

土木試験所報告

第七十三號

凍害を對象とせる黄土路床安 定工法の判定に就いて……………	内務技師 藤 森 謙 一	石 井 靖 丸	…(1)
我が國沿岸の漂砂に関する調 査報告(第2報)……………	堀 託 本 間	仁	…(11)
溢流堰堤頂部縦斷形狀の溢 流係數に及ぼす影響に関する 水理實驗……………	内務技師 竹 内 俊 雄		…(19)
紅土の土質に関する實驗的研究……………	石 井 靖 丸		…(35)

昭和十八年十一月



内務省土木試験所

凍害を對象とせる黃土路 床安定工法の判定に就いて

内務技師 藤 森 謙 一
石 井 靖 丸

目 次

I. 緒 言	(1)
II. 實驗目的及び説明	(2)
III. 試料及び裝置	(2)
IV. 實驗の説明	(4)
(1) 凍結融解繰返し試驗	(4)
(2) 凍上試驗 (其の 1)	(5)
(3) 凍上試驗 (其の 2)	(6)
V. 結 論	(8)

I. 緒 言

寒地に於ては氣溫の低下に依り路盤は相當の深さ迄凍結し、爲に凍害を受ける。路盤の凍害とは路床土の凍結に基く凍上現象に依る路面の持ち上り、並に融解期に當りての凍結部分の含水量増加現象に基く地耐力の減少、この二つの現象に依る路面の被害を云ふのであつて、之等が交通に對し支障を及ぼすに至る。

之等の現象を軽減或は防止する爲の路盤凍害對策は、路盤をして凍結しても凍上現象を起さない様にすること、並に融解期含水量過多となるも路盤の安定度減少せざる様にすること、この二つの課題に解決を與へることに依り、路盤の凍害を征服することが可能である。本目的達成の爲考へる方法は、外的條件として地下水位を遠減せしむる外

1. 路床上の粒徑組成を凍害少き様に改良すること。
2. 路床上を凍害少き土壤と置換すること。
3. 路床土に適當なる混和材 (例へばポルトランドセメント、石灰、鹽化カルシウム等) を添加し土壤を安定せしむること。

等が考へられ、夫々現地の特殊性に應じたる工法が採られるべきである。

本實驗は北支の黃土地帯の路盤を對象として行つた。北支に於ては土の粒徑組成の改良又は置換は困難であり同地域に對し最も實施容易なりと考へた第3の混和材を用ふる工法を採り上げた。實驗は問題に對して全くの小部分であり、この結果より直ちに黃土地域の冬季路面凍害に關し正鵠なる解決を與へることは出来ないが、本試験結果が幾分なりとも黃土路盤の凍害對策に資せられんことを期待するものである。

本實驗は東亞研究所第四調査會第一部會の研究を兼ねて行つたものである。

II. 實驗目的及び説明

在來凍土に關して種々の観測及理論が提出されてゐるが、まだ凍土現象を定量的に一般性を以て理論付ける迄には至つてゐない。

凍土の支配的要素と考へられて居るものは、1. 氣象條件、2. 土質、3. 土中の水の狀態でありこれらの三要素の錯綜した作用に依つて凍土が決定される。(1)(2)

従つて凍土防止工法の研究は原則としては現場實驗に依るべきであるが、先づ定性的に土質の凍土に對する難易の判定は、實驗室内に於ける實驗に依つても可能である。

凍土機構に就いては、現在一般に定説とされてゐる處は土中の水が凍結に際してレンズ狀氷を析出し、これが地下水其他よりの水の供給を受けて成長すると説明されてゐる。(3)

本試験に於ては土質を黃土と定めて四箇の條件を一定とし、之に安定處理を施し、之が凍土並に凍土に伴ふ含水量の増加に基因する安定度の遞減に關し互關的な檢定試驗を行つた。

路盤の凍害を次の三つに分けて考へる、即ち

1. 凍結融解の反復繰返しに依る路盤安定度の減少。
2. 凍土に依る含水量の増加に伴ふ安定度の減少。
3. 凍土そのものに依る路面の破壊並に交通の妨害。

この三つの見地について實驗を行つた。

本實驗に就ては黃土の路盤の凍害を防止する爲に、これに石灰、食鹽を加へその効果を判定した。

混合材を加へて凍害を防止する爲には混合物を加へたことに依つて、如何なる現象が期待されるかを豫想して實驗を進めるべきであるが、凍土機構が黃土に關して明白にされてゐない爲に豫想的な豫想を以て行ふことが出来なかつた。

石灰を混和する意味はこれ迄北支に於て路床土に石灰を加へ“灰土”と稱して一般に使用せられてゐる工法が、凍害防止に役立つてゐるのではないかと云ふことに着目したものであり、これを實驗せんと試みた。

食鹽を混和材としたことは、水點を降下させようと考えた以外の何物もない。この場合、食鹽の混和量の有効部分を見出すことが重要な命題となつた。

實驗は實際の路床土の状態に近い状態にて成型されたものにつき凍結融解反復繰返しに依る安定度減少の測定、並に下部より水分の補給を自由にして上面より冷却して凍結せしめ、凍土並に之に基く含水量の増加を測定した。

III. 試料及裝置

(1) 試料 試料は黃土3種類を用ひた機械的分析及物理試驗の結果は表1に示す、圖-1に粒徑曲線を示す。種類のみにて實驗を進めるのが本意であつたが試料の量に制肘せられ3種類の黃土を用ひて行つた。

茲に土の粒徑と凍土について Casagrande の規程を記すと次の如くである。(4)(5)

Casagrande は多數の現場について凍土を調査し、土質試驗を行つて實驗的にレンズ狀氷形成の傾向を一定の物理的數字に關係付けた。即ち粒徑の影響に關係付けることに成功した。これに依ると凍害性のあるものは次の如くである。

今土粒子の60%が通過する篩目の径 d_{60} と10%を通過する篩目の径 d_{10} との比 $U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ を不均等係数と呼び

$U \leq 5$ にて 0.02mm 以下 10%以上

$U > 15$ にて 0.02mm 以下 3%以上

である様な土はレンズ状氷を形成し易い。

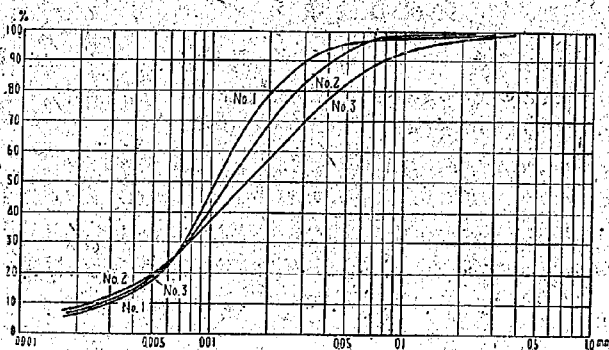
これは土と水とが混つてみて凍結するに際して、土の粒子の大小に従つて、氷の結晶の中に土の粒子が存在するか、或は氷だけ遊離して氷の結晶を形成し所謂レンズ状氷層を形成する。この二つの場合があるのであつて、上の規準の範圍のものはレンズ状氷を形成し易いことを示すものである。

この規準はレンズ状氷の發生し易い條件を數值的に表はしたものであり、この規準外の $5 < U < 15$ の場合についても0.02mm以下の微粒子の含有量が多い場合には勿論レンズ状氷を發生し易いのである。Casagrandeもレンズ状氷の發生を認めないものは0.02mm以下が1%を超えない場合の土壤であることを指摘してゐるが、これ等の規準は或る限定された箇所の現場調査の結果であり、 $5 < U < 15$ のものについて0.02mm以下の量とレンズ状氷の發生の關係は、調査結果からは判然とするに足る規準を見出し得なかつたものと考えへる。

この規準に従つて本試験に用いた黄土の親水性を考へて見ると、次の如くである。

黄 土	No. 1	$U = \frac{0.013}{0.003} = 4.3$
同	No. 2	$U = \frac{0.016}{0.0023} = 5.5$
同	No. 3	$U = \frac{0.022}{0.0028} = 7.5$

圖-1



0.02mm 以下の量は大約*

黄土 No. 1	80%
黄土 No. 2	70%
黄土 No. 3	55%

効に用いた d_{10} d_{60} 0.02mm 以下の量は 図-1 の粒径曲線より求めたものである。

以上の値にて Casagrande の規程に當照すると U の値は 5 より大なるものもあるが 0.02mm 以下の量の多きことに依りレンズ状氷の形成し易いことを明かに示してゐる。

(2) 凍結融解試験供試體

黄土 No. 1 を用ひ、重量比にて石灰 15 % のもの及び食鹽 3 % を混和し、水量は總乾重量の 15 % を用ひ混和し之を直径 5 cm、高さ 10 cm の圓錐形供試體に成型した。成型方法は三層に分けて型枠に填充し、各層毎に 20 mm の撚棒にて軽く 20 回撚きたる後成型壓力を加へた。成型壓力は 5 kg/cm^2 とし、5 秒間載荷し 30 秒間隔に 10 秒宛 10 回撚荷し、直後に脱型した。この成型方法は、通常の路面舗設時の壓力に近似した 5 kg/cm^2 を用ひ數回の撚廻を行ひたる實際の狀況に近からしめんとした。養生は地下室の溫度、濕度變化少き箇所に空中に放置し、毎日上下を交互せしめ 28 日後試験を行つた。

(3) 凍上試験供試體

内徑 5.8cm、長 51cm、厚 12mm の硝子管に底部にガーゼを二重にして當て紐で緊縛し、内面にワセリンを薄く塗布したものに試料を填充した。試料は黄土 No. 2、No. 3 を用ひた。試料には液性限界と塑性限界の中間程度の水量を加へ良く捏ね、硝子棒にて撚き付ら詰めて一晝夜放置して安定せしめた。硝子管には熱電對の接點を挿入する孔を側面にあけておき、試料を填充したる後接點を挿入し孔は糊付けて封じた。

(4) 凍上試験用箱

圖-2 の如く二重箱とし、側面及び底面よりの冷却を防ぎ、上面よりの熱出入を許す如く設計した。内部の箱には水を入れ、凍上に伴ふ水の吸上げを自由ならしむる如くした。

(5) 冷却室

内務省土木試験所地下室の低温室を用ひた。

IV. 實 験 の 説 明

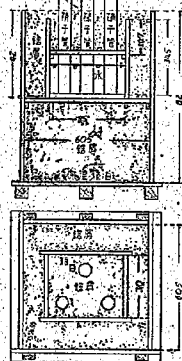
(1) 凍結融解繰返し試験

本實驗に於て行つたことは、通常の含水量を有する土の凍結融解に依る安定度（壓縮強さにて表す）の遞減を求めたものである。

凍結融解に依つて如何なる過程に依り安定度が減少するかを檢證すれば (1) 間隔率の多少 (2) 含水量の多少 (3) 冷却速度の大小 (4) 冷却時間の長短等の影響に著しく左右されることは推定出来る。之等の影響に基き土粒子の結合構造が變化し安定度が遞減する。安定度の遞減は融解時に起るもので、丁度夜間の氣溫降下に伴ひ凍結が凍結し、日中直射日光に依つて融解し、これが繰返されて通耐力が減少する現象を考へ

圖-2

正面圖



上面圖

* 粒径分布曲線から拾つた値である。

ばよい。

試験に當り低温室は -60°C — -8.50°C とし、高温室は 13°C — 20°C に保った。24時間置きに低温室—高温室—低温室と入換へを6回反復したる後、直ちに壓縮試験を行った。表2はその結果を示す。

表2

	試料	成型直後				凍結融解試験直前				壓縮試験直前				凍結融解 kg/cm ²
		高さ cm	重量 g	空隙率 %	含水率 %	高さ cm	重量 g	空隙率 %	含水率 %	高さ cm	重量 g	空隙率 %	含水率 %	
乾燥セルモノ	黄土	10.03	381.8	38.88	14.67	—	—	—	—	9.98	330.5	30.57	3.18	15.0
	黄土+石灰	9.82	306.0	48.73	12.59	—	—	—	—	9.81	276.0	48.57	2.89	2.9
	黄土+食鹽	10.00	378.3	37.45	13.16	—	—	—	—	10.00	350.3	38.43	7.80	4.0
凍結融解セルモノ	黄土	10.25	379.3	40.62	14.61	10.20	333.2	39.85	3.64	10.20	335.6	39.87	2.72	-8.5 (57%)
	黄土+石灰	9.96	305.6	49.51	12.59	9.94	278.3	49.23	3.67	9.94	277.2	49.22	3.24	1.3 (61%)
	黄土+食鹽	9.90	378.7	37.45	13.31	9.86	357.5	37.16	7.74	9.88	355.8	37.16	7.23	3.4 (85%)

之に依つて見ると凍結融解に依る壓縮強さの低下の割合は石灰並に食鹽を加へたるものが少であり、繰返し凍結融解に依る安定度減退の防止策として、石灰、食鹽の混和は有効であることが判る。

(2) 凍上試験 (其の1)

圖-3

供試器は3本用いた。第1は黄土 (No. 2) のみ第2、第3は食鹽、石灰を3%混じたものを填充した。試料填充は圖-3の如く食鹽及石灰を加へたるものはガラス管底部より20cmの深さ迄黄土のみを入れ、この上に混合材を加へたる試料を詰めた。熱電対の位置は圖-3の通りである。

温度観測結果

低温室温度を -20°C に調節しつゝ温度を低下せしめたる時熱電対接點の挿入個所に於ける温度降下状況は表-3に示す如くである。表-3より混合材を加へたる際も熱傳導率は殆んど變化しないことが観察された。又レンズ状氷の生成に依る熱傳導率の變化は試験の継続時間短いので大なる影響を現して居ないが、この試験に於てはレンズ状氷の生長が其れ程大きくない事に依ると思はれる。

凍結状況

凍結を開始してから44時間。冷凍室が -20°C になつてから22時間目に取出した。

此の時黄土のみ及びこれに石灰を加へたるものゝ表面下17cmの深さに於ける温度は $+1.6^{\circ}\text{C}$ であり、食鹽の場合は深さ8cmに於て -3.3°C である。

黄土のみとこれに石灰を混和した場合は両方共レンズ状氷を形成して凍結して居たが、食鹽を加へた場合には全くこれは認められなかつた。

凍上現象は、試験装置の關係上正確なる凍上量は求め得難い。而してレンズ状氷の形成に依り石灰を加へたるものが2~3mmの厚上りを示したのみであつた。

表-3

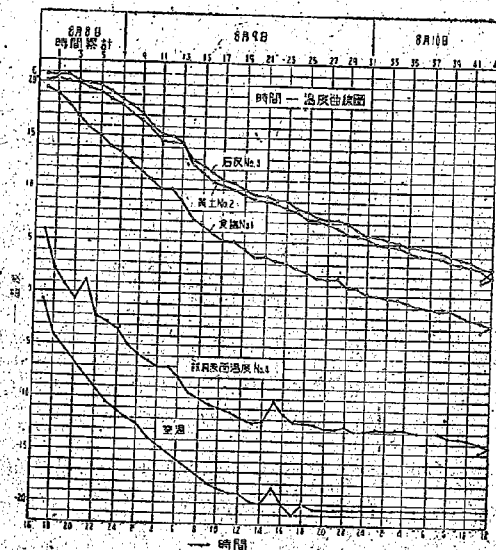
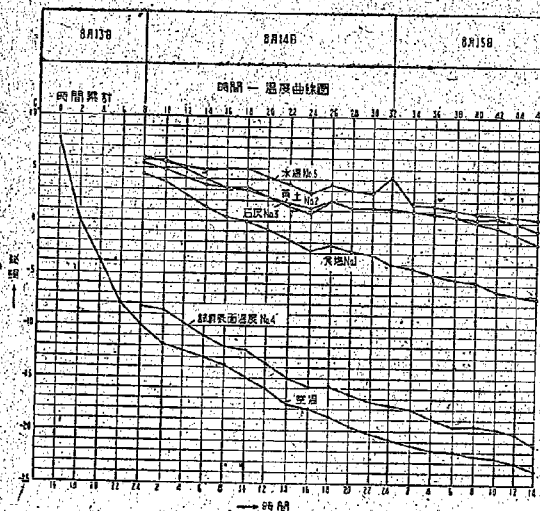


表-4



は 図-6 の如くである。

冷却は -10°C とし、42時間冷庫にて冷却した。温度降下状況は 表-6 に示す。

凍結深は黄土のみの場合 12.5~3 cm, 石灰を加へたる場合 11.0~11.2 cm, 食鹽を加へたものは凍結しなかつた。

次にレンズ状水の出来方を見ると、氷層の出来方は黄土のみのと石灰を加へたるもの、両方共表面直下 1.3~2 cm の間に最も密に生ずるが、1 cm 當りの氷層の数は最も密な場所でも、黄土のみの場合 12 層、石灰を加へたる場合では 16.5 層で、前者の方が氷層の厚みは大である。猶黄土のみの場合は、氷層は凍結部下端を一般な割合で減少してゐるが、石灰を加へたる場合は凍結部中央附近以下には氷層の存在は観察できなかつた。

融解後再凍結

以上の實驗を行つた試料を其の盛常温にて融解せしめ再び -80°C 迄冷却した。温度降下状況は 表-4 の如くである。此の間に於ても食鹽を含んだものは凍結しなかつた。レンズ状水の出来方は前回と殆んど同じであり、又凍結深は明確に認め得なかつた。再凍結の状況を寫眞に撮影したものを 圖-4 に示す。

次いでこの試料を常温で融解し再び直冷却した。この温度降下状況は 表-5 の如くである。この三回の凍結融解の實驗後、凍結部の含水量の増加状況を調べたものを 圖-5 に示す。

〔3〕凍土試驗 (其の2)

今回の實驗に於ては試料を同一種類のものを管全部に詰めて行つた。試料黄土は分量の關係上前回と同一のものを使用し得ず黄土 No. 3 を用ひた。石灰及び食鹽の混和量は 10 % とし填流時の含水量は前回と同一とした。熱電對挿入状況

凍害を對象とせる黄土路床安定工法の判定に就いて

圖-4 (a) 黄土のみのもの

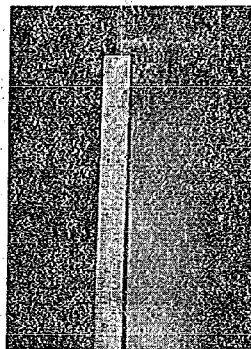


圖-4 (b) 石灰を加へたるもの

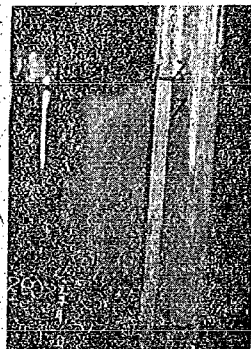
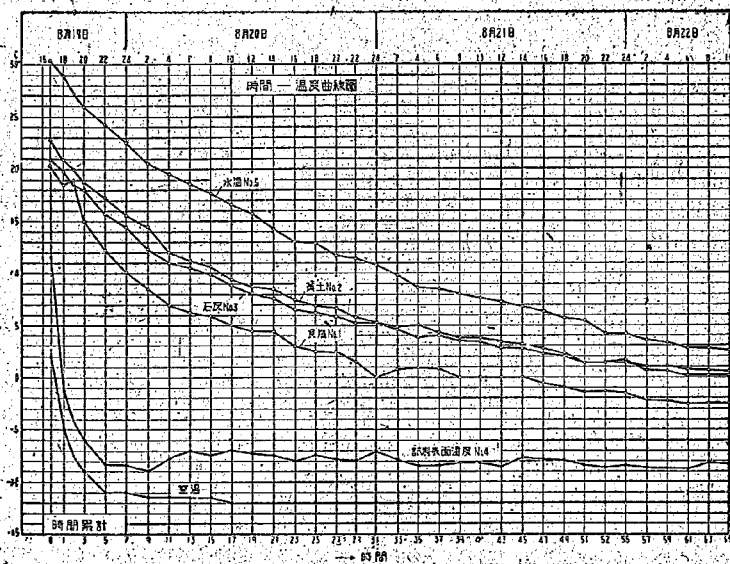


