

平成 25 年度研究実施

(一財)港湾空港総合技術センター研究開発助成

助成番号 : 平成 25 年 1 月 22 日付 第 12-1 号

研究開発項目 : (一般) 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 26 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

平澤 充成

目 次

1. はじめに	1
1. 1 研究開発の目的・意義	1
1. 2 研究開発の概要	1
2. 固結効果に着目したスラグ混合浚渫土の圧密特性	3
2. 1 実験概要	3
(1) 試料	3
(2) 実験装置	4
(3) 実験方法	5
(4) 実験条件	7
2. 2 定ひずみ速度圧密特性	8
(1) 間隙水圧	8
(2) 圧密圧力	10
(3) e - $\log p$ 曲線	13
(4) 透水係数	16
(5) 体積圧縮係数	19
(6) 圧密係数	21
2. 3 アイソタックモデルを用いたスラグ石灰混合浚渫土の圧密特性評価	23
(1) アイソタック概念とは	23
(2) データ整理の手法	23
(3) 公称ひずみを用いた圧密特性	25
(4) 真ひずみを用いた圧密特性	34
2. 4 結論	41
(1) 定ひずみ速度圧密試験	41
(2) アイソタックモデルを用いたスラグ石灰混合浚渫土の圧密特性評価	41
3. 小型脱水固化装置によるスラグ石灰混合浚渫土の力学特性	42
3. 1 実験装置	42
3. 2 実験方法	45
(1) 試料の作製手順	45
(2) 供試体の作製手順	46
(3) 一軸圧縮試験	47
3. 3 実験ケース	48
(1) 試料	48
(2) 実験条件について	49
3. 4 小型高圧脱水固化装置におけるスラグ石灰混合浚渫土の脱水特性	51
(1) 博多港土砂を母材とした場合のスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線	51

(2) 関門粘土を母材とした場合のスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線	54
(3) 脱水終了時間	56
3. 5 小型脱水固化装置におけるスラグ石灰混合浚渫土の強度特性	62
(1) 応力ひずみ曲線	62
(2) スラグ石灰混合浚渫土の特性	73
(3) 一軸圧縮試験結果	85
4. 大型脱水固化装置によるスラグ石灰混合浚渫土の力学特性	89
4. 1 実験装置	89
4. 2 実験方法	91
(1) 試料の作製手順	91
(2) 実験手順	91
4. 3 実験条件	93
4. 4 大型脱水固化装置によるスラグ石灰混合浚渫土の脱水特性	94
4. 5 大型脱水固化装置によるスラグ石灰混合浚渫土の強度特性	95
(1) 応力ひずみ曲線	96
(2) 大型スラグ石灰混合浚渫土の特性	99
(3) 一軸圧縮試験結果	102
5. 大型脱水固化装置による脱水固化処理土の暴露実験結果	103
5. 1 暴露現場概要	103
5. 2 暴露試験結果	105
(1) 強度特性	105
(2) 耐久性	108
(3) 現地適応性	114
6. 主成分分析によるスラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さ予測フローの提案	134
6. 1 小型脱水固化装置実験結果に基づく主成分分析	134
(1) 各変量について	134
(2) 主成分分析結果	137
(3) 一軸圧縮強さ予測式の設定	138
6. 2 小型脱水固化装置に基づく各変量の推定	138
(1) スラグ石灰水重量比の推定	138
(2) 間隙比の推定	139
6. 3 一軸圧縮強さ予測フローの提案	140
(1) 一軸圧縮強さ予測フローの作製	140
(2) 一軸圧縮強さ予測フローの精度	141
7. まとめと今後の課題	144

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鋼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。

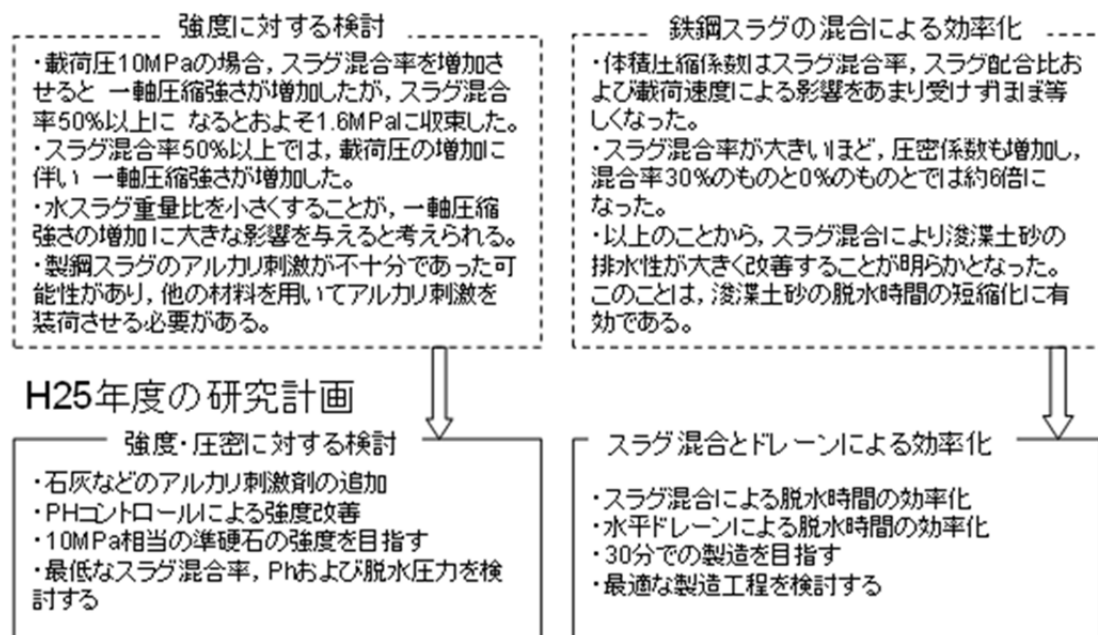
1. 2 研究開発の概要

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、最適なブロック製造技術の提案を行う。

平成 25 年度は次の項目について研究を実施した。また研究計画全体の位置づけを下図に示す。

- 1) 浚渫土スラグ固化体の強度・圧密特性の詳細把握
- 2) 大型高圧脱水成型装置による脱水時間の短縮化の検討

H24年度の成果



本報告書では、 2．固結効果に着目したスラグ混合浚渫土の圧密特性、 3．小型脱水固化装置によるスラグ石灰混合浚渫土の力学特性、 4．大型脱水固化装置によるスラグ石灰浚渫土の力学特性、 5．大型脱水固化装置による脱水固化処理土の暴露試験結果について取りまとめ報告するとともに、 6．スラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さの予測法について提案する。

2. 固結効果に着目したスラグ混合浚渫土の圧密特性

2. 1 実験概要

(1) 試料

博多港で浚渫された土砂（以降，博多港土砂と呼ぶ）および関門で浚渫された粘土（以降，関門粘土と呼ぶ）を母材とし，消石灰と高炉スラグ微粉末を用いて実験を行った．各母材の物理特性は，表-1 および図-1 に示す通りである．

表-1 物理特性

	博多港土砂	関門粘土
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.686	2.697
液性限界 w_L (%)	68.1	95.0
塑性指数 I_p	32.5	59.1

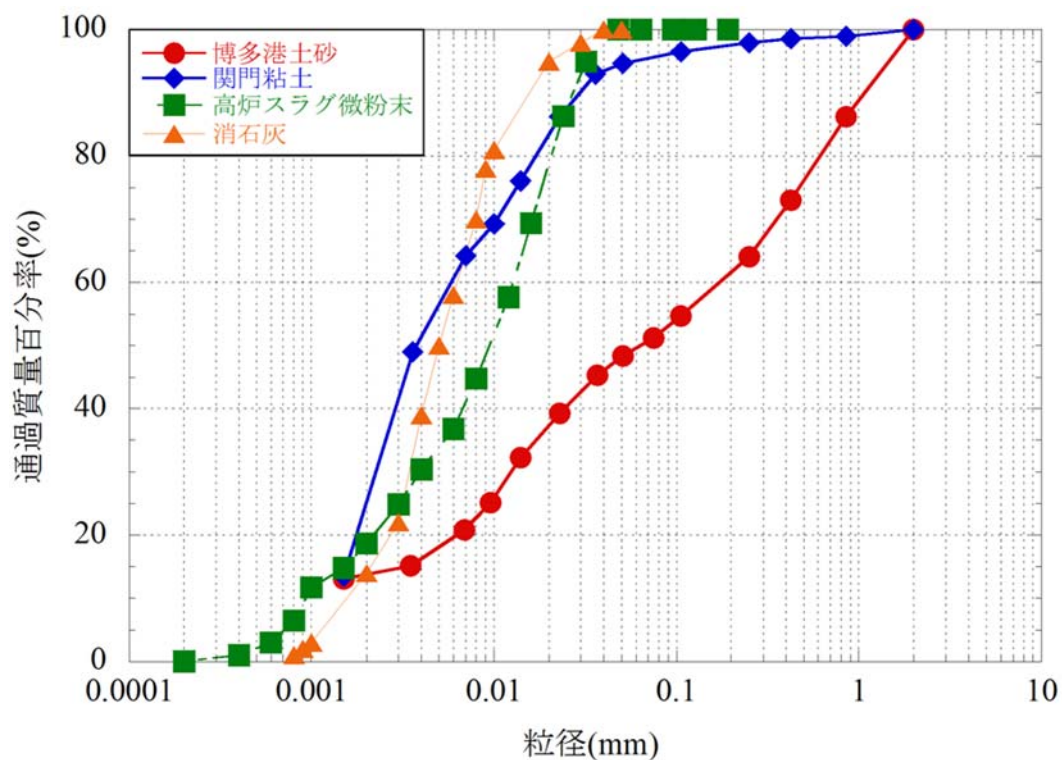


図-1 粒径加積曲線

(2) 実験装置

図-2 に、本研究の実験で用いた定ひずみ速度圧密試験機の構成を示す。圧密リングは内径 6cm、高さ 2cm である。実験装置について、実際に圧密リング内に供試体を充填し、圧縮装置に設置した様子を写真-1 に示す。

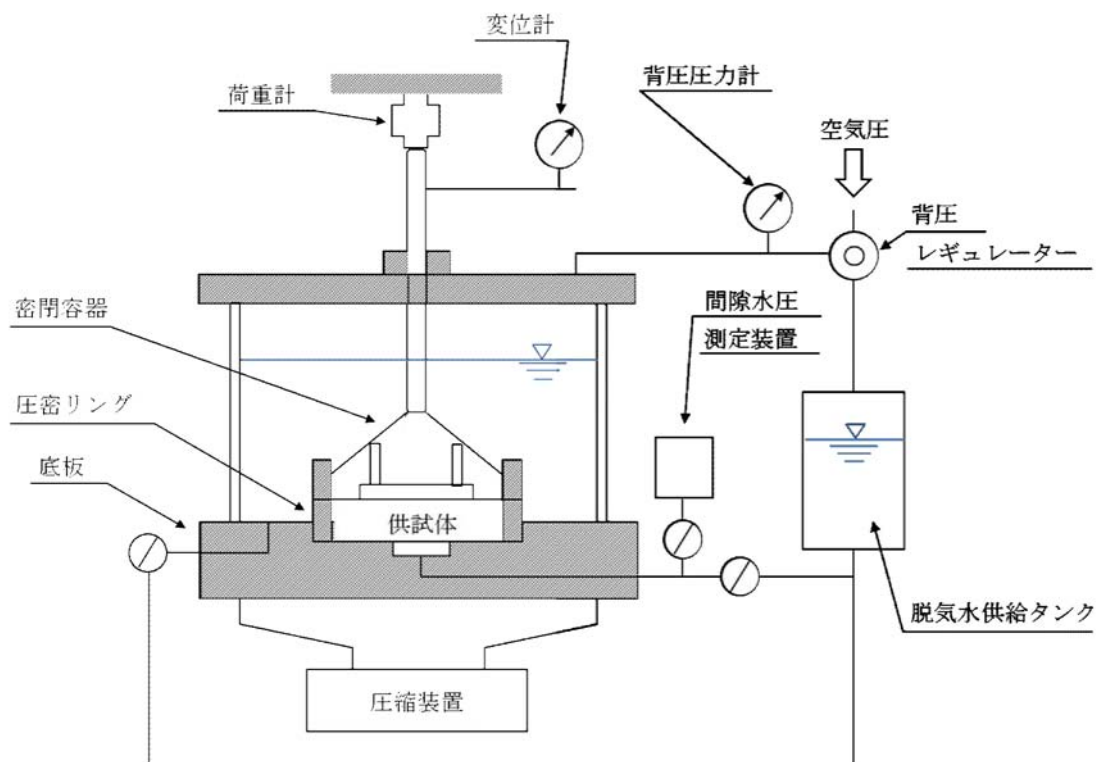


図-2 定ひずみ速度圧密試験機

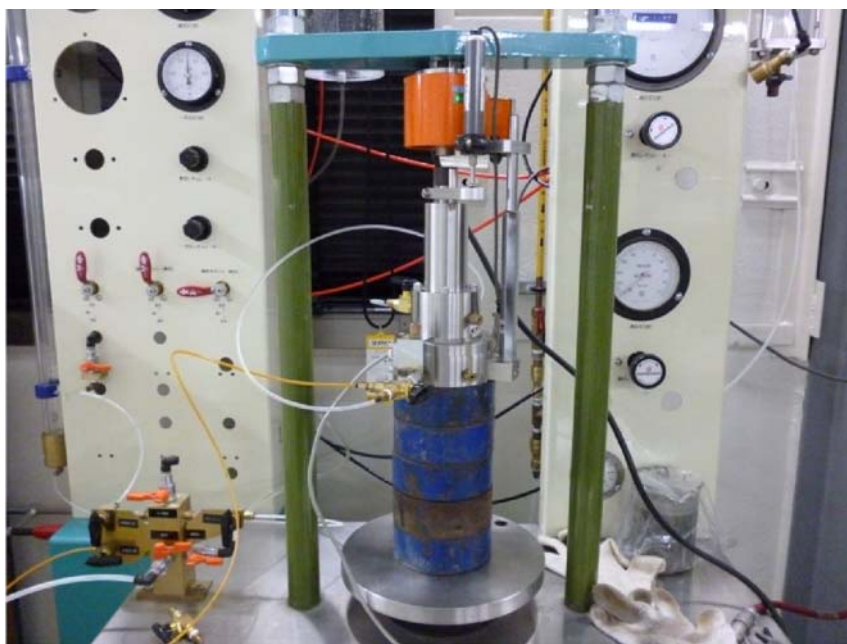


写真-1 定ひずみ速度圧密試験機

(3) 実験方法

・実験装置と試料の準備

実験装置と試料の準備の手順を以下に示す。ただし、実験装置の一連の操作は、供試体の吸水膨張を防ぐために手際よく行う。

① 実験装置

- 実験前日までに、脱気水供給タンク内に蒸留水を満たし、タンク内を真空状態にして脱気水を作っておく。
- 圧密リングの形状に合わせて切ったろ紙を準備する。
- 準備した脱気水を供給し、圧密試験機の間隙水压系および圧密容器底板の多孔板を飽和する。
- Oリングを装着した圧密リングを底板に固定し、ろ紙をひいた後、浚渫土を圧密リングの中へ充填する。
- 充填した供試体上面にろ紙をひき、密閉容器で供試体を密閉する。
- 圧密容器を圧縮装置に設置し、変位計を取り付ける。
- 供試体は上端面排水にし、圧密容器内を脱気水で満たして供試体を水浸させた後、供試体内に段階的に背圧を作用させる。背圧の値は 100kPa とした。
- ひずみ計をセットし、すべてのバランスをとった後、圧密を開始する。

② 試料

- 供試体を所定の初期含水比に調整するため、各試料の自然含水比を測定する。
- 消石灰と高炉スラグ微粉末で処理した浚渫土が設定した初期含水比と一致するよう、浚渫土、消石灰、高炉スラグ微粉末および水の配合量を計算する。
- ビーカーに浚渫土をとり、消石灰と高炉スラグ微粉末および水を加え、十分に混ぜ合わせる。

・軸圧縮および測定

実験中の軸圧縮および測定の手順を、以下に示す。

- 圧縮装置により、ひずみ速度を設定する。
- 決定したひずみ速度で、供試体を連続的に軸方向に圧縮する。
- 圧縮開始後、経過時間 t (min)における軸圧縮力 P_t (N)、供試体の圧密量 d_t (cm)および供試体底面の間隙水压 u_t (kPa)を測定する。
- 軸圧縮力が所定の圧密圧力に相当する値に達したら、軸圧縮を終了する。

・実験装置の解体

実験装置の解体の手順を以下に示す。

- 背圧を除荷した後、密閉容器内の水を排水する。

- 軸圧縮力を除荷した後，密閉容器を取り外し，圧密容器を解体する．
- 圧密容器から供試体全量を蒸発皿に取り出して，質量が一定になるまで炉乾燥し，供試体の炉乾燥重量を測る．

実際に圧密リング内に供試体を充填した様子を写真-2 に，実験で用いる圧密リングおよび各測定器を写真-3，写真-4，写真-5 および写真-6 に示す．

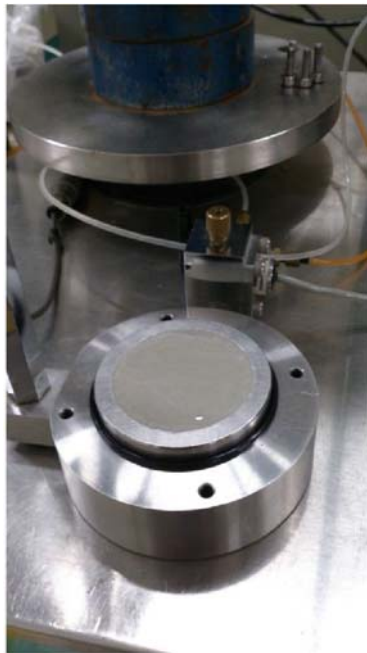


写真-2 供試体充填状況



写真-3 圧密リング



写真-4 ロードセル



写真-5 変位計



写真-6 間隙水圧計

(4) 実験条件

博多港土砂および関門粘土を母材とし、消石灰と高炉スラグ微粉末を用いて実験を行った。初期含水比は、博多港土砂では液性限界 w_L の1.2倍とし、関門粘土では液性限界の2.0倍に設定した。消石灰は、母材の乾燥重量に対する比率（以下、石灰混合率と呼ぶ）で10%添加した。また、高炉スラグ微粉末は、母材の乾燥重量に対する比率（以下、スラグ混合率と呼ぶ）で15, 30 および 45%添加した。さらに、定ひずみ速度圧密試験の載荷速度が及ぼす影響を調べるために、載荷速度 r を0.1 および 1%/min と変化させ、石灰とスラグを混合後の時間（以下、養生時間と呼ぶ）が及ぼす影響も調べるために、養生時間 t_c を0 および 24h と変化させた。実験では、軸圧縮圧力が5MPaになるまでの経過時間 t における軸圧縮力 P_t 、圧密変位量 d_t および供試体底面の間隙水圧 u_t を測定した。実験条件を表-2に示す。

表-2 実験条件

母材	博多港土砂，関門粘土
石灰	消石灰
スラグ	高炉スラグ微粉末
石灰混合率	10%
スラグ混合率	15, 30, 45%
初期含水比	$1.2w_L$ （博多）， $2.0w_L$ （関門）
供試体寸法	直径60×高さ20mm
最大軸圧縮応力	5MPa
載荷速度 r	0.1, 1%/min
養生時間 t_c	0, 24h

2. 2 定ひずみ速度圧密特性

(1) 間隙水圧

定ひずみ速度圧密試験において、図-3 に博多港土砂、図-4 に関門粘土における間隙水圧の時間的な変化の様子を示す。それぞれ載荷速度は $0.1\%/min$ で一定とし、スラグ混合率を変化させた。比較のため、母材に何も混合しなかった場合の結果も示した。グラフより、ひずみ速度が $0.1\%/min$ の場合では、スラグと石灰を混合することにより、圧密試験終了時の間隙水圧の上昇を博多港土砂では未混合時の約 $1/4$ に、関門粘土では未混合時の約 $2/5$ に抑えることができた。また、スラグ混合率による変化はあまりみられなかった。

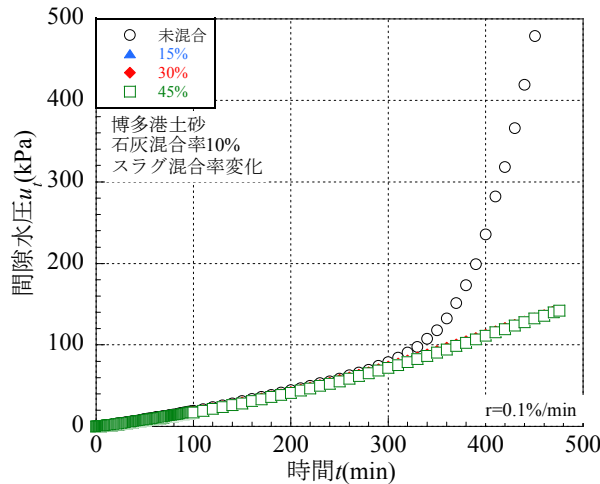


図-3 間隙水圧の時間変化
(博多, $r=0.1\%/min$)

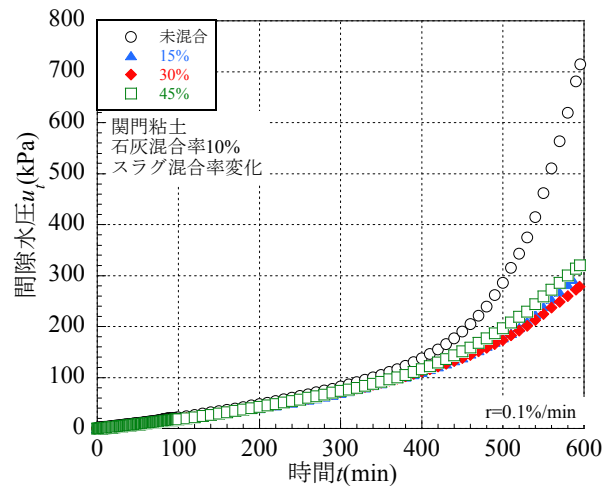


図-4 間隙水圧の時間変化
(関門, $r=0.1\%/min$)

図-5 に博多港土砂、図-6 に関門粘土における、載荷速度を $1\%/min$ として養生時間およびスラグ混合率を変化させた場合の間隙水圧の時間的な変化の様子を示し、図-7 および図-8 に、各母材の定ひずみ速度圧密試験における間隙水圧の最大値を示す。それぞれの母材に対して、混合後養生せずに載荷速度を $0.1\%/min$ および $1\%/min$ と変化させた場合と、載荷速度を $1\%/min$ で一定とし、混合後の養生時間を $0h$ および $24h$ と変化させた場合において、それぞれスラグ混合率を 15% 、 30% および 45% と変化させた時の最大間隙水圧 u_{max} を示した。グラフより、各母材において、載荷速度にかかわらず、スラグと石灰を混合することで間隙水圧の上昇を抑えることができているとわかった。その抑制量は、博多港土砂では最大で未混合時の約 $1/5$ に抑えられており、関門粘土では未混合時の約 $2/5$ に抑えられていた。また、各母材において、スラグ混合率にかかわらず、載荷速度が小さいほど間隙水圧の最大値は小さくなり、 $24h$ 放置することで間隙水圧の最大値は大きくなることがわかった。これは、小さい載荷速度で圧密すると、供試体の水和反応が進み、粒子が団粒化することで排水性が増すためであると考えられる。また、 $24h$ 養生すると、水和反応による固化が進行し切ってしまうことで、逆に排水性が悪くなることが考えられる。

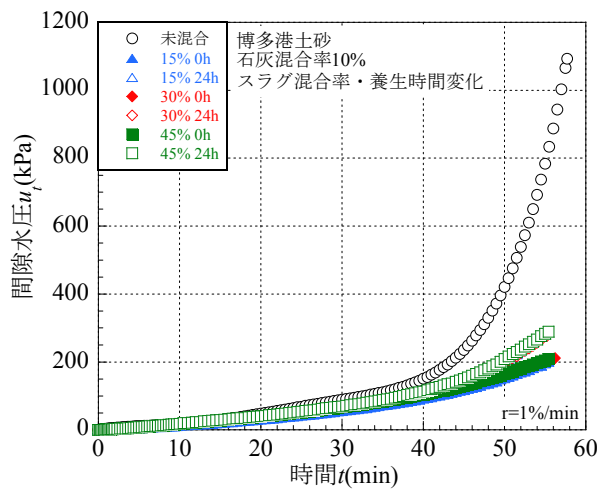


図-5 間隙水圧の時間変化 (博多)
($r=1\%/min$, 養生時間変化)

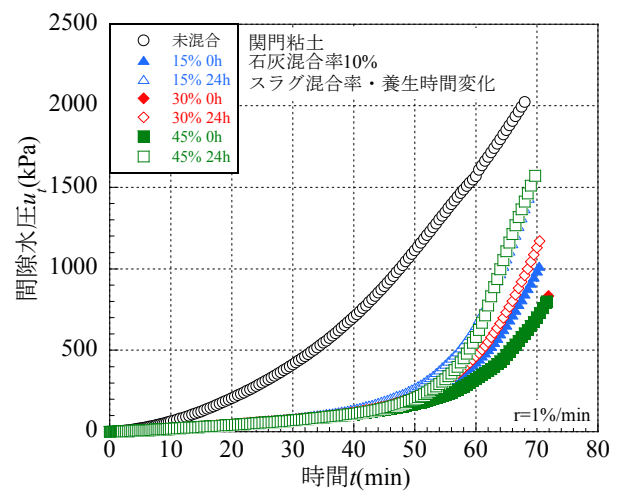


図-6 間隙水圧の時間変化 (関門)
($r=1\%/min$, 養生時間変化)

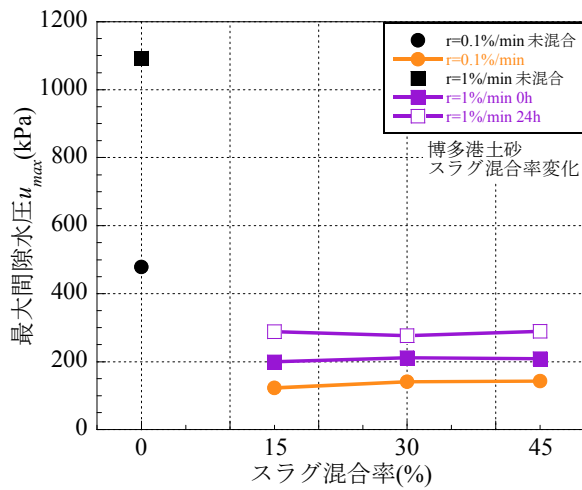


図-7 最大間隙水圧 (博多港土砂)

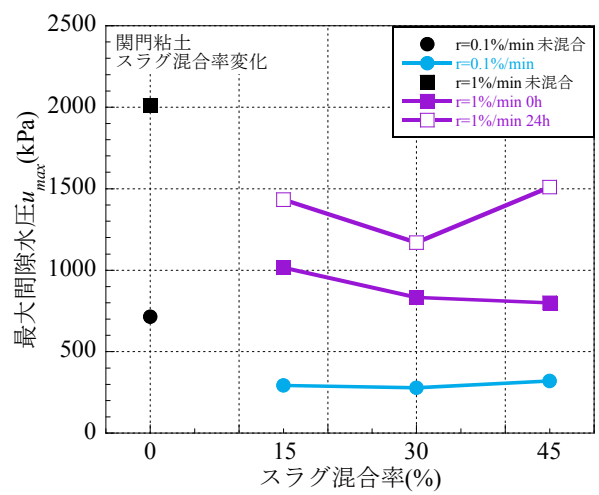


図-8 最大間隙水圧 (関門粘土)

(2) 圧密圧力

定ひずみ速度圧密試験において、**図-9**に博多港土砂、**図-10**に関門粘土における圧密圧力の時間的な変化の様子を示す。それぞれ載荷速度は $0.1\%/min$ で一定とし、スラグ混合率を変化させた。ここでも比較のため、母材に何も混合しなかった場合の結果も示した。グラフより、博多港土砂においては、載荷後 300 分までは大きな変化が見られなかったが、300 分以降は圧密圧力の大きな変化が見られた。関門粘土においては載荷後 400 分以降に大きな変化が見られた。これは、浚渫土の初期間隙比が非常に大きいことから、載荷後しばらくは急激な圧密が生じるため、圧密圧力が増加しないと考えられる。圧密圧力の大きな変化が生じてからは、スラグ混合率による変化も見られた。博多港土砂においては、未混合時に比べてスラグ混合率 15% の場合は同時刻における圧密圧力が大きく、スラグ混合率 30 および 45% の場合は逆に小さくなった。これは、スラグと石灰を混合することにより生じる固結効果が関わりと考えられ、未混合時に比べて同時刻における圧密圧力が増大するのは、水和反応により固化体が生成するためであり、逆に減少するのは、反応が進行している段階で、土粒子間を吸着させるような力が発生し、圧密圧力の増加を抑えているためであると考えられる。一方、関門粘土においてはスラグ混合率にかかわらず、未混合時に比べて同時刻における圧密圧力の値が大きくなり、その増加量はスラグ混合率 15% において最大となった。このことから、各母材において、石灰混合率 10% という配合に対しては、スラグ混合率が 15% のときに最も固化反応が進行するのではないかと考えられる。

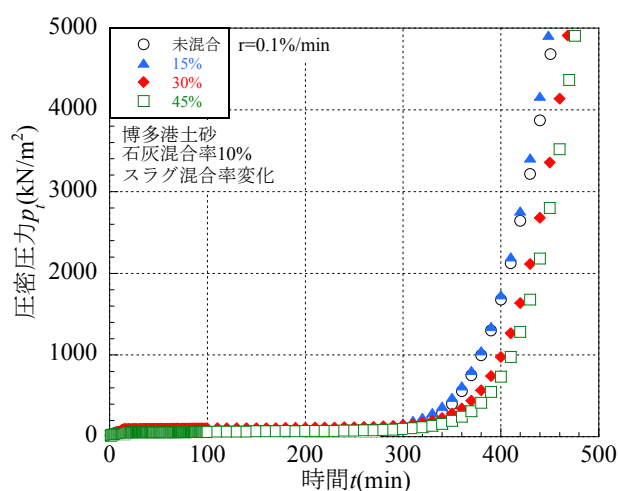


図-9 圧密圧力の時間変化
(博多, $r=0.1\%/min$)

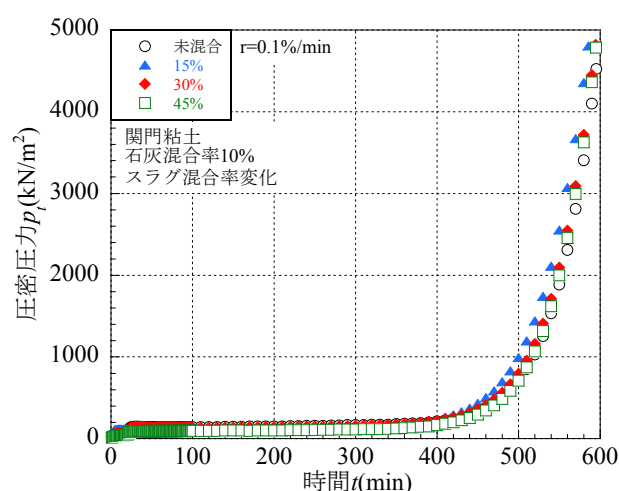


図-10 圧密圧力の時間変化
(関門, $r=0.1\%/min$)

図-11 に博多港土砂，図-12 に関門粘土における，载荷速度を 1%/min とし て未混合時お よびスラグ混合率を変化させた時の圧密圧力の時間的な変化を示す．グラフより，博多港 土砂では载荷後 40 分経過時において圧密圧力が増加し始め，関門粘土では载荷後 50 分経 過時において圧密圧力が増加し始めた．各母材ともに，スラグと石灰を混合することで， 圧密圧力が増加し始めた部分において，未混合時よりも同時刻における圧密圧力が大きく なった．これは水和反応初期の固結効果によるものであると考えられる．また，スラグ混 合率で比較すると，どちらの母材においてもスラグ混合率 15%における圧密圧力が最も大 きいことから，スラグ混合率 15%における固結効果が最も大きいと考えられる．

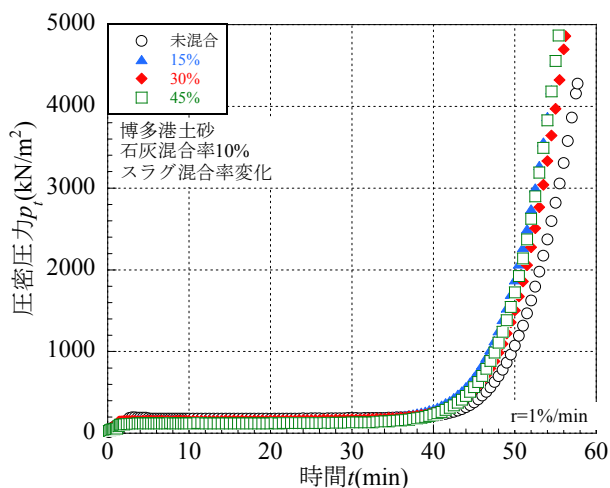


図-11 圧密圧力の時間変化
(博多, $r=1\%/min$)

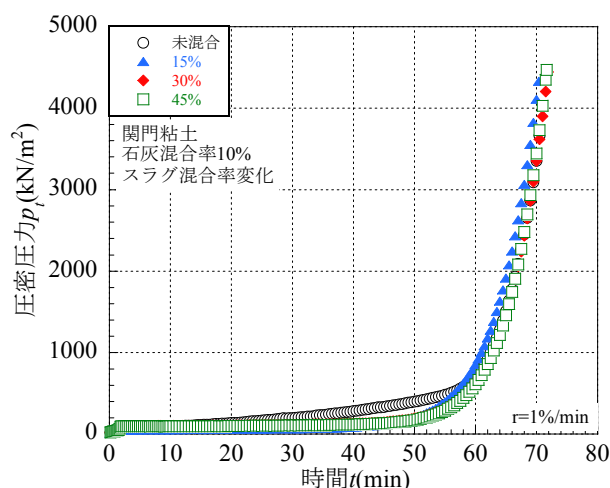


図-12 圧密圧力の時間変化
(関門, $r=1\%/min$)

このように，スラグと石灰を混合することで，一定の固結効果が圧密圧力の値において みられると考えられるため，固結効果を同時刻におけるスラグ石灰混合土と未混合土の圧 密圧力の差 Δp_t として，式(1)により計算した．

$$\Delta p_t = p_t(\text{スラグ石灰混合土}) - p_t(\text{未混合土}) \quad (1)$$

図-13 に博多港土砂，図-14 に関門粘土における，載荷速度を 0.1%/min としたときの固結効果の時間的な変化の様子を示す．図-9，図-10 でも示したように，スラグ混合率 15% において固結効果が最も大きくなり，スラグ混合率が大きくなるにつれて固結効果は小さくなっていくことがわかる．また，博多港土砂ではスラグ混合率 30 および 45% の場合には固結効果が負の方向に働き，土粒子間を吸着させるような力が働いていると考えられる．このように，博多港土砂において長期にわたってこのような力が働くのは，関門粘土との土粒子の粒径の違いが大きく関わると考えられる．

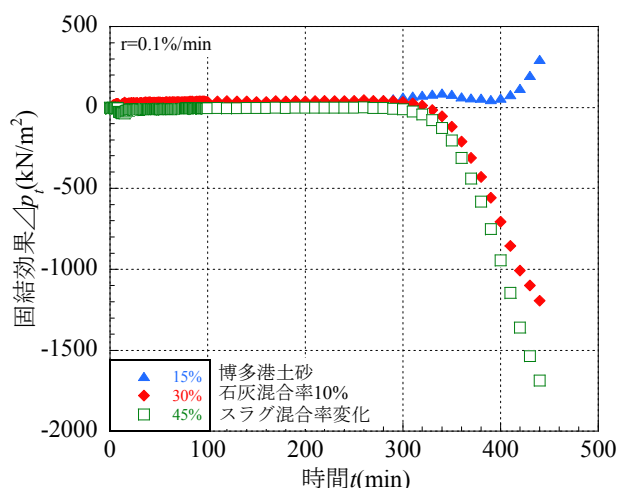


図-13 固結効果の時間変化
(博多, $r=0.1\%/min$)

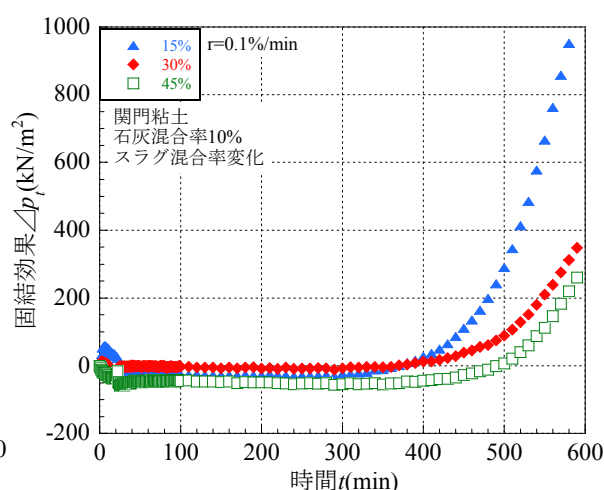


図-14 固結効果の時間変化
(関門, $r=0.1\%/min$)

図-15 に博多港土砂，図-16 に関門粘土における，載荷速度を 1%/min とし，スラグ混合率および混合後の養生時間を変化させたときの固結効果の時間的な変化の様子を示す．グラフより，各母材において，圧密初期には固結効果が負の値をとり，博多港土砂では載荷後約 40 分から，関門粘土では載荷後約 50 分から固結効果が大きく上昇した．また，スラグ混合率 15% において固結効果は最も大きくなり，混合後に 24h 養生したもののほうが固結効果は大きく，最大で約 500~600kN/m² の増加がみられた．スラグ混合率および養生時間の変化による固結効果は関門粘土において大きな変化がみられ，これは，関門粘土のほうが粘性が強く，塑性指数 I_p も大きいためであると考えられる．

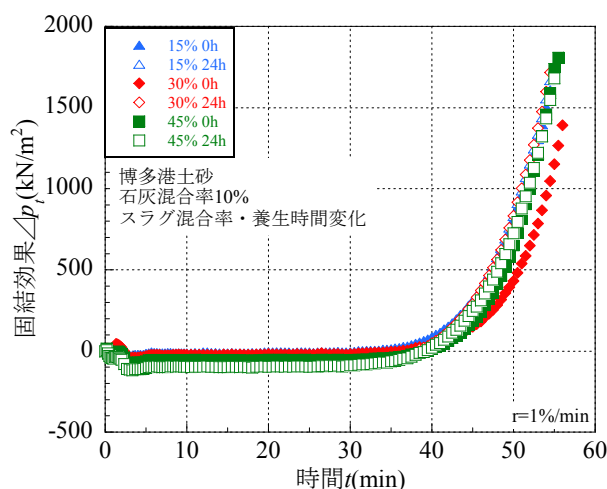


図-15 固結効果の時間変化
(博多, $r=1\%/min$)

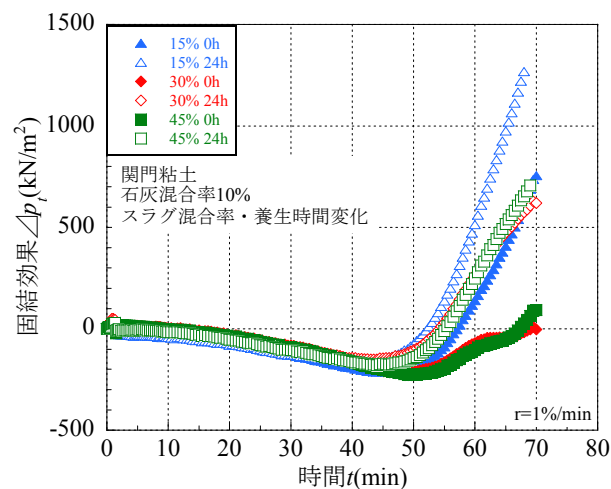


図-16 固結効果の時間変化
(関門, $r=1\%/min$)

(3) e -log p 曲線

図-17 に、各母材に何も混合しなかった供試体を対象に圧密試験を行ったときの e -log p 曲線を示す。載荷速度は 1%/min とした。 e -log p 曲線の形状は、初期間隙比が非常に大きいため、博多港土砂では間隙比が 1.0、関門粘土では間隙比が 1.5 までは急激な圧密が生じ、それ以降は従来の線形関係が得られた。関門粘土の初期間隙比が博多港土砂の約 2 倍となっているのは、関門粘土のほう

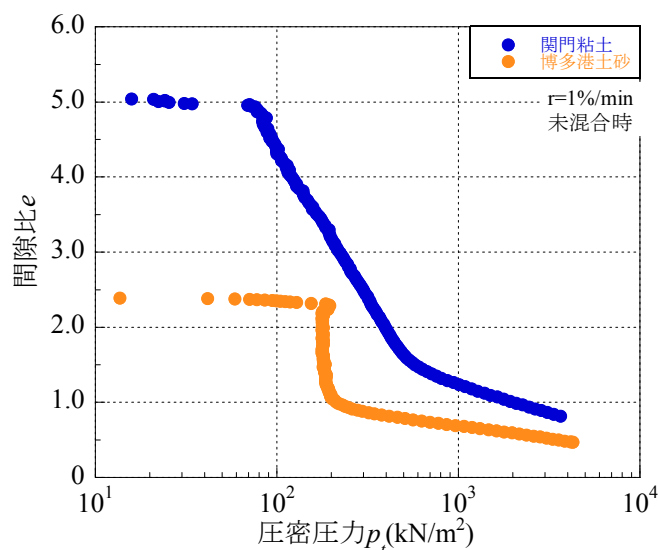


図-17 e -log p 曲線 (未混合時)

を意味する。また、関門粘土においては、博多港土砂に比べ、急激な圧密が生じるときに圧密圧力が増加していた。これは、未混合時の関門粘土の排水性が極めて悪いためであると考えられる。

図-18 に博多港土砂、図-19 に関門粘土における、載荷速度を 1%/min、養生時間を 0h とし、スラグ混合率を変化させたときの e -log p 曲線を示す。 e -log p 曲線の形状は、博多港土砂では間隙比が 1.0、関門粘土では間隙比が 2.0 までは急激な圧密が生じ、それ以降は従来の線形関係が得られた。特に関門粘土においては、スラグと石灰を混合することで、急激に圧密が生じるときに圧密圧力の増加が抑えられており、排水性が大きく改善されていることがその形状から読み取ることができる。 e -log p 曲線からわかる圧密降伏応力は、スラグ混合率によって異なるものの、その差も小さく、実験による誤差の範囲で大きな変化はないと考えられる。

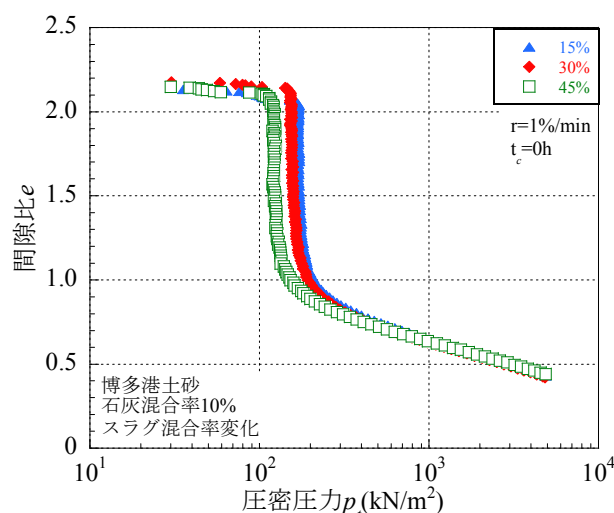


図-18 e -log p 曲線
(博多, $r=1\%/min$, $t_c=0h$)

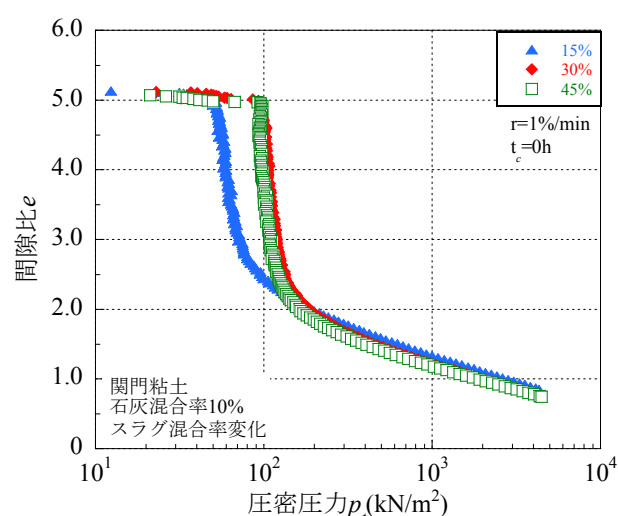


図-19 e -log p 曲線
(関門, $r=1\%/min$, $t_c=0h$)

図-20 および図-21 に，図-18 および図-19 で示した $e-\log p$ 曲線の直線部分を示す．グラフより，同じ圧密圧力における間隙比の値はスラグ混合率によって異なる値を示したが，直線はスラグ混合率にかかわらずほぼ平行な関係になることがわかった．同じ圧密圧力における間隙比の値を比較すると，博多港土砂では，圧密終了時にはスラグ混合率にかかわらずほぼ一定の値になるものの，各母材ともにスラグ混合率 15% のときに間隙比の値が最大となり，そこからスラグ混合率が大きくなるにつれて間隙比の値は減少した．これは，(2) でも述べたように，各母材ともにスラグ混合率 15% において最も固結効果が現れることを意味すると考えられる．

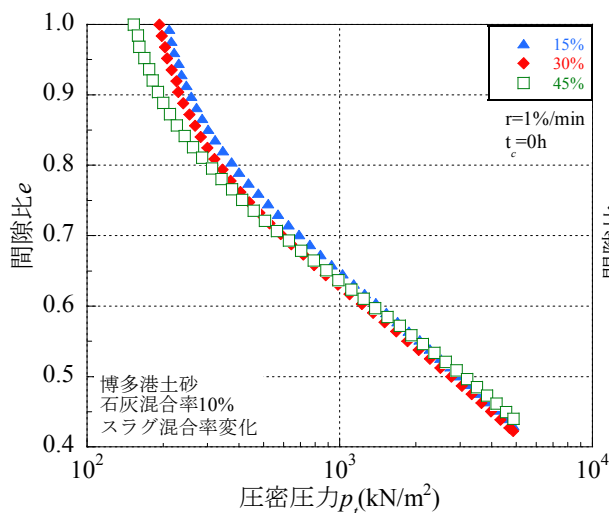


図-20 $e-\log p$ 曲線（直線部分）
（博多， $r=1\%/min$ ， $t_c=0h$ ）

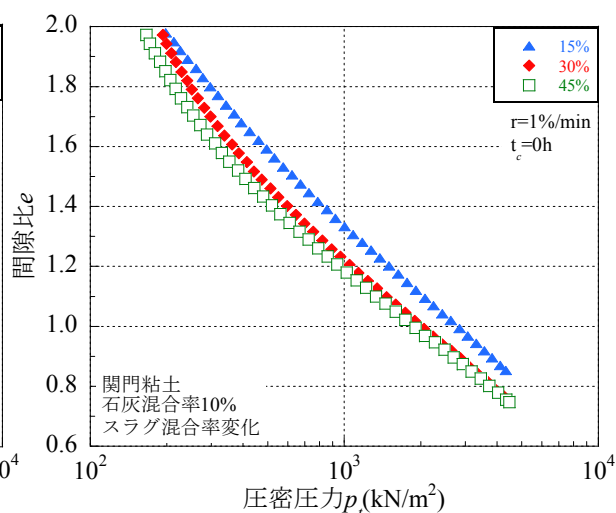


図-21 $e-\log p$ 曲線（直線部分）
（関門， $r=1\%/min$ ， $t_c=0h$ ）

図-22 に博多港土砂，図-23 に関門粘土における，载荷速度を 1%/min とし養生時間およびスラグ混合率を変化させたときの e - $\log p$ 曲線の直線部分を示す．各母材において，同じ圧密圧力における間隙比の値は，混合後 24h 養生したものの方が大きかった．また，スラグ混合率による変化を比べると，スラグ混合率 15%における間隙比が最も大きくなった．しかし，博多港土砂においては，スラグ混合率における e - $\log p$ 曲線の変化は小さく，ほぼ一定となると考えられる．以上から， e - $\log p$ 曲線の直線部分を比較すると，混合後 24h 養生した母材の固結効果が大きく，特に関門粘土においては，混合後 24h 養生したスラグ混合率 15%の母材の固結効果が最も大きいと考えられる．

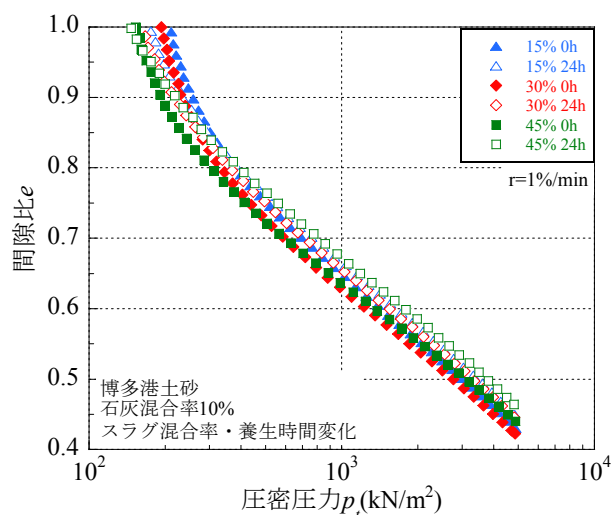


図-22 e - $\log p$ 曲線（直線部分）
（博多， $r=1\%/min$ ，養生時間変化）

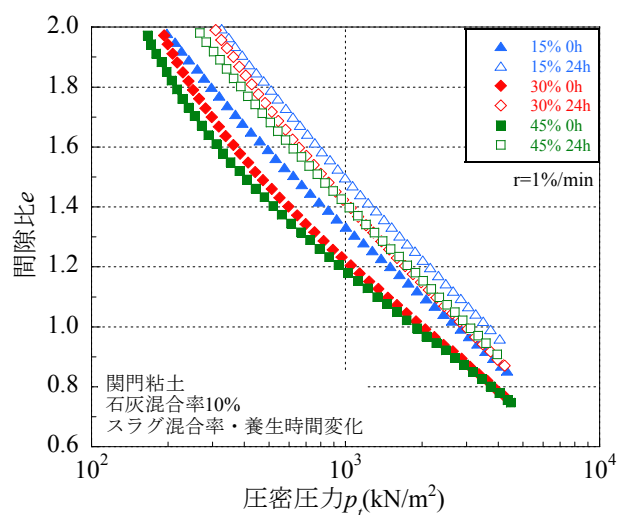


図-23 e - $\log p$ 曲線（直線部分）
（関門， $r=1\%/min$ ，養生時間変化）

(4) 透水係数

定ひずみ速度圧密試験において、図-24 に博多港土砂、図-25 に関門粘土における間隙比 e と透水係数 k の関係を示す。載荷速度は 0.1%/min である。圧密初期における間隙比はスラグ混合率によって異なるものの、博多港土砂では間隙比が 0.8 まで、関門粘土では間隙比が 2.0 までは、同じ間隙比の値での透水係数の値に大きな変化は見られなかった。さらに圧密が進むと、各母材ともに未混合の場合は透水係数が急激に小さくなるが、スラグと石灰を混合した場合では、透水係数の減少を小さくすることができており、透水性が改善されているといえる。しかし、スラグ混合率による変化はあまり見られなかった。

図-26 に博多港土砂、図-27 に関門粘土において、載荷速度を 1%/min、養生時間を 0h としたときの間隙比 e と透水係数 k の関係を示す。載荷速度が 0.1%/min の場合よりも、スラグ石灰混合時と比較した未混合時の透水係数の値が極めて小さくなった。しかし、この場合においても、スラグ混合率による透水係数の値の違いはあまり見られなかった。

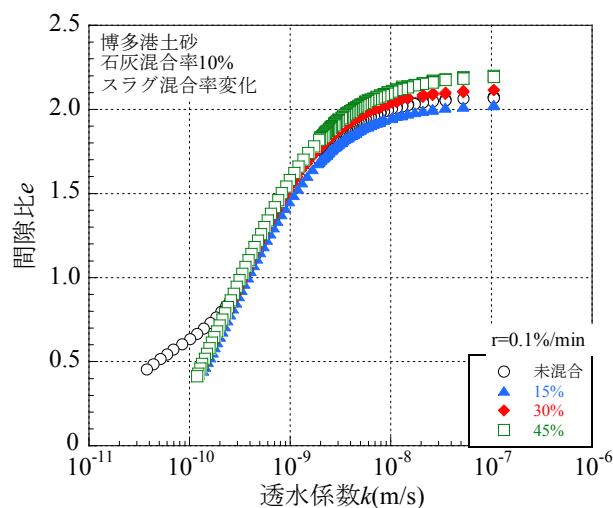


図-24 間隙比と透水係数の関係
(博多, $r=0.1\%/min$)

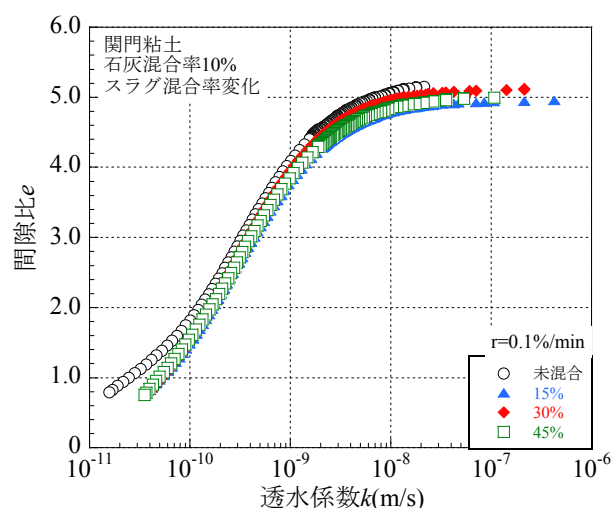


図-25 間隙比と透水係数の関係
(関門, $r=0.1\%/min$)

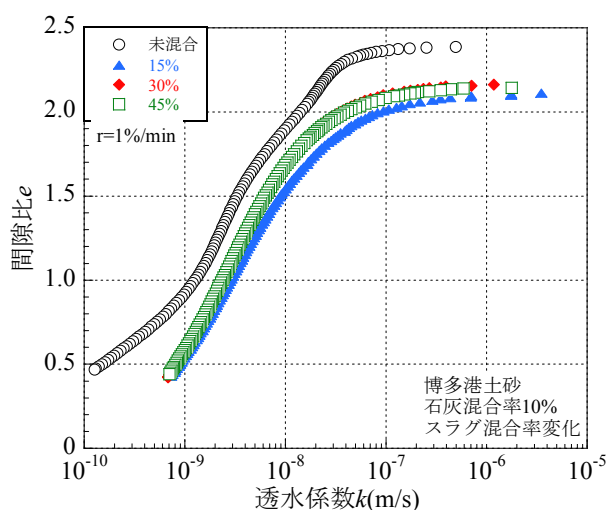


図-26 間隙比と透水係数の関係
(博多, $r=1\%/min$)

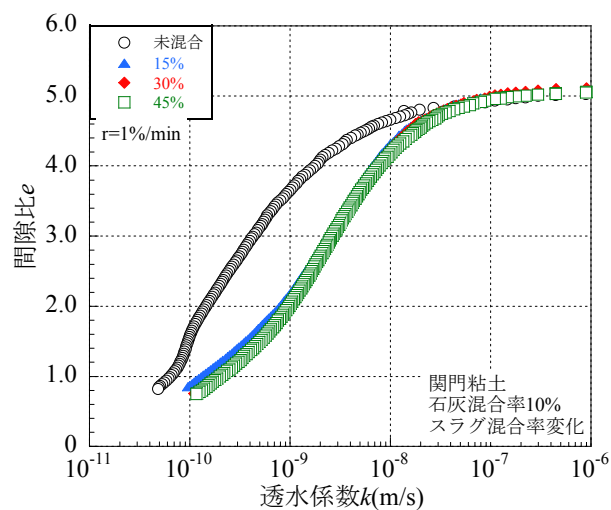


図-27 間隙比と透水係数の関係
(関門, $r=1\%/min$)

図-28 に博多港土砂，図-29 に関門粘土において，それぞれ圧密圧力が 1MPa に達したときの透水係数の値を，スラグ混合率および養生時間について比較したものを示す．スラグと石灰の混合により，未混合時に比べて透水係数の値が 2.5～3.5 倍となり，透水性が改善されていることがわかった．また，各養生時間に対して，スラグ混合率による透水係数の変化はあまり見られなかったが，各母材ともに混合後 24h 養生したものの透水係数のほうが小さな値となった．これは，養生によるスラグの凝結が進行することで，透水性が悪くなることが考えられる．

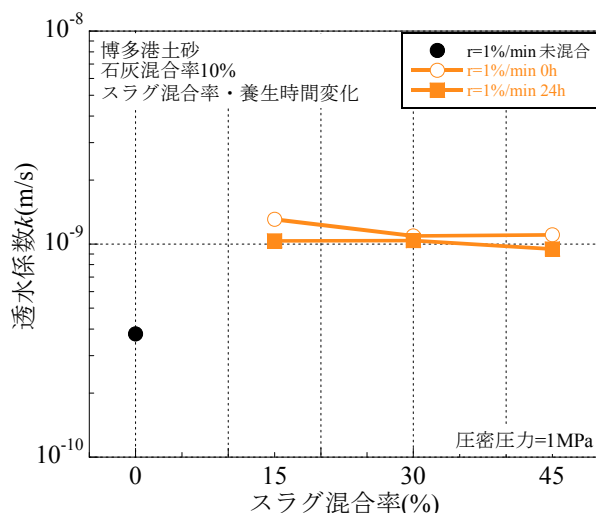


図-28 透水係数（博多）
($r=1\%/min$, $p=1MPa$)

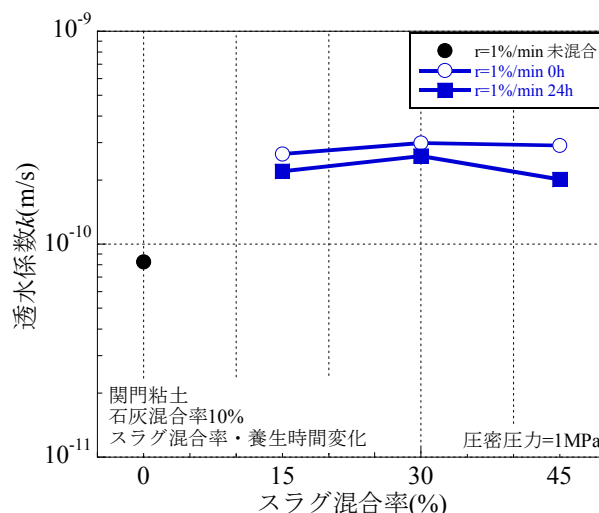


図-29 透水係数（関門）
($r=1\%/min$, $p=1MPa$)

図-30 に博多港土砂，図-31 に関門粘土において，それぞれ間隙比が一定時における透水係数の値を，スラグ混合率および養生時間について比較したものを示す．博多港土砂では間隙比が 2.0 および 1.0 の場合，関門粘土では間隙比が 4.0 および 2.0 の場合を示した．未混合時と比較すると，どの条件においても混合時に透水係数の大幅な上昇が見られ，博多港土砂では最大で未混合時の約 6 倍となり，関門粘土では最大で未混合時の約 6.5 倍となった．また，スラグ混合率による透水係数の変化はあまり見られなかったが，全体的に混合後 24h 養生後における透水係数の値が小さくなった．

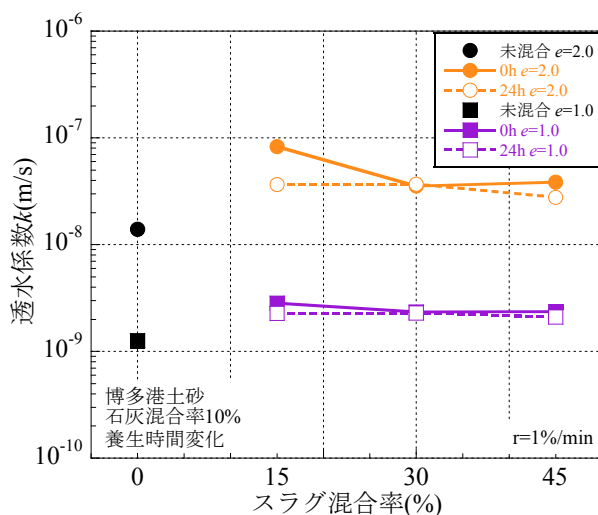


図-30 透水係数（博多）
($r=1\%/min$, 一定間隙比)

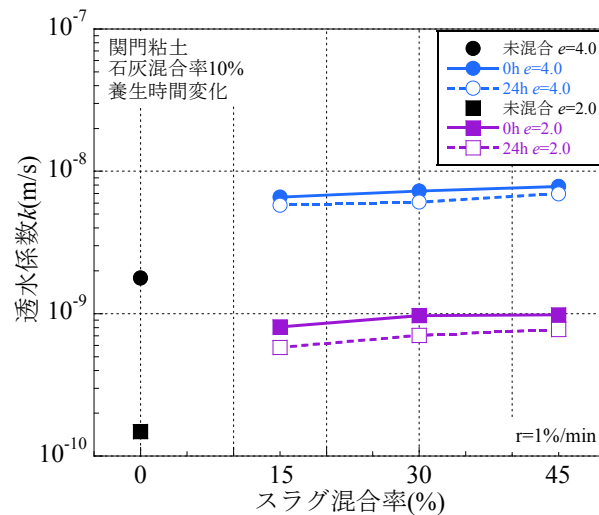


図-31 透水係数（関門）
($r=1\%/min$, 一定間隙比)

図-32 に博多港土砂，図-33 に関門粘土において，b) で仮定した固結効果 Δp_t と透水係数の関係を示す．载荷速度は 1%/min で，スラグ混合率および養生時間を変化させた．ただし，縦軸の透水係数は，未混合時の透水係数で割ることによって正規化した．各母材ともに，固結効果が負の値において，透水係数比が増大する傾向がみられた．これは，土粒子間を吸着させるような力によるものだと考えられる．固結効果が正の方向に増大すると，博多港土砂では透水係数が増大し，関門粘土では透水係数が減少した．博多港土砂では，土粒子が団粒化することで透水性が増し，関門粘土ではスラグの凝結が進行することで透水性が悪くなると考えられる．このように，母材の種類によって挙動が異なるのは，土粒子の粒径の違いが大きく関わるためだと考えられる．また，各母材ともに，混合後 24h 養生すると透水性が悪くなることがわかった．固結効果は，土粒子を団粒化して透水性を増しているが，一定時間スラグの凝結が進むと，逆に透水性を悪くすると考えられる．

