

結合剤で固結させた土の構造的粘着力

もり
森い
伊とう
藤あきら
麟*まさ
雅

お夫**

1. まえがき

結合剤による土の強度増加機構についてすでに発表した報告¹⁾ (以後は前報という) でケミカルグラウト剤やベントナイトペーストなどのゲル状結合剤によって固結させた砂の強さの増加が粘着力の大幅な増加によるものであること、およびその粘着力は薄膜粘着力と構造的粘着力の2つから構成されていることを示した。またさらにその報告において薄膜粘着力の内容の詳細についても明らかにしている。構造的粘着力と名付けたものは結合剤の強さの小さい時に全粘着力の大半をしめるので、この粘着力の構成内容を明確にすることは結合剤による強さの増加の基礎理論として重要である。

また固結土の引張り強さは構造的粘着力の解明に關係があるうえ引張り強さの構成内容もまた興味深いものがあるので、ここにあわせ報告する。

2. 構造的粘着力の性格

結合剤で砂を固結した場合、その固結土の粘着力 c と結合剤としてのゲル自身の粘着力 c_0 との關係は一般的に 図-1 のように示すことができる。すなわち c は c_0

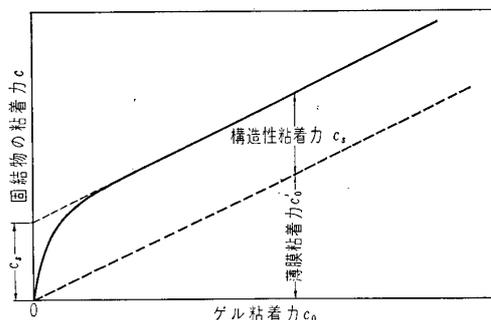


図-1 固結物の粘着力とゲル粘着力の關係

に比例して直線的に増加する部分と c_0 が少し大きくなると限界値 c_s になる部分の2つに分けられる。前者は結合剤が粒子表面に c_0 よりかなり大きい力で付着し、しかも粒子間の小さい間ゲキ中で薄い膜状になっているために増加した結合剤自身の粘着力で、土粒子の内部摩

擦による影響を受けないことが、前報で明らかにされている。これを薄膜粘着力という。後者はゲル粘着力 c_0 の小さい間は急激に増加するが、ある c_0 になると増加は停止して一定値 c_s にとどまる。この部分はあとで述べるように粒子がゲルで固定されたために増加したインターロッキングなどの摩擦抵抗に關係があるので構造的粘着力ということにした。土粒子が結合剤中に懸濁していて粒子間の摩擦のない時には構造的粘着力は生ぜず、粒子が相互に接触するような密度になると構造的粘着力が発生することは前報で示したとおりである。構造的粘着力はゲル粘着力の小さい間は固結土の粘着力のうちの大半をしめるので、この場合とくに重要である。

構造的粘着力と名付けた部分は粒子が、相互に接触しているときに生ずることや密度を大きくすると急激に大きくなることなどから、この粘着力が粒子間の摩擦に關係あることが予想できるが、さらにこの關係を強調するものとしてつぎのような事実がある。扁平な形状の砕砂を立方体モールドに入れ、これをアクリルアミドで固めて、縦方向と横方向にそれぞれ直接セン断し、両方向の粘着力 c とゲル自身の粘着力 c_0 との關係を求めた図-2 がそれである²⁾。この図は両方向とも直線部分の割合は等しいので、薄膜粘着力には相違はないが、構造的粘着力 c_s は方向により大なる相違があることを示している。粒子を固結しているアクリルアミドは等方性

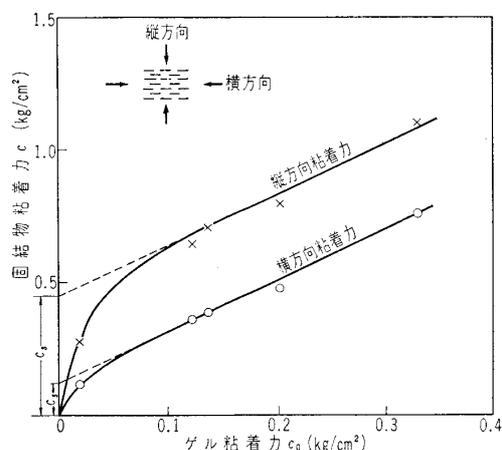


図-2 アクリルアミドゲルで扁平な砕砂を固めた場合の固結物粘着力とゲル粘着力の關係

*早稲田大学理工学部土木工学科 教授・工博

**前田建設工業(株) 技術研究部

No. 562

であるから、薄膜粘着力には、方向差が生じないわけである。粒子の配列構造は粒形が扁平であるために縦方向と横方向とではインターロッキングにかなりの差異があり、この差が両方向の構造的粘着力に大きな相違をもたらすものと考えることができる。したがって、構造的粘着力は摩擦抵抗的な性格のものということになる。構造的粘着力を外圧力ゼロにおけるせん断抵抗として考えると、これが摩擦抵抗であるためには、内部的に発生する粒子間圧力の存在が必要となる。

粒子が相互に接触した状態で結合剤により固結されたものは、せん断破壊をおこすときに粒子間のインターロッキングをとくためにダイレイタンスー現象が発生し、結合剤が引き伸ばされる。ここに粒子間圧力の発生原因があると考えられる。普通の飽和土の場合には、このような状態における粒子間圧力は間ゲキ水に生ずる負圧ということになるが、ゲルによる固結土の場合も同じ負圧であると即断することはできないし、飽和土の場合のように間ゲキ圧を測定するわけにもゆかない。したがって、固結土の引張り試験を行なったときの抵抗が、ダイレイタンスーによって生ずる粒子間圧力の大きさを知る重要な手がかりとなる。

