

三軸圧縮試験による砂の実験 (Ⅱ)

佐藤 健 吉*

(昭和35年10月10日受理)

要 旨

平均粒径 0.2 mm の炉乾燥砂について、排水型緩速三軸圧縮試験を行つた結果のうち、軸圧過程における容積変化を述べたものであつて、軸圧過程では、液圧過程とちがつて、側圧、乾燥密度に関係なく、ほぼ等しい体積変化度を示した。

1. 序 論

砂の排水型三軸圧縮試験による容積変化量は、側圧力と軸圧力との変化に対応して変化する。この場合、側圧力と軸圧力とは、真空側圧方式によると、有効圧となり、これらの圧力によつて生ずる砂の容積変化は、空隙量の変化と見て差支えない。

砂の容積変化の測定は、その圧縮性と膨脹性の決定、破壊時の実際の平均断面積の決定、容積変化とせん断強度との関係を求めるのに有効である。

2. 試 験 方 法

試料に炉乾燥砂をとつて、低密度のときは漏斗を使つて静かに詰め、高密度のときは薄層ごとに突き詰め、適度の振動を与えた。モールドを外した後の砂に自立性を保たせるために、20 mmHg の真空を引いて、試料の容積 (高さ と 直径) を測定し、実験装置を組立て、次いで液圧過程、⁽¹⁾軸圧過程に移行した。

容積変化測定装置は、既述の通りであつて、試料の容積変化量に相当する水量を圧縮室に出入せしめることによつて変化量を測定した。

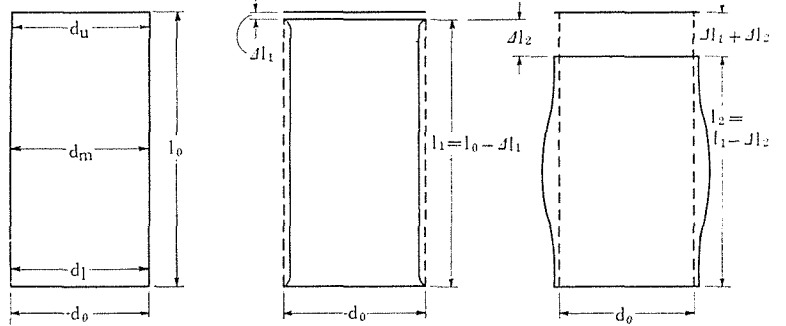
3. 容積変化による試料の形状

圧縮試験による試料の変形は、第1図のようになる。

真空圧 20 mmHg でセットされた試料原形①は、大体微量差で $d_m > d_l > d_u$ のように詰まり、液圧過程においては、せん断力が働かないために、上下端部を除いて一様に収縮し直径と体積とを減少する②。軸圧過程に入ると、軸圧力とせん断力とが働くために、さらに幾分圧縮されるが、忽ち膨脹に転じて直径と体積とを増大せしめる傾向をとつて破壊するに至る③。破壊形状は、この試料についてはすべて膨み型であつた。

* 土木工学教室、助教授

第1図 試料の変形



<p>① 試験前</p> <p>長さ l_0</p> <p>容積 V_0</p> <p>平均断面積 $a_0 = V_0/l_0$</p> <p>容積変化率 $n \%$</p>	<p>② 液圧過程</p> <p>$l_1 = l_0 - \Delta l_1$</p> <p>$V_1 = V_0 - \Delta V_1$</p> <p>$a_1 = V_1/l_1$</p> <p>$m = \Delta V_1/V_0$</p>	<p>③ 軸圧過程</p> <p>$l_2 = l_0 - (\Delta l_1 + \Delta l_2)$</p> <p>$V_2 = V_0 - \Delta V_1 + \Delta V_2$</p> <p>$a_2 = V_2/l_2$</p> <p>$n_v = \Delta V_2/V_0$</p>
---	--	--

4. 容積変化量

a) 容積変化量と軸圧との関係

容積変化量の一般的傾向は第2図によつて示される。図において、 σ_v , σ_m , τ_m , σ_l および σ_0 は既述の内容を有するものであり、 n は次の過程をたどつて変化するものである：

