

新潟市および周辺部の沖積層における自然含水比と圧密諸量値の関係

鈴木 正喜*

1. はしがき

いわゆる軟弱層といわれる粘性土と有機質土は、増加応力により圧密が生じることは周知の如くである。

地盤工学で圧密を扱うとき、土粒子と間隙水は体積変化は生じないものとし、間隙は間隙水からなるものとしている（飽和度100%）。応力の変化で生じる土の体積圧縮、すなわち圧密は間隙の体積減少とみなすことができ、飽和土では、圧縮量に等しい間隙水の排水量を生じる。

飽和土では固相である土粒子、液相である間隙水の2相からなり、図-1はこれを模式的に表している。

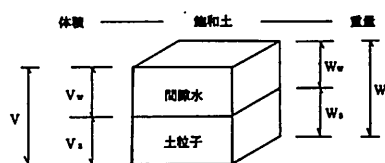


図-1 土の基本的構成

土の基本的物性値の一つである間隙比は V_w/V_s の体積比で表され、含水比は W_w/W_s の重量比で表される。したがって圧密は間隙比の変化によるものであるが、含水比にも密接に関係している。

圧密試験は、通常直径6 cm、高さ2 cmの供試体を作成して行う。この高さ2 cmで相当量の厚さを代表することになる。通常、ボーリングは、構造物の支持層を確認する上で必要であるから予算化されているのが常であるが、シンウォールサンプリングと土質試験（圧密試験等）は予算化されていない事が多く、実施したとしても1~2点程度である。この様な点数で地盤全体の圧密沈下量を想定することは考えものである。

土の含水比試験は、最も正確、容易で安価にできる試験であり、限られた予算の中でも数多くの点数が実施できる。そこで新潟市および周辺部の沖積層で実施した数多くの圧密試験結果の圧密諸量値と自然含水比との相関性を導き、自然含水比で圧密諸量値を求めようと考えた。

2. 自然含水比と物理特性

図-2は自然含水比(w_n)と土粒子の密度(ρ_s)、図-3は自然含水比(w_n)と液性限界(w_L)、図-4は自然含水比と湿潤密度(ρ_t)の関係を示したものであり、いずれも相関性がみられる。

土粒子の密度との関係では、自然含水比が増大すると土粒子の密度が低下する傾向を示している。土粒子の密度は、自然含水比が50%前後で2.65~2.70g/cm³と沖積粘性土の一般

* ㈱新研基礎コンサルタント

的な値を示し、自然含水比が100%前後で約2.50g/cm³、200%前後で2.00~2.45g/cm³、300%以上では、1.80~2.00g/cm³を中心に最小が1.25g/cm³、最大でも2.20g/cm³と非常に小さくなる。

液性限界との関係は、 $w_L = w_n + (150 \sim 75)$ の正比例関係にあり、おおむね $w_L = w_n$ の相関性を示している。

湿潤密度との関係は、飽和度が100%、水の密度が1.0g/cm³とした時、下式が与えられる。

$$\rho_t = \frac{1 + \frac{w_n}{100}}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{w_n}{100}} \quad (\text{g/cm}^3)$$

図-4における実線は $\rho_s = 2.7 \text{ g/cm}^3$ 、 2.5 g/cm^3 、 1.5 g/cm^3 における計算値で、自然含水比に対応する土粒子の密度からして、各々の値は、計算値とおおむね一致する。

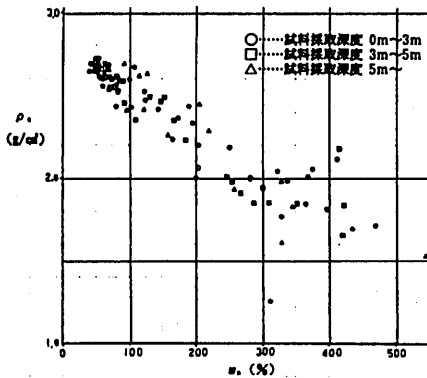


図-2 自然含水比 (w_n) と土粒子の密度 (ρ_s)

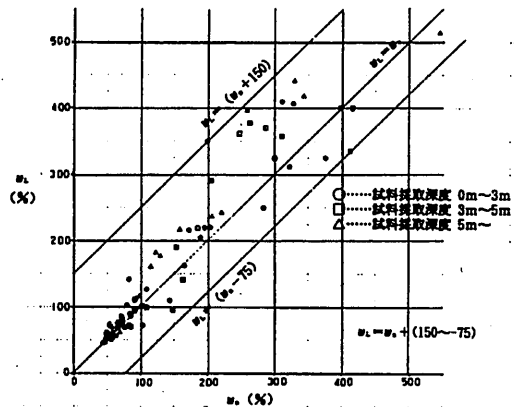


図-3 自然含水比 (w_n) と液性限界 (w_L)

