

# 管中混合による浚渫土砂固化処理工法の 長距離圧送実験

上 藪 晃<sup>1</sup>・竹澤 一彦<sup>2</sup>・塚田 正一<sup>3</sup>・高橋 邦夫<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 運輸省港湾局 民間活力推進室長 (〒100-8989 東京都千代田区霞が関 2-1-3)

元運輸省 第一港湾建設局 伏木富山港湾工事事務所長

<sup>2</sup>運輸省 第一港湾建設局 伏木富山港湾工事事務所次長 (〒936-0856 富山県富山市牛島新町 11-3)

<sup>3</sup>運輸省 第一港湾建設局 伏木富山港湾工事事務所 伏木事務所長 (〒934-0001 富山県新湊市庄西町 2-18-3)

<sup>4</sup>正会員 工博 運輸省 第一港湾建設局 新潟調査設計事務所長 (〒951-8131 新潟県新潟市白山浦 1-332)

近年、港湾工事における軟弱浚渫土の有効活用が課題となっている。これらの土砂は高含水比のため、脱水や固化処理などが必要である。最近、従来の固化処理工法と比較して簡易で経済的な工法として、土砂を空気圧送する過程でセメント等の固化材と混合する管中混合固化処理工法が開発されている。この工法では、これまで数百mの圧送実績しかなかったが、このたび、伏木富山港の浚渫土砂の陸上固化処理工事において、長距離圧送（圧送距離約1km）の有効性などを確認するための試験工事を実施した。本論文は、管中混合固化処理工法による長距離圧送試験工事で得られた成果について報告するものである。

*Key Words: tubular type, soil mixing, plug flow, long distance discharge, soil disposal*

## 1. まえがき

近年、港湾の浚渫工事により発生する軟弱な土砂の有効利用が課題となっている。一般的にこれらの土砂は含水比が高く埋立利用する場合、土地利用や環境の観点から固化処理などの改良が必要であり、多額の費用と時間を要する。

これまでの固化処理においては、埋立地土捨場内で固化材を混合する事後混合や、専用固化処理船上で固化材を混合する事前混合処理工法が採用されてきた。

これに対し、最近、従来の工法に比べ簡易で経済的な工法を目指し、浚渫した軟質土砂を空気圧送工法にて土捨場まで圧送する過程で、固化材を添加混合する工法（以下管中混合固化処理工法と呼ぶ）が開発された。

伏木富山港においては、従来から小矢部川河口の伏木地区で航路の維持浚渫を行い土捨場に処理していたところであるが、土捨場の都合で、平成10年度より陸上部に処理する必要が生じた。ここでの処理は、将来の土地利用目的が緑地であり、高強度の地盤を形成する必要がないことや、また仮置する土捨場の環境対策および施工

の経済性から有利と判断される本工法を採用することとした。

本工事においては、浚渫土砂の陸揚げから土捨場内の排出までの圧送距離が最長で約1kmあることが問題となった。管中混合固化処理工法は、これまで圧送距離数百mまでしか実績がなく、固化材との混合によって圧送土砂の粘性が高まり、長距離の圧送が困難になるのではないかという懸念があった。