表-5



凍結状態を記すと、レンズ状氷の生成状態は、前回の試験と略同様であり、凍結深は相當の差異を示した。

即ち	黄土のみ	7.6 cm
	黄土+食鹽	凍結を認めず
	黄土+石灰	4.5 cm

凍結前後の含水量の變化は、圖-7 の如くであつた。

圖-5

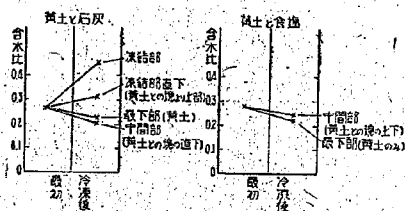


圖-6

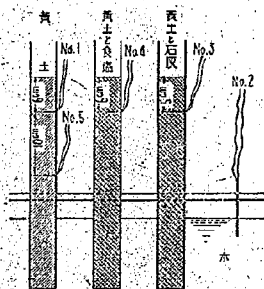


表-6

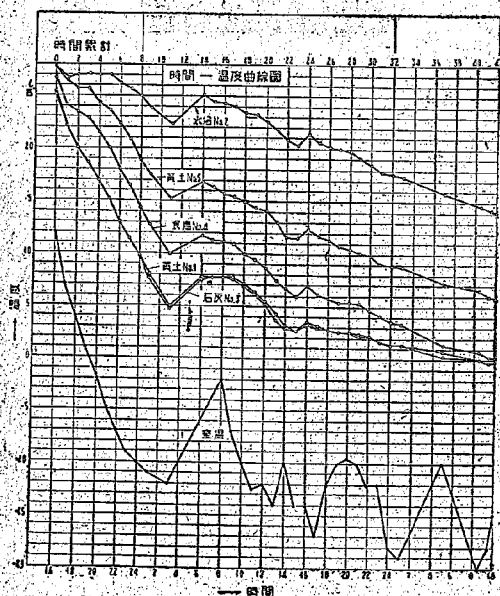
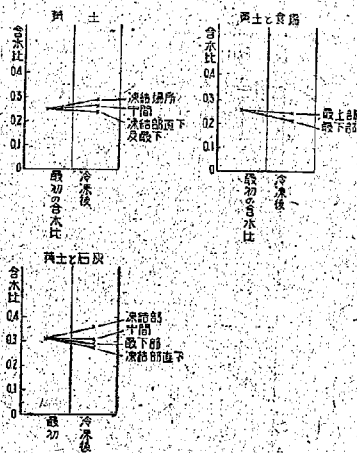


圖-7



V. 結 論

1. 本試験に於ける結果に依ると、黄土路床土の凍結融解による安定度の遞減度は、その含水程度が乾燥期に於ける状態に近き場合（含水率50%内外）石灰、食鹽等の混和に依り30%乃至50%減少する。
2. 黄土（天然に堆積したもの及び天然堆積のものが氷で凝されて沈澱したもの）は一定量以上の含水量を有する状態で冷却される時は、凍結してレンズ状を形成する。従つて凍上を生ずる可能性は見出される。
3. 黄土に石灰を混和したる“灰土”は一定量以上の含水量を有する状態で冷却される時は矢張りレンズ状氷を形成する。但しこの場合は黄土のみの場合に比較し、凍結深さ20~30%減少する。

4. 食鹽を混和したものは凍結しない。

本試験は種々の事情で相當不滿の點が多いが、豫備試験と云ふ意味で茲に擧げて報告した。本試験は昭和16年7月より昭和17年8月に亘り實施したもので當時東京帝國大學學生一の瀨明孝君（現陸軍兵校中尉）元本所員山内正吾君、新谷政治君、鈴木秀壽君の手を煩はせた。

参 考 文 献

- (1) Stephen Taber: Frost Heaving. Journal of Geology Vol. 37. 1929. p. 423.
- (2) Stephen Taber: The mechanics of frost heaving. Journal of Geology Vol. 33. 1930. p. 303.
- (3) Hogentogler: Engineering properties of soil. p. 217.
- (4) Stephen Taber: Freezing and thawing of soils as factor in the destruction of Road Pavement. Public Roads Vol. 11. p. 113.
- (5) Bodenmechanik und neuzeitlicher Strassenbau (Schriftenreihe der "Strasse" 3) 1936 s. 32.
- (6) Eine Zusammenfassung und gute Literatur übersicht gibt 2. B. Münichsdorfer in: Geologie und Bauwesen (1934). 3

The first of these is the fact that the
the second is the fact that the
the third is the fact that the
the fourth is the fact that the
the fifth is the fact that the
the sixth is the fact that the
the seventh is the fact that the
the eighth is the fact that the
the ninth is the fact that the
the tenth is the fact that the

我國沿岸の漂砂に関する調査報告（第2報）

囑 託 本 間 仁

目 次

序 言.....	(1)
I 東太平洋岸.....	(1)
II 南太平洋岸.....	(4)

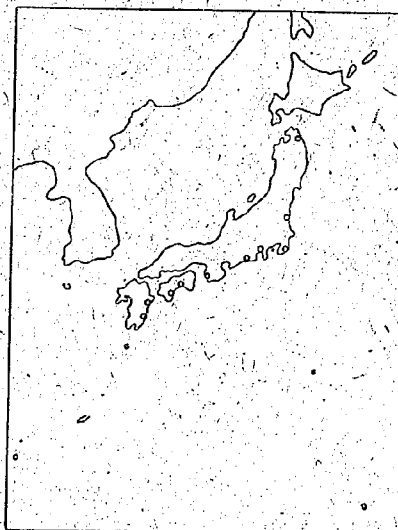
序 言

著者は本調査報告第1報¹⁾に於て日本海岸の漂砂移動状況を日本海に注ぐ河川の河口剥砂状態の調査資料によつて推論した。第2報に於ては太平洋岸各地の漂砂移動を同様の方法によつて推論せんとするのである。本報告中に対象とした地點は、圖-1に示した約10箇所である。

I 東太平洋岸

我國沿岸に於て漂砂による砂洲の發達の主な原因となつてゐるのは、河川の温水期に當る冬季の顯著な季節風である。然し我國東部の冬季季節風は大陸 NIV—IV であるから、東海岸では之が海風とならず漂砂を支配する

圖-1



事²⁾が少い。従つて太平洋岸での漂砂はその地方の海風と局地的な地勢によつて定まり、東太平洋岸全體としての顯著な特徴は殆んどなく、日本海岸の場合の様な一般性は認める事²⁾が出来ない。この點に就ては太平洋岸全體に言へる事であつて、更に又太平洋岸には洗下性海岸³⁾の少い事も漂砂が一般に著しくない事の一つの原因となつてゐると考へられる。

東太平洋岸各地の海岸勾配に關しては、前回の報告と同様に海岸線にほぼ直角に測つて、水深0から60mの處までの距離aと、水深50mから100mの處までの距離b.とを1,000,000分の1の地圖から讀み取つた略値を示す。(表-1參照)

次に各河川に就て北から述べて行く。

(1) 馬淵川河口 (圖-2)

馬淵川は青森縣東海岸の南部に於て太平洋に注ぎ、河口附近で新井田川に合してゐる。海風の中で著しいのはNE—ESEの方向とWNIVの方向との二つがあるが

1) 報告第64號「日本海岸の漂砂に就て (我國沿岸の漂砂に関する調査報告、第1報)」昭和17年1月。
2) 報告第64號、60頁參照。

表-1 海岸平均の配表

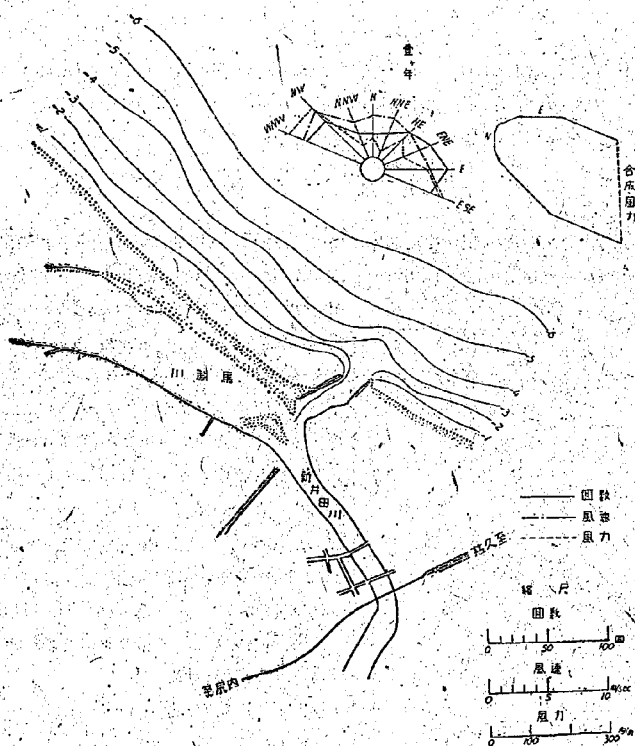
場 所	a(km)	b(km)	場 所	a(km)	b(km)
八 戸	9	9	那珂浜	12	5
金 華 山	1	1	鹿島浦	10	5
阿武隈河口	30	12	銚 子	14	5
小 名 濱	6	6	九十九里濱	20	10
久慈(茨城)	10	6	白 濱	3	3

地勢的には東方に鯉港を囲む館鼻が出てある爲に砂洲は西北から東南東に向つて延びてある。

図-2 は某年に於ける砂洲の形及び附近の波浪圖である。附近の沿岸潮流も南東に向つてゐるが、その程度は甚だ微弱である。

岩手縣沿岸には一般に著しい漂砂が見られない。宮城縣では阿武隈河口があるが、その河口洲は北から南に向つてゐる。

圖-2



(2) 久慈川及び那珂川

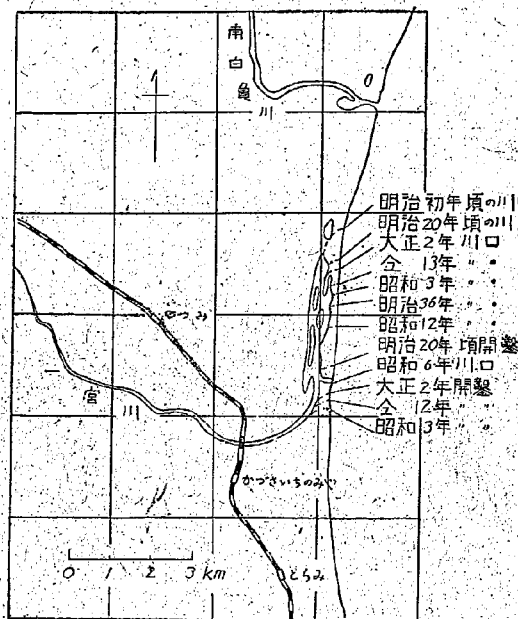
茨城縣久慈港に於て海に注ぐ久慈川の河口地方では、最多風としては WNW—NW であるが、之に次いで NNE—NE であつて之が海風である爲に漂砂に影響するものである。然し地勢的には左岸側に小さい岬がある爲に河口洲は南から北に向ふ傾向があり、波も多くは南から来る。茨城縣廳に於て大正 10 年 5 月に尉瓦 5 俵を河口南方の海岸に投入した所、1 ヶ月半にして北東又は南方の海岸に 1, 2 ヶ所漂著した。その他の調査によつ

ても明瞭な漂砂移動方向は認められてゐない。

那珂川の河口漂砂³⁾に就ては既に報告第50號に於て述べた。過去に於ける當河口の洲の發達狀況は同報告の圖-6⁴⁾に示した様に常に南から北に向ふ傾向がある。常陸の南方に當る磯原に於ても漂砂が南から北に動いてゐる事は周知であつて、冬季の海風が $NNB-NE$ であるにも拘らず砂が南から北に向つてゐる點は之等3地方に共通である。

利根川河口銚子對岸の砂洲に就ては松尾技師の調査によれば⁵⁾砂洲の消長が風に支配されてゐる事が比較的明瞭であつて、その方向は地勢上から明かに想像される様に北から南に向つてゐる。

圖-3



(3) 一ノ宮川河口 (圖-3)

一ノ宮川は千葉縣東岸一ノ宮町北方に於て太平洋に注ぐ河川である。この附近の海岸は所謂九十九里濱の一部をなし、砂の動きも多い處であつてその方向は、圖-3に示す様に大體北に向つてゐる。風はS乃至IVが多い。

當河口の北に移動する傾向は相當に顯著であつて、明治20年、大正2年、同13年等は河口を海に直通せしめる開鑿工事は行はれたが、間もなく又北に向ふ河口洲を生ずるので昭和2年には開鑿と同時に河口に三角岸を組立て、之を漸次延長して河心を海の方に向はせ、昭和8年6月の洪水によつて流路を完全に東に向はせた。同時に三角岸は撤去された。然しその後も河口は安定せず、依然として北に移動しつつある。

3) 報告50號、「那珂川河口の漂砂に就いての實驗」昭和10年2月。

4) 報告50號、133頁。

5) 土木學會誌、23卷、1號、松尾春雄「利根川河口の砂洲の消長に就て」。

II. 南太平洋岸

南太平洋岸の名の下に本州南岸、四國南岸及び九州の東岸南岸を包括する。従つてその延長は甚だ長く、各地の状況もかなり異なる。先づ各地の海岸勾配を次の表に示す。表中の a, b, は第1表の場合と同じく海岸線にほぼ直角に測つて、水深0から50 m の處まで及び水深50 m から100 m の處までの距離の略値である。

表-2 海岸平均勾配表

場 所	a(km)	b(km)	場 所	a(km)	b(km)
下 田	2	4	室戸岬(東方へ)	1	2
蒲 原	1	1	〃 (西方へ)	1	4
御 前 崎	2	6	高 知	5	12
天 龍 川 河 口	1	2	波 川 河 口	3	7
波 切(三重)	2	2	延 岡	6	7
新 宮	2	4	宮 崎	13	7
御 坊	7	11	佐多崎(鹿児島)	1	3

圖-4 狩野川河口(1)

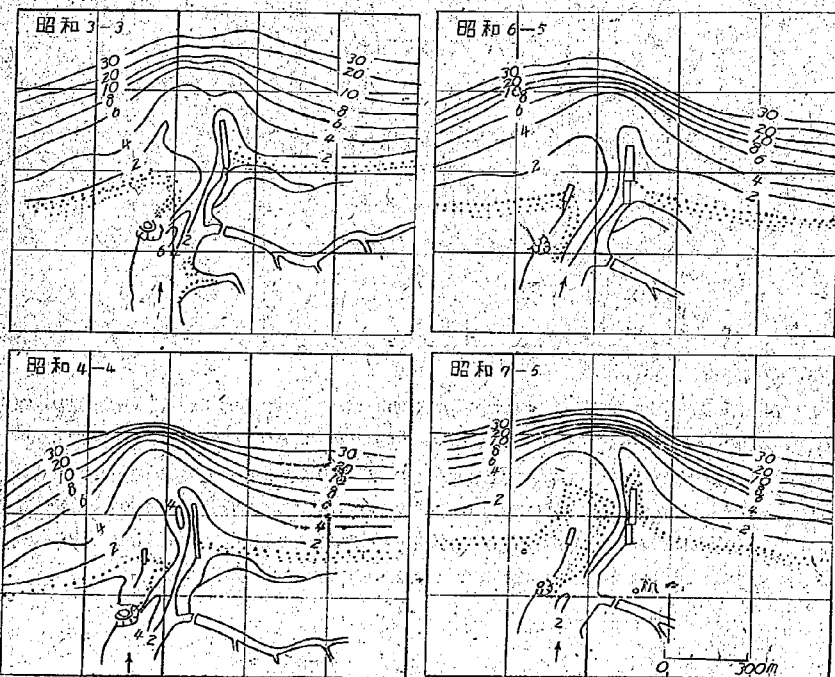
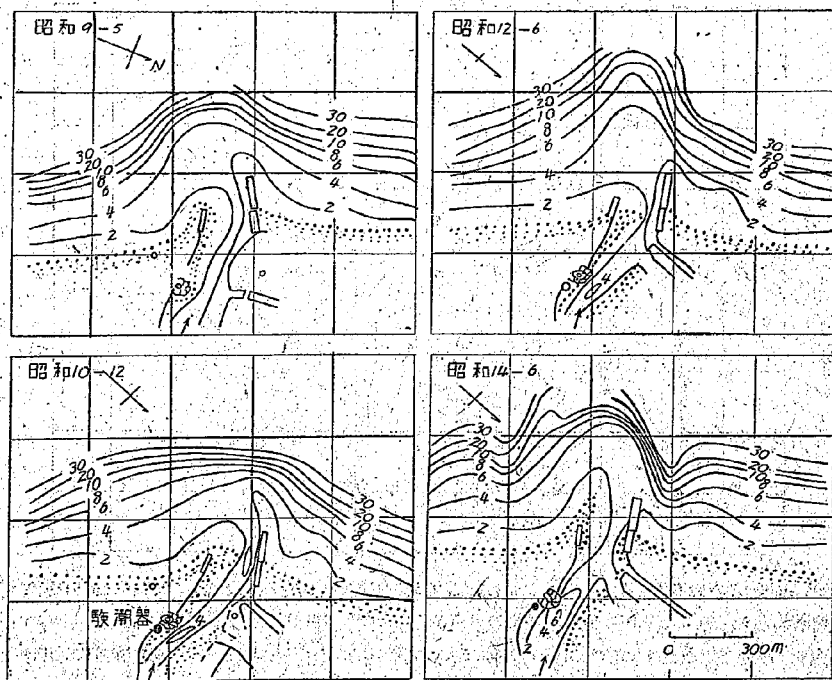


圖-4 狩野川河口 (2)



隆起性海岸として顯著なものは九州東岸等に見られるがこの地方の五箇瀬川、大淀川等の河口にも砂の移動が認められてゐる。以下は各地の河口砂洲變動の状況を列記して行く。

(1) 狩野川河口 (圖-4)

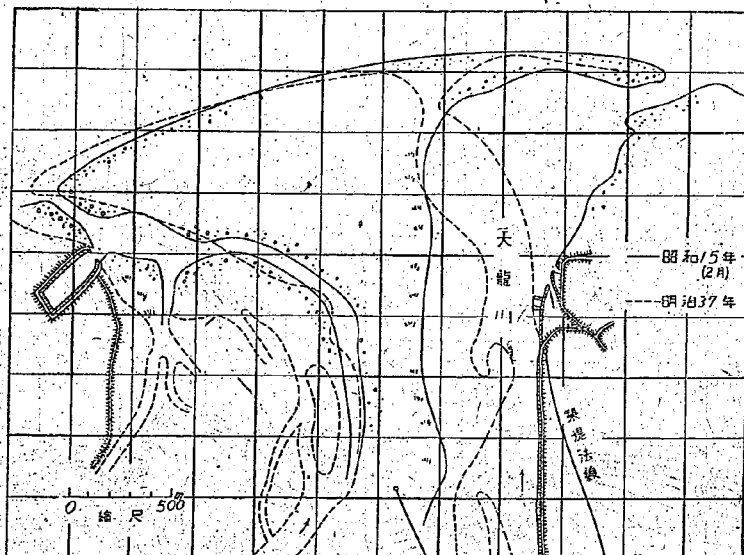
狩野川は伊豆半島を北流する河川であるが、河口附近で黄瀬川を合せほぼ西流して駿河湾の東北隅に注いでゐる。沿岸地方の風は冬季は $ENE-B$ が多く、夏季は $SW-IV$ が多いが、強さに於ては NE が最大であり、 SW は之よりやや弱い。昭和3年より14年に至る間の河口附近の海岸線並に等深線の變化を圖-4に示した。之等の圖によれば砂洲は南東から北西に向つて延びる傾向が見られる。原因は海風による様に考へられ、その移動砂量は少くない様である。

(2) 天龍川河口 (圖-5)

天龍川の東方に當る富士川は相當に流出土砂の多い河口であり、漂砂は比較的少いが、河口の形は三角洲狀をなしてゐる。然しその三角洲はあまり發達しない。その原因は當河口附近は沖積⁶⁾ 區域で海岸勾配が $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{150}$ 程度であるが、それから先は急に深くなり勾配は $\frac{30}{100}$ 程度になる。之は漂砂の少い原因にもなつてゐる。

天龍川もその狀態に於て富士川に類似してゐる。即ち河口の形は三角洲狀であつて、その生長は極めて緩慢で

圖-5 天龍川河口



ある。海岸の勾配は急である爲に 圖-5 に示した様に沙洲の正面は殆ど前進してゐない。又その大きさに於ても變化が認められない。この地方の風は冬季に於て $NNW-IVNW$ が著しいが夏季には SW 又は E の風が多い。然しこの資料だけでは海岸の砂洲が何れの方角に動いてゐるかの推定は困難である。唯その東方御前崎附近はその形から言つて東に向つてゐると見てよい様であり、又この點から見て砂の移動が全然行はれてゐないのではない事か判る。

