

る。上凸型に属する場合でも、 H_1 が $[H_{1.0}]_1$ よりも次第に大きくなりある大きさ $H_{1.a}$ になると、前記曲線—A に不透水薄板を置いたと考えて $H_{1.a} - \Delta H_{1.a}$ より (2) b. において述べた方法で求めた水面曲線 —B に水位 $H_{1.a}$ と流入面との交点より引いた切線がちょうどこの曲線の流出点で切するようになる。この時の流出点の高さ $H_2 + \xi_a = H_{2.a}$ を基準にとり、これと流出面との交点より第1種の限界対応水位に相当する $[H_{1.0}]_{1.a}$ を求め限界水面曲線 —C を画く。 $H_1 > H_{1.a}$ と H_2 に対する実際水面曲線は次のようにして得る。すなわち曲線—C を基準にして、(1) b. で述べた方法で理想上凹水面曲線 —D を求め、さらに曲線 —C を曲線 —D の位置まで移動変形して重ねたと考えた場合に曲線 —B もやはり移動変形を起して曲線 —E を得る。この曲線が $H_1 > H_{1.a}$ に対する水面曲線である。著者はこのような実際水面曲線を凸変上凹曲線と称する。

5. 結 語

以上で上流並びに下流側に傾いている堤体の自由水面を明らかにすることを得た。なお、この場合に ΔH_1 (図—7) の求め方についても述べるつもりであつたが紙面の都合で省いた。また本報で述べた著者の理論を用いて得た結果と実験結果とを比較検討し、この理論に確実な裏づけを与えることも多くの例について行つたのであるが、これについても別の機会にゆずる。

(昭.27.12.16)

土性及土壌工学

乱した土の強度の変化

正 員 内 田 一 郎*

松 本 鍊 三**

ON THE VARIATION OF THE STRENGTH OF DISTURBED SOIL

(Trans. of JSCE, Sept. 1953)

Ichirō Uehida, C.E. Member, Rensō Matsumoto

Synopsis This paper is a report about the variation of the strength of natural soil by disturbing. Measurements of the strength have been carried out by mechanical liquid limit device and direct shear machine. The strength of natural soil decreases by disturbing and this state of decrease is considerably affected by the method of disturbing.

要 旨 自然状態に近い土を乱した時の強度の変化を、液性限界測定器の打撃数の変化で表わして、乱した土の強度の変化の状況、流動曲線の変化、放置効果等を研究した。また迅速剪断試験によつて強度の変化の状況をしらべてみた。

1. 序 論

自然状態の土を乱すと強度が減少するが、その減少の有様については未だ明らかにされていない。そこで乱した土の強度の変化を液性限界測定器の打撃数の変化で表わしてみた。その結果、乱す要領に応じて乱した土の強度に変化のあることがわかつたので、図—1に示す2種の土について次に述べるような実験を行い、その結果について検討を行つた。ただし、液性限界測定器の打撃数の変化は、乱した土の剪断的な強度の変化を表わすと考えられるが、現在のところ剪断強度や圧縮強度と直接関係づけることは困難である。また強度の変化が剪断試験においてもあらわれ得るかどうかを見るために、迅速剪断試験を行つたが、その変化の状況を明らかに認めることができた。