このため、管中混合固化処理工法によって長距離圧送が可能か、また、少量の固化材添加により低強度で均質な固化処理が達成できるかを確認するため試験工事を実施した。

試験工事は、これまで管中混合固化処理の開発実績があり、試験工事の実施時点で実用化の段階にあると判断された3種類の混合、搬送方式で実施した。

本論文は、この試験工事の結果得られた成果について報告するものである。

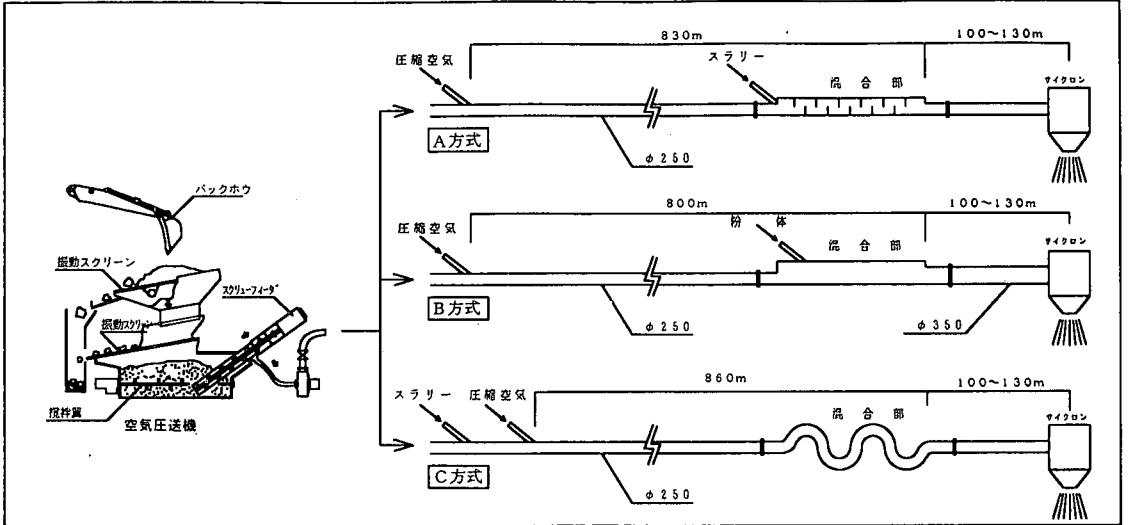


図-2 試験工事概念図

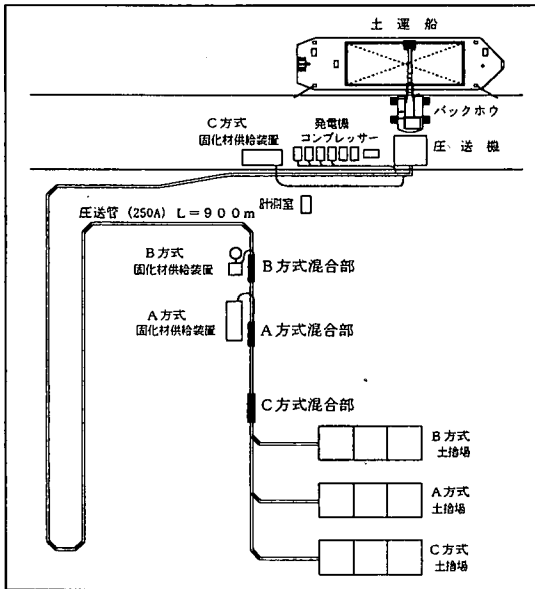


図-1 機材配置図

## 2. 試験工事の概要

### (1) 試験工事の目的

試験工事における目的は、下記に示す項目を明らかにするものである。

- ・管中混合固化処理工法において約1kmの長距離圧送が可能か
- ・貧配合の固化材添加で、ある程度均一性のある固化処理土が得られるか
- ・環境上問題ないか。

### (2) 試験工事システムの概要

試験工事は伏木富山港の伏木万葉埠頭にて実施した。

機材配置図を図-1に試験工事概念図を図-2に示す。

試験は、本工事で予定している伏木地区の浚渫土砂を用いた。万葉埠頭まで運搬されてきた土運船からバックホウで陸上の空気圧送装置のホッパーに揚土し、ゴミ等の障害物を振動スクリーンで除去した後、各方式に割り当てられた土捨場まで約1kmの管路を空気圧送する過程で固化処理を行った。

固化材の添加および混合装置は、図-2に示す各方式固有のシステムを採用し、空気圧送装置、圧送管、吐出部の減勢装置（サイクロン）は共通の設備とした。

### (3) 固化システムの概要

試験工事に先立ち、いくつかの方式について調査、ヒアリングを行い、開発の進捗度、現地施工実績などを参考に、試験工事の実施時点で比較的用意に近い段階にあると判断されたA、B、Cの3種類の方式を採用した。

各方式は固化材の添加方式や混合機構に創意工夫がなされている。空気圧送状態では、軟弱土の固液層（プラグ）と気層（圧縮空気）が、圧送管内で交互に並ぶ流動状態（プラグ流）が発生する。このプラグの内部は乱流状態となっており、管路の壁面摩擦やプラグの崩壊・再形成などにより混練効果が生じる。管中混合固化処理工法は、この混練効果を基本的に利用した工法である。

各方式の概要は以下のとおりである。

#### a) A方式

スラリー状の固化材を吐出口より約100m手前で添加し、特殊な羽根を持つラインミキサーをプラグ流が通過することで攪拌混合する方式。

#### b) B方式

粉体状の固化材を吐出口より約100m手前で添加し、拡大管でプラグ流を攪拌混合する方式。

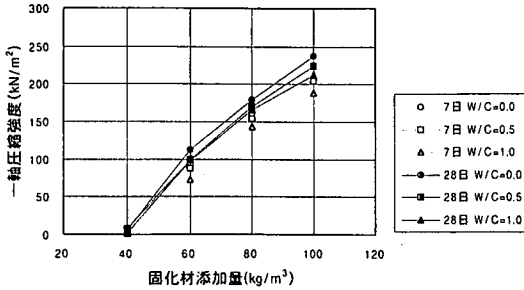


図-3 事前室内配合試験結果

表-1 試験ケース

No.	工法	固化材添加方式 固化材水セメント比	固化材添加量	圧送距離	固化材添加後 の圧送距離
①	A工法	スラリー方式 (W/C=50%)	50kg/m <sup>3</sup>	960m	130m
②			60kg/m <sup>3</sup>	945m	115m
③			80kg/m <sup>3</sup>	930m	100m
④	B工法	粉体方式 (W/C=0%)	50kg/m <sup>3</sup>	930m	130m
⑤			60kg/m <sup>3</sup>	915m	115m
⑥			80kg/m <sup>3</sup>	900m	100m
⑦	C工法	スラリー方式 (W/C=100%)	50kg/m <sup>3</sup>	990m	990m
⑧			60kg/m <sup>3</sup>	975m	975m
⑨			80kg/m <sup>3</sup>	960m	960m

#### c) C方式

スラリー状の固化材を圧送の始点に添加し、圧送中のプラグ流で混合するとともに、吐出部の手前約100mに設置したスネーク管（複数個の180°曲管を交差させ連結したもの）で混合する方式。

#### (4) 固化処理土の目標強度

本工事は、軟弱土砂を陸上に埋立し、固化後に土砂の一部を移動整地して盛土を行い、将来緑地として利用を図ることを目的とするものである。

このため固化処理後の土砂は、掘削、運搬、撒出し等の施工ができる程度の強度とし、また緑地利用で大きな荷重がかからないものであることから、材令28日における目標一軸圧縮強度を $q_{u,28}=30\text{kN/m}^2$ とした。

固化処理土は緑地への利用予定でもあり、高強度や土圧軽減を期待するものではなく、また精緻な改良が目的ではない。よって固化処理土の品質としては、低強度で、均一性がある程度確保されることを目標とした。

このような地盤の造成を経済的に施工するためには、できるだけ貧配合の固化材の混合での改良が求められる。このため、現地試験に先立ち室内配合試験を行い、目標強度に対する固化材添加量を求めた。

