

三軸圧縮試験による砂の実験 (1)

佐藤 健 吉*

(昭和34年11月24日受理)

要旨：標準砂について、排水型緩速三軸圧縮試験を行つた結果の一部を述べたものである。試料形状は、それぞれ、直径 35mm, 70mm, 長さ 80mm, 200mm, の2種類、側圧方式は真空圧と液圧との2方式、載荷速度を1分間当り0.35%と1%との2種とした。含水比が0の場合は、強度および摩擦角には側圧方式による変化はほとんどないけれども、含水比を増すときは、側圧方式によつて強度と含水比に変化を生じた。真空側圧方式による含水比0の試料の実験においては、内部摩擦角は乾燥密度によつて変化し、ある乾燥密度——本実験では $\gamma_d = 1.54$ 附近——に対応する角 ($\psi = 37.3^\circ$) を頂点とする放物線形を示した。

1 序 論

砂の強度および容積変化は、初期乾燥密度、初期含水比および側圧の変化が支配的であるから、初期乾燥密度および側圧に対応する強度、従つて内部摩擦角の変化の限界を知ることは、設計上有用な資料を与えることとなる。

実在の砂質基層は、ある程度の含水量を有し、これに載荷するときは、間隙水圧が発生するから、三軸試験法の排水型と非排水型との中間にあると云う。この試験は、まず排水型三軸試験法によつて、砂の力学的諸性質を求めめるために行われたものである。

2 試 料 (標準砂)

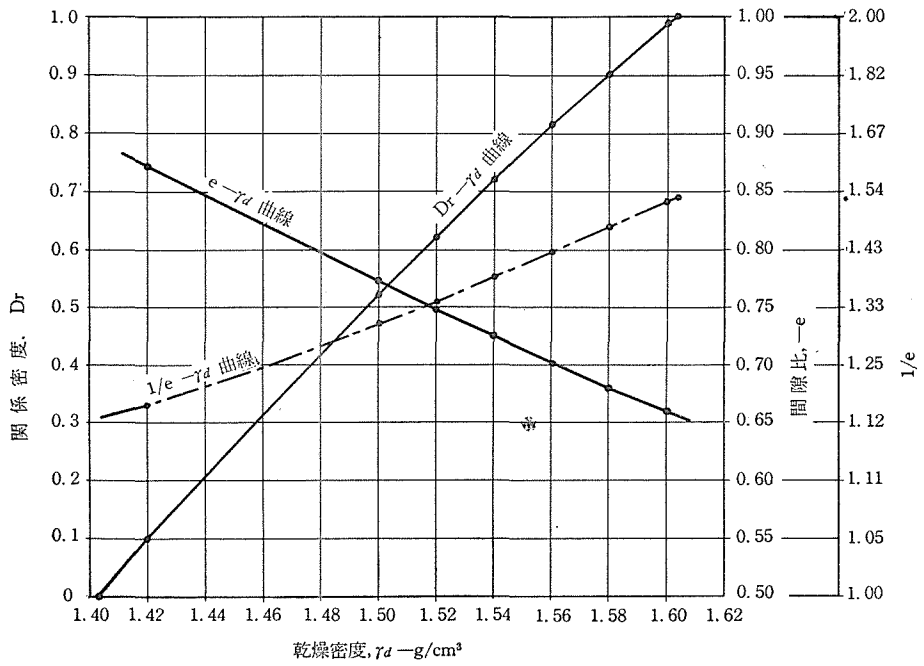
A 物理的性質

表—1 試料の物理的性質

単位重量	2.655g/cm ³	乾燥密度, g/cm ³ ; 最大1.604 最小1.403					間隙比; 最小0.656 最大0.894		
飽 和 度	含水比%	3	6	9	12	15	20	25	32.34
	飽和度%	9.27	18.55	27.82	37.09	46.37	61.82	77.28	100.00

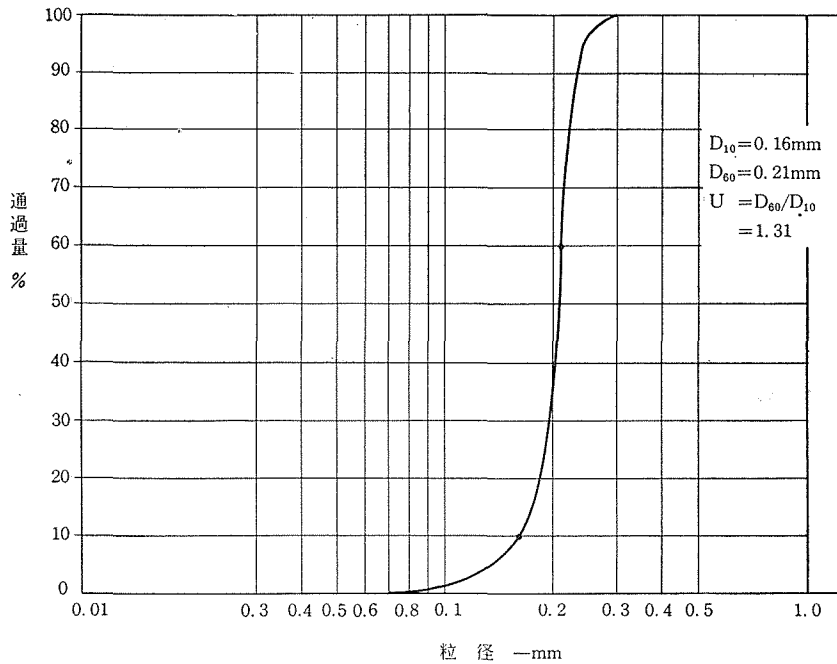
容積変化と乾燥密度との関係は図—1に示される。

* 土木工学教室, 助教授



図一 密度と容積変化との関係

B 粒度 (図一2)



図一2 実験砂の粒度曲線

3 実験内容

A 内容(表-2)

表-2 実験内容

試験機式	軸方向の ヒズミ速度	乾燥密度 平均g/cm ³	側圧式	初期含水比%	側水銀柱の高さ mm	実験系 列番号
大型	0.35%/分	1.429	液圧	0	134.6—634.6	I
				3	〃	II
				6	〃	III
				9	〃	IV
				12	〃	V
				15	〃	VI
				20	〃	VII
				25	〃	VIII
			真空圧	0	234.6—634.6	IX
				3	〃	X
				6	〃	XI
				9	〃	XII
				12	134.6—634.6	XIII
				15	〃	XIV
	1.558	真空圧	0	234.6—634.6	XV	
	1.604	液圧	0	〃	XVI	
小型	1%/分	1.403 1.604	真空圧	0	219.1—619.1	XVII

B 実験装置 (図-3)