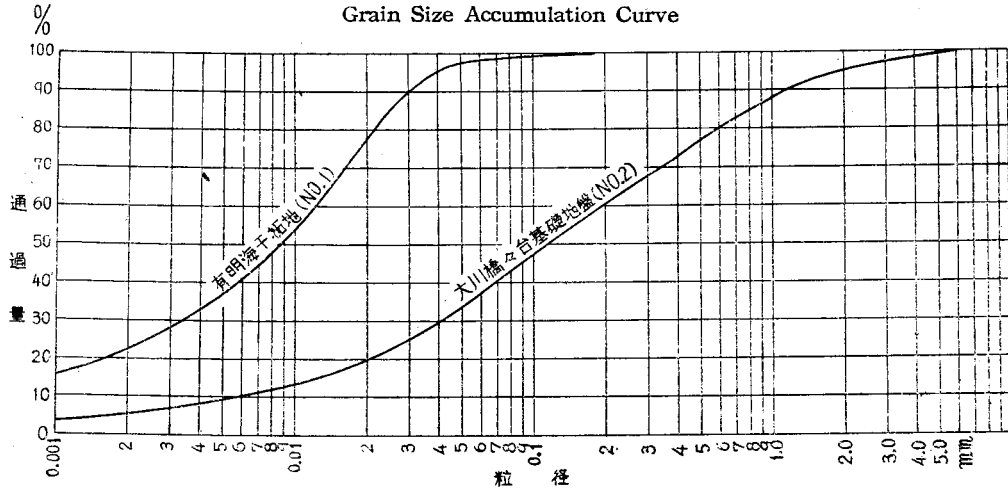
2. 試 料

この実験には佐賀県杵島郡福富村産の有明海干拓地の土 (No. 1) 及び福岡県と佐賀県の県境に架せられる大川橋の橋台基礎地盤の土 (No. 2) を用いた。試料 No. 1 は、径 9 cm 高 18 cm の底に小孔のあるブリキ罐を地表下約 1 m のところに押し込んで採取したものであり、試料 No. 2 はダブルコーアチューブを取りつけたボーリング機械で地表下約 25 m のところから採取した土を、径 7 cm 高 12 cm のブリキ罐に保存して実験室に運んだものである。従つてこれ等の試料は実験を始める前に、すでにいくらか乱されているが、へうでこね返すことに比べると比較的乱され方が少ないと考えてよい。

*九州大学助教授，工学部土木教室

**九州大学助手，工学部土木教室

図-1 粒径加積曲線
Grain Size Accumulation Curve



3. 実験方法

ブリキ罐から 300 g 前後の土を、厚いガラス板の上に取り出して、これを液性限界測定器の皿に入れやすい形に成形してから、液性限界測定の要領で打撃数と含水比を求め、成形を始めてから打撃数を求めた時までの経過時間を記録した。この最初の打撃数は試料 No.1, No.2 とともに常に 500 以上であつた。次に試料を皿からガラス板に移し、ガラス板に残つていた試料とともに 3~5 分間こね返すごとに打撃数と含水比を求め、経過時間を記録した。順次このようにして、一度減少した打撃数がある程度増加したときに注水し、さらに打撃数と含水比との時間的变化を求めたものが図-2 である。この場合へらを動かす速さは 1 分間約 120 回を標準としたが、以下こね返しは大体この標準で行つた。

次にこね返し時間の長短による影響をみるために、次に述べるような実験を行つた。罐から取り出した試料 No.

図-2 乱した土の打撃数の変化
Variation of the Number of Shocks of Disturbed Soil

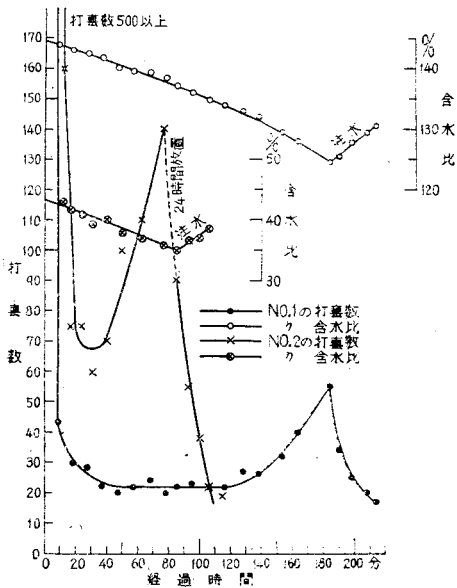
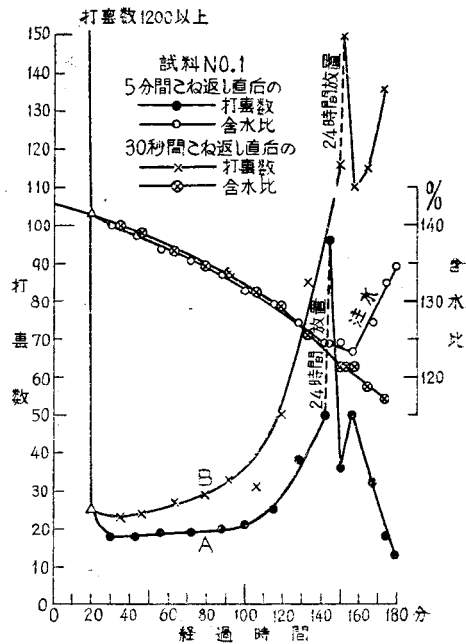


