

セメント混合処理土の水中打設における海水環境への影響

湯 怡新¹・宮崎良彦²・落合英俊³・安福規之⁴・大嶺 聖⁴

¹正会員 工博 関門港湾建設株式会社 (〒750-0017 山口県下関市細江新町 3-54)

²正会員 関門港湾建設株式会社 (〒750-0017 山口県下関市細江新町 3-54)

³フェロー 工博 九州大学工学研究院建設デザイン部門 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

⁴正会員 工博 九州大学工学研究院建設デザイン部門 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

セメント混合による浚渫土砂の有効利用が図られている。海上工事において固化処理土を海底に打設しなければならない場合が多い。しかし、水中打設を正しく行わないと、期待通りの固化強度が得られず、周辺海域を汚濁させる恐れもある。本文は、著者らが実施してきた各種水中打設実験の結果を示すとともに、材料分離を抑えるための施工上の工夫、工事事例における汚濁拡散の観測結果を示し考察する。結論として、打設管を着底させ圧入方式で水中打設をすれば汚濁拡散は施工位置数メートルの局部範囲にとどまり、これ以外の一般工事海域での濁度と pH の変化は自然界の変動範囲を超えないことが判明した。

Key Words: cement treated soil, underwater casting method, experiments, observation in projects, turbidity, pH

1. はじめに

近年、建設発生土に対する再利用の気運が高まっており、港湾工事においては低量のセメント混合による浚渫土の有効利用が図られている^{1) 2)}。浚渫土の再利用は海上工事で行われ、セメント混合処理土の水中打設が求められてくる。一般に水中打設の施工管理は陸上打設よりも難しいといえる。浚渫土の性状にもよるが、打設方法を間違えると、セメント混合処理土が水中で材料分離を起こし土質改良効果が得られない。さらに、周辺海域に汚濁を拡散させてしまう恐れもある。したがって、セメント混合処理土の水中打設特性を把握する必要がある。

土田ら³⁾は、浚渫土を主体とした軽量混合処理土の水中打設特性について調べている。それによると、周囲海水の水質は SS<100ppm、pH<10.5 であれば、材料分離抵抗性が確保できているとしている。また、現場打設実験では、岸壁近傍の水質調査結果はバックグラウンドでの数値と一致し、軽量混合処理土の水中打設による水質への影響はなかった。また、今井ら⁴⁾は高含水比の海成粘土を用いた混合処理土の水中打設実験を行った。含水比が 175%~280%の高含水比試料 ($w_L=120%$) でも、打設速度を 100cm/s 以下に抑えれば水中打設に伴った濁度と pH の変化は見られなかった。

土田らと今井らの研究は、流動性の高い混合処理

土を対象としたものであり、基本的に型枠等の中で水中打設を行うものとしている。今回筆者らの報告では、セメント混合処理した浚渫土を検討対象とし、その流動性の有無については限定しない。また水中打設条件として型枠等を用いない施工条件を想定している。そこで、どのような打設方法で水中材料分離を起こしにくいのか、処理土の性状がどう関係するのか、水中打設によって処理土の強度特性にどの程度の影響を及ぼすのか、とくに周辺海域に環境負荷を与えないかどうかを把握するために、セメント混合処理した浚渫土を用いた各種スケールの水中打設実験を実施してきた^{5), 6), 7), 8)}。

本報では、これらの実験結果をまとめて示すとともに、材料分離を抑えるための施工上の工夫、工事事例における汚濁拡散の実測値をここで報告する。

2. 水中打設実験

室内と屋外において、それぞれ 2 回の水中打設実験を行った。表-1 にそれぞれの実験方法の概要と、土質条件、実験条件および主な結果を示す。

(1) 室内水中打設実験

打設実験 A⁹⁾は、水中と気中の打設条件による強度への影響を調べる目的で実施した。浚渫粘土を所定

表-1 各水中打設実験の概要と主な結果

	実験A	実験B			実験C	実験D	
実験の概要	<p>(注:) 図中“●”は水質サンプルの採取位置</p>						
水槽:	30cm×50cm	φ 25cm			1.5m 角; 4.5m 角	16m×80m	
水深	16cm	100cm			80cm	4m	
打設土量	0.2 l×12 個	12 l			1.2m ³ ; 6.9m ³	6.4m ³	
打設土量に対する水量	20 倍(海水)	4 倍(水道水)			2 倍(海水)	800 倍(海水)	
セメント配合量(種類)	80~160kg/m ³ (高炉B種)	80kg/m ³ (普通ポルト)			120kg/m ³ (高炉B種)	50kg/m ³ (普通ポルト)	
打設管径	3.5cm	3.1cm			12.5cm	12.5cm	
吐出速度	—	13cm/s			65cm/s	65cm/s	
吐出口高さ	3cm	70cm			10,50,80cm	15cm	
強度低下率	0.92	0.82	0.78	0.64	0.7~0.3 (~0.05)		
pH変動	8.1→11	7.7→9.4	7.7→9.9	7.7→9.6	8.1→10.3	8.1→8.2	
濁度変動	1→80ppm	0→170ppm	0→300ppm	0→390ppm	1→290ppm	1→5ppm	
土質	土名	徳山粘土	博多粘土	混合土	岡垣砂	下関浚渫砂	小野田粘土
	含水比	118~300%	137%	65%	44%	49%	101%
	レキ分	0%	1%	1%	1%	24%	0%
	砂分	30%	8%	60%	79%	41%	3%
	シルト分	14%	44%	19%	10%	10%	37%
	粘土分	56%	47%	20%	10%	25%	60%
液性限界	77%	91%	37%	NP	NP	—	

の含水比に解泥したのち、セメントを添加しソイルミキサーにて3分間混練りを行った。混合試料をビニール袋に入れアクリルパイプを介して絞り出しながら、海水中に置いた養生モールド(φ5cm×H10cm)に圧入し水中打設を行った。同じ要領で気中にてモールド供試体を作製した。