C 試験機型式

試験機は次の2種を使用した。

- (1) 大型——試料寸法、径7cm、高さ20cm；電動上下圧加圧；
- (2) 小型——試料寸法、径3.5cm、高さ8cm、手動上下圧加圧；

D 側圧方式

側圧方式を液圧と真空圧との2方式とする

(1) 液圧方式は、圧縮室内のグリセリンを圧搾空気によつて加圧する。この場合、試料内には多少の間隙空気圧が発生する。

(2) 真空圧方式は、試料内を部分真空にすることによつて、試料内外の圧力差を側圧とする。この場合は純排水型となる。

側圧 σ_1 は、図-3から、

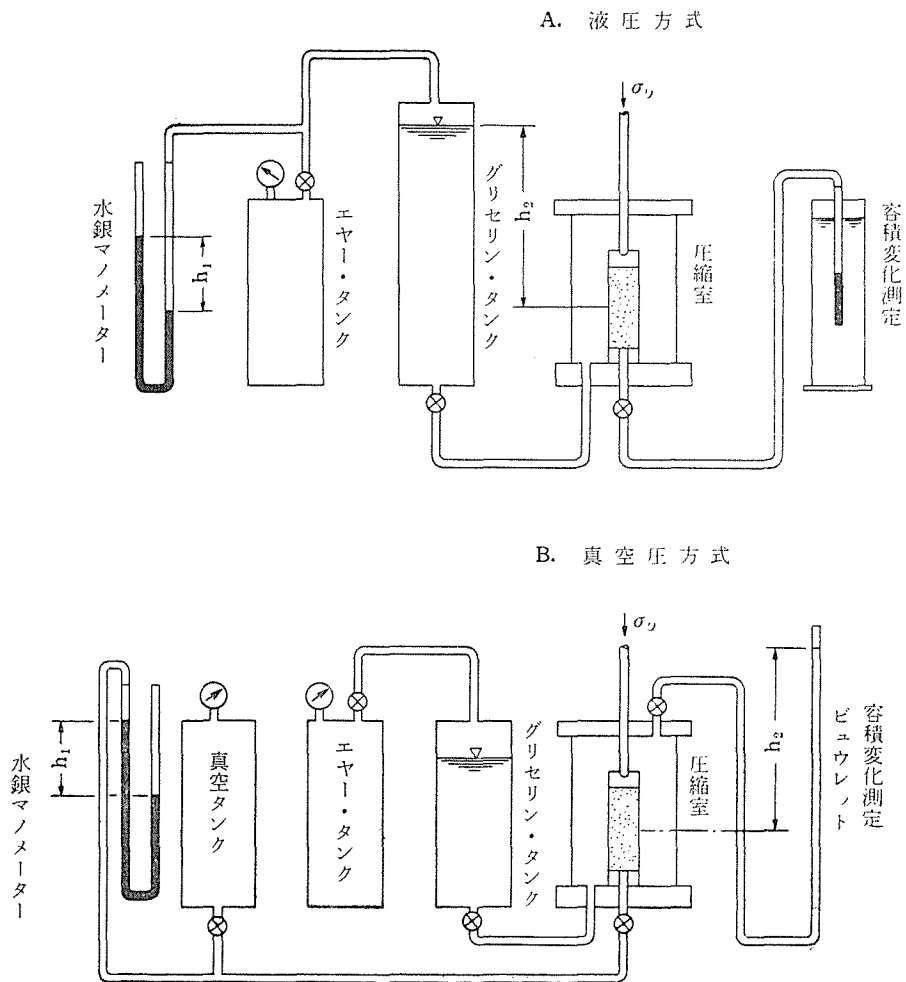


図-3 実験装置

$$\sigma_l = h_1 \gamma_m + h_2 \gamma_w \quad (1)$$

となる。ここに、

γ_m : 水銀の密度, kg/cm^3 ;

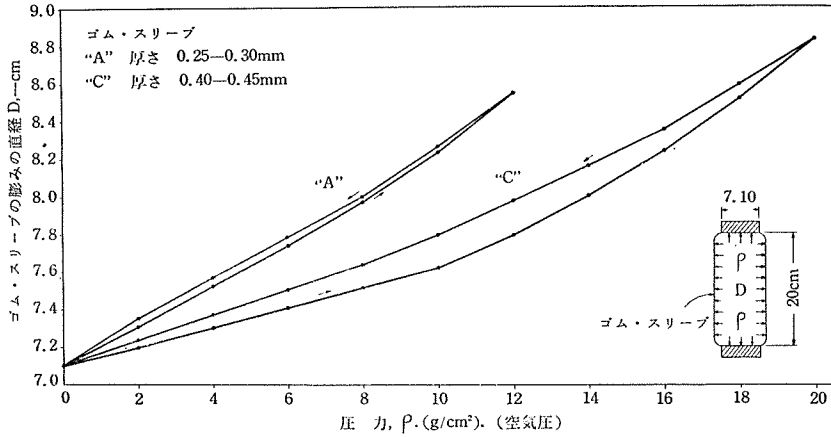
γ_w : 水の密度, kg/cm^3

である。

E ゴム・スリーブ

ゴム・スリーブの平均厚さは、大型用 0.3mm, 小型用 0.2mm である。大型実験において、軸方向の最大ヒズミ15%のとき、試料の初めの直径 7.1cm は 8.5cm に膨ら

み、このためにゴム・スリーブの試料に与える付加側圧 p は、図—4 の実験曲線から約 12g/cm^2 となる。この程度の拘束力は無視しうるものであろう。



図—4 三軸圧縮用ゴム・スリーブの膨み抵抗

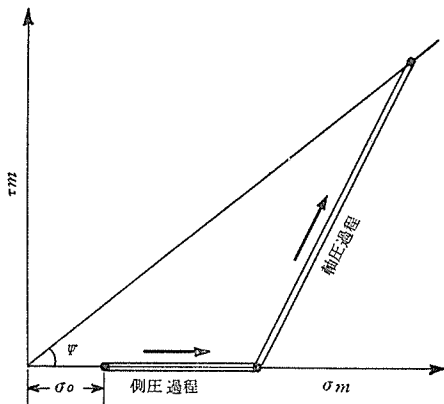
F 軸方向のヒズミ速度

小型実験のとき 1%/分，大型実験のとき 0.35%/分とした。この速度差による強度および摩擦角に対する影響は、無視して差支えない程度のものである。(3)(4)(5)

4 側圧過程

A 側圧過程

三軸圧縮試験の過程は、図—5 に示すように、試料をセットしてから所定側圧に達するまで純粋圧縮する側圧過程と、一定側圧の下に上下圧を加える軸圧過程との 2 段階に分け、側圧過程においては、側圧に対応する容積変化を測定する。容積変化は、側圧に対する初期乾燥密度および初期含水比によるの外、試料粒子の初期配列状態に因るものようである。

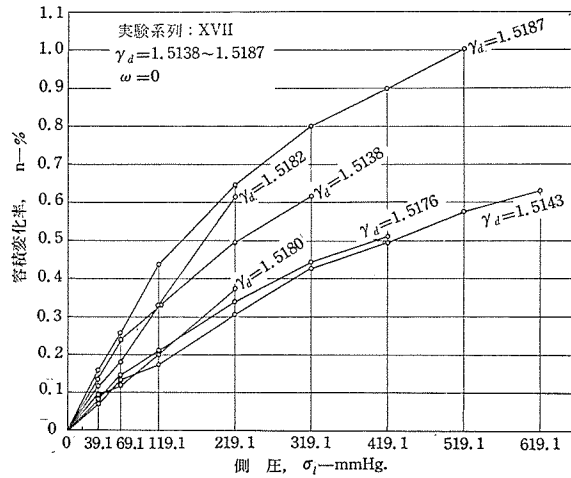


図—5 試験過程

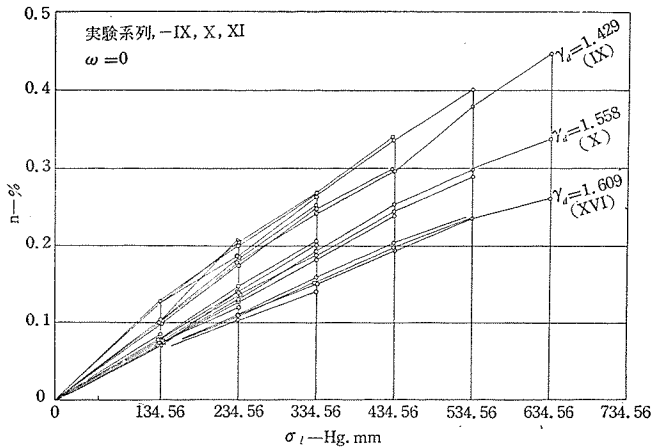
B 側圧，初期乾燥密度と容積変化率との関係

初期乾燥密度， γ_d のほぼ等しい試料においても、側圧に対する容積変

化率, n (%) は, 主として試料粒子の初期配列状態の変化と, 側圧の加圧状態の不平均 (真空圧の場合) とによつて変動するけれども (図—6, 7), これを平均的にみると, その変化の傾向はよく層序を保つものといふ (図—8)。