図-3 こね返し時間の影響
Effect of Mixing on the Number of Shocks



1約 400g を厚いガラス板の上で3分間こね返してから、4分法の要領で2分割して、2枚の厚いガラス板の上に取り分けた。いま一方を試料 A、他方を試料 B とすると、A は5分間こね返した直後に打撃数と含水比を求め、B は 30 sec 間こね返した直後に打撃数と含水比を求めるということを交互に繰り返した。一方の打撃数を求めている間は、他方の試料は放置されているわけであるが、A はガラス板の上へラでなるべくまるめて放置し、B は薄くあげた上をラで数条の溝を立てて空気との接触面をできるだけ多くして放置したのであるが、結果において含水比の変化は両方ほとんど同じであった。次に A、B ともある程度打撃数が増加した時に別々にシャーレに移し、これを水を張つたバットの中のガラス円筒の台に載せ、それぞれ上から 1000 cc ピーカーを覆つて蒸発を防ぎながら 24 時間放置した。そしてシャーレからなるべく乱さないように取り出して、これ等の試料の打撃数と含水比を求めた後、A には注水、B には水を加えないで打撃数と含水比の変化を求めたものが図-3 である。また図-4 (a),(b) は図-2 の、図-4 (c) は 図-3 の、それぞれ流動曲線の変化を示したものである。次に一面剪断試験機(最大圧力 10 kg/cm²、試料直径 5 cm)を用いて、試料 No.1 について迅速剪断試験を行った。その結果を示せば図-5 及び表-1 のとおりである。鏝から約 300g の試料を厚いガラス板の上に取り出して、その一部を用いて液性限界測定器によつて打撃数を求めて後、残部から直径 5 cm、高 1.5 cm の試料を切り取り、上下端にポーラスストーンをあてて 0.5 kg/cm² を載荷、後ただちに迅速剪断した結果が①曲線である。ついで厚ガラス板の上の残試料を1分間こね返して、見かけは一応完全に乱されたようになったものを、その打撃数を求めてから①の場合と同じ大きさの試料について同様な迅速剪断を行ったものが②曲線であり、その残試料をさらに4分間こね返して、先の1分とで合計5分間こね返した試料について前と同様に迅速剪断したものが③曲線である。

次に同じ鏝の試料約 300g を用いて乱さぬもの、1分間こね返したもの、7分間こね返したものの3通りについて、0.5 kg/cm² を載荷後 30分間圧密してから迅速剪断した結果がそれぞれ④、⑤、⑥の曲線である。これ等の30分間の圧密沈下量を図-6 に示した。

4. 実験結果の考察

(a) 強度の変化について 自然状態に近い土を乱すと最初の 1~5 分間のこね返しによつて含水比の変化は少ないが、強度の変化はいちじるしく、急激に強度が減少することは、図-2 及び図-3 において明らかである。この原因は土の構造が破壊されるためと考えられている。そしてある点まで強度が減少すると、それ以後は含水比はこね返しによつて次第に減少するが強度の変化はあまりないという区間がある。試料 No. 1 はこの区間が相当長いが、試料 No. 2 は短い。この差は試料の最初の含水比の多少、試料の粒径等に原因すると考えられる。ついで

