

# 39. LMP工法～浚渫土固化圧送工法～

東洋建設㈱：鏡田 昌孝，\*佐々木 康裕

## 1. まえがき

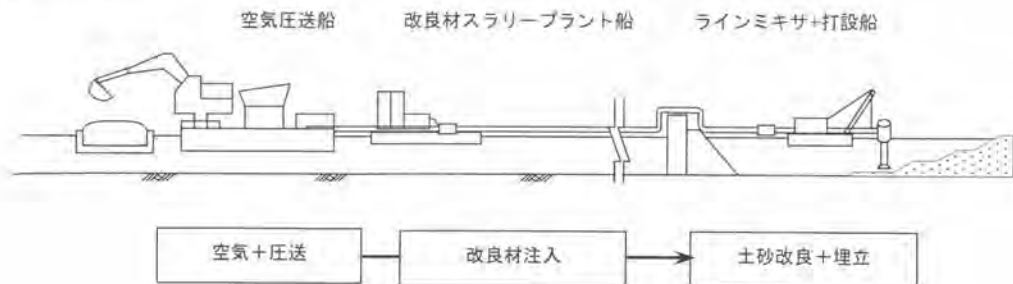
最近の埋立工事では、埋立地の供用開始を促進させる工法として加水を行わず搬送する空気圧送工法の導入や、セメント等による埋立土砂の大量固化処理が増加する傾向にある。またコストの低廉化と埋立地の早期供用化技術が要求されている。浚渫土を利用した埋立工事のうち、空気圧送工法による施工は、浚渫土の物性を変えずに搬送することができるため、埋立地の早期供用開始に有効である。またこの工法は、管内に圧縮空気を注入することにより搬送力を得ており、その結果管内を移動する浚渫土砂は、搬送空気に押されプラグ（栓）を形成することが知られている。LMP（ランプ）工法は、そのプラグ流の形成と崩壊を繰り返す管内混合効果に着目し開発された管中混合工法である。

以下に、ランプ工法の特長ならびに性能について報告する。

## 2. LMP工法の概要

### 2.1 工法の概要

本工法は、空気圧送中の浚渫泥土に対し適正な改良材を注入混合することにより、埋立地に必要な地盤強度を与え、浚渫工程終了とほぼ同時に供用を開始する事を目的とするものである。また強固な地盤から作業性を確保する程度の改良まで、利用目的に応じて改良材の種類と添加量を選択し、改良強度を調整することが出来る。このため埋立後の地盤改良を大幅に削減することが可能となり、従来の事前混合などにみられる、専用混合プラント船などの諸設備を必要とせず、簡易な機構による埋立が可能である。本工法を埋立工事に使用した場合のシステムフロー図を以下に示す。またシステムの基本構成は、空気圧送施設による空気圧送と、改良材のミルクプラント製造および注入設備、搬送管路上の注入管ならびに LMP 型ラインミキサの三部に分けることが出来る。



### ① 空気圧送設備

浚渫土の場合海上を運搬された土砂はバックホウ等により揚土され、振動篩スクリーンにおいて異物の除去が行われ、土砂受槽から加圧ポンプを経て管路内に押し出される。そこで注入される圧縮空気によって空気圧送状態となり管内を搬送される。

### ② 固化材スラリープラント

地盤改良工事で汎用的に使用されるスラリープラントである。送泥量と改良材の添加率に見合う製造能力と注入ポンプを装備している。プラント規模としては  $20\text{m}^3/\text{h}$  (スラリー製造能力) を基本にしている。