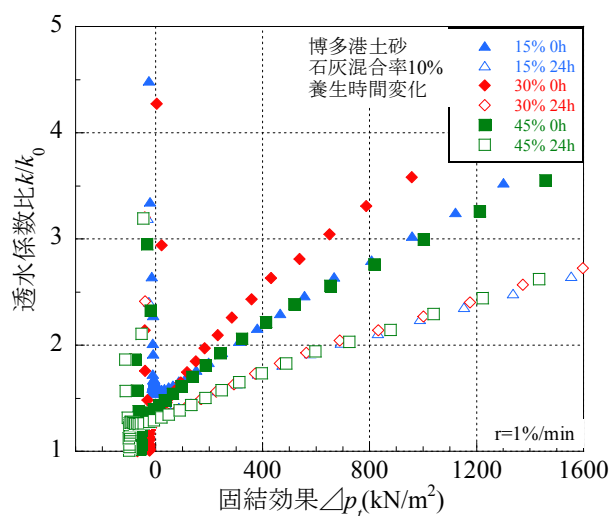


図-32 固結効果と透水係数
(博多, $r=1\%/min$)

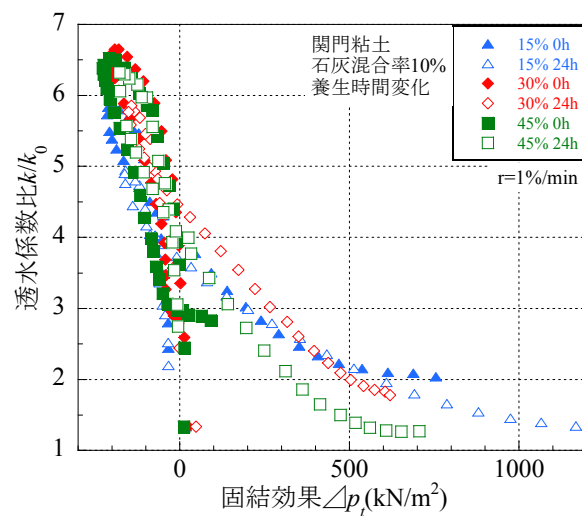


図-33 固結効果と透水係数
(関門, $r=1\%/min$)

(5) 体積圧縮係数

図-34 に博多港土砂，図-35 に関門粘土における，定ひずみ速度圧密試験より得られた体積圧縮係数と平均圧密圧力の関係を示す．載荷速度は $0.1\%/min$ である．体積圧縮係数の値は，圧密初期には増加していき，平均圧密圧力が $100\sim 200kN/m^2$ を超えたあたりから減少し始めた．初期の体積圧縮係数の値にはばらつきがあるが，体積圧縮係数が減少し始めてからは，各母材ともに，スラグ混合率にかかわらずほぼ一定の値となり，スラグと石灰を混合することによる母材の圧縮性の変化は少ないといえる．

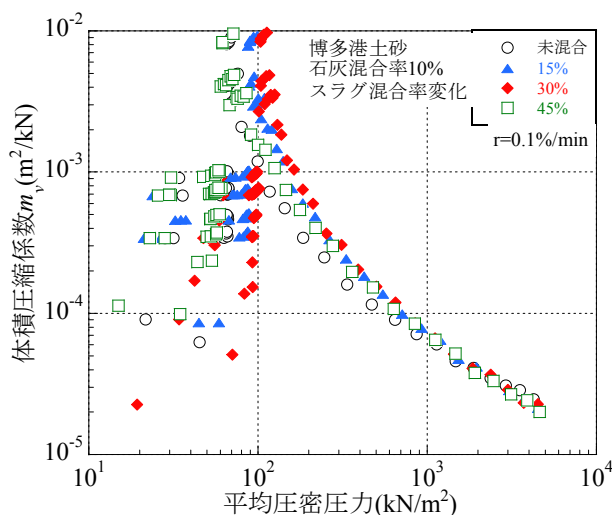


図-34 体積圧縮係数
(博多, $r=0.1\%/min$)

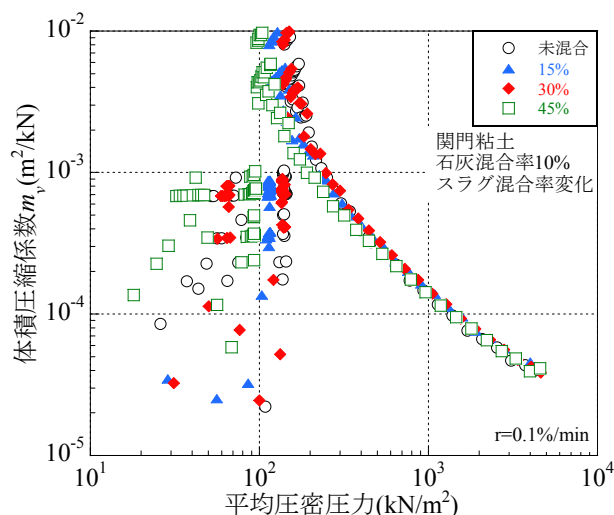


図-35 体積圧縮係数
(関門, $r=0.1\%/min$)

図-36 に博多港土砂，図-37 に関門粘土における，平均圧密圧力が $1MPa$ の時の体積圧縮係数の値を示す．載荷速度は $1\%/min$ とし，スラグ混合率および混合後の養生時間を変化させた．グラフより，各母材ともにスラグ混合率および養生時間による体積圧縮係数の変化はあまり見られなかった．このことから，スラグと石灰を混合すること，その混合率を変えることおよび混合後の養生時間を変えることによる母材の圧縮性の変化は少ないと考えられる．

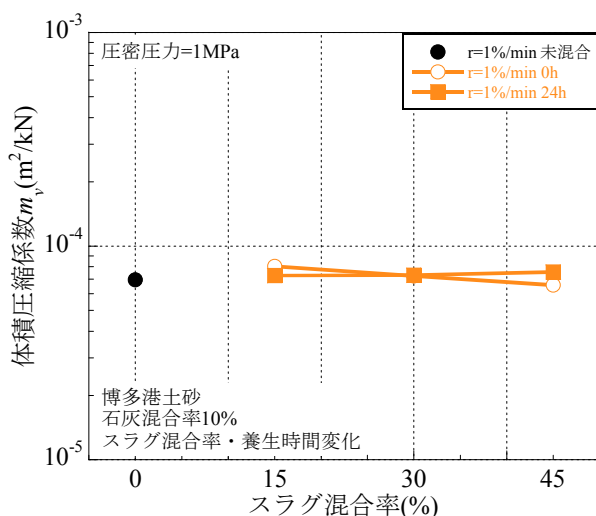


図-36 体積圧縮係数
(博多, $r=1\%/min$, $p=1MPa$)

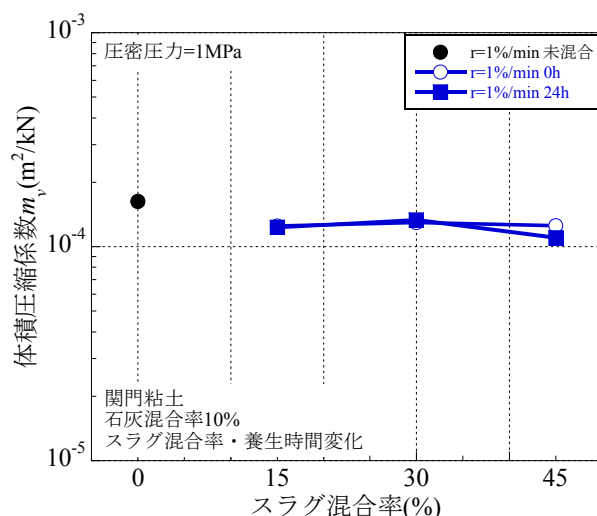


図-37 体積圧縮係数
(関門, $r=1\%/min$, $p=1MPa$)

図-38 に博多港土砂，図-39 に関門粘土における，b) で仮定した固結効果と体積圧縮係数の関係を示す。ただし，縦軸の体積圧縮係数は未混合土の体積圧縮係数で割ることで正規化した。グラフより，各母材ともに，固結効果が負の値となる部分においては体積圧縮係数の値に大きなばらつきが生じていた。固結効果が正の値となつてからは，博多港土砂ではスラグ混合率や養生時間にかかわらずほぼ一定の体積圧縮係数比で変わらない値をとり，関門粘土では固結効果が大きくなるにつれて体積圧縮係数比も大きくなっていった。また，関門粘土では，スラグ混合率 15%，養生時間 24h の場合に体積圧縮係数が非常に小さくなり，これは大きな固結効果により圧縮性が低くなっているためであると考えられる。さらに，各条件において固結効果が進んでいく過程で体積圧縮係数比が 1 を上回っておらず，これも固結効果による圧縮性の低下が原因だと考えられる。

このように，固結効果と体積圧縮係数の関係を表すことにより，スラグ混合率や養生時間の変化によるより細かな圧縮性の変化を読み取ることができると考えられる。

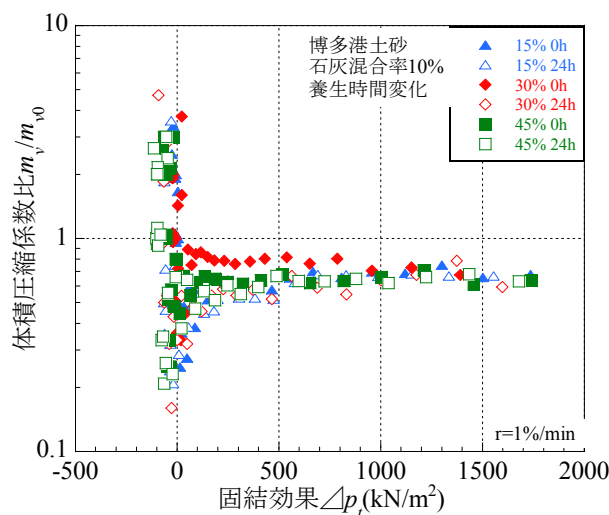


図-38 固結効果と体積圧縮係数
(博多, $r=1\%/min$)

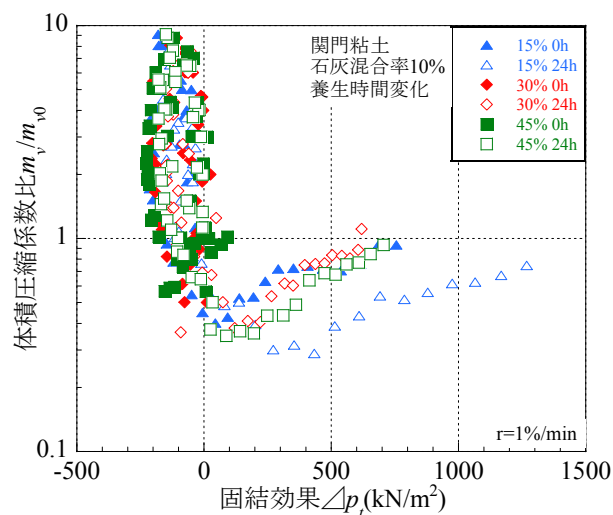


図-39 固結効果と体積圧縮係数
(関門, $r=1\%/min$)

(6) 圧密係数

図-40 に博多港土砂，図-41 に関門粘土における，定ひずみ速度圧密試験より得られた圧密係数と平均圧密圧力の関係を示す．载荷速度は $0.1\%/min$ である．圧密初期において，圧密係数の値は急激に減少し，平均圧密圧力が $100\sim 200\text{kN/m}^2$ を超えてからは値が増加した．圧密係数が増加している部分に着目すると，スラグと石灰を混合することで，未混合時に比べて圧密係数の値が最大で $2.5\sim 3.5$ 倍となり，スラグと石灰の混合により透水性が増していることがわかった．

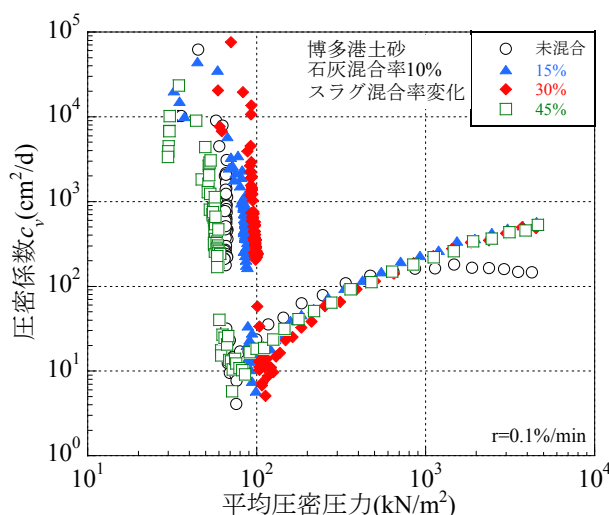


図-40 圧密係数（博多， $r=0.1\%/min$ ）

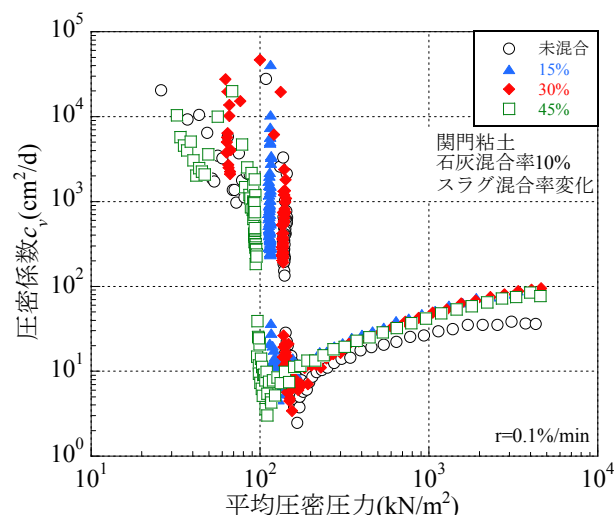


図-41 圧密係数（関門， $r=0.1\%/min$ ）

図-42 に博多港土砂，図-43 に関門粘土における，平均圧密圧力が 1MPa の時の圧密係数の値を示す．载荷速度は $1\%/min$ とし，スラグ混合率および混合後の養生時間を変化させた．グラフより，スラグと石灰を混合することで，圧密係数の値が最大で $3\sim 4.5$ 倍となり，透水性が大幅に改善された．しかし，スラグ混合率による圧密係数の変化はあまり見られなかった．また，養生時間に着目すると，混合後 24h 養生した後の圧密係数の値の方が小さくなり，スラグの凝結が進行することによる透水性の悪化が見られた．

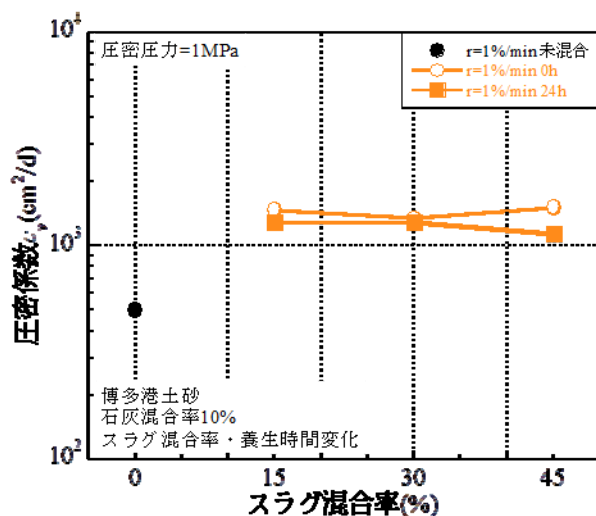


図-42 圧密係数
（博多， $r=1\%/min$ ， $p=1\text{MPa}$ ）

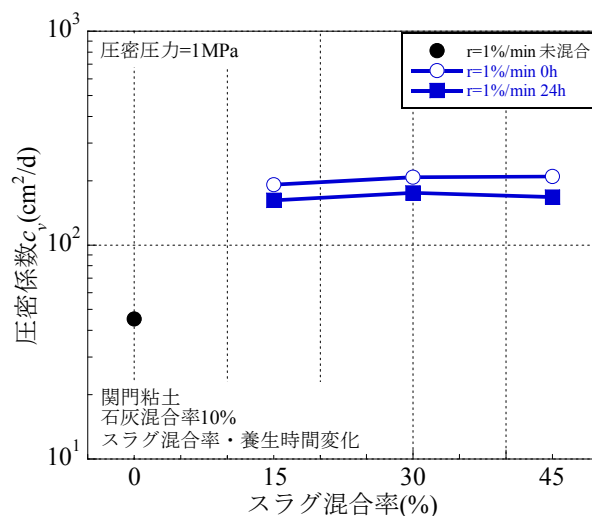


図-43 圧密係数
（関門， $r=1\%/min$ ， $p=1\text{MPa}$ ）

図-44 に博多港土砂，図-45 に関門粘土における，b)で仮定した固結効果と圧密係数の関係を示す．ただし，縦軸の圧密係数は未混合土の圧密係数で割ることによって正規化した．グラフより，各母材において，固結効果が負の値をとる時には圧密係数の値に大きなばらつきが生じ，固結効果が正の値となる部分では，博多港土砂では固結効果が大きくなるにつれて圧密係数の値も大きくなり，関門粘土では固結効果が大きくなると圧密係数の値は小さくなった．また，博多港土砂では，混合後 24h 養生した母材の方が圧密係数が小さく，透水性が悪くなっていると考えられる．関門粘土では，スラグ混合率 15%で 24h 養生した母材の圧密係数が極めて大きくなった．これは，固結効果によって母材の圧縮性が極めて小さくなったためであると考えられる．

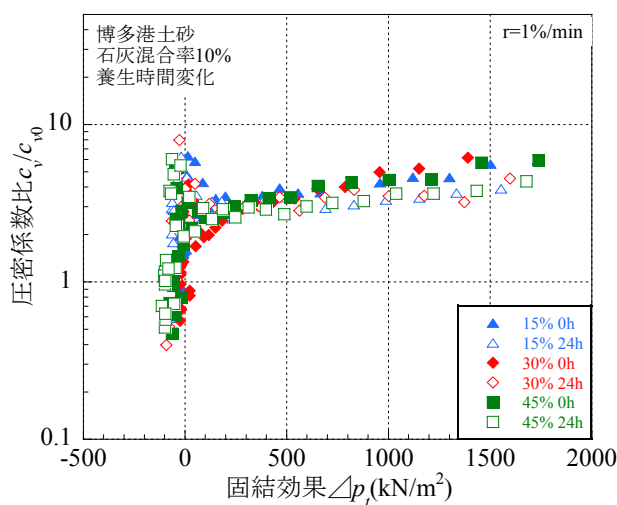


図-44 固結効果と圧密係数
(博多, $r=1\%/min$)

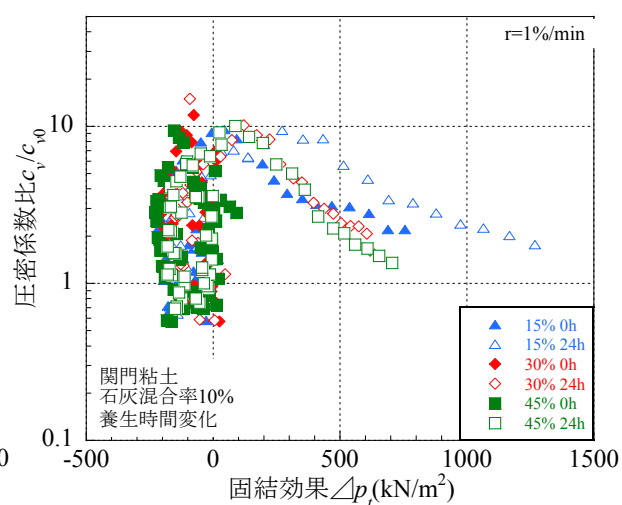


図-45 固結効果と圧密係数
(関門, $r=1\%/min$)

2. 3 アイソタックモデルを用いたスラグ石灰混合浚渫土の圧密特性評価

(1) アイソタック概念とは

アイソタック概念とは Suklje(1957)によって提案された粘性の影響に関する概念であり, ある圧密圧力の下ではひずみ速度に応じてひずみが唯一に決定されるとする. この概念は未だに研究対象となる概念に留まり, 実務で用いられるにはまだ遠いとされている. しかし, 近年の圧密研究において関心が高まっている概念でもある. アイソタック概念は, 本来ひずみ速度に着目した概念であるが, 本研究ではこれを応用し, ひずみ速度に限らず, スラグ混合率や放置時間といったパラメータによってスラグ石灰混合浚渫土の圧密特性を定量的に評価することを試みた.

(2) データ整理の手法

定ひずみ速度圧密試験から得られる間隙比の時間的な変化から, 体積ひずみを式(2)によって求めた.

$$\varepsilon = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad (2)$$

アイソタック概念は, 粘塑性変形に対してのみ適用できることから, 全体の変形から弾性変形分を差し引いて計算した. よって, 式(2)によって得られるひずみ ε から, 弾性ひずみ成分 ε_e を差し引いて粘塑性ひずみ ε_{vp} を式(3)によって求めた.

$$\varepsilon_{vp} = \varepsilon - \varepsilon_e \quad (3)$$

弾性ひずみ成分 ε_e は, $\varepsilon - \log p'$ 関係上で, 圧密開始直後にみられる曲線部分の接線で表されるひずみ成分を圧密圧力 p' に対応する弾性ひずみ ε_e と定義し, その直線の傾きを C_{se} と表すことにした. 各ひずみ成分を定義した圧縮曲線を図-46に示す.

以上のように, 定ひずみ速度圧密試験の結果から得られる $\varepsilon - \log p'$ 関係に対して, 弾性ひずみ ε_e を ε から差し

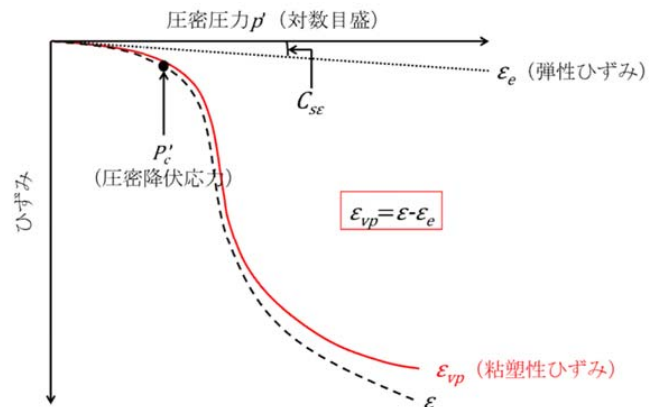


図-46 ひずみ成分を定義した圧縮曲線

引いた粘塑性ひずみ ε_{vp} を用いることで $\varepsilon_{vp} - \log p'$ 関係が得られた. また, 同関係より読み取れる圧密降伏応力 p'_c で p' を割って, 圧密降伏応力の部分の値が1となるように正規化することで, $\varepsilon_{vp} - \log p'/p'_c$ 関係が得られる. これを基準圧縮曲線と呼ぶことにした(図-47). 基準圧縮曲線において, 圧密降伏応力を超えた正規圧密状態の直線部分の傾きを基準圧縮指数 C_a , 直線が $p' = p'_c(p'/p'_c = 1)$ と交わる点を初期粘塑性ひずみ ε_{vp0} とし, 式(4)で定義し

た直線がひずみ速度，スラグ混合率および放置時間によってどのように変化するかを調べた（図-48）．

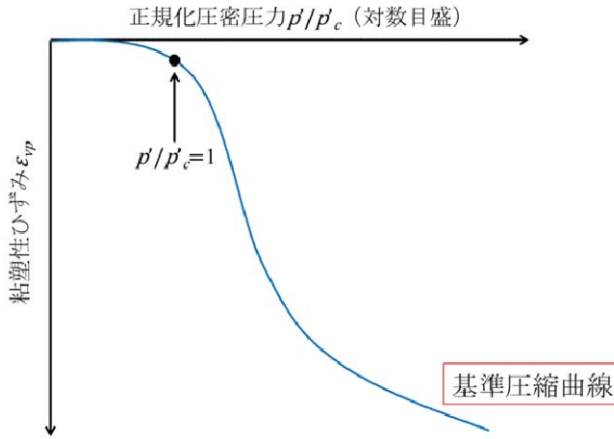


図-47 基準圧縮曲線

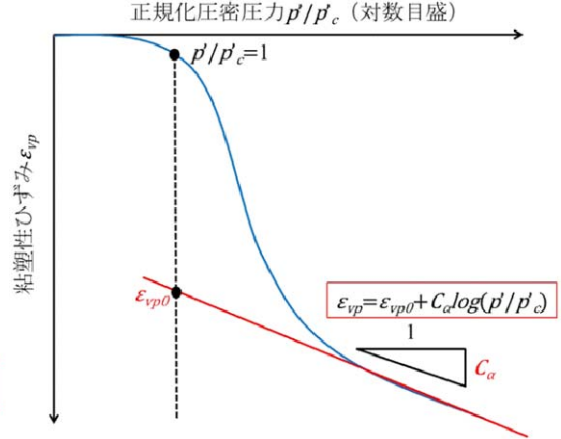


図-48 直線の式

$$\varepsilon_{vp} = \varepsilon_{vp0} - C_{\alpha} \log \frac{p'}{p_c} \quad (4)$$

また，本研究では，実験より得られたひずみを真ひずみへと変換した考察も行った．実験より得られたひずみは公称ひずみと呼ばれている．一般に，公称ひずみではひずみの足し合わせができないため，非線形解析においては実験で求めた公称ひずみの値をそのまま利用することは難しく，このような手法においては，ひずみの足し合わせが可能な真ひずみのほうが都合がよいとされている．公称ひずみ ε_n を真ひずみ ε_t に変換する式として，式(5)が用いられる．

$$\varepsilon_t = \ln(\varepsilon_n + 1) \quad (5)$$

本研究では，公称ひずみおよび真ひずみの両方を用いたデータ整理を行い，それぞれの場合において考察を行った．

(3) 公称ひずみを用いた圧密特性

① ひずみ速度に着目した圧密特性

図-49 に博多港土砂，図-50 に関門粘土における，未混合時および各スラグ混合率において，ひずみ速度を変化させた場合の圧密降伏応力の値を示す．博多港土砂ではひずみ速度が大きくなると圧密降伏応力が大きくなる傾向にあり，関門粘土では，ひずみ速度が大きくなると圧密降伏応力が小さくなる傾向にあった．しかし，全体的に圧密降伏応力の値は非常に小さく，実験的な誤差によって変化が生じているもので，実際には圧密降伏応力の値は大きく変化しないと考えられる．

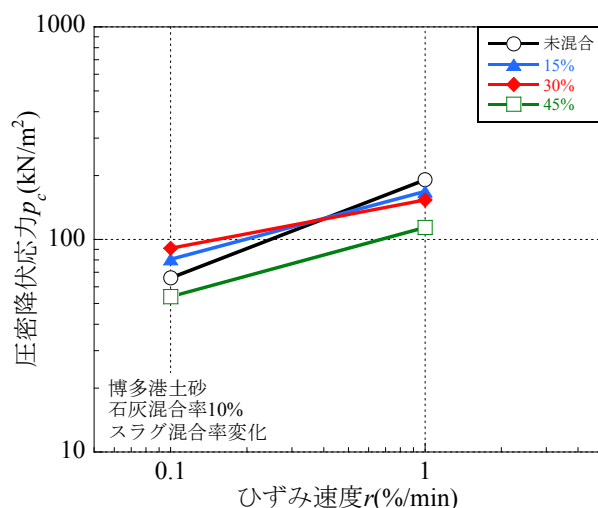


図-49 圧密降伏応力（博多）
（ひずみ速度変化）

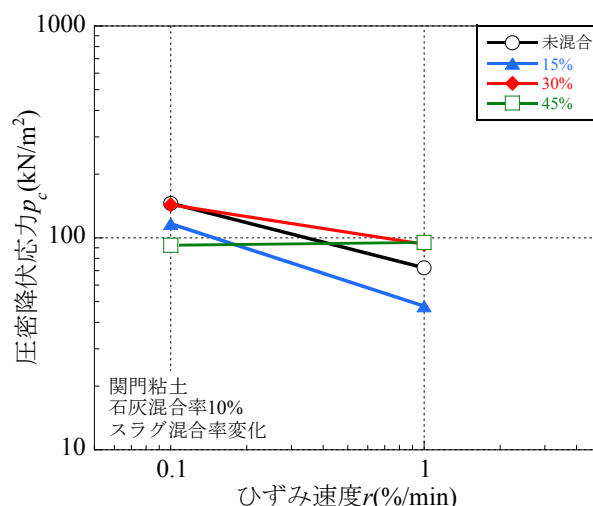


図-50 圧密降伏応力（関門）
（ひずみ速度変化）

図-51 に博多港土砂，図-52 に関門粘土における，未混合時および各スラグ混合率において，ひずみ速度を変化させた場合の基準圧縮曲線の直線部分の切片にあたる初期粘塑性ひずみ ε_{vp0} の値を示す．グラフより，各母材ともに，ひずみ速度およびスラグ混合率にかかわらず，初期粘塑性ひずみの値はほぼ一定の値を示すことがわかった．

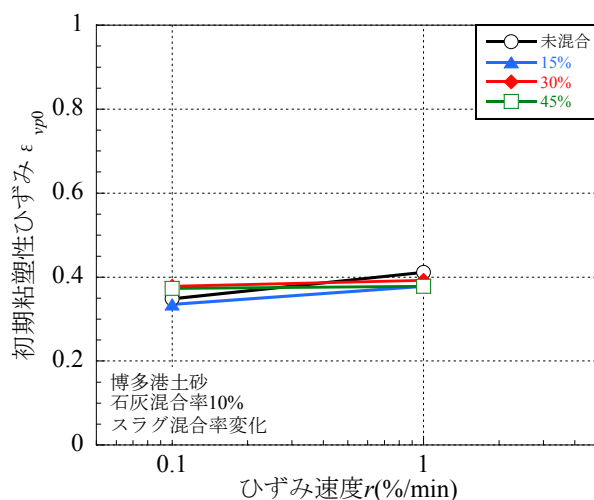


図-51 初期粘塑性ひずみ（博多）
（ひずみ速度変化）

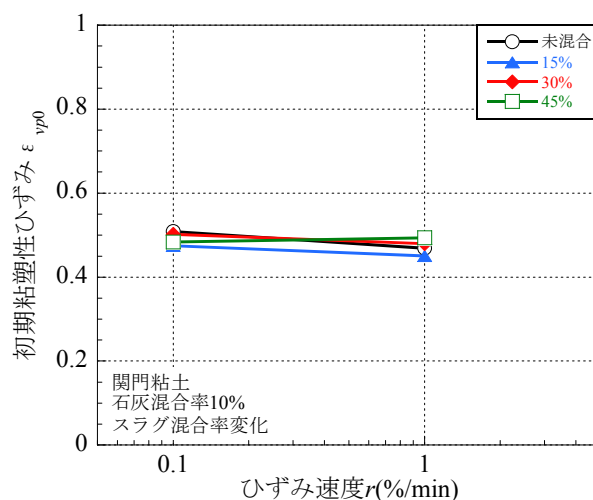


図-52 初期粘塑性ひずみ（関門）
（ひずみ速度変化）

図-53 に博多港土砂，図-54 に関門粘土における，未混合時および各スラグ混合率において，ひずみ速度を変化させた場合の基準圧縮曲線の直線部分の傾きに当たる基準圧縮指数 C_α の値を示す．スラグ混合率による多少のばらつきは生じているが，各母材ともにひずみ速度にかかわらず，基準圧縮指数の値もまたほぼ一定の値を示した．

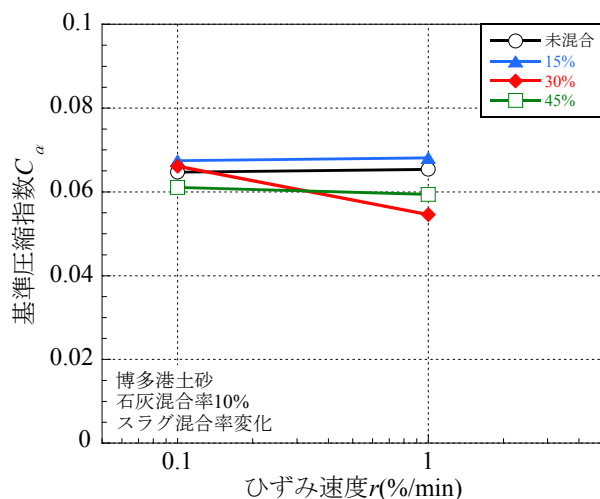


図-53 基準圧縮指数（博多）
（ひずみ速度変化）

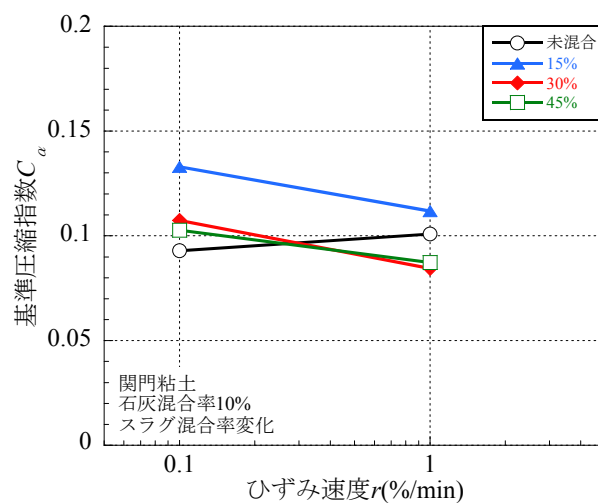


図-54 基準圧縮指数（関門）
（ひずみ速度変化）

以上より，基準圧縮曲線の直線部分においては，ひずみ速度にかかわらずほぼ唯一の直線として表現できると考えられる．図-55～図-62 に，実際に基準圧縮曲線の直線部分を，各条件について示した．

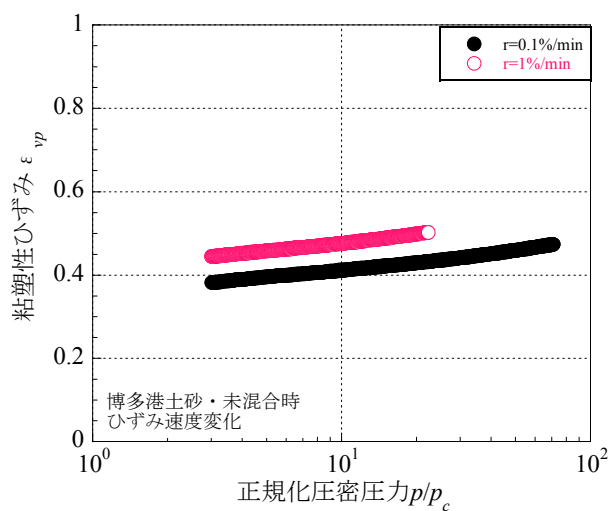


図-55 基準圧縮曲線（博多）
（ひずみ速度変化，未混合）

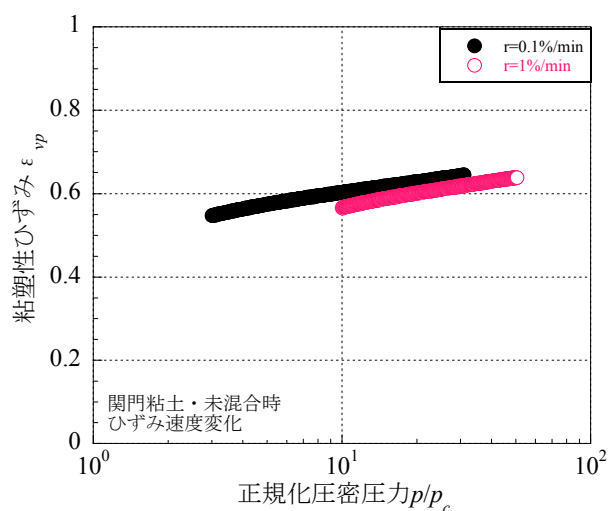


図-56 基準圧縮曲線（関門）
（ひずみ速度変化，未混合）

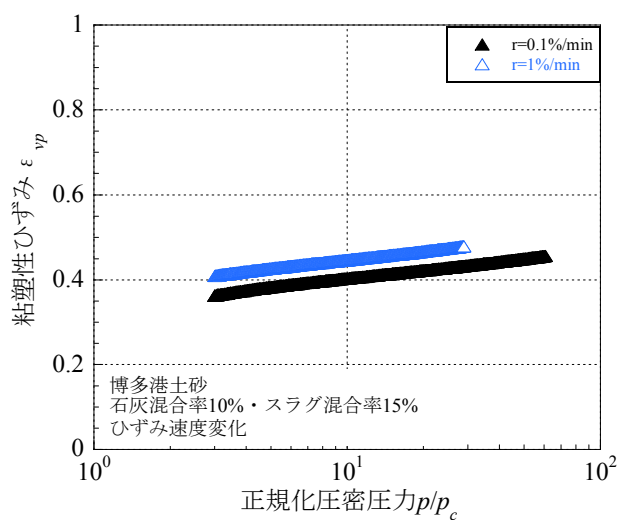


図-57 基準圧縮曲線（博多）
（ひずみ速度変化，15%）

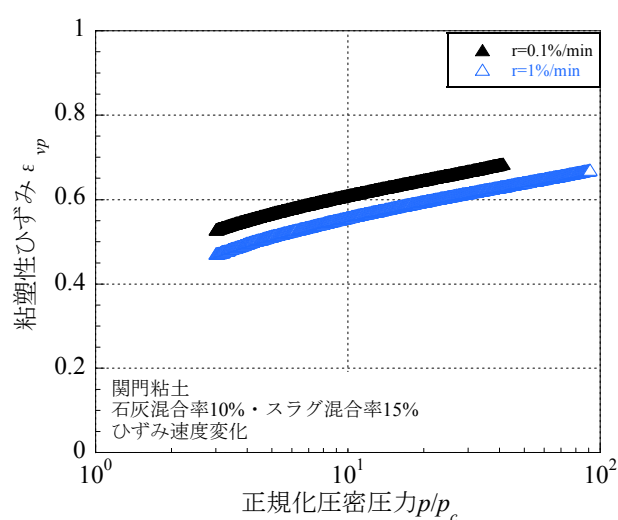


図-58 基準圧縮曲線（関門）
（ひずみ速度変化，15%）

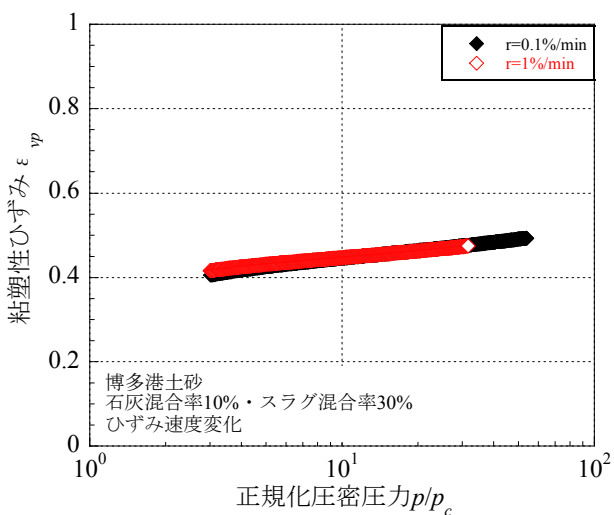


図-59 基準圧縮曲線（博多）
（ひずみ速度変化，30%）

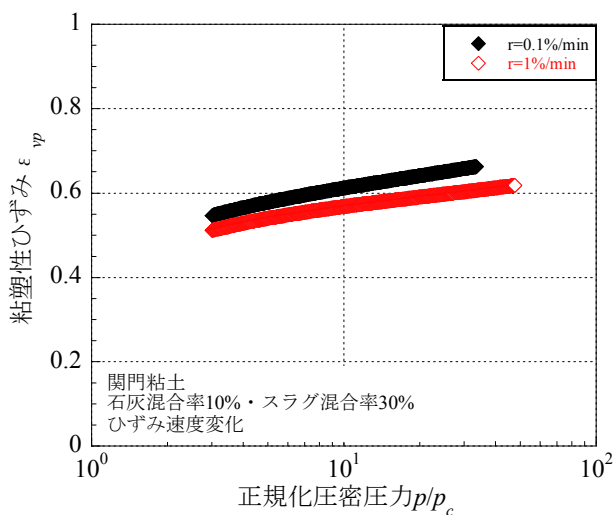


図-60 基準圧縮曲線（関門）
（ひずみ速度変化，30%）

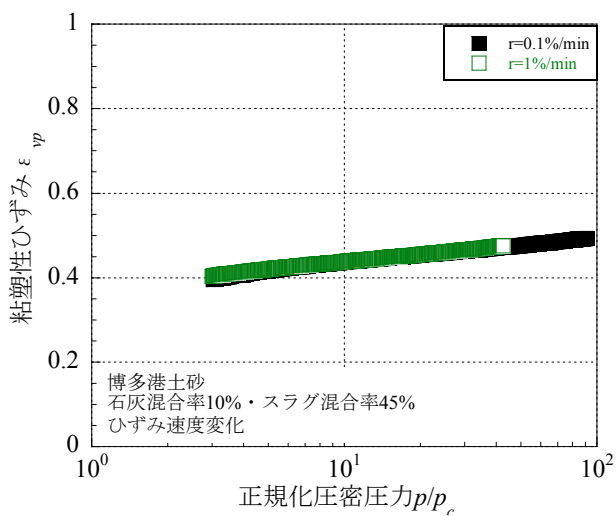


図-61 基準圧縮曲線（博多）
（ひずみ速度変化，45%）

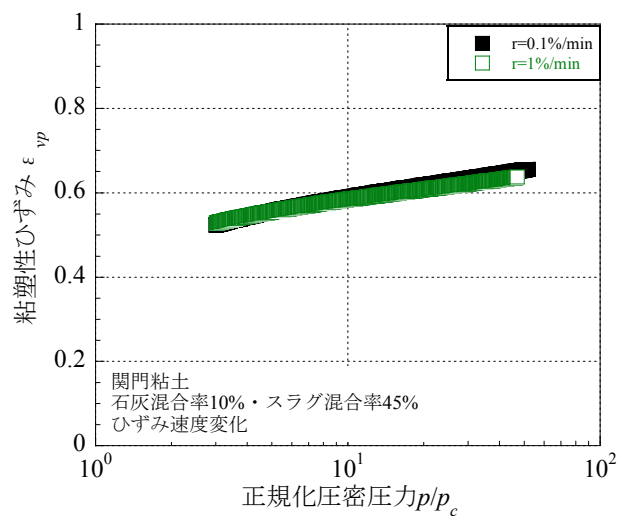


図-62 基準圧縮曲線（関門）
（ひずみ速度変化，45%）

② スラグ混合率に着目した圧密特性

図-63 に博多港土砂，図-64 に関門粘土における，各ひずみ速度および養生時間において，スラグ混合率を変化させた場合の圧密降伏応力の値を示す．グラフより，博多港土砂では，スラグ混合率が大きくなると圧密降伏応力の値は減少する傾向にあり，関門粘土では，スラグ混合率 15%において圧密降伏応力の値が最も小さくなったが，①で述べたように，全体的に圧密降伏応力の値が非常に小さかったので，実験による誤差の範囲で，実際には大きな変化はないと考えられる．

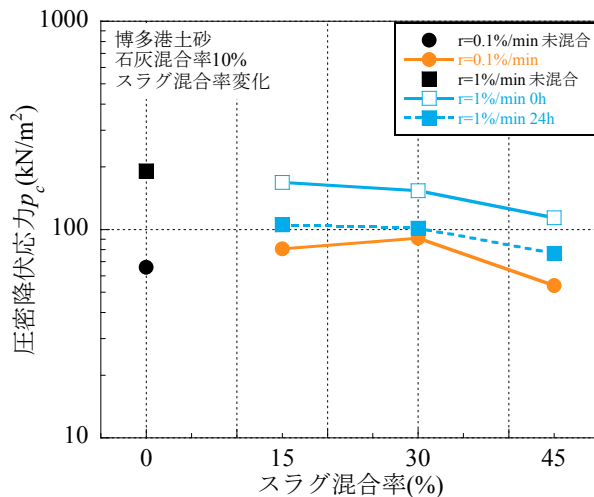


図-63 圧密降伏応力（博多）
（スラグ混合率変化）

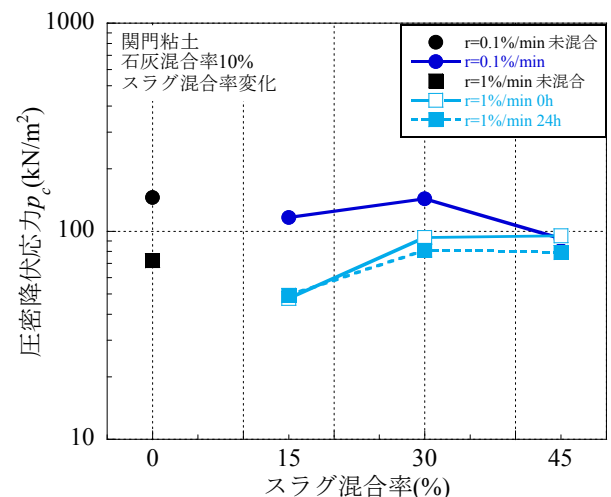


図-64 圧密降伏応力（関門）
（スラグ混合率変化）

図-65 に博多港土砂，図-66 に関門粘土における，各ひずみ速度および養生時間において，スラグ混合率を変化させた場合の初期粘塑性ひずみ ε_{vp0} の値を示す．グラフより，各母材ともにひずみ速度や養生時間の条件によらず，スラグ混合率が変化しても初期粘塑性ひずみの値に大きな変化は見られなかった．

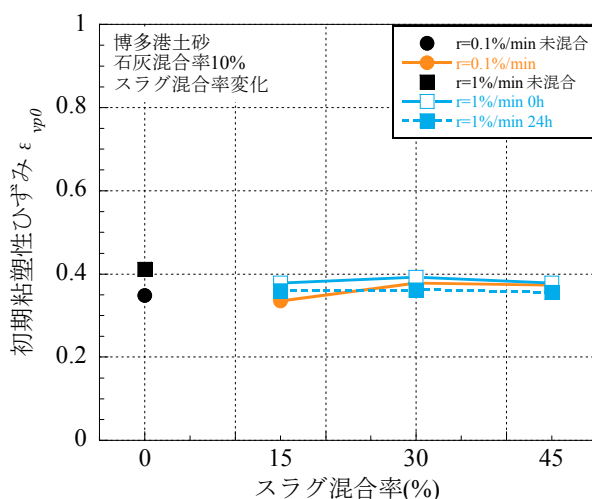


図-65 初期粘塑性ひずみ（博多）
（スラグ混合率変化）

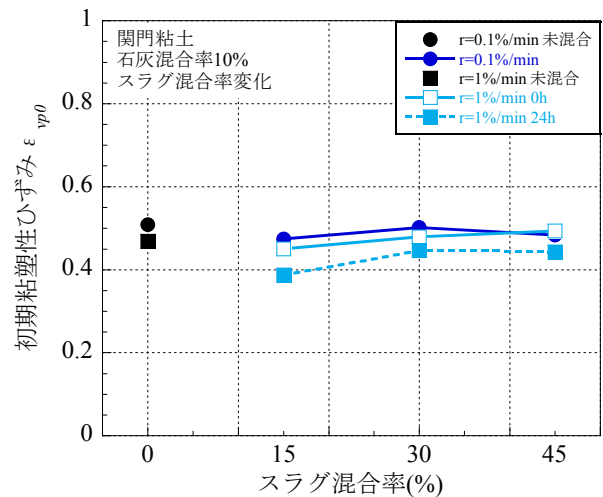


図-66 初期粘塑性ひずみ（関門）
（スラグ混合率変化）

図-67 に博多港土砂，図-68 に関門粘土における，各ひずみ速度および養生時間において，スラグ混合率を変化させた場合の基準圧縮指数 C_α の値を示す．グラフより，各母材ともにそれぞれの条件において基準圧縮指数の値は大きく変化しなかった．

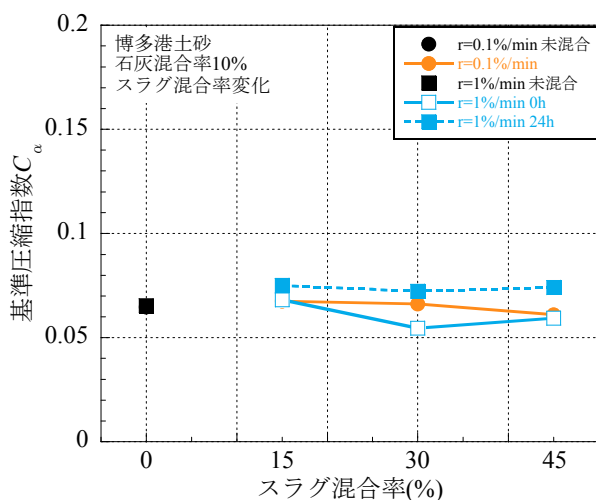


図-67 基準圧縮指数（博多）
（スラグ混合率変化）

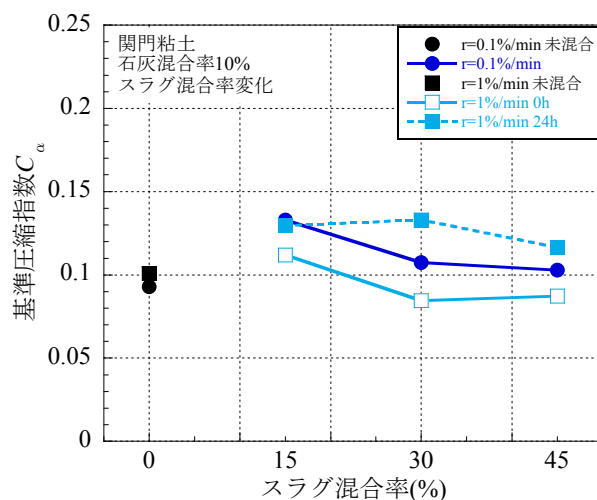


図-68 基準圧縮指数（関門）
（スラグ混合率変化）

以上より，基準圧縮曲線の直線部分においては，スラグ混合率の変化においても大きく変化することなく，ほぼ唯一の直線として表現できると考えられる．図-69～図-74 に，実際に基準圧縮曲線の直線部分を，各条件について示した．

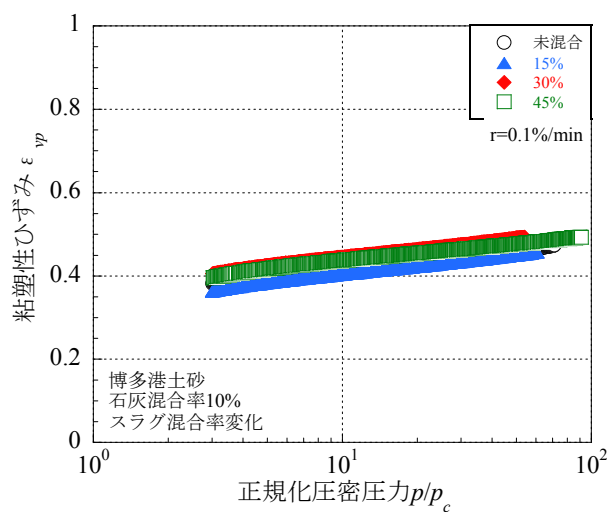


図-69 基準圧縮曲線（博多）
（スラグ混合率変化，0.1%/min）

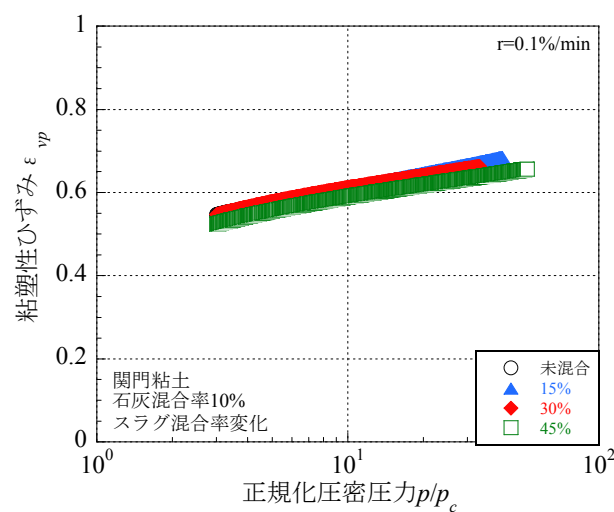


図-70 基準圧縮曲線（関門）
（スラグ混合率変化，0.1%/min）

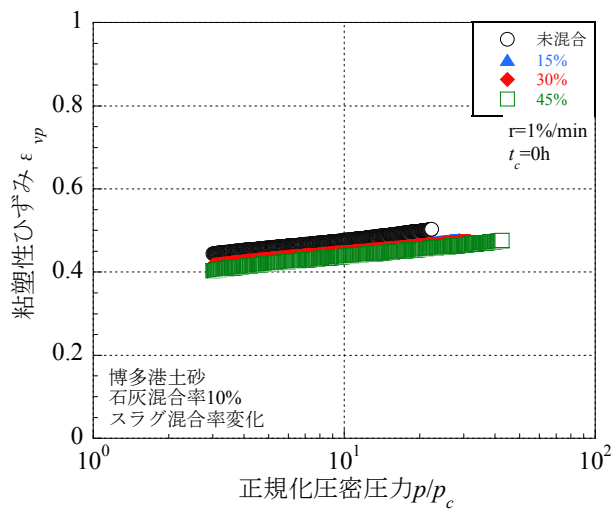


図-71 基準圧縮曲線（博多）
（スラグ混合率変化，1%/min，0h）

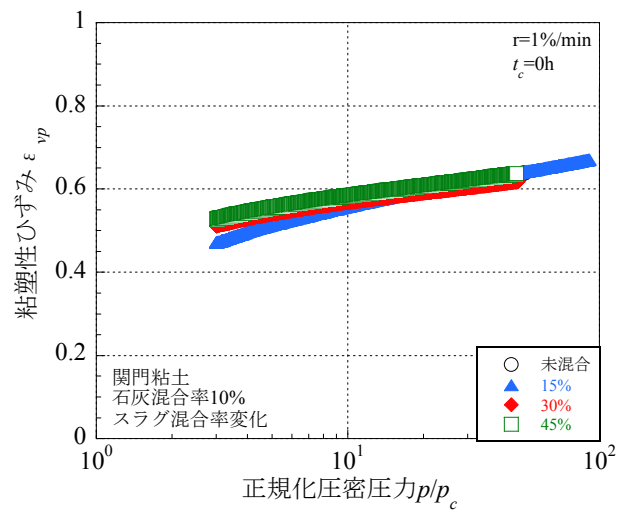


図-72 基準圧縮曲線（関門）
（スラグ混合率変化，1%/min，0h）

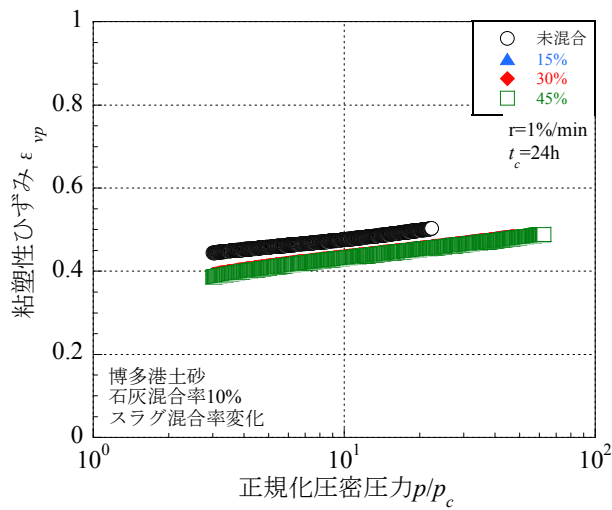


図-73 基準圧縮曲線（博多）
（スラグ混合率変化，1%/min，24h）

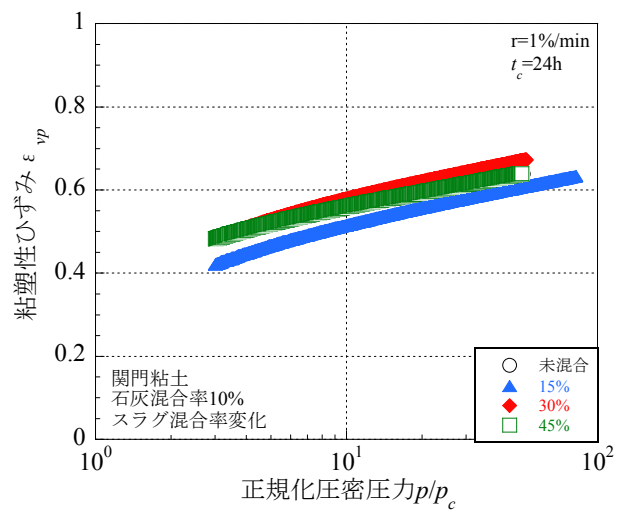


図-74 基準圧縮曲線（関門）
（スラグ混合率変化，1%/min，24h）

③ 養生時間に着目した圧密特性

図-75 に博多港土砂，図-76 に関門粘土における，ひずみ速度が 1%/min の条件で，各スラグ混合率において養生時間を変化させた場合の圧密降伏応力の値を示す．この場合においても，全体的に圧密降伏応力の値は非常に小さくなり，養生時間による大きな変化はないと考えられるが，博多港土砂では 24h 養生後のほうが圧密降伏応力の値は小さくなり，関門粘土においては養生の前後での圧密降伏応力の変化はほとんど見られなかった．

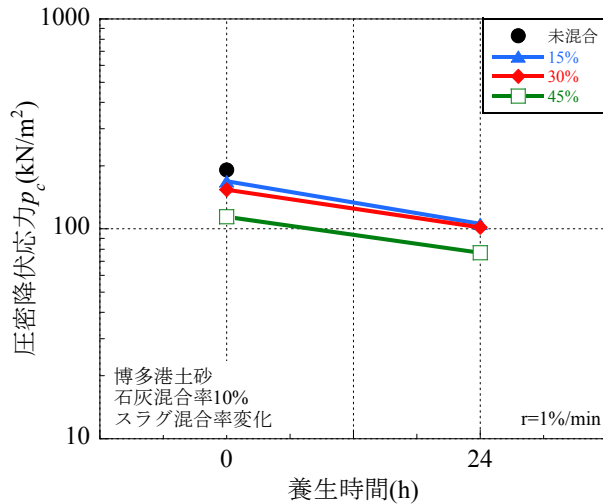


図-75 圧密降伏応力（博多）
（養生時間変化）

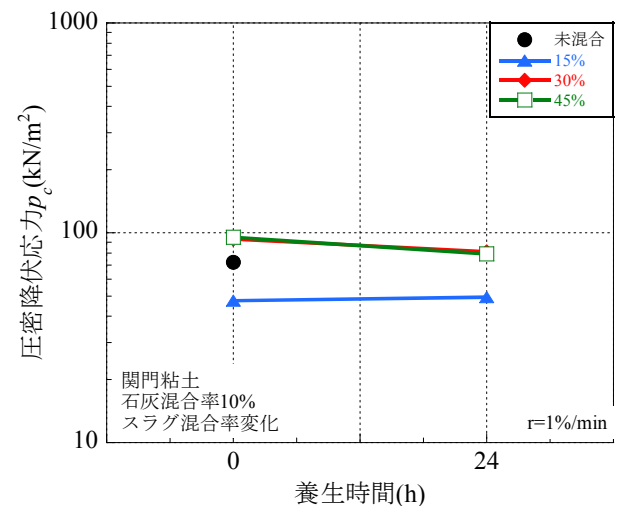


図-76 圧密降伏応力（関門）
（養生時間変化）

図-77 に博多港土砂，図-78 に関門粘土における，ひずみ速度が 1%/min の条件で，各スラグ混合率において養生時間を変化させた場合の初期粘塑性ひずみ ε_{vp0} の値を示す．グラフより，各母材ともに養生時間の変化による初期粘塑性ひずみの値はほとんど変わらないということがわかった．

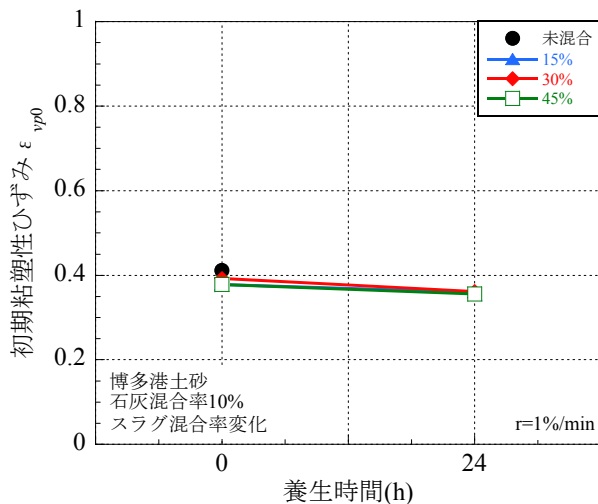


図-77 初期粘塑性ひずみ（博多）
（養生時間変化）

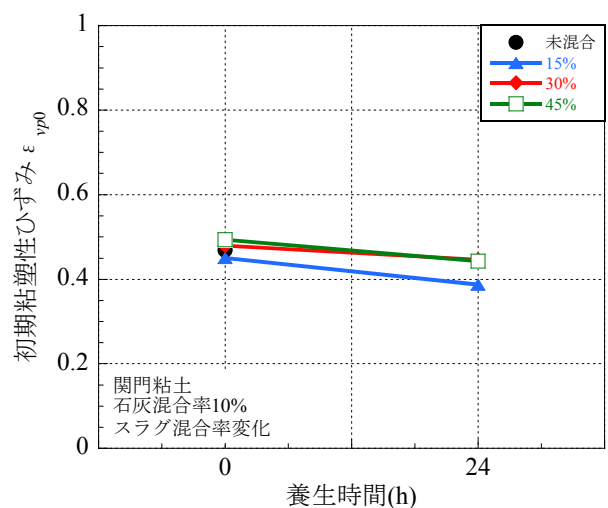


図-78 初期粘塑性ひずみ（関門）
（養生時間変化）

図-79 に博多港土砂，図-80 に関門粘土における，ひずみ速度が 1%/min の条件で，各スラグ混合率において養生時間を変化させた場合の基準圧縮指数 C_a の値を示す．グラフより，養生時間の変化による基準圧縮指数の大きな変化はなかったが，各母材ともに 24h 養生後の基準圧縮指数の値が大きくなった．24h 養生することで，基準圧縮曲線の直線部分の傾きがわずかに急になると考えられる．