室内配合試験の結果を図-3に示す。

室内配合試験の結果より、原泥1m<sup>3</sup>あたり60kgのセメントを混合することにより、概ね目標一軸圧縮強度が達成される見込みが得られた。よって、現地試験では単位セメント量を60kg/m<sup>3</sup>を標準に、50kg/m<sup>3</sup>、80kg/m<sup>3</sup>の3ケースで実施することとした。

表-2 試験工事の測定項目

試験項目		試験頻度	
原泥	土粒子密度	各ケース3試料	
	含水比	各ケース3試料	
	粒度分布	各ケース3試料	
	物理化学試験	液性・塑性限界	各ケース3試料
		湿潤密度	各ケース3試料
		pH	各ケース3試料
		強熱減量	各ケース1試料
	有機物含有量	各ケース1試料	
	その他	フロー	各ケース3試料
		泥温	各ケース3試料
固化処理土	物理化学試験	含水比	各ケース3試料
		pH	各ケース3試料
	その他	フロー	各ケース3試料
		泥温	各ケース3試料
		フリージング	各ケース3試料
	強度	一軸圧縮強度	材令7, 28日 3層×3地点×3供試体
		ベンゼン断	材令0, 30, 60, 120, 240分
		コーン貫入	材令0, 24, 72, 168時間
		三成分コーン貫入試験	材令2ヶ月 各ケース12地点
		圧送能力	圧送流量 経時計測 管内圧力 経時計測 固化材添加量 経時計測
環境	騒音 周囲3測線(7,15,30,60,120m) 処理水のpH 各ケース施工前後		

表-3 試験時の気象条件

方 式	A方式			B方式			C方式		
	50	60	80	50	60	80	50	60	80
固化材初日	7/1	7/2	7/3	7/7	7/8	7/9	7/13	7/14	7/15
試験日									
天気	晴	晴	晴	晴	晴	曇	晴	晴	晴
試験日当日	日平均気温(°C)								
	22.2	26.9	28.8	27.2	28.6	25.2	21.3	21.5	22.3
	降雨量(mm)								
	0.0	1.0	0.0	0.0	7.9	15.5	0.0	0.0	0.0
試験日より	日平均気温(°C)								
	25.9	27.4	26.8	26.9	25.6	23.8	21.7	22.2	23.0
	降雨量(mm)								
3日間	1.0	8.0	8.0	15.5	60.0	60.5	0.0	0.5	0.5
試験日より	日平均気温(°C)								
	26.0	26.9	26.6	24.2	23.4	22.5	22.9	23.4	23.9
	降雨量(mm)								
7日間	9.0	9.0	23.5	62.0	62.0	62.0	0.5	1.5	4.0
試験日より	日平均気温(°C)								
	24.9	25.0	25.0	25.0	25.0	24.9	25.4	25.5	25.6
	降雨量(mm)								
28日間	86.5	96.0	108.0	147.5	147.5	155.5	112.5	112.5	112.5

#### (5) 現地試験の方法

##### a) 試験ケース

試験は各方式とも1ケースあたりの圧送土量を約100m<sup>3</sup>とし、9個の土捨場を設置した。空気圧送の能力は各方式とも75m<sup>3</sup>/hrで一定とし、固化材は、セメント系固化材を使用した。圧送距離は1kmを目標としたが、土捨場の位置の違いにより各方式で若干変化した。(表-1参照)

#### (6) 試験工事の測定項目

試験工事の測定項目は表-2のとおりとした。

#### (7) 試験時の気象条件

試験工事実施期間の気象条件を表-3に示す。

3方式による圧送工事は、平成10年7月1日～15日に行われた。期間中、晴天に恵まれ日平均気温は21～28°Cであった。また打設後28日間の気象条件は一時降雨を記録したが、おおむね晴天で各方式の適用時における大きな差はでない。

表-4 浚渫土砂の土質特性

項目	A方式			B方式			C方式		
	スラリー W/C=0.5	スラリー W/C=0.5	スラリー W/C=0.5	粉体	粉体	粉体	スラリー W/C=1.0	スラリー W/C=1.0	スラリー W/C=1.0
添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	50	60	80	50	60	80	50	60	80
原泥の含水比(%) W <sub>n</sub>	140.1	118.4	112.8	114.2	116.3	102.1	122.9	114.2	111.2
処理土の含水比(%)	132.4	108.4	104.3	103.9	103.3	95.6	116.7	108.7	106.7
原泥のフロー値(mm)	176.7	164.3	190.7	171.0	174.0	168.0	173.0	178.0	175.0
処理土フロー値(mm)	146.9	134.3	147.0	152.0	145.0	140.0	164.0	161.0	175.0
細粒分(%)	85.0	77.3	69.3	81.2	78.7	71.3	76.3	70.0	70.0
液性限界(%) WL	85.3	71.9	65.1	73.5	68.0	59.3	73.9	68.4	68.2
塑性限界(%)	31.9	28.3	24.9	30.2	28.4	26.7	33.0	26.8	25.2
塑性指数	53.4	43.6	40.2	43.3	39.6	32.6	40.9	41.6	43.0
強熱減量(%)	10.6	10.2	10.1	9.2	9.0	8.9	9.5	9.3	9.2
有機物含有量(%)	5.29	5.08	5.05	5.29	5.11	5.06	5.37	5.31	5.19
W <sub>n</sub> /WL	1.64	1.65	1.73	1.55	1.71	1.72	1.66	1.67	1.63

