

# 平成23年度（財）港湾空港建設技術サービス センター研究開発助成報告書

助成番号：平成24年 1月31日付 第11— 3号

研究開発項目：（番号）（1）⑥建設副産物リサイクル  
に関するもの

## 浚渫土砂を用いた環境に優しい ブロック製作技術の開発

平成25年4月30日

九州大学 大学院 工学研究院  
海域港湾環境防災共同研究部門  
春日井康夫

# 浚渫土砂を用いた環境に優しいブロック製作技術の開発

## 1. はじめに

### 1.1 研究開発の目的・意義

従来、港湾の航路泊地の維持管理に伴う浚渫や、船舶の大型化のための浚渫の土砂は、埋立処分が多くなされてきたわけであるが、近年、新たな埋立の事業は、環境保護との両立、地元関係者との合意を含め、実施が益々困難になってきている。また、鉄鋼業においては鉄鋼製造工程で副産物として出る鉄鋼スラグについて、その利用技術の検討が進められてきている。

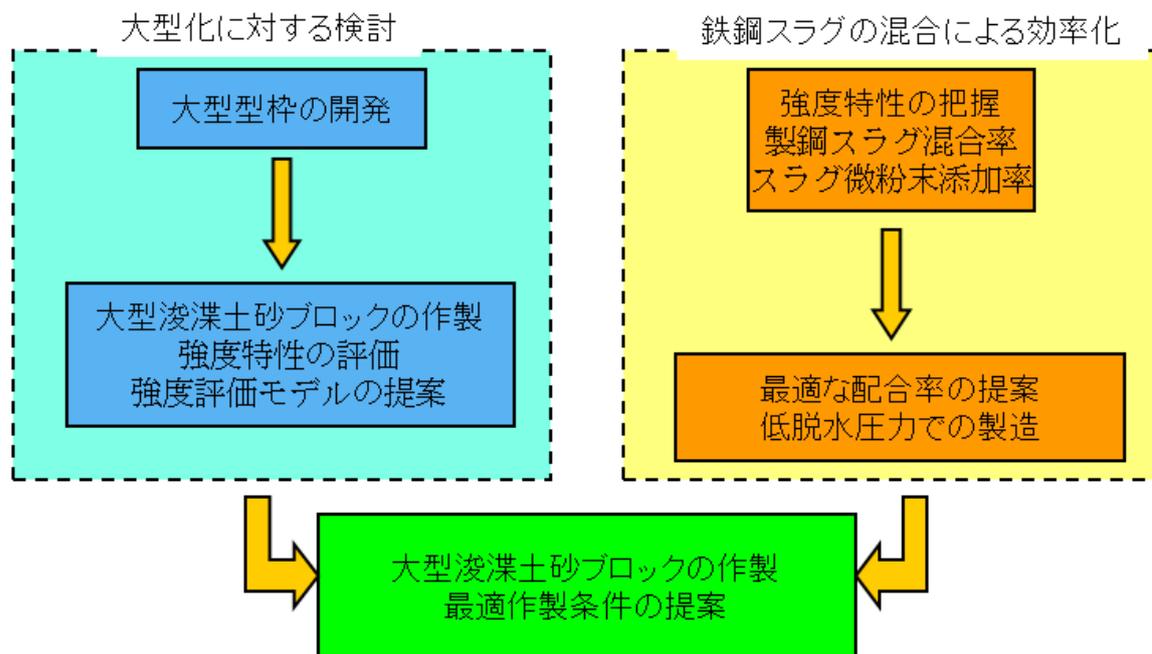
我々の研究グループでは、これまでに浚渫土砂にセメントを混合し、高圧機械脱水を併用する高圧脱水固化技術を開発してきたところであるが、セメントに替えて高炉スラグ微粉末および製鉄スラグを用いて脱水固化体を製作し、環境に優しいブロック製作技術を開発することにより、浚渫土砂を有効活用する技術の確立を目指す。

### 1.2 研究開発の概要

本研究開発では、浚渫土砂とスラグによる固化体の強度特性および圧密特性を把握するとともに、脱水固化による強度増加や大型化による課題を整理し、最適なブロック製作技術の提案を行う。なお、研究計画全体の位置づけがわかる資料を下図に示す。

- 1) 浚渫土スラグ固化体の強度・圧密特性の把握
- 2) 高圧脱水成型装置による大型化及び高強度化技術の開発

## ステージI(H24年度まで)



本報告書では、2. 高圧脱水処理したスラグ石灰混合浚渫土の強度特性において、浚渫土砂とスラグを混合した場合の強度特性等の評価を行い、3. 浚渫土ブロックの現地適応性において、浚渫土を用いた固化体構造物を3年間設置した状況のモニタリング調査の結果を報告し、さらに4. 大型構造物作製の効率化についてにより、ドレーン排水を用いた大型脱水実験ならびに強度試験の結果を取りまとめる。

## 2. 高圧脱水処理したスラグ石灰混合浚渫土の強度特性

### (1) 実験概要

#### a) 実験装置

実験装置を図-1 および図-2 に示す。図-1 は、定圧荷重装置(高圧大変位圧密装置、マルタニ試工株式会社製)の全体図である。本装置は、3 連式定圧荷重装置であり、同時に 3 個の供試体の作製が可能である。また、備え付けの油圧シリンダは 14MPa の圧力まで耐えることが可能であり、高圧による圧密荷重が可能である。

締め固めモールドの概略図を図-2 に示す。このモールドは、内径 5cm、高さ 25cm の円形モールドであり、底板を取り付け、試料を高さ 25cm 詰めて定圧荷重し、供試体を作製した。なお、モールドの内側にろ紙をはり、周面ろ紙排水を取り入れると共に、貫入棒と底板にはポーラスストーンを取り付け上下端から排水させた。

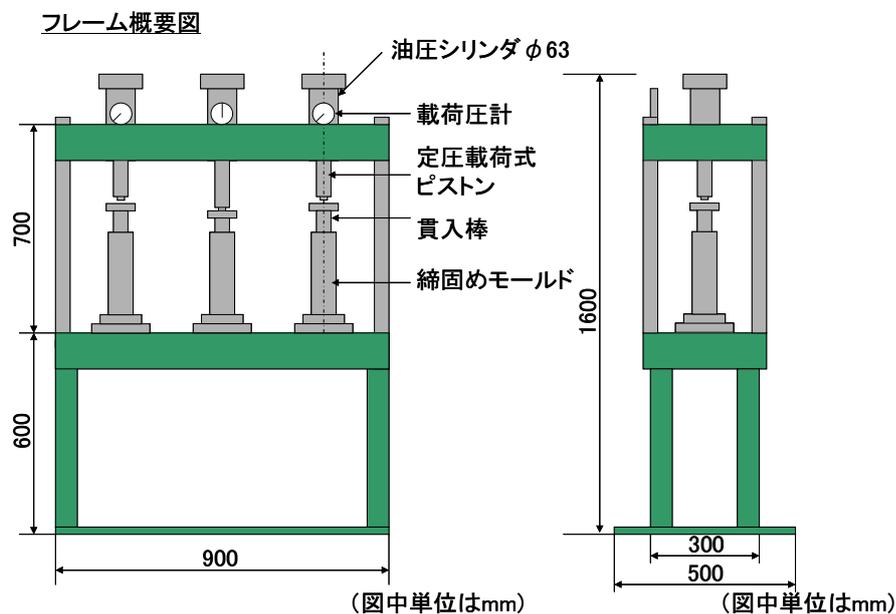


図-1 定圧荷重装置

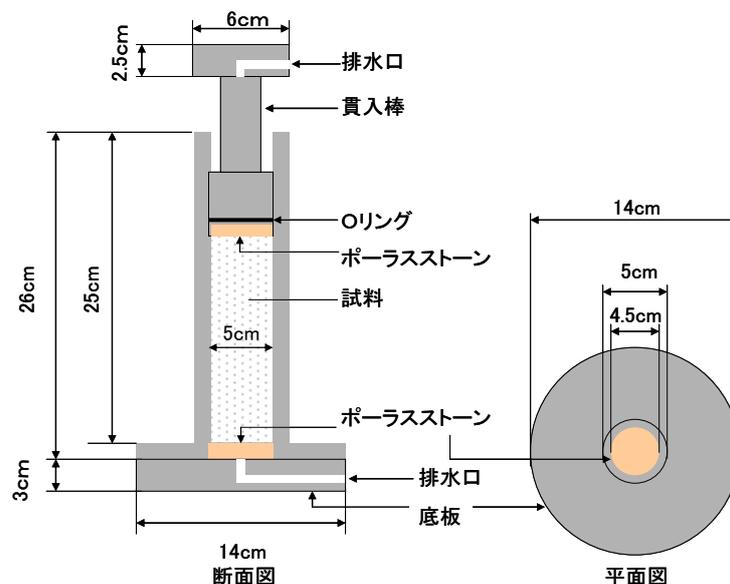


図-2 締め固めモールド概略図



写真-1 実験装置



写真-2 締めめモード



写真-3 変位計



写真-4 養生用デシケータ



写真-5 ハンドミキサー



写真-6 測定器



写真-7 炉乾燥機



写真-8 一軸圧縮載荷装置

また、これら実験装置について载荷中の写真を**写真-1**に示す。**写真-2**は左から载荷板、底板、締固めモールドである。**写真-3**に実験中の沈下量を測定するために設置した変位計を示す。**写真-4**には供試体を養生するための養生用デシケータを示す。**写真-5**に含水比を調整する時の試料攪拌とセメント処理時のセメント改良土の攪拌に用いるハンドミキサー(日立製)を示す。**写真-6**に供試体作製時の変位計と一軸圧縮強度試験時の変位計および圧力計のデータを読み込む測定器を示す。**写真-7**は養生後に破壊した供試体の乾燥質量を測定するために用いる炉乾燥機を示す。**写真-8**には一軸圧縮強度の測定時に用いる定ひずみ圧密装置(普及型電動圧縮試験機, マルタニ試工株式会社製)を示し、その諸源を表-1に示す。

表-1 定ひずみ圧密装置諸元表

普及型電動圧試験機(マルタニ試工社製)	
载荷能力(ton)	5.0
ストローク(mm)	200
支柱間隔(mm)	400
上下間隔(mm)	600
载荷スピード(mm/min)	0.01~5.0

b) 実験方法

実験方法は以下の通りである。

試料の作製手順

含水比調整

試料として用いる浚渫粘土の初期含水比を  $1.2 w_L(120\%)$ に調整する。調整の方法は、あらかじめ浚渫粘土の自然含水比を測定し、不足分の水を加え、ハンドミキサーで均一になるように、10分間十分に攪拌して調整する。なお、含水比  $x\%$ の試料を  $y\%$ に調整する場合、その不足分の水の質量を算出する式は、**図-3**に示す土の構成模式図を用いて求める。

これより、

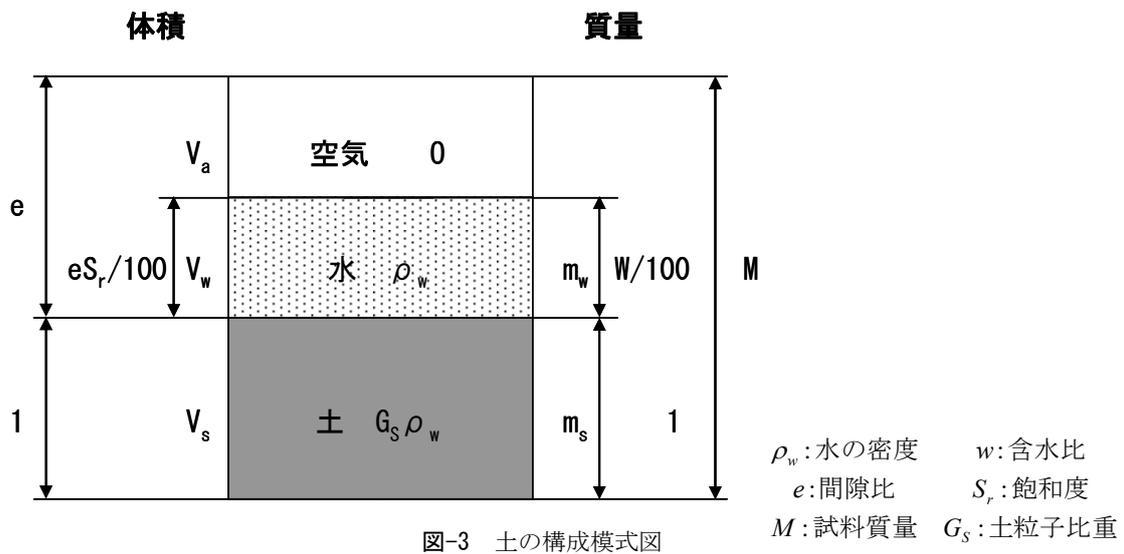
$$m_s = \frac{M}{1 + \frac{w}{100}} \quad (1)$$

$$m_w = \frac{w}{100} \times m_s$$

したがって、含水比  $x\%$ の試料を  $y\%$ に調整する場合、その不足分となる水の質量は、

$$m_w' = \frac{y}{100} \times m_s - \frac{x}{100} \times m_s = \frac{(y-x)}{100} \times m_s \quad (2)$$

となる。



#### スラグおよび石灰の混合に対する含水比の調整

スラグおよび石灰を混合することにより含水比が変化するため、スラグおよび石灰の混合に対する含水比の調整も行う。含水比  $y\%$  の試料を  $z\%$  の消石灰混合率で改良する場合、スラグ混合による含水比調整のための不足水分質量は、式(3)で表される。ただし、ここでいうスラグ混合率とは、土の乾燥質量に対するスラグの質量の割合を表したものである。

$$m_{sl} = \frac{z}{100} \times m_s \quad (m_{sl}: \text{消石灰質量})$$

$$m_{wsl} = \frac{y}{100} m_{sl} \quad (3)$$

#### (4) 排水用ろ紙の準備

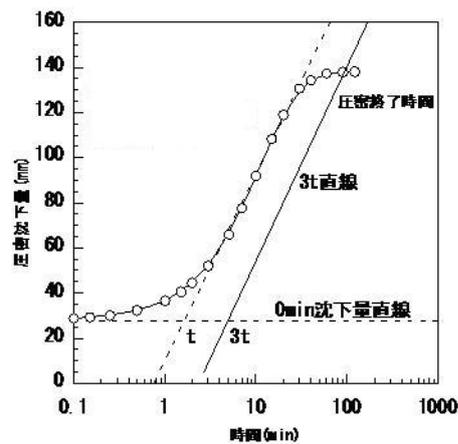
圧密排水のために、上下端用として  $\phi 5.0\text{cm}$  の円形と周面排水用に  $15.2\text{cm} \times 20\text{cm}$  の長方形にろ紙をそれぞれ切り取り、準備する。

