



Title	凍土の強度について
Author(s)	真井, 耕象; Manai, Kōzō
Citation	北海道大學工學部研究報告, 16, 45-68
Issue Date	1957-06-05
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40605">https://hdl.handle.net/2115/40605</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	16_45-68.pdf



# 凍土の強度について

真井耕象

(昭和32年2月19日受理)

## On the Strength of Frozen Soil

Kōzō MANAI

### Abstract

Although a subject about the strength of frozen soil has been scarcely discussed, it seems to be more important hereafter for constructional engineers in a cold region, such as Hokkaidō.

In this paper, compressive, shearing and bond strength of artificially frozen soil are experimentally treated. These strength of frozen soil are effected by several factors as follows; type, water content and density of soil, freezing temperature and other freezing conditions. Therefore, relationships between each strength of frozen soil and above-mentioned factors are found and represented with graph. However, themes about bending, tensile strength and plastic properties of frozen soil are not treated yet here.

### 目次

1. 序説	45
2. 試験法一般	46
3. 凍土の圧縮強度 ( $\sigma_c$ )	47
4. 凍土の剪断強度 ( $\tau$ )	54
5. 凍土の付着強度 ( $\tau_0$ )	57
6. 総括— $\sigma_c$ , $\tau$ , $\tau_0$ の比較	59

### 1. 序説

北海道のような寒地では冬季間長い所では約半歳にわたり、地表面が凍結し、その最大深度は100 cm 以上にもおよぶ。したがつてこの地域における冬季間の各種土工工事は凍土の処理が困難なため著しく制約される。また地面と接する各種作工物の凍上被害は、凍土と作工物の付着強度を低下させることによつてこれを緩和することができる。ときには、泥炭地のようなきわめて軟弱な湿地帯では作業現場に重量の施工用材料および機械の搬入、足場の設定が困難であるから、むしろ冬季間に凍結地盤を利用した方が得策な場合もおこる。

今後、冬季における建設工事を促進し、また凍上被害を緩和するため、凍土の土質力学的

研究は不可欠の重要課題であると考えられる。

しかるに、凍土の問題についてはわが国ではほとんど取扱われていない。外国の資料もきわめて少なく、ただ東北大学原田教授の紹介によるソ連の文献<sup>1)</sup>以外はあまりないようである。ここでは凍土の強度とこれを支配する諸条件について低温室内で作った人工凍土によつて実験的に攻究したもので、まず凍土の圧縮、剪断および付着強度を取扱つた。なお凍土の引張および曲げ強度、凍土の粘性塑性その他の特性、自然凍土などについても引続き研究を進める予定である。

### 2. 試験法一般

試験に使用した土は主として粘土(北大校庭のもの)と砂質土(豊平川砂)で、比重はそれぞれ2.62, 2.67, 粒度は表-1および図-1の粒度曲線に示すものである。またこれら2種の土を種々の割合に配合したもの(表-1, 図-1参照), 人工氷および泥炭についても試験した。

かような土を種々の組成, 含水比および密度で鉄製型枠につめ、低温室で所定の凍結条件で凍結せしめる。凍結後は1日間所定温度に保つ。一旦載荷面を仕上げたのち、いま一度低温

表-1 試料土質

No.	配合比	組 成 (%)			土 質 名	記 号	比 重
		粘 土	シルト	砂			
1	C	43	42	15	粘 土 質	C <sub>1</sub>	2.62
(2)	3C:1S	33	31	36	"		
(3)	2C:1S	29	28	43	粘 土 質 ローム	L <sub>1</sub>	2.64
(4)	1C:1S	21	21	58	砂 質 粘 土 ローム		
(5)	1C:2S	14	14	72	砂 質 ローム	L <sub>3</sub>	2.65
(6)	1C:3S	11	11	78	"		
7	S	0	0	100	砂 質 土	S	2.67

( ) は配合した試料

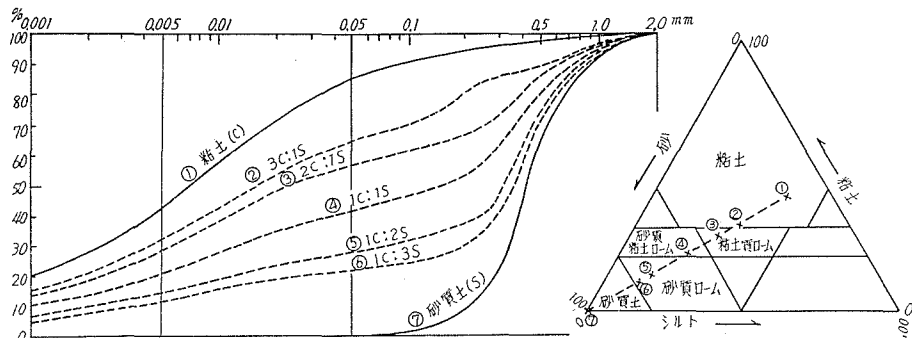


図-1 試料土の粒度曲線

1) 原田千三著:「雪, 氷, 凍土」。

室内で温度を調整してから、アムスラ試験機にかける。この試験機は低温室外にあるため強度試験中供試体の温度変化をできるだけ少なくするように、供試体の外周をあらかじめ供試体と同じ温度に冷却した断熱材（おが屑と灰とを混ぜたもの）で被覆し、温度変化を測定しながら試験をした。なお凍土の強度は荷重速度にかなり影響されるが、比較的速い一定速度（圧力制御）で試験した。

供試体の寸法、個数および試験装置は次の如し。

(a) 圧縮強度試験； 供試体寸法  $7 \times 7 \times 7$  cm, 個数 143 個, 試験装置は 図-2 a に示す。

(b) 剪断強度試験； 供試体は径 15 cm, 高さ 5 cm で, 径 5 cm のプランジャーで押抜く。個数 76 個。試験装置は 図-2 b に示す。

(c) 付着強度試験； (b) と同じ径 15 cm, 高さ 5 cm の型枠の中央に所定材料および表面条件の径 5 cm の押抜棒をおいて土をつめ、凍結させてから押抜く。押抜棒は木とコンクリートを用い、その表面は粗なもの、平滑なものおよびアスファルト塗布のものとした。個数は 64 個, 試験装置は 図-2 c のようである。

これら各供試体の試験結果は末尾附表に添付されている。

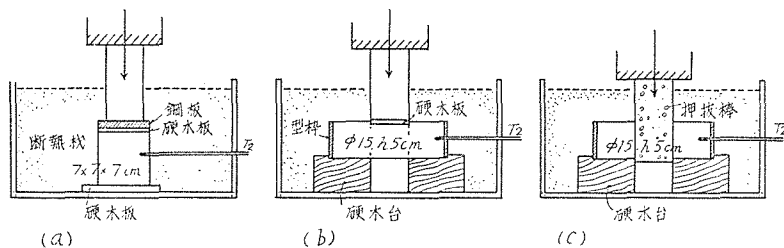


図-2 強度試験装置

(a) 圧縮強度試験 (b) 剪断強度試験 (c) 付着強度試験

### 3. 凍土の圧縮強度 ( $\sigma_c$ )

(a) 含水比との関係——図-3 は砂質土および粘土について湿土の含水比と凍土の圧縮強度との関係を求めたもので、強度試験中の平均温度  $T_2$  が  $-6 \sim -10$  °C の範囲のものをプロットしたものである。図中の数字は  $T_2$  (マイナス) の値を表わす。砂質土の場合は含水比を僅か増加させると強度は著しく大となる。本実験では含水比が 20% を超えると、試料填充の際水がしみ出るためそれ以上のものについては試験されていない。粘土の場合も含水比の増加により強度を増大するが、含水比 35% のときほぼ最大値に達し、それ以上の含水比に対しては却つて低下して氷の強度に近づく。もつとも砂質土の場合も、もし含水比をさらに増して過飽和状態となれば粘土の場合と同様にその強度を低下して、ついには氷の強度に一致するはずである。氷の強度は平均  $54 \text{ kg/cm}^2$  であるのに対し、砂質凍土では  $90 \text{ kg/cm}^2$  に達し、粘土質凍土では最高  $70 \text{ kg/cm}^2$ , 平均  $58 \text{ kg/cm}^2$  を示し、氷自体の強度よりも高く、とくに砂質凍土が強

