合のフラクタル次元 $D=1.38$ に比較して、1) 5のエシュロン細線群としてせん断帯が強い領域Ⅰでは、 $D=1.35$ と複雑な構造となっていること、2) 5と6のエシュロン細線群を結ぶブリッジ構造が見られる領域Ⅱ-b、Ⅲ-aでは $D=1.28$ とかなり大きいこと、3) エシュロン細線群の末端部としてスプレー構造となる領域Ⅱ-b、Ⅲ-b、cでも同様に $D=1.28 \sim 1.29$ となること、4) 領域Ⅱ-dはスプレー構造の一部分のみ入り、また、せん断帯がⅡ-a、Ⅲ-dではせん断帯が少ないために、フラクタル次元は小さくなること、がわかる。



1つの検査面でフラクタル次元を求める場合

格子辺長 r	2	4	8	16	32	D
$N(r)$	611	233	91	35	13	1.384

3つの検査面でフラクタル次元を求める場合

格子辺長 r		2	4	8	16	D
$N(r)$	I-a	98	32	15	6	1.248
	II-a	101	31	15	7	1.229
	II-b	108	39	18	7	1.282
	II-c	116	34	13	7	1.283
	II-d	78	33	15	7	1.164
	III-a	111	41	19	8	1.278
	III-b	115	42	18	8	1.291
	III-c	100	44	18	7	1.277
	III-d	93	36	16	7	1.227

図表—1 (上) エシュロン細線群1~7付近のせん断帯

図表—2 (下) エシュロン細線群5付近のせん断帯

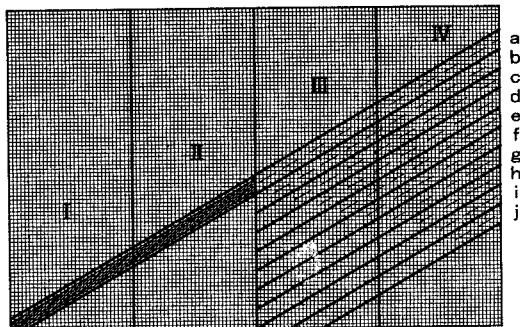
3. スプレー構造

図表-3には、図表-2と同様なスプレー構造をモデルとした図形に対して、観測枠を一つとした場合とせん断帯幅に近い幅、特徴的な長さを一辺とする平行四辺形の観測枠に対して求めた場合について、フラクタル次元の値がそれぞれ示されている。スプレー構造は、せん断帯が広く分布するために、全体を検査面とする場合には、 $D=1.32$ と大きくなる。しかし、せん断帯幅と同じ幅で観測枠を取った場合、せん断帯の強いⅠ、Ⅱ領域では $D=1.45$ と大きいが、スプレーが広がるⅢ、Ⅳ領域では、(たとえばⅣ-hでは $D=0.81$ である)末端領域になるほどフラクタル次元は小さくなる。すなわち、せん断帯の観測枠をせん断帯幅程度にとる場合、せん断の影響を強く受けた領域はフラクタル次元が大きくなる傾向に対応している。

図表-4写真に示される分岐点B付近に着目し、分岐前後のフラクタル次元を調べると、分岐前の細線群では1.32、分岐後では1.25となる³⁾。すなわち、分岐前の細線群のフラクタル次元は、分岐後の次元より減少させている。これは、細線群が分岐することによりせん断ひずみを分配し、せん断帯幅が減少するとともに内部構造がいくつかの特定な角度の細線の組み合わせとして細線群が新たに形成されるため、フラクタル次元が減少したと考えられる。また、分岐後の細線群ではスプレー状に広がり細線が面状に広がっているため、1.35と分岐前のフラクタル次元より大きくなっている。この結果は、スプレー部はせん断帯の終焉部であり、せん断の影響が弱まることと一見反する。しかし、図表-3と同様にa~eに観測枠を分割すると、分岐直後のエシュロン細線群Ⅰではフラクタル次元が $D=1.36$ と大きい、末端部となるスプレー構造の領域Ⅱでは領域Ⅰのせん断帯の影響が強いb,c,d領域、少し影響が弱まるa,e領域などについてフラクタル次元が得られる。以上から観測枠を適切に選ぶことにより直感的なせん断帯の強さとフラクタル次元の大きさの傾向は一致する。

最後に本学大方英二氏には整理方法や問題点について有益な議論をいただいた。記して謝意を表する。

参考・引用文献：1) 佐野郁雄，岡正信，西村正人：粘土に形成されたせん断帯の内部構造について，第31回地盤工学研究発表会，pp.817-818, 1996. 2) C.H.ショルツ（柳谷俊訳）：地震と断層の力学，古今書院，pp.112-183, 1993. 3) 佐野郁雄：粘性土のせん断帯におけるフラクタル次元に関する



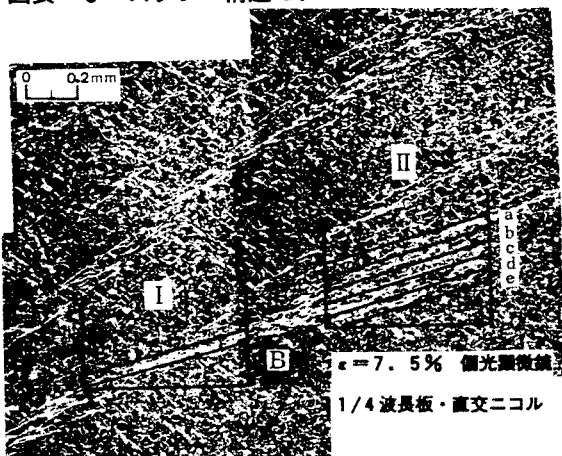
1つの検査面としてフラクタル次元Dを求める場合

r	1	2	4	8	16	32	D
N(r)	712	309	155	53	18	8	1.321

4つの領域に分けてフラクタル次元Dを求める場合

r	領域	1	2	4	8	16	32	D	破線/実線の割合 (%)
N(r)	I	175	47	17	6	3	1	1.448	
	II	180	48	18	8	3	1	1.447	
N(r)	III-a	33	20	11	6	3		0.866	66.5
	b	30	19	10	6	3		0.831	63.4
	c	19	12	7	4	2		0.808	43.7
	d	15	9	6	3	2		0.740	30.1
	e	11	5	4	3			0.643	22.9
	f	4	3					0.415	9.4
N(r)	IV-a	30	18	9	6	3		0.823	60.5
	b	27	16	9	5	3		0.802	58.2
	c	30	16	9	5	3		0.832	64.4
	d	30	16	9	5	3		0.832	64.4
	e	35	18	9	5	3		0.894	71.7
	f	30	16	10	5	3		0.832	63.6
	g	28	17	9	5	3		0.821	59.5
	h	20	11	7	4	2		0.810	45.9
	i	19	10	6	4			0.748	40.5
	j	13	7	5				0.689	27.0

図表-3 スプレー構造モデルのフラクタル次元



r	領域	2	4	8	16	D
N(r)	I + II (全体)					1.351
	I	82	32	11	5	1.355
	II-a	63	22	12	5	1.184
	II-b	76	27	11	5	1.307
	II-c	79	29	13	5	1.310
	II-d	66	22	11	5	1.217
	II-e	62	22	11	5	1.190

図表-4 分岐したせん断帯の末端部（スプレー構造）

一考察，第36回地盤工学研究発表会講演集，pp.931-932, 2001. 4) 石村貞夫，石村園子：フラクタル数学，東京図書，pp.237-254, 1990.