## 供試体の作製手順

供試体はモールド( $\phi 5.0\text{cm} \times 25\text{cm}$ )を用いて作製した。試料を混合し、10分間十分に攪拌した後、気泡を残さぬように振動を加えながら重填した。この際、前もってろ紙をモールドの内側と下端に敷いておく。モールド上端まで満たしたら、すりきり棒を用いて上縁を平らに仕上げ、その上にもろ紙を敷く。スラグ処理された試料で満たしたモールドを定圧載荷装置にセットして所定の条件で載荷した。また、載荷中は変位計を用いて圧密沈下量を測定するとともに、片対数グラフを用いて、3t法により圧密終了時間を求める。圧密終了時間まで定圧載荷した後、スラグ処理土を除荷、脱型し供試体をモールドから取り出し供試体を作製した。

## 一軸圧縮試験

供試体作製後、出来上がった供試体を養生用デシケーター内で28日間養生した。その時、乾燥を防ぐために、水を入れたビニール袋に供試体を入れて口を輪ゴムで閉じ、湿潤状態で養生した。



28日間養生した供試体について一軸圧縮試験を行い、各条件における一軸圧縮強度を求めた。一軸圧縮試験の要領は、以下のとおりである。

供試体の直径（3ヶ所）、高さ（2ヶ所）、質量を測定した。形状を測定した供試体を一軸圧縮載荷装置にセットした。載荷速度を  $1.0\text{mm}/\text{min}$  に設定し、ロードセルと変位計の初期設定を行った。一軸圧縮載荷を開始し、載荷中は変位と荷重を測定し、供試体が破壊し荷重が落ち込んだ後、一定となったのを確認し一軸圧縮載荷を終了して、除荷し供試体を装置から取り出した。破壊後の供試体を炉乾燥機に入れて乾燥させる、乾燥させた供試体を取り出し乾燥質量を測定して供試体の含水比を算出した。

### 実験ケース

結合材には高炉スラグ微粉末を、アルカリ刺激材には消石灰を用い、初期含水比を 120%とした。高炉スラグ微粉末と消石灰は、浚渫粘土の乾燥質量に対する比率(以降、スラグ石灰混合率)で、20、30%、40%、50%および60%の量で混合した。また、高炉スラグ微粉末:消石灰の比(以降、スラグ石灰配合比と呼ぶ)は、9:1、7:3、5:5、3:7および1:9で配合した。載荷圧は10MPaと設定した。実験条件を表-2に示す。その条件で、以下の表-3の実験ケースについて実験を行った。

表-2 実験条件

母材	博多港土砂
結合材	高炉スラグ微粉末
アルカリ刺激材	消石灰
初期含水比	1.2w <sub>L</sub>
スラグ石灰混合率	20% 30% 40% 50% 60%
脱水圧力	10MPa
脱水条件	上下端周面排水
養生日数	28日間
養生条件	温度20℃ 湿度≥90%

表-3 実験ケース

スラグ石灰混合率 (%)	スラグ石灰配合比 (高炉スラグ微粉末:消石灰)	載荷圧 (MPa)
20	9:1	10
	5:5	10
	1:9	
30	9:1	10
	7:3	10
	5:5	10
	3:7	
	1:9	
40	9:1	10
	7:3	10
	5:5	10
	3:7	
	1:9	
50	9:1	10
	5:5	10
	1:9	
60	9:1	10
	5:5	10
	1:9	

(2) 実験結果と考察

a) 応力ひずみ曲線

各条件での応力ひずみ曲線を以下で示す。図の凡例はスラグ石灰配合比/供試体番号を示す。  
スラグ石灰混合率 20%のときの、応力ひずみ曲線を図-4 に示す。

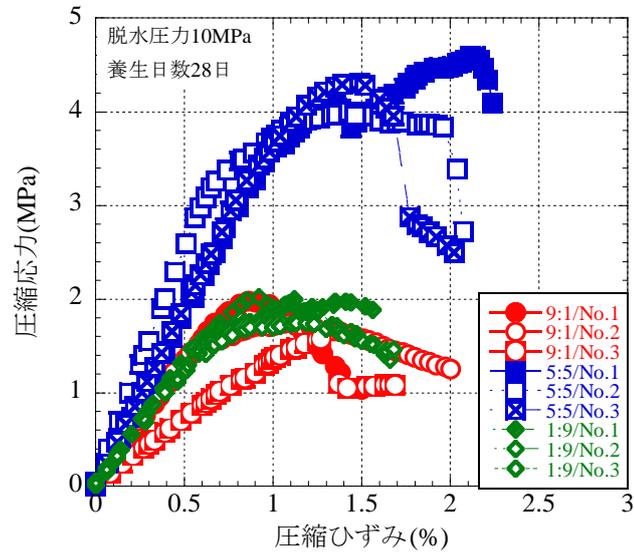


図-4 スラグ石灰混合率 20%の応力ひずみ曲線

スラグ石灰混合率 30%のときの、応力ひずみ曲線を図-5 に示す。

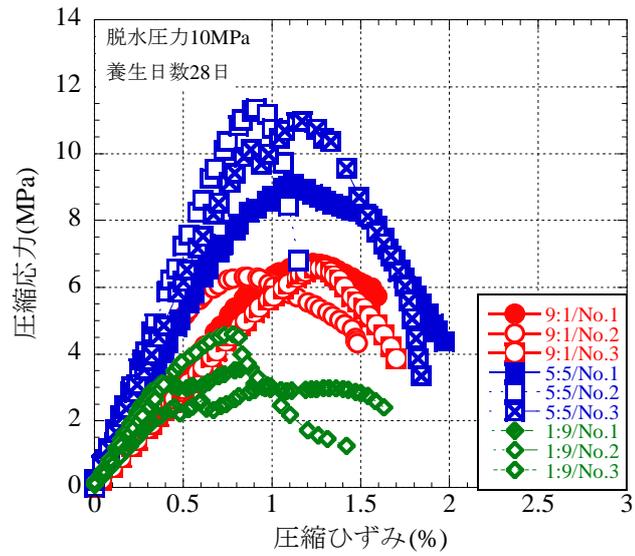


図-5 (a)

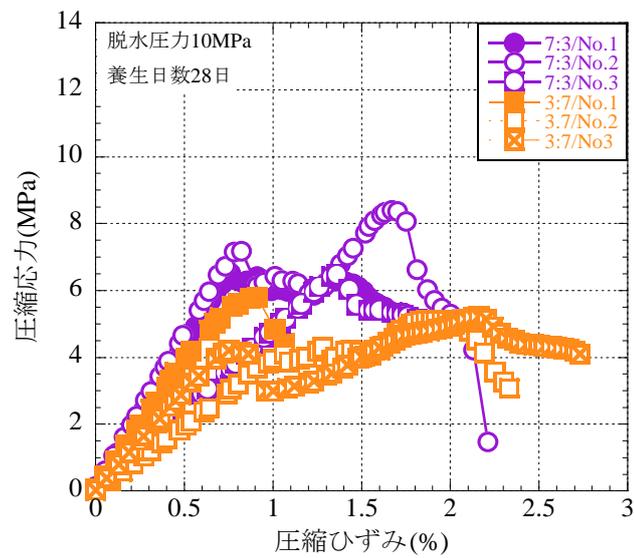


図-5 (b)

図-5 スラグ石灰合率 30%の応力ひずみ曲線

スラグ石灰混合率 40%のときの、応力ひずみ曲線を図-6 に示す。

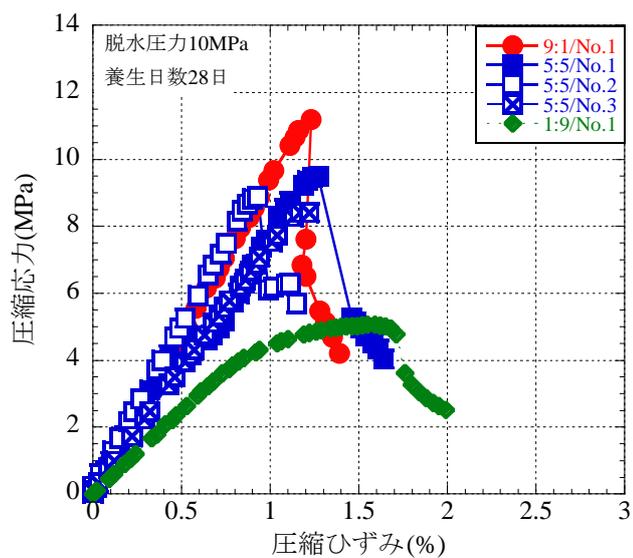


図-6 (a)

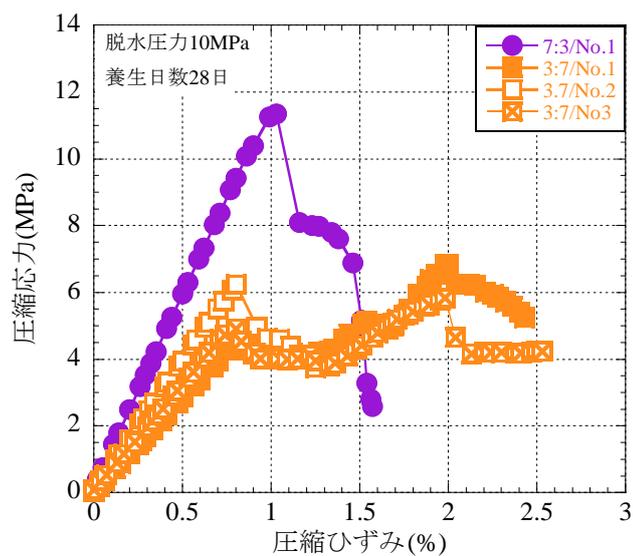


図-6 (b)

図-6 スラグ石灰混合率 40%の応力ひずみ曲線

スラグ石灰混合率 50%のときの、応力ひずみ曲線を図-7 に示す。

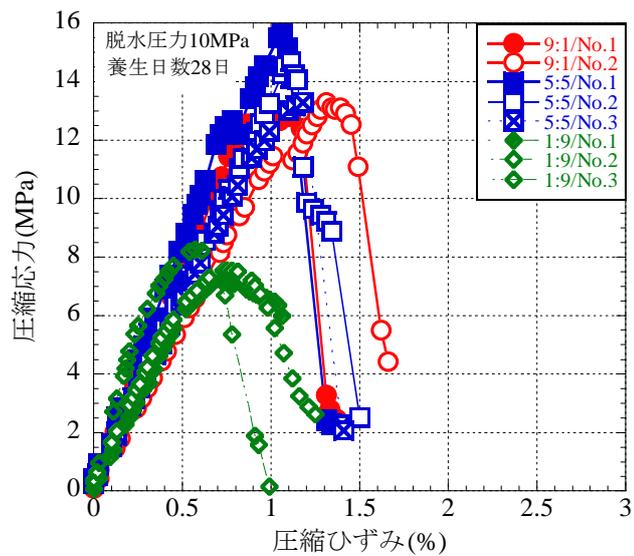


図-7 スラグ石灰混合率 50%の応力ひずみ曲線

スラグ石灰混合率 60%のときの、応力ひずみ曲線を図-8 に示す。

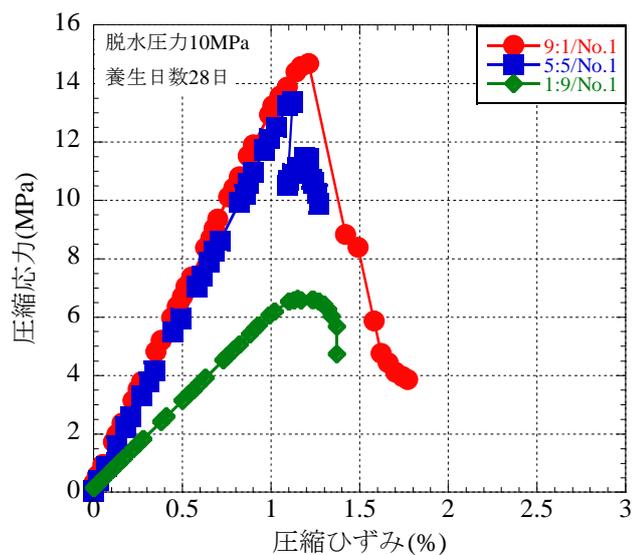


図-8 スラグ混合率 60%の応力ひずみ曲線

一軸圧縮試験時の結果について各条件のデータを表-4 に示す。

表-4 一軸圧縮試験結果

表-4(a) 一軸圧縮試験結果(スラグ石灰混合率 20%から 30%)