図-1 に水中打設・養生した供試体と気中打設・養生した供試体の一軸圧縮強度を比較した。打設管の吐出口を着底させた状態より押し出す方式で打設すれば、水中打設による固化強度の低下が若干あるものの、ほぼ気中打設と同じ強度が得られる。図-1によると、水中打設による強度低下率は0.92程度にとどまっている。

一方、室内実験B⁽⁶⁾は、水中落下時に土質性状(粘着力の強弱)の違いがどう影響を及ぼすかを確かめるために実施したものである。試料として粘土、砂およびそれらの混合土を用いた。含水比調整済みの試料にセメントスラリー(W/C=1.0)を加え、ソイルミキサーにて8分間混練りを行った。その後、速

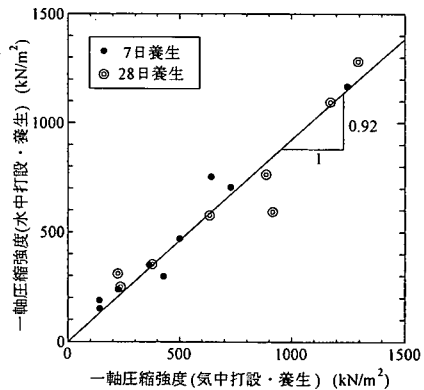


図-1 水中打設による一軸圧縮強度への影響

やかに混合試料を試料タンクに移し、およそ混練り終了後30分水中打設を開始した。吐出口からの落下高さを70cmとした。水中打設後、試料内部の空洞を無くすために約4kN/m²の上載荷重より圧縮させた。これは、実工事では1m層厚を打設した場合

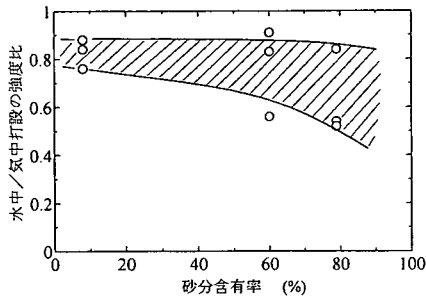


図-2 水中打設の強度低下と砂分含有率の関係

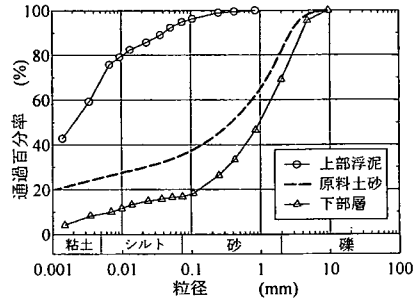


図-3 材料分離前後の粒度分布変化

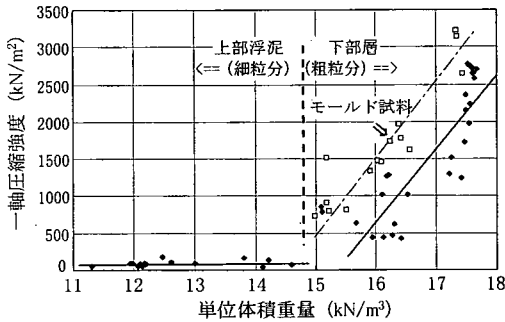


図-4 材料分離後の一軸圧縮強度

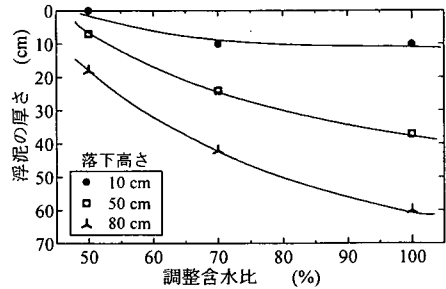


図-5 材料分離後の浮泥層の厚さ

この程度の土被り圧が想定されるからである。載荷圧縮2時間後に、打設土に養生用のモールドを打ち込み一軸圧縮試験のための供試体を作製した。

図-2に、水中打設した処理土の一軸圧縮強度と、直接養生モールドに詰めて得られた供試体の一軸圧縮強度の比率を示した。水中落下で打設したため、実験Aの結果よりも強度低下の割合は大きくなっている。また、砂分含有率が大きいほど強度低下の割合も大きくなる傾向が分かる。

(2) 屋外水中打設実験

屋外での水中打設実験は、コンクリートポンプ車を用いて実施した。浚渫土とセメントとの混合は、トラックアジテータ車にて、5分間行った。

打設実験C⁵⁾では、幅1.5m四方、水深0.9mの水槽にセメント混合浚渫土を打設した。本実験で用いた原料土砂は砂質土であるため、ポンプ車による水中打設をすると、材料分離の発生が確認された。すなわち、水中打設が終了後、粗粒分が速く下部に沈み細粒分が遅れて上部に堆積し浮泥層を形成した。図-3に原料土砂の粒度分布と、水中材料分離後の下部層と上部浮泥の粒度分布を示す。下部層はほとんど粒径0.075mm以上の砂であったのに対し、上部層は粒径0.005mm以下の粘土が主体となっている。図-4に水中打設せず作製したモールド試料と、水中打設後に形成した下部層と上部浮泥層の一軸圧

縮強度をプロットした。下部に堆積した砂層の強度(図中実線)は、モールド試料の強度(図中一点鎖線)の0.7~0.3倍に低下した。更に、上部の浮泥部分に至っては、モールド試料に比べ5~10%程度の固化強度しか得られなかった。図-5に浮泥の厚さと調整含水比の関係を示す。いずれのケースも打設土の層厚は70cmであった。含水比が低く(50%)落下高さが小さい(10cm)場合、上部の浮泥層が認められなかった。その以外の場合、調整含水比が高いほど、そして底面から打設管が離れるほど、浮泥の厚さが増加する。