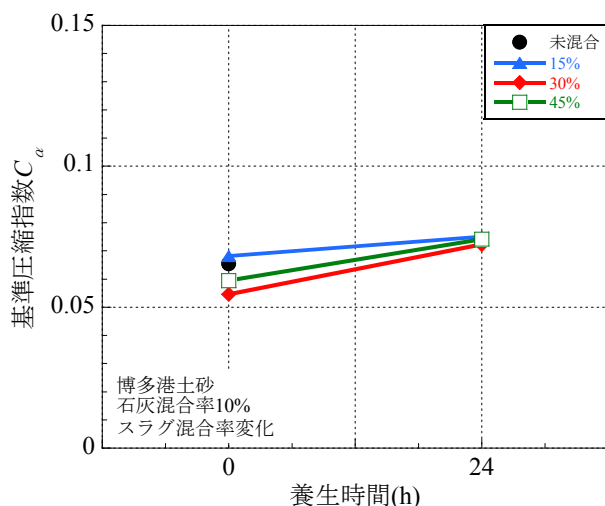


図-79 基準圧縮指数（博多）
（養生時間変化）

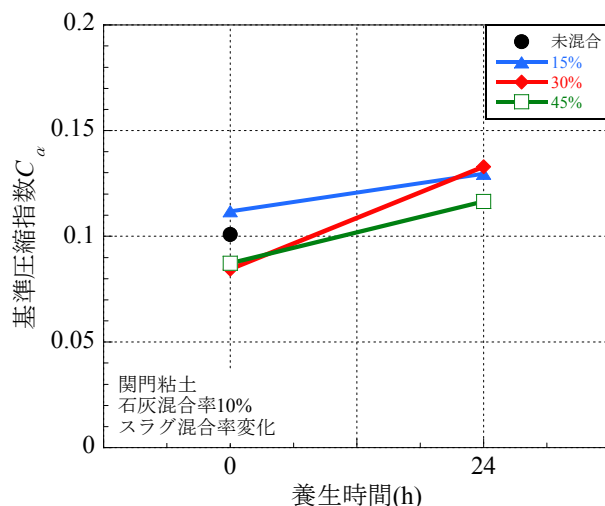


図-80 基準圧縮指数（関門）
（養生時間変化）

以上より，基準圧縮曲線の直線部分においては，養生時間が変化すると，特に関門粘土の場合は傾きがわずかに変化すると考えられる．しかし，切片は変化することなく，全体としてほぼ唯一の直線として表現することができると考えられる．図-81～図-86 に，実際に基準圧縮曲線の直線部分を，各条件について示した．

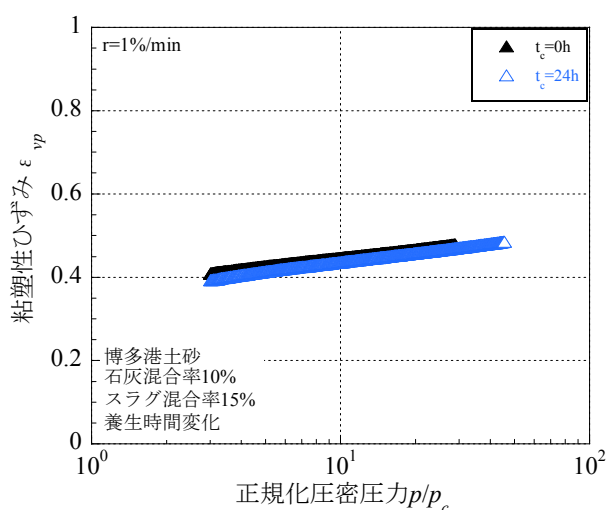


図-81 基準圧縮曲線（博多）
（養生時間変化，15%）

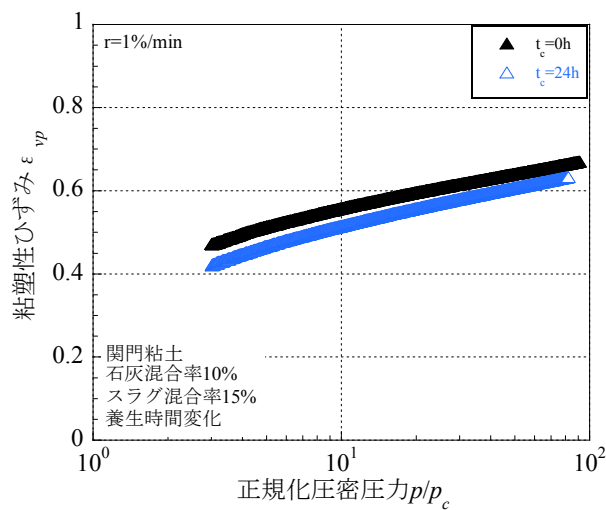


図-82 基準圧縮曲線（関門）
（養生時間変化，15%）

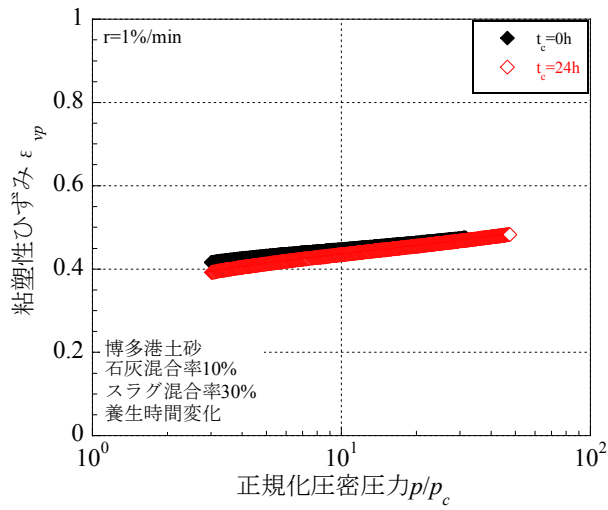


図-83 基準圧縮曲線（博多）
（養生時間変化，30%）

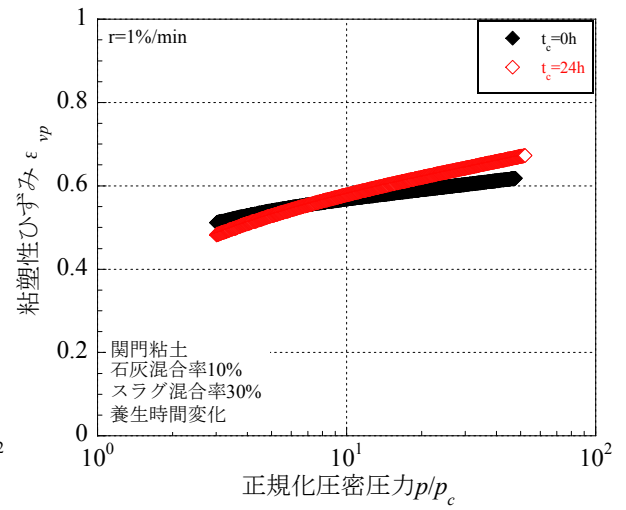


図-84 基準圧縮曲線（関門）
（養生時間変化，30%）

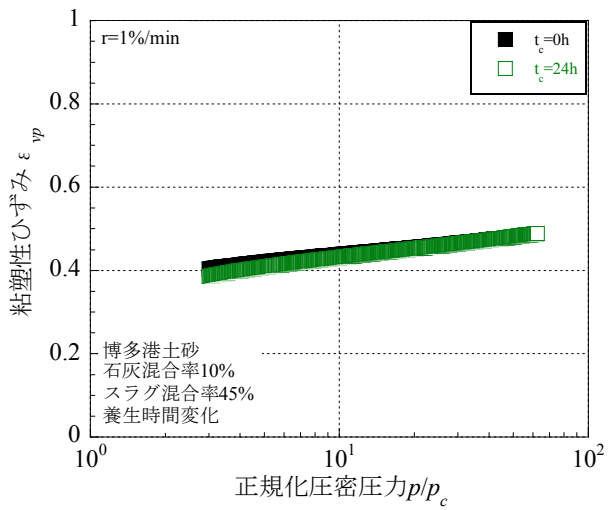


図-85 基準圧縮曲線（博多）
（養生時間変化，45%）

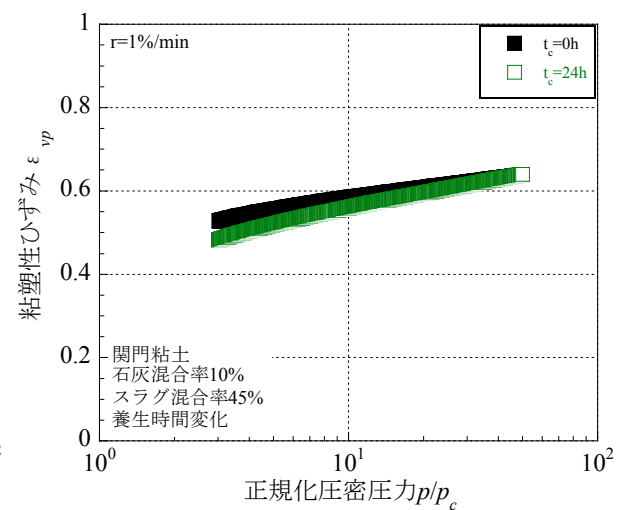


図-86 基準圧縮曲線（関門）
（養生時間変化，45%）

(4) 真ひずみを用いた圧密特性

① ひずみ速度に着目した圧密特性

図-87 に博多港土砂，図-88 に関門粘土における，未混合時および各スラグ混合率において，ひずみ速度を変化させた場合の ε_{vp0} の値を示す．公称ひずみを用いた場合に比べて，真ひずみを用いると ε_{vp0} の値は小さくなることがわかった．グラフより，各母材ともに，ひずみ速度およびスラグ混合率にかかわらず，真ひずみを用いた場合においても ε_{vp0} の値はほぼ一定の値を示すことがわかった．

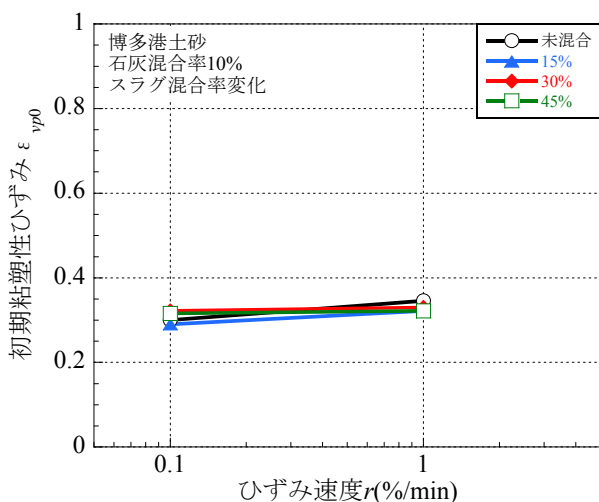


図-87 初期粘塑性ひずみ（博多）
（ひずみ速度変化，真ひずみ）

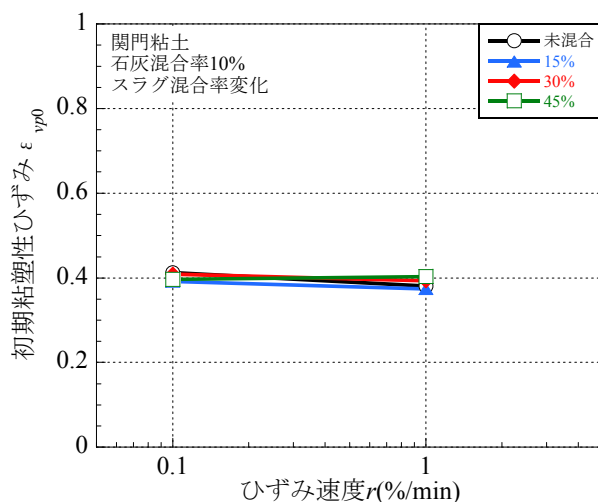


図-88 初期粘塑性ひずみ（関門）
（ひずみ速度変化，真ひずみ）

図-89 に博多港土砂，図-90 に関門粘土における，未混合時および各スラグ混合率において，ひずみ速度を変化させた場合の C_α の値を示す．この場合も，公称ひずみを用いた場合に比べて，真ひずみを用いると C_α の値は小さくなることがわかった．また，各母材ともにひずみ速度およびスラグ混合率にかかわらず， C_α の値もほぼ一定の値を示した．

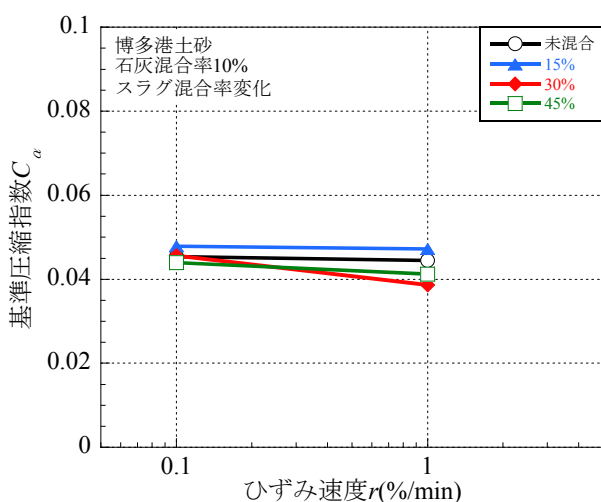


図-89 基準圧縮指数（博多）
（ひずみ速度変化，真ひずみ）

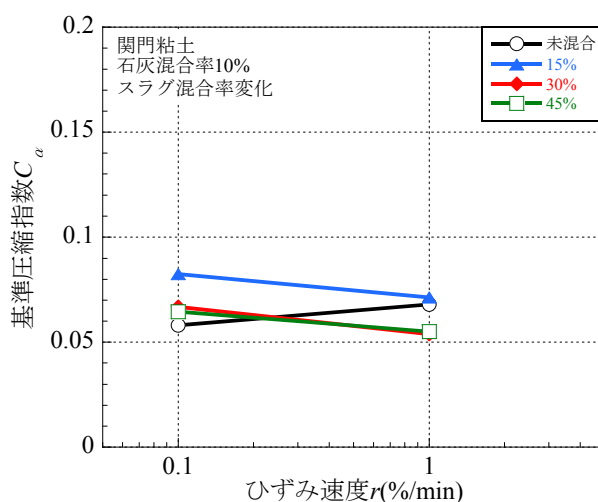


図-90 基準圧縮指数（関門）
（ひずみ速度変化，真ひずみ）

図-91～図-98 に、実際に真ひずみを用いた基準圧縮曲線の直線部分を、各条件について示した。

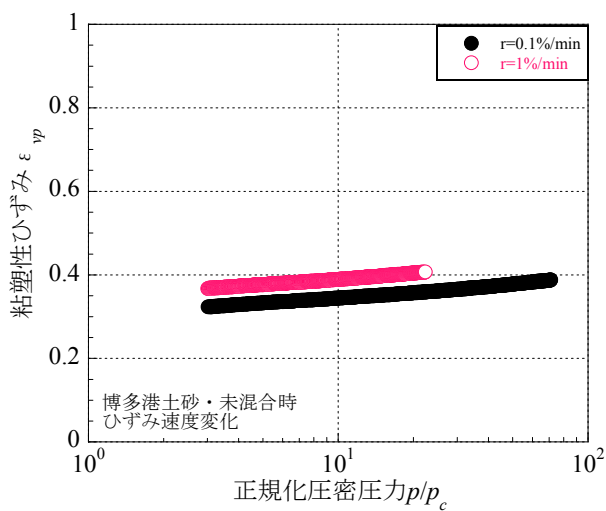


図-91 基準圧縮曲線（博多）
（ひずみ速度変化，未混合）

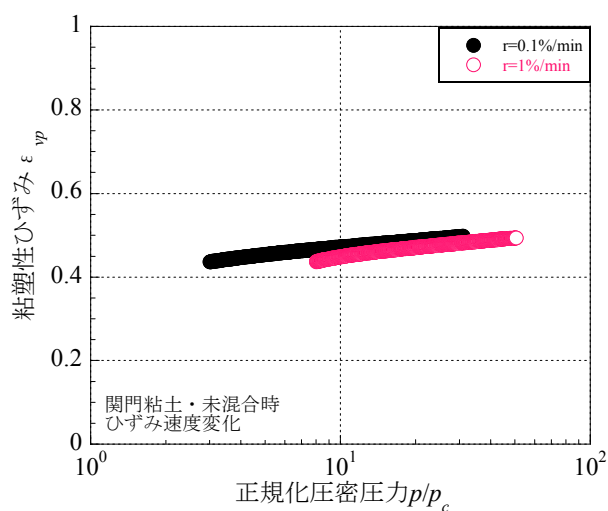


図-92 基準圧縮曲線（関門）
（ひずみ速度変化，未混合）

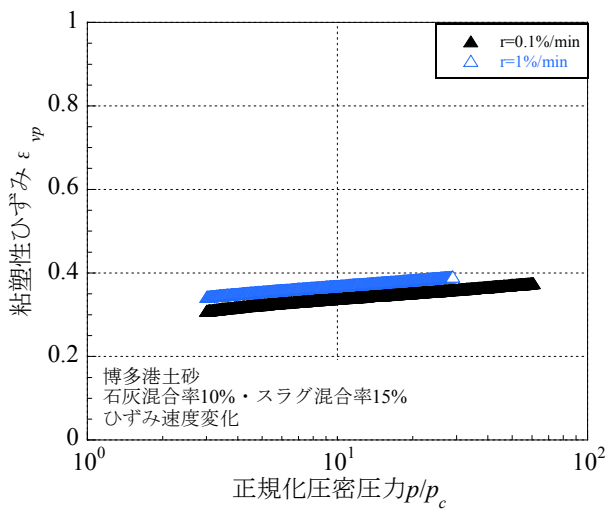


図-93 基準圧縮曲線（博多）
（ひずみ速度変化，15%）

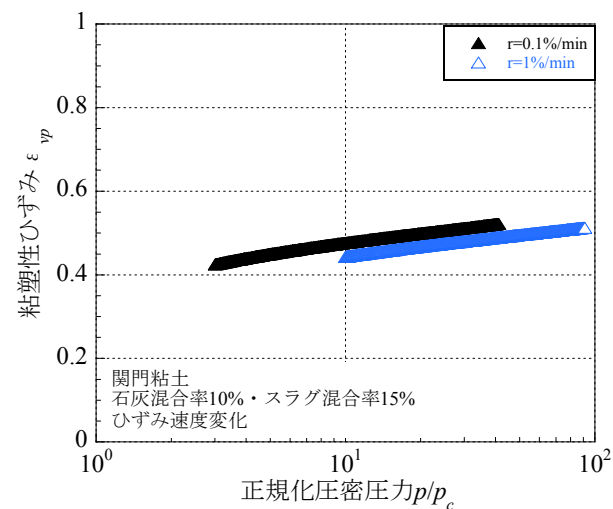


図-94 基準圧縮曲線（関門）
（ひずみ速度変化，15%）

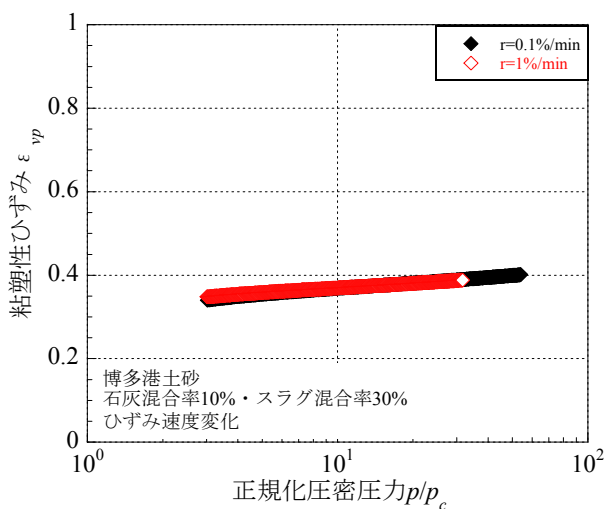


図-95 基準圧縮曲線（博多）
（ひずみ速度変化，30%）

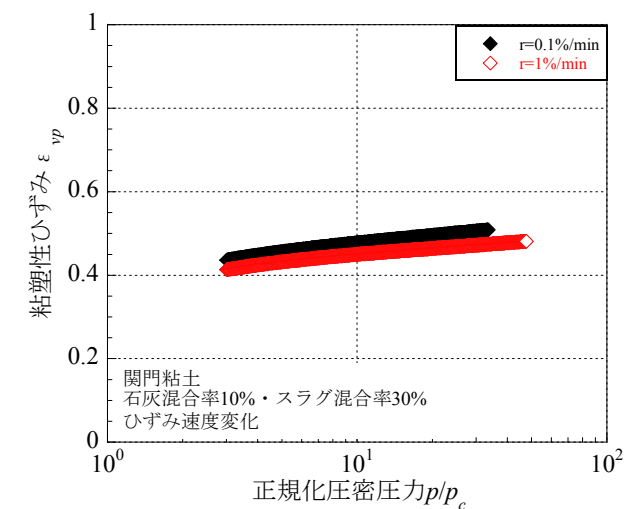


図-96 基準圧縮曲線（関門）
（ひずみ速度変化，30%）

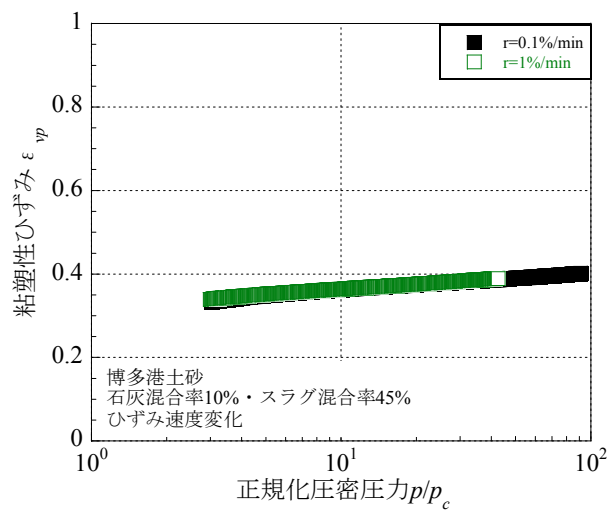


図-97 基準圧縮曲線（博多）
（ひずみ速度変化，45%）

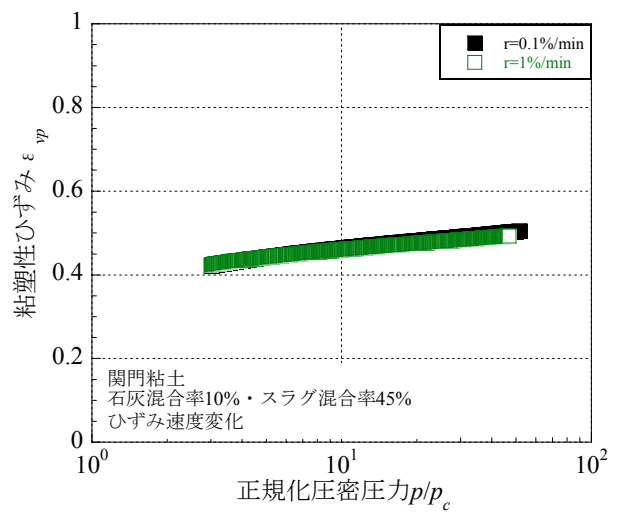


図-98 基準圧縮曲線（関門）
（ひずみ速度変化，45%）

② スラグ混合率に着目した圧密特性

図-99 に博多港土砂，図-100 に関門粘土における，各ひずみ速度および養生時間において，スラグ混合率を変化させた場合の ε_{vp0} の値を，図-101 に博多港土砂，図-2. 2. 102 に関門粘土における，各ひずみ速度および養生時間において，スラグ混合率を変化させた場合の C_α の値を示す．グラフより，真ひずみにおいても，各母材ともにひずみ速度や養生時間の条件によらず，スラグ混合率が変化しても ε_{vp0} や C_α の値に大きな変化は見られなかった．

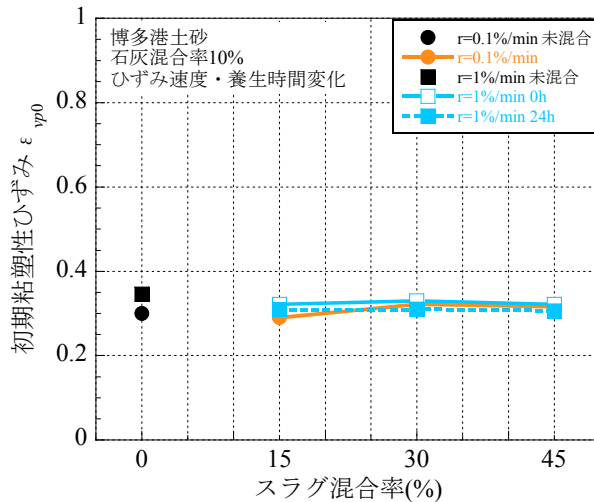


図-99 初期粘塑性ひずみ（博多）
（スラグ混合率変化，真ひずみ）

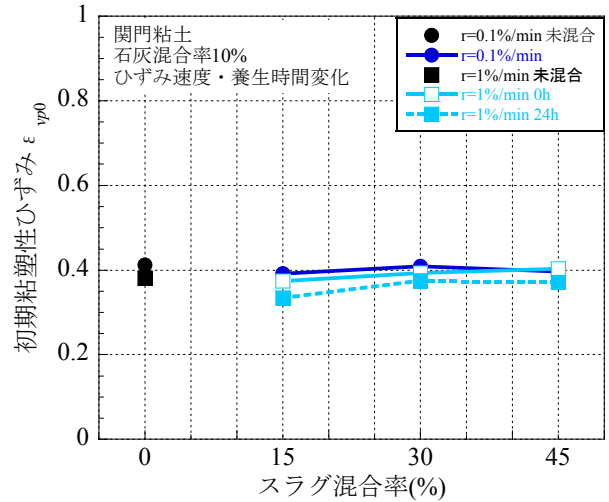


図-100 初期粘塑性ひずみ（関門）
（スラグ混合率変化，真ひずみ）

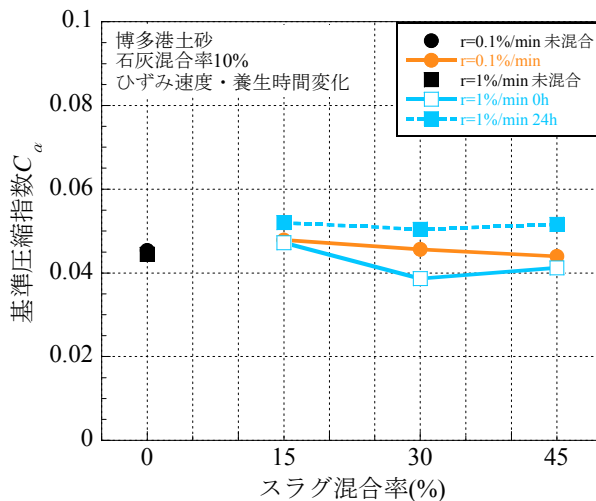


図-101 基準圧縮指数（博多）
（スラグ混合率変化，真ひずみ）

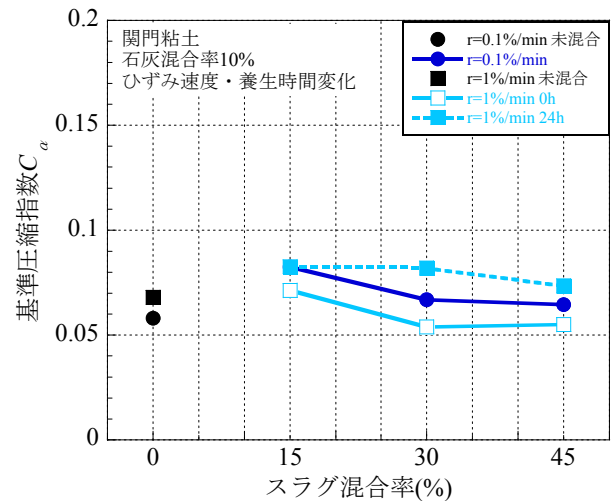


図-102 基準圧縮指数（関門）
（スラグ混合率変化，真ひずみ）

図-103～図-108 に、実際に真ひずみを用いた基準圧縮曲線の直線部分を、各条件について示した。

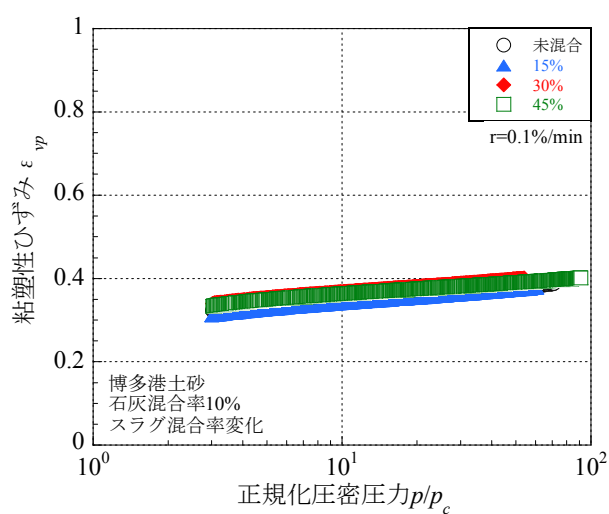


図-103 基準圧縮曲線（博多）
（スラグ混合率変化，0.1%/min）

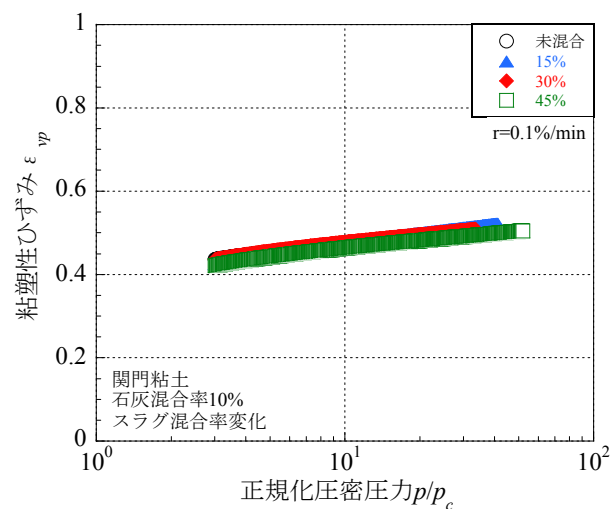


図-104 基準圧縮曲線（関門）
（スラグ混合率変化，0.1%/min）

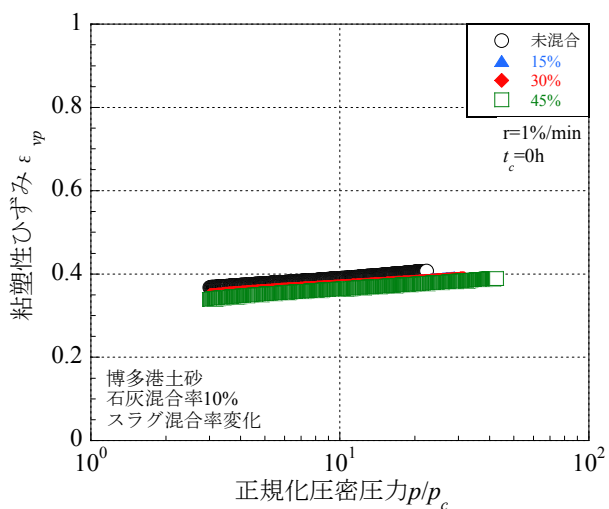


図-105 基準圧縮曲線（博多）
（スラグ混合率変化，1%/min，0h）

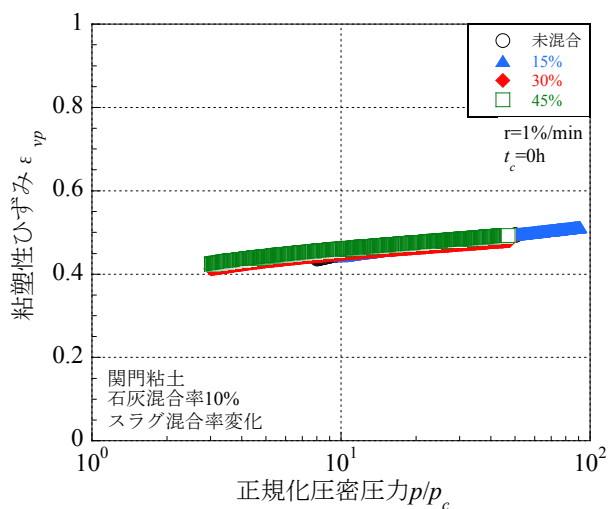


図-106 基準圧縮曲線（関門）
（スラグ混合率変化，1%/min，0h）

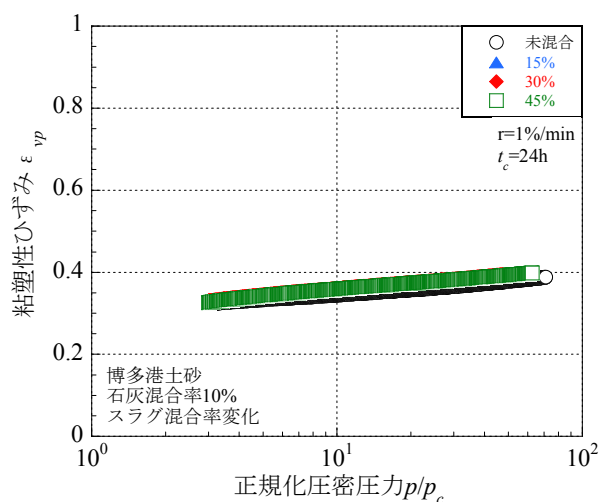


図-107 基準圧縮曲線（博多）
（スラグ混合率変化，1%/min，24h）

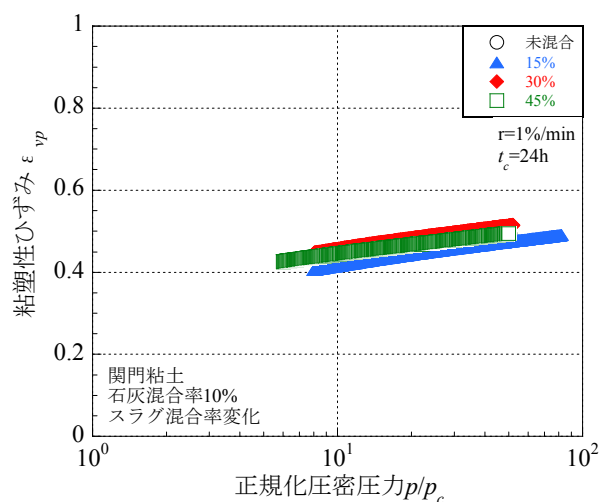


図-108 基準圧縮曲線（関門）
（スラグ混合率変化，1%/min，24h）

③ 養生時間に着目した圧密特性

図-109 に博多港土砂，図-110 に関門粘土における，ひずみ速度が 1%/min の条件で，各スラグ混合率において養生時間を変化させた場合の ε_{vp0} の値を，図-111 に博多港土砂，図-112 に関門粘土における，ひずみ速度が 1%/min の条件で，各スラグ混合率において養生時間を変化させた場合の C_α の値を示す．グラフより，真ひずみにおいても，各母材ともに養生時間の変化による ε_{vp0} および C_α の値はほとんど変わらないということがわかった．

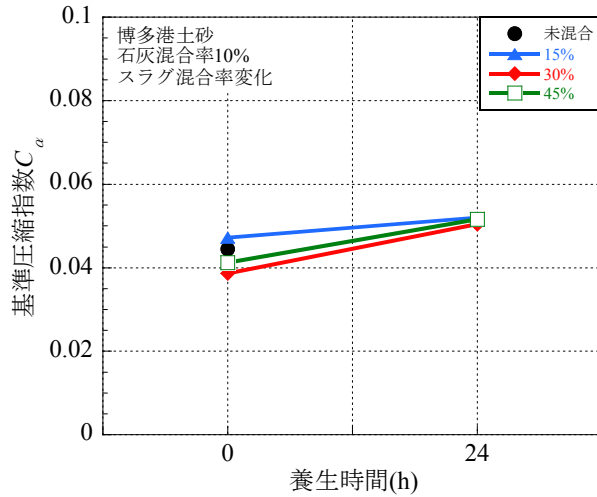


図-109 初期粘塑性ひずみ（博多）
（養生時間変化，真ひずみ）

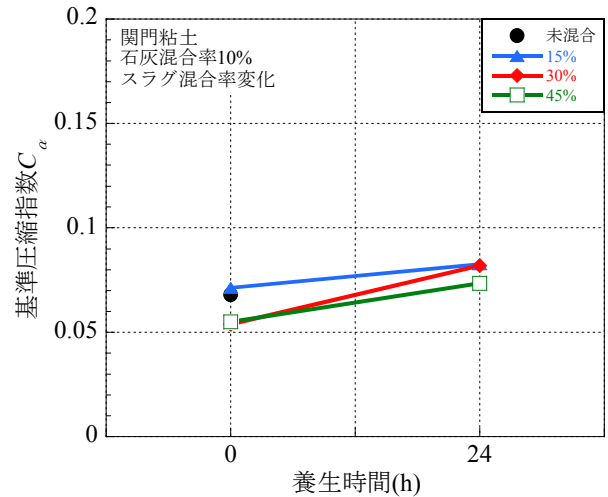


図-110 初期粘塑性ひずみ（関門）
（養生時間変化，真ひずみ）

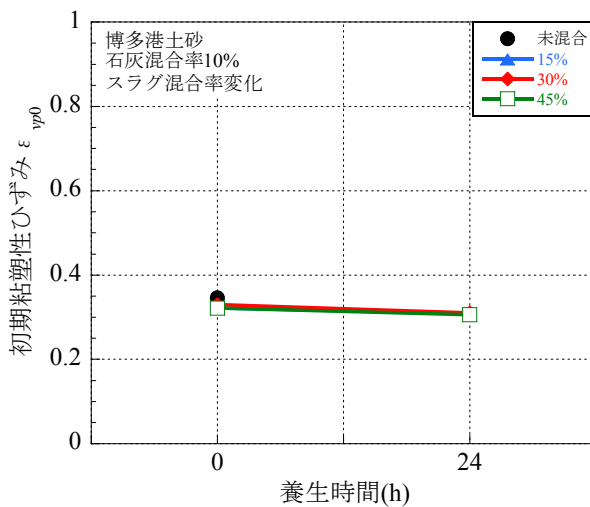


図-111 基準圧縮指数（博多）
（養生時間変化，真ひずみ）

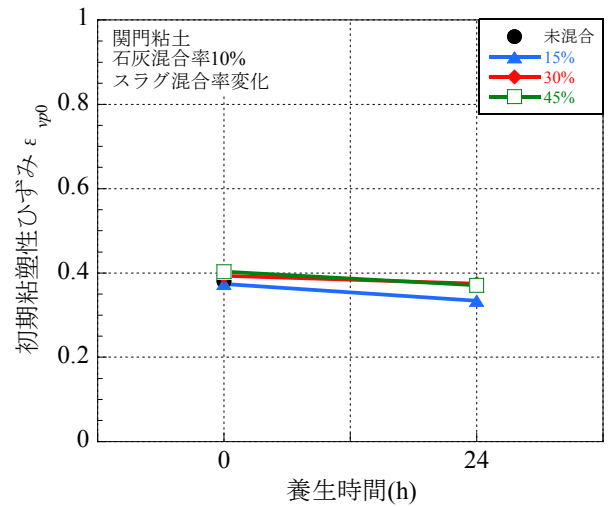


図-112 基準圧縮指数（関門）
（養生時間変化，真ひずみ）

図-113～図-118 に、実際に真ひずみを用いた基準圧縮曲線の直線部分を、各条件について示した。

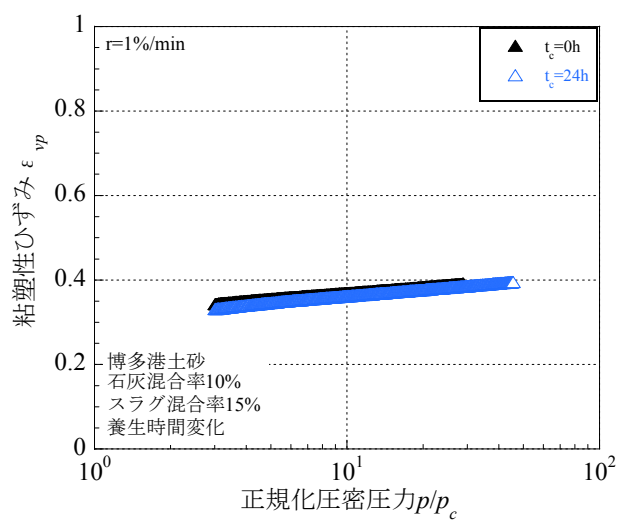


図-113 基準圧縮曲線（博多）
（養生時間変化，15%）

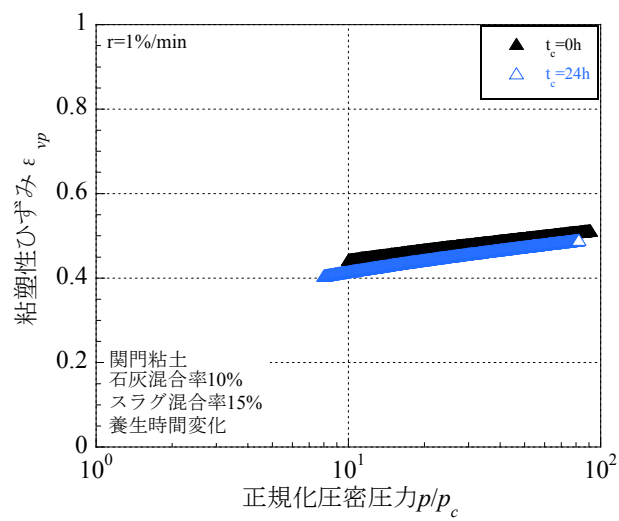


図-114 基準圧縮曲線（関門）
（養生時間変化，15%）

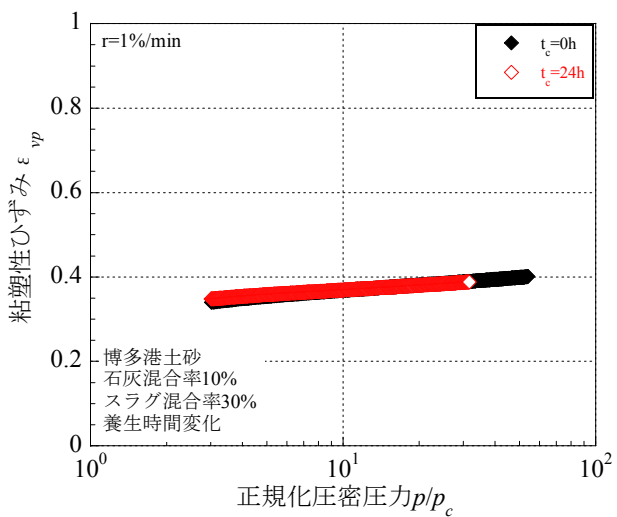


図-115 基準圧縮曲線（博多）
（養生時間変化，30%）

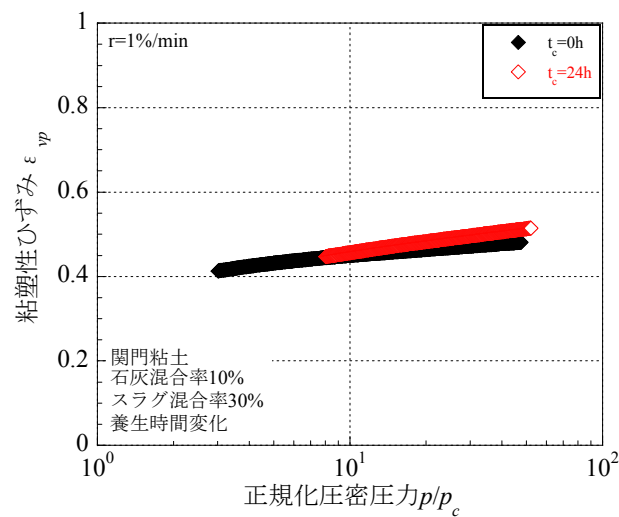


図-116 基準圧縮曲線（関門）
（養生時間変化，30%）

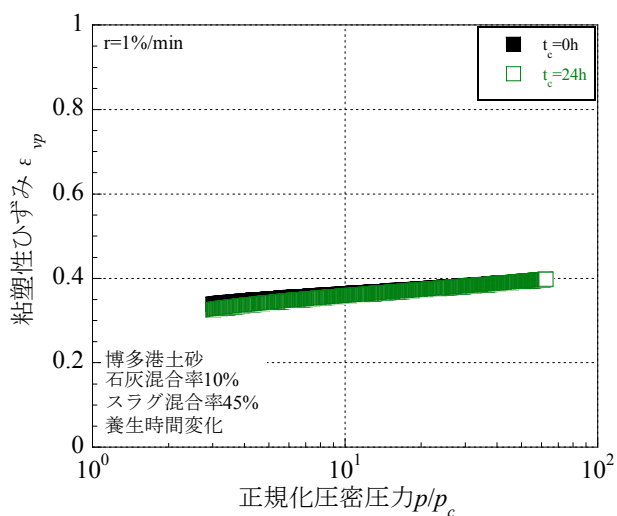


図-117 基準圧縮曲線（博多）
（養生時間変化，45%）

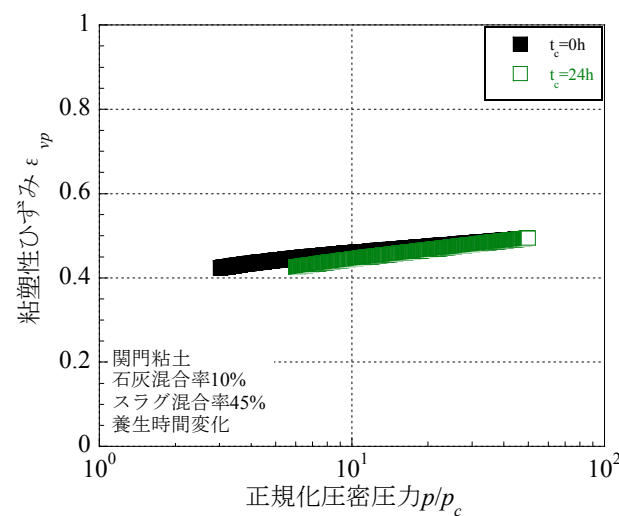


図-118 基準圧縮曲線（関門）
（養生時間変化，45%）

2. 4 結論

(1) 定ひずみ速度圧密試験

- 母材にスラグと石灰を混合することにより、圧密中の間隙水圧の上昇を抑えることができ、その抑制量は、博多港土砂では未混合時の約 1/5 となり、関門粘土では未混合時の約 2/5 となった。また、養生時間における間隙水圧を比較すると、各母材ともに 24h 養生後の間隙水圧の上昇が大きくなった。これはスラグの凝結・水和反応が進行すると、土粒子が団粒化されるために透水性が増すが、さらに進行して固化体を形成してしまうと、透水性が悪くなると考えられる。
- スラグと石灰の混合による固結効果を、未混合時と混合時の圧密試験で得られたそれぞれの圧密圧力の差として表現することにより、スラグの凝結・水和反応の進行を定量的に表現することができると考えられる。
- 固結効果は、圧密初期においては負の方向に増加する傾向が見られ、その後、正の方向に増加した。圧密初期の負の方向への増加は、土粒子間の吸着力が働くことによるものだと考えられる。各母材において、固結効果はスラグ混合率 15% の場合に最も大きく表れていた。また、各スラグ混合率において、混合後 24h 養生することにより、約 500~600kN/m² の固結効果が現れた。
- 固結効果が負の値において、透水係数が増大する傾向が見られた。固結効果が正の方向に増大すると、博多港土砂では透水係数が増大し、関門粘土では透水係数が減少した。博多港土砂では、土粒子が団粒化することで透水性が増し、関門粘土ではスラグの凝結が進行することで透水性が悪くなると考えられる。母材の種類によって挙動が異なるのは、土粒子の粒径の違いが大きく関わっていると考えられる。また、各母材ともに、混合後 24h 養生すると透水性が悪くなった。

(2) アイソタックモデルを用いたスラグ石灰混合浚渫土の圧密特性評価

- アイソタックモデルを応用し、粘塑性ひずみと正規化した圧密圧力の関係をグラフ化すると、その直線部分において、ひずみ速度、スラグ混合率および養生時間といったパラメータが変化しても、直線の傾きや切片が大きく変化することはなく、ひずみと圧密圧力の関係性をほぼ唯一の直線として表すことができると考えられる。
- 母材の圧密降伏応力を求めることができれば、その値をアイソタックモデルによる唯一の直線の式に組み込むことにより、正規圧密状態における圧密特性を予測することが可能であると考えられる。

3. 小型脱水固化装置によるスラグ石灰混合浚渫土の力学特性

3. 1 実験装置

実験装置について図-119 および図-120 に示す。図-119 は定圧载荷装置(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 連式定圧载荷装置であり, 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, 高圧による圧密载荷が可能となっている。

次に, 締め固めモールドの概略図を図-120 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 詰めて定圧载荷し, 供試体を作製する。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る。

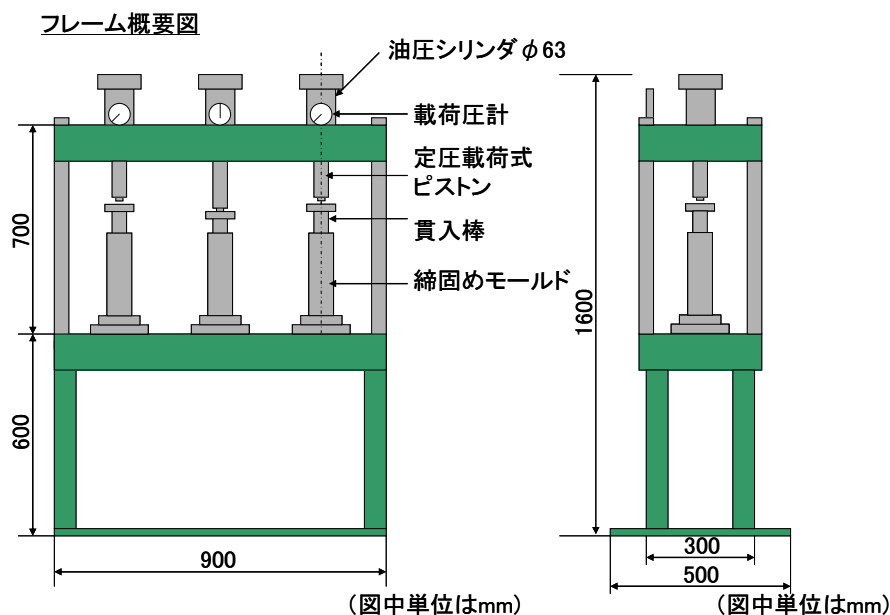


図-119 定圧载荷装置

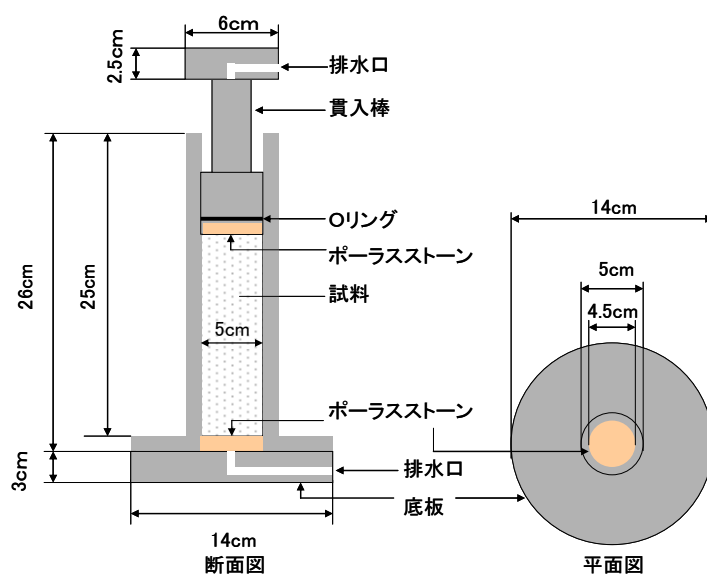


図-120 締め固めモールド概略図



写真-7 実験装置



写真-8 締めめモード

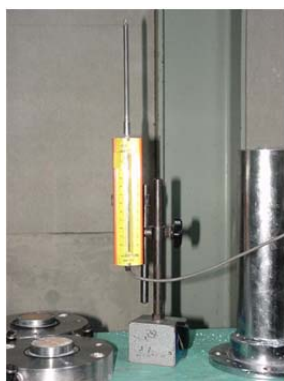


写真-9 変位計



写真-10 養生用デシケータ



写真-11 ハンドミキサー



写真-12 測定器



写真-13 炉乾燥機



写真-14 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-7に示す。写真-8は左から载荷板、底板、締固めモールドである。写真-9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-10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-11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-12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-13は養生後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-14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-3に示す。

表-3 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)	
載荷能力(ton)	5.0
ストローク(mm)	200
支柱間隔(mm)	400
上下間隔(mm)	600
載荷スピード(mm/min)	0.01~5.0

3. 2 実験方法

実験方法は以下の通りである.

(1) 試料の作製手順

①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、図に示す土の構成模式図を用いて求める。

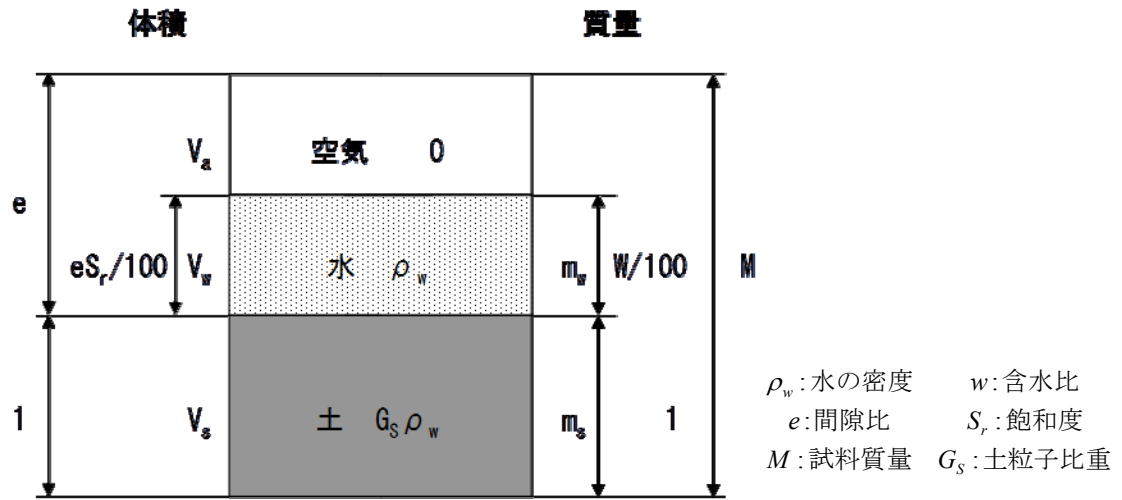


図-121 土の構成模式図

これより,

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

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

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、

$$m_w' = \frac{y}{100} \times m_s - \frac{x}{100} \times m_s = \frac{(y-x)}{100} \times m_s \quad (6)$$

となる.