スラグ石灰混合率 (%)	GGBFS比 (x/10)	石灰比 (x/10)	載荷圧 (MPa)	供試体No	供試体重量 (g)	平均直径 (mm)	平均高さ (mm)	一軸圧縮強さ (MPa)	$\epsilon_f$ (%)	E <sub>50</sub> (MPa)
20	9	1	10	1	432.23	49.97	109.55	1.98	0.86	274.99
				2	431.22	50.03	109.02	1.74	1.04	300.63
				3	404.48	50.02	102.66	1.58	1.27	146.12
	5	5	10	1	446.8	50.01	111.80	4.60	2.11	359.04
				2	445.5	50.03	110.53	4.01	1.39	513.46
				3	422.03	50.03	106.70	4.31	1.42	385.22
	1	9	10	1	427.29	49.90	112.90	1.98	1.35	282.46
				2	425.21	49.97	112.84	1.75	1.13	264.61
				3	406.7	50.00	107.33	2.02	0.92	259.02
30	9	1	10	1	452.93	50.18	109.75	6.73	1.23	623.06
				2	444.74	49.91	107.84	6.32	0.84	1169.81
				3	428.79	50.13	105.37	6.58	1.24	587.05
	7	3	10	1	453.34	49.95	110.78	6.53	0.76	932.54
				2	453	50.02	110.16	8.41	1.67	955.12
				3	437.21	50.11	106.71	6.49	1.36	491.56
	5	5	10	1	451.82	50.16	110.21	9.11	1.16	1059.53
				2	449.51	50.03	109.94	11.35	0.91	1455.64
				3	428.1	50.18	103.67	10.98	1.17	1338.78
	3	7	10	1	453.55	49.97	115.30	5.81	0.91	785.00
				2	451.79	50.04	113.62	5.12	1.89	382.11
				3	420.88	50.02	105.46	5.23	2.16	622.95
	1	9	10	1	433.49	50.03	113.35	3.58	0.85	993.06
				2	427.96	49.98	110.27	4.61	0.76	795.02
				3	406.04	50.03	105.64	3.06	1.01	612.00

表-4(b) 一軸圧縮試験結果(スラグ石灰混合率 40%から 60%)

スラグ石灰混合率 (%)	GGBFS比 (x/10)	石灰比 (x/10)	載荷圧 (MPa)	供試体No	供試体重量 (g)	平均直径 (mm)	平均高さ (mm)	一軸圧縮強さ (MPa)	$\epsilon_f$ (%)	$E_{50}$ (MPa)
40	9	1	10	1	450.36	50.05	107.90	11.23	1.21	968.10
				7	455.19	49.98	110.13	11.35	1.03	1207.77
	5	5	10	1	449.4	49.94	110.62	9.46	1.27	705.94
				2	449.68	50.01	110.36	8.86	0.93	1055.00
				3	421.48	49.99	103.36	8.42	1.17	765.82
	3	7	10	1	445.7	110.36	216.69	6.87	2.00	572.13
				2	450.08	111.60	218.54	6.33	0.84	791.50
				3	421.82	106.29	208.27	5.83	1.98	648.18
	1	9	10	1	440.76	49.98	110.98	5.06	1.55	506.32
	50	9	1	10	1	455.79	50.02	108.83	12.81	1.11
2					452.63	50.10	108.44	13.12	1.34	1150.69
5		5	10	1	452.65	49.94	109.89	15.66	1.06	1740.08
				2	454.22	50.11	110.24	14.69	1.11	1359.80
				3	434.22	49.86	104.37	13.30	1.18	1304.10
1		9	10	1	433.15	50.17	110.15	7.18	0.70	1158.71
				2	436.61	50.17	111.37	7.56	0.75	1400.74
				3	410.22	50.10	104.84	8.27	0.57	2295.83
60		9	1	10	1	455.97	49.98	110.69	14.70	1.21
	5	5	10	1	453.46	49.98	110.29	13.37	1.57	1215.00
	1	9	10	1	439.73	50.01	113.70	6.60	1.20	610.74

一軸圧縮試験時の湿潤密度，乾燥密度および含水比の結果について各条件のデータを表-5に示す。

表-5 湿潤密度，乾燥密度および含水比の結果

表-5(a) 湿潤密度，乾燥密度および含水比の結果(スラグ石灰混合率 20%から 30%)

スラグ石灰混合率 (%)	GGBFS比 (x/10)	石灰比 (x/10)	载荷圧 (MPa)	供試体No	湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水比 (%)
20	9	1	10	1	2.00	1.88	6.72
				2	2.01	1.87	7.15
				3	2.00	1.88	6.62
	5	5	10	1	2.03	1.85	9.73
				2	2.04	1.86	10.00
				3	2.01	1.83	9.93
	1	9	10	1	1.93	1.81	6.97
				2	1.92	1.79	6.95
				3	1.93	1.81	6.71
30	9	1	10	1	2.08	1.88	10.55
				2	2.10	1.92	9.32
				3	2.06	1.85	11.06
	7	3	10	1	2.08	1.87	11.41
				2	2.09	1.87	11.77
				3	2.07	1.86	11.58
	5	5	10	1	2.07	1.88	10.05
				2	2.08	1.87	10.82
				3	2.08	1.88	10.82
	3	7	10	1	2.00	1.79	11.54
				2	2.02	1.82	10.73
				3	2.03	1.84	10.30
	1	9	10	1	1.94	1.79	8.23
				2	1.98	1.83	7.94
				3	1.95	1.81	7.66

表-5(b) 湿潤密度, 乾燥密度および含水比の結果(スラグ石灰混合率 40%から 60%)

スラグ石灰混合率 (%)	GGBFS比 (x/10)	石灰比 (x/10)	載荷圧 (MPa)	供試体No	湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水比 (%)
40	9	1	10	1	2.12	1.88	12.78
				7	2.10	1.87	12.37
	5	5	10	1	2.07	1.86	11.57
				2	2.07	1.85	11.73
				3	2.07	1.86	11.39
	3	7	10	1	2.05	1.84	11.70
				2	2.06	1.83	12.26
				3	2.02	1.81	11.80
	1	9	10	1	2.02	1.84	9.59
	50	9	1	10	1	2.13	1.92
2					2.11	1.91	10.79
5		5	10	1	2.10	1.89	11.17
				2	2.08	1.86	11.87
				3	2.12	1.89	12.29
1		9	10	1	1.99	1.81	9.82
				2	1.98	1.81	9.38
				3	1.98	1.81	9.61
60		9	1	10	1	2.10	1.86
	5	5	10	1	2.09	1.85	13.32
	1	9	10	1	1.97	1.77	11.27

## 強度特性

養生日数 28 日，スラグ石灰混合率 20%，30%，40%，50% および 60%，載荷圧 10MPa の実験条件において，博多港土砂，高炉スラグ微粉末および石灰を混合した試料における一軸圧縮試験より得られた一軸圧縮強さについて配合条件に着目して検討をおこなう。

### スラグ石灰混合率と一軸圧縮強さ

スラグ石灰混合率と一軸圧縮強さの関係を図-9 に示す。

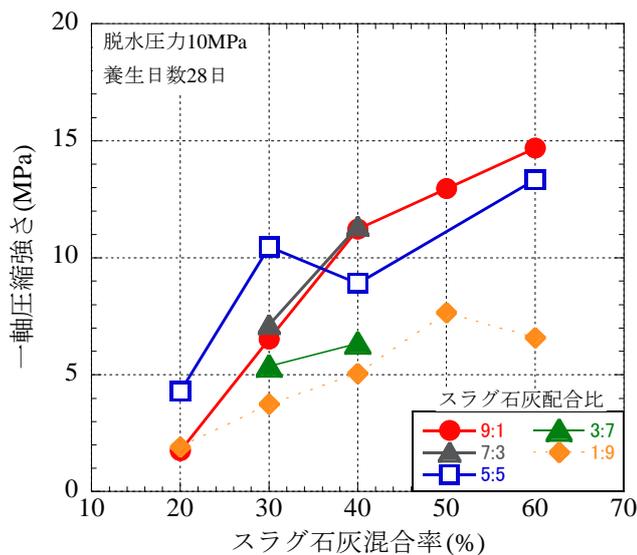


図-9 スラグ石灰混合率と一軸圧縮強さの関係

図-9 より，スラグ石灰混合率を増加するほど，一軸圧縮強さが増加した．また，スラグ石灰混合率が 40%以上では，スラグ石灰配合比において高炉スラグ微粉末の割合を大きくするほど一軸圧縮強さが増加したことが分かる．他にも，スラグ石灰配合比 9:1 の時に着目すると，スラグ石灰混合率 20%の時は一軸圧縮強さが他のスラグ石灰配合比の割合に比べ最も低いのに対し，スラグ石灰混合率 40%以上では最大の一軸圧縮強さになった．このことから，強度発現には高炉スラグ微粉末の配合量が重要であると考えられ，さらに消石灰の割合は大きくなくてよいことが考えられる．

## スラグ石灰配合比と一軸圧縮強さ

スラグ石灰配合比と一軸圧縮強さの関係を図-10 に示す。

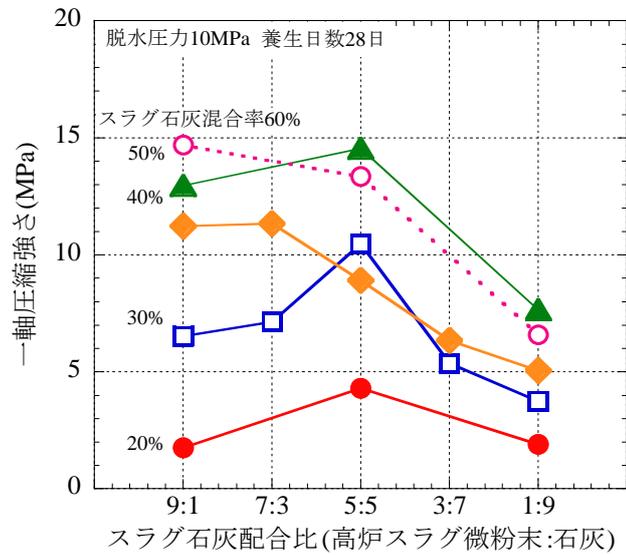


図-10 スラグ石灰配合比と一軸圧縮強さの関係

図-10 よりスラグ石灰混合率 40%以上ではスラグ配合比を大きくするほど、一軸圧縮強さが増加した。しかし、スラグ石灰混合率 30%以下では、スラグ石灰配合比を変えても、ほぼ 10MPa 以下の一軸圧縮強さになった。また、スラグ石灰混合率 30%以下では、スラグ石灰配合比 5:5 の時、最も一軸圧縮強さが大きくなった。このことから、消石灰の割合が、小さ過ぎると、アルカリ刺激が足りず、強度発現しないと考えられる。

図-9 および図-10 より、高炉スラグ微粉末と消石灰を別々に着目していくべきと考えた。

消石灰の浚渫粘土の乾燥質量に対する比率を石灰混合率と呼ぶ。また、高炉スラグ微粉末の浚渫粘土の乾燥質量に対する比率をスラグ混合率と呼ぶ。

石灰混合率と一軸圧縮強さの関係について図-11 に示す。

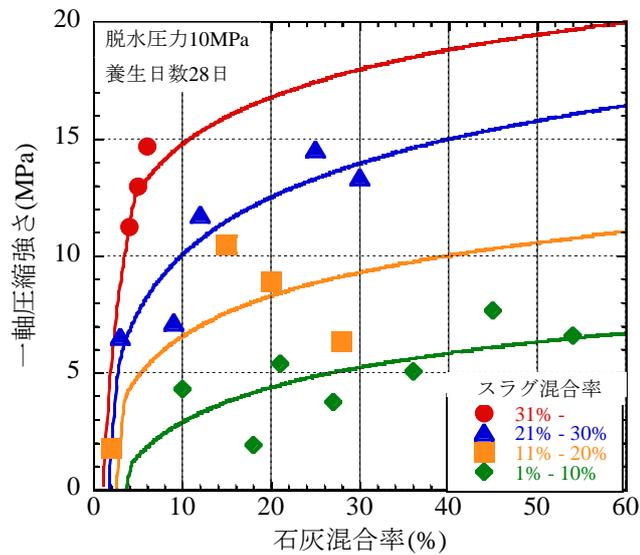


図-11 石灰混合率と一軸圧縮強さの関係

図-11 の凡例はスラグ混合率であり、割合ごとに分けている。石灰混合率 4%以上では、スラグ混合率が増加するほど一軸圧縮強さも増加した。また、石灰混合率 4%およびスラグ混合率 31%以上で、11MPa の強度発現ができた。このことから、高炉スラグ微粉末の潜在水硬性が発揮されたと考えられるので、アルカリ刺激として用いる消石灰の混合率は 4%で十分満たしていると考えられる。しかし、石灰混合率 4%未満では、どのスラグ混合率でも強度発現が見られなかった。これより、石灰混合率 4%以下ではアルカリ刺激が不十分であると考えられる。

石灰混合率 4%以上のときの、つまり、消石灰のアルカリ刺激が十分であるときのスラグ混合率と一軸圧縮強さの関係について図-12 に示す。

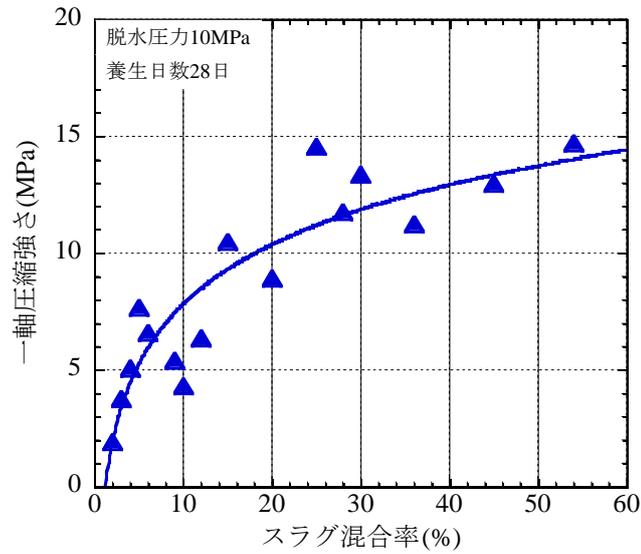


図-12 スラグ混合率と一軸圧縮強さの関係

図-12 より、スラグ混合率の割合が増加するほど一軸圧縮強さが大きくなった。また、スラグ混合率 15%以上で一軸圧縮強さがほぼ 10MPa を超えた。このことから、準硬石相当の強度発現をするためには、スラグ混合率 15%以上および石灰混合率 4%以上であればよいと考えられる。また、図-13 で一軸圧縮強さが 10MPa 以上強度発現した 7 つの条件について調べた。

