

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

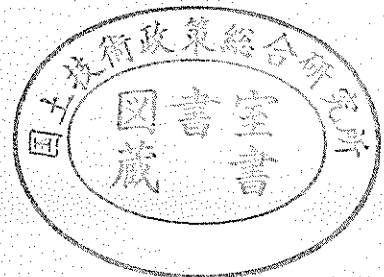
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 8

NO. 2

JUNE 1969

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告は第7巻第1号より年4回定期的に刊行する。ただし第1巻から第6巻および欧文編第1号から第15号までは下記のとおり不定期に刊行された。
報告の入手を希望する方は論文番号を明記して港湾技術研究所長に申し込んで下さい。

和文篇 (Japanese Edition)

- Vol. 1. No. 1 (1963)
- Vol. 2. Nos. 1~3 (1963~1964)
- Vol. 3. Nos. 1~7 (1964)
- Vol. 4. Nos. 1~11 (1965)
- Vol. 5. Nos. 1~15 (1966)
- Vol. 6. Nos. 1~8 (1967)

欧文篇 (English Edition)

- Report Nos. 1~15 (1963~1967)

The Report of the Port and Harbour Research Institute is published quarterly, either in Japanese or in occidental languages. The title and synopsis are given both in Japanese and in occidental languages.

The report prior to the seventh volume were published in two series in Japanese and English as listed above.

The copies of the Report are distributed to the agencies interested on the basis of mutual exchange of technical publication.

Inquiries relating to the Report should be addressed to the director of the Institute specifying the numbers of papers in concern.

港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第8巻 第2号 (Vol. 8, No. 2), 1969年6月 (June 1969)

目 次 (CONTENTS)

1. 沖積粘土のボーリングおよびサンプリングに関する研究 (第4報)
..... 松本一明・堀江宏保・奥村樹郎..... 3
(Studies on Boring and Sampling of Saturated Alluvial Clays (4th Report)
.....Kazuaki MATSUMOTO, Hiroyasu HORIE and Tatsuro OKUMURA)
2. 載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について..... 小川富美子..... 21
(Effect of Loading Duration on the Consolidation Indices..... Fumiko OGAWA)
3. スパッドを有する作業船の船体に作用する波力について (第1報)
..... 小岩 啓生・大平 勝・平山 勇・白鳥保夫..... 51
(Wave Force on a Hull of a Working Craft with Spuds (1st Report)
.....Taisei KOIWA, Katsu OHIRA, Isamu HIRAYAMA and Yasuo SHIRATORI)
4. 水噴流による水中の岩盤の理論的破碎過程について
..... 藤井喜一郎・守口照明..... 71
(On the Theoretical Analysis of the Destruction of Rocks in Water by Water Jet
.....Kiichirou FUJII and Teruaki MORIGUCHI)

2. 載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について

小川 富美子*

要 旨

最近ますます高まって来た圧密試験の需要の増大に応えるため5種類の急速載荷試験法について標準の24時間載荷試験法との比較を行なった。その結果2次圧密に由来すると思われるわずかな差異が観察され、体積圧縮係数 (m_v)、圧縮係数 (a_v)、圧縮指数 (c_c) および圧密降伏応力 (p_0) はそれぞれ急速試験法による値が大きくなった。しかしながらこれらの差は極くわずかであり、原地盤の土の不均一性を考慮すれば、現場の設計のために用いる圧密諸係数は急速試験方法で十分正確な結果が得られるといえる。

* 港湾技術研究所・土質部・土質試験課

2. Effect of Loading Duration on the Consolidation Indices

Fumiko OGAWA*

Synopsis

Five kinds of rapid consolidation tests were compared experimentally with the standard 24-hr test, in connection with an increasing demand of consolidation tests of soft clays. A little difference in between the tests due to the secondary compression was observed, in which such indices as the modulus of volume compressibility, the coefficient of compressibility, the compressibility index, and the preconsolidation pressure were greater in an average for the rapid consolidation tests. In practice, however, the differences are so little in comparison with those due to non-uniformity of actual soils, that the rapid consolidation tests may well be used with enough accuracy.

* Member of Soil Test and Investigation Section

目 次

要 旨	21
1. ま え が き	25
2. 使用した試験機および試料	25
2-1 試 験 機	25
2-2 試 料	26
3. 試 験 方 法	27
3-1 試 験 条 件	27
3-2 試 験 方 法	27
3-3 試験データの整理	31
4. 試験結果と考察	31
4-1 試 験 結 果	31
4-2 考 察	35
4-3 実用の急速試験方法	48
5. む す び	48
6. あ と が き	49
参考文献	49

1. まえがき

構造物の設計や地盤改良などを行なう場合、圧密試験は土の調査に欠くことのできない重要な役割を果している。

通常、計画的に行なわれる標準的圧密試験は日本工業規格 JIS A 1217 に定められた方法によるもので、その試験には、約 15 日の日数を要する。しかし概略の設計を急ぐ場合、または現場で緊急に圧密諸係数の確認が必要となった場合などに、標準試験方法では時間的にその需要に応えることができない。

そこで、圧密の載荷時間を短縮し、短期間に実験を終了する急速圧密試験方法が確立されれば、実用上非常に便利である。急速試験方法の研究は R.D. Northey¹⁾、Hsvan-Lohsu²⁾、野田³⁾により行なわれ、いずれも標準試験とは変らないという結論を得ているが、試験データ数の少ないうらみがあり、実際的な試験方法の確立には至っていない。そこで今回は、5 種類の急速試験と標準試験を行ない、その試験結果の比較から、急速試験方法による圧密試験が実用に供し得るか否かを検討した。

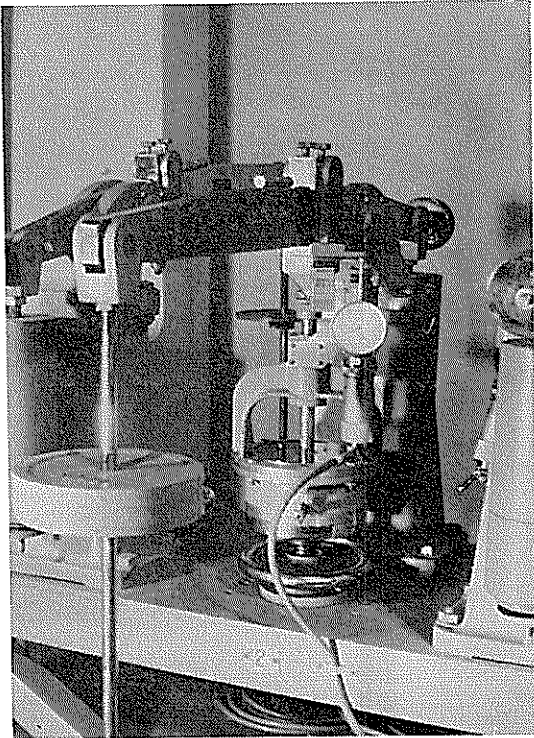


写真-1 圧密試験機

2. 使用した試験機および試料

2.1 試験機

今回の試験に使用した圧密試験機は次の3部から成る。(写真-1)

1. 載荷装置
2. 圧密函
3. 沈下量測定装置

載荷装置は定応力型と称し、重錘を載せて一定の荷重を圧密函のピストンを通して供試体に垂直にかける。

載荷装置のレバー比は $1:5.654\dots$ であり、供試体に加わる応力と重錘重量の絶対値の比が 0.2 になるよう調整が行なわれている。圧密函自体は、写真-1 に示すように上部がピストンガイドとなっており、土の不均等性による加圧板の傾きのために偏心荷重がかかるのを防止している。圧密リングの直径は、6.0 cm、高さは 2.0 cm であった。

今回の試験はすべて浮動型リングを用いた。沈下量の測定は圧密函に取付けた、測定長 1.0 cm、精度 1/100 mm のダイヤルゲージおよび写真-1, 2 に示す測定長 0.3 cm、精度 1/100 mm の日記記録装置によって行なった。

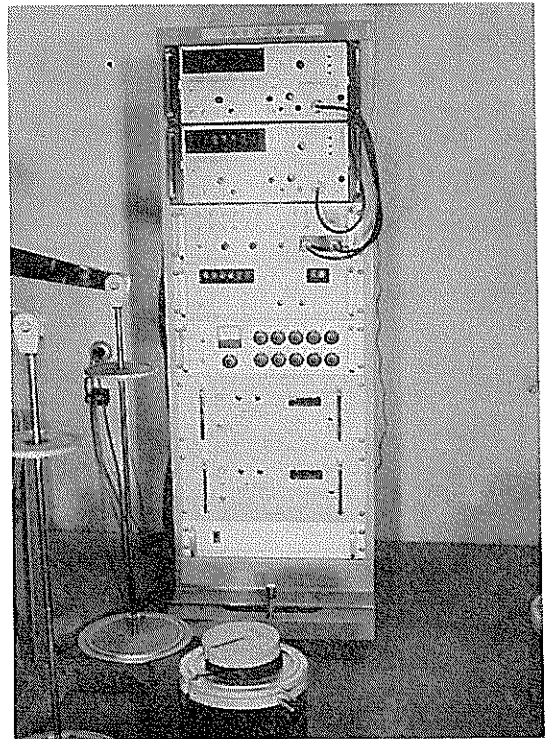


写真-2 圧密日記記録装置

前者はおもに急速試験，後者は標準試験の沈下量測定に使用した。供試体に加わる圧密圧力とその増加比を，表-1 に示す。

表-1 圧密圧力と荷重増加比

p (kg/cm ²)	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.0	6.0	9.0
荷重増加比		1	1	1	1	0.9	1	0.5

2.2 試料

今回の試験に使用した試料の物理試験結果一覧表を表-2 に，塑性図を図-1 に，ミシシッピー河管理委員会法

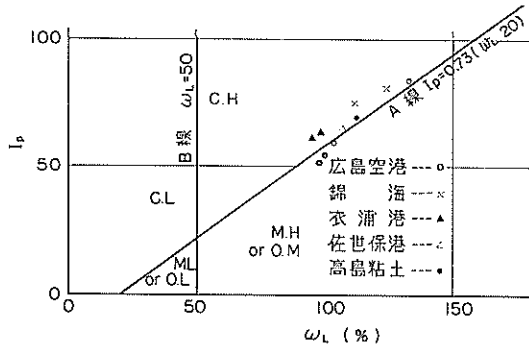
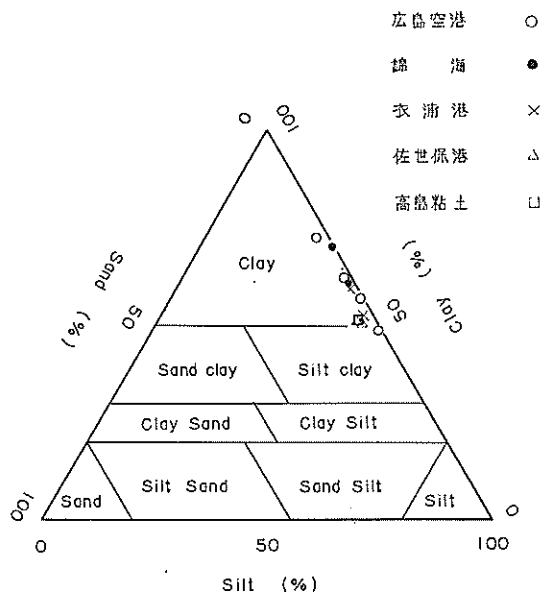


図-1 使用した試料の塑性図



ミシシッピー河管理委員会法による

図-2 使用した試料の三角座標分類

表-2 使用した試料の物理試験結果一覧表

試料番号		Sample No.	広島空港 No. 1 -6125	広島空港 No. 2 -3127	広島空港 No. 2 -8199	広島空港 No. 2 -10229	錦海 B40 -4078	錦海 B40 -10168	衣浦港 No. 2 -9107	衣浦港 No. 2 -12137	佐世保港 No. 6 -5088	高島粘土 (R)
単位体積重量		γ_c (t/m ³)	1.48	1.45	1.43	1.42	1.41	1.33	1.46	1.50	1.46	1.48
含水比		ω (%)	88.0	106.8	119.2	120.2	116.9	130.7	97.0	87.2	103.5	98.7
間ゲキ比		e	2.38	2.78	3.06	3.16	3.12	3.68	2.49	2.28	2.61	2.64
飽和度		S_r (%)	98.3	101.8	103.3	101.9	100.3	95.9	100.9	99.6	101.4	101.2
土粒子の比重		G_s	2.66	2.65	2.65	2.68	2.68	2.70	2.59	2.63	2.68	2.71
コンシステン	液性限界	ω_L (%)	98.0	103.2	132.7	99.6	111.3	124.1	98.5	95.1	107.2	112.3
	塑性限界	ω_p (%)	46.2	43.6	48.6	44.9	36.0	43.0	35.4	33.6	42.5	43.0
	塑性指数	I_p	51.8	59.6	84.1	54.7	75.3	81.1	63.1	61.5	64.7	69.3
	液性指数	I_L	0.81	1.06	0.84	1.38	1.07	1.08	0.98	0.87	0.94	0.80
粒度組成	礫	Gravel (%)	0	0	0.1	0.1	0	0	0.3	0.2	0	0
	砂	Sand (%)	1.1	0.6	1.9	3.3	1.8	0.3	1.9	3.3	5.2	4.2
	シルト	Silt (%)	49.9	42.0	36.7	24.7	37.9	29.4	38.5	45.7	43.3	44.2
	粘土	Clay (%)	49.0	57.4	61.3	72.0	60.3	70.3	59.3	50.8	51.5	51.6
	分類	三角座標	Silt-Clay	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay

載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について

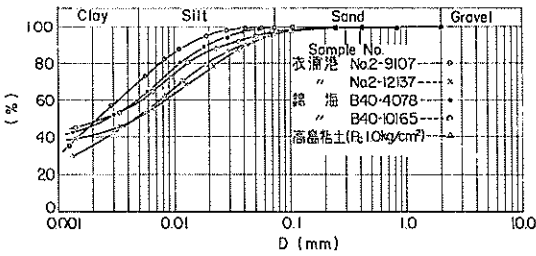


図-3 (1) 使用した試料の粒径加積曲線

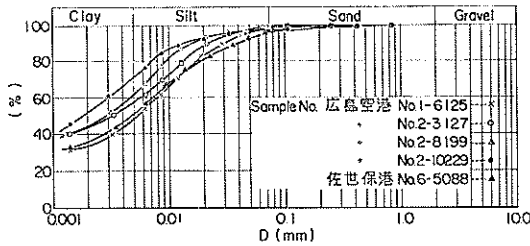


図-3 (2) 使用した試料の粒径加積曲線

による三角座標分類を 図-2 に、また、粒径加積曲線を 図-3 (1)(2) に示す。10 試料中、高島粘土は人工的にねり返した後、1.0 kg/cm² の等方圧力で圧密を終了させたものであり、他の 9 試料は自然試料である。

