

土の水に対する安定性について*

正 員 森

鹿野**

THE WATER STABILITY OF SOIL MASS

(JSCE Oct. 1954)

Akira Mori, C.E. Member

Synopsis Soil has the slaking state when cohesion decreased until certain value, due to covering with water.

Decrease of cohesion that due to covering with water are important parts of the problems of binder soil of gravel road, erosion of steep slope and levee, etc.

The velocity of decrease of cohesion that due to covering with water is possible to represent qualitatively with the time that require to slake soil mass that soaked in water.

This investigation researched the relation between the time that require to slake soil mass and factors that affect this time. These factors are zeta potential, clay content, water content, density and storage time of compacted soil mass.

The behaviors of soil that soaked in water become clearly by the classification of characteristics on the relation between water content, density and the time that require to slake soil mass.

要旨 土は水をかぶつた状態におかれると、一般に漸次凝集力が低減し、ある限界以下になるとスレークするに至る。水をかぶることによつて生ずる凝集力の低下現象は砂利道の結合土に関する問題及び急な傾斜面、河川堤防等の浸食の問題等の研究に大きな役割をはたすものである。

土が水をかぶることによつて生ずる凝集力低下の速度は土塊を水中に浸漬した場合、土がスレークするまでの時間をもつて定性的に表わすことができる。

本研究では締固めた土のスレーク所要時間とこれを支配する種々の要素との関係を明らかにし、かつ締固め回数とスレーク所要時間及び含水量とスレーク所要時間との関係を求め、土をスレーキングの特性により分類してみた結果、土の水に対する安定性の大要を明らかにすることができた。

1. 目 的

砂利道の結合土の問題とか急斜面や河川堤防等の浸食の問題を具体的に研究するには、その問題に適合した定量的実験が必要である。このためには土が水をかぶつたときに生ずる凝集力低下現象の実体をつかんでおく必要がある。しかし現在までに、この方面の研究があまり行なわれてないので、この基礎的な問題について実験的研究を実施したのである。

2. 土が水をかぶつた場合の凝集力減少速度測定法

* 土木学会第 9 回及び第 10 回年次学術講演会において報告

** 早稲田大学講師，理工学部土木教室

地表面は水をかぶつたまま時間が経過すると、水はおもに毛管力によつて土中に侵入し地表面付近の吸水力 (suction force) は 0 になる。これは次の式から説明できる。

$$S = -u + \alpha P^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

ただし S : 吸水力, u : 間隙水圧, P : その点における垂直荷重, α : 垂直荷重が水に伝達される割合

この場合、地表面には載荷重がなくまた土の自重も無視できるので P は 0、地表の毛管中のメニスカスは水をかぶつて消滅するので u も 0 になる。従つて吸水力 S は 0 である。

土が水をかぶつた場合の凝集力の低下は吸水力が 0 に移行する間の現象である。この吸水力が 0 になるまでの間の凝集力の低下速度をおよそ次のようにして測つてみた。

土塊を水中に浸漬すれば土は吸水力が 0 になるまで水を吸収するので凝集力は低下してゆく。そして凝集力が大体 0.05 kg/cm^2 以下²⁾になると土はスレークする。このスレークするまでの所要時間は土が水をかぶることによる凝集力の低下速度に比例するものである。本研究はこのスレーク所要時間について論じたものである。

土塊を水中に浸漬した場合、吸水力が完全に 0 になつてもスレークしない土は最大水を吸収することがないので、いつまでたつてもスレークしない。緊密に締つた粘土等では吸水力が完全に 0 になるには非常に長い時間を要する。これはこの種の土を水に浸漬した場

合、数千時間にわたって漸次含水量が増加してゆくことから明らかである。これはおもに吸着水膜が徐々に厚くなり、土の膨潤がゆつくり行われるためである。

3. スレーク所要時間を決定する要素

スレーク所要時間は真の凝集力 (true cohesion)³⁾ とこれを破壊する作用とによつて決定される。土の真の凝集力は粘土粒子以下の小さい粒子の作用によつて構成されていることはシルト及び砂が真の凝集力をほとんど有していないことから明らかである。

凝集力はおもに (1) 粘土粒子間の van der Waals 力, (2) 粘土粒子間に orientation した水分子の結合によるもの, (3) 粘土粒子の電荷によるクーロン力 (一般に土粒子は同種帯電であるので斥力) の3つの⁴⁾ から成立している。

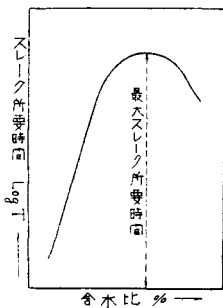
この凝集力は土塊中に吸水力が0になるまで侵入する水的作用によつて低減する。この作用には次の2つがある。(1) 土塊中に毛管力によつて侵入する水は内部に存在する空気を圧縮して土塊に引張力を生ぜしめ⁵⁾, 圧縮された空気の一部は弱点をついて噴出して土粒子の結合を破壊する。(2) 粘土粒子間の距離がその粘土粒子の吸着しうる水分子の層厚より小さい場合は吸着層が漸次厚くなり粒子間隔が大きくなるので凝集力は低下する。