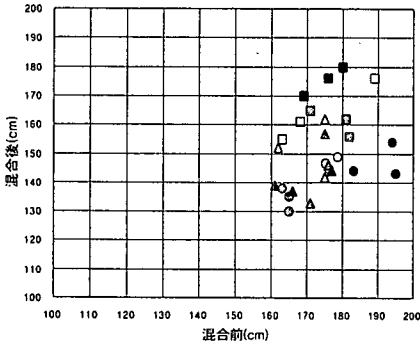


図-4 テーブルフロー値変化

### 3. 試験結果の概要

#### (1) 浚渫原泥の土質特性

全体的に流動性の高い土砂であったが、方式別にバラツキが見られる。試験工事の実施にあたり、できるだけ方式ごとの原泥が均一になるよう配慮したが、浚渫位置や深度により均一なものを採取できなかった。

浚渫土砂(原泥)の各方式、ケースごとの土質特性を表-4に示す。

今回使用した浚渫土砂(原泥)の土質特性は以下のとおりである。

- 自然含水比: 110%前後 (液性限界の1.4~1.7倍)
- 液性限界: 60~80%
- 砂分含有量: 20~30%
- 有機物含有量: 5%

C方式の原泥が平均的なものである。これと比較しA方式の原泥は含水比が平均で10%高く、この中でも50kg/m<sup>3</sup>のケースでは20%高くなっている。また、強熱減量も他方式に比較し高く、pHは1程度小さくなっている。B方式の原泥は80kg/m<sup>3</sup>のケースで含水比が20%ほど低くなっている。これら原泥の土質の差が後で述べるように固化処理土の強度に影響を与えている。

#### (2) 長距離圧送について

今回の試験では、固化材の混合を効果的に行うため75m<sup>3</sup>/hrの送泥とした。試験工事の目的である約1km

表-5 管内圧力データ

	添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	空気注入直後	圧送距離の中間点	減勢装置直前
		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
A方式	50kg/m <sup>3</sup>	331.2	161.7	2.9
	60kg/m <sup>3</sup>	387.1	177.4	3.9
	80kg/m <sup>3</sup>	379.3	188.2	6.9
B方式	50kg/m <sup>3</sup>	352.8	71.5	1.0
	60kg/m <sup>3</sup>	303.8	137.2	2.0
	80kg/m <sup>3</sup>	323.4	137.2	1.0
C方式	50kg/m <sup>3</sup>	323.4	105.8	3.9
	60kg/m <sup>3</sup>	339.1	116.6	3.9
	80kg/m <sup>3</sup>	343.0	118.6	3.9

表-6 一軸圧縮強度試験結果

項目	A方式			B方式			C方式			
	スラリー W/C=0.5	スラリー W/C=0.5	スラリー W/C=0.5	粉体	粉体	粉体	スラリー W/C=1.0	スラリー W/C=1.0	スラリー W/C=1.0	
添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	50	60	80	50	60	80	50	60	80	
室内部	材令7日 (kN/m <sup>2</sup> )	3	30	75	25	65	146	9	94	140
台座部	材令26日 (kN/m <sup>2</sup> )	5	38	101	28	78	154	13	58	145
材令7日	平均値 (kN/m <sup>2</sup> )	12	42	70	11	83	222	11	61	148
	標準偏差 (kN/m <sup>2</sup> )	0.12	0.22	0.42	0.24	0.41	0.67	0.14	0.18	0.16
	変動係数	100.0%	51.2%	59.2%	218.2%	48.2%	29.6%	127.3%	29.0%	10.6%
	強度比	3.92	1.41	0.93	0.43	1.28	1.52	1.20	1.13	1.06
材令26日	平均値 (kN/m <sup>2</sup> )	17	44	67	10	96	244	11	81	179
	標準偏差 (kN/m <sup>2</sup> )	0.16	0.22	0.38	0.22	0.52	1.08	0.12	0.21	0.43
	変動係数	94.1%	48.9%	55.9%	220.0%	33.1%	43.4%	109.1%	23.3%	23.6%
	強度比	3.34	1.23	0.66	0.35	1.23	1.59	0.83	1.40	1.23

の圧送については、3方式とも可能であり、施工能力も75m<sup>3</sup>/hrが確保できた。

管中混合固化処理工法の場合、セメント系固化材を圧送管内に添加するため、混合による粘性の増加が圧送距離に影響を及ぼす懸念があった。固化材混合前後の粘性の変化をテーブルフロー値で示す。(図-4参照)

固化材添加の形態が各工法で異なっているが、もっとも粘性が高まると思われるB方式(粉体)の場合で30cm程度の低下が見られる。またA方式(W/C=50%)の場合でも同様に固化材添加量が増大するとともにフロー値が低下する傾向が見られる。

一方、C方式(W/C=100%)の場合は、固化材を混合してから約1kmの圧送距離をとることから、粘性増加に対してもっとも懸念されていたが、原泥に対し同等のフロー値を示している。この場合、使用した固化材のW/Cが100%で、原泥の含水比と大差ない値であること、また、圧送距離1kmを搬送する時間が2分程度と短く硬化に達していないことなどから、フロー値も変化しなかったものと考えられる。

圧送中の各方式の管内圧力データを表-5に示す。この結果を見ても各方式で、特別高い値を示していないことがわかる。

以上のことから、原泥の含水比110%、固化材添加量80kg/m<sup>3</sup>程度であれば、粘性の増加は見られるが、1km程度の圧送は十分可能であることが実証された。

尚、各方式とも一部障害物による中断を除いては所定の能力で送泥可能であった。使用した浚渫土砂は、港内岸壁付近の土砂のため障害物が多く含まれていた。これらの多くは振動スクリーンで除去したが、ワイヤー等一

