

脱水固化処理して作製した浚渫土砂ブロックの長期強度特性と海洋環境適応性

笠間, 清伸
九州大学大学院工学研究院社会基盤部門

堂本, 佳世
九州大学大学院工学府建設システム工学専攻

平澤, 充成
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

善, 功企
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

他

<https://hdl.handle.net/2324/7218208>

出版情報 : Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. C (Geosphere Engineering). 73 (2), pp.186-194, 2017. 土木学会

バージョン :

権利関係 : © 2017 by Japan Society of Civil Engineers



脱水固化処理して作製した浚渫土砂ブロックの 長期強度特性と海洋環境適応性

笠間 清伸¹・堂本 佳世²・平澤 充成³・善 功企⁴・古川 全太郎⁵

¹正会員 九州大学准教授 大学院工学研究院社会基盤部門 (〒819-0385 福岡市西区元岡744)

E-mail: kasama@civil.kyushu-u.ac.jp

²学生会員 九州大学 大学院工学府建設システム工学専攻 修士課程 (同上)

E-mail: a0s.s3utbma2l@gmail.com

³正会員 九州大学教授 大学院工学研究院海域港湾環境防災共同研究部門 (同上)

E-mail: hirasawa@civil.kyushu-u.ac.jp

⁴フェロー 九州大学特任教授 大学院工学研究院海域港湾環境防災共同研究部門 (同上)

E-mail: zen@civil.kyushu-u.ac.jp

⁵正会員 九州大学助教 大学院工学研究院社会基盤部門 (同上)

E-mail: z.furukawa@civil.kyushu-u.ac.jp

本論文では、固化材等を添加し機械脱水(以下、脱水固化処理とよぶ)して作製した浚渫土砂ブロックを対象に、実海域における暴露試験と動植物の生息状況調査を行い、長期強度の評価および海洋環境への適応性を評価した。得られた主な結果を以下に示す。(1)脱水固化処理により、10MPa以上の一軸圧縮強さを有する浚渫土砂ブロックが作製できる。(2)ブロックの一軸圧縮強さは、材料密度や固化材添加率によらず、水セメント重量比による強度評価が簡便であり有効である。(3)設置から41ヶ月の間、気中、乾湿(潮の干満帯)および海中に暴露しても、一軸圧縮強さが低下することなく十分な耐久性を有する。(4)乾湿および海中暴露したブロックに生息する動植物の被覆率や出現種数は、比較対照としたコンクリート壁面とほぼ同様であり海洋環境への適応性がある。

Key Words : soil stabilization, unconfined compressive strength, dredged clay

1. はじめに

河川などから流入する軟弱土は、湖沼や港湾部などの閉鎖性水域に堆積し、船舶航行の支障や周辺環境の悪化を引き起こす原因となるため、定期的な浚渫工事による軟弱土の除去が行われている。この浚渫土砂は、ウォーターフロントにおける有効な埋立材料として用いられてきたが、近年では、臨海地域の埋立などの事業が飽和状態となるにつれ、土砂処分場の確保が切実な問題となっている。

このような背景から、浚渫土砂の効果的な減容化や再生リサイクルの方法が多数開発されている。例えば、勝又ら¹⁾は、低加圧と負圧を併用する脱水機構で作製した脱水処理土について、実用性の面から脱水効率と改良強度を検討した。また、中道ら²⁾は浚渫土砂で作製した脱水処理土を用いて盛土を築造し、締固め試験、圧密試験および三軸試験などの室内試験を通じて脱水処理土の力

学定数を明らかにするとともに、脱水処理土の盛土材として有用性を検討した。また、新舎と堤³⁾は、浚渫土砂を固化処理した材料をさらに破碎して作製した固化破碎粒子の強度特性を詳細に検討している。一方、海外に目を向けるとTayら⁴⁾は、浚渫土砂のコンクリート骨材としての有効利用法を示し、Netzbachら⁵⁾は、浚渫土砂を処分場のシーリング材として有効利用する方法を報告した。他にも、ElkinsとThompson⁶⁾は、浚渫土砂から無害なセラムミック顆粒を造る再生利用法を示した。

筆者らの研究グループでも、浚渫土砂を10MPa以上の圧縮強さを有する準硬石および硬石に相当する有用な材料へとリサイクルするために、「脱水固化処理」という技術の開発を行ってきた。脱水固化処理とは、軟弱な浚渫土砂の減容化と強度増加を目的として、浚渫土砂に固化材を添加した直後に機械脱水を行う手法である。脱水固化処理の有効性を評価するために、笠間ら^{7,8)}は、脱水固化処理による小型供試体(φ5cm×H10cm)を作製

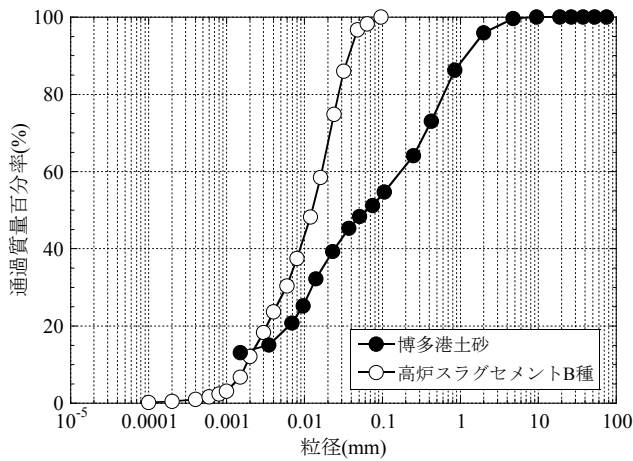


図-1 粒径加積曲線

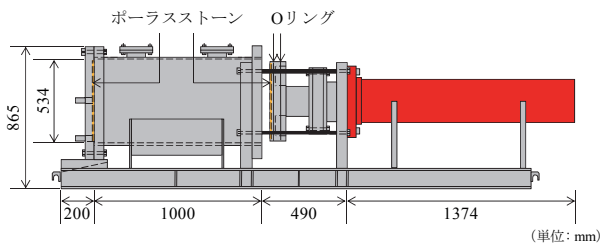


図-2 大型脱水固化装置概略図

し、一軸圧縮試験および耐久性試験を行うことにより、湿潤・水中条件で長期的に平均 20MPa の一軸圧縮強さを有する供試体を得ている。さらに、山下ら⁹⁾は、これまでに浚渫土砂に脱水固化処理を施すことにより、直径 50cm×高さ 50cm の円柱形状の浚渫土砂ブロックの作製に成功している。