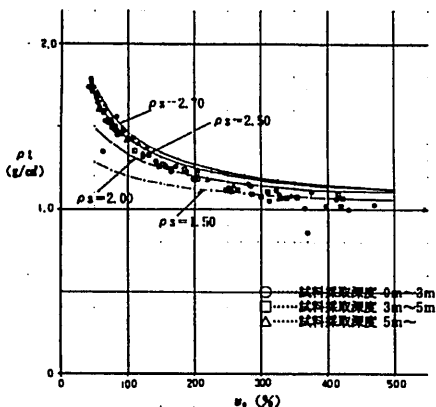


図-4 自然含水比 (w_n) と湿潤密度 (ρ_t)

3. 自然含水比と圧密特性

図-5 は自然含水比と圧縮指数 (C_c)、図-6 は自然含水比と圧密降伏応力 (b_c)、図-7~図-15は自然含水比と各圧密圧力時の間隙比 (e)、図-16は自然含水比と圧密係数 (C_v) の関係を示したものである。

圧縮指数との関係では、自然含水比が増大すると圧縮指数も増大する傾向を示している。スケンプトン (Skempton) によると圧縮指数は経験的に液性限界から推定し、下式を与えている。

$$C_c = 0.009 (w_L - 10)$$

図-3から自然含水比と液性限界の関係は、 $w_L = w_n + (150 \sim 75)$ の範囲を示し、上式は

$$C_c = 0.009 \{w_n + (140 \sim 85)\}$$

に書き換えられる。また一次回帰により直線式を導くと

$$C_c = 0.012w_n - 0.171$$

が与えられる。なお、自然含水比が約150%を境にして相関勾配が変化しているようにみうけられ、

自然含水比 $w_n = 0 \sim 150\%$ の時で $C_c = 0.014w_n - 0.330$

自然含水比 $w_n = 150\% \sim$ の時で $C_c = 0.011w_n + 0.120$

が導ける。

圧密降伏応力は従来、土が過去に受けた最大応力であるとして先行圧密応力と呼ばれていたものであり、自然含水比よりも試料採取深度（試験深度）の方が密接な関係にある。図-6で自然含水比が50%~100%ないし150%までは含水比の増加と共に圧密降伏応力は急激に減少し、150%以上では変化が小さくなってくる。深度別でみると当然の事であるが、自然含水比が等しい時、深度が浅い方が小さい値が得られている。

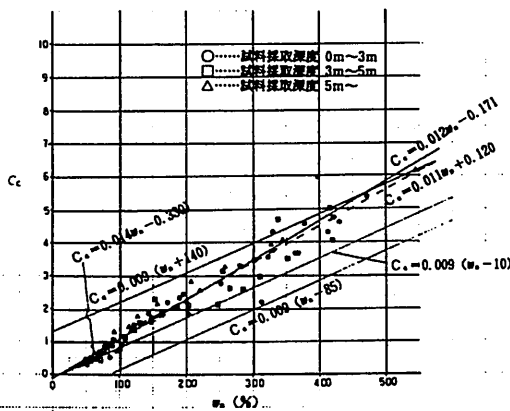


図-5 自然含水比 (w_n) と圧縮指数 (C_c)

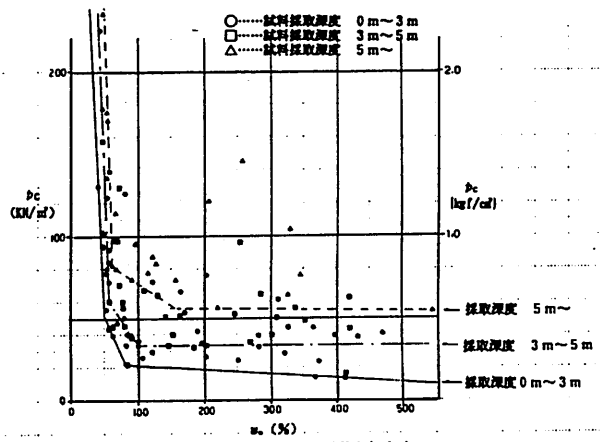


図-6 自然含水比 (w_n) と圧密降伏応力 (p_c)

図-7は初期間隙比 (e_0)、図-8は圧密応力 $p = 5 \text{ kN/m}^2$ {0.05 kgf/cm²} の時、図-9は同じく $p = 10 \text{ kN/m}^2$ {0.10 kgf/cm²} の時、……図-15は同じく $p = 640 \text{ kN/m}^2$ {6.40 kgf/cm²} の時の空隙比 (e) を、それぞれ自然含水比 (w_n) で示したものである。