3. 試験方法

3.1 試験条件

試験結果を比較、検討するため、標準試験および急速試験におおの 2 個ないし 3 個の供試体を作製し試験を行なった。また試験条件をできるだけ等しくするため、おおのの試験の供試体の作製、圧密荷重の載荷は同時に行なうことを原則としたが、急速試験方法によっては前もって標準試験を行ない概略の圧密所要時間を知る必要があったため、あるいは試験機の都合上、多少の日差を生じたものもある。その間、試料はサンプリングチューブ中にパラフィンで密閉して保存し、含水比等の変化を防いだ。

各試験方法のおもな試験条件を次に示す。

(1) 標準試験

(a) 圧密荷重段階

0.1 0.2 0.4 0.8 1.6 3.0 6.0 9.0(kg/cm²) の 8 段階、または 0.2~9.0(kg/cm²) の 7 段階

(b) 圧密時間

各圧密圧力について 24 時間とする。

(2) 急速試験

今回は圧密圧力、圧密時間を変えた 5 種の急速試験を

行なったので、次に試験方法ごとにその試験条件を示す。

急速試験 (1)

(a) 圧密荷重段階

標準試験に同じ

(b) 圧密時間

各圧密圧力における圧密度 (U) を 100% とする。

急速試験 (2)

(a) 圧密荷重段階

標準試験に同じ

(b) 圧密時間

各圧密圧力における圧密度 (U) を 120% とする。

急速試験 (3)

(a) 圧密荷重段階

標準試験に同じ

(b) 圧密時間

各圧密圧力について 30 分とする。

急速試験 (4)

(a) 圧密荷重段階

標準試験の荷重段階中、圧密降伏応力より大きい圧密圧力の範囲内のみの載荷を行なう。

(b) 圧密時間

標準試験に同じ

急速試験 (5)

(a) 圧密荷重段階

標準試験に同じ

(b) 圧密時間

圧密降伏応力より小さい圧密圧力の段階では圧密度を 130% とし、圧密降伏応力より大きい圧密圧力の段階では圧密時間を 24 時間とする。

今回の各急速試験方法は、次の記号によって表示した。

急速試験 (1) $R 100$

" (2) $R 120$

" (3) $R 30 \text{ m}$

" (4) $p_1 0.8$

" (5) $130 p_0 24 \text{ h}$

3.2 試験方法

(1) 標準試験

標準試験方法は日本工業規格 JIS A 1217 に規定された方式に従った。

(2) 急速試験

5 種類の急速試験方法は、圧密荷重段階の一部、各圧密圧力における圧密時間の相異を除いては、標準試験方法と全く同じである。

各急速試験方法について次に述べる。

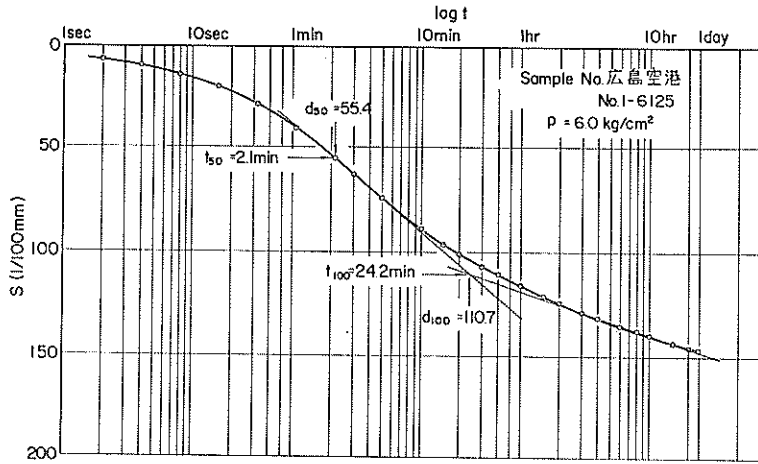


図-4 log t 法による沈下曲線

(a) 急速試験 (1)……R 100

所定の圧密荷重を載荷した後、測定した沈下量 (S) と時間 (\sqrt{t}) 曲線から一次圧密量 (d_{100}) を計算し、圧密度 (U) 100% に相当する沈下量に達したと同時に次段階の載荷を行なう。

(b) 急速試験 (2)……R 120

急速試験(1)と同様にして、圧密度 (U) 120% すなわち、一次圧密量の 1.2 倍の沈下量に達した時、次段階の載荷を行なう。

(c) 急速試験 (3)……R 30 m

所定の圧密荷重を載荷し、30分経過後次段階の載荷を行なう。

(d) 急速試験 (4)…… p_1 0.8

試験に使用した供試体の深さ (h) および平均単位体積重量 ($\bar{\gamma}_t$) から圧密降伏応力を $\bar{\gamma}_t \cdot h$ によって求めその領域内の最小荷重段階から圧密を開始し、標準試験と同様に試験を行なう。

(e) 急速試験 (5)……130 p_0 24 h

急速試験(4)と同様に、供試体の圧密降伏応力を計算し、それより小さい領域を急速試験 (2) の方法で圧密度 (U) 130% に相当する沈下量までの圧密を終了させる。また圧密降伏応力より大きい領域内の圧密圧力については標準試験と同様に行なう。

(3) 一次圧密量 (d_{100})、および圧密度 (U) の求め方
一次圧密量を求める方法には Casagrande の log t 法と、Taylor の \sqrt{t} 法の二つがある。図-4 は log t 法を示したもので、沈下量 S と時間 log t の曲線における直線部分を求めおのの延長線の交点の縦座標を一次

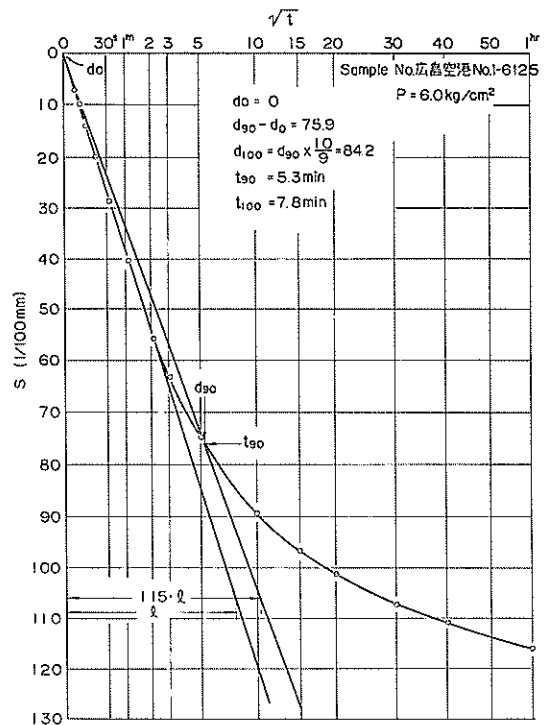


図-5 \sqrt{t} 法による沈下曲線

圧密量 (d_{100})、横座標を一次圧密終了時間 (t_{100}) として求める。図-5 は \sqrt{t} 法を示したものである。沈下の初期に現われる直線部分を見出し、その直線の 1.15 倍の傾度の直線と沈下曲線との交点の縦座標を 90% 圧密量 (d_{90})、横座標を 90% 圧密時間とし、 d_{90} を 9 分の 10 倍

載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について

して一次圧密量 (d_{100}) を求める。

今回の試験はすべて \sqrt{t} 法によって計算を行なった。試験中に沈下量 (S) ~ 時間 (\sqrt{t}) のプロットを行ない、初期補正值 (d_0) を補正し、所定の一次圧密量、または所定の圧密度に相当する沈下量を算出して、その沈下量に達すると同時に、次段階の載荷に移った。しかし試験料によっては圧密降伏応力より小さい圧密圧力内で、100% の圧密終了時間がきわめて短かいため、載荷中に前記の計算が不可能な場合があることが前もって行なった標準試験結果からわかった。そこで急速試験と標準試験の供試体の t_{100} が等しいと仮定し、標準試験の t_{100} によって載荷を行なった。載荷後、計算によって求めた圧密度の誤差は第 1 段階、第 2 段階において約 3% ~ 8% であった。

今回の試験に \sqrt{t} 法を用いた理由は、 \sqrt{t} 法は初期の直線部分を慎重に決めれば、ただちに d_{100} を算出することができるのに比べ、 $\log t$ 法では d_{100} を過ぎてなお測定を行なわなければ求めることができないため、圧密度 100% による試験に $\log t$ 法を用いることは不可能である。また、 $\log t$ 法は d_{100} を過ぎてからの測定の量によっても、後半の直線が異なってくるからである。

(4) 圧密試験における \sqrt{t} 法と $\log t$ 法の問題点

通常圧密試験結果の整理においては \sqrt{t} 法と $\log t$ 法のいずれかが用いられているが、これらの方法には、実用上の観点から検討されなければならない問題点があると思われる。

図-4、5 は 1 個の供試体についての沈下量測定結果から、両者の方法によって求めた一次圧密量 (d_{100}) とその時間 (t_{100}) であり、また、図-6、表-3 は d_{100} 、 t_{100} 、 r (一次圧密比) の相対的關係を各圧密圧力に対して示したものの 1 例である。 \sqrt{t} 法によって求めた d_{100} は $\log t$

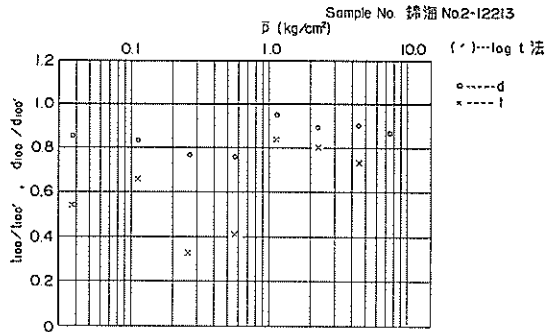


図-6 $\log t$ 法と \sqrt{t} 法によって求めた d_{100} 、 t_{100} の比較

法によって求めた d_{100} に対して、約 75% ~ 95% と小さく、 t_{100} では約 33% ~ 84% に相当する。すなわち、 \sqrt{t} 法では一次圧密が完了していても $\log t$ 法ではまだ一次圧密途中ということになる。

これは、一般にいわれる一次圧密としている部分にも二次圧密が含まれ、その値は 100% 圧密に近づくほど大きくなる。 \sqrt{t} 法では二次圧密の影響の少ない初期圧密部が基となっているのに対し、 $\log t$ 法では一次圧密の後期を基としているので、この中には二次圧密がかなり含まれている。このことから、 $\log t$ 法による見掛けの一次圧密の大きいことがうなずける。したがって、図-7 表-3 に示すように \sqrt{t} 法から求めた一次圧密比 (r) は $\log t$ 法で求めた一次圧密比より、この図の試料では、約 4% ~ 20% 小さい値となった。また、一次圧密終了点を求めるための直線から得たそれぞれの圧密時間は、同時に圧密係数 (c_v) の計算に用いられ、直接その係数を大きく左右し、重要であり、かつもっとも誤差の生じやすいところでもある。 \sqrt{t} 法における t_{90} は初期の短時間内であるための測定誤差や直線の結び方の精度によって値

表-3 整理方法による一次圧密量の相異

\bar{p} (kg/cm ²)	log t 法			\sqrt{t} 法			その比		
	d_{100}' (1/100mm)	t_{100}' (min)	r' (%)	d_{100} (1/100mm)	t_{100} (min)	r (%)	d_{100}/d_{100}'	t_{100}/t_{100}'	r/r'
0.04	7.4	7.8	65.5	6.3	4.2	55.8	0.85	0.54	0.85
0.11	7.2	7.6	52.2	6.0	5.0	43.5	0.83	0.66	0.83
0.26	25.7	18.9	66.9	19.7	6.3	51.3	0.77	0.33	0.77
0.57	50.2	33.8	67.8	38.0	13.9	51.4	0.76	0.41	0.76
1.13	94.5	36.0	68.7	89.8	30.2	65.3	0.95	0.84	0.95
2.26	123.0	30.0	74.8	110.0	24.0	66.9	0.89	0.80	0.89
4.52	111.7	26.0	74.3	100.0	18.9	66.5	0.90	0.73	0.90
7.53	—	—	—	43.1	18.0	47.1			

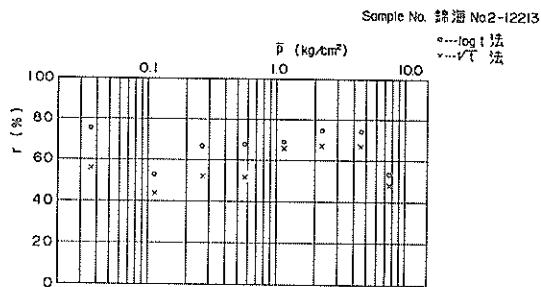


図-7 log t 法と \sqrt{t} 法による一次圧密比

が変りやすく、そのまま c_v の値に影響する。初期の沈下量測定は、とくに一次圧密終了時間の短い砂質土では可能な範囲で測定点を多くし、作図はできるだけ大きなスケールで慎重に求め誤差を少なくすることに心掛けるべきである。また、 t_{90} を得た後の沈下量の測定値は 24 時間の最終値以外は直接計算に用いないため、簡単であるという利点もあるが、この曲線からは沈下全体の状態をつかむことができないため、沈下途上のショックや最終値の読み違いを見逃すこともあり注意が必要である。

log t 法の直線の求め方も場合によってはかなりの個人誤差が入ることがある。平坦な沈下曲線では、前期、後期の直線が明確に求められなかったり、また圧密荷重が増して一次圧密比が大きくなると 24 時間の測定時間内では、 c_v が小さい場合 \sqrt{t} 法では求められても (図-8) log t 法では後期の直線が求められない場合も生じてくる。(図-9) また log t 法では、圧密開始時間によっては、実働時間の都合上、後半の沈下量が十分に測定でき

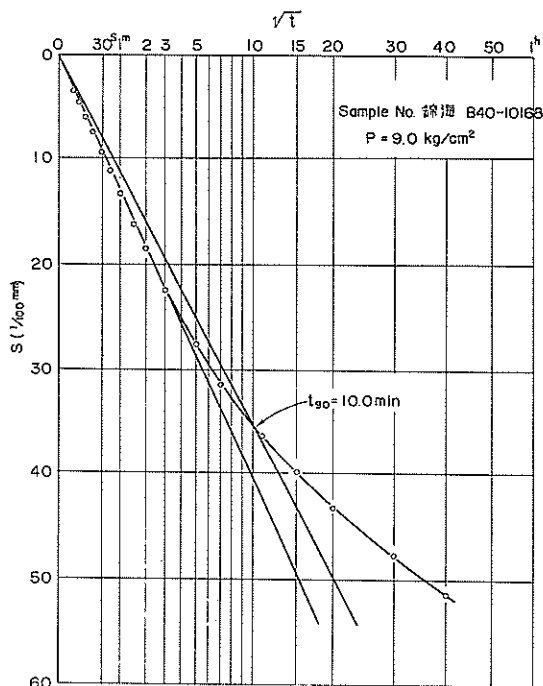


図-8 同一沈下量の \sqrt{t} 曲線法の沈下曲線

ないため、とくに上記の c_v が小さい場合、後半の直線が求めにくく精度が低くなる。このことから圧密試験に自記装置を用いると 24 時間連続的に沈下量の測定が可能のため、試験の精度を上げて効果的である。