以上述べたことからスレーク所要時間を形成する要素をとり出してみるとほぼ次のようなものである。(1) 土の粘土の含有量, (2) ζ 電位 (置換性イオンの種類及び濃度は ζ 電位に密接な関係があるので⁶⁾ この中に含ませた), (3) 粘土鉱物の種類, (4) 含水量, (5) 密度 (粒子間隔), (6) 締固め後土を保存する期間, (7) 温度。有機物及び過剰塩類, その他凝集性物質も要素になりうるが, ここではこれ等の含有量の少ないものに限定したので要素から除外した。

4. 実験方法

スレーク所要時間を決定する要素のうち土の性質を代表する各要素 (粘土含有量, ζ 電位, 粘土鉱物) とスレーク所要時間との関係を求めるには一つの土を代表するスレーク所要時間を決めて, それについて取扱った方が便利である。このために1種類の土を含水量を変えつつ一定締固めを行い, 一定期間保存後水中に浸漬して最大スレーク所要

図-1 土の含水比とスレーク所要時間

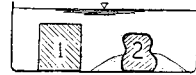


時間を示すものをとつた (図-1)。

試料土は気乾にし, 20 番篩を通した。モールドは径, 高さともに 7.5 cm, ランマーは重量 5lb, 落下高 18in である。締固め回数は2層詰各 30 回とした。締固めた供試体は含水量の変化せぬよう密閉器中に5日間保存後, 水中に浸漬した。

スレーク所要時間は水に浸漬したときから供試体が 1/2 スレークするまでの時間とした (図-2)。この理由は締固め操作上, 中央下半部に全体の約 3 割を占める最大密度の部分ができ, ここが他よりいちじるしくスレーク所要時間が大きくなること, 最も密度の小さい側面部分 (全部の約 3 割) は他より速やかにスレークしてしまうためである。また土のスレークを確かめるためにときどき供試体を手で軽く押えてまわりについているスレークした土片を除去する必要がある。

図-2

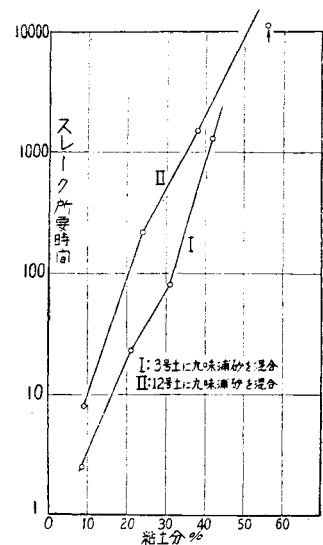


註: 1 浸漬直後
2 1/2 スレーク完了

5. 粘土量とスレーク所要時間

この関係を求めるためにある一つの粘土量の多い土に種々の割合に砂を混合して, その土の粘土含有量を変え, 図-1 の方法でそれぞれの土の最大スレーク所要時間を測定した。実験結果を 図-3 に示す。すなわち粘土量が多いほどスレーク所要時間は増加する。図-3 における2つのカーブの相異は粘土の ζ 電位, 粘土粒子以下の粒度分布及びその鉱物の差異に基づくものである。なおここに言う粘土は径 5 μ 以下のものとした。

図-3 土の粘土含有量とスレーク所要時間

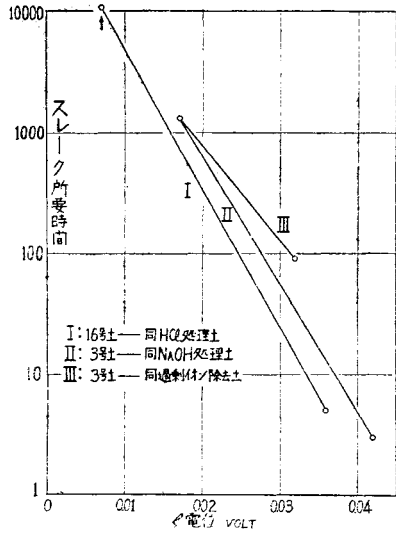


註: 図中の矢印はまだスレークしないもの。以下の図中においても同様

6. ζ 電位とスレーク所要時間

ζ 電位を電解質の添加または土に含まれている過剰イオンの除去によつて変化させたものを使用してそれぞれの最大スレーク所要時間を測定してこの関係を求めた。実験結果を 図-4 に示す。すなわち

図-4 土の電位とスレーク所要時間



電位が高くなるとスレーク所要時間は小さくなる。図-4における3つのカーブの相異は土の粘土量及び粘土鉱物の差異によるものである。なおここに示した電位は絶対値を使用している。また電位としては rough なもの⁷⁾である。

