

III-40 緩い構造のセン断に関する微視的考察

名古屋工業大学 学生員 ○竹田 一夫
正 員 中井 照夫
学生員 阪上 最一

一般にセン断時の土の変形は、緩い構造では体積圧縮が著しく密な構造では体積膨張が著しい。本研究では粒状体の二次元モデルとしてアルミ棒積層体を用いて緩い構造や密な構造を作り、セン断時の圧縮・膨張過程の変形機構を粒子構造に着目し微視的観点から考察した。

1. 実験装置と試料

装置は下部可動型一面セン断試験機を用い、試料は長さ5cmの2種の径のアルミ棒混合積層体(混合本数比 $\phi 9\text{mm}:\phi 5\text{mm}=1:5$)を用いた。また積層体に鉛直荷重を載荷した後、セン断領域と考えられるセン断面を挟む幅5cmの範囲からアルミ棒を混合本数比と同じ割合でランダムに抜くことにより、中程度密な構造や緩い構造を得た。密な構造、中程度密な構造、緩い構造の間げき比は各々0.209, 0.282, 0.337である。そして試験中アルミ棒の端面を片側から写真撮影することにより粒子構造の変化を見た。

2. 実験結果と考察

密な構造、緩い構造、中程度密な構造についてセン断垂直応力比 $\bar{\sigma}_n$ ～セン断変位 X ～鉛直変位 Y 関係を図-1に示す。同図に示されるように、セン断開始後すぐ膨張を示す密な構造からかなりの圧縮量を示す緩い構造まで得ることができた。また3つの試験の応力比 $\bar{\sigma}_n$ ～ダイレイタンシー $\frac{dY}{dX}$ 関係を図-2に示すが、同図より密な構造も緩い構造も多少バラツキはあるがほぼ1本の直線上 $\bar{\sigma}_n = \lambda(-\frac{dY}{dX}) + \mu$ にのるようである。以上の事より、緩い構造の土のセン断現象も、アルミ棒を抜くことによって得られる構造を用いて十分シミュレートできると考えられる。図-3はセン断面上の粒子を模式的に示したものであるが、セン断応力 $\bar{\sigma}_n$ は左から右へ働くものとし、以後粒子接点角は鉛直軸から左向きを正とする。

表-1は密な構造と緩い構造において、セン断面上のすべての粒子接点角の平均値 $\bar{\theta}$ のセン断に伴う変化を示している。表より密な場合も緩い場合も $\bar{\theta}$ はセン断変位に伴ない増加する。また緩い構造ではセン断初期に一旦 $\bar{\theta}$ が減少しその後増加する傾向もみられる。ここで粒子接点角の変化と粒子構造の変化の関連を考えてみる。表-2は幅5cmのセン断領域内の消滅する接点と発生する接点の方向について示したものである。密な構造と緩い構造の初期状態からピーク時までの接点の消滅・発生をみると、どちらも消滅する接点は負(右向き)の接点が多く、発生する接点は正(左向き)の接点が多い。これより明らかに接点角の平均値は正の方向へ動く。特に密な場合、消滅・発生ともこの傾向が顕著であるが、緩い場合発生する接点はそれほど顕著な傾向を示していない。これより粒子接点の消滅はセン断抵抗に寄与しない方向の接点ほど顕著であり、特に密な構造の粒子接点の発生はセン断に抵抗しやすい方向にみられる。これは小田によって指摘されている最大主応力方向に粒子接点が配向するという事と対応すると思

