

# 砂が固くなる秘密



愛知県碧南市立中央中学校  
**砂班**

浅岡諒亮・生田卓哉・生田哲平・石川宗



1.	研	究	の	動	機															
	あ	る	日	、	海	水	浴	に	行	っ	た	と	き	、	水	に	ぬ	れ	て	
	い	な	い	乾	い	た	砂	の	場	所	は	足	が	深	く	ま	で	し	ず	む
	の	に	、	波	が	引	い	て	湿	っ	て	い	る	場	所	は	あ	ま	り	足
	が	し	ず	ま	な	い	こ	と	を	不	思	議	に	思	い	、	夏	休	み	を
	使	っ	て	そ	の	理	由	を	解	明	し	て	み	よ	う	と	思	い	ま	し
	た	。																		
2.	研	究	を	始	め	る	前	に												
	①	イ	ン	タ	ー	ネ	ッ	ト	で	調	べ	る								
		な	ぜ	砂	が	固	ま	る	か	を	イ	ン	タ	ー	ネ	ッ	ト	で	調	
		べ	よ	う	と	し	ま	し	た	が	ど	こ	に	も	載	っ	て	お	ら	ず
		調	べ	る	こ	と	が	で	き	ま	せ	ん	で	し	た	。				
	②	先	生	に	聞	い	て	み	る											
		理	科	の	先	生	に	聞	い	て	み	る	と	「	砂	に	水	を	通	
		す	と	砂	が	自	由	に	動	き	、	粒	と	粒	の	す	き	間	が	小
		さ	く	な	り	し	っ	か	り	と	固	ま	る	の	で	は	な	い	か	。」
		と	教	え	て	く	だ	さ	い	ま	し	た	。	他	の	先	生	に	も	聞
		い	て	み	る	と	「	も	し	か	し	た	ら	通	す	水	に	も	関	係
		が	あ	る	の	か	も	し	れ	な	い	ね	」	と	お	っ	し	ゃ	っ	て
		い	ま	し	た	。														



### 3. 研究の目的

研究の動機から、僕たちは目的を、「砂が水にぬれると固くなる理由を科学的に解明する」ということにして研究を進めることにしました。

### 4. 研究の内容

追究に入る前の準備として、本当に砂が水に濡れると固くなるのかを調べる。

〔確認実験〕

砂が水に濡れると固くなるのか。

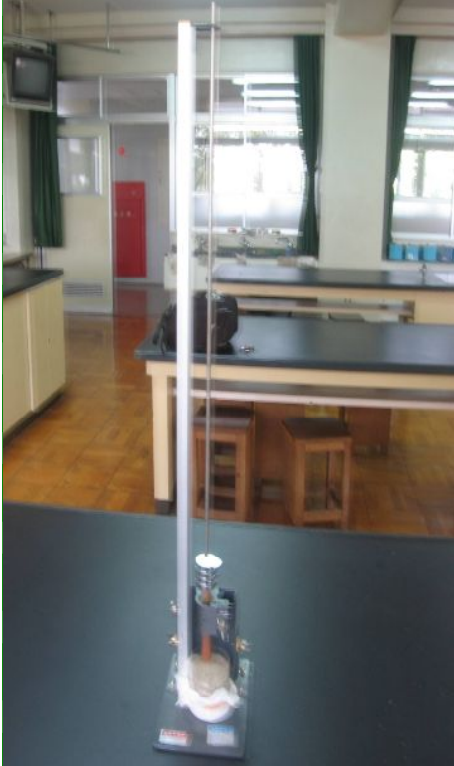
◎ 実験方法・実験器具

学校の砂場にある砂を250g用意し、

乾	い	て	い	る	と	き	の	砂	の	固	さ	と	水	が	通	っ	て	湿
っ	た	と	き	の	砂	の	固	さ	を	調	べ	る	。					
◎	固	さ	の	測	定	方	法											
	理	科	の	「	運	動	と	エ	ネ	ル	ギ	ー	」	の	授	業	で	使
っ	た	「	仕	事	実	験	機	」	を	使	う	。	(	P4	の	写	真	)
実	験	器	の	金	属	棒	の	ね	じ	を	全	部	緩	め	、	そ	の	下
に	砂	を	お	く	。	そ	し	て	2	5	cm	の	高	さ	か	ら	4	0
0	g	の	お	も	り	を	落	と	し	、	金	属	棒	が	沈	ん	だ	深
さ	を	測	定	す	る	。	次	に	そ	の	砂	に	水	を	通	し	、	も
う	1	度	先	程	と	同	じ	実	験	を	し	て	、	水	を	通	す	前
の	数	値	と	の	差	を	求	め	る	。								
(	ど	ち	ら	の	実	験	も	5	回	ず	つ	行	い	、	そ	の	平	均
値	を	出	す	。	)													
◎	砂	に	水	を	通	す	方	法		(	P4	の	写	真	)			
	ペ	ット	ボ	トル	の	底	を	く	り	ぬ	き	、	そ	こ	に	ガ		
ー	ゼ	を	は	る	。	す	る	と	ガ	ー	ゼ	か	ら	水	が	通	り	抜
け	る	仕	組	み	に	す	る	。										
※	こ	の	と	き	に	通	す	水	は	1	5	0	ml	と	す	る	。	