②スラグの混合に対する含水比の調整

スラグを混合することにより含水比が変化するため、スラグの混合に対する含水比の調整も行う。今、含水比 $y\%$ の試料を $z\%$ のスラグの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 (7) 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。

$$m_{ss} = \frac{z}{100} \times m_s \quad (m_{ss} : \text{スラグ質量})$$

$$m_{wss} = \frac{y}{100} m_{ss} \quad (7)$$

③石灰の混合に対する含水比の調整

石灰を混合することにより含水比が変化するため、石灰の混合に対する含水比の調整も行う。今、含水比 $y\%$ の試料を $v\%$ の石灰の混合率で改良する場合、石灰混合による含水比調整のための不足水分質量は、式 (8) で表される。ただし、ここでいう石灰混合率とは、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。

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

$$m_{wsl} = \frac{y}{100} m_{sl} \quad (8)$$

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。

(2) 供試体の作製手順

供試体はモールド ($\Phi 5.0 \times 25\text{cm}$) を用いて作製する。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する。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する。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する。

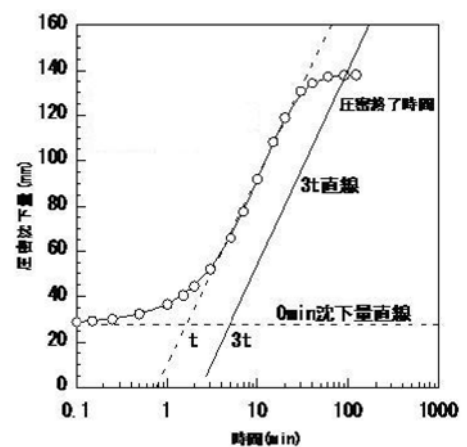


図-122 圧密沈下曲線

(3) 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 日間養生する．デシケーターの設定を湿潤状態で養生する．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る．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），質量を測定する．形状を測定した供試体を一軸圧縮载荷装置にセットする．载荷速度を 1.0mm/min に設定し，ロードセルと変位計の初期設定を行う．一軸圧縮载荷を開始する．载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载荷を終了して，除荷し供試体を装置から取り出す．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する．

3. 3 実験ケース

(1) 試料

本研究では、実験を行うにあたって、母材として博多港で浚渫された土砂(以降、博多港土砂と呼ぶ)および新北九州空港で浚渫された土砂(以降、関門粘土と呼ぶ)の2種類を使用した。固化材として、結合材には高炉スラグ微粉末を、高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を発揮するためのアルカリ刺激材には消石灰を用いる。各試料の粒度分布および物理特性を図-123 および表-4 に示す。

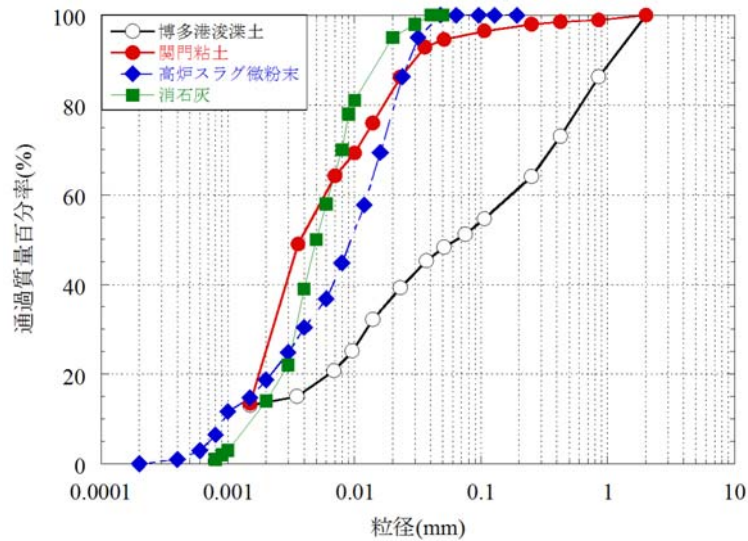


図-123 粒径加積曲線

表-4 試料の物理特性

	密度 (g/cm ³)	自然含水比 (%)	液性限界 (%)	塑性指数
博多港浚渫土	2.69	68.36	68.13	32.5
関門橋浚渫土	2.7	152.00	95.0	59.1
高炉スラグ微粉末	2.88	-	-	-
消石灰	2.2	-	-	-

(2) 実験条件について

高炉スラグ微粉末と消石灰はそれぞれ、浚渫粘土の乾燥質量に対する比率(以降、スラグ混合率および石灰混合率と呼ぶ)で混合する。母材が博多港土砂の場合、スラグ混合率 2%~54%および石灰混合率 2%~54%の組み合わせで混合する。母材が関門粘土の場合、スラグ混合率 15%と 30%および石灰混合率 10%と 20%の組み合わせで混合する。載荷圧は 5MPa および 10MPa, と設定した。各母材での実験条件を表-5(a)および表-5(b)に示す。その条件で、以下の表-6(a)および表-6(b)の実験ケースについて実験を行う。

表-5(a) 実験条件(博多港土砂)

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 _L
スラグ混合率	2% ~ 54%
石灰混合率	2% ~ 54%
脱圧力	5MPa 10MPa
排水条件	上下端面排水
養生日数	28日間
養生条件	温度20℃ 湿度≥90%

表-5(b) 実験条件(関門粘土)

母材	関門粘土
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	1.1w _L 1.2w _L
スラグ混合率	15% 30%
石灰混合率	10% 20%
脱圧力	5MPa 10MPa
排水条件	上下端面排水
養生日数	28日間
養生条件	温度20℃ 湿度≥90%

表-6(a) 実験ケース(博多港土砂)

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	載荷圧(MPa)
1	2	18	10
2	3	27	10
3	4	36	10
4	5	45	10
5	6	54	10
6	9	21	10
7	10	10	10
8	12	28	10
9	15	4	5, 10
10	15	10	5, 10
11	15	15	5, 10
12	18	2	10
13	20	20	10
14	21	9	10
15	25	25	10
16	27	3	10
17	28	12	10
18	30	4	5, 10
19	30	10	5, 10
20	30	15	5, 10
21	30	30	10
22	36	4	10
23	45	4	5, 10
24	45	5	10
25	45	10	5, 10
26	45	15	5, 10
27	54	6	10

表-6(b) 実験ケース(関門粘土)

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	載荷圧(MPa)
1	15	20	5, 10
2	30	10	5, 10
3	30	20	5, 10

3. 4 小型高压脱水固化装置におけるスラグ石灰混合浚渫土の脱水特性

小型高压脱水固化装置により作製されたスラグ石灰混合浚渫土の脱水特性を以下に示す。

(1) 博多港土砂を母材とした場合のスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線

博多港土砂を母材としたときの各配合条件における圧密沈下曲線を以下に示す。縦軸の圧密量は mm で表し、横軸は $\log t$ とし、対数で表す。t の単位は min である。

脱水圧力 10MPa のときの、スラグ混合率 2~5% のときのスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線を図-124 に示す。凡例は、スラグ混合率と石灰混合率である。

図-124 合率を増加するほど圧密量は小さくなった。また、スラグ混合率が大きいほど圧密は早期に終了している。これは固化材の混合率が増加したことにより固化が早まったことが考えられる。

脱水圧力 10MPa のときの、スラグ混合率 6~21% のときのスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線を図-125、スラグ混合率と石灰混合率である。

図-125 より、図-124 と違いスラグ混合率によらず圧密量に変化した。しかし、スラグ混合率と石灰混合率の和で考えると、最大である 60% のスラグ混合率と石灰混合率の和となる配合条件が最も圧密量が小さくなった。また、小さい違いではあるが、スラグ混合率が最も大きい条件で圧密が早期に終了した。

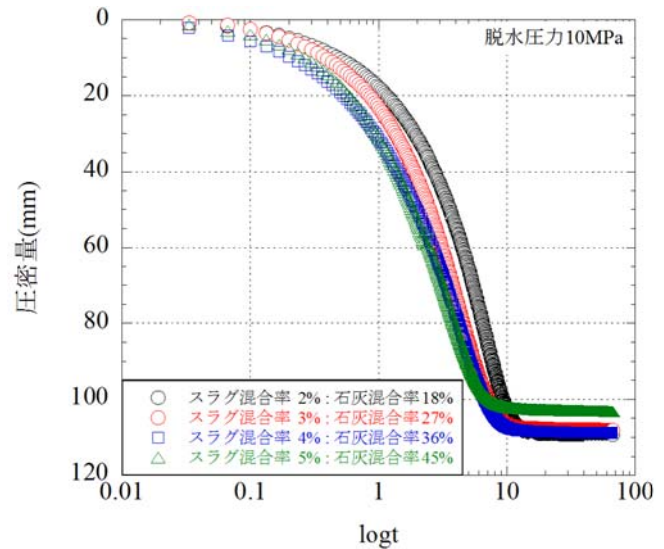


図-124 脱水圧力 10MPa のときのスラグ混合率 2~5% の圧密沈下曲線

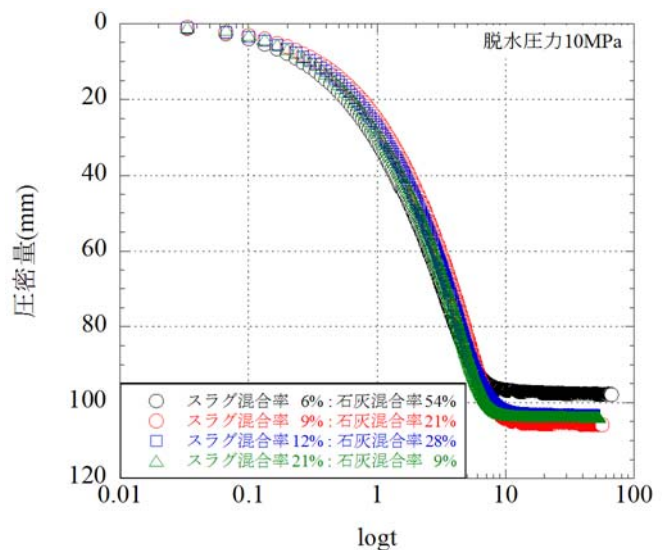


図-125 MPa のときのスラグ混合率 6 ~21% の圧密沈下曲線

脱水圧力 10MPa のときの，スラグ混合率 25～30%のときのスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線を図-126 に示す．凡例は，スラグ混合率と石灰混合率である．

図-126 より，スラグ混合率の増加に伴い，圧密量が小さくなった．また，スラグ混合率と石灰混合率の和が大きいほど，圧密量が小さくなった．また，図-6 および図-7 と同様にスラグ混合率の増加に伴い，圧密が早期に終了した．

脱水圧力 10MPa のときの，スラグ混合率 36～54%のときのスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線を図-127 に示す．凡例は，スラグ混合率および石灰混合率である．

図-127 より，スラグ混合率の増加に伴い，圧密量が小さくなった．また，スラグ混合率と石灰混合率の和が大きいほど，圧密量が小さくなった．図-126 では圧密量が落ち着くのはスラグ混合率によらなかった．これは，3つの条件でスラグ混合率がすべて高いことから，最大の固化速度を発揮しているためだと考えられる．

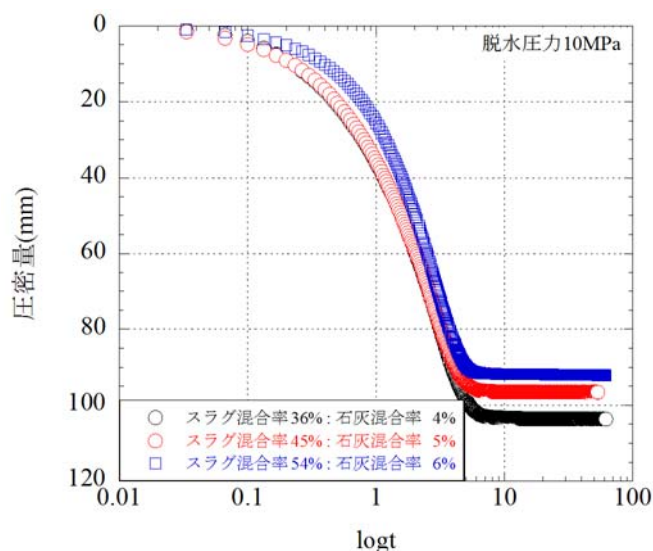


図-127 脱水圧力 10MPa のときのスラグ混合率 36～54%の圧密沈下曲線

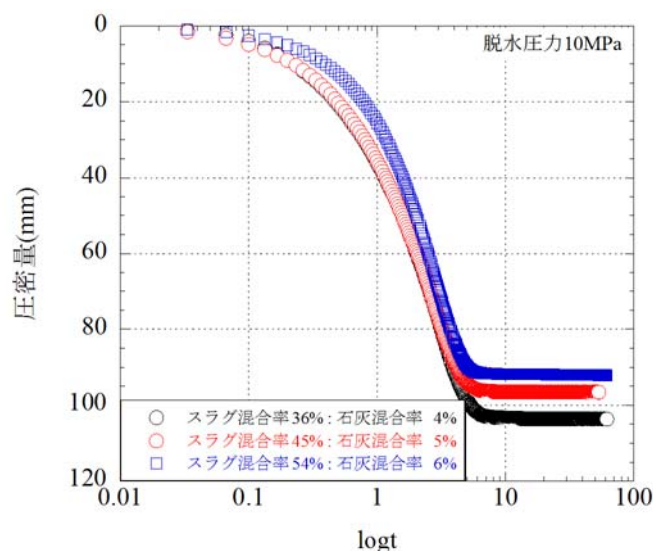


図-127 脱水圧力 10MPa のときのスラグ混合率 36～54%の圧密沈下曲線

スラグ混合率 15%のときのスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線を図-128 に示す。凡例は、スラグ混合率、石灰混合率および脱水圧力である。

図-128 より、脱水圧力の増加に伴い、圧密量が大きくなることが分かった。また、圧密量が増加するにもかかわらず、圧密が早期に終了していることが図から見る事ができる。

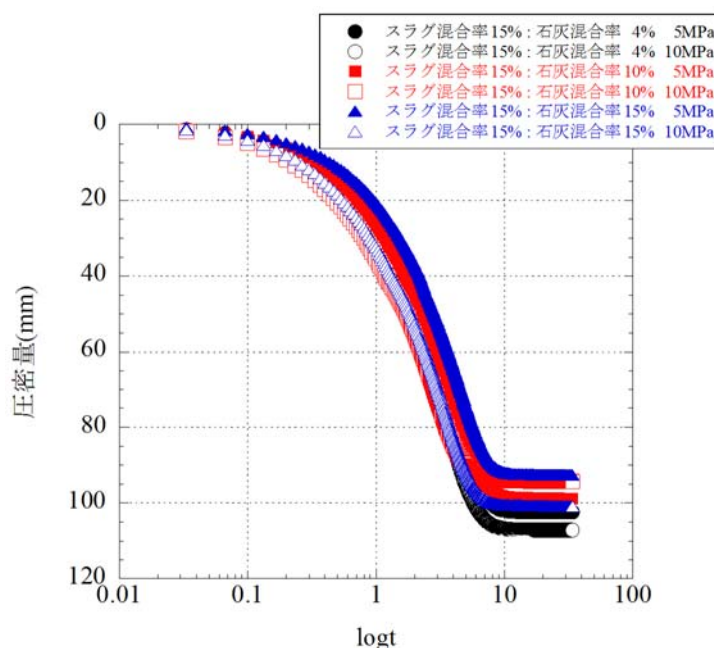


図-128 スラグ混合率 15%のときの圧密沈下曲線

スラグ混合率 30%のときのスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線を図-129 に示す。凡例は、スラグ混合率、石灰混合率および脱水圧力である。

図-129 より、図-128 と同様に、脱水圧力の増加に伴い、圧密量が大きくなることが分かった。また、圧密量が増加するにもかかわらず、圧密が早期に終了していることが図から見る事ができる。さらに、スラグ混合率 30%および石灰混合率 15%と混合率が最大の時、最も圧密終了が早くなることが分かった。

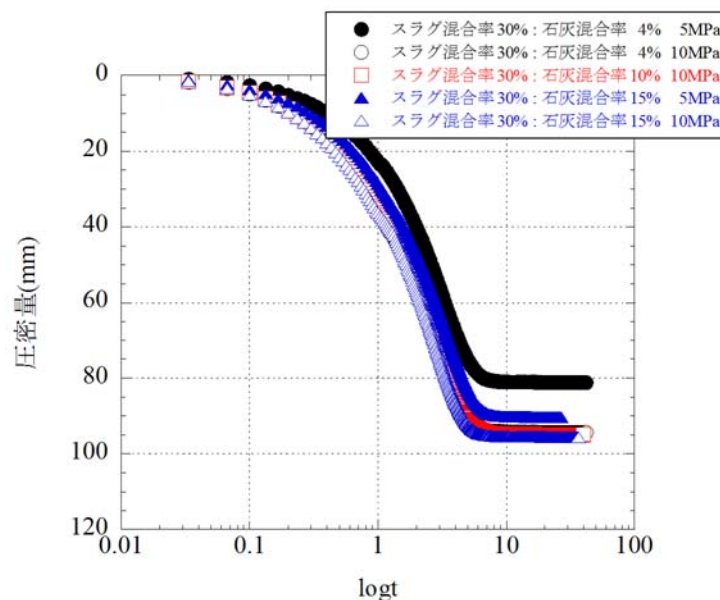


図-129 スラグ混合率 30%のときの圧密沈下曲線

スラグ混合率 45%のときのスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線を図-130 に示す。凡例は、スラグ混合率、石灰混合率および脱水圧力である。

図-130 より、図-129 とは異なり、脱水圧力の増加に伴い、圧密量が小さくなった。また、図-128 および図-129 と同様に、脱水圧力の増加に伴い、圧密量が大きくなることが分かった。また、圧密量が増加するにもかかわらず、圧密が早期に終了して

いることが図から見る事ができる。さらに、スラグ混合率 45%および石灰混合率 15%と混合率が最大の時、最も圧密終了が早くなることが分かった。

以上の事から、圧密量はスラグ混合率と石灰混合率の和を増加すると小さくなると考えられる。また、スラグ混合率および脱水圧力を増加することで圧密を早期に終了することができる。

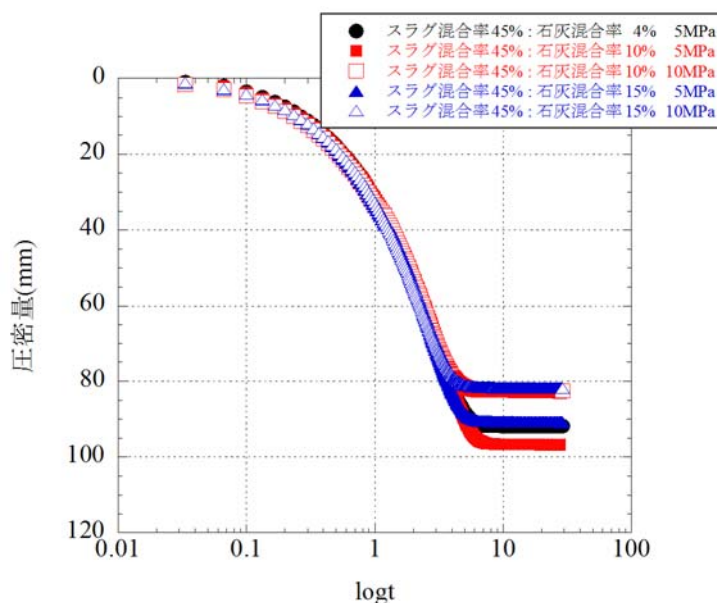


図-130 スラグ混合率 45%のときの圧密沈下曲線

(2) 関門粘土を母材とした場合のスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線

関門粘土を母材としたときの各配合条件における圧密沈下曲線を以下に示す。縦軸の圧密量は mm で表し、横軸は $\log t$ とし、対数で表す。 t の単位は min である。

スラグ混合率 15%および石灰混合率 20%のときのスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線を図-131 に示す。凡例は脱水圧力である。

図-131 より、わずかな差ではあるが脱水圧力を増加すると圧密量が小さく

なった。また、博多港土砂と比較してみると、圧密終了にかかる時間が 10 倍ほどかかることが分かった。これは、博多港土砂と関門粘土の粒度分布の違いが原因であると考えられる。関門粘土は粘土やシルトが多く含まれており、圧密脱水に多く時間がかかる。対して博多港土砂は砂分が多く見られ、粒度がよく、透水がいい粒度分布になっている。

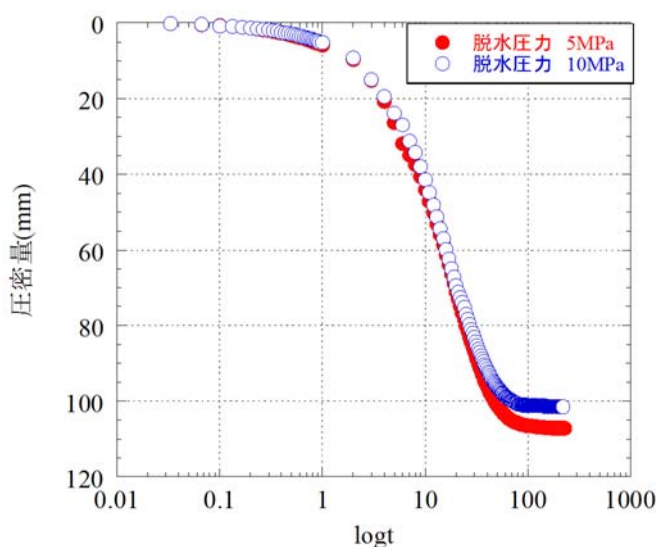


図-131 スラグ混合率 15%および石灰混合率 20%のときの圧密沈下曲線

スラグ混合率 30%および石灰混合率 10%のときのスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線を図-132 に示す。凡例は脱水圧力である。

図-132 より、脱水圧力を変化しても圧密量は変化が小さかった。しかし、母材が博多港土砂のときと同様に脱水圧力の増加に伴い、圧密が早期に終了した。

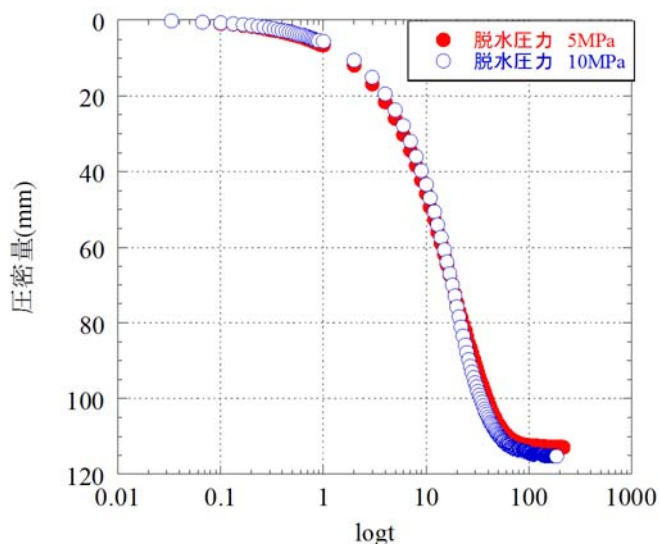


図-132 スラグ混合率 30%および石灰混合率 10%のときの圧密沈下曲線

スラグ混合率 30%および石灰混合率 20%のときのスラグ石灰混合浚渫土の圧密沈下曲線を図-133 に示す。凡例は脱水圧力である。

図-133 より、脱水圧力の増加に伴い、圧密が早期に終了した。

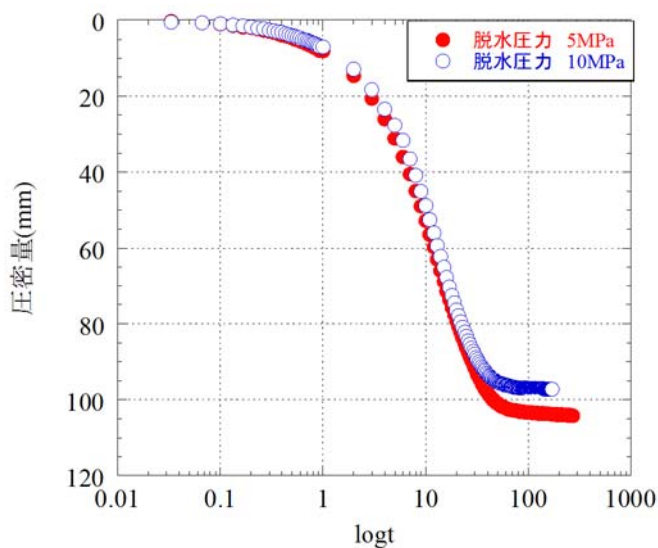


図-133 スラグ混合率 30%および石灰混合率 20%のときの圧密沈下曲線

(3) 脱水終了時間

載荷中に変位計から測定した圧密沈下量から片対数グラフを用い、 $3t$ 法により圧密の完了時間である脱水終了時間を求めた。以下で示されるスラグ石灰混合率とは、スラグ混合率と石灰混合率の和のことである。

母材が博多港土砂のときのスラグ混合率と脱水終了時間の関係を脱水圧力別で図-134(a)および図-134(b)に示す。

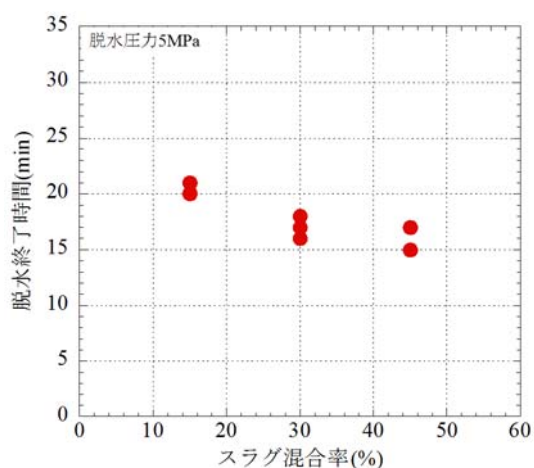


図-134 (a) 脱水圧力 5MPa

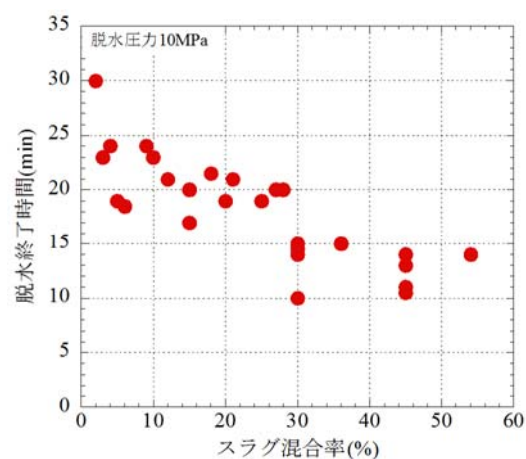


図-134(b) 脱水圧力 10MPa

図-134 脱水圧力別のスラグ混合率と脱水終了時間の関係

図-134(a)および図-134(b)より、脱水圧力にかかわらず、スラグ混合率を増加すると脱水終了時間が短縮することが分かった。また脱水圧力の増加に伴い、脱水終了時間が短縮することが分かった。最も短い脱水終了時間は、脱水圧力 10MPa およびスラグ混合率 30% のときで、脱水終了時間は 10 分となった。

母材が関門粘土のときのスラグ混合率と脱水終了時間の関係を図-135 に示す。

図-135 より、石灰混合率 10%および脱水圧力 5MPa のとき以外ではスラグ混合率の増加に伴い、脱水終了時間が短縮した。また、脱水圧力の増加に伴い、脱水終了時間が短縮することが分かった。最も短い脱水終了時間は、脱水圧力 10MPa、スラグ混合率 30%および石灰混合率 20% のときで、脱水終了時間は 90 分となった。このように、母材が変わり、物理特性に違いがあれば、脱水終了時間に大幅な違いが出るということが分かった。しかし、いずれの母材でもスラグ混合率を増加する、

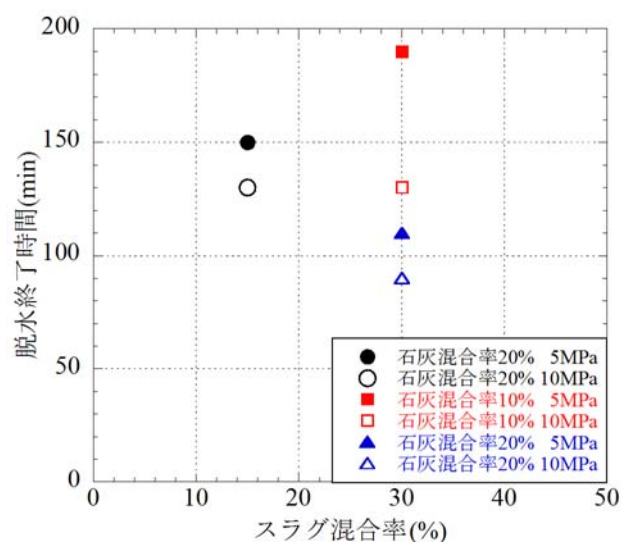


図-135 スラグ混合率と脱水終了時間の関係

または、脱水圧力を増加することで脱水終了時間の短縮ができることが分かった。

母材が博多港土砂のときの石灰混合率と脱水終了時間の関係を脱水圧力別で図-136(a)および図-136(b)に示す。

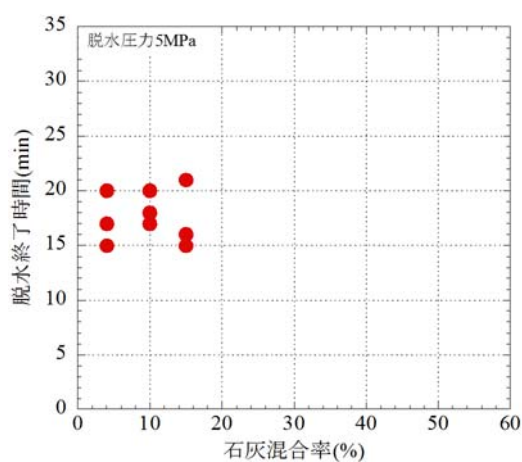


図-136(a) 脱水圧力 5MPa

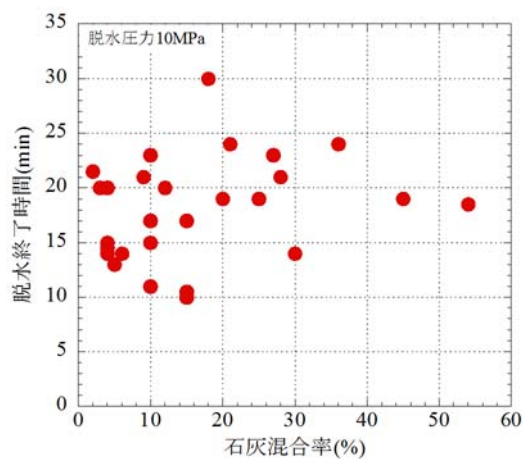


図-136(b) 脱水圧力 10MPa

図-136 脱水圧力別の石灰混合率と脱水終了時間の関係

図-136(a)および図-136(b)より、石灰混合率を変化しても脱水終了時間に影響がないことが分かった。これらのことから、脱水終了時間にはスラグ混合率および脱水圧力に強い関係があることが考えられる。

母材が関門粘土のときの石灰混合率と脱水終了時間の関係を図-137に示す。

ばらつきは石灰混合率の増加に伴い、脱水終了時間がわずかに短縮した。この図からもスラグ混合率および脱水圧力が脱水終了時間に大きな影響を与えていることが分かる。

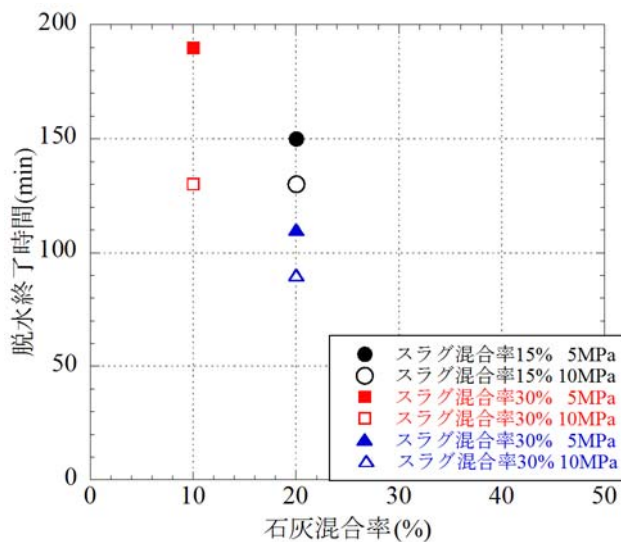


図-137 石灰混合率と脱水終了時間の関係

母材が博多港土砂のときのスラグ石灰混合率と脱水終了時間の関係を脱水圧力別で図-138(a)および図-138(b)に示す。

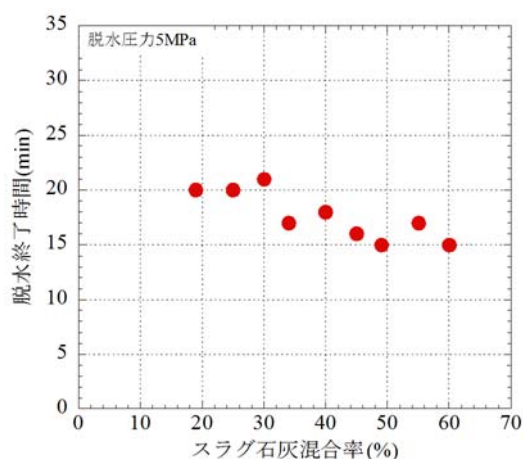


図-138(a) 脱水圧力 5MPa

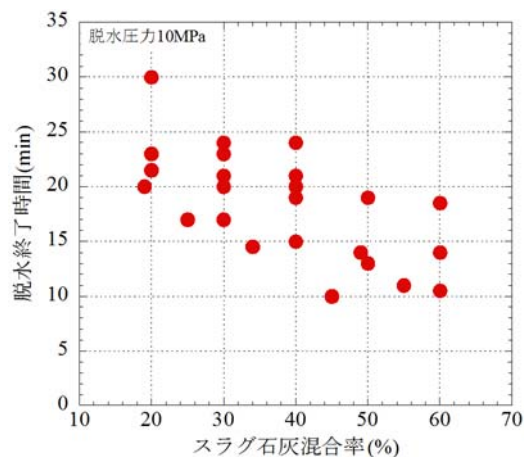


図-138(b) 脱水圧力 10MPa

図-138 スラグ石灰混合率と脱水終了時間の関係

図-138(a)および図-138(b)より、スラグ石灰混合率の増加に伴い、脱水終了時間が短縮することが分かった。また脱水圧力 5MPa のときほぼ直線的に脱水終了時間が短縮したことから、脱水終了時間に対してスラグ混合率の影響は大きい、石灰混合率の影響も少なからずあるということが考えられる。このことから、様々なスラグと石灰の配合条件を考察する必要があると考えられる。

母材が関門粘土のときのスラグ石灰混合率と脱水終了時間の関係を図-139 に示す。

図-139 より、スラグ石灰混合率の増加に伴い、脱水終了時間が短縮した。また、脱水圧力の増加に伴い脱水終了時間が短縮した。スラグ石灰混合率 40%および脱水圧力 5MPa の場合以外は、整った形で脱水終了時間が短縮した。このことから、スラグ石灰混合率により、脱水終了時間が変化すると考えられる。

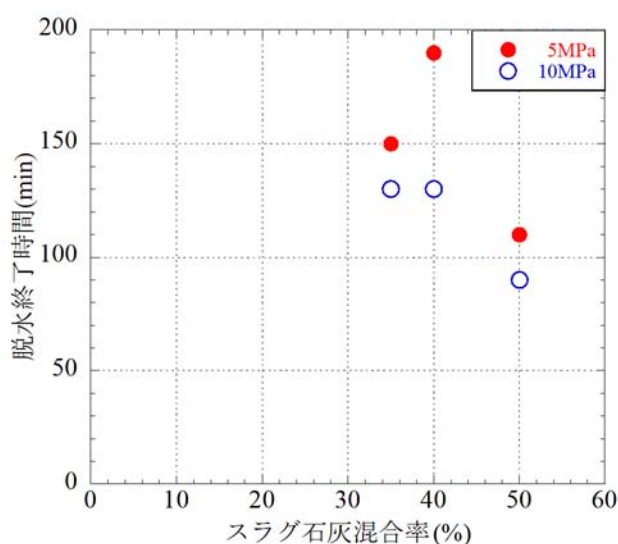


図-139 スラグ石灰混合率と脱水終了時間の関係

母材が博多港土砂のときの、脱水圧力 10MPa で脱水した場合の石灰混合率と脱水終了時間の関係を図-140 に示す。

図-140 の凡例は、スラグ混合率を示す。石灰混合率を増加しても圧密終了時間に影響がないことが分かった。一方で、ばらつきはあるが、スラグ混合率を増加すると圧密終了時間が短縮することが分かった。特に、スラグ混合率 31%以上では圧密終了時間が 15 分以下まで短縮することが分かった。このことから、脱水をより速く行うためにはスラグ混合率を増加させることが重要であると考えられる。

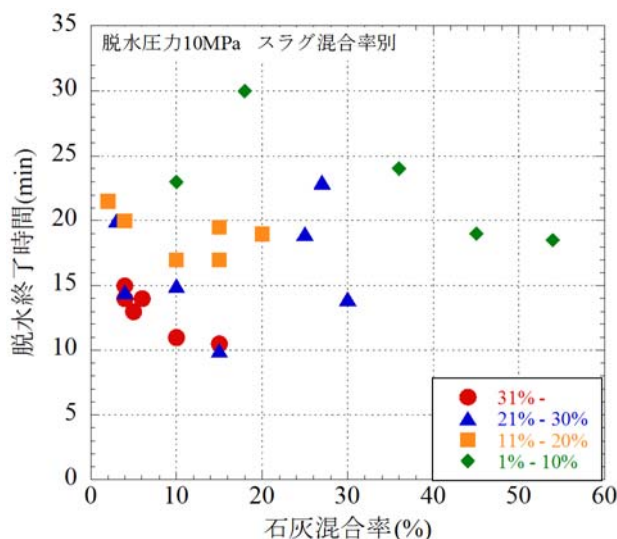


図-140 スラグ混合率別の石灰混合率と脱水終了時間の関係

母材が博多港土砂のときの、脱水圧力と脱水終了時間との関係を図-141 に示す。

図-141 の凡例は母材に配合したスラグ混合率と石灰混合率を示す。脱水圧力の増加に伴い、脱水終了時間が短縮することが分かった。また、同じ脱水圧力および同じ石灰混合率で配合を行ったとき、スラグ混合率が大きいほど脱水終了時間も短縮することが分かった。すべての配合条件の中で、最も短い脱水終了時間は 10 分であり、そのときの配合条件は、スラグ混合率 30%、石灰混合率 15%および脱水圧力 10MPa である。

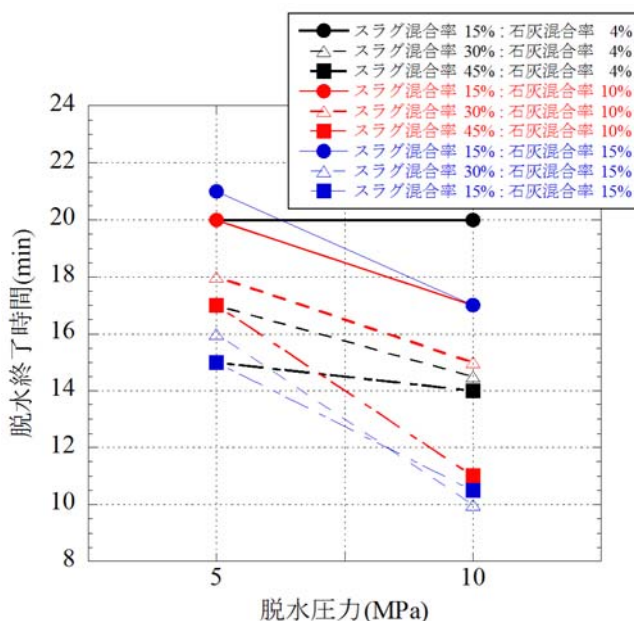


図-141 母材が博多港土砂のときの脱水圧力と脱水終了時間の関係

母材が関門粘土のときの，脱水圧力と脱水終了時間との関係を図-142 に示す．

図-142 の凡例はスラグ混合率および石灰混合率を示す．脱水圧力の増加に伴い，脱水終了時間が短縮することが分かった．また，同じ脱水圧力および同じ石灰混合率で配合を行ったとき，スラグ混合率が高いほど脱水終了時間も短縮することが分かった．すべての配合条件の中で，最も短い脱水終了時間は 90 分であり，そのときの配合条件は，スラグ混合率 30%，石灰混合率 20%および脱水圧力 10MPa である．

以上のことから，スラグ混合率および脱水圧力は，脱水終了時間と大きく関係していると考えられる．

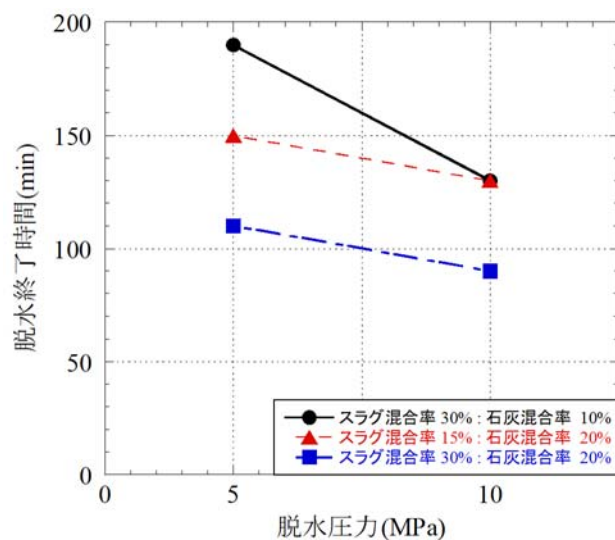


図-142 母材が関門粘土のときの脱水圧力と脱水終了時間の関係

表-7 に各実験ケースの脱水終了時間を示す。

表-7(a) 母材が博多港土砂のときの脱水終了時間結果

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	載荷圧(MPa)	脱水終了時間(min)
1	2	18	10	30.0
2	3	27	10	23.0
3	4	36	10	24.0
4	5	45	10	19.0
5	6	54	10	18.5
6	9	21	10	24.0
7	10	10	10	23.0
8	12	28	10	21.0
9	15	4	5	20.0
10	15	4	10	20.0
11	15	10	5	20.0
12	15	10	10	17.0
13	15	15	5	21.0
14	15	15	10	17.0
15	18	2	10	21.5
16	20	20	10	19.0
17	21	9	10	21.0
18	25	25	10	19.0
19	27	3	10	20.0
20	28	12	10	20.0
21	30	4	5	17.0
22	30	4	10	14.5
23	30	10	5	18.0
24	30	10	10	15.0
25	30	15	5	16.0
26	30	15	10	10.0
27	30	30	10	14.0
28	36	4	10	15.0
29	45	4	5	15.0
30	45	4	10	14.0
31	45	5	10	13.0
32	45	10	5	17.0
33	45	10	10	11.0
34	45	15	5	15.0
35	45	15	10	10.5
36	54	6	10	14.0

表-7(b) 母材が関門粘土のときの脱水終了時間結果

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	載荷圧(MPa)	脱水終了時間(min)
1	15	20	5	150
2	15	20	10	130
3	30	10	5	190
4	30	10	10	130
5	30	20	5	110
6	30	20	10	90

3. 5 小型脱水固化装置におけるスラグ石灰混合浚渫土の強度特性

2種類の母材で作製したスラグ石灰混合浚渫土の強度特性を以下に示す.

(1) 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.

母材が博多港土砂, スラグ混合率 2%, 石灰混合率 18%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-143 に示す. 凡例は供試体ナンバーを示す.

母材が博多港土砂, スラグ混合率 3%, 石灰混合率 27%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-144 に示す. 凡例は供試体ナンバーを示す.

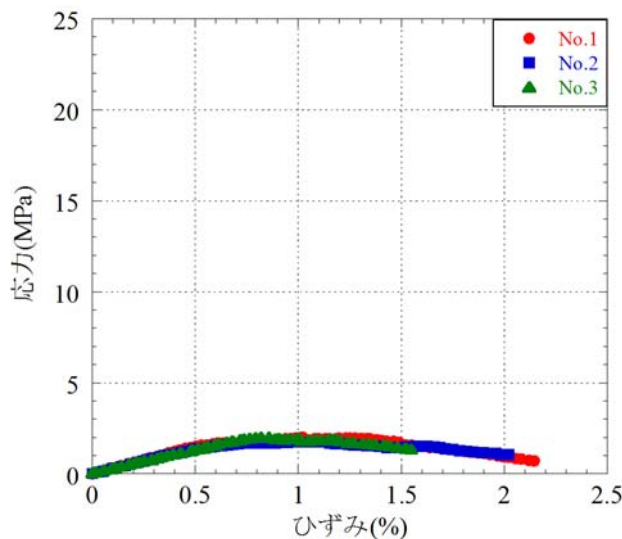


図-143 母材が博多港土砂, スラグ混合率 2%, 石灰混合率 18%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

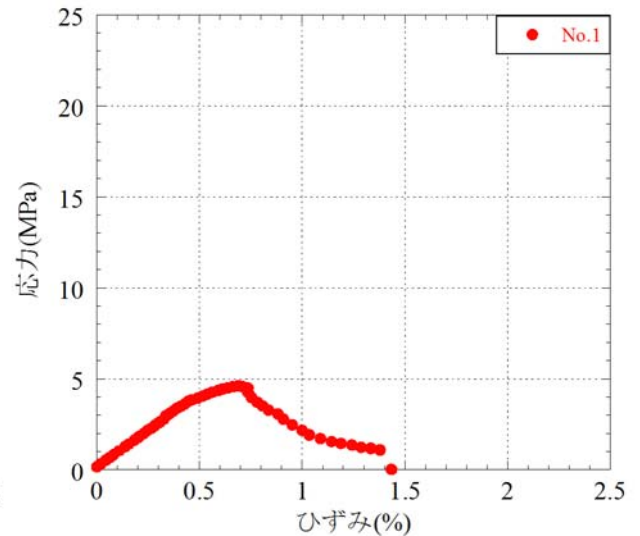


図-144 母材が博多港土砂, スラグ混合率 3%, 石灰混合率 27%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂, スラグ混合率 4%, 石灰混合率 36%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-145 に示す. 凡例は供試体ナンバーを示す.

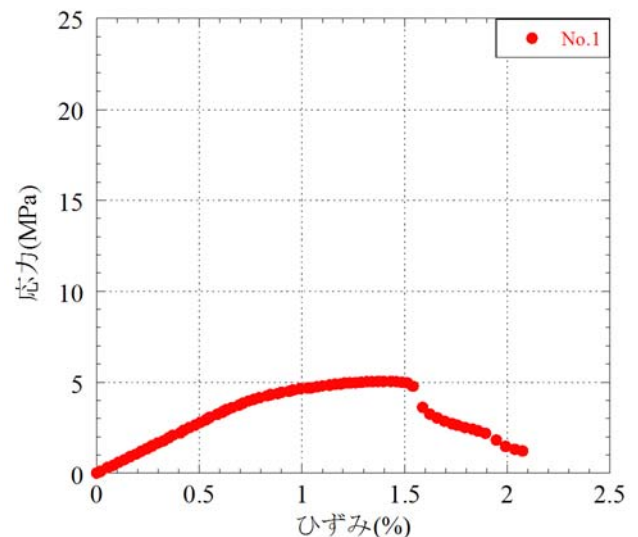


図-145 母材が博多港土砂, スラグ混合率 4%, 石灰混合率 36%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂，スラグ混合率 5%，石灰混合率 45%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-146 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

母材が博多港土砂，スラグ混合率 6%，石灰混合率 54%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-147 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

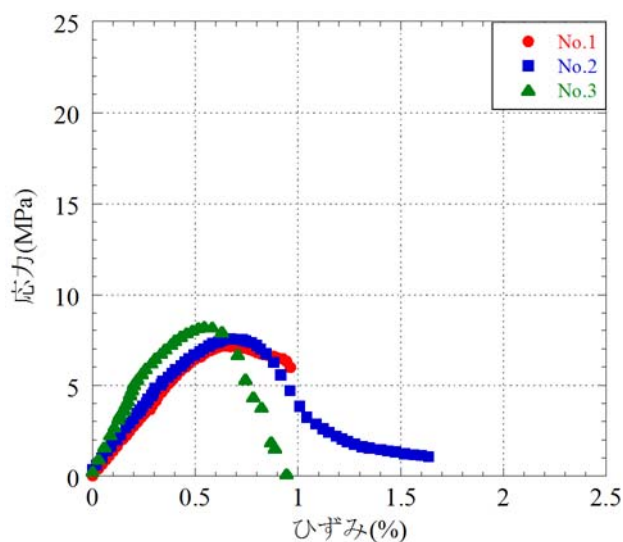


図-146 母材が博多港土砂，スラグ混合率 5%，石灰混合率 45%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

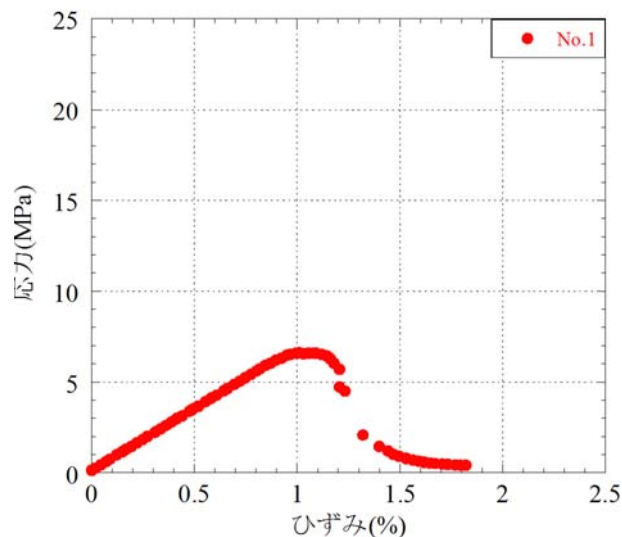


図-147 母材が博多港土砂，スラグ混合率 6%，石灰混合率 54%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂，スラグ混合率 9%，石灰混合率 21%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-148 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

母材が博多港土砂，スラグ混合率 10%，石灰混合率 10%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-149 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

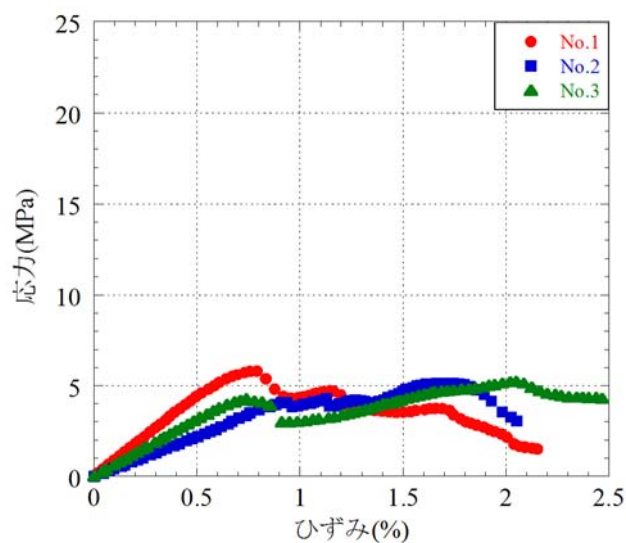


図-148 母材が博多港土砂，スラグ混合率 9%，石灰混合率 21%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

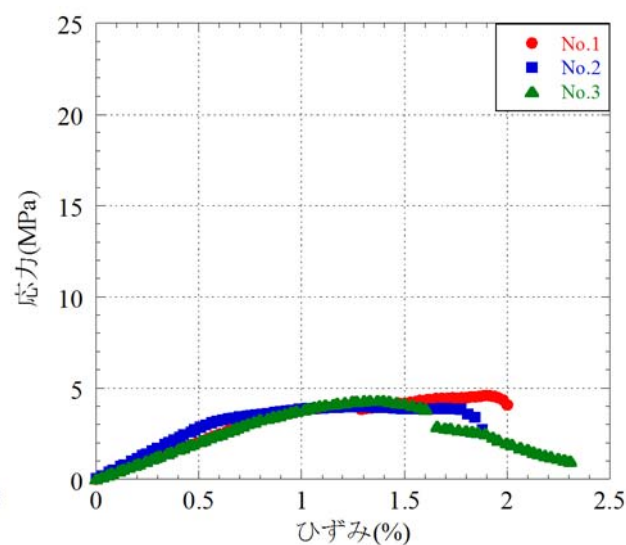


図-149 母材が博多港土砂，スラグ混合率 10%，石灰混合率 10%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂，スラグ混合率 12%，
石灰混合率 28%および脱水圧力 10MPa の
ときの応力ひずみ曲線を図-150 に示す。
凡例は供試体ナンバーを示す。

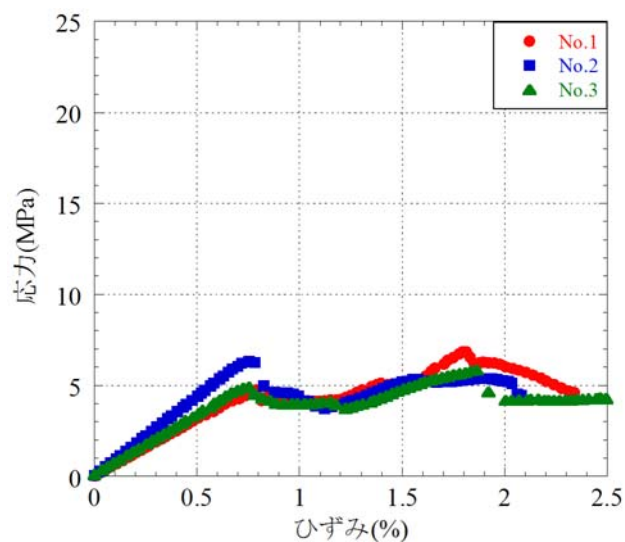


図-150 母材が博多港土砂，スラグ混合
率 12%，石灰混合率 28%および脱水圧力
10MPa のときの応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂，スラグ混合率 15%および石灰混合率 4%のときの脱水圧力別の応力ひ
ずみ曲線を図-151 (a)および図-151 (b)に示す。凡例は供試体ナンバーを示す。

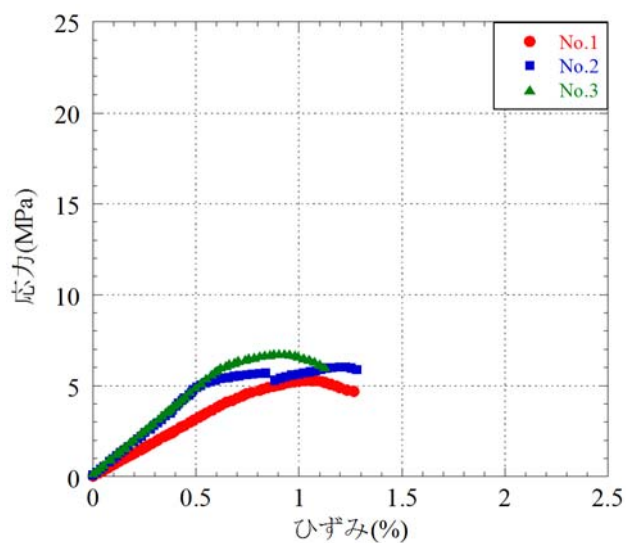


図-151(a) 脱水圧力 5MPa

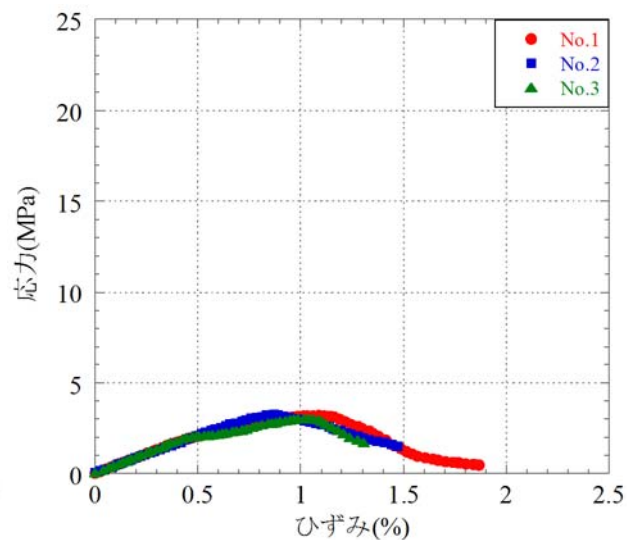


図-151(b) 脱水圧力 10MPa

図-151 母材が博多港土砂，スラグ混合率 15%および石灰混合
率 4%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂, スラグ混合率 15%および石灰混合率 10%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線を図-152(a)および図-152(b)に示す. 凡例は供試体ナンバーを示す.

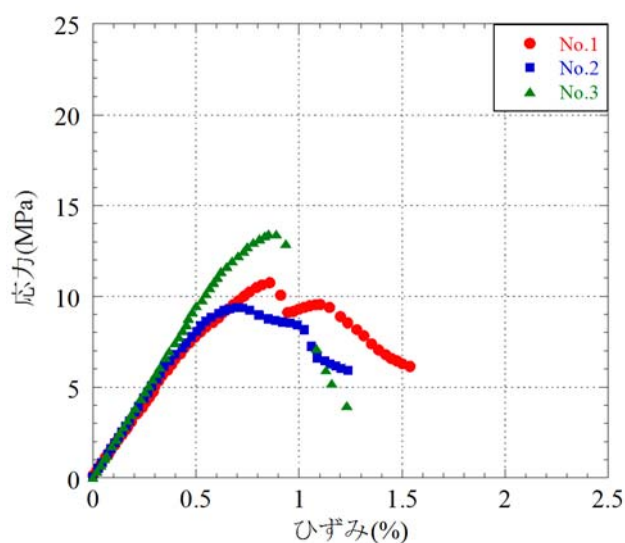


図-152(a) 脱水圧力 5MPa

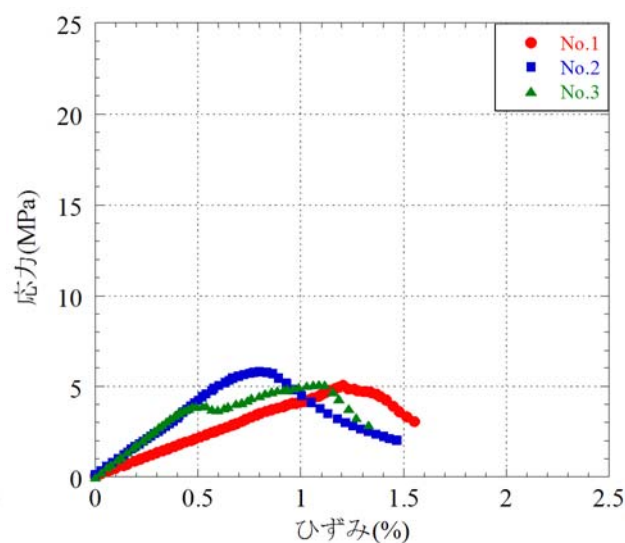


図-152(b) 脱水圧力 10MPa

図-152 母材が博多港土砂, スラグ混合率 15%および石灰混合率 10%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂, スラグ混合率 15%および石灰混合率 15%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線を図-153(a)および図-153(b)に示す. 凡例は供試体ナンバーを示す.

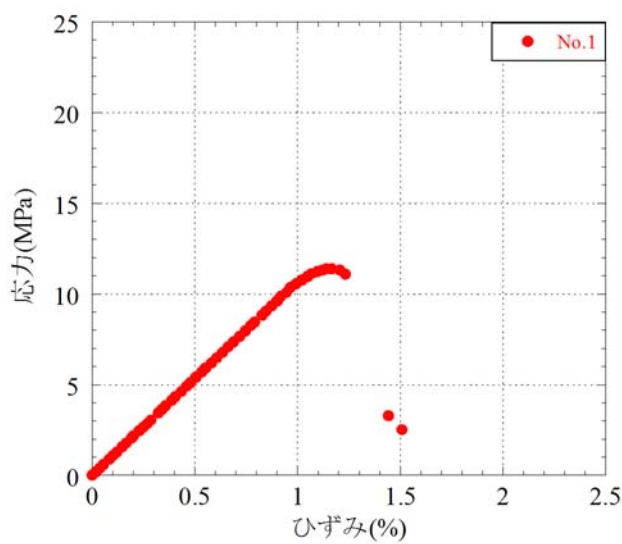


図-153(a) 脱水圧力 5MPa

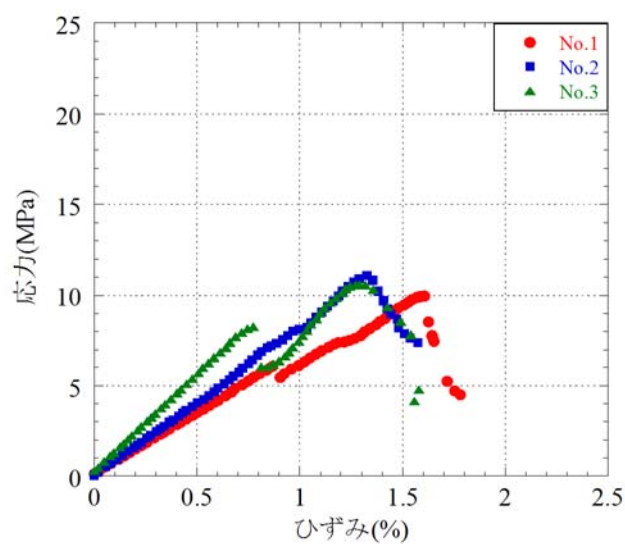


図-153(b) 脱水圧力 10MPa

図-153 母材が博多港土砂, スラグ混合率 15%および石灰混合率 15%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂，スラグ混合率 18%，石灰混合率 2%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-154 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

母材が博多港土砂，スラグ混合率 20%，石灰混合率 20%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-155 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

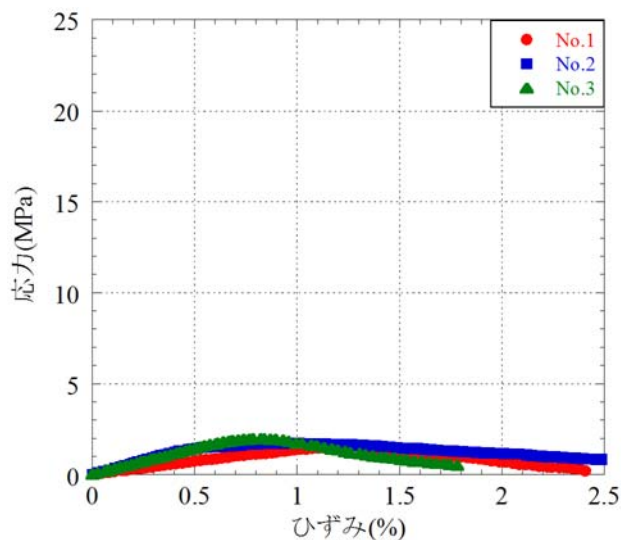


図-154 母材が博多港土砂，スラグ混合率 18%，石灰混合率 2%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

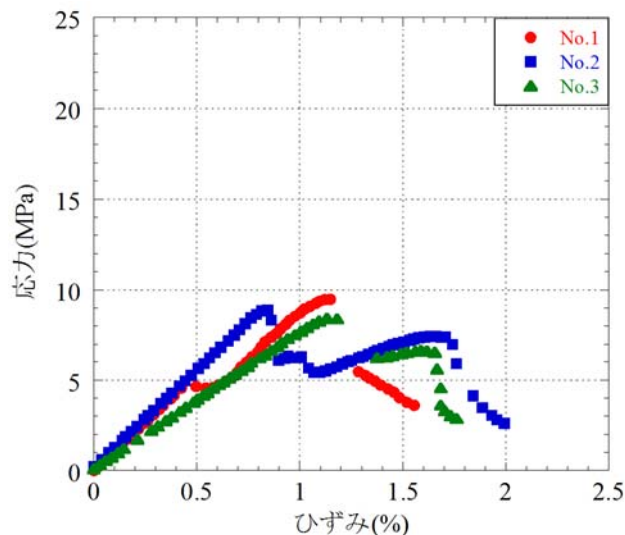


図-155 母材が博多港土砂，スラグ混合率 20%，石灰混合率 20%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂，スラグ混合率 21%，石灰混合率 9%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-156 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

母材が博多港土砂，スラグ混合率 25%，石灰混合率 25%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-157 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

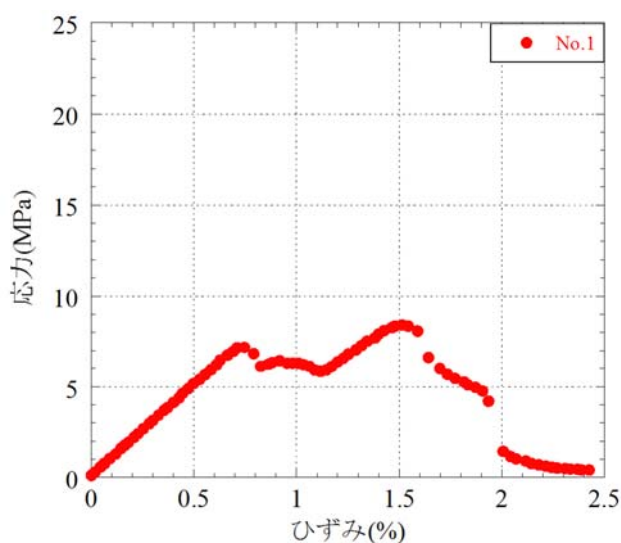


図-156 母材が博多港土砂，スラグ混合率 21%，石灰混合率 9%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

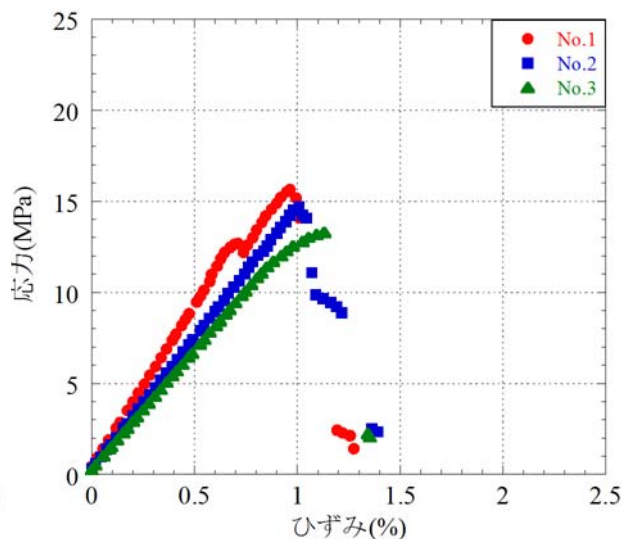


図-157 母材が博多港土砂，スラグ混合率 25%，石灰混合率 25%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂，スラグ混合率 27%，石灰混合率 3%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-158 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

母材が博多港土砂，スラグ混合率 28%，石灰混合率 12%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-159 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

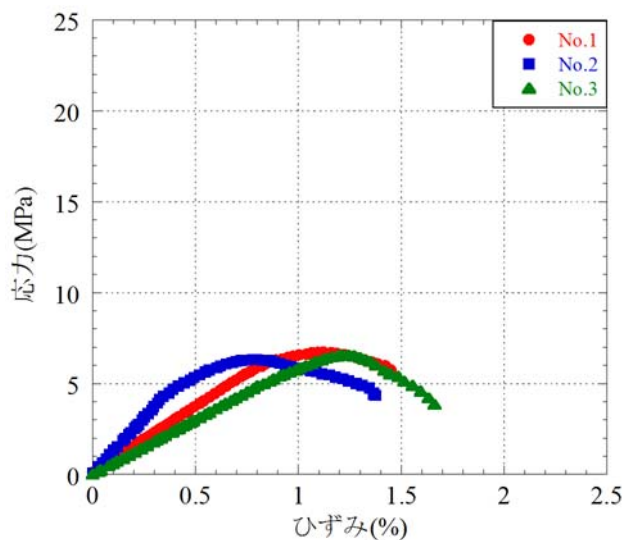


図-158 母材が博多港土砂，スラグ混合率 27%，石灰混合率 3%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

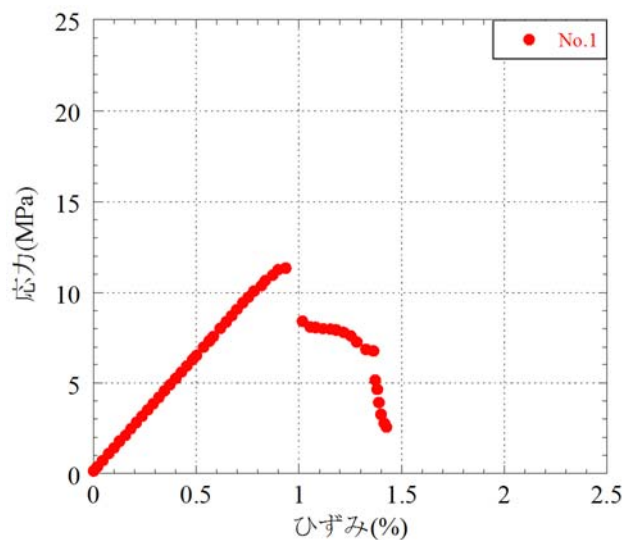


図-159 母材が博多港土砂，スラグ混合率 28%，石灰混合率 12%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂，スラグ混合率 30%および石灰混合率 4%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線を図-160(a)および図-160(b)に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

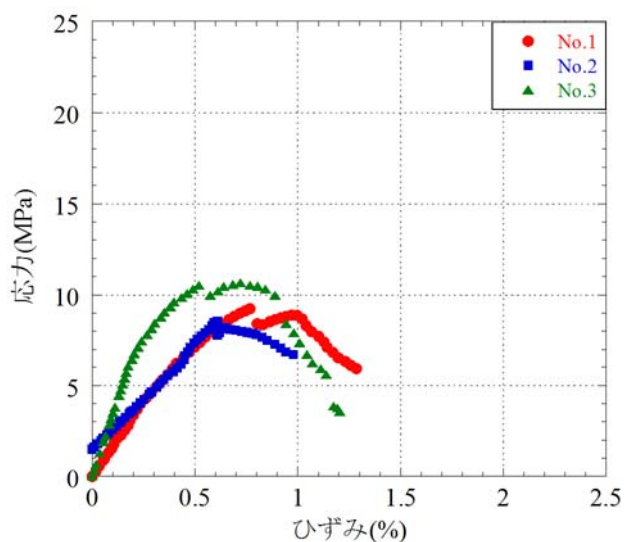


図-160(a) 脱水圧力 5MPa

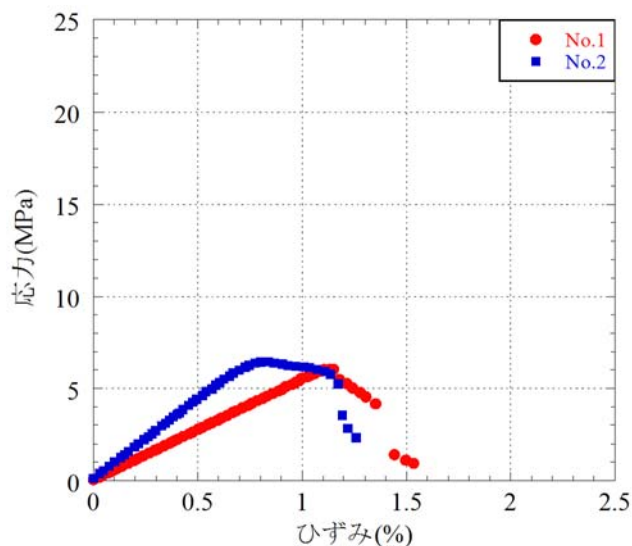


図-160(b) 脱水圧力 10MPa

図-160 母材が博多港土砂，スラグ混合率 30%および石灰混合率 4%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂, スラグ混合率 30%および石灰混合率 10%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線を図-161(a)および図-161(b)に示す. 凡例は供試体ナンバーを示す.