本論文では、浚渫土砂を大型の構造体として実用化することを目的として浚渫土砂ブロックを作製し、実海域における暴露試験ならびに動植物の生息状況調査を行い、長期強度の評価および海洋環境への適応性を評価した。

2. 実験概要

(1) 浚渫土砂ブロック作製方法

本研究では、10MPa 以上の圧縮強さを有する準硬石および硬石に相当する浚渫土砂ブロックの開発を目標とした。浚渫土砂ブロックには、母材として博多港で浚渫された土砂（博多港土砂）を用い、固化材として高炉セメント B 種を使用した。母材の粒径加積曲線と物理特性を図-1 と表-1 に示す。初期含水比を 60% に調整した体積約 0.2m³ の浚渫土砂に、乾燥添加率 11, 22 および 33% の固化材を加え、十分に攪拌混合を行った。固化材添加率が 11, 22, 33% と半端な数値となったのは、製造工程の簡略化のために、1 袋 25kg の高炉スラグセメント B 種を 1, 2 および 3 袋といった具合に混合したためである。攪拌混合した試料を図-2 に示す大型脱水固化装置

表-1 物理特性

母材	博多港土砂
土粒子密度 ρ_s	2.686 g/cm ³
液性限界 w_L	68.1 %
塑性指数 I_p	32.5
粘土分含有率 P_c	15.6 %

表-2 実験条件

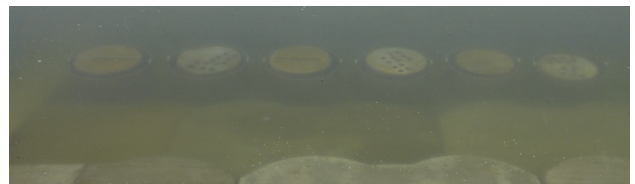
母材	博多港土砂
初期含水比	60%
固化材	高炉セメント B 種
固化材添加率	11%, 22%, 33%
荷重条件	2MPa で 30min, その後 5MPa で 300min あるいは脱水終了まで
排水条件	両面排水
暴露条件	気中, 乾湿 (潮の干満帯), 海中
暴露期間	1, 3, 12, 41 カ月



(a) 気中暴露



(b) 乾湿暴露(干潮時)



(c) 乾湿暴露(満潮時)

写真-1 暴露試験中のブロックの写真

に、コンクリート用高周波振動機を試料の投入口に差し込み振動を与えながら密実に充填した。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。図-2 の右側の赤色で示す最大載荷力 2MN の油圧シリンダーを用いて、脱水圧力 2MPa で 30 分間載荷した後、5MPa の定圧で載荷を行った。排水条件は、両面排水とし、3t 法により求められた圧密終了時間で脱水を終了し、浚渫土砂ブロックの作製を行った。ここで、脱水過程における供試体からの排水について成分分析を行い、混合したセメントの成分が排出していないことを確認している。浚渫土砂ブロックは、固

表-3 浚渫土砂ブロックの形状、重量および湿潤密度

(a) 固化材添加率11%

No.	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	平均
直径(mm)	534	535	535	533	535	535	534.5
高さ(mm)	494	417.5	461.5	494.5	505	499	478.6
重量(N)	230	199	219	240	250	250	23.1
湿潤密度(g/cm ³)	2.08	2.12	2.11	2.17	2.20	2.23	2.152

(b) 固化材添加率22%

No.	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	平均
直径(mm)	535	535	530	535	534	535	534
高さ(mm)	491.5	550	565.5	560	556	611	555.7
重量(N)	235	265	276	265	270	286	26.6
湿潤密度(g/cm ³)	2.12	2.15	2.21	2.11	2.17	2.08	2.140

(c) 固化材添加率33%

No.	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	平均
直径(mm)	535	535	535	535	535	535	535
高さ(mm)	617.5	644	521	536	546	573.5	573
重量(N)	281	301	219	255	270	270	26.6
湿潤密度(g/cm ³)	2.02	2.08	1.87	2.12	2.20	2.10	2.065

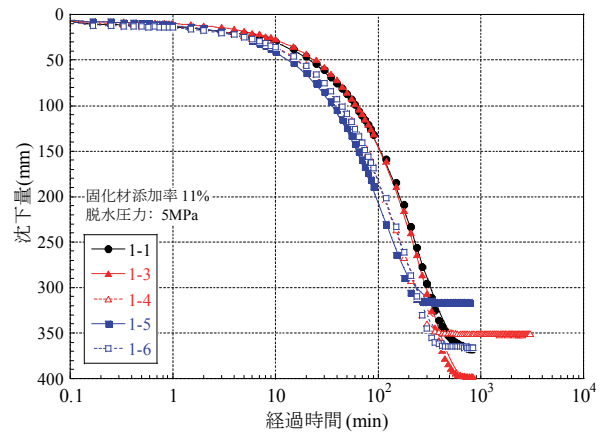
固化材添加率および暴露条件ごとに2体ずつ作製し、計18体作製した。作製した浚渫土砂ブロックは、実験室で28日間以上、湿潤状態で養生を行った後、実海洋環境に移動させ暴露試験を行った。浚渫土砂ブロックの作製条件と暴露条件を表-2に示す。