(3) 水中打設における固化強度について

以上3つの打設実験をまとめると、設計どおりの固化強度を得るには水中打設時に材料分離を起こさせないことが重要である。水中材料分離が起きるか否かは処理土自身の粘着性と打設方法による。粘着力の強い粘性土では材料分離が起きにくい。一方、砂質土の場合材料には分離抵抗を増すための混和材の適用や水中打設方法の工夫が必要となる。

なお、打設実験D⁶⁾は、セメント混合処理土の水中打設に伴う汚濁拡散を把握することを実験目的とした。造船ドックを打設水槽として用い、実験条件は実施工条件とほとんど変わらない。

以下、各実験における水質変化について述べる。

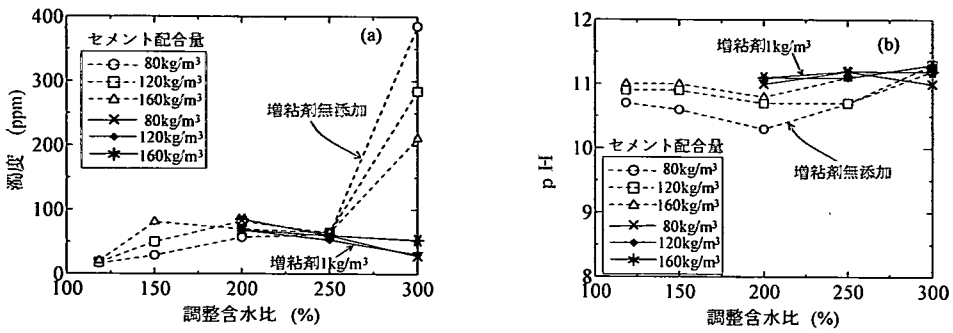


図-6 打設実験 A の水質測定

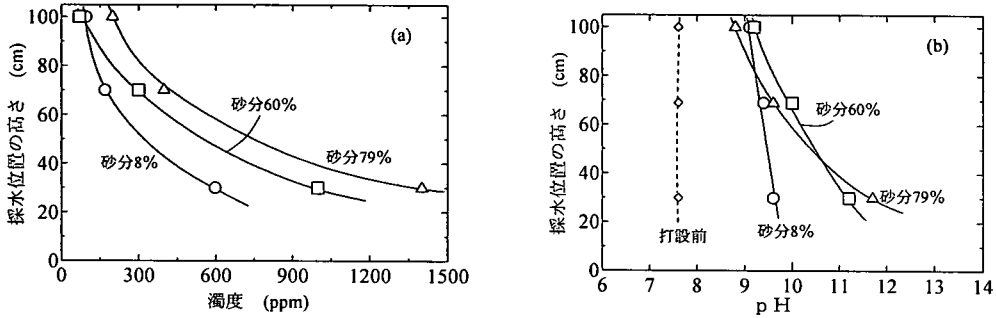


図-7 打設実験 B の水質測定

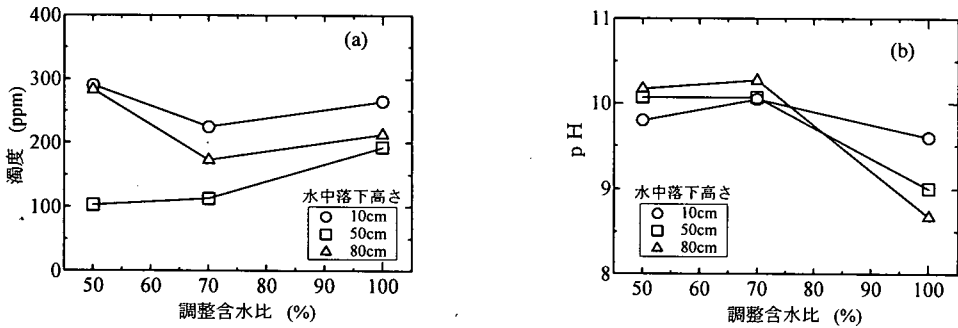


図-8 打設実験 C の水質測定

3. 水中打設による水質への影響

各実験において、水質検査のための水サンプルを採取した。採取位置は表-1の実験概要図に示す。主に濁度と pH に着目して水中打設後の水質検査を実施した。

図-6 に実験 A より得られた濁度と pH の結果を示す。採水は打設点より 20cm ほどのところで行った。筒先を打設土に挿入した状態で打設したため、周囲海水の濁度は 100ppm 以内に収まっている。しかし、調整含水比が 250%を超えた場合、海水濁度の著しい上昇が認められた。濁りの発生を押さえる試みとして、混合浚渫土中に 1kg/m³の増粘剤(セルロース系水溶性高分子)を配合してみた。図-6(a)

に示すように、増粘剤を添加することにより海水の濁度を有効に抑制できることが判る。ただし、コスト的に考えると、実工事での本格的使用は難しい。

図-6(b)に pH と浚渫土の調整含水比の関係を示す。全般的に pH 値が 11.0 以下となっているが、含水比が高くなるにつれ若干上昇する傾向にある。また、増粘剤による pH への影響に関して、この図の結果からは判断しにくい。

実験 B では、水道水(pH7.7)を打設容器に張り水中打設実験を行った。打設後、速やかに上・中・底部にて水質サンプルを採取した。ここに、中部とは打設管の吐出口付近であり、底部とは打設土のごく近傍である。図-7 に濁度および pH の測定結果を示す。砂分含有量が増えると混合試料の粘着力が失わ