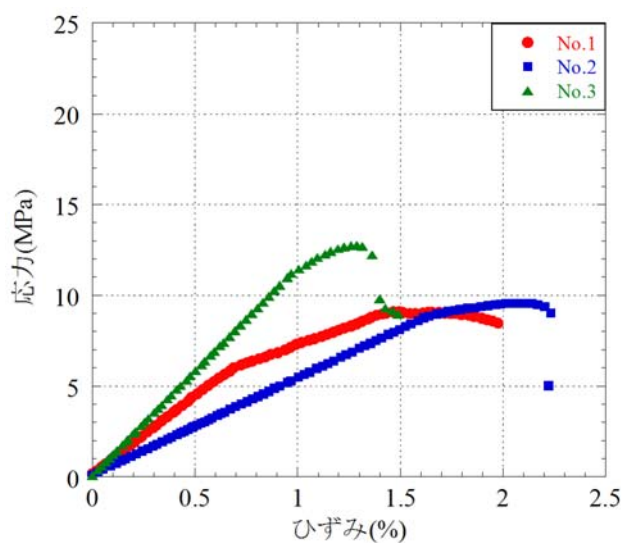


図-161(a) 脱水圧力 5MPa

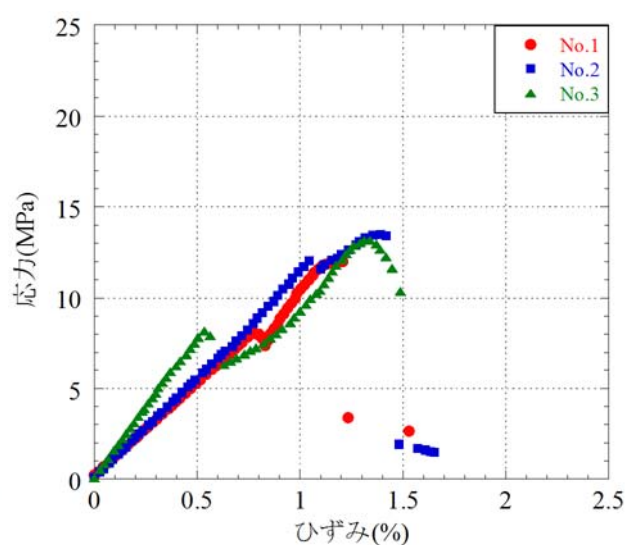


図-161(b) 脱水圧力 10MPa

図-161 母材が博多港土砂, スラグ混合率 30%および石灰混合率 10%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂, スラグ混合率 30%および石灰混合率 15%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線を図-162(a)および図-162(b)に示す. 凡例は供試体ナンバーを示す.

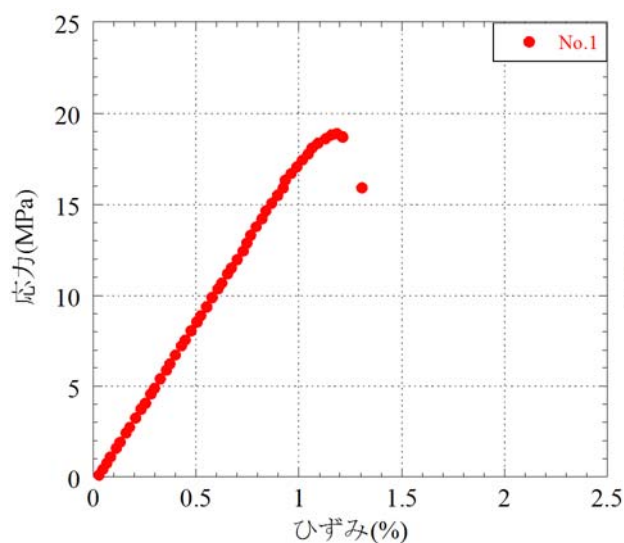


図-162(a) 脱水圧力 5MPa

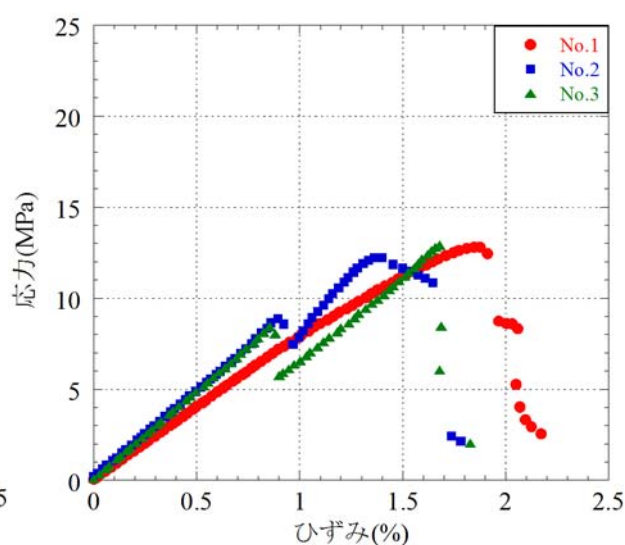


図-162(b) 脱水圧力 10MPa

図-162 母材が博多港土砂, スラグ混合率 30%および石灰混合率 15%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂，スラグ混合率 30%，石灰混合率 30%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-163 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

母材が博多港土砂，スラグ混合率 36%，石灰混合率 4%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-164 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

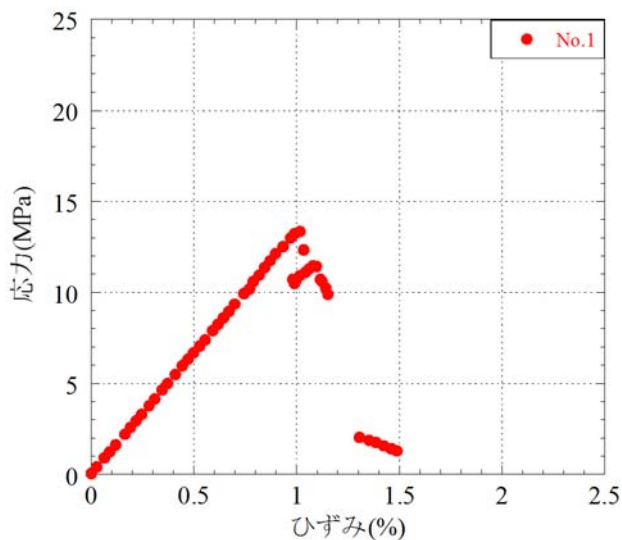


図-163 母材が博多港土砂，スラグ混合率 30%，石灰混合率 30%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

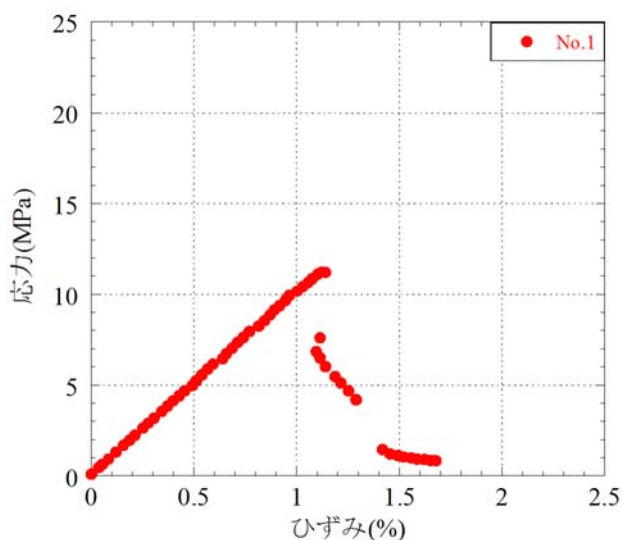


図-164 母材が博多港土砂，スラグ混合率 36%，石灰混合率 4%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂，スラグ混合率 45%および石灰混合率 4%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線を図-165(a)および図-165(b)に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

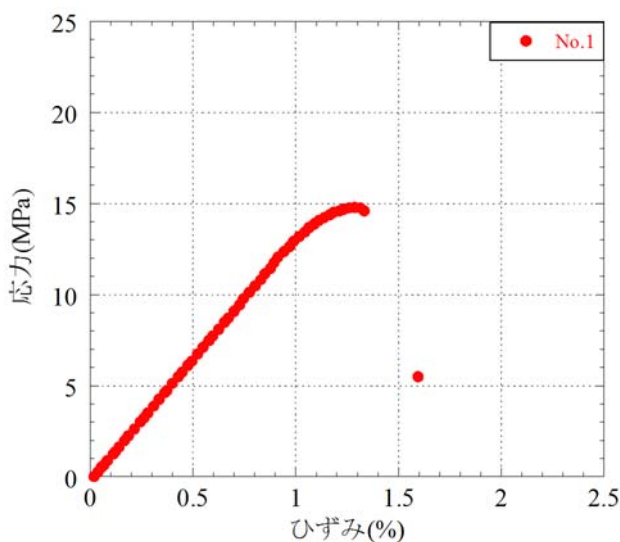


図-165(a) 脱水圧力 5MPa

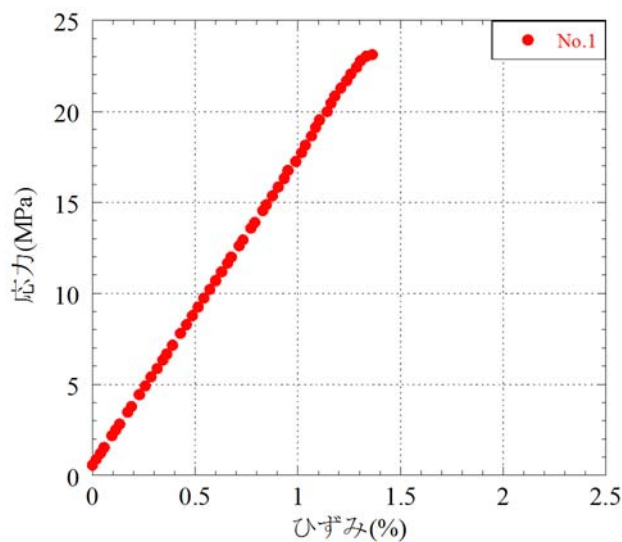


図-165(b) 脱水圧力 10MPa

図-165 母材が博多港土砂，スラグ混合率 45%および石灰混合率 4%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂，スラグ混合率 45%，石灰混合率 5%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-166 に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

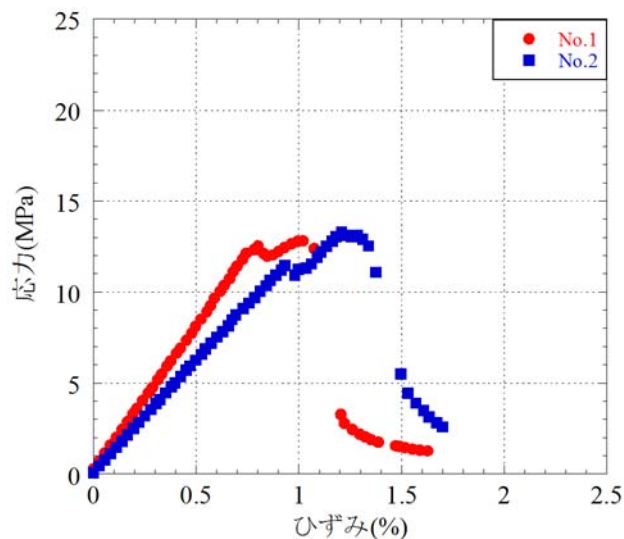


図-166 母材が博多港土砂，スラグ混合率 45%，石灰混合率 5%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂，スラグ混合率 45%および石灰混合率 10%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線を図-167(a)および図-167(b)に示す．凡例は供試体ナンバーを示す．

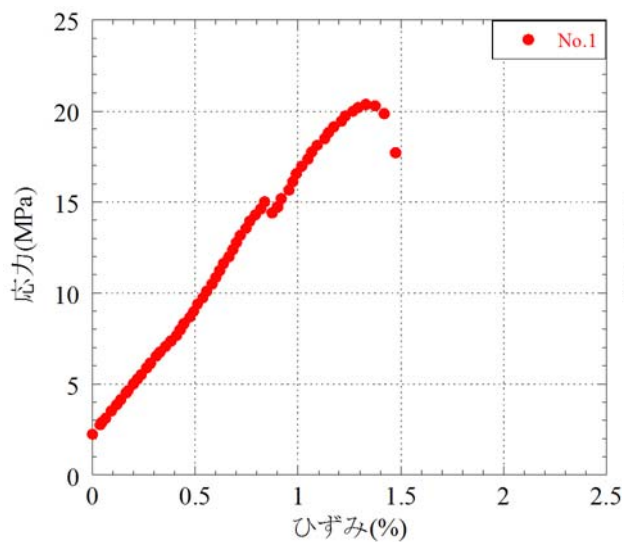


図-167(a) 脱水圧力 5MPa

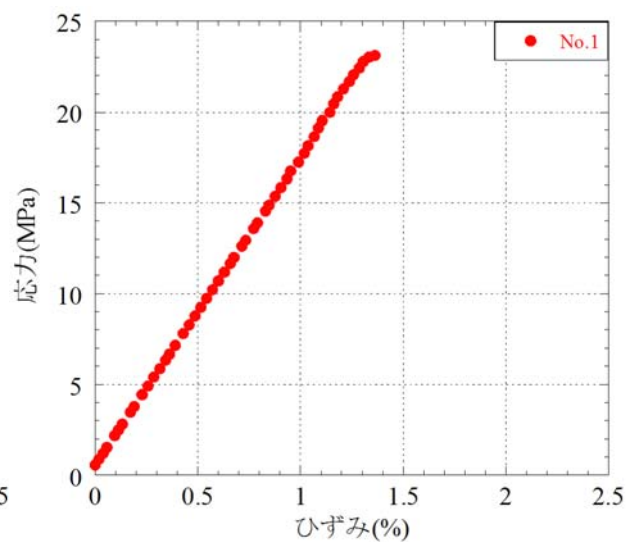


図-167(b) 脱水圧力 10MPa

図-167 母材が博多港土砂，スラグ混合率 45%および石灰混合率 10%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂, スラグ混合率 45%および石灰混合率 15%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線を図-168(a)および図-168(b)に示す. 凡例は供試体ナンバーを示す.

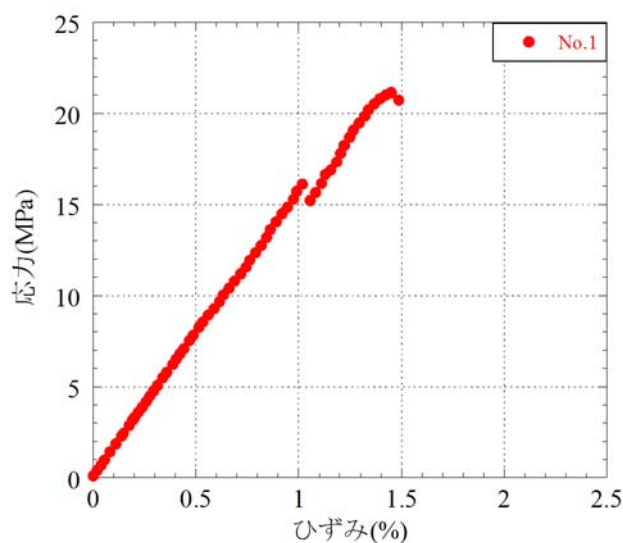


図-168(a) 脱水圧力 5MPa

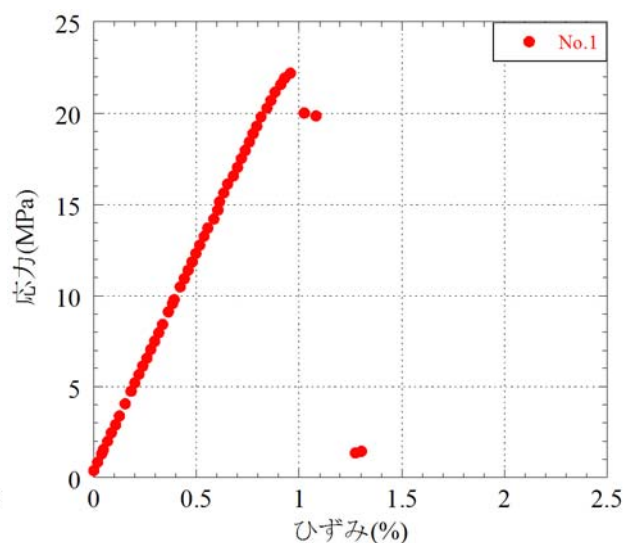


図-168(b) 脱水圧力 10MPa

図-168 母材が博多港土砂, スラグ混合率 45%および石灰混合率 15%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線

母材が博多港土砂, スラグ混合率 54%, 石灰混合率 6%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線を図-169 に示す. 凡例は供試体ナンバーを示す.

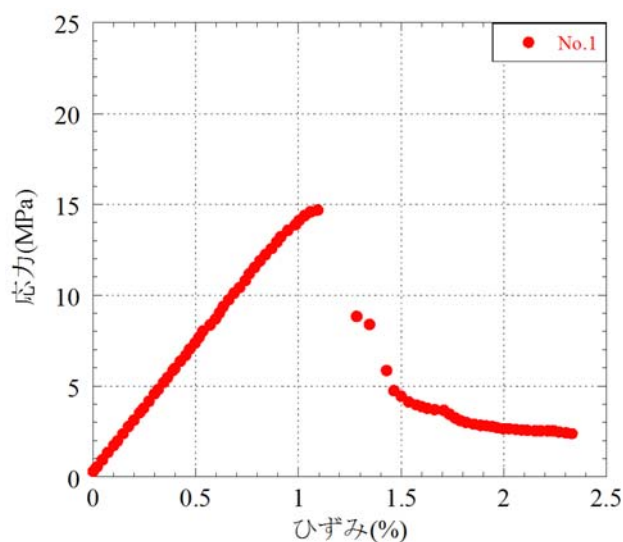


図-169 母材が博多港土砂, スラグ混合率 54%, 石灰混合率 6%および脱水圧力 10MPa のときの応力ひずみ曲線

母材が関門粘土, スラグ混合率 15%および石灰混合率 20%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線を図-170(a)および図-170(b)に示す。凡例は供試体ナンバーを示す。

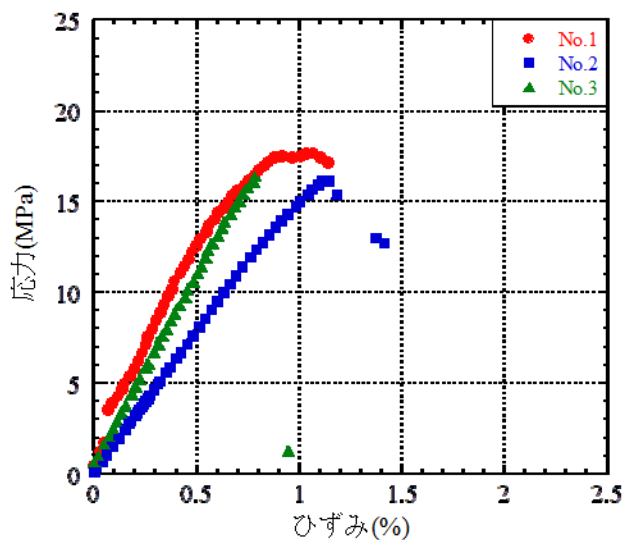


図-170(a) 脱水圧力 5MPa

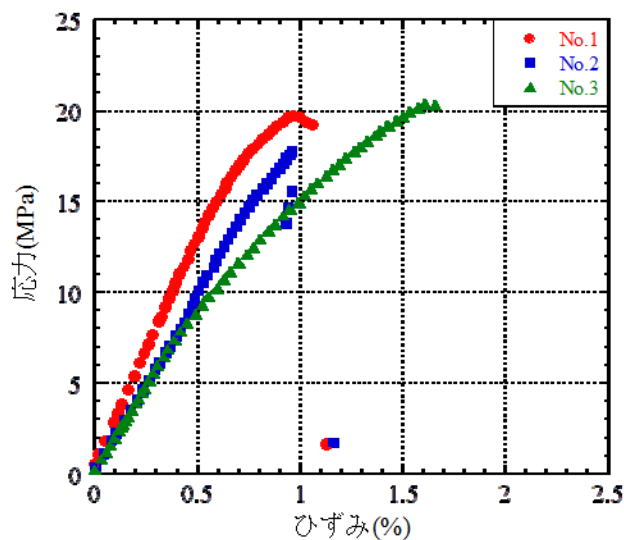


図-170(b) 脱水圧力 10MPa

図-170 母材が関門粘土, スラグ混合率 15%, 石灰混合率 20%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線

母材が関門粘土, スラグ混合率 30%および石灰混合率 10%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線を図-171(a)および図-171(b)に示す。凡例は供試体ナンバーを示す。

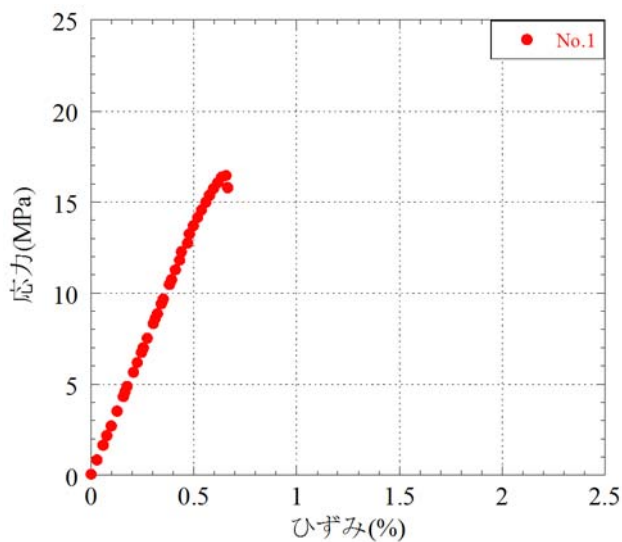


図-171(a) 脱水圧力 5MPa

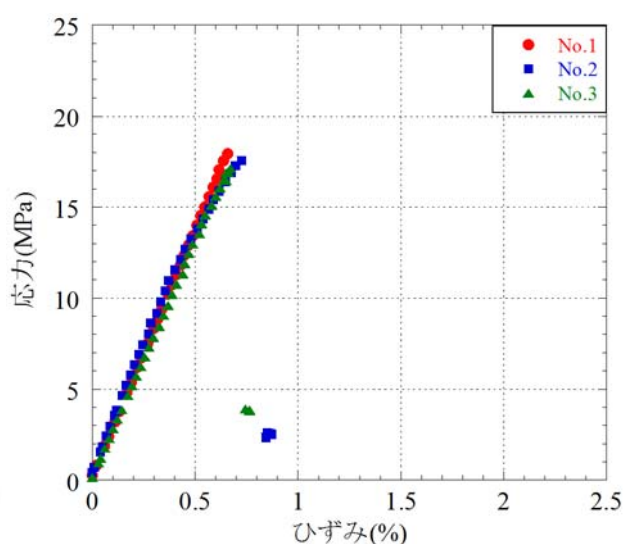


図-171(b) 脱水圧力 10MPa

図-171 母材が関門粘土, スラグ混合率 30%, 石灰混合率 10%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線

母材が関門粘土, スラグ混合率 30%および石灰混合率 20%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線を図-172(a)および図-172(b)に示す. 凡例は供試体ナンバーを示す.

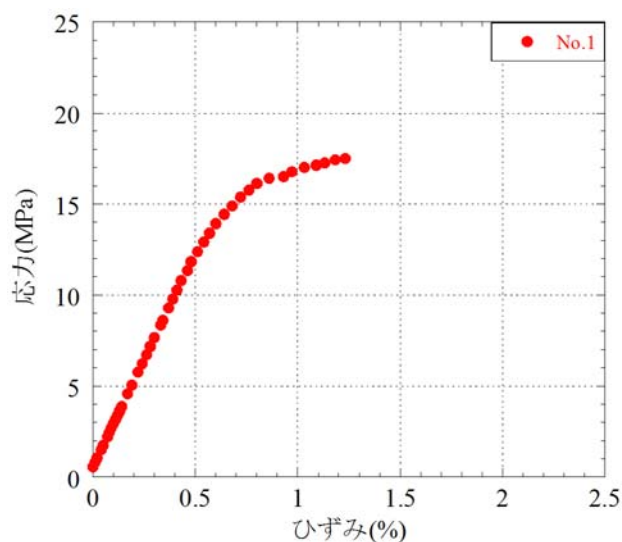


図-172(a) 脱水圧力 5MPa

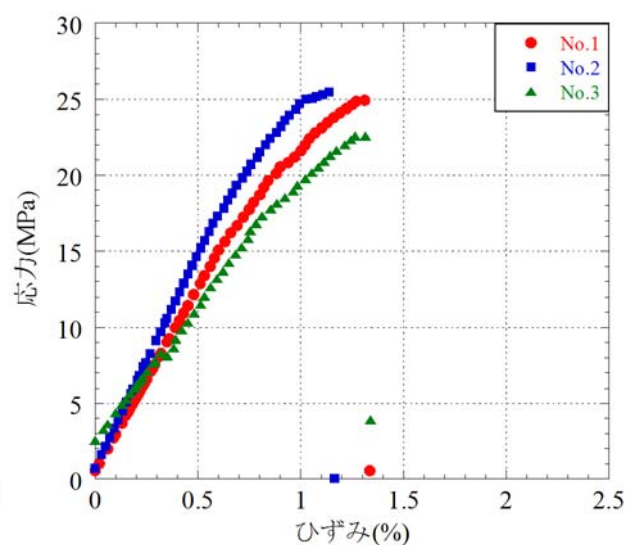


図-172(b) 脱水圧力 10MPa

図-172 母材が関門粘土, スラグ混合率 30%, 石灰混合率 20%のときの脱水圧力別の応力ひずみ曲線

(2) スラグ石灰混合浚渫土の特性

母材が博多港土砂のときの脱水圧力別のスラグ混合率と一軸圧縮強さの関係を図-173に示す.

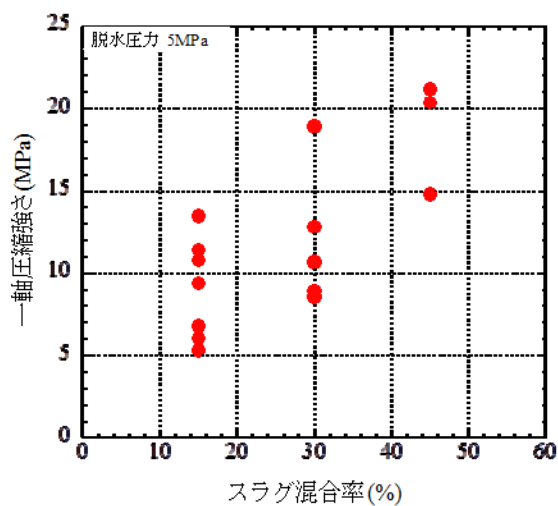


図-173(a) 脱水圧力 5MPa

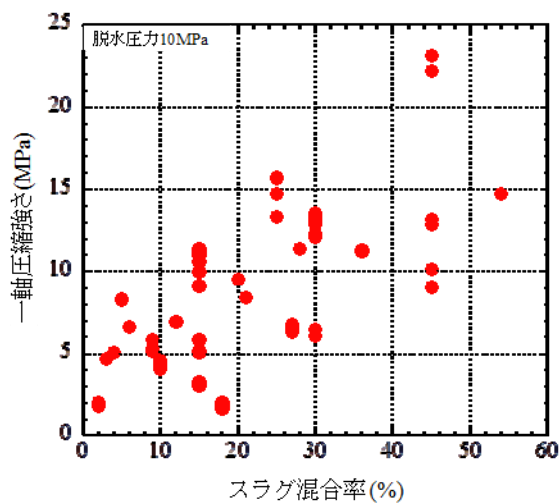


図-173(b) 脱水圧力 10MPa

図-173 母材が博多港土砂のときのスラグ混合率と一軸圧縮強さの脱水圧力別の関係

図-173 より, 脱水圧力にかかわらず, スラグ混合率の増加に伴い, 一軸圧縮強さが増加することが分かった. 一軸圧縮強さが最大となるのは, 脱水圧力 5MPa では, スラグ混合率

45%で21.15MPaとなり、脱水圧力10MPaでは、スラグ混合率45%で23.12MPaとなった。この結果から、脱水圧力を増加することで一軸圧縮強さが増加すると考えられる。また、脱水圧力にかかわらず、一軸圧縮強さがほぼ10MPaを超えるスラグ混合率はおおよそ45%となった。しかし、いずれの脱水圧力でもスラグ混合率が15%でも一軸圧縮強さが10MPaを超える場合があり、また、スラグ混合率が30%であっても一軸圧縮強さが10MPaを超えない場合があった。このことから、スラグ石灰混合浚渫土の強度発現には、スラグ混合率の増加以外にも要因があると考えられる。

母材が博多港土砂のときの脱水圧力別の石灰混合率と一軸圧縮強さの関係を図-174に示す。

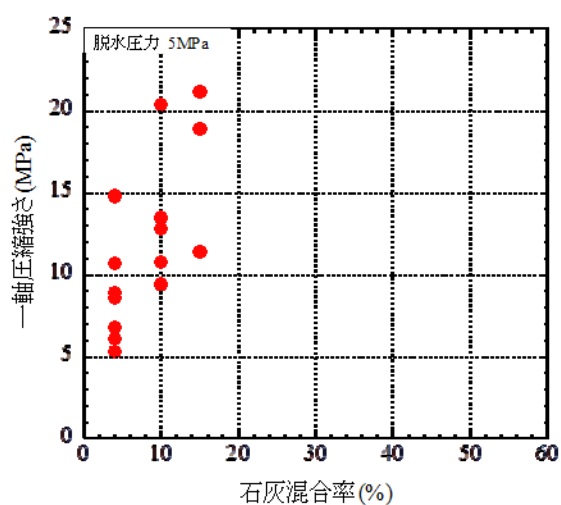


図-174(a) 脱水圧力 5MPa

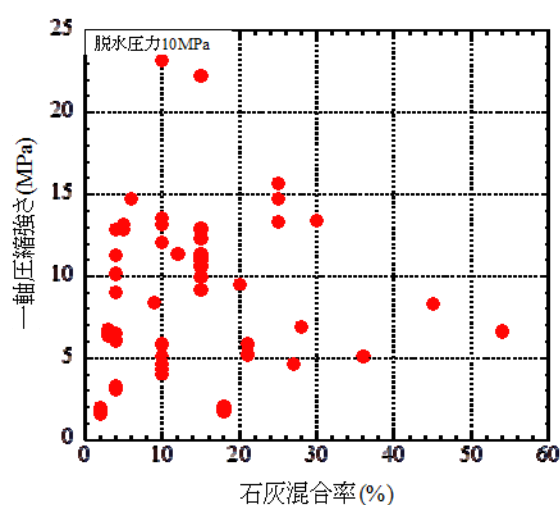


図-174(b) 脱水圧力 10MPa

図-174 母材が博多港土砂のときの石灰混合率と一軸圧縮強さの脱水圧力別の関係

図-174より、脱水圧力5MPaのとき、石灰混合率の増加に伴い、一軸圧縮強さの最大値および最小値が増加しているが、同じ石灰混合率で一軸圧縮強さが大きくばらついていることが分かった。また、脱水圧力10MPaのときは、石灰混合率によらず、一軸圧縮強さが大きくばらついた。これらのことから、石灰混合率の増加は、スラグ石灰混合浚渫土の高強度化に関係がないと考えることができる。しかし、脱水圧力10MPaのとき、石灰混合率を増加することで一軸圧縮強さの最小値が大きくなることが分かった。さらに、石灰混合率20%以上では一軸圧縮強さの最小値がおおよそ5MPaに収束した。石灰の混合は、高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を発揮するためのものである。石灰混合率が増加して、一軸圧縮強さの最小値が大きくなることは、混合した高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を引き出しているからだと考える。これらのことから、スラグ石灰混合浚渫土における石灰の混合率は、高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を引き出すために一定の値以上は必要となるが、石灰混合20%ほどで高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を十分に発揮していると考えられる。

母材が博多港土砂のときの、脱水圧力 10MPa での石灰混合率と一軸圧縮強さの関係をスラグ混合率別に示しグラフを図-175 に示す。図の凡例は、スラグ混合率を示す。

母材が博多港土砂のときの、脱水圧力と一軸圧縮強さの関係を図-176 に示す。図の凡例は、スラグ混合率と石灰混合率を示す。

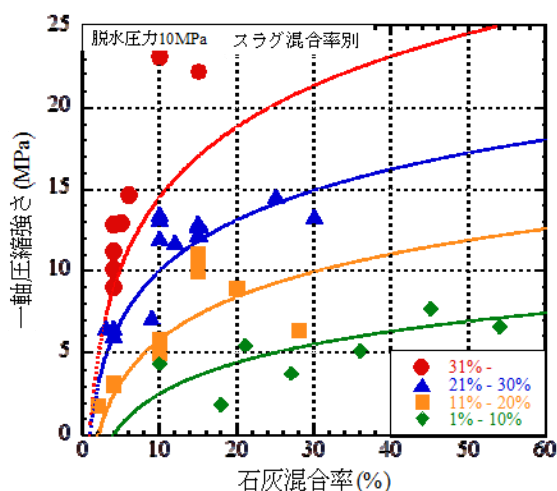


図-175 石灰混合率と一軸圧縮強さの関係

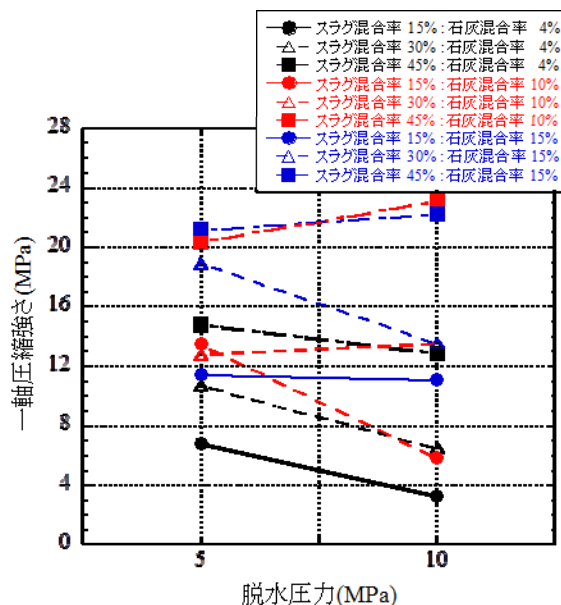


図-176 脱水圧力と一軸圧縮強さの関係

図-175 より、石灰混合率の増加に伴い、一軸圧縮強さに増加が小さく見られた。また、スラグ混合率の違いに着目すると、スラグ混合率の大小で、同じ石灰混合率でも一軸圧縮強さに大きな違いが見られた。また、スラグ混合率の違いで一軸圧縮強さに大きく違いが出たことから、石灰によるスラグに対してのアルカリ刺激が十分であると考えられる。さらに、スラグ混合率 31%以上では小さい石灰混合率でも一軸圧縮強さがおおよそ 10MPa 以上と大きく増加することが分かったことから、石灰は多く混合しなくてもアルカリ刺激を十分に行えると考えられる。これらのことから、スラグ石灰混合浚渫土の強度発現には石灰混合率およびスラグ混合率が関係していると考えられる。

図-176 より、脱水圧力を増加しても一軸圧縮強さの増加には至らなかった。また、脱水圧力 5MPa の場合の方が脱水圧力 10MPa の場合に対して一軸圧縮強さのばらつきが小さいことが分かった。これは脱水圧力の増加により強度発現に必要な量以上の水を脱水したことが原因であると考えられる。よって脱水圧力は 5MPa の方が望ましいと考えられる。すべての配合条件の中で、最も大きい一軸圧縮強さは 23MPa であり、その時の配合条件は、スラグ混合率 45%、石灰混合率 10%および水圧力 10MPa である。

母材が博多港土砂のときの、水スラグ石灰重量比と一軸圧縮強さの関係を図-177 に示す。図の凡例は脱水圧力を示す。水スラグ石灰重量比とは、式(9)より、養生後の供試体に含まれる水の重量と高炉スラグ微粉末の重量および消石灰の重量の和の比である。

$$\text{水スラグ石灰重量比} = \frac{W}{(m_{ss} + m_{sl})} \quad (9)$$

W は養生後の供試体内の水の重量、 m_{ss} は養生後の供試体内のスラグの重量および m_{sl} は養生後の供試体内の石灰の重量を示す。

図-177 より、脱水圧力 5MPa および 10MPa のとき、ばらつきはあるが、水スラグ石灰重量比が減少すると一軸圧縮強さが急激に増加した。さらに、水スラグ石灰重量比がおよそ 0.3 付近で最も一軸圧縮強さが大きくなり、23.12MPa の強度発現に至った。このことから、スラグ石灰混合浚渫土の強度発現には水スラグ石灰重量比が関係すると考えら、母材が博多港土砂の場合、水スラグ石灰重量比を 0.3 にする配合設計を考慮するとスラグ石灰混合浚渫土の高強度化ができると考えられる。

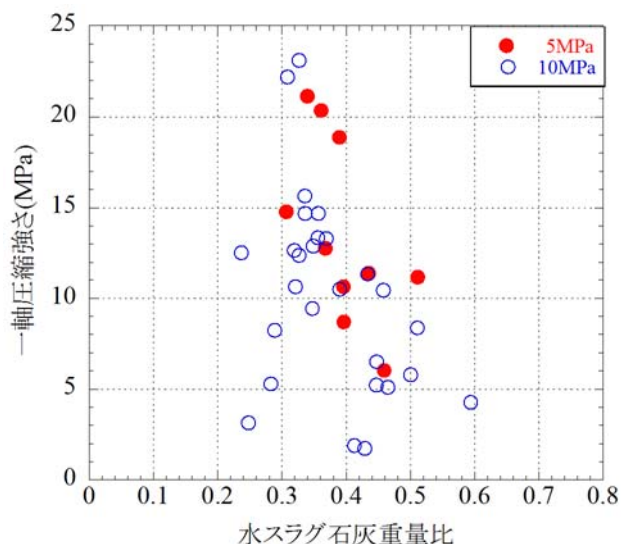


図-177 母材が博多港土砂のときの水スラグ石灰重量比と一軸圧縮強さの関係

母材が博多港土砂のときの、水スラグ重量比と一軸圧縮強さの関係を図-178 に示す。図の凡例は脱水圧力を示す。水スラグ重量比とは、式(10)より、養生後の供試体に含まれる水の重量と高炉スラグ微粉末の重量の比である。

$$\text{水スラグ重量比} = \frac{W}{m_{ss}} \quad (10)$$

図-178 より、ばらつきは大きいですが、脱水圧力にかかわらず、水スラグ重量比が 0.4 付近で一軸圧縮強さの最大値を得ることができた。また、水スラグ重量比が 4 から 0.4 に近づくと一軸圧縮強さが急激に増加することが見られた。このことから、スラグ石灰混合浚渫土の強度発現には水スラグ重量比が関係すると考えら、母材が博多港土砂の場合、水スラグ重量比を 0.4 にする配合設計を考慮するとスラグ石灰混合浚渫土の高強度化ができると考えられる。

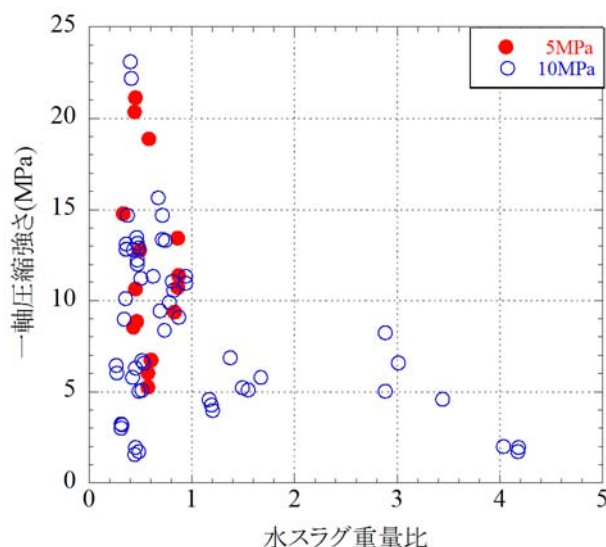


図-178 母材が博多港土砂のときの水スラグ重量比と一軸圧縮強さの関係

母材が博多港土砂のときの、水石灰重量比と一軸圧縮強さの関係を図-179 に示す．図の凡例は脱水圧力を示す．水石灰重量比とは、式 (11) より、養生後の供試体に含まれる水の重量と消石灰の重量の比である．

$$\text{水石灰重量比} = \frac{W}{m_{sl}} \quad (11)$$

図-179 より、ばらつきが大きく、水石灰重量比と一軸圧縮強さに関係は小さいと考えられる．しかし、脱水圧力の違いに着目すると、各脱水圧力で同じ水石灰重量比付近で同じ一軸圧縮強さを得ている．

図-177, 図-178 および図-179 より、母材が博多港土砂のときの、一軸圧縮強さに関係が大きいものは水スラグ石灰重量比と水スラグ重量比であると考えられる．このことから、脱水圧力およびスラグ混合率の設定に着目し、水スラグ石灰重量比と水スラグ重量比を適した値に調整することができれば、スラグ石灰混合浚渫土の高強度化につながると考えられる．

母材が博多港土砂のときの、脱水圧力別の含水比と一軸圧縮強さの関係をスラグ混合率別に示しグラフを図-180 に示す．図の凡例は、脱水圧力を示す．

ここでの含水比とは、養生 28 日後の供試体に含まれる水の重量と母材、スラグおよび石灰の重量の乾燥重量の和の比である．図-180 より、含水比が 5% からおよそ 12% に増加すると急激に一軸圧縮強さが増加した．しかし、含水比が大きくなりすぎると一軸圧縮強さが小さくなるのは明白なので、母材が博多港土砂のときの、一軸圧縮強さを最大にする、最適含水比があると考えられる．また、今回は脱水圧力 10MPa, 含水比 12% で最大の一軸圧縮強さとなり、23.12MPa の強度発現があった．

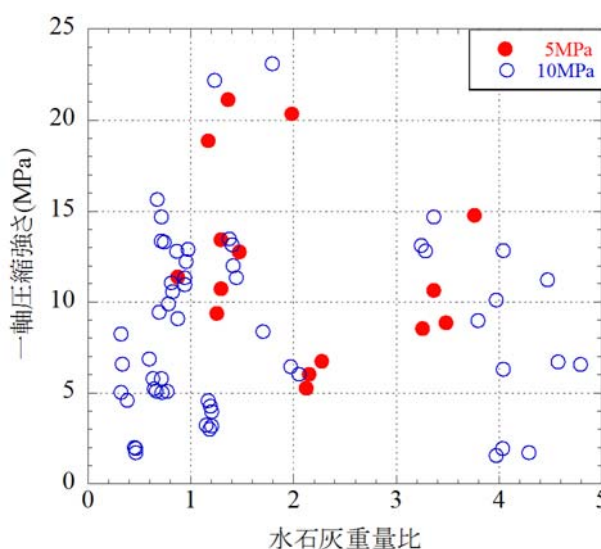


図-179 母材が博多港土砂のときの水石灰重量比と一軸圧縮強さの関係

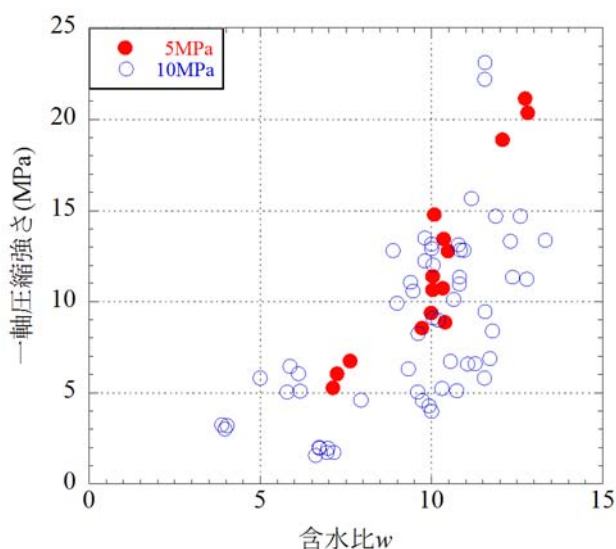


図-180 母材が博多港土砂のときの含水比と一軸圧縮強さの関係

母材が博多港土砂のときの、スラグ混合率と水石灰重量比の関係を図-181 に示す。図の凡例は脱水圧力を示す。

図-181 より、スラグ混合率が小さいところでは、水スラグ石灰重量比に大きくばらつきがあるが、スラグ混合率の増加に伴い、水スラグ石灰重量比のばらつきがちいさくなり、一軸圧縮強さとの関係性が深いと考えられる 0.3 付近に収束することが分かった。このことは、スラグ混合率を増加することで、固化能力が上がり、水分とよく反応することで、水スラグ石灰重量比のばらつきを小さくしたと考えられる。この図より、スラグ石灰混合浚渫土の高強度化にはスラグ混合率が大きくなければならないことが考えられる。

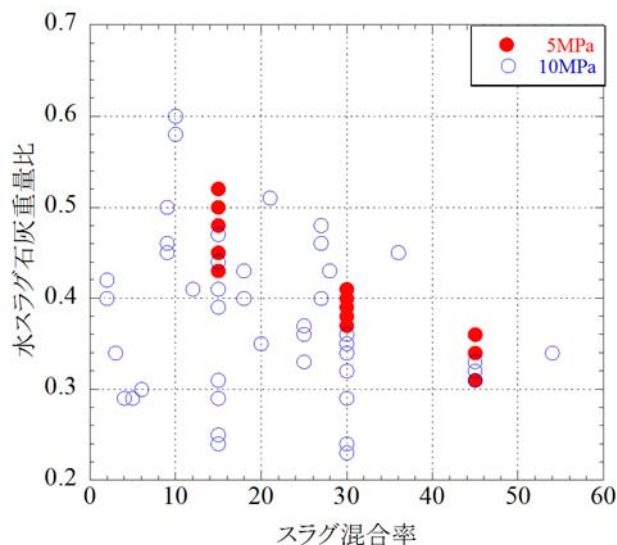


図-181 母材が博多港土砂のときのスラグ混合率と水スラグ石灰重量比の関係

母材が博多港土砂のときの、スラグ混合率と乾燥密度の関係を図-182 に示す。図の凡例は脱水圧力を示す。

図-182 より、脱水圧力にかかわらず、スラグ混合率の増加に伴い、乾燥密度が増加した。また、スラグ混合率 10% 以下とスラグ混合率 10% 以上で、急激に乾燥密度が増加した。さらに、同じスラグ混合率でも、脱水圧力を増加すると乾燥密度が増加することが分かった。スラグ混合率の変化により、乾燥密度の大きさが 1.74 から 1.96 と大きく違いがみられることから、スラグ混合率と乾燥密度には強い関係があると考えられる。

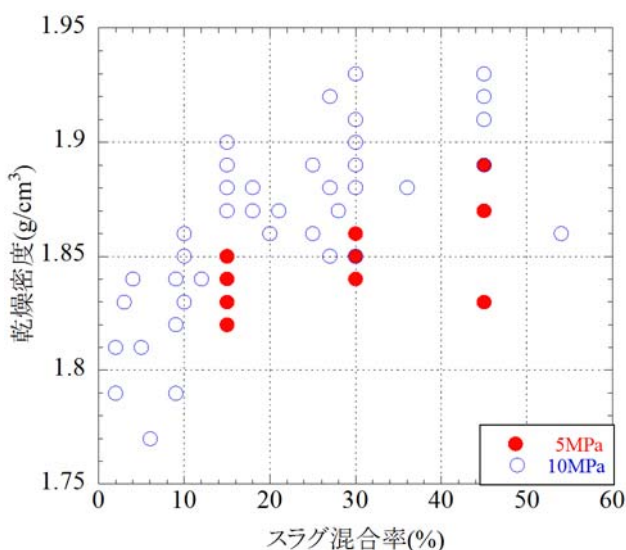


図-182 母材が博多港土砂のときのスラグ混合率と乾燥密度の関係

母材が博多港土砂のときの、スラグ混合率と乾燥密度の関係を図-183 に示す。図の凡例は脱水圧力を示す。

図-184 より、ばらつきが大きく、間隙比と含水比に関係はないと考えられる。また、母材が博多港土砂のスラグ石灰混合浚渫土では、各条件で配合しても間隙比が 0.35 ～0.5 内に収束すると考えられる。さらに、脱水圧力 10MPa のときより、脱水圧力 5MPa のときの方が間隙比が大きくなった。このことから、脱水圧力の増加により、スラグ石灰混合浚渫土がより密になったと考えられる。しかし、図-176 より、脱水圧力を増加させると一軸圧縮強さにばらつきが見られたことから、脱水による必要量の水分を残すことと、密にすることのバランスが重要であると考えられる。

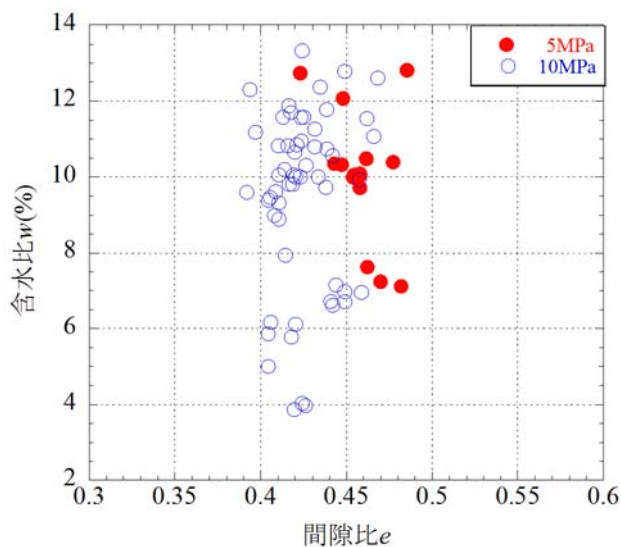


図-183 母材が博多港土砂のときの間隙比と含水比の関係

母材が関門粘土のときの脱水圧力別のスラグ混合率と一軸圧縮強さの関係を図-184 に示す。

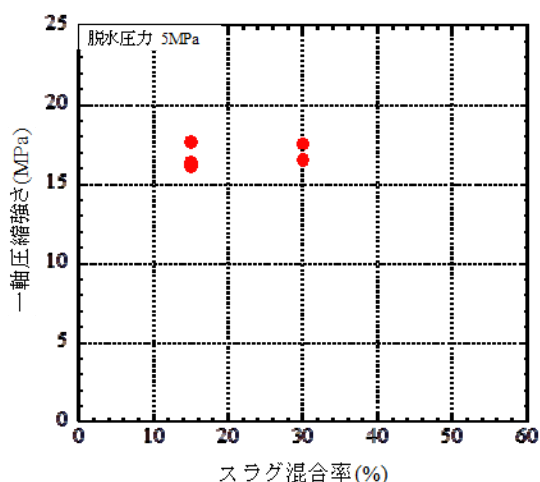


図-184(a) 脱水圧力 5MPa

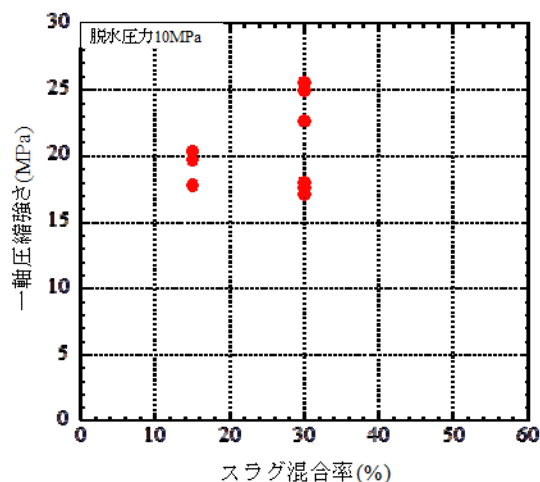


図-184(b) 脱水圧力 10MPa

図-184 母材が関門粘土のときのスラグ混合率と一軸圧縮強さの脱水圧力別の関係

図-184 より、ばらつきはあるが、脱水圧力にかかわらず、スラグ混合率の増加に伴い、一軸圧縮強さが増加することが分かった。一軸圧縮強さが最大となるのは、脱水圧力 5MPa では、スラグ混合率 15%で 17.65MPa となり、脱水圧力 10MPa では、スラグ混合率 45%で 25.48MPa となった。この結果から、脱水圧力を増加することで一軸圧縮強さが増加すると

考えられる。また、脱水圧力にかかわらず、スラグ混合率が 15%以上で、一軸圧縮強さが 15MPa を超えた。しかし、いずれの脱水圧力でもスラグ混合率が 15%のときと、2 倍の 30% のときでほぼ同じ大きさの一軸圧縮強さになる場合があった。このことから、スラグ石灰混合浚渫土の強度発現には、スラグ混合率の増加以外にも要因があると考えられる。

母材が関門粘土のときの脱水圧力別の石灰混合率と一軸圧縮強さの関係を図-185 に示す。

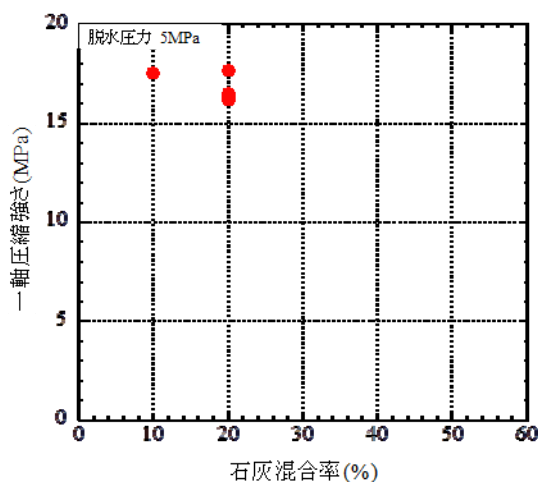


図-185(a) 脱水圧力 5MPa

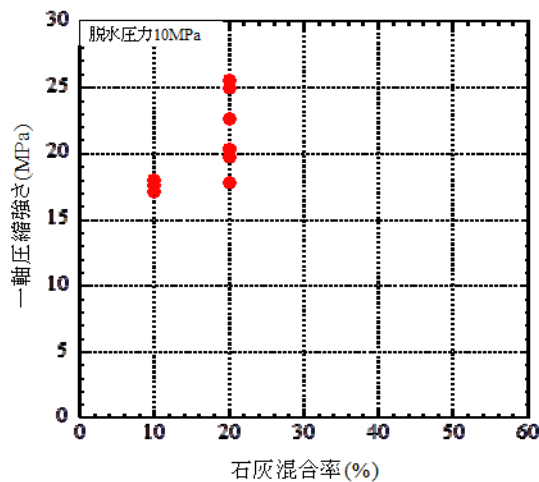


図-185(b) 脱水圧力 10MPa

図-185 母材が関門粘土のときの石灰混合率と一軸圧縮強さの脱水圧力別の関係

図-185 より、脱水圧力 5MPa のとき、石灰混合率の増加に伴い、一軸圧縮強さの最大値が増加しているが、同じ石灰混合率で一軸圧縮強さが大きくばらついていることが分かった。また、脱水圧力 10MPa も同様に、石灰混合率の増加により、一軸圧縮強さが大きくばらついた。これらのことから、石灰混合率の増加は、スラグ石灰混合浚渫土の高強度化に関係がないと考えることができる。しかし、脱水圧力 10MPa のとき、石灰混合率を増加することで一軸圧縮強さの最小値が大きくなることが分かった。さらに、石灰混合率 10%以上では一軸圧縮強さの最小値が 15MPa 以上となった。石灰の混合は、高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を発揮するためのものである。石灰混合率が増加して、一軸圧縮強さの最小値が大きくなることは、混合した高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を引き出しているからだと考えられる。これらのことから、スラグ石灰混合浚渫土における石灰の混合率は、高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を引き出すために一定の値以上は必要となるが、石灰混合 10%ほどで高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を十分に発揮していると考えられる。

母材が関門粘土のときの、水スラグ石灰重量比と一軸圧縮強さの関係を図-186 に示す。図の凡例は脱水圧力を示す。

図-186 より、脱水圧力 5MPa および 10MPa のとき、ばらつきはあるが、水スラグ石灰重量比が減少すると一軸圧縮強さが急激に増加した。また、脱水圧力の違いにかかわらず、水スラグ石灰重量比によって一軸圧縮強さが支配されていると考えられる結果となった。さらに、水スラグ石灰重量比がおよそ 0.6 付近で最も一軸圧縮強さが大きくなり、25.48MPa の強度発現に至った。このことから、スラグ石灰混合浚渫土の強度発現には水スラグ石灰重量比が関係すると考えら、母材が関門粘土の場合、水スラグ石灰重量比を 0.6 付近にする配合設計を考慮するとスラグ石灰混合浚渫土の高強度化ができると考えられる。

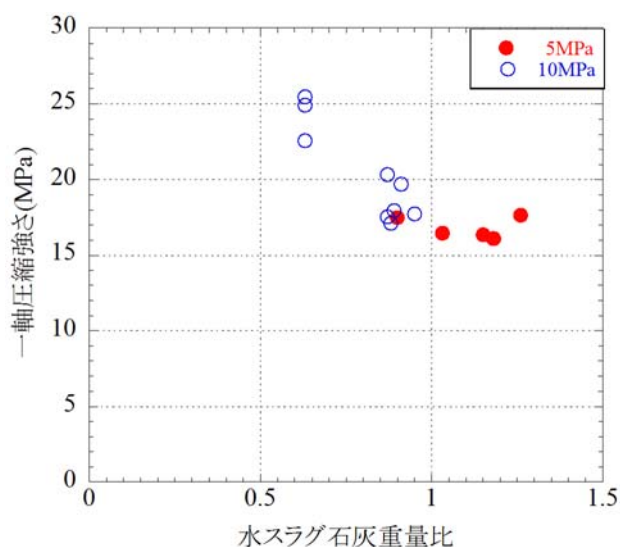


図-186 母材が関門粘土のときの水スラグ石灰重量比と一軸圧縮強さの関係

母材が関門粘土のときの、水スラグ重量比と一軸圧縮強さの関係を図-187 に示す。図の凡例は脱水圧力を示す。

図-187 より、ばらつきは大きいですが、脱水圧力 10MPa では、水スラグ重量比が 1.0 付近で一軸圧縮強さの最大値を得ることができた。また、水スラグ重量比が 3 から 1.0 に近づくにつれて一軸圧縮強さが急激に増加することが見られた。このことから、スラグ石灰混合浚渫土の強度発現には水スラグ重量比が関係すると考えら、母材が関門粘土の場合、水スラグ重量比を 1.0 にする配合設計を考慮するとスラグ石灰混合浚渫土の高強度化ができると考えられる。しかし、図-186 の水スラグ石灰重量比ほどきれいな関係性がみられないことから、石灰についても水分との関係および一軸圧縮強さとの関係性があると考えられる。

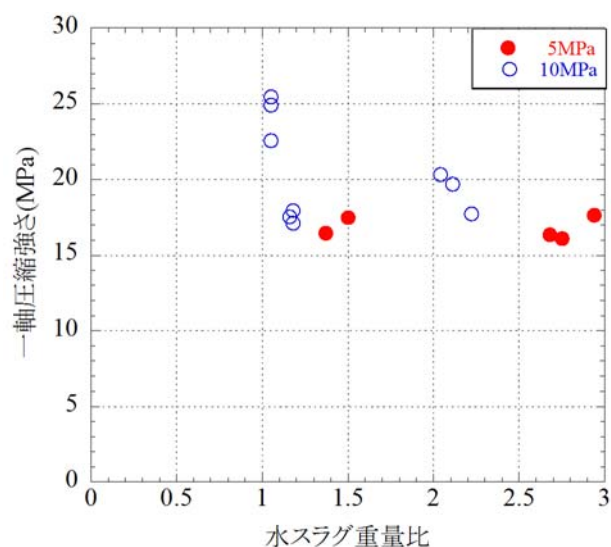


図-187 母材が関門粘土のときの水スラグ重量比と一軸圧縮強さの関係

母材が関門粘土のときの、水石灰重量比と一軸圧縮強さの関係を図-188 に示す。図の凡例は脱水圧力を示す。

図-188 より、ばらつきはあるが、脱水圧力 10MPa では、水石灰重量比の減少に伴い、一軸圧縮強さが増加した。また、水石灰重量比がおよそ 1.5 付近のとき、一軸圧縮強さが最大になった。しかし、脱水圧力 5MPa では水石灰重量比の減少に対し、一軸圧縮強さに変化はなかった。