## 水スラグ重量比と一軸圧縮強さ

水スラグ重量比は、養生後の供試体内の水の重量と高炉スラグ微粉末と製鋼スラグの重量の和の比として定義した。求める式は式(4)である。

$$\text{水スラグ石灰重量比} = W / (SB + SI) \quad (4)$$

$W$ は水の重量， $SB$ は高炉スラグ微粉末の重量， $SI$ は消石灰の重量である。10MPa以上強度発現した配合条件について、式(2.4)で求めた水スラグ重量比と一軸圧縮強さの関係を図-13に示す。

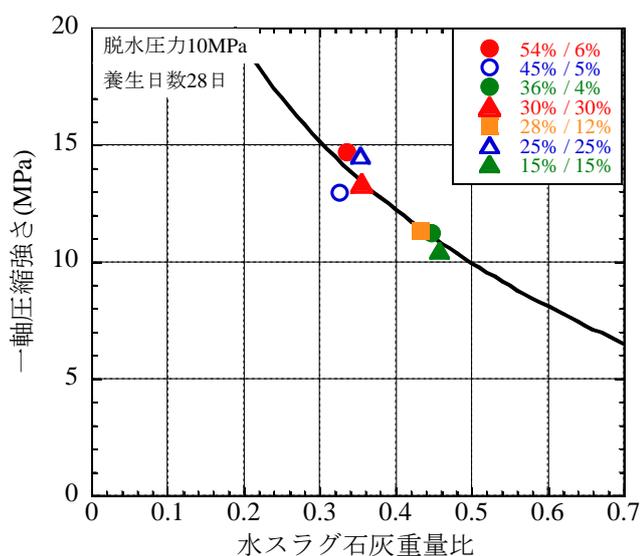


図-13 水スラグ石灰重量比と一軸圧縮強さの関係

図-13より、水スラグ石灰重量比の割合が小さいほど、一軸圧縮強さが大きくなることが分かった。また、水スラグ石灰重量比が0.3のとき、一軸圧縮強さが15Mpaになると考えられる。このことから、水スラグ重量比を小さくすることがスラグ混合浚渫土の強度発現に重要であると考えられる。

## まとめ

- 1) 高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を引き出すためには、石灰混合率を4%以上にすることが必要である。
- 2) 石灰混合率4%以上の時、スラグ混合率を15%以上にすると、スラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さは10MPa以上となり、準硬石相当の一軸圧縮強さとなる。
- 3) スラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さを増加させるには、水スラグ石灰重量比を小さくすることが重要である。

### 3. 浚渫土ブロックの現地適応性

#### (1) 暴露実験位置

暴露実験は、福岡市東区博多湾和白沖に建設中の人工島であるふくおかアイランドシティの一面で行った。図-14 に暴露実験実施場所を示す。



図-14 暴露実験実施場所

#### (2) 暴露条件

表-6 に暴露実験の実験条件を示す。母材には博多港土砂を用い、固化材には高炉セメント B 種を使用した。固化材添加率は、11、22 および 33%とし、初期含水比は 60%とした。荷重の載荷は、定圧載荷で行い、2MPa で 30 分間脱水をした後、5MPa で 300 分間または脱水終了まで脱水した。排水は、両面排水とし、暴露は、岸壁付近の気中、乾湿（潮の干満域）および海中で、1、3 および 12 ヶ月間行った。浚渫土ブロックは、実験条件ごとに 2 体ずつ作製し、計 18 体作製した。暴露した浚渫土ブロックの設置位置外略図を図-15 に示し、気中、乾湿および海中暴露の暴露状況を写真-9、写真-10 および写真-11 に示す。

表-6 実験条件（暴露実験）

母材	博多港土砂
固化材	高炉セメントB種
固化材添加率(%)	11, 22, 33
初期含水比(%)	60
荷重載荷方法	2MPa: 30min → 5MPa: 300min or 脱水終了
排水条件	両面排水
暴露方法	気中, 乾湿, 海中
暴露期間(Months)	1, 3, 12

#### (3) 調査方法

乾湿（潮の干満帯）に設置してある 6 個のブロックの側面において、動植物の被覆率または個体数(概数)を観察するとともに写真撮影を行った。また、対照区として近傍の垂直護岸において、生物の付着状況が周辺部を代表する地点を 1 箇所選定し、ブロックと同じ高さにおける動植物の被覆率または個体数(概数)を観察するとともに写真撮影を行った。

水中部に設置してある 6 個のブロックの上面において、動植物の被覆率または個体数(概数)を観察するとともに写真撮影を行った。また、対照区として近傍の護岸において、生物の付着状況が周辺部を代表する地点を 1 箇所選定し、ブロックと同じ水深における動植物の被覆率または個体数(概数)を観察するとともに写真撮影を行った。

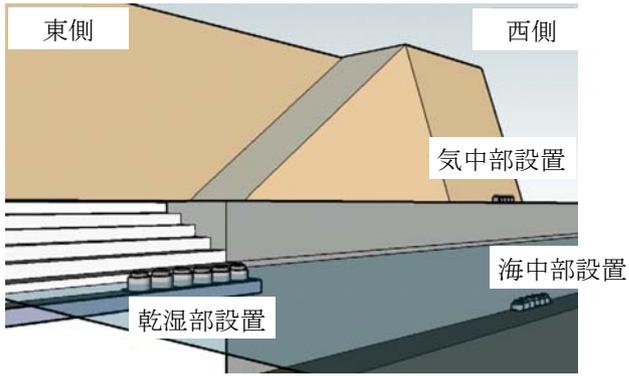


図-15 浚渫土ブロックの設置位置外略図



写真-9 気中暴露



(a) 干潮時



(b) 満潮時

写真-10 乾湿暴露



写真-11 海中暴露

浚渫土ブロックの現地適応性を評価するため、浚渫土ブロック生物付着状況の調査を行った。生物付着状況確認調査の調査時期は、新規加入の付着動物が観察可能となる平成24年4月（暴露期間25ヶ月）と平成24年11月（暴露期間32ヶ月）とした。調査対象は、乾湿および海中暴露浚渫土ブロック6体ずつと各暴露方法の対照区2箇所とした。対照区とは、暴露した浚渫土ブロックの生物付着状況と比較するために選出した比較対照区域であり、乾湿暴露では近傍のコンクリート製の垂直護岸を、海中暴露では近傍の護岸を対照区とした。写真-12に調査状況の写真を示す。



(a) 乾湿暴露



(b) 海中暴露

写真-12 調査状況

#### (4) 乾湿暴露した浚渫土ブロックについて

平成24年4月における全体の被覆率を図-16、動物の出現種数を図-17、植物の出現種数を図-18、観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯の高さを図-19に示した。調査結果の概要を表-7に示す。全体の被覆率は、ブロック1～6では30～80%、対照区では70%であった。出現種数は、ブロック1～6では動物が5～8種、植物が0～1種、対照区では動物が9種、植物が0種であった。動物は軟体動物、節足動物、植物は藍藻植物が出現した。動物の主な出現種は、ブロック1～6では軟体動物のアマガイ、タマキビ、マガキ、節足動物のシロスジフジツボ、対照区では軟体動物のタマキビ、アラレタマキビ、マガキ、節足動物のタテジマフジツボであった。植物の主な出現種は、該当する種がみられなかった。フジツボ帯とカキ帯の境目の高さは、ブロック1～6ではD.L. 1.16～1.30m、対照区ではD.L. 1.42mであった。

平成24年11月における全体の被覆率を図-20、動物の出現種数を図-21、植物の出現種数を図-22、調査結果の概要(潮間帯部)を表-8、観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯の高さを図-10に示した。全体の被覆率は、ブロック1～6では20～60%、対照区では60%であった。出現種数は、ブロック1～6では動物が7～10種、植物が0～1種、対照区では動物が10種、植物が0種であった。動物は軟体動物、環形動物、節足動物、植物は緑藻植物が出現した。動物の主な出現種は、ブロック1～6では軟体動物のアオガイ属、アマガイ、アラレタマキビ、タマキビガイ科、マガキ、節足動物のシロスジフジツボ、タテジマフジツボ、対照区では軟体動物のアマガイ、アラレタマキビ、タマキビガイ科、マガキ、節足動物のシロスジフジツボであった。植物の主な出現種は、該当する種がみられなかった。フジツボ帯とカキ帯の境目の高さは、ブロック1～6ではD.L. 1.26～1.35m、対照区ではD.L. 1.39mであった。

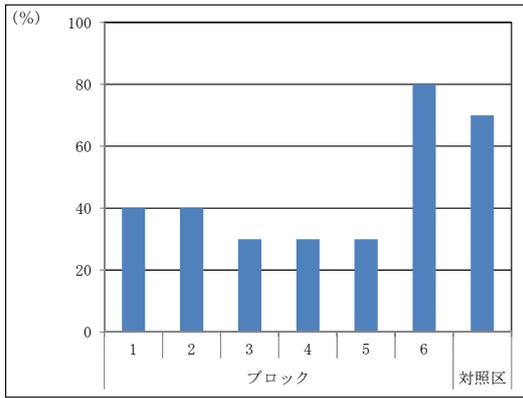


図-16 全体の被覆率(平成24年4月)

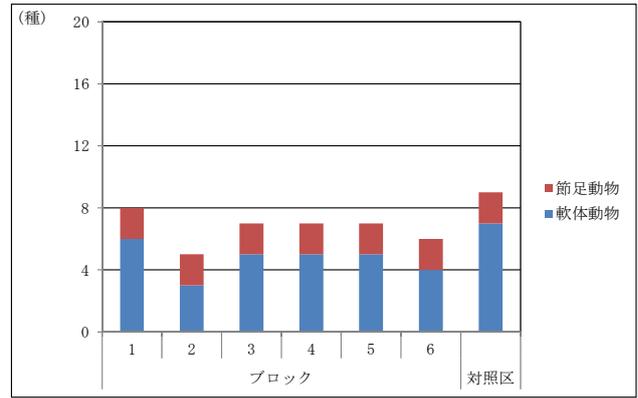


図-17 動物の出現種数(平成24年4月)

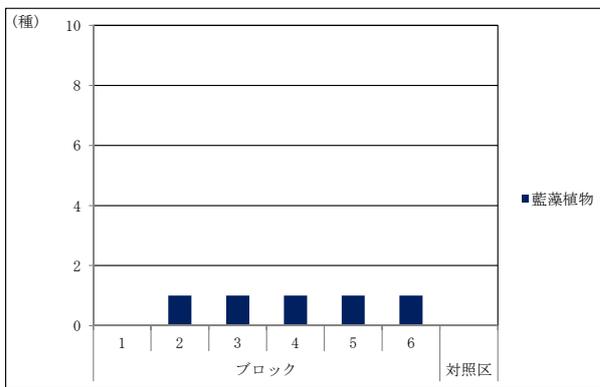


図-18 植物の出現種数(平成24年4月)

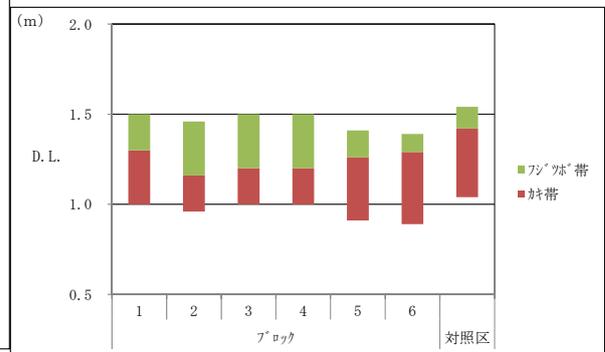


図-19 観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯の高さ

表-7 乾湿暴露した浚渫土ブロックにおける調査結果の概要(平成24年4月)

項目	調査点	潮間帯部							
		ブロック						対照区	
		1	2	3	4	5	6		
全体の被覆率(%)		40	40	30	30	30	80	70	
出現種数	動物	軟体動物	6 ( 75.0 )	3 ( 60.0 )	5 ( 71.4 )	5 ( 71.4 )	5 ( 71.4 )	4 ( 66.7 )	7 ( 77.8 )
		節足動物	2 ( 25.0 )	2 ( 40.0 )	2 ( 28.6 )	2 ( 28.6 )	2 ( 28.6 )	2 ( 33.3 )	2 ( 22.2 )
		合計	8 ( 100 )	5 ( 100 )	7 ( 100 )	7 ( 100 )	7 ( 100 )	6 ( 100 )	9 ( 100 )
	植物	藍藻植物	0	1 ( 100 )	1 ( 100 )	1 ( 100 )	1 ( 100 )	1 ( 100 )	0
		合計	0	1 ( 100 )	1 ( 100 )	1 ( 100 )	1 ( 100 )	1 ( 100 )	0
主な出現種	動物	軟体動物	タマキビ マガキ	タマキビ マガキ	タマキビ マガキ	タマキビ マガキ	アマガイ マガキ	タマキビ マガキ	タマキビ アラレタマキビ マガキ
		節足動物	シロスジフジツボ	シロスジフジツボ	シロスジフジツボ	シロスジフジツボ	—	—	タテジマフジツボ
	植物	該当種なし							

注) 1. ( )内の数値は、合計に対する組成比率(%)を示す。  
 2. 主な出現種は、各調査点において、被覆率が5%以上、個体数が10個体/0.25㎡以上出現したものを記載した。  
 3. 組成比率は、四捨五入の関係で合計が100にならないことがある。

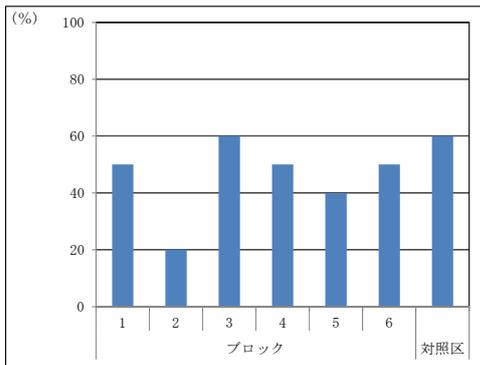


図-20 全体の被覆率 (平成24年11月)