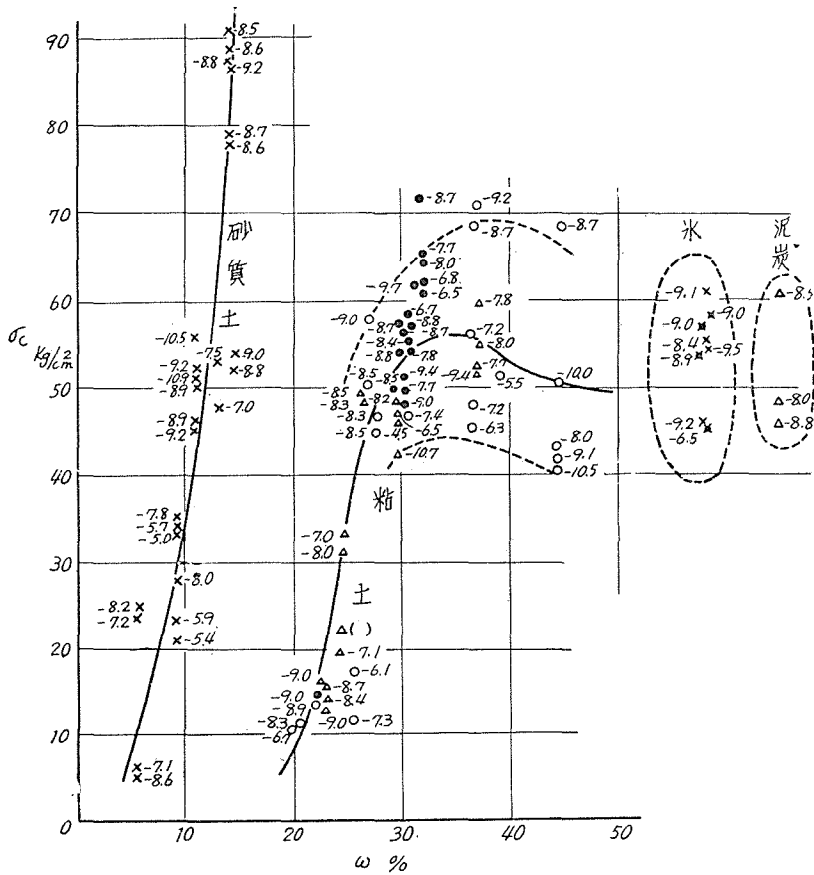


図-3  $\sigma_c$ - $\omega$  曲線

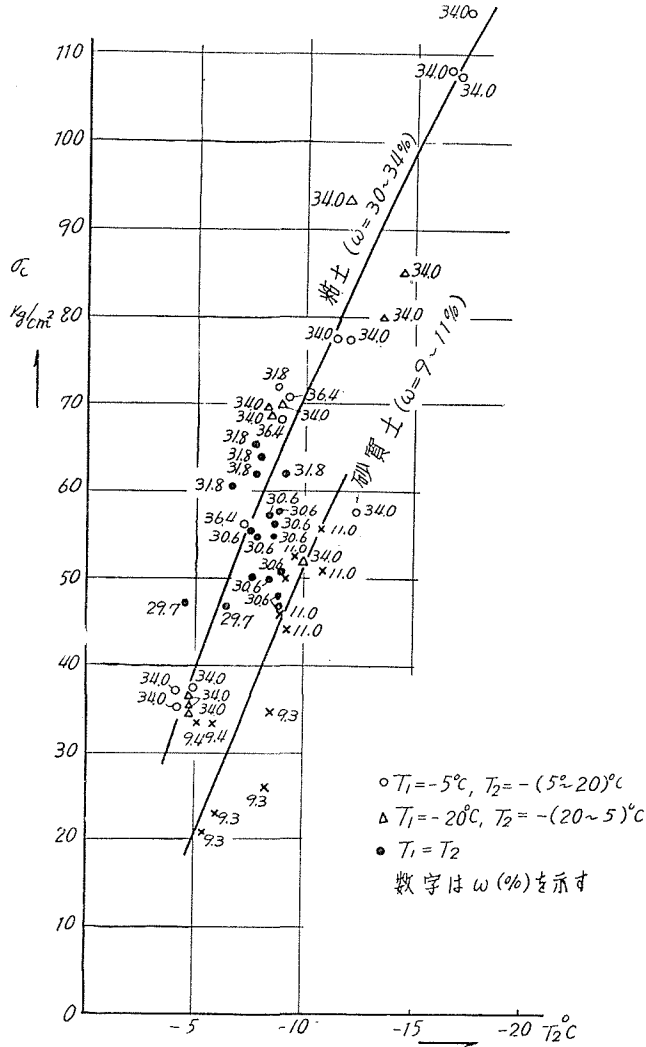
大なる値を発揮することは注目すべきことである。

なお、図-3には氷、泥炭凍土の圧縮強度の値も記載した。泥炭はその水平層を水平の位置にしたときの値である。

(b) 凍結温度 ( $T_2$ ) との関係——図-4は主として粘土について、強度試験時の平均凍結温度と ( $T_2$ ) 圧縮強度との関係を求めたもので、凍結温度が低下するとともに強度は著しく増大することを示している。この場合試料の含水比 (図中の数字をもつて示すもの) は30~40%の範囲のものである。 $T_2 = -20^\circ\text{C}$  までの温度について試験されているが、 $T_2 = -17^\circ\text{C}$  で最高  $110 \text{ kg/cm}^2$  に達し、氷の強度より遙かに大で、元満鉄の実験値<sup>2)</sup>  $55 \text{ kg/cm}^2$  ( $-17^\circ\text{C}$  の氷) の2倍を示している。なお砂質土の場合の含水比は9.3~11%である。実験数は少ないがほぼ同様な傾向をもっているようである。氷自体も凍結温度に比例して強度を増大する (図-10参照) が、凍土の強度増大率は氷のそれに比しはるかに大であることがわかる。

図-4の粘土質凍土の強度において、白丸印のものは初め  $T_1 = -5^\circ\text{C}$  で凍結させたものを

2) 南滿洲鉄道株式会社鉄道総局建設局：「河水、特に氷上軌道に関する研究」昭和16年8月。



図—4  $\sigma_c-T_2$  曲線

強度試験の直前に一旦それぞれ  $T_2 = -(5 \sim 20)^\circ\text{C}$  まで温度を下げて試験し、三角印のものは、まず  $T_1 = -20^\circ\text{C}$  で凍結させ、強度試験直前にそれぞれ  $T_2 = -(20 \sim 5)^\circ\text{C}$  に温度を上げて試験し、黒丸印のものは  $T_1 = T_2$ 、すなわち初めの凍結温度のままの温度で強度試験することを企図したものである。実際の試験では  $T_2$  の温度は、所定値よりかなり変化し、本実験の精度では、一般に以上のような凍結経歴の影響をつかむことは出来なかつた。

(c) 土の組成との関係——図—5は砂質土と粘土とを7種に配合したもの(図—1)をほぼ塑性状態の含水量にして凍土の圧縮強度を比較したもので、そのときの各供試体の含水比( $\omega$ )、湿潤および乾燥密度( $r_s, r_d$ )、間隙比( $e$ )、飽和度( $S$ )の値は同図の下に表示されている。すなわち含水比は粘土質ほど大となりほぼ直線的に増大しているが、湿潤密度は砂質土：粘土が75：