図—6 σ_l, γ_d に対する n の変化



図—7 側圧 σ_l , 乾燥密式 γ_d に対応する容積変化率 n , %

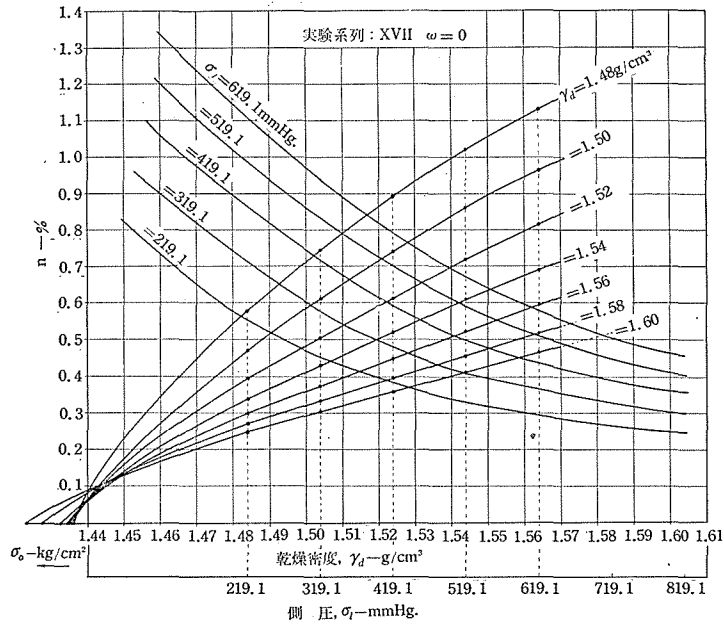


図-8 乾燥密度および側圧に対する容積変化率の関係

C $n - \sigma_l$ 曲線

星埜博士の土の力学理論によると、主応力および主ヒズミは次のように表わされる。⁽³⁾
 主応力,

$$\begin{aligned}
 \sigma_1 &= \sigma_m + \sqrt{2} i_1 \tau_m, & i_1 &= \cos \theta_m, \\
 \sigma_2 &= \sigma_m + \sqrt{2} i_2 \tau_m, & i_2 &= \cos\left(\frac{2}{3}\pi - \theta_m\right), \\
 \sigma_3 &= \sigma_m + \sqrt{2} i_3 \tau_m, & i_3 &= \cos\left(\frac{2}{3}\pi + \theta_m\right), \\
 \sigma_m &= \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \\
 \tau_m &= \frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2} \\
 \cos \theta_m &= \frac{\sqrt{2}}{\tau_m^3} (= \sigma_1 - \sigma_m)(\sigma_2 - \sigma_m)(\sigma_3 - \sigma_m)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

主ヒズミ,

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varepsilon_1}{1-\varepsilon_1} &= \frac{1}{3V} d\sigma_m + \frac{\sqrt{2}}{3U} d(i_1\tau_m) + \frac{k}{3U} d\tau_m, \\ \frac{d\varepsilon_2}{1-\varepsilon_2} &= \frac{1}{3V} d\sigma_m + \frac{\sqrt{2}}{3U} d(i_2\tau_m) + \frac{k}{3U} d\tau_m, \\ \frac{d\varepsilon_3}{1-\varepsilon_3} &= \frac{1}{3V} d\sigma_m + \frac{\sqrt{2}}{3U} d(i_3\tau_m) + \frac{k}{3U} d\tau_m \\ \varepsilon_m &= \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここに,

V : 圧縮による変形係数

U : セン断による変形係数

k : ねじり変形

である。

側圧過程においては

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_m = \sigma_0 + \sigma_l \\ \tau_m = 0, \\ \frac{d\varepsilon_1}{1-\varepsilon_1} = \frac{d\varepsilon_2}{1-\varepsilon_2} = \frac{d\varepsilon_3}{1-\varepsilon_3} = \frac{d\varepsilon_m}{1-\varepsilon_m} = \frac{d\sigma_m}{3V} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

となる。 $n = 3\varepsilon_m$ であるから 上式を積分して,

$$n = 3\varepsilon_m = \frac{\sigma_0}{V_0} \ln\left(1 + \frac{\sigma_l}{\sigma_0}\right) = \frac{\sigma_0}{V_0} \ln(1 + \zeta) \quad (5)$$

をうる。ここに,

σ_0 : 内部圧応力,

V_0 : $\sigma_m = \sigma_0$ に対応する圧縮変形係数,

$\zeta = \sigma_l / \sigma_0$

である。実験系列 XVII について, 図—8, 表—4 から(5)式を計算すると表—3, 図—9をうる。

図—9において, n と $\ln(1 + \zeta) = \Phi$ とが比例関係にあれば, (5)式から $n = \frac{\sigma_0}{V_0} \Phi = K\Phi$ の K は比例定数となり, 従つて $V_0 =$ 定数となるべきものである。しかし粒子移動に対する拘束力の弱い砂の容積変化は, 図—7, 8に示すように図—10の実測値の傾向をとつて常に理論式よりも大となるために, K は定数とならず, 従つて V_0 は定数となりえない。

D 側圧および含水比と容積変化率との関係

初期乾燥密度を一定にとつても, 含水比が変化すると, 側圧に対する n の層序が破れてあらゆる変化をとるようになる。図—11, 12はこの場合の平均的傾向を示すものである。

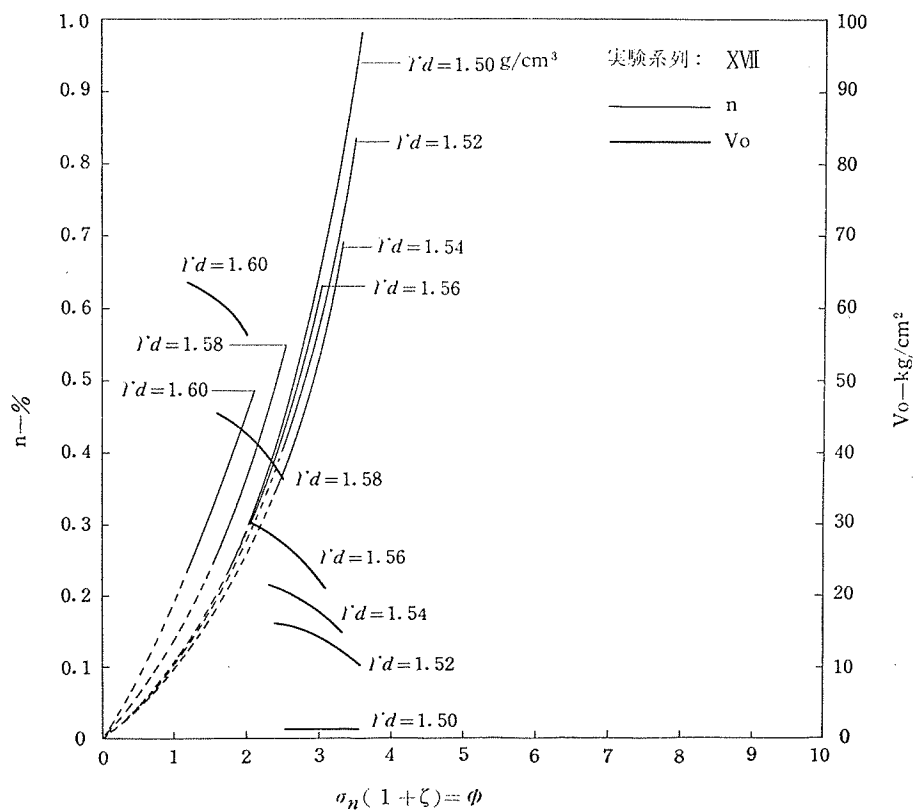


図-9 圧力に対する n と V_0 との関係

表-3 純粋圧縮による容積変化計算 (実験系列: XVII)