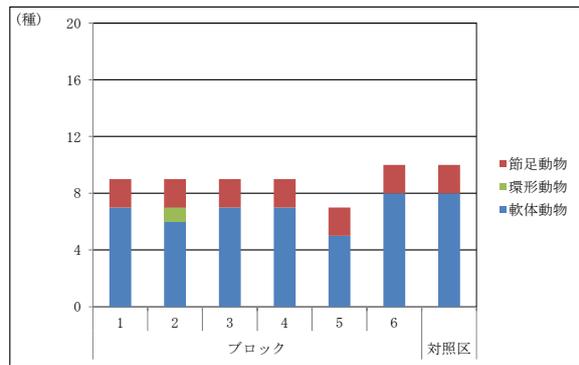


図-21 動物の出現種数 (平成24年11月)

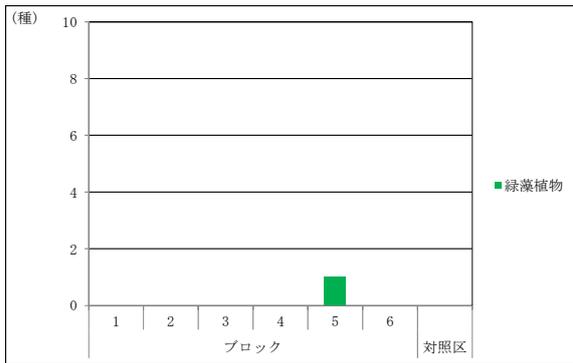


図-22 植物の出現種数 (平成24年11月)

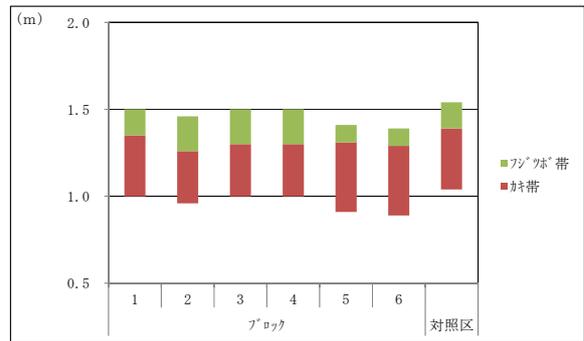


図-23 観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯の高さ

表-8 乾湿暴露した浚渫土ブロックにおける調査結果の概要 (平成24年11月)

項目	調査点	潮間帯部						対照区	
		ブロック							
		1	2	3	4	5	6		
全体の被覆率 (%)		50	20	60	50	40	50	60	
出現種数	動物	軟体動物	7 ( 77.8 )	6 ( 66.7 )	7 ( 77.8 )	7 ( 77.8 )	5 ( 71.4 )	8 ( 80.0 )	8 ( 80.0 )
		環形動物	0	1 ( 11.1 )	0	0	0	0	0
		節足動物	2 ( 22.2 )	2 ( 22.2 )	2 ( 22.2 )	2 ( 22.2 )	2 ( 28.6 )	2 ( 20.0 )	2 ( 20.0 )
		合計	9 ( 100 )	9 ( 100 )	9 ( 100 )	9 ( 100 )	7 ( 100 )	10 ( 100 )	10 ( 100 )
	植物	緑藻植物	0	0	0	0	1 ( 100 )	0	0
合計	0	0	0	0	1 ( 100 )	0	0		
主な出現種	動物	軟体動物	アマガイ アラレタマキビ タマキビガイ科 マガキ	アオガイ属 アマガイ アラレタマキビ タマキビガイ科	アオガイ属 アマガイ アラレタマキビ タマキビガイ科 マガキ	アマガイ アラレタマキビ タマキビガイ科 マガキ	アマガイ アラレタマキビ タマキビガイ科 マガキ	アマガイ アラレタマキビ タマキビガイ科 マガキ	
		節足動物	シロスジフジツボ タテジマフジツボ	シロスジフジツボ	シロスジフジツボ タテジマフジツボ	シロスジフジツボ タテジマフジツボ	シロスジフジツボ タテジマフジツボ	シロスジフジツボ	シロスジフジツボ
	植物	該当種なし							

注) 1. ( )内の数値は、合計に対する組成比率(%)を示す。  
 2. 主な出現種は、各調査点において、被覆率が5%以上、個体数が10個体/0.25㎡以上出現したものを記載した。  
 3. 組成比率は、四捨五入の関係で合計が100にならないことがある。

(5) 海中暴露した浚渫土ブロックについて

平成 24 年 4 月における海中暴露した浚渫土ブロックの全体の被覆率を図-24、出現種数(水中部：動物)を図-25、出現種数(水中部：植物)を図-26、調査結果の概要(水中部)を表-9 に示した。全体の被覆率は、ブロック 1~6 では 10~50%、対照区では 60%であった。出現種数は、ブロック 1~6 では動物が 6~9 種、植物が 2~5 種、対照区では動物が 7 種、植物が 3 種であった。動物は軟体動物、環形動物、節足動物、触手動物等、植物は緑藻植物、紅藻植物が出現した。動物の主な出現種は、ブロック 1~6 では軟体動物のナミマガシワ科、マガキ、節足動物のヤドカリ亜目、原索動物のユウレイボヤ科、対照区では軟体動物のナミマガシワ科であった。植物の主な出現種は、ブロック 1~6 では該当する種がみられず、対照区では緑藻植物のアオノリ属であった。なお、ブロック 3 は転倒しているため、他のブロックと生物の付着状況が異なっていた。

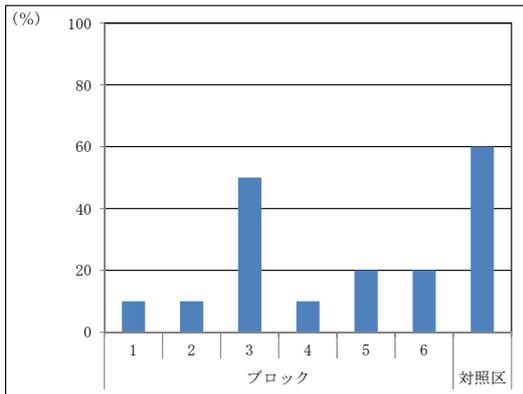


図-24 全体の被覆率(平成24年4月)

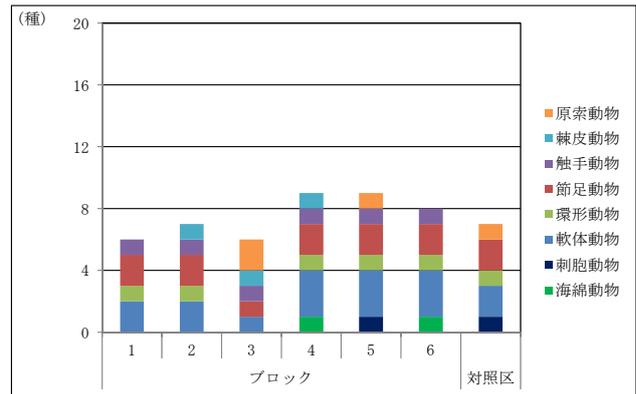


図-25 動物の出現種数(平成24年4月)

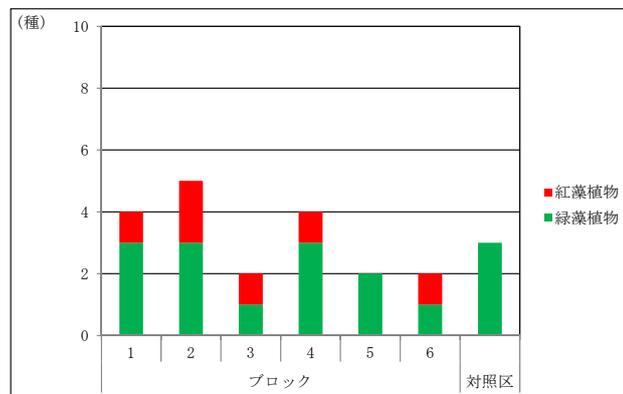


図-26 植物の出現種数(平成24年4月)

表-9 海中暴露した浚渫土ブロックにおける調査結果の概要(平成24年4月)

項目	調査点	水中部						対照区	
		ブロック							
		1	2	3	4	5	6		
全体の被覆率(%)		10	10	50	10	20	20	60	
出現種数	動物	海綿動物	0	0	0	1 ( 11.1 )	0	1 ( 12.5 )	0
		刺胞動物	0	0	0	0	1 ( 11.1 )	0	1 ( 14.3 )
		軟体動物	2 ( 33.3 )	2 ( 28.6 )	1 ( 16.7 )	3 ( 33.3 )	3 ( 33.3 )	3 ( 37.5 )	2 ( 28.6 )
		環形動物	1 ( 16.7 )	1 ( 14.3 )	0	1 ( 11.1 )	1 ( 11.1 )	1 ( 12.5 )	1 ( 14.3 )
		節足動物	2 ( 33.3 )	2 ( 28.6 )	1 ( 16.7 )	2 ( 22.2 )	2 ( 22.2 )	2 ( 25.0 )	2 ( 28.6 )
		触手動物	1 ( 16.7 )	1 ( 14.3 )	1 ( 16.7 )	1 ( 11.1 )	1 ( 11.1 )	1 ( 12.5 )	0
		棘皮動物	0	1 ( 14.3 )	1 ( 16.7 )	1 ( 11.1 )	0	0	0
		原索動物	0	0	2 ( 33.3 )	0	1 ( 11.1 )	0	1 ( 14.3 )
		合計	6 ( 100 )	7 ( 100 )	6 ( 100 )	9 ( 100 )	9 ( 100 )	8 ( 100 )	7 ( 100 )
	植物	緑藻植物	3 ( 75.0 )	3 ( 60.0 )	1 ( 50.0 )	3 ( 75.0 )	2 ( 100 )	1 ( 50.0 )	3 ( 100 )
	紅藻植物	1 ( 25.0 )	2 ( 40.0 )	1 ( 50.0 )	1 ( 25.0 )	0	1 ( 50.0 )	0	
	合計	4 ( 100 )	5 ( 100 )	2 ( 100 )	4 ( 100 )	2 ( 100 )	2 ( 100 )	3 ( 100 )	
主な出現種	動物	軟体動物	ナミマガシワ科	ナミマガシワ科	—	マガキ	ナミマガシワ科 マガキ	ナミマガシワ科	ナミマガシワ科
		節足動物	ヤドカリ亜目	—	—	ヤドカリ亜目	—	—	—
		原索動物	—	—	ユウレイボヤ科	—	—	—	—
	植物	緑藻植物	—	—	—	—	—	—	アオノリ属

注) 1. ( )内の数値は、合計に対する組成比率(%)を示す。  
 2. 主な出現種は、各調査点において、被覆率が5%以上、個体数が10個体/0.25㎡以上出現したものを記載した。  
 3. 組成比率は、四捨五入の関係で合計が100にならないことがある。

平成24年11月における海中暴露した浚渫土ブロックの全体の被覆率を図-27、動物の出現種数を図-28、植物の出現種数を図-29、調査結果の概要を表-10に示した。全体の被覆率は、ブロック1～6では10～40%、対照区では40%であった。出現種数は、ブロック1～6では動物が4～7種、植物が0種、対照区では動物が6種、植物が1種であった。動物は海綿動物、刺胞動物、軟体動物、環形動物、節足動物、触手動物、原索動物、植物は緑藻植物が出現した。動物の主な出現種は、ブロック1～6では軟体動物のナミマガシワ科、マガキ、環形動物のカンザシゴカイ科、対照区では軟体動物のナミマガシワ科、マガキであった。植物の主な出現種は、該当する種がみられなかった。なお、ブロック3は転倒しているため、他のブロックと生物の付着状況が異なっていた。

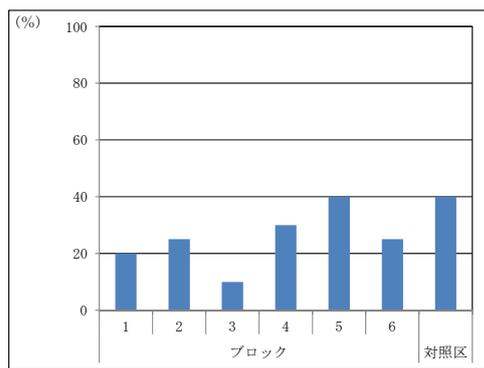


図-27 全体の被覆率(平成24年11月)

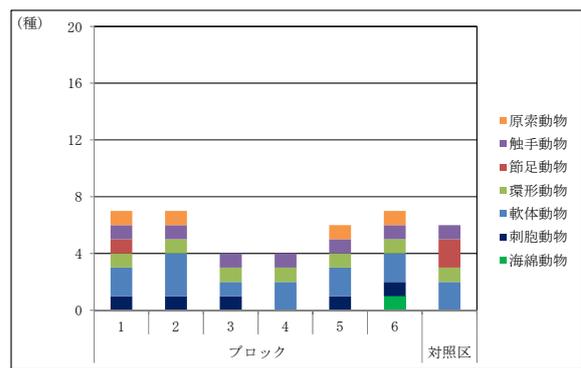


図-28 動物の出現種数(平成24年11月)

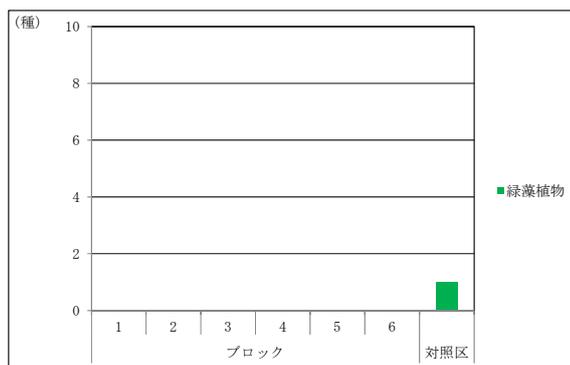


図-29 植物の出現種数 (平成24年11月)