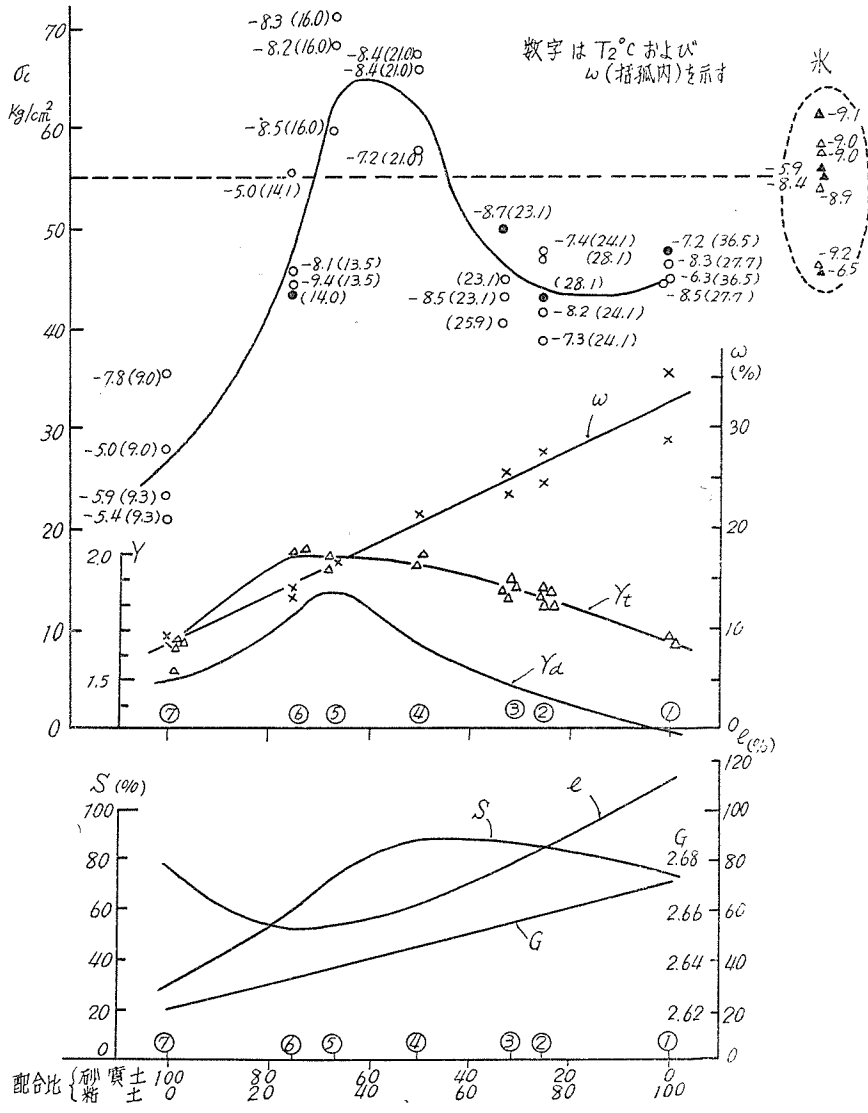


図-5 土質 (組成別) と  $\sigma_c$  の関係

35で最大 (2.0) となり, 乾燥密度は 67:33 で最大 (1.86) となる。また空隙比は 75:25 のときに最小 (51%) となり, 飽和度は 50:50 のとき最大 (88%) を示す。一方凍土の圧縮強度は 67:33 の時に最大 (65 kg/cm<sup>2</sup>) であるから, 大体乾燥密度最大のとときに凍土の圧縮強度は最大値をとっていることになる。このときの凍土の強度は  $T_1 = -10^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = -(5 \sim 9)^\circ\text{C}$  の場合である。

(d) 密度との関係——前項 (c) で各種組成の凍

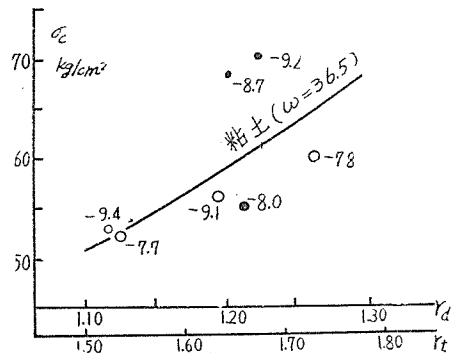


図-6  $r-\sigma_c$  曲線 (粘土)

土の強度は含水比でなく、むしろ密度、とくに乾燥密度に支配されることを知った。よつて同一試料(粘土)について、含水比を一定( $w=36.5\%$ )にして密度のみを変えて凍土の圧縮強度に及ぼす影響を調べると、図-6の如く明らかに凍土の圧縮強度は密度が増大するとともに上昇することがわかる。

(e) 凍結条件との関係——(b)項で、凍土の圧縮強度は凍結温度に著しく影響されるが、それは主として強度試験時の温度  $T_2$  に左右されて、強度試験前の温度  $T_1$  には余り関係がないことを知った。ここではさらに凍結経歴の影響を確かめるために、粘土について試料を  $-10^\circ\text{C}$  で凍結せしめ、試料の温度が丁度  $-10^\circ\text{C}$  に達してからの経過日数が 0, 1, 2, 3 日となるときの強度を比較した。その結果は表-2の如くで、経過日数の影響は僅少であり、本実験の精度では判定できない。かように粘土の凍結経歴の影響を調査したわけは、粘土のような土質では内部の微細毛管水や吸着水は一般には凍結困難であるため、凍結温度を漸次低下するか、あるいは長い時間をかけることにより、これら土壌水の凍結が進行し、これに応じて強度が漸増するのではないかと考えたからである。

表-2 凍土の凍結日数と圧縮強度—(粘土)

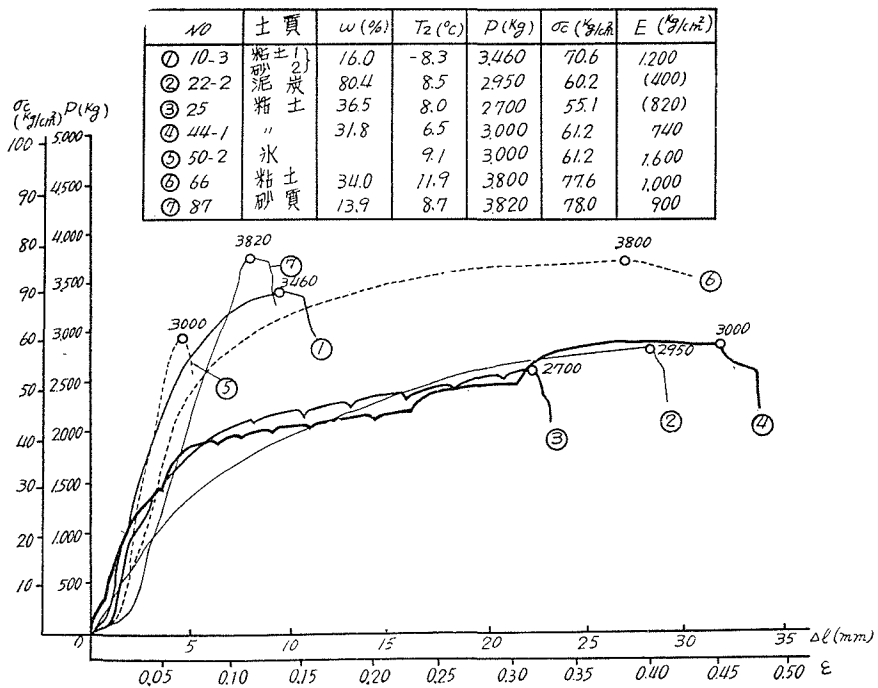
凍結日数 (日)	含 水 比 31.8%		含 水 比 30.6%	
	凍 結 温 度 ( $T_2$ )	圧 縮 強 度 (平 均)	凍 結 温 度 ( $T_2$ )	圧 縮 強 度 (平 均)
0	$-7.7^\circ\text{C}$	65.4	$-9.0^\circ\text{C}$	48.0
	$-6.8$	62.2	$-9.4$	51.0
		63.8 kg/cm <sup>2</sup>		49.5 kg/cm <sup>2</sup>
1			$-7.7$	50.0
			$-8.4$	55.6
				52.8
2	$-8.0$	64.4	$-7.8$	55.3
	$-6.5$	61.2	$-8.5$	50.0
		62.8		52.7
3	$-9.2$	61.8	$-8.7$	57.7
	$-8.7$	71.8	$-8.7$	56.6
			$-8.8$	56.8
			$-8.8$	55.1
		66.8		56.6

凍結日数とは  $-10^\circ\text{C}$  に達してからの経過日数

また凍結方法として、自然の地盤が表面から凍結する場合を考えて、凍結方向を表面からの一方向だけに限定し、他はすべて断熱して凍結させた。かようにして凍土内の氷の結晶軸の方向をきめて、強度試験には凍結方向に荷重をかけた場合と、これに直角の方向に荷重をかけた場合の試験をした。試験結果は表-3に示されているが、後者の方がやや強いようであるが逆な値もあつて、両者の相違は無視し得る程度のものである。