3. 固結土の引張り強さとその構成要素

3.1 実験方法

固結土の引張り強さを求めるのに円筒型供試体を作り、これを軸方向に単純引張り試験を行なった。供試体は直径 3.5 cm、高さ 10.5 cm で、2つ割りモールドを用いて作製した。使用した結合剤はアクリルアミド、クロムリグニンおよびベントナイトの三種であり、骨材としては川砂をフルイ分けた5種の粒径範囲の砂と2種の粒径範囲のガラス玉で前報の場合とまったく同じである。また供試体の作製方法も上下端に引張り用フックをとりつける点を除いては、前報と同一である。まず、結合剤がアクリルアミドとクロムリグニンの場合には、下端用フックをモールド底部にセットし、つぎにゲルタイムを 20 分程度に調整した溶液をモールドに入れ、この中に粒子を少しずつ投入しながら木ハンマーで振動を与え、粒子が十分につまるようにした。

溶液がゲル化しないうちに、上部フックを上から押し込み、さらに、振動を与えてフックの定着用のネジの周囲に混合物が十分行きわたるようにしてから静置して固化させた。アクリルアミドを用いた供試体は固化後ただちに試験をしたが、クロムリグニンを使用したものは 24 時間湿気養生した後に試験を行なった。

ベントナイトを用いる場合は、下端用フックをモールド底部にセットし、上からベントナイトペーストの必要量と砂粒子との混合物を入れ、まず 2 層に静的に締固

め、三層目は混合物を入れ、上部フックをのせてフックの上から静的に締固め、フックを固定させ、ただちに試験を行なった。引張り試験機は、一軸圧縮試験機を少し改作したものであり、下端フックを上下可動台に固定し、上端フックをプルービングリングの下端にかけ、可動台を下方に移動させて引張りを行なった。引張り速度は 1 mm/min である。なお、供試体がフックとの連結部で破壊しないように、中央部を 図-3 のように少しけずって細くし、この部分で引張り破壊が起こるようにした。

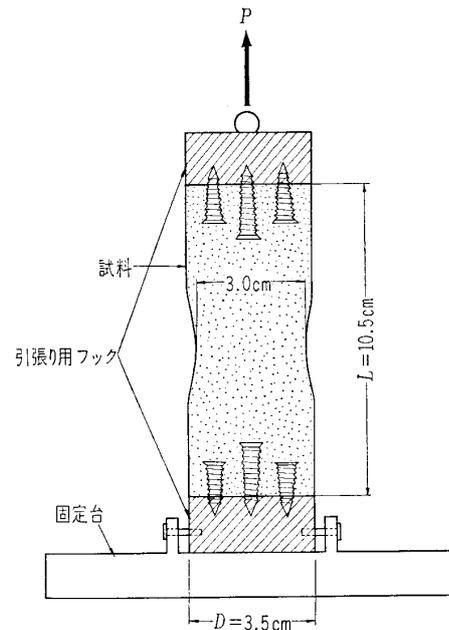


図-3 引張り試験用供試体

3.2 引張り強さ

三種の結合剤でガラス玉または砂を固結した供試体の引張り強さ q_t を測定し、ゲル粘着力 c_0 との関係を探ってみると 図-4~9 のようになる。これらの図からわかるように、いずれも q_t は c_0 のきわめて小さい時に急激に増加し、以後この曲線は折れ曲って直線的な q_t の増加を示す。これを一般化すると 図-10 のようになり、 c_0 とともに直線的に増加する引張り強さの部分とごく小さい c_0 以上で限界値に達する引張り強さ部分 U の2つ