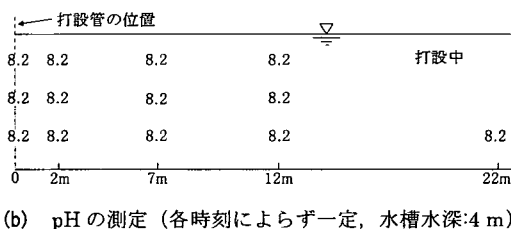
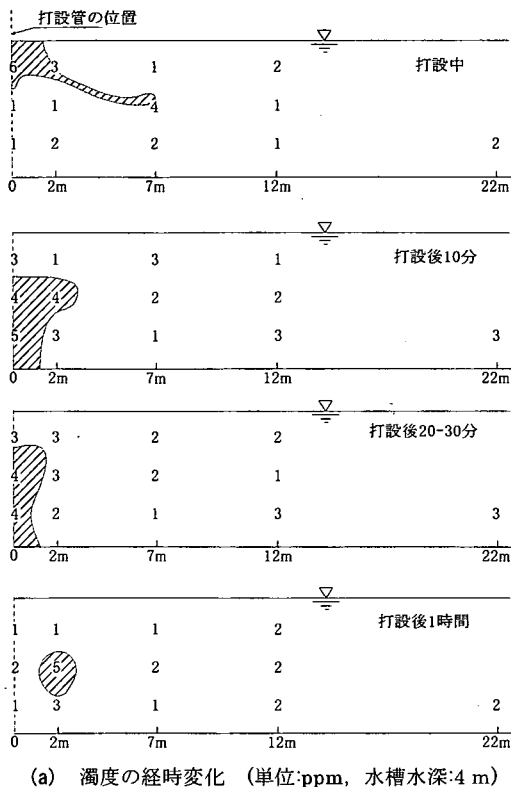


図-9 打設実験Dの水質測定

れるため、水中打設に伴う材料分離が激しくなり、濁度と pH は次第に大きくなる。水層上部の濁度を見ると、図-6(a)に示したデータにほぼ同様な結果となっている。ただし、水層中部ないし底部については、打設土の水中落下区間であるため、この間の濁りはかなり大きく発生した。特に打設土着底時に濁りの発生は顕著であった。一方、図-7(b)に示す pH の分布は、濁度の分布によく類似している。

実験Cでは含水比と落下高さを変え海水中に打設を行って、打設後の水質を調査した。図-8に濁度と pH の測定結果を示す。図-8(a)において、落下高さ 10cm で打設したときの濁度はもっとも高い値を示している。他の実験ケースでは、打設管の位置を水槽壁沿いとしたのに対し、このケースでは水槽の中央において水中打設を行った。また、筒先と水

槽底面の距離を 10cm としたとき、打設管の内径 (12.5cm) よりも小さく、吐出口で閉塞しやすい状態であった。このような原因が濁りを高めたものと思われる。図-8(b)に示す pH のレベルは図-7 の中部水層の数値に相当する。

造船ドックを用いた実験Dにおいては、打設前、打設中および打設後にドック内の水質変化を測定した。図-9にドック内の濁度の変化を示す。打設前の測定では濁度は各位置とも 1ppm を示した。打設に伴い打設位置の間近で濁度は最大 6ppm と小さな上昇が見られたものの、打設終了後濁りが拡散し濁度が徐々に低下した。打設後 1 時間経た時点ではほぼ打設前の状態に落ち着いた。図中のハッチ部分は濁度が 4ppm 以上の範囲を表している。

一方、海水 pH についての事前測定はすべて 8.1 を示したが、打設中および打設後いずれの時刻、位置においても 8.2 と一定値となり、打設前に比べ微小な上昇にとどまっている。

4. 実施の方法と実工事における観測

(1) 実施工での水中打設方法

セメント混合した処理土を海中に打設するために様々な方法が考えられる。図-10(a)によく用いられるトレミー管の打設方法⁹⁾を示す。バックホウやベルトコンベヤなどで運搬してきた固化処理土を、トレミー管に投入し水中打設する。固化処理土の粘着力が十分でなければ、水中投入に伴い材料分離が発生するおそれがある。これを防ぐ方法として、あらかじめ分散防止剤などの混和剤を固化処理土に配合する対策が必要となる。また、周囲海域への汚濁拡散を防止するため、トレミー管の周辺に汚濁防止カーテンを設置するなどの対策がなされている。この方法は、砂質土を対象とした事前混合処理工法に用いられている。

管中混合固化工法¹⁰⁾は、浚渫土を用いた埋立造成のために開発された新しい工法である。浚渫土の空気圧送途中に固化材を添加し、圧送管内で発生するプラグ流の攪拌効果を利用して浚渫土と固化材の混合を達成するものである。一般に、空気圧送工法では処理土は高速で($v=5\sim 10\text{m/s}$)噴出するため、直ちに水中打設ができないことから、図-10(b)に示しているように、いったん減勢装置(吐出速度を落とし、処理土から空気を分離させるためのサイクロン)を通してから水中打設を行っている。管中混合固化工法は経済的で短時間に大量施工できるメリットがある。図-10(a)、(b)から分かるように、これらの運

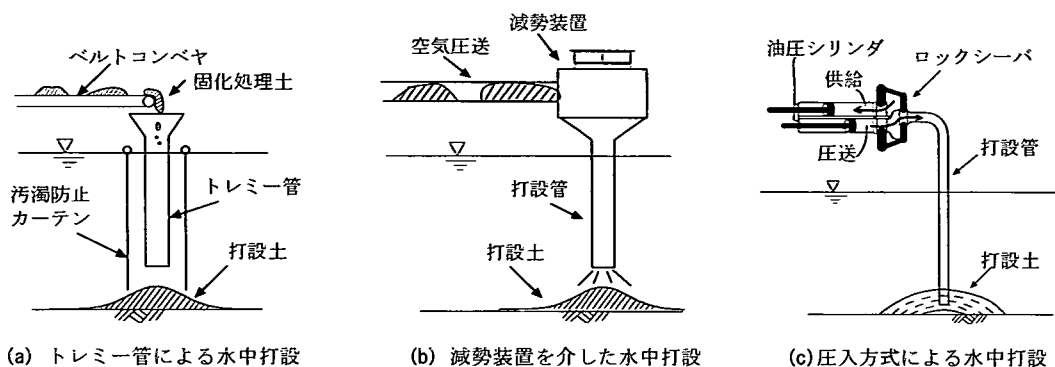


図-10 セメント混合処理土の水中打設方法の比較

搬・打設方法において、強制的な送泥圧力が備えられていないので打設管を着底させた状態での連続施工は難しい。これは、着底させると処理土が打設管内に閉塞しやすいためである。