表—3 凍土の凍結方向と圧縮強度

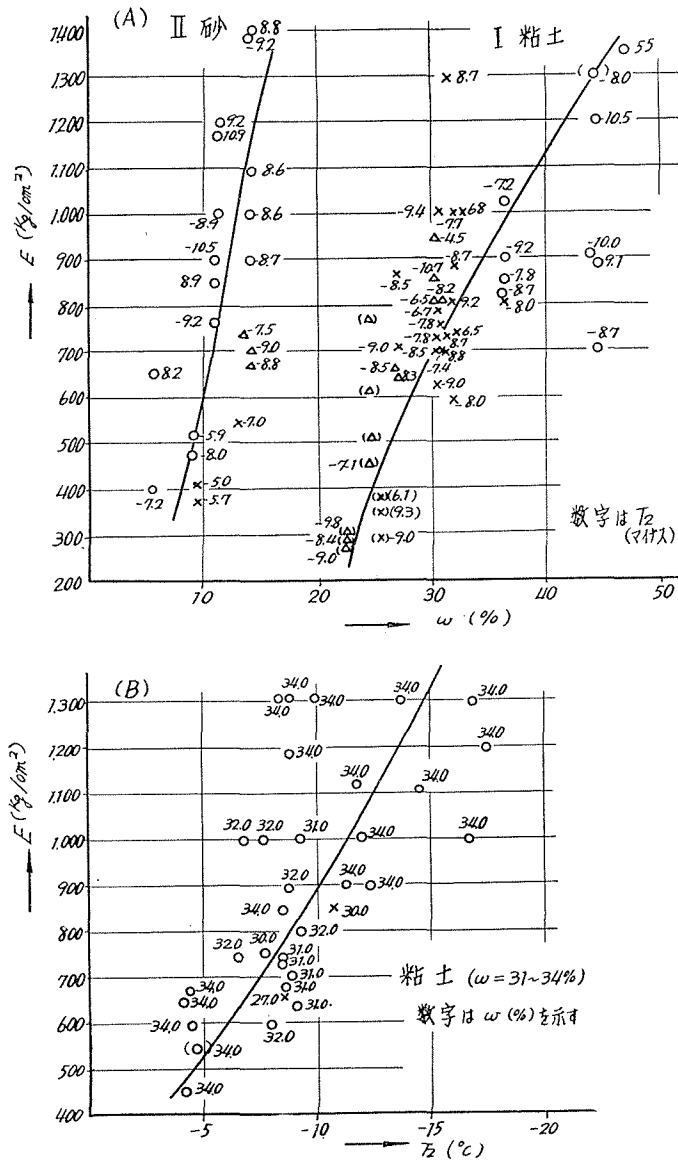
凍土の土質	凍結方向に荷重			凍結方向に直角に荷重		
	含水比 (%)	T <sub>2</sub> (°C)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	含水比 (%)	T <sub>2</sub> (°C)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
氷		- 6.9	31.4		-5.9	55.6
		- 8.9	54.1		-8.4	55.1
		- 9.2	46.3		-6.5	45.4
粘 土	29.7	-10.7	43.1	29.7	-6.5	47.0
	29.7	- 8.2	48.6	29.7	-4.5	47.2
	27.0	- 8.5	49.5			
	27.0	- 8.3	49.5			
	24.4	- 7.1	19.3	24.4		31.6
	24.4	- 6.7	33.7	24.4		22.4
	22.6	- 8.7	15.4	22.6	-9.0	13.3
	22.6	- 8.4	14.3	22.6	-9.0	15.3
砂質土	13.9	- 8.6	88.8	13.9	-8.5	91.0
	13.9	- 8.7	78.0	13.9	-8.8	87.5
	13.9	- 8.6	79.2	13.9	-9.2	87.4
	11.0	- 9.2	52.6	11.0	- 9.2	44.9
	11.0	- 8.9	50.4	11.0	- 8.9	45.9
	11.0	-10.5	56.1	11.0	-10.9	51.0



図—7 代表的歪—圧力図

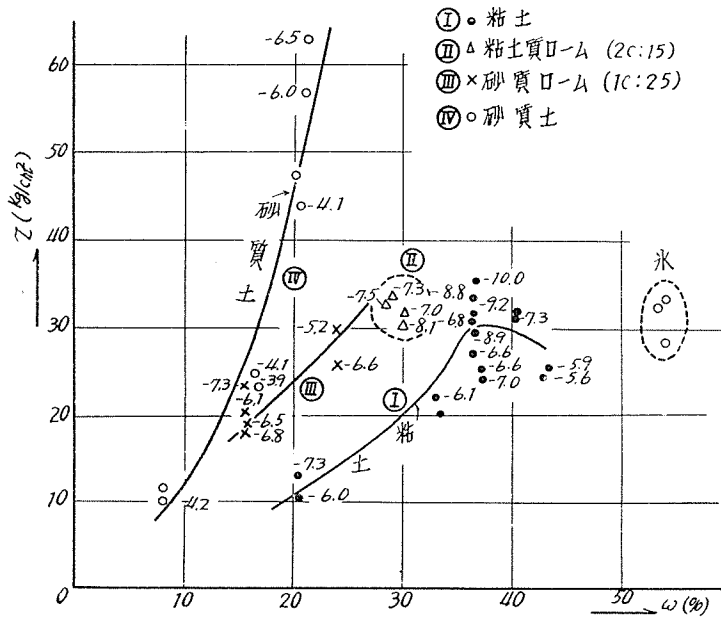
(f) 歪—応力図——凍土の圧縮試験における代表的な歪—応力図を図—7に示す。图中①は砂質ローム、⑤は氷、⑦は砂質土でそれらの線図はいずれも脆性材料の如く粘りがないが、③④⑥は粘土の場合でいずれも粘り強く、破壊する前に大きな塑性流動を示す。とくに③④の線図ではクリープ中に幾回となく切れ目ができる。すなわち途中で一旦ガクンと破壊して再び回復する。ガクンと破壊した瞬間、圧力が抜かれるため復氷して更に持ちこたえるような過程をたどつて遂に完全に破壊する。②の泥炭も大きく塑性流動する。

(g) 弾性係数——図—8は凍土の圧縮に対する弾性係数の値で、歪—応力図のほぼ直線部



図—8 凍土の圧縮に対する弾性係数





図—11 τ—ω 曲線

比を増すに従つて急激に上昇し含水比  $\omega=21.0\%$  で剪断強度  $\tau=60 \text{ kg/cm}^2$  に達している。しかもこれらは圧縮強度の場合と大体一致した傾向を示している。ただ凍土の剪断強度は圧縮強度の砂質土で約  $1/3$ 、粘土で約  $1/2$  で小さく、ロームは両者の中間的強度を示す。

(b) 凍結温度との関係——図—12 は凍土の剪断強度と凍結温度との関係図である。砂質土、(粘土質)ローム、粘土の含水比をそれぞれ一定のまま凍結温度  $T_2$  を低下せしめるとき、これらの剪断強度は何れもほぼ平行して著しく増大する。砂質凍土は含水比  $\omega=21\%$  で  $T_2=-20^\circ\text{C}$  において剪断強度  $110 \text{ kg/cm}^2$  に達するが、同じ砂質凍土でも含水比  $\omega=8\%$  では  $25 \text{ kg/cm}^2$  位で上昇は停止している。

(c) 密度との関係——図—13 は (砂質)ロームについて含水比  $15.6\%$  のときの湿潤密度と剪断強度との関係を示すもので、明らかに密度に応じて剪断強度は増大している。

(d) 凍結経歴の影響——図—14 は含水比  $36.7\%$  の粘土を  $T_1=-10^\circ\text{C}$  で凍結せしめ、強度試験直前に温度を  $T_2$  に高めて試験する。これは図中の  $a$  曲線で表わされる。 $T_1=T_2$  として試験したものは  $b$  曲線である。両者を比較すると  $a$  曲線は  $b$  曲線より幾分強く出ているが、試験個数も少ないのではつきりしたことは言えない。

(e) 他の資料との比較——凍結温度との関係について、砂質凍土および粘土質凍土の剪断強度に関するソ連の資料および氷の剪断強度に関する元満鉄の資料を図—15 に示す。