《 実 験 器 具 の 写 真 》

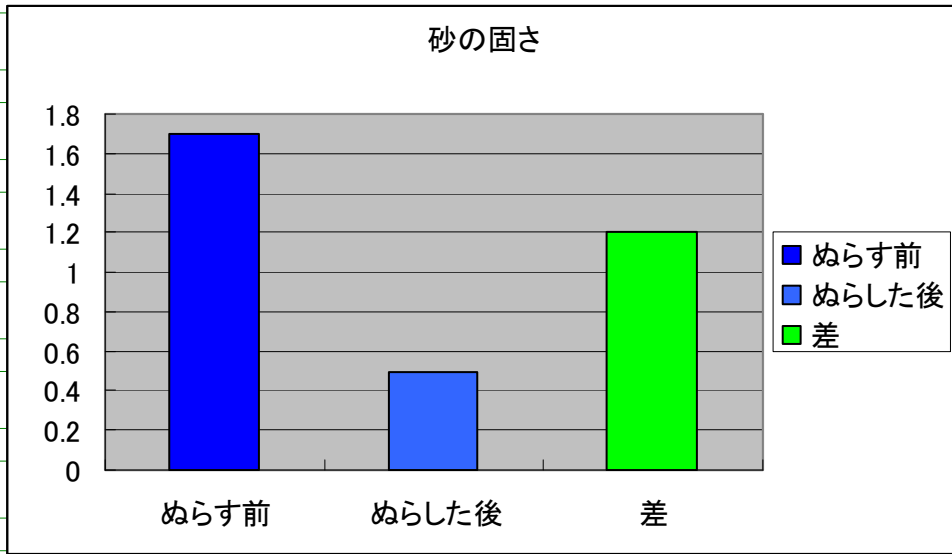
～ 砂 の 固 さ を は か る 実 験 装 置 ～



～ 水 を 通 す 道 具 ～



◎ 実験結果



結果は上のグラフのように大きく差ができ、

水を通した砂ははっきりと固くなった。

追究 1 砂が固くなることに砂の粒は関係  
しているのか

[ 実験 1 ]

どのような大きさの粒が最も固くなるの  
か調べる。

◎ 仮説

砂粒の小さいほど砂のすき間は少なくな  
り固くなる。また、いろいろな粒が混じっ  
ている砂もすき間は少なくなり固くなるの

ではないかと考えた。

◎ 実験方法

砂をふるいにかけて4種類に分ける。

それぞれの粒の大きさは

大 … 約 0.42mm      中 … 約 0.12mm

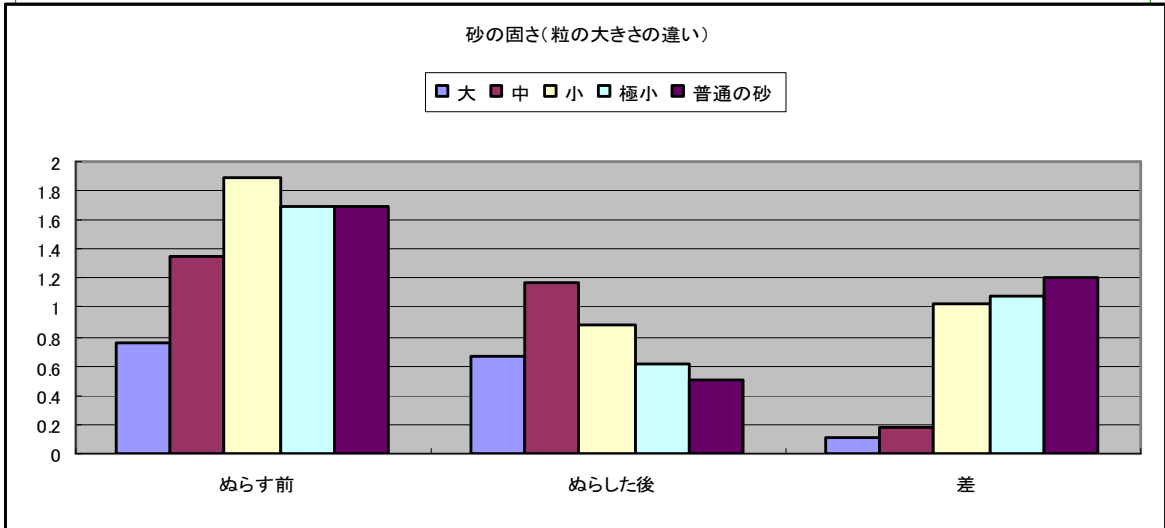
小 … 約 0.1mm      極小 … 約 0.02mm

となっている。

(粒の大きさはノギスで測定)

この4種類に先程の普通の砂も入れ、5種類  
の砂を測定する。砂の固さの判断は、  
乾いた時の仕事実験器棒の沈んだ深さと、  
湿っている時の深さとを「砂の固くなった  
値」とし、これが大きいほどその粒は  
固くなった、とする。