図-10(c)に示す圧入方式による水中打設方法は、粘性土を対象とした事前混合処理工法の一つであり、セメント混合処理土を運搬および打設するために、最大送泥圧が7MPaという強力な圧送ポンプを備えている¹⁾。圧送ポンプは、主に左右2本の油圧シリンダとロックシーバから構成している。運転中、一方のシリンダから処理土を送り出すとき、もう一方のシリンダには処理土を供給し充填している。一方のシリンダが圧送を終えると、ロックシーバが切り替えを行いもう一方のシリンダから処理土の圧送が始まる。このように、処理土の圧送が連続的に行われることになる。

圧送ポンプの強制的な送泥圧力により、打設管が打設土中に挿入した状態でも連続的な打設施工が可能となった。この方法で施工すると、打設土体は、マグマが供給された火山の溶岩ドームが徐々に成長するように、打設された地盤全体が膨れて上昇する。また、打設速度が100cm/sを超えると水中材料分離の可能性が大きくなるが^{3), 4)}、通常直径35cmの打設管で300m³/hr程度の処理土を打設する場合、実質打設速度は87cm/sである。この工法では処理土は打設完了まで海水に触れず、水中材料分離の可能性が小さいと思われる。ただし、現存する専用作業船の処理能力は管中混合固化工法よりも小さいので1m³あたりの工事費用はやや高くなる。また、水中・気中を問わず締め固めによらない法面施工が求められるが、この場合打設時に1~2kN/m²のせん断強度が必要である。しかしこのせん断強度は大きな管内摩擦をもたらすため、1kmに及ぶような長距離運搬の際、施工上圧送距離の検討が課題となる。

(2) 実工事における水質観測

打設実験により、粘着力のある処理土を圧入方式で打設すれば材料分離の少ない水中打設ができることが分かった。筆者らはこれまでに、160万m³を超えるセメント混合処理した浚渫土を施工した。このうち2/3以上は海中での施工であり、図-10(c)に示す圧入方法で打設した。図-11に代表的な実施例4つを示すが、工事中に水中施工に伴った水質調査を実施しており、これらの観測結果を紹介する。

事例1は水産物加工関連施設の用地を確保することを目的として行われた人工島埋立工事である。セメント混合処理土はトラフィックビリティ確保のための表層固化盤として用いられた。周辺海域ではカキ等の浅海養殖が盛んであり、しかも近隣は国の特別名勝として指定された観光地でもある。したがって、セメントを用いた埋立造成による海水への影響を十分に配慮する必要があった。対策として、予め固化処理土と矢板を用いた仮締切りによって埋立地周囲を囲み、工区外海水と処理土を常時遮断することで埋立施工を進めた。

施工中、海域への影響を管理するために随時海水の濁度とpHを調査した。採水位置は主に、仮締切りの内側と外側、養殖場近傍の3ヶ所とした。図-12に工事中における海水水質の経時変化を示す。仮締切り内外の濁度は最大約60ppmと高い数値を示すが、養殖場近傍は概ね20ppm以下に収まっている。なお、養殖場近傍においては一時的にやや高い数値も出たが、これは降水後、河口からの濁りによるものであった。一方、仮締切り内のpHは工事後半に10近くまで上昇したものの、仮締切り外側と養殖場近傍でのpHは7.9~8.3とほぼ一定値で推移し、仮締切りの効果が発揮した。工事終了後21日の水質調査では、濁度が10ppm以下、pHが8.5以下に低下した。