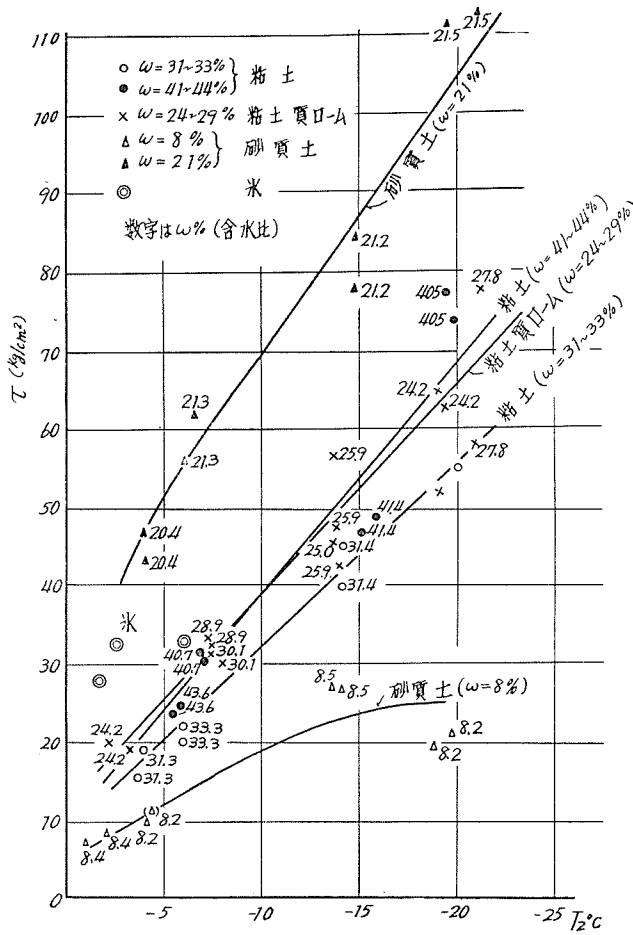


図-12  $\tau-T_2$  曲線

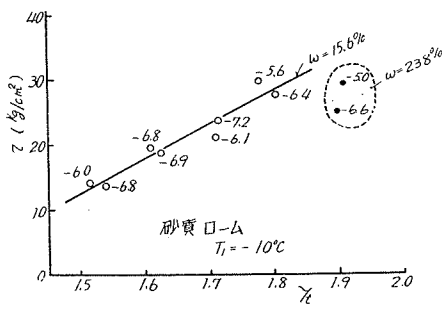


図-13  $\tau_e-\tau$  曲線 (砂質土-Δ)

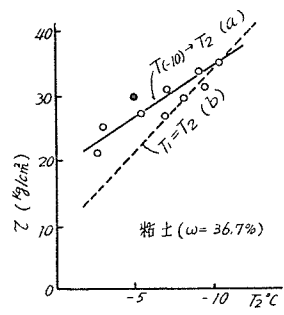
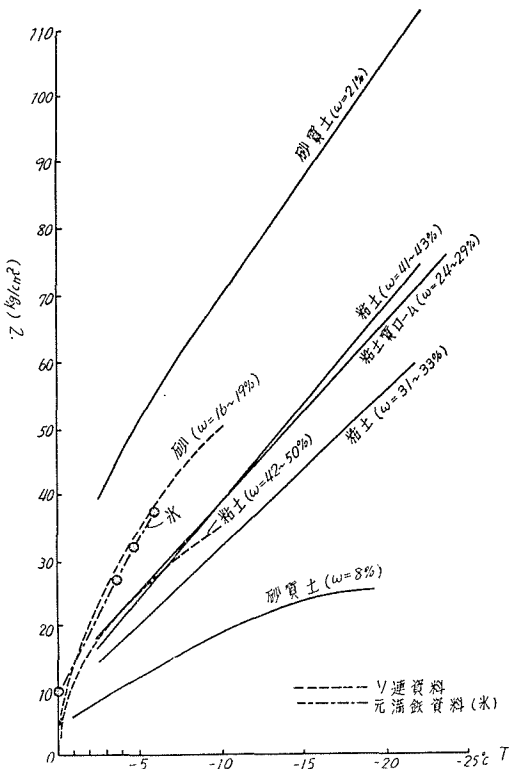
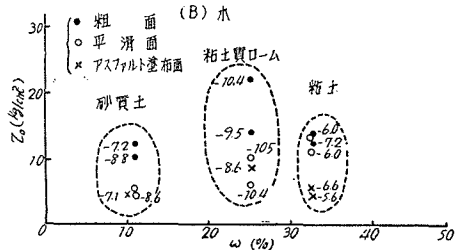
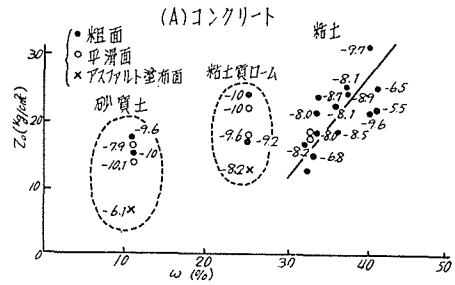


図-14 凍結経歴と  $\tau$  の関係 (粘土)



図—15  $\tau-T$  についてソ連資料との比較



図—16  $\tau_0$  と  $\omega$  の関係

### 5. 凍土の付着強度 ( $\tau_0$ )

コンクリートおよび木に対して、これらの表面を粗なもの、平滑なものおよびアスファルトを塗布したものにつき凍土の付着強度を求めたものである。

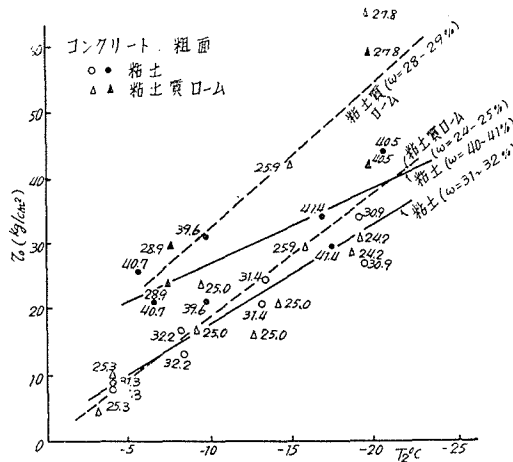
(a) 含水比との関係——図—16 (A) はコンクリートに対する凍土の付着強度を含水比と対比してプロットしたものである。含水比との関係は粘土の場合について求められているが、砂質土および (粘土質) ロームについてはデータが不足なためこの関係は明らかでない。

図—16 (B) は木との付着強度を示す。

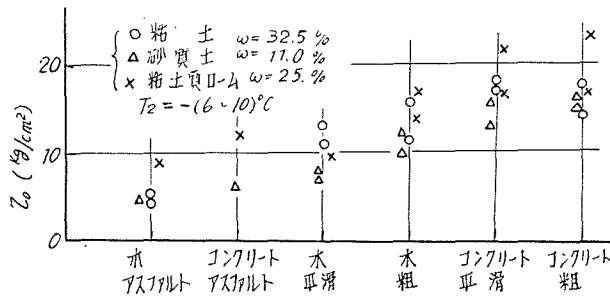
(b) 凍結温度との関係——図—17 はコンクリートの粗面に対する粘土と (粘土質) ロームの付着強度と凍結温度  $T_2$  との関係を図示したもので、何れも凍結温度とともに付着強度は増大している。

(c) コンクリートおよび木の表面条件との関係——粘土、(粘土質) ロームおよび砂質の凍土がコンクリートおよび木の粗面、平滑面およびアスファルト塗布面に対する付着強度を求めその大きさに順に述べて図示すると図—18 となる。その順序は土質にはあまり関係なく、大体においてコンクリート粗面が最大で、ついでコンクリート平滑面、木粗面、木平滑面となり、最小はコンクリート及び木のアスファルト塗布面となつている。

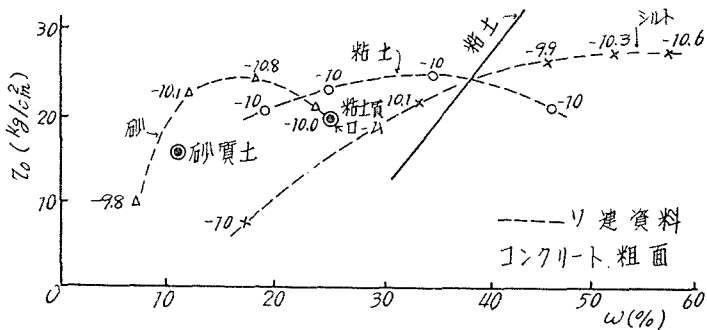
(d) ソ連資料との比較—**図—19**はソ連資料を記したもので、砂，シルト，粘土とも含水比の影響は割合に小さいことを示している。ただしこの場合コンクリートの表面条件は不明である。