(3) 日高川河口

日高川は和歌山縣中部白の御崎の南方で海に注ぐ。河口の河は大體に於て直徑數厘米程度の隙から成つてゐるが、彼の爲に移動して相當に著しい河口洲を形成してゐる。洲の延びる方向は SE から NW に向ふ方向であり、當地方の風は海風としては殆ど $S-SW$ である。従つて洲は地形及び風の何れから見ても北に向ふ傾向のある事は明かである。

(4) 仁淀川河口

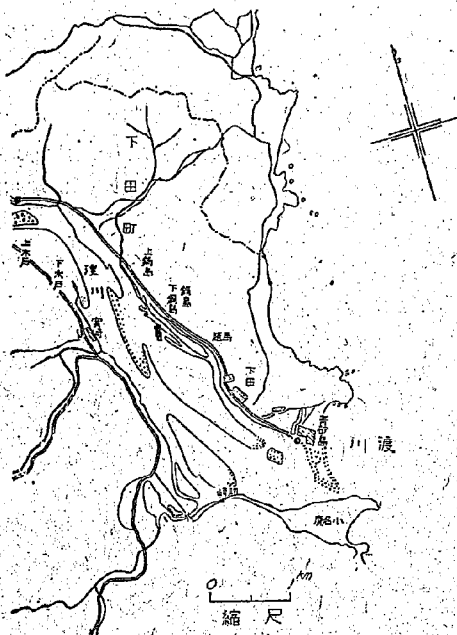
仁淀川は高知市西方に於て土佐灣に注いでゐる。本河口附近の漂砂に就ては山本工學士の詳細な調査があり、その結論によれば、當地方漂砂の原因は冬季季節風による風浪の他に夏季のうねり浪が重要なものとなつて居り、特にうねりは大體北北東の方向を有して、西から東に向ふ急激な漂砂の移動を起してゐる。従つて當河口の東方にある浦戸港口に於ても著しい東向きの漂砂が見られる。

(5) 波川河口 (圖-6, 7)

波川は土佐灣の西南端附近に注いでゐるが、地勢上の條件を異にする爲に仁淀川とは洲の延び方が全く反對で

7) 山本將雄「浦戸港口漂砂問題研究及び港口計畫論」土木學會誌、第22卷第4號、昭和11年

圖-6 渡川河口



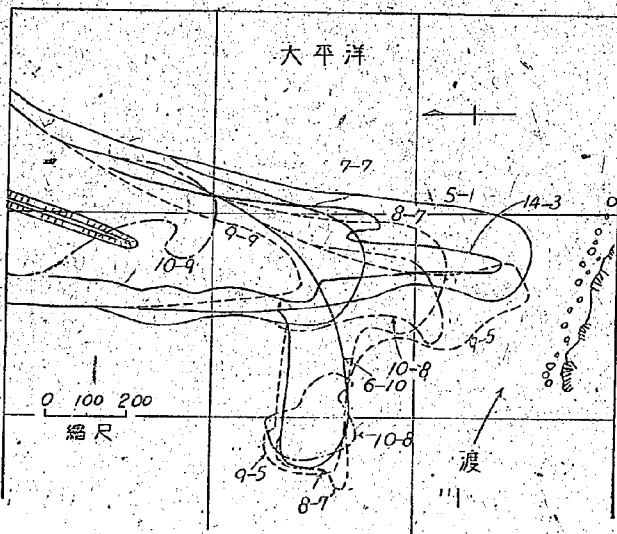
ある。即ちその西方に位する足摺岬の影響が甚だ大きい。因に河口洲は大體北から南に向つてゐる。但し附近の海岸からの砂の供給は豊富ではないから砂嘴は多く渡川自身から流出するものと考へられる。

圖-7 は河口洲の變遷状態を示すものであつて、附記した數字は例へば 9-5 ならば昭和 9 年 5 月の實測である事を表はしてゐる。之から見ると洲は夏の洪水によつて後退する以外は大體定まつた形を保つて居り、河口洲の内側に更に一箇の洲が出来の傾向が認められるが、之は潮汐による局部潮流の影響かと推察される。

(6) 五ヶ瀬川及び大湊川河口

五ヶ瀬川は延岡市附近に於て日向灘に注ぐ河川である。當地方の季節風は冬季は *N* であるが夏は *SEB* が著しい。河口左岸即ち北側には岩盤露出し、砂洲は南側から延びる。宮崎縣廳土木課の調査によれば砂洲は冬季の洪水期中に發達して河口幅は 180 m 程度と

圖-7 渡川河口洲



なり、之が夏季の増水及び颱風季の洪水によつて 270 m 程度に擴大される。然し漂砂の移動量としては颱風季に著しい。

大淀川河口地方は四季を通じて IV—VII の風が多いが、海風としては夏季の NE—E である。而て當河口漂砂は北から南に向ひ、之は當河口附近を通じての傾向であると思はれる。

附 記

本報告の資料は主として内務省の各土木出張所、又は諸府縣廳の土木課から提供されたものであつて、關係各方面の御援助に對して深甚の謝意を表すると共に、尙今後も資料の提供を受けて内容を増補して行く事が出来れば幸甚であると思つてゐる。

尙本報告では風向、深淺圖等の詳細は特に省略した。

溢流堰堤頂部縦斷形狀の溢流係 數に及ぼす影響に關する水理實驗

内務技師 竹 内 俊 雄

要 旨

某堰堤工事にあたり提案された堤頂部形狀を少しづつ變形せしめた3種の溢流堰堤の模型に就き溢流深と溢流係數との關係を求めたところ、Creagerの形狀に近いものが同じ溢流深に對して最も大きい溢流係數の値を示したが、此の程度の變形では計量溢流深に對して大差無い事を知つた。

尚堤頂面の受ける靜水壓を測定したところ、計量溢流深に對してやはり Creager の形狀に近いものが低壓を生ずる傾向が最も少い事が判つた。

目 次

I. 實驗の目的	(1)
II. 堤頂部縦斷形狀	(2)
III. 實驗装置	(4)
IV. 實驗値	(8)
V. 結 語	(11)

(本實驗は横田技師御指導の下に昭和17年1月より昭和17年4月まで行つたものである。實驗中石井靖九君より受けた有益な助言並に實驗を擔當された八木技手、濱野敬君、高山龍雄君の努力に對し深甚なる謝意を表する次第である。)

I. 實 驗 の 目 的

溢流係數に影響を及ぼす要素は極めて多いのであるが、此所では其中溢流深と堰堤構造物形狀とを考へる事にする。

竊に當所八木技手は此所で取扱つて居る程度の銳頂堰に於て溢流係數が溢流深の一次函數で表はせるといふ事を實驗より求め、或る模型堰堤に對して次の如き形を示された。

$$C=1.38+4.19 H$$

茲に

C : 溢流係數

H : 溢流深 (單位: 米)

但し實驗は溢流深 $H=0.024 \sim 0.188$ ($m=0.14 \sim 1.11$) の範圍で行つた。 $m = \frac{H}{H_0}$ $C \cdot H_0$ は計量溢流深を表はす溢流深と溢流係數との間には上に述べた直線的關係が存在する事を一應認め、此の直線式の常數項の大きさが堰堤構造物形狀によつて如何に變化するかを實驗的に確かめんとしたものである。

堰堤構造物形狀としては次の如きものが考へられる。

(1) 堰柱 (pier) の絞り度

(2) 堰柱の形状及位置

(3) 堤頂部縦断形状

既に山本弘之氏¹⁾は堰柱の形状及堤頂部形状を一定に保つた場合絞り度が C と H との關係に及ぼす影響を實驗され、絞り度の大きい程同じ H に対して C は大きくなる事を求められた。

更に其の追加報告²⁾に於て堰柱の絞り度、堤頂部縦断形状を一定に保ち堰柱の形状及位置を變へこれが C と H との關係に及ぼす影響を求められた。

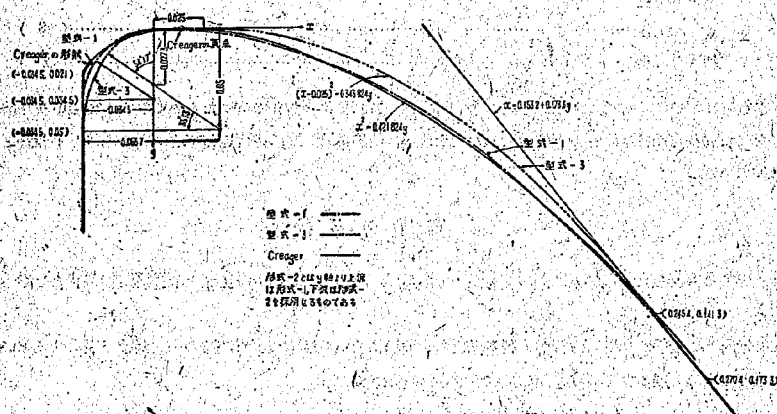
本實驗に於ては堰柱の絞り度、形状、位置等を一定に保ち堤頂部縦断形状のみを變へた場合に C と H との關係は如何に變化するかを3種類の堤頂部縦断形状について求めた。更に構造物としての安定を考慮する目的で堤頂面の受ける静水壓を測定し、低壓の生ずる傾向を確かめた。

II. 堤頂部縦断形状

實驗に用いた3種類の堤頂部形状は計算溢流深10米に對する Creager の形状を基準とし、之を少し變形した形状である。圖-1、表-1に其の値を示してある。此の僅かな變形が溢流係數及堤頂面の受ける静水壓にどの程度の影響を及ぼすものであるかを實驗により求めた。

計算溢流深10米に對する實物堤頂部縦断形状を $\frac{1}{60}$ に縮めて圖-2に示す様な8種類の模型を製作した。此

圖-1 堤頂部縦断形状



の隣堤上流側垂直面、堤頂點、堰堤下流側傾斜面は何れも一定に保ち、堤頂點の前後の曲線部の形状のみを變へた。堤頂部縦断形状を表はすのに原點を堤頂點に置き、 x, y 軸の方向を圖に示す方向にとることにした。

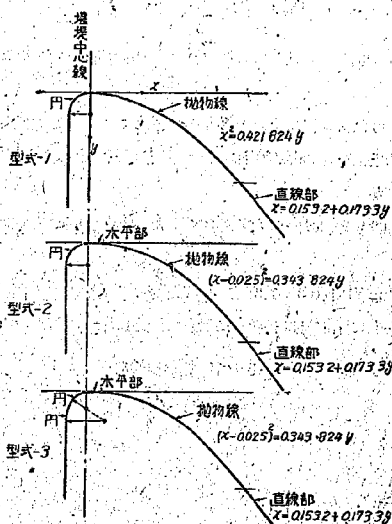
型式-1

堰堤上流側垂直面と堤頂點とを $\frac{1}{4}$ 円で結び、堤頂點に頂點を有し堰堤下流側傾斜面に接する拋物線を挿入した。

1) 土木試験所報告第66號。山本弘之「堰堤の溢流係數に關する模型實驗」

2) 同 「同」 (追報)

図-2 複型堤頂部縦断形状



堰堤上流側垂直面上の一点 $(-0.0345, 0.0345)$ と堤頂點とを堰堤中心線上に中心を有する半径 0.0345 の $\frac{1}{2}$ 円で結ぶ。堰堤上流側垂直面及 x 軸は此の円の切線になる。堤頂點に原點を有し、堰堤下流側傾斜面

$$x = 0.1532 + 0.1733y$$

に切する拋物線

$$x^2 = 0.4216y$$

を描く。此の切點の座標は $(0.2704, 0.1733)$ である。

型式-3

堰堤上流側垂直面と堤頂點とを 2 つの圓弧で結び、堤頂點より水平部を設け、此の水平部の端に頂點を有し堰堤下流側傾斜面に切する拋物線を挿入した。

堰堤上流側垂直面上の一点 $(-0.0345, 0.05)$ に於て切する半径 0.0667 の第 1 圓を描く。此の圓の中心に於て水平に對して $35^\circ 13'$ の角度をなす半径が堰堤中心線 (y 軸) と交る點に中心を置く半径 0.0273 の第 2 圓を描く。第 2 圓は第 1 圓と滑に通り且堤頂點に於て x 軸に切する。堤頂點より x 軸に 0.025 の水平部を設け、此の水平部の端に頂點を有し堰堤下流側傾斜面

$$x = 0.1532 + 0.1733y$$

に切する拋物線

$$(x - 0.025)^2 = 0.3438y$$

を描く。此の切點の座標は $(0.2454, 0.1413)$ である。

型式-2

堰堤中心線より上流側は型式-1 を、下流側は型式-3 を採用した形状である。

III. 實驗裝置

堰堤を2次元的に取扱つて、堰柱を4個間取入れた縮尺 $\frac{1}{60}$ の模型堰堤を幅1米の矩形水路内に造り實驗を行つた。(圖-3)

模型使用水量は堰頂水槽に設けた檢定済幅1米矩形堰の溢流深より求める引当出来る。堰堤上流側水路は延長12.6米ある。溢流量が多くなると水面の動搖が現れ堰堤上流側1.5米の溢流深測定に困難を感じた。

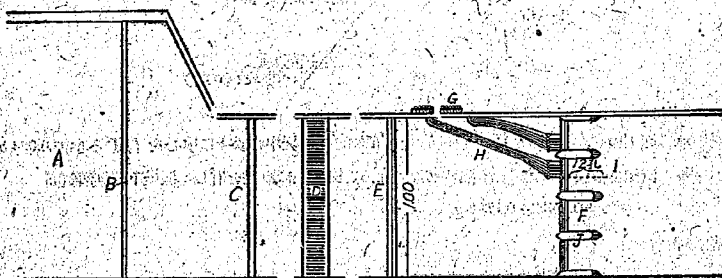
堰頂點は水路床より0.436に在る。

堰體はモルタルで仕上げ表面は出来る丈滑になる様に磨いた。純溢流量は4個間合計で0.790ある。依て此の場合の絞り度は0.793となる。

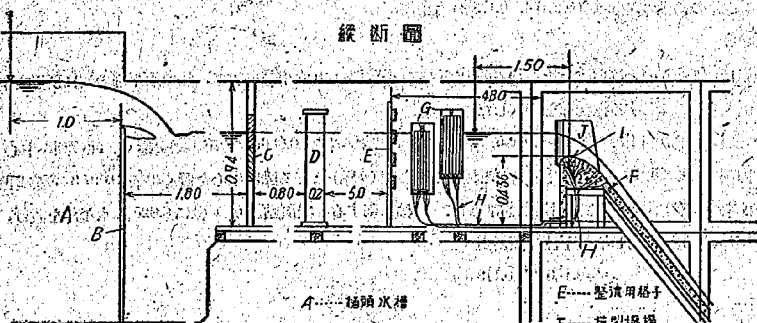
型式-1, 2, 3に對して堰堤上流側垂直面、堰頂點、堰堤下流側傾斜面は固定し、堰頂點の前後の曲線部の形狀を變へた。此の場合堰柱は圖-4に示す様に各形狀に對して一定に保つてある。堰柱は杉材を用ひ圖に示す様な

圖-3 實驗裝置

平面圖



縦断面圖



A..... 堰頂水槽

B..... 1米矩形堰

C..... 溢流用挿戸

D..... 聯版溢流戸

E..... 溢流用格子

F..... 堰堤傾斜面

G..... 静水圧測定用ガス管

H..... 連絡1/2管

I..... 堰頂面を穿つる静水圧測定用孔

J..... 堰柱

扉扉を附した。

左岸より第2徑間の中央に於て水平面上を縱斷方向に移動する様に水面測定器を据付けて(圖-5)各溢流深に對する水面の縱斷形狀を測定した。此の場合の水面形狀は圖-6に示す様なものである。

水脈縱斷形狀を測定したのと同じ徑間に於て堤頂面に圖-7、圖-8、表-4に示す位置に12箇の孔をあけ堤頂面の受ける静水壓を測定した。孔は堤頂面に垂直ならしめ流速の入りぬ隙に注意した。圖-9に示すガラス管と静水壓測定用孔とをゴム管で連絡して、溢流時堤頂面の受ける静水壓をガラス管内の水柱の高さで讀む様にした。

圖-6 水 脈 形 狀

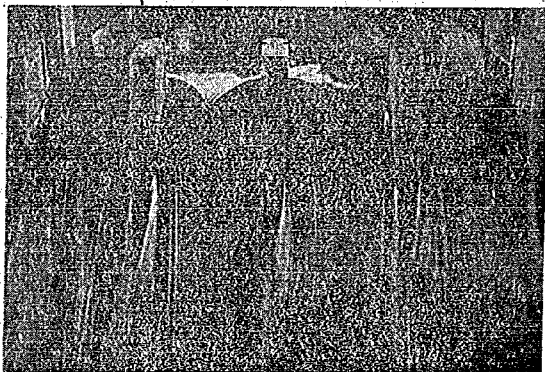


圖-7 静水壓測定用孔



図-8 静水圧測定用孔の座標（設計）

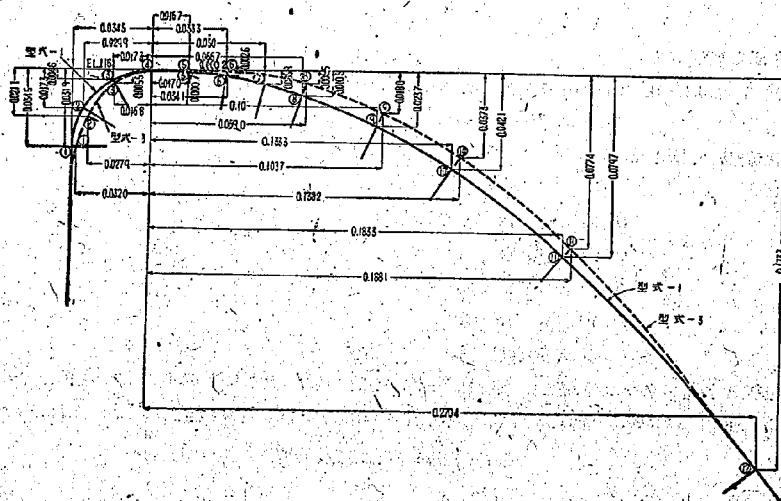
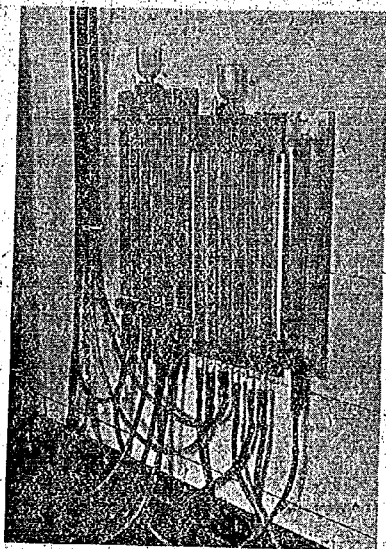


図-9 静水圧測定用ガラス管



IV. 實 驗 値

[1] 溢流係數

型式-1, 2, 3 に対して溢流量と溢流深とを測定し, 接近流速を考慮した流量公式

$$Q = CB \left\{ (H + h_a)^{\frac{3}{2}} - h_a^{\frac{3}{2}} \right\}$$

より溢流係數を計算した。

茲に

Q: 溢 流 量 (立方米/秒)

C: 溢 流 係 數

B: 純 溢 流 幅 (米)

H: 溢 流 深 (米)

h_a : 接近流速水頭 (米)

溢流深と計算より求めた溢流係數との關係を 圖-10, 表-2 に示す。型式-1 は 圖-1 よりわかる様に此の計算溢流深に對する Creager の形狀に最も近い形狀を有するものであつて, 計算溢流深までの各溢流深に對して他