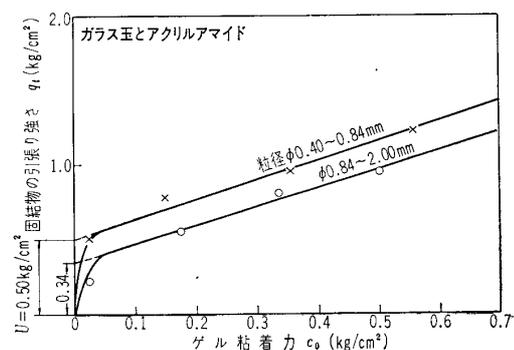


図-4 ガラス玉をアクリルアミドで固結した場合の q_t と c_0 の関係

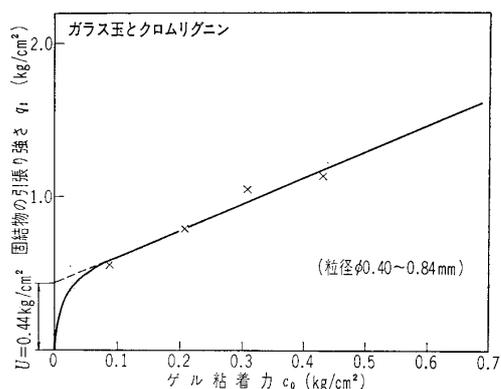


図-5 ガラス玉をクロムリグニンで固結した場合の q_t と c_0 の関係

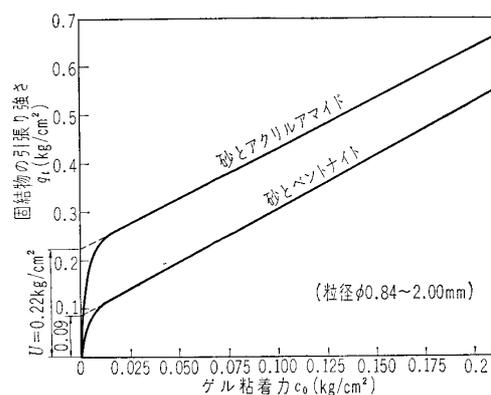


図-8 アクリルアミドとベントナイトで砂を固結した場合の q_t と c_0 の関係

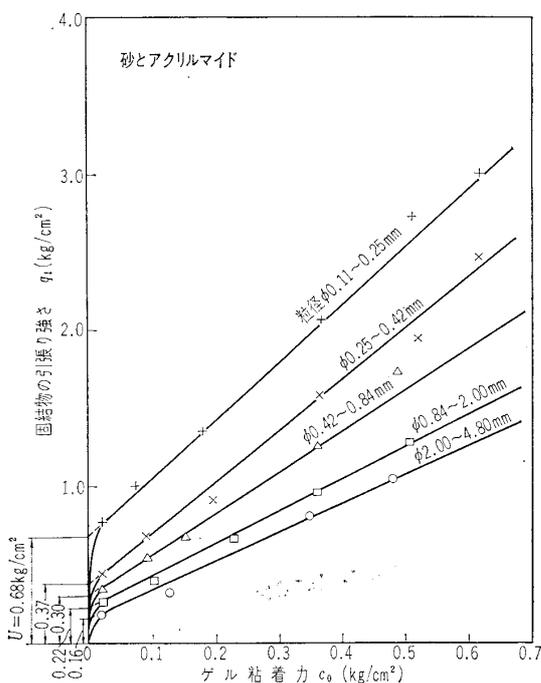


図-6 砂をアクリルアミドで固結した場合の q_t と c_0 の関係

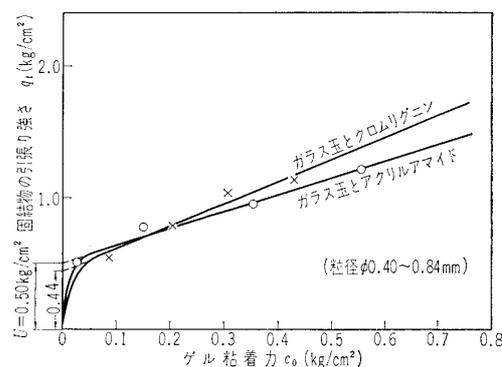


図-9 アクリルアミドとクロムリグニンでガラス玉を固結した場合の q_t と c_0 の関係

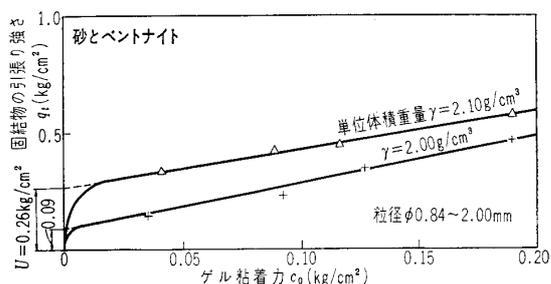


図-7 砂をベントナイトで固結した場合の q_t と c_0 の関係

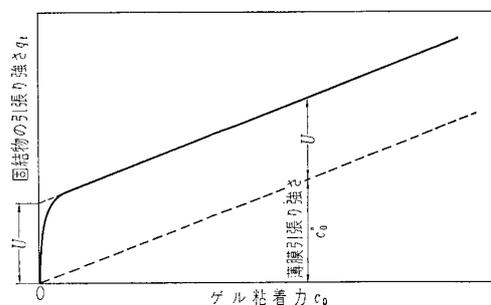


図-10 ゲル自身の粘着力 c_0 とゲルによる固結物の引張り強さ q_t の関係

に分けられる。この図は 図-1 の固結物の粘着力 c とゲル粘着力 c_0 との関係に非常に類似している。ただし、 U は c_0 より小さく、 U が限界値になるゲル粘着力の大きさも c_0 の場合よりかなり小さいことがおもな相違点である。図-10 の c_0 の増加に比例して増加する引張り強さは、粘着力の場合の薄膜粘着力の存在から考えて、当然薄膜引張り強さに相当するものと思われる。こ

れはゲルが粒子に強く付着し、そして粒子間ゲキ中に薄い膜状になっている状態において示す引張り強さで薄膜粘着力と同様に膜厚やゲルと粒子の付着力、あるいはゲル自身の強さなどで変化する。

ここで問題として残るのは U の部分の引張り強さがどのようなものかということである。引張り破壊のときもその抵抗力が粒子間の内部固有圧による摩擦抵抗であるとするのが Mohr の強度理論³⁾であるので、引張り強さから摩擦の影響を完全に除去した方法で引張り破壊のメカニズムを考えてみよう。