(2) 暴露条件と一軸軸圧縮試験

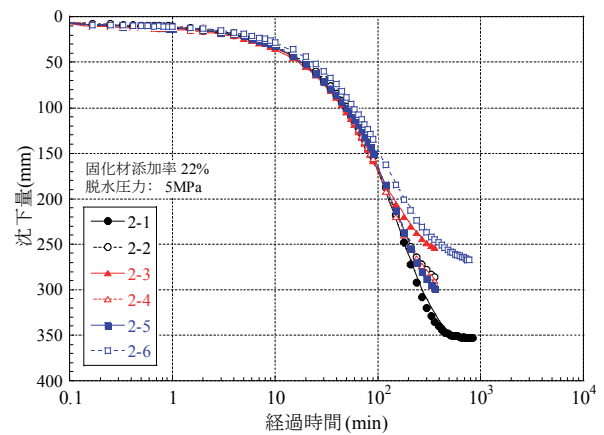
浚渫土砂ブロックの暴露は、福岡県福岡市東区の博多湾和白沖に建設された人工島である福岡アイランドシティの一面において、岸壁付近の気中、乾湿（潮の干満帯）および海中に1, 3, 12ヶ月および41ヶ月間行った。気中、乾湿（干潮時）および乾湿（満潮時）の暴露状況を写真-1に示す。所定期間暴露したブロックの上面に、コンクリート用の直径5cmの湿式ダイヤモンドコア抜きドリルを垂直に設置して、鉛直下向きに15cm~20cmの試料をくり抜いた。コアリングの位置は、平均的な材料特性が測定できるように、ブロック上面において一様になるように決定した。くり抜いた試料の上下面は、コンクリート供試体用の供試体端面研磨機を用いて、平面度を確認しながら供試体高さが10cmになるまで整形した。最終的には、一軸圧縮試験用供試体を6本ずつコアリングし、一軸圧縮試験を行った。

(3) 動植物の付着状況調査

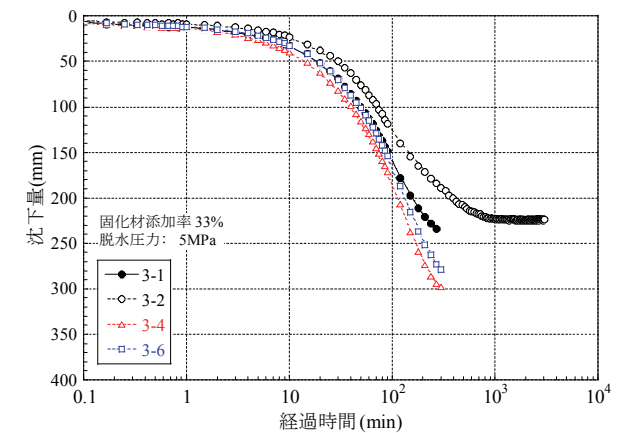
浚渫土砂ブロックの海洋環境への適応性を評価するため、ブロックの表面に生息した動植物の出現種数と生息面積の調査を行った。調査の調査時期は、平成22年3月に暴露試験を開始後、新規加入の付着動物が観察可能となる平成23年10月（暴露期間19ヵ月、2年目秋期）



(a) 固化材添加率11%



(b) 固化材添加率22%



(c) 固化材添加率33%

図-3 浚渫土ブロック作製時の圧密沈下曲線

平成24年4月（暴露期間25ヶ月、3年目春期）、平成24年11月（暴露期間32ヶ月、3年目秋期）、平成25年8月（暴露期間41ヶ月、4年目夏期）、平成26年1月（暴露期間46ヶ月、4年目冬期）および平成26年11月（暴露期間56ヶ月、5年目秋期）とし、動植物の活動が活発となる春期と秋期に行った。また、暴露後4年目については、これまでの春期・秋期の観察時期を変更して、夏期と冬期に調査を行った。調査対象は、乾湿（潮の干満帯）および海中暴露した浚渫土砂ブロック6体と各暴露方法の対照区2箇所とした。対照区とは、暴露し

た浚渫土砂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。

3. 脱水特性

図-3(a), (b)および(c)に脱水圧力 5MPa における固化材添加率 11%, 22%および 33%の時間沈下曲線を示す。母材および固化材添加率が同じであっても、時間沈下曲線や最終沈下量にばらつきが見られた。これは、供試体の初期体積が約 0.2m³ と大きいため、使用した浚渫土砂の品質のばらつき、固化材の混合の不均一性および脱水装置への浚渫土砂の充填度の差などが影響したため、同じ配合条件でもこれらのばらつきが発生したものと考えられる。基本的には、圧密終了は 3t 法により決定したが、ブロックの作業効率を考慮して、300 分で取り出したものもある。ここで、300 分で脱水を終了した浚渫土ブロックの推定圧密度は、どのケースも 90%を超過していたことを確認している。 $\sqrt{t}$ 法を用いて 5MPa 載荷時における圧密係数を求めると、固化材添加率 11%, 22%および 33%の平均値は、それぞれ 335cm²/min, 492 cm²/min および 610 cm²/min となり、未処理時の 5.68 cm²/min に比べて大きくなった。勝又ら⁹⁾, Imai ら¹⁰⁾, Kasama ら⁷⁾が示すようにセメントなどの固化材には硫酸バンド（硫酸アルミニウム）や PAC（ポリ塩化アルミニウム）などの凝集剤と同様に粘土粒子を凝集させブロックを形成する効果があり、ブロック形成により擬似的に土中の間隙が大きくなり透水係数が大きくなることが報告されている。したがって、浚渫土砂に固化材を混合することで、脱水速度が増加していることがわかる。