圖-10 溢流深と溢流係數との關係

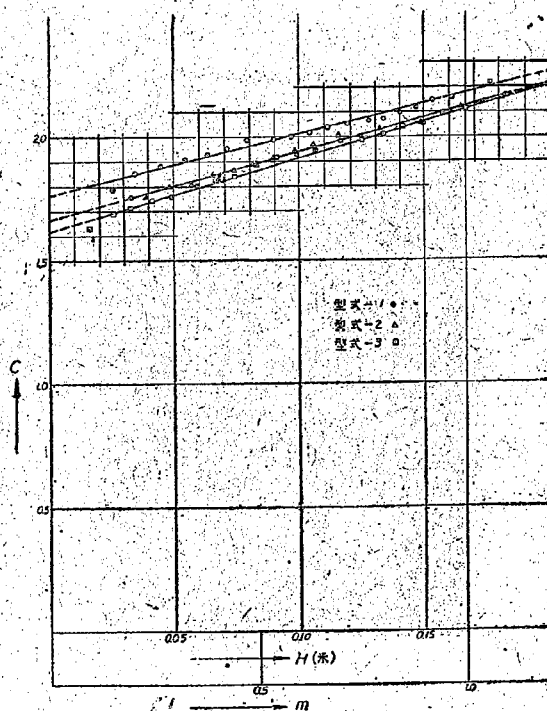


図-11 溢流深と堤頂點に於ける水深との關係

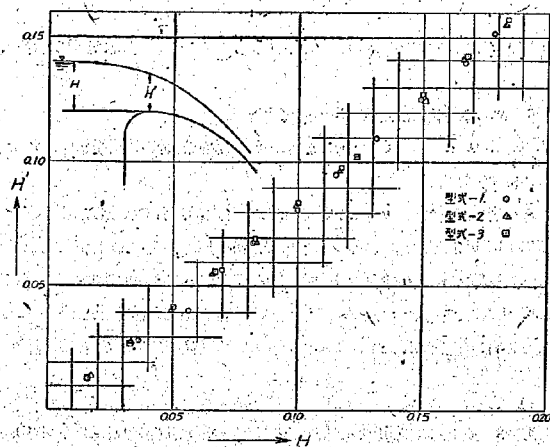
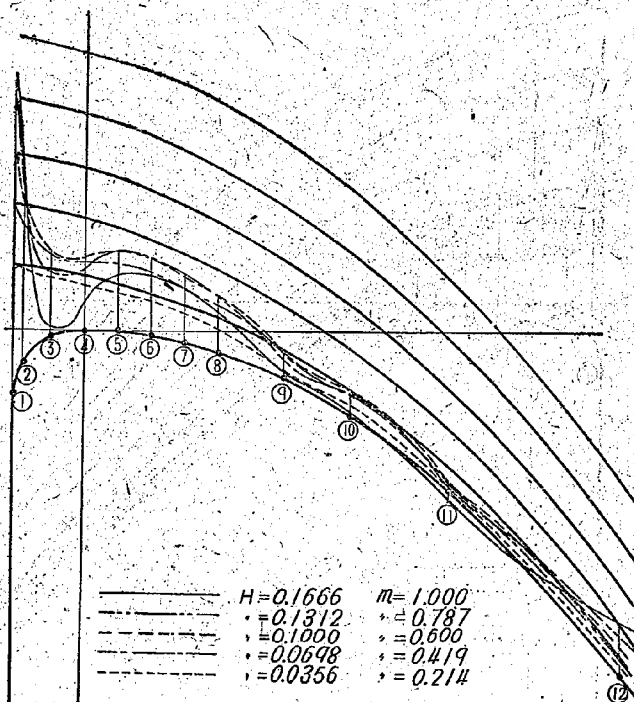


図-12 型式-1 徑間中央に於ける水脈横斷形状及堤頂面の受ける静水圧



の形状より大きい溢流係数の値を示した。尚此の場合 $m=0.10 \sim 1.10$ の範囲で実験を行った。圖には m の値をも併せ記した。

参考の圖に堤頂點上の水深 H' と溢流深 H との比を求めた。 $n = \frac{H'}{H}$ は溢流深の増加と共に僅か増して居る。(圖-11、表-3)

[2] 徑間中央に於ける水脈縦斷形状及堤頂面の受ける静水壓

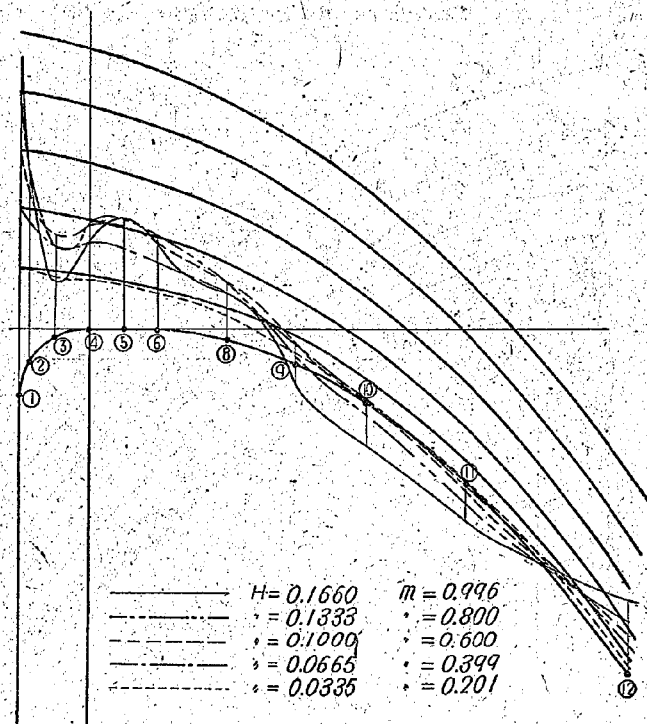
溢流深 0.03, 0.07, 0.10, 0.13, 0.17 の 5 つの場合について水脈縦斷形状及堤頂面の受ける静水壓の大きさを測定した。(圖-12、13、14、表-4)

表-4 に示す静水壓測定用孔の縦座標 y 及堤頂面の受ける静水壓を示す水柱の水面の縦座標 y_2 は圖-15 に示す様にとつた。圖-12、13、14 に於て静水壓を示す曲線と堤頂部形状曲線との縦距は堤頂面上の各點の受ける静水壓を示して居る。孔の縦座標 y より静水壓の縦座標 y_2 が大きい事は堤頂面に低壓を生じた事を示して居る。

型式-1 に於ては $m=1$ になつてやつと堤頂部下流面に低壓を生ずる傾向を示した。

型式-2 の場合測定點①附近に於ては溢流深の小さいうちから ($m=0.201$) 堤頂部下流面に低壓を生じ始めて居る。

圖-13 型式-2 徑間中央に於ける水脈縦斷形状及堤頂面の受ける静水壓



型式-3 では $m=1$ になる前に堤頂部下流面に低基を生じた。

圖-14 型式-3 径間中央に於ける水脈縦断形状及堤頂面を受ける静水圧

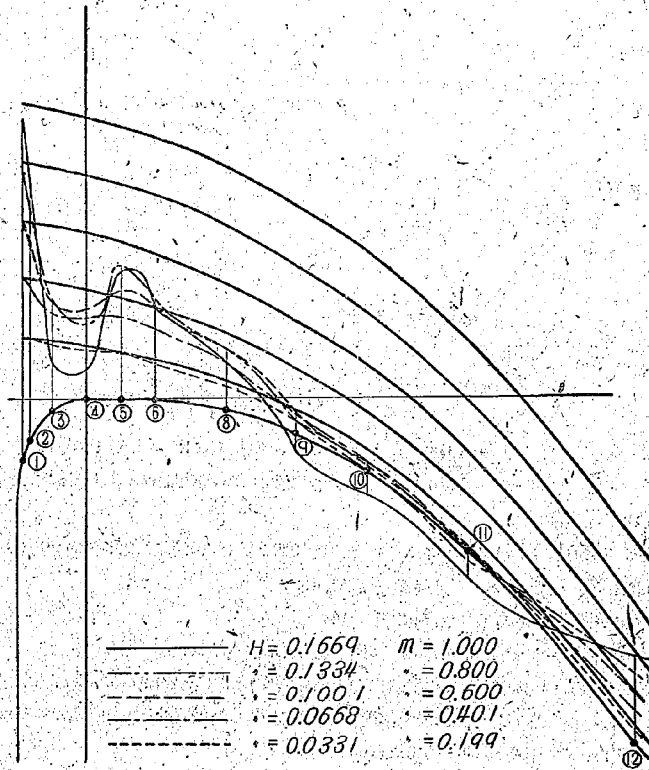
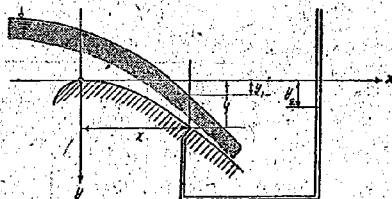


圖-15 座標のとり方

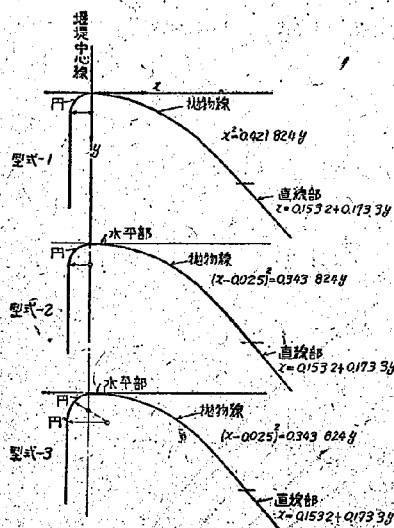


V 結 語

(1) 溢流係数に関して

(i) 3 型式に對し實驗式として次の 8 式を得た。

図-16 堤頂部縦断形状



$$\text{型式-1} \quad C_1 = 1.76 + 2.49 H$$

$$\text{型式-2} \quad C_2 = 1.67 + 2.70 H$$

$$\text{型式-3} \quad C_3 = 1.62 + 2.97 H$$

但し実験は $H=0.016 \sim 0.1834$ ($m=0.10 \sim 1.10$) の範囲で行った。

計測水深 $H=0.1667$ ($m=1$) に對して

$$C_1 = 2.17$$

$$C_2 = 2.12$$

$$C_3 = 2.11$$

依て

$$\frac{C_2}{C_1} = 0.977$$

$$\frac{C_3}{C_1} = 0.972$$

故に計測水深に對して3型式の溢流係数の値は何れも大差ないと考へてよい。

(ii) 型式-3 は堤頂部に水平部を設けた爲に水平部の無い型式-1 に比べて溢流係数の値は減じた。此の場合堤頂部に水平部を設ける事は溢流係数を減ずる原因に

なると思はれる。

(iii) 型式-2 と型式-3 とでは堤頂中心線より上流側の形状を變へて溢流係数を測定したのであるが、此の程度の變形では型式-2 が型式-3 に比べて僅か良い結果を示した。

[2] 堤頂面を受ける静水壓に關して (圖-12, 13, 14)

型式-1 と型式-3 とでは後者の方が堤頂面に低壓を生ずる傾向が大きい。

型式-3 は堤頂部に水平部を設け、水平部と堤下流側傾斜面との間に拋物線を入れたのであるが、此の場合の拋物線形状は型式-1 の堤頂點と堤下流側傾斜面との間に挿入した拋物線に比べて急であるが此の部分に低壓を生ずる傾向を大ならしめる原因になると思ふ。(18.7.14)

表-1 堤頂部縦断形状 (單位米)

番號	型式-1		型式-2		型式-3		備 考	Cragger の形状	
	横座標 x	縦座標 y	横座標 x	縦座標 y	横座標 x	縦座標 y		横座標 x	縦座標 y
1	-0.0345	0.0345	-0.0345	0.0345	-0.0320	0.0519	上流部傾斜	-0.0345	0.0210
2	-0.0299	0.0173	-0.0299	0.0173	-0.0279	0.0211		-0.0173	0.0060
3	-0.0173	0.0046	-0.0173	0.0046	-0.0168	0.0056		-0.0011	0.0012
4	0.	0.	0.	0.	0.	0.		0.	0.
5	0.0167	0.0007	0.0170	0.	0.0170	0.		0.0322	0.0012
6	0.0333	0.0026	0.0341	0.0002	0.0341	0.0002	下流部拋物線	0.0655	0.0100
7	0.0500	0.0056	—	—	—	—		0.0989	0.0237
8	0.0667	0.0105	0.0660	0.0056	0.0660	0.0056		0.1322	0.0428
9	0.1000	0.0237	0.1037	0.0180	0.1037	0.0180		0.1655	0.0662
10	0.1333	0.0421	0.1332	0.0373	0.1332	0.0373		0.1989	0.0942
11	0.1833	0.0797	0.1881	0.0774	0.1881	0.0774	拋物線の終點(切點)	0.2489	0.1450
12	0.2704	0.1733	0.2454	0.1413	0.2454	0.1413		0.2989	0.2034

型式-1 表-2 溢流深と溢流係数との関係 (単位米)

番號	H	Q	h_a	C
1	0.0255	0.00575	0.0000	1.79
2	0.0343	0.00930	0.0000	1.85
3	0.0450	0.01420	0.0000	1.88
4	0.0544	0.01915	0.0001	1.90
5	0.0631	0.02415	0.0001	1.92
6	0.0710	0.02925	0.0002	1.95
7	0.0790	0.03495	0.0002	1.99
8	0.0896	0.04200	0.0003	1.98
9	0.0973	0.04820	0.0004	2.00
10	0.1046	0.05420	0.0005	2.01
11	0.1105	0.05930	0.0006	2.05
12	0.1190	0.06710	0.0007	2.05
13	0.1273	0.07470	0.0009	2.06
14	0.1334	0.08055	0.0010	2.07
15	0.1404	0.08810	0.0012	2.09
16	0.1471	0.09535	0.0014	2.12
17	0.1538	0.10370	0.0016	2.15
18	0.1615	0.11232	0.0018	2.16
19	0.1684	0.12155	0.0021	2.19
20	0.1765	0.13200	0.0024	2.21

$$C=1.76+2.49H$$

型式-2 表-2 (つづき)

番號	H	Q	h_a	C
1	0.0328	0.00825	0.0000	1.76
2	0.0398	0.01104	0.0000	1.76
3	0.0491	0.01550	0.0001	1.80
4	0.0580	0.02000	0.0001	1.81
5	0.0658	0.02470	0.0001	1.85
6	0.0743	0.02990	0.0002	1.86
7	0.0821	0.03526	0.0002	1.89
8	0.0900	0.04110	0.0003	1.92
9	0.0993	0.04840	0.0004	1.95
10	0.1065	0.05445	0.0005	1.97
11	0.1159	0.06310	0.0007	2.01
12	0.1248	0.07025	0.0008	2.00
13	0.1326	0.07837	0.0010	2.03
14	0.1401	0.08500	0.0011	2.03
15	0.1493	0.09475	0.0013	2.05
16	—	—	—	—
17	0.1553	0.11435	0.0013	2.12
18	0.1730	0.12360	0.0021	2.14
19	0.1823	0.13480	0.0024	2.15

$$C=1.67+2.70H$$

型式-3

表-2 (つづき)

番號	H	Q	h_a	C
1	0.0166	0.00275	0.0000	1.63
2	0.0263	0.00570	0.0000	1.69
3	0.0331	0.00815	0.0000	1.71
4	0.0414	0.01160	0.0000	1.74
5	0.0499	0.01560	0.0000	1.76
6	0.0594	0.02075	0.0001	1.81
7	0.0668	0.02495	0.0001	1.83
8	0.0742	0.02940	0.0002	1.83
9	0.0827	0.03560	0.0002	1.89
10	0.0914	0.04200	0.0003	1.92
11	0.1001	0.04850	0.0004	1.93
12	0.1071	0.05410	0.0005	1.94
13	0.1169	0.06300	0.0007	1.98
14	0.1248	0.06963	0.0008	1.98
15	0.1334	0.07800	0.0010	2.01
16	0.1414	0.08650	0.0011	2.04
17	0.1499	0.09540	0.0014	2.04
18	0.1570	0.10420	0.0016	2.09
19	0.1669	0.11495	0.0019	2.10
20	0.1731	0.12280	0.0021	2.12
21	0.1834	0.13660	0.0025	2.16

$$C = 1.62 + 2.97 H$$

表-3 溢流深と堤頂點に於ける水深との關係 (單位米)

型式-1			型式-2			型式-3		
溢流深 H	堤頂點に於ける水深 $\frac{H'}{H}$	$n = \frac{H'}{H}$	溢流深 H	堤頂點に於ける水深 $\frac{H'}{H}$	$n = \frac{H'}{H}$	溢流深 H	堤頂點に於ける水深 $\frac{H'}{H}$	$n = \frac{H'}{H}$
0.0167	0.0128	0.766	0.0169	0.0137	0.811	0.0166	0.0132	0.795
0.0356	0.0279	0.784	0.0335	0.0274	0.818	0.0331	0.0269	0.813
0.0564	0.0450	0.798	0.0498	0.0407	0.817	0.0499	0.0409	0.820
0.0698	0.0563	0.807	0.0665	0.0550	0.827	0.0668	0.0552	0.826
0.0822	0.0668	0.813	0.0828	0.0676	0.816	0.0827	0.0668	0.832
0.1000	0.0818	0.818	0.1000	0.0828	0.823	0.1001	0.0833	0.832
0.1157	0.0955	0.825	0.1166	0.0967	0.829	0.1169	0.0983	0.847
0.1312	0.1093	0.833	0.1333	0.1120	0.840	0.1334	0.1120	0.830
0.1490	0.1251	0.840	0.1500	0.1248	0.832	0.1499	0.1268	0.846
0.1666	0.1404	0.843	0.1660	0.1414	0.852	0.1660	0.1419	0.850
0.1785	0.1514	0.848	0.1830	0.1553	0.849	0.1834	0.1570	0.856

型式-1

表-4 堰間中央に於ける水脈縦断形状及堤頂面の受ける静水脈 (単位米)

番 號	静水脈測定 用孔の座標 (出来上り)		溢 流 深									
	横座標 x	縦座標 y	$H=0.0856$, $m=0.214$		$H=0.0698$, $m=0.419$		$H=0.100$, $m=0.600$		$H=0.1312$, $m=0.787$		$H=0.1666$, $m=1.000$	
			水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2	水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2	水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2	水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2	水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2
1	-0.0345	0.0342	-0.0329	-0.0328	-0.0333	-0.0330	-0.0392	-0.0380	-0.1168	-0.1100	-0.1436	-0.150
2	-0.0299	0.0174	-0.0324	-0.0310	-0.0625	-0.0530	-0.0885	-0.0660	-0.1180	-0.0713	-0.1476	-0.0685
3	-0.0173	0.0041	-0.0310	-0.0270	-0.0603	-0.0385	-0.0856	-0.0395	-0.1130	-0.0295	-0.1442	-0.0010
4	0.	0.	-0.0279	-0.0224	-0.0563	-0.0344	-0.0818	-0.0370	-0.1093	-0.0310	-0.1404	-0.015
5	0.0167	0.0003	-0.0237	-0.0197	-0.0516	-0.0340	-0.0770	-0.0405	-0.1040	-0.040	-0.1357	-0.0235
6	0.0333	0.0025	-0.0188	-0.0158	-0.0457	-0.0298	-0.0704	-0.0367	-0.0991	-0.0373	-0.1307	-0.0285
7	0.0500	0.0012	-0.0128	-0.0082	-0.0387	-0.0210	-0.0633	-0.0277	-0.0910	-0.0299	-0.1224	-0.022
8	0.0667	0.0109	-0.0067	-0.0015	-0.0314	-0.0129	-0.0551	-0.0187	-0.0825	-0.0185	-0.1170	-0.010
9	0.1000	0.0286	+0.0087	+0.0190	-0.0133	+0.0112	-0.0368	+0.011	-0.0636	+0.0145	-0.0967	+0.021
10	0.1333	0.0421	0.0283	0.0360	+0.0081	0.0315	-0.0137	0.029	-0.0400	0.0305	-0.0720	0.0395
11	0.1333	0.0804	0.0677	0.0781	0.0491	0.0760	+0.0235	0.0755	+0.0033	0.0784	-0.0269	0.0855
12	0.2704	0.1733	0.1623	0.1673	0.1460	0.1620	0.1271	0.1565	0.1040	0.1620	+0.0750	0.1455

