

17. セメント系スラリー

混合地盤改良機械の特性について

北川鉄工所 白木 久

1. はじめに

近年、セメント系処理材による地盤改良工法が国内各地で採用され実績が増加している。もともセメント系スラリー-地盤改良工法は超軟弱地盤(ヘドロ地)などで仮設的に使用されたのが最初のころみであったが、機械の構造、施工方法などの工夫をすれば粘性軟弱地盤においても有効であろうという考えが現在では本工法の主流となり、特に海底軟弱地盤の改良工事において威力を発揮している。仮設工事としての地盤改良から本工法用の永久構造物の一部として設計が行なわれるようになると、施工体の品質の均一性がより重要となり、特に施工機械にその性能が要求される。施工機械の選定を誤ったり、施工方法が適切でないところから発生したり、施工前にみよったり、ボーリエが結果が著しく悪いといったことになる。したがって、施工機械の選定に当たっては現場の状況の詳細にわたって把握し、その現場に適合した機械を選定すると共に機械の特性を知って、その現場の状況にマッチした施工方法により工事を行うべきである。筆者は各種の実験や工事の立会経験により、機械の特性を中心にして施工機械選定の基準と施工上の留意点について述べる。

2. 混練度合について

施工目的にもよるが単なる支持力増強の目的で行う単粒施工の場合(評価はN値による)を除いて施工体に剪断強度や曲げ強度を期待する場合が普通であり、この場合はより均一なる施工が要求され、施工結果のチエックもボーリエグによって行なわれる。施工機械のパワーが不足したり、施工方法が適切でないところからボーリエグの結果、随所に未改良土を介在したり、改良土と未改良土が層状になったりすることがある。また攪拌翼径が大きくなると別ハイツ吐出し、軸吐出だけでは処理材の直径方向の分布を均一にするのは困難となる。

筆者が経験した混合不良が発生したケースとその原因および対策について述べる。

- | | |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1) 改良強度不足 | 添加量が少ない。(室内配合と現場配合の違い) |
| 2) 随所に未改良土を介在 | i) 原地盤強度が高い程発生する。 ii) 回転数不足(パワー不足)
iii) 昇降速度が適切でない。 iv) 攪拌機構造上に問題がある。 |
| 3) 層状改良 | i) 原地盤強度が高い程発生する。 ii) 羽根角度不足(パワー不足)
iii) 昇降速度が適切でない。 |
| 4) 中間砂質地盤の施工 | 施工方法の変更 |
| 5) 表層砂質地盤の施工 | 施工方法の変更 |

表-1に大型室内実験により得た施工体の強度を示し、写真-1~5に施工条件を変えて施工した施工体の横断面写真を載せた。

3. 接合方法と接合強度について

支持力増強の目的のみで行う単粒施工の場合を除いて施工体と盤状、型状またはブロック状で計画

した場合は施工体と施工体の接合

表-1 大型室内実験による施工体の施工条件と改良強度

施工(ラップ施工)を要する必要がある。接合具合については実工事の場合斜ボリリングによってフェック工になるが、接合面に比較して資料数が少なく、おべての接合面を数本の斜ボリリングで推定しているのが現状であろう。

実験No	接合時間	回転数 rpm	昇降速度 %/min	吐出方法	羽根地斜角	回転方向	改修性	改良部	接合部	
ア	40hr	150	0.75	内側吐	⊖	⊖	0	0	1.605	*
イ	"	"	"	"	⊖	⊕	0	I	1.734	0.441
エ	"	"	"	"	⊖	⊖	I	I	1.373	-
ウ	"	"	"	"	⊖	⊕	I	0	1.655	0.867
エ	"	60	0.6	"	⊖	⊕	I	0	1.112	0.572
セ	"	60	0.3	"	⊖	⊕	I	0	2.448	*
ソ	"	150	0.75	"	⊖	⊖	I	I	4.480	0.360
カ	2hr	"	"	"	上⊖	⊕	I	0	2.107	2.107
キ	"	"	"	内側吐	上⊖	⊕	I	0	2.900	1.550
ク	"	"	"	吐出	下⊖	⊖	I	I	2.870	1.295

注記)

- ⊕ 羽根の傾斜角 オキ
- ⊖ " スイ
- 0 羽根の回転方向 既設部に対して吐出方向
- I " " 巻込方向
- E印は接合してない。
- * 接合したた成形時にラップが入り割れ、曲げ強度は2/3程度である。
- セメント添加量 原土盤重量の 2%
- スラリー W/C = 0.8
- 原土盤含水率 80~100%
- " 単位体積重量 1.55 T/m³
- " 1軸圧縮強度 90.8~0.05 %

筆者が大型室内実験において接合条件を種々変えて接合具合をフェックしたところ、接合条件によって著しくその接合強度が異なり、ある条件では未改良工と遜み込む場合もある。また接合時の時間が経過するほど接合強度は低下

