

8. 高速回転翼による地盤改良機械の開発

日本国土開発(株) 梅田美彦・*片野英雄
芳沢秀明・渡辺篤

1. はじめに

軟弱地盤にセメント、石灰等の固化材を混入して地盤改良する深層混合工法は、改良強度が大きく、比較的短時間で強度が発現するなどの利点を有しているため、近年ますます施工量が増大し、軟弱地盤改良工法の中で重要な位置を占めるようになってきている。しかし、改良後の強度についてみると、室内配合試験で得られた一軸圧縮強度と現場で得られる一軸圧縮の比率は、 $1/3 \sim 1/5$ と言われ、十分な攪拌混合ができていないのが現状である。

そこで、改良の効率化を図るため、攪拌翼の回転速度を従来機(20~50rpm)より高速化(50~500rpm)した攪拌混合機を開発し実験を行った。

2. 攪拌混合機概要

攪拌混合機は油圧パワーショベル(0.7m³)にアタッチメントとして取り付け、動力は油圧パワーショベルの油圧動力を使用した。実験装置の概要を図-1に示し、混合機の全景を写真-1に示す。改良材は、攪拌翼のロッドを介して土中に噴射し、攪拌翼で攪拌混合する。

混合機の仕様は次の通りである。

混合機仕様

| | |
|--------|---------------|
| 改良深さ | : 3.5m |
| 翼径 | : 400~600mm φ |
| 回転速度 | : 50~500rpm |
| 翼送り速度 | : 0~3m/min |
| 攪拌トルク | : 225kg-m |
| 翼押し込み力 | : 5.8t |
| 動力 | : 80kW |

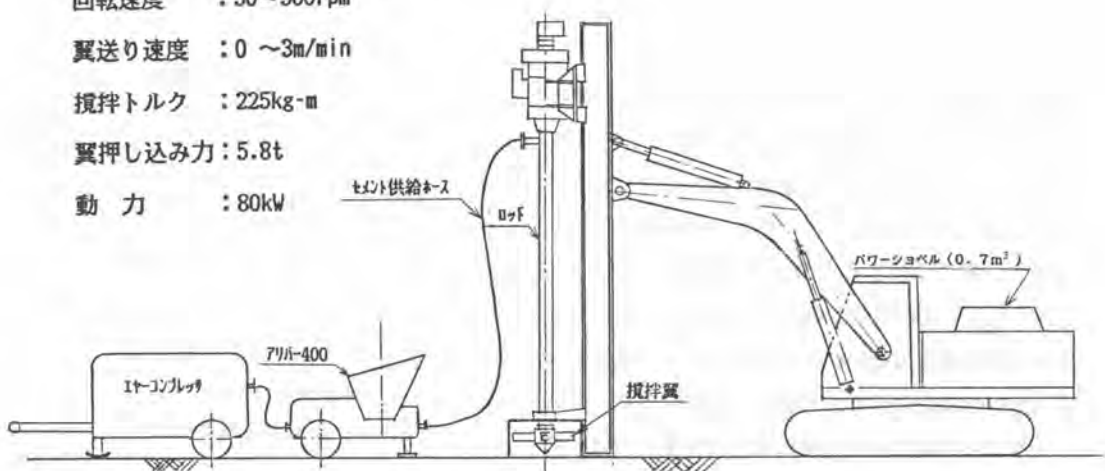


図-1 実験装置の概要

3. 現場実験

3.1 実験場所及び土質

実験は東京都板橋区成増においてGL-6.5~-9.0mのN値0のシルト層で行った。土質試験によるシルトの性状は、 $\gamma = 1.50 \text{ t/m}^3$ 、 $\phi = 0$ 、 $c = 2.3 \text{ tf/m}^2$ 、 $w = 97\%$ である。

コーン試験結果を表-1に、実験地の土質柱状図を図-2に示す。

表-1

| 計測地点 | A | B | C | D |
|--|-----|-----|-----|-----|
| qu(kgf/cm ²) | 3.7 | 5.1 | 2.9 | 1.5 |
| 平均qu値 = 3.3 kgf/cm ² 粘着力 c = 3.3tf/m ² | | | | |