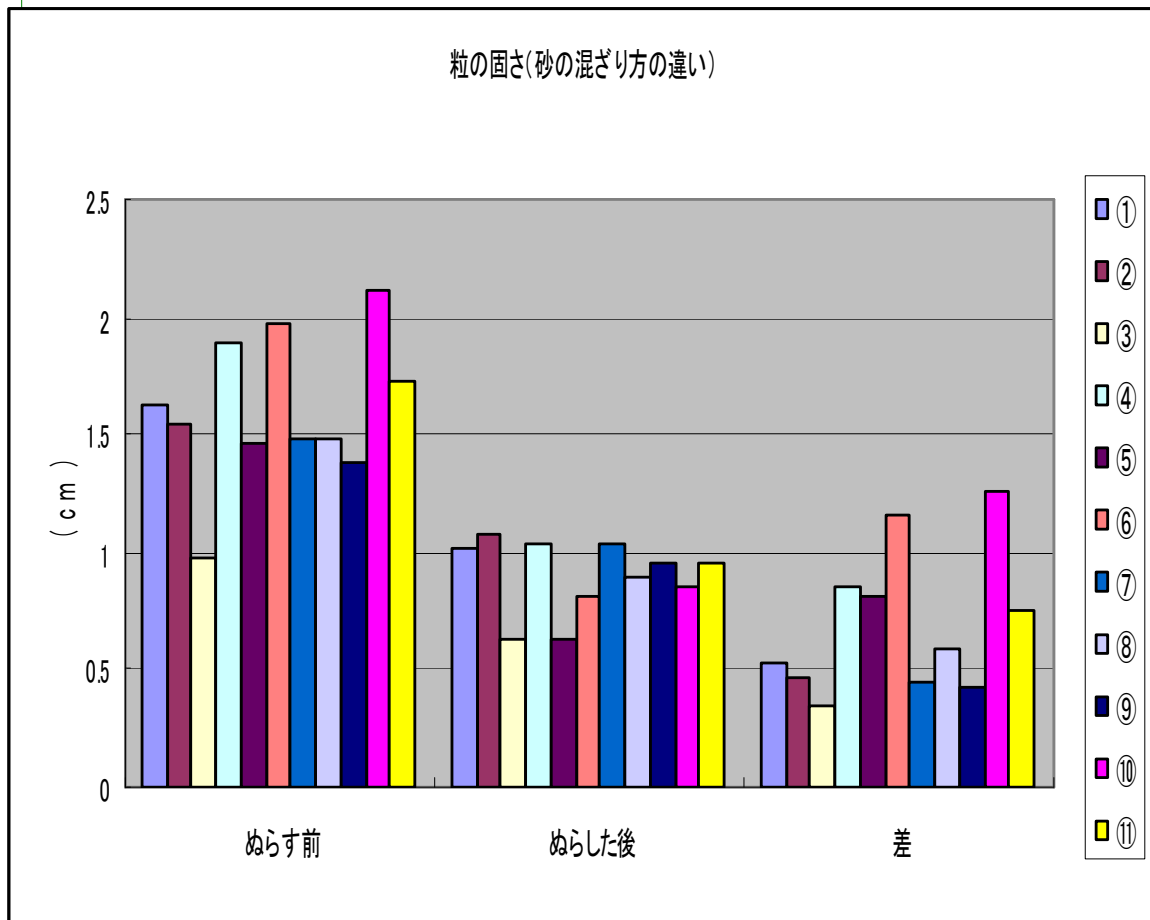
◎ 実験の結果





		予	想	の	通	り	、	単	一	の	種	類	だ	け	の	砂	で	は	小	
		さ	な	粒	の	も	の	ほ	ど	固	く	な	っ	た	。	ま	た	、	い	ろ
		い	ろ	な	大	き	さ	の	粒	が	混	じ	っ	た	砂	が	最	も	固	く
		な	っ	た	。															
		そ	こ	で	、	次	は	ど	の	よ	う	な	混	ざ	り	具	合	の	砂	
		が	最	も	固	く	な	る	の	か	を	調	べ	る	こ	と	に	し	た	。
		[	実	験	2	]														
		ど	の	よ	う	な	混	ざ	り	具	合	の	砂	が	最	も	固	く	な	
		る	の	か	。															
		◎	実	験	方	法														
		実	験	1	で	使	っ	た	砂	を	い	ろ	い	ろ	な	パ	タ	ー	ン	
		で	混	ぜ	合	わ	せ	、	そ	れ	ら	の	固	さ	を	測	定	す	る	。
		◎	用	意	し	た	砂													
				①	大	+	中	(	1	:	1	)								
				②	大	+	小	(	〃	)										
				③	大	+	極	小	(	〃	)									
				④	中	+	小	(	〃	)										
				⑤	中	+	極	小	(	〃	)									
				⑥	小	+	極	小	(	〃	)									

⑦	大	+	中	+	小	(	1	:	1	:	1	)						
⑧	大	+	中	+	極小	(	〃	)										
⑨	大	+	小	+	極小	(	〃	)										
⑩	中	+	小	+	極小	(	〃	)										
⑪	4	種	類	全	て	(	1	:	1	:	1	:	1	)				
◎	仮	説																
実	験	1	の	よ	う	に	細	か	い	粒	で	構	成	さ	れ	て	い	
る	砂	が	最	も	固	く	な	る	の	で	は	な	い	か	。			
◎	実	験	結	果														