γ_s g/cm ³	σ_0 kg/cm ²	σ_t kg/cm ²	$l_n(1+\zeta)$	n %	$(\sigma_0/V_0) \times 10^2$	V_0 kg/cm ²
1.50	0.024	0.300	2,601	0.47	0.181	1.3
		0.435	2,953	0.61	0.207	1.2
		0.570	3,207	0.74	0.230	1.0
		0.705	3,411	0.86	0.252	1.0
		0.840	3,579	0.96	0.268	0.9
1.52	0.026	0.300	2,521	0.40	0.159	16.3
		0.435	2,870	0.51	0.178	14.6
		0.570	3,132	0.61	0.195	13.3
		0.705	3,341	0.72	0.216	12.0
		0.840	3,512	0.82	0.234	11.1
1.54	0.031	0.300	2,370	0.34	0.144	21.5
		0.435	2,711	0.43	0.159	19.5
		0.570	2,963	0.52	0.176	17.6
		0.705	3,171	0.61	0.192	16.1
		0.840	3,332	0.69	0.207	15.0

1.56	0.045	0.300	2,041	0.30	0.147	30.6
		0.435	2,370	0.38	0.158	28.4
		0.570	2,612	0.45	0.170	26.4
		0.705	2,810	0.52	0.185	24.4
		0.840	2,982	0.60	0.200	22.4
1.58	0.077	0.300	1,587	0.27	0.170	45.3
		0.435	1,894	0.33	0.174	44.2
		0.570	2,021	0.40	0.198	38.8
		0.705	2,316	0.46	0.200	38.5
		0.840	2,474	0.52	0.210	36.7
1.60	0.128	0.300	1,211	0.25	0.203	63.0
		0.435	1,480	0.33	0.207	61.8
		0.570	1,694	0.36	0.212	60.4
		0.705	1,870	0.41	0.219	58.4
		0.840	2,019	0.46	0.228	56.2

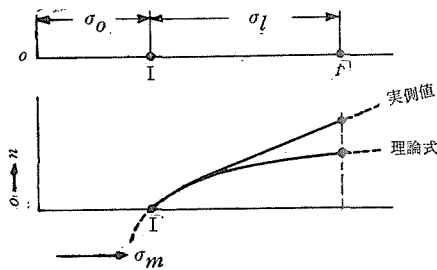


図-10 側圧による容積変化の傾向

液側圧方式と真空側圧方式とに対する n を比較するとき、一般に液側圧方式の場合が n の絶対値も変域も大である。これは液側圧方式においては、実験操作上、側圧の増減変化がさげられず、その変化の都度粒子の再配列が行われるためと思われる。

5 軸圧過程

A 試料の破壊状態

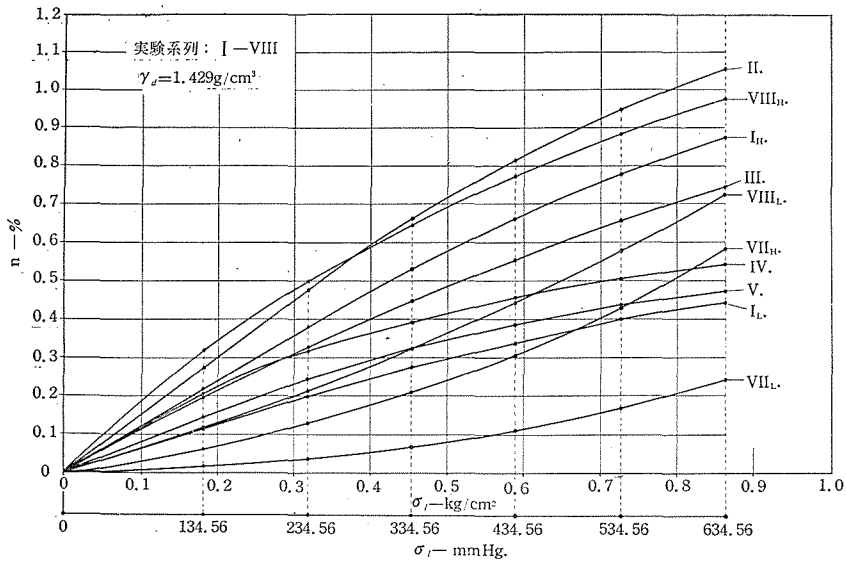


図-11 $\sigma_{l,w}$ と n との関係 (液圧)

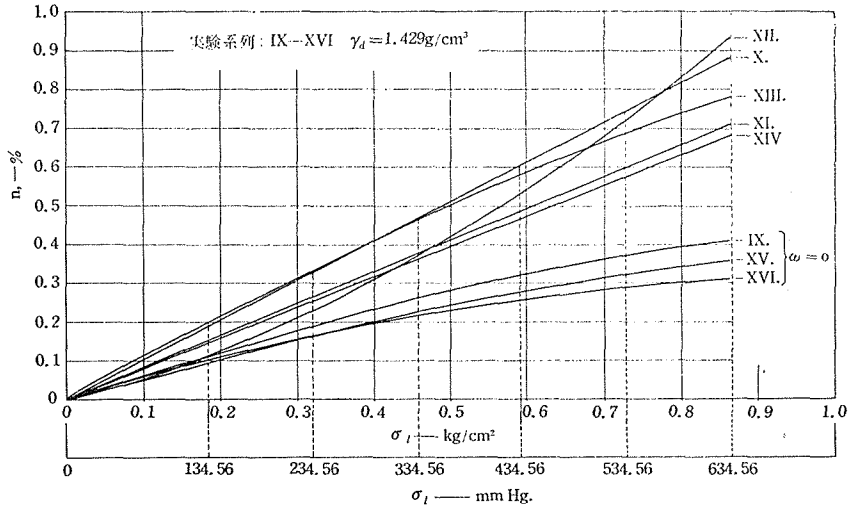


図-12 σ_1, w と n との関係 (真空圧)

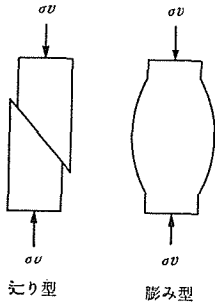


図-13 砂の破壊形状

試料をセットして、側圧過程から軸圧過程に移行すると、極限軸圧強度 σ_{vf} に至つて試料が破壊する。その破壊状態は、 $\sigma_1 > \sigma_3$ の場合、一般に図-13に示される2形態であり、本実験においても、この2形態以外のものはなかつた。(写真1, 2)。