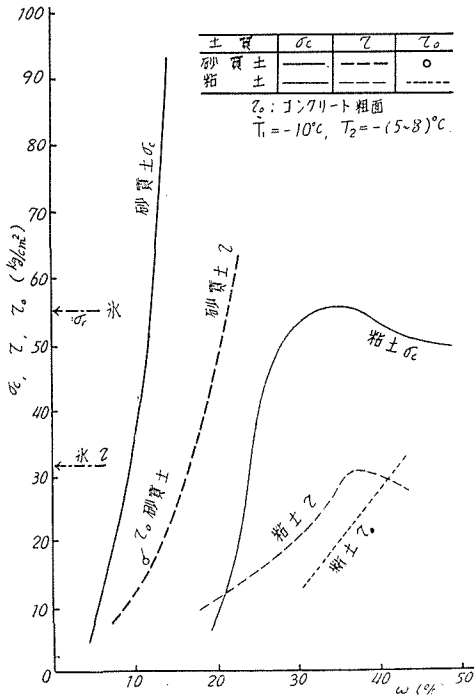
図—17  $\tau_0-T_2$  曲線



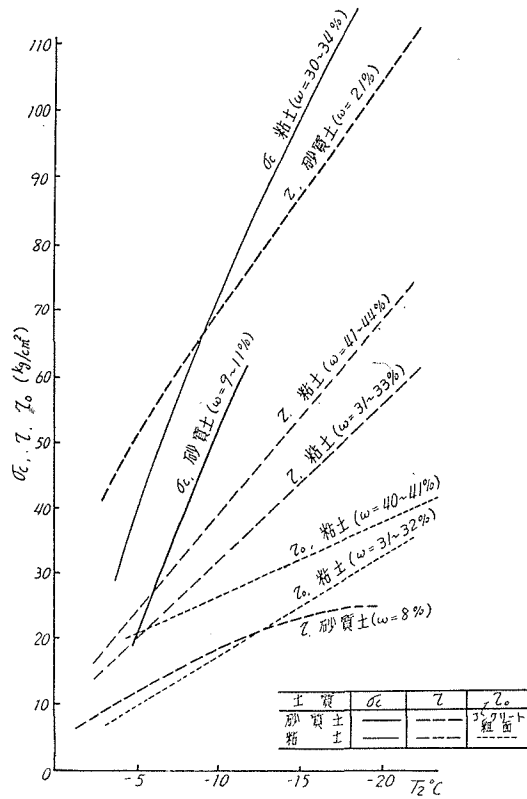
図—18  $\tau_0$  と付着面の関係



図—19  $\tau_0-\omega$  についてソ連資料との比較



図—20 ω に対する  $\sigma_c$ ,  $\tau$ ,  $\tau_0$  の比較



図—21  $T_2$  に対する  $\sigma_c$ ,  $\tau$ ,  $\tau_0$  の比較

6. 総括— $\sigma_c$ ,  $\tau$ ,  $\tau_0$  の比較

以上の実験結果より凍土の圧縮強度 ( $\sigma_c$ ), 剪断強度 ( $\tau$ ) および付着強度 ( $\tau_0$ ) を相互に比較すると 図—20, 図—21 が得られる。図—20 は含水比との関係を示し, 図—21 は強度試験時の凍結温度  $T_2$  との関係を示す。さらにこれらを表示すれば表—4, 表—5 の如くなる。

表—4 凍土の強度と含水比との関係  
( $T_1 = -10^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = -(5\sim 8)^\circ\text{C}$ )

	$\omega$	%	8	10	12	14	18	22
	砂質凍土	$\sigma_c$	kg/cm <sup>2</sup>	23	33	50	77	
$\tau$		"	8	11.5	15	21	32	55
$\tau_0$		"		15				
粘土質凍土	$\omega$	%	25	30	35	40	45	50
	$\sigma_c$	kg/cm <sup>2</sup>	33	54	55	53	50	
	$\tau$	"	14	20	27	29	27	
	$\tau_0$	"			18	26		

$\tau_0$  はコンクリート粗面との付着強度

表-5 凍土の強度と凍結温度との関係

凍土	$T_2$	-5°C	-10°C	-25°C	-20°C	$\omega$ %
砂質凍土	$\sigma_c$ kg/cm <sup>2</sup>	22	52			9~11
	$\tau$ "	{ 12 52	{ 19 70	{ 24 87	{ 24 105	{ 8 21
	$\tau_0$ "		15			10
粘土質凍土	$\sigma_c$ kg/cm <sup>2</sup>	40	72	100		32~34
	$\tau$ "	{ 20 24	{ 32 39	{ 44 58	{ 55 68	{ 31~33 41~44
	$\tau_0$ "	{ 10 21	{ 17.5 26	{ 25 32	{ 32.5 38	{ 31~32 40~41

$\tau_0$  はコンクリート粗面との付着強度

なお本研究の実験には在学中の学生安濃孝一君，新屋環君，須藤正直君（以上昭和28年），蛭子岩男君，奥村淳一君，豊沢義朗君，屋口有彦君（以上昭和29年）に負う所が多い。また本研究費の一部は昭和29年度文部省科学研究費によつたものであることを附記する。

附表 1 圧縮強度試験

No.	土質	含水比 (%)	湿潤密度	凍結温度		圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	備考
				T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)		
1-1	粘土 (C)	36.5		-10	-7.2	47.5	
1-2	"	27.7	1.66	"	-8.3	46.5	
2-1	"	36.5		"	-6.3	44.9	
2-2	"	27.7	1.64	"	-8.5	44.9	
3-1	3C : 1S	28.1	1.85	"	×	42.9	
3-2	"	24.1	1.78	"	-8.2	41.7	
4-1	"	28.1	1.85	"	-6.5	47.0	
4-2	"	24.1	1.79	"	-7.3	38.3	
4-3	"	24.1	1.85	"	-7.4	47.6	
5-1	2C : 1S	25.9	1.89	"	-6.7	33.7	
5-2	"	23.1	1.85	"	-8.5	44.4	
6-1	"	25.9	1.86	"	×	39.8	
6-2	"	23.1	1.84	"	-8.5	42.9	
6-3	"	23.1	1.84	"	-8.7	50.2	
7-1	1C : 1S	21.6	2.00	"	×	41.6	
7-2	"	21.0	1.98	"	-7.8	57.4	
8-1	"	21.6	1.98	"	×	39.2	
8-2	"	21.0	1.96	"	-8.4	67.2	
8-3	"	21.0	1.97	"	-8.4	66.1	
9-1	1C : 2S	16.7	1.95	"	×	30.3	
9-2	"	16.0	1.97	"	-8.5	59.7	
10-1	"	16.7	2.00	"	×	30.3	
10-2	"	16.0	1.98	"	-8.2	68.0	
10-3	"	16.0	1.97	"	-8.3	70.6	
11	1C : 3S	14.1	2.00	"	-8.0	55.7	
12	"	14.1	2.01	"	×	43.9	
13-1	砂質土 (S)	9.3	1.67	"	-5.9	23.5	
13-2	"	9.0	1.63	"	-8.0	27.8	
14-1	"	9.3	1.54	"	-5.4	21.2	
14-2	"	9.3	1.67	"	-7.8	35.4	
15	氷			"		22.5	
16	"			"		12.2	
17-1	粘土 (C)	39.1	1.63	"	-5.5	51.0	
17-2	"	36.4	1.67	"	-9.2	71.0	
18-1	"	39.1	1.59	"	-5.9	32.7	
18-2	"	36.4	1.64	"	-8.7	68.4	
18-3	"	36.4	1.64	"	-7.2	56.2	
19-1	粘土 (C)	44.5	1.52	"	-9.1	42.0	
19-2	"	44.4	1.53	"	-8.7	68.4	