図-10 は 1 個の供試体から \sqrt{t} 法と log t 法によって求めた c_v を示したものである。これは、整理方法で圧

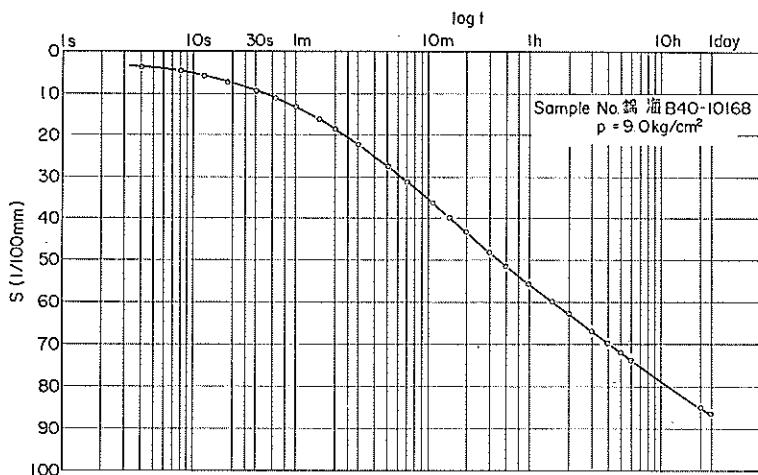


図-9 同一沈下量の log t 法の沈下曲線

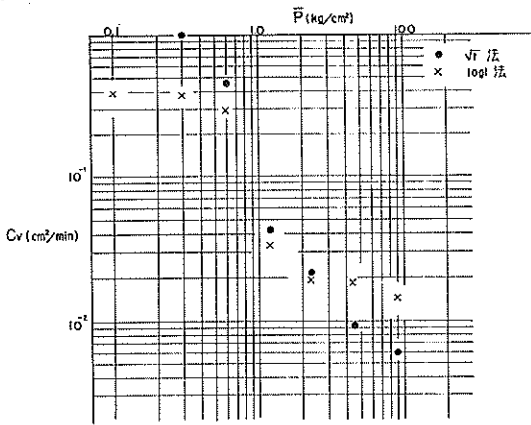


図-10 log t 法と \sqrt{t} 法による圧密係数

密係数がやや異なってくることの1例である。しかし試験料によってはほとんど同じ値も得ており、これらのことから、圧密試験の整理を行なう場合、両者の方法の長短所に留意し、適宜誤差の少ない方法を選ぶべきであろう。

3.3 試験データの整理

(1) 供試体高さの計算 (h)

おのおのの圧密圧力における最終沈下量から変形量を使って、供試体の高さを計算した。

a. n 番目の荷重による圧密終了時の供試体高さ h_n は

$$h_n = h_0 - \sum_{i=1}^n \Delta S_i \text{ (cm)} \dots\dots\dots(1)$$

ここに h_0 : 圧密前の供試体高さ (cm)

ΔS_i : n 番目の荷重による変形量 (cm)

b. n 番目の荷重による圧密中の供試体の平均高さ \bar{h}_n は

$$\bar{h}_n = \frac{1}{2}(h_{n-1} + h_n) \text{ (cm)} \dots\dots\dots(2)$$

c. 圧密試験終了時の供試体高さ h_f は

$$h_f = h_0 - S_f \text{ (cm)} \dots\dots\dots(3)$$

ここに S_f : 圧密試験終了時に残留した変形量

(2) 間ゲキ比 (e)

a. 圧密前の間ゲキ比 e_0 は

$$e_0 = \frac{\gamma_w \cdot G_s \cdot A \cdot h_0}{W_s} - 1 \dots\dots\dots(4)$$

ここに G_s : 土粒子の比重

A : 供試体の断面積 = $\frac{\pi D^2}{4}$ (cm²)

γ_w : 水の単位体積重量 (g/cm³)

W_s : 土粒子の重量 (g)

b. n 番目の荷重による圧密終了時の間ゲキ比 e_n は

$$e_n = \frac{\gamma_w \cdot G_s \cdot A \cdot h_n}{W_s} - 1 \dots\dots\dots(5)$$

c. 圧密試験終了時の間ゲキ比 e_f は

$$e_f = \frac{\gamma_w \cdot G_s \cdot A \cdot h_f}{W_s} - 1 \dots\dots\dots(6)$$

d. 圧密荷重と間ゲキ比

e_n を縦座標に、 n 番目の圧密応力を横座標に対数目盛にとり、プロットし、この $e \sim \log p$ 曲線の後部に現われる直線の値から圧縮指数 (c_c) を次式によって求めた。

$$c_c = \frac{e_1 - e_2}{\log_{10} \frac{p_2}{p_1}} \dots\dots\dots(7)$$

(4) 圧密係数 (c_v)

圧密係数 (c_v) は \sqrt{t} 法によって計算した。

n 番目の荷重段階における c_v は、次式により求めた。

$$c_v = \frac{0.848 \left(\frac{h_n}{2} \right)^2}{t_{90}} \text{ (cm}^2/\text{min)} \dots\dots\dots(8)$$

(5) 体積圧縮係数 (m_v)

n 番目の荷重段階における m_v は、次式により求めた。

$$a. \quad m_v = \frac{a_v}{1 + e_{n-1}} \text{ (cm}^2/\text{kg)} \dots\dots\dots(9)$$

ここに a_v : 圧縮係数 = $\frac{de}{dp}$ (cm²/kg) $\dots\dots\dots(10)$

dp : 増加圧力 (kg/cm²)

$$b. \quad m_v = \frac{\Delta S_n}{\Delta p \cdot \bar{h}_{n-1}} \text{ (cm}^2/\text{kg)} \dots\dots\dots(11)$$

急速試験の m_v を計算する場合、(9) 式では、計算式に間ゲキ比を用いるため、全圧密荷重段階の圧密を終了し、供試体の乾燥重量測定後でなければ m_v は求められない。(11) 式では n 番目の荷重段階の圧密終了後、ただちに n 番目の m_v の計算を行なえるため、(11) 式を用いるのが適当であり、両者の計算方法による m_v の差は、計算中の h , e の四捨五入によるものであり、一例では、 $1 \times 10^{-3} \sim 7 \times 10^{-3}$ 程度のきわめて小さいものである。

(6) 透水係数 (k)

n 番目の荷重段階における透水係数 k は次式により求めた。

$$k = \frac{a_v \cdot c_v \cdot \gamma_w}{1000(1 + e_{n-1})} \text{ (cm/min)} \dots\dots\dots(12)$$

今回の圧密試験計算例を表-4 に示す。

4. 試験結果と考察

4.1 試験結果

今回行った標準試験方法、および急速試験方法による圧密試験結果一覧表を、表-5 に、試験結果図 2 例を図-11, 12 に示す。

小川 富美子

表-4 圧密試験結果計算例

CONSOLIDATION TEST

Sample No. 広島空港 No. 2-8199

Test No. 4-1

Date 1968, 6

$C_s=2.65$

$W_i=78.66\text{ g}$

$w_i=132.2\%$

$W_f=60.13\text{ g}$

$w_f=77.5\%$

Ring No.=15

$W_s=33.87\text{ g}$

$LR=5.654\dots$

$A=28.274\text{ cm}^2$

$p(\text{kg/cm}^2)$	$\frac{\Delta S}{(1/100\text{mm})}$	$\frac{\Sigma \Delta S}{(1/100\text{mm})}$	$h(\text{cm})$	$\bar{h}(\text{cm})$	$\frac{\bar{h}}{2}(\text{cm})$	e	e_{cor}			Remarks
0			2.000			3.424				
0.1	21.4	21.4	1.979	1.990	0.995	3.378				
0.2	21.2	42.6	1.957	1.968	0.984	3.329				
0.4	48.9	91.5	1.908	1.933	0.967	3.223				
0.8	162.5	254.0	1.746	1.828	0.914	2.862				
1.6	215.1	469.1	1.531	1.639	0.820	2.387				
3.0	170.0	639.1	1.361	1.446	0.723	2.011				
6.0	155.6	794.7	1.205	1.283	0.642	1.665				
9.0	88.9	883.6	1.116	1.161	0.581	1.469				
12.0										
9.0										
6.0	- 5.0	878.6	1.121			1.480				
3.0	-21.0	857.6	1.142			1.526				
1.6										
0.8	-65.4	792.2	1.208			1.672				
0	-163.0	629.2	1.371			2.033				

$$e = \frac{\gamma_w \cdot G_s \cdot A}{W_s} \cdot h - 1 = 2.212 h - 1$$

$$m_v(z) = \frac{\Delta S_n}{\Delta p \cdot h_n - 1}$$

$$c_v = \frac{0.848(\bar{h}/2)^2}{t_{90}}$$

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta p}$$

$$m_v(1) = \frac{a_v}{1 + e(n-1)}$$

$$k = \frac{c_v \cdot m_v \cdot \gamma_w}{1000}$$

$p(\text{kg/cm}^2)$	$\bar{p}(\text{kg/cm}^2)$	$\frac{\bar{h}}{2}(\text{cm})$	$t_{90}(\text{min})$	$c_v(\text{cm}^2/\text{min})$	e	Δe	$\Delta p(\text{kg/cm}^2)$	$a_v(\text{cm}^2/\text{kg})$	$m_v(1)$ (cm^2/kg)	$k(\text{cm}/\text{min})$
0					3.424					
0.1	0.05	0.995	0.7	1.20	3.378	0.046	0.1	4.60×10^{-1}	1.04×10^{-1}	1.25×10^{-4}
0.2	0.15	0.984	1.0	8.21×10^{-1}	3.329	0.049	0.1	4.90×10^{-1}	1.12×10^{-1}	9.20×10^{-5}
0.4	0.30	0.967	1.6	4.96×10^{-1}	3.223	0.106	0.2	5.30×10^{-1}	1.22×10^{-1}	6.05×10^{-5}
0.8	0.60	0.914	4.1	1.73×10^{-1}	2.862	0.361	0.4	9.03×10^{-1}	2.14×10^{-1}	3.70×10^{-5}
1.6	1.20	0.820	8.6	6.63×10^{-2}	2.387	0.475	0.8	5.94×10^{-1}	1.54×10^{-1}	1.02×10^{-5}
3.0	2.30	0.723	6.5	6.82×10^{-2}	2.011	0.376	1.4	2.69×10^{-1}	7.94×10^{-2}	5.42×10^{-6}
6.0	4.50	0.642	5.3	6.59×10^{-2}	1.665	0.346	3.0	1.15×10^{-1}	3.82×10^{-2}	2.52×10^{-6}
9.0	7.50	0.581	4.6	6.23×10^{-2}	1.469	0.196	3.0	6.53×10^{-2}	2.45×10^{-2}	1.53×10^{-6}

表-5 標準試験および急速試験による圧密試験結果一覽表

試料名 Sample No.	急速試験 種類	供試体の初期		圧密係数		体積圧縮係数		傾度		圧縮係数		圧縮指数					
		含水比 w_i (%)		間デキ比 e_i		c_v (cm ² /min)		$\bar{p} = 5.0$ kg/cm ²		傾度		\bar{a}_v (cm ² /kg)		c_c			
		標準	急速	標準	急速	標準	急速	標準	急速	標準	急速	標準	急速	標準	急速		
広島空港 No. 2-3127	R100	130.3	116.8	3.37	3.07	6.4 × 10 ⁻²	7.4 × 10 ⁻²	2.94 × 10 ⁻²	2.94 × 10 ⁻²	3.20 × 10 ⁻²	3.20 × 10 ⁻²	1.000	0.931	2.6 × 10 ⁻¹	1.29 × 10 ⁻¹	0.95	1.00
錦海 B40-4078	"	122.7	123.1	3.26	3.26	2.5 × 10 ⁻²	2.5 × 10 ⁻²	3.05 × 10 ⁻²	3.05 × 10 ⁻²	3.50 × 10 ⁻²	3.50 × 10 ⁻²	1.161	1.149	2.7 × 10 ⁻¹	1.13 × 10 ⁻¹		
" B40-10168	"	126.0	123.2	3.37	3.32	3.4 × 10 ⁻²	3.4 × 10 ⁻²	3.42 × 10 ⁻²	3.42 × 10 ⁻²	3.60 × 10 ⁻²	3.60 × 10 ⁻²	1.151	1.151	2.7 × 10 ⁻¹	1.35 × 10 ⁻¹		
高島粘土 (p_0 1.0 kg/cm ²)	"	97.9	103.3	2.59	2.75	5.4 × 10 ⁻²	6.8 × 10 ⁻²	2.49 × 10 ⁻²	2.49 × 10 ⁻²	2.61 × 10 ⁻²	2.61 × 10 ⁻²	0.790	0.721	1.01 × 10 ⁻¹	1.03 × 10 ⁻¹	0.72	0.72
広島空港 No. 2-3127	R120	130.3	119.7	3.37	3.15	6.4 × 10 ⁻²	7.0 × 10 ⁻²	2.94 × 10 ⁻²	2.94 × 10 ⁻²	3.08 × 10 ⁻²	3.08 × 10 ⁻²	1.000	0.981	2.6 × 10 ⁻¹	1.29 × 10 ⁻¹	0.95	1.00
錦海 B40-4078	"	122.7	120.8	3.26	3.20	2.5 × 10 ⁻²	2.5 × 10 ⁻²	3.05 × 10 ⁻²	3.05 × 10 ⁻²	3.13 × 10 ⁻²	3.13 × 10 ⁻²	1.161	1.159	2.7 × 10 ⁻¹	1.00 × 10 ⁻¹		
佐世保港 No. 6-5088	"	115.4	113.9	3.05	3.01	3.5 × 10 ⁻²	2.9 × 10 ⁻²	3.04 × 10 ⁻²	3.04 × 10 ⁻²	3.20 × 10 ⁻²	3.20 × 10 ⁻²	1.141	1.119	5.1 × 10 ⁻¹	9.67 × 10 ⁻¹		
錦海 B40-10168	R30m	126.0	122.0	3.37	3.38	3.4 × 10 ⁻²	3.8 × 10 ⁻²	3.42 × 10 ⁻²	3.42 × 10 ⁻²	3.62 × 10 ⁻²	3.62 × 10 ⁻²	1.151	1.131	2.7 × 10 ⁻¹	1.37 × 10 ⁻¹		
広島空港 No. 2-10229	"	138.3	129.7	3.61	3.49	4.2 × 10 ⁻²	4.5 × 10 ⁻²	3.30 × 10 ⁻²	3.30 × 10 ⁻²	3.83 × 10 ⁻²	3.83 × 10 ⁻²	1.141	1.061	2.1 × 10 ⁻¹	1.45 × 10 ⁻¹		
" No. 1-6125	p_1 0.8	99.1	93.4	2.64	2.51	8.4 × 10 ⁻²	1.0 × 10 ⁻¹	2.98 × 10 ⁻²	2.98 × 10 ⁻²	2.84 × 10 ⁻²	2.84 × 10 ⁻²	1.041	1.071	2.9 × 10 ⁻¹	1.21 × 10 ⁻¹		
衣浦港 No. 2-9107	"	101.2	101.7	2.56	2.62	2.0 × 10 ⁻²	2.2 × 10 ⁻²	3.05 × 10 ⁻²	3.05 × 10 ⁻²	3.10 × 10 ⁻²	3.10 × 10 ⁻²	1.151	1.101	1.28 × 10 ⁻¹	1.33 × 10 ⁻¹		
" No. 2-12137	"	91.3	92.0	2.36	2.38	1.7 × 10 ⁻²	2.0 × 10 ⁻²	3.10 × 10 ⁻²	3.10 × 10 ⁻²	3.10 × 10 ⁻²	3.10 × 10 ⁻²	1.151	1.181	2.9 × 10 ⁻¹	1.30 × 10 ⁻¹		
広島空港 No. 2-8199	130 p_0 24h	132.2	146.4	3.42	3.71	6.5 × 10 ⁻³	5.4 × 10 ⁻³	3.67 × 10 ⁻²	3.67 × 10 ⁻²	3.52 × 10 ⁻²	3.52 × 10 ⁻²	0.991	1.031	1.70 × 10 ⁻¹	1.67 × 10 ⁻¹		