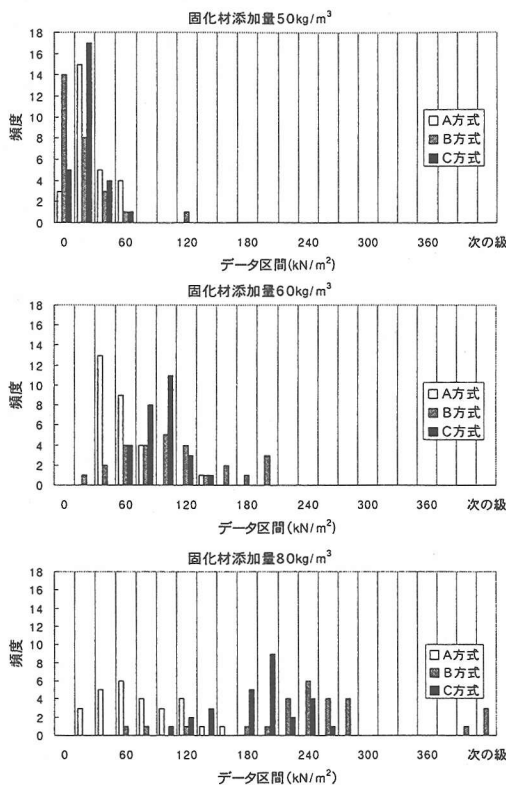


図-5 一軸圧縮強度試験結果 (材令 28 日)

部除去できないものもあり、今後の施工では工夫する必要があることがわかった。

### (3) 一軸圧縮強度試験結果

各試験ケースについて固化処理土の一軸圧縮強度試験 (材令 7, 28 日) の結果は表-6 および図-5 に示す。

表中の強度比とは、室内配合試験の結果を 1 とした場合の強度の割合である。室内配合試験には、現場施工時に採取した土砂を用いた。これに現場施工と同じ水セメント比の固化材を添加して、電動ミキサーによって混練したものについて一軸圧縮強度試験を行った。

これらの結果から、3方式のいずれのケースでも固化材添加量が多くなるとともに強度が増加している。50kg/m<sup>3</sup> の場合は目標強度 30kN/m<sup>2</sup> を上回っていないが、60, 80kg/m<sup>3</sup> の場合は目標強度を上回っている。

これは、50kg/m<sup>3</sup> を境界として原泥の固化特性が大幅に変化することが想定される。

各方式によって含水比など原泥の土性が多少異なっており、これらの土性の違いが強度やそのバラツキに影響を与えると考えられるが、平均圧縮強度および変動係数の値を比較すると次のことが言える。

固化材を粉体で添加するB方式は強度が高めにでるが、バラツキが大きくなる傾向が見られる。A, C方式は固

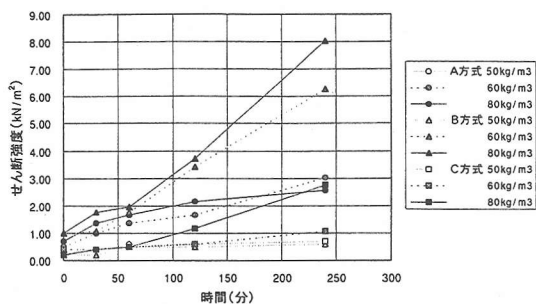
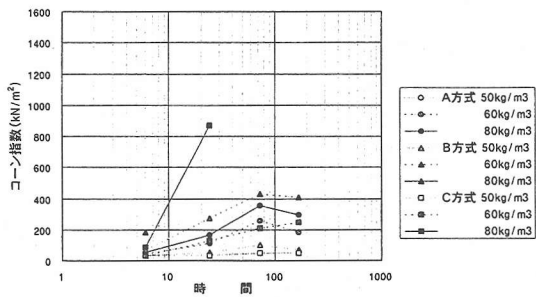


図-6 ベーンせん断試験結果



注) B方式80kg/m<sup>3</sup>の24時間以上およびC方式80kg/m<sup>3</sup>の72時間以上は貫入不能のためデータなし

図-7 コーン貫入試験結果

化材をスラリー状で添加するため、強度は少し低めになるが、バラツキは小さくなる傾向が見られる。特にC方式は固化材の添加位置が空気注入前で、送泥管の全長で混合することもあり、混合度が良くバラツキが小さくなったものと想定された。

### (4) 強度の時間変化

#### a) 一軸圧縮強度

一軸圧縮強度の材令 7 日から 28 日への強度の増加は方式により若干の差があるが、0.90~1.42 倍で、材令初期段階で強度の大部分が発現していることがわかった。

#### b) ベーンせん断試験

ベーンせん断試験は材令 0,30, 60, 120, 240 分で行っている。(図-6 参照)

3方式とも固化材添加量 50kg/m<sup>3</sup> の場合は材令による強度の伸びはみられなかった。60, 80kg/m<sup>3</sup> の場合は全般に強度の増加が見られるが、C方式の 60kg/m<sup>3</sup> の伸びは小さい。これは、固化材形態が粉体の場合とスラリーの場合とで、初期の段階における硬化特性の違いを表しているものと考えられる。

#### c) コーン貫入試験

コーン貫入試験は材令 24, 72, 168 時間で行った。その結果を図-7 に示す。

材令による強度増加の結果をみると、固化材添加量 80kg/m<sup>3</sup> の場合は、貫入不能となるものが多く、データを取ることができなかったが、固化材添加量 60kg/m<sup>3</sup> の