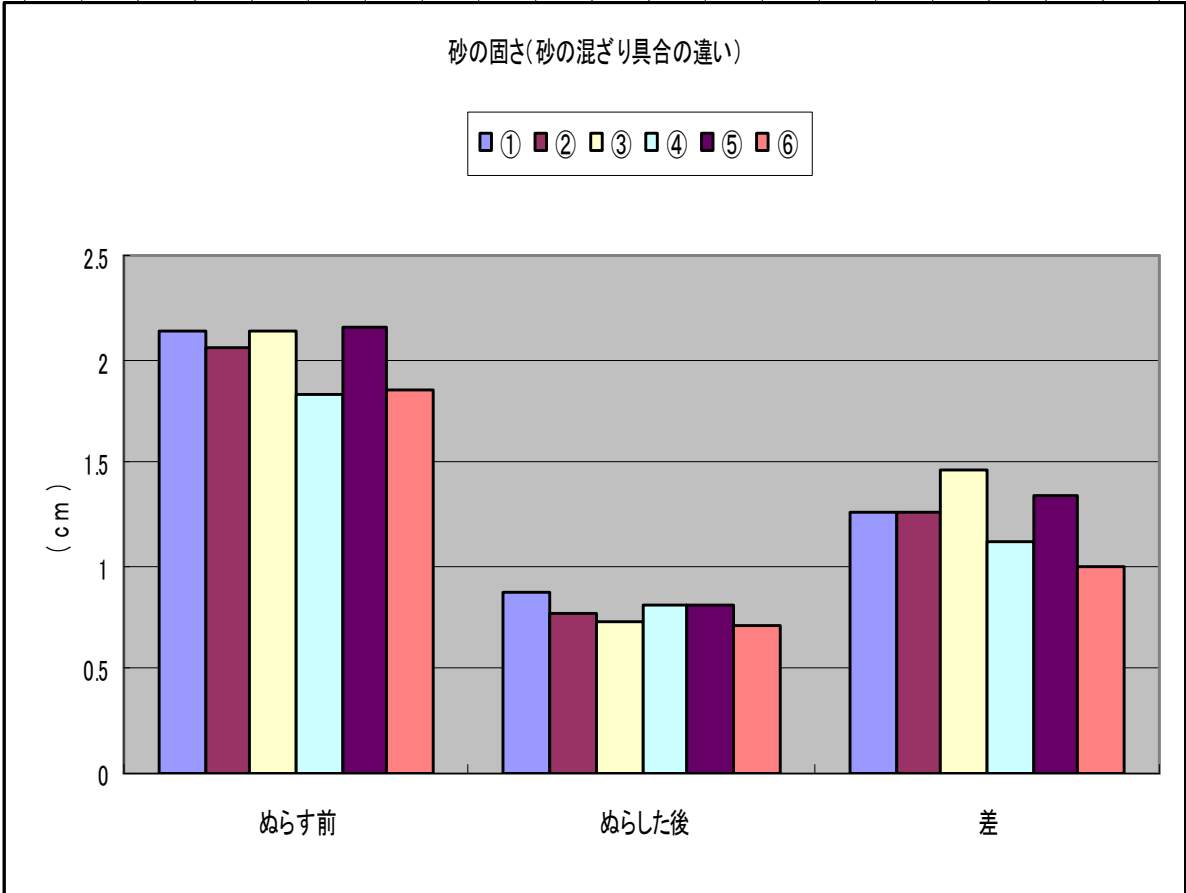


		こ	の	結	果	か	ら	⑩	の	中	+	小	+	極	小	が	最	も	固		
		く	な	る	こ	と	が	わ	か	っ	た	。									
		次	に	そ	の	砂	を	ど	の	よ	う	な	割	合	で	混	ぜ	合	わ	せ	
		る	と	最	も	固	く	な	る	の	か	を	調	べ	る	こ	と	に	し	た	。
		[	実	験	3	]															
		ど	の	よ	う	な	割	合	で	混	ぜ	合	わ	せ	た	も	の	が	最		
		も	固	く	な	る	の	か	。												
		◎	実	験	方	法															
		実	験	2	の	⑩	の	砂	を	い	ろ	い	ろ	な	割	合	で	混	ぜ		
		合	わ	せ	、	そ	れ	ら	の	固	さ	を	測	定	す	る	。				
		◎	用	意	し	た	砂														
						①	極	小	:	小	:	中	=	1	:	1	:	2			
						②		〃					=	1	:	2	:	1			
						③		〃					=	2	:	1	:	1			
						④		〃					=	1	:	2	:	2			
						⑤		〃					=	2	:	1	:	2			
						⑥		〃					=	2	:	2	:	1			

◎ 仮説

どの実験も細かい砂がかなり固くなっている  
 いるので、今回も細かい粒の多い③が最も  
 固くなるのではないかと考えた。

◎ 実験結果



仮説で考えた通り、グラフから③の  
 2 : 1 : 1 の割合の砂が最も固くなること  
 が分かった。

ここでグループの中に「なぜ混ざった砂の方が1種類の砂よりも固くなるのか」という疑問が出てきた。そこで次の実験では、「なぜ大きさの違う粒が混ざると固くなるのか」を調べることにした。

〔実験4〕

なぜ混ざった砂のほうが固くなるのか。

◎ 実験方法

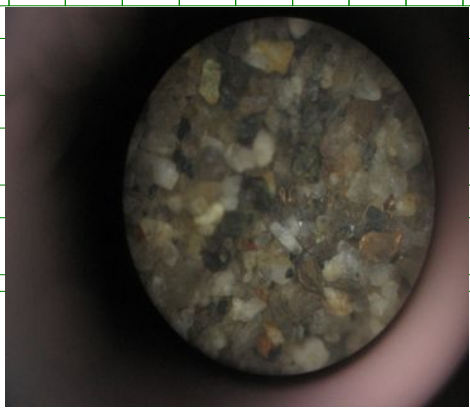
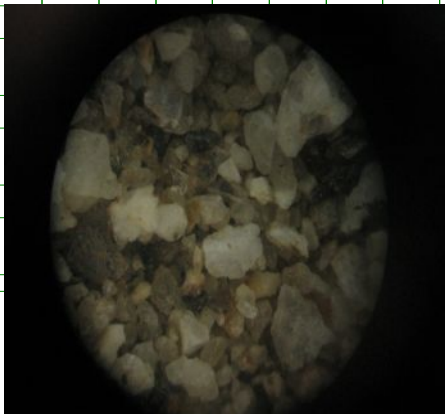
混ざった砂を用意して、乾いた状態と湿った状態をそれぞれ顕微鏡で観察し、その違いを記録する。