本実験の結果によると、

(1) 破壊形態のほとんどが膨らみ型であつて、絞り型は極めて少い。

(2) 側圧が低いときに絞り型、高いときに膨らみ型の発生を見た例もあるが、本実験においては、絞り型の出

現は、乾燥密度、含水比、側圧および軸方向のヒズミ(容積変化)等に関するようである。大略、初期乾燥密度 1.42g/cm^3 (関係密度0.10) のとき、初期含水比20%において最も多く発生する。初期含水比0のとき、初期乾燥密度 1.50g/cm^3 (関係密度0.52) 以上、軸方向のヒズミ13%以上において現れる。いずれの場合も側圧 0.3kg/cm^2 (200mmHg) 以下では発生しない。

(3) 一般に、絞り型は膨らみ型に比して σ_{vf} が低いという Nash の実験には同調しうるものがある。

B 破壊条件

土の破壊条件は破壊時の τ_m/σ_m のとりうる極限值を $\tan \Psi$ とすると、

$$\tau_m/\sigma_m = \lambda\mu = \tan \Psi \tag{6}$$

となり、破壊限界面は図-14に示される。

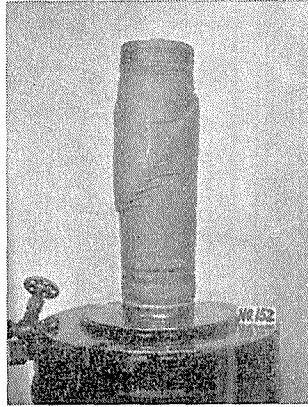


写真-1 絞り型
 実験系列 XVI
 液側圧方式
 $\gamma_d = 1.609\text{g/cm}^3$
 $w = 0$
 $\sigma_l = 0.59\text{kg/cm}^2$
 (434.36mmHg)

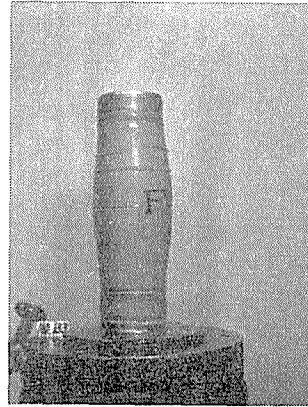


写真-2 膨らみ型
 実験系列 XVI
 液側圧方式
 $\gamma_d = 1.609\text{g/cm}^3$
 $w = 0$
 $\sigma_l = 0.73\text{kg/cm}^2$
 (534.56mmHg)

ここに、

μ : 圧縮係数 ($\mu^2 = U_0/V_0$)

λ : 比例常数 ($\lambda^2 = A_R/A_N$)

U_0 : $\sigma_m = \sigma_0$ のときのセン断応力に対する変形係数

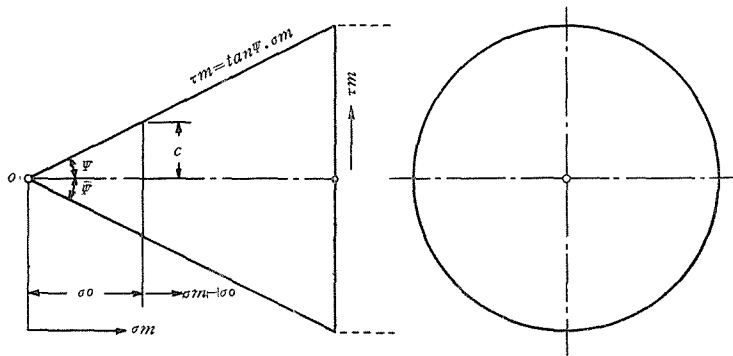


図-14 降伏限界面

V_0 : $\sigma_m = \sigma_0$ のときの直応力に対する変形係数

σ_0 : 内部圧応力

A_R : セン断抵抗エネルギー

A_N : 圧縮抵抗エネルギー

である。

この場合、 Ψ は真の内部摩擦角、 $\tan \Psi$ は真の内部摩擦係数、また $\sigma_m = \sigma_0$ のときの τ_m の値、 C は

$$C = \sigma_0 \tan \Psi \tag{7}$$

となり、真の粘着力として表わされる。

C 内部摩擦角、 Ψ

側圧を σ_l 、軸圧を σ_v とおけば、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_0 + \sigma_l + \sigma_v \\ \sigma_2 &= \sigma_3 = \sigma_0 + \sigma_l \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

となり、(8)式を(2)式に代入して次の(9)式をうる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_m &= \sigma_0 + \sigma_l + \frac{1}{3} \sigma_v \\ \tau_m &= \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_v \end{aligned} \right\} \tag{9}$$

破壊に至るまでの(9)式の関連を図示すると図-15の $(\tau_m - \sigma_m)$ 線となる。

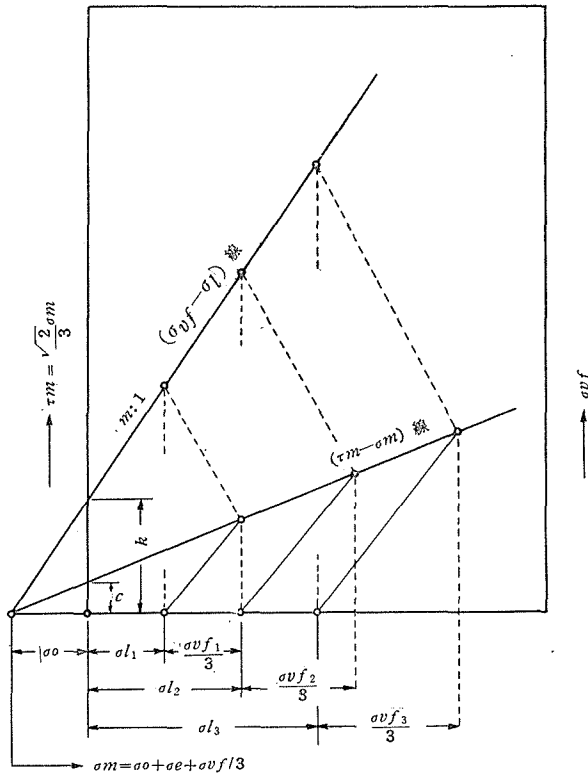


図-15 $(\tau_m - \sigma_m)$ 線と $(\sigma_{vf} - \sigma_l)$ 線との関係

図—15の $(\sigma_{vf}-\sigma_l)$ 線によつて m , k を求め、降伏条件に代入すると、

$$\left. \begin{aligned} \tan \psi &= \frac{(\sqrt{2}/3) \sigma_{vf}}{\sigma_0 + \sigma_l + \sigma_{vf}/3} = \frac{\sqrt{2} m}{3+m} \\ \sigma_0 &= k/m \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