いずれの図でも、含水比が大きくなると、空隙比も大きくなり、相関性がみられる。この内、とくに $p = 80 \text{ kN/m}^2$ {0.80 kgf/cm²} までは非常に良い相関性を示している。また含水比150%で相関性勾配が変化しているようである。

各々の圧密応力時において、一次回帰により直線式を導くと下式が求められる。

表-1 自然含水比と間隙比との一次回帰式

	一 次 回 帰 式	
	$w_n < 150\%$	$w_n > 150\%$
初期間隙比 e_0	$0.145 + 0.024 w_n$	$1.345 + 0.016 w_n$
$p = 5 \text{ kN/m}^2$ ($p = 0.05 \text{ kgf/cm}^2$) の e	$0.140 + 0.024 w_n$	$1.490 + 0.015 w_n$
$p = 10 \text{ kN/m}^2$ ($p = 0.10 \text{ kgf/cm}^2$) の e	$0.135 + 0.024 w_n$	$1.635 + 0.014 w_n$
$p = 20 \text{ kN/m}^2$ ($p = 0.20 \text{ kgf/cm}^2$) の e	$0.169 + 0.023 w_n$	$1.669 + 0.013 w_n$
$p = 40 \text{ kN/m}^2$ ($p = 0.40 \text{ kgf/cm}^2$) の e	$0.202 + 0.022 w_n$	$1.852 + 0.011 w_n$
$p = 80 \text{ kN/m}^2$ ($p = 0.80 \text{ kgf/cm}^2$) の e	$0.302 + 0.019 w_n$	$1.952 + 0.008 w_n$
$p = 160 \text{ kN/m}^2$ ($p = 1.60 \text{ kgf/cm}^2$) の e	$0.443 + 0.015 w_n$	$1.943 + 0.005 w_n$
$p = 320 \text{ kN/m}^2$ ($p = 3.20 \text{ kgf/cm}^2$) の e	$0.543 + 0.011 w_n$	$1.743 + 0.003 w_n$
$p = 640 \text{ kN/m}^2$ ($p = 6.40 \text{ kgf/cm}^2$) の e	$0.594 + 0.008 w_n$	$1.494 + 0.002 w_n$

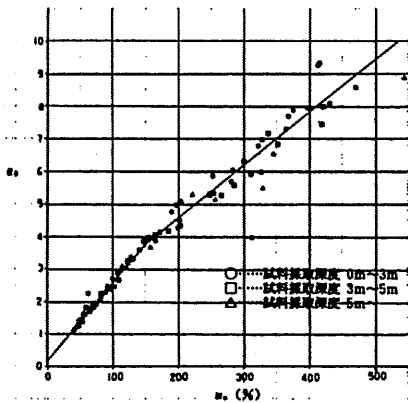


図-7 自然含水比 (w_n) と初期間隙比 (e_0)

$w_n < 150$ $e_0 = 0.145 + 0.024 w_n$
 $w_n > 150$ $e_0 = 1.345 + 0.016 w_n$

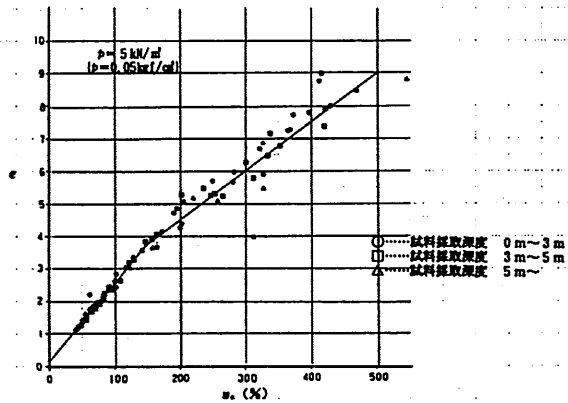


図-8 自然含水比 (w_n) と圧密圧力 $p = 5 \text{ kN/m}^2$ ($p = 0.05 \text{ kgf/cm}^2$) 時の間隙比 (e)