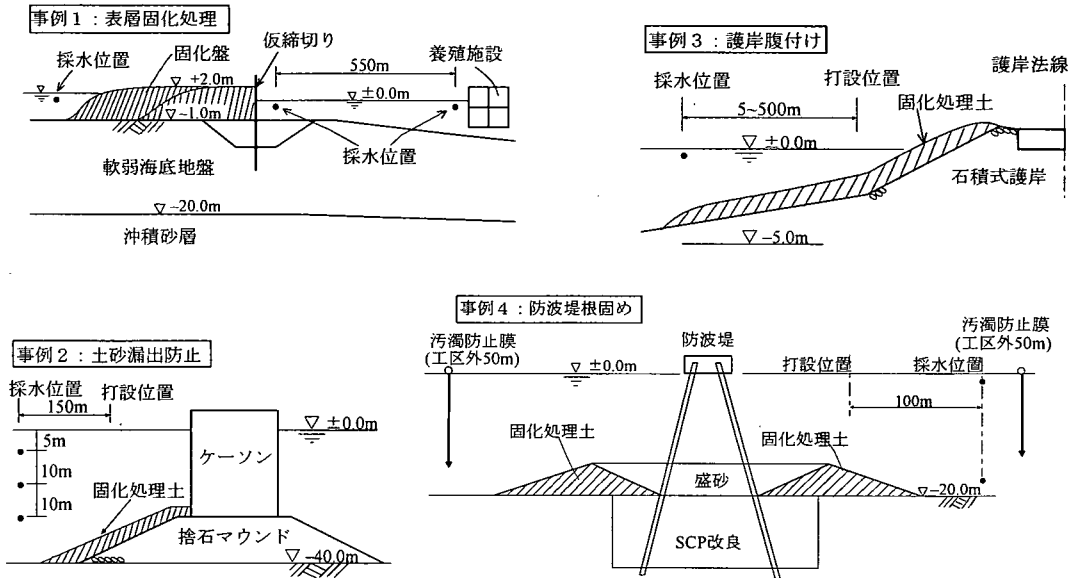


図-11 セメント混合した浚渫土の水中施工例と水質調査の概要

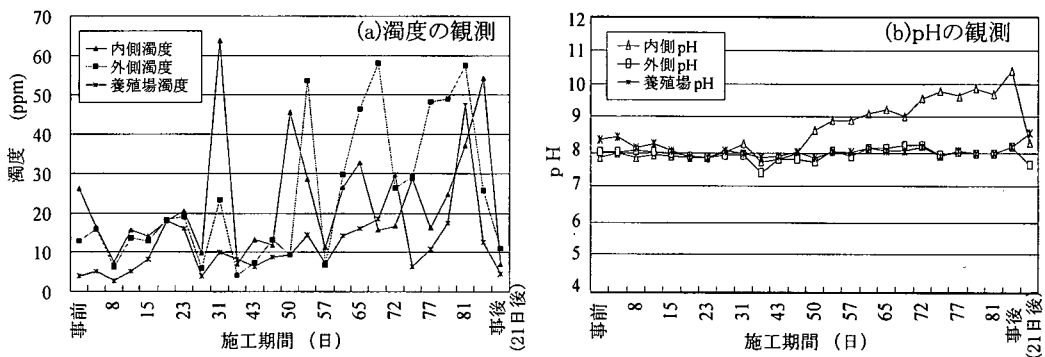


図-12 事例1における水質調査の結果

事例2では、セメント混合処理土を埋立護岸の土砂漏出防止工として利用した。従来、護岸背面の吸い出し防止には防砂シートを敷設する方法が一般的である。しかし、本工事では40mにも及ぶ大水深であるため防砂シートの水中敷設が困難と判断され、セメント混合処理した浚渫土が採用された。

図-13に工事中に実施した水質調査の結果を示す。図中、No.1~No.3は打設点より150m離れた場所であり、BG.1とBG.2はそれぞれ打設点より700m、1200m離れた場所であった。施工中の測定結果をみると、150m圏以外の海水濁度は2~5ppmであり、pHの変動範囲は7.9~8.25であった。

事例3では、セメント混合浚渫土を護岸腹付け工に用いた。図-11の概要図から分かるように、本工事の大半は水中打設であり、残りは気中打設となっている。水中打設中に、打設管の左右と前方の各位

置にて表層の水質調査を実施した。図-14に現場で行った測定の結果を示す。水質調査は二日間にわたって二回行ったが、一回目の結果に比べて二回目の濁度は上昇した。本工事中は、埋立地内に管中混合方式による水中打設や、高含水比による浚渫土砂の投入が平行して行われており、また潮位差によって一日に二回護岸堤体を通して海水の往来があった。これらの影響を考慮すると、濁度とpHの測定値に一定の変動があると推測できる。

事例4では、区域内での発生浚渫土砂をセメント混合により防波堤の下部根固め工として有効利用を図っている。施工水深は約20mとなっている。施工区域の周辺には防護となる構造物がなく、ほぼ自然な海上条件での水中打設施工であったといえる。当海域においては潮位差が最大3.6mあるものの、潮流は感じられない程度である。

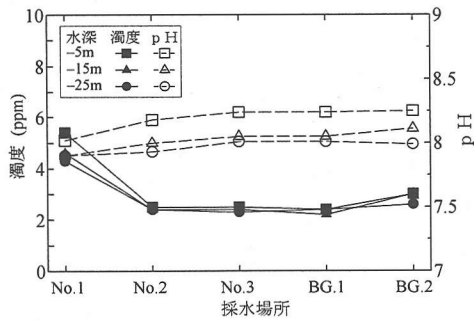


図-13 事例2における水質調査の結果

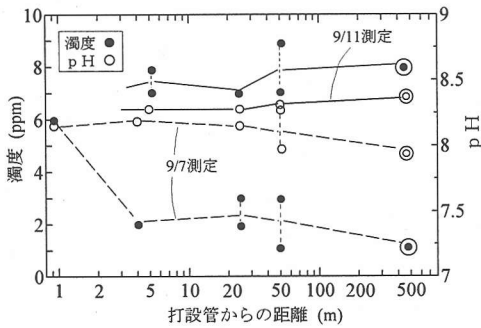


図-14 事例3における水質調査の結果

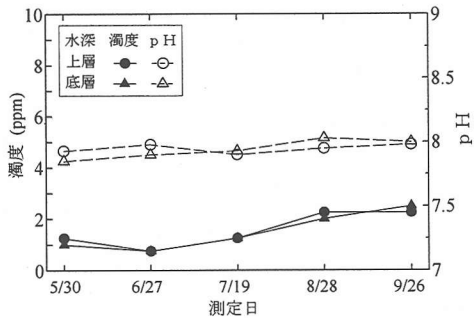


図-15 事例4における水質調査の結果

水中施工による汚濁拡散を防ぐことが求められ、工事区域の周囲に汚濁防止膜を設置した。工事中、海域への影響を管理するために毎日水質調査（汚濁防止膜内）を行った。採水位置は打設船団より100m半径の4ヶ所としており、採水水深はそれぞれ海面より0.5mおよび、海底より2.0mの2水深とした。図-15に測定結果を示すが、水中施工による海水水質の異常は全く認められなかった。

5. 海域への影響について

図-16に各実験および工事で実測した濁度とpHを吐出口からの距離を横軸にまとめた。図-16(a)