表面の平滑な二枚のガラス円板の間に種々の濃度のアクリルアミド溶液に CMC (ナトリウム・カーボキシル・メチル・セルローズ) を加えたものをはさみ、ゲル

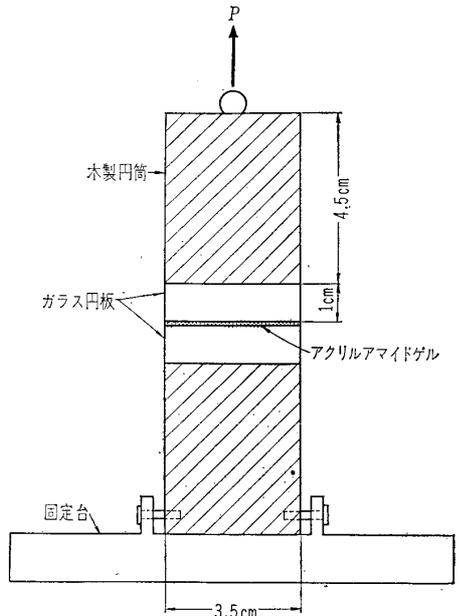


図-11 2枚のガラス板の間にアクリルアミドゲルをはさんで引張り試験を行なう装置

化させて円板を接着し、これを 図-11 のようにして引張り強さ q_t を求めてみた。CMC を加えたのは水分の蒸発による濃度変化をなるべく少なくするためである。この場合の引張り破壊は2枚の円板は全然接触していない。ゲル自体にも内部摩擦は考えられないので、完全に摩擦の影響のない引張り強さが求まる。実験結果からゲル粘着力 c_0 と q_t の関係を示すと 図-12 のようになる。

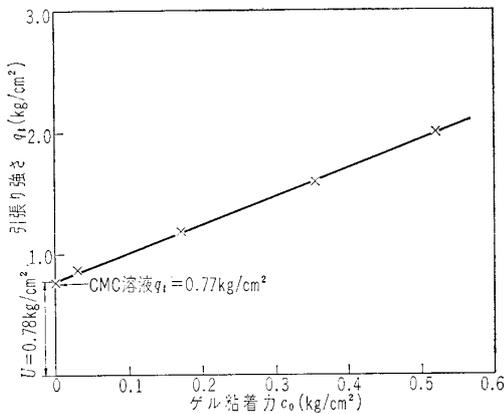


図-12 2枚のガラス板をアクリルアミドゲルで接着したときの引張り強さ q_t とゲル粘着力との関係

この図は 図-10 と本質的には同じで、二枚のガラス板間の引張り強さは薄膜引張り強さと U の部分から構成されている。したがって U は摩擦には関係のないものであることは明らかである。また 図-12 で注目すべきことはゲル粘着力 c_0 がゼロである CMC のみの溶液(粘性 200 cp)で、 0.77 kg/cm^2 の引張り強さを示すことである。このことは U を発生させるのは結合剤の粘着力ではなく、別の原因によることを示している。CMC

のみの溶液をガラス板の間にはさんで水平にずらすセン断抵抗を直接セン断試験機で求めるとほとんどゼロであった。このような現象は2枚の平滑な板の間に水をはさんで引き離すには大きな抵抗を要し、水平にずらすにはほとんど力を要しないという日常の経験と同じである。二枚の平板の間にこの面をよくぬらす性質のある粘着剤をはさんだ場合、表面張力にもとづく引張り抵抗が作用することが知られており、その大きさは次式⁴⁾によって与えられる。

$$F = \frac{2 T_s V}{D^2} \dots\dots\dots(1)$$

ここに D : 平板の間隔

V : 満たされている粘着剤の体積

T_s : 粘着剤の表面張力

平板の面積を A とすると上式の V は AD であるので F/A すなわち q_t は、つぎのようになる。

$$q_t = \frac{2 T_s}{D} \dots\dots\dots(2)$$

平板にはさまれた粘着剤に生じたメニスカスの直径は D に等しいから上式の右辺は表面張力にもとづく負圧を意味する。二枚の平板の間に上式のような負圧が発生すれば、平板を引き離すには逆にこれだけの力を要することになる。

図-12 の U の部分はこの負圧以外には考えられない。したがって、2枚の平板をゲルで接着した場合の引張り強さは、ゲルの薄膜引張り強さと引張りの際に発生する負圧の2つで構成されることとなる。引張りによる破壊もセン断破壊であるとする Mohr の考えは、この場合全然あてはまらず、負圧そのものが引張り抵抗になることを示している。

固結土の引張り破壊においても面に凹凸があって、それが互いにうまく入りこむ2つの固結土をゲルを接着しているのと同じであるので、二枚の平板を接着した場合の引張り破壊機構と本質的に同一と考えられる。それゆえ摩擦的な抵抗でなく、引張りのときに発生する負圧がそのまま引張り抵抗として作用しているものとみなしてよいように思う。このように考えると 図-10 の U は負圧の大きさを示すものといえる。したがって、ゲルによる固結土の引張り強さも薄膜引張り強さと負圧の2成分の和であるということになる。

4. 構造的粘着力の発生機構

前節で明らかにしたように、ゲルで固結した土が引張られるときには負圧 U が発生するが、供試体がセン断破壊を起こす場合も、粒子がインターロッキングをとくためにダイレイタンスー現象を起こして粒子が移動し、それともなって付着している結合剤は引き伸ばされ、固結土が引張りを受けたときと同じように負圧が生ずる

ものと考えられる。負圧が発生すれば粒子は相互にその大きさの圧力で押しつけられることになる。したがって、セン断時にはこの内部的生因による圧力と粒子の内部摩擦角によって摩擦抵抗が発生する。このほかゲルが引き伸ばされたときには、そのゲルの引張り応力の反力として粒子間圧力を作用させることが考えられる。しかし、この場合の圧力はゲルの強さに比例することになり、構造的粘着力があるゲル粘着力以上で一定となる事実と矛盾するので、ゲルによる圧力は無視でき負圧によるもののみと考えてよいようである。いま、セン断時に発生する負圧を U' 、ゲルで固められた粒子間の摩擦角を ϕ_0 とすれば、構造的粘着力は外圧ゼロのときの摩擦抵抗と考えると次式によって示すことができる。

$$\text{構造的粘着力} = U' \tan \phi_0 \dots \dots \dots (3)$$

これでは構造的粘着力はただの見かけの粘着力ということになるが、実際にはつぎのような特異な現象が含まれている。上式の U' は測定できないので明確には分らないが、いま引張り試験の際の U に等しいと一応仮定をして、各種固結物の内部摩擦角 ϕ_0 を構造的粘着力の限界値 c_s (後出の 図-17, 18, 19, 21 参照) について式 (3) より計算すると 表-1 のようになる。このように