$w_n < 150$ $e_1 = 0.140 + 0.024 w_n$
 $w_n > 150$ $e_1 = 1.490 + 0.015 w_n$

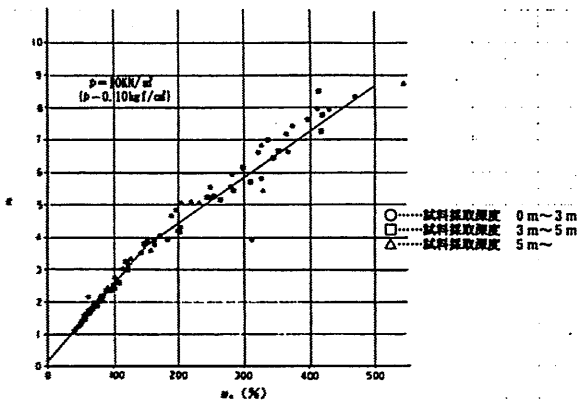


図-9 自然含水比 (w_n) と圧密圧力 $p = 10 \text{ kN/m}^2$ ($p = 0.10 \text{ kgf/cm}^2$) 時の間隙比 (e)

$w_n < 150$ $e_{1.1} = 0.135 + 0.024 w_n$
 $w_n > 150$ $e_{1.1} = 1.635 + 0.014 w_n$

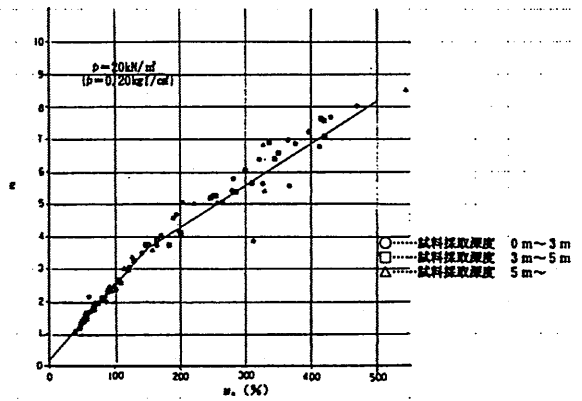


図-10 自然含水比 (w_n) と圧密圧力 $p = 20 \text{ kN/m}^2$ ($p = 0.20 \text{ kgf/cm}^2$) 時の間隙比 (e)

$w_n < 150$ $e_{2.1} = 0.169 + 0.023 w_n$
 $w_n > 150$ $e_{2.1} = 1.669 + 0.013 w_n$

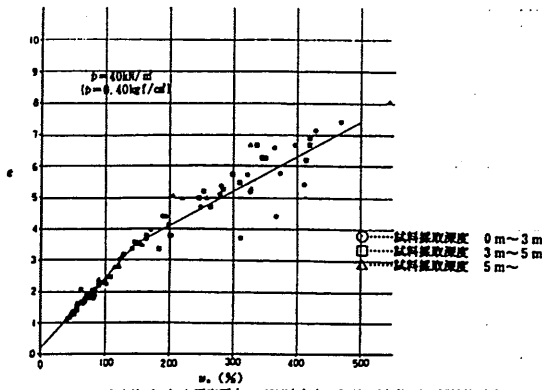


図-11 自然含水比 (w_n) と圧密圧力 $p=40\text{kN/m}^2$ ($p=0.40\text{kgf/cm}^2$) 時の間隙比 (e)
 $w_n < 150$ $e_{100} = 0.202 + 0.022 w_n$
 $w_n > 150$ $e_{100} = 1.852 + 0.011 w_n$

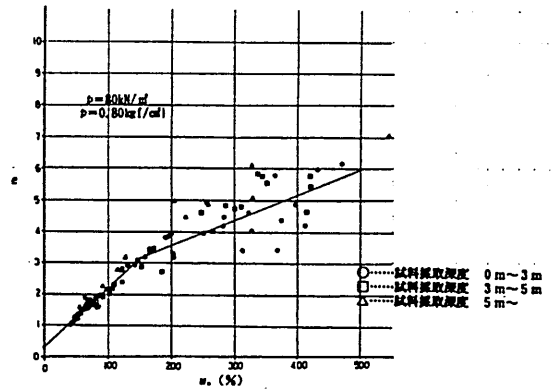


図-12 自然含水比 (w_n) と圧密圧力 $p=80\text{kN/m}^2$ ($p=0.80\text{kgf/cm}^2$) 時の間隙比 (e)
 $w_n < 150$ $e_{100} = 0.302 + 0.019 w_n$
 $w_n > 150$ $e_{100} = 1.952 + 0.008 w_n$