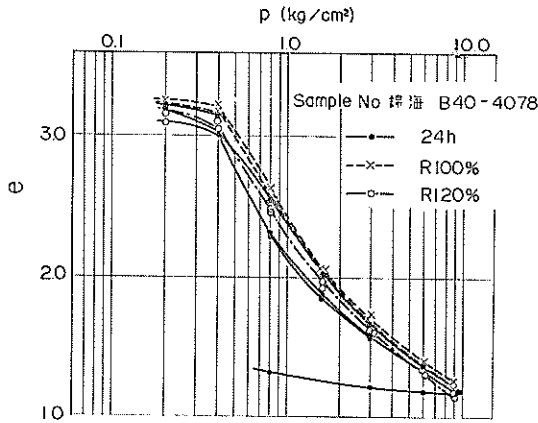


図-11 (1) 標準試験と急速試験 R100・R120 の圧密試験結果図 ($e \sim \log p$)

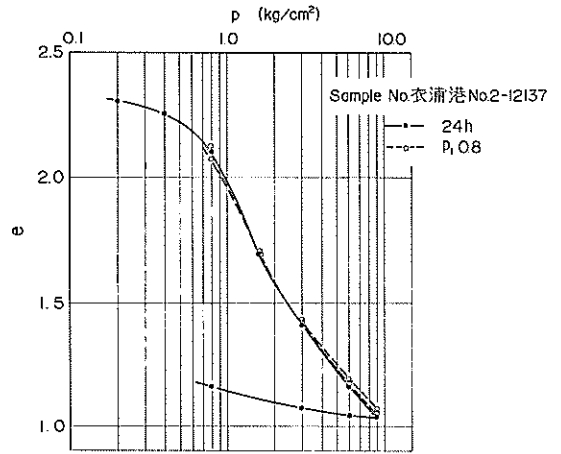


図 12 (1) 標準試験と急速試験 $p_{1.08}$ の圧密試験結果図 ($e \sim \log p$)

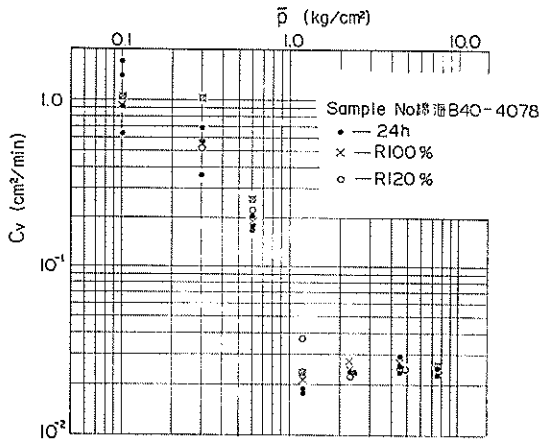


図-11 (2) 標準試験と急速試験 R100・R120 の圧密試験結果図 ($\log c_v \sim \log \bar{p}$)

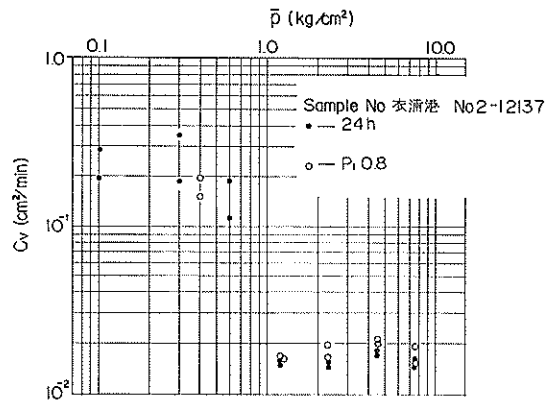


図-12 (2) 標準試験と急速試験 $p_{1.08}$ の圧密試験結果図 ($\log c_v \sim \log \bar{p}$)

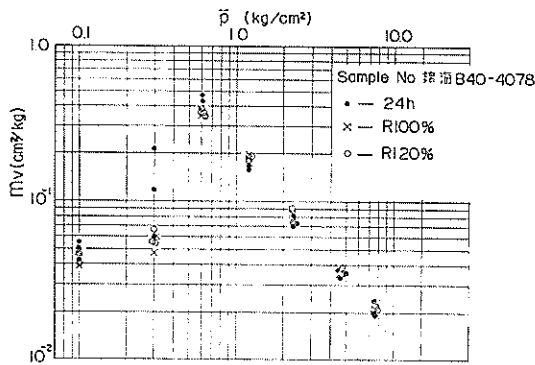


図-11 (3) 標準試験と急速試験 R100・R120 の圧密試験結果図 ($\log m_v \sim \log \bar{p}$)

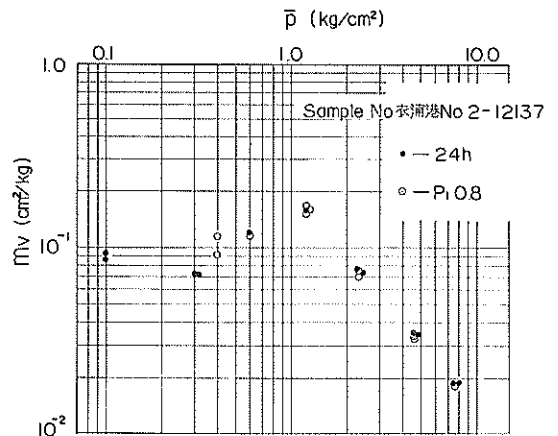


図-12 (3) 標準試験と急速試験 $p_{1.08}$ の圧密試験結果図 ($\log m_v \sim \log \bar{p}$)

載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について

標準試験，急速試験には，おのおの2個ないし3個の供試体を作製し，試験を行なったが，試験結果図に示すように試験結果の差，とくに同一試験方法による結果のばらつきはきわめて少ない。表-5 に示した圧密諸係数は，1 試料について行なったおのおの試験方法による試験結果から，比較的試験誤差が少ないと判断されたもの，あるいはほぼ平均的な値を示したものについての，1 供試体の圧密諸係数を代表値として示し，以後のデータ整理もこれに基づいて行なったものである。

港湾地域の圧密係数 (c_v) は一般的傾向として，圧密降伏応力以上の圧密圧力の範囲内では，大体一定の値となる。表中の c_v はほぼ一定になった値の平均値である。

体積圧縮係数 (m_v) は， $\log m_v$ と $\log \bar{p}$ のグラフ上で，圧密降伏応力より大きい圧密圧力に対してその値はほぼ直線となる。表中の m_v は $\bar{p}=5.0 \text{ kg/cm}^2$ における m_v の直線上の値をグラフから求めたものである。

m_v 傾度は図-13 に示すとおり， $\log m_v \sim \log \bar{p}$ のグラフから $\bar{p}=1.0, 10.0 \text{ kg/cm}^2$ における m_v の直線上の値を読みとりその比の対数を求めた。すなわち，グラフ上の直線の勾配が1の時には傾度は1となり，図中の m_{va} の傾度1.05は m_{vb} の傾度0.90にくらべ，圧密圧力の増大とともに m_v の減少度がやや大きいことを意味する。

表中の圧密降伏応力 (p_0)，圧縮指数 (c_c) が2，あるいは3 試料にとどまっているのは，2.2で示したように，今回の試験に使用した試料が，比較的やわらかい粘土，あるいはシルト質粘土であったため， $e \sim \log p$ 曲線において，圧密降伏応力より大きい圧密圧力の領域でも，その値が直線にならず求められなかったためである。したがって，今回は圧密降伏応力以上の圧密圧力の領域内での全増加圧力 ($\Sigma \Delta p$) とその圧密圧力内で減少した間ゲキ比 ($\Sigma \Delta e$) から，平均の圧縮係数 (\bar{a}_v) を求め，供試

体の圧縮量について比較を行なった。

試験結果図表が示すように，1 試料について行なった標準試験，急速試験から求められた圧密諸係数の差は，土の不均一性，試験誤差などを考慮すると，試験方法による試験結果の相異を明確に判定できるほど，大きいものではないと判断される。

4.2 考 察

(1) 土の不均一性が試験結果におよぼす影響について

4.1 で示したように，標準試験，急速試験によって求められた圧密諸係数には，明確ではないが若干の相異が認められる。しかし，試験結果を比較するさい，圧密諸係数の相異は，試験方法によるものとともに，試料自体の不均一性によるもの，操作，測定，計算などの試験上の誤差によるものなど，他の原因による値のばらつきを当然含んだものである。今回の試験では試料の均一性が必ずしも満足されていないので結果そのものは，厳密には試験方法の比較ということにはならない。この理由から本試験を行なうにさいし，均一な試料の人工的な作製による試験を試みたが，目的を達するには至らなかった。しかし事実上，全く均一な試料によって試験を行なうことは不可能に近く，土の不均一性による試験結果のばらつきは，その値の大小はあっても当然おこりうることであり，また試験上の誤差もある程度は免れない。そこで今回の試験結果を詳細に検討する前に，土の種類による圧密諸係数の相異と，土の不均一性が試験結果におよぼす影響を調べてみた。

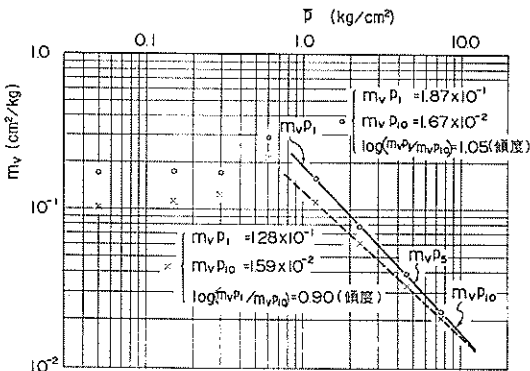


図-13 m_v 傾度説明図

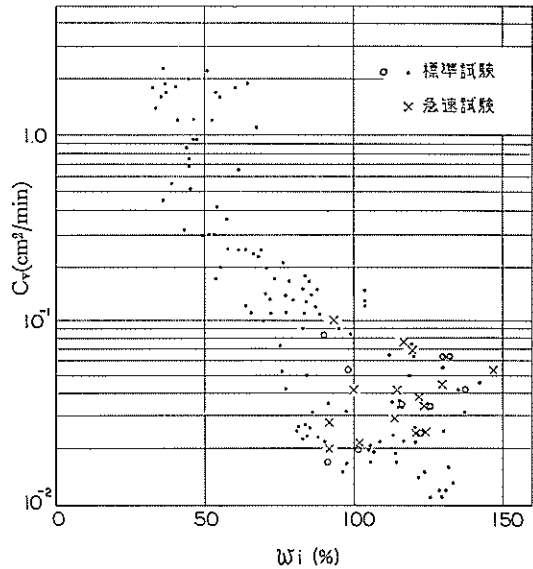


図-14 供試体の初期含水比と圧密係数

図-14 は通常行なわれている標準試験から、羽田空港、横浜港、久里浜、七尾港、久慈港、富山港、小松島港、和歌山港、広島空港、錦海等の試料による供試体の初期含水比 (w_i) と圧密降伏応力以上の圧密圧力における平均圧密係数 (c_v) との相関図である。3.2.4 に述べたように c_v は計算の過程上誤差が生じやすく、また土自体

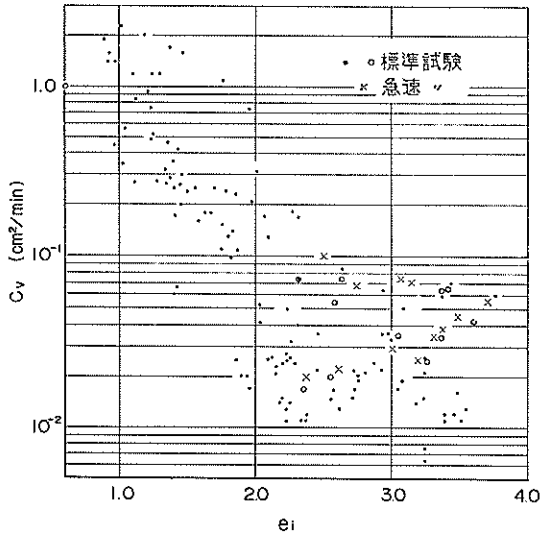


図-15 供試体の初期間ゲキ比と圧密係数

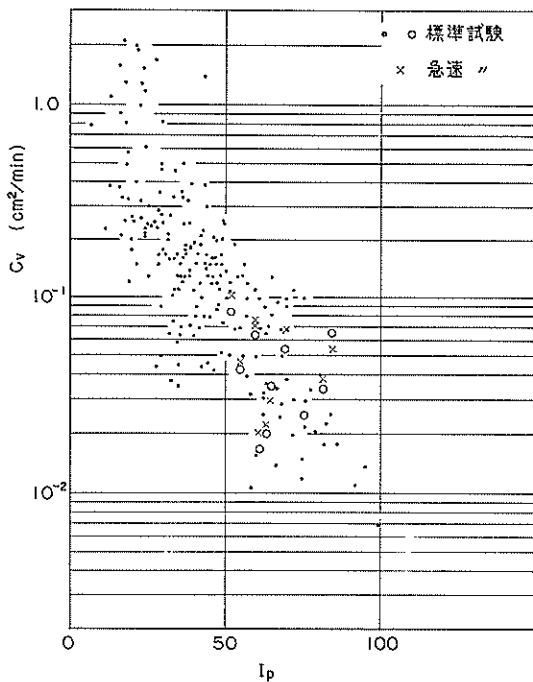


図-16 塑性指数と圧密係数

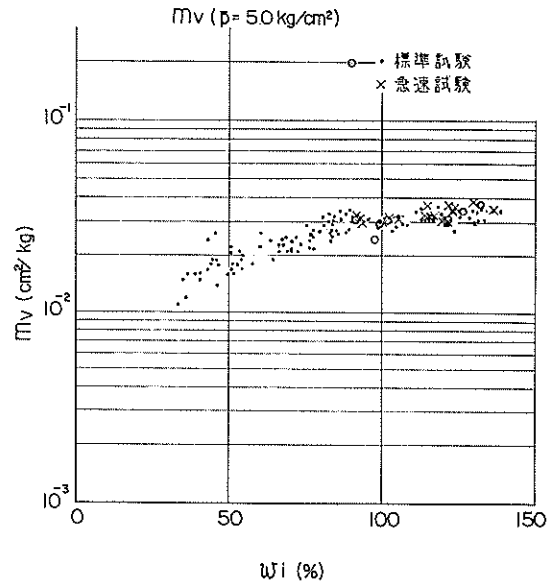


図-17 供試体の初期含水比と体積圧縮係数

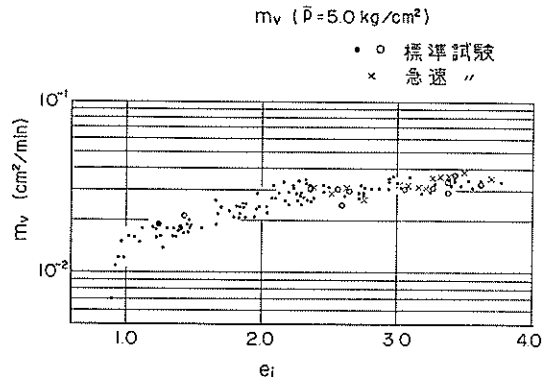


図-18 供試体の初期間ゲキ比と体積圧縮係数

の不均一性、とくに t_{90} の相異が c_v に大きく影響するため、含水比の増大に従って c_v が小さくなる傾向は明らかであるが一定の含水比が示す c_v の範囲はきわめて大きい。圧密係数と、供試体初期間ゲキ比 (e_i)、また、塑性指数 (I_p) との関係もそれぞれ図-15、16 に示すように初期含水比の場合と同様の結果となる。