表-10 海中暴露した浚渫土ブロックにおける調査結果の概要 (平成24年11月)

調査点		水中部						対照区	
		ブロック							
		1	2	3	4	5	6		
項目		全体の被覆率(%)						40	
出現種数	動物	海綿動物	0	0	0	0	0	1 ( 14.3 )	0
		刺胞動物	1 ( 14.3 )	1 ( 14.3 )	1 ( 25.0 )	0	1 ( 16.7 )	1 ( 14.3 )	0
		軟体動物	2 ( 28.6 )	3 ( 42.9 )	1 ( 25.0 )	2 ( 50.0 )	2 ( 33.3 )	2 ( 28.6 )	2 ( 33.3 )
		環形動物	1 ( 14.3 )	1 ( 14.3 )	1 ( 25.0 )	1 ( 25.0 )	1 ( 16.7 )	1 ( 14.3 )	1 ( 16.7 )
		節足動物	1 ( 14.3 )	0	0	0	0	0	2 ( 33.3 )
		触手動物	1 ( 14.3 )	1 ( 14.3 )	1 ( 25.0 )	1 ( 25.0 )	1 ( 16.7 )	1 ( 14.3 )	1 ( 16.7 )
		原索動物	1 ( 14.3 )	1 ( 14.3 )	0	0	1 ( 16.7 )	1 ( 14.3 )	0
	合計	7 ( 100 )	7 ( 100 )	4 ( 100 )	4 ( 100 )	6 ( 100 )	7 ( 100 )	6 ( 100 )	
植物	緑藻植物	0	0	0	0	0	0	1 ( 100 )	
	合計	0	0	0	0	0	0	1 ( 100 )	
主な出現種	動物	軟体動物	ナミマガシワ科 マガキ	ナミマガシワ科 マガキ	—	ナミマガシワ科	ナミマガシワ科 マガキ	ナミマガシワ科 マガキ	ナミマガシワ科 マガキ
		環形動物	カンザシゴカイ科	カンザシゴカイ科	カンザシゴカイ科	カンザシゴカイ科	カンザシゴカイ科	カンザシゴカイ科	—
	植物	該当種なし							

注) 1. ( )内の数値は、合計に対する組成比率(%)を示す。

2. 主な出現種は、各調査点において、被覆率が5%以上、個体数が10個体/0.25㎡以上出現したものを記載した。

3. 組成比率は、四捨五入の関係で合計が100にならないことがある。

(6) 浚渫土ブロックの生態付着状況の経年変化について

乾湿暴露した浚渫土ブロックの全体の被覆率を図-30、動物の出現種数を図-31、植物の出現種数を図-32、付着状況を図-33示した。全体の被覆率は、ブロック1～6では20～90%、対照区では60～70%であった。出現種数は、ブロック1～6では動物が5～10種、植物が0～1種、対照区では動物が9～10種、植物が0種であった。動物の主な出現種は、ブロック1～6では軟体動物のアオガイ属、アマガイ、タマキビ、アラレタマキビ、タマキビガイ科、マガキ、節足動物のシロスジフジツボ、タテジマフジツボ、対照区では軟体動物のアマガイ、タマキビ、アラレタマキビ、タマキビガイ科、マガキ、節足動物のシロスジフジツボ、タテジマフジツボであった。植物の主な出現種は、該当する種がみられなかった。

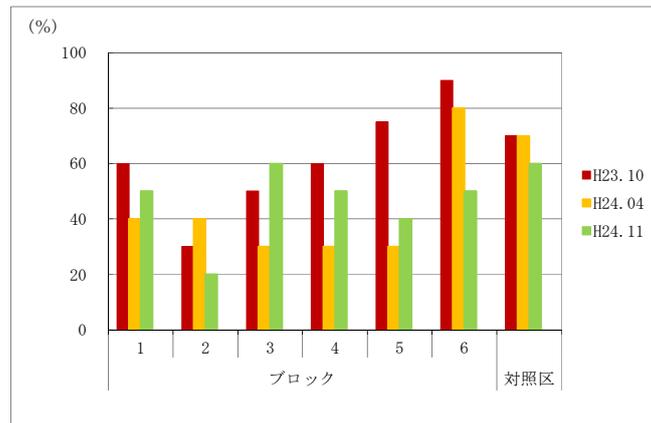


図-30 全体の被覆率の経年変化

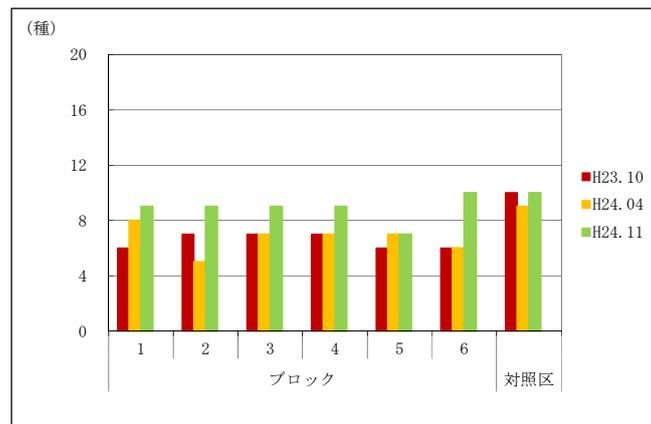


図-31 動物の出現種数の経年変化

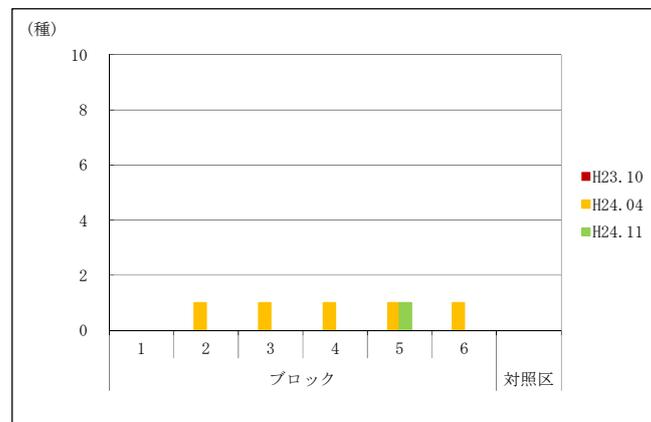


図-32 植物の出現種数の経年変化

		ブロック1	ブロック2	ブロック3	ブロック4	ブロック5	ブロック6	対照区
平成23年10月	付着状況							
	主な出現種	アマガイ マガキ シロスジフジツボ	マガキ シロスジフジツボ	タマキビ マガキ シロスジフジツボ	アマガイ マガキ シロスジフジツボ	アマガイ マガキ シロスジフジツボ	アマガイ タマキビ マガキ	タマキビ マガキ シロスジフジツボ
平成24年4月	付着状況							
	主な出現種	タマキビ マガキ シロスジフジツボ	タマキビ マガキ シロスジフジツボ	タマキビ マガキ シロスジフジツボ	タマキビ マガキ シロスジフジツボ	アマガイ マガキ	タマキビ マガキ	タマキビ アラレタマキビ マガキ タテジマフジツボ
平成24年11月	付着状況							
	主な出現種	アマガイ アラレタマキビ タマキビガイ科 マガキ シロスジフジツボ タテジマフジツボ	アオガイ属 アマガイ アラレタマキビ タマキビガイ科 シロスジフジツボ	アオガイ属 アマガイ アラレタマキビ タマキビガイ科 マガキ シロスジフジツボ タテジマフジツボ	アマガイ アラレタマキビ タマキビガイ科 マガキ シロスジフジツボ タテジマフジツボ	アマガイ アラレタマキビ タマキビガイ科 マガキ シロスジフジツボ タテジマフジツボ	アマガイ アラレタマキビ マガキ シロスジフジツボ	アマガイ アラレタマキビ タマキビガイ科 マガキ シロスジフジツボ

図-33 乾湿暴露した浚渫土ブロックにおける付着状況の経年変化

海中暴露した浚渫土ブロックにおける全体の被覆率を図-34、動物の出現種数を図-35、植物の出現種数を図-36、付着状況を図-37に示した。全体の被覆率は、ブロック1～6では5～50%、対照区では5～60%であった。出現種数は、ブロック1～6では動物が4～9種、植物が0～5種、対照区では動物が6～7種、植物が0～3種であった。動物の主な出現種は、ブロック1～6では軟体動物のナミマガシワ科、マガキ、イタボガキ科、環形動物のカンザシゴカイ科、節足動物のタテジマフジツボ、ヤドカリ亜目、原索動物のコウレイボヤ科、対照区では軟体動物のナミマガシワ科、マガキであった。植物の主な出現種は、ブロック1～6では該当する種がみられず、対照区では緑藻植物のアオノリ属であった。なお、ブロック3は転倒しているため、他のブロックと生物の付着状況が異なっていた。

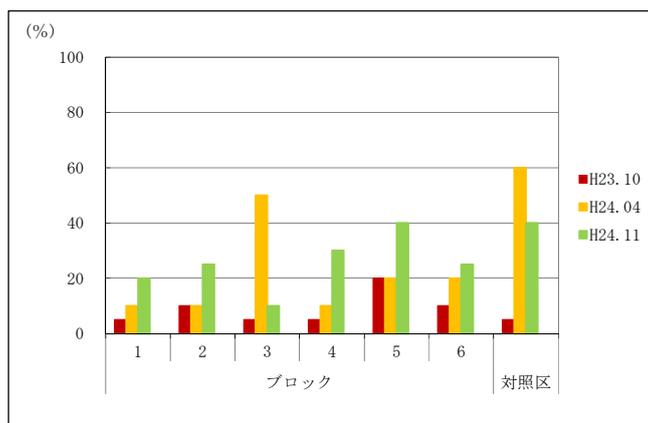


図-34 全体の被覆率の経年変化

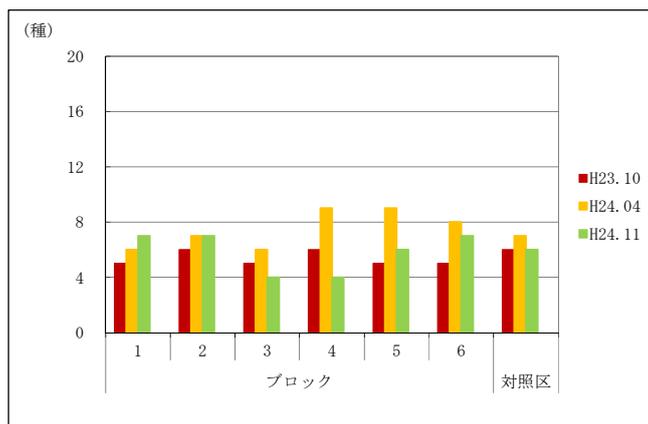


図-35 動物の出現種数の経年変化

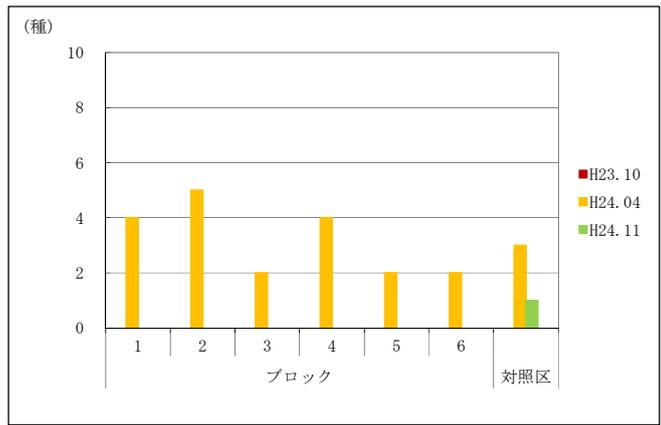


図-36 植物の出現種数の経年変化

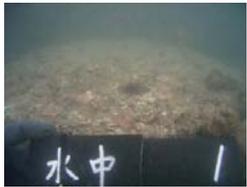
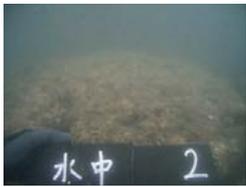
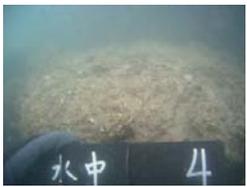
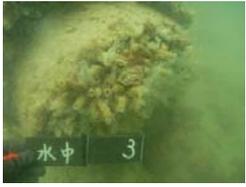
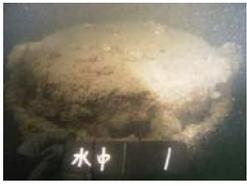
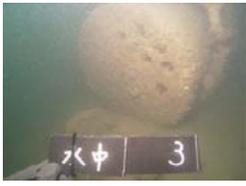
	ブロック1	ブロック2	ブロック3	ブロック4	ブロック5	ブロック6	対照区
平成23年10月							
	主な出現種	タテジマフジツボ	タテジマフジツボ	タテジマフジツボ	イタボガキ科	ナミマガシワ科 イタボガキ科	イタボガキ科
平成24年4月							
	主な出現種	ナミマガシワ科 ヤドカリ亜目	ナミマガシワ科	ユウレイボヤ科	マガキ ヤドカリ亜目	ナミマガシワ科 マガキ	ナミマガシワ科
平成24年11月							
	主な出現種	ナミマガシワ科 マガキ カンザシゴカイ科	ナミマガシワ科 マガキ カンザシゴカイ科	カンザシゴカイ科	ナミマガシワ科 カンザシゴカイ科	ナミマガシワ科 マガキ カンザシゴカイ科	ナミマガシワ科 マガキ カンザシゴカイ科

図-37 海中暴露した浚渫土ブロックにおける付着状況の経年変化

#### 4. 大型構造体作製の効率化について

大型構造体の作製効率の向上には、排水距離を短くすることが最も有効である。そこで、脱水時間を短縮化するため、排水距離を短くした実験を2ケース行った。モールド内周面にろ紙を敷き、周面排水を図ったケースおよびドレーンを用いてドレーン排水を図ったケースを実験した。