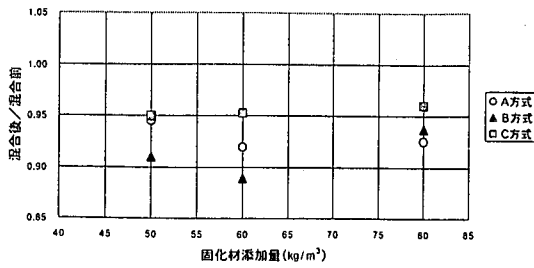


図-8 固化材混合後の含水比の変化

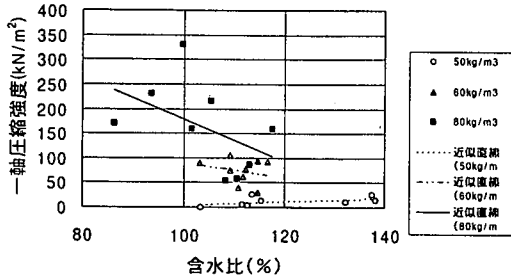


図-9 含水比と一軸圧縮強度の関係 (材令 28 日)

場合、強度は 72 時間で発現し、それ以後は増加していないことがわかった。

d) まとめ

以上のことから、固化処理土の強度については、おおむね 3 日程度の初期段階で、強度のほとんどが発現し、その後の強度増加は少ないことがわかった。

(5) 固化処理土の一軸圧縮強度と原泥の土質特性

一般に固化処理土の強度は、原泥の含水比、砂分含有量、有機物含有量、強熱減量等の土質特性に影響されることが考えられ、今回の試験工事でこれらの原泥の特性と一軸圧縮強度の分析を行った。

a) 固化材混合後の含水比の変化

固化材混合後の含水比の変化を図-8に示す。

実施工については、混合前に比較して各方式とも、低い値を示している。これは、固化材を粉体およびスラリーで添加する際の水と固化材の重量増と、固化材による水和反応による影響と考えられる。

固化材添加量が多く、固化材の水セメント比が低いほど、原泥に比較して固化処理土の含水比低下は大きいと思われるが、添加量の多少による含水比の変化の割合は、個々の原泥含水比のバラツキや試料採取の精度の関係などから、明確な関係は把握できなかった。

b) 含水比と一軸圧縮強度

原泥の含水比と固化処理土の一軸圧縮強度の関係を図-9に示す。

一般に原泥の含水比が高いほど、一軸圧縮強度は低くなることが予想されたが、今回の結果もこの傾向が顕著に見られた。

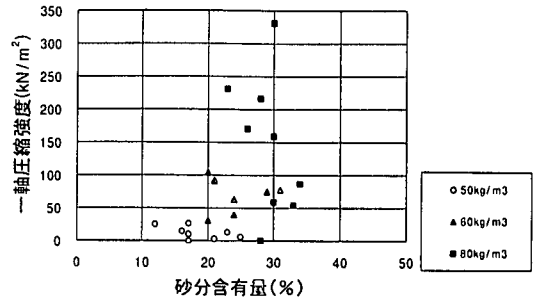


図-10 砂分含有量と一軸圧縮強度の関係 (材令 28 日)

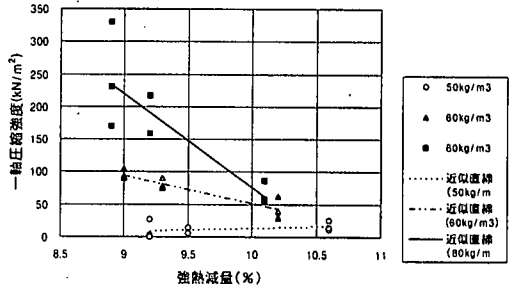


図-11 強熱減量と一軸圧縮強度の関係 (材令 28 日)

固化材添加量  $50\text{kg/m}^3$  の場合は、どの工法も強度の発現が見られないが、60,  $80\text{kg/m}^3$  の場合は、原泥の含水比の影響が現れ、特に  $80\text{kg/m}^3$  の場合に顕著に現れる。このことから予想どおり、固化材添加量が大きき場合ほど、原泥含水比の影響が大きくなることが把握できた。

これらの結果より、固化処理土の一軸圧縮強度の値やバラツキは、方式の違いのほか、原泥の含水比の影響が大きいことや、今後の施工管理において含水比に応じた添加量の決定が非常に大切なことが把握できた。

c) 砂分含有量と一軸圧縮強度

砂分含有量と一軸圧縮強度の関係を図-10に示す。

一般に砂分含有量が多いほど強度は大きくなると考えられるが、今回の場合、明確な相関は見られない。

d) 強熱減量と一軸圧縮強度

強熱減量と一軸圧縮強度の関係を図-11に示す。

一般に有機物含有量や、強熱減量が多いほど一軸圧縮強度が小さくなると思われるが、今回の場合、原泥の強熱減量のバラツキが小さい中ではあるが、このような傾向が見られた。特にA方式の原泥は他方式のものより強熱減量が高く、全体的に発現強度が低い傾向にあった。

