

攪拌翼の形状と攪拌効果

千葉工業大学 土木工学科 正会員 渡 辺 勉

千葉工業大学 土木工学科 正会員 清 水 英 治

1. まえがき

深層混合処理工法は、現場において、攪拌翼で土と安定材を混合攪拌することにより、地盤を改良する工法である。対象土は粘性土・砂質土・有機質土地盤などであり、その利用範囲は広い。現在、急速に施工実績が上っているが、自然土を対象にしているため、改良効果に影響を与える要因は、複雑多岐にわたり、数々の問題点がある。その一つとして、粘性土と安定材の混合がいかにかに均一に行えるかが重要な問題である。そこで筆者らは、攪拌翼を8種類変えて地盤改良の室内実験を行った結果、翼が模型地盤を切る回数が多くなるとともに強度が増すこと、また、攪拌翼の形状によって攪拌効果変化することがわかったので報告する。

2. 試験方法

2-1. 模型地盤の作製 —— 試料は千葉県我孫子産の粘性土 ($G_s = 2.60$, 砂分12%, シルト分52% 粘土分36%, $W_L = 93.4\%$, $W_p = 45.2\%$, $I_p = 48.2$) を用いた。試料の粗大夾雑物を除去しながら土練機で練り返し、設定含水比 (85%) にする。練り返された粘性土を $\phi 15.7 \times 55$ cm の塩化ビニル製パイプに気泡が入らないように詰め込み、含水比が変化しないように密閉して模型地盤とした。この状態は $q_u = 0.1 \text{ kgf/cm}^2$, $\rho_c = 1.45 \text{ g/cm}^3$, $w = 85\%$ である。

2-2. 攪拌翼の形状 —— 外径 $\phi 2$ cm, 内径 $\phi 1$ cm のステンパイプに厚さ0.1 cm のステン板を所定の形状に加工して溶接した8種類 (攪拌翼径 $\phi 10$ cm) 図-1に示す攪拌翼を用いた。なお、先端より4 cm のところに、 $\phi 0.6$ cm の吐出ノズルが2ヶ付いている。①の攪拌翼は一文字状4段で、各段2枚の羽根が付いている。②は①の羽根に5 × 20 mm の縦羽根を付け垂直方向に攪拌できるようにした。③は楕円翼、④は③に4枚の水平羽根を加えている。⑤はU字羽根を水平羽根2枚で支えている。⑥は⑤に水平羽根4枚加えたもの。⑦は複雑に入り組んだ形状で、⑧は水平羽根を1段に3枚つけた攪拌翼である。

2-3. 室内混合処理試験方法 —— 安定処理材は普通ポルトランドセメントで、その混入量は、現場施工で一般的に使われている 250 kgf/m^3 を基準にした。水セメント比 $W/C = 1.0$ のスラリー状の安定材を、図-2に示す攪拌混合試験機により、 1 kgf/cm^2 の混入圧で攪拌しながら粘土地盤に圧入する。試験条件は、回転数 $N = 5 \text{ r.p.m.}$ 、上下動速度 (貫入・引き抜き速度) $V_e = 0.16 \text{ m/分}$ を一定にし、羽根枚数8枚あるいは4枚、攪拌貫入回数 (貫入と引き抜きで1回) を変化させて改良柱 (柱径 $\phi 10$ cm) を作製し、7日間養生する。この時、攪拌翼の回転方向は、貫入時は正転 (右回り)、引き抜き時は逆転方向とした。養生後、トリマーで円柱状に整形し一軸圧縮試験 (JIS A 1216) の供試体にする。