表-1 粒子がゲルで固定されたときの内部摩擦角 ϕ_0

No.	固結物の種類	c_s^* (kg/cm ²)	U^{**} (kg/cm ²)	$\tan \phi_0 = \frac{c_s}{U}$	ϕ_0
1	ガラス玉 (φ0.40~0.84) アクリルアמיד	0.68	0.50	1.32	52°50'
2	ガラス玉 (φ0.84~2.00) アクリルアמיד	0.48	0.34	1.41	54°40'
3	ガラス玉 (φ0.40~0.84) クロムリグニン	0.54	0.44	1.23	50°50'
4	砂 (φ0.84~2.00) ベントナイト (γ=2.00 g/cm ³)	0.23	0.09	2.56	68°40'
5	砂 (φ0.84~2.00) ベントナイト (γ=2.10 g/cm ³)	0.72	0.26	2.77	70°10'
6	砂 (φ0.11~0.25) アクリルアמיד	1.57	0.68	2.31	66°35'
7	砂 (φ0.25~0.42) アクリルアמיד	1.24	0.37	3.35	73°20'
8	砂 (φ0.42~0.84) アクリルアמיד	0.89	0.30	2.97	71°25'
9	砂 (φ0.84~2.00) アクリルアמיד	0.54	0.22	2.70	69°40'
10	砂 (φ2.00~4.80) アクリルアמיד	0.44	0.16	2.75	70°00'

** c_s は 図-17, 18, 19, 21 を参照。
** U は 図-4, 5, 6, 7 を参照。

して求めた ϕ_0 の値が 50°~70° であり、固結物の三軸圧縮試験より求めた内部摩擦角 ϕ は 表-2 のように、ガラス玉が 20°~27°、砂では 27°~33° であるので両者の間に大きな相違がある。 U' は U より小さいことはあっても大きくはなり得ないと思われるので、実際の ϕ_0 は上記の値よりさらに大きいと考えねばならない。このように ϕ_0 が大きな値となる理由は、つぎのようなことか

表-2 各種固結物の三軸圧縮試験 (非排水) より求めた内部摩擦角

固結物の種類	内部摩擦角 ϕ
ガラス玉 (φ0.40~0.84) + アクリルアמיד	20.5°~27°
ガラス玉 (φ0.84~2.00) + アクリルアמיד	20°~22°
ガラス玉 (φ0.40~0.84) + クロムリグニン	20°~24°
砂 (φ0.11~0.25) + アクリルアמיד	29°~31.5°
砂 (φ0.25~0.42) + アクリルアמיד	30°~33°
砂 (φ0.42~0.84) + アクリルアמיד	27°~32°
砂 (φ0.84~2.00) + アクリルアמיד	29°~31°
砂 (φ0.20~4.80) + アクリルアמיד	27°~30°

ら説明できる。

いまゲルで固結させた土を直接セン断したとして、垂直圧力 $\sigma=0$ の場合の負圧による粒子の摩擦抵抗を考えると、粒子はゲルのために固定されているので、インターロッキングをとくための粒子の移動や回転が非常に制限される。したがって、この状態は 図-13 に示すよう

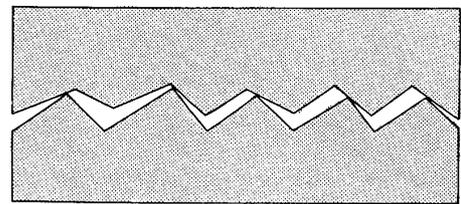


図-13 かみ合った2つのブロック

なかみ合った2つのブロック同志の摩擦角に近い。この摩擦角は図の突出部が移動や回転のできる場合 (ゲルで固定されていない砂の場合に相当) に比べかなり大きなものとなる。この場合はセン断応力が粘着力 c に等しくなった時、ゲルは粒子を固定していることができなくなり、全体的な破壊を起こす。 $\sigma > 0$ の場合でもゲルが粒子を固定する強さは変わらないので、固定状態で受け持つことのできるセン断応力は $\sigma=0$ とあまり変わらない。したがって、外圧 σ によって増加するセン断抵抗の分はゲルで固定されていない場合の摩擦角によって生ずるものとなる。それゆえ、三軸圧縮試験や直接セン断試験で求めた固結物の内部摩擦角 (表-2) は砂のみについて求めたものとほぼ同等か、小さくなるのは、側圧 σ_3 の増加によってゲル中に正の間ゲキ圧が生ずるためと考えられる。

粒子を固定すると摩擦角が大きくなることを実証するためにつぎのような実験を行なった。

直径 5.8 cm、厚さ 0.8 cm の平滑な 2 枚の木製円板の各一面全体にガラス玉 (φ0.84~2.00 mm) を一層に強い接着剤ではりつけ、これを重ね合わせてみて二枚の面のガラス玉が 図-14 のように互にかみ合うような位置にそれぞれ固定する。このような一組の円板の間の摩擦角を一面セン断試験機で測定した。約 20 組の円板について試験した結果は、つぎの 図-15 のとおりである。この結果では、摩擦角は 63°~67.5° の範囲の非常に