写真-1 混合機全景

3.2 実験項目及び調査方法

実験は次の項目について実施した。

攪拌トルクの計測

回転速度の影響：50、150、250、450rpm

回転翼径の影響：400、500、600mm ϕ

改良深度の影響：0~2.5m

改良速度の影響：1~3m/min

改良効率の調査

セメント混入量の影響：119~238kg/m³

攪拌トルクは翼回転モータの油圧から換算して求め、

改良効率については改良杭の一軸圧縮強度及びカルシウム含有量により調査した。

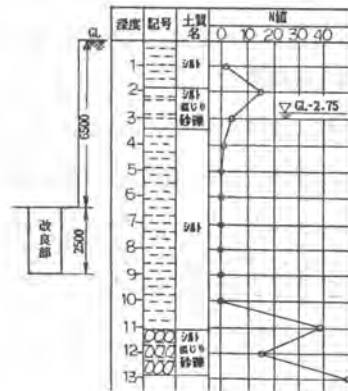


図-2 土質柱状図

4. 実験結果

4.1 トルク計測結果

翼回転速度を50~450rpmの間で変化させた時の攪拌トルク計測結果を図-3に示す。改良速度にかかわらず回転速度の増加に伴い攪拌トルクが低下することが分かった。これは、回転速度を速くすると、翼で切削する土の厚さ（切り込み深さ）が小さくなり、切削抵抗が低下するためと考えられる。また、回転速度の増加に伴い攪拌トルクが低下する傾向は他の現場実験等においても同様であり、攪拌トルクには切削厚さが比較的大きな影響を及ぼすことが推測される。

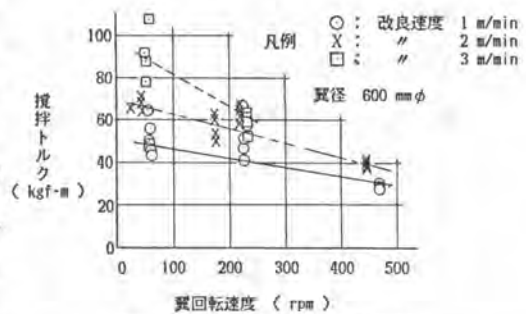


図-3 翼回転速度と攪拌トルク

改良深度を0～2.5mまで変化させた時の攪拌トルクを図-4に示す。攪拌トルクは深度に関係なくほぼ一定値を示していることから、上載荷重の影響が少なく、土の強度の影響を強く受けることが推測される。

4.2 改良効果

改良効果を調査するため、改良杭を掘り出し、コアボーリング(50mmφ)を行い、一軸圧縮強度試験を行った。また、改良杭から改良土のサンプリングを行い、カルシウム含有量を調査してセメントの混合状態を調査した。

一軸圧縮強度試験結果を図-5、図-6に示す。図は回転速度ごとに杭中心からの距離と一軸圧縮強度との関係をまとめたものである。ここで、改良効率(λ)は、

$$\lambda = \frac{\text{現場実験での一軸圧縮強度}}{\text{室内配合試験での一軸圧縮強度}}$$

で表している。図-5について見ると、50rpmでは杭の外周部では5kgf/cm²前後であるが、中心部ではほとんど強度がなく、この程度の回転速度では外周部ほど強度が増す傾向にある。この原因は、後記するカルシウム含有量調査結果で明らかのように、セメントが外周部に多く分布するため、外周部ほど翼の周速度が増し攪拌混合がうまく行われるためと考えられる。

一方、500rpmでは杭全体で20kgf/cm²前後の強度が得られると共に、中心部と外周部の強度のバラッキも少ない結果となった。また、改良効率について見ると50rpmでは0.2前後であるが、500rpmでは0.8前後まで上昇することが分かった。これは回転数の増加に伴い、土の粉砕化がより進行し、改良材との攪拌混合がより効果的に行われた結果と考えられる。図-6は250rpmと500rpmの場合であるが、これについても図-5と同様な傾向を示している。

