

47. 深層混合処理機の機械的性能について

竹中工務店 久木野 慶 紀 青 柳 隼 夫
藤 井 卓 美

1. まえがき

近年、港湾地域における軟弱土層の地盤改良工法として、セメント系硬化材と軟弱土とを機械的に攪拌、混合して軟弱土層を硬化改良する軟弱地盤改良工法が登場し、深層混合処理工法と呼称されている。当社においてはDCM工法(深層混合処理工法; Deep Chemical Mixing Method)として数年前より開発をすすめ、すでに実用化の段階に至っている。本報告はこのDCM工法深層混合処理機の機械的性能に関する種々の検討結果を開発の過程における模型実験と、実際の工事に用いられたDCM深層混合処理機の施工結果に基づき報告するものである。

2. 本論

2.1 DCM深層混合処理機の基本構造

DCM深層混合処理機の基本構造は図-1および写真-1に示すように、下部に掘削および攪拌羽根を有する4本の回転軸を互に逆方向に同期して回転させ、最上部に減速機および駆動装置を有している。硬化材(グラウト状)は羽根の上部のパイプまたは軸の先端部より吐出される。

2.2 模型実験

2.2.1 装置および地盤

図-1にDCM実験機の概要を示す。図-2に実験対象地盤の地盤調査結果を示す。



写真-1 DCM実験機

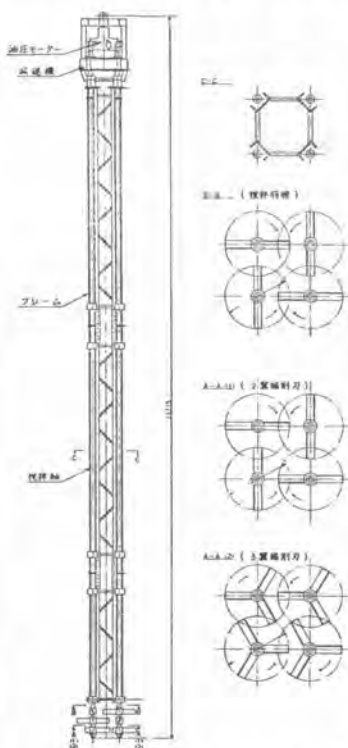


図-1 DCM実験機

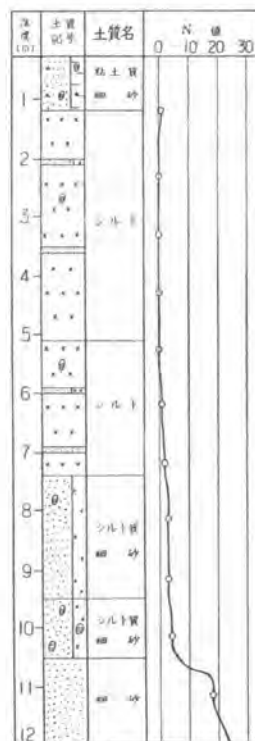


図-2 ボーリング調査結果

2.2.2 混合処理方法

図-3にDCM実験機による軟弱地盤の混合処理方法を示す。クレーンにより吊下げ架装されたDCM実験機は所定の位置にセットされ、攪拌軸を所定の回転数で正回転させる。次にクレーンにより一定速度で下降させ掘削貫入を行なう。所定の深度まで到達すると貫入を停止し、攪拌軸を逆回転し、同時に一定量の硬化材を吐出しながら一定の速度で引拔を開始する。地表面まで達したとき混合処理を完了する。



①位置決め ②掘削・貫入 ③貫入停止 ④硬化材吐出 ⑤引き上げ・混練 ⑥混合処理完了
引拔開始 硬化材吐出

図-3 混合処理方法

2.2.3 測定項目および方法

図-4に測定項目および測定方法を示す。機械的性能の測定はすべて自動的に行なえるよう電氣的な検出器を図に示す位置に取り付け、混合処理の全過程にわたり電磁オシログラフに記録する。