図-4 流動曲線の変化
Variation of Flow Curve

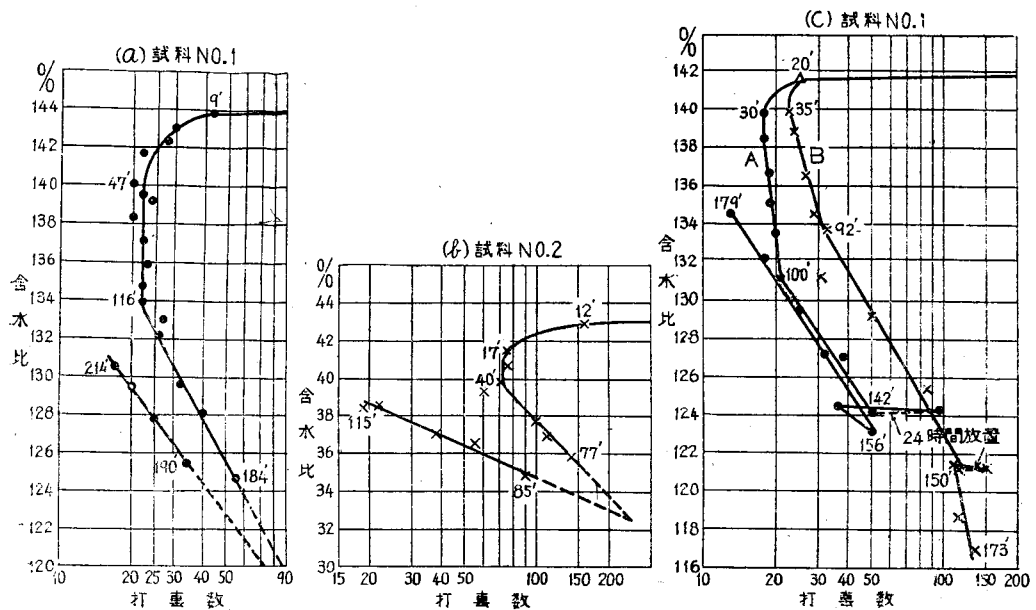


図-5 乱さぬ土と乱した土との剪断強度
Shearing Strength of Soil (No.1)

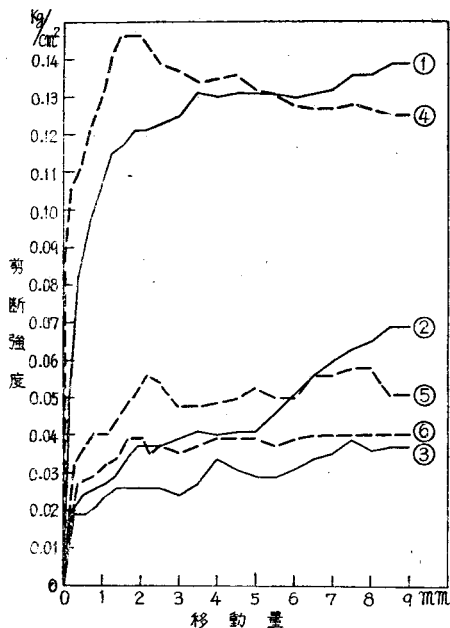
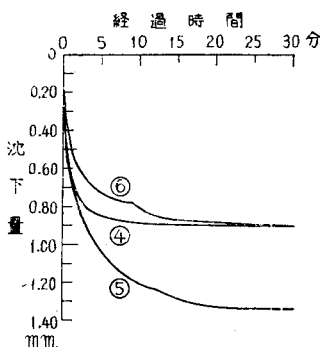


表-1

試験番号	試験番号	こね返し時間(分)	打撃数	含水比(%)	荷重(kg/cm²)	剪断前圧密時間(分)	剪断前速度(mm/min)	剪断前圧縮率(%)	剪断前含水比(%)	剪断前飽和比
No.1	①	0	1500	151.1	0.5	0	1.3	1.46	3.92	100
	②	1	40	150.0	0.5	0	1.3	2.27	3.83	100
	③	5	27	149.0	0.5	0	1.4	1.21	3.86	100
	④	0	1500	154.7	0.5	30	1.3	0.90	4.00	100
	⑤	1	47	151.2	0.5	30	1.4	1.34	3.93	100
	⑥	7	30	148.9	0.5	30	1.3	0.90	3.79	100

図-6 剪断試験前の圧密沈下
Consolidation of Soil before Shear Test



試料の含水比の減少とともに、こね返しによつて強度の増加がいちじるしくなってくる。

さて図-3によると、5分間こね返した直後に打撃数と含水比を求めた試料 A と、30 秒間こね返した直後に打撃数と含水比を求めた試料 B とは、ほとんど同じ含水比の変化を示しながら試料 A は B より強度の減少が大である。これはこね返しによつて、毛管力を与えていた土粒子の間隙水がその毛管性を破壊され、それが催滑材の作用をするようになったためではなからうか。

(b) 流動曲線の変化について 土の含水比と液性限界測定器による打撃数とは半対数紙上で直線になるとされている。しかし図-4によると自然状態に近い土を乱した時、強度が一応ある点まで減少する間は流動曲線は直線とならない。すなわち主として土の構造の破壊によつて強度が減少すると考えられる間は直線にならないとみてよい。ついで土の構造が完全に破壊されて含水比の減少につれて打撃数が増加に転じてからは、含水比の増減が打撃数の増減となつて表われるようになり、流動曲線は直線となつてくる。