表-3 に浚渫土ブロックの形状、重量および湿潤密度を示す。固化材添加率が増加するほど、ブロック 1 個当たりの重量は増加するが、湿潤密度は減少する傾向にある。また、作製したブロックについては、直径方向と鉛直方向の含水比分布を計することで、十分な均質性があることを確認している⁹⁾。

4. 長期強度特性

図-4(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%に増加した際の一軸圧縮強さの増加率は、

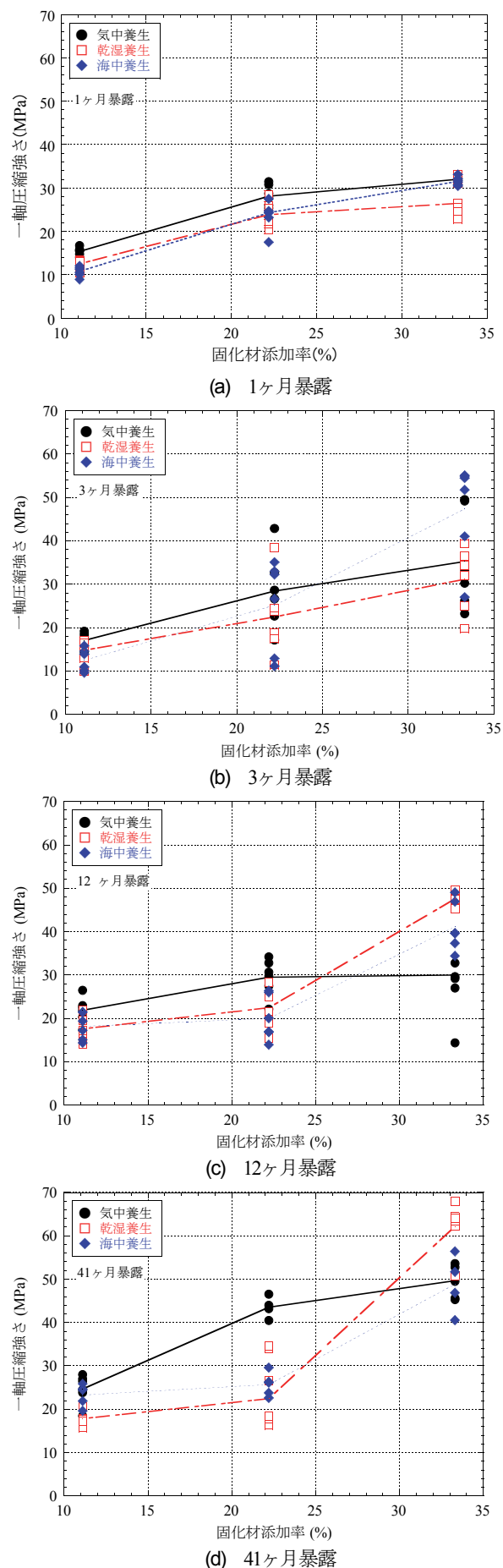


図-4 固化材添加率と一軸圧縮強さ

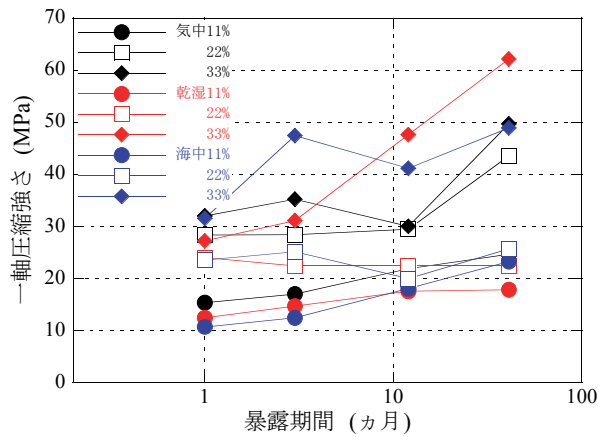


図-5 暴露期間と一軸圧縮強さ

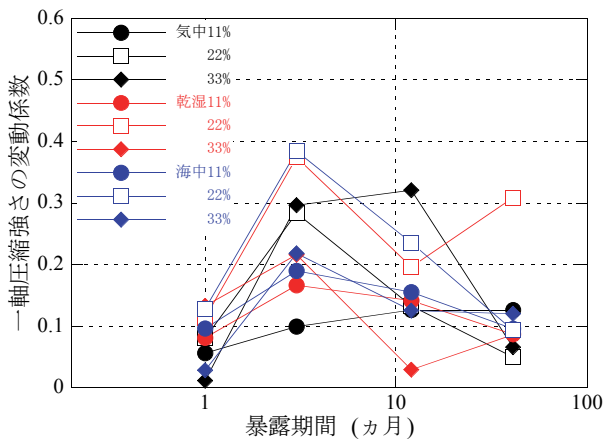
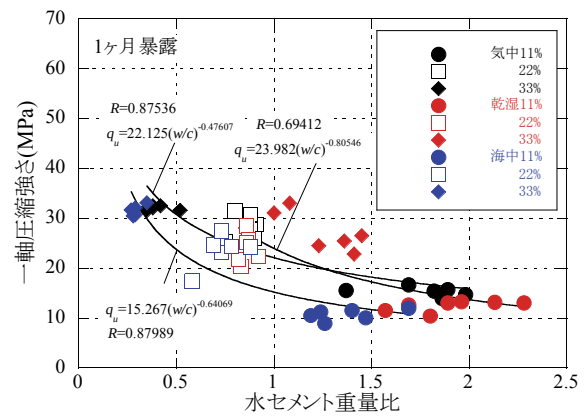