一方、有機物含有量については、5.1~5.6%の範囲であり、各ケースで大きな差がなく相関も得られなかった。

(6) コーン試験結果と一軸圧縮強度試験結果について

a) ハンドコーン試験

固化処理土のハンドコーン試験の結果例を図-12に示す。

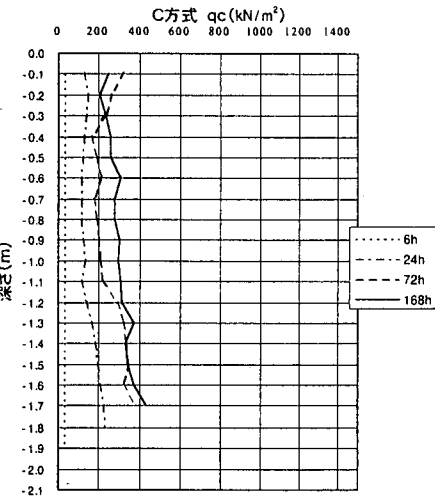
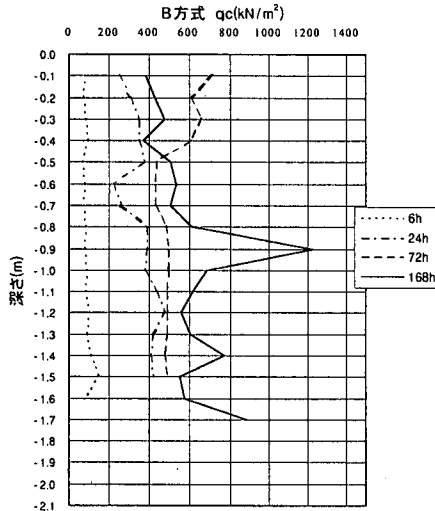
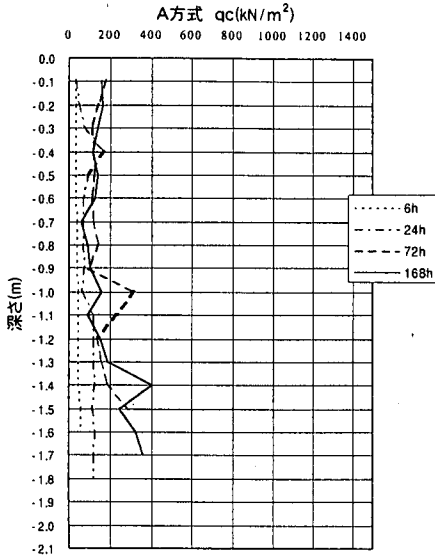


図-12 ハンドコーン試験結果 (60kg/m<sup>3</sup>)

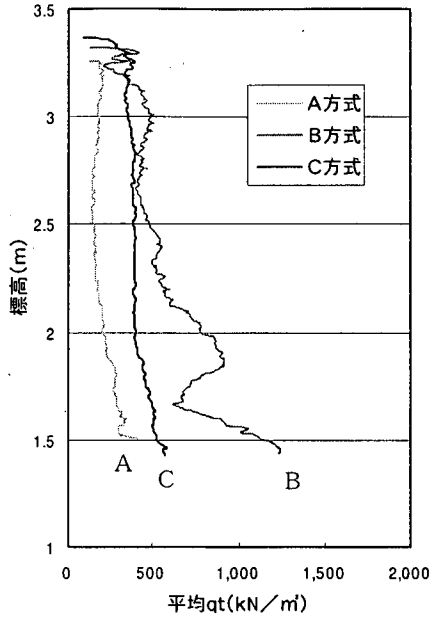


図-13 三成分コーン貫入試験結果 (平均値)

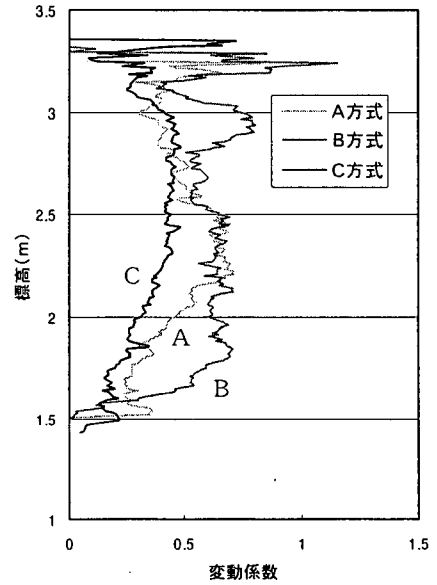


図-14 三成分コーン貫入試験結果 (変動係数)

### b) 三成分コーン貫入試験

ハンドコーン試験は、おおむね3日後までは強度の把握ができるが、ある程度固結して  $qc=3000\text{kN/m}^2$  以上の段階となると、ハンドコーン試験では貫入不能であったため、約2ヶ月後に  $60\text{kg/m}^3$  及び  $80\text{kg/m}^3$  の固化処理土について三成分コーン貫入試験を行った。原泥の含水比が各方式でほぼ同じ値と見られる  $60\text{kg/m}^3$  の結果を図-13, 14に示す。試験工事の各ケースでの現地強度のデータが得られ詳細な地盤状態が把握できた。

表-7 環境調査結果

項目	A方式			B方式			C方式		
固化材添加方法	スラリー			粉体			スラリー		
添加量(kg/m <sup>3</sup> )	50	60	80	50	60	80	50	60	80
洗浄水のpH	打撃前	8.3	8.2	8.2	8.9	8.5	8.1	8.2	8.9
	打撃後	9.1	8.4	8.2	8.9	9.1	8.8	9.3	8.9
騒音測定	圧送機	固化材供給装置	減勢装置	圧送機	固化材供給装置	減勢装置	圧送機	固化材供給装置	減勢装置
	dB	暗騒音	41	41	42	45	45	46	47
測定位置	7m	78	66	85	81	66	85	81	65
	15m	73	62	71	77	63	73	77	61
	30m	67	58	66	68	58	68	69	59
	60m	59	54	53	60	55	54	60	58
	120m	58	51	48	60	51	50	58	52