型式-2

番 號	静水脈測定 用孔の座標 (出来上り)		溢 流 深									
	横座標 x	縦座標 y	$H=0.0635$, $m=0.201$		$H=0.0565$, $m=0.399$		$H=0.100$, $m=0.600$		$H=0.1333$, $m=0.800$		$H=0.1666$, $m=0.996$	
			水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2	水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2	水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2	水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2	水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2
1	-0.0345	0.0342	-0.0313	-0.0312	-0.0606	-0.0605	-0.0896	-0.0895	-0.1195	-0.1133	-0.1497	-0.1360
2	-0.0299	0.0174	-0.0300	-0.0300	-0.0601	-0.0540	-0.0893	-0.0708	-0.1189	-0.0792	-0.1493	-0.0800
3	-0.0173	0.0041	-0.0295	-0.0295	-0.0579	-0.0418	-0.0874	-0.0476	-0.1163	-0.0410	-0.1448	-0.0235
4	0.	0.	-0.0274	-0.0260	-0.0550	-0.0422	-0.0828	-0.0520	-0.1120	-0.0530	-0.1414	-0.0450
5	0.0167	0.	-0.0241	-0.0225	-0.0506	-0.0403	-0.0790	-0.0515	-0.1078	-0.0560	-0.1371	-0.0550
6	0.0341	0.0002	-0.0202	-0.0185	-0.0453	-0.0333	-0.0726	-0.0435	-0.1016	-0.0470	-0.1316	-0.0440
7	0.0500	0.0058	-0.0105	-0.0072	-0.0326	-0.0188	-0.0590	-0.0240	-0.0676	-0.0246	-0.1154	-0.0190
8	0.1037	0.0177	+0.0037	+0.0120	-0.0157	+0.0080	-0.0406	+0.0080	-0.0676	+0.0140	-0.1076	+0.0265
9	0.1332	0.0369	0.0247	0.0360	+0.0060	0.0350	-0.0168	0.0360	-0.0434	0.0435	-0.0711	0.063
10	0.1332	0.0764	0.0654	0.0775	0.0484	0.0780	+0.0261	0.0810	+0.0018	0.0870	-0.0261	0.096
11	0.2704	0.1733	0.1642	0.169	0.1498	0.1690	0.1284	0.1523	0.1024	0.1470	+0.0714	0.1355

型式-3

番 號	静水脈測定 用孔の座標 (出来上り)		溢 流 深									
	横座標 x	縦座標 y	$H=0.0331$, $m=0.199$		$H=0.0565$, $m=0.401$		$H=0.1001$, $m=0.600$		$H=0.1334$, $m=0.800$		$H=0.1669$, $m=1.000$	
			水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2	水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2	水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2	水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2	水脈縦断 形状の縦 座標 y_1	堤頂面の 受ける静 水脈の縦 座標 y_2
1	-0.0320	0.0319	-0.0310	-0.0309	-0.0610	-0.0603	-0.0895	-0.0890	-0.1192	-0.1136	-0.1490	-0.1330
2	-0.0279	0.0211	-0.0300	-0.0300	-0.0602	-0.0591	-0.0893	-0.0810	-0.1186	-0.0962	-0.1474	-0.1030
3	-0.0168	0.0053	-0.0269	-0.0276	-0.0585	-0.0430	-0.0873	-0.0478	-0.1163	-0.0485	-0.1457	-0.0154
4	0.	0.	-0.0269	-0.0242	-0.0552	-0.0398	-0.0833	-0.0444	-0.1120	-0.0370	-0.1410	-0.0151
5	0.017	0.	-0.0235	-0.0230	-0.0509	-0.0419	-0.0788	-0.0556	-0.1078	-0.0677	-0.1372	-0.0645
6	0.0341	0.0002	-0.0197	-0.0175	-0.0457	-0.0343	-0.0732	-0.0462	-0.1030	-0.0500	-0.1323	-0.0160
7	0.0500	0.0058	-0.0098	-0.0067	-0.0328	-0.0182	-0.0584	-0.0250	-0.0874	-0.0250	-0.1171	-0.0180
8	0.1037	0.0177	+0.0055	+0.0113	-0.0153	+0.0072	-0.0393	+0.0070	-0.0663	+0.0113	-0.0977	+0.0243
9	0.1332	0.0369	0.0258	0.0340	+0.0070	0.0303	-0.0165	0.0318	-0.0430	0.0368	-0.0740	0.0435
10	0.1331	0.0764	0.0665	0.0760	0.0492	0.0760	+0.0273	0.0780	+0.0014	0.0825	-0.0232	0.0906
11	0.2704	0.1733	0.1643	0.1670	0.1487	0.1579	0.1280	0.1483	0.1027	0.1385	+0.0710	0.1304



紅土の土質に關する實驗的研究

石 井 靖 丸

要 旨

南方地域の特徴ある土質である紅土系土壌南洋パオ島アイライ産の紅土及び海南島産の褐色土に就いて、土質實驗を行ひその特質を明らかにしたものである。紅土地域の土木工作物の施工に當つて、この土質の特性を把握することの極めて重大であることは言を俟たない。

本實驗は大東亞戰爭勃發以前に着手したものであるが、種々の事情に依つて發表が遅れてしまつた。尙實驗中、懇切な御指導と御援助を賜つた前所長藤井博士に對し厚く感謝の意を表する次第である。

目 次

I. 概 説	(1)
I. 紅土、褐色土の土質實驗	(3)
(1) 物理試驗	(3)
(2) 力學試驗	(5)
II. 結 語	(23)

I. 概 説¹⁾

ラテライト (Laterite) の語源はラテン語の Later (煉瓦) から來て居り、印度の一部ではこれが切出して乾燥すれば堅硬になり、煉瓦狀を呈するから土人が建築材料として使用して居る。1807 年に Buchman は之にラテライトといふ名稱を與へた。然し乍ら此の名稱は廣く熱帯地方に産する鐵及び礫土に富んだ土壌の總稱の様に用ひられる様になつた爲にその最初の意義は全く失はれ非常に漠然として居り今日でもラテライトの定義に關して學者の意見は一致して居ない。

i) 分 布

紅土の分布は熱帯多雨地方で、アフリカの中部ではメダン、東部のタンガニイカ、ケニア、西部のコンゴ、カメルン、ギニア、ニジェリア及びシニアネオネに亘り、アジア州は南部の印度、セイロン、ビルマ、佛領印度支那、南支那に亘り關印及び吾が南洋羣島にも分布し、南米、中南米にも分布して居る。

ii) 紅土の生成條件

風化土壤の性質は母岩の性質及び氣象條件に依つて異なるが、氣象條件の諸點な地域に於ては母岩の性質の影響は殆んど認められない。

熱帯及亞熱帯を支配する多濕にして高温な條件の下では、過濕で空氣の透過不良な特殊な情を伴ふ場合を除けば過湿と温度が微生物の活動に對して理想的であるから、有機物は極めて速やかに分解し發されて、容易に礦物質化する。中間生成物たる有機酸類及び夫等の鹽類は生成せられるや否や微生物に依り利用され、土壤の礦物質成分と作用する丈の時間的餘裕が與へられない。従つて二酸化物の溶解は殆んど起らず、又有有機物中に灰分と

1) 此節は、藤井眞達「熱帯多雨地方の紅土に關する調査」内務省土木試驗所速報 38 號に依つた。

して存在する多量の鹽基は、有機物の礦物質化に伴つて土壤液中に溶解して來て、その反應を弱酸性乃至鹽基性ならしめる。従つて土壤中の珪酸鹽類は酸性加水分解に代つてアルカリ加水分解即ちラテライト化作用 (Laterisation) を受けることになり、珪酸は二酸化物よりも容易に溶解して洗出し、其の結果土壤の表層には二酸化物の集積を來し、爲に珪酸比小なるラテライト型土壤が生成せられるに至る。

ラテライト型土壤中ラテライトはラテライト化作用の最も進行せるもので、鐵質ラテライトは特に鐵の含有量大なるラテライトである。赤色土及び黃色土はラテライトに比すればラテライト化作用の進行程度比較的小なるものである。

尙 Campbrell 氏は熱帯に於て岩石が分解する過程を變質と風化の二種に區別した。而して眞の風化は水を以て間歇的に飽和せられる層の内部に於てのみ起り、ラテライトは此所に生成せられる。變質は常に水を以て飽和された層中で起り鐵が除去せられ、アルカリ珪酸鹽は含水珪酸鹽たるカオリンに變化する。之が風化すればラテライトを生ずる。それ故にラテライトは多湿にして溫和若しくは冷温なる氣候の下に於て反應すると同様な反應により一旦カオリンと可溶性珪酸鹽とを生じ、カオリンから更に珪酸が除去されて生成せられる。それが爲には飽水は間歇である必要があり、常に飽水せられて居る場合には單にカオリン生成が行はれて居るに過ぎないと述べて居る。

iii) ラテライトの定義

Martin 及び Dogne はラテライト及びラテライト型土壤の定義の基礎として粘土分の珪酸比を用ふべきことを主張し、それに基づいてシエラレネオネの土壤を次の様に分類した。

ラテライト	珪酸比 1.93 又はそれ以下
ラテライト型土壤	珪酸比 1.93~2.0
非ラテライト型土壤	珪酸比 2.0 及それ以上

又多くの研究者達は珪酸比即 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ よりも寧ろ鐵をも計算に入れた $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ を用ふべきであるとして居る。

iv) ラテライトの確認

ラテライト化を確認する上に於ては、層断面につき各層發達の模様を明らかにすることが極めて重要である。模範的ラテライトの層断面は鐵殼層、富化層、分解層及び基層の四層より成る。鐵殼層は地表面に出来るもので多胞狀乃至鐵滓狀の黒色物で主として酸化鐵より成り、下層の風化層の鐵殼が滲合して出来たものである。富化層は鐵、礫土質物の集積せるもので赤色を示し、ラテライト型土壤の代表的なものである。地表近くに現はれることもあり、又一定深所に現はれることもある。乾燥すれば鐵塊の礫となり、一帯に結合して堅い鐵核層を作る。富化層の下部は通常赤斑狀を呈し、鐵、礫土質物が上述の間に浸潤して居る。分解層は白色の粘土層より成る。母岩の分解物中鐵礫土が分離し、それが乾燥期には上部の富化層に移行する。又其の別には分解層中に炭酸石灰の沈澱が出来る。従つて土壤各成分を各層別に定量して夫等の移動、分布の狀況を知り、層發達の模様を明らかにすればラテライト化に對する確實な資料が得られることになる。

v) 組 成 分

ラテライトの成分は主として鐵、礫土、珪酸、チタニウムより成る。二酸化物は大部分含水酸化物の形となり、カオリン様の礦物も若干存在し、水は之等化合物に結合して居る。アルカリ及びアルカリ土金屬に乏しい事は云ふ迄もなく炭酸鹽は一般に含有せられない。

Hadrssowitz に依れば模範的ラテライトの組成は次の如くである。化合水は多量の礫土と結合し、其の量は

25~30%で、38%に達する場合も尠くない。礫土は最も多量に存在し50~60%に達する。鐵の量が增加すれば礫土の量は減少し、石英の増加も亦礫土量を減少せしめる。鐵の量には非常に差異があり、僅か1~2%に過ぎぬものもあれば又極端に大なるものもある。ラテライトに赤色を附與するものはGlinkaに依れば水酸化赤鐵礦($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)である。模範的ラテライトでは鉄含量は極めて小である。

vi) ラテライトの土質

ラテライト型土壤の機械的組成には一定の特徴は認められない。Martin 及び Dagne に依れば粒子が接合作用を受けて居る場合には粒徑2耗以上のものは20~50%に達する。

又礫比の大なる土壤と小なる土壤の間には粘土分の示す物理性に著しい相違が存在する。Bennett に依れば大體に於て $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ の比2.0前後を境として脆性及び粘性が著しく異つて来る。礫比小なるものは大なるものに比し一層脆性大となり粘性は小となる。これは膠質的性質に關する點で著しく異なるものであり而もその性質の差異は粘土の量の差によるものではなく、全く粘土そのものの性質の相違に因るものと考へられて居る。

以上述べて來た様にラテライト型土壤を一般的に特徴付けることは困難であり、且その力學的性質もラテライトの種類成分の相異に依つて著しく異つて來ると考へられる。

II. 紅土、褐色土の土質實驗

茲に報告する實驗は、南洋パラオ島アイリ查の紅土及び海南島產の紅土系土壤と考へられる褐色土に關する實驗結果である。勿論、此の二種の土壤に就いての實驗から紅土一般の土性を判定することは極めて無稽であるが、紅土特有の性質は大體抽出しようとする。土性の相違は、機械的組成の相違、膠質的性質の相違、化學成分、粒子形狀等の相違が重疊して生ずるものと考へられて居り、又同一系統の土質であれば以上の相違は或る程度迄明確に相關係を把えることが出来るものである。

次に問題となるのは土質判定の試驗方法である。此れは在來行はれて居る所謂土質實驗の結果を如何に工學的、力學的指數として使用し得るかといふ點に多くの疑問が存在する。唯此處に於ては在來の方法に依つて實驗したに過ぎないが、紅土の土性と共にこれらの實驗方法に對する批判も併せて行ふ機に努めた。

又實驗結果に對する判斷を明確にする爲に比較的性質のよく知れて居る山手赤土(樺東ローム)に就いて平行して實驗を行い、對照することとした。

(1) 物理試驗

紅土は赤褐色粗粒狀、褐色土は褐色粗粒狀である。何れも弱酸性。

a) 試驗項目

1. 機械的分析, 2. 眞比重, 3. 遠心力含水當量, 4. 收縮限界, 5. 液性限界, 6. 塑性限界, 7. 野外含水當量, 等である。

1. は 75μ 以上は篩(200番以上)に依り、それ以下はピーカー法に依つた。從つて 75μ 以下の粒徑分布は精細に測定しえなかつた。2. はルシヤテリーの比重瓶を用ひた。3~7. は何れも土の乾燥重量に對する百分比即含水比で表はした。

b) 試驗結果

表-1 に結果を掲げた。比較の爲黃土の結果²⁾をも併記した。

2) 星屋和“黃土の築堤材料としての安定度の研究”東亜研究所報告 p. 7.

- a: 北京郊外産 普通黄土
 b: 北京郊外産 煉瓦用黄土
 c: 塘沽産 埋立地のもの

表-1 紅土及褐色土の物理的性質

() 内は含水率に換算した値を示す。

機械分析	紅 土	褐色土	山手赤土	黄 土 _a	黄 土 _b	黄 土 _c
mm2.0, mm0.1, 5.0	1.1	1.0	—	—	—	—
5.0 2.5	2.4	5.1	—	—	—	—
2.5 1.2	1.5	6.1	0.1	—	—	—
砂 1.2 0.6	3.9	20.5	0.7	0.4	0.2	1.2
0.6 0.3	5.6	16.5	1.9	0.5	0.3	1.1
0.3 0.15	12.6	12.6	3.3	1.6	0.8	0.9
0.15 0.075	21.3	9.3	4.9	6.3	2.9	4.0
計	43.3	71.6	10.9	9.3	4.2	7.2
沈泥 0.075 0.005	30.7	11.2	36.9	55.3	46.1	34.7
粘土 0.005	21.0	17.2	52.2	35.4	49.7	58.2
合 計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.1
質 比 重	2.755	2.035	2.421	2.706	2.697	2.704
遠心力含水當量	33.98	35.27	65.4 (39.5)	16.1 (13.9)	21.0 (17.4)	22.5 (18.4)
收 縮 限 界	36.25 (26.61)	37.81 (27.44)	65.3 (39.5)	17.3 (14.7)	17.6 (15.0)	17.0 (15.0)
收 縮 比	1.16	1.17	0.95	1.83	1.85	1.84
收 縮 間 隙 率	—	—	(60.8)	(32.4)	(31.4)	(32.0)
液 性 限 界	81.52 (44.01)	70.69 (41.41)	94.2 (48.5)	41.3 (29.2)	60.2 (37.6)	53.8 (37.0)
塑 性 限 界	53.78 (36.22)	45.29 (31.17)	60.3 (37.6)	16.5 (14.2)	17.3 (14.7)	19.5 (16.3)
塑 性 指 数	24.74	25.40	33.9	24.8	42.9	39.3
容積收縮率	0.32	0.33	—	—	—	—
野外含水當量	76.16	70.18	—	—	—	—

図-1 には粒形曲線を示す。

尚緊硬限界を圖示すれば 圖-2 の様になる。

c) 試験結果に対する考察

(1) 粒徑分布状態は赤土、黄土等と著しく異なり、75 μ 以上が赤土、黄土に於ては5~10%程度にすぎないのに對し、紅土では43.3%、褐色土では71.6%に及ぶ。これは前者は風成土の風化したものであり、後者は母岩から風化して生じたものであるから當然のことである。機械的分析の結果のみからすれば紅土、褐色土は築堤材料、路床土、等として工學的には非常に好都合に粗細粒が混分されて居り、赤土、黄土に比して有利な土質と言ふことが出来る。又、5 μ 以下は21%及び17.2%であつて、赤土、黄土の1/2~1/3である。即ち75 μ 以上が5~15

圖-1

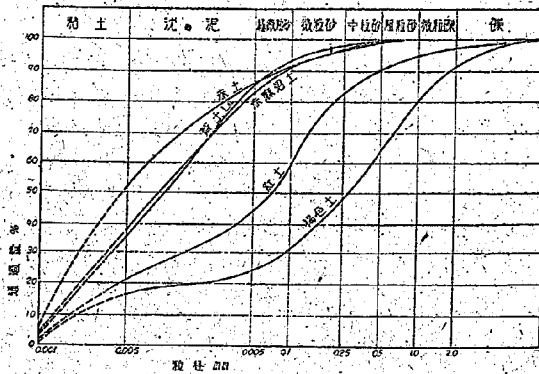
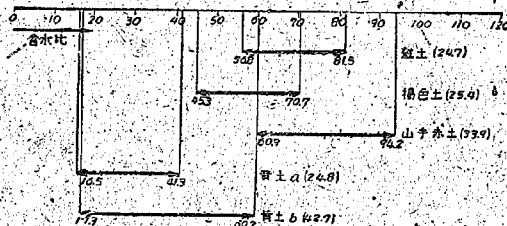


圖-2



結果を参照して後に觸れることにする。

(4) 收縮限界は赤土の $\frac{1}{2}$ 、黄土の2倍である。粒粒部分が多いにも拘らず、赤土に比して小さいのは注目すべきである。

(5) 緊硬限界(液性限界、塑性限界)は圖-2に示す様に45~80%の間である。各土塊に就いて、各限界の位置はそれらの土壤が生成された地域の氣象作用の影響を明白に示して居る。紅土の塑性指數は25程度であつて、赤土、黄土bに比して相當小さい値を示して居るから、水に對する安定性は小さいと見なければならぬ。此れも緊密度、透水度と比較して後で論ずることとする。

(2) 力學試驗

實驗に使用する紅土、褐色土は何れも自然狀態の物ではなく、粉末化したものに水を加へて捏ね、成型壓力を加へて作つたものである。従つて自然の成層位置に於ける狀態にはその儘では適用出来ない。

a) 試驗項目

1. 剪斷試驗, 2. 壓縮試驗, 3. 透水試驗, 4. 沸化試驗, である。

(1) 剪斷試驗

供試體は $4 \times 4 \times 4$ ㎝の立方體、成型壓力は2.5, 5, 10 kg/cm^2 、加壓時間は5分間とした。剪斷試驗機は三箱、

倍であるにも拘らず割合に多い。従つて砂礫部分が多いにも拘らず相當の粘着力を有すると思はれる。且ガオリンとは異なり、鐵物質成分が鐵化合物の形でそのまゝ入つて居るから膠質的性質も劇しいと考へてもよいであらう。

(2) 眞比重は、紅土 2.755、褐色土 2.085 であつて、黄土の 2.097~2.708 より大きく、赤土の 2.421 より著しく大きい。

(3) 透心含水當量は赤土の約 $\frac{1}{2}$ 、黄土の1.5倍程度である。故に保水能力は黄土より大きい。これは紅土の粒徑分布が密度大なる土壤を作るに適當な爲であるか又は膠質の特有の性質であるかは明白でない。黄土は透水性著しく小なる爲、密な組織を作りえず従つて保水性が小さく成るとも考へられる。これらのことに就いては透水試験の

式二面剪断器である。上下圧力は、1.25, 3.125, 5 kg/cm² の三段に變へた。

剪断試験に當つて、最も注目したのは含水量の影響如何といふことである。従つて成型時に當つて、含水量は大體塑性限界から液性限界の範囲を選んだ。成型含水量が異なれば成型圧力一定するときには間隙率が異なつて来る。従つて含水量の影響と共に、これに對照する間隙率の影響が加つて来る。且成型直後の試験であるから、乾燥、濕潤等に依る含水量の變化の影響を實驗したのではない。乾燥、濕潤等の影響を測定するには、供試體の收縮、膨脹の問題があり且空氣乾燥量と水乾燥量の比率が重要になつて来る。然しこの問題は、今は觸れぬことにする。