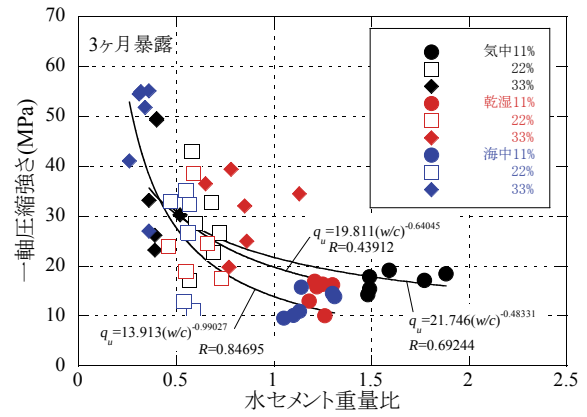
図-6 暴露期間と一軸圧縮強さの変動係数

海中暴露が最大であった。一方、41ヶ月暴露した浚渫土ブロックでは増加率は乾湿暴露条件が最大であった。これまでの研究⁹⁾において、固化材添加率60%のカオリン粘土を対象に同様な荷重条件で作製したブロックの養生3ヵ月後の一軸圧縮強さが約30MPaであったのに対して、博多港土砂を用いて作製した浚渫土砂ブロックでは、一軸圧縮強さが50MPaに達するものもあった。これは、今回使用した博多港土砂が、砂分と礫分を50%程度含んでいるため、これらの粒子が骨材のような役割をしたため強度増加に大きく貢献したためだと考えられる¹¹⁾¹²⁾。

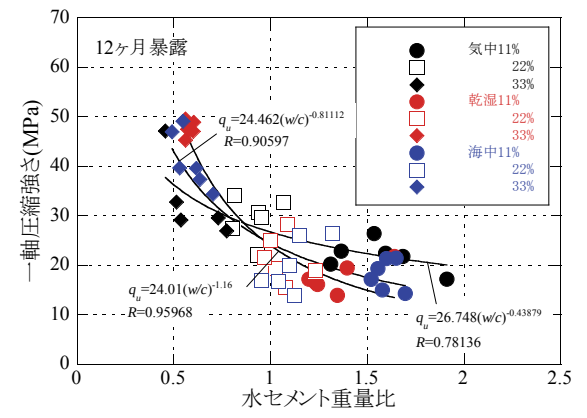
図-5に暴露期間と平均一軸圧縮強さの関係を示す。暴露期間3ヶ月までは、暴露期間の増加に伴って一軸圧縮強さも増加した。暴露期間が3ヶ月を過ぎると、主に固化材添加率33%において一軸圧縮強さが減少するケースも確認できた。これは、暴露期間が長くなるにつれ、暴露した浚渫土ブロックの微小クラックが増加し、一軸圧縮強さの増大を阻害するためと推察できる。しかしながら、暴露試験を行った41ヵ月間においては、固化材添加率22%以上における一軸圧縮強さは、暴露条件によらず20MPaを超えており、作製した浚渫土砂ブロックは、41ヶ月間どの環境に暴露しても、コンクリートに匹敵する強度を維持できるといえる。近年においては、中村・北



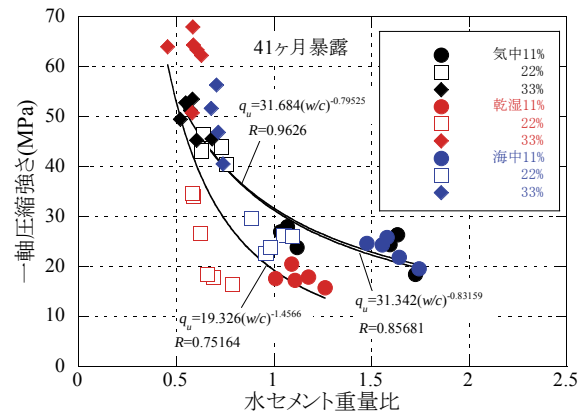
(a) 1ヶ月暴露



(b) 3ヶ月暴露



(c) 12ヶ月暴露



(d) 41ヶ月暴露

図-7 水セメント重量比と一軸圧縮強さ

詰¹³⁾, 原ら¹⁴⁾および新舎ら¹⁵⁾などより固化処理土の劣化に関する研究が盛んに行われているが, 固化材添加率の増加により固化処理土の強度が増加することで, 基本的には劣化の度合いも低減する傾向にある. 著者らが過去に高強度固化処理土の劣化特性を調べたときと同様に, 本研究で暴露試験を行った浚渫土砂ブロックについては, 一軸圧縮強度が通常の固化処理土に比べて非常に大きいため, 観察を行った41ヵ月の間においてはブロック表面の劣化は観察されなかった.

図-6 に暴露期間と一軸圧縮強度の変動係数の関係を示す. 暴露期間 1 ヶ月での変動係数は, 0.1 前後であり, 強度のばらつきはコンクリートと同程度である. しかしながら, 暴露期間が 3 ヶ月になると, 変動係数はすべての条件で増加し, 大きいもので 0.4 の値を示し, 一般的な土質試料の強度のばらつきと同程度になった. これは, 表-3 で示したように同じ固化材添加率にも関わらず脱水過程の沈下量の違いにより湿潤密度が異なること, 浚渫土砂ブロックの強度が 10MPa~30MPa と硬化コンクリート並みに非常に大きいためであると考えられる. さらに, 暴露期間が 12 ヶ月や 41 ヶ月になると変動係数は減少する傾向にあり, 乾湿条件で 41 ヶ月間暴露した固化材添加率 22%のブロックを除いて, 変動係数は 0.1 程度に減少した.