◎ 仮説

水が通った時に砂の粒が動いて小さな粒が大きな粒のすき間に入って、がっしりとすき間なく埋まるからなのではないか。

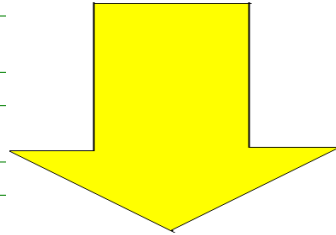
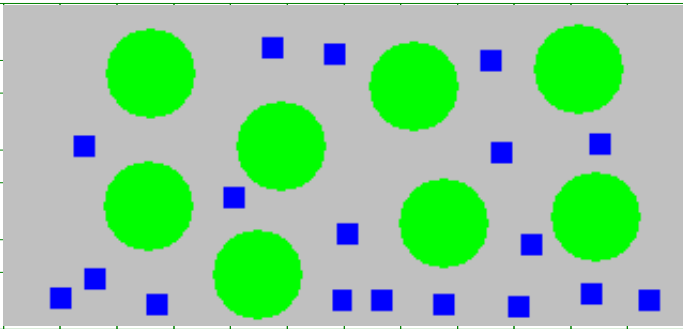
◎ 実験結果（顕微鏡写真）

水を通す前の砂                      水を通した後の砂

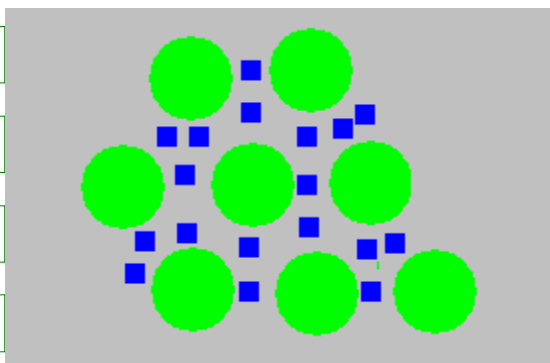


写真から、湿った砂は小さな粒が大きな粒の間に入り込み、すき間が詰まっている。これを分かりやすくモデルを使っ表すと下の図のようになる

濡れる前



濡れた後



これが容器の中で同じように行われていたとすると、砂の全体の体積は減ると考え

られる。よってそのことを確かめることに  
した。

### 〔実験 5〕

砂に水を通すと砂の体積は減るのか。

#### ◎ 実験方法

水を通す前の砂の高さに印を書き、水を  
通した後の砂の高さと比べる。

#### ◎ 実験結果

結果は次の写真のようになった。



ぬらす前

ぬらした後

確かに水を通した後の砂のほうが砂の体  
積が減っていた。よって、先ほどの考えは  
正しかったことが分かる。

### 追究 1 のまとめ

砂は 1 種類の大きさだけのものよりも、い

ろいろな大きさの粒が混ざった砂のほうで固くなる。それは混ざった砂に水を通すと砂が動きやすくなり、大きな粒の間に小さな粒が入り込み、粒同士の間隔が詰まるからである。そのため砂の混ざり具合は、中くらいの粒が半分に小さめの粒と極小の粒が混じると、砂の粒の間かくがうまくめられ、最も固くなる。

**追究 2** 砂が固くなることに水はどのようなはたらきをしているか。

[ 実験 6 ]