図-186, 図-187 および図-188 より、母材が関門粘土のときの、一軸圧縮強さに関係が最も大きいものは水スラグ石灰重量比であると考えられる。このことから、脱水圧力およびスラグ混合率の設定に着目し、水スラグ石灰重量比を適した値に調整することができれば、スラグ石灰混合浚渫土の高強度化につながると考えられる。

母材が関門粘土のときの、脱水圧力別の含水比と一軸圧縮強さの関係をスラグ混合率別に示しグラフを図-189 に示す。図の凡例は、脱水圧力を示す。

ここでの含水比とは、養生 28 日後の含水比である。図-189 より、含水比が 35%からおよそ 20%に減少すると急激に一軸圧縮強さが増加した。このことから、含水比 20%は、母材が関門粘土のスラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さの最大をとる、最適含水比であると考えられる。また、脱水圧力の増加に伴い、含水比が減少した。脱水圧力 5MPa では、含水比がおよそ 30%収束することから、一軸圧縮強さを最大にする最適含水比 20%にするには、脱水圧力 10MPa で脱水固化処理を行うべきである。今回は、脱水圧力 10MPa, 含水比 21%で最大の一軸圧縮強さとなり、25.48MPa の強度発現があった。また、このことから、含水比は脱水圧力に影響を受けることが考えられた。さらに母材が博多港土砂のときと比較して含水比の大きさが大きく異なったので、含水比は母材の影響も受けると考えられる。

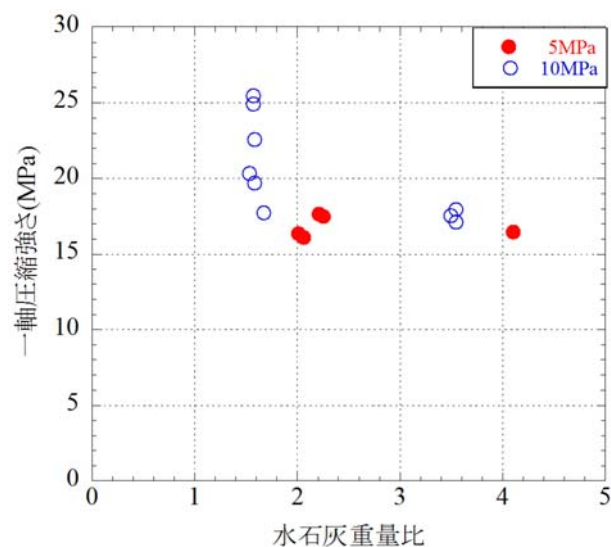


図-188 母材が関門粘土のときの水石灰重量比と一軸圧縮強さの関係

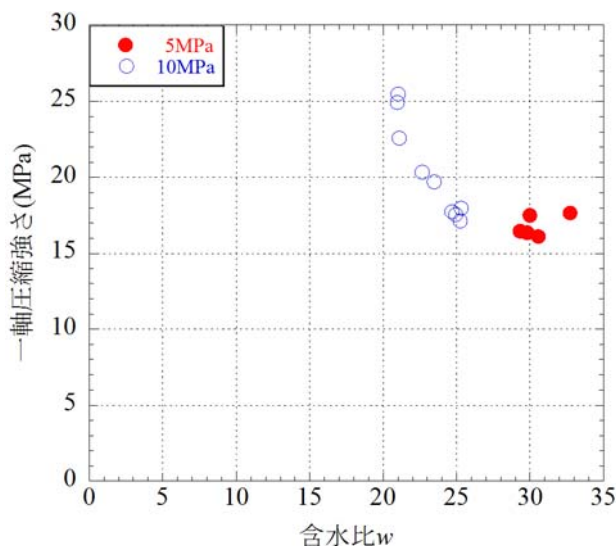


図-189 母材が関門粘土のときの含水比と一軸圧縮強さの関係

母材が関門粘土のときの、スラグ混合率と水石灰重量比の関係を図-190 に示す。図の凡例は脱水圧力を示す。

図-190 より、スラグ混合率の増加に伴い、水スラグ石灰重量比が小さくなった。また、スラグ混合率 30%で、水スラグ石灰重量比が一軸圧縮強さとの関係性が深いと考えられる 0.6 付近に収束することが分かった。このことは、スラグ混合率を増加することで、固化能力が上がり、水分とよく反応することで、水スラグ石灰重量比が小さくなったと考えられる。また、脱水圧力の増加に伴い、水スラグ石灰重量比が減少した。これは、脱水圧力の増加により、脱水量が増加したことが要因であると考えられる。この図より、スラグ石灰混合浚渫土の高強度化にはスラグ混合率および脱水圧力が大きくなければならないことが考えられる。

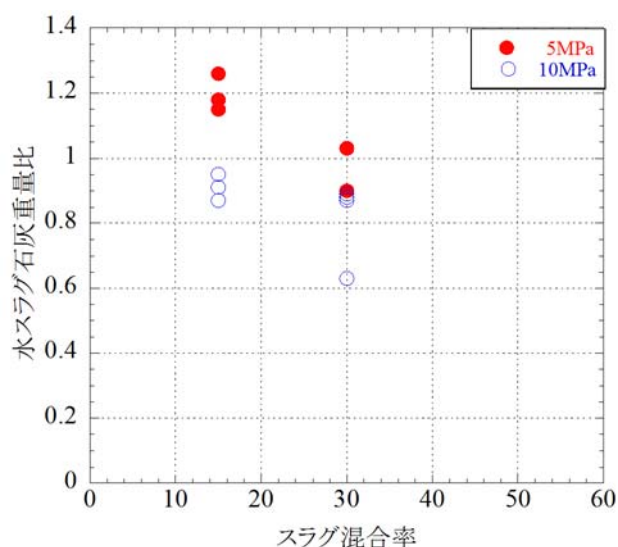


図-190 母材が関門粘土のときのスラグ混合率と水スラグ石灰重量比の関係

母材が関門粘土のときの、スラグ混合率と乾燥密度の関係を図-191 に示す。図の凡例は脱水圧力を示す。

図-191 より、脱水圧力にかかわらず、スラグ混合率の増加に伴い、乾燥密度が増加した。また、ばらつきはあるが、同じスラグ混合率でも、脱水圧力を増加すると乾燥密度が増加することが分かった。スラグ混合率および脱水圧力の変化により、乾燥密度の大きさが 1.35 から 1.56 と大きく違いがみられることから、スラグ混合率および脱水圧力と乾燥密度には強い関係があると考えられる。

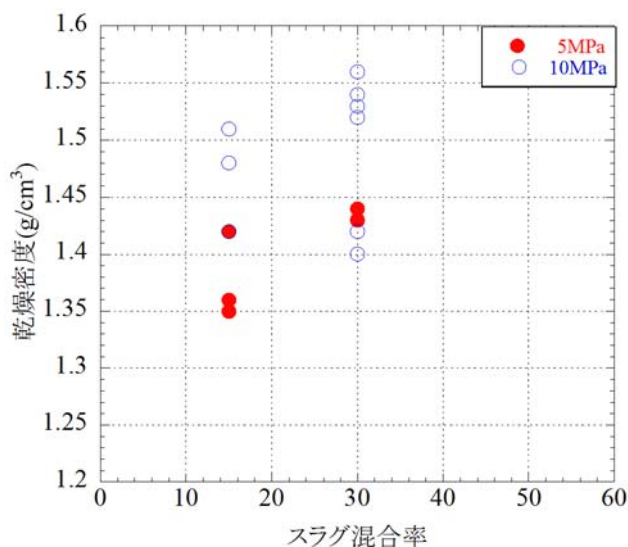


図-191 母材が関門粘土のときのスラグ混合率と乾燥密度の関係

母材が関門粘土のときの，スラグ混合率と乾燥密度の関係を図-192 に示す．図の凡例は脱水圧力を示す．

図-192 より，ばらつきが大きく，間隙比と含水比に関係はないと考えられる．また，母材が関門粘土のスラグ石灰混合浚渫土では，各条件で配合しても間隙比にばらつきがある．さらに，脱水圧力 10MPa のときより，脱水圧力 5MPa のときの方が間隙比が大きくなり，含水比も大きかった．また，脱水圧力 5MPa のときより 10MPa のときの方が間隙比のばらつきが大きくなった．

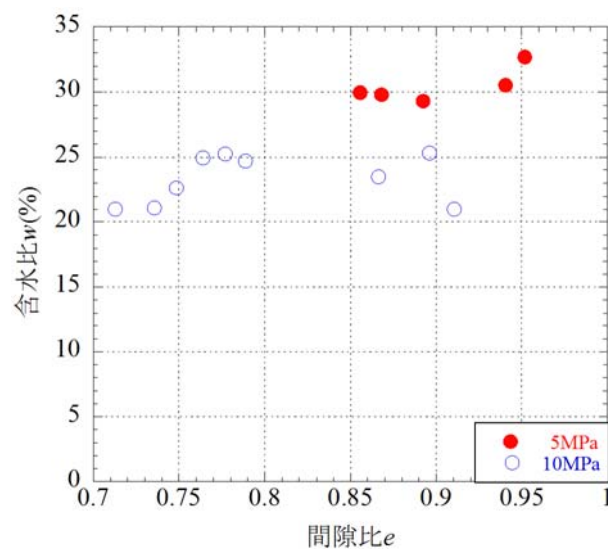


図-192 母材が関門粘土のときの間隙比と含水比の関係

(3) 一軸圧縮試験結果

母材が博多港土砂および関門粘土のときの一軸圧縮試験結果をそれぞれ表-8 および表-9 に示す。

表-8(a) 母材が博多港土砂の一軸圧縮試験結果

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	脱水圧力(MPa)	一軸圧縮強さ q_u	含水比(%)	湿潤密度(g/cm^3)	乾燥密度(g/cm^3)	間隙比 e
1	2	18	10	1.98	6.97	1.93	1.81	0.45
2				1.75	6.95	1.92	1.79	0.46
3				2.02	6.71	1.93	1.81	0.45
4	3	27	10	4.61	7.94	1.98	1.83	0.41
5	4	36	10	5.06	9.59	2.02	1.84	0.39
6	5	45	10	8.27	9.61	1.98	1.81	0.41
7	6	54	10	6.60	11.27	1.97	1.77	0.43
8	9	21	10	5.81	11.54	2.00	1.79	0.46
9				5.12	10.73	2.02	1.82	0.44
10				5.23	10.30	2.03	1.84	0.43
11	10	10	10	4.60	9.73	2.03	1.85	0.44
12				4.01	10.00	2.04	1.86	0.43
13				4.31	9.93	2.01	1.83	0.46
14	12	28	10	6.87	11.70	2.05	1.84	0.42
15	15	4	5	5.28	7.12	1.95	1.82	0.48
16				6.06	7.24	1.97	1.83	0.47
17				6.77	7.62	1.98	1.84	0.46
18			10	3.22	4.03	1.97	1.89	0.42
19				3.25	3.87	1.97	1.90	0.42
20		10	5	3.04	3.97	1.96	1.89	0.43
21				10.76	10.33	2.04	1.85	0.45
22				9.39	9.99	2.02	1.84	0.45
23				13.45	10.35	2.04	1.85	0.44
24				5.05	5.78	1.99	1.88	0.42
25			10	5.82	5.00	2.00	1.90	0.40
26				5.10	6.16	2.02	1.90	0.41
27		15	5	11.40	10.04	2.01	1.82	0.45
28			10	9.93	8.99	2.05	1.88	0.41
29				11.07	9.38	2.07	1.89	0.40
30				10.59	9.46	2.07	1.89	0.41
31	18	2	10	1.98	6.72	2.00	1.88	0.44
32				1.74	7.15	2.01	1.87	0.44
33				1.58	6.62	2.00	1.88	0.44
34	20	20	10	9.46	11.57	2.07	1.86	0.43
35	21	9	10	8.41	11.77	2.09	1.87	0.44
36	25	25	10	15.66	11.17	2.10	1.89	0.40
37				14.69	11.87	2.08	1.86	0.42
38				13.30	12.30	2.12	1.89	0.39
39	27	3	10	6.73	10.55	2.08	1.88	0.44
40				6.32	9.32	2.10	1.92	0.41
41				6.58	11.06	2.06	1.85	0.47
42	28	12	10	11.35	12.37	2.10	1.87	0.43
43	30	4	5	8.88	10.39	2.03	1.84	0.48
44				8.56	9.72	2.04	1.86	0.46
45				10.66	10.04	2.05	1.86	0.46
46			10	6.05	6.12	2.03	1.91	0.42
47				6.47	5.87	2.05	1.93	0.40
48		10	5	12.77	10.48	2.04	1.84	0.46
49			10	12.02	10.05	2.09	1.90	0.42
50				13.50	9.80	2.09	1.90	0.42
51				13.16	10.00	2.08	1.89	0.42

表-8(b) 母材が博多港土砂の一軸圧縮試験結果

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	脱水圧力(MPa)	一軸圧縮強さ q_u	含水比(%)	湿潤密度(g/cm^3)	乾燥密度(g/cm^3)	間隙比 e
52	30	15	5	18.88	12.07	2.07	1.85	0.45
53				12.80	8.89	2.07	1.90	0.41
54			10	12.24	9.81	2.07	1.89	0.42
55				12.92	10.00	2.07	1.88	0.42
56	36	30	10	13.37	13.32	2.09	1.85	0.42
57		4	10	11.23	12.78	2.12	1.88	0.45
58		4	5	14.78	10.08	2.06	1.87	0.46
59			10	10.13	10.65	2.13	1.92	0.42
60				9.00	10.19	2.13	1.93	0.41
61				12.85	10.84	2.13	1.92	0.42
62		5	10	12.81	10.94	2.13	1.92	0.42
63				13.12	10.79	2.11	1.91	0.43
64				20.35	12.81	2.06	1.83	0.49
65		10	5	23.12	11.57	2.14	1.92	0.41
66			15	21.15	12.73	2.14	1.89	0.42
67				22.21	11.56	2.11	1.89	0.42
68	54	6	10	14.70	12.60	2.10	1.86	0.47

表-8(c) 母材が博多港土砂の一軸圧縮試験結果

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	脱水圧力(MPa)	浚渫土含有率(%)	水スラグ石灰重量比	水スラグ重量比	水石灰重量比
1	2	18	10	83.33	0.42	4.18	0.46
2				83.33	0.42	4.17	0.46
3				83.33	0.40	4.03	0.45
4	3	27	10	76.92	0.34	3.44	0.38
5	4	36	10	71.43	0.29	2.88	0.32
6	5	45	10	66.67	0.29	2.88	0.32
7	6	54	10	62.50	0.30	3.01	0.33
8	9	21	10	76.92	0.50	1.67	0.71
9				76.92	0.46	1.55	0.66
10				76.92	0.45	1.49	0.64
11	10	10	10	83.33	0.58	1.17	1.17
12				83.33	0.60	1.20	1.20
13				83.33	0.60	1.19	1.19
14	12	28	10	71.43	0.41	1.37	0.59
15	15	4	5	84.03	0.45	0.57	2.12
16				84.03	0.45	0.57	2.15
17				84.03	0.48	0.60	2.27
18		10	10	84.03	0.25	0.32	1.20
19				84.03	0.24	0.31	1.15
20				84.03	0.25	0.31	1.18
21		10	5	80.00	0.52	0.86	1.29
22				80.00	0.50	0.83	1.25
23				80.00	0.52	0.86	1.29
24		10	10	80.00	0.29	0.48	0.72
25				80.00	0.25	0.42	0.63
26				80.00	0.31	0.51	0.77
27		15	5	76.92	0.43	0.87	0.87
28				76.92	0.39	0.78	0.78
29				76.92	0.41	0.81	0.81
30	18	2	10	76.92	0.41	0.82	0.82
31				83.33	0.40	0.45	4.03
32				83.33	0.43	0.48	4.29
33				83.33	0.40	0.44	3.97
34	20	20	10	71.43	0.35	0.69	0.69
35	21	9	10	76.92	0.51	0.73	1.70
36	25	25	10	66.67	0.33	0.67	0.67
37				66.67	0.36	0.71	0.71
38				66.67	0.37	0.74	0.74
39	27	3	10	76.92	0.46	0.51	4.57
40				76.92	0.40	0.45	4.04
41				76.92	0.48	0.53	4.79
42	28	12	10	71.43	0.43	0.62	1.44
43	30	4	5	74.63	0.41	0.46	3.48
44				74.63	0.38	0.43	3.25
45				74.63	0.40	0.45	3.36
46		10	10	74.63	0.24	0.27	2.05
47				74.63	0.23	0.26	1.97
48		10	5	71.43	0.37	0.49	1.47
49				71.43	0.35	0.47	1.41
50				71.43	0.34	0.46	1.37
51				71.43	0.35	0.47	1.40

浚渫土含有率とは、スラグ石灰混合浚渫土の配合に用いられる浚渫土、スラグおよび石灰の重量のうちの浚渫土の重量の比率である。

表-8(d) 母材が博多港土砂の一軸圧縮試験結果

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	脱水圧力(MPa)	浚渫土含有率(%)	水スラグ石灰重量比	水スラグ重量比	水石灰重量比
52	30	15	5	68.97	0.39	0.58	1.17
53				68.97	0.29	0.43	0.86
54			10	68.97	0.32	0.47	0.95
55				68.97	0.32	0.48	0.97
56	36	30	10	62.50	0.36	0.71	0.71
57		4	10	71.43	0.45	0.50	4.47
58		4	5	67.11	0.31	0.33	3.76
59				67.11	0.32	0.35	3.97
60				67.11	0.31	0.34	3.79
61				67.11	0.33	0.36	4.04
62		5	10	66.67	0.33	0.36	3.28
63				66.67	0.32	0.36	3.24
64		10	5	64.52	0.36	0.44	1.98
65				64.52	0.33	0.40	1.79
66		15	5	62.50	0.34	0.45	1.36
67				62.50	0.31	0.41	1.23
68	54	6	10	62.50	0.34	0.37	3.36

表-8(e) 母材が博多港土砂の一軸圧縮試験結果

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	脱水圧力(MPa)	スラグ石灰水重量比	スラグ水重量比	石灰水重量比	飽和度 S_r (%)	実験前石灰水重量比
1	2	18	10	2.39	0.24	2.15	40.62	0.18
2				2.40	0.24	2.16	39.63	0.18
3				2.48	0.25	2.24	39.08	0.18
4	3	27	10	2.91	0.29	2.62	49.60	0.25
5	4	36	10	3.48	0.35	3.13	62.81	0.31
6	5	45	10	3.47	0.35	3.12	59.90	0.37
7	6	54	10	3.33	0.33	2.99	66.04	0.41
8	9	21	10	2.00	0.60	1.40	65.50	0.20
9				2.15	0.65	1.51	64.09	0.20
10				2.24	0.67	1.57	63.29	0.20
11	10	10	10	1.71	0.86	0.86	59.14	0.10
12				1.67	0.83	0.83	61.40	0.10
13				1.68	0.84	0.84	57.74	0.10
14	12	28	10	2.44	0.73	1.71	73.02	0.24
15	15	4	5	2.24	1.77	0.47	39.84	0.04
16				2.21	1.74	0.46	41.50	0.04
17				2.09	1.65	0.44	44.44	0.04
18			10	3.96	3.12	0.83	25.62	0.04
19				4.12	3.25	0.87	24.88	0.04
20		10	5	4.02	3.18	0.85	25.07	0.04
21				1.94	1.16	0.77	61.69	0.10
22				2.00	1.20	0.80	58.77	0.10
23				1.93	1.16	0.77	62.43	0.10
24				3.46	2.08	1.38	36.96	0.10
25			10	4.00	2.40	1.60	33.04	0.10
26				3.25	1.95	1.30	40.50	0.10
27		15	5	2.30	1.15	1.15	58.58	0.14
28			10	2.57	1.28	1.28	58.42	0.14
29				2.46	1.23	1.23	61.50	0.14
30				2.44	1.22	1.22	61.85	0.14
31				2.48	2.23	0.25	41.25	0.02
32	18	2	10	2.33	2.10	0.23	43.58	0.02
33				2.52	2.27	0.25	40.51	0.02
34				2.88	1.44	1.44	71.98	0.17
35	20	20	10	1.96	1.37	0.59	72.08	0.08
36	21	9	10	2.99	1.49	1.49	74.18	0.20
37	25	25	10	2.81	1.40	1.40	75.18	0.20
38				2.71	1.36	1.36	82.33	0.20
39				2.19	1.97	0.22	64.79	0.03
40	27	3	10	2.47	2.23	0.25	61.65	0.03
41				2.09	1.88	0.21	64.44	0.03
42				2.31	1.62	0.69	76.33	0.10
43	28	12	10	2.44	2.15	0.29	59.12	0.04
44	30	4	5	2.61	2.30	0.31	57.61	0.04
45				2.53	2.23	0.30	59.53	0.04
46				4.15	3.66	0.49	39.50	0.04
47			10	4.32	3.81	0.51	39.43	0.04
48				2.73	2.04	0.68	61.16	0.09
49		10	10	2.84	2.13	0.71	64.57	0.09
50				2.92	2.19	0.73	63.33	0.09
51				2.86	2.14	0.71	63.66	0.09

スラグ石灰水重量比，スラグ水重量比および石灰水重量比は，水スラグ石灰重量比，水スラグ重量比および水石灰重量比の逆数である．また，実験前石灰水重量比は混合時の石灰の重量と配合に含まれる水の重量の比で表す．

表-8(f) 母材が博多港土砂の一軸圧縮試験結果

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	脱水圧力(MPa)	スラグ石灰水重量比	スラグ水重量比	石灰水重量比	飽和度 S_r (%)	実験前石灰水重量比
52	30	15	5	2.57	1.71	0.86	72.08	0.13
53			10	3.49	2.33	1.16	57.96	0.13
54				3.16	2.11	1.05	62.69	0.13
55				3.10	2.07	1.03	63.66	0.13
56		30	10	2.82	1.41	1.41	82.60	0.23
57	36	4	10	2.24	2.01	0.22	77.42	0.03
58	45	4	5	3.26	3.00	0.27	60.15	0.03
59			10	3.09	2.84	0.25	69.27	0.03
60				3.23	2.96	0.26	67.24	0.03
61				3.03	2.79	0.25	70.35	0.03
62				3.05	2.74	0.30	70.42	0.04
63		5	10	3.09	2.78	0.31	68.18	0.04
64				2.77	2.27	0.50	71.54	0.08
65			10	3.07	2.51	0.56	75.98	0.08
66			5	2.95	2.21	0.74	81.12	0.11
67			10	3.24	2.43	0.81	73.60	0.11
68	54	6	10	2.98	2.68	0.30	73.50	0.05

表-9(a) 母材が関門粘土の一軸圧縮試験結果

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	脱水圧力(MPa)	一軸圧縮強さ q_u	含水比(%)	湿潤密度(g/cm^3)	乾燥密度(g/cm^3)	間隙比 e
1	15.00	20.00	5.00	17.65	32.70	1.80	1.35	0.95
2				16.12	30.54	1.78	1.36	0.94
3				16.36	29.79	1.84	1.42	0.87
4			10.00	19.70	23.47	1.75	1.42	0.87
5				17.74	24.68	1.84	1.48	0.79
6				20.35	22.64	1.85	1.51	0.75
7	30.00	10.00	5.00	16.46	29.30	1.85	1.43	0.89
8			10.00	17.95	25.32	1.78	1.42	0.90
9				17.55	24.92	1.91	1.53	0.76
10				17.14	25.26	1.90	1.52	0.78
11		20.00	5.00	17.50	29.96	1.87	1.44	0.86
12			10.00	24.93	20.97	1.69	1.40	0.91
13				25.48	21.00	1.88	1.56	0.71
14				22.58	21.09	1.86	1.54	0.74

表-9(b) 母材が関門粘土の一軸圧縮試験結果

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	脱水圧力(MPa)	浸漬土含有率(%)	水スラグ石灰重量比	水スラグ重量比	水石灰重量比
1	15.00	20.00	5.00	74.07	1.26	2.94	2.21
2				74.07	1.18	2.75	2.06
3				74.07	1.15	2.68	2.01
4			10.00	74.07	0.91	2.11	1.58
5				74.07	0.95	2.22	1.67
6				74.07	0.87	2.04	1.53
7	30.00	10.00	5.00	71.43	1.03	1.37	4.10
8			10.00	71.43	0.89	1.18	3.54
9				71.43	0.87	1.16	3.49
10				71.43	0.88	1.18	3.54
11		20.00	5.00	66.67	0.90	1.50	2.25
12			10.00	66.67	0.63	1.05	1.57
13				66.67	0.63	1.05	1.57
14				66.67	0.63	1.05	1.58

表-9(c) 母材が関門粘土の一軸圧縮試験結果

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	脱水圧力(MPa)	スラグ石灰水重量比	スラグ水重量比	石灰水重量比	飽和度 S_r (%)	実験前石灰水重量比
1	15.00	20.00	5.00	0.79	0.34	0.45	90.82	0.13
2				0.85	0.36	0.49	85.86	0.13
3				0.87	0.37	0.50	90.71	0.13
4			10.00	1.10	0.47	0.63	71.60	0.13
5				1.05	0.45	0.60	82.75	0.13
6				1.15	0.49	0.65	79.97	0.13
7	30.00	10.00	5.00	0.98	0.73	0.24	88.68	0.06
8			10.00	1.13	0.85	0.28	76.30	0.06
9				1.15	0.86	0.29	88.11	0.06
10				1.13	0.85	0.28	87.82	0.06
11		20.00	5.00	1.11	0.67	0.45	93.38	0.13
12			10.00	1.59	0.95	0.64	61.45	0.13
13				1.59	0.95	0.64	78.57	0.13
14				1.58	0.95	0.63	76.46	0.13

4. 大型脱水固化装置によるスラグ石灰混合浚渫土の力学特性

4. 1 実験装置

図-193 に本研究で用いた大型脱水固化装置（マルタニ試工株式会社製）の概略図を示す。試料充填部の内径は 53.4cm，高さは 100cm の円柱型であり，試料充填部の両端にはポーラスストーンが取付けてあり，両端からの排水が可能である。写真-15 に示す電動ポンプ（理研精機株式会社製）を用いて定圧载荷により浚渫土ブロックを作製した。表-10 に電動ポンプの諸元を示す。

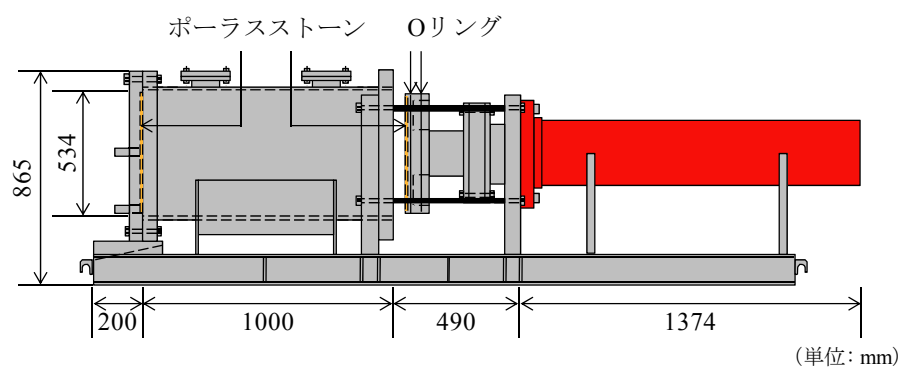


図-193 大型脱水固化装置概略図

表-10 電動ポンプ諸元

概略寸法(mm)	幅527×奥行545×高726	
概略質量(kg)	190	
最高使用圧力(MPa)	高压側	70
	低压側	6
排出量(l/min)	高压側	6
	低压側	24
油タンク容量(l)	50	
有効油量(l)	30	



写真-15 電動ポンプ



写真-16 ミキサー

写真-16 に試料攪拌のさいに用いたミキサー（株式会社マゼラー製）を示し、写真-17 および表-11 に攪拌試料充填のさいに用いた圧送ポンプ（日本建設機械商事株式会社製）の画像および諸元をそれぞれ示す。浚渫土ブロック作製後にコア抜きを行ったコアドリルおよびコア抜きした供試体を所定の高さに切るために用いたカッターを写真-18 および写真-19 にそれぞれ示す。一軸圧縮強さの測定時に用いた定ひずみ圧密装置（普及型電動圧縮試験機，マルタニ誠工株式会社製）を写真-20 に示し、定ひずみ圧密装置の諸元を表-12 に示す。

表-11 圧送ポンプ諸元

機体寸法(mm)	幅710×奥行440×高425
総重量(kg)	65
吐出量(l/min)	4~16
吐出圧(MPa)	1.5
吸入・吐出口径(mm)	40



写真-17 圧送ポンプ

表-12 定ひずみ圧密装置諸元

載荷能力(ton)	5.0
ストローク(mm)	200
支柱間隔(mm)	400
上下間隔(mm)	600
載荷スピード(mm/min)	0.01~5.0



写真-18 コアドリル



写真-19 コンクリートカッター



写真-20 定ひずみ圧密装置

4. 2 実験方法

本節では実験方法について説明する。

(1) 試料の作製手順

試料の作成手順は、3. 2 (1)と同様である。

(2) 実験手順

○ 大型脱水固化装置の準備

大型脱水固化装置の試料充填準備は、以下に示す手順で行った。また、本文において、試料充填部のピストン側を上端とし、反対側を下端とした。

- ①上下端部のポーラスストーンの目詰まりを防ぐため、ポーラスストーンにろ紙を貼った。
- ②上下端部および挿入口のOリング、モールド内周面にグリスを塗った。
- ③上下端部の蓋を閉じた。
- ④排水チューブおよび変位計を取付け、脱水圧力をセットした。

○ 試料準備および充填

試料準備および充填は、以下に示す手順で行った。

- ①実験前日に測定した母材の含水比から実験に使用する材料の分量計算を行った。
- ②所定分量の水を準備し、ミキサーに投入した。
- ③所定分量の母材および高炉スラグ微粉末および消石灰をミキサーで攪拌しながら投入した。
- ④固化材投入後、十分に攪拌混合を行った。
- ⑤攪拌混合した試料をスクイズポンプでモールドに充填した。充填のさい、バイブレータを数回用いて振動を与え、試料内の空気を抜いた。
- ⑥試料をモールドに充填した後、挿入口を閉じた。

○ 脱水

試料の加圧脱水は、以下に示す手順で行った。また、3t法により求められた圧密終了時間で脱水を終了し、浚渫土ブロックの作製を行った。

- ①脱水圧力を確認した後、2MPaで30分間脱水した。載荷中は、経過時間および沈下量を計測した。
- ②5MPaで脱水終了時間まで脱水し、経過時間および沈下量を計測した。

○ 浚渫土ブロック取出しおよびコアリング

作製した浚渫土ブロックの取出しは、以下に示す手順で行った。

- ①上下端および挿入口を開けた。
- ②上端から押出し用木板を入れ、下端に浚渫土ブロック受けを設置した。
- ③ピストンを下げ、浚渫土ブロックを押出した。

- ④浚渫土ブロックを立て，下端からコアリングを行った．

○ 含水比試験

含水比試験(JIS A 1203)は，以下に示す手順で行った．なお，含水比試験には，含水比試験用供試体($\phi 5\text{cm} \times H$ 約 50cm)を各実験ケースに 1 本ずつ用いた．

- ①コアリングした含水比試験用供試体を高さ方向に 5cm ずつにカットした．
- ②カットした供試体($\phi 5\text{cm} \times H5\text{cm}$)の湿潤質量を測定した．
- ③湿潤質量を測定した供試体を炉乾燥機で 24 時間乾燥させた．
- ④乾燥させた供試体をデシケータにいれ，室温になるまで冷ました．
- ⑤乾燥質量を測定し，含水比を算定した．

○ 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験(JIS A 1216)は，以下に示す手順で行った．なお，一軸圧縮試験には，一軸圧縮試験用供試体($\phi 5\text{cm} \times H10\text{cm}$)を各実験ケースに 24 本ずつ用いた．

- ①コアリングした一軸圧縮試験用供試体を所定の日数恒温湿潤条件下で養生した．
- ②養生した供試体の直径を 3 箇所，高さを 2 箇所測定した．
- ③一軸圧縮試験機に供試体をセットし，ロードセルおよび変位計の初期設定を行った．
- ④載荷速度を 1.0mm/min に設定し，一軸圧縮載荷を開始した．
- ⑤圧縮中は，圧缩量および圧縮力を測定した．
- ⑥圧縮力が最大値の 2/3 程度に減少したのを確認し，圧縮試験を終了した．
- ⑦破壊した供試体の湿潤質量を測定した後，供試体を乾燥させた．
- ⑧供試体の乾燥質量を測定し，含水比を算出した．

4. 3 実験条件

表-13 に室内実験の実験条件を示す．母材には関門粘土を用い，結合材には高炉スラグ微粉末を，高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を引き出すためのアルカリ刺激材に消石灰を使用した．スラグ混合率は 30%，石灰混合率は 10%とした．初期含水比は，それぞれ液性限界 w_L の 1.5 倍に調整した．荷重の載荷は，定圧載荷で行い，2MPa で 30 分間の脱水を行った後，5MPa で脱水終了まで脱水した．排水は，両面排水とした．一軸圧縮試験用供試体の養生は，恒温湿潤条件で行い，1，7，14 および 28 日間行った．

表-13 実験条件

母材	関門粘土
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	$1.2w_L$
スラグ混合率	30%
石灰混合率	10%
脱水圧力	2MPa : 30min → 5MPa : 脱水終了まで
脱水条件	上下端両面排水
養生日数	7 14 28日間
養生条件	温度20℃ 湿度 $\geq 90\%$

4. 4 大型脱水固化装置によるスラグ石灰混合浚渫土の脱水特性

スラグ混合率 30%および石灰混合率 10%で配合したスラグ石灰混合浚渫土の脱水特性について示す。

図-194 に圧密沈下曲線を示す。

図-194 より，最終沈下量は，305.8mm となった．また，3t 法により求めた脱水終了時間は 2800 分となった．過去の異なる母材および固化材の浚渫土ブロックとの脱水終了時間の比較を図-195 に示す．凡例は用いた母材を示す。

カオリン粘土および博多港土砂の固化材は高炉セメント B 種である．関門粘土の固化材添加率は，スラグ石灰混合率のこととして扱った．母材がカオリン粘土および博多港土砂では，脱水終了時間が最大で 385 分および 880 分であった．一方，関門粘土は，博多港土砂のおよそ 3 倍の脱水終了時間となった．これは固化材の違いにより，凝集効果が異なり，透水性の変化に違いがあることおよび，粒度の違いによる透水性の違いが影

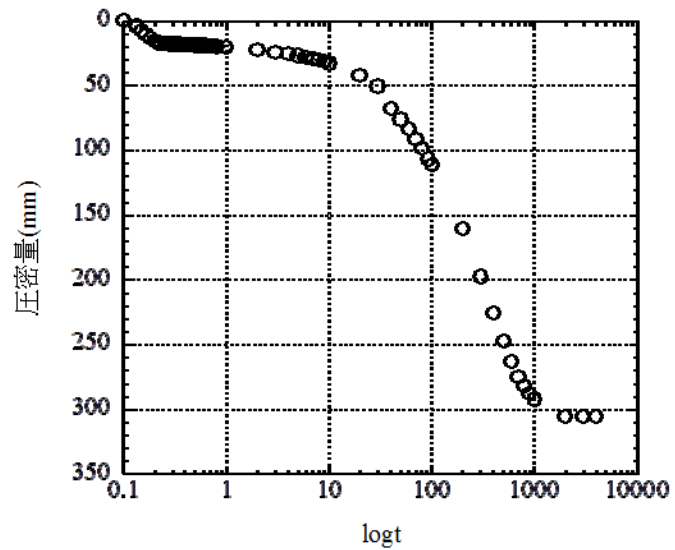


図-194 圧密沈下曲線

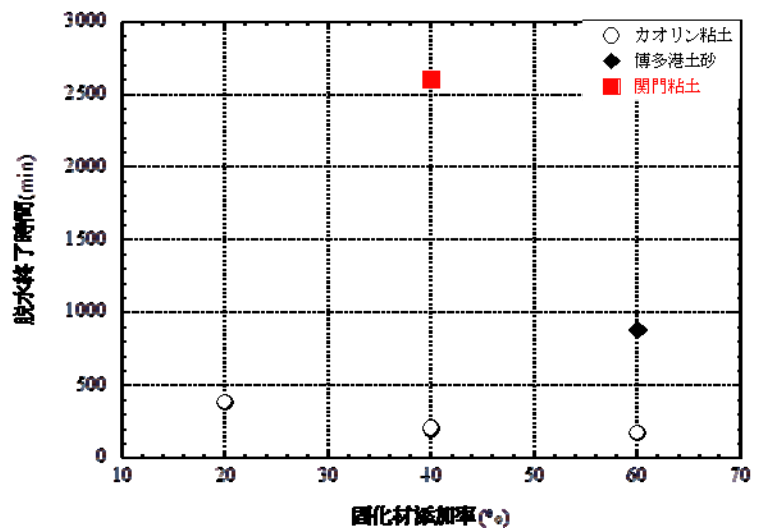


図-195 異なる母材との比較

響したものであると考えられる．また，関門粘土の脱水終了時間は，日数にするとおよそ 3 日となる．ゆえに脱水中に固化反応が進み透水性が悪くなることでさらに脱水終了時間が長くなったと考えられる．

4. 5 大型脱水固化装置によるスラグ石灰混合浚渫土の強度特性

作製した供試体からコアリングを行い、直径 5cm および高さ 10cm の供試体を作製した。作製した供試体の写真を写真-21 に、コアリングによる供試体の抜き方を図-196 および図-197 に示す。



写真-21 作製した浚渫土ブロック

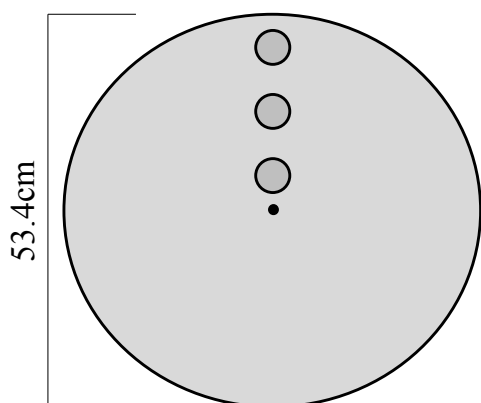


図-196 端面のコアリング

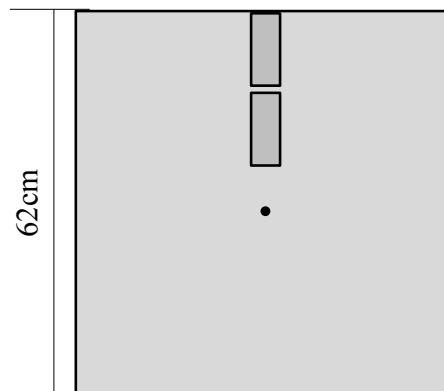


図-197 高さ方向のコアリング

図-196 および図-197 より、コアリングにおいての場所による名称を設定する。図-196 より、端面の中心から内、間および外と名称づけ、計 3 か所からコアリングする。図-197 より、高さ方向では中心から下および上と名称づける。また、表し方としては”端面-高さ”のように示す。

(1) 応力ひずみ曲線

養生 7 日の各コアリング位置の応力ひずみ曲線を図-198 に示す.

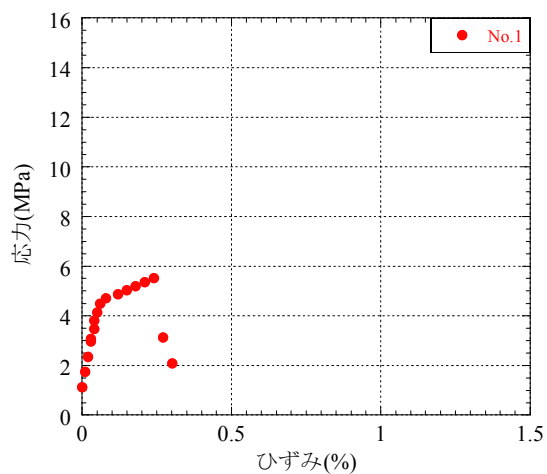


図-198(a) 外-上

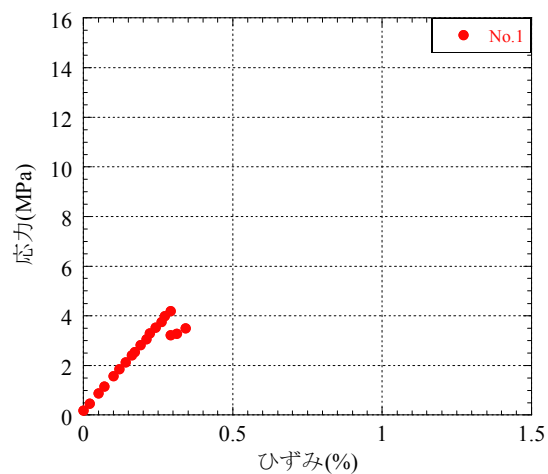


図-198(b) 外-下

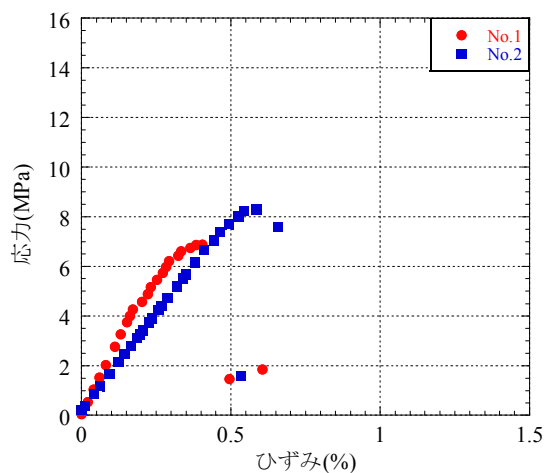


図-198(c) 間-上

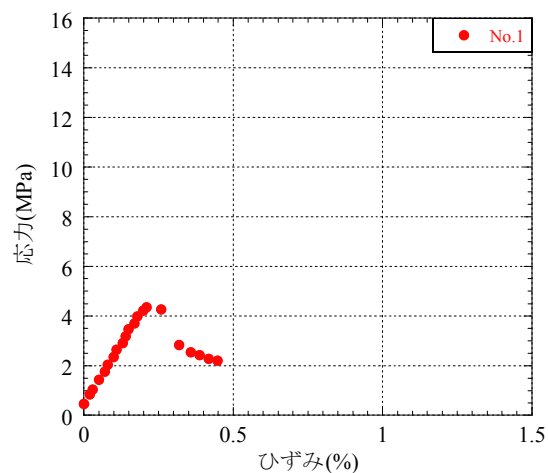


図-198(d) 間-下

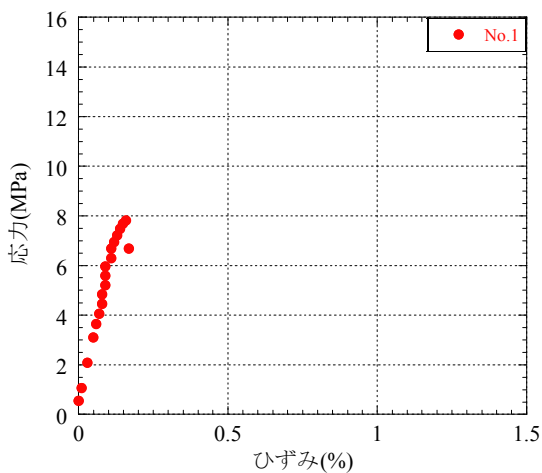


図-198(e) 内-上

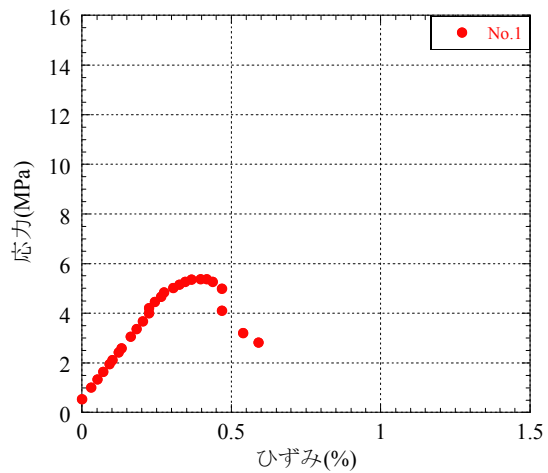


図-198(f) 内-下

図-198 養生 7 日の各コアリング位置の応力ひずみ曲線

養生 14 日の各コアリング位置の応力ひずみ曲線を図-199 に示す。

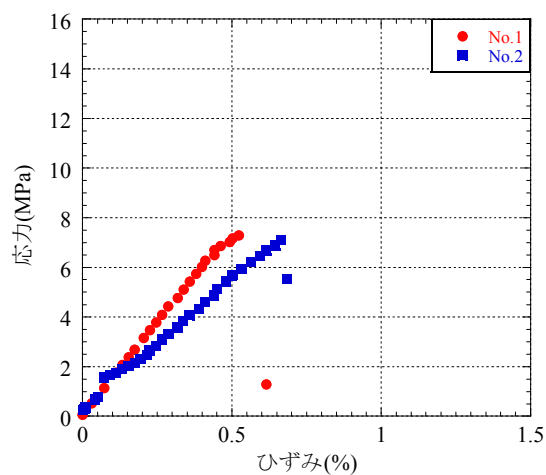


図-199(a) 外-上

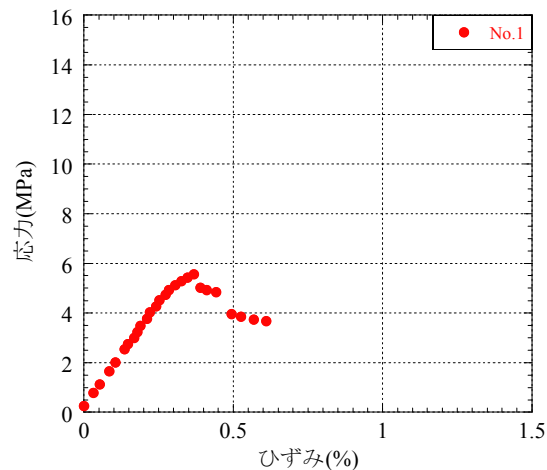


図-199(b) 外-下

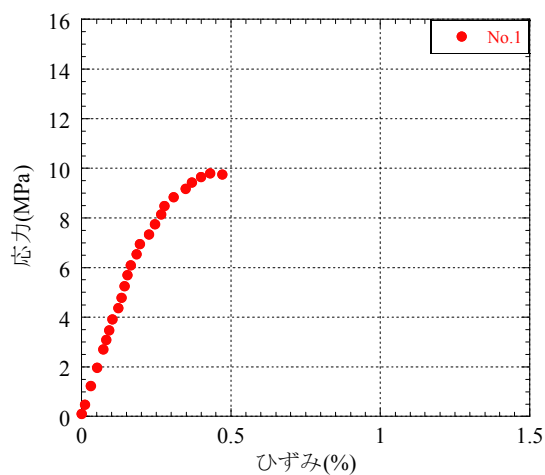


図-199(c) 間-上

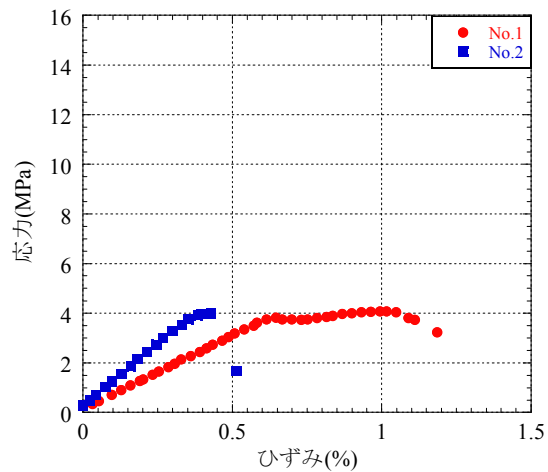


図-199(d) 間-下

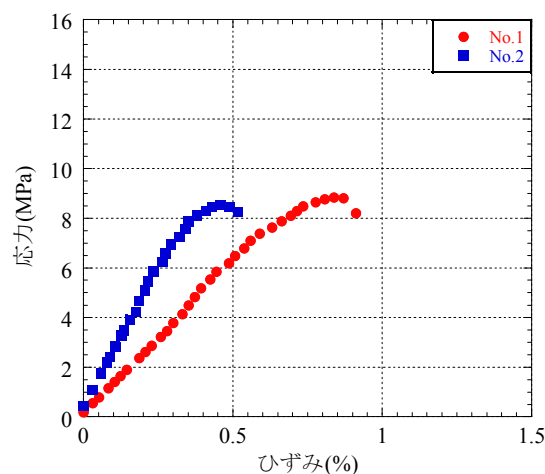


図-199(e) 内-上

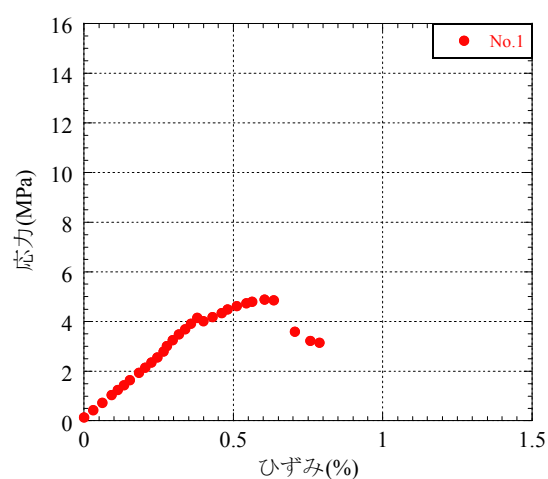


図-199(f) 内-下

図-199 養生 14 日の各コアリング位置の応力ひずみ曲線

養生 28 日の各コアリング位置の応力ひずみ曲線を図-200 に示す。

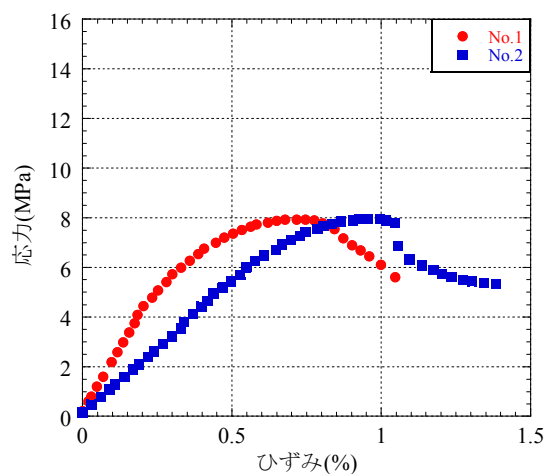


図-200 (a) 外-上

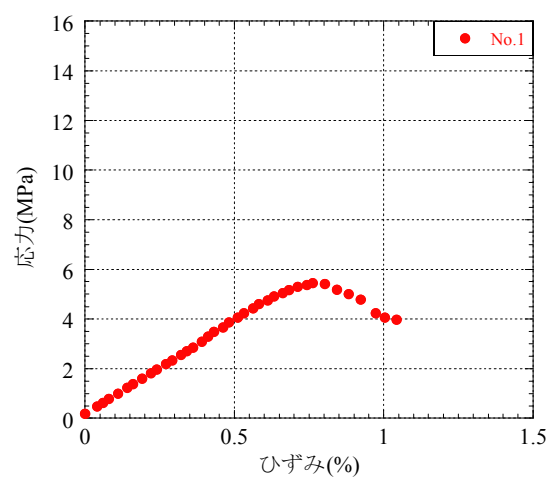


図-200 (b) 外-下

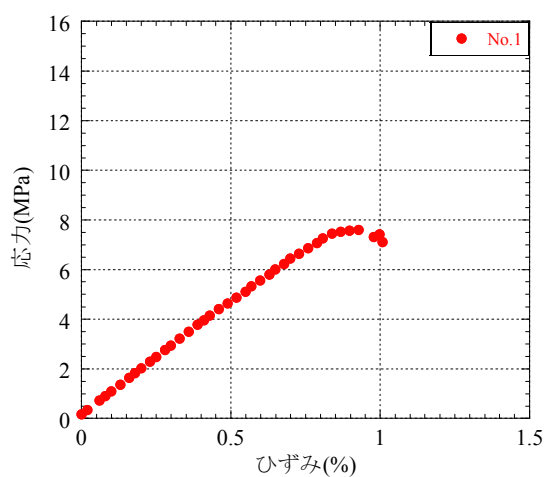


図-200 (c) 間-上

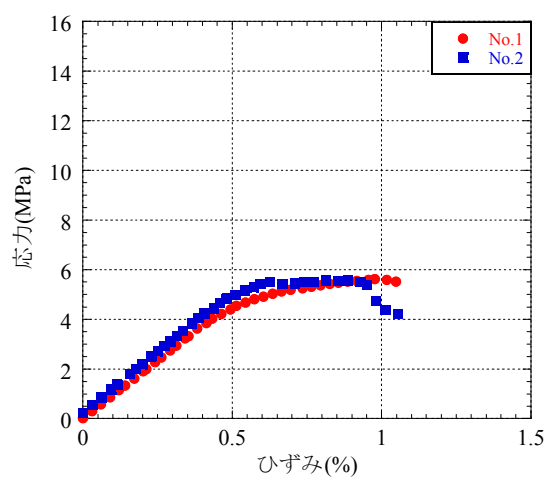


図-200 (d) 間-下

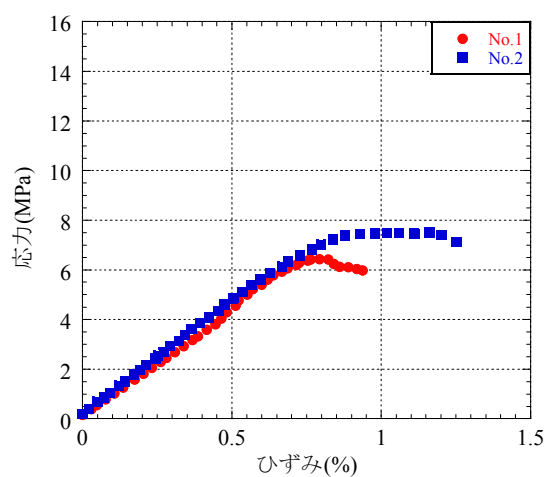


図-200 (e) 内-上

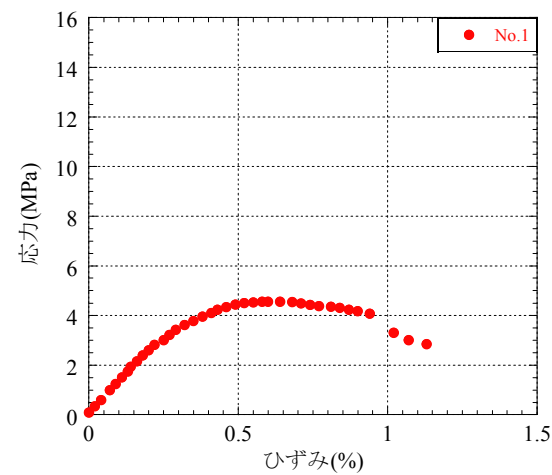


図-200 (f) 内-下

図-200 養生 28 日の各コアリング位置の応力ひずみ曲線

(2) 大型スラグ石灰混合浚渫土の特性

脱水固化処理したスラグ石灰混合浚渫土ブロックからコアリングした、6か所の養生日数7, 14および28日間における含水比の変化を図-201に示す。図の凡例はコアリングの箇所を示す。

図-201より、若干ではあるが、すべての箇所で養生日数が増加すると、含水比が下がった。高さ方向の上方向では、外、間および内の3か所で7日では含水比がおよそ56%だったのに対し、28日後では含水比が48%にまで減少した。また下方向では、7日では90%近くの含水比が28日後におよそ84%まで含水比が減少している。これは、スラグ石灰混合浚渫土が固化反応を進めていく過程で水を使っていることを表している。さらに、上方向と下方向の含水比の違いが明らかであり、このことから、浚渫土ブロックの高さ方向の中心側では脱水が完全に行われていないと考えられるが、3t法による脱水時間は完全に満たしていたことから、脱水できない要因があったと考えられる。

脱水固化処理したスラグ石灰混合浚渫土ブロックの含水比と高さ方向の距離の関係を図-202に示す。

図-202より、スラグ石灰混合浚渫土の高さ方向での含水比の均質性はなく、ブロックの端側であるほど含水比が減少していることが分かった。また、いずれの高さ方向でも、養生日数が増加するほど、含水比が減少していることが分かった。均質性を向上するためには、高さ方向の中心よりの方の水分を脱水することが重要である。中心よりの方の含水比が高いままである要因は、脱水に時間がかかり、固化反応が進み透水性が悪くなったことが要因と考えられる。また、混合の不十分により、中心で反応が起こらず、固化反応に水分を使わなかったことが要因ではないかと考える。

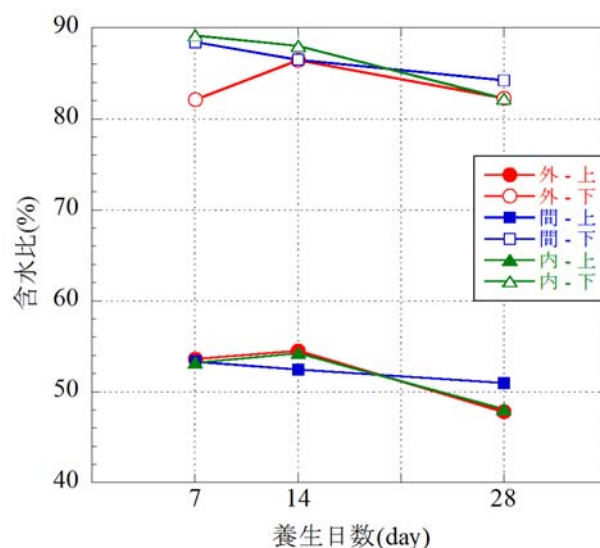


図-201 養生日数と含水比の関係

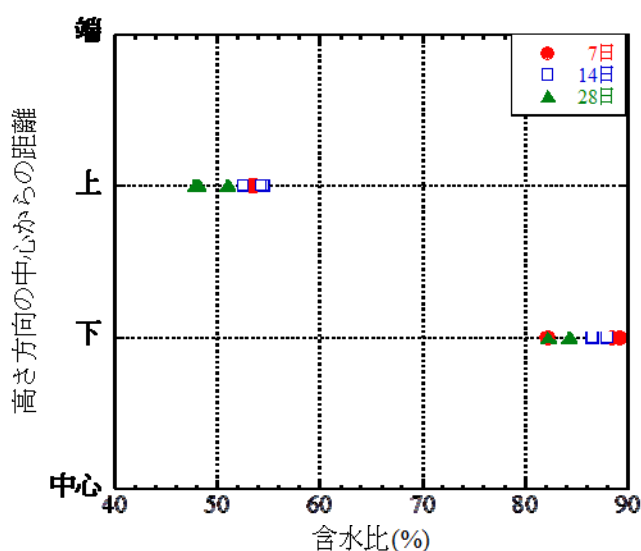


図-202 含水比と高さ方向の関係

脱水固化処理したスラグ石灰混合浚渫土ブロックの底面の中心からの距離と含水比の関係を図-203に示す。図の凡例は高さ方向である。

図-203より、底面の中心からの距離では、高さ方向にかかわらず、含水比に均質性が見られた。しかし、高さ方向での含水比の違いが大きく見られることから、改善策を検討しなければならない。

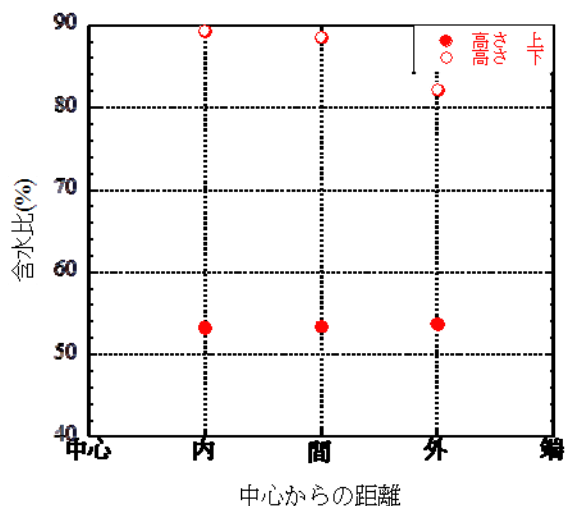


図-203(a) 養生日数 7 日

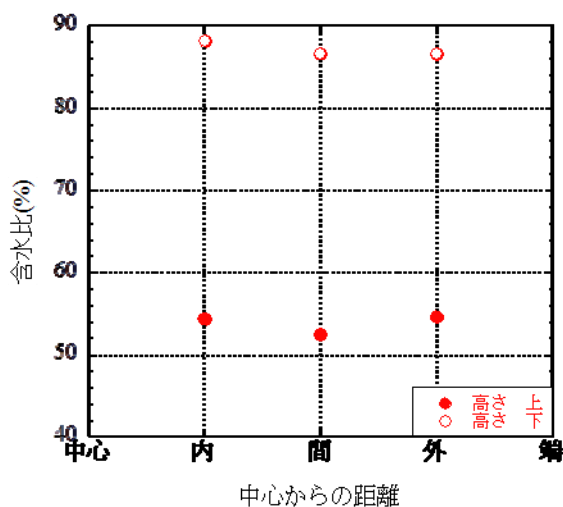


図-203(b) 養生日数 14 日

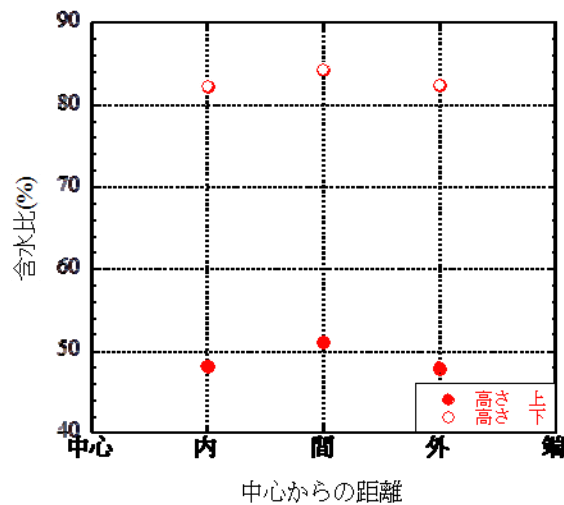


図-203(c) 養生日数 28 日

図-203 底面の中心からの距離と含水比の関係

脱水固化処理したスラグ石灰混合浚渫土ブロックの、養生日数と一軸圧縮強さの関係を図-204に示す。

図-204より、養生日数の増加により強度発現が見られなかった。しかし、高さ方向の上側と下側では一軸圧縮強さに3MPaほどの違いが見られた。最も一軸圧縮強さが大きくなったのは、養生日数14日の間の上であり、9.80MPaとなった。