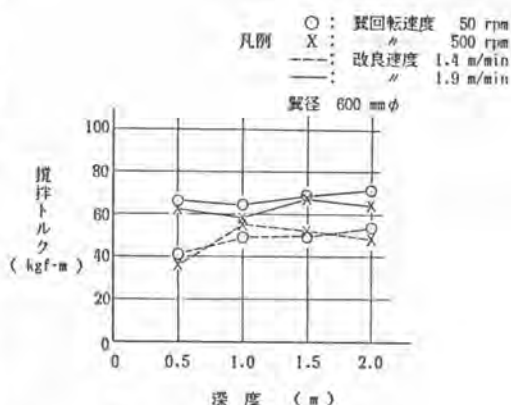


図-4 改良深度と攪拌トルク

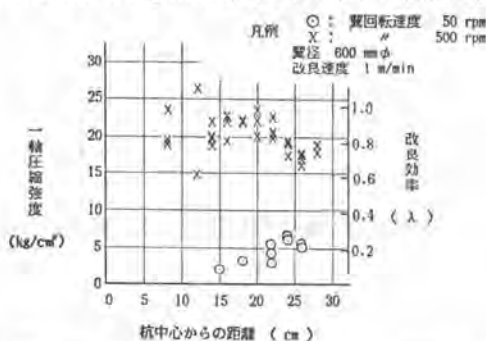


図-5 一軸圧縮強度 (セメント混合量 223kg/m)

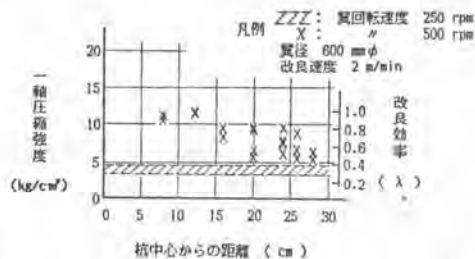


図-6 一軸圧縮強度 (セメント混合量 119kg/m)

カルシウム含有量の調査結果を図-7に示す。50rpmでは杭中心部でカルシウム量が少なく、外周部ほど含有量が多くなっており、このため前記したように外周部ほど強度が増す結果になったと考えられる。

一方、500rpmでは杭全体がほぼ均一になっており、250rpmでは500rpmと50rpmの中間的な傾向を示している。この結果から、回転数の増加に伴い混合が均一化することが分かる。

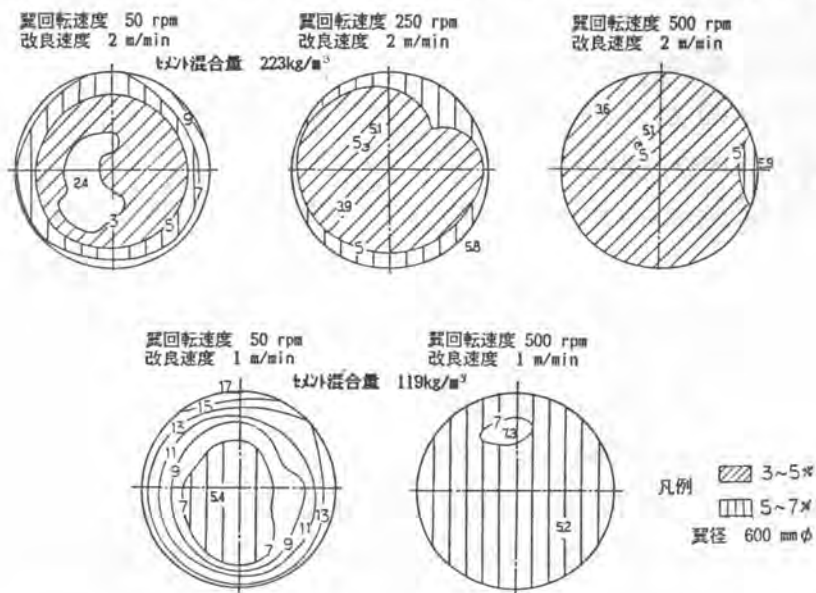


図-7 カルシウム含有量

5. おわりに

高粘性体の攪拌抵抗は、回転速度の影響を強く受けるとされており、その動力Pは、

$$P \propto N^\alpha \quad \text{ただし、} N: \text{回転数} \quad \alpha = \text{係数}$$

で表され、係数 α は2~3の値となる。地盤改良における土の攪拌においても同様な関係が成立すると考えられて、高速攪拌は不可能とみなされてきたように思われるが、今回の実験から α を計算すると0.8~0.9となり、高速攪拌の実現の可能性がでてきたように考えている。

攪拌翼の回転速度を高速化することにより、

- 1) 攪拌トルクが減少する
- 2) 改良強度が増加し、しかも強度のバラッキも少なくなる

などが明らかになったが、高速化による機械の振動の問題、攪拌翼の摩耗の問題等があり、今後これらのことも考慮しながら開発を進めていきたい。

参考文献

梅田、片野：高速攪拌翼による安定処理工法の開発、第20回土質工学会研究発表会 1985