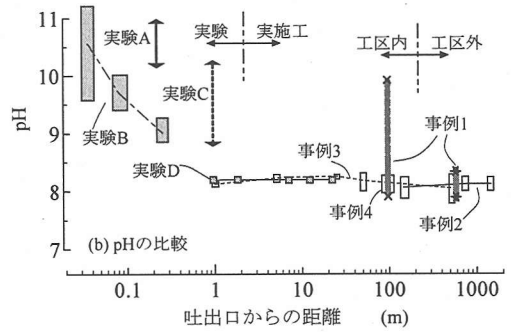
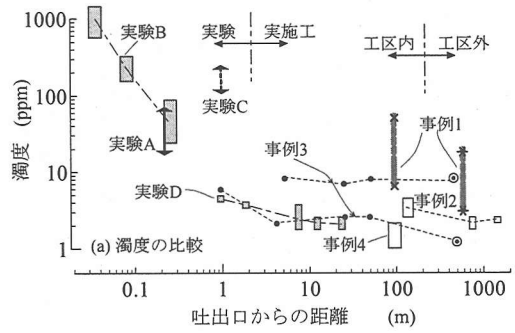


図-16 打設実験と原位置の水質測定の結果比較

の傾向によれば、吐出口から離れると濁度は急速に低下し、5mほどより先では非常に低い値に落ちついている。このような特性を把握する手法の一つとして、例えばガウス分布を用いた拡散関数が考えられる。この方法による汚濁拡散の予測には、濁りの発生量や、拡散係数、海水の流れなどを的確に把握する必要がある。写真-1, 2は混合処理土の水中打設中とその後に撮影したものである。打設中や直後は打設土の2~3m周囲に一定の濁りが発生し雲のように水中を漂うが、数時間後徐々に消失することが施工中に観察された。図-16(b)に示すpHの拡散特性をみても、濁度と同じ傾向が認められる。

なお、他の事例に比較して、事例1での濁度が目立っている。この海域の水深は0~2mしかなく、潮汐などによる濁りの発生が主な自然要因となっている。また、事例1において仮締切り内でのpHは明らかに高い数値を示したが、工事中に泥上車などの施工機械が頻繁に仮締切り内を走行したために、打設土は海水と攪拌された状態であった。しかし、仮締切り対策によって外部への汚濁拡散がほぼ防げた。工事期間中、養殖関係者自ら周囲の海水水質に対して随時調査を行ったが、当埋立工事に対する苦情は出なかった。

図-16の実例データによれば、混合処理土の施工に伴った汚濁拡散は打設点付近の数メートルに限られていることが分かる。これより離れた水域では濁

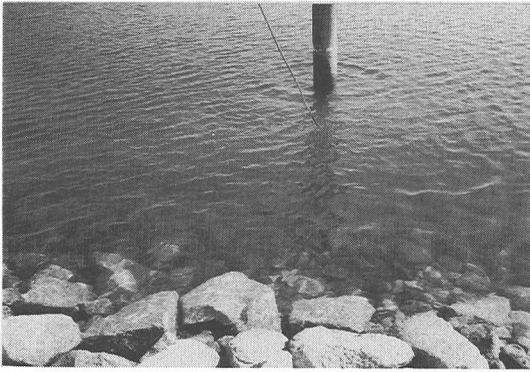


写真-1 打設時の状況



写真-2 打設直後の状況

度は1~8ppm, pHは7.8~8.2という小さな範囲に収まっている。一般に、汚濁の発生を停止した場合、周囲海水の流れがないとすれば、濁度は時間の経過とともに低下するが、pHは時間が経過しても低下する傾向がないとされている¹²⁾。しかし、水道水と違い海水にはアルカリに対する緩衝作用がある⁶⁾。例えば、普通ポルトランドセメント2g/l以上を水に解かしたときに、水道水のpHは12以上と大きく上昇するのに対し海水のpHは10.3程度でほぼ一定値となる。これは海水中に含まれるマグネシウムイオンによってアルカリイオンが中和されるからと解釈されている。一方、海水は、アルカリ溶出液に対する希釈能力も非常に大きいと言われている。50倍量の海水で希釈するとアルカリ溶出液の影響が見られなくなるとされている¹²⁾。

自然界でのpHと濁度は一定ではなく、図-17の常滑沖での観測値¹³⁾で示されるように、pHが8~8.5、濁度が1~10ppmに変動している。海域条件によって異なるものの、この程度の値は自然界において一般的である。図-16と図-17の結果はほぼ一致していることから、圧入方式による汚濁拡散は、自然界の変動範囲を超えていないといえる。

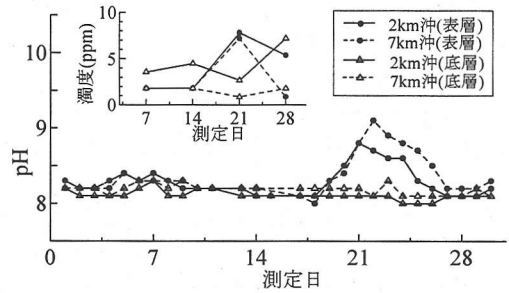


図-17 自然界（常滑沖）での海水水質変動¹³⁾

表-2 海域に係る環境基準¹⁴⁾

類 型		p H
A	水産1級, 水浴, 自然環境保全およびB以外の欄に掲げるもの	7.8~8.3
B	水産2級, 工業用水およびC以外の欄に掲げるもの	7.8~8.3
C	環境保全	7.0~8.3
備 考	自然環境保全: 自然探勝などの環境保全 水産1級: マダイ, ブリ, ワカメなどの水産生物用および水産2級の水産生物用 水産2級: ボラ, ノリなどの水産生物用 環境保全: 国民の日常生活において不快感を感じない限度	