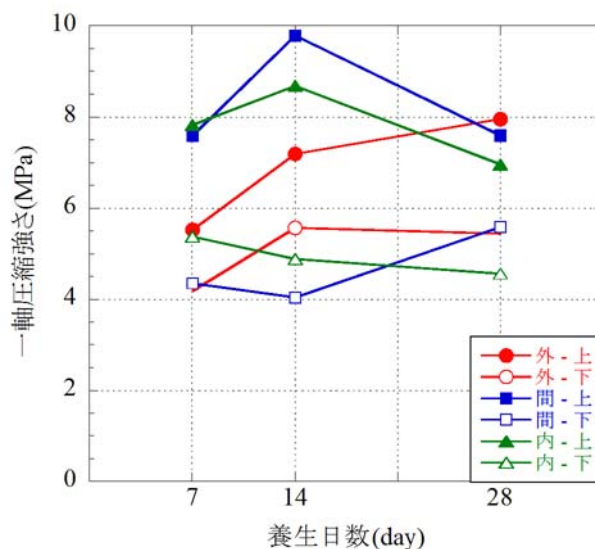


図-204 養生日数と一軸圧縮強さの関係

脱水固化処理したスラグ石灰混合浚渫土ブロックの、含水比と一軸圧縮強さの関係を図-205 に示す。

図-205 より、含水比が 80%~90%では、一軸圧縮強さがおよそ 5MPa に収束した。また、含水比 50%付近では、一軸圧縮強さが 6MPa~9MPa に収束した。このことから、含水比は小さいほど一軸圧縮強さを大きくするということが分かった。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、強度が低下していることが考えられる。

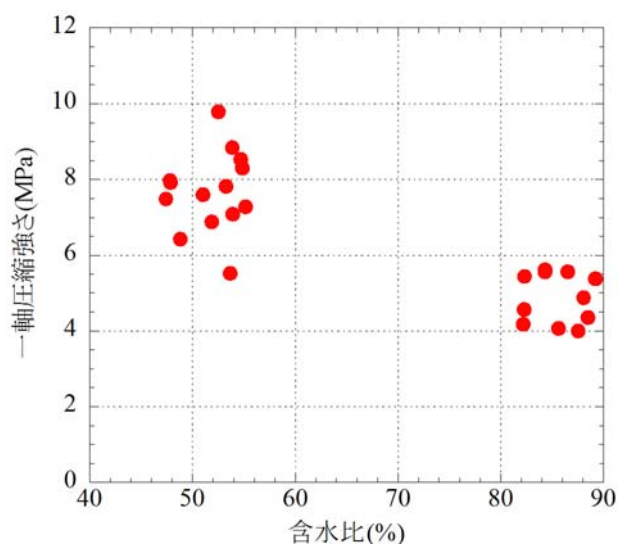


図-205 含水比と一軸圧縮強さの関係

脱水固化処理したスラグ石灰混合浚渫土ブロックの、乾燥密度と一軸圧縮強さの関係を図-206 に示す。

図-206 より、乾燥密度の増加に伴い、一軸圧縮強さが増加した。また、乾燥密度がおよそ 0.8g/cm^3 のとき、4MPa~6MPa に収束したが、乾燥密度が 1g/cm^3 以上では、急激に一軸圧縮強さが増加し、最大で 9.8MPa になった。このことから、乾燥密度の増加が一軸圧縮強さの増加に大きな影響を与えると考えられる。

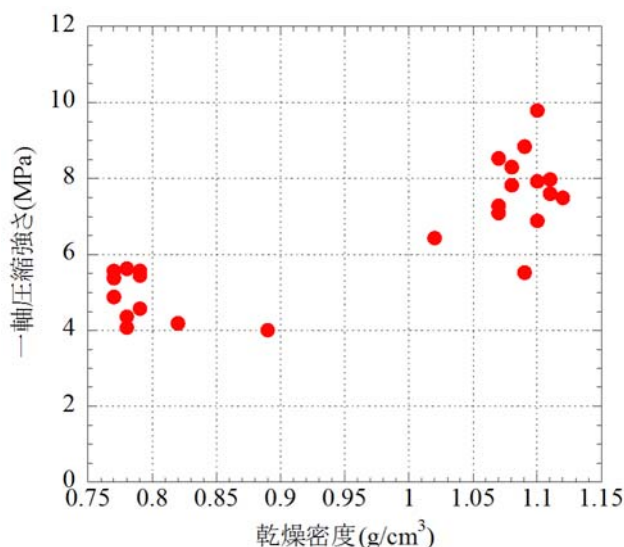


図-206 乾燥密度と一軸圧縮強さの関係

脱水固化処理したスラグ石灰混合浚渫土ブロックの、水スラグ石灰重量比と一軸圧縮強さの関係を図-207 に示す。

図-207 より、水スラグ石灰重量比が 2.8~3.2 のとき、一軸圧縮強さが 4MPa から 6MPa に収束したが、水スラグ石灰重量比が 2 以下になると一軸圧縮強さが増加し、水スラグ石灰重量比が 1.84 のとき、一軸圧縮強さが 9.8MPa になった。このことから脱水固化処理したスラグ石灰混合浚渫土ブロックは、水スラグ石灰重量比

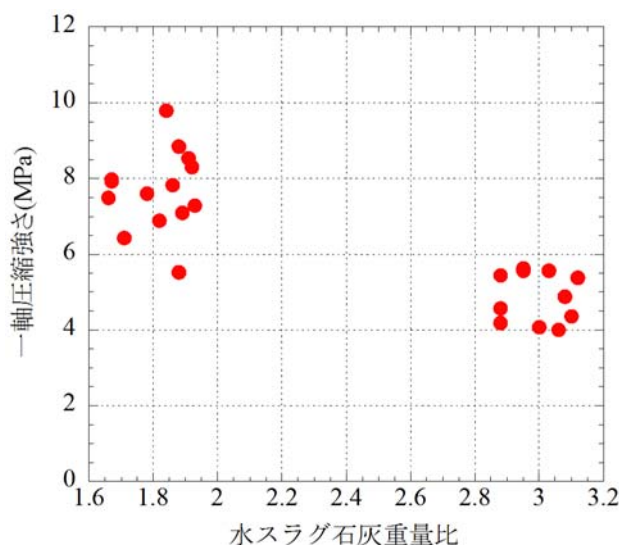


図-207 水スラグ石灰重量比と一軸圧縮強さの関係

を小さくすることが一軸圧縮強さに大きな影響を与えると考えられる．また，第3章の小型高压脱水装置におけるスラグ石灰混合浚渫土では，母材が変化しても水スラグ石灰重量比が0.3~0.4になるときもっとも一軸圧縮強さが大きくなることが分かっている．このことから，脱水固化処理したスラグ石灰混合浚渫土ブロックにおいても，水スラグ石灰重量比を0.3~0.4に減少させることで，さらなる強度発現が見込まれる．

(3) 一軸圧縮試験結果

脱水固化処理したスラグ石灰混合浚渫土ブロックの一軸圧縮試験結果をそれぞれ表-14に示す．

表-14(a) 一軸圧縮試験結果

スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	養生日数(日)	端面位置	高さ位置	一軸圧縮強さ(MPa)	含水比(%)	湿潤密度(g/cm ³)	乾燥密度(g/cm ³)	水スラグ石灰重量比	水スラグ重量比	水石灰重量比
30.00	10.00	7	外	上	5.52	53.63	1.67	1.09	1.88	2.50	7.51
			外	下	4.19	82.17	1.49	0.82	2.88	3.83	11.50
			間	上	6.89	51.86	1.67	1.10	1.82	2.42	7.26
			間	上	8.30	54.82	1.68	1.08	1.92	2.56	7.67
			間	下	4.36	88.46	1.46	0.78	3.10	4.13	12.38
			内	上	7.83	53.22	1.66	1.08	1.86	2.48	7.45
		14	内	下	5.38	89.19	1.47	0.77	3.12	4.16	12.49
			外	上	7.10	53.88	1.65	1.07	1.89	6.00	17.99
			外	上	7.29	55.17	1.66	1.07	1.93	6.08	18.25
			外	下	5.57	86.48	1.47	0.79	3.03	4.96	14.88
			間	上	9.80	52.49	1.68	1.10	1.84	6.18	18.55
			間	下	4.08	85.60	1.44	0.78	3.00	4.68	14.05
		28	内	上	4.01	87.50	1.67	0.89	3.06	4.73	14.19
			内	上	8.85	53.83	1.67	1.09	1.88	6.01	18.02
			内	下	8.53	54.65	1.65	1.07	1.91	6.70	20.11
			内	下	4.89	88.03	1.45	0.77	3.08	4.99	14.96
			外	上	7.98	47.79	1.64	1.11	1.67	6.08	18.23
			外	上	7.93	47.83	1.63	1.10	1.67	6.25	18.76
			外	下	5.45	82.28	1.45	0.79	2.88	5.27	15.81
			間	上	7.60	50.98	1.67	1.11	1.78	6.34	19.02
			間	下	5.62	84.26	1.44	0.78	2.95	5.20	15.59
			内	上	5.57	84.29	1.42	0.77	2.95	4.66	13.98
			内	上	6.43	48.78	1.52	1.02	1.71	5.67	17.02
			内	下	7.49	47.40	1.65	1.12	1.66	5.96	17.87
			内	下	4.57	82.26	1.44	0.79	2.88	5.12	15.35

表-14(b) 一軸圧縮試験結果

スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	養生日数(日)	端面位置	高さ位置	スラグ石灰水重量比	スラグ水重量比	石灰水重量比	間隙比 e	飽和度 S_r (%)	実験前石灰水重量比
30.00	10.00	7	外	上	0.53	0.40	0.13	1.49	97.32	0.09
			外	下	0.35	0.26	0.09	2.30	96.44	0.09
			間	上	0.55	0.41	0.14	1.45	96.59	0.09
			間	下	0.52	0.39	0.13	1.49	99.38	0.09
			間	下	0.32	0.24	0.08	2.48	96.41	0.09
			内	上	0.54	0.40	0.13	1.50	96.03	0.09
		14	内	下	0.32	0.24	0.08	2.48	96.93	0.09
			外	上	0.53	0.17	0.06	1.51	96.11	0.09
			外	上	0.52	0.16	0.05	1.53	97.45	0.09
			外	下	0.33	0.20	0.07	2.43	96.10	0.09
			間	上	0.54	0.16	0.05	1.45	97.57	0.09
			間	下	0.33	0.21	0.07	2.48	93.37	0.09
		28	間	下	0.33	0.21	0.07	2.02	100.00	0.09
			内	上	0.53	0.17	0.06	1.48	98.06	0.09
			内	上	0.52	0.15	0.05	1.53	96.30	0.09
			内	下	0.32	0.20	0.07	2.50	95.03	0.09
			外	上	0.60	0.16	0.05	1.43	90.24	0.09
			外	上	0.60	0.16	0.05	1.45	88.83	0.09
			外	下	0.35	0.19	0.06	2.40	92.41	0.09
			間	上	0.56	0.16	0.05	1.43	95.97	0.09
			間	下	0.34	0.19	0.06	2.45	93.02	0.09
			間	下	0.34	0.21	0.07	2.50	90.89	0.09
			内	上	0.59	0.18	0.06	1.64	80.43	0.09
			内	上	0.60	0.17	0.06	1.41	90.77	0.09
			内	下	0.35	0.20	0.07	2.42	91.85	0.09

5. 大型脱水固化装置による脱水固化処理土の暴露実験結果

5. 1 暴露現場概要

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画で行った。図-208 に暴露実験実施場所を示す。



図-208 暴露実験実施場所

表-15 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-2.2.209 に示し、気中、乾湿および海中暴露の暴露状況を写真-22、写真-23 および写真-24 に示す。

表-15 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

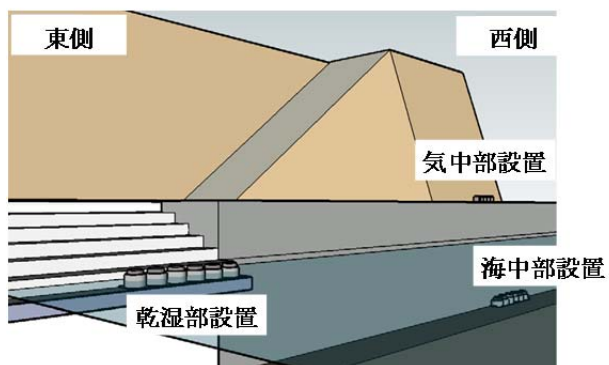


図-209 浚渫土ブロックの設置位置外略図



写真-22 気中暴露



写真-23(a) 干潮時



写真-23(b) 満潮時

写真-23 乾湿暴露



写真-24 海中暴露

5. 2 暴露試験結果

暴露試験によって得られた結果を示す。

(1) 強度特性

図-210(a), (b), (c)および(d)に1ヶ月, 3ヶ月, 12ヶ月および41ヶ月間暴露した浚渫土ブロックの固化材添加率と一軸圧縮強さの関係を示す。どの暴露条件においても固化材添加率の増加に伴って一軸圧縮強さも増加した。また, 一軸圧縮強さが最大となった暴露条件は, 固化材添加率が11%と低い場合は気中暴露であった。1ヶ月, 3ヶ月および12ヶ月間暴露した浚渫土ブロックでは固化材添加率が22%から33%に増加したさいの一軸圧縮強さの増加率は, 海中暴露が最大であった。一方, 41ヶ月間暴露した浚渫土ブロックでは増加率は乾湿暴露が最大であった。

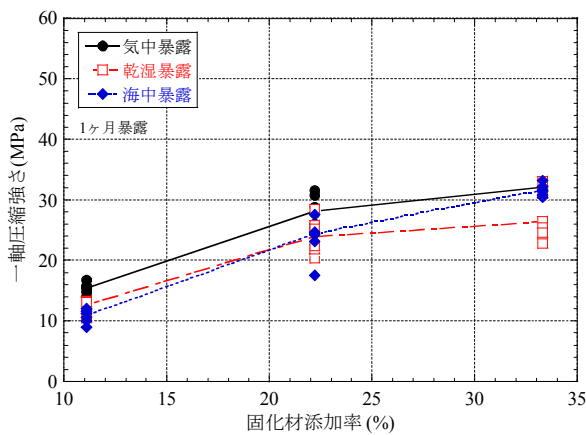


図-210(a) 1ヶ月暴露

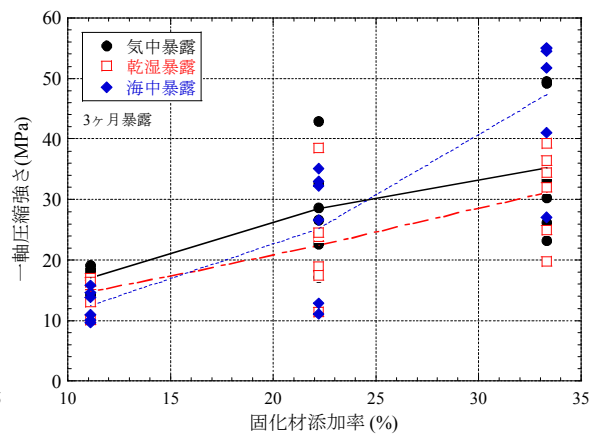


図-210(b) 3ヶ月暴露

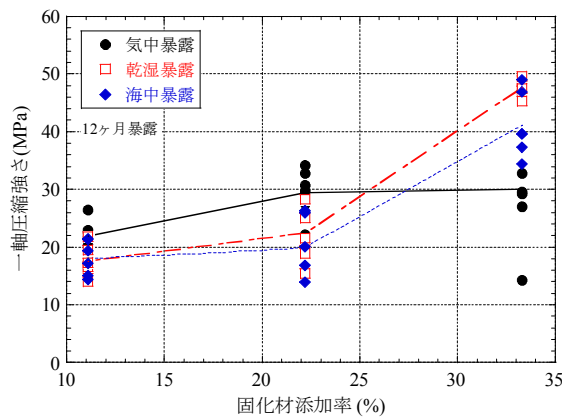


図-210(c) 12ヶ月暴露

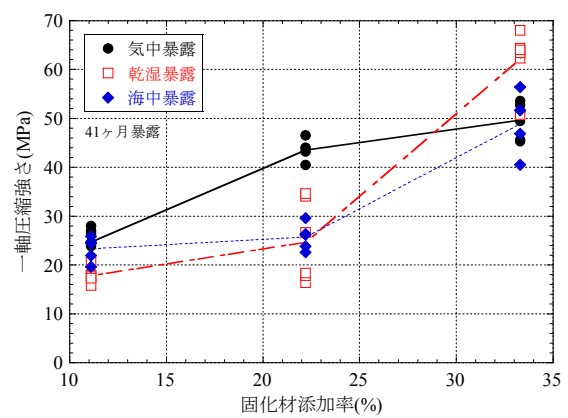


図-210(d) 41ヶ月暴露

図-210 固化材添加率と一軸圧縮強さ(暴露実験)

図-211(a), (b), (c)および(d)に1ヶ月, 3ヶ月, 12ヶ月および41ヶ月間暴露した浚渫土ブロックの乾燥密度と一軸圧縮強さの関係を示す. 1ヶ月間暴露した浚渫土ブロックにおいて, 乾湿および海中暴露の乾燥密度のばらつきが大きかった. 平均の乾燥密度は, 海中, 乾湿, 気中暴露の順で大きかった. 3ヶ月, 12ヶ月および41ヶ月暴露では, 乾燥密度のばらつきが小さくなった. しかし, 同等の乾燥密度であっても, 一軸圧縮強さには大きな差が見られた.

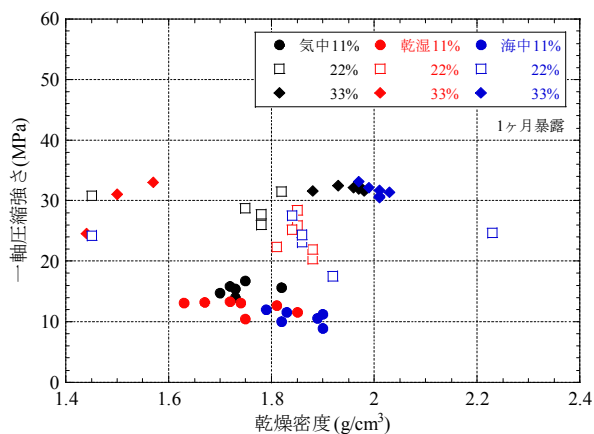


図-211(a) 1ヶ月暴露

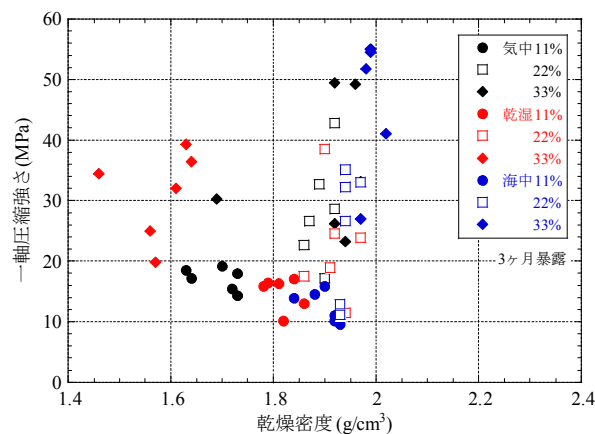


図-211(b) 3ヶ月暴露

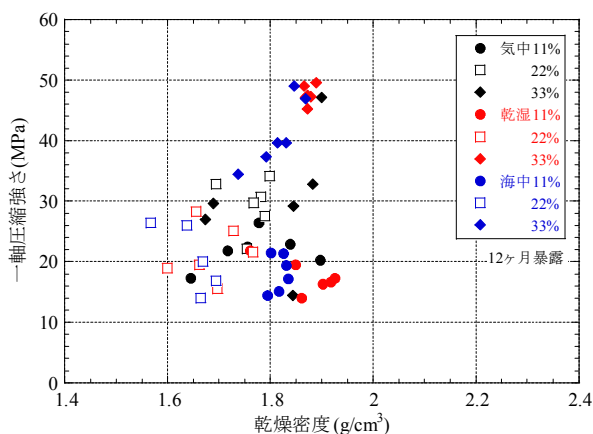


図-211(c) 12ヶ月暴露

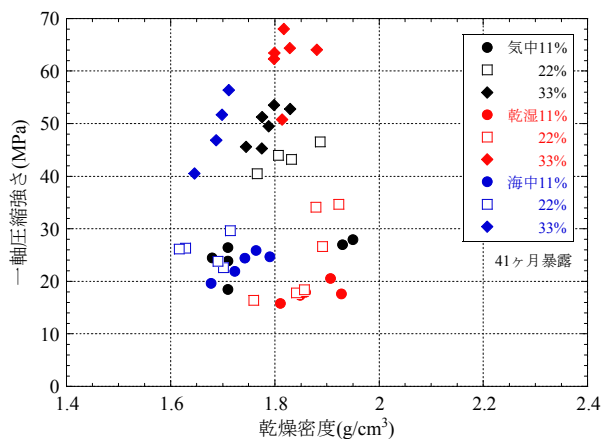


図-211(d) 41ヶ月暴露

図-211 乾燥密度と一軸圧縮強さ(暴露実験)

図-212(a), (b), (c)および(d)に1ヶ月, 3ヶ月, 12ヶ月および41ヶ月間暴露した浚渫土ブロックの水セメント重量比と一軸圧縮強さの関係を示す。どの暴露条件および固化材添加率においても, 水セメント重量比の減少とともに, 一軸圧縮強さの増大が見られた。水セメント重量比は, 暴露期間の経過に伴ってばらつきが増大した。また, 暴露期間の経過に伴って水セメント重量比の減少が見られた。

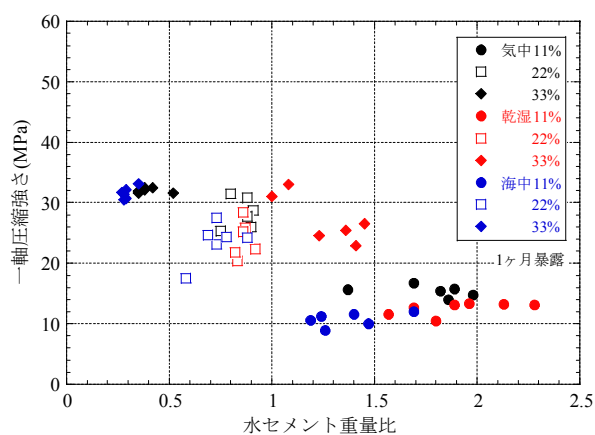


図-212(a) 1ヶ月暴露

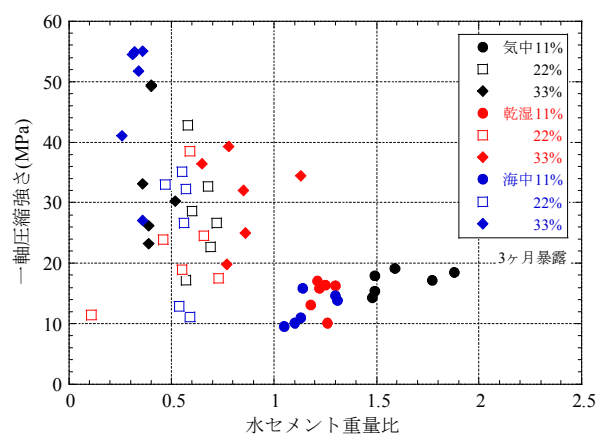


図-212(b) 3ヶ月暴露

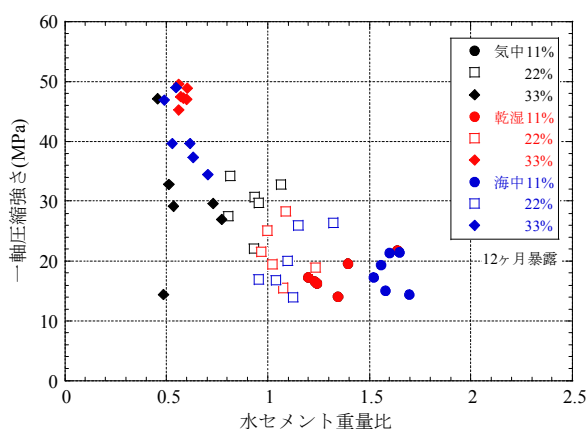


図-212(c) 12ヶ月暴露

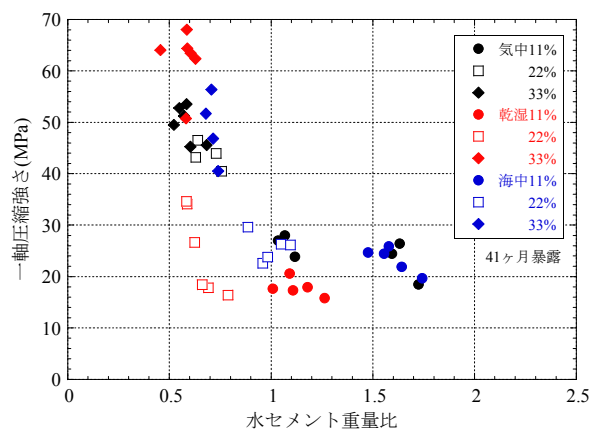


図-212(d) 41ヶ月暴露

図-212 水セメント重量比と一軸圧縮強さ(暴露実験)

(2) 耐久性

図-213 に暴露期間と一軸圧縮強さの関係を示す。暴露期間 3 ヶ月までは、暴露期間の増加に伴って一軸圧縮強さも増加した。暴露期間が 3 ヶ月を過ぎると、主に固化材添加率 33% において一軸圧縮強さが減少するケースも確認できた。これは、暴露期間が長くなるにつれ、暴露した浚渫土ブロックの微小クラックが増加し、一軸圧縮強さの増大を阻害するためと推察できる。固化材添加率 22% 以上における一軸圧縮強さは、暴露条件によらず 20MPa を超えており、作製した浚渫土ブロックは、12 ヶ月間どの環境に暴露しても、コンクリートに匹敵する強度を維持できるといえる。

図-214 に暴露期間と含水比の関係を示す。暴露期間 3 ヶ月までは含水比が低下したが、暴露期間が 3 ヶ月を過ぎると含水比は変化しないあるいは増加した。

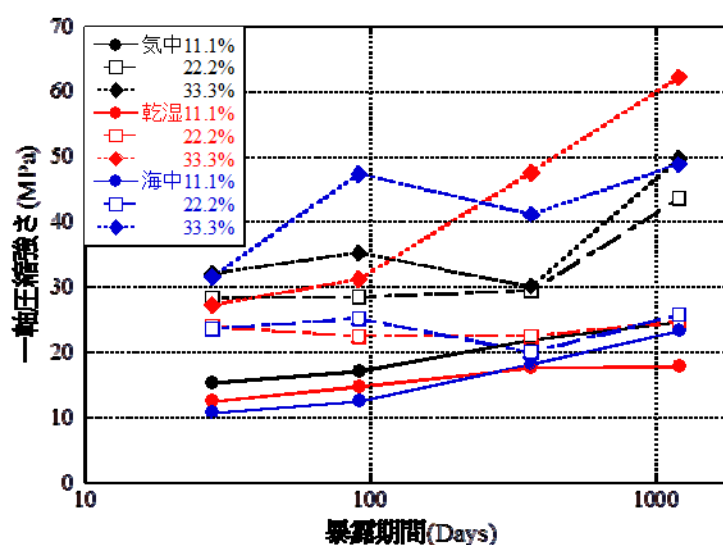


図-213 暴露期間と一軸圧縮強さ

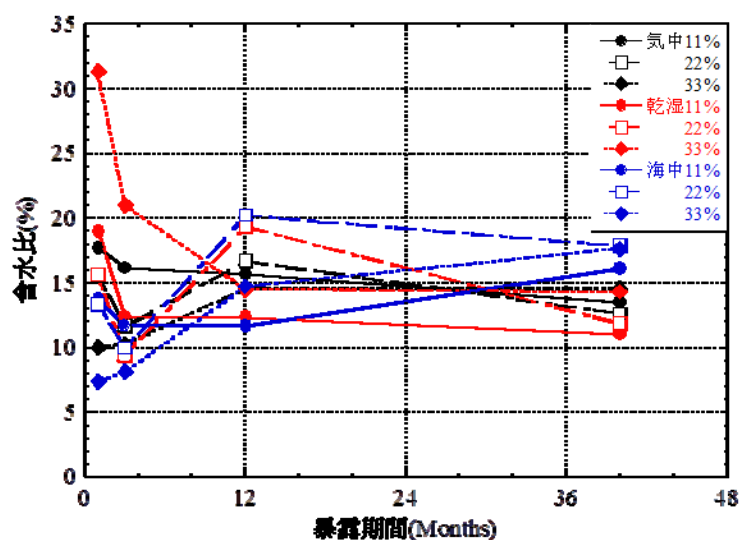


図-214 暴露期間と含水比

図-215 に暴露期間と乾燥密度の平均値の関係を示す。一般的には、暴露期間の経過に伴って乾燥密度が増加するが、暴露期間が3ヶ月を過ぎると乾燥密度の減少が見られるケースが確認できた。これも、暴露期間の経過に伴って浚渫土ブロックのクラックが増加したためと考えられる。

図-216 に暴露期間と水セメント重量比の平均値の関係を示す。水セメント重量比も、一般的には、期間が経つにつれ、水和反応が進行して水セメント重量比が減少するが、暴露期間が3ヶ月を過ぎると水セメント重量比の増大が見られたが、41ヶ月になると減少するものも多く見られた。

表-16 に本論文における暴露実験の全一軸圧縮試験結果を示す。

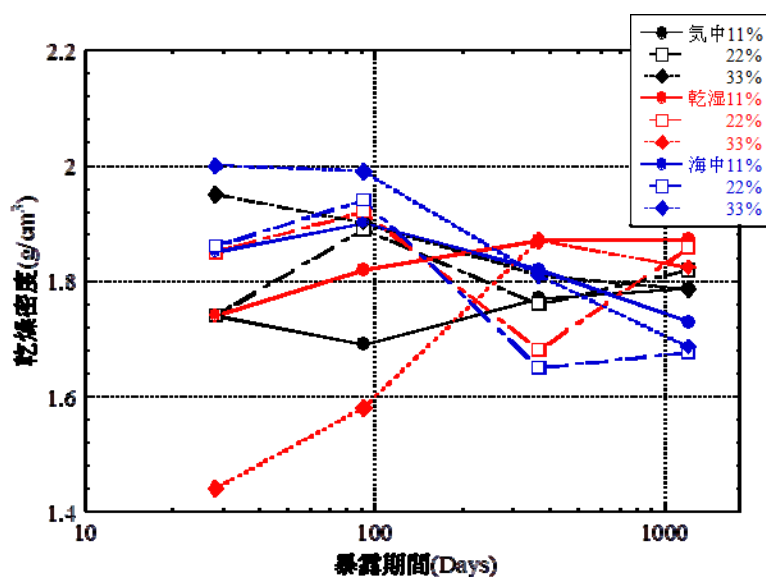


図-215 暴露期間と乾燥密度

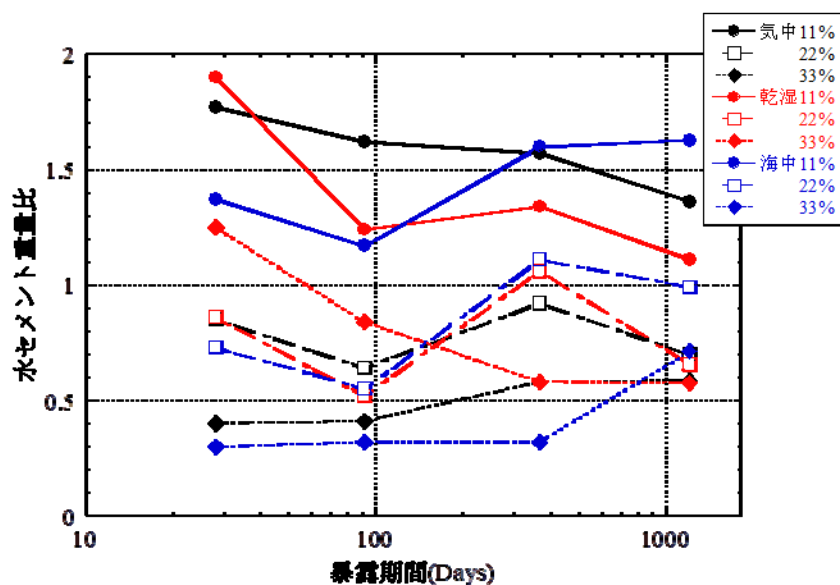


図-216 暴露期間と水セメント重量比

表-16(a) 一軸圧縮試験結果(1ヶ月)

暴露期間	固化材 添加率(%)	暴露条件	含水比 w (%)	w 平均	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)	γ_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
1ヶ月	11.1	気中	18.19	17.68	1.73	1.74	1.82	1.77	15.45	15.38
			18.91		1.72		1.89		15.79	
			19.78		1.70		1.98		14.73	
			16.93		1.75		1.69		16.74	
			13.70		1.82		1.37		15.59	
			18.58		1.73		1.86		13.99	
		乾湿	15.67	18.99	1.85	1.74	1.57	1.90	11.58	12.49
			16.91		1.81		1.69		12.68	
			18.87		1.74		1.89		13.11	
			19.54		1.72		1.96		13.35	
			17.96		1.75		1.80		10.43	
			21.27		1.67		2.13		13.19	
			22.75		1.63		2.28		13.11	
		海中	16.83	13.71	1.79	1.85	1.69	1.37	12.04	10.73
			14.68		1.82		1.47		10.06	
			13.96		1.83		1.40		11.57	
			11.86		1.89		1.19		10.54	
			12.55		1.90		1.26		8.93	
			12.37		1.90		1.24		11.24	
	22.2	気中	16.57	15.51	1.75	1.74	0.91	0.85	28.72	28.33
			16.02		1.78		0.88		27.74	
			16.26		1.78		0.90		25.97	
			16.03		1.45		0.88		30.79	
			13.64		1.85		0.75		25.32	
			14.55		1.82		0.80		31.47	
		乾湿	15.07	15.60	1.88	1.85	0.83	0.86	20.39	24.02
			14.85		1.88		0.82		21.85	
			15.56		1.85		0.86		28.45	
			15.72		1.85		0.87		25.83	
			15.65		1.84		0.86		25.22	
			16.73		1.81		0.92		22.37	
		海中	10.59	13.30	1.92	1.86	0.58	0.73	17.49	23.57
			13.25		1.86		0.73		23.17	
			16.03		1.45		0.88		24.26	
			14.15		1.86		0.78		24.33	
			12.61		2.23		0.69		24.68	
			13.18		1.84		0.73		27.49	
	33.3	気中	8.81	10.00	1.98	1.95	0.35	0.40	31.59	32.05
			9.42		1.96		0.38		32.11	
			9.42		1.97		0.38		32.48	
			10.52		1.93		0.42		32.51	
			8.81		1.97		0.35		31.97	
			13.05		1.88		0.52		31.62	
		乾湿	36.29	31.31	1.35	1.44	1.45	1.25	26.50	27.24
			33.97		1.38		1.36		25.43	
			30.76		1.44		1.23		24.52	
			26.89		1.50		1.00		31.07	
			24.88		1.57		1.08		33.03	
			35.09		1.37		1.41		22.85	
		海中	7.26	7.37	1.99	2.00	0.29	0.30	32.12	31.57
			8.66		1.97		0.35		33.12	
			7.28		2.01		0.29		30.73	
			7.09		2.01		0.28		30.47	
			6.86		2.01		0.27		31.67	
			7.09		2.03		0.28		31.34	

表-16(b) 一軸圧縮試験結果(3ヶ月)

暴露期間	固化材 添加率(%)	暴露条件	含水比 w (%)	w 平均	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)	γ_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
3ヶ月	11.1	気中	14.81	16.18	1.73	1.69	1.48	1.62	14.32	17.08
			18.82		1.63		1.88		18.50	
			17.72		1.64		1.77		17.19	
			14.88		1.72		1.49		15.43	
			14.92		1.73		1.49		17.89	
			15.92		1.70		1.59		19.17	
		乾湿	12.12	12.34	1.84	1.82	1.21	1.24	16.99	14.78
			13.00		1.81		1.30		16.32	
			11.79		1.86		1.18		13.02	
			12.57		1.82		1.26		10.07	
			12.15		1.78		1.22		15.88	
			12.44		1.79		1.25		16.38	
		海中	13.05	11.69	1.84	1.90	1.31	1.17	13.90	12.49
			12.96		1.88		1.30		14.56	
			10.99		1.92		1.10		10.11	
			10.47		1.93		1.05		9.61	
			11.41		1.90		1.14		15.83	
			11.29		1.92		1.13		10.94	
	22.2	気中	12.42	11.65	1.89	1.89	0.68	0.64	32.72	28.44
			13.15		1.87		0.72		26.62	
			10.95		1.92		0.60		28.63	
			10.56		1.92		0.58		42.87	
			12.55		1.86		0.69		22.67	
			10.28		1.90		0.57		17.15	
		乾湿	1.91	9.40	1.94	1.92	0.11	0.52	11.45	22.45
			8.40		1.97		0.46		23.86	
			10.74		1.90		0.59		38.55	
			11.99		1.92		0.66		24.50	
			10.07		1.91		0.55		18.88	
			13.31		1.86		0.73		17.49	
		海中	10.64	9.93	1.93	1.94	0.59	0.55	11.13	25.17
			9.87		1.93		0.54		12.89	
			10.11		1.94		0.56		26.62	
			10.38		1.94		0.57		32.26	
			8.56		1.97		0.47		32.98	
			10.04		1.94		0.55		35.11	
	33.3	気中	12.99	10.24	1.69	1.90	0.52	0.41	30.24	35.25
			9.65		1.94		0.39		23.21	
			8.99		1.97		0.36		33.16	
			10.06		1.92		0.40		49.50	
			9.90		1.96		0.40		49.20	
			9.82		1.92		0.39		26.20	
		乾湿	21.57	20.98	1.56	1.58	0.86	0.84	24.98	31.17
			16.16		1.64		0.65		36.45	
			19.16		1.57		0.77		19.82	
			21.15		1.61		0.85		32.01	
			28.32		1.46		1.13		34.43	
			19.52		1.63		0.78		39.34	
		海中	6.51	8.10	2.02	1.99	0.26	0.32	41.05	47.39
			8.01		1.99		0.32		54.91	
			8.50		1.98		0.34		51.76	
			7.75		1.99		0.31		54.48	
			8.95		1.99		0.36		55.10	
			8.88		1.97		0.36		27.01	

表-16(c) 一軸圧縮試験結果(12ヶ月)

暴露期間	固化材 添加率(%)	暴露条件	含水比 w (%)	w 平均	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)	γ_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
12ヶ月	11.1	気中	15.340	15.65	1.777	1.77	1.535	1.57	26.458	21.88
			13.100		1.897		1.311		20.278	
			19.094		1.645		1.911		17.315	
			13.634		1.838		1.365		22.919	
			15.922		1.755		1.594		22.489	
			16.819		1.717		1.683		21.823	
		乾湿	13.433	12.34	1.861	1.87	1.345	1.34	14.029	17.58
			12.409		1.902		1.242		16.239	
			12.307		1.917		1.232		16.615	
			13.395		1.849		1.395		19.538	
			16.375		1.761		1.639		21.815	
			11.970		1.926		1.198		17.259	
		海中	15.538	11.69	1.831	1.82	1.555	1.60	19.386	18.15
			16.932		1.794		1.695		14.361	
			16.471		1.801		1.649		21.479	
			15.961		1.825		1.598		21.390	
			15.188		1.834		1.520		17.223	
			15.761		1.816		1.578		15.073	
	22.2	気中	14.602	16.66	1.789	1.76	0.804	0.92	27.479	29.49
			14.781		1.798		0.814		34.178	
			19.343		1.694		1.065		32.790	
			16.913		1.754		0.931		22.124	
			17.000		1.781		0.936		30.676	
			17.342		1.767		0.955		29.716	
		乾湿	19.745	19.33	1.655	1.68	1.087	1.06	28.339	22.45
			18.597		1.662		1.024		19.443	
			17.569		1.766		0.967		21.566	
			19.520		1.697		1.074		15.491	
			22.404		1.599		1.233		18.908	
			18.117		1.728		0.997		25.048	
		海中	18.868	20.19	1.695	1.65	1.039	1.11	16.840	20.02
			17.356		1.695		0.955		16.891	
			24.007		1.567		1.321		26.375	
			20.884		1.637		1.150		26.020	
			19.960		1.669		1.099		20.040	
			20.047		1.664		1.123		13.936	
	33.3	気中	19.308	14.55	1.673	1.81	0.773	0.58	26.987	29.99
			18.203		1.689		0.729		29.593	
			12.851		1.883		0.514		32.770	
			12.122		1.843		0.485		14.355	
			13.405		1.845		0.537		29.167	
			11.398		1.899		0.456		47.089	
		乾湿	15.059	14.48	1.866	1.87	0.603	0.58	48.894	47.58
			14.991		1.868		0.600		47.025	
			14.588		1.879		0.584		47.250	
			13.982		1.889		0.560		49.555	
			13.983		1.872		0.560		45.258	
			14.267		1.872		0.571		47.487	
		海中	15.426	14.67	1.831	1.81	0.617	0.32	39.620	41.16
			15.841		1.792		0.634		37.331	
			17.551		1.737		0.703		34.403	
			13.667		1.846		0.547		49.042	
			13.247		1.814		0.530		39.666	
			12.261		1.869		0.491		46.923	

表-16(d) 一軸圧縮試験結果(41 ヶ月)

暴露期間	固化材 添加率(%)	暴露条件	含水比 w (%)	w 平均	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)	γ_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
41 ヶ月	11.1	気中	10.252	13.50	1.932	1.79	1.034	1.36	27.00	24.70
			10.583		1.950		1.068		27.98	
			16.174		1.707		1.632		26.43	
			17.097		1.577		1.725		18.46	
			11.077		1.877		1.118		23.84	
			15.799		1.683		1.594		24.48	
		乾湿	10.814	12.34	1.907	1.87	1.091	1.11	20.58	17.85
			11.679		1.859		1.178		17.93	
			9.997		1.928		1.009		17.63	
			12.520		1.811		1.263		15.80	
			10.981		1.848		1.108		17.32	
			10.057		1.878		1.015			
		海中	17.271	11.69	1.678	1.73	1.743	1.63	19.63	23.30
			16.266		1.724		1.641		21.91	
			17.558		1.678		1.772			
			14.630		1.790		1.476		24.67	
			15.411		1.743		1.555		24.42	
			15.643		1.764		1.579		25.87	
	22.2	気中	13.180	12.61	1.807	1.82	0.731	0.70	43.99	43.54
			11.368		1.832		0.630		43.18	
			11.524		1.887		0.639		46.51	
			13.635		1.766		0.756		40.49	
			13.789		1.774		0.765			
			12.190		1.849		0.676			
		乾湿	14.221	11.84	1.760	1.86	0.789	0.66	16.38	22.45
			12.488		1.841		0.693		17.81	
			11.269		1.891		0.625		26.64	
			11.922		1.857		0.661		18.40	
			10.585		1.879		0.587		34.08	
			10.540		1.923		0.584		34.65	
		海中	18.945	17.86	1.629	1.68	1.051	0.99	26.32	25.70
			17.307		1.701		0.960		22.62	
			17.449		1.705		0.968			
			15.969		1.715		0.886		29.61	
			17.737		1.691		0.984		23.80	
			19.746		1.617		1.095		26.14	
	33.3	気中	14.500	14.54	1.798	1.79	0.584	0.59	53.56	49.66
			14.982		1.775		0.604		45.28	
			16.955		1.745		0.683		45.60	
			12.949		1.788		0.522		49.50	
			14.210		1.775		0.573		51.26	
			13.629		1.830		0.549		52.77	
		乾湿	15.603	14.26	1.799	1.82	0.629	0.57	62.33	62.17
			14.590		1.829		0.588		64.38	
			14.449		1.814		0.582		50.79	
			15.028		1.799		0.606		63.44	
			14.524		1.817		0.585		68.02	
			11.345		1.880		0.457		64.05	
		海中	16.856	17.64	1.698	1.69	0.679	0.71	51.68	48.87
			18.358		1.646		0.740		40.55	
			16.774		1.716		0.676			
			18.550		1.653		0.748			
			17.749		1.687		0.715		46.86	
			17.544		1.712		0.707		56.40	

(3) 現地適応性

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は、平成23年10月、平成24年4月、平成24年11月、平成25年8月および平成26年1月に行った。本節では、主に平成26年1月の調査について取り上げる。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-25に調査状況の写真を示す。



写真-25(a) 乾湿暴露



写真-25(b) 海中暴露

写真-25 調査状況

図-217および図-218に乾湿暴露した浚渫土ブロックにおける生物付着性の被覆率および出現数を示す。全体の被覆率は、浚渫土ブロックでは25～50%、対照区では60%であった。また、出現種数は、浚渫土ブロックでは動物が7～9種、植物が0種、対照区では動物が9種、植物が0種であった。動物は軟体動物および節足動物が出現した。植物は出現しなかった。なお、11%②は破損しているため、欠測となった。

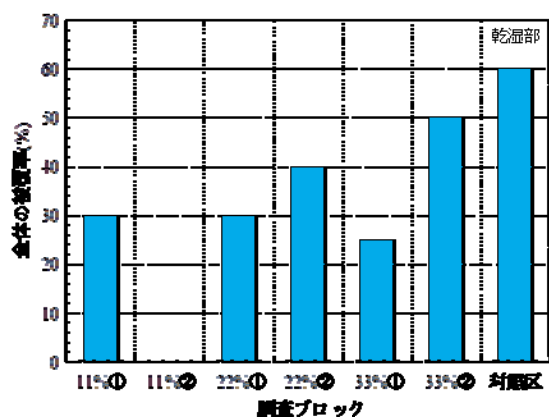


図-217 被覆率(乾湿暴露)

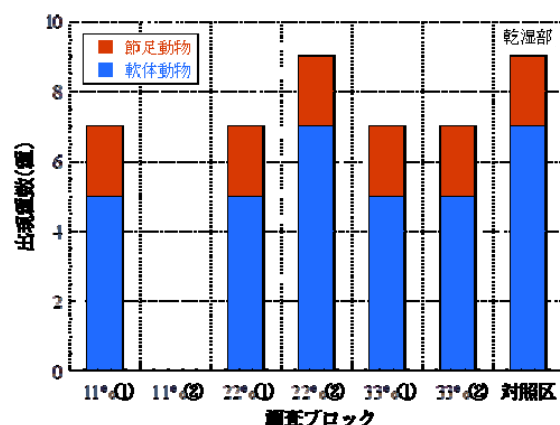


図-218 出現種数(乾湿暴露)

表-17 に生物付着性状況の調査結果を示す。乾湿暴露の主な出現種は、節足動物のシロスジフジツボ、軟体動物のアラレタマビキ、マガキおよびタマビキであった。

図-219 に観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯の高さを示す。フジツボ帯とカキ帯の境目の高さは、浚渫土ブロックでは 1.27～1.36m、対照区では 1.40m であった。

表-17 生物付着性(乾湿暴露)

調査 ブロック	被覆率 (%)	出現種数 (組成比率)			主な出現種	
		軟体動物	節足動物	合計	軟体動物	節足動物
11%①	30	5 (71.4)	2 (28.6)	7 (100)	アラレタマビキ マガキ	シロスジフジツボ
11%②	ブロック破損					
22%①	30	5 (71.4)	2 (28.6)	7 (100)	アラレタマビキ マガキ	シロスジフジツボ
22%②	40	7 (77.8)	2 (12.2)	9 (100)	アマガイ アラレタマビキ マガキ	シロスジフジツボ
33%①	25	5 (71.4)	2 (28.6)	7 (100)	アラレタマビキ タマキビ	シロスジフジツボ
33%②	50	5 (71.4)	2 (33.3)	7 (100)	アマガイ アラレタマビキ マガキ	—
対照区	60	7 (77.8)	2 (20.0)	9 (100)	シロガイ属 アラレタマビキ マガキ タマキビ	—

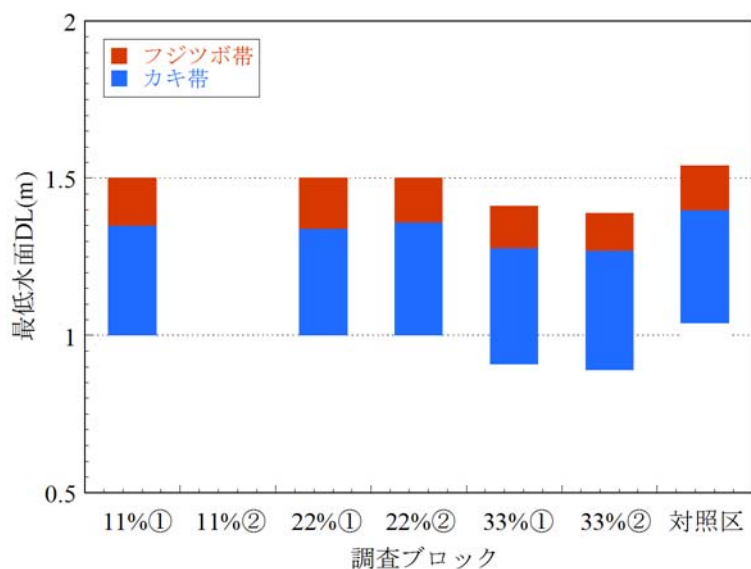


図-219 フジツボ帯とカキ帯の高さ

図-220 および図-221 に海中暴露した浚渫土ブロックにおける生物付着性の被覆率および出現数を示す。全体の被覆率は、浚渫土ブロックでは 10～30%，対照区では 20%であった。また、出現種数は、浚渫土ブロックでは動物が 5～9 種、植物が 1 種、対照区では動物が 4 種および植物が 0 種であった。動物は刺胞動物、軟体動物、環形動物、節足動物、触手動物および原索動物、植物は紅藻植物が出現した。なお、22①は落下転倒しているため、他のブロックと生物の付着状況が異なっていた。

表-18 に生物付着状況の調査結果を示す。海中暴露の主な出現種は、節足動物のアメリカフジツボ、軟体動物のナミマガシワ科および環形動物のカンザシゴカイ科であった。

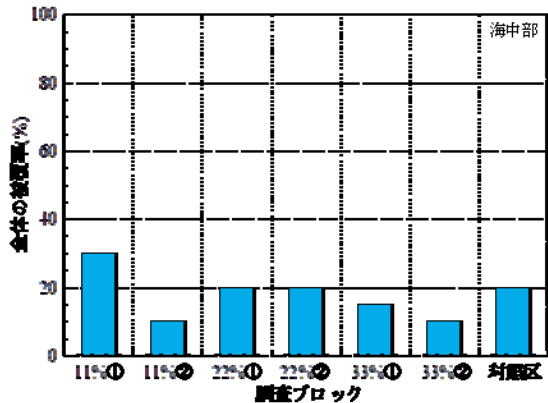


図-220 被覆率(海中暴露)

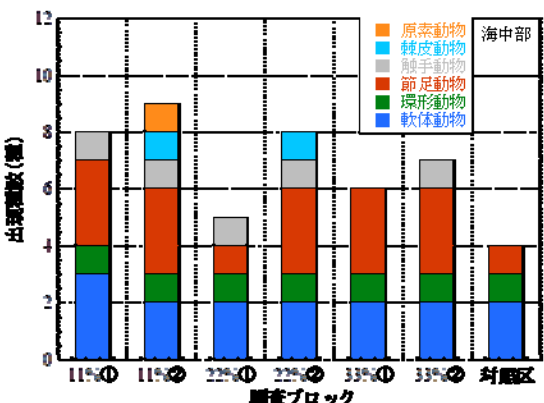


図-221 出現種数(海中暴露)

表-18 生物付着状況(海中暴露)

調査 ブロック	被覆率 (%)	出現種数 (組成比率)							主な出現種		
		軟体 動物	環形 動物	節足 動物	触手 動物	棘皮 動物	原索 動物	合計	軟体動物	環形植物	節足動物
11%①	30	3 (37.5)	1 (12.5)	3 (37.5)	1 (12.5)	0	0	8 (100)	—	—	アメリカフジツボ
11%②	10	2 (22.2)	1 (11.1)	3 (33.3)	1 (11.1)	1 (11.1)	1 (11.1)	9 (100)	—	—	—
22%①	20	2 (22.2)	1 (20.0)	1 (20.0)	1 (20.0)	0	0	5 (100)	—	カンザシゴカイ科	—
22%②	20	2 (25.0)	1 (12.5)	3 (37.5)	1 (12.5)	1 (12.5)	0	8 (100)	ナミマガシワ科 マガキ	—	—
33%①	15	2 (33.3)	1 (16.7)	3 (50.0)	0	0	0	6 (100)	ナミマガシワ科	—	—
33%②	10	2 (28.6)	1 (25.0)	3 (42.9)	1 (14.3)	0	0	7 (100)	—	—	—
対照区	20	2 (50.0)	1 (25.0)	1 (25.0)	0	0	0	4 (100)	マガキ	—	—

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）、平成 24 年 11 月（暴露期間 32 ヶ月）、平成 25 年 8 月（暴露期間 41 ヶ月）および平成 26 年 1 月（暴露期間 46 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-26 に調査状況の写真を示す。



(a) 乾湿暴露



(b) 海中暴露

写真-26 調査状況

① 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-222、動物の出現種数を図-223、植物の出現種数を図-224、観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯の高さを図-225 に示した。調査結果の概要を表-19 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

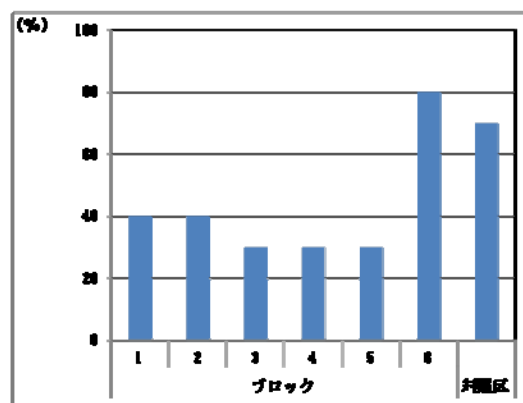


図-222 全体の被覆率(平成 24 年 4 月)

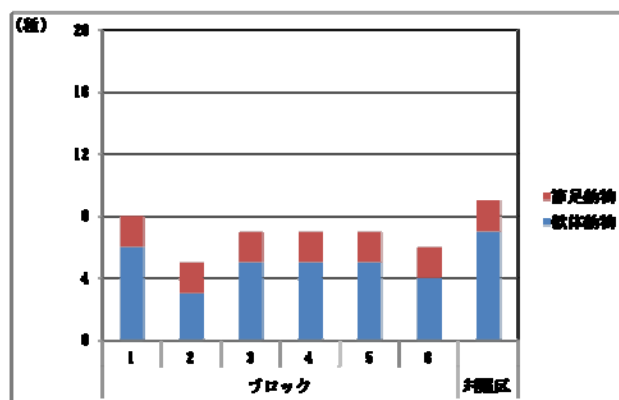


図-223 動物の出現種数(平成 24 年 4 月)

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. 1.42 mであった。

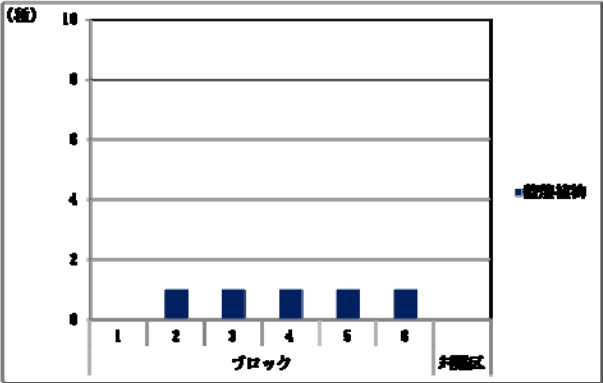


図-224 植物の出現種数(平成 24 年 4 月)

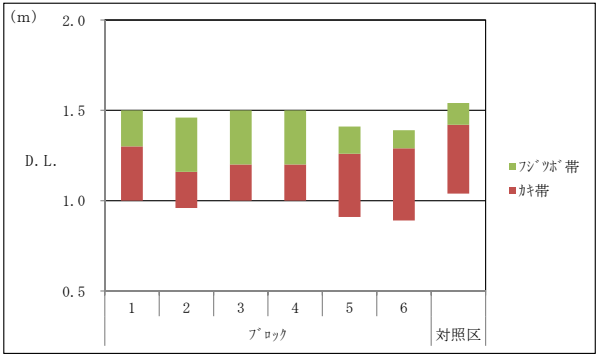


図-225 観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯の高

表-19 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。

平成24年11月における全体の被覆率を図-226、動物の出現種数を図-227、植物の出現種数を図-228、調査結果の概要(潮間帯部)を表-20、観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯の高さを図-229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

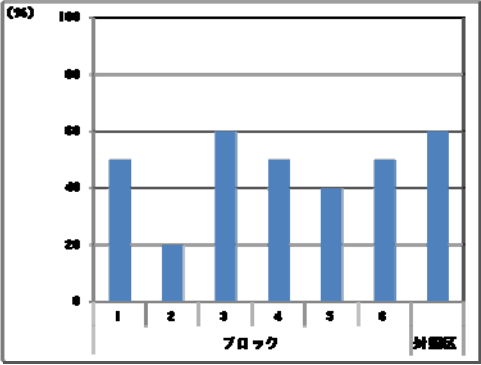


図-226 全体の被覆率(平成 24 年 11

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。

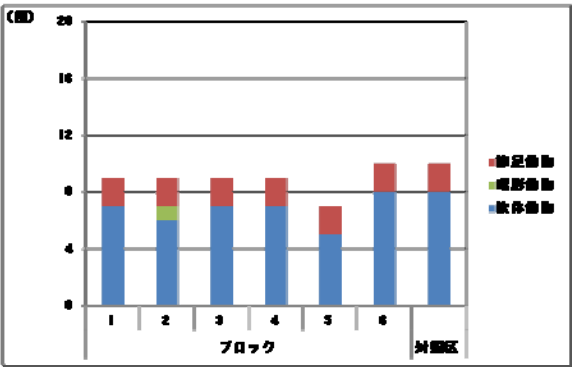


図-227 動物の出現種数(平成 24 年 11 月)

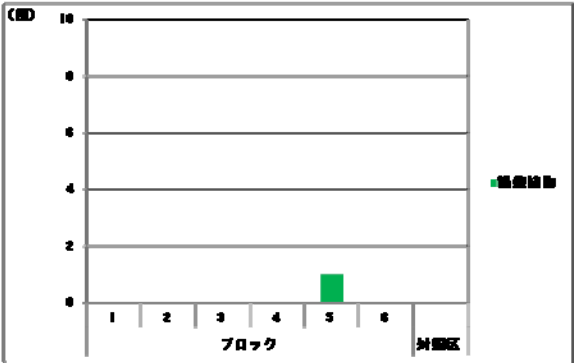


図-228 植物の出現種数(平成 24 年 11 月)

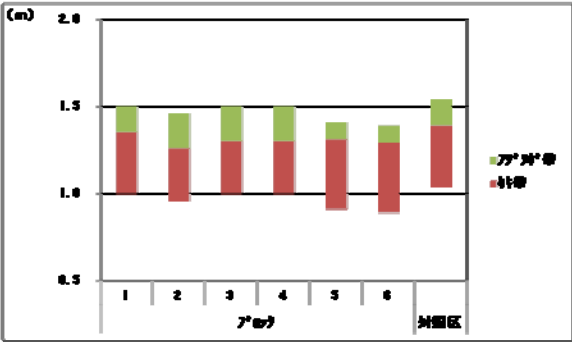


図-229 観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯の高さ

表-20 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						
			ブロック					対照区	
			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 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。

平成25年8月における全体の被覆率を図-230、動物の出現種数を図-231、植物の出現種数を図-232、調査結果の概要(潮間帯部)を表-21、観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯の高さを図-233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40%であった。出現種数は、ブロック1～6では動物が9～10種、植物が0種、対照区では動物が11種、植物が0種であった。動物は軟体動物、節足動物が出現した。植物は出現しなかった。動物

の主な出現種は、ブロック1～6では軟体動物のイシダタミ、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、対照区では軟体動物のシロガイ属、タマキビ、アラレタマキビ、タマキビガイ科、マガキであった。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. 1.26～1.36m、対照区ではD.L. 1.40mであった。

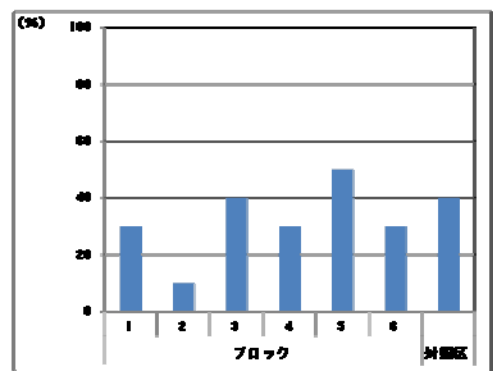


図-230 全体の被覆率(平成 25 年 8 月)

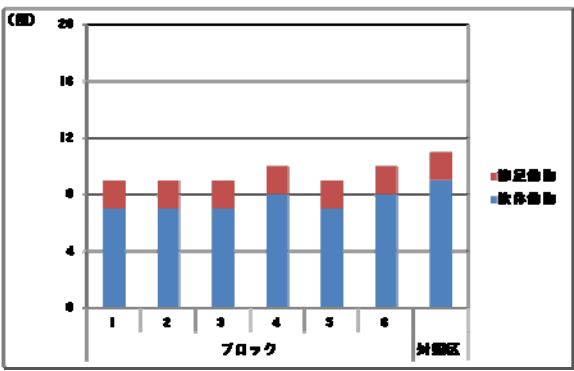


図-231 動物の出現種数(平成 25 年 8 月)

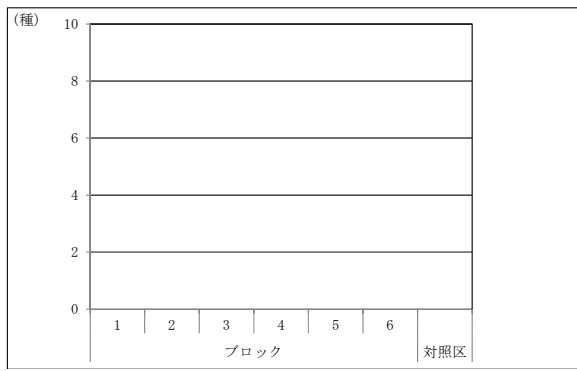


図-232 植物の出現種数(平成 25 年 8 月)