##### 1) 周面排水

博多港土砂の固化材添加率60%において、両面排水に周面排水を併用した実験を行った。図-38に博多港土砂の固化材添加率60%における排水条件ごとの沈下曲線を示す。最終沈下量はほぼ同様であった。図-38から3t法を用いて得られた脱水終了時間は、両面排水のみの場合で880分、両面排水に周面排水を併用した場合で690分であった。脱水時間は周面排水を行うことで20%以上短縮された。しかし、実用化の観点から考えた場合、脱水時間が690分であっても長い時間、さらなる脱水時間の短縮が必要である。

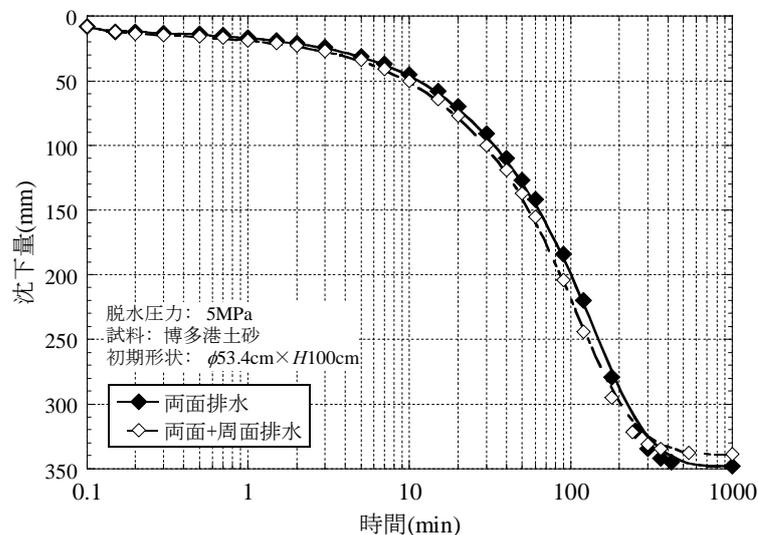


図-38 沈下曲線 (周面排水)

##### 2) ドレーン排水

カオリン粘土の固化材添加率0%において、両面排水にドレーン排水を併用した実験を行った。図-39に本実験で用いたドレーンの概略図を示す。直径2.5cmのドレーンを10cmピッチで配置し、計19本用いた。

図-40にカオリン粘土における固化材添加率および排水条件ごとの沈下曲線を示す。ドレーン排水を行った場合、最終沈下量が両面排水のみの場合よりも顕著に小さかった。図-40から3t法を用いて得られた脱水終了時間は、両面排水のみの場合は約200~400分なのに対し、両面排水にドレーン排水を併用した場合で25分であった。ドレーン排水を行うことで、脱水終了時間の大幅な短縮が期待できる。

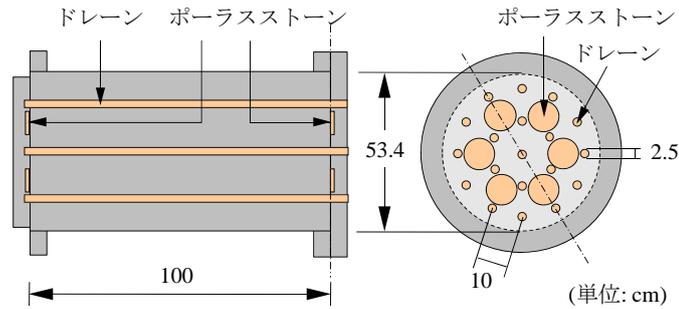


図-39 ドレーン配置概略図

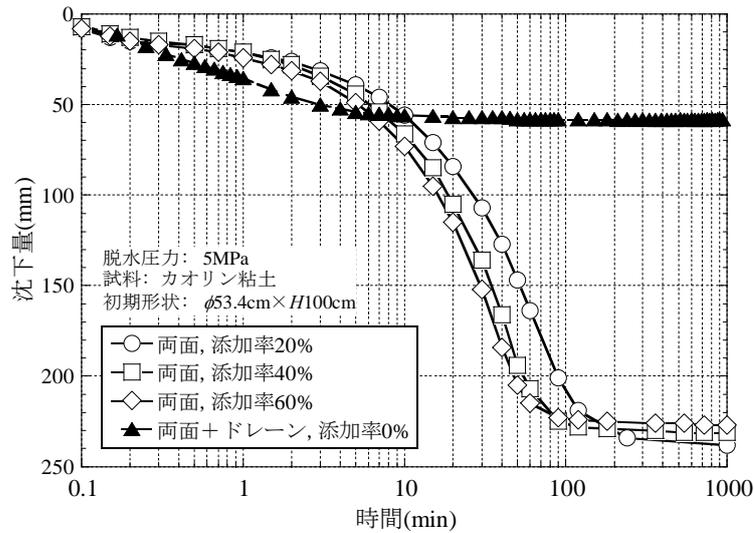


図-40 沈下曲線（ドレーン排水）

### 3) 強度特性

脱水固化処理による強度増加の有効性を評価するため、図-41 にカオリン粘土を固化処理または脱水固化処理したブロックの28日間養生における一軸圧縮強さを示す。ここで、固化処理とは、初期含水比を調整した母材と固化材の混合試料をモールドに充填し、脱水せずにそのまま28日間養生したケースであり、脱水固化処理とは、大型脱水固化装置で高圧脱水し、ブロックを作製したケースのことである。脱水固化処理したブロックの一軸圧縮強さは、固化処理したブロックの一軸圧縮強さと比較して、固化材添加率20%で8.9倍、固化材添加率40%で10.8倍、固化材添加率60%で4.1倍と、どの固化材添加率においても、固化材添加後に脱水を行うことにより、一軸圧縮強さの増大が顕著に見られた。したがって、固化材添加後に高圧機械脱水をすることにより、浚渫土砂の大幅な強度増加が期待できる。

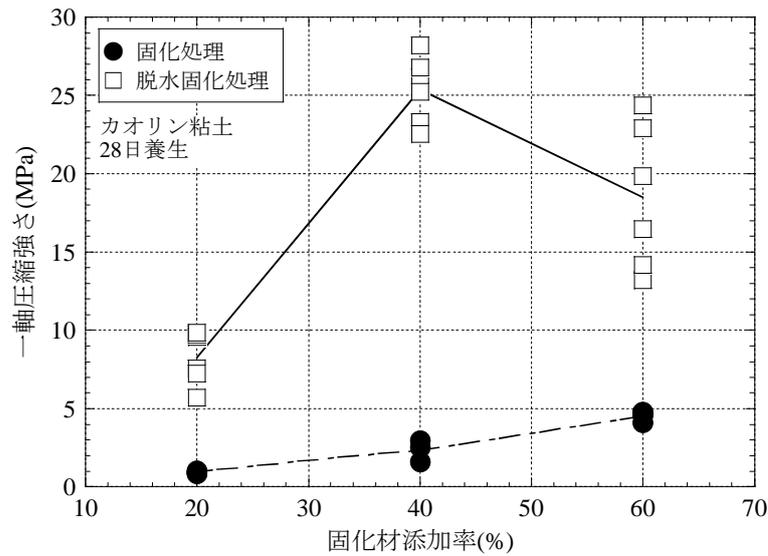


図-41 固化処理および脱水固化処理

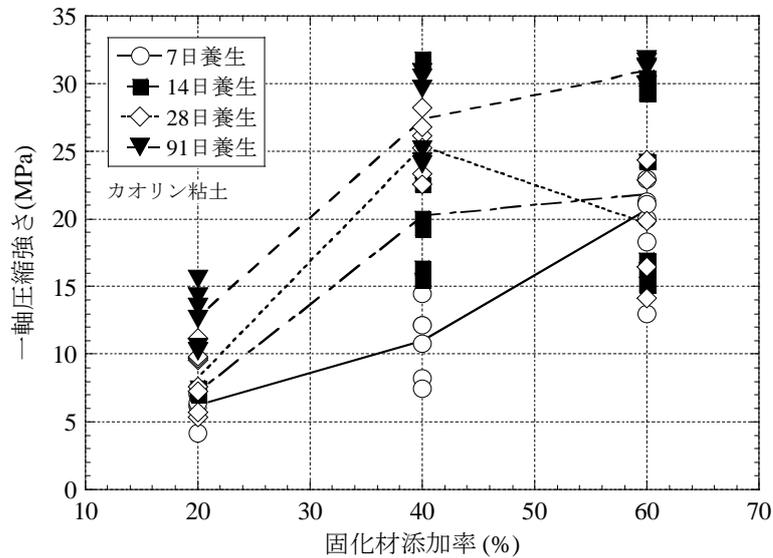


図-42 固化材添加率と一軸圧縮強さ

図-42 にカオリン粘土の固化材添加率と一軸圧縮強さの関係を示す。ここで、図中の線は、各養生日数での一軸圧縮強さの平均値を結んだ線である。養生日数が7、14および91日の平均一軸圧縮強さは、固化材添加率の増加に伴って増加した。養生日数が28日の平均一軸圧縮強さは、固化材添加率20%で8.3MPa、固化材添加率40%で25.4MPa、固化材添加率60%で18.5MPaとなり、固化材添加率40%で最大値をとった。これは、固化材添加後の試料混練時にハンドミキサーによる混練を行っているため、固化材添加率の増大に伴い、混練試料の不均一性が顕著となり、一軸圧縮強さのばらつきが大きくなったことが要因として挙げられる。

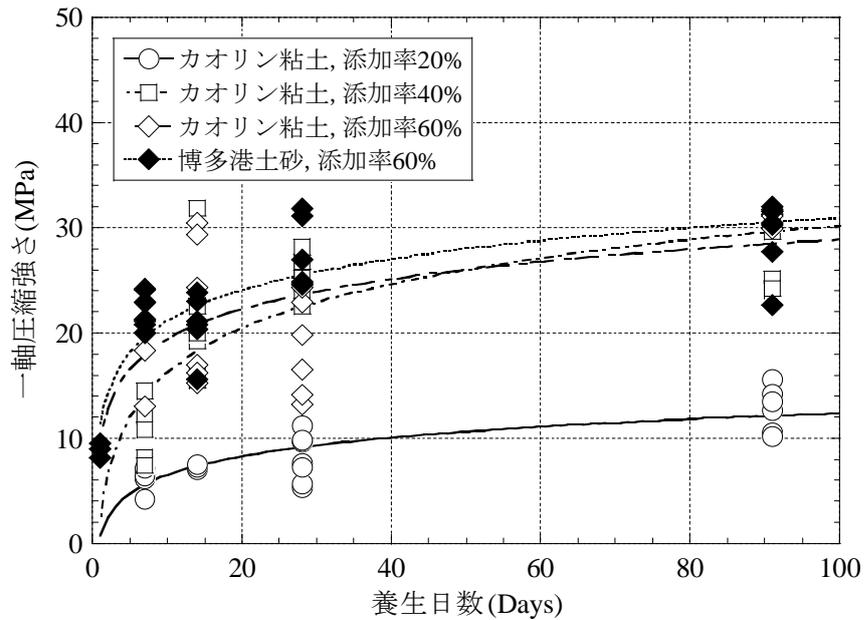


図-43 養生日数と一軸圧縮強さ

図-43 に養生日数と一軸圧縮強さの関係を示す。図中の曲線は、各固化材添加率での一軸圧縮強さの回帰曲線である。カオリン粘土の固化材添加率 60% のケースを除いた 3 つの実験ケースでは、養生日数の経過に伴う一軸圧縮強さの増加が見られた。カオリン粘土の固化材添加率 60% では、養生日数 7, 14, 28 および 91 日の平均一軸圧縮強さは、19.4MPa, 22.1MPa, 18.5MPa, 30.8MPa となり、養生日数 28 日において一軸圧縮強さの減少が見られた。これは、前述したように、試料の不均一性のためと考えられるが、養生期間が 91 日と長期になると一軸圧縮強さのばらつきは小さくなったことから、試料混練不足による混練試料の不均一性が長期的な一軸圧縮強さの増加に与える影響は小さいと推察できる。また、カオリン粘土の固化材添加率 60% では 7 日養生で、固化材添加率 40% では 14 日養生で 20MPa の一軸圧縮強さを有するブロックの作製ができた。したがって、大型脱水固化装置を用いて作製した浚渫土ブロックは、固化材添加率を調整することにより、コンクリートに匹敵する強度を有するといえる。

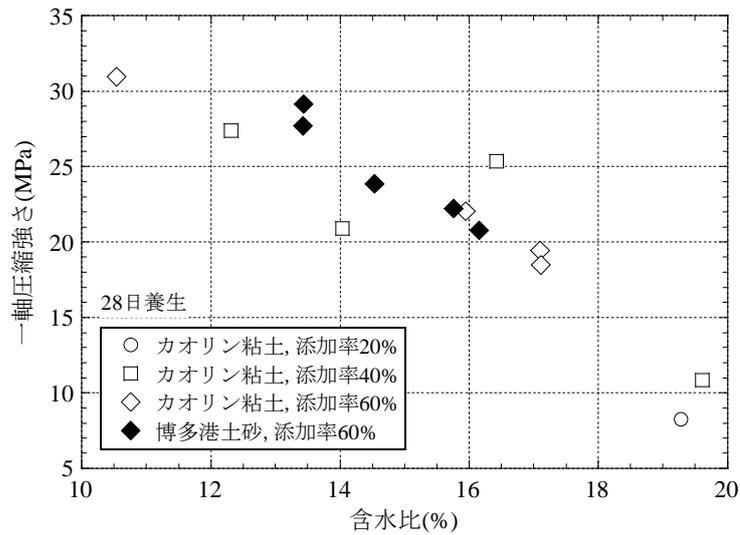


図-44 含水比と一軸圧縮強さ

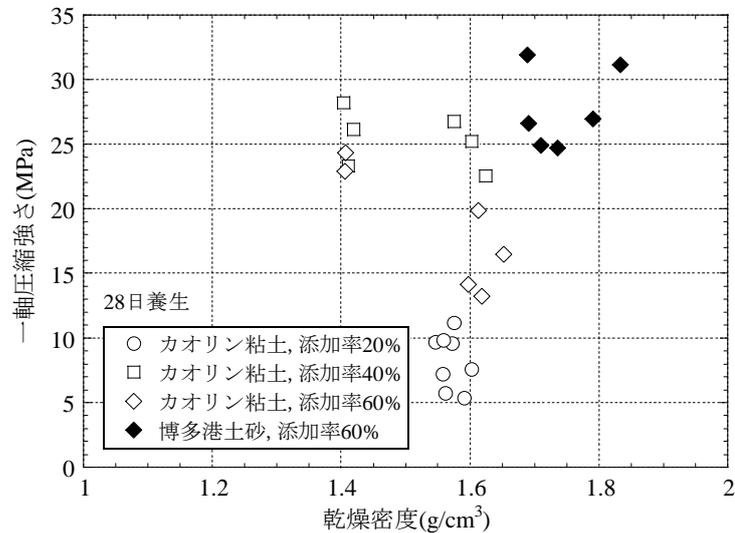


図-45 乾燥密度と一軸圧縮強さ

供試体内の水分量が、一軸圧縮強さに与える影響を評価するために、含水比と28日養生における一軸圧縮強さの関係を図-44に示す。固化材添加率によらず、含水比の増大に伴って、一軸圧縮強さは減少した。これは、含水比が大きいほど、供試体内に間隙として残る水分が多くなり、強度が低下したためと考えられる。