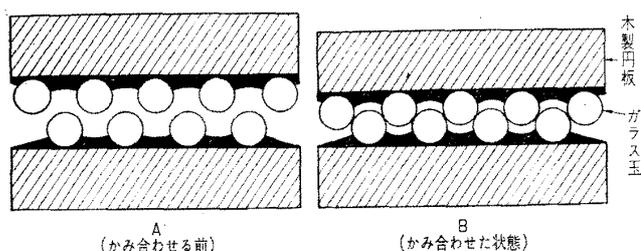


図-14 2枚の木製円板にガラス玉を互にかみ合うように接着固定した状態の模式図

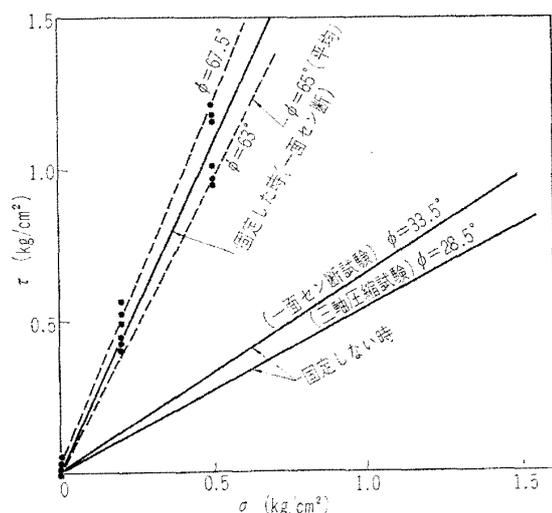


図-15 ガラス玉(φ0.84~2.00 mm)を固定したときと固定しないときの摩擦角

大きな値を示した。一回の試験によりごく小數ではあるが、粒子がハク離するので一組の円板の使用は一回に限った。測定された値は大部分の粒子が固定されたままずれたときのものであるから、粒子固定状態の角度とみなすことができる。また、この図にはガラス玉のみを三軸圧縮試験または直接せん断試験したときの摩擦角も示してあるが、それらは 28.5° と 33.5° に過ぎず、粒子を固定すると摩擦角が非常に増加することが明らかである。

上図に示された固定したガラス玉の摩擦角 63°~67.5° は表-1 に示したガラス玉の固結物の摩擦角 52°~54° より少し大きい、これは実際に発生する負圧 U' より大きいと思われる U を用いたこと、および粒子のかみ合い状態が図-14 の場合と異なることなどによるものと思われる。

表-1 に示したゲルで固定した場合の摩擦角 ϕ_0 は、構造的粘着力の限界値 c_s について求めたものであるが、ゲル粘着力 c_0 が小さくて構造的粘着力が c_s にまで大きくならない範囲における摩擦角 ϕ_0 は当然これと異なってくる。ゲル粘着力 c_0 がごく小さくても負圧 U は c_0 の大きい場合と同等に作用すると考えられるから、構造的粘着力が小さいときは ϕ_0 も小さいことになる。これはゲルの強さが小さすぎれば粒子の固定度が十分でないことに起因している。

c_s が限界値になるゲル粘着力以上では c_s が一定であるので、 ϕ_0 も変化しないことになる。これは粒子の固定度はある強さ以上のゲルではほとんど変わらないことを意味する。しかし、この実験に用いたゲル粘着力よりはるかに大きい場合には、粒子の固定度は当然増加し、 ϕ_0 はもう少し大きくなるように思われる。 ϕ_0 は定常せん断の摩擦角 ϕ がゲルで粒子が固定されて生じたインターロッキングとダイレイタンスーのために増加した摩擦角で、春山、山内らの研究⁵⁾したシラスの場合の考え方を適用すると

$$\tan \phi_0 = \tan \phi + \tan \phi_i + \tan \phi_e \dots\dots\dots (4)$$

とかくことができる。ここに $\tan \phi_i$ と $\tan \phi_e$ はそれぞれインターロッキングとダイレイタンスーによって増加した摩擦係数である。それゆえ構造的粘着力は、つぎのように定常摩擦の分とインターロッキングおよびダイレイタンスーの分の3成分になる。

$$U' \tan \phi_0 = U' \tan \phi + U' \tan \phi_i + U' \tan \phi_e \dots (5)$$

粒子がゲルで固定された場合には摩擦角の拡大され方が非常に大きいことから考えても、上式のインターロッキングおよびダイレイタンスーの分ともいちじるしく大きいことは明らかである。

ゲルによって粒子が固定されたために生ずる大きな摩擦角 ϕ_0 の作用するのは、前に述べたようにせん断応力がある限界に達するまでであって、限界以上の応力が作用すれば、その超過分に対しては、粒子の固定が解けるので普通の摩擦角になってしまう。いいかえれば粒子間の有効応力がある限界までは大きな ϕ_0 として作用し、それ以上の有効応力下では普通の摩擦角となる。この有効応力の限界は、本実験ではせん断の際に発生する負圧の大きさ程度までと考えられる。

以上のことから構造的粘着力は有効応力の比較的小さいときにかぎり、固定された粒子が発揮する大きな摩擦角のために生じた摩擦抵抗ということになる。

5. 粒子およびゲルの性質と構造的粘着力

各種の粒子やゲルを用いた固結物の粘着力 c を参考文献(1)で述べた方法で測定し、ゲル粘着力 c_0 と c との関係曲線から構造的粘着力 c_s を調べてみると、 c_s は粒子およびゲルの性質によってかなりの相異が認められる。 c_s はせん断時に発生する負圧 U' とゲルで固定された粒子の大きな摩擦角 ϕ_0 に支配されるので、 c_s が異なるのは U' や ϕ_0 が固結物を形成する粒子とゲルの性質で相異するというに当然帰着する。