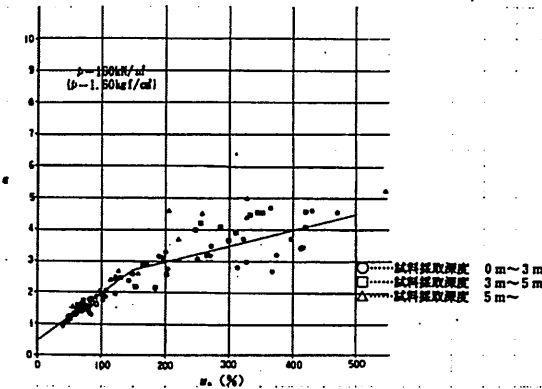


図-13 自然含水比 (w_n) と圧密圧力 $p=160\text{kN/m}^2$ ($p=1.60\text{kgf/cm}^2$) 時の間隙比 (e)
 $w_n < 150$ $e_{100} = 0.443 + 0.015 w_n$
 $w_n > 150$ $e_{100} = 1.843 + 0.005 w_n$

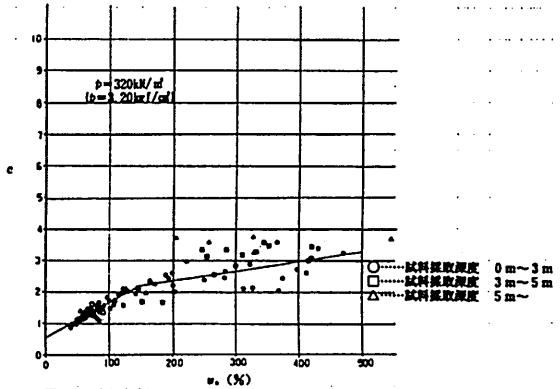


図-14 自然含水比 (w_n) と圧密圧力 $p=320\text{kN/m}^2$ ($p=3.20\text{kgf/cm}^2$) 時の間隙比 (e)
 $w_n < 150$ $e_{100} = 0.543 + 0.011 w_n$
 $w_n > 150$ $e_{100} = 1.743 + 0.003 w_n$

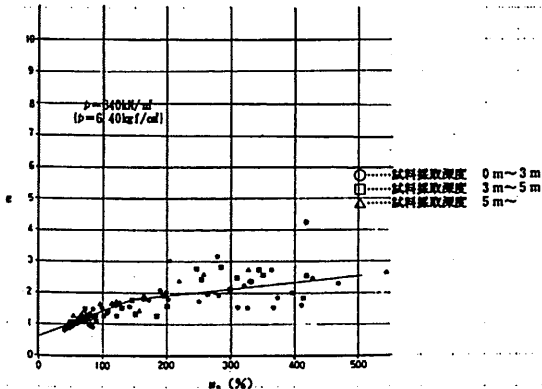


図-15 自然含水比 (w_n) と圧密圧力 $p=640\text{kN/m}^2$ ($p=6.40\text{kgf/cm}^2$) 時の間隙比 (e)
 $w_n < 150$ $e_{100} = 0.594 + 0.008 w_n$
 $w_n > 150$ $e_{100} = 1.494 + 0.002 w_n$

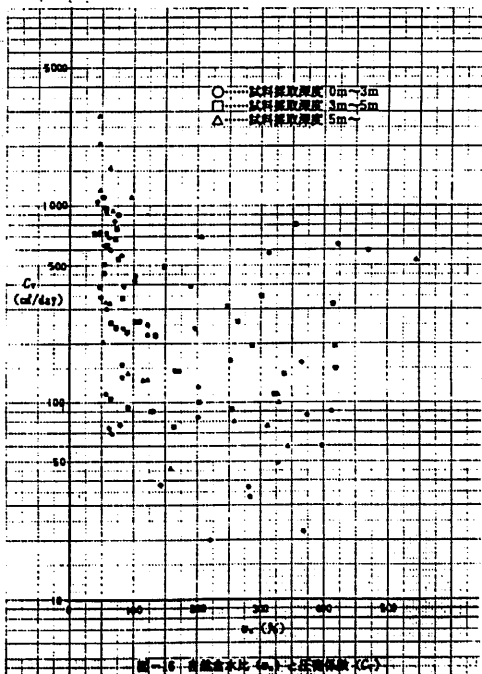


図-16 自然含水比 (w_n) と圧縮指数 (C_c)

図-16は自然含水比と圧密係数 (c_v) との関係を示したものである。概念的には、含水比が増大すると圧密係数が減少する傾向を示している。

しかしながら、たとえば自然含水比が50%の時、圧密係数の最大値は約3000 cm^2/d 、最小値は約70 cm^2/d 、200%の時で、最大値約700 cm^2/d 、最小値約20 cm^2/d と約40倍の差がある。