図-45に乾燥密度と28日養生における一軸圧縮強さの関係を示す。博多港土砂は、カオリン粘土より大きな乾燥密度および一軸圧縮強さとなった。カオリン粘土では、ほぼ同等の乾燥密度であっても、固化材添加率の違いにより、一軸圧縮強さに大きな差が見られた。このことから、一軸圧縮強さの増大には、機械脱水による密度増加だけではなく、セメントの固化反応が大きく関与すると考えられる。

セメントと強度の関係性を評価するため、水セメント重量比と一軸圧縮強さの関係を図-46に

示す。水セメント重量比とは、一軸圧縮試験時におけるブロック内のセメントに対する水の重量比である。水セメント重量比は、硬化コンクリートの強度評価に用いられ、地盤工学においては、固化処理土の強度評価に用いられるパラメータである。図-46 より、水セメント重量比の減少に伴って、一軸圧縮強さが急激に増加し、一軸圧縮強さと水セメント重量比の間には、強い相関が見られた。したがって、一軸圧縮強さは、母材の種類や固化材添加率によらず、水セメント重量比に支配されると考えられ、固化処理土の高強度化は、水セメント重量比を小さくすることが重要といえる。また、図-46 より得られた一軸圧縮強さの回帰式を式(5)に示す。

$$q_u = 8.25(w/c)^{-1.09} \quad (5)$$

ここに、 $q_u$ は一軸圧縮強さ、 $w/c$ は水セメント重量比である。式(3.1)の相関係数  $R$  は、 $R=0.87$  と高いことから、浚渫土ブロックの一軸圧縮強さは、式(3.1)を用いることにより、水セメント重量比から推定できると考えられる。

表-11 に本論文における室内実験の全一軸圧縮試験結果を示す。

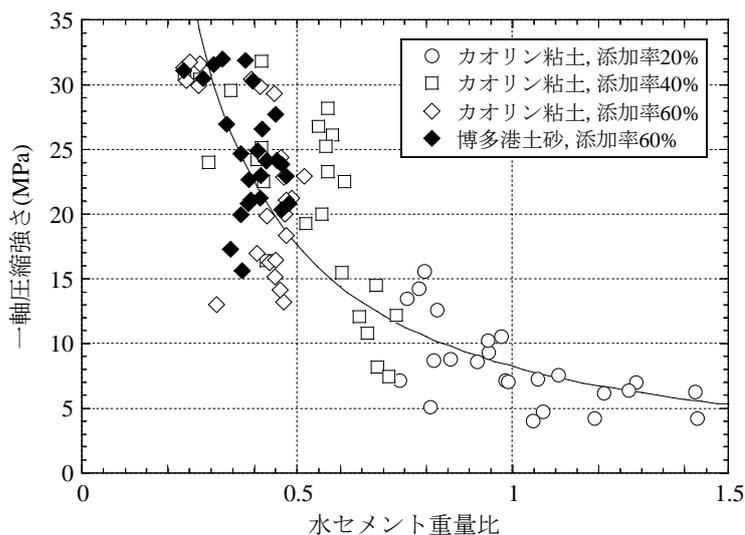


図-46 水セメント重量比と一軸圧縮強さ

表-11(a) 一軸圧縮試験結果 (カオリン粘土)

母材	固化材 添加率(%)	養生日数 (Days)	含水比 w (%)	w 平均	乾燥密度 $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ 平均	水セメント 重量比 w/c	w/c 平均	一軸圧縮 強さ $q_u$ (MPa)	$q_u$ 平均
カオリン 粘土	20	7	23.819	21.127	1.548	1.567	1.429	1.268	4.198	6.194
			23.725		1.553		1.424		6.245	
			20.212		1.560		1.213		6.177	
			21.454		1.572		1.287		7.003	
			21.162		1.587		1.270		6.397	
			16.391		1.582		0.983		7.143	
		14	17.854	17.954	1.582	1.564	1.071	1.077	4.724	5.808
			16.493		1.572		0.990		7.058	
			17.652		1.595		1.059		7.252	
			19.826		1.555		1.190		4.245	
			18.437		1.524		1.106		7.551	
			17.460		1.558		1.048		4.016	
		28	13.624	14.117	1.613	1.590	0.817	0.847	8.709	7.935
			13.488		1.561		0.809		5.069	
			12.278		1.619		0.737		7.161	
			14.259		1.589		0.856		8.775	
			15.297		1.573		0.918		8.585	
			15.755		1.583		0.945		9.309	
		91	13.252	14.092	1.608	1.603	0.795	0.846	15.564	12.783
			13.739		1.631		0.824		12.619	
			16.237		1.615		0.974		10.565	
			15.714		1.581		0.943		10.213	
			13.052		1.593		0.783		14.263	
			12.558		1.589		0.754		13.476	
	40	7	19.592	19.608	1.610	1.643	0.686	0.686	8.189	10.861
			20.340		1.660		0.712		7.444	
			18.403		1.657		0.644		12.105	
			19.528		1.654		0.683		14.479	
			20.827		1.633		0.729		12.166	
			18.956		1.645		0.663		10.785	
		14	14.859	14.034	1.724	1.722	0.520	0.491	19.262	20.918
			12.220		1.761		0.428		16.382	
			12.023		1.726		0.421		22.547	
			15.922		1.643		0.557		20.018	
			17.263		1.657		0.604		15.465	
			11.914		1.819		0.417		31.836	
		28	16.615	16.423	1.420	1.506	0.582	0.575	26.142	25.362
			15.684		1.575		0.549		26.785	
			16.299		1.404		0.570		28.180	
			16.182		1.602		0.566		25.235	
			16.319		1.411		0.571		23.295	
			17.440		1.624		0.610		22.536	
		91	10.997	12.317	1.714	1.691	0.293	0.329	24.030	27.390
			8.935		1.761		0.238		30.858	
			12.936		1.650		0.345		29.593	
			10.223		1.749		0.273		30.461	
			15.641		1.647		0.417		25.152	
			15.172		1.622		0.405		24.243	
60	7	18.259	17.096	1.634	1.684	0.487	0.456	21.250	19.439	
		17.795		1.697		0.475		18.337		
		17.653		1.675		0.471		19.993		
		17.795		1.708		0.475		21.093		
		19.369		1.680		0.516		22.953		
		11.702		1.711		0.312		13.010		
	14	16.785	15.949	1.688	1.707	0.448	0.426	15.192	22.068	
		14.772		1.761		0.394		30.431		
		15.217		1.748		0.406		16.949		
		16.717		1.594		0.446		29.328		
		15.907		1.715		0.424		24.274		
		16.295		1.736		0.435		16.234		
	28	17.554	17.108	1.406	1.549	0.468	0.456	22.894	18.488	
		16.867		1.652		0.450		16.462		
		17.330		1.407		0.462		24.356		
		17.555		1.618		0.468		13.213		
		16.078		1.613		0.429		19.854		
		17.265		1.597		0.460		14.151		
	91	10.253	10.539	1.798	1.811	0.273	0.281	31.612	30.817	
		10.143		1.807		0.270		29.953		
		15.522		1.682		0.414		29.892		
		8.859		1.868		0.236		31.317		
		9.358		1.849		0.250		31.782		
		9.099		1.861		0.243		30.343		

表-11(b) 一軸圧縮試験結果 (博多港土砂)

母材	固化材 添加率(%)	養生日数 (Days)	含水比 w (%)	w 平均	乾燥密度 $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ 平均	水セメント 重量比 w/c	w/c 平均	一軸圧縮 強さ $q_u$ (MPa)	$q_u$ 平均
博多港 土砂	60	1	23.955	24.018	1.626	1.623	0.639	0.640	9.014	8.892
			23.818		1.624		0.635		8.170	
			24.281		1.618		0.647		9.493	
		7	16.067	15.764	1.713	1.664	0.428	0.420	24.148	22.219
			15.480		1.610		0.413		21.247	
			13.815		1.738		0.368		19.977	
			17.780		1.669		0.474		22.956	
			16.995		1.552		0.453		24.174	
			14.444		1.699		0.385		20.811	
		14	17.410	16.155	1.694	1.700	0.464	0.431	23.855	20.789
			14.644		1.736		0.391		21.068	
			13.909		1.745		0.371		15.634	
			18.031		1.656		0.481		20.822	
			17.379		1.656		0.463		20.368	
			15.554		1.710		0.415		22.988	
		28	14.204	13.421	1.689	1.742	0.379	0.358	31.897	27.692
			8.870		1.833		0.237		31.107	
			12.614		1.791		0.336		26.934	
			13.852		1.736		0.369		24.701	
			15.689		1.691		0.418		26.608	
			15.297		1.710		0.408		24.904	
		91	11.490	13.366	1.797	1.753	0.306	0.356	31.583	27.437
			14.896		1.705		0.397		30.297	
			12.278		1.794		0.327		31.984	
			16.883		1.690		0.450		27.701	
			12.973		1.760		0.346		17.300	
			14.503		1.727		0.387		22.707	
10.540	1.797		0.281		30.490					

## 5. 浚渫土砂を用いたブロックなどの技術開発に関するまとめ

本章では、浚渫土砂を用いてブロックを製造するための技術を開発することを目的として、博多港土砂および石灰、高炉スラグ微粉末を用いて、スラグ混合浚渫土の一軸圧縮強度特性を調べた。得られた結論をまとめると以下の通りである。

- 1) 高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を引き出すためには、石灰混合率を4%以上にする必要がある。
- 2) 石灰混合率4%以上の時、スラグ混合率を15%以上にすると、スラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さは10MPa以上となり、準硬石相当の一軸圧縮強さとなる。
- 3) スラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さを増加させるには、水スラグ石灰重量比を小さくすることが重要である。

また、浚渫土砂で作成したブロックの現地適用性を評価するために、暴露試験を行い、ブロックへの生物付着状況を調査した。得られた結論をまとめると以下のようになる。

- 1) 平成24年4月(暴露期間2年)と11月(暴露期間2.5年)に調査を行った結果、乾湿暴露ならびに海中暴露を行ったブロックへの動植物の被覆率および動植物の出現種数は、同環境にあるコンクリート材料と同様であった。したがって、製造した浚渫土砂ブロックは、その他のコンクリート製品と同様に使用できる。
- 2) 暴露期間によらず、乾湿状態で暴露したブロックへの動植物の被覆率は40%程度、海中暴露したブロックへの動植物の被覆率20%であった。また、乾湿状態で暴露したブロックへの動植物の出現種数は8種、海中暴露したブロックへの動植物の出現種数10程度であった。さらに、秋期(平成24年11月)の方が、春期(平成24年4月)に比べて、動植物の被覆率は10%、動植物の出現種数は、1割程度多い。
- 3) 平成23年10月(暴露期間1.5年)、平成24年4月(暴露期間2年)と11月(暴露期間2.5年)において付着状況調査を行った結果、乾湿状態で暴露したブロックについては、動植物の被覆率、動植物の出現種数に変化は見られなかった。しかしながら、海中で暴露したブロックについては、動植物の被覆率は、増加していく傾向にある。

最後に、大型ブロックの製造効率を向上させることを目的として、ドレーン排水を用いた大型脱水実験ならびに強度試験を実施した。得られた結論をまとめると以下のようになる。

- 1) 大型ブロックの製造脱水時間は、両面排水のみの場合は約200~400分なのに対し、両面排水にドレーン排水を併用した場合で25分であった。ドレーン排水を行うことで、脱水終了時間の大幅な短縮が期待できる。
- 2) ブロックの一軸圧縮強さは、固化処理のみを施したブロックの一軸圧縮強さと比較して、固化材添加率20%で8.9倍、固化材添加率40%で10.8倍、固化材添加率60%で4.1倍と、どの固化材添加率においても、固化材添加後に脱水を行うことにより、一軸圧縮強さの増大が顕著に見られた。したがって、固化材添加後に高圧機械脱水をすることにより、浚渫土砂の大

幅な強度増加が期待できる。

- 3) カオリン粘土の固化材添加率 60%では7日養生で、固化材添加率 40%では14日養生で 20MPaの一軸圧縮強さを有するブロックの作製ができた。したがって、大型脱水固化装置を用いて作製した浚渫土ブロックは、固化材添加率を調整することにより、コンクリートに匹敵する強度を有するといえる。
- 4) 大型ブロックにおいても、供試体の一軸圧縮強さと水セメント重量比との間には、強い相関が見られたため、大型ブロックの一軸圧縮強さは、母材の種類や固化材添加率によらず、水セメント重量比に支配されると考えられる。