7. 粘土鉱物とスレーク所要時間

粘土鉱物の純粋なものを多量にうることができなかつたことと、粘土鉱物識別設備が使用できなかつたため、この関係を求めることはできなかつた。

8. 締固め回数(密度)とスレーク所要時間

密度を変えるために締固め回数を一層当り 15, 30,

45 の3種類とし、各締固め回数についての最大スレーク所要時間を測定し、締固め回数とスレーク所要時間の関係を各種の土について求めた。いづれの土も締固め回数の増加(密度の増加)とともにスレーク所要時間は増加しているが土の性質によつてこの関係が異なっている(表-1)、すな

図-5 締固め回数とスレーク所要時間

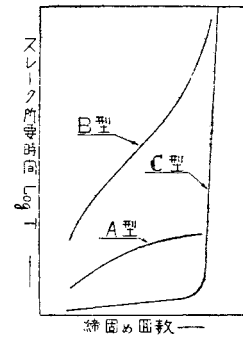
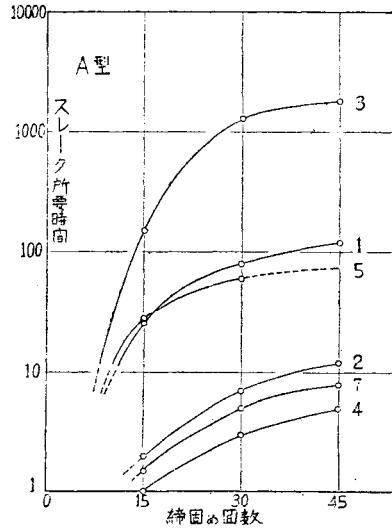


図-6



註: 図中の数字は試料番号を示す。以下の図中においても同様

図-7

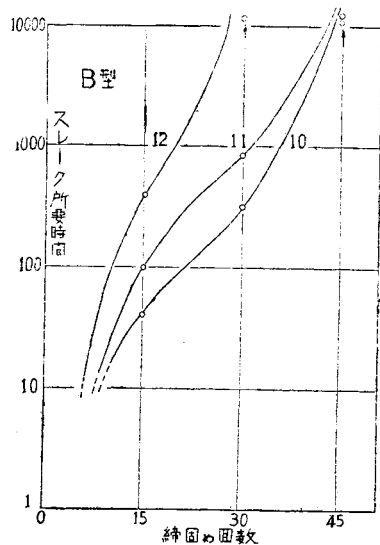
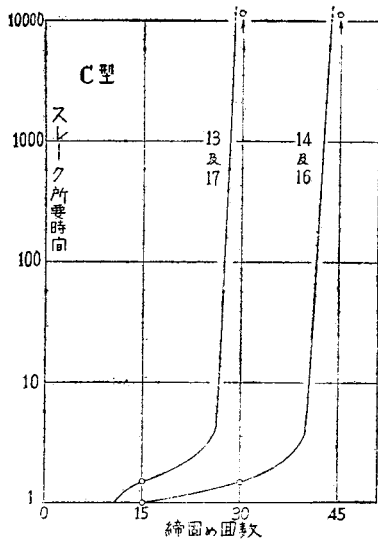


表-1

試料番号	土の名称	層当り5回締固めスレーク所要時間	層当り15回締固めスレーク所要時間	層当り30回締固めスレーク所要時間	層当り45回締固めスレーク所要時間	型式		
1	南吉見土	26	1.48	80	152	120	155	A
2	荒御嶽ロ-土	2	1.69	7	1.76	12	1.80	A
3	荒木田/号土	150	1.31	1300	1.37	1800	1.42	A
4	+NaOH処理	1	1.30	3	1.35	5	1.40	A
5	荒木田2号土	28	1.35	60	1.43	—	—	A
6	横浜土	35	1.10	95	1.19	160	1.23	A
7	松山HCl処理	15	1.03	5	1.06	8	1.08	A
8	カオリン	2	1.50	5	1.62	10	1.70	A
9	珪藻土	1.5	0.57	2.5	0.60	3	0.61	A
10	松山粘土	60	1.35	420	1.41	>10000	1.44	B
11	吉川土	100	1.41	850	1.45	>10000	1.47	B
12	蒲生土	400	1.37	>10000	1.40	—	—	B
13	飛鳥山土	1.5	0.92	>10000	0.965	—	—	C
14	早稲田土	1	1.03	1.5	1.06	>10000	1.08	C
15	池袋*	1	0.85	1.5	0.90	2	0.935	C
16	松山土	1.5	0.99	5	1.04	>10000	1.06	C
17	片山土	1.5	0.89	>10000	0.935	—	—	C

(註) *: この土は1層当り60回締固めで>10000時間とる。

図-8



わち図-5 に示すような A, B, C の3つの型式に分類される。各型式に属する数種の土について示すと 図-6, 7, 8 のようになる。

A型 この型の土は締固め回数がある限度以上多くしても、言いかえれば密度をある限界以上大きくしてもスレーク所要時間はほとんど増加しない。一般にこの型に属する土が多く、この型の土の両極端では図-6 のようにスレーク所要時間がいちじるしく異なっている。