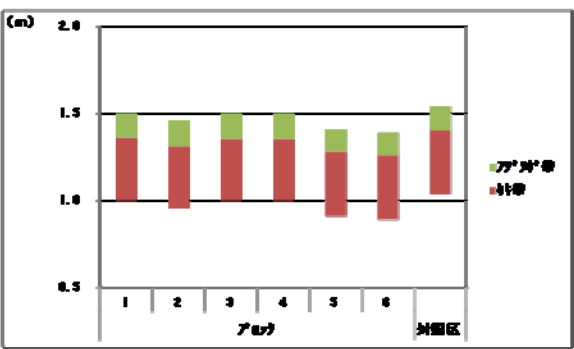


図-233 観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯のさ

表-21 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25年8月)

調査点 項目			潮間帯部						
			ブロック						対照区
			1	2	3	4	5	6	
全体の被覆率(%)			30	10	40	30	50	30	40
出現種数	動物	軟体動物	7 (77.8)	7 (77.8)	7 (77.8)	8 (80.0)	7 (77.8)	8 (80.0)	9 (81.8)
		節足動物	2 (22.2)	2 (22.2)	2 (22.2)	2 (20.0)	2 (22.2)	2 (20.0)	2 (18.2)
	合計	9 (100)	9 (100)	9 (100)	10 (100)	9 (100)	10 (100)	11 (100)	
	植物	出現なし							
主な出現種	動物	軟体動物	イシダタミ	アマガイ	イシダタミ	イシダタミ	イシダタミ	イシダタミ	シロガイ属
			アマガイ	タマキビ	アマガイ	タマキビ	アマガイ	アマガイ	タマキビ
			タマキビ	アラレタマキビ	タマキビ	アラレタマキビ	タマキビ	タマキビ	アラレタマキビ
アラレタマキビ	タマキビガイ科		アラレタマキビ	タマキビガイ科	アラレタマキビ	アラレタマキビ	タマキビガイ科		
タマキビガイ科	タマキビガイ科		タマキビガイ科	タマキビガイ科	タマキビガイ科	タマキビガイ科	タマキビガイ科		
マガキ	マガキ	マガキ	マガキ	マガキ	マガキ	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	シロスジフジツボ	—	—	

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26年1月における全体の被覆率を図-234、動物の出現種数を図-235、植物の出現種数を図-236、調査結果の概要(潮間帯部)を表-22、観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯の高さを図-237に示した。全体の被覆率は、ブロック1～6では25～50%、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7～9種、植物が0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、節足動物が出現した。植物は出現しなかった。動物の主な出現種は、ブロック1～6では軟体動物のアマガイ、アラレタマキビ、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シロガイ属、アマガイ、アラレタマキビ、マガキであった。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. 1.27～1.36 m、対照区ではD.L. 1.40mであった。なお、ブロック2は破損しているため、欠測となった。

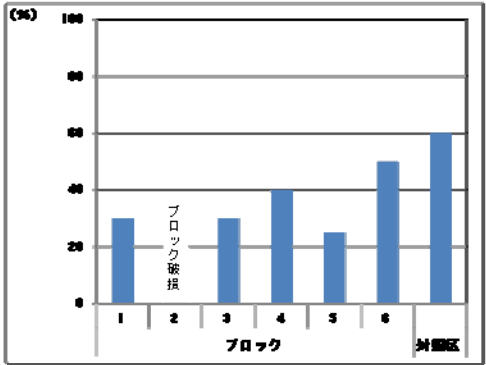


図-234 全体の被覆率(平成 26 年 1)

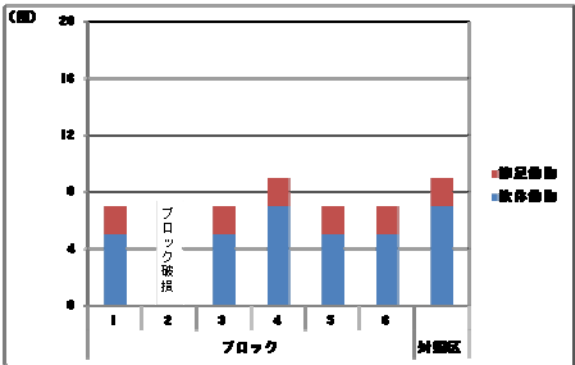


図-235 動物の出現種数(平成 26 年 1 月)

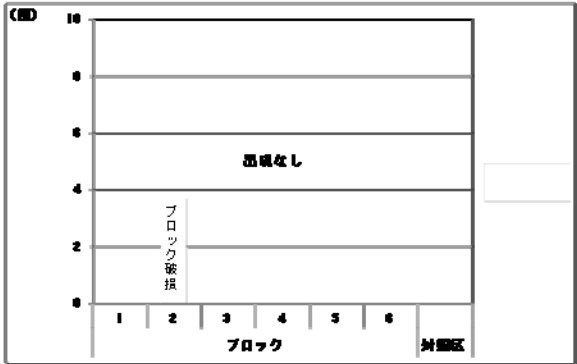


図-236 植物の出現種数(平成 26 年 1 月)

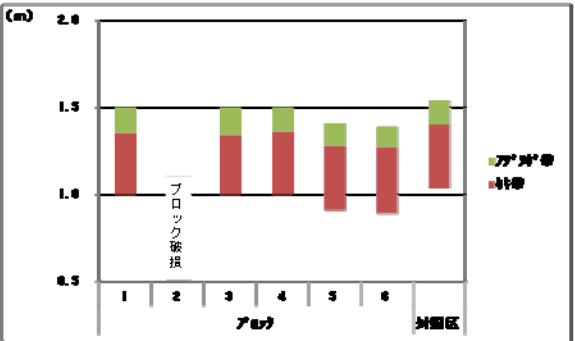


図-237 観察範囲内のフジツボ帯とカキ帯の高さ

表-22 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26年1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(%)				30	ブ ロ ッ ク 破 損	30	40	25	50	60
出現 種 数	動物	軟体動物	5 (71.4)	5 (71.4)		7 (77.8)	5 (71.4)	5 (71.4)	7 (77.8)	
		節足動物	2 (28.6)	2 (28.6)		2 (22.2)	2 (28.6)	2 (22.2)		
		合計	7 (100)	7 (100)		9 (100)	7 (100)	9 (100)		
主な 出現 種	植物		出現なし	出現なし						
		動物	アラレタマキビ マガキ	アラレタマキビ マガキ		アマガイ アラレタマキビ マガキ	アラレタマキビ マガキ	アマガイ アラレタマキビ マガキ	シロガイ属 アマガイ 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	—	—

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。

② 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-238, 出現種数(水中部:動物)を図-239, 出現種数(水中部:植物)を図-240, 調査結果の概要(水中部)を表-23 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。

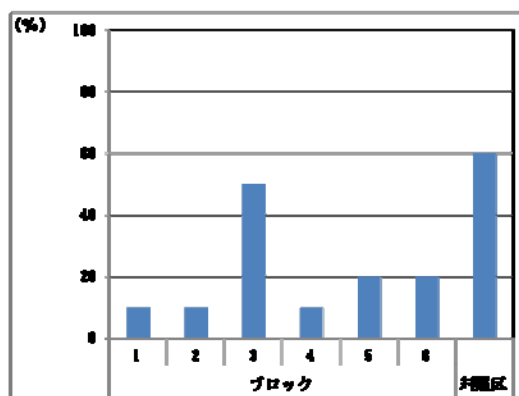


図-238 全体の被覆率(平成 24 年 4 月)

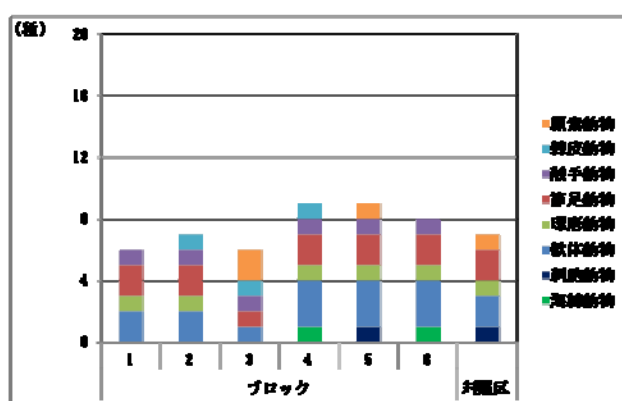


図-239 動物の出現種数(平成 24 年 4 月)

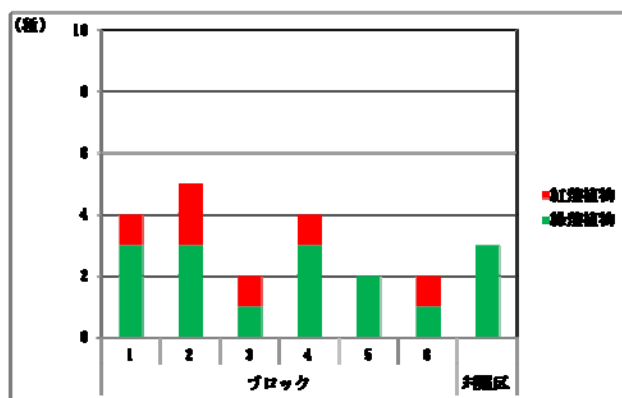


図-240 植物の出現種数(平成 24 年 4 月)

表-23 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)

調査点 項目			水中部						
			ブロック						対照区
			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-241、動物の出現種数を図-242、植物の出現種数を図-243、調査結果の概要を表-24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。

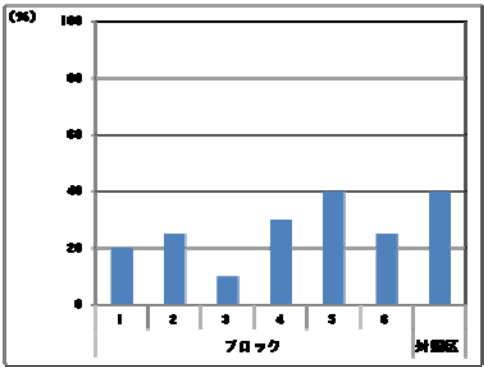


図-241 全体の被覆率(平成 24 年 11 月)

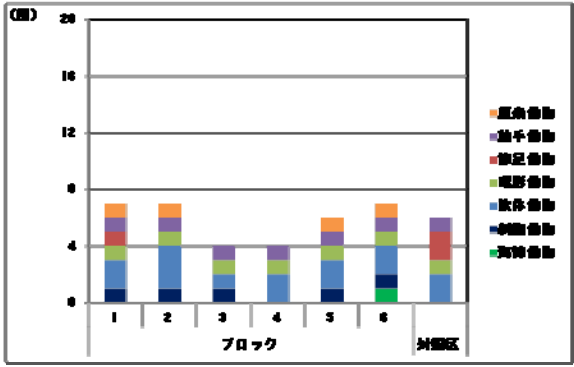


図-242 動物の出現種数(平成 24 年 11 月)

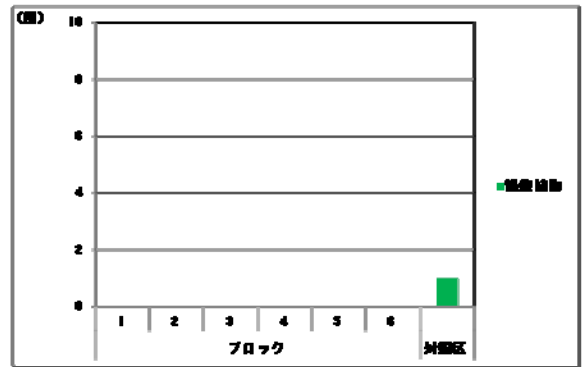


図-243 植物の出現種数 (平成24年11月)

表-24 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)

項目		調査点	水中部						
			ブロック						対照区
		1	2	3	4	5	6		
全体の被覆率 (%)		20	25	10	30	40	25	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。

平成25年8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-244、動物の出現種数を図-245、植物の出現種数を図-246、調査結果の概要を表-25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30%であった。出現種数は、ブロック1～6では動物が6～7種、植物が0種、対照区では動物が7種、植物が1種であった。動物は海綿動物、軟体動物、環形動物、節足動物、触手動物、原索動物、植物は紅藻植物が出現した。

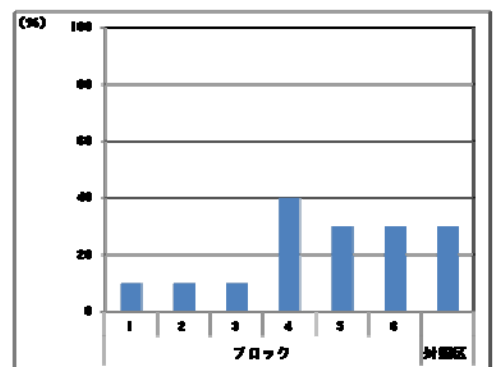


図-244 全体の被覆率 (平成 25 年 8 月)

動物の主な出現種は、ブロック1～6では海綿動物の海綿動物門、軟体動物のマガキ、原索動物のシロボヤ、対照区では軟体動物のマガキ、原索動物のホヤ綱(単体)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。

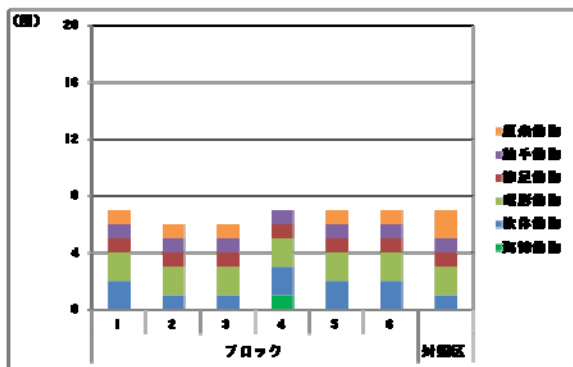


図-245 動物の出現種数(平成 25 年 8 月)

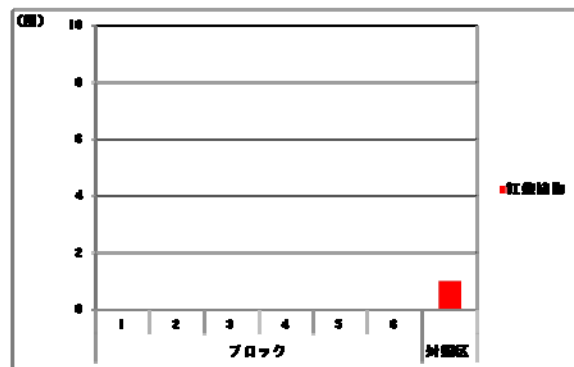


図-246 植物の出現種数(平成 25 年 8 月)

表-25 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25年8月)

調査点 項目		水中部							
		ブロック						対照区	
		1	2	3	4	5	6		
全体の被覆率(%)		10	10	10	40	30	30	30	
出現種数	動物	海綿動物	0	0	0	1 (14.3)	0	0	0
		軟体動物	2 (28.6)	1 (16.7)	1 (16.7)	2 (28.6)	2 (28.6)	2 (28.6)	1 (14.3)
		環形動物	2 (28.6)	2 (33.3)	2 (33.3)	2 (28.6)	2 (28.6)	2 (28.6)	2 (28.6)
		節足動物	1 (14.3)	1 (16.7)	1 (16.7)	1 (14.3)	1 (14.3)	1 (14.3)	1 (14.3)
		触手動物	1 (14.3)	1 (16.7)	1 (16.7)	1 (14.3)	1 (14.3)	1 (14.3)	1 (14.3)
		原索動物	1 (14.3)	1 (16.7)	1 (16.7)	0	1 (14.3)	1 (14.3)	2 (28.6)
		合計	7 (100)	6 (100)	6 (100)	7 (100)	7 (100)	7 (100)	7 (100)
	植物	紅藻植物	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	海綿動物	—	—	—	海綿動物門	—	—	—
		軟体動物	—	—	—	マガキ	マガキ	マガキ	マガキ
		原索動物	シロボヤ	—	—	—	シロボヤ	—	ホヤ綱(単体)
	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。

平成26年1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-247、動物の出現種数を図-248、植物の出現種数を図-249、調査結果の概要を表-26に示した。全体の被覆率は、ブロック1～6では10～30%、対照区では20%であった。出現種数は、ブロック1～6では動物が5～9種、植物が1種、対照区では動物が4種、植物が0種であった。動物は刺胞動物、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、環形動物のカンザシゴカイ科、節足動物のアメリカフジツボ、ヤドカリ亜目、対照区では軟体動物のマガキであった。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は落下転倒しているため、他のブロックと生物の付着状況が異なっていた。

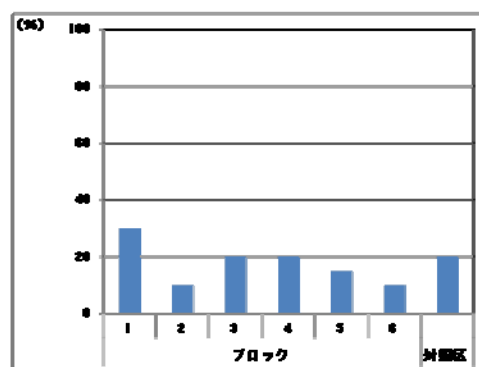


図-247 全体の被覆率(平成 26 年 1 月)

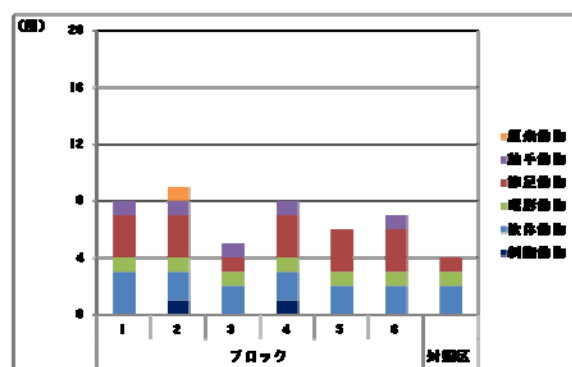


図-248 動物の出現種数(平成 26 年 1 月)

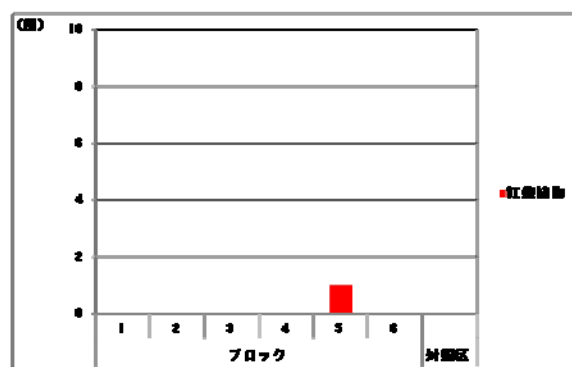


図-249 植物の出現種数(平成26年1月)

表-26 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26年1月)

項目 \ 調査点		水中部													
		ブロック						対照区							
1		2		3		4			5		6				
全体の被覆率(%)		30		10		20		20		15		10		20	
出現種数	動物	刺胞動物	0	1 (11.1)	0	1 (12.5)	0	0	0	0					
		軟体動物	3 (37.5)	2 (22.2)	2 (40.0)	2 (25.0)	2 (33.3)	2 (28.6)	2 (50.0)						
		環形動物	1 (12.5)	1 (11.1)	1 (20.0)	1 (12.5)	1 (16.7)	1 (14.3)	1 (25.0)						
		節足動物	3 (37.5)	3 (33.3)	1 (20.0)	3 (37.5)	3 (50.0)	3 (42.9)	1 (25.0)						
		触手動物	1 (12.5)	1 (11.1)	1 (20.0)	1 (12.5)	0	1 (14.3)	0						
		原索動物	0	1 (11.1)	0	0	0	0	0						
		合計	8 (100)	9 (100)	5 (100)	8 (100)	6 (100)	7 (100)	4 (100)						
	植物	紅藻植物	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	—	—	—	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	—	—	—	—						
		節足動物	アメリカフジツボ	—	—	ヤドカリ亜目	—	—	—						
	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。

③ 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-250、動物の出現種数を図-251、植物の出現種数を図-252、付着状況を図-253に示した。全体の被覆率は、ブロック1～6では10～90%、対照区では40～70%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9～11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、イシダタミ、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シロガイ属、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、平成26年1月調査時のブロック2は破損しているため、欠測となった。

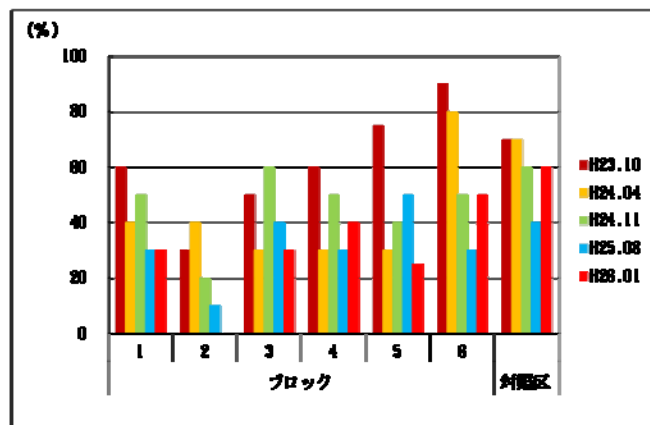


図-250 全体の被覆率の経年変化

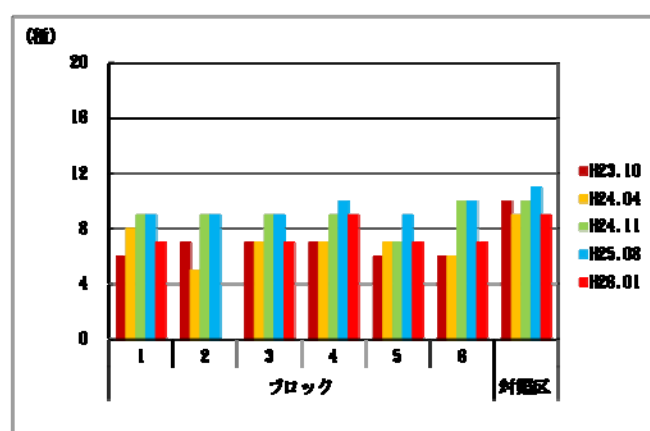


図-251 動物の出現種数の経年変化

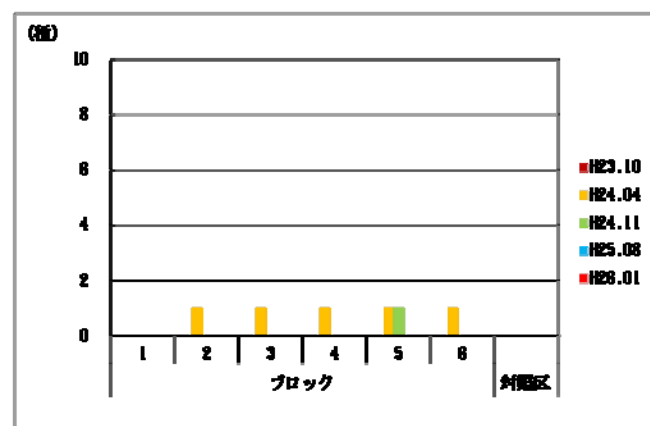
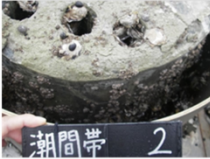
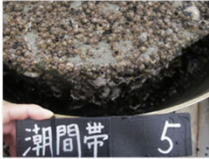
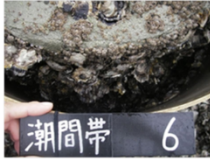
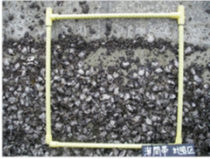
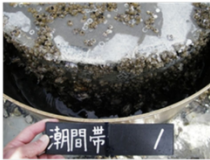
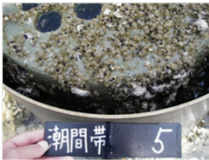
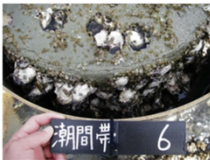
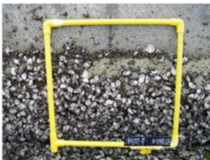
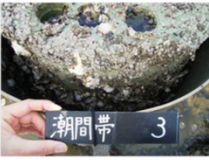
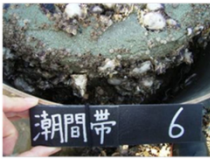
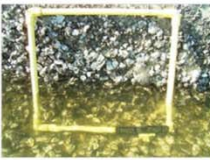
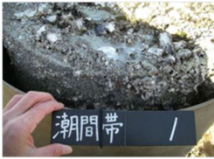
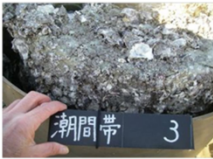
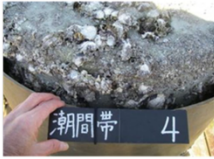
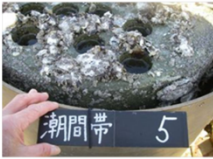
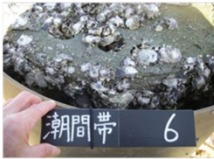


図-252 植物の出現種数の経年変化

		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							
	主な出現生物種	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							
	主な出現生物種	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							
	主な出現生物種	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
平成25年8月	付着状況							
	主な出現生物種	イシダタミ 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 シロスジフジツボ	アマガイ タマキビ アラレタマキビ タマキビガイ科 シロスジフジツボ	イシダタミ 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	イシダタミ タマキビ 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	イシダタミ 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 シロスジフジツボ	イシダタミ 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	シロガイ属 タマキビ アラレタマキビ タマキビガイ科 マガキ

注) 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。

図-253(1) 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

		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26年1月	付着状況							
	主な出現生物種	アラレタマキビ マガキ シロスジフジツボ	ブロック破損	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 マガキ シロスジフジツボ	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 マガキ	シロガイ属 アマガイ アラレタマキビ マガキ

注) 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。

図-253 (2) 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-254、動物の出現種数を図-255、植物の出現種数を図-256、付着状況を図-257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4～7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では海綿動物の海綿動物門、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、アメリカフジツボ、ヤドカリ亜目、原索動物のユウレイボヤ科、シロボヤ、対照区では軟体動物のナミマガシワ科、マガキ、原索動物のホヤ綱(単体)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は落下転倒しているため、他のブロックと生物の付着状況が異なっていた。

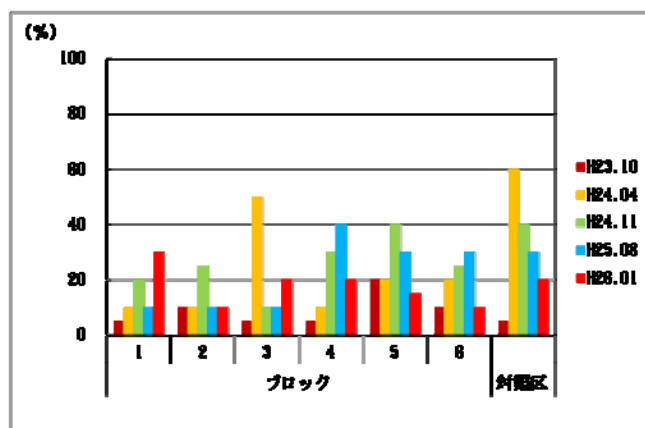


図-254 全体の被覆率の経年変化

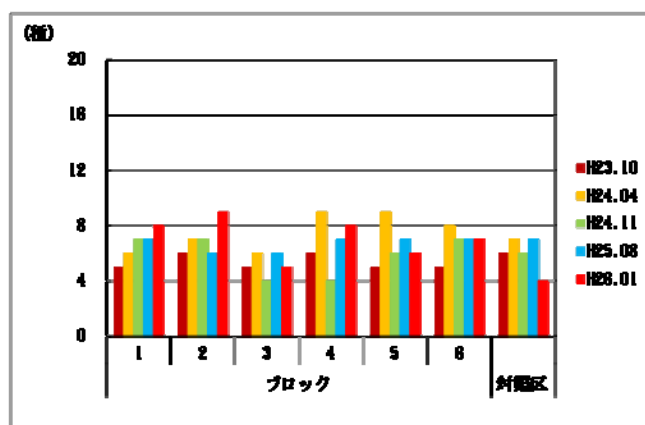


図-255 動物の出現種数の経年変化

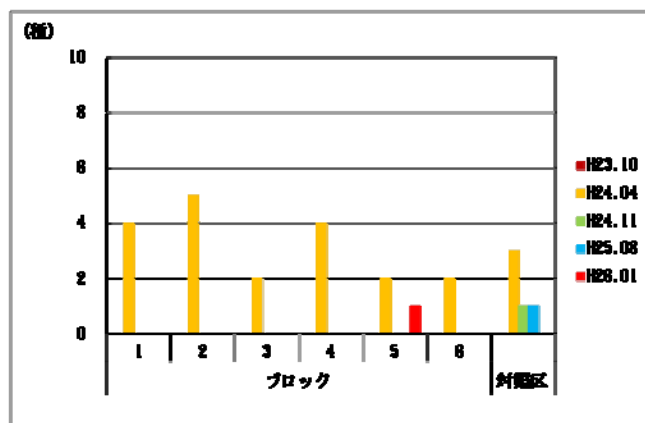
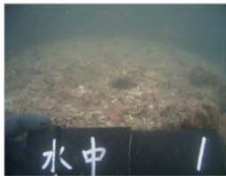
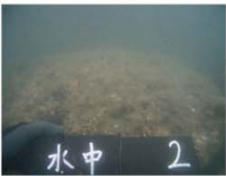
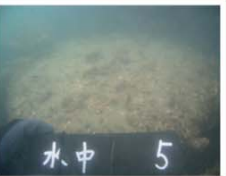
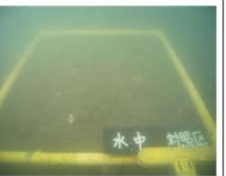
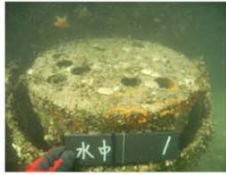
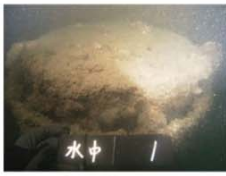
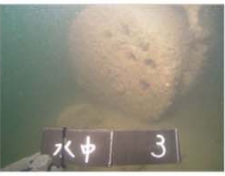
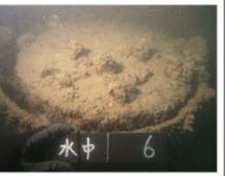
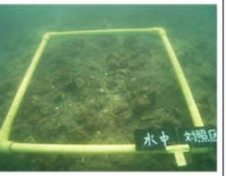
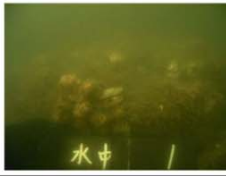
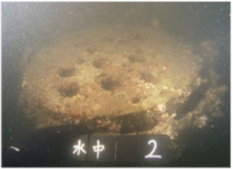
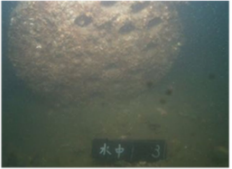
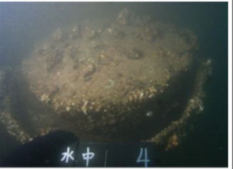
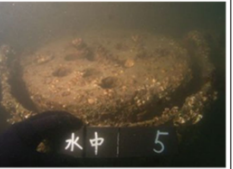
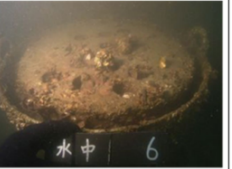
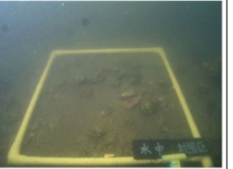


図-256 植物の出現種数の経年変化

	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	タテジマフジツボ	タテジマフジツボ	タテジマフジツボ (ブロック落下転倒)	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	ナミマガシワ科
平成24年4月							
付着状況							
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 (ブロック落下転倒)	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	ナミマガシワ科 アオノリ属
平成24年11月							
付着状況							
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 (ブロック落下転倒)	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	ナミマガシワ科 マガキ
平成25年8月							
付着状況							
主な出現種	シロボヤ	—	— (ブロック落下転倒)	海綿動物門 マガキ	マガキ シロボヤ	マガキ	マガキ ホヤ綱(単体)

注) 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。

図-257(1) 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

		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 26年 1月	付着 状況							
	主な 出現 種	アメリカフジツボ	—	カンザシゴカイ科 (ブロック落下転倒)	ナミマガシワ科 マガキ ヤドカリ亜目	ナミマガシワ科	—	マガキ

注) 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。

図-257(2) 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

6. 主成分分析によるスラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さ予測フローの提案

6. 1 小型脱水固化装置実験結果に基づく主成分分析

第3章より、スラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さは、母材、スラグ混合率、石灰混合率、脱水圧力および水スラグ石灰重量比など、複数の指標に影響を受けることが明らかとなった。そこで本節では、スラグ石灰混合浚渫土の強度推定および高強度化に影響する要因分析を行うために、一軸圧縮強さとスラグ石灰混合浚渫土の物理特性および作成条件のうち、22変数を設定し、2変数間の相関係数の把握および主成分分析を行った。

(1) 各変量について

強度分析に用いる変量のデータは第3章末尾の表-8および表-9であり、さらに加える変数を表-27に示す。

表-27(a) 強度分析に加える変数のデータ

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	脱水圧力(MPa)	ps(g/cm3)	S _c (%)	F _c (%)	P _c (%)	U _c	U' _c
1	15.00	4.00	5.00	2.69	41.00	59.00	21.63	49.19	0.53
2				2.69	41.00	59.00	21.63	49.19	0.53
3				2.69	41.00	59.00	21.63	49.19	0.53
4	30.00	4.00	5.00	2.71	36.41	63.59	23.78	45.36	0.65
5				2.71	36.41	63.59	23.78	45.36	0.65
6				2.71	36.41	63.59	23.78	45.36	0.65
7	45.00	4.00	5.00	2.73	32.74	67.26	25.49	42.29	0.74
8	15.00	10.00	5.00	2.67	39.03	60.97	22.99	47.04	0.57
9				2.67	39.03	60.97	22.99	47.04	0.57
10				2.67	39.03	60.97	22.99	47.04	0.57
11	30.00	10.00	5.00	2.69	34.85	65.15	24.90	43.60	0.67
12	45.00	10.00	5.00	2.71	31.48	68.52	26.44	40.83	0.75
13	15.00	15.00	5.00	2.65	37.53	62.47	24.03	45.40	0.59
14	30.00	15.00	5.00	2.68	33.65	66.35	25.77	42.25	0.69
15	45.00	15.00	5.00	2.70	30.49	69.51	27.18	39.69	0.77
16	15.00	4.00	10.00	2.69	41.00	59.00	21.63	49.19	0.53
17				2.69	41.00	59.00	21.63	49.19	0.53
18				2.69	41.00	59.00	21.63	49.19	0.53
19	30.00	4.00	10.00	2.71	36.41	63.59	23.78	45.36	0.65
20				2.71	36.41	63.59	23.78	45.36	0.65
21	45.00	4.00	10.00	2.73	32.74	67.26	25.49	42.29	0.74
22				2.73	32.74	67.26	25.49	42.29	0.74
23				2.73	32.74	67.26	25.49	42.29	0.74
24	15.00	10.00	10.00	2.67	39.03	60.97	22.99	47.04	0.57
25				2.67	39.03	60.97	22.99	47.04	0.57
26				2.67	39.03	60.97	22.99	47.04	0.57
27	30.00	10.00	10.00	2.69	34.85	65.15	24.90	43.60	0.67
28				2.69	34.85	65.15	24.90	43.60	0.67
29				2.69	34.85	65.15	24.90	43.60	0.67
30	45.00	10.00	10.00	2.71	31.48	68.52	26.44	40.83	0.75
31	15.00	15.00	10.00	2.65	37.53	62.47	24.03	45.40	0.59
32				2.65	37.53	62.47	24.03	45.40	0.59
33				2.65	37.53	62.47	24.03	45.40	0.59
34	30.00	15.00	10.00	2.68	33.65	66.35	25.77	42.25	0.69
35				2.68	33.65	66.35	25.77	42.25	0.69
36				2.68	33.65	66.35	25.77	42.25	0.69
37	45.00	15.00	10.00	2.70	30.49	69.51	27.18	39.69	0.77
38	36.00	4.00	10.00	2.72	34.85	65.15	24.51	44.05	0.68
39	45.00	5.00	10.00	2.73	32.53	67.47	25.65	42.04	0.74
40				2.73	32.53	67.47	25.65	42.04	0.74
41	54.00	6.00	10.00	2.73	30.49	69.51	26.66	40.28	0.79
42	28.00	12.00	10.00	2.68	34.85	65.15	25.03	43.45	0.66

表-27(b) 強度分析に加える変数のデータ

No.	スラグ混合率(%)	石灰混合率(%)	脱水圧力(MPa)	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$S_c(\%)$	$F_c(\%)$	$P_c(\%)$	U_c	U'_c
43	15.00	15.00	10.00	2.65	37.53	62.47	24.03	45.40	0.59
44				2.65	37.53	62.47	24.03	45.40	0.59
45				2.65	37.53	62.47	24.03	45.40	0.59
46	25.00	25.00	10.00	2.64	32.53	67.47	26.88	40.64	0.69
47				2.64	32.53	67.47	26.88	40.64	0.69
48				2.64	32.53	67.47	26.88	40.64	0.69
49	30.00	30.00	10.00	2.63	30.49	69.51	28.04	38.70	0.74
50	18.00	2.00	10.00	2.71	40.66	59.34	21.64	49.08	0.55
51				2.71	40.66	59.34	21.64	49.08	0.55
52				2.71	40.66	59.34	21.64	49.08	0.55
53	10.00	10.00	10.00	2.66	40.66	59.34	22.25	48.38	0.52
54				2.66	40.66	59.34	22.25	48.38	0.52
55				2.66	40.66	59.34	22.25	48.38	0.52
56	2.00	18.00	10.00	2.62	40.66	59.34	22.86	47.68	0.50
57				2.62	40.66	59.34	22.86	47.68	0.50
58				2.62	40.66	59.34	22.86	47.68	0.50
59	27.00	3.00	10.00	2.72	37.53	62.47	23.18	46.37	0.62
60				2.72	37.53	62.47	23.18	46.37	0.62
61				2.72	37.53	62.47	23.18	46.37	0.62
62	21.00	9.00	10.00	2.68	37.53	62.47	23.61	45.89	0.61
63	3.00	27.00	10.00	2.59	37.53	62.47	24.88	44.43	0.56
64	20.00	20.00	10.00	2.64	34.85	65.15	25.56	42.85	0.65
65	4.00	36.00	10.00	2.57	34.85	65.15	26.61	41.65	0.61
66	5.00	45.00	10.00	2.55	32.53	67.47	28.11	39.23	0.65
67	6.00	54.00	10.00	2.53	30.49	69.51	29.42	37.12	0.68
68	9.00	21.00	10.00	2.62	37.53	62.47	24.46	44.92	0.57
69				2.62	37.53	62.47	24.46	44.92	0.57
70				2.62	37.53	62.47	24.46	44.92	0.57
71	12.00	28.00	10.00	2.61	34.85	65.15	26.08	42.25	0.63
72	15.00	20.00	5.00	2.64	3.56	96.44	49.66	5.74	0.89
73				2.64	3.56	96.44	49.66	5.74	0.89
74				2.64	3.56	96.44	49.66	5.74	0.89
75			10.00	2.64	3.56	96.44	49.66	5.74	0.89
76				2.64	3.56	96.44	49.66	5.74	0.89
77	30.00	10.00	5.00	2.70	3.43	96.57	48.69	6.82	0.93
78				2.70	3.43	96.57	48.69	6.82	0.93
79			10.00	2.70	3.43	96.57	48.69	6.82	0.93
80				2.70	3.43	96.57	48.69	6.82	0.93
81		20.00	5.00	2.67	3.20	96.80	48.78	6.66	0.95
82				2.67	3.20	96.80	48.78	6.66	0.95
83			10.00	2.67	3.20	96.80	48.78	6.66	0.95
84				2.67	3.20	96.80	48.78	6.66	0.95
85				2.67	3.20	96.80	48.78	6.66	0.95

ρ_s は母材、スラグおよび石灰の配合による密度を表す。 S_c は砂分含有率、 F_c は細粒分含有率、 P_c は粘土分含有率、 U_c は均等係数および U'_c は曲率係数である。

スラグ石灰混合浚渫土の強度分析を行うさいに用いる 21 変数と一軸圧縮強さの相関係数を表-28 に示す。

表-28 一軸圧縮強さと各変数の相関

No.	変数	相関係数
1	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	0.15
2	$S_c(\%)$	-0.73
3	$F_c(\%)$	0.73
4	$P_c(\%)$	0.69
5	U_c	-0.70
6	U'_c	0.85
7	スラグ混合率(%)	0.56
8	石灰混合率(%)	0.17
9	含水比(%)	0.68
10	浚渫土含有率(%)	-0.72
11	湿潤密度(g/cm^3)	-0.22
12	乾燥密度(g/cm^3)	-0.53
13	水スラグ石灰重量比	0.42
14	水スラグ重量比	-0.11
15	水石灰重量比	0.07
16	脱水圧力(MPa)	-0.21
17	スラグ石灰水重量比	-0.37
18	スラグ水重量比	-0.10
19	石灰水重量比	-0.32
20	間隙比 e	0.56
21	実験前石灰水重量比	0.00

表-28 より、正の相関では、曲率係数 U'_c 、細粒分含有率 F_c および粘土分含有率 P_c の相関が大きく、0.85、0.73 および 0.69 となった。また、負の相関では砂分含有率 S_c 、浚渫土含有率および均等係数 U_c の相関が大きく、-0.73、-0.72 および -0.70 となった。しかし、相関係数が 0.7 以上の変数が多いことから、スラグ石灰混合浚渫土の高強度化は、試料の様々な物理特性や作製条件の影響を受けると考えられ、より精度のよい強度推定をするためには、2 変数以上の指標を用いて強度評価をする必要があると考えられる。

(2) 主成分分析結果

表-28 の結果より、スラグ石灰混合浚渫土の 21 変数で主成分分析を行った。主成分分析の結果を表-29 に示す。

表-29 主成分分析

	成分			
	1	2	3	4
累積寄与率(%)	39.22	72.10	86.85	93.86
成分行列				
ρ_s	0.43	-0.89	0.06	-0.04
S_c	-0.91	-0.40	-0.11	0.09
F_c	0.91	0.40	0.11	-0.09
P_c	0.73	0.67	0.08	-0.07
U_c	-0.80	-0.59	-0.09	0.08
U'_c	0.98	0.11	0.11	-0.10
スラグ混合率	0.90	-0.37	0.12	-0.10
石灰混合率	-0.04	0.98	-0.02	-0.01
含水比	0.56	0.34	0.70	0.23
浚渫土含有率	-0.91	-0.40	-0.11	0.09
湿潤密度	0.84	-0.09	0.20	0.46
乾燥密度	0.57	-0.49	-0.48	0.41
水スラグ石灰重量比	-0.49	-0.10	0.76	0.38
水スラグ重量比	-0.52	0.66	0.02	-0.12
水石灰重量比	0.32	-0.70	0.23	-0.04
脱水圧力	0.05	0.24	-0.51	0.60
スラグ石灰水重量比	0.40	0.04	-0.83	-0.36
スラグ水重量比	0.56	-0.69	-0.39	-0.20
石灰水重量比	-0.34	0.89	-0.25	-0.06
間隙比 e	-0.26	-0.33	0.66	-0.54
実験前石灰水比	-0.14	0.98	-0.03	0.01

表-29 より、各成分の累積寄与率から、第 1 主成分から第 4 主成分で元の全変数がもつ情報のおよそ 90%を評価可能である。各主成分の大きい変数に着目すると、第 1 主成分は、 U'_c 、 S_c および F_c との相関が強く、これはスラグ石灰混合浚渫土の粒度による特性を示す指標であるといえる。第 2 主成分は、石灰混合率および実験前石灰水比などと相関が強く、これは石灰によるアルカリ刺激力を示す指標であるといえる。第 3 主成分は、スラグ石灰水重量比および水スラグ石灰重量比などと相関が強く、これは高炉スラグ微粉末の固化特性を示す指標であるといえる。さらに、第 4 主成分では、脱水圧力、間隙比および湿潤密度と相関が強く、これはスラグ石灰混合浚渫土の骨格の強度を示す指標であるといえる。

(3) 一軸圧縮強さ予測式の設定

前節から、 F_c 、石灰混合率、スラグ石灰水重量比および間隙比の4つの説明変数を選択し、一軸圧縮強さに対して重回帰分析による強度推定が有効であると判断した。得られた重回帰式(12)を以下に示す。

$$q_u = -22.17 + 0.88 \times F_c - 0.10 \times \text{石灰混合率} \\ - 0.96 \times \text{スラグ石灰水重量比} - 48.55 \times \text{間隙比} e \quad (12)$$

式(12)で得られた一軸圧縮強さの重回帰式は重相関が0.83となり、強い相関を得た。右辺の各変数を重回帰分析および土質力学的観点から求めることで、一軸圧縮強さ q_u の予測をすることができる。

6. 2 小型脱水固化装置に基づく各変量の推定

式(12)で求めたスラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さの重回帰式の右辺の変数の推定を行った。

まず、 F_c については、母材の粒度試験により、母材の粒度分布を把握する。また、配合に用いるスラグと石灰の混合率を決定することで、 F_c については容易に求めることができる。

次に石灰混合率も同様に配合条件を決定すると分かる。

スラグ石灰水重量比および間隙比については重回帰分析を行った。

(1) スラグ石灰水重量比の推定

スラグ石灰水重量比は、水スラグ石灰重量比の逆数であり、水の重量とスラグおよび石灰の重量の和の比で示す。式は第3章の式(9)に示す。また第3章の表-8および表-9に示す含水比 w とは、養生28日後の供試体に含まれる水の重量と母材、スラグおよび石灰の重量の乾燥重量の和の比で表すことから、式(9)を以下の式(13)のように示すことができる。

$$\text{スラグ石灰水重量比} = \frac{(\text{スラグ混合率} + \text{石灰混合率}) / (1 + \frac{\text{スラグ混合率} + \text{石灰混合率}}{100})}{\text{含水比} w} \quad (13)$$

含水比 w は F_c 、スラグ混合率、石灰混合率および脱水圧力を用い、重回帰分析を行い、式(14)を得た。

$$\text{含水比} w = -16.91 + 0.48 \times F_c - 0.21 \times 10^{-1} \times \text{スラグ混合率} \\ + 0.15 \times 10^{-1} \times \text{石灰混合率} - 0.46 \times \text{脱水圧力} \quad (14)$$

重相関は0.96で強い相関が得られた。

(2) 間隙比の推定

間隙比 e は土質力学の粘土の圧密特性より **式 (15)** で示される。

$$\text{間隙比 } e = e_0 - \log_{10}(\text{脱水圧力}) \quad (15)$$

初期間隙比 e_0 および圧縮指数 C_c について F_c 、スラグ混合率、石灰混合率を用いて重回帰分析を行い、**式 (16)** および **式 (17)** を得た。

$$\begin{aligned} \text{初期間隙比 } e_{10} = & -0.37 + 0.18 \times 10^{-1} \times F_c - 0.67 \times 10^{-2} \times \text{スラグ混合率} \\ & - 0.84 \times 10^{-2} \times \text{石灰混合率} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \text{圧縮指数 } C_c = & -0.10 + 0.60 \times 10^{-2} \times F_c - 0.38 \times 10^{-2} \times \text{スラグ混合率} \\ & - 0.48 \times 10^{-2} \times \text{石灰混合率} \end{aligned} \quad (17)$$

初期間隙比 e_0 および圧縮指数 C_c の重回帰式の重相関はそれぞれ 0.99 および 0.88 となり、強い相関を得た。

6. 3 一軸圧縮強さ予測フローの提案

6. 1 および 6. 2 で得られたスラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さとその他の変数の関係性および重回帰式の結果より、スラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さの予測フローを提案する。

(1) 一軸圧縮強さ予測フローの作製

得られた重回帰式から作成したスラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さの予測フローを図-258 に示す。

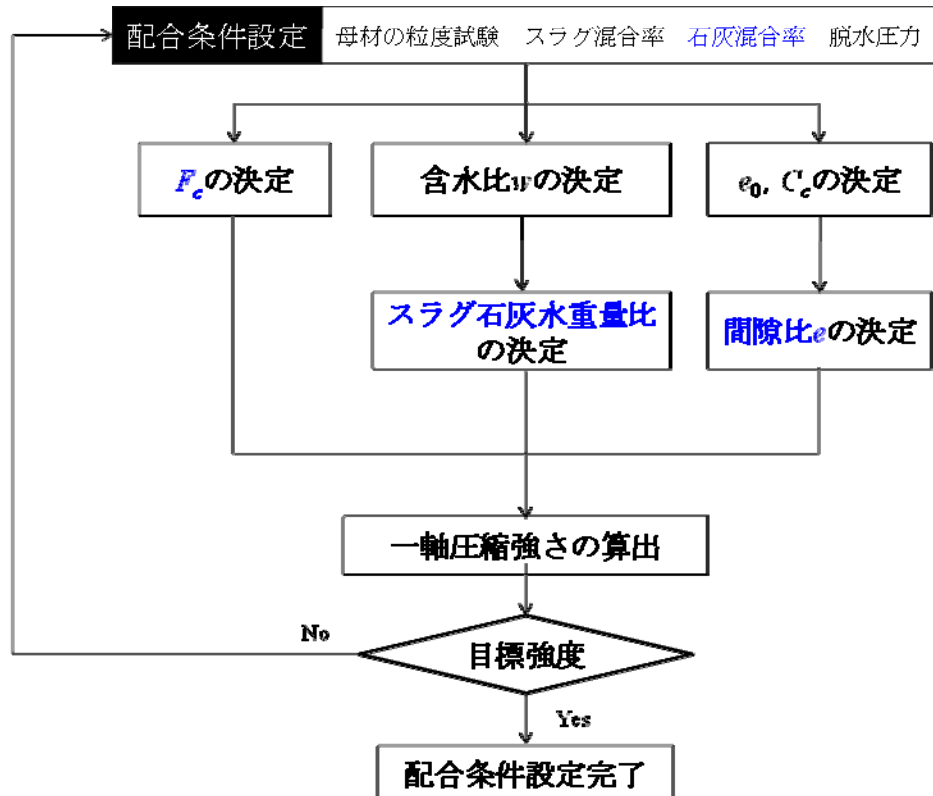


図-258 一軸圧縮強さ予測フロー

スラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さの予測フローでは、まず、配合条件を設定する。図のように母材の粒度試験によって得られた粒度分布、配合するスラグ混合率、石灰混合率および脱水圧力を設定する。そして、式(13)~式(17)により、式(12)の各変数が求まり、一軸圧縮強さが算出される。その予測された一軸圧縮強さが目標強度に達していれば、配合条件の設定完了となる。

(2) 一軸圧縮強さ予測フローの精度

図-258 のフローから求められたスラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さの予測値と実測値の関係を図-259 に示す。また、各配合の予測値と実測値の関係を表-30 に示す。

図-259 より、ばらつきはあるが、予測値と実測値の差がほとんど $\pm 5\text{MPa}$ 内に収まった。また、収まらなかった値はほぼ予測値より実測値の方が大きく値が出た場合であり、スラグ石灰混合浚渫土の高強度化という名目ならば、考慮できる予測エラーであるといえる。さらに、予測値と実測値の相関は0.81と強い相関が得られたので、スラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さ予測フローの精度は十分であると考えられる。

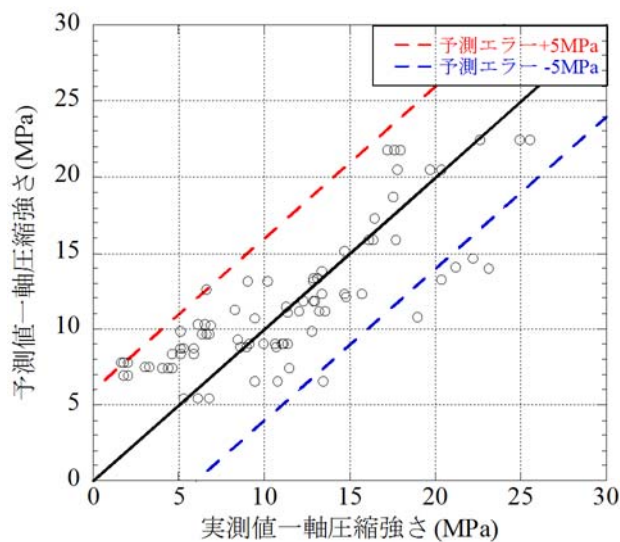


図-259 予測値と実測値の関係

表-30(a) 予測値と実測値の比較

No.	母材	スラグ混合率 (%)	石灰混合率 (%)	脱水圧力 (MPa)	F_c (%)	予測スラグ石灰水 重量比	スラグ石灰水 重量比誤差	予測間隙比 e	e 誤差	予測 qu	qu 誤差
1	博多港土砂	15.00	4.00	5.00	59.00	1.74	-0.50	0.46	-0.02	5.50	0.22
2						1.74	-0.46	0.46	-0.01	5.50	-0.56
3						1.74	-0.35	0.46	0.00	5.50	-1.27
4		30.00	4.00	5.00	63.59	2.29	-0.15	0.47	-0.01	8.80	-0.08
5						2.29	-0.32	0.47	0.01	8.80	0.24
6						2.29	-0.23	0.47	0.01	8.80	-1.86
7		45.00	4.00	5.00	67.26	2.63	-0.63	0.46	0.00	12.13	-2.65
8						1.96	0.03	0.46	0.01	6.56	-4.20
9						1.96	-0.04	0.46	0.00	6.56	-2.82
10		15.00	10.00	5.00	60.97	1.96	0.03	0.46	0.02	6.56	-6.88
11						2.40	-0.32	0.46	0.00	9.90	-2.87
12						2.68	-0.09	0.44	-0.04	13.22	-7.13
13		15.00	15.00	5.00	62.47	2.10	-0.20	0.45	0.00	7.47	-3.93
14		30.00	15.00	5.00	66.35	2.47	-0.10	0.45	0.00	10.81	-8.07
15		45.00	15.00	5.00	69.51	2.72	-0.22	0.43	0.01	14.12	-7.03
16		15.00	4.00	10.00	59.00	2.32	-1.63	0.41	-0.02	7.50	4.29
17						2.32	-1.80	0.41	-0.01	7.50	4.25
18						2.32	-1.70	0.41	-0.02	7.50	4.47
19		30.00	4.00	10.00	63.59	2.89	-1.26	0.42	0.00	10.36	4.31
20						2.89	-1.43	0.42	0.02	10.36	3.90
21						3.21	0.12	0.42	0.00	13.20	3.07
22		45.00	4.00	10.00	67.26	3.21	-0.02	0.42	0.01	13.20	4.20
23						3.21	0.18	0.42	0.00	13.20	0.35
24						2.53	-0.93	0.41	-0.01	8.34	3.29
25		15.00	10.00	10.00	60.97	2.53	-1.47	0.41	0.01	8.34	2.52
26						2.53	-0.72	0.41	0.00	8.34	3.24
27						2.97	0.13	0.42	0.00	11.20	-0.82
28		30.00	10.00	10.00	65.15	2.97	0.05	0.42	0.00	11.20	-2.30
29						2.97	0.11	0.42	0.00	11.20	-1.96
30						3.24	0.18	0.42	0.00	14.00	-9.12
31		15.00	15.00	10.00	62.47	2.65	0.08	0.41	0.00	9.04	-0.89
32						2.65	0.19	0.41	0.01	9.04	-2.03
33						2.65	0.21	0.41	0.01	9.04	-1.55
34		30.00	15.00	10.00	66.35	3.02	-0.47	0.42	0.01	11.89	-0.91
35						3.02	-0.15	0.42	0.00	11.89	-0.35
36						3.02	-0.08	0.42	0.00	11.89	-1.03
37		45.00	15.00	10.00	69.51	3.26	0.02	0.41	-0.01	14.66	-7.55
38		36.00	4.00	10.00	65.15	3.04	0.80	0.42	-0.03	11.51	0.28
39		45.00	5.00	10.00	67.47	3.22	0.17	0.42	0.00	13.34	0.52
40						3.22	0.13	0.42	-0.01	13.34	0.22
41		54.00	6.00	10.00	69.51	3.36	0.38	0.42	-0.05	15.12	0.43
42		28.00	12.00	10.00	65.15	2.95	0.64	0.42	-0.02	11.10	-0.25

表-30(b) 予測値と実測値の比較

No.	母材	スラグ混合率 (%)	石灰混合率 (%)	脱水圧力 (MPa)	F_c (%)	予測スラグ石灰水 重量比	スラグ石灰水 重量比誤差	予測間隙比 e	e 誤差	予測 qu	qu 誤差
43	博多港土砂	15.00	15.00	10.00	62.47	2.65	0.35	0.41	0.00	9.04	-0.07
44						2.65	0.51	0.41	0.00	9.04	-2.31
45						2.65	0.52	0.41	0.00	9.04	-1.94
46		25.00	25.00	10.00	67.47	3.01	0.02	0.41	0.01	12.30	-3.36
47						3.01	0.20	0.41	-0.01	12.30	-2.38
48						3.01	0.30	0.41	0.01	12.30	-1.00
49		30.00	30.00	10.00	69.51	3.12	0.30	0.40	-0.02	13.87	0.51
50		18.00	2.00	10.00	59.34	2.40	-0.08	0.41	-0.03	7.79	5.81
51						2.40	0.07	0.41	-0.03	7.79	6.05
52						2.40	-0.12	0.41	-0.03	7.79	6.21
53		10.00	10.00	10.00	59.34	2.30	0.59	0.41	-0.03	7.39	2.79
54						2.30	0.64	0.41	-0.03	7.39	3.38
55						2.30	0.63	0.41	-0.05	7.39	3.07
56		2.00	18.00	10.00	59.34	2.22	-0.18	0.40	-0.05	6.98	5.00
57						2.22	-0.18	0.40	-0.06	6.98	5.23
58						2.22	-0.27	0.40	-0.05	6.98	4.96
59		27.00	3.00	10.00	62.47	2.79	0.60	0.42	-0.02	9.65	2.92
60						2.79	0.31	0.42	0.01	9.65	3.33
61						2.79	0.70	0.42	-0.05	9.65	3.07
62		21.00	9.00	10.00	62.47	2.71	0.75	0.42	-0.02	9.35	0.94
63		3.00	27.00	10.00	62.47	2.52	-0.39	0.40	-0.01	8.42	3.81
64		20.00	20.00	10.00	65.15	2.86	-0.02	0.41	-0.01	10.69	1.23
65		4.00	36.00	10.00	65.15	2.70	-0.77	0.40	0.01	9.85	4.79
66		5.00	45.00	10.00	67.47	2.82	-0.64	0.39	-0.02	11.24	2.98
67		6.00	54.00	10.00	69.51	2.91	-0.42	0.38	-0.05	12.59	5.99
68		9.00	21.00	10.00	62.47	2.58	0.58	0.41	-0.06	8.73	2.92
69						2.58	0.43	0.41	-0.03	8.73	3.61
70						2.58	0.34	0.41	-0.02	8.73	3.50
71		12.00	28.00	10.00	65.15	2.78	0.34	0.41	-0.01	10.27	3.41
72	関門粘土	15.00	20.00	5.00	96.44	0.94	0.15	0.91	-0.04	15.93	-1.72
73						0.94	0.09	0.91	-0.03	15.93	-0.19
74						0.94	0.07	0.91	0.04	15.93	-0.43
75				10.00	96.44	1.03	-0.08	0.81	-0.05	20.55	0.85
76						1.03	-0.02	0.81	0.03	20.55	2.81
77						1.03	-0.12	0.81	0.07	20.55	0.20
78		30.00	10.00	5.00	96.57	1.05	0.08	0.90	0.01	17.30	0.84
79				10.00	96.57	1.15	0.02	0.81	-0.09	21.79	3.84
80						1.15	0.00	0.81	0.04	21.79	4.24
81						1.15	0.02	0.81	0.03	21.79	4.65
82			20.00	5.00	96.80	1.22	0.10	0.86	0.00	18.67	1.17
83				10.00	96.80	1.33	-0.26	0.78	-0.14	22.48	-2.45
84						1.33	-0.26	0.78	0.06	22.48	-3.00
85						1.33	-0.25	0.78	0.04	22.48	-0.10

7. まとめと今後の課題

本研究では、小型高圧脱水装置により作製したスラグ石灰混合浚渫土の強度特性を把握し、その結果から強度分析を行い、強度予測のフローを提案した。また、大型脱水装置により作製したスラグ石灰混合浚渫土の基礎性能評価を行うために室内実験を行った。さらに、大型脱水装置により作製した浚渫土ブロックの基礎性能評価を行うために暴露実験を行った。本研究により得られた主な結論は、以下に示すとおりである。

- (1) 小型脱水装置により作製したスラグ石灰混合浚渫土の強度発現には、結合材である高炉スラグ微粉末の混合率を増加させることだけでなく、母材の物理特性、消石灰の混合率および水スラグ石灰重量比など、様々な要因があると考えられる。その条件を満たすことによって、スラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さが最大で 25.48MPa の強度発現に導くことができた。
- (2) 大型脱水装置により作製された浚渫土ブロックは母材の違いにより大きく脱水終了時間が変わることが分かった。また、スラグ石灰混合浚渫土の場合、脱水終了時間が 3000 分ほどかかった。これは、母材の粒度の違いおよびスラグと石灰の固化反応とセメントの固化反応の違いが原因であると考えられる。
- (3) 本研究で作製した浚渫土ブロックは、41 ヶ月どの環境に暴露してもコンクリートに匹敵する強度を維持できるといえる。
- (4) 乾湿および海中暴露した浚渫土ブロックに付着した生物は、対照区とほぼ同様であった。したがって、浚渫土ブロックは、他のコンクリート製海洋構造物と同様に用いることができる。
- (5) (1) よりスラグ石灰混合浚渫土の強度発現には様々な要因があることが分かったので、主成分分析を行い、重回帰分析を行うことで、スラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さの予測フローを提案した。

本研究における今後の課題について述べる。

本研究では主に、小型脱水装置により作製したスラグ石灰混合浚渫土の強度特性を把握し、主成分分析により、配合条件からスラグ石灰混合浚渫土の一軸圧縮強さの予測を正確に行うことを目的とした。しかし、予測値と実測値の相関が 0.8 以上あるが、配合条件設定の行い方次第では、実測値と大きく異なる予測値が算出された。本研究では、これは母材の種類および配合ケースの数が足りない事が考えられる。また、アルカリ刺激材の効果にもより着目が必要であると考えられる。多くのデータからより精度の高い予測フローができれば、どんな浚渫土であっても、どれほどのスラグと石灰の混合率で高強度化を実現できるか算出できる実用性のあるフローができると思われる。