図-7(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砂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. 本文では, 浚渫土砂ブロックの強度に強い相関性がある簡便な指標として, 供試体内の水と固化材の重量比である水セメント重量比を用いた. 供試体内の固化材重量は, 初期の固化材添加率(浚渫土の乾燥重量に対する比率)をもとに計算でき, 供試体内の水分は, 供試体の含水比(同じく浚渫土の乾燥重量に対する比率)から計算が可能であることから, 具体的には供試体の含水比と固化材添加率の比を計算することで水セメント重量比を計算できる. 加えて, 浚渫土砂ブロックのような固化処理土は, 養生が進むと固化材の水和反応の進行とともに, 含水比が減少しつつ, 強度が増加することが知られている. このように養生が進行し, 含水比が低下していく場合でも, 一軸圧縮試験時に計測する含水比を用いて水セメント重量比を計算でき, 強度評価に反映させることが可能となる. しかしながら, 硬化コンクリートの強度評価に用いられる水セメント比は, 配合時の水とセメント量の比であり, 本論文の脱水過程後の水分量の変化を考慮している点で定義が異なっている. 水セメント重量比は, 地盤工学において固化処理土の強度評価に用いられる指標であるが¹⁶⁾¹⁷⁾, 最近では, 土田ら¹⁸⁾により固化材が空隙に占める体積固体分率を用いた検討もなされ, より高精度での強度推定が可能となっている. 図-7の水セメント重量比の値に着目する

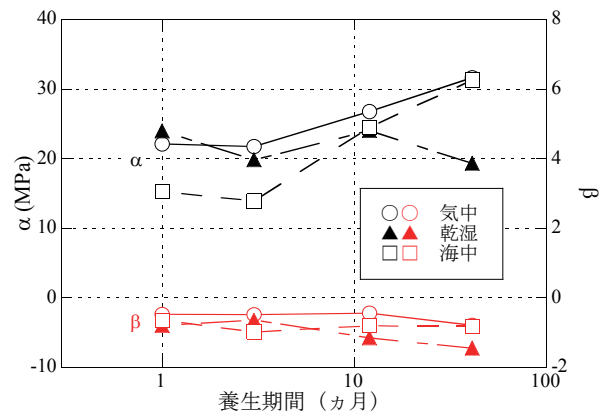


図-8 暴露期間と α , β

と, 固化材添加率が同じであれば海中暴露したブロックの水セメント重量比の値が, 乾湿暴露や空中暴露条件に比べて小さい傾向にある. これは, 固化材の水和反応により, 土中の水分が使用され, 相対的に土中の自由水が減少するためであると考えられる.

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に伴って, 一軸圧縮強さが急激に増加し, 一軸圧縮強さと水セメント重量比の間には, 強い相関が見られた. したがって, 一軸圧縮強さは, 材料密度や固化材添加率によらず, 水セメント重量比に支配されることが考えられ, 固化処理土の高強度化は, 水セメント重量比を小さくすることが重要といえる. また, 3. で示した脱水後のブロックの形状や重量などのばらつきにも関わらず, 水セメント重量比による強度評価が有効であり, 暴露期間の経過に伴って, 図中に示す式(1)を用いた強度推定式の相関係数が大きくなり, 式(1)の適合性がよくなることを意味する. このことは, ブロックの内部と外周部で, 周辺の暴露環境から受ける養生条件の違いがあるものの, 養生が進むにつれて最終的に発現する強度に収束していくことで, ブロック内部の強度が均一化していき, 強度のばらつきが減少していくことがわかる. このように, 非常に高強度な浚渫土砂ブロックにおいても水セメント重量比は, 強度を推定するための簡便な指標であるといえる. 加えて, 著者らは高圧脱水過程による脱水の有無に関わらず水セメント重量比と強度の関係は一義的であり, 通常の $e\text{-log}\alpha$ 関係を用いて脱水圧力から間隙比(含水比)を計算し, 高圧脱水後の含水比の変化を考慮した強度予測が可能であることを示している¹⁹⁾.

図-7に示した水セメント重量比と一軸圧縮強さの関係について以下の式の適合性を検討し, 各暴露条件と養生期間における α と β の関係を調べた結果を図-8に示す.

$$q_u = \alpha(w/c)^\beta \quad (1)$$

ここで, α は水セメント重量比 w/c が 1.0 の時の一軸圧縮

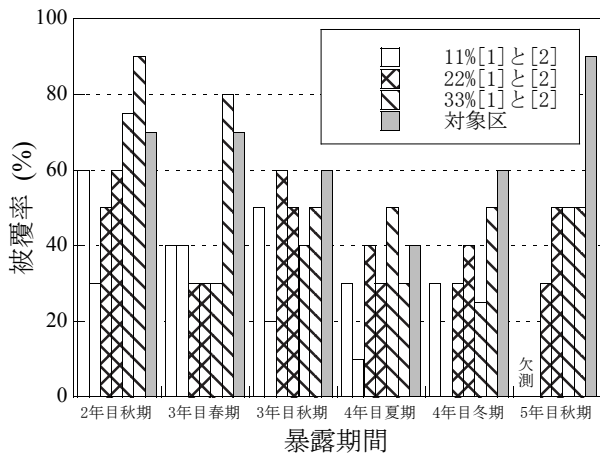


図-9 被覆率の経年変化(乾湿暴露)

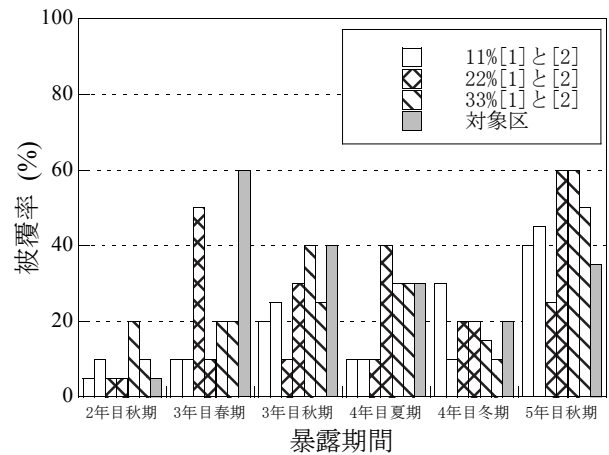


図-11 全体の被覆率の経年変化(海中暴露)