をうるから、実験結果を上式に代入して、 $\tan \psi$, ψ , σ_0 および C の値を求めることができる。(表—4)。

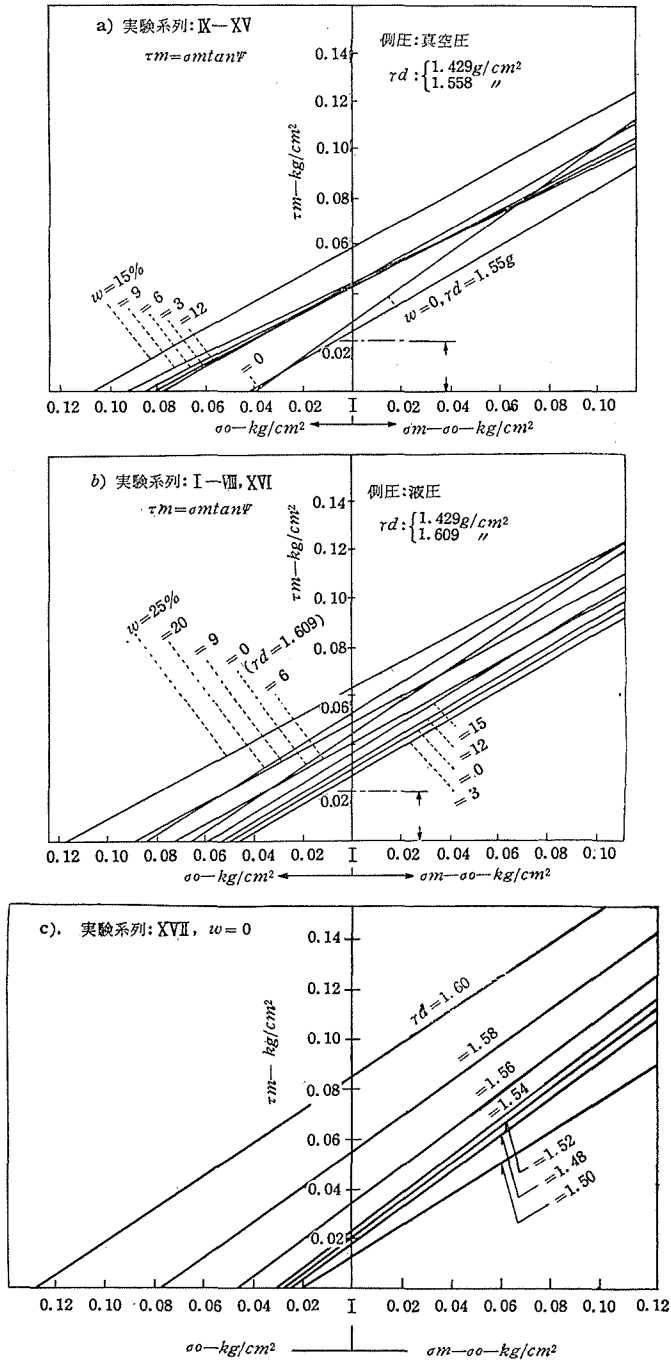
表—4 力学常数值

実験系列	側圧方式	平均乾燥密度 g/cm ³	初期含水比%	m	k	$\tan \psi$	ψ°	σ_0 kg/cm ²	C kg/cm ²	終期含水比%
I	液圧	1,429	0	2,174	0.115	0.594	30°-43'	0.053	0.032	0.03
II	"	"	3	2,232	0.054	0.603	31°-06'	0.024	0.015	2.84
III	"	"	6	2,028	0.206	0.570	29°-42'	0.102	0.058	5.55
IV	"	"	9	2,069	0.237	0.577	30°-00'	0.114	0.066	7.66
V	"	"	12	2,241	0.128	0.605	31°-10'	0.057	0.035	10.40
VI	"	"	15	2,325	0.144	0.618	31°-43'	0.062	0.038	12.75
VII	"	"	20	2,264	0.219	0.608	31°-19'	0.097	0.059	16.61
VIII	"	"	25	1,834	0.403	0.537	28°-13'	0.220	0.118	22.85
IX	真空圧	"	0	2,215	0.178	0.601	31°-00'	0.080	0.048	0.03
X	"	"	3	1,782	0.265	0.527	27°-47'	0.149	0.079	2.90
XI	"	"	6	1,797	0.164	0.530	27°-55'	0.091	0.048	5.48
XII	"	"	9	1,799	0.124	0.530	27°-56'	0.069	0.037	6.17
XIII	"	"	12	2,127	0.218	0.586	30°-24'	0.103	0.060	7.26
XIV	"	"	15	1,964	0.300	0.560	29°-14'	0.153	0.086	8.61
XV	"	1,527	0	3,265	0.095	0.737	36°-23'	0.029	0.021	0.04
XVI	液圧	1,583	0	2,736	0.325	0.675	34°-00'	0.119	0.081	0.05
XVII	真空圧	1.42	0	2,401	0.050	0.628	32°-08'	0.021	0.013	0.04
"	"	1.50	0	3,219	0.077	0.702	36°-12'	0.024	0.019	0.05
"	"	1.52	0	3,403	0.101	0.751	36°-55'	0.026	0.020	0.06
"	"	1.54	0	3,519	0.110	0.763	37°-21'	0.031	0.024	0.04
"	"	1.56	0	3,488	0.155	0.758	37°-10'	0.045	0.034	0.07
"	"	1.58	0	3,142	0.242	0.723	35°-52'	0.077	0.056	0.06
"	"	1.60	0	2,694	0.345	0.669	33°-47'	0.128	0.086	0.03

表—4の数値を総括して次に述べる：

(1) 強度；同一初期乾燥密度では、一般に側圧方式による強度の変化は少い(図—16, a, b; 17)。しかし初期乾燥密度を変化すると、極限軸圧強度はある限界までは密度に比例して上昇し、その限界をこえると、かえつて減少する(図—18)。また τ_m はある範囲内においては初期乾燥密度の増加とともに増大する(図—16, C)。

(2) 含水比；同一初期含水比であつても、側圧方式によつて試験終了時の含水比(終期含水比)が甚だしく変化する(図—19)。この場合、側圧過程直後の含水比と終期含水比とは等値と見做しうる。