### ③ 管路上の注入管及び LMP

#### 型ミキサ

管路上に改良材のスラリーを注入する注入管と新規開発した LMP 型ミキサを設置する。LMP 型ミキサ構造については以降に説明する。

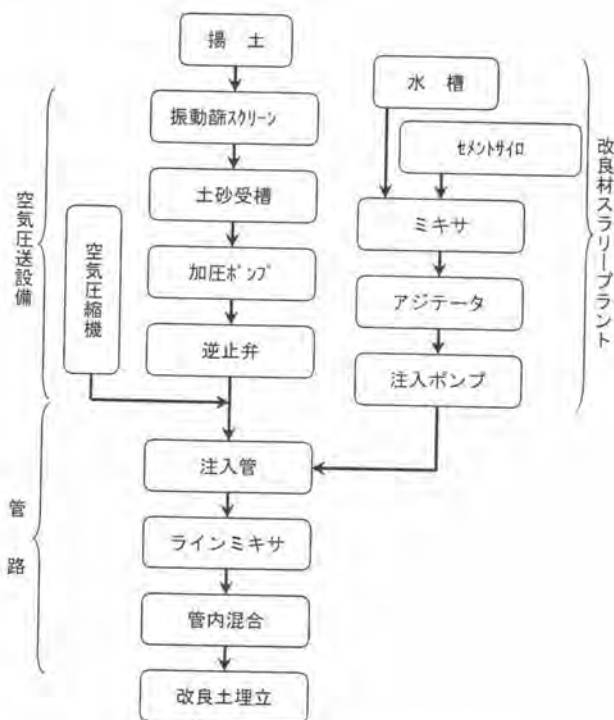


図-2.1 LMP システムフロー

## 2.2 工法の特長

本工法は、管路上で空気圧送中に示す土砂の搬送挙動を利用した土砂改良である。空気圧送工法は、管内に圧縮空気を注入することにより単位当たりの管内土砂重量を軽くし、かつ圧縮空気の膨張エネルギーを搬送力に利用するところに特長がある。このため従来のポンプ搬送では送ることのできない低含水の土砂が搬送可能となる。空気搬送中の土砂は、搬送空気に押されプラグ（栓）を形成し搬送される。搬送土砂は、プラグ流の形成と崩壊を繰り返し進行するため改良材と混合効果を期待することが出来る。以下に本工法の特長を示す。

- ① 管内を移動する流体エネルギーを利用した混合方式のため、特別な混合機構を使用せずに搬送と同時に連続的に改良処理が行われる。
- ② 搬送土砂と改良材との混合に必要な距離を、LMP 型ラインミキサを利用することにより短縮することが可能である。
- ③ 適切な改良埋立地盤が必要とする地盤強度に応じ改良材の種別、添加量を調整し必要強度を確保することが出来る。

- ④ 改良材スラリープラント、注入設備およびラインミキサユニットのみの構成であるため、簡易な設備での施工が可能である。
- ⑤ 改良材の添加方法がスラリー方式のため改良材の供給が安定し施工管理が容易であり、混合効率も良い。

### 2.3 LMP 工法の混合機構

LMP 工法の混合機構は、改良材を注入された土砂が管内を移動するに連れてプラグ流の成形と崩壊により混合される管内混合効果と、ラインミキサ混合効果に分けることができる。LMP 型ラインミキサは必要な管内混合距離を得ることのできない場合や、必要以上に管内への改良材の注入範囲を広げたくない場合などに使用する。

表-2.1 LMP 工法混合効果

| 混合効果          | 混合機構                              |
|---------------|-----------------------------------|
| 管内混合効果        | プラグ流状の成形と崩壊を繰り返すことにより生じる乱流状態の混合効果 |
| LMP 型ラインミキサ効果 | ラインミキサにより強制的にプラグ流を崩壊する混合効果        |

圧送中の浚渫泥土に改良材を混合する場合、十分な管内混合効果を得るためには、ある一定の長い距離が必要である（実験により確認）。しかし管内混合区間が長い場合、管内清掃や施工手順の変更に対し、時間と労力を必要とし輸送能力の低下も懸念される。本工法では、送泥ライン上に、改良材注入後に、新型のラインミキサを配置することにより、管内混合区間の短縮化をはかっている。また注入ノズルをラインミキサの直前に設けることによりプラグ流状が崩壊する箇所への改良材の均等な添加を可能にした。また間欠注入システムを採用することにより、気層部への改良材の注入を防止しさらに混合効率を高めることも可能となる。図- 2.2 に標準 LMP 型ミキサ構造図を示す。

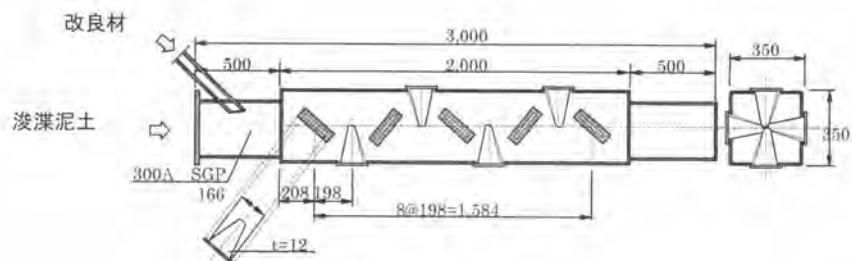


図- 2.2 LMP 型ラインミキサ 250 型構造図

### 3. 工法性能の概要

小規模フィールド実験や室内モデル実験を踏まえて、本工法の特徴を確認するために実施した陸上、海上実験の結果を述べる。陸上実験は、埋立地の余水処理池に堆積した泥土を空気圧送し、天日乾燥を目的とした揚土工事の配管を分岐し固化改良処理を行った。また海上実験では、簡易水中打設船を使用し埋立護岸の内部に埋立土砂の漏出防止を目的とした腹付工を、管中混合改良土により築造した実験である。