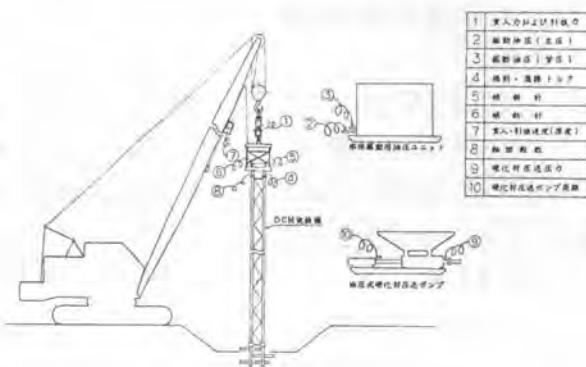


図-4 測定項目および検出位置

2.2.4 実験の内容

実験では、硬化処理された地盤の強度など土質力学的な結果が最終の判定となる。そのため硬化材の吐出量、DCM実験機の貫入引拔速度、羽根の回転数、あるいは羽根形状などの地盤改良強度に影響を及ぼすパラメータを種々変化させて実験を行なった。これらの最適条件を求めることも実験の目的の一つである。また機械的な負荷特性もこれらのパラメータにより変化し実用機の設計上重要なデータとなる。とくに羽根形状は重要な要素であり図-5に実験に使用した羽根形状の種類を示す。

（この段落は上記の2.2.4の内容と重複しているため、ここでは省略し、図-5の表と写真-2のキャプションに注目を促す）

組合せ	2-1	2-2	2-3	5-1	5-2
			+		
	掘削軸 2翼、ピット付			掘削軸 5翼、ピット付	掘削軸 5翼、最外周ピット付

図-5 羽根形状の組合せ



写真-2 羽根形状

2.2.5 実験結果

図-6に機械負荷の測定結果の例を示す。この例では羽根形状を種々変えた時の軸トルクおよび貫入力、引抜力について示してある。軸トルクは地盤強度に対応して大きくなる。また羽根形状が複雑になるほど大きくなる。引抜時は貫入時に地盤が乱されているため貫入時より小さくなる。貫入力および引抜力は概ね深度に対応して大きくなるが軸トルクとは若干異なった傾向を示す。羽根形状による差は軸トルクほど大きくない。全般的な傾向を地盤の状況と対比させて表-1に示す。

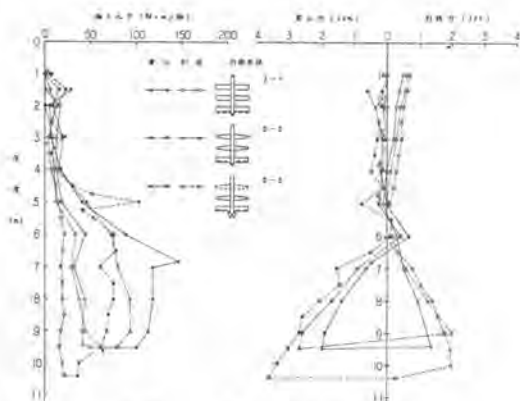


図-6 機械負荷の測定結果
(羽根形状による比較)

表-1 地盤との対応

対象地盤	軸トルク		貫入力	引抜力
	貫入時	引抜時		
G.L. -1.2~-5.5 (軟シルト)	10~20 kg-m/軸	20kg-m/軸以下	貫入量に関係なく一定 0.15~0.5 ton (フレームの貫入抵抗は非常に小さい)	引抜と共に増加。 0.5 ton 以下
G.L. -5.5~-10.5 (砂質シルト)	90~120 kg-m/軸	40~45 kg-m/軸	1m当り約1 ton の割合増加。 9mで最大2.5 ton	1m当り0.5 ton の割合減少。 9mで最大2 ton

2.3 DCM深層混合処理機の機械的性能

2.3.1 DCM深層混合処理機

DCM深層混合処理機の概略を表-2、図-7に示し、架装船に架装された状況を写真-3に示す。DCM深層混合処理機は模型実験で得られた機械的性能の結果をもとに昭和51年に1号機と2号機を製作した。軸数は実験機の4軸タイプを2連にし8軸とした。また羽根の構成は実験の結果から掘削翼を3翼一段とし、攪拌羽根は2翼2段とした。実験では4本の軸を支えるフレームはトラス構造であったが実用機は剛性等の関係からパイプ構造となっている。2号機では硬質土層に定着させるために軸トルクと重量を大巾なアップを計り、また先端固化的のため特殊なスライド管方式先端固着装置を装備している。