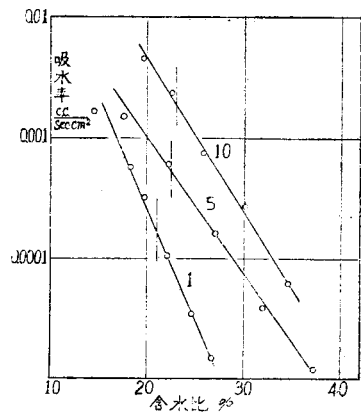
B型 この型式に属する土はある限界以上締固め回数(密度)を大にするとスレークしにくくなる。しかし時間の経過とともに吸着膜の厚さが少しずつ増加して土が軟化してくる。この型の土に砂を混入して粘土含有率を減少させればA型に移行する。

C型 この型式に属する土は一定限界以上の締固め回数または密度(この型の土は単なる密度でなく、粒子構造を考えた密度、次節参照)以上になると全然スレークしない。B型土とは異なつて時間が経過しても土は軟化してこない。しかしこの限界以下の締固めでは非常に短時間にスレークしてしまう。

9. 土の含水量とスレーク所要時間

土塊を水中に浸漬すれば 2. において述べたように吸水力が0になるまで水を吸収する。この吸収作用によつて土の凝集力が破壊され、スレークするのであるから、この吸水速度が破壊作用の大きさを表わすものである。一定締固め(一層当り 30 回)をした土を5日間保存後、水中に浸漬した場合、その初期の吸水率(供試体の単位表面積から単位時間に吸収される水量)と土の含水量との関係は 図-9 のようになる。こ

図-9 土の含水比と吸水率



註: 鎖線は各土の最適含水比を示す

の図は締固め含水量の増加とともに対数的に吸水率が減少することすなわち破壊作用が小さくなることを示すものである。一定締固めの場合、最適含水量以

上になると、含水量が増加しても土の飽水率はほとんど変化しない⁸⁾にもかかわらず、吸水率が含水量の増加とともに減少している。これは吸水率が土の飽水率でなく土の吸水力に支配されることを示すものである。それゆえ飽水率が高くても含水量が少ないと吸水率は大きくなる。同一土において密度が等しければ含水量の多いほど水の破壊作用が小さいのでスレーク所要時間は大きいことになる。また前節から土の密度が高いほどスレーク所要時間が大きくなることが明らかになつているので、土としては密度をできるだけ大きくし、この状態で含水量を大きくするために空隙をすべて水で満たしてしまえばスレーク所要時間は最大になるわけである。

締固めた土は最適含水量を過ぎると密度は次第に小さくなるので、スレーク所要時間は 図-1 のように、ある含水量において最大に達する。締固め含水量とスレーク所要時間との関係を最適含水量の位置によつて分類してみた結果、 図-10 に示すような a, b, c の3種の型式になる。個々の土についてのものは 表-2 及び 図-11, 12, 13 に示す。締固め方法及び保存期間は 4. と同様である。各型式についての特性は次のようなものである。

図-10 土の含水比とスレーク所要時間

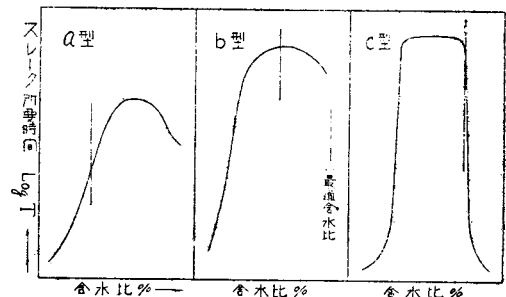


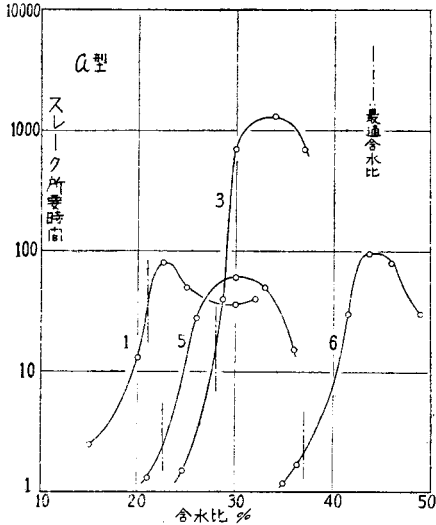
表-2

試料番号	土の種類	最大含水比 (%)	最適含水比 (%)	スレーク所要時間 (秒)	型式
1	南吉見	23	21	2	a
2	荒川砂和土	16.5	16	1	b
3	荒木田1号土	34	28	80	a
4	・No.44砂	33	26	6	a
5	荒木田2号土	30	22.5	20	a
6	横法土	44	37	50	a
7	松山砂和土	51	50	1	b
8	カネリン	22	15	3	a
9	生薬土	112	71	15	c
10	松山粘土	31	23	400	a
11	吉川土	27	25	1	b
12	蒲生土	30	28.5	1	b
13	飛鳥山土	51	56	1以上	c
14	早稲田土*	44	47	1以上	c
15	池袋土*	55	58	1以上	c
16	松山土*	48	50	1	c
17	片山土	55	58	1以上	c