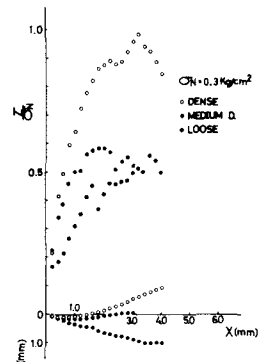


図-1 アルミ棒の応力比-変位関係

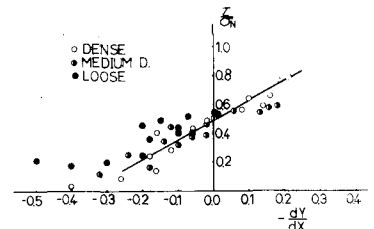


図-2 アルミ棒の応力比-ダイレイタンシー関係

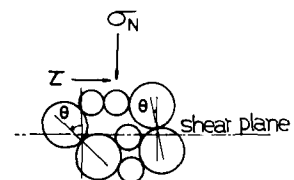


図-3 応力と粒子接点角の説明図

われる。また中程度密な構造についてみると、セン断後期には密な構造とよく似た傾向を示すが、セン断初期についてみると負(右向き)の接点の消滅が少なく逆に正(左向き)の接点の消滅が目立つようである。以上の事実は表-1に示されたセン断面上の接点角の平均値 $\bar{\theta}$ の変化とも対応しており、松岡¹⁾によって指摘されているように $\bar{\theta}$ が一旦負の方向に動きその後正の方向に移動するという現象と対応している。

次に土のセン断時の圧縮および膨張過程を単に土粒子間の乗り下り・乗り上がりだけでなく、粒子構造全体の変化としてとらえるため、粒子が形成する間げきに着目して考察する。つまりセン断時の体積変化(ダイレイタンシー)の間げきを構成する粒子構造の変化と考え、間げきを構成する個々の粒子の中心間を結び粒子数に対応した多角形を描く。そしてこの間げきを作る多角形の変形の様子を幅5cmのセン断領域内に存在する3角形以上のすべての多角形について調べた。多角形の典型的な変形パターンを図-4に示し、それぞれのパターンに分類し整理したもの(多角形の数および割合)を表-3に示す。図-4においてCおよびDは長軸方向に伸張して面積が減少するパターンであり、EおよびFは長軸方向に圧縮して面積が増加するパターンである。またXは間げきに変化しないものを示す。まず形成される多角形の比率についてみると、密な構造は緩い構造に比べ3角形・4角形の占める割合が多く、特に3角形等の小さな粒子構造ほど粒子の噛み合いが強く強度を大きく受け持つと考えられるので、この様に各多角形の全体に占める割合の差が強度の差となると考えられる。次に多角形の変形パターンについて考察する。密な構造と緩い構造では圧縮する多角形と膨張する多角形の比率が異なっている。つまり緩い構造では圧縮する間げき(C+D)が膨張する間げき(E+F)に比べて明らかに多いが、密な構造の4角形以上の間げきでは両者におよぼし差がなく、3角形も含めると膨張するものが多い。特に3角形においては密な場合、緩い場合に比べて膨張するものが多い。そして3角形が膨張する場合必ず接点の消滅を伴うが、密なものほど負の接点の消滅が顕著であった。一方緩い構造において大きな多角形ほど圧縮しやすく膨張しにくい傾向にある。また中程度密な構造のセン断初期の傾向は緩い構造の傾向と、セン断後期の傾向は密な構造の傾向とほぼ一致している。故に圧縮過程と膨張過程の巨視的な変形特性は、種々の間げきを形成する粒子構造の変化として微視的に見る事ができる。

今後はこのような微視的立場から粒子接点角の変化と粒子構造の形成する間げきの変化を結び付け、強度増加のメカニズムを解明し、モデル化から定量的に評価していきたい。

最後に速くノルウェーから適切な助言をいただいた松岡元助教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) Matsuoka, H. ; S & F, Vol. 14, No. 1, Mar. 1974
- 2) Oda, M. ; S & F, Vol 12, No. 2, June 1972

表-1 セン断に伴う $\bar{\theta}$ の変化

	水平変位	$\bar{\theta}$
密な構造	0 mm	0.4
	4 mm	1.5
緩い構造	0 mm	1.1
	2 mm	-2.2
	4 mm	1.8

表-2 発生・消滅する接点

	消滅する接点		発生する接点	
	左(正)	右(負)	左(正)	右(負)
密な構造	10	24	14	6
緩い構造	5	17	19	14
中程度密な構造 セン断初期	13	6	8	5
中程度密な構造 セン断後期	3	14	8	4