砂に水を通したとき、砂の中に残っている水の量と固さには関係があるのか

◎ 実験方法

追究 1 で最も固くなった砂と、最も固くならなかった砂、そして、固くなった値が両者の平均くらいの砂を用意し、それぞれ



に水を通す。そして砂の中に残った水の量

を測定する。

◎ 実験用具

1. 粒大の砂

2. 4種類粒が入っている砂

3. 中 + 小 + 極小 ( 1 : 1 : 2 ) の砂

4. 水 150 c c

◎ 仮説

大きな粒の砂はすき間が空いてしまうの

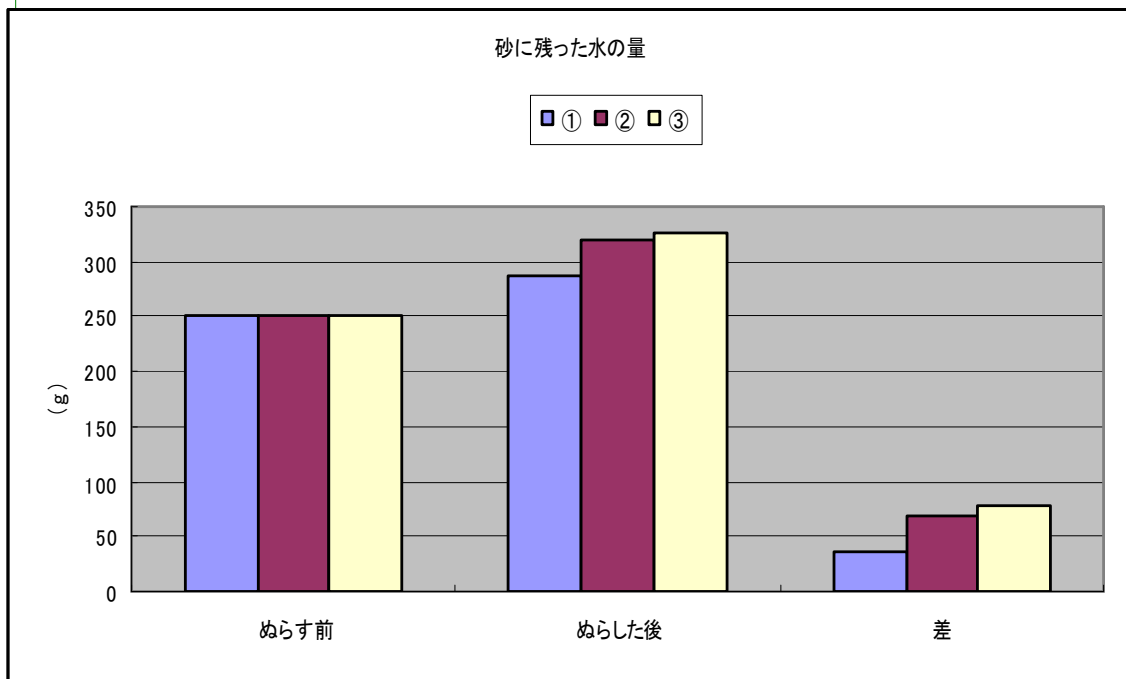
で、水はかなり通り抜けてしまい、あまり

水は残っていないのではないか。逆に粒が

混ざっている砂はすき間があまり空いてい

ないので、かなり水は残るのではないか。

◎ 実験結果



		こ	の	結	果	か	ら	固	く	な	る	砂	ほ	ど	残	っ	た	水	の		
		量	が	多	く	な	る	こ	と	が	わ	か	る	。							
		実	験	6	の	結	果	か	ら	残	っ	た	水	の	量	が	多	い	ほ		
		ど	、	砂	は	固	く	な	る	の	で	は	な	い	か	と	思	い	、	グ	
		ル	ー	プ	で	考	え	た	と	こ	ろ	「	水	の	表	面	張	力	に	よ	
		り	、	砂	に	ま	と	わ	り	つ	い	て	多	く	砂	の	中	に	残	る	
		の	で	は	な	い	か	」	と	い	う	考	え	が	出	た	。	そ	こ	で	、
		次	の	実	験	は	液	体	の	表	面	張	力	と	砂	の	固	さ	の	関	
		係	に	つ	い	て	実	験	し	て	み	る	こ	と	に	し	た	。			
		[	実	験	7	]															
		砂	に	通	す	液	体	の	表	面	張	力	と	砂	の	固	さ	に	つ		
		い	て	調	べ	る															
		◎	実	験	方	法															
		水	よ	り	も	表	面	張	力	の	弱	い	エ	タ	ノ	ー	ル	を	水		
		の	代	わ	り	に	砂	に	通	し	、	そ	の	値	を	比	べ	る	。		
		※	表	面	張	力	の	強	い	液	体	で	実	験	し	た	か	っ	た		
			が	、	そ	の	よ	う	な	液	体	が	身	近	に	な	か	っ	た		
			た	め	、	代	わ	り	に	表	面	張	力	の	小	さ	い	液	体		

であるエタノールを使った。

(インターネットで調べたところ

水の表面張力 72.25 m N / m

エタノールの表面張力 22.60 m N / m

であった)