以上のように、圧入方式による海水中打設においては、施工に伴った海域への影響は少なく、その影響の度合いは自然界での変動範囲を超えない程度であることが判明した。ちなみに、海洋汚染に係る環境基準¹⁴⁾では、pHについて表-2のように設定されている。また、濁度について明らかな規定はなく、水質汚濁防止法に基づく排出基準¹⁵⁾では浮遊物質量SS<200ppm(濁度<125ppm相当)と設定されているが、平常時海域の濁度が15ppm以下なら問題ないとされている。

6. 結 論

一連の水中打設実験および実工事における観測結果より、以下のことが明らかになった。

- (1) セメント混合処理土を水中打設するとき、材料分離を起こさせないことが重要である。浚渫土の性質にもよるが、打設管を着底させ圧入方式によって打設すれば、水中施工した処理土は気中施工した場合の9割以上の圧縮強度が確保できる。しかし、砂質土の場合、処理土を水中落下させて打設すると、材料分離が激しく起こり期待した固化強度が得られない。したがって、水中打設の際、

土質に留意し打設方法を検討する必要がある。

- (2) 水中材料分離という現象は、細粒分やセメント成分が固化処理土から分離することであり、これらの遊離物が海水を濁し pH を上昇させることとなる。小規模の水中打設実験では、打設管着底による打設において濁度 100ppm 以下であったのに対し、自由落下させる打設において 200~400ppm と高い数値を示した。一方造船ドックにおける実スケールの水中打設実験では、濁度は最大 6ppm、pH も 8.1 から 8.2 と測定され、圧入方式による海水への負荷は極めて小さいことが示された。
- (3) 実施工でよく用いられる混合処理土の水中打設方法を説明した。水中打設実験と実例の測定結果を比較することにより、圧入方式による汚濁拡散は施工位置の数メートル範囲に限られ、これ以外の海水域における濁度と pH の変化は自然界の変動範囲を超えないことが判明した。
- (4) 室内規模の水中打設実験は、各打設方法の優劣や打設した処理土の品質評価には有効である。水質評価にあたっては、室内実験の測定値と現地施工の計測値は大きく異なるが、海域条件と水中打設に伴う汚濁発生量等を確定に把握して、小規模実験に基づいた海水汚濁の予測が可能である。

謝辞：一連の室内・屋外水中打設実験に協力いただいた(株)トクヤマならびに九州大学大学院修士課程の岡本弘基氏に厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 善見政和, 笹田 彰: 名古屋港第三ポートアイランドの遊水池仕切り築堤の施工, 土木技術, 55 巻 7 号, pp.75-80, 2000.
- 2) 善見政和, 笹田 彰, 土田 孝, 湯 怡新, 宮崎良彦:

セメント固化処理による浚渫土の新しい有効利用法, 第 55 回土木学会年次発表会, VI-234, 2000.

- 3) 土田 孝, 松下弘志, 吉原正博, 輪湖建雄: 水中打設時における気泡混合処理土の材料分離抵抗性の評価, 土木学会論文集, No.644/VI-46, pp.1-12, 2000.
- 4) 今井五郎, 早矢仕雅弘, 佐藤幸孝: 高止水性を目的とした土質材料の流動特性と水中不分離性, 第 35 回地盤工学研究発表会, pp.1187-1188, 2000.
- 5) 湯 怡新, 中林 進, 藤村浩幸, 浜福健二, 酒井敏明, 柳原勝也: プレミックス処理土の水中打設特性, 第 33 回地盤工学研究発表会, pp.2255-2256, 1998.
- 6) 岡本弘基: セメント固化処理土の水中打設に伴う材料分離とその改善方法に関する研究, 九州大学工学部建設都市工学科卒業論文, p.64,2000.
- 7) 岡本弘基, 落合英俊, 安福規之, 大嶺 聖, 湯 怡新: セメント固化処理土の水中打設に伴う材料分離とその対策, 第 35 回地盤工学研究発表会, pp.1247- 1248,2000.
- 8) 湯 怡新, 温井達雄: セメント処理した浚渫土の水中打設による汚濁拡散実験, 第 54 回土木学会年次発表会, 第Ⅲ巻 B, pp.556-557,1999.
- 9) 善 功企: 液状化対策としての事前混合処理工法の開発, 土と基礎, 土質工学会, Vol.38, No.6, pp. 27-32, 1990.
- 10) 安立重昭: 管中混合固化工法の動向について, 港湾技術研究所特別講演会「一日港研 in 名古屋」, pp.43-60,1999.
- 11) 運輸省港湾局技術課: 浚渫土のリサイクル技術に係る民間技術評価証, 浚渫軟泥土のプレミックス工法,1998.
- 12) (財) 沿岸開発技術研究センター: 事前混合処理工法による処理地盤の設計について, pp. 12-21, 1989.
- 13) 中部国際空港株式会社ホームページ, 11 月更新, 2000.
- 14) 環境基本法, 法律第 91 号, 1993.
- 15) 水質汚濁防止法, 法律第 138 号, 1970.

(2001. 6. 8 受付)

ENVIRONMENTAL IMPACTS ON SEAWATER DUE TO CASTING CEMENT TREATED SOIL UNDERWATER

Yi Xin TANG, Yoshihiko MIYAZAKI, Hidetoshi OCHIAI,
Noriyuki YASUFUKU and Kiyoshi OMINE

Cement treated soils are often cast underwater in coastal constructions. If the soil separates seriously during the process of underwater casting, there is the possibility to result in environmental impacts on the surrounding water. Underwater casting methods of cement mixed soils are explained. Practical examples by compelled casting method are presented. This method is to cast cement mixed soil underwater by erecting the casting pipe into the freshly cast ground and to expand it silently. Turbidity and pH actually observed in projects are also reported.