図—16 平均剪応力, τ_m : 平均剪応力; σ_m : 平均主応力; σ_0 : 内部圧応力; ψ : 内部摩擦角

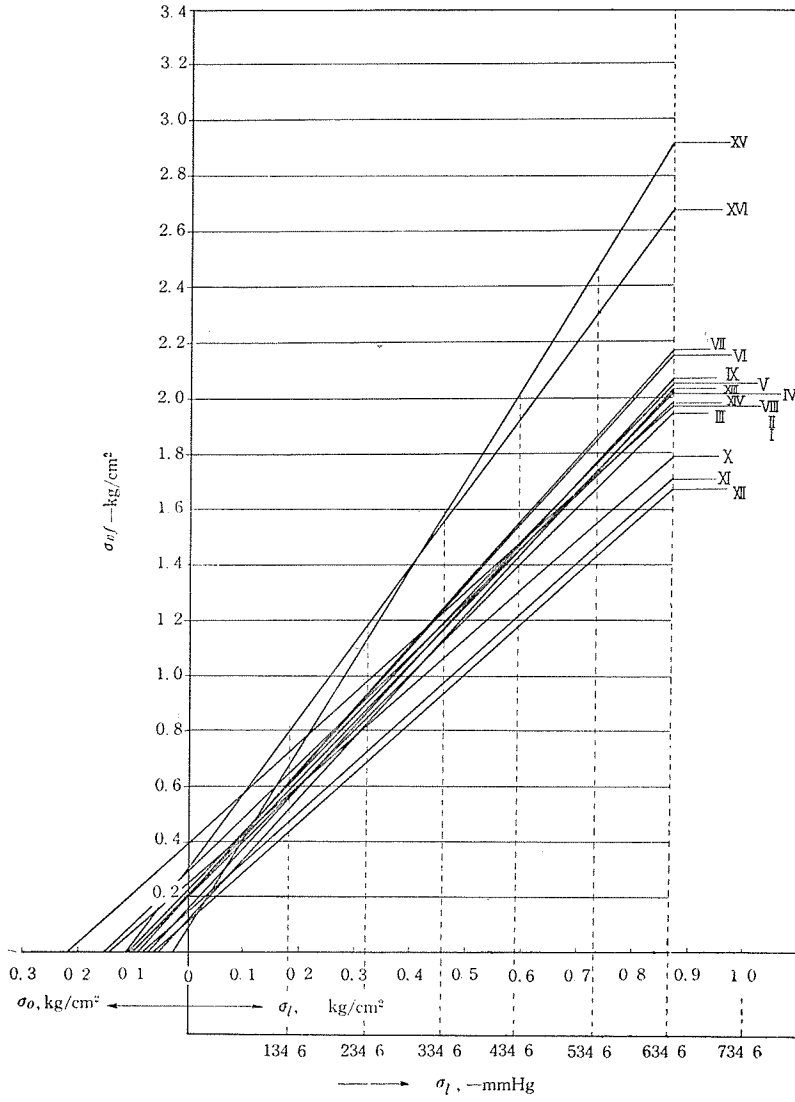


図-17 $\sigma_{vf} - \sigma_l$ 曲線

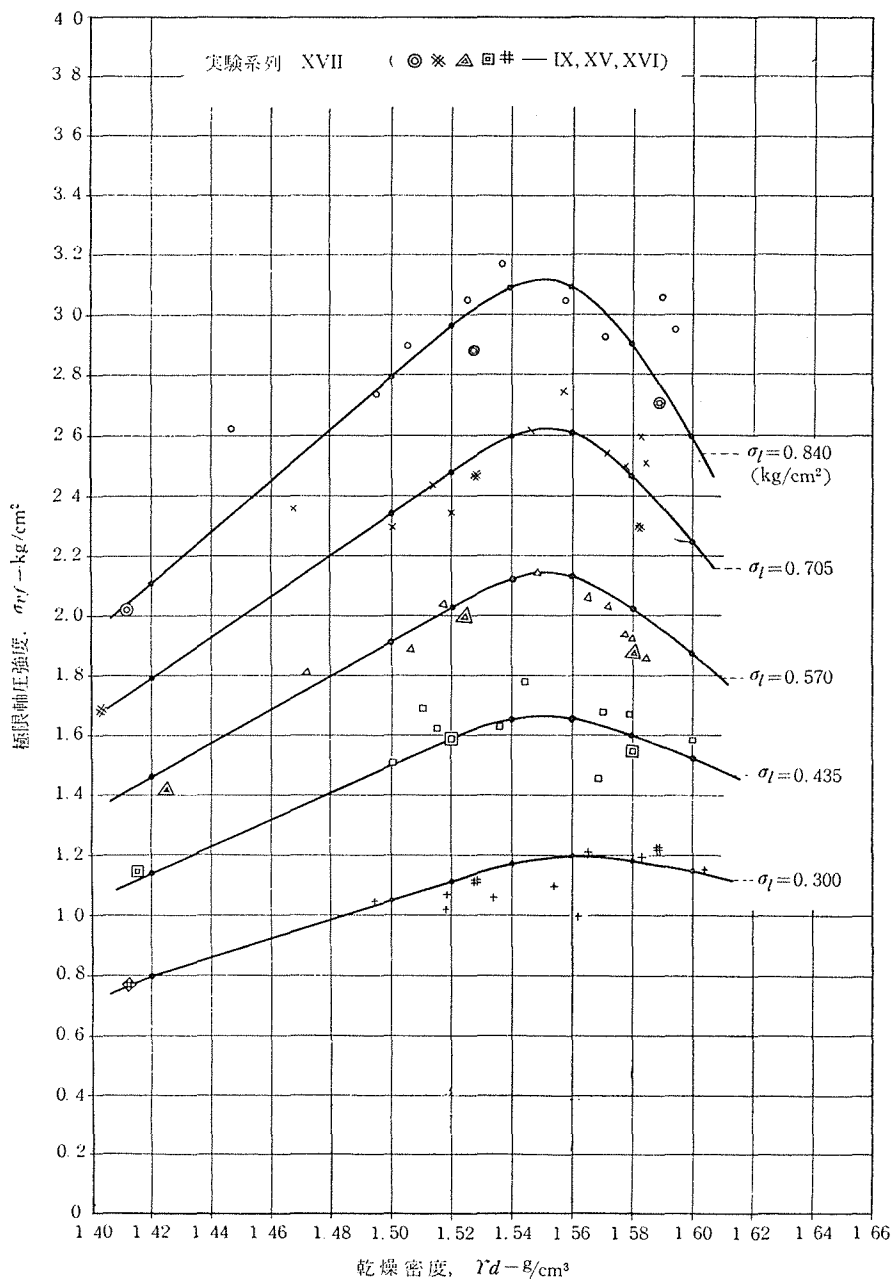
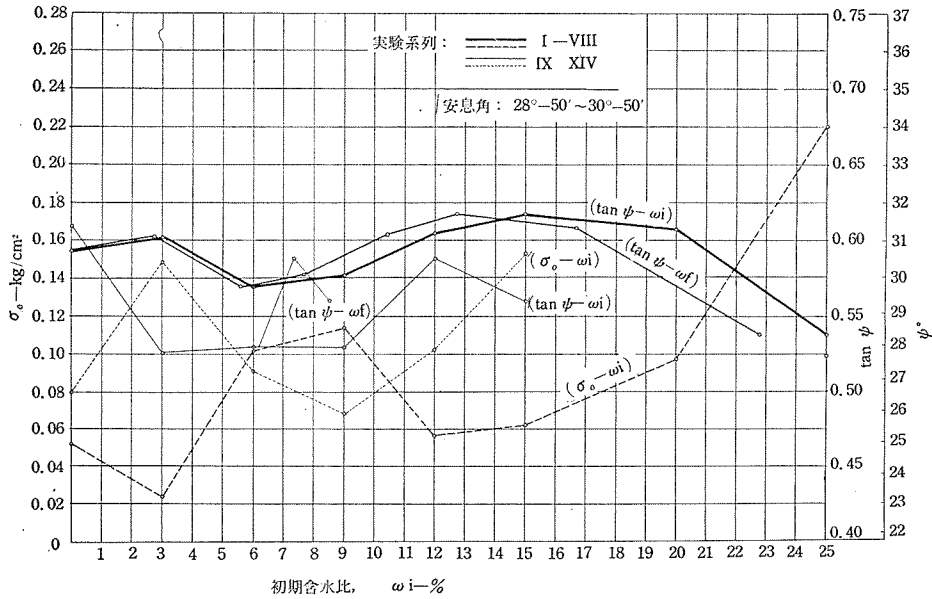