図-17 は同じ試料について同様に求めた供試体の初期含水比と平均圧密圧力 (\bar{p}) 5.0 kg/cm^2 での体積圧縮係数 (m_v) との相関図である。一定の含水比が示す m_v の範囲は c_v の場合に比べ比較的小さく、しかも初期含水比の増大とともに、そのばらつきは小さくなる傾向を示す。 m_v と供試体の初期間ゲキ比を図-18 に、平均圧密圧力 10 kg/cm^2 における m_v と塑性指数の相関性を図-19

載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について

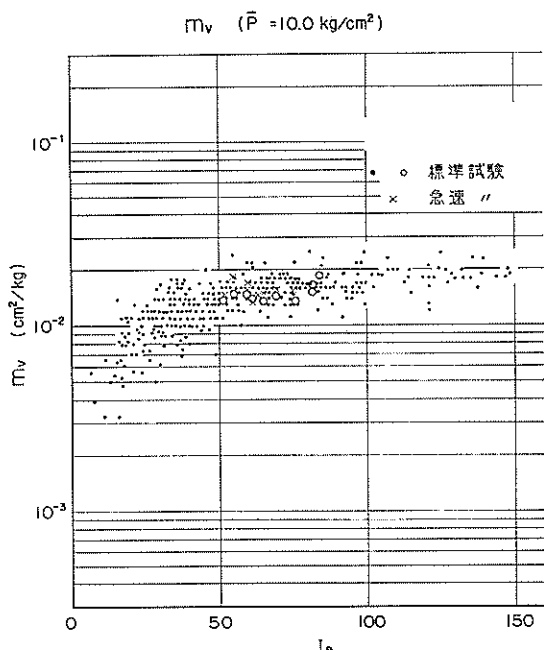


図-19 塑性指数と体積圧縮係数

に示す。これらの図中に示す○印は今回の標準試験結果、×印は急速試験結果である。

圧密試験結果には、供試体の初期含水比および初期間ゲキ比がある程度影響をおよぼすことは従来の試験データからも推定されるが、図-14~19 でこの点がほぼ確認

された。これらの相関性は試験供試体の初期条件からその結果を補正できるほど密接ではないが、その概略の傾向から急速試験方法と標準試験方法とのわずかな差異をいくらかでも明確にすることができよう。

表-6 は標準試験、急速試験の供試体初期含水比および初期間ゲキ比とその差を試料の均一性を表わす尺度として示したものである。

全般的に急速試験の供試体は含水比、間ゲキ比ともに小さく、試験方法による相異他に次の諸点が試験結果に混入することが予測される。すなわち図-14, 15 から圧密係数については急速試験の方が大きくなり、図-17, 18 から体積圧縮係数はわずかに小さくなると考えられる。各試験方法ごとにこの傾向を見ても 130p₀24h の広島空港 No. 2-8199 だけが逆方向である他はいずれの方法についても平均的には上の傾向と一致している。

試験にはできるだけ均一な自然試料の選択につとめたが、試験方法によって、あるいは試験機の都合上必ずしも同時には供試体の作製を行なわなかったため、広島空港 No. 2-3127, 同 No. 2-8199, 同 No. 2-10229 の3試料ではとくに初期条件の差が大きく生ずる結果となった。この初期条件の相異は試験方法の比較には必ずしも適当ではなく、良好な結果とはいえない。

そこで、両試験方法の試料が比較的均一であると判断される錦海 B 40-4078, 同 B 40-10168, 衣浦港 No. 2-9107, 同 No. 2-12137 の4試料についても前記の検討

表-6 供試体の初期含水比および初期間ゲキ比

Sample No.	急速試験種類	供試体初期含水比 $w_i(\%)$			供試体初期間ゲキ比 e_i			試験種類別平均値	
		標準試験	急速試験	標準試験との差	標準試験	急速試験	標準試験との差	含水比	間ゲキ比
広島空港 No. 2-3127	R100	130.3	116.8	-13.5	3.370	3.072	-0.298		
錦海 B40-4078	"	122.7	123.1	+0.4	3.262	3.258	+0.004		
" B40-10168	"	126.0	123.2	-2.8	3.368	3.316	-0.052		
高島粘土 ($p_c 1.0 \text{ kg/cm}^2$)	"	97.9	103.3	+5.4	2.586	2.752	+0.166	-2.6	-0.045
広島空港 No. 2-3127	R120	130.3	119.7	-10.6	3.370	3.146	-0.224		
錦海 B40-4078	"	122.7	120.8	-1.9	3.262	3.200	-0.062		
佐世保港 No. 6-5088	"	115.4	113.9	-1.5	3.046	3.012	-0.034	-4.7	-0.107
錦海 B40-10168	R30m	126.0	122.0	-4.0	3.368	3.382	-0.014		
広島空港 No. 2-10229	"	138.3	129.7	-8.6	3.612	3.492	-0.120	-6.3	-0.067
" No. 1-6125	$p_1 0.8$	99.1	93.4	-5.7	2.644	2.510	-0.134		
衣浦港 No. 2-9107	"	101.2	101.7	+0.5	2.560	2.624	+0.064		
" No. 2-12137	"	91.3	92.0	+0.7	2.364	2.376	+0.012	-1.5	-0.019
広島空港 No. 2-8199	130p ₀ 24h	132.2	146.4	+14.2	3.424	3.710	+0.286	+14.2	+0.286
平均値		117.9	115.9	-2.1	3.095	3.065	-0.031		

表-7 標準試験結果 急速試験結果の差と標準試験結果のばらつき

Sample No.	急速試験 種類	初期含水比		初期間ゲキ比		圧密係数		体積圧縮係数 m_v'				圧縮係数	
		w_i'		e_i'		c_v'		$\bar{p}=5.0 \text{ kg/cm}^2$		傾度		\bar{a}_v'	
	S'	$\frac{\bar{R}}{\bar{S}}-1$	S'	$\frac{\bar{R}}{\bar{S}}-1$	S'	$\frac{\bar{R}}{\bar{S}}-1$	S'	$\frac{\bar{R}}{\bar{S}}-1$	S'	$\frac{\bar{R}}{\bar{S}}-1$	S'	$\frac{\bar{R}}{\bar{S}}-1$	
錦海 B40-4078	R100	±0.02	+0.02	±0.02	+0.02	±0.04	+0.04	±0.12	+0.08	±0.03	-0.07	±0.10	+0.08
" B40-10168	"	±0.02	-0.05	±0.01	-0.04	±0.03	0	±0.01	-0.01	±0.03	0	±0.02	+0.04
" B40-4078	R120	±0.02	-0.01	±0.02	-0.01	±0.04	+0.04	±0.12	+0.08	±0.03	-0.05	±0.10	+0.01
" B40-10168	R30m	±0.02	-0.06	±0.01	-0.02	±0.03	+0.12	±0.01	+0.04	±0.03	-0.02	±0.02	+0.08
衣浦港 No. 2-9107	$p_1 0.8$	±0.05	0	±0.01	0	±0.05	+0.10	±0.01	0	0	+0.01	0	+0.03
" No. 2-12137	"	±0.07	0	0	+0.01	±0.06	+0.12	0	-0.03	0	+0.02	0	+0.02
平均値		±0.03	-0.01	±0.01	-0.01	±0.04	+0.07	±0.05	+0.03	±0.02	-0.02	±0.04	+0.04

S' : 標準試験結果の偏差
 \bar{S} : 標準試験結果の平均値
 \bar{R} : 急速試験結果の平均値

を行なってみよう。(表-7)

この場合には急速試験の含水比と間ゲキ比が小さく、したがって c_v は大きく、 m_v は小さくなる傾向となるが、全試料における含水比と間ゲキ比の標準試験との差の平均に比べれば格段にその差が小さく、初期条件にはほとんど相異がないといえよう。

(2) 圧縮量

急速試験方法による圧密諸係数は、概略、標準試験方法のそれと変わらない。しかし、その圧密過程においては、おのおのの急速試験方法によって異なった特徴を示し、試験結果にもある程度影響を与えるものと判断される。

図-20 は広島空港 No. 2-3127 の試料の各圧密圧力における $S \sim \log t$ 曲線を、急速試験 (1)……R100 および (2)……R120 と標準試験の3種についてプロットしたものである。圧密圧力の初期段階では、試験方法にかかわらず、ほぼ同じ $S \sim \log t$ 関係を示し、沈下量は急速試験の方が小さい。しかし圧密圧力の増加に従い、急速試験の沈下量が次第に大きくなり、やがて標準試験のそれを上廻るようになって、急速試験の圧密度が標準試験のそれより小さいにもかかわらず、沈下量は大きい結果となる。また、沈下量の時間に対する勾配も急速試験の方が次第に大きくなって行く。しかもこの傾向は各圧密圧力における圧密度が小さい試験ほど顕著であり、今回行った他の試料の試験結果についても同様の傾向が見られた。

図-21 は錦海 B40-4078 の試料についての各圧密圧力

における沈下量測定結果から、全圧密荷重段階を通じての供試体の圧縮量 ($\Sigma \Delta s$) と時間 ($\log t$) との関係を、標準試験と圧密度の異なる急速試験についてプロットし、その圧密過程を比較したものである。この図における縦軸は同時に供試体の高さ (h) を表わす。ここでも前図と同様の傾向が見られ、圧密圧力の初期段階で小さい急速試験の沈下量が次第に標準試験のそれに追いついて累積沈下量ではそれほどの差を示さなくなる。急速試験方法における供試体の全圧縮量は、標準試験に対しやや小さいがその差は、R100 では約3%、R120 では約2%、に過ぎない。

また、図-22 は急速試験方法 (4)…… $p_1 0.8$ における圧密荷重段階初期の $S \sim \log t$ 曲線である。この種の急速試験では、圧密荷重段階の初期において標準試験の示した沈下量とほぼ等しい沈下を終え、第2あるいは第3の荷重段階において標準試験と急速試験とは、沈下量、圧密時間ともにほぼ同じになる。なお、試験方法 (5)…… $130 p_0 24 \text{ h}$ と標準試験とを比較した広島空港 No. 2-8199 の結果についても同様の結果を得た。

図-23 (1)(2)は、これらの急速試験の各平均圧密圧力に対する圧縮係数 (a_v) との関係を示したものである。急速試験方法 (1)……R100, (2)……R120, (3)……R30m では、前半の圧密圧力では標準試験の a_v がもっとも大きく、急速試験は小さいが、後半では R100 における a_v が大きく、R120, 24h と圧密度が大きくなるほど a_v は小さくなる。これに対し、急速試験方法 (4)…… $p_1 0.8$ では第3の圧密荷重段階において両者は全く等しくなり、

