

深層セメント混合工法における攪拌と強度の関係

愛媛大学 工学部 正 室 達 朗
 愛媛大学 工学部 正 榎 明 潔
 村本建設(株) 正 中西 利 彦

1. まえがき

本研究では、深層軟弱粘性地盤にセメントミルクを注入しつつ攪拌する工法(深層セメント混合工法)の施工上の問題点を明らかにするとともに、セメントミルクの注入と混合攪拌が強度にどのような影響を与えるかを調べた。

2. 実験方法

実験は、攪拌混合、サンプリング、一軸圧縮試験機による強度の計測を順に行なった。攪拌混合実験は、図-1に示す装置を用いて行なった。この実験は、モーターAから出ている軸に取付けてある翼を回転させ、同時に昇降台をジャッキで降下させる。昇降範囲は、後にモールドに混合土を移すためモールドの長さ(10cm)以上の13cmとした。モーターA、モーターBは変速可能とし攪拌の回転速度と昇降速度を変化させた。なお、1回の攪拌は、セメントミルクを注入し翼が容器内の粘土とセメントミルクを昇降範囲分だけ攪拌することをいい、2回以降はピストン軸を昇降台からとりはずしセメントミルクを注入せず昇降台の昇降と翼の回転(即ち攪拌)だけを行なった。次に、攪拌容器を昇降台より降下し、容器と溝内のパイプ(塩ビ管)を貫入させる。パイプに入った混合土をモールドに移し、その後20℃の恒温室の湿度100%の養生箱で湿潤養生をする。検査日毎に一軸圧縮強度を調べる。ここで使用した粘土は、高知県日高村にて採取した粘土(比重2.77、液性限界39.0%、塑性限界26.3%、塑性指数12.7)でセメントは普通ポルトランドセメントを用いた。そして、水セメント比1、粘土含水比70%、重量混合比2.5:5%の条件下で翼の回転数、昇降台の昇降速度、翼の枚数、攪拌回数を表-1に示すように組合せて実験を行なった。

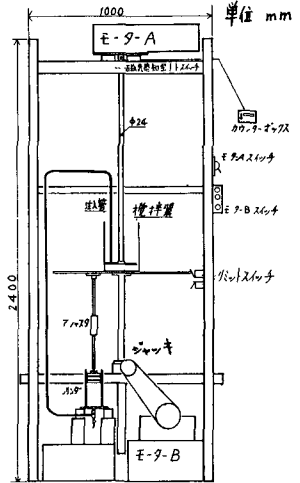


図-1 攪拌注入実験装置

		γ _r (%)											
基本タイプ		392	601	607	709	1020	2020	2028	3737				
1 回 攪拌	1段2枚1回	A ₁₂	B ₁₂	C ₁₂	D ₁₂	E ₁₂	F ₁₂	G ₁₂	H ₁₂				
	2段2枚		B ₂₂				F ₂₂						
	(1) 9.4cm		B ₂₂ ⁽¹⁾				F ₂₂ ⁽¹⁾						
	(2) 7.1cm		B ₂₂ ⁽²⁾			E ₂₂ ⁽²⁾	F ₂₂ ⁽²⁾						
	(3) 4.7cm		B ₂₂ ⁽³⁾										
	(4) 3.1cm		B ₂₂ ⁽⁴⁾			E ₂₂ ⁽⁴⁾	F ₂₂ ⁽⁴⁾						
	(5) 2.4cm		B ₂₂ ⁽⁵⁾										
3段2枚							F ₃₂						
3 回	1段2枚		3B ₂				3F ₂						
5 回	1段2枚		5B ₂				5F ₂						
7 回	1段2枚		7B ₂										

表-1 実験条件一覧表

攪拌によってできたせん断面(セメントミルクが注入されている)とセメントミルク面(セメントミルクが注入されていない)は、攪拌直後、強度的に弱面と考えられる。粘土中に翼が回転すると粘土に弱面ができ、容器が降下し、同時に翼が回転する実験においては、翼は上面だけに有効せん断面を作り、下面は弱面で回転すると考えられる。翼が攪拌することにより、翼の上下面で粘土にせん断面を作ると考えた時の単位体積当りのせん断面積をγと表わすこととする。このγの定義では、1段翼の場合(図-2)せん断面は、2面できるが、その内、上面だけが有効せん断面で、下面は弱面でせん断されるため、無効せん断面となる。したがって、上下面で有効せん断ができる場合、指数I=1とすると、この場合、1/2になり、この指数を有効せん断面比率とする。また、実験結果は、横軸にγ、縦軸に一軸圧縮強度を取り、図-3に示した。