剪断試験結果は表2-4に掲げた。表2は紅土、表3は褐色土、表4は山手赤土の試験結果である。尚、殘念なことには小型剪断試験器の最大剪断力は3.1 kg/cm²であつて、紅土、褐色土ではこれを超過する場合が多かつた。此の場合には上下圧力1.25 kg/cm², 3.125 kg/cm²のときの剪断力を基準として求めた。尚圖8-11に結果を圖示した。

表2: 紅土、剪断試験結果

上下壓力	1.25 (kg/cm ²)				3.125 (kg/cm ²)				5.0 (kg/cm ²)			
成型壓力 (kg/cm ²)	試料 番號	試 驗 値		剪斷強度 (kg/cm ²)	試料 番號	試 驗 値		剪斷強度 (kg/cm ²)	試料 番號	試 驗 値		剪斷強度 (kg/cm ²)
		含水量	間隙率			含水量	間隙率			含水量	間隙率	
2.5	1	22.5	68.8	1.37	21	20.6	68.3	2.40	41	22.6	68.7	3.1以上
	2	22.0	65.7	1.41	22	20.7	68.2	—	42	22.5	68.9	〃
	3	25.9	68.6	1.88	23	23.5	64.2	2.64	43	25.8	68.8	〃
	4	26.0	68.5	1.72	24	25.8	68.7	2.47	44	25.4	68.2	〃
	5	28.1	67.9	1.88	25	25.9	68.9	2.50	45	20.0	66.0	2.02
	6	27.6	68.0	1.81	26	26.4	68.0	2.54	46	29.3	67.0	2.00
	7	29.3	64.4	1.77	27	26.4	68.7	2.48	47	31.1	63.3	2.52
	8	30.7	65.4	1.72	28	22.4	61.6	2.22	48	32.0	64.6	2.22
	9	30.8	65.7	1.70	29	29.2	65.1	2.22	49	32.3	62.7	2.24
	10	31.1	63.2	1.34	30	34.0	63.2	1.50	50	32.4	64.7	2.34
	11	33.3	63.7	1.17	31	34.0	63.1	1.34	51	34.0	62.2	1.92
	12	32.3	64.0	1.17	32	34.5	61.6	1.25	52	34.2	—	1.78
	13	33.2	62.9	1.18	33	34.9	62.6	1.12	53	35.2	61.6	1.44
	14	35.0	62.9	0.89	34	37.3	63.7	0.75	54	37.0	—	0.88
	15	34.9	61.4	0.98	35	37.3	64.2	0.75	55	36.6	—	1.28
	16	34.8	63.2	0.89	36	31.0	62.3	2.02				
	17	36.8	63.3	0.72	37	32.6	62.6	1.60				
	18	37.2	63.2	0.55								
	19	40.6	65.0	0.62								

表-2: 紅土、剪断試験結果

上下壓力	1.25 (kg/cm ²)				3.125 (kg/cm ²)				5.0 (kg/cm ²)			
成型壓力 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體 含水率	剪斷強度 間隙率 (kg/cm ²)		試料 番 號	試 驗 體 含水率	剪斷強度 間隙率 (kg/cm ²)		試料 番 號	試 驗 體 含水率	剪斷強度 間隙率 (kg/cm ²)	
5.0	1	31.0	61.1	2.26	11	27.8	63.5	2.60	21	29.0	63.6	2.87
	2	30.6	61.9	2.00	12	29.6	63.4	2.56	22	31.2	61.9	2.70
	3	32.1	60.0	1.97	13	31.0	62.2	2.36	23	32.2	61.6	2.38
	4	32.8	60.5	1.70	14	32.9	61.2	1.92	24	34.6	61.7	1.84
	5	34.2	61.0	1.17	15	34.0	61.5	1.47				
	6	34.1	61.0	1.03								
	7	34.8	61.8	1.00								
10	1	26.5	58.4	2.73	11	27.0	58.5	2.89	21	29.2	58.4	3.00
	2	27.1	59.0	2.76	12	29.1	58.4	2.31	22	30.5	58.1	2.89
	3	29.4	59.0	2.37	13	31.0	58.3	2.68	23	32.2	58.7	2.70
	4	30.6	58.2	2.19	14	32.1	58.4	2.35	24	32.4	58.8	2.37
	5	32.3	58.6	1.97	15	32.8	58.6	1.92				
	6	23.6	60.8	2.84								
	7	26.3	61.9	2.89								
	8	27.8	61.2	3.03								
	9	29.7	59.3	2.59								
	10	32.4	59.0	1.56								

表-3: 褐色土、剪断試験結果

上下壓力	1.25 (kg/cm²)				3.125 (kg/cm²)				5.0 (kg/cm²)			
成型壓力 (kg/cm²)	試料 番 號	試 驗 體 含水率 間隔率	剪斷強度 (kg/cm²)		試料 番 號	試 驗 體 含水率 間隔率	剪斷強度 (kg/cm²)		試料 番 號	試 驗 體 含水率 間隔率	剪斷強度 (kg/cm²)	
2.5	1	24.2 65.7	1.84		21	25.0 59.3	2.90		41	24.4 65.4	3.1以上	
	2	24.4 66.6	1.80		22	24.6 59.1	2.69		42	24.4 65.9	"	
	3	25.7 66.0	2.11		23	25.9 58.6	2.66		43	27.2 64.5	"	
	4	25.6 66.3	1.68		24	25.2 66.0	2.58		44	27.3 65.0	"	
	5	29.3 63.9	2.03		45	29.7 63.3	2.31		45	30.5 62.6	2.53	
	6	29.3 64.0	2.14		26	27.6 63.0	2.47		46	30.5 63.0	2.56	
	7	31.1 62.6	1.47		27	32.5 60.9	1.56		47	31.6 61.0	1.97	
	8	31.8 63.3	1.42		28	32.3 60.6	1.64		48	31.7 60.7	1.88	
	9	33.4 61.0	1.00		29	32.8 60.6	1.53		49	32.2 60.1	1.91	
	10	33.6 61.3	1.02		30	32.9 61.0	1.53		50	32.6 60.7	1.66	
	11	35.9 61.8	0.53		31	33.4 60.6	1.38		51	31.3 66.2	1.33	
	12	35.7 62.0	0.59		32	33.3 61.4	1.33		52	32.3 60.5	1.64	
	13	35.4 62.5	0.72						53	32.6 60.4	1.88	
	14	35.9 62.8	0.70						54	31.8 59.8	2.19	

表-3: 褐色土, 剪 斷 試 驗 結 果

上下壓力	1.25 (kg/cm ²)				3.125 (kg/cm ²)				5.0 (kg/cm ²)			
成型壓力 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		剪斷強度 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		剪斷強度 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		剪斷強度 (kg/cm ²)
		含水率	間隙率			含水率	間隙率			含水率	間隙率	
5.0	1	23.1	63.8	2.78	11	23.8	64.3	3.1以上	21	29.9	60.2	2.66
	2	22.8	63.9	2.53	12	23.5	64.0	"	22	29.2	59.9	2.78
	3	23.3	61.9	2.81	13	29.6	60.0	2.53	23	30.6	58.8	2.47
	4	23.8	61.5	2.78	14	29.4	59.0	2.50	24	31.3	59.5	1.73
	5	29.6	60.4	2.06	15	26.2	58.2	1.75	25	30.8	58.0	2.44
	6	29.4	60.0	2.12	16	31.8	59.4	1.88	26	30.7	58.5	2.42
	7	31.6	59.3	1.41	17	32.6	59.6	1.56	27	32.2	59.3	1.66
	8	31.8	59.6	1.34	18	32.2	59.0	1.63	28	31.4	59.0	1.85
	9	33.1	60.0	0.95	19	32.5	59.8	1.41				
	10	34.2	60.9	0.81	20	33.2	60.3	1.50				
10	1	30.5	56.8	2.19	21	29.0	57.7	3.1以上	31	28.6	57.1	3.1以上
	2	30.8	55.0	2.09	22	29.3	57.1	"	32	29.1	57.4	"
	3	27.4	55.3	3.1以上	23	32.3	58.0	1.91	33	31.1	58.7	2.66
	4	27.4	58.6	"	24	31.6	57.6	1.87	34	31.6	58.9	2.38
	5	30.5	57.0	1.84	25	30.6	57.1	2.50	35	25.6	55.4	1.63
	6	30.7	57.9	1.84	26	30.8	57.2	2.47	36	31.9	59.2	1.75
	7	31.7	58.6	1.44	27	33.3	58.7	1.72	37	32.0	59.3	1.78
	8	32.2	58.4	1.25	28	33.3	60.0	1.41				
	9	33.4	58.8	0.97								

表-4: 山手赤土, 剪 斷 試 驗 結 果

上下壓力	1.25 (kg/cm ²)				3.125 (kg/cm ²)				5.0 (kg/cm ²)			
成型壓力 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		剪斷強度 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		剪斷溫度 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		剪斷強度 (kg/cm ²)
		含水率	間隙率			含水率	間隙率			含水率	間隙率	
2.5	1	35.4	73.1	1.51	31	34.6	72.9	2.32	61	34.8	73.5	2.85
	2	36.4	72.6	1.73	32	33.6	72.4	2.12	62	35.2	73.6	2.78
	3	36.6	73.6	1.12	33	34.6	73.4	2.12	63	34.8	73.5	3.00
	4	33.1	73.2	1.51	34	34.3	73.3	2.19	64	37.3	73.5	2.72
	5	38.2	73.2	1.41	35	36.4	72.6	2.06	65	37.4	73.5	2.88
	6	40.0	74.0	1.12	36	37.3	72.9	2.16	66	37.3	72.8	2.75
	7	35.9	73.5	1.27	37	37.7	73.3	2.00	67	39.4	73.2	2.74
	8	38.8	73.0	1.51	38	39.8	73.5	1.97	68	39.6	73.3	2.34
	9	38.9	73.2	1.53	39	39.8	73.6	2.00	69	42.4	73.3	2.26
	10	40.5	74.3	1.59	40	39.8	74.2	1.91	70	43.0	73.4	2.10
	11	41.6	73.0	1.33	41	42.5	73.5	1.52	71	40.7	72.5	2.16
	12	41.2	72.9	1.20	42	42.0	73.4	2.12	72	73.6	72.6	1.86
	13	42.3	72.8	1.37	43	42.1	73.1	1.61	73	43.4	71.7	1.91
	14	44.2	72.1	1.25	44	42.0	73.6	1.56	74	46.2	72.2	1.67
	15	44.0	72.7	1.13	45	43.5	72.1	1.27	75	45.6	71.3	1.69
	16	43.5	72.0	1.10	46	43.3	71.8	1.75	76	45.9	71.9	1.88
	17	45.4	71.5	0.94	47	45.7	71.8	1.35	77	45.3	71.9	2.19
	18	43.4	70.0	1.03	48	45.6	71.9	1.55	78	47.4	71.2	1.69
	19	46.7	72.0	1.03	49	45.5	71.9	1.41	79	43.7	69.1	1.73
	20	46.7	70.8	0.80	50	47.2	71.4	1.06	80	45.9	68.7	1.91
	21	47.4	71.4	0.93	51	47.4	71.2	1.47	81	53.8	73.2	2.03
	22	47.6	71.5	0.88	52	47.5	71.0	1.41	82	47.6	69.7	1.66
	23	49.0	70.9	0.66	53	47.4	70.8	1.50	83	46.5	69.4	2.00
	24	48.7	70.7	0.81	54	48.5	70.2	1.33				
	25	48.9	70.7	0.66								

表4: 山手赤土, 剪断試験

上下壓力	1.25 (kg/cm ²)			3.125 (kg/cm ²)			5.0 (kg/cm ²)					
成型壓力 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		剪斷強度 ^{MPa} (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		剪斷強度	試料 番 號	試 驗 體		剪斷強度
		含水率	間隙率			含水率	間隙率			含水率	間隙率	
5.0	1	35.8	71.9	2.25	31	35.8	72.1	2.88	51	35.4	72.3	3.01
	2	35.5	72.1	1.39	32	35.7	72.5	2.53	52	35.4	71.9	3.1以上
	3	35.6	73.4	2.31	33	36.0	72.5	2.69	53	34.8	71.7	2.91
	4	36.6	71.8	1.92	34	36.6	71.8	2.32	54	35.1	71.9	2.59
	5	37.2	72.1	1.87	35	36.2	71.7	2.16	55	36.2	71.6	3.1以上
	6	36.2	71.5	1.92	36	37.4	71.1	2.56	56	36.1	71.4	3.1以上
	7	39.0	70.9	1.75	37	38.2	71.1	2.58	57	38.6	69.7	2.78
	8	38.8	70.8	2.17	38	38.2	71.0	2.50	58	39.2	70.9	2.69
	9	39.4	70.2	2.03	39	41.4	71.9	2.24	59	38.8	71.5	2.88
	10	35.6	68.4	1.81	40	41.4	70.5	2.33	60	41.5	71.1	2.00
	11	40.4	71.0	1.88	41	39.6	70.0	1.89	61	40.2	70.9	2.50
	12	41.1	70.9	1.91	42	43.4	70.6	2.03	62	42.6	71.2	2.62
	13	43.5	70.6	1.67	43	44.0	70.3	1.83	63	41.9	69.7	2.50
	14	43.3	70.5	1.75	44	44.4	70.3	1.94	64	45.0	69.1	2.12
	15	43.8	70.5	1.75	45	45.5	69.5	1.73	65	46.1	69.5	2.00
	16	45.0	69.1	1.28	46	47.0	70.3	1.75	66	43.5	69.5	2.62
	17	45.7	69.9	1.22	47	45.8	68.2	1.90	67	44.0	70.1	2.25
	18	46.2	68.9	1.25	48	43.6	70.0	1.67	68	44.7	70.3	2.38
	19	49.1	72.5	1.28								
	20	44.5	69.9	1.22								
	21	45.1	70.6	1.17								
	22	48.2	72.5	1.19								

表4: 山手赤土, 剪断試験結果

上下壓力	1.25 (kg/cm ²)				3.125 (kg/cm ²)				5.0 (kg/cm ²)			
成型壓力 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		剪斷強度 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		剪斷強度 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		剪斷強度 (kg/cm ²)
		含水率	間隙率			含水率	間隙率			含水率	間隙率	
10	1	42.7	70.0	1.75	21	42.7	69.8	2.25	41	43.6	69.9	2.60
	2	43.2	69.6	1.69	22	43.0	69.6	2.23	42	38.7	69.3	3.1以上
	3	37.8	71.5	2.19	23	35.8	72.4	3.1以上	43	41.7	70.4	2.84
	4	37.4	70.4	2.25	24	36.0	72.4	2.88	44	40.6	69.8	3.08
	5	37.8	72.0	2.55	25	39.0	71.2	2.83	45	42.2	65.1	2.70
	6	39.9	74.8	2.66	26	38.4	70.7	3.00	46	42.8	64.0	2.60
	7	35.6	71.8	2.60	27	41.3	70.4	2.76	47	42.6	63.5	2.50
	8	35.1	71.4	2.58	28	41.2	70.6	2.46	48	44.2	64.4	2.60
	9	39.1	73.6	2.50	29	42.0	70.2	2.40	49	42.3	65.3	2.60
	10	41.1	70.7	2.09	30	43.1	69.6	2.22				
	11	41.5	70.3	1.81	31	41.5	69.7	2.38				
	12	42.8	70.0	1.52	32	43.2	—	2.46				
	13	42.9	70.2	1.59	33	43.6	69.9	1.75				
	14	43.5	70.6	1.47	34	43.0	68.4	2.30				
	15	43.6	69.8	1.60	35	46.7	70.4	1.99				
	16	43.7	69.8	1.72								

圖-3 紅土, 成型壓力 2.5 kg/cm^2

三曲線は上から上下壓力 6, 8.125, 1.25 kg/cm^2 に対応するものである。横軸は成型含水量, 縦軸は剪断力である。以下すべて同じ。

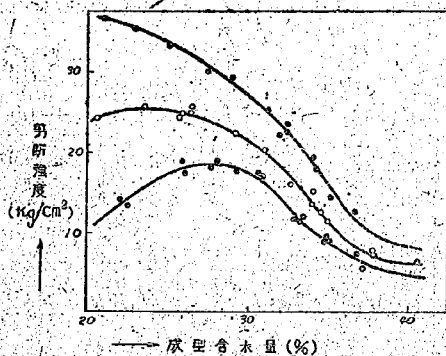
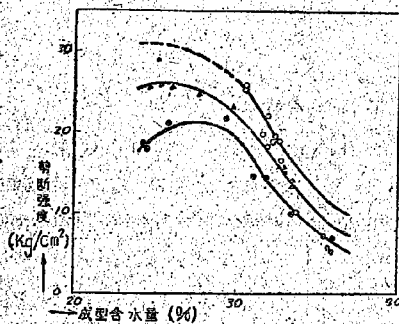
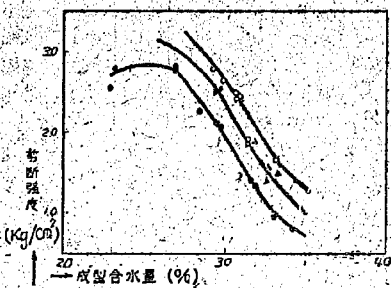
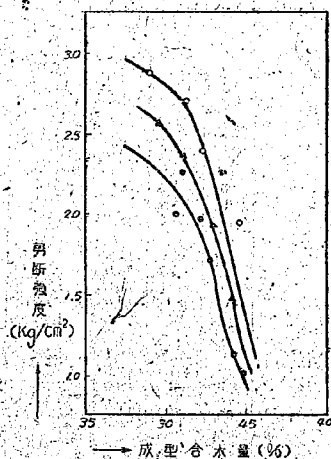
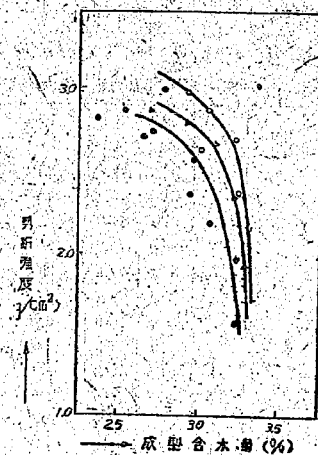
圖-4 紅土, 成型壓力 5 kg/cm^2 圖-5 紅土, 成型壓力 10 kg/cm^2 圖-6 褐色土, 成型壓力 2.5 kg/cm^2 圖-7 褐色土, 成型壓力 5 kg/cm^2 

圖-8 褐色土, 成型壓力 10 kg/cm²

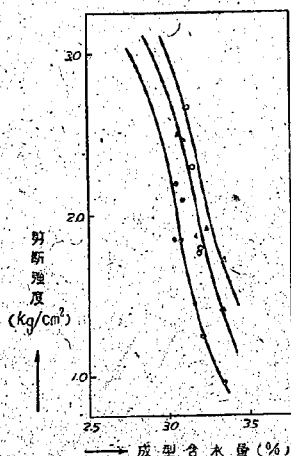


圖-9 山手赤土, 成型壓力 2.5 kg/cm²

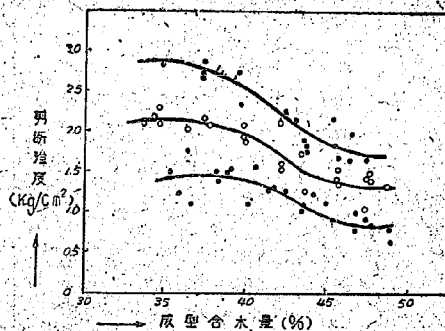


圖-10 山手赤土, 成型壓力 5 kg/cm²

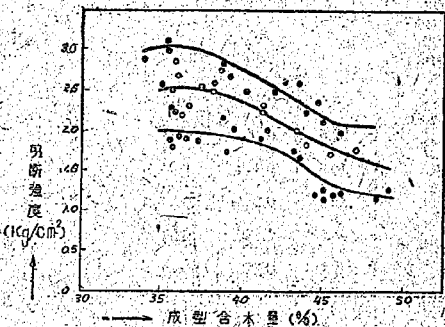
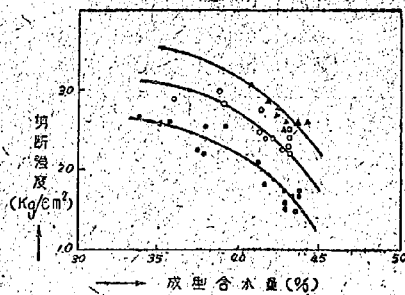