図-18 極限軸圧強度と乾燥密度との関係



図—19 $(\sigma_0, \tan \psi, \psi^\circ)$ と w_i との関係

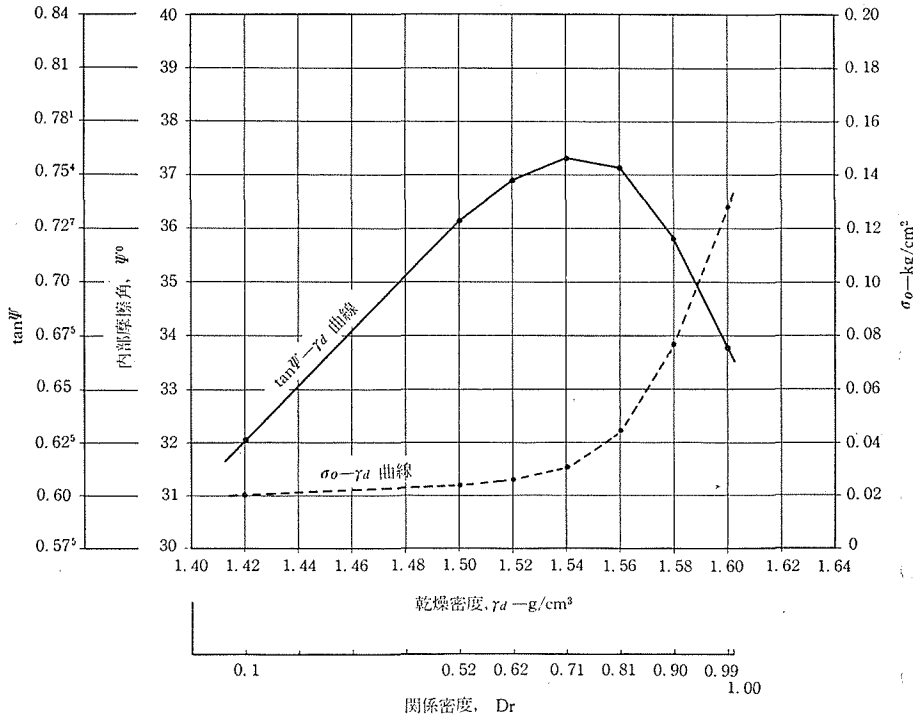
(3) 内部摩擦角; 液側圧方式において、初期乾燥密度が等しいときは、Nash の実験と同様に、含水比による Ψ の変化は少ない (図—19)。また真空側圧方式において、含水比を 0 にして初期乾燥密度を変化せしめるとき、 Ψ の変化は図—18 が正当である限り図—20 となる。 Ψ は γ_d の増加とともに増大することは一般に認めるところであつて、たとえば真井教授等の $(\gamma_d - \Psi)$ 線は直線⁽⁴⁾、Nash の (間隙率 $n - \Psi$) 線および Penman の (間隙比 $e - \Psi$) 線は緩曲線⁽⁹⁾⁽¹¹⁾、Caquot 等の $(\tan \Psi - 1/e)$ 線は直線となることを示している。何故に図—20 の放物線形となるかは今後の課題としてその真実性と解析を追求しなければならないが、粒形、粒度、側圧等の要素が関連するものと思われる。

(4) 内部圧応力; 大略含水比に比例し (図—16)、初期乾燥密度の増加とともに急激に増大する (図—20)。図—20 において、 $\gamma_d = 1.54$ をこえると Ψ は減少するから、 τ_m もこれに伴つて減少すべきものである。しかし一方 σ_0 が急増するために、総体として、ある範囲内においては、 γ_d の増加とともに τ_m も増大するものといふ (図—16, C)。

6 結 論

標準砂の三軸圧縮試験を行つた結果を要約すると：

- (1) 他の条件を等しくすると、2 側圧方式による力学的諸性質の差違は僅少である。
- (2) 純粹圧縮における容積変化は、真空圧の場合よりも液圧方式の場合が少し大きく



図—20 (γ_d, D_r) と ($\tan \psi, \psi, \sigma_0$) との関係

現われる理由は実験操作の差違によるものであろう。

(2) 砂粒子移動の拘束力が低いために、砂の V_0 は定数とはならず、乾燥密度と側圧とによつて変化する。

(4) 乾燥密度を変えない限り、含水比の変化は内部摩擦角の支配的要素とはならない。

(5) 含水比が0の場合、 ψ は $\gamma_d = 1.42 \text{ g/cm}^3$ のとき 32° となり、 γ_d の増加とともに ψ も増大し、 $\gamma_d = 1.54 \text{ g/cm}^3$ において $\psi_{max} = 37.3^\circ$ に達し、さらに γ_d の値を増すと、 ψ はかえつて減少して、 $\gamma_d = 1.60 \text{ g/cm}^3$ のとき $\psi = 33.8^\circ$ となつた。

(6) 内部圧応力は γ_d の増加とともに急増するため、 ψ が減少しても、結局においてある範囲内では、 γ_d の増加とともに τ_m が増大することとなる。

(7) 軸圧過程に入ると、ダイレイタンシイの現象が生ずるから、 n, σ_m, τ_m 間の関連を解析することは(5)に通ずるものと思われる。軸圧過程における容積変化については次号に発表する。

本実験は昭和32年5月から昭和33年3月までおよび昭和34年8月、東京大学生産技術研究所交通実験室において、星埜教授の全般的指導と実験に要する一切を供与される御

厚意の下に、榎本、金子両教官の実験的指導と中島、相原、臼井3君の協力によつて行われたものである。ここに深く感謝の意を表する。

文 献

- (1) A.D.M. Penman; "Shear characteristics of a saturated silt measured in triaxial compression", 1953. *Géotechnique*, Vol. III, No.8, p.313.
- (2) J. Henkel, and G.D. Gilbert; "The effect of the rubber membrane on the measured triaxial compression strength of clay samples." 1953, *Géotechnique*, p.29.
- (3) 星埜和, 榎本歳勝; "赤土(関東ローム)の三軸試験について" 生産研究, 第6巻, 第12号 p.313.
- (4) 真井耕象, 北郷繁; "各種セン断試験の比較", 土と基礎, 33号, 1959, p.29—30.
- (5) Wesley G. Holtz and Harold. J. Gibbs; "Triaxial shear tests on pervious gravelly soils", *Journ. Soil mechanics and Foundation Division, Proc. of A. S. C. E.* (Proc. Paper 867), Jan. 1956; pp.5—13.
- (6) 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
- (7) M.R. Peltier; "Recherche expérimentales sur la courbe intrinsèque de rupture des sols pulvérulents", *Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1957, London, Vol. I, p. 179.
- (8) P.L. Newland and B. H. Alley; "Volume changes in drained triaxial tests on granular materials"., 1957, *Géotechnique*, No.1, Vol. VII, p.31.
- (9) K.L.Nash; "The shearing resistance of a fine closely graded sand," 1953, *Proceedings of the third Conference on S.M.F.E., Türich*, Vol. I, pp.163—164.
- (10) Albert Caquot et Jean Kerisel; "Traité de mécanique des sols." 1956, Ganthier-Villars, pp.229—231.

Summary

Drained Triaxial Tests On Sand (I)

Kenkichi SATO

(Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering)

This paper describes some results induced from drained triaxial tests with standard sand. The sand has $D_{10}=0.16$ mm, $D_{60}=0.21$ mm and $U=1.32$. These results show :

(1) In the pure compression process, the volume changes of specimens, $n=\Delta V/V_0$ vary to some extent with the same stress σ_3 .

(2) Two methods have been applied to the lateral compression system, one of which is liquid pressure and the other vacuum pressure. The difference between the two methods is slight in the mechanical properties of specimens.

(3) So far as the initial dry density γ_d is constant, the angles of shearing resistance of samples Ψ with various water contents w are nearly the same in the liquid lateral pressure system.

(4) $\Psi=30^\circ-43' \sim 31^\circ-00'$ and the angle of repose $\phi=28^\circ-50' \sim 30^\circ-50'$ if $w=0$ and $\gamma_d=1.42$ g/cm³.

(5) Ψ increases with increase in γ_d — $\Psi=32^\circ$, corresponding to $\gamma_d=1.42$ g/cm³ and $\Psi_{\max}=37.3^\circ$ to $\gamma_d=1.54$ g/cm³ — but Ψ decreases for increase in γ_d — $\Psi=33.8^\circ$ to $\gamma_d=1.60$ g/cm³.

The volume change of samples in the axial compression process, will be reported in the next issue,