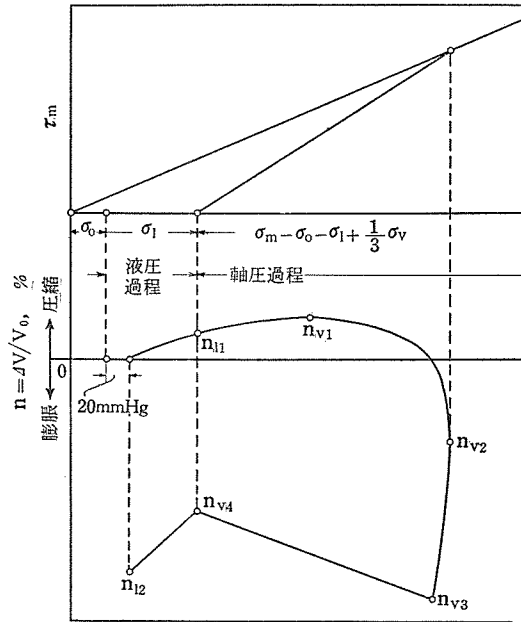
- i) 液圧過程でまず容積が減少して n_{v1} となる；
- ii) 軸圧過程に入つてもなお緩慢に減少をつづけて n_{v1} となる。 ($n_{v1} \sim n_{v1}$) は少量であるのみでなく大略一定値とみなされうる；
- iii) n_{v1} に達した容積は、ついで膨脹に転じ、破壊強度に対応する変化率 n_{v2} となる。軸ヒズミに対する n は、膨み型のために、 n_{v2} 前後が最も大きい；
- iv) n_{v2} 以後の変化はやや緩慢となり、任意の点 n_{v3} で $\sigma_v \rightarrow 0$ とすると、急激な容積収縮をおこして n_{v4} となる；
- v) さらに $\sigma_l \rightarrow 20 \text{ mmHg}$ とすると、膨脹して n_{v2} となる。

n_{v3} を一定の軸ヒズミ点で測定しなかつたために、 n_{v4} と n_{v2} の値を諸条件の変化に対比せしめることはできなかつた。

b) セン断ヒズミと容積変化との関係

星塾博士の土の力学理論によつて、容積変化は σ_m に対応して生じ、セン断ヒズミは τ_m に対応して生ずるものと考え、

$$\begin{aligned} \epsilon_v &= \text{試料の軸方向のヒズミ, \%}, \\ n &= \Delta V/V = n_l + n_v, \% \end{aligned}$$

第2図 τ_m と n との関係

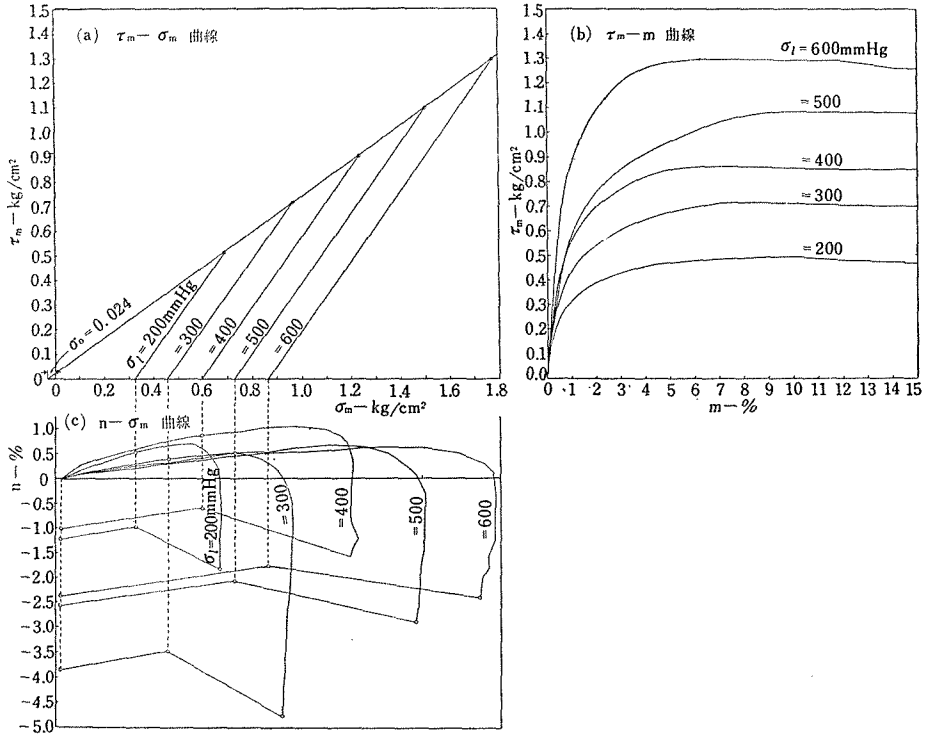
$$\xi = \sigma_v / 3(\sigma_0 + \sigma_l)$$