3. 試験結果

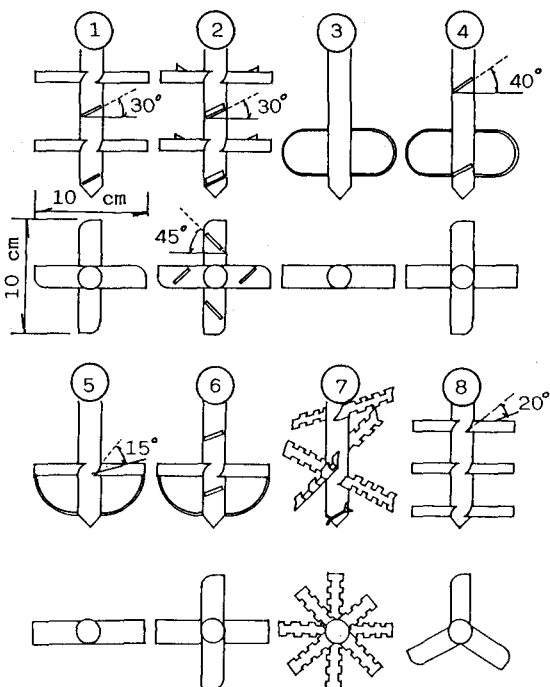


図-1 攪拌翼の形状

地盤を改良する時に、攪拌翼が1m 当りの地盤を切る総回数を羽根切り回数とすれば、次式で表わされる。

$$T = \frac{\Sigma m \times N \times 2E}{V_e}$$

但し、T：羽根切り回数（回／m）， Σm ：羽根枚数（枚）
N：攪拌翼の回転数（r.p.m.）， V_e ：上下動速度（m／分）
E：攪拌貫入回数（回）である。

各種攪拌翼の羽根切り回数 T と処理土の一軸圧縮強さの関係を図-3 に示す。かなり弱い軟弱地盤を想定し、攪拌翼の形状による攪拌効果を一軸圧縮試験結果から判定しようとした。図より攪拌翼③は、楕円翼が水平板であるため粘土をスライスするだけで、混合攪拌は行われていないと考えられる。攪拌翼⑥は、15度の角度を持った水平翼がついているが、この程度の角度では回転数が低いので、粘土を混合するまでには至っていないと考えられる。よって③、⑥は羽根切り回数を増しても、強度増加はみられない。それ以外の攪拌翼は、羽根切り回数の増加とともに一軸圧縮強さは増すが、その中でも著しく増加するものは①、②である。⑦はT=1500まで顕著に強度増加が現われたが、T=2000で一度低下したが、再び増加する傾向がある。いずれの場合も、①より②、③より④、⑤より⑥と縦翼や水平翼を加えて改良した攪拌翼が強度増加につながっている。このように、翼の形状によって攪拌効果が異なることがわかった。

これまでは、羽根切り回数とE だけ変化したすが、やや硬めの模型地盤（ $qu=0.6 \text{ kgf/cm}^2$ ）を作製し、攪拌翼形状はこれまでの結果から攪拌効果の高い①の先端羽根を切刃に改良したものを使用し、回転数N=5~50r.p.m. の7段階、 $V_e=0.08, 0.16$ の2段階、E=1~3 の3段階変化させ、T が同じであっても、強度に大きく影響する要因を見い出そうとした。その結果、N を増してT を増加させた時の強度増加は、T=5000で $qu=14 \text{ kgf/cm}^2$ と著しい。N を一定にしてE を変化してT を増大しても、 $qu=2 \sim 5 \text{ kgf/cm}^2$ 程度である。このことは、最初の掘進時に、攪拌翼が粘土地盤を細分化するかに問題があり、N を増やすことにより粘土の塊は小さくなり、分散するので、それだけ安定材が土の周囲に付着して強度増加になるものと考えられる。

4. あとがき —— 深層地盤改良では、粘性土と安定材をいかに均一に混合攪拌するかが重要である。そのために攪拌翼の形状を変化させて攪拌効果をみたが、軟らかい地盤では、形状より回転数を増やした方が強度はでる。地盤の硬さ・軟らかさに応じて適切な翼の形状、強度発現に有効なN・ V_e ・Eなどの条件を見い出すよう研究中である。

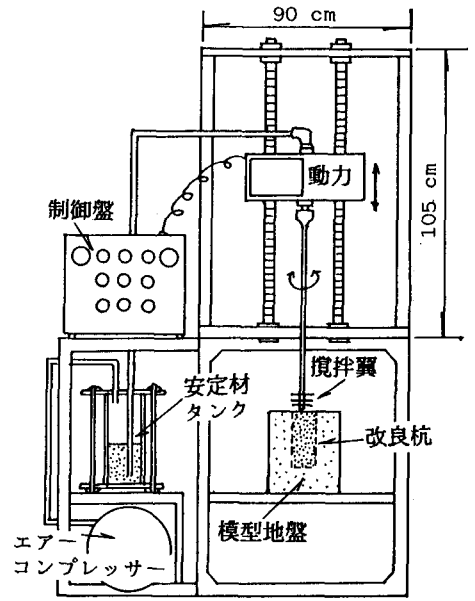


図-2 (室内) 攪拌混合装置

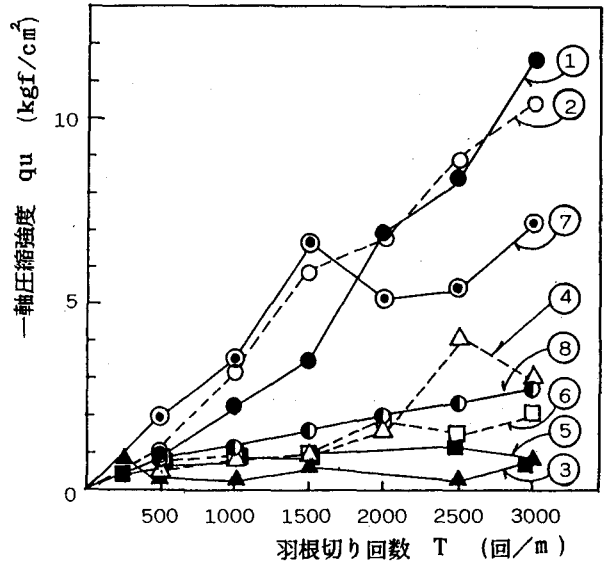


図-3 羽根切り回数 T と強度の関係