註) * / 層厚 45 回締固め F 土の
 ** / 層厚 60 回締固め F 土の
 其の他は全部 / 層厚 30 回締固め。

a型 この型式の土は 図-10,11 及び 表-2 に示すとおり、最適含水量より相当高い含水量の所においてスレーク所要時間が最大になる。このことは密度を高めるより含水量を大きくして、破壊作用を低減した方がスレーク所要時間を大きくするのに、効果的なことを意味している。しかしある限度以上大きくなると逆に密度を高めた方が、スレーク所要時間を大きくするのに効果的である。

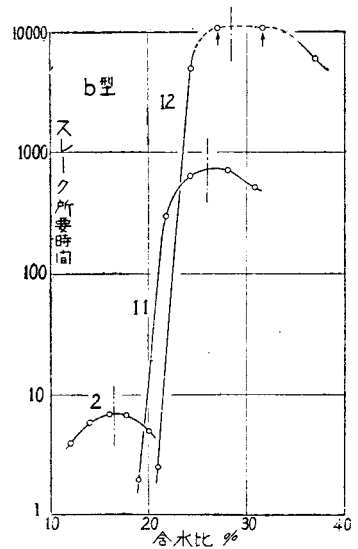
図-11



b型 この型式は 図-10,12 及び 表-2 に示すとおり最適含水量と最大スレーク所要時間を示す含水量がほぼ一致している。このことを最適含水量付近では密度を高めて凝集力を大きくすることと含水量を多く

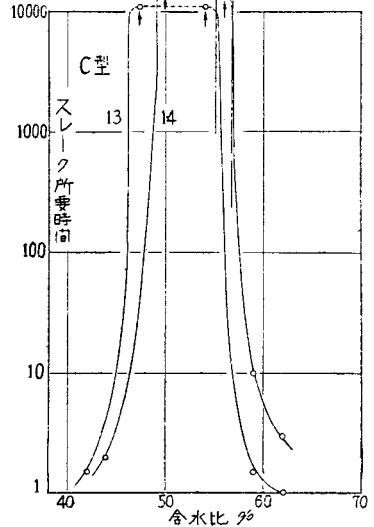
して破壊作用を低くすることが同じ程度の効果を持っていることを示すものである。しかし含水量の小さい所では密度を高めるより含水量を多くした方がもちろん効果的である。また含水量が最適含水量より相当多くなれば逆に密度を高めることの方が効果的である。

図-12



c型 この型式の土は最適含水量よりやや小さい所において最大スレーク所要時間を示す。このことは密度が小さく、吸水作用にともなう破壊力の大きい所においてスレーク所要時間が最大になることを意味し、a, b 型の場合から引出せる結果と大分異なるついている。これは a, b 型の土と異なり最適含水量より小さい所において凝集力が特に大きくなるために破壊力に抵抗で 図-14 最適含水量以前

図-13



ることを意味し、a, b 型の場合から引出せる結果と大分異なるついている。これは a, b 型の土と異なり最適含水量より小さい所において凝集力が特に大きくなるために破壊力に抵抗で 図-14 最適含水量以前

最大の安定度を示すのである。
 土粒子は含水量の増加とともに水膜が次第に厚くなり潤滑性が大となるので締固めた土の粒子配列構造は含水量の小さい

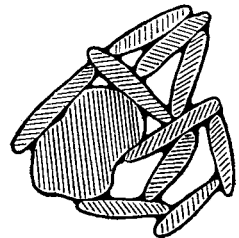
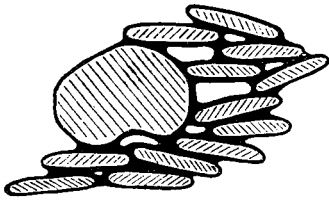


図-15 最適含水量以後



場合に比し大分異なつてくる。これを図示すると図-14, 15 のようになるものと考えられる。最適含水量付近からは水膜が厚く催滑性がよく密度は大きくなるが 図-15 のように粒子の接触間隔が非常に小さくなる所がない。最適含水量以下では水膜が薄く催滑性が悪いので密度は前者より小さくなるが、図-14 のように粒子の接触間隔の非常に小さい所が存在する。この接触間隔の非常に小さい所において van der Waals 力による凝集力が特に大きくなること⁹⁾と、この型の土は次節において述べるが電位が非常に低く粒子の接触間隔がごく小さくなくても電気的斥力が大きくならない¹⁰⁾ので全体の凝集力として大きいのである。このためにc型の土は含水量の比較的小さい所においてスレーク所要時間が大になる。理想としては 図-14 のような粒子配列が充分に発達して、その空隙が水で満たされていればよい。含水量の多い土は本研究に使用した締固めの方法では、いくら締めても 図-14 のような粒子配列にならないためにスレーク所要時間は小さい。それ故高圧力で圧密し余分の水を絞り出すようにすれば粒子の接触間隔を小さくすることができる。

a, b 型の土も粒子配列としては 図-14 の方が 図-15 の場合より優れていることは 図-14 の粒子配列の充分に発達している自然状態の土が締固めた土より密度は小さくもスレーク所要時間の大きいことから明