とおけば、 σ_m 、 τ_m および合せん断ヒズミ度 m はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} \sigma_m &= (\sigma_0 + \sigma_l)(1 + \xi), \\ \tau_m &= \sqrt{2} (\sigma_0 + \sigma_l)\xi, \\ m &= (3\varepsilon_v - n_v) / \sqrt{2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

によつて表わされる。実験による n と (1) 式との関連は、第3, 4図と第1表に示しておりである。

第3図 n -曲線, $\gamma_d = 1.50 \text{ g/cm}^3, w = 0 \%$



5. 圧縮係数と膨脹係数

第3, 4図と第1表とから n の変化を次に述べる:

- i) n_{v1} についてはすでに述べた;
- ii) n_{v1} は σ_m と τ_m とによる圧縮と膨脹との共発する領域であつて、本実験の γ_d の範囲内では、ほとんど一定の値となつた;
- iii) n_{v2} は試料の破壊するときの容積変化率であるが、破壊の発生点は第5図に例示したように、 γ_d , σ_{vf} および軸ヒズミには関係しないから n_v にも関連を有しない;
- iv) $\sigma_v \rightarrow 0$ とすると、試料は σ_l によつて収縮する。その単位体積当り圧縮量 ($n_{v4} - n_{v3}$) とそれに対応する σ_v との関係は次式で示されう:

$$C_c = \Delta V_c / (V_0 \cdot \sigma_v), \tag{2}$$

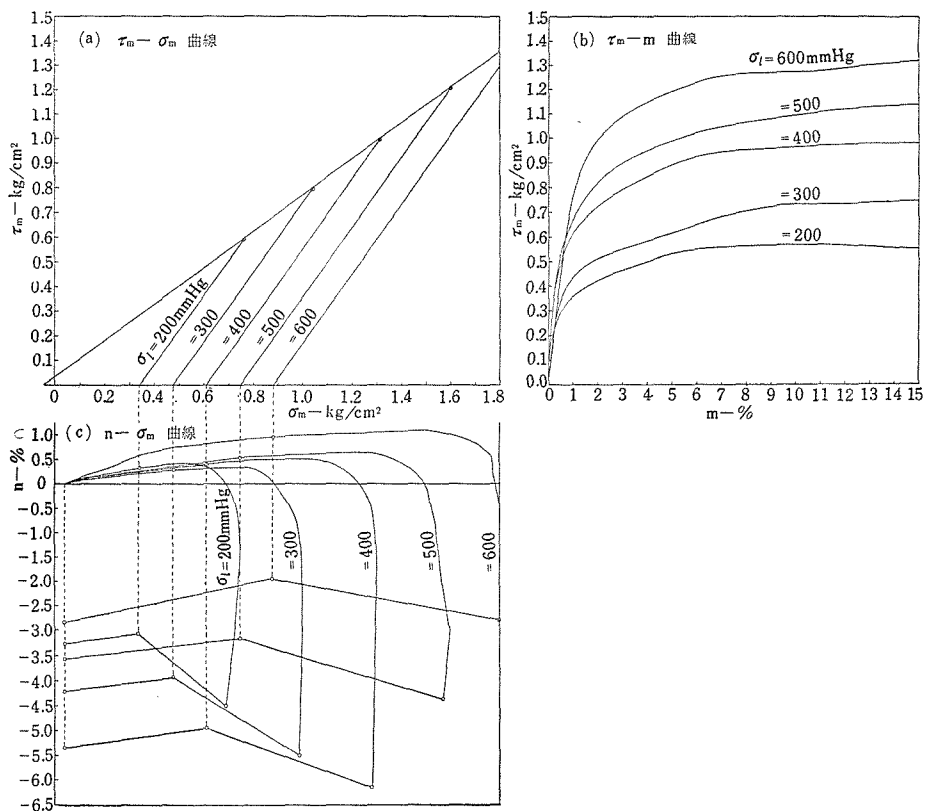
ここに

$$\Delta V_c / V_0 = n_{v4} - n_{v3}, \%$$

$$C_c = \text{圧縮係数, cm}^2/\text{kg}$$

とする。

第4図 n -曲線, $\gamma_d = 1.56 \text{ kg/cm}^3$, $w = 0\%$.