◎ 仮説

表面張力が強い液体ほど砂の中に残る量

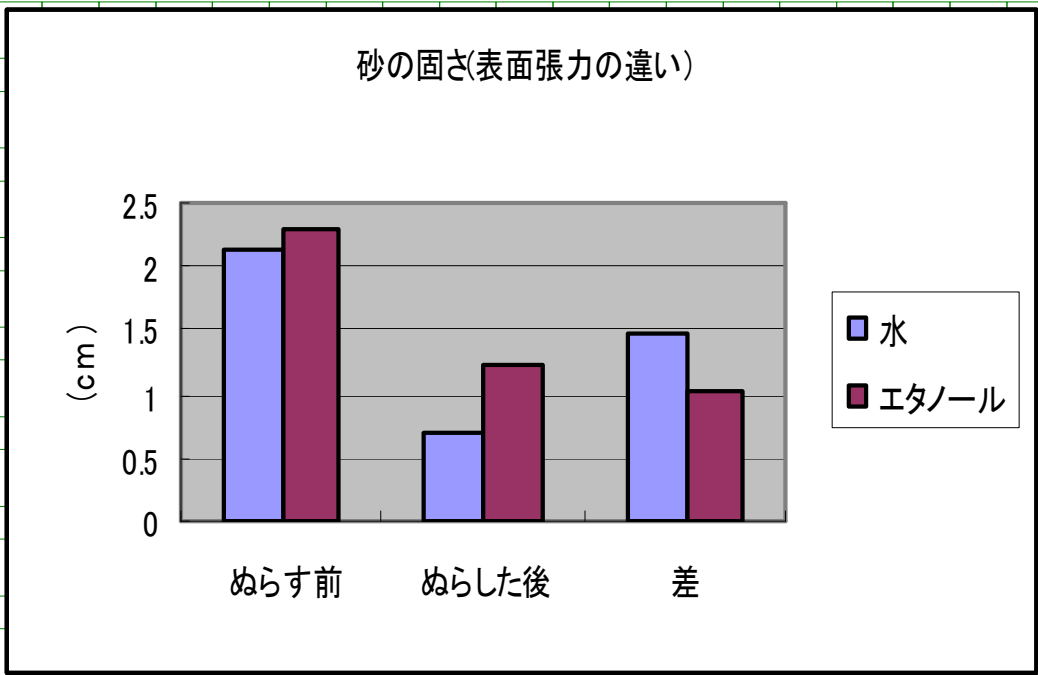
が多く、砂は固くなると考えた。今回はそ

れとは逆なので、エタノールを通した砂は

水を通した砂に比べて固くならないであろ

う。

◎ 実験結果



		思	っ	た	通	り	エ	タ	ノ	ー	ル	を	通	し	た	砂	の	方	が		
		固	く	な	ら	な	く	、	砂	の	中	に	残	っ	た	エ	タ	ノ	ー	ル	
		の	量	も	水	よ	り	も	少	な	か	っ	た	。							
		そ	の	仕	組	み	に	つ	い	て	は	砂	の	中	に	多	く	残	っ		
		て	い	る	と	い	う	だ	け	で	な	く	、	表	面	張	力	に	よ	っ	
		て	液	体	が	糊	の	代	わ	り	を	し	て	砂	と	砂	と	の	結	び	
		つ	き	を	強	め	て	い	る	か	ら	だ	と	考	え	た	。	そ	こ	で	
		水	の	表	面	張	力	を	弱	め	る	た	め	に	、	洗	剤	を	水	に	
		加	え	も	う	1	度	調	べ	る	こ	と	に	し	た	。					
		[	実	験	8	]															
		砂	に	通	す	水	の	表	面	張	力	を	弱	く	す	る	た	め	に		
		洗	剤	を	加	え	砂	の	固	さ	と	の	関	係	を	調	べ	て	み	た	。
		◎	実	験	方	法															
		水	よ	り	も	表	面	張	力	の	弱	い	、	水	に	洗	剤	を	加		
		え	た	洗	剤	水	を	水	の	代	わ	り	に	砂	に	通	し	、	そ	の	
		値	を	比	べ	る	。														
		(	表	面	張	力	の	違	い	は	下	の	写	真	の	よ	う	に	水	滴	
		を	5	滴	落	と	し	、	表	面	張	力	に	よ	っ	て	で	き	る		
		水	滴	の	山	の	大	き	さ	を	比	べ	、	大	き	い	ほ	ど	表		

面張力は大きいと判断する)

※写真では見づらいなので、図も参照

[写真]



[図]