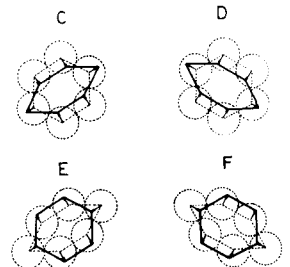


図-4 多角形の変形パターンの模式図

表-3 多角形の変形パターンの整理

	パターン	3角形	4角形	5角形以上							小計	合計
密な構造	X	100 (0.373)	55 (0.205)	14 (0.052)	3 (0.011)	1 (0.004)	1 (0.004)	0 (0.000)	0 (0.000)	19 (0.071)	174 (0.644)	
	C + D	14 (0.052)	12 (0.045)	4 (0.015)	1 (0.004)	0 (0.000)	0 (0.000)	0 (0.000)	0 (0.000)	17 (0.065)	31 (0.115)	
	E + F	34 (0.127)	15 (0.056)	9 (0.033)	4 (0.015)	1 (0.004)	0 (0.000)	0 (0.000)	0 (0.000)	14 (0.052)	63 (0.232)	
	合計	134 (0.500)	84 (0.303)	35 (0.130)	11 (0.041)	3 (0.012)	1 (0.004)	0 (0.000)	0 (0.000)	50 (0.187)	268	
緩い構造	X	50 (0.287)	22 (0.125)	4 (0.023)	2 (0.011)	2 (0.011)	1 (0.005)	0 (0.000)	0 (0.000)	9 (0.052)	81 (0.444)	
	C + D	23 (0.132)	12 (0.067)	14 (0.080)	11 (0.062)	2 (0.011)	1 (0.005)	0 (0.000)	2 (0.011)	42 (0.241)	65 (0.373)	
	E + F	12 (0.067)	7 (0.040)	6 (0.034)	0 (0.000)	1 (0.005)	0 (0.000)	1 (0.005)	1 (0.005)	9 (0.052)	28 (0.151)	
	合計	62 (0.355)	52 (0.294)	22 (0.126)	16 (0.092)	14 (0.080)	3 (0.017)	2 (0.012)	3 (0.017)	60 (0.345)	174	
中程度密な構造 セン断初期	X	99 (0.445)	50 (0.217)	10 (0.045)	5 (0.021)	5 (0.021)	1 (0.004)	0 (0.000)	0 (0.000)	21 (0.097)	170 (0.717)	
	C + D	19 (0.086)	5 (0.021)	9 (0.038)	2 (0.009)	0 (0.000)	0 (0.000)	1 (0.004)	0 (0.000)	17 (0.072)	36 (0.152)	
	E + F	15 (0.063)	10 (0.044)	5 (0.022)	0 (0.000)	0 (0.000)	1 (0.004)	0 (0.000)	0 (0.000)	6 (0.025)	31 (0.131)	
	合計	114 (0.498)	79 (0.333)	20 (0.089)	14 (0.057)	7 (0.030)	1 (0.004)	2 (0.008)	0 (0.000)	44 (0.191)	237	
中程度密な構造 セン断後期	X	86 (0.380)	35 (0.150)	13 (0.055)	7 (0.030)	3 (0.013)	0 (0.000)	2 (0.008)	0 (0.000)	25 (0.107)	146 (0.624)	
	C + D	19 (0.080)	7 (0.030)	4 (0.017)	3 (0.013)	1 (0.004)	0 (0.000)	0 (0.000)	0 (0.000)	15 (0.064)	34 (0.145)	
	E + F	25 (0.107)	21 (0.090)	5 (0.021)	2 (0.009)	1 (0.004)	0 (0.000)	0 (0.000)	0 (0.000)	8 (0.034)	54 (0.231)	
	合計	111 (0.475)	75 (0.327)	25 (0.107)	13 (0.055)	7 (0.030)	1 (0.004)	2 (0.008)	0 (0.000)	48 (0.205)	234	