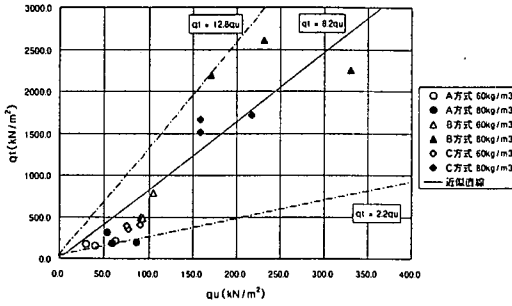


図-15 三成分コーン貫入試験と一軸圧縮強度の関係

c) 一軸圧縮強度との関係

ハンドコーン試験と三成分コーン貫入試験の結果をみると、深度方向のqc値とqt値は、ほぼ同じような傾向で推移していることがわかる。

また、三成分コーン貫入試験と一軸圧縮強度の関係を図-15に示す。両者でおおむね相関が見られることがわかる。また、バラツキを示す変動係数についても両者で傾向が一致していることがわかった。

コーン試験は比較的簡易な現地試験であり、深度方向のデータが連続して得られるなど多くの利点がある。今回の試験工事で局所的な試料採取による一軸圧縮強度試験により得られたデータと、地盤全体を評価する三成分コーン貫入試験値に、相関があり傾向も一致したことは、今後の施工管理にコーン試験が有効であることが実証できたと考ええる。

(7) 環境への影響について

a) 水質への影響

試験工事の際に発生する管内洗浄水等の余水の水質調査として、余水ピット内のpHを測定したが、pHは原泥と同等程度にとどまり、固化材添加量の増加に伴うpHの大きな増加も見られなかった。(表-7参照)

b) 騒音の調査結果

騒音の発生源としては、圧送機・固化材供給装置・吐出部がある。それぞれから7~120mの位置で測定したが、7mで66~85dB、120mで48~65dBであり、特に問題となることはなかった。騒音が問題となる場合の対策として参考になる。(表-7参照)

4. 結論

(1) 当初の目標である管中混合固化処理工法による約1kmの長距離圧送能力については、含水比110%程度の土砂の場合は、今回実施した3方式とも問題無く可能であることが実証された。特に、固化材混合後の圧送距離の長いC方式でも固化材にスラリーを使用するため原泥のフロー値の低下が少なく長距離圧送できたも

のと思われる。

(2) 固化処理土の目標強度 30kN/m<sup>2</sup>程度の低強度の改良に対し、約60kg/m<sup>3</sup>の固化材添加量により目標強度を達成できた。また、固化処理土の強度均一性についても方式や原泥土質の違いによる差が見られるが、変動係数25~50%の範囲に収まっている。特に、固化材混合後の圧送距離が長いC方式では、変動係数25%で均一性が確保されることがわかった。

(3) 管中混合固化処理工法の適用にあたっては、対象土砂の含水比、有機物含有量、砂分含有量等の土質特性に固化処理土の強度が影響されることから、施工にあたっては、これらの土質特性に応じた固化材添加量を慎重に決定する必要がある。

(4) 管中混合固化処理工法は騒音、振動はじめ環境に与える影響は小さい。

これらのことから管中混合固化処理工法は、簡易型のシステムであるが、経済的で今回の固化処理土の目標に対し充分実用に耐えるものであることが実証された。

また、固化処理土の強度の施工管理は、一軸圧縮強度による管理が通常の方法であるが、現地の詳細なデータが簡易に取得できるコーン試験による管理も有効であることがわかった。

5. あとがき

これまで、管中混合固化処理工法では数百m程度の圧送実績しかなく、これより長距離については圧送できるか疑問であった。今回、日本で初めて実施した長距離圧送試験工事によって含水比100~140%(1.4~1.7W<sub>u</sub>)程度の原泥であれば約1km程度の圧送が可能であることが実証された。

また、今回の目的であるダンプトラックで運搬できる程度の固化強度の確保については、固化材添加量60kg/m<sup>3</sup>程度で所用の改良効果が得られることが確認できた。

これらの現地試験の結果を受けて、伏木富山港において浚渫土量3万m<sup>3</sup>の本工事を施工した。

管中混合固化処理工法はまだ始まったばかりの工法



で、固化材添加量をどのように設定したら良いか等、以下に示す課題についてまだ研究の必要はあるが、簡易で経済的な軟弱土の固化処理工法としては十分実用的なものと考えられる。

- a) 固化材添加量の増大による圧送距離の低下
- b) 大規模施工における固化処理土の均一性確保
- c) 均一性を確保するための装置の改良
- d) 目標強度を達成するための原泥の特性に応じた固化材添加量の決定方法および施工管理方法
- e) 固化処理土の強度の検査・管理方法

今後、さらに多くの実績を積み重ねることにより、軟弱土のリサイクル工法の一つとして普及することを期待する。また、民間においてさらに優れた管中固化処理システムの開発が進むことを期待したい。

最後に、この研究を進めるにあたり岡山大学奥村教授、九州大学善教授、港湾技術研究所土田室長をはじめ、多くの関係者にお世話になったことを感謝します。

(1999. 5. 7 受付)

## LONG DISTANCE DISCHARGING WORKS OF DREDGED SOIL BY PLUG FLOW MIXING METHOD IN PIPE LINES

Akira UEZONO, Kazuhiko TAKEZAWA,  
Shouichi TSUKADA and Kunio TAKAHASHI

Various kinds of plug flow mixing method which is developed to mix dredged soil with cement during soil conveying work by plug flow have been invented. The discharging distance experienced, however, was only limited to several hundred meters. Recently, a long distance discharging work of approximately one km with three kinds of plug flow mixing method have been conducted to confirm applicability of this method for soil disposal on land at Fushiki-toyama port.

This paper presents technical particulars including unconfined compression strength of the cement mixed soil of the work.