(c) 放置効果について 図-3によると、試料 A, B は 24 時間放置後、含水比の変化はわづかであるのに、いずれも打撃数が相当増加したが、これ等を再び約 30 秒間こね返すと 24 時間放置前の打撃数近くまで減少した。これはチキソトロピー現象のためと考えられる。試料 No. 2 は 24 時間放置後ごくわづか打撃数が増加することもあり、また逆に減少することもある。図-2 に示すものは 24 時間放置によつて含水比の変化はわづかであるのに、打撃数の減少した例である。試料 No. 2 が放置によつて打撃数が減少するのは図-1 にみるように粒径の小さいものが比較的少ないので、前日一応毛管力によつて土粒子の間隙に保持されていた水が放置中に流出し、これが催滑材として作用するためではあるまいかと考える。以上のように試料によつて放置効果に差のあるのは主として粒径の差によるためであろう。なお図-2, 図-3 及び図-4 において放置時間は経過時間に算入しなかつた。また流動曲線上の数字は実験を始めてからその点を求めるまでの経過時間を示したものである。

(d) 鋭敏比について 乱さない土と乱した土の強度の比較については、例えばテルツァギーが鋭敏比 S という量を次のように定義している。

$$S = \frac{q_u}{q_{ur}}$$

ここに q_u : 乱されない土の側方自由圧縮強度

q_{ur} : 乱した土の側方自由圧縮強度

である。前述のように、土の強度はその乱す要領によつて異なるので q_{ur} は当然その乱し方によつて左右され、

また q_u の値も完全に乱されない土の採取はきわめて困難なので実際とかなり異なり、従つて鋭敏比 S の数値は相当の巾をもつて解釈すべきである。チェボタリオフ等の鋭敏比の定義に対しても同じようなことが云える。

(e) 液性限界について 液性限界は 0.4mm フルイ通過試料について液性限界測定器による打撃数 25 の時の含水比で表わされるのであるが、試料 No.1 は図-1 に示すとおり、自然状態でほとんど 0.4mm 以下の粒径である。この自然状態の試料を乾かさなで液性限界と塑性限界を求めたものと、その残試料を気乾した気乾試料について求めたものとを比較してみると表-2 のようになる。気乾試料に水を加えてこね返した時の流動曲線の変化、従つて液性限界の変化については先に発表したとおりで、こね返し時間によつてある程度増加するから、ここではいずれも連続3回液性限界を求めた。自然状態の試料については、これもまた、こね返し時間によつて流動曲線に変化があり、この場合はこね返しによつて液性限界が減少しながら終には一定値に達するようであるから、この場合も連続3回液性限界を求めて気乾試料のそれと比較した。表-2 によると自然状態の試料より求めた液性限界は、気乾試料のそれと比較して 20~50 多く、塑性限界は 2~5、また塑性指数は 15~45 多かつた。従つて自然状態の試料を用いて求めたこれ等の値を気乾試料のそれに代用できない場合もあると考えられる。

表-2 液性限界等の変化
Variation of Liquid Limit etc.

試料番号	試験番号	試験時含水比(%)	自然試料			気乾試料			備考	
			液性限界	塑性限界	塑性指数	含水比(%)	液性限界	塑性限界		塑性指数
No.1	1	144	142		43	10	105		図-4(a)参照	
	2		132	49	83		107	44		
	3		128		79		106			
	2	1	157	157		109	10	110		
		2		139	48	91		112	46	
		3		136		88		114		
3	1	158	158		108	15	108			
	2		143	50	93		109	45		
	3		139		89		112			

5. 結 語

この実験において得た結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 自然状態に近い飽和した土をこね返した時の強度の減少は、大部分土の構造の破壊によつて起るが、土粒子の間隙水による毛管力がこね返しによつて破壊され、出てきた水が润滑材の作用をすることもその原因の一つであると考えられる。
- (2) 流動曲線が直線となるのは、(1)の原因によつて含水比の減少にもかかわらず強度がある点まで減少し、さらに増加に転じてから以後のことである。
- (3) こね返した後、放置中に含水比に変化のない場合の放置効果は、コロイドの多いものは常に強度を増加するが、少ないものは強度を減少することがある。
- (4) 鋭敏比のように乱されない土と乱した土との強度を比較する時には、乱した土は乱す要領によつてその強度に相違があることに留意して行う必要がある。
- (5) 自然状態の試料を用いた時の液性限界、塑性限界従つて塑性指数を気乾試料のそれ等に代用することができない場合もある。

文 献

1) 内田・松本：土の ATTERBERG 限界測定に対する時間の影響 (土木学会誌第 38 巻第 1 号 p. 9)

(昭. 28. 2. 2.)