する傾向にあり、110ワ予足におよぶ場合もある。さらに攪拌機の軸剛性についても長工に対して極端に低い剛性であれば攪拌羽根が被接合体より逃げ結果となり、順次続ける施工体が倒壊しになる。表-1に大型室内実験より得た接合部強度を併記し、写真-1~5に接合状況を示した。

4. 攪拌機力について

攪拌機の持つ110ワ(トルク)は攪拌機の性能を決定する最大要因の一つである。地盤到達粘着力(C値)や接合中、接合時間、着地盤強度(N値)や吐出方法、到達深度、昇降速度、回転数などにより同一羽根径であっても必要動力(トルク)が異なってくる。

一般に粘性土地盤の場合、トルク予足による回転数の極端な低下は混合具合が悪くなるので得策でない。その場合は昇降速度を下げトルク予足に対応するべきであろう。

また一般にセメントスラリー吐出直後の負荷トルクは無吐出原土盤攪拌トルクより小さくなるが、ある時間の経過後の繰り返しにおいては大まかな地盤もあり、貫入吐出における深度の深い施工には注意を要する。

砂質地盤の場合(表層、中間層、着床層)は一般に負荷トルクが大まかなるがその場合は回転数を下げ対応する方が効果が大きい、とくに砂質地盤では施工体が大まかなる傾向



写真-1

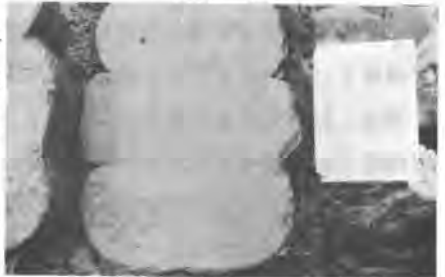


写真-2

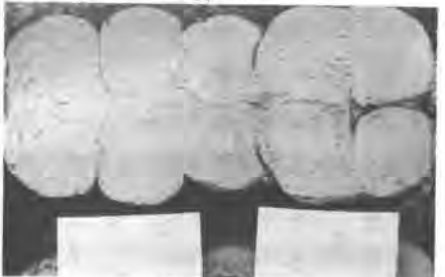


写真-3

があるので添加量を多少増やすべきである。

地盤抵抗トルクは機械工現場へ適用検討する際重要な検討要素となるが、筆者は次式を活用している。

撹拌トルク = 撹拌翼トルク T_1 + 撹拌軸トルク T_2 + その他の抵抗トルク T_3

それぞれトルク算式は次の通りである。

$$\text{撹拌翼トルク } T_1 = \frac{\theta c D^4 H \sqrt{\cos \theta} n}{200 \alpha S} \text{ (kg-m)}$$

C : 地盤粘着力 kg/cm^2 , D : 撹拌翼直径 cm , H : 撹拌翼高さ cm , θ : 撹拌翼傾角 $^\circ$, n : 翼枚数, α : 添加係数
 β : 撹拌係数, S : 地盤鉛直せん断力

$$\text{撹拌軸トルク } T_2 = \frac{\pi \alpha' d^2 l c}{200 \nu S} \text{ (kg-m)}$$

α' : 撹拌軸直径 cm , l : 地盤貫入撹拌軸長さ cm
 c : 地盤平均粘着力 kg/cm^2 , ν : 回転係数

その他の抵抗トルク T_3 = 軸受部抵抗トルクなど合計したものである。

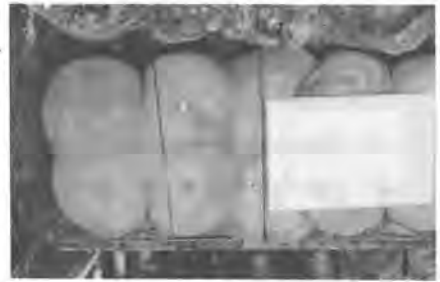


写真-4

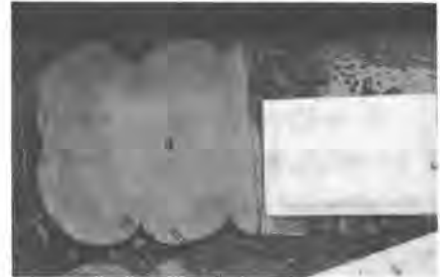


写真-5

5. 貫入、引抜抵抗について

施工に先んじて、施工地盤における貫入抵抗をあらかじめ推定し、存着具合を予測する必要がある。また、撹拌機昇降ウインチの能力を決定するに際して引抜抵抗を予測する必要がある。一般に、地盤強度が高い場合や、貫入吐出にて施工した場合、貫入、引抜抵抗共に大きく存する傾向がある。しかも工中に貫入する撹拌機の非回転部分の周囲面積が広いと抵抗が大きくなる。したがって回転部分を停止した状態での貫入および引抜抵抗は相対的に大きくなる。筆者が実績資料と実験データにより算出した貫入および引抜抵抗計算式を示すので参考にしたい。