ここで粒子の充テン度(密度)、粒径、粒子形状およびゲルの種類の4つの要素が c_s あるいは U 、 ϕ_0 におよぼす影響を調べてみるとつぎのようになる。

(1) 粒径の影響

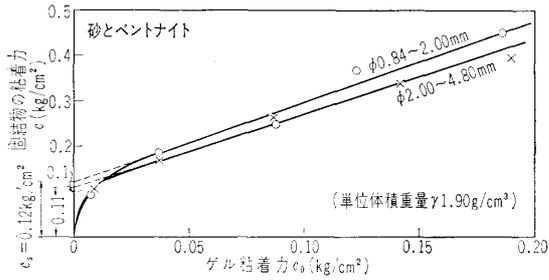


図-16 砂をベントナイトで固結した場合の c と c_0 の関係

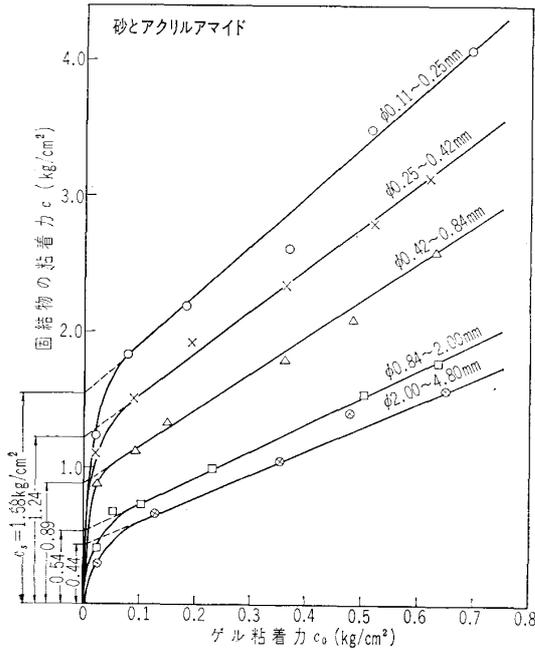


図-17 砂をアクリルアミドで固結した場合の c と c_0 の関係

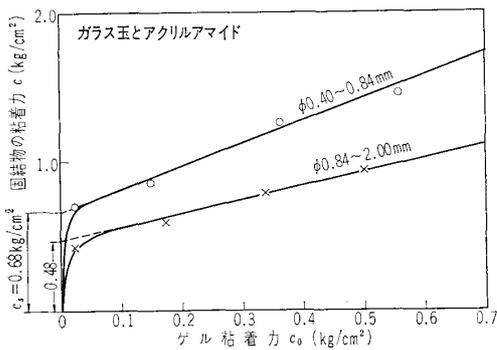


図-18 ガラス玉をアクリルアミドで固結したときの c と c_0 の関係

ガラス玉でも砂でも 図-16, 17, 18 に示されているように粒径の小さいほど c_s は大きくなっている。これはせん断時に発生する負圧 U' が粒径の小さいほど大きくなる結果と考えられる。 U' は引張りの際の負圧 U にかなり近いと思われるので、図-4, 6 に示されている粒径が小さいほど負圧 U が大きい事実から上記の推論が可能である。粒径が小さくなると負圧が大きくなるのは小さい粒子ほどゲルとの付着面積が多く、粒子間のゲ

ルの平均厚さが薄くなることに関係があるように思われる。ゲルで固定された粒子の摩擦角 ϕ は表-1 から粒径にはほとんど影響されないことがわかる。したがって、粒径は主として負圧の大きさを支配し、これが c_s の大きさに影響を与えることになる。

(2) 密度の影響

ベントナイトと砂を2種の密度に締固めたときの c_s におよぼす密度の影響は 図-19 のように、密度が大き

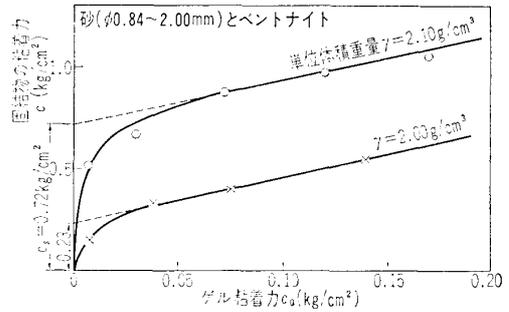


図-19 砂をベントナイトで固結した場合の c - c_0 関係に及ぼす密度の影響

くなると c_s が増加することを示している。この理由としては図-7 からわかるように密につまっている方が負圧が大きいということである。また摩擦角 ϕ も密度の高い方がやや大きくなることが表-1 の No.4 と No.5 からわかる。しかし、密度の負圧に対する影響の方が摩擦角に対するものよりもかなり大きい。

(3) 粒子形状の影響

ほぼ球形のガラス玉と角張った川砂を用い、粒度分布が同一範囲のものについて c_s を求めると 図-20 のよ

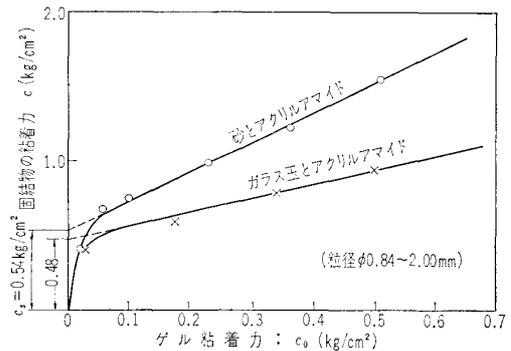


図-20 c - c_0 関係に及ぼす粒子形状の影響

うになり、角張った砂の方が丸いガラス玉より c_s は大きく出ている。これは表-1 の No. 2 と No. 9 に示されているように負圧は砂の方が小さくガラス玉の 2/3 程度であるにもかかわらず、摩擦角 ϕ が $69^\circ 40'$ と大きいためである。ガラス玉の ϕ は $54^\circ 40'$ でかなりの差がある。表-1 におけるガラス玉の ϕ の平均値は、 53° 、砂の平均 ϕ は 70° であって粒子が固定されなかったときの摩擦角よりもその差がむしろ大きくなる。