表-2 概略仕様

項目	1号機	2号機
全長	38.7m	46.9m
有効長	32.5m	38.0m
羽根径	860φ	860φ
軸数	8本	8本
処理面積	4.2m ²	4.2m ²
トルク	935kg-m	2250kg-m
回転数	40~80rpm	30~60rpm
重量	70t	140t

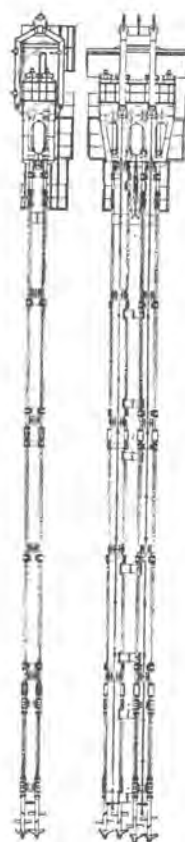


図-7 DCM深層混合処理機

2.3.2 実施工における機械的性能

図-8に1号機、図-9に2号機の実際の施工時におけるトルクおよび貫入・引抜力の測定結果の例を示す。1号機は東京港、2号機は横浜港での施工例である。これらの結果を実験の項で述べた図-6と対比してみると概略の傾向は似ていることがわかる。実験の場合は地盤構成が複雑であったのでトルク、貫入引抜抵抗と深度との関係は複雑であったが、実際の施工では地盤が層厚の極めて厚い均質なシルト、粘土層であって、しかもほぼ正規圧密状態に近い土層であると考えられるのでこのような単調な増加、減少の傾向を示すものと考えられる。トルクは深層混合処理機の掘削、攪拌羽根部分の掘削、攪拌の抵抗であり、貫入引抜抵抗の大部分は処理機の構造体部分の抵抗である。従ってトルクは貫入時に自然地盤を掘削する抵抗の分だけ引抜時より大きいトルクとなって現れる。ただし引抜時にはセメント系硬化材の混合が行われるので、このようなシルト、粘土ではそのアルカリ性雰囲気によって若干土の強度が増加するため貫入時に要する攪拌のトルクは引抜時のトルクよりもやや小さい。貫入引抜抵抗は貫入時に大きく引抜時に小さいが、掘削貫入の過程で羽根の攪拌により土が流動化された状態となっているので処理機の構造体部分に働く浮力的な抵抗が考えられこのような状態になるものと考えられる。

3. あとがき

以上深層混合処理機の機械的性能について述べてきたが、まだこの工法自体新しいものであり機械的に向題も不明な点が多い。今後さらに多くの研究開発を重ね、施工実績を踏えてさらに完成された深層混合処理機としたい。



写真-3 DCM深層混合処理機と架装船

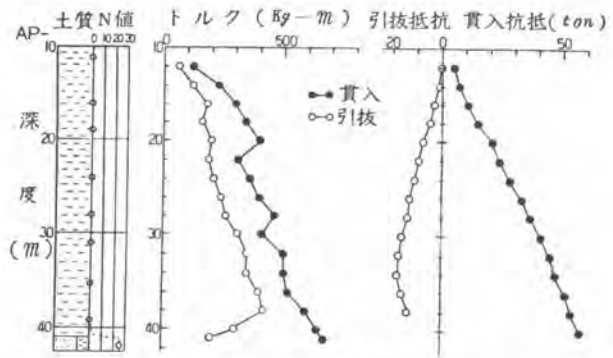


図-8 トルク・貫入引抜抵抗（東京港）

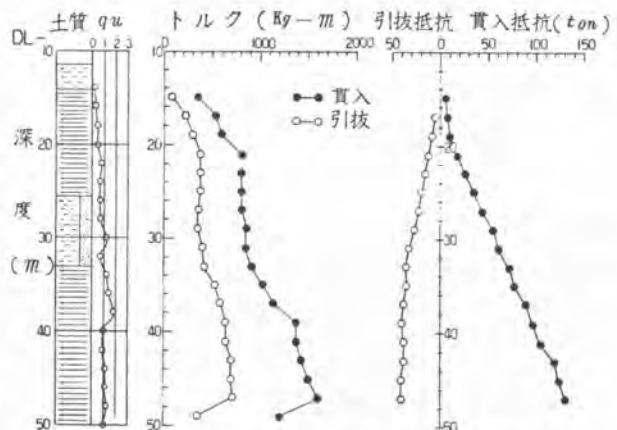


図-9 トルク・貫入引抜抵抗（横浜港）