載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について

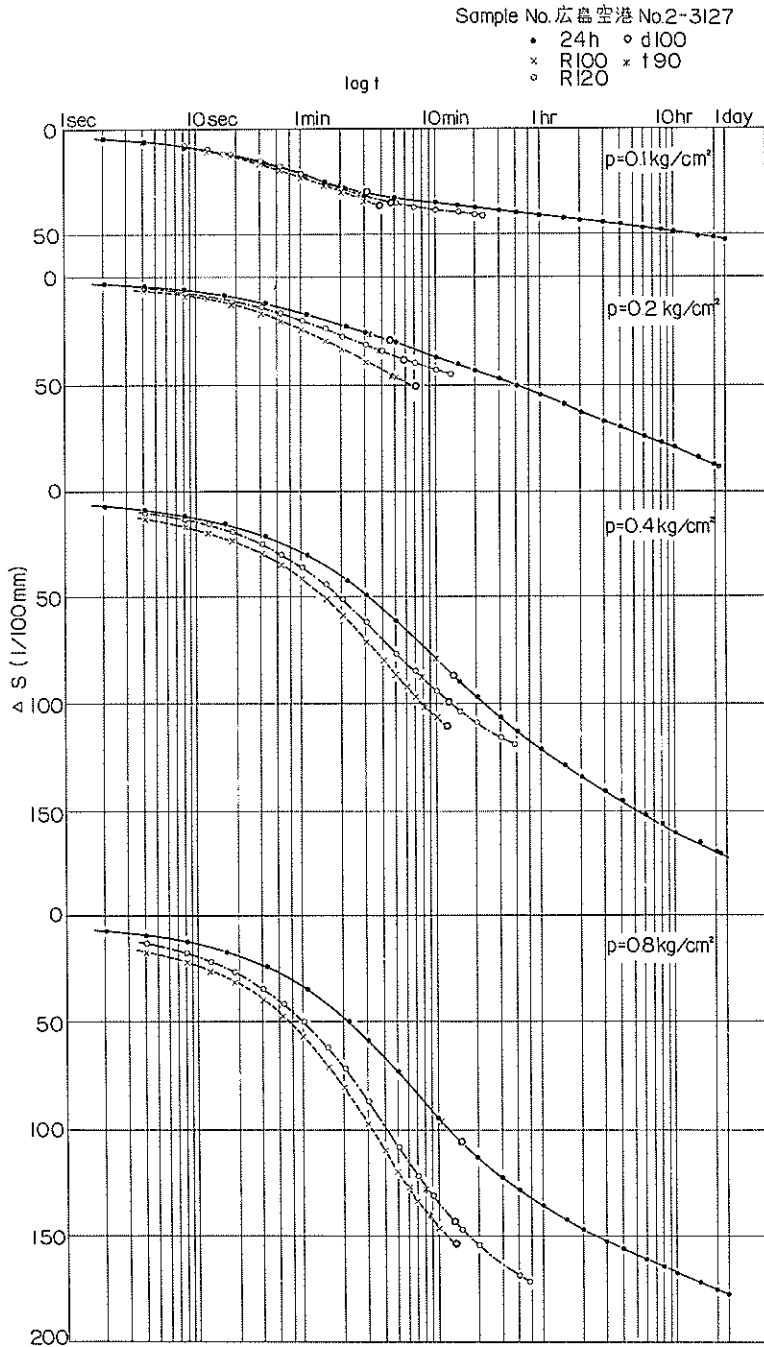


図-20 (1) R100, R120, 24h の各圧密圧力における沈下量と時間の関係

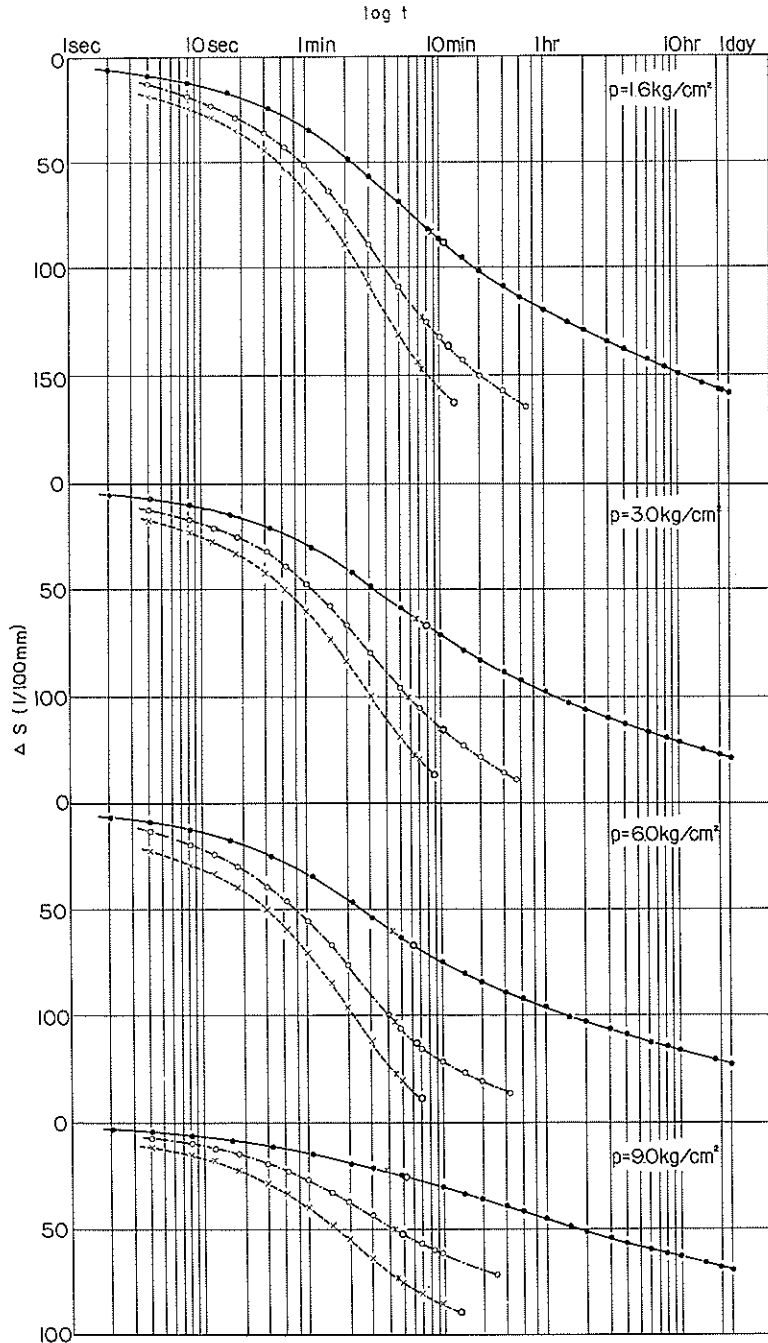


図-20 (2) R100, R120, 24h の各圧密圧力における沈下量と時間の関係

載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について

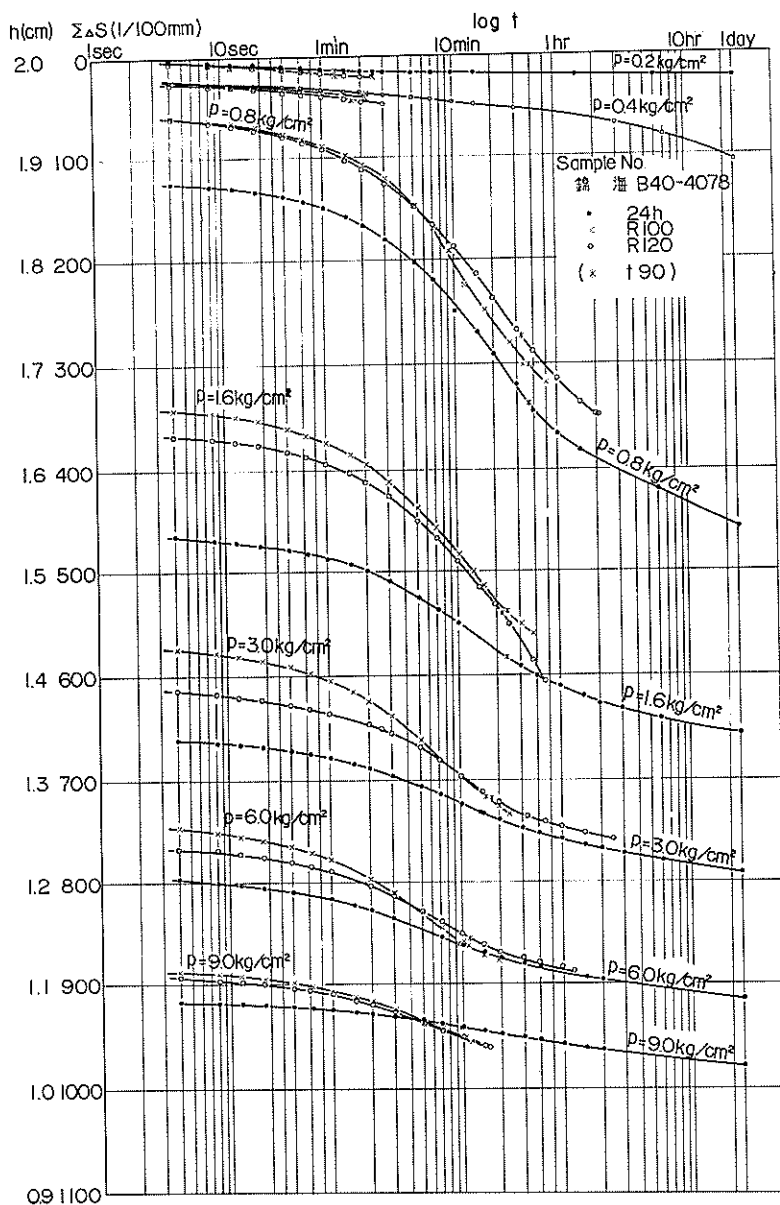


図-21 R100, R120, 24h の供試体全圧縮量と時間の関係

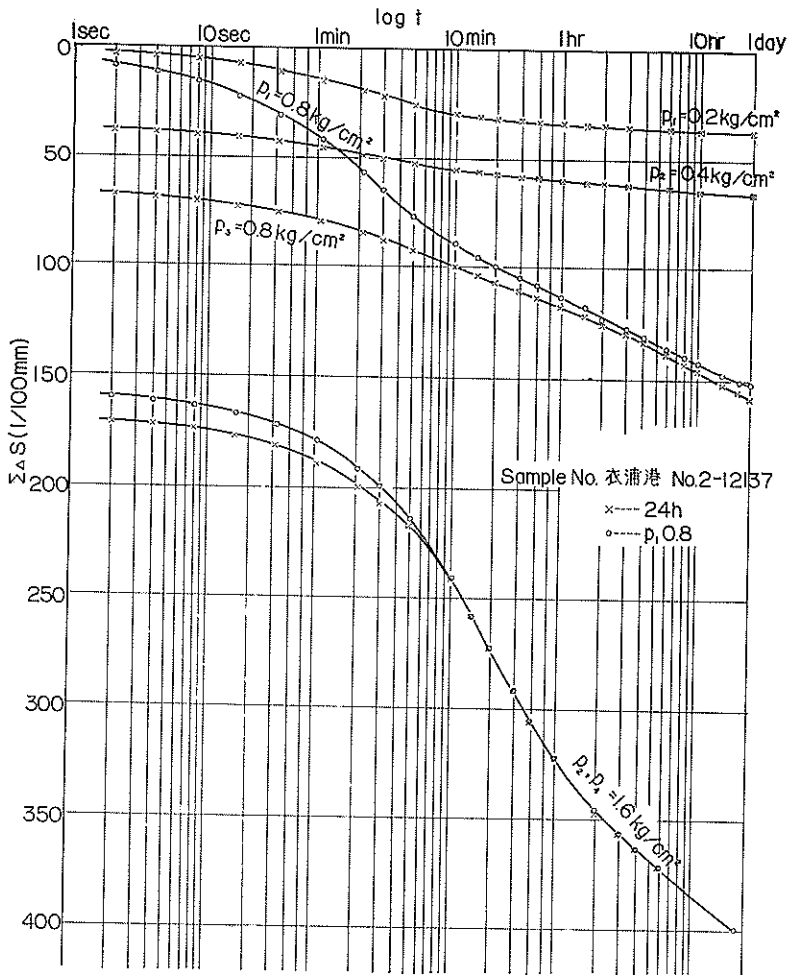


図-22 $p_1=0.8$ の沈下量と時間の関係

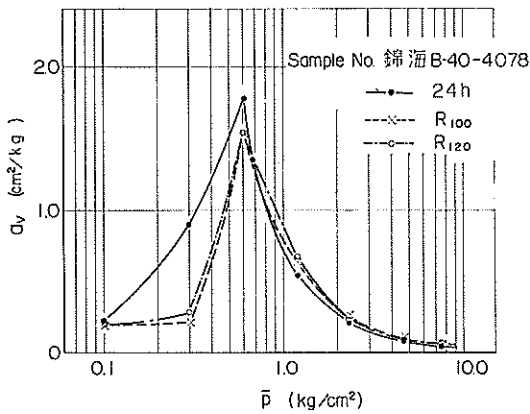


図-23 (1) 平均圧密圧力と圧縮係数の関係

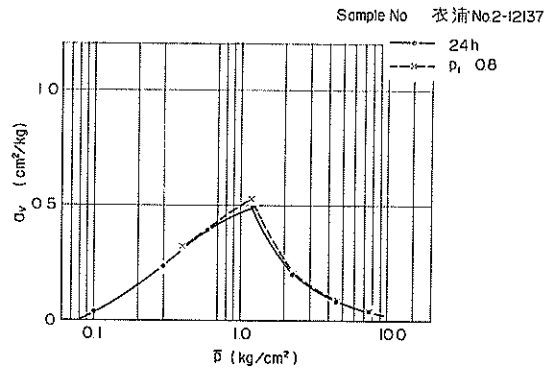


図-23 (2) 平均圧密圧力と圧縮係数の関係

載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について

急速試験方法 (5)…… $130p_0$ 24h についても圧密降伏応力より大きい圧密圧力の領域で、同様の傾向を示した。

これまでに述べた $S \sim \log t$ 曲線と $a_v \sim \log \bar{p}$ 曲線との試験方法による差異は、次のように解釈できよう。すなわち、圧密度の小さい急速試験では、初めの荷重段階で起こるべき二次圧密が後の荷重段階に持ち越されるために、その段階での圧縮量は小さくなる。一方前の荷重段階から持ち越された二次圧密は、その段階での一次圧密期間中に現われることとなり、見掛けの一次圧密の時間に対する勾配が大きくなる。そしてある程度荷重段階が進むと持ち越された二次圧密の累積量が非常に大きくなり、その段階での一次圧密期間中に現われる量が標準試験の二次圧密量よりも大きくなって、その段階での全圧縮量が大きくなるものと考えられる。これらの傾向はほぼ 150% 圧密に相当する標準試験についてもいえることであろうが、二次圧密の残余が少ない標準試験ではその影響が小さく、120% 圧密、100% 圧密となるにつれてその影響が大きくなり、各試験方法の差となって現われてくる。しかし二次圧密そのものは消え去るわけではなく、ある程度の時間を置いて次々に現われるものなので、全体的には圧密が荷重段階の後半に集中する形となるものと考えられる。このような傾向は、当然圧密諸係数にも影響をあたえたと考えられる。しかし、急速試験方法 (4)…… $p_1 0.8$, (5)…… $130p_0$ 24h では、荷重段階の後半にその影響をほとんど持ち越さないため、圧密諸係数にあたえる影響も少ないと判断される。

(3) 圧密時間

図-21 の $S \sim \log t$ 曲線中の *印は、90% 圧密時間

(t_{90}) を表わす。各圧密圧力における t_{90} は、試験方法、沈下量の大小とは無関係にほぼ等しい。その他の試料についても、今回の急速試験 R100, R120, R30 m の各圧密圧力において認められた t_{90} の差は、標準試験でのばらつきと同程度であった。これは、4.2.2 で述べたように急速試験における見掛けの一次圧密量は、一般に標準試験より大きい傾向がある。それにもかかわらず、 t_{90} にあまり差がないことは、この種の急速試験における一次圧密の領域内での沈下速度が、標準試験に比較し大きいことを意味する。R.D. Northey¹⁾ は、その一因として急速試験では圧密圧力の初期段階の圧縮量が標準試験に比較し小さいため、したがって間ゲキ比、透水係数が大きくなることを記している。その他、4.2.2 で述べたと同様を持ち越された二次圧密を考慮して、次のように解釈することもできよう。一般に二次圧密は対数目盛で直線状となり、持ち越されて見掛けの一次圧密に含まれる二次圧密も、時間とともに大きく現われるものと考えられる。対数目盛と平方根目盛の類似性を考慮すると、持ち越された二次圧密はその段階での一次圧密にほぼ比例して分配され、 $S \sim \sqrt{t}$ 曲線における沈下量の絶対値は大きくなってその形はあまり変わらないものと考えられる。したがって、求められた t_{90} の値に試験方法による明確な差は現われないのではないかと思われる。