圖-11 山手赤土, 成型壓力 10 kg/cm²



以上の實驗結果を利用して、圖上から摩擦係數、粘着力を求めた。これを表5~7、圖-12~16 に示した。

表-5 紅土摩擦係數及び粘着力

成型壓力 (kg/cm ²)	含水率 (%)	摩擦係數 (tan φ)	粘着力 (c)
2.5	21.0	0.047	0.43
	23.0	0.545	0.82
	25.0	0.404	1.26
	27.5	0.306	1.47
	30.0	0.268	1.33
	32.5	0.268	0.92
	35.0	0.194	0.62
	37.5	0.104	0.48
	40.0	0.086	0.39
5	25.0	0.240	1.6
	27.5	0.216	1.35
	30.0	0.208	1.02
	32.5	0.196	0.98
	35.0	0.134	0.58
10	27.5	0.162	2.45
	30.0	0.186	1.74
	32.5	0.180	0.97
	35.0	0.162	0.58

表-6 褐色土, 摩擦係數及び粘着力

成型壓力 (kg/cm ²)	含水率 (%)	摩擦係數 (tan ϕ)	粘着力 (c)
2.5	27.5	0.144	2.24
	30.0	0.156	2.02
	32.5	0.15	1.57
	35.0	0.11	0.75
5	27.5	0.074	2.71
	30.0	0.098	2.44
	32.5	0.243	1.28

表-7 山手赤土, 摩擦係數及び粘着力

成型壓力 (kg/cm ²)	含水率 (%)	摩擦係數 (tan ϕ)	粘着力 (c)
2.5	35.0	0.384	0.97
	37.5	0.363	0.98
	40.0	0.302	1.03
	42.5	0.242	0.94
	45.0	0.239	0.68
	47.5	0.223	0.55
5.0	35.0	0.274	1.63
	37.5	0.268	1.68
	40.0	0.220	1.68
	42.5	0.212	1.47
	45.0	0.215	1.11
	47.5	0.216	0.97
10	35.0	0.244	2.32
	37.5	0.250	2.17
	40.0	0.268	1.60
	42.0	0.260	1.60
	44.0	0.252	1.20

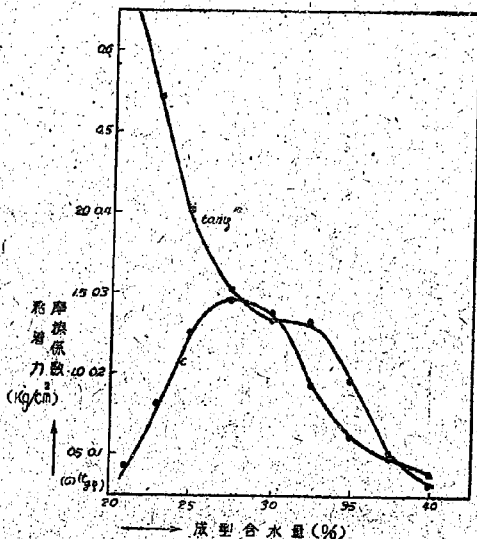
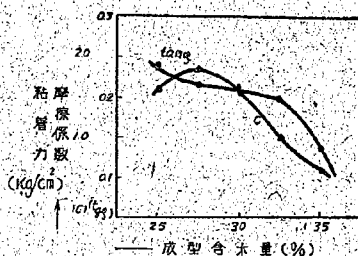
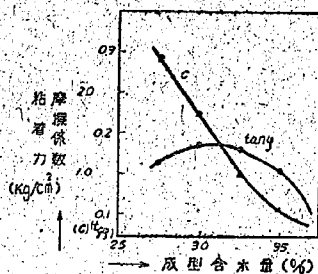
圖-12 紅土, 成型壓力 2.5 kg/cm²圖-13 紅土, 成型壓力 5 kg/cm²圖-14 紅土, 成型壓力 10 kg/cm²

圖-15 褐色土, 成型壓力 2.5 kg/cm^2

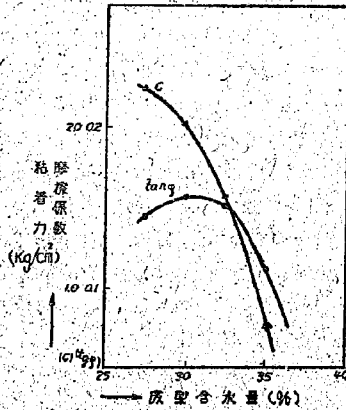


圖-16 褐色土, 成型壓力 5 kg/cm^2

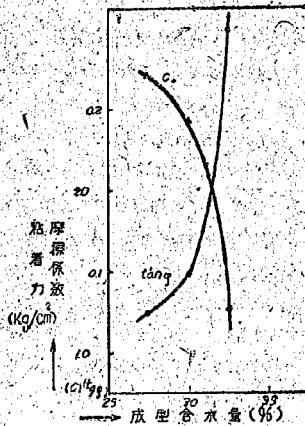


圖-17 山手赤土, 成型壓力 2.5 kg/cm^2

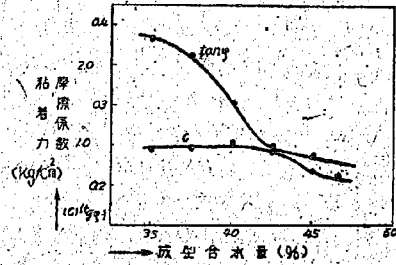


圖-18 山手赤土, 成型壓力 5 kg/cm^2

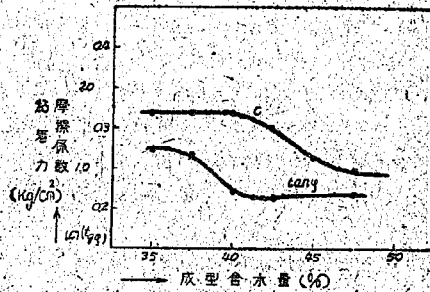
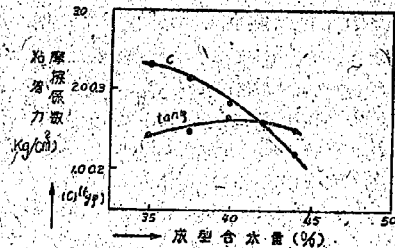


圖-19 山手赤土, 成型壓力 10 kg/cm^2



剪断試験結果に對する考察

(1) 何れの土に於ても一般的傾向として、塑性限界より5~20%小さい含水量の附近に於て最大剪断強度を有し、塑性限界より僅か小さい含水量附近から低下して、液性限界附近に於て稍々一定値に近づく。然るに此の塑性限界附近に於ける剪断強度に低下状況には、土に依つて著しい相違があり、且成型壓力が増加すればこの傾向は著しく明かに現はれて来る。紅土、褐色土は山手赤土に比してこの低下度が甚だしい。例へば成型壓力 5 kg/cm^2 、上下壓力 3.125 kg/cm^2 を例にとると、紅土では成型含水率28%附近で 2.4 kg/cm^2 が35%附近では 0.9 kg/cm^2 、即ち7%程度の成型含水率の變化に對し剪断強度は 1.5 kg/cm^2 の低下であり、褐色土では28%附近で 2.9 kg/cm^2 、33%附近で1.0、即ち5%程度の成型含水率の變化に對して 1.9 kg/cm^2 の低下、山手赤土では38%附近で 2.4 kg/cm^2 、46%附近で 1.8 kg/cm^2 、即ち8%の變化に對して 0.6 kg/cm^2 の低下である。今これを kg/cm^2 % で表はすと、紅土では0.21、褐色土で0.33、赤土で0.09である。即ち紅土、殊に褐色土に於て甚だしい。此れは含水率の増加に對して、極めて危険であることを示して居る。従つて少量の含水率の増加に依つて地中に等の心配があると一應考へられる。然し乍ら、茲に注意しなければならぬのは、今取扱つて居る含水率は人為的な成型含水率であるから、土の保水性、吸水性、空隙率、透水度等を参照しなければ、紅土、褐色土が不安定な土壌であるといふ斷定は出来ない。後に述べる透水性、吸水性等を考へると、紅土、褐色土は、危険含水量に達する迄、水分を吸収又は保水しないと思はれるから却て安定な土壌である様に思ふ。

(2) 剪断力は、通常大きくても紅土で3~4 kg/cm^2 、褐色土で3.5~4.5 kg/cm^2 、赤土で3.2 kg/cm^2 程度である。最大剪断力を得る含水率は成型壓力、上下壓力が増加すれば減少する。これは間隙率の減少と、摩擦角の増加に依るものであるが、含水率が著しく減少すると粘着力はかへつて低下するから或る最適含水率が存在するのである。又、含水率の増加に依る剪断強度の低下度は成型壓力が大なる程著しい。これは空氣空隙に比して水空隙は成型壓力が大きくなれば増加する。従つて剪断に當つて絞り出される水量が多くなり、これが微細な土粒子と結合して潤滑作用をする爲と思はれる。且この附近の實驗値は非常に差異が多く、明確な傾向を提出し得ない。

(3) 摩擦係数は最大剪断力附近で最大であり、それより含水率の低下に應じて減少する。最大摩擦係数は成型壓力に依つて異なるが紅土に於て0.25~0.5、褐色土に於て、紅土と同程度と推定され、赤土に於ては0.25~0.35である。即ち、摩擦係數に著しい相違は現はれて居ない。唯紅土、褐色土の甚しい特性は含水率の増加した場合、即ち、液性限界附近に於ては殆んど摩擦角が0に近づくことである。赤土に於てはこれに反して殆んど0.2以下になることはない。此の原因は紅土の土粒子そのもの、摩擦抵抗の減少ともみられるが、寧ろ紅土の膠質部分が水を吸収して著しく液性を増加し潤滑作用の様に作用する爲ではないかと思はれる。赤土に比して粗粒子部分の多い紅土では砂の様な性質に近づくわけに水分を増加しても摩擦係數が沈泥分の多い赤土よりも甚だしく低下することは微細粒子部分の潤滑作用として考へれば解決し易い。又一方實驗に當つて、紅土、褐色土の含水率に依る剪断力の變化が著しい爲に僅かな差誤誤差の影響することも考へられる。何れにせよ、微細粒子が水をして潤滑作用を行ふならば、その作用の機構は一般には上下壓力に依つて變化すると考へるのが至當であり、従つて剪断力と上下壓力の關係が直線關係を持続することは考へられず、上下壓力が増加した爲に剪断力が減少するといふ現象が起つてもよい筈である。此の傾向は褐色土に於て認められた。然し乍ら、此の問題は土の摩擦係數の根本觀念に反するものであるから、別に慎重な實驗を行つて追求して行かうと思つて居る。

(4) 摩擦係數の最大値は成型壓力の増加と共に減少する結果を得た。これは紅土、褐色土のみならず赤土に於ても現はれて居る。これは成型壓力が増加すれば間隙率も減少し、従つて摩擦係數は増大するといふ一般の常識

とは全く正反對な現象である。成型壓力の残留歪が一つの土粒子の抵抗組織を作り、従つて低い上下壓力の際でも、高い上下壓力に對應する剪斷力を生ずる爲に上下壓力の上昇に對して剪斷力の上昇が伴はない爲であるとも考へられるが、これを確認するに至つて居ない。又、考へられることは成型壓力が増加し間隙率は減少するがこの際空氣空隙に對して水空隙が増大し、この単位間隙内の水分の増加が摩擦係數に影響することである。此等の考へも僅かにすぎないから今後の研究に俟たねばならぬ。

(5) 紅土、褐色土の粘着力は剪斷力の最大附近の含水率に於て最大値を有し、含水率の變化に應じて減少することは摩擦係數と同じであるが、これが可成り明瞭に現はれて居る。赤土に於ては粘着力は含水率に依つて甚しい變化を示さず最大値の存在も明白ではない。

粘着力の大きさは成型壓力の増加と共に著しく増加し紅土、褐色土に於ては赤土よりも著しい。紅土に於て、最大 $1.5 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ 、褐色土はこれより幾分大きく、赤土に於ては $1 \sim 2.2 \text{ kg/cm}^2$ である。

此處で考へることは、粘土量は褐色土、紅土、赤土の順に多くなるが、粘着力はこの逆になつて居る。それ故に土壤に於て結合材として働く粘土以下の微粒子の粘着力はその量よりも寧ろ質に依つて支配されると考へられる。即ち紅土、褐色土の微粒子の粘着作用は手赤土の微粒子の粘着作用より大きいと考へてよい。

(6) 紅土、褐色土に於ては粘着力の含水量の増加に伴ふ低下は、摩擦係數のそれよりも少ない含水量で初まる。これは赤土に於ては逆になつて居る。即ち含水量の増加に依る粘着力の低下は紅土、褐色土に於ては赤土に於けるよりも著しく目急速である。これは粘着力を受持つて居る微粒子の量が赤土に於けるよりも僅少である。即、含水量の變化に依る粘着力の低下にはこの微粒子の量が支配的になつて来る。これに依つて、(1)の項に述べた剪斷力の含水率に依る急速な變化はこの粘着力に依るものが多いのであらう。

(7) 間隙率の摩擦係數に及ぼす影響は重大であるが、この實驗に於ては成型壓力、成型含水率が決定すれば間隙率は定まつて了ふので、單獨に取扱ふことが出来なかつた。唯、間隙率の大小と含水率の大小の何れが摩擦係數に影響するかは、砂の場合と異つて興味ある問題である。

(II) 壓縮試験

土の壓縮強度は土の狀態に依つて著しく變化し、又その破壞機構も未だ明らかでない。多くの場合、地盤の支持力に對する目安として、壓縮強度を問題とする場合が多いのであるが、先に述べた例に、含水量、垂直壓力に對して土の強度は時間的な影響を除けば一定して來るのであつて、従つて、通常壓縮強度と稱されて居るものは、自然に於て荷重を受けた場合の土の剛性とは著しく異なつて來る。在來の研究に依れば、土は或る程度弾性を有して居ると考へられて居るが、荷重の時間的變化、静荷重、動荷重かに依つて根本的に異つた抵抗狀況を示すのである。この實驗に於ては、土の壓縮に對する抵抗の狀況を基本として研究を進めるのが常道であるが、これには著しい困難が伴ふので、單に壓縮強度を求め、土の剛性に對する目安とした。又、歪は時間の影響が著しい爲に、測定しなかつた。

供試體は4立方體で剪斷供試體と同一のものであり、成型壓力も同じく $2.5, 5, 10 \text{ kg/cm}^2$ の三種とした。強度は成型直後の強度である。何成型含水量は剪斷試驗の場合と同じ様な範圍で變化させた。

試験結果は表8~10、圖20~22に示した。

表-8 紅土壓縮試驗結果

成型壓力	2.5 (kg/cm²)				5 (kg/cm²)				10 (kg/cm²)			
	試料 番 號	試 驗 體		壓縮強度 (kg/cm²)	試料 番 號	試 驗 體		壓縮強度 (kg/cm²)	試料 番 號	試 驗 體		壓縮強度 (kg/cm²)
		含水率	間隙率			含水率	間隙率			含水率	間隙率	
	1	21.8	67.2	0.43	21	22.3	66.0	1.16	51	21.7	63.4	2.95
	2	21.8	67.9	0.64	22	22.6	66.3	1.25	52	21.6	62.2	2.38
	3	27.4	64.6	1.03	23	25.4	65.1	1.33	53	25.6	60.7	3.69
	4	27.3	63.6	1.25	24	25.9	65.9	1.73	54	25.1	61.6	3.50
	5	26.0	67.9	0.71	25	23.0	64.2	1.94	55	20.7	59.3	3.75
	6	23.6	63.4	0.81	26	27.6	63.4	1.94	56	27.3	60.1	4.06
	7	29.2	71.2	0.84	27	25.0	64.2	1.86	57	27.6	59.2	4.25
	8	30.9	65.3	1.03	28	27.3	63.3	2.17	58	27.1	60.2	3.69
	9	31.0	65.7	1.03	29	30.2	60.4	2.10	59	23.6	59.5	3.33
	10	30.6	65.9	0.93	30	31.1	61.4	2.23	60	23.8	59.3	4.43
	11	32.4	64.1	1.21	31	32.6	61.1	2.13	61	31.6	59.1	3.12
	12	32.6	64.3	1.20	32	33.3	60.1	1.67	62	31.4	57.3	3.47
	13	33.0	63.7	1.20	33	33.4	60.6	1.63	63	31.0	57.3	3.17
	14	33.6	64.3	1.00	34	33.4	61.0	1.91	64	32.0	53.5	2.35
	15	33.4	64.4	0.97	35	33.6	61.4	2.09	65	31.5	53.1	2.31
	16	35.6	63.1	0.83	36	35.2	60.9	1.41	66	33.3	61.1	1.81
	17	35.9	61.4	0.81	37	35.3	61.4	1.03	67	34.1	60.5	1.69
	18	37.4	63.6	0.69	38	35.2	61.1	1.01	68	35.2	60.9	1.19
	19	37.2	63.7	0.63	39	37.1	62.3	0.51	69	35.4	61.0	1.10
	20	37.3	63.9	0.63	40	37.2	62.6	0.63	—	—	—	—
	—	—	—	—	41	33.7	64.0	0.50	—	—	—	—

表-9 褐色土壓縮試驗結果

成型壓力 500g 1000g 1500g	2.5 (kg/cm ²)			5 (kg/cm ²)			10 (kg/cm ²)					
	試料 番 號	試 驗 體		壓縮強度 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		壓縮強度 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		壓縮強度 (kg/cm ²)
		含水率	間隙率			含水率	間隙率			含水率	間隙率	
1	23.3	65.4	0.71	21	21.7	64.0	1.41	41	24.3	59.0	3.44	
2	27.3	64.0	0.76	22	22.3	64.2	0.80	42	25.2	54.6	2.62	
3	23.4	65.3	0.74	23	25.5	63.0	1.34	43	27.1	56.6	3.33	
4	29.0	64.3	0.70	24	24.7	62.7	1.15	44	23.9	57.2	3.56	
5	23.5	65.3	0.35	25	32.2	59.4	1.0	45	30.1	59.4	2.31	
6	34.2	63.2	0.73	26	31.5	58.3	1.15	46	31.4	57.3	1.31	
7	32.5	63.5	0.56	27	32.7	59.6	0.60	47	32.1	57.7	1.62	
8	34.5	62.1	0.51	28	32.4	59.6	0.91	48	32.4	63.3	2.33	
9	34.1	62.1	0.43	29	23.4	62.3	1.09	49	34.4	59.6	1.23	
10	35.4	64.0	0.43	30	22.9	63.5	1.22	50	33.9	59.3	1.15	
11	35.9	63.1	0.41	31	25.6	62.1	1.19	51	33.3	59.2	0.30	
12	24.5	67.4	0.43	32	23.2	62.2	1.37	52	35.5	60.1	0.64	
13	22.3	66.1	0.61	33	42.3	64.9	0.90	—	—	—	—	
—	—	—	—	34	37.7	63.0	0.65	—	—	—	—	