場合に比し大分異なつてくる。これを図示すると図-14, 15 のようになるものと考えられる。最適含水量付近からは水膜が厚く催滑性がよく密度は大きくなるが 図-15 のように粒子の接触間隔が非常に小さくなる所がない。最適含水量以下では水膜が薄く催滑性が悪いので密度は前者より小さくなるが、図-14 のように粒子の接触間隔の非常に小さい所が存在する。この接触間隔の非常に小さい所において van der Waals 力による凝集力が特に大きくなること⁹⁾と、この型の土は次節において述べるが電位が非常に低く粒子の接触間隔がごく小さくなくても電気的斥力が大きくならない¹⁰⁾ので全体の凝集力として大きいのである。このためにc型の土は含水量の比較的小さい所においてスレーク所要時間が大になる。理想としては 図-14 のような粒子配列が充分に発達して、その空隙が水で満たされていればよい。含水量の多い土は本研究に使用した締固めの方法では、いくら締めても 図-14 のような粒子配列にならないためにスレーク所要時間は小さい。それ故高圧力で圧密し余分の水を絞り出すようにすれば粒子の接触間隔を小さくすることができる。

表-4

型式	粘土量(%) < 5μ	電位 (Volt)	粘土の SiO ₂ /R ₂ O ₃ < 5μ	粘土 activity < 2μ
Aa, Ab	> 10 (小-大)	> 0.015 (中-大)	> 1.5 (中-大)	inactive ~ active
Ba, Bb	> 40 (大)	0.015 附近(中)	1.5-2.0 (中)	---
Cc	< 20 (小)	< 0.01 (小)	< 1.0 (小)	---

らかである。しかしこの粒子配列の影響はc型の土ほどいちじるしくはない。

10. 土の物理、化学的性質と土の型式

土を 8. 及び 9. におけるスレーキング特性による分類法により整理してみると、ほとんどの土がA型はa型(すなわち Aa 型), B型はb型(Bb 型), C型はc型(Cc 型)に属している。この研究に使用した土では2つの Ab 型と1つの Ba 型があつただけである。しかし他の組合せの土の存在も当然考えられる。

土の型式とその土の物理、化学的性質を並記してみると 表-3 のとおりである。この表から各型式に属する土の物理、化学的特性をまとめた結果を表-4に示す。表-4には土の型式によつて粘土量, 電位及び SiO₂/R₂O₃ はそれぞれ相当異なつていること及び粘土の activity については明瞭な相異のないことが示されている。

11. 保存期間とスレーク所要時間

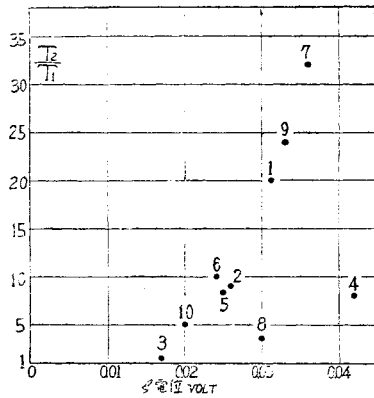
締固めた土を含水量が変化しないように5日間保存したものと30日間保存したものとについて 4. と同様の方法でおのおのの場合の最大スレーク所要時間 T₁ 及び T₂ を測定し、保存期間の延長によるスレーク所要時間の増加比 T₂/T₁ を求めた。この結果を表-5に示す。T₂/T₁ は土の性質を代表する粘土量, 電位及び粘土鉱物によつて支配されるが、このうち粘土量と粘土鉱物の2要素を無視し、電位(絶対値)

表-3

試料番号	土の名称	土の種類	粘土量(%) < 5μ	電位 (Volt)	LL	PI	粘土の activity < 2μ	粘土の SiO ₂ /R ₂ O ₃ < 5μ	型式
1	南吉見土	河積土	40	-0.031	41.4	16.2	inactive	262	Aa
2	荒川砂原土	...	14	-0.026	28.5	6.3	normal	243	Ab
3	荒木田1号土	...	42	-0.017	42.1	23.1	---	208	Aa
4	荒木田2号土	...	41	-0.042	53.5	22.0	---	---	Aa
5	荒木田2号土	---	27	-0.025	50.3	14.0	active	---	Aa
6	横浜土	---	30	-0.024	84.0	37.9	---	103	Ab
7	丸山砂原土	河積土	39	+0.036	66.6	15.1	normal	0.93	Aa
8	カオリン	---	58	-0.030	47.0	14.5	inactive	265	Aa
9	珪藻土	---	46	-0.033	127.3	93.2	active	702	Aa
10	松山粘土	沖積土	40	-0.020	64.0	49.2	---	158	Ba
11	吉川土	---	45	-0.015	45.2	19.0	inactive	186	Bb
12	蒲生土	---	56	-0.016	55.0	22.1	---	175	Bb
13	飛鳥山土	河積土	12	+0.010	80.7	6	---	0.80	Cc
14	平稲田土	---	10	-0.009	69.5	0	---	0.97	---
15	池袋土	---	12	-0.010	85.0	34	---	0.98	---
16	松山土	---	11	+0.007	72.7	10.9	active	0.93	---
17	片山土	---	20	+0.003	62.9	11.9	normal	0.88	---