第1表 n の値

番号	γ_d g/cm ³	σ_l kg/cm ²	τ_m kg/cm ²	σ_m kg/cm ²	m %	n -%								C_c cm ² /kg	C_d cm ² /kg
						n_{l1}	n_{v1}	n_{v2}	n_{v3}	n_{v4}	$n_{v4}-n_{v3}$	n_{l2}	$n_{v4}-n_{l2}$		
実験系列 XVII-1															
11	1.494	0.300	0.496	0.674	10.493	0.55	0.22	-1.30	-2.40	-1.50	0.90	-1.76	0.26	3.00	0.95
36	1.498	0.435	0.714	0.963	9.506	0.34	0.09	-0.95	-5.08	-3.79	1.29	-4.19	0.40	2.97	0.98
8	1.507	0.570	0.899	1.229	19.485	0.72	0.18	-2.06	-2.29	-1.29	1.00	-1.71	0.42	1.75	0.77
34	1.500	0.705	1.081	1.495	9.051	0.44	0.19	-0.80	-3.31	-2.51	0.80	-2.99	0.48	1.13	0.71
38	1.495	0.840	1.294	1.779	7.018	0.49	0.09	-0.93	-2.91	-2.24	0.67	-2.86	0.62	0.80	0.76
実験系列 XVII-2															
18	1.528	0.300	0.540	0.708	9.629	0.35	0.13	-1.62	-3.92	-2.49	1.43	-2.59	0.10	4.77	0.37
7	1.514	0.435	0.769	1.005	8.222	0.47	0.16	-1.13	-1.84	-0.96	0.88	-1.24	0.28	2.02	0.69
31	1.518	0.570	0.967	1.279	7.149	0.43	0.09	-1.11	-4.42	-3.10	1.32	-3.48	0.38	2.32	0.70
37	1.514	0.705	1.148	1.544	19.099	0.51	0.15	-3.02	-5.76	-4.64	1.12	-5.41	0.77	1.59	1.13
30	1.524	0.840	1.438	1.881	15.553	0.53	0.12	-2.50	-4.15	-3.00	1.15	-3.46	0.46	1.37	0.57

実験系列 XVII-3

48	1.554	0.300	0.520	0.699	11.999	0.19	0.13	-1.98	-4.06	-3.29	0.77	-3.54	0.25	2.57	0.92
50	1.536	0.435	0.774	1.012	10.750	0.27	0.16	-1.71	-4.50	-3.58	0.92	-3.93	0.35	2.12	0.86
15	1.549	0.570	1.019	1.323	22.953	0.62	0.14	-3.97	-4.69	-3.39	1.30	-3.80	0.41	2.28	0.76
17	1.547	0.705	1.234	1.610	11.065	0.50	0.13	-2.15	-3.79	-2.64	1.15	-3.04	0.40	1.63	0.59
14	1.537	0.840	1.491	1.927	7.035	0.83	0.17	-0.95	-3.64	-2.55	1.09	-3.11	0.56	1.30	0.69

実験系列 XVII-4

29	1.566	0.300	0.572	0.749	9.516	0.27	0.10	-1.46	-4.77	-3.33	1.44	-3.52	0.19	4.80	0.70
21	1.571	0.435	0.794	1.041	24.407	0.21	0.09	-4.52	-5.47	-4.13	1.34	-4.41	0.28	3.08	0.69
47	1.565	0.570	0.977	1.305	13.222	0.33	0.14	-2.20	-6.46	-5.27	1.19	-5.67	0.40	2.08	0.74
19	1.572	0.705	1.200	1.599	23.783	0.48	0.13	-3.64	-4.84	-3.63	1.21	-4.07	0.40	1.72	0.59
4	1.558	0.840	1.436	1.901	22.299	0.90	0.14	-3.12	-3.76	-2.84	0.92	-3.73	0.89	1.09	1.09