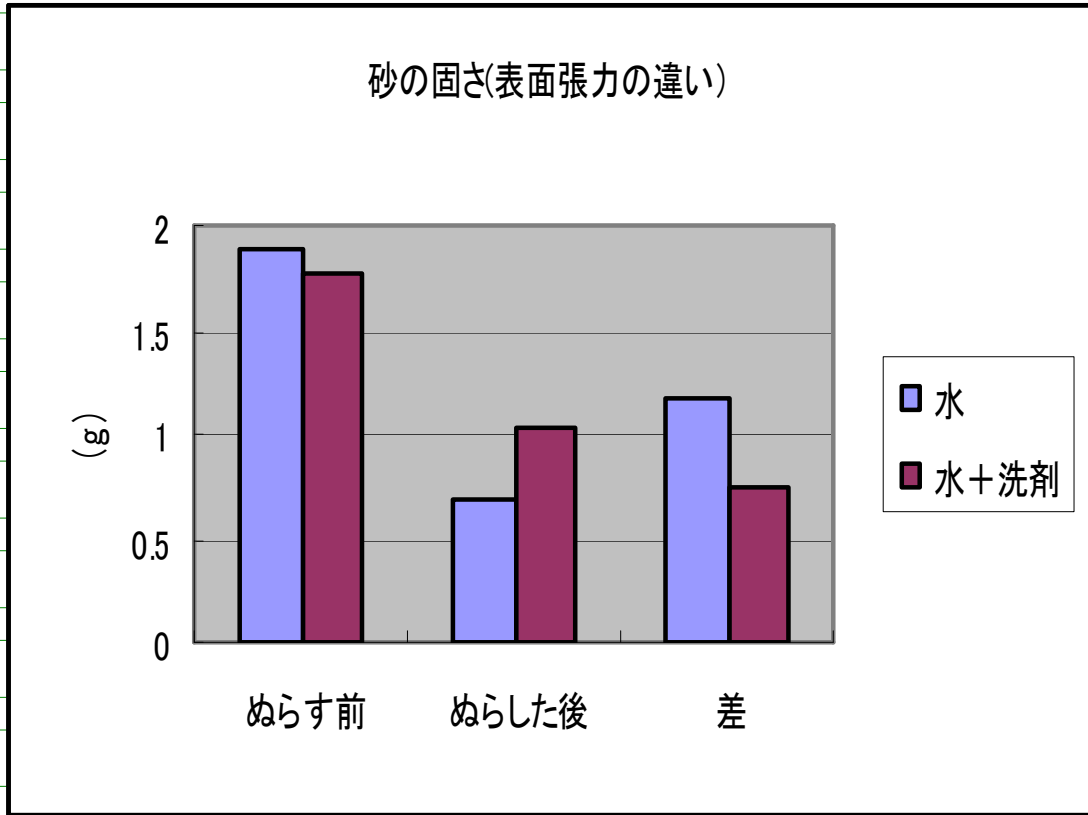
水 水+洗剤



◎ 仮説

表面張力が強い液体程、砂の中に残るはずなので砂は固くなる。今回はそれと逆なので、洗剤水を通した砂は、水を通した砂に比べて固くならないのではないか。

◎ 実験結果



砂の中に残った洗剤水の量

砂を含めた全体の質量が 250 g から 307.5 g

になり、同じ条件で行った水と比べて 14.3g

減った。

思った通り洗剤水を通した砂のほうが固

くならず、残った洗剤水の量も水よりも少

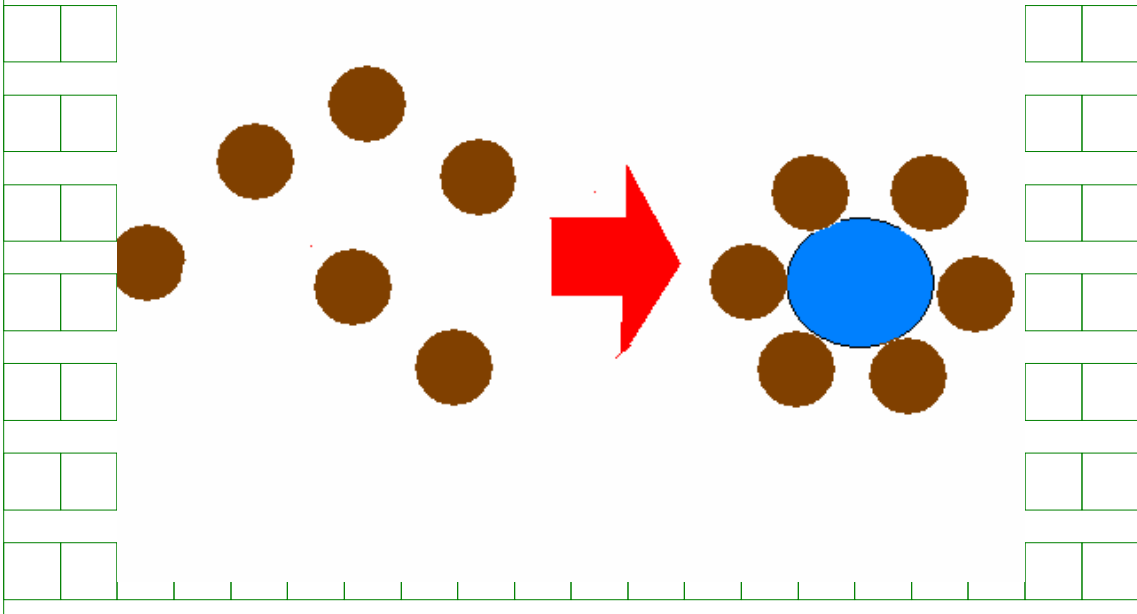
なくなかった。

〈 考 察 〉

実 験 7、8 の 結 果 よ り、表 面 張 力 が 強 い  
液 体 を 通 す ほ ど 砂 が 固 く な る こ と が わ か っ  
た。

そ の 理 由 と し て は、ば ら ば ら に な っ て い  
る 砂 の 粒 に 水 を 通 す と 砂 粒 の 間 に 水 が 残 り  
そ の 水 の 表 面 張 力 ( 表 面 積 を 小 さ く し よ う  
と す る 力 ) に よ っ て 水 が 砂 の 粒 を あ ら ゆ る  
向 き か ら 引 っ 張 り、砂 粒 を 強 く 結 び つ け る  
と 考 え た。( 図 ) よ っ て 砂 粒 が 動 き づ ら く  
な る の で 固 く な る と 考 え た。

[ 図 ]



## 追 究 2 の ま と め

砂に水を通した後、砂に残っている水が多いほど砂は固くなる。

表面張力の強い液体を通すと砂の中に液体が多く残るだけではなく、表面張力の強さによって液体が糊の代わりをし、砂と砂との結びつきを強めているため、砂は動きにくくなり固くなる。

## 5. 研 究 の ま と め

砂の粒は大きさが1種類だけのものではなく、いろいろな粒の大きさが混ざっているものが最も固くなる。

最も固くなる砂の混ざりかたは、ある程度小さな粒どうしが適度に混ざっているものがよく固くなった。

なぜ粒の大きさが混ざっているものがよく固くなるのかは、大きな粒の間に小さな粒が



入	り	込	み	、	が	っ	し	り	と	砂	の	す	き	間	が	詰	ま	る	か
ら	で	あ	る	。															
砂	に	水	を	通	し	た	後	、	砂	に	残	っ	て	い	る	水	が	多	
い	ほ	ど	砂	は	固	く	な	る	。										
砂	に	通	す	液	体	に	つ	い	て	は	、	表	面	張	力	が	関	係	
し	て	い	る	。	表	面	張	力	が	強	い	と	砂	の	中	に	液	体	が
多	く	残	る	。	ま	た	表	面	張	力	に	よ	っ	て	液	体	が	糊	の
代	わ	り	を	し	、	砂	と	砂	と	の	結	び	つ	き	を	強	め	て	い
る	た	め	砂	は	固	く	な	る	。										
乾	い	て	水	が	な	く	な	る	と	砂	粒	を	結	び	つ	け	る	力	
が	な	く	な	り	、	や	わ	ら	か	く	、	崩	れ	や	す	く	な	る	。
6.	終	わ	り	に															
理	科	実	験	を	始	め	る	の	が	と	て	も	遅	く	、	時	間	と	
の	戦	い	の	中	で	こ	こ	ま	で	こ	ら	れ	た	の	は	、	チ	ー	ム
全	員	の	協	力	の	賜	物	だ	と	思	う	。							
決	し	て	一	人	の	力	だ	け	で	は	上	り	詰	め	る	こ	と	の	
で	き	な	か	っ	た	こ	の	テ	ー	マ	も	無	事	に	解	決	す	る	こ
と	が	で	き	た	。	チ	ー	ム	の	メ	ン	バ	ー	の	力	だ	け	で	な
く	、	解	決	方	法	が	分	か	ら	ず	悩	ん	で	い	る	と	き	に	親