かりに圧密対象層厚が2 mで両面排水で圧密度90%に達する時間を計算すると

自然含水比 50%の場合 $t = 3\text{日} \sim 121\text{日}$

自然含水比200%の場合 $t = 12\text{日} \sim 424\text{日}$

また圧密対象層厚が4 mで両面排水で圧密度90%の時

自然含水比 50%の場合 $t = 11\text{日} \sim 485\text{日}$

自然含水比200%の場合 $t = 48\text{日} \sim 1696\text{日}$

になり、實際上許容できる範囲ではなくなる。

4. まとめ

自然含水比と各圧密圧力時の間隙比との関係は、明らかに相関性を示している。特に圧密応力 $p=80\text{kN}/\text{m}^2$ ($p=0.80\text{kgf}/\text{cm}^2$) までと自然含水比 150%までは非常に良い関係である。これより一次回帰式を求め、各自然含水比毎に間隙比を求めたのが表-2、表-3で、これより $e - \log P$ 曲線を作成したのが図-17、図-18である。

これらの関係を用いることにより、数点しかできない圧密試験を補うため、また概略の圧密沈下量を推定するために有意義なものになると考えられる。

しかしながら、自然含水比と圧密係数の関係は、自然含水比が増大すると圧密係数は減少する傾向が見出されるが、實際上許容できる範囲ではなくなる。

本報告では、全て自然含水比との関係で表したものであり、今後は特に圧密係数との関係を他の土質物性値等から相関性を求めていきたい。

参考・引用文献

- ・土質基礎工学ライブラリー4、土質調査試験結果の解釈と適用例（昭和54年8月）；社団法人土質工学会
- （。渡辺崇博：圧密沈下量の計算（昭和54年度）；日本道路公団試験所報告）
- ・道路土工、軟弱地盤対策工指針（昭和61年11月）；社団法人日本道路協会
- ・入門シリーズ18、土の圧密入門（平成5年11月）；社団法人土質工学会
- ・土質試験の方法と解説（平成12年3月）；社団法人地盤工学会

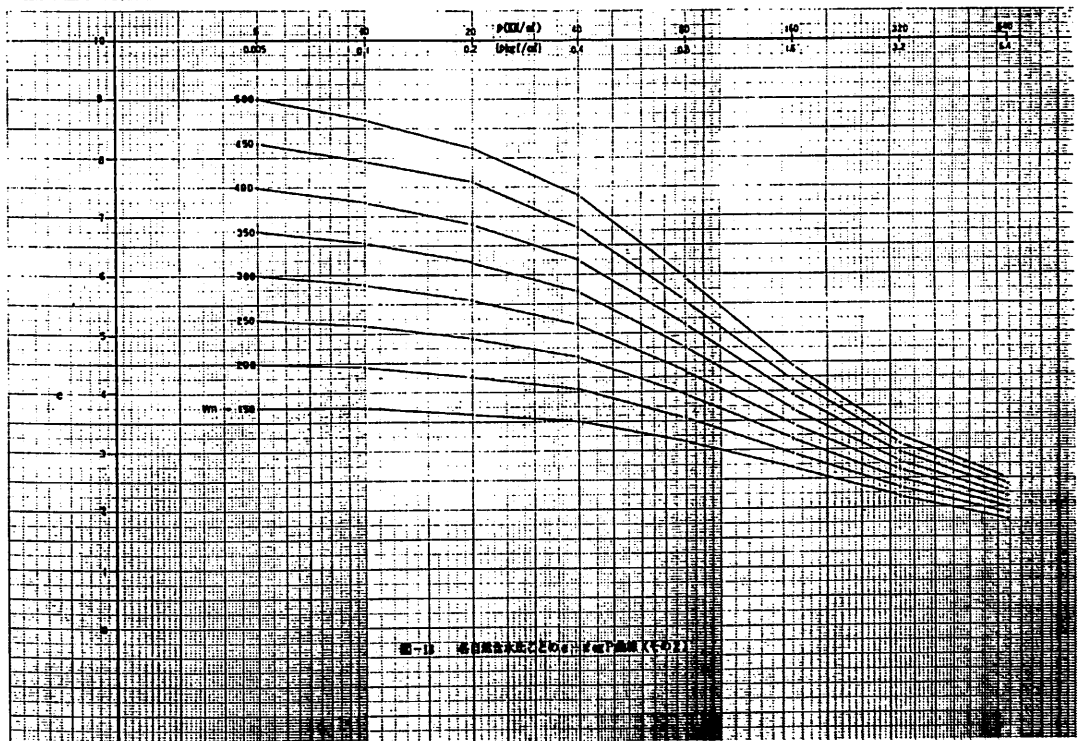
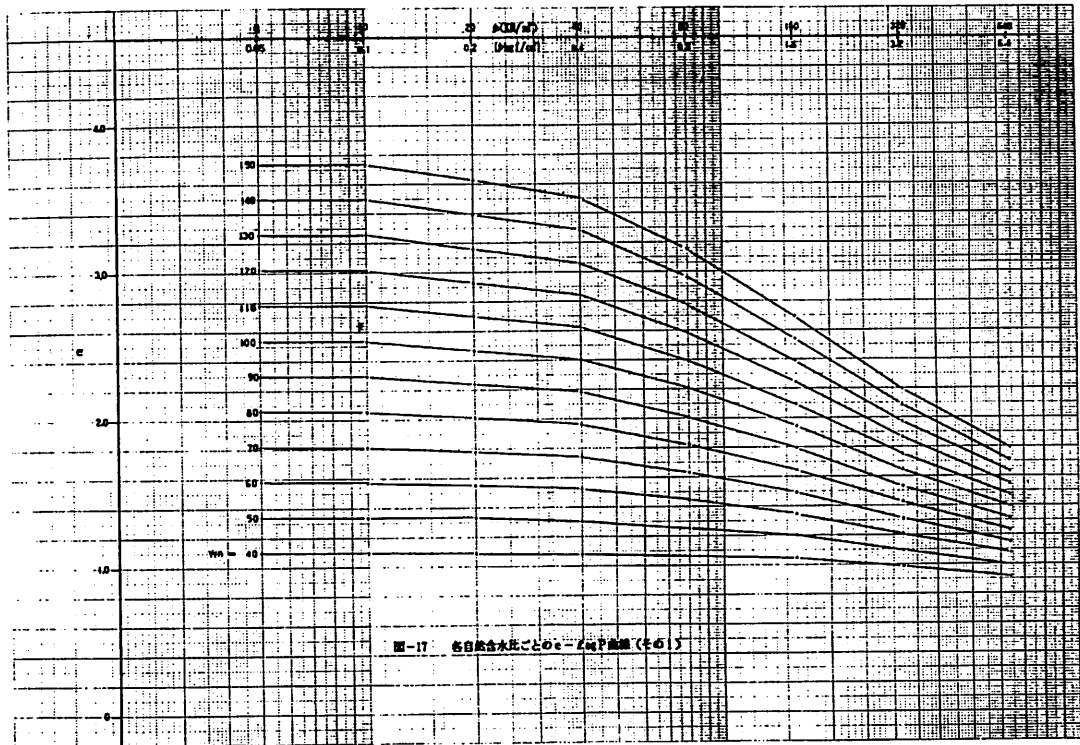