図-24 は、広島空港 No. 2-3127 の試験結果から求めた圧密度 (U) ~ 時間 ($\log t$) 曲線で、図-20 (7) の縦軸を圧密度に変えたものである。一次圧密終了時間 (t_{100}) は試験方法にかかわらずほぼ等しい。しかし二次圧密の領域では、 $U \sim \log t$ 曲線の形が変わってゆき、一定の圧密

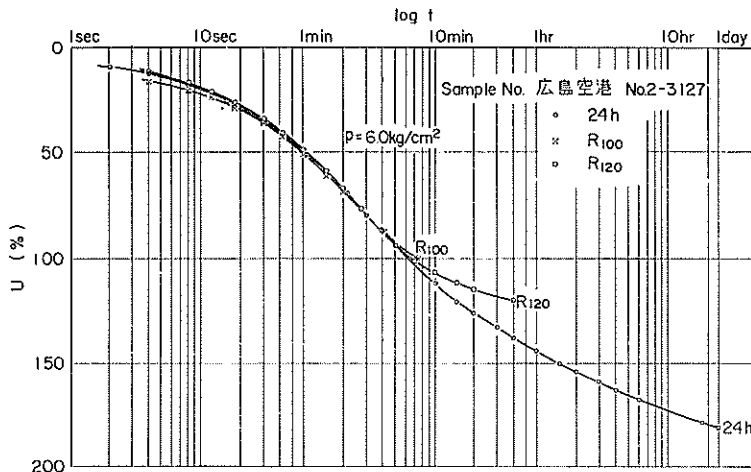


図-24 R100, R120, 24h の圧密度と時間の関係

表-8 急速試験 R100, R120 の t_{90} と全所要試験時間

Sample No.	\bar{p} (kg/cm ²)	0.05	0.10	0.15	0.30	0.60	1.20	2.30	4.50	7.50	合計 所要時間
広島空港 No. 2-3127	t_{90}	(min) 2.7		4.7	7.7	8.1	7.4	5.7	4.5	4.4	h m 1.11
	t_{100}	4.0		6.8	11.7	13.6	11.3	8.9	7.7	6.4	
	t_{90}	3.0		3.8	8.1	8.5	7.4	6.5	4.5	4.6	h m 3.50
	t_{120}	26.0		15.0	34.5	46.0	38.0	31.0	29.0	10.4	
錦 海 B40-4078	t_{90}		0.8		1.5	36.8	23.7	15.9	11.3	10.3	h m 2.33
	t_{100}		1.2		2.3	52.0	39.0	22.8	19.2	16.2	
	t_{90}		1.3		1.7	32.5	21.8	17.6	11.2	12.0	h m 6.57
	t_{120}		3.5		8.3	120.8	46.0	150.0	72.0	16.0	
錦 海 B40-10168	t_{90}		1.0		1.0	1.3	21.6	13.8	9.0	8.5	h m 1.25
	t_{100}		1.6		1.7	1.9	36.0	17.0	14.2	12.0	
佐世保港 No. 6-5088	t_{90}		1.3		1.6	21.1	18.0	14.8	8.8	9.7	h m 8.56
	t_{120}		11.0		4.8	110.0	192.0	110.0	66.0	42.0	

度に達する所要時間は標準試験にくらべ、急速試験 R120の方が大きい。この傾向は各圧密荷重段階とも共通している。 $U \sim \log t$ 曲線の二次圧密の領域における勾配の相異は、急速試験の一次圧密量から 24 時間の沈下量を推定する場合、大きな誤差を生ずる原因になると考えられる。

今回の急速試験 (1)……R100, (2)……R120 の沈下量測定結果からの 90% 圧密時間および U100%, U120% の所要時間を表-8 に示す。各圧密圧力における t_{100} は、 t_{90} の約 1.3~1.9 倍であるのに対し、 t_{120} は t_{90} の約 2~10 倍の所要時間となり、試験にはきわめて長時間を要する結果となった。

図-25 は錦海 B40-10168 における急速試験 R30m の沈下量測定結果から求めた $U \sim \sqrt{t}$ 曲線である。圧密降伏応力より小さい圧密圧力では、30分以内に進行する圧密度は、各圧密圧力によって異なるが、圧密降伏応力より大きい圧密圧力では、圧密度はほぼ一定となり載荷後 30 分に約 113% の圧密を終了している。

(4) 圧密諸係数

表-9 は急速試験方法による圧密諸係数の、対応して行なった標準試験結果からの差を、標準試験結果に対する比の形で表わしたものである。また、同種類の急速試験方法による平均値を表-10 に示す。この比は、4.2.1 で述べた理由によって、数値そのものが試験方法による相異とはいえないが、急速試験方法による圧密諸係数の概略の傾向を表わす一つの目安として求めたものである。おのおのの急速試験方法によって求めた圧密諸係数と標

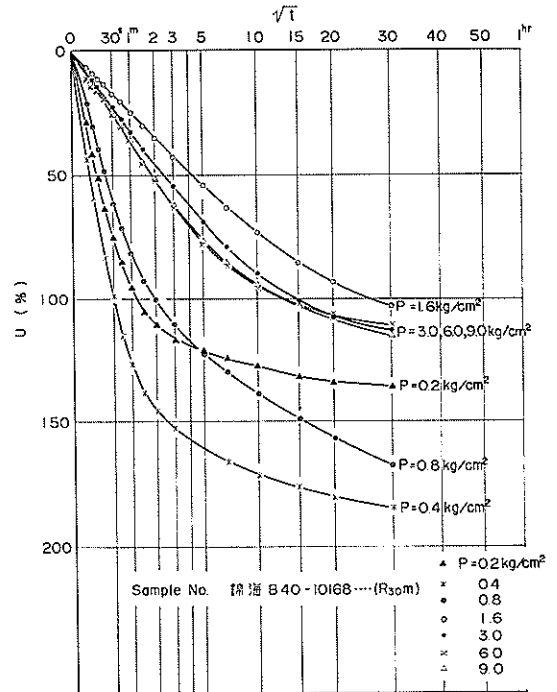


図-25 R30m の圧密度と時間の関係

準試験のそれとの差は、わずかではあるがほぼ共通した相異が認められる。これについて以下に若干の考察を加える。

(a) 圧密係数 (c_0)

c_0 が他の諸係数にくらべ、きわめてばらつきの大きい

載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について

表-9 標準試験結果と急速試験結果の差（標準試験結果に対する比）

Sample No.	急速試験	初期含水比	初期 間ギキ比	圧密係数	体積圧縮係数 m_v'		圧縮係数	圧縮指数
	種類	w_i'	e_i'	c_v'	$\bar{p}=5.0$ (kg/cm ²)	傾度	\bar{a}_v'	c_e'
広島空港 No. 2-3127	R100	-0.10	-0.09	+0.16	+0.09	-0.07	+0.02	+0.05
錦海 B40-4078	"	0	0	0	+0.15	-0.02	+0.22	
" B40-10168	"	-0.02	-0.02	0	+0.06	0	+0.06	
高島粘土 (p_0 1.0 kg/cm ²)	"	+0.05	+0.06	+0.26	+0.05	-0.09	+0.02	0
広島空港 No. 2-3127	R120	-0.08	-0.07	+0.09	+0.05	-0.02	+0.02	+0.05
錦海 B40-4078	"	-0.02	-0.02	0	+0.03	-0.01	+0.08	
佐世保港 No. 6-5088	"	-0.01	-0.01	-0.17	+0.05	-0.03	+0.02	+0.03
錦海 B40-10168	R30m	-0.03	0	+0.12	+0.05	-0.02	+0.08	
広島空港 No. 2-10229	"	-0.06	-0.03	+0.07	+0.16	-0.07	+0.20	
" No. 1-6125	p_1 0.8	-0.06	-0.05	+0.19	-0.05	+0.02	-0.06	
衣浦港 No. 2-9107	"	0	+0.02	+0.10	+0.02	-0.04	+0.04	
" No. 2-12137	"	+0.01	+0.01	+0.18	0	+0.03	+0.01	
広島空港 No. 2-8199	$130p_0$ 24h	+0.11	+0.08	+0.17	-0.04	+0.04	-0.02	

表-10 標準試験結果と各急速試験結果の差（表-9 の平均値）

急速試験種類	圧密係数	体積圧縮係数 m_v'		圧縮係数	圧縮指数
	c_v'	$\bar{p}=5.0$ kg/cm ²	傾度	\bar{a}_v'	c_e'
R 100	+0.08	+0.09	-0.05	+0.08	+0.03
R 120	-0.03	+0.04	-0.02	+0.04	+0.04
R 30 m	+0.10	+0.11	-0.05	+0.14	
p_1 0.8	+0.12	-0.01	0	0	
$130p_0$ 24h	-0.17	-0.04	-0.04	-0.02	

ことは4.2.1で述べた。したがって、今回の試験結果から得た各試験方法ごとの相異から、直接試験方法との相関性を云々することは適当ではない。しかも、4.2.1に述べたように、今回の急速試験の初期含水比が標準試験のそれにくらべ全般的に小さいことから、図-14に示す初期含水比と c_v の傾向が、 c_v 増加の一因となっているのであって、試験方法による差異はないとも考えられる。いずれにしても各種急速試験方法による c_v が標準試験方法による c_v にくらべ、実用上問題となるほどの差異はないといえる。

(b) 体積圧縮係数 (m_v)

平均圧密圧力 (\bar{p}) 5.0 kg/cm² における体積圧縮係数 (m_v) は、表-10に示すとおり、R100の急速試験では約9%、R120では約4%、R30mでは約10%標準試験による値より大きい。 m_v の測定精度は比較的高いので、この試験結果はある程度信頼でき、しかも4.2.1に述べたように、急速試験の含水比が小さいことから、本

来ならわずかながらも小さくなるべき値であることを考慮すると、この相異が単なるばらつきによるものではなく、試験方法によるものであることはいっそう判然とする。また、その理由は、4.2.2で述べた圧縮量の差によるものと判断される。これに対し急速試験方法(4) p_1 0.8では標準試験方法よりわずかではあるが小さくなっている。この原因として、含水比のやや大きいことが考えられ、全体を総合するとこの場合には試験方法による差異はないといってもよからう。このことは、4.2.2に述べた傾向とも一致する。なお、含水比にほとんど差のない4個の代表試料についても、上述の二つの傾向がかなり判然としている。

これに対し m_v 傾度は、全く逆の傾向を示し、R100、R120およびR30mでは急速試験の傾度が小さく、 p_1 0.8および $130p_0$ 24hでは標準試験とほぼ同じ結果となっている。またその信頼性についても m_v の場合と同じことがいえる。

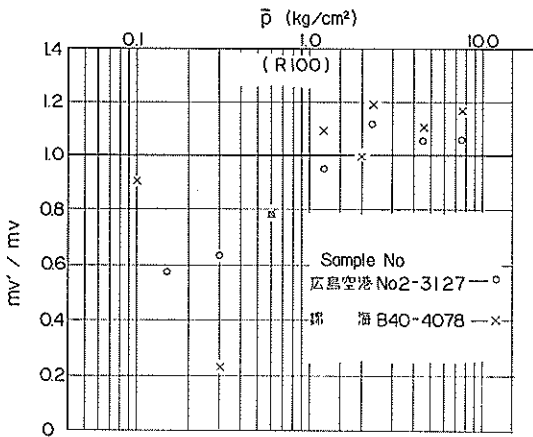


図-26 (1) 平均圧密圧力における試験方法による体積圧縮係数の比

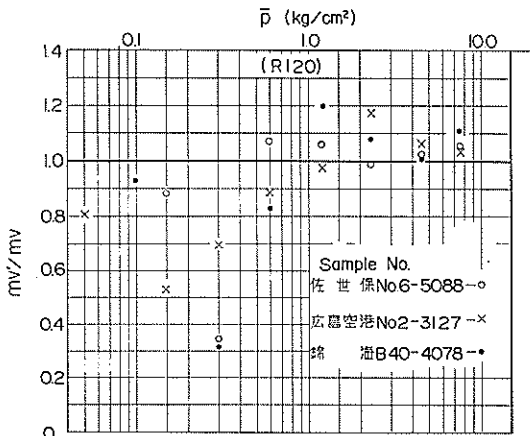


図-26 (2) 平均圧密圧力における試験方法による体積圧縮係数の比

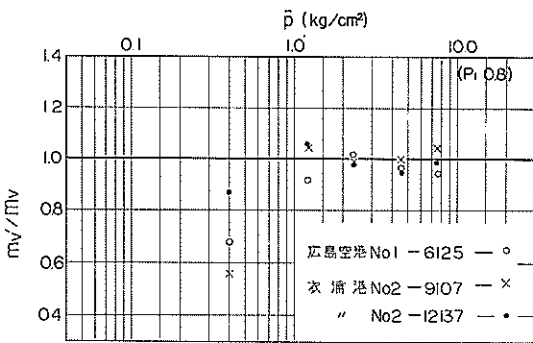


図-26 (3) 平均圧密圧力における試験方法による体積圧縮係数の比

図-26 (1)(2)(3) は各平均圧密圧力における、急速試験方法によって求めた m_v' の、標準試験方法によるものに対する比をプロットしたものである。図-26 (1)(2) に示す R100, R120 では、圧密圧力の後半でその比はすべて1以上となり、急速試験の値が標準試験よりも大きいことを表わしているが、図-26 (3) では約1であり、これまで述べた傾向を裏付けている。

以上の結果を総合すると、体積圧縮係数に関しては、試験方法による相異が判然と表われているといえる。しかし実際の土質調査における原地盤の不均一性を考慮すれば、このような試験方法による差は非常に小さく、再び実用的に問題となるほどの差は見られないといえることができる。

(c) 平均圧縮係数 (\bar{a}_v)

圧密降伏応力以上の圧密圧力の領域における間ゲキ比の減少は、急速試験方法 (1)……R100, (2)……R120, (3)……R30 m では 2%~22% と一様に増加の傾向を示した。しかしその他の急速試験ではその相異は平均-1.5%に過ぎない。したがって、この場合にも体積圧縮係数 (m_v') と同様のことがいえよう。図-27 は各平均圧密圧力における、標準試験による a_v を1とした。急速試験による a_v の比である。圧密荷重段階の後半でその値は標準試験の値より約 10%~30% 大きい。

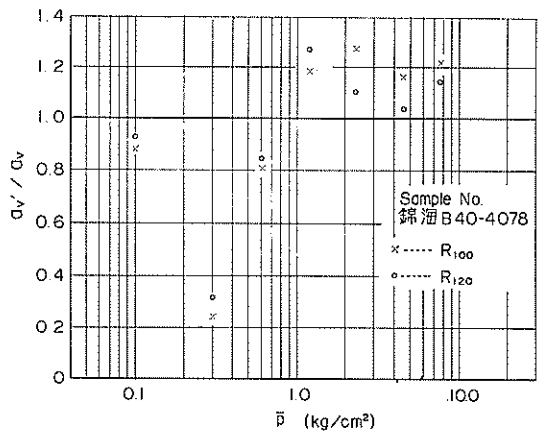


図-27 平均圧密圧力における試験方法による圧縮係数の比

(d) 間ゲキ比 (e) と圧密圧力 (p) の関係

図-28 (1)(2)(3) に間ゲキ比 (e) と圧密圧力 (p) の関係を示す。供試体の初期間ゲキ比の測定精度は比較的低いので、間ゲキ比の減少を明確にするため、ここでは2個の供試体の初期間ゲキ比を等しいものとして示した。図-