貫入抵抗 $R_0 = R_T + R_B + R_W + R_s$ (Ton) 引抜抵抗 $R_U = R_T + R_B + R_W - R_s$ (Ton)

周辺抵抗: $R_s = C' (P_{AR} + A_{ss}) (H - H_0) T_m$ 先端抵抗: $R_T = \frac{1}{1.5} A_T \left\{ \gamma c + \left(\frac{1}{2} \gamma N_c + \gamma h \gamma_f \right) \right\} T_m$

土中浮力: $R_B = 1.56 \gamma A_0 (H - H_0) T_m$ 水中浮力: $R_W = \gamma' A_0 H_0 T_m$

H : 撹拌軸先端深度 m , H_0 : 水深 m , C' : 地盤撹拌後の粘着力 T/m^2 , A_{AR} : 回転軸周辺長さ m

A_{ss} : 固定軸周辺長さ m , γ : 回転軸影響係数, A_T : 撹拌機先端面積 m^2 , γ : $\frac{\text{固定軸周辺長さ}}{\text{軸周辺長さ合計}}$

γ_c : 地盤コーン支持力 T/m^2 , γ : 原地盤湿潤単位体積重量 T/m^3 , N_c, γ_f : 支持力係数, h : 存着深さ m
 γ' : 水単位体積重量 T/m^3 , A_0 : 軸断面積 m^2 * は存着時に加算する項目である。

6. 各種施工機械における留意点

地盤改良施工機械を製作計画したり、実工事現場への適用検討を行うには種々の検討要素があるが、特に以下に述べるものは重要要素であり必ず慎重に検討すべきである。

1) ヘッド上地盤改良機(フオート型) 写真-6

2) フオート接地圧 --- フオート接地圧は最大許容値で 0.04 kg/cm^2 であり、これを十分に保つ必要がある。

配慮すべきである。参考にフロート沈下量の計算式を記載しておく

$$\text{沈下量 } h = \frac{W}{BLn + 2c(B+L)} \text{ (m)}$$

W: 振棒重量 T_m , L: フロート長さ m , B: フロート幅 m

γ : ハトリ口単位体積重量 T/m^3 , C: ハトリ口粘着力 T/m^2

ii) フロート牽引力 --- フロートの移動はワイヤが使用される
の牽引力は次式で表わされる。 θ : フロートのカフトアングル

$$\text{牽引力 } R = 2(B+L)hc + BLc + 4BCh\sqrt{\cos\theta} \text{ (} T_m \text{)}$$

iii) スリ-フーズト能力 --- 次式で表わされる。

$$\text{スリ-造能力 } Q_p = Qc \left(\eta + \frac{1}{3.15} \right) m^2/h$$

Q: 地盤改良能力 $\%h$, C: 処理棒添加量 T/m^2 , η : 水処理棒重量 c

2) 陸上地盤改良機 (フロ-型) 写真-7

i) フロ-接地圧 --- フロ-の通行可能な表土地盤であるが
その下部は軟弱地盤であり許容限度がある。通常の接地圧は0.3~
0.7程度であるが、高い時は鋼板を敷いて施工する = ヒトである。

ii) 全体安定性 --- ほむじの振棒が重心の高いもので、予安定
土を増やすので、最大安定傾斜角度なども検討すべきである。

iii) スリ-フーズト能力 --- i) - ii) ハトリ口地盤改良機と同様
である。

3) 水上(海上)地盤改良機 (海床深層軟弱地盤改良機) 写真-8

i) 気象、海象条件 --- この振棒は水上に浮いており、船
体の動揺が、施工時、悪天候時に問題となり、最悪時には振棒
の損壊を招く恐れがある。

ii) 全体安定性 --- i) で述べた通り、これはやはり重心の
高い振棒であり、船体動揺を中心に検討すべきである。

iii) 地盤改良能力とコスト --- この振棒で最も動
力を消費する部分は攪拌機である。したがってこの駆動方法に
よっては多量のエネルギーロスが発生しあがる。一般に油圧
式より電動式の方が省エネルギー機とされている。

7. おわりに

セメント系処理材による各種の地盤改良機を製作し実験と実工

事のデータを参考に述べたが、土地が相手話しゆえ、全ての現場において、また地盤条件において適
用できるかという疑問であった。また開発途上の振棒であるため、製作された振棒のうち最高の性能
をもつものが最高に良い振棒とされる = ヒトであり、場合、存着についての土質的孝を統一して載
く = ヒトが必要かと思う。実工事にあつては算出された数値より10~20%上の振棒を投入し工事に余裕
をもたせる = ヒト必要な = ヒトかと思う。



写真-6



写真-7



写真-8