#### 3.1 使用土砂性状

陸上実験で用いた泥土は、埋立余水処理場での堆積土砂である。

土質物性は表-3.1 に示す通りである。搬送土砂の含水比は施工日や、圧送状態の変動ごとにつれて変動したがおおむね170%~230%であった。海上実験で用いた泥土は、航路浚渫による粘性土である。含水比はおおむね一定しており95%~110%の値であった。

表-3.1 使用土砂物性

| 試料番号                 |                   | 陸上試験  | 海上試験  |
|----------------------|-------------------|-------|-------|
| 湿潤密度 $\rho_t$        | g/cm <sup>3</sup> | 1.262 | 1.460 |
| 自然含水比 W <sub>n</sub> | (%)               | 182.5 | 99.6  |
| 砂礫分                  | (%)               | 17    | 4     |
| 細粒分                  | (%)               | 83    | 96    |
| 液性限界 WL              | (%)               | 53.3  | 72.8  |
| 塑性限界 W <sub>p</sub>  | (%)               | 28.9  | 29.6  |
| 土のph                 |                   | 8.1   | 7.2   |
| 強熱減量                 | (%)               | —     | 7.8   |

#### 3.2 陸上実験概要

管中固化処理した改良土は、陸上部に築造した実験用ポンド（延長約30m, w=10m, h=1m）内に打設した。実験ケースは4つのポンド毎に、LMPミキサの有無、また改良材の注入から吐出口までの距離を変えて行った。表-3.2に実験諸元と設備を示し、実験ケースを表-3.3に示す。圧送装置は、当社保有の技術である負圧式高濃度浚渫機「ケーサーホップ」（円筒型二胴式負圧吸泥型ホップ）を使用した。

表-3.2 陸上実験ケース

| 実験ケース | 改良材添加量 (kg/m <sup>3</sup> ) | LMP型ミキサの有無 | 改良距離※ (m) |
|-------|-----------------------------|------------|-----------|
| No.1  | 110                         | 無し         | 6         |
| No.2  | 150                         | あり         | 6         |
| No.3  | 130                         | 無し         | 30        |
| No.4  | 110                         | あり         | 30        |

※改良材の注入位置から吐出口までの距離

表-3.3 陸上実験諸元

| 実験設備       | 規格・性能               | 数量                      |
|------------|---------------------|-------------------------|
| 全自動ミキサラント  | 30m <sup>3</sup> /h | 1基                      |
| ケラトホップ     | 25m <sup>3</sup> /h | 1台                      |
| 負圧吸泥型ホップ   |                     | 1式                      |
| コンプレッサー    | 190ps               | 2台                      |
| LMP型マイミキサー | 250型                | 1式                      |
| 圧送土量       |                     | 計600m <sup>3</sup>      |
| 送泥量        |                     | 平均100 m <sup>3</sup> /h |
| 排送管径       |                     | φ250 mm                 |
| 配管長        |                     | 約120m                   |
| 使用改良材      |                     | 高炉セメントB種                |

### 3.3 海上実験概要

実験の目的を腹付け断面の形成（主に法勾配）と水中での強度確保に置き、本工法での実証を行った。実験諸元を表-3.4に示す。空気圧送設備として宇部式高速スクルー方式の YU-300 型を使用した。処理土の水中への投入は搬送圧縮空気と分離シリンダ管により行った。（水深最大 5.0m）腹付け工として法勾配を確保するために、水中打設処理土の初期強度の確保が要求された。

表-3.4 海上実験諸元

| 実験設備       | 規格・性能                | 数量   |
|------------|----------------------|--|
| 全自動ミキサプラント | 20m <sup>3</sup> /h  | 1基   |
| ダクトポンプ     | 20m <sup>3</sup> /h  | 1台   |
| 空気圧送機      | 200m <sup>3</sup> /h | 1式   |
| コンプレッサー    | 190ps                | 4台   |
| LMP型ラインミキサ | 450型                 | 1式   |
| 圧送土量       |                      | 計1,000m <sup>3</sup>                                   |
| 送泥量        |                      | 平均100 m <sup>3</sup> /h                                |
| 排送管径       |                      | φ410 mm  |
| 配管長        |                      | 約300m  |
| 使用改良材添加量   | 高炉セメント B種            | 100kg/m <sup>3</sup><br>(30, 50, 70kg/m <sup>3</sup> ) |