実験系列 XVII-5

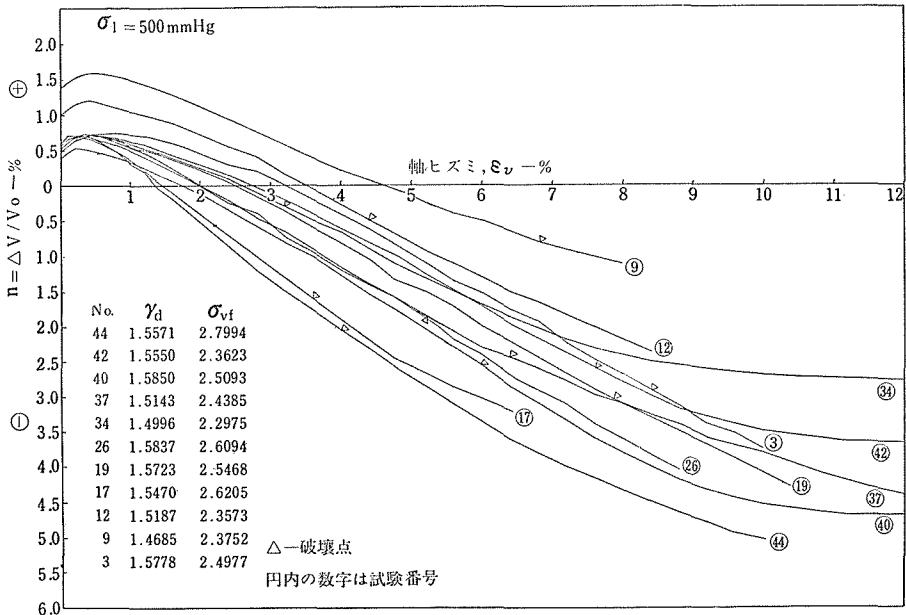
24	1.583	0.300	0.565	0.776	19.138	0.35	0.11	-3.07	-4.06	-2.96	1.10	-3.17	0.21	3.68	0.77
28	1.579	0.435	0.790	1.071	15.513	0.24	0.11	-2.44	-4.23	-2.78	1.45	-3.04	0.26	3.34	0.64
43	1.575	0.570	0.930	1.304	18.906	0.61	0.19	-2.74	-6.56	-5.45	1.11	-6.03	0.58	1.95	1.07
3	1.578	0.705	1.177	1.615	25.904	0.40	0.24	-3.64	-4.28	-3.30	0.98	-3.82	0.52	1.39	0.77

実験系列 XIX

28	1.463	0.272	σ _{vf}	0.966	0.33	0.13	-1.86	-2.85	-1.86	0.99				3.64	
32	1.440	0.408		1.369	0.39	0.33	-0.96	-1.35	-0.50	0.85					2.08
31	1.468	0.544		1.682	0.78	0.47	-0.36	-0.80	0.00	0.80					1.47
33	1.454	0.680		2.022	0.66	0.38	-1.19	-2.07	-1.12	0.95					1.39
39	1.443	0.816		2.412	0.68	0.41	-1.11	-1.34	-0.46	0.88					1.08

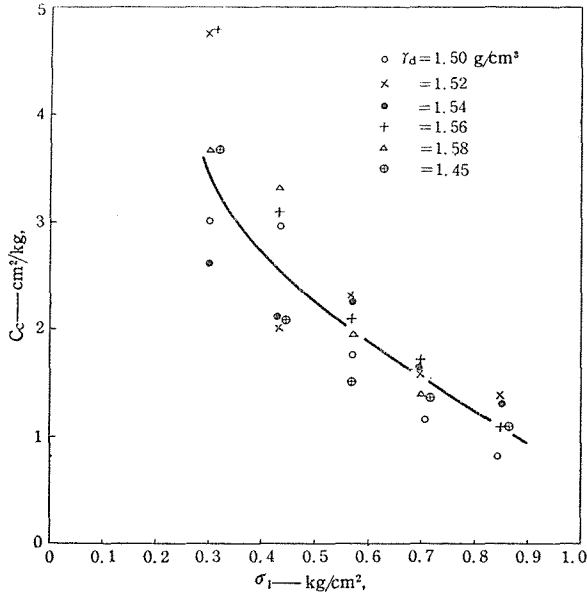
注 実験系列 XIX は比較のため目下実験中の資料の一部を掲出したものである。

第5図 n-ε_v 曲線



実験結果の C_c は第1表と第6図に示される。第6図の C_c は n_{11} と同様の傾向を示すから、側圧の増減による体積変化は可逆的であり、 γ_d にはほとんど関係なく、 σ_l の大なるほどその値は小さい。