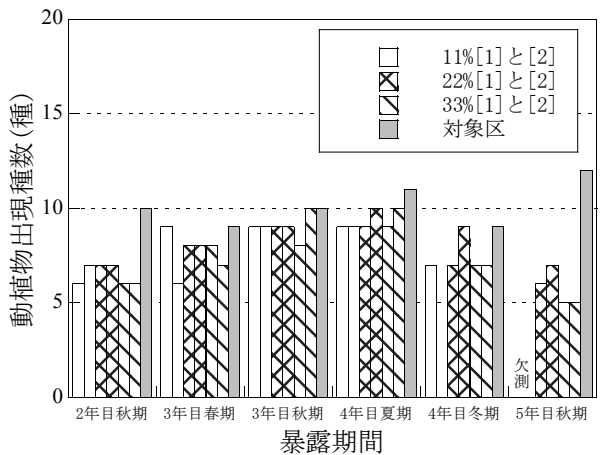


図-10 動物の出現種数の経年変化(乾湿暴露)

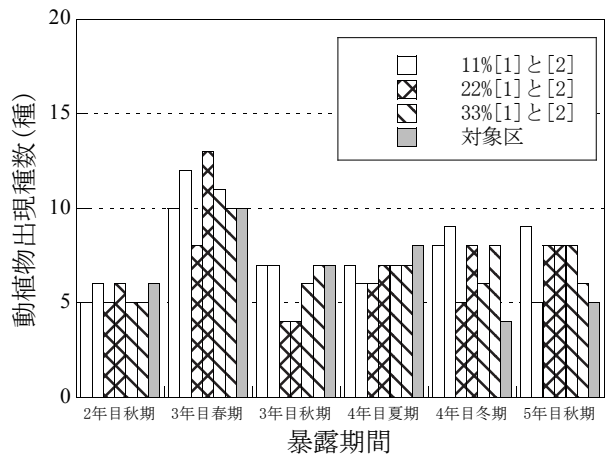


図-12 動植物の出現種数の経年変化(海中暴露)

強さのことであり、 β は強度増加率である。 α は、養生が進むと乾湿暴露条件以外は、増加する傾向にある。 β は気中暴露条件で $-0.44 \sim -0.78$ 、乾湿暴露条件で $-0.64 \sim -1.46$ 、海中暴露条件で $-0.64 \sim -0.99$ となり、強度増加率が大きいのは乾湿暴露、海中暴露、気中暴露の順番になった。このような結果となったのは、気中条件ではブロックは徐々に乾燥が進行していくため、固化材の反応に必要な水分が減少するためであると考えられる。一方、海中条件では水の供給は十分であるが、ブロックを海底面に設置しているため、周辺の温度が気中に比べて低いことが考えられる。乾湿暴露条件では、断続的ではあるものの水分の供給があり、かつ周辺の気温が海底面より高いため固化材の化学反応が促進することから、最も強度増加率が高くなったと考えられる。以上より、浚渫土砂ブロックは、長期の強度増加を期待する場合には、乾湿条件や海中条件に設置すべきことが示唆された。

5. 海洋環境への適応性評価

乾湿暴露した浚渫土ブロックと対象区の被覆率を図-9、動植物の出現種数を図-10に示した。ここで、乾湿暴露

条件における被覆率とは、ブロック側面に生息する動植物の生息面積をブロックの側面積で割った値である。全体的な傾向として被覆率は季節による変動が大きく、固化材添加率によらず、ブロックでは10~90%、対照区では40~90%であった。出現種数は、ブロックでは動物が5~10種、植物が0~1種、対照区では動物が9~12種、植物が0種であった。動物の主な出現種は、ブロック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、タデジマフジツボ、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、タデジマフジツボであった。ここで、主な出現種とは、各調査点において、被覆率が5%以上、個体数が10個体/0.25m²以上出現したものを記載した。

海中暴露した浚渫土ブロックと対象区の被覆率を図-11、動植物の出現種数を図-12に示した。ここで、海中暴露条件における被覆率とは、ブロック上面に生息する動植物の生息面積をブロックの上面の面積で割った値である。海中暴露条件における被覆率も季節により大きく変動するが、固化材添加率によらず、ブロックでは5~

60%, 対照区では5~60%であった。出現種数は、ブロックは動物が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。

乾湿暴露と海中暴露の違いにより, 出現する生物種や生物種数が異なるのは, 干満周期, 海の透明度および日照条件などの周辺の環境条件が異なるためである。しかしながら, 乾湿暴露と海中暴露において, ブロックと対照区との動植物の被覆率や出現種数に大きな差異はないと推察でき, 浚渫土砂ブロックは海洋環境においてコンクリートと同様の適応性があるといえる。

6. まとめ

本論文では, 大型脱水固化装置を用いて作製した浚渫土砂ブロックを対象に, 実海域における暴露試験と動植物の生息状況調査を行い, 長期強度の評価ならびに海洋環境への適応性を評価した。得られた主な結果を以下に示す。

(1)固化材混合と脱水処理を併用した脱水固化処理を施すことで, 10MPa以上の一軸圧縮強さを有する浚渫土砂ブロックが作製できる。

(2)浚渫土砂ブロックの一軸圧縮強さは, 材料密度や固化材添加率によらず, 水セメント重量比による強度評価が簡便であり有効である。

(3)本論文で作製した浚渫土砂ブロックは, 設置から41ヶ月の間, 気中, 乾湿(潮の干満帯)および海中に暴露しても, 一軸圧縮強さが低下することなく強度増加傾向を示し, 十分な耐久性を有することが明らかとなった。

(4)乾湿および海中暴露した浚渫土砂ブロックに生息する動植物の被覆率や出現種数は, 観測する季節により大きく変動するが, 比較対照としたコンクリート壁面とほぼ同様であり海洋環境への適応性があるといえる。