表-2 各圧密圧力 (p) 時における自然含水比 (w_n) と間隙比 (e) (その1)

p \ w _n	w _n												一次回帰式
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	
e _s	1.105	1.345	1.585	1.825	2.065	2.305	2.545	2.785	3.025	3.265	3.505	3.745	0.145+0.024w _n
p=5 kN/m ² (b=0.05kg f/cm ²)	1.100	1.340	1.580	1.820	2.060	2.300	2.540	2.780	3.020	3.260	3.500	3.740	0.140+0.024w _n
p=10kN/m ² (b=0.10kg f/cm ²)	1.095	1.335	1.575	1.815	2.055	2.295	2.535	2.775	3.015	3.255	3.495	3.735	0.135+0.024w _n
p=20kN/m ² (b=0.20kg f/cm ²)	1.089	1.319	1.549	1.779	2.009	2.239	2.469	2.699	2.929	3.159	3.389	3.619	0.169+0.023w _n
p=40kN/m ² (b=0.40kg f/cm ²)	1.082	1.302	1.522	1.742	1.962	2.182	2.402	2.622	2.842	3.062	3.282	3.502	0.202+0.022w _n
p=80kN/m ² (b=0.80kg f/cm ²)	1.062	1.252	1.442	1.632	1.822	2.012	2.202	2.392	2.582	2.772	2.962	3.152	0.302+0.019w _n
p=160kN/m ² (b=1.60kg f/cm ²)	1.043	1.193	1.343	1.493	1.643	1.793	1.943	2.093	2.243	2.393	2.543	2.693	0.443+0.015w _n
p=320kN/m ² (b=3.20kg f/cm ²)	0.983	1.093	1.202	1.313	1.423	1.533	1.643	1.753	1.863	1.973	2.083	2.193	0.543+0.011w _n
p=640kN/m ² (b=6.40kg f/cm ²)	0.914	0.994	1.074	1.154	1.234	1.314	1.394	1.474	1.554	1.634	1.714	1.794	0.594+0.008w _n