表-5

試料番号	土の名称	5日間保存土の最大スレーク所要時間 (T ₁)	30日間保存土の最大スレーク所要時間 (T ₂)	T ₂ /T ₁
1	南吉見土	80	1600	20
2	荒川砂原土	7	63	9
3	荒木田1号土	1300	1900	1.5
4	荒木田2号土	3	24	8
5	荒木田2号土	60	500	8.3
6	横浜土	95	950	10
7	丸山砂原土	5	160	32
8	カオリン	5	18	3.6
9	珪藻土	25	60	2.4
10	松山粘土	420	2100	5
11	吉川土	850	---	---
12	蒲生土	> 10000	> 10000	---
13	飛鳥山土	> 10000	> 10000	---
14	平稲田土	1.5	> 10000	> 7000
15	池袋土	1.5	3	2
16	松山土	5	> 10000	> 2000
17	片山土	> 10000	> 17000	---

図-16 く 電位と T_2/T_1 (A,B 粘土)

と T_2/T_1 の関係をA及びB型の土について求めてみると 図-16 のようになった。この図は定性的にく電位が高いほど T_2/T_1 は大きくなることを示している。

保存期間を長くすることは真の凝集力の一部を形成するところの粘土粒子間に orientation した水分子の結合が強くなること及び水分子の orientation はく電位の高いほど完全になることを意味している。

C型の土は表-4から解るように、5日間保存では短時間でスレークする土が30日間の保存によつてスレークしなくなり、 T_2/T_1 はく電位のごく小さいにもかかわらず非常に大きくなる。またスレークしなくなる含水量の領域が増大することが観察された。これは保存期間を長くすることによつて前述の orientation した水分子の結合が強くなることのほかに時間の経過とともに種々の作用で 図-14 のような粒子配列を完成してゆくかと思われる。

12. 土の型式とスレーク所要時間

いままでに述べたことから土の型式とスレーク所要時間の関係を取りまてみると次のようになる。

Aa型及びAb型 スレーク所要時間は密度及び飽水率を高めていってもあまり大きくなりません。スレーク所要時間が小さい土に属する。一般にこの型式に属する土が多い。この型の両極端の土ではそのスレーク所要時間に約500倍もの相異がある。

粘土量の少ないもの及びく電位の高いものはスレーク所要時間が相当に小さい。これに反し、粘土量多くかつく電位の低い土はスレーク所要時間は比較的大きい。それゆえ両者の取扱いは相当異なるべきである。く電位の高い土はスレーク所要時間が小さいが保存期間の増加によつてスレーク所要時間がいちじるしく増大するものがある。

Ba型及びBb型 スレーク所要時間は密度がある限度以上高く、また含水量はその密度に対応する最適含水量¹²⁾の飽水率以上の場合において大きくなる。この型の土は水に浸漬後、漸次土粒子の水膜が厚くなつて軟化してゆく。水に対する安定度の高いものでも10000時間以上では強度が非常に小さくなる。衛生土は12000時間経過後わずか0.2 kg/cm²の圧縮強度に過ぎなかつた。またこの型式の土は粘土含有量が減少すればA型の土に移行する。

Cc型 この型に属する土はいままで調査の範囲では関東ロームである(表-3参照)。

土の粒子構造が 図-14 のようになっている場合には土が相当乾いていてもスレークしなくなる。理想としてはこの粒子配列で空隙が飽水状態になっている場合である。土の密度は必ずしも大なることを要しない。このことは自然状態の関東ロームの大部分が乾燥密度は0.6前後であるにもかかわらずほとんどスレークしないことから明らかである。

締固めた土では適当な含水量のところで締固め操作を十分に行わないと粒子配列構造が 図-14 のように粒子の接触間隔のごく小さくならない。しかし締固めのやや不十分な土や含水量の多いところで締固めた土を相当期間放置しておく次第にスレークしないようになる。これは時間とともに種々の作用で粒子配列が理想的な状態に近づくためと考えられる。この型で100時間以上経過してもスレークしないものは以後その状態に変化なく、13000時間後の圧縮強度は1.5~4.0 kg/cm²もあり、水に浸漬する前の4~8 kg/cm²と比較してあまり低下していないことは大きな特長である。しかしこの型の土でスレークするものはきわめて短時間にスレークしてしまい中間的な状態が存在しない。

13. 構造物とその用土の選択

在来地盤を利用したもの以外の土の構造物の場合には力学的安定条件及びその他の条件から一般に粘土量はある限度以下に押えられるので、B型の土はあまり使用されず、A型のうち粘土量の比較的少ないものとC型の土が用土として使用されることが多いわけである。