謝辞: 本研究は国土交通省交通運輸技術開発推進制度: 研究課題「コンテナ船の大型化に向けた高圧脱水固化処理工法の開発」(研究代表者: 笠間清伸)ならびに一般財団法人港湾空港総合技術センター研究開発助成の成果の一部である。記して, 関係者各位には深甚の謝意を表したい。

参考文献

- 1) 勝又正治, 滝口健一, 清水英樹, 安田昭彦, 大林成行: 高含水建設搬出土の改良システムの開発, 土木学会論文集, No. 560/VI-34, pp. 117-129, 1997.
- 2) 中道正人, 矢野米生, 右田宏文, 山本修司, 佐藤哲也, 片桐雅明: 脱水処理土の護岸裏埋め材性能を求めるための現地試験施工, 海洋開発論文集, 第24巻, pp. 357-362, 2008.
- 3) 新舎博, 堤彩人: 砂礫の代替品としての利用を目的とした固化破碎粒子の強度特性に関する研究, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol. 72, No. 2, pp. 74-85, 2016.
- 4) Tay, J. H., Show, K. Y. and Hong, S. Y.: Concrete aggregates made from sludge-marine clay mixes, *Journal of Materials*, Vol. 14, No. 5, pp. 392-398, 2002.
- 5) Netzband, A., Reincke, H. and Bergemann, M.: The river Elbe a case study for the ecological and economical chain of sediments, *Journals of Soils and Sediments*, Vol. 2, No. 3, pp. 112-116, 2002.
- 6) Elkins, B. V. and Thompson, T. K.: Recycle dredged materials for beneficial use, *Dredging and Management of Dredged Material, Geotechnical Special Publication* 65, pp. 161-176, 1997.
- 7) Kasama, K., Zen, K. and Iwataki, K.: High-strengthening of cement-treated clay by mechanical dehydration, *Soils and Foundations*, Vol. 47, No. 2, pp. 171-184, 2007.
- 8) 笠間清伸, 善功企, 陳光齊, 河野信貴: 高圧脱水固化処理土の強度特性, 材料, 57巻, 第1号, pp. 24-27, 2008.
- 9) 山下祐佳, 善功企, 陳光齊, 笠間清伸: 脱水固化処理による大型浚渫土ブロックの均質性および強度特性, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol. 67, No. 2, pp. I_440-I_444, 2011.
- 10) Imai, G., Mori, K. and Yamada, S.: Forced dewatering characteristics and disposal efficiency of fluid mud, *Soils and Foundations*, Vol. 18, No. 3, pp. 13-15, 1987.
- 11) 久保井利達, 西田一彦, 三井隆: 砕石粉を混合補助材として用いた粘性土のセメント安定処理効果, 土木学会論文集, No. 631/III-48, pp. 1-12, 1999.
- 12) 吉川正, 池田昭彦, 青山要, 中川浩二: 細粒分含有率が異なる改良土の室内配合試験による基礎的研究, 土木学会論文集, No. 693/VI-53, pp. 117-129, 2001.
- 13) 中村健, 北詰昌樹: セメント安定処理土の耐久性に関する室内試験, 港湾空港技術研究所資料, No. 1128, pp. 1-13, 2006.
- 14) 原弘行, 末次大輔, 林重徳, 松田博: 海水に曝露したセメント処理土の劣化機構に関する基礎的研究, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol. 69, No. 4, pp. 469-479, 2013.
- 15) 新舎博, 堤彩人, 柳橋寛一: 海水曝露環境に置かれた強度の異なる固化処理土の劣化特性, 土木学会第71回年次学術講演会, III-244, pp. 487-488, 2016.
- 16) Miura, N., Horpibulsuk, S. and Nagaraj, T. S.: Engineering behavior of cement stabilized clay at high water content, *Soils and Foundations*, Vol. 41, No. 5, pp. 33-45, 2001.
- 17) Horpibulsuk, S., Wnchai, K., Wanchai, S. and Runglawan, R.: Strength development in cement stabilized low plasticity and coarse grained soils, *Soils and Foundations*, Vol. 46, No. 3, pp. 351-366, 2006.

- 18) 土田孝, 湯怡新, 嶋川奈津美, 安部太紀: 高含水比の海成粘土を原料土とするセメント固化処理土の強度発現過程に関する研究, 地盤工学ジャーナル, Vol. 8, No. 1, pp. 53-70, 2013.
- 19) 竹下知希, 笠間清伸, 善功企, 春日井康夫: 高压脱

水固化したスラグ石灰混合浚渫粘土の力学特性, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 70, No. 2, pp. I_894-I_899, 2014.

(2016. 8. 19 受付)

LONG-TERM STRENGTH PROPERTY AND MARINE ENVIRONMENT
ADAPTABILITY OF SOIL BLOCK PRODUCED
BY CEMENT-MIXING AND MECHANICAL DEHYDRATION

Kiyonobu KASAMA, Kayo DOUMOTO, Mitsunari HIRASAWA, Kouki ZEN
and Zentaro FURUKAWA

Authors have developed a technique, called the cement-mixing and mechanical dehydration (CMD), as one of recycling techniques for dredged soils. In order to investigate the long-term strength property and the adaptability for marine environment, unconfined compression test and a series of ecology observation were performed for the CMD soil blocks exposed on the costal environment around Hakata Bay. The main conclusions obtained from this study are as follows; 1) the CMD technology can create soil blocks having the unconfined compressive strength of more than 10 MPa. 2) the water cement ratio is a practical index to evaluate the strength of CMD soil block instead of density and cement content. 3) the CMD soil blocks have high durability during exposure test against marine environment for 41 months. 4) since the coverage and number of animals and plants on the CMD soil block exposed in tidal zone and sea water are similar trend indicating the seasonal change as nearby concrete wall, the CMD soil block have sufficient adaptability for marine environment.