したがって、角張っている粒子は構造的粘着力には非

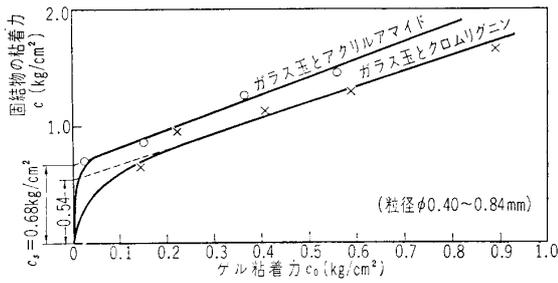


図-21 アクリルアミドとクロムリグニンでガラス玉を固結した場合の c と c_0 の関係

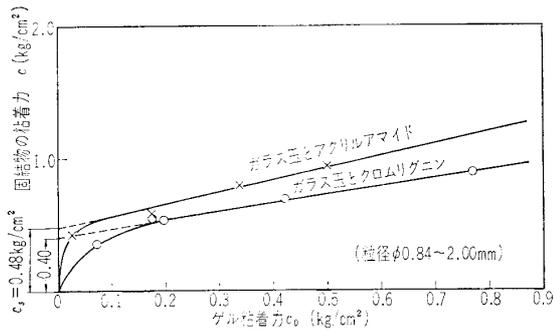


図-22 アクリルアミドとクロムリグニンでガラス玉を固結した場合の c と c_0 の関係

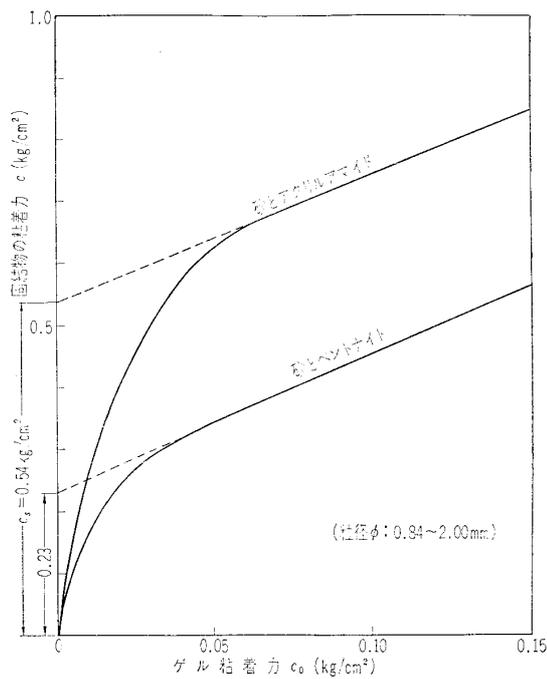


図-23 アクリルアミドとベントナイトで砂を固結した場合の c と c_0 の関係

常に有利な作用をすることがわかる。

(4) 結合剤の種類の影響

粒子の形状、粒径範囲の同じガラス玉または砂をアクリルアミド、クロムリグニン、ベントナイトの三種の結合剤を用いて、それぞれ固結させたものの c_s を比較すると 図-21, 22, 23 のようになる。この図の結果では、アクリルアミドがもっとも c_s が大きくなり、つぎがクロムリグニンでベントナイトがもっとも小さいようである。これは負圧の大きさの順序が 図-8, 9 からわかるように、同一の骨材ではおそらくアクリルアミド、クロムリグニン、ベントナイトとなるためである。摩擦角 ϕ は結合剤にはほとんど関係ないと思われる。

6. ま と め

ゲル状の結合剤で固結した土の粘着力の重要な部分をしめる構造的粘着力の本質を実験的に研究してつぎのことを明らかにした。

(1) ゲルにより固結された土もセン断には飽和土の場合と同様にダイレイタンスーによる負圧を生じ、粒子間の有効圧力となる。

(2) ゲルで固定された粒子はセン断の際に発生する負圧程度の有効圧力以下では非常に大きな摩擦角 (50~70°) を有する。

(3) 構造的粘着力は負圧とこの圧力下で作用する非常に大きい摩擦係数の積としてのフリクションである。

(4) 構造的粘着力の大きさは粒子の粒径、形状、固結剤の性質、固結土の密度によりかなりの影響を受ける。

また固結土の引張り強さの構成内容を実験的に調査して、これがゲル自身の薄膜引張り強さと引張りを受けた際に生ずる負圧の2成分から構成されていることを示した。

参 考 文 献

- 1),2) 森 麟, 佐藤勝久: 結合剤による土の強度増加機構, 土と基礎 Vol. 15, 1968, 12 pp. 3~9
- 3) たとえばTaylor: Fundamental Soil Mechanics p.325
- 4) 後藤, 平井, 花井: レオロジーとその応用 p. 286 (共立社)
- 5) 春山元寿, 山内豊聡: シラスのような砂質土のインターロッキングについて, 土質工学研究発表会講演集 (1967) (原稿受付, 1968.10.18)