載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について

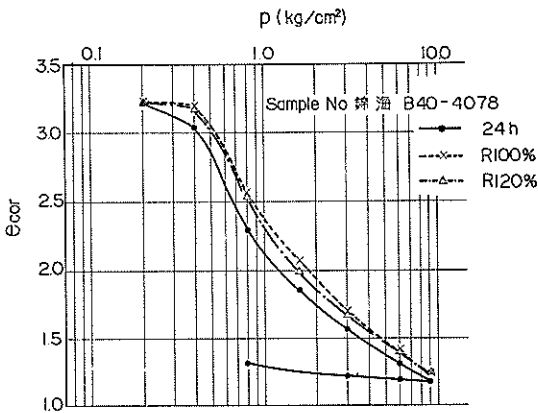


図-28 (1) 間ゲキ比と圧密圧力の関係

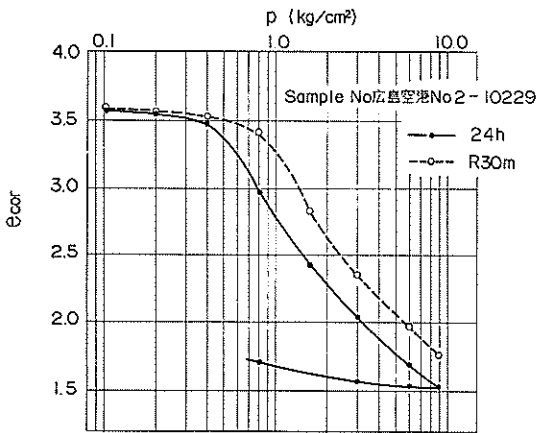


図-28 (2) 間ゲキ比と圧密圧力の関係

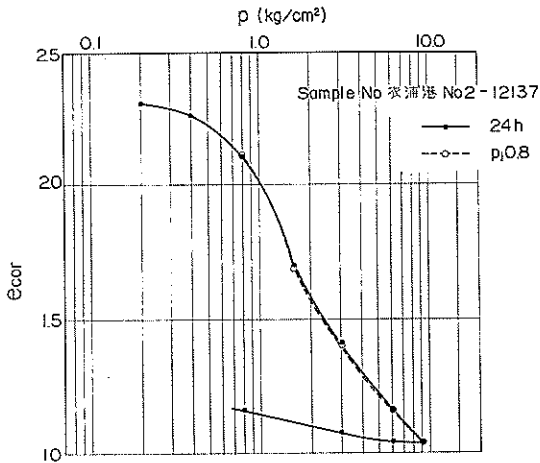


図-28 (3) 間ゲキ比と圧密圧力の関係

28 (1) は各圧密圧力の圧密度 100%, 120% で次段階の載荷を行なったものである。これらの $e \sim \log p$ 曲線は、圧密降伏応力より小さい圧密圧力ではその勾配が小さく、曲点が移動するため、 p_0 は標準試験から求めたそれよりも大きく求められる。また、圧密降伏応力以上の圧密圧力に現われるほぼ直線の傾度は、これらの図では急速試験方法によるものの方がわずかではあるが一樣に大きくなっている。この傾向は体積圧縮係数 m_v の傾向と一致する。

これは、圧密降伏応力より大きな圧密圧力の領域での供試体の圧縮が顕著であることを意味し、したがって、この直線から求めた c_e の値は当然異なることになる。以上に述べた傾向、とくに p_0 が大きく現われる傾向は実用上かなり意味をもち、ただでさえ誤差の多い p_0 の推定に新たな問題を投げかける。ことに p_0 の値が重要な意味をもつ過圧密粘土の場合には、慎重な注意が必要であろう。

急速試験から求めた圧密諸係数は、その試験方法によって標準試験結果との間に漸進的な相異が認められる。たとえば、一試料について行なった R100, R120 の試験結果は、表-9 の広島空港 No. 2-3127, 錦海 B40-4078 の比較で明らかなように、圧密度が小さい急速試験ほど標準試験結果との差は大となる。今回の急速試験では圧密度の種類が少なく、その関連性は明確ではないが、4.2.2 に述べた圧密過程の相異から、各圧密圧力における圧密度が標準試験のそれに近いほど、試験結果の差も小さいと考えられる。図-29 は急速試験 (1)……R100, (2)……R120 から求めた圧密諸係数の、標準試験結果に対する比とその圧密度の関係を示した。R100 の試験結果の差は総体的に大きい、R120 ではきわめて小さい。

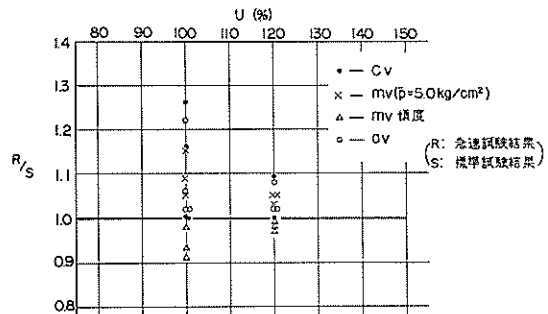


図-29 標準試験結果に対する急速試験結果 (R100, R120) の比

4.3 実用の急速試験方法

急速試験を実用化する場合、今回の急速試験方法 (4) …… p_0 0.8, および (5) …… $130p_0$ 24 h は、4.2 で述べたように、 p_0 の相異を除いては、標準試験との差はほとんど認められず、実働上は試験も簡明であり、問題はなないと判断される。

試験を1日で終了させる急速試験方法 (1) ……R100, (2) ……R120, (3) ……R30 m の3種には、試験結果および実働上にそれぞれ長短所が認められる。

各圧密圧力における圧密度を一定として行なった急速試験は、総体的に試験結果のばらつきが少ないと判断される。しかし、この試験方法は、おのおのの圧密荷重を載荷後、その沈下量測定結果からただちに所定の圧密度に相当する沈下量の算定を行なう必要があるため、透水係数の大きい砂質土や、表-8 に示した広島空港 No. 2-3127 の試料に見られる、 t_{90} のきわめて小さい圧密圧力では、その操作は実際上不可能である。また、個々の供試体の載荷時間が異なるなどの理由から、まとまった個数での試験は、限られた試験人員では煩雑となり、実働上困難である。各圧密圧力における圧密度 120% の急速試験は、表-8 に示すように試料によっては、その試験所要時間がきわめて長いため、実用的とはいえない。

これらのことから、各圧密圧力における圧密時間を一定とする試験方法は、もっとも簡便であり実用的であると考えられる。しかし、各圧密圧力における圧密度は、必ずしも一定ではないとも推定されるので、試験上の精度はやや低くなる傾向もあると考えられるが、今回の試験結果から、実用上支障をきたすほどの相異はないと判断される。

この種の急速試験では、圧密時間の決定が重要となる。各圧密圧力における圧密時間は、最低 90% 圧密に達する時間は必要であるが、4.2.4 で述べたように、圧密度が大であるほど標準試験結果との相異は少ないと考えられることから、圧密度 90% の圧密時間では、試験誤差が生じやすいと想像される。表-11 は 90% 圧密時間の試料別例である。一般に砂質系の土は透水係数が大きいいため、短時間内で一次圧密を終了するが、粘性土における一次圧密終了時間の範囲は、きわめて大きく、分類特性との相関性も従来の標準試験結果からは、明確に見出すには至らなかった。図-18 に示すように、 m_v は一定の含水比が示す値の範囲は比較的小さいが、 c_v はきわめてその幅が大きいことから、 t_{90} のばらつきが大きいことは明らかである。従来の標準試験結果から検討すると、七尾港の試料から得た 90% 圧密の所要時間 100 分

表-11 試料別の 90% 圧密時間例

Sample No.	I_p	c_v (cm ² /min)	t_{90} (min)
羽田空港	16~70	$1.0 \times 10^{-1} \sim 5.0 \times 10^{-1}$	0.5~ 5.7
横浜	30~40	$1.0 \times 10^{-1} \sim 4.0 \times 10^{-1}$	1.0~ 7.0
久里浜	32~86	$1.2 \times 10^{-2} \sim 8.0 \times 10^{-2}$	1.0~43.0
七尾港	43~100	$7.0 \times 10^{-3} \sim 2.5 \times 10^{-2}$	2.0~95.0
久慈港	30~67	$1.5 \times 10^{-2} \sim 2.5 \times 10^{-2}$	1.0~32.6
富山港	16~75	$1.0 \times 10^{-1} \sim 1.9$	0.5~13.5
小松島港	6~24	$1.5 \times 10^{-1} \sim 2.2$	0.5~ 4.0
和歌山港	15~25	$3.0 \times 10^{-1} \sim 1.7$	0.3~ 4.0
広島空港	20~90	$6.0 \times 10^{-2} \sim 2.3$	0.1~11.7
錦海	59~90	$2.3 \times 10^{-2} \sim 4.0 \times 10^{-2}$	1.0~30.0
塩釜港	52~140	$9.5 \times 10^{-2} \sim 2.0 \times 10^{-1}$	2.0~20.2

はきわめて稀であり(表-11)、初期含水比約80%~140%のいわゆる粘性土では、約30分~1時間内ではほぼ90%の圧密を終了している。試験を行なうには、許容時間内でできるだけ圧密時間を十分とり、圧密荷重の載荷後、次段階の載荷を行なう前に、所定の圧密時間内に進行した圧密度のチェックが必要である。

また、圧密終了時間は従来の標準試験結果によると、地域的にほぼ共通の特徴があり、前もって既往の土質調査結果から、ある程度の時間の予測が可能である。

5. むすび

各種の急速圧密試験方法で得られた圧密諸係数を標準試験による値と比較した結果、次の諸点が明らかとなった。

5.1 載荷時間を短縮した急速試験方法による、体積圧縮係数(m_v)、圧縮係数(a_v)、圧縮指数(c_v)の平均圧密圧力における値および圧密降伏応力(p_0)はそれぞれ標準試験方法によるものよりも大きくなる。逆に m_v 傾度については、標準試験の方がやや大きい。しかし、これらの差異は実用上問題となるほど大きくはない。

5.2 圧密係数(c_v)にはばらつきが多く判然とはしないが、急速試験の方が若干大きい傾向も見られる。

5.3 急速試験方法のうち、初めの荷重段階を省略した p_0 0.8 については標準試験とその差は見られない。

以上のことから急速試験方法による圧密試験は標準試験の所要日数を著しく短縮し、しかも標準試験とほぼ等しい圧密諸係数を得るといえる。このことは、圧密試験の需要度がきわめて高い現在、非常に大きな意義をもつ。

しかし標準試験に準ずる試験方法として規格化された

載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について

手法の確立には至っていない現状では、試験を行なうさいの技術者の適格な判断がいっそう必要となる。その簡便さのみを重視のあまり、測定精度を無視した、試験個数の消化のための乱用はさけるべきであり、急速試験によって圧密諸係数を求めた場合には、その旨を明記すべきであろう。

6. あとがき

今回の試験は試験方法の検討には、試験条件、試験個数ともに十分とはいえない。とくに砂質土による比較試験および種々の圧密時間による急速試験のデータがないため、今後はこれらについての試験を行ない、試験方法を検討してゆきたい。しかし、今回の比較試験から、急速試験によって求めた圧密諸係数が実用に適用できることが、明らかとなりほぼ所期の目的を達することができた。

このレポートを作るにあたり、種々御指導、御援助頂いた奥村土質試験課長、柳瀬地盤改良研究室長、中瀬土性研究室長、土質試験課、土性研究室の方達に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) R.D. Northey "Rapid Consolidation test for Routine Investigations." Proc. 2nd Australia-New Zealand Conf. on S.M.F.E (1956) pp. 20~26
- 2) Hsuan-LohSu "Procedure for rapid consolidation test," Proc. ASCE vol 84 No-SM3 (1958)
- 3) 野田建二 "急速圧密試験法について" 土の基礎 8 巻 3 号 (1960) pp. 34~37
- 4) 土質工学会 "土質試験法" 1964, 3

記 号 表

- A : 供試体断面積 (cm²)
- a_v : 圧縮指数 (cm²/kg)
- a_{v'} : 急速試験による圧縮指数 (cm²/kg)
- \bar{a}_v : 平均圧縮指数 (cm²/kg)
- c₀ : 圧縮指数
- c_v : 圧密係数 (cm²/min)
- c_{v'} : 急速試験による圧密係数 (cm²/min)
- d₀ : 初期補正值 (1/100 mm)
- d₉₀ : 90% 圧密量 (1/100 mm)
- d₁₀₀ : 100% 圧密量 (1/100 mm)
- D : 土粒子の直径 (mm)
- e : 間ゲキ比

- de : 間ゲキ比変化量
- Σde : 間ゲキ比全変化量
- e_i : 供試体の初期間ゲキ比
- e_{cor} : 補正間ゲキ比
- h : 供試体の高さ (cm)
- h' : 試料の深さ (cm)
- \bar{h} : 供試体の平均高さ (cm)
- I_p : 塑性指数
- m_v : 体積圧縮係数 (cm²/kg)
- m_{v'} : 急速試験による体積圧縮係数 (cm²/kg)
- p : 圧密圧力 (kg/cm²)
- p₀ : 先行降伏応力 (kg/cm²)
- p₁ : 初期荷重 (kg/cm²)
- p₂ : 第 2 段階の荷重 (kg/cm²)
- p₃ : 第 3 " (kg/cm²)
- p₁0.8 : 初期荷重を 0.8kg/cm² で行なった急速試験
- Δp : 増加圧力 (kg/cm²)
- ΣΔp : 全増加圧力
- R100 : 各圧密圧力の圧密度を 100% で行なった急速試験
- R120 : 各圧密圧力の圧密度を 120% で行なった急速試験
- R 30 m : 各圧密圧力における圧密時間を 30 分で行なった急速試験
- r : 一次圧密比
- s : 沈下量 (1/100 mm)
- Δs : 沈下の変化量 (1/100 mm)
- ΣΔs : 全圧縮量
- t : 時間
- t₉₀ : 90% 圧密時間 (min)
- t₁₀₀ : 100% 圧密終了時間 (min)
- U : 圧密度 (%)
- w : 含水比 (%)
- w_i : 供試体の初期含水比 (%)
- Δw_i : 供試体初期含水比の差
- w_{ic} : 供試体の平均初期含水比
- γ_c : 単位体積重量 (g/cm³)
- 24 h : 標準試験
- ¹³⁰p₀ 24h : 圧密先行荷重より小さい圧密圧力を圧密度 130%, 大きい圧密圧力を 24 時間で圧密する急速試験

(1969, 4, 7 受付)