No.	土質	含水比 (%)	湿潤密度	凍結温度		圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	備考	
				T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)			
20-1	粘土	44.5	1.55	-10	-8.0	42.7		
20-2	"	44.4	1.53	"	-10.5	40.8		
20-3	"	44.4	1.54	"	-10.0	50.6		
21-1	泥炭		1.01	"	-8.0	48.1		
21-2	"		1.00	"	-8.5	60.2		
22-1	"		0.99	"	-8.0	32.7		
22-2	"		0.98	"	-8.8	45.7		
23	粘土(C)	36.5	1.53	"	-7.7	52.7		
24	"	36.5	1.53	"	-9.4	52.7		
25	"	36.5	1.66	"	-8.0	55.1		
26	"	36.5	1.73	"	-7.8	59.8		
27	砂質土(S)	9.4	1.75	"	-5.7	34.1		
28	"	9.4	1.73	"	-5.0	34.2		
29-1	"	12.9	1.96	"	-7.0	47.5		
29-2	"	14.3	1.85	"	-8.8	52.2		
30-1	"	12.9	1.90	"	-7.5	53.1		
30-2	"	14.3	1.81	"	-9.0	53.7		
31	氷			"		57.7		
32	"			"		58.2		
33	粘土(C)	20.8	1.49	"	-8.3	11.7		
34	"	20.8	1.38	"	-6.7	11.4		
35	1C:3S	13.5		"	-8.1	45.3		
36	"	13.5		"	-9.4	43.9		
37-1	粘土(C)	25.6	1.47	"	-6.1	12.2		
37-2	"	22.6	1.45	"	-9.0	14.3		
38-1	"	25.6	1.50	"	-7.3	17.0		
38-2	"	22.6	1.50	"	-8.9	14.3		
39-1	"	30.6	1.71	"	-6.7	58.3		
39-2	"	27.0	1.76	"	-9.0	58.2		
40-1	"	30.6	1.69	"	-7.4	46.3		
40-2	"	27.0	1.69	"	-8.5	50.0		
41-1	"	31.8	1.66	"	-7.7	65.4	凍結日数	0日
41-2	"	30.6	1.53	"	-9.0	48.0	"	"
42-1	"	31.8	1.71	"	-6.8	62.2	"	"
42-2	"	30.6	1.65	"	-9.4	51.0	"	"
43-1	"	31.8	1.70	"	-8.0	64.4	"	2日
43-2	"	30.6	1.67	"	-7.8	55.3	"	"
44-1	"	31.8	1.70	"	-6.5	61.2	"	"
44-2	"	30.6	1.65	"	-8.5	50.0	"	"

No.	土質	含水比 (%)	湿潤密度	凍結温度		圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	備考	
				T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)			
45-1	粘土 (C)	31.8	1.68	-10	-9.2	61.8	凍結日数	3日
45-2	"	30.6	1.61	"	-8.7	57.7	"	"
45-3	"	30.6	1.68	"	-8.7	56.6	"	"
46-1	"	31.8	1.69	"	-8.7	71.8	"	"
46-2	"	30.6	1.69	"	-8.8	56.8	"	"
46-3	"	30.6	1.67	"	-8.8	55.1	"	"
47-1	氷			上面より -10	-6.9	31.7	上面	荷重
47-2	"			" "	-8.9	54.1	"	"
48-1	"			" "		×	"	"
48-2	"			" "	-9.2	46.3	"	"
49-1	"			" "	-5.9	55.6	側面	荷重
49-2	"			" "	-8.4	55.1	"	"
50-1	"			" "	-6.5	45.4	"	"
50-2	"			" "	-9.1	61.2	"	"
51-1	粘土 (C)	29.7	1.68	" "	-10.7	43.1	上面	荷重
51-2	"	27.0	1.72	" "	-8.5	49.5	"	"
52-1	"	29.7	1.73	" "	-8.2	48.6	"	"
52-2	"	27.0	1.74	" "	-8.3	49.5	"	"
53	"	29.7	1.72	" "	-6.5	47.0	側面	荷重
54	"	29.7	1.73	" "	-4.5	47.2	"	"
55-1	"	24.4	1.54	" "	-7.1	19.3	上面	荷重
55-2	"	22.6	1.80	" "	-8.7	15.4	"	"
56-1	"	24.4	1.61	" "	-6.7	33.7	"	"
56-2	"	22.6	1.50	" "	-8.4	14.3	"	"
57-1	"	24.4	1.63	" "	×	31.6	側面	荷重
57-2	"	22.6	1.50	" "	-9.0	13.3	"	"
58-1	"	24.4	1.56	" "	×	22.4	"	"
58-2	"	22.6	1.50	" "	-9.0	15.3	"	"
59-1	砂質土 (S)	5.5	1.61	" "	-7.1	6.6	上面	荷重
59-2	"	—	1.72	" "	-8.2	25.0	"	"
60-1	"	5.5	1.63	" "	-8.6	5.1	"	"
60-2	"	—	1.70	" "	-7.2	25.0	"	"
61	粘土 (C)	34.0	1.65	-5.0	-4.1	35.1		
62	"	34.0	1.70	"	-4.7	36.8		
63	"	34.0	1.71	"	-4.2	37.2		
64	"	34.0	1.67	-15.0	-11.3	77.6		
65	"	34.0	1.72	"	-12.3	57.7		
66	"	34.0	1.72	"	-11.9	77.6		
67	"	34.0	1.71	-20.0	16.6	108.1		

No.	土質	含水比 (%)	湿潤密度	凍結温度		圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	備考
				T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)		
68	粘土 (C)	34.0	17.0	-20.0	-17.3	113.8	
69	"	"	1.67	"	-16.8	107.7	
70	"	"	1.72	-15.0	-13.3	80.2	
71	"	"	1.69	"	-14.4	85.7	
72	"	"	1.71	"	-11.8	93.7	
73	"	"	1.73	-10.0	- 8.2	70.2	
74	"	"	1.74	"	- 9.8	52.1	
75	"	"	1.73	"	- 8.8	70.4	
76	"	"	1.69	"	- 8.4	69.4	
77	"	"	1.72	- 5.0	- 4.6	37.2	
78	"	"	1.70	"	- 4.4	36.8	
79	"	"	1.69	"	- 4.2	35.9	
80	砂質土 (S)	11.0	1.67	上面より -10.0	- 9.2	52.6	上面荷重
81	"	"	1.63	" "	- 8.9	50.4	"
82	"	"	1.70	" "	-10.5	56.1	"
83	"	"	1.66	" "	- 9.2	44.9	側面荷重
84	"	"	1.68	" "	- 8.9	45.9	"
85	"	"	1.67	" "	-10.9	51.0	"
86	"	13.9	1.89	" "	- 8.6	88.8	上面荷重
87	"	"	1.80	" "	- 8.7	78.0	"
88	"	"	1.82	" "	- 8.6	79.2	"
89	"	"	1.84	" "	- 8.5	91.0	側面荷重
90	"	"	1.78	" "	- 8.8	87.5	"
91	"	"	1.84	" "	- 9.2	87.4	"
92	粘土 (C)	30.6	1.64	-10.0	- 7.7	50.0	
93	"	"	1.63	"	- 8.4	55.6	

(計) 143

附表 2 剪断強度試験

No.	土質	含水比 (%)	湿潤密度	凍結温度		圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	備考
				T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)		
1	粘土 (C)	37.3	1.60	-10°C	-7.0	23.8	
2	"	37.3	1.62	"	-6.6	25.0	
3	2C : 1S	30.1	1.81	"	-7.0	31.3	
4	"	30.1	1.80	"	-8.1	30.6	
5	1C : 2S	23.8	1.90	"	-6.6	33.2	
6	"	23.8	1.91	"	-5.2	29.4	
7	砂質土 (S)	16.4	1.80	"	-3.9	22.9	
8	"	16.4	1.76	"	-4.1	24.5	
9	"	20.4	1.65	"	-4.1	43.5	

No.	土質	含水比 (%)	湿潤密度	凍結温度		剪断強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	備考
				T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)		
10	粘土 (C)	20.4	1.64	-10	×	46.9	密度を變化
11	"	20.6	1.49	"	-7.3	12.9	
12	"	20.6	1.41	"	-6.0	10.6	
13	"	33.3	1.69	"	-6.1	21.9	
14	"	33.3	1.67	"	-6.8	20.0	
15	砂質土 (S)	8.2	1.53	"	-5.0	11.3	
16	"	8.2	1.50	"	-4.2	10.0	
17	粘土 (C)	43.6	1.53	"	-5.6	24.8	
18	"	43.6	1.53	"	-5.9	25.0	
19	"	15.6	1.53	"	×	×	
20	氷			"	-6.2	33.2	
21	1C : 2S	15.6	1.52}	"	-6.0	13.9	
22	"	15.6	1.54}	"	-5.8	13.8	
23	"	15.6	1.62}	"	-6.9	13.5	
24	"	15.6	1.61}	"	-6.8	19.4	
25	"	15.6	1.72}	"	-7.2	23.4	
26	"	15.6	1.70}	"	-6.1	20.4	
27	"	15.6	1.80}	"	-6.4	27.5	
28	"	15.6	1.78}	"	-5.6	29.3	
29	氷			"	-2.0	27.8	
30	"			"	-2.5	32.5	
71	粘土 (C)	36.7	1.68	"	-2.9	25.4	
72	"	36.7	1.66	"	-2.6	21.3	
73	"	36.7	1.67	"	-10.0	34.8	
74	"	36.7	1.63	"	-4.8	29.8	
75	"	36.7	1.67	"	-5.2	26.9	
76	"	36.7	1.65	"	-8.9	29.4	
77	"	36.7	1.66	"	-9.2	31.3	
78	"	36.7	1.62	"	-6.8	31.0	
79	"	36.7	1.68	"	-6.6	26.9	
80	"	36.7	1.63	"	-8.8	33.4	
81	"	31.3	1.73	-5.0	-4.0	13.8	
82	"	31.3	1.73	"	3.6-	15.4	
83	2C : 1S	24.2	1.88	"	3.5-	19.2	
84	"	24.2	1.83	"	-2.4	20.0	
85	砂質土 (S)	8.4	1.55	"	-1.9	8.4	
86	"	8.4	1.51	"	-1.5	7.5	
91	粘土 (C)	31.4	1.71	-15.0	-14.2	45.0	
92	"	31.4	1.73	"	-14.0	39.8	