表-10: 山手赤土 壓縮試験結果

成型壓力 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		壓縮強度 (kg/cm ²)	成型壓力 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		壓縮強度 (kg/cm ²)
		含水率	間隙率				含水率	間隙率	
2.5	1	30.5	72.0	0.03	2.5	41	56.1	76.7	0.64
	2	31.7	72.4	0.03		42	58.8	77.0	0.56
	3	33.4	72.2	0.47		43	57.3	78.3	0.60
	4	33.5	72.5	0.54		44	62.3	79.6	0.60
	5	34.1	73.0	0.51	5.0	51	30.3	70.5	0.81
	6	35.8	—	0.69		52	31.7	71.0	0.76
	7	36.6	—	0.60		53	33.7	70.9	0.92
	8	37.3	72.3	0.59		54	33.3	70.5	1.20
	9	37.2	72.3	0.64		55	33.0	70.2	1.20
	10	38.4	72.7	0.68		56	35.8	71.7	0.90
	11	39.5	73.1	0.71		57	36.0	72.0	1.16
	12	40.4	73.5	0.55		58	37.0	70.3	0.97
	13	40.9	73.3	0.84		59	37.6	70.0	1.23
	14	41.0	73.3	0.76		60	38.7	70.2	1.30
	15	41.1	73.3	0.74		61	38.0	71.5	1.39
	16	42.8	72.0	0.71		62	38.0	71.2	1.65
	17	42.3	71.7	0.52		63	38.1	70.9	1.78
	18	42.4	71.3	0.86		64	37.9	70.6	1.25
	19	42.3	72.3	0.60		65	38.0	70.5	1.97
	20	43.0	72.9	0.70		66	41.6	70.0	1.44
	21	43.0	70.1	0.61		67	42.4	79.8	1.47
	22	43.8	72.9	0.61		68	41.4	68.6	1.81
	23	43.6	72.5	0.63		69	42.7	65.1	0.64
	24	43.1	72.3	0.73		70	43.6	69.9	1.06
	25	44.8	71.7	0.60		71	43.2	69.2	1.06
	26	44.9	71.5	0.53		72	44.7	67.4	0.67
	27	44.0	72.3	0.65		73	45.1	67.6	0.72
	28	44.7	71.0	0.55		74	45.9	67.5	0.86
	29	43.7	71.5	0.61		75	45.6	67.7	0.82
	30	45.7	70.1	0.46		76	47.5	69.9	1.22
	31	43.6	71.0	0.69		77	49.0	68.7	1.06
	32	45.1	69.3	0.45		78	45.5	68.1	1.09
	33	45.1	71.7	0.54		79	45.3	68.2	1.12
	34	46.3	69.2	0.49		80	46.2	68.1	0.91
	35	46.4	70.4	0.53		81	46.7	68.7	0.97
	36	46.5	69.1	0.64		82	46.5	68.9	0.90
	37	46.7	68.5	0.71		83	46.1	68.5	0.79
	38	47.3	69.8	0.51		84	45.6	67.3	1.16
	39	47.8	70.1	0.57		85	46.0	68.4	1.41
	40	50.0	81.6	0.30		86	45.5	68.1	1.09
	—	—	—	—					
	—	—	—	—					

表-102 山手赤土壓縮試驗結果

成型壓力 (kg/cm ²)	試料 番 號	試 驗 體		壓縮強度 (kg/cm ²)
		含水率	間隙率	
	91	28.0	69.2	1.21
	92	28.6	69.1	2.00
	93	35.2	69.1	1.75
	94	34.2	69.1	2.06
	95	36.4	69.8	1.53
10	96	35.9	69.5	2.60
	97	34.8	69.0	2.19
	98	33.2	69.6	1.88
	99	33.2	69.3	2.40
	100	39.3	67.6	2.23
	101	33.5	67.0	2.34
	102	40.3	68.8	2.06
	103	40.3	68.2	3.12
	104	42.2	71.2	2.50
	105	43.6	66.0	1.28
	106	43.3	66.0	1.50
	107	43.1	64.6	1.75
	108	43.0	65.4	1.35
	109	43.9	66.1	1.35
	110	43.6	65.6	1.35
	111	43.8	66.1	2.28
	112	43.9	66.1	2.18
	113	43.7	65.9	1.86
	114	43.9	67.0	1.97
	115	44.0	66.8	2.10
	116	44.0	66.7	1.72
	117	44.5	67.4	1.83
	118	44.5	67.2	2.03
	119	44.6	66.8	2.03
	120	44.3	66.5	1.91
	121	44.6	66.8	2.06
	122	44.4	66.8	2.38
	123	44.6	66.8	2.34
	124	45.4	67.0	2.44
	125	45.7	67.6	1.94
	126	45.8	67.9	1.63
	127	49.4	73.4	1.88
	128	59.8	75.4	2.10
	129	60.5	76.7	1.85
	130	—	—	—
	—	—	—	—
	—	—	—	—
	—	—	—	—

圖-20 紅 土

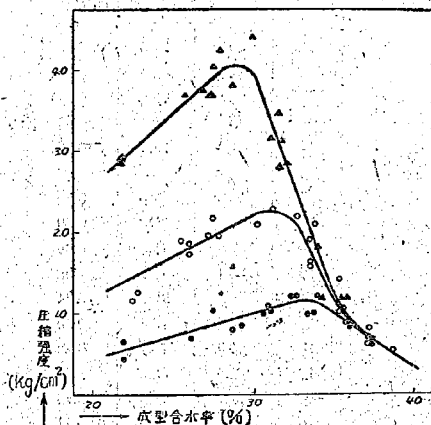


圖-21 褐色土

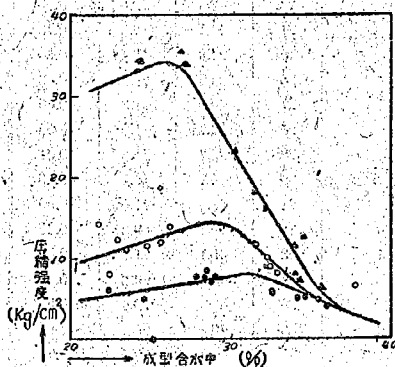
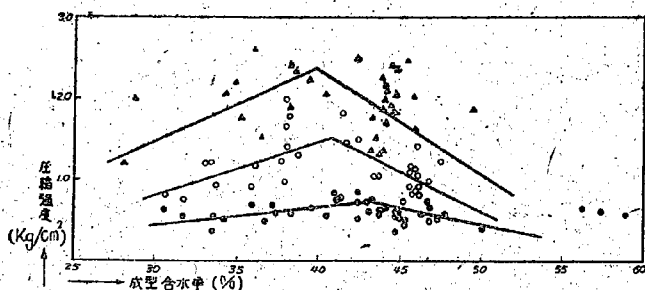


圖-22 山手赤土



壓縮試驗結果に對する考察

壓縮試驗結果は剪斷に比し、比較的明瞭な結果を得ることが出来た。紅土、褐色土は含水率及び成型壓力の影響を非常に敏感に表はして居る。然るに赤土は剪斷試驗の結果とは逆に、含水率の影響が極めて不明瞭であつて一定の傾向を提示して居ない。これは摩擦角、粘着力の含水率に依る變化が僅少な爲である。結果を要約すれば

(1) 剪斷強度最大附近の含水率で壓縮強度最大値を示し、これより含水率の増減に従つて減少して居るが、成型壓力大なる程この減少度は著しい。且、成型壓力の影響は極めて明白に現はれて居り、又、最大値を與へる含水率以下の所では成型壓力と壓縮強度の比が大體一定値になつて居る。

(2) 壓縮強度は紅土で最大 4.0, 2.1, 1.1 kg/cm²、褐色土で 3.4, 1.5, 0.8 kg/cm²、赤土で 2.4, 1.5, 0.7 kg/cm² である。即ち、成型壓力 10 kg/cm² では 1 : 0.85 : 0.6, 5 kg/cm² では 1 : 0.7 : 0.7, 2.5 kg/cm² では 1 : 0.72 : 0.63 である。即ち、5~10 kg/cm² の成型壓力に依り紅土は赤土に比して著しく強度を増加する。

(3) 最大壓縮強度の含水率は最大密度の含水率よりも僅か多い。又、含水率の増加に依る急速に強度の低下する區域は剪斷強度の場合と同様であつて、空隙に水が満たされる度が多くなれば粘着力の劇しい減少に依つて強度が低下する。又、成型壓力が増加すると最大強度を生ずべき含水率が減少する。即ち、最大強度をうるためには、間隙率の小さいことの外に空隙空隙と水空隙の間の一定の比率が存在するのではないかと思はれる。これは剪斷試験に於ても同様であつた。

含水率が塑性限界を超過する附近に於ては成型壓力の影響は全く現はれず、含水量のみが支配的なものとなる。赤土に於てはかかる現象はない。即ち前に述べた様に紅土、褐色土に於ては或る含水率以上になると粘着力を失ひ、砂質に近づく爲である。

(4) 含水率、間隙率の關係

壓縮試験及び剪斷試験に用いた試料の含水率・間隙率の關係を成型壓力に應じて圖示すると圖-23~25の様になる。

塑性限界以上になると、含水率と間隙率の關係は大體一定となり、成型壓力に關せず直線である。然し、この傾向は紅土、褐色土に於ては赤土程明瞭ではない。即ち相當大きな含水率に至る迄は成型壓力に依つて、空隙の依る満たされ方に差が現はれて居る。

最大密度は紅土では成型壓力 2.5, 5, 10 kg/cm² のとき含水率 35% で間隙率 63%, 33% で 61%, 31% で

図-23 紅土

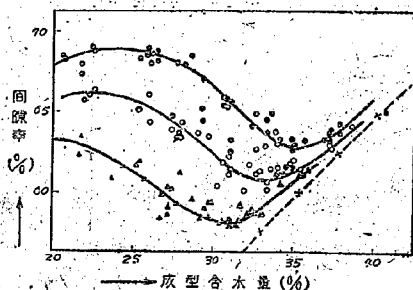


図-24 褐色土

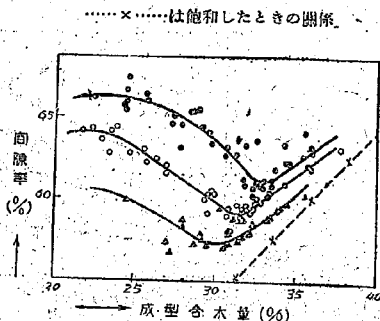
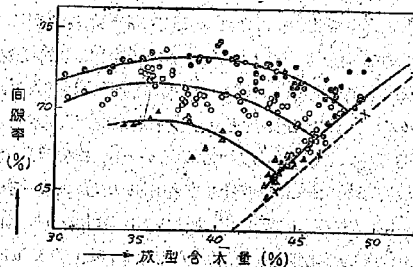


図-25 山手赤土



58%, 褐色土では33%で61%, 31.5%で50%, 30%で67%であり、赤土では44%で70%, 46.5%で68.5%, 41%で66%である。

(II) 透水試験

間隙率を変化させて透水係数を測定した。試料の関係上、褐色土に就いてはこれを行はなかつた。試料の厚さは4.5cm、半徑6cmの圓筒形で側壁の影響を除くために中央部のみをとつた。

水頭は100mm種類とした。結果は表-11~12に示した。赤土の結果は図-26に図示した。

表からみられる様に、赤土では間隙率と透水係数の関係が略々拋物線關係を示すことは一般の法則通りであるが、紅土に於ては非常に複雑な結果しか得られて居ない。一般に透水試験の際透水を始めてから、一定の水量を

表-11 紅土透水係数試験結果

試験番號	含水量 (%)	間隙率 (%)	透水係数
1	34.0	66.3	628.8×10^{-6}
2	34.9	66.6	185.1 "
3	35.2	65.0	382.0 "
4	38.1	65.1	83.4 "
5	38.4	65.3	5.2 "
6	"	"	0
7	38.9	65.0	12.7 "
8	39.5	65.1	0

表-12 山手赤土透水係数試験結果

試験番號	含水量 (%)	間隙率 (%)	透水係数
1	39.9	74.0	200.3×10^{-6}
2	41.0	73.3	187.6 "
3	41.3	73.9	200.4 "
4	41.5	71.3	110.2 "
5	43.3	72.1	123.7 "
6	44.0	72.3	171.2 "
7	44.4	71.0	120.5 "
8	44.6	70.6	61.2 "
9	44.7	69.5	23.6 "
10	45.6	69.5	25.0 "
11	46.0	68.4	39.8 "
12	47.4	68.8	12.7 "
13	47.6	68.6	5.3 "
14	47.8	68.4	20.3 "
15	49.1	69.4	1.6 "
16	49.8	68.3	6.1 "

透水するに至る迄は相當の時間を必要とし、初期透水量は一定に落付いたときの透水量の2倍程度である。然るに紅土に於ては一定透水に至る迄1—2時間を要し、且透水量は初期透水量の1/4—1/2である。その上、この一定透水の狀態が持續される場合は極めて稀れであつて、次第に減少するが若しくは土粒子が流出して崩壊してしまふ。

表-11 から明かな様に紅土の透水係数は間隙率が僅か65%から65.8%の間で $0 \sim 62.8 \times 10^{-6}$ 迄變動する。間隙率の測定精度はせいぜい0.1%であるから、間隙率透水係数の關係を求めることは無意味であり、又不可能である。即ち紅土に於ては、間隙率65%以下では水頭差100厘の場合不透水性、これ以上では透水に依つて土粒子が流出し、透水層を形成することはない、と言ふことが出来る。この紅土の性質はIの施設に述べた様に、間隙なく、飽水と空泡を繰り返すといふ紅土の生成條件を非常によく説明すると思ふ。

抄て、かゝる紅土の特異性の原因としては紅土は微粒部分が少ない爲に、間隙率が少し増加すれば分離して流れてしまふこと、或る一定間隙率に達すれば、不透水性の薄層を表面に形成する爲ではないかと思はれる。これは精密透水試験を行つて、間接的な方法で透水係数を求めれば尚明白になるであらう。水頭差を與へて透水係数を測定することは、紅土の様な土質の際には不適當である。何れにせよ、紅土の膠質粘土部分の物化學的性質が明白にならぬ限り解決出来ない。透水中の土粒子の流失又は組織の變化に依る透水量の増減は著しく、従つて透水係数を間隙率に對照させて一定値として考へることに既に無理があり、寧ろ透水中の流量の變化を精細に實驗する必要がある。又、水頭差を變化させた場合の透水、不透水の限界を見出すことが重要である。これらは試料の不足の爲、實施出来なかつた。

(IV) 沸化試験

土粒子結合狀態の水に對する安定性を試案すべく、沸化試験を行つた。安定度は沸化時間の大小に依つて決定する。此の試験に於ては、安定性を一定の物理指數として提出することは出来ないが、一つの目安として考へることは出来る。装置は前に述べた星林助教授の論文の中に説明してある。試験結果は表-13—14に掲げた。

供試體の大きさは直徑2.5厘、高2.5厘の圓筒形、成型壓力は2.5, 5, 10 kg/cm²の三種、成型して一週間氣乾狀態に保つた後實驗した。又、比較の爲、同じ供試體に就いて壓縮試験を行つた。成型含水量は20—40%とした。

結果を圖示すれば、成型壓力毎に一定の傾向を示して居るが、これを間隙率の函數として表はすと、圖-27、圖-28の様に成型壓力の影響を受けて居ない。

結果を要約すれば次の様になる。

(1) 紅土では間隙率60%附近、褐色土では45%附近で著しく沸化時間が増大する。即ちこの附近の間隙率では水に對する抵抗性が極めて大きくなる。

(2) 沸化時間は殆んど間隙率のみの函數と考へることが出来る。勿論、氣乾狀態で實驗を行つたのであるから、含水量は大體5—10%の範圍であるが、これが著しく異つて來れば異つた結果を得るであらう。

圖-26 山手赤土

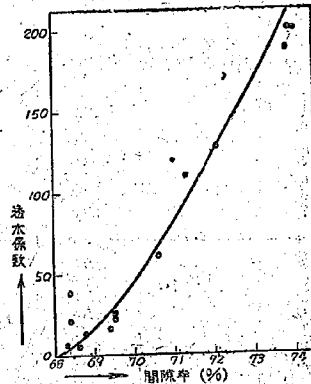


表-13 紅土, 沸化試驗結果

試 驗 番 號	成型壓力 (kg/cm ²)	成 型 時		試 驗 時		沸化時間 (秒)	壓縮強度 (kg/cm ²)
		含 水 率 (%)	間 隙 率 (%)	含 水 率 (%)	間 隙 率 (%)		
1	2.5	27.7	66.2	7.78	65.0	8	2.08
2		35.0	64.3	6.83	58.7	16	7.03
3		33.1	64.2	7.82	58.9	15	8.50
4		36.0	62.2	8.23	53.7	28	16.90
5		37.5	62.3	8.92	51.5	111	21.90
6		35.5	63.2	8.01	49.6	195	19.01
7		39.9	64.6	8.64	51.5	88	11.73
8	5.0	26.5	64.9	8.4	63.4	10	2.42
9		23.6	63.5	7.7	59.4	12	5.11
10		30.5	61.2	5.0	55.7	13	10.89
11		33.4	60.3	4.8	55.3	25	14.95
12		35.7	61.0	4.9	51.3	77	20.60
13		38.6	63.2	4.8	46.6	168	32.83
14		40.0	64.4	4.2	47.0	214	27.03
15	10.0	23.7	62.2	4.7	61.7	15	3.57
16		26.0	60.5	4.5	59.5	22	7.03
17		23.5	58.0	6.3	55.5	29	16.20
18		31.0	57.1	6.4	50.4	88	20.70
19		33.1	57.9	7.3	48.3	130	26.70
20		35.1	59.8	5.3	48.5	155	24.20
21		37.1	61.6	6.7	46.4	142	29.10
22		39.6	64.3	6.8	46.5	124	34.50

表-14 褐色土, 沸化試驗結果

試 驗 番 號	成型壓力 (kg/cm ²)	成 型 時		試 驗 時		沸化時間 (秒)	壓縮強度 (kg/cm ²)
		含 水 率 (%)	間 隙 率 (%)	含 水 率 (%)	間 隙 率 (%)		
1	2.5	27.6	63.9	9.5	62.2	8	2.76
2		28.2	63.8	9.2	59.4	7	3.55
3		32.5	60.9	10.5	53.2	11	14.00
4		34.6	59.8	10.6	50.0	24	18.16
5		36.3	61.4	11.0	51.0	25	17.78
6	5.0	23.2	63.2	8.6	60.7	8	1.76
7		29.6	60.3	12.7	54.3	33	1.06
8		32.5	58.8	15.2	51.7	17	17.63
9		34.9	59.2	10.1	60.8	32	10.83
10		39.5	62.6	8.5	60.7	24	14.60
11	10	23.3	59.8	6.4	55.7	9	5.42
12		23.7	55.2	6.6	47.8	18	22.50
13		29.2	54.9	8.5	47.3	26	22.56
14		34.5	58.7	6.8	45.2	57	27.34
15		35.5	60.0	6.0	47.8	23	19.13

圖-27 紅 土

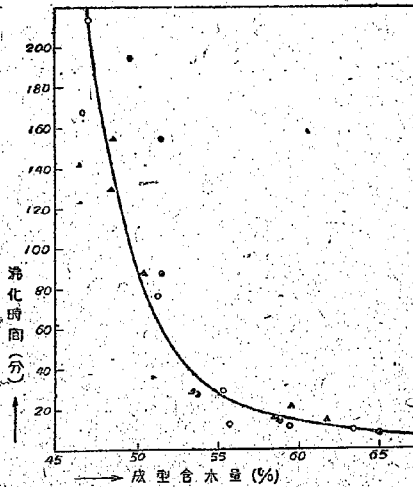
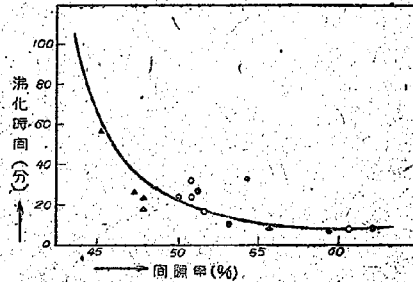


圖-28 褐色土



(3) 間隙率が著しく小さくなれば、吸水膨脹に依つて裂開を生じ、沸化時間が減少する傾向がある。初めに述べた様に、沸化時間と土の水に対する安定性とを如何に關係付けるかは未だ疑問である。

III. 結 語

以上述べて來た所に依つて、紅土の土性を判斷すると次の様になる。但し、此處に取扱つた紅土は一種のみであつて、紅土全般に對して、その適用されるか否かは問題であるが、紅土系土質の性質は十分窺知し得ると思ふ。

(1) 紅土は細粗粒、適當に混合して厩土質としては良好であり、膠質部分に關しい特性がある。従つてこの膠質部分の性質を十分活用する様な工夫が必要である。

(2) 水分の増加に依る安定性の喪失は比較的顯著である。従つて水分の増加に對する抵抗性を増大せしめる必要がある。

(3) 乾燥時の剛性は非常に大きく、煉瓦として用ひ得る材料である。

(4) 透水時に當つては、透水性ならざる機に十分注意しなければならぬ。

總じて、水分の増加に對しては十分警戒の要があるが、簡單な施工に依つて防ぎ得る土質であり、十分壓密乾燥すれば堅固になるのであるから、厄介な施工上の問題を惹起することはないであらう。