表-3 各圧密圧力 (p) 時における自然含水比 (w_n) と間隙比 (e) (その2)

p \ w _n	w _n																		
	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330
e _s	3.745	3.987	4.147	4.307	4.467	4.627	4.787	4.947	5.107	5.267	5.427	5.587	5.747	5.907	6.067	6.227	6.387	6.547	6.707
p=5 kN/m ² (b=0.05kg f/cm ²)	3.740	3.990	4.040	4.190	4.340	4.490	4.640	4.790	4.940	5.090	5.240	5.390	5.540	5.690	5.840	5.990	6.140	6.290	6.440
p=10kN/m ² (b=0.10kg f/cm ²)	3.735	3.875	4.015	4.155	4.295	4.435	4.575	4.715	4.855	4.995	5.135	5.275	5.415	5.555	5.695	5.835	5.975	6.115	6.255
p=20kN/m ² (b=0.20kg f/cm ²)	3.619	3.749	3.879	4.009	4.139	4.269	4.399	4.529	4.659	4.789	4.919	5.049	5.179	5.309	5.439	5.569	5.699	5.829	5.959
p=40kN/m ² (b=0.40kg f/cm ²)	3.502	3.612	3.722	3.832	3.942	4.052	4.162	4.272	4.382	4.492	4.602	4.712	4.822	4.932	5.042	5.152	5.262	5.372	5.482
p=80kN/m ² (b=0.80kg f/cm ²)	3.152	3.232	3.312	3.392	3.472	3.552	3.632	3.712	3.792	3.872	3.952	4.032	4.112	4.192	4.272	4.352	4.432	4.512	4.592
p=160kN/m ² (b=1.60kg f/cm ²)	2.693	2.743	2.793	2.843	2.893	2.943	2.993	3.043	3.093	3.143	3.193	3.243	3.293	3.343	3.393	3.443	3.493	3.543	3.593
p=320kN/m ² (b=3.20kg f/cm ²)	2.193	2.223	2.253	2.283	2.313	2.343	2.373	2.403	2.433	2.463	2.493	2.523	2.553	2.583	2.613	2.643	2.673	2.703	2.733
p=640kN/m ² (b=6.40kg f/cm ²)	1.794	1.814	1.834	1.854	1.874	1.894	1.914	1.934	1.954	1.974	1.994	2.014	2.034	2.054	2.074	2.094	2.114	2.134	2.154

p \ w _n	w _n																一次回帰式	
	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490		500
e _s	6.867	7.027	7.187	7.347	7.507	7.667	7.827	7.987	8.147	8.307	8.467	8.627	8.787	8.947	9.107	9.267	9.427	1.427+0.016w _n
p=5 kN/m ² (b=0.05kg f/cm ²)	6.590	6.740	6.890	7.040	7.190	7.340	7.490	7.640	7.790	7.940	8.090	8.240	8.390	8.540	8.690	8.840	8.990	1.490+0.015w _n
p=10kN/m ² (b=0.10kg f/cm ²)	6.395	6.535	6.675	6.815	6.955	7.095	7.235	7.375	7.515	7.655	7.795	7.935	8.075	8.215	8.355	8.495	8.635	1.635+0.014w _n
p=20kN/m ² (b=0.20kg f/cm ²)	6.089	6.219	6.349	6.479	6.609	6.739	6.869	6.999	7.129	7.259	7.389	7.519	7.649	7.779	7.909	8.039	8.169	1.669+0.013w _n
p=40kN/m ² (b=0.40kg f/cm ²)	5.592	5.702	5.812	5.922	6.032	6.142	6.252	6.362	6.472	6.582	6.692	6.802	6.912	7.022	7.132	7.242	7.352	1.852+0.011w _n
p=80kN/m ² (b=0.80kg f/cm ²)	4.672	4.752	4.832	4.912	4.992	5.072	5.152	5.232	5.312	5.392	5.472	5.552	5.632	5.712	5.792	5.872	5.952	1.952+0.008w _n
p=160kN/m ² (b=1.60kg f/cm ²)	3.643	3.693	3.743	3.793	3.843	3.893	3.943	3.993	4.043	4.093	4.143	4.193	4.243	4.293	4.343	4.393	4.443	1.943+0.005w _n
p=320kN/m ² (b=3.20kg f/cm ²)	2.763	2.793	2.823	2.853	2.883	2.913	2.943	2.973	3.003	3.033	3.063	3.093	3.123	3.153	3.183	3.213	3.243	1.743+0.003w _n
p=640kN/m ² (b=6.40kg f/cm ²)	2.174	2.194	2.214	2.234	2.254	2.274	2.294	2.314	2.334	2.354	2.374	2.394	2.414	2.434	2.454	2.474	2.494	1.494+0.002w _n