第6図 $C_c - \sigma_l$ 曲線



v) σ_l を 20 mmHg まで低下すると試料は膨脹する。この場合も (2) 式と同様の形式とすると

$$C_d = -\Delta V_d/V_0(\sigma_l - 0.027) \quad (3)$$

となる。

ここに

$$\Delta V_d/V_0 = n_{v4} - n_{l2}, \%$$

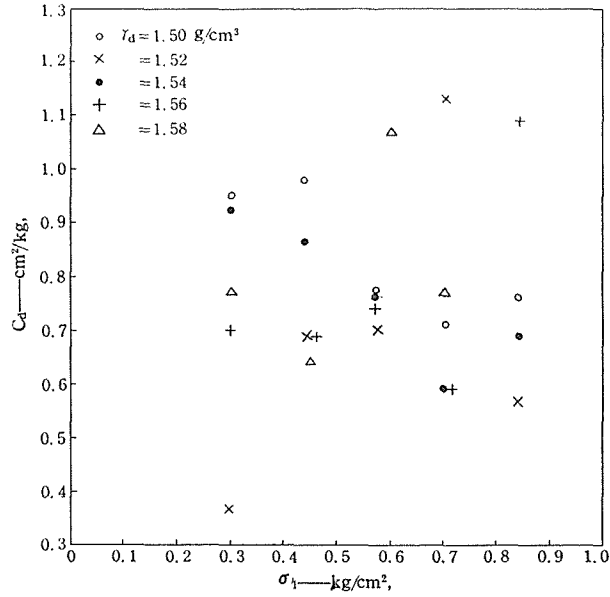
$$C_d = \text{膨脹係数, cm}^2/\text{kg}$$

である。 C_d は特別の数値を除き σ_l , γ_d に関係なく、ほぼ一定値の傾向を示すことは (第7図), 軸ヒズミに対する膨脹率が γ_d , σ_l に関係なく、ほぼ一定である (第5図はその1例) ことを満足するものである。

6. 結 論

以上の実験を要約すると、 n_v は次のようになる：

- i) n_{v1} は γ_d , σ_l に関係なくほとんど一定である；
- ii) 軸ヒズミに対する膨脹率は、 σ_l , γ_d に関係なくほとんど一定である；

第7図 C_d と σ_l との関係

- iii) $\sigma_v = 0$ とすることによつて生ずる体積収縮の傾向は σ_l と可逆である;
 iv) $\sigma_v = 0$ からさらに $\sigma_l \rightarrow 0.027 \text{ kg/cm}^2 (= 20 \text{ mmHg})$ とするときに生ずる体積膨脹の傾向は一定とみなされうる.

文 献

- (1) 佐藤健吉; “三軸圧縮試験による砂の実験(I)”；信州大学工学部紀要，第9号，昭和35年.
- (2) 星埜 和; “土の力学における塑性の基本理論と三軸試験への適用”；1954，土木学会論文集，第21号.

Summary

Drained Triaxial Tests on Sand (II)

Kenkichi SATO

(Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering)

Drained triaxial tests have been made on a oven-dried sand, mean grain size being 0.2 mm, for the purpose of measuring its volume change in the axial compression process.

It is a well-known fact that volume changes which occur in drained triaxial tests on sand are a function of the initial density or the state of packing of sand. According to our tests, the volumetric behavior of the sand presented the following facts:

(1) The volume of the sample, decreased in the consolidation region, is nearly proportional to the dry density.

(2) The coefficient of compressibility of sand may be given by

$$C_c = \frac{\Delta V_c}{V_0 \cdot \sigma_v},$$

where $\Delta V_c/V_0$ = the volume of contraction of sample when $\sigma_v \rightarrow 0$,
measured in percentage,

σ_v = the deviator stress in kg per sq cm,

V_0 = the initial volume of sample in cu cm.

C_c indicates that the tendency of contraction in axial compression process is almost proportional to that in consolidation process.

(3) The coefficient of dilatability of sand may be defined by

$$C_d = - \frac{\Delta V_d}{V_0 (\sigma_l - 0.027)},$$

where $\Delta V_d/V_0$ = the volume of dilatation of sample when $\sigma_v = 0$, and

$\sigma_l \rightarrow 20$ mmHg, measured in percentage,

σ_l = the final lateral stress in kg per sq cm.

C_d is approximately constant, independent of γ_d and σ_l .