## 4. 改良結果

### 4.1 陸上打設での改良効果

#### ① ポンド内強度

管中混合による処理土を吐出したポンド内の強度分布を図-4.1に示す。室内配合に強度に対しポンド内では大きなばらつきはなく強度比は約0.6~0.8（平均=0.7）であった。

#### ② ラインミキサ効果

次にラインミキサの設置による混合効果について図-4.2に示す。改良距離（セメントを注入してから吐出されるまでの距離）が10m未満の場合強度比は大きく変動するが、30mを超えることにより変動幅は小さくなった。またラインミキサを使用した場合の方が未使用に比べ高い混合効率を有することが分かる。

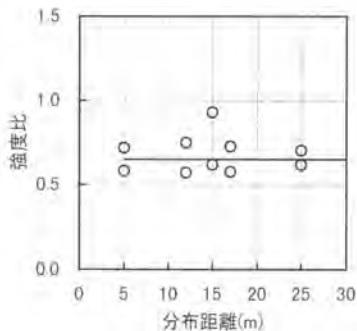


図-4.1 ポンド内における強度分布

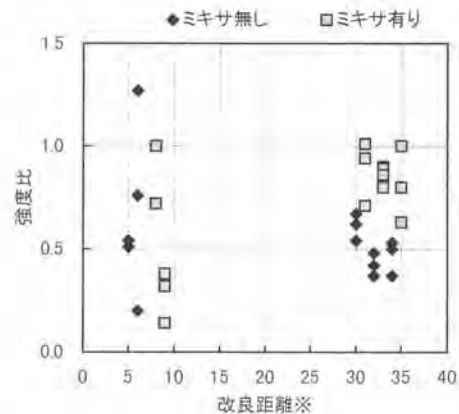


図-4.2 LMP ミキサによる混合効果

#### 4.2 水中打設での改良効果

水中打設実験では法勾配を確保することに重点をおいたため、短期強度を確保する必要から添加量が高くなっている。改良材添加量  $100\text{kg/m}^3$  での強度試験結果を以下に示す。図- 4.3は現地試料採取強度を室内配合強度との比で現したものである。この結果おおむね気中採取強度比は0.6~0.8 程度、水中打設強度比は、0.3~0.5 程度であった。図- 4.4に、室内配合強度と気中採取強度、水中打設強度結果を示す。

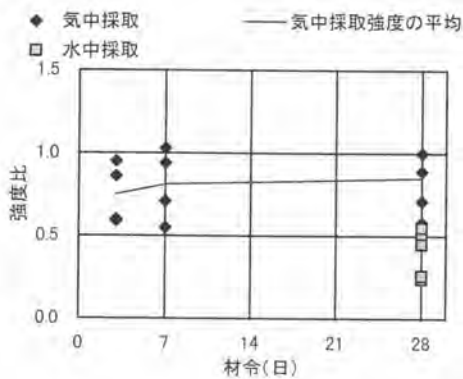


図- 4.3 水中打設強度比

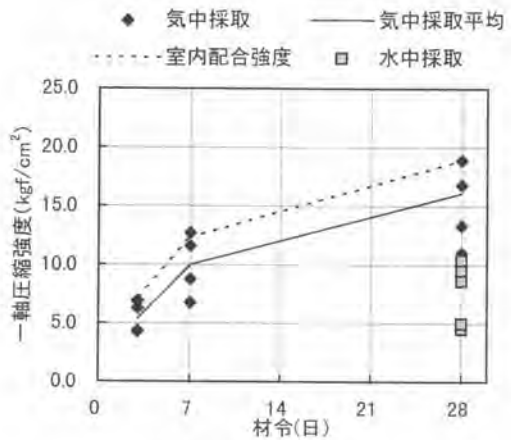


図- 4.4 気中水中強度発現

#### 5. まとめ

本工法の特長を実験結果に基づき整理を行うと、以下の通りである。

- ・混合効率は0.6~0.8 (水中打設はその1/2)
- ・固化材注入位置は吐出口から概ね管径の100倍~200倍が必要と思われる。

性能はプラント混合方式に比べ低いものの、対象工事として想定している埋立地盤築造工事への適用においては十分な性能を有していると考えられる。