図-2 共回り機構

なお、供試体の強度は、セメント混合により、脆性的挙動を示すため、強度にバラツキが大きいので、以下の考

察では、定性的なことにとどめた。

1段2枚1回攪拌(基本タイプ)の強度に与える影響

1段2枚1回攪拌をみると、 $\%F$ が40以上になると、強度は下がっている。(図-3) $\%F$ が40以上ということは、この場合、回転数が一定なのに昇降速度が小さくなるということである。低速昇降では、セメントシルは攪拌注入途中から粘土表面に浮出し、真の注入量が減少した。このため強度が小さくなったと推定される。

攪拌回数による影響

B_{12} , $3B_{12}$, $5B_{12}$, $7B_{12}$ を B グループ、 F_{12} , $3F_{12}$, $5F_{12}$ を F グループとする。 B グループと F グループを比較すると、同じ $\%F$ みた場合 B グループの方が強度は大きい。これは、注入量の差が強度に影響していると思われる。また、同じグループ内では、攪拌回数の増加につれ、強度は大きくなっている。これは、弱面による共回りが起きなくなったためと推定される。すなわち、1回目と2回目の翼先端軌跡を考えた場合、せん断方向が違いため、1回目と2回目のせん断面とで共回りは起きないと思われる。また、1回目と3回目のせん断方向は、同じであるが、時間的経過があるため、同様に共回りは起きにくいと考えられる。

段数による影響

段数が増えると、上段翼が作った弱面での共回り1段間の粘土が翼とともに回る共回りが考えられる。図-4に示すように、 $\%F$ の定義では、4面にせん断面ができると計算するが、上段翼が作った弱面による共回りが起き、上段上面だけに有効せん断面が生じ、その他は無効せん断面となる。その結果 $I = \frac{1}{4}$ になる。したがって、1段2枚の基本タイプに比べ、強度は下がると推定される。(図-3) また、段間で共回りが起きる場合、起きない場合に比べ強度は下がる。(図-5) つまり、段間が短い方が段間での共回りが起き、長い方では共回りを起こさないことになる。

同様に、枚数についても共回りが生じ、同様な強度が出現したと考えられる。また、1段2枚の基本タイプより、段数、枚数を増すと、強度のパラッキ(図-3の2枚の差はパラッキを示す)が小さくなった。

4. 結論

本研究では、注入量一定という前提で攪拌を調べる目的であったが、実際は、注入量が一定せず、 $\%F$ と軸圧縮強度の関係は不明確となった。しかし、以下のことが判明した。まず、共回りの問題である。共回りによって有効せん断面比率が下がり、真の $\%F$ は見かけの $\%F$ より小さくなり、強度は見かけの $\%F$ で予想される強度より小さくなったと推定される。また、攪拌回数を増すと、強度は大きくなった。つまり、 $\%F$ の大きさに従い、強度は大きくなるが $\%F$ のある値(本研究では $\%F=120$)より強度の増加率が低下した。

注入量、共回りの問題は、現場施工においても生じると考えられる。したがって、施工時には、注入量、共回りの解決策を講じる必要がある。しかし、強度発現の簡易な方法としては、攪拌回数を増す方が得策と考える。

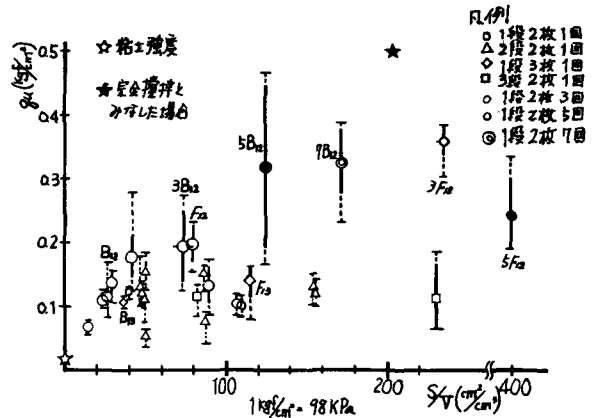


図-3 実験結果 ($g_u \sim \%F$)

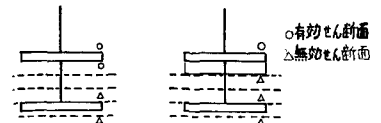


図-4 2段階の攪拌実験の機構

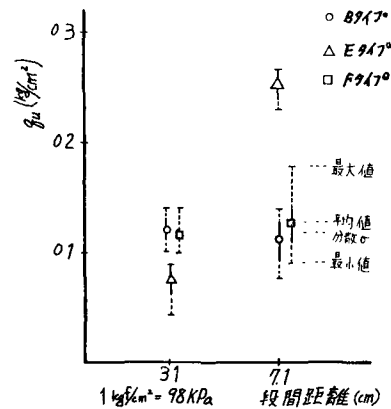


図-5 段間距離と一軸強度