用土の選択は具体的問題に適合した定量的実験を必要とする。しかしこのような実験に先立つて締固め回数とスレーク所要時間、含水量とスレーク所要時間及び保存期間とスレーク所要時間との関係を調査すれば、その土が水をかぶつたときの凝集力が低下する状況をつかむことができるので具体的問題を処理するのに便利である。切り取り地盤では土は自然状態の組織を持つているので、締固めた供試体でなく、地盤から切

取つたものについて含水量とスレーク所要時間等を調査すべきである。なお水に対する安定性の大きい土はスレーク所要時間の代りに、強度減少速度を直接測定した方が短期間に調査ができる。

A型の土は粘土量が少ないとスレーク所要時間が相当小さいので、限定された粘土量でスレーク所要時間の大きいものが望ましい。これには、電位が低く、膨潤性の小さい粘土であることを要する。例えば表-3のAa型のカオリンとBb型の蒲生土では、粘土量はほとんど同一であるがスレーク所要時間は蒲生土はるかに大きいので、粘土の質としては蒲生土の方が適している。このような粘土を少量含んでいる土がよいわけである。

粘土の選定方法としては粘土量を同一にした土を試験土として、そのスレーク所要時間の大きいものをとるようになる。しかしその粘土はもちろんスレーク所要時間のみでなく、その他の要求も満たすものでなくてはならない。

B型の土及びA型のうちで粘土量が多くてもスレーク所要時間の大きい土は力学的安定の要求されない盛土斜面等の張り土として使用すれば浸食を防止するのに有効であろう。

C型の土は一般の構造物に使用した場合、力学的安定性も相当あり、かつスレーク所要時間は大きいから浸食の生じやすい構造物には適当な土である。しかし砂利道等の結合土としては他の条件（乾燥強度、その他）を満足しないので不適當である。結合土としてはA型の中に適当なものを探すべきであろう。

C型を除いたA及びB型は土が乾いてくるとスレークしやすいから、土が乾かぬように注意すべきである。

14. 結 語

本研究は土が水をかぶつたときに凝集力が減少してゆく速度をスレーク所要時間に置きかえ、このスレーク所要時間を支配する種々の要素との関係を一応明らかにすることができた。またスレーキング特性から土が数種の型式に分類され、土の型式によつて水に対する安定度をよくする対策及び構造物用土選択の指針が一応たてられたと思う。

この研究は御援助を受けた本学兵衛教授、後藤助教及び実験を担当して下さつた渡辺興一、鈴木敏雄、石沢和男、北中信雄の諸君に負うところが多い。ここに深く謝意を表する。

なお本研究の一部は昭和27年度文部省科学研究助成費を受けたものである。

参考文献その他

- 1) Proc. 3rd. I.Co. So. M.F.E. vol. 1 p. 15~17
- 2) スレーク直前の土の圧縮強度から求めた。
- 3) 全凝集力から毛管圧力による見掛けの凝集力を除外したものである。
- 4) 例えば Proc. ASCE, Vol. 79, No. 315
- 5) Terzaghi: Theoretical Soil Mechanics, p. 332
- 6) Baver: Soil Physics, p. 92, 森田修二: 土壤膠質化学, p. 121~2
- 7) 森 麟: 土木学会誌 37~11, p. 13~7
- 8) 一般に示されている締固め曲線と零空気間隙曲線の図において明らかである。
- 9) van der Waals 力の性質から明らかである。偏平粒子間では A/r^3 で表わすことができる (例えば Houwink: Elasticity and Structure of Matter, p. 339)。
- 10) クーロン力の性質から明らかである。
 ζ 電位の低いものは粒子の電荷量が少いわけである。
- 11) Proc. 3rd. I.Co. So. M.F.E. vol.1, p. 57~61
- 12) ある締固め仕事についての締固め曲線(含水量一密度)で、その最適含水量の密度にこの密度が一致したとき、その最適含水量を指す。

(昭.29.5.4.)

工学博士 吉町太郎 一著

鋼橋の理論と計算

B5 (四六倍判) 700頁 参考図 1,000

定価 1,800 送料 100

第1章 総論	第7章 突桁橋
第2章 単構橋の応力解析	第8章 連続桁橋
第3章 鉸桁橋及I桁橋の設計	第9章 ラーメン橋
第4章 単構橋の設計	第10章 拱橋
第5章 桁の横振動と衝撃	第11章 吊橋
第6章 構脚橋と高架鉄道	第12章 可動橋

重版出来

本書は発刊以来学界・業界より望外の御好評をいただき、初版は品切となつたので、著者の綿密な校訂正誤を得て、ここに再版を発行する。

——初版お買上げの方に急售——

再版では、訂正すべきところを全部組替えたが初版お買上げの方にも訂正箇所をお知らせすべく正誤表を作製した。至急発行所宛お申込下さい。

東京神田 駿河台下 石崎書店 振替東京 79048