No.	土質	含水比 (%)	湿潤密度	凍結温度		剪断強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	備考
				T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)		
93	砂質土 (S)	8.5	1.63	-15.0	-14.0	27.1	
94	"	8.5	1.67	"	-13.6	27.0	
65	2C : 1S	25.0	1.84	"	-13.9	47.5	
96	"	25.0	1.82	"	×	45.7	
101	粘土 (C)	30.9	1.71	-20.0	-19.4	55.0	
102	"	30.9	1.73	"	-19.5	×	
103	2C : 1S	24.2	1.89	"	-19.0	65.0	
104	"	24.2	1.89	"	-19.4	63.6	
105	砂質土 (S)	8.2	1.56	"	-13.7	19.4	
106	"	8.2	1.55	"	-19.7	21.5	
111	粘土 (C)	41.4	1.60	-15.0	-14.0	46.9	
112	"	41.4	1.59	"	-14.8	48.8	
113	2C : 1S	25.9	1.85	"	-14.1	42.6	
114	"	25.9	1.82	"	-14.6	57.0	
115	砂質土 (S)	21.2	1.80	"	-13.8	78.1	
116	"	21.2	1.77	"	-14.7	84.4	
121	粘土 (C)	40.7	1.56	10.0	×	31.7	
122	"	40.7	1.57	"	-7.3	31.3	
123	2C : 1S	28.9	1.78	"	-7.4	32.8	
124	"	28.9	1.76	"	-7.3	33.4	
125	砂質土 (S)	21.3	1.82	"	-6.0	56.7	
126	"	21.3	1.79	"	-6.5	62.3	
131	粘土 (C)	40.5	1.54	-20.0	-18.9	73.8	
132	"	40.5	1.57	"	-18.6	77.5	
133	2C : 1S	27.8	1.80	"	-19.3	78.1	
134	"	27.8	1.80	"	-18.9	58.2	
135	砂質土 (S)	21.5	1.87	"	-19.5	113.2	
136	"	21.5	1.81	"	-19.0	111.8	

(計) 76

附表 3 付着強度試験

No.	土質	含水比 (%)	湿潤密度	押抜棒		凍結温度		付着強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
				材質	表面	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	
31	粘土 (C)	32.5	1.58	コンクリート	平滑	-10.0	×	18.4
32	"	32.5	1.59	"	"	"	-7.3	17.7
33	"	32.5	1.60	"	粗	"	-8.0	18.1
34	"	32.5	1.55	"	"	"	-6.8	14.6
35	"	32.5	1.56	木	平滑	"	-6.8	10.8
36	"	32.5	1.59	"	"	"	-7.5	13.1

No.	土質	含水比 (%)	湿潤密度	押 抜 棒		凍 結 温 度		付着強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
				材 質	表 面	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	
37	粘 土 (C)	32.5	1.59	木	アスファルト	-10	-5.6	4.4
38	"	32.5	1.49	"	"	"	-6.6	5.1
39	"	32.5	1.56	"	粗	"	-7.2	11.4
40	"	32.5	1.57	"	"	"	-6.0	16.1
41	"	32.5	1.62	コンクリート	"	"	-8.2	16.5
42	"	32.5	1.61	"	"	"	×	13.1
43	"	33.4	1.72	"	"	"	-8.7	23.4
44	"	33.4	1.68	"	"	"	-8.0	20.8
45	"	35.8	1.69	"	"	"	-8.1	22.5
46	"	35.8	1.65	"	"	"	-8.5	18.4
47	"	36.9	1.64	"	"	"	-8.1	25.1
48	"	36.9	1.59	"	"	"	-8.9	24.7
49	"	39.6	1.64	"	"	"	-9.7	30.8
50	"	39.6	1.59	"	"	"	-9.6	20.8
51	2C : 1S	25.0	1.82	"	平 滑	"	-9.6	17.5
52	"	25.0	1.85	"	"	"	-9.8	21.9
53	"	25.0	1.83	木	"	"	-9.5	9.5
54	"	25.0	1.84	"	"	"	-9.4	5.7
55	"	25.0	1.85	"	粗	"	-9.4	21.9
56	"	25.0	1.81	"	"	"	-9.5	13.9
57	"	25.0	1.82	"	アスファルト	"	-8.6	8.6
58	"	25.0	1.82	コンクリート	"	"	-8.2	12.7
59	"	25.0	1.86	"	粗	"	×	23.8
60	"	25.0	1.86	"	"	"	-9.2	17.1
61	砂質土 (S)	11.0	1.56	"	"	"	-9.6	16.5
62	"	11.0	1.58	"	"	"	-10.0	15.2
63	"	11.0	1.57	"	平 滑	"	-10.1	13.3
64	"	11.0	1.57	"	"	"	-7.9	16.5
65	"	11.0	1.57	木	"	"	×	7.6
66	"	11.0	1.56	"	"	"	-8.6	7.0
67	"	11.0	1.57	"	粗	"	-7.2	12.2
68	"	11.0	1.54	"	"	"	-8.8	10.1
69	"	11.0	1.59	"	アスファルト	"	-7.1	4.8
70	"	11.0	1.60	コンクリート	"	"	-6.1	6.3
87	粘 土 (C)	31.3	1.70	"	粗	-5.0	-4.0	9.2
88	"	31.3	1.69	"	"	"	-3.9	7.9
89	2C : 1S	25.3	1.86	"	"	"	-4.0	5.1
90	"	25.3	1.82	"	"	"	-3.2	9.9
97	粘 土 (C)	13.4	1.72	"	"	-15.0	-13.1	20.5

No.	土 質	含 水 比 (%)	湿潤密度	押 抜 棒		凍 結 温 度		付着強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
				材 質	表 面	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	
98	粘 土 (C)	31.4	1.69	コンクリート	粗	-15.0	-13.2	24.7
99	2C : 1S	25.0	1.86	〃	〃	〃	-12.6	15.8
100	〃	25.0	1.82	〃	〃	〃	-14.1	20.9
107	粘 土 (C)	30.9	1.69	〃	〃	-20.0	-19.3	27.2
108	〃	30.9	1.68	〃	〃	〃	-18.9	33.6
109	2C : 1S	24.2	1.88	〃	〃	〃	-18.6	29.1
110	〃	24.2	1.89	〃	〃	〃	-19.1	31.2
117	粘 土 (C)	41.4	1.60	〃	〃	〃	-16.8	33.6
118	〃	41.4	1.57	〃	〃	〃	-19.3	29.1
119	2C : 1S	25.9	1.83	〃	〃	〃	-15.0	42.4
120	〃	25.9	1.79	〃	〃	〃	-15.7	29.6
127	粘 土 (C)	40.7	1.59	〃	〃	-10.0	- 6.5	25.3
128	〃	40.7	1.55	〃	〃	〃	- 5.5	21.3
129	2C : 1S	28.9	1.79	〃	〃	〃	- 7.4	24.2
130	〃	28.9	1.78	〃	〃	〃	- 7.7	29.9
137	粘 土 (C)	40.5	1.57	〃	〃	-20.0	-19.6	41.8
138	〃	40.5	1.52	〃	〃	〃	-20.0	49.4
139	2C : 1S	27.8	1.81	〃	〃	〃	-19.9	59.5
140	〃	27.8	1.75	〃	〃	〃	-19.4	65.9

(計) 64