

平成22年 5月24日現在

研究種目：若手研究 (A)  
研究期間：2008～2009  
課題番号：20686032  
研究課題名（和文） 3Rヘドロコンクリートの開発研究

研究課題名（英文） Development of soil concrete to realize 3R society

## 研究代表者

笠間 清伸 (KASAMA KIYONOBU)  
九州大学大学院・工学研究院・助教  
研究者番号：10315111

研究成果の概要（和文）：本研究では、「固化処理と高圧機械脱水を併用する高圧脱水固化」という新たな材料再生技術を提案し、土をコンクリートの強度に匹敵する高強度かつ大型形状ブロックを作製するための実用化研究を行った。特に、これまでの成果に基づいて中型形状（直径53.4cm×H100cm）のブロックを作製できる大型脱水固化装置を製造し、実物大のソイルコンクリートブロックの脱水特性の把握および供試体の均質性と強度特性の評価を行った。

研究成果の概要（英文）：In order to recycle dredged clay to useful material efficiently, authors have developed a technique called the cement-mixing and mechanical dehydration method (called "CMD"). In the CMD procedure, soft clay mixed with cement is dehydrated with a high dehydration pressure for the purpose of increasing the strength. In this study, scale-up test of the CMD specimens was carried out using newly developed large dehydration equipment (53.4cm in diameter and 100cm in height) to evaluate the uniformity and strength property.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	12,200,000	3,660,000	15,860,000
2009年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
年度			
年度			
年度			
総計	19,800,000	5,980,000	25,740,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤環境工学

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、地球に優しく快適で安全な生活を維持できる人間活動および生産活動を創造するために、環境への排出をできる限りゼロに近づける「ゼロエミッション型」の社会・産業・生産システムの構築が求められている。

ゼロエミッション・循環型社会の実現のために、多様な分野においてリサイクル技術の開発が行われてきた。しかしながら、最先端のリサイクル技術をもってしても、いくらかの廃棄物が発生している実情があり、それら究極のエミッションは最終手段として海洋環

境に投棄されている現状にある。

(2) 世界的に見て、海洋投棄される廃棄物の中で最も多いのは、港湾の航路・泊地等の維持浚渫や船舶の大型化による海底増深などに伴う浚渫ヘドロであり、年間約 2 億 9700 万トンが海洋投棄されている。これまで、これら浚渫ヘドロは土砂処分場で受け入れてきたが、これら処分場の容量はほぼ飽和状態にあり、次々に発生する軟弱な浚渫ヘドロに対して、新たな付加価値をつけ再生リサイクルすることが求められている。このとき、ヘドロの減量化、有効利用および資源循環ネットワーク化を同時に実現させることが必要であり、効率的かつ効果的な 3 R (Reduce, Reuse, Recycle) 技術を開発することが重要になる。

(3) 浚渫ヘドロは、生活廃水や工場廃水中の浮遊粒子分が河川により港湾に運ばれ堆積したもので、重金属類やダイオキシンやトリクロロエチレンなどの人工合成化学物質を含むものもある。最近では、生体の成長や生殖など阻害する環境ホルモンがヘドロ中に存在することが明らかとなり、我々人間を含めた野生生物の生命および健康に大きな脅威となっている。このような新たに湧き上がってくる環境問題・健康被害に対しては、従来の重金属や人工合成化学物質といった有害物質に加えて、環境ホルモンなどの 21 世紀型の新汚染物質などにも対応できる幅広い適用力のある無害化技術が必要となる。

## 2. 研究の目的

本研究では、軟弱な汚染ヘドロを超大型海洋ブロック構造体として大量急速再生することで、ヘドロの無害化ならびに 3 R (ヘドロの減容化 (Reduce)、ヘドロの海洋ブロックとしての再利用 (Recycle)、ヘドロ製品・部品の再利用 (Reuse)) が可能である環境配慮型の 3 R ヘドロコンクリートの開発を試みる。これまでに「固化処理と高圧機械脱水を併用する高圧脱水固化」という新たな材料再生技術を開発し、重金属・環境ホルモンなどの有害物質を「吸着固定化」し、さらにヘドロを「コンクリートに匹敵する圧縮強度」に匹敵する最大強度 26MPa まで高強度化できるという技術シーズを得ている。また、提案する「高圧脱水固化」による材料再生技術は、熱を利用しない低コスト・低エネルギー成形技術であり、かつ自由度の高い形状への製品化が可能である。特に、本研究課題では、この基礎的技術シーズを応用して、ヘドロコンクリートを大型構造ブロックとして製品化でき、舗装タイルや消波ブロックとして高度に再利用できる実用化技術へと展開する。

## 3. 研究の方法

(1) 脱水圧力 5MPa における高強度化を実現するために、砂分混合した浚渫粘土を対象に一軸圧縮試験を行い、粒度調整によ

る強度特性と脱水特性を評価した。また、得られた一軸圧縮強度と試料の物理特性および固化材混合条件等を変数とした主成分分析を行い、高強度化に影響する要因について検討を行った。

(2) これまでの成果に基づいて写真-1 に示す中型形状 (直径 53.4cm x H100cm) のブロックを作製できる大型脱水固化装置を製造し、実物大のソイルコンクリートブロックを作製した。さらに、その供試体の脱水特性の把握および供試体の均質性と強度特性の評価を行った。



写真-1 高圧脱水固化装置 (最大載荷力 2MN)  
供試体寸法：直径 0.53m x 長さ 1.0m

## 4. 研究成果

研究の方法 (1) により得られた研究成果をまとめると以下ようになる。

(1) 砂分混合率を増加させると、脱水時間は短縮され、砂分混合率 100% では脱水時間は半分以下となる (図-1 参照)。

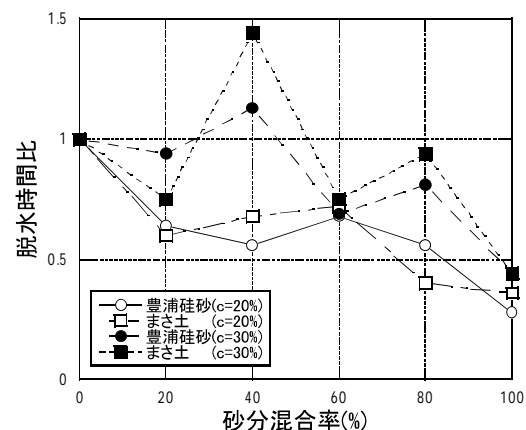


図-1 砂分混合率と脱水時間比

(2) 固化材添加率 20% では、砂分を混合することで強度の増加が期待でき、砂分混合率 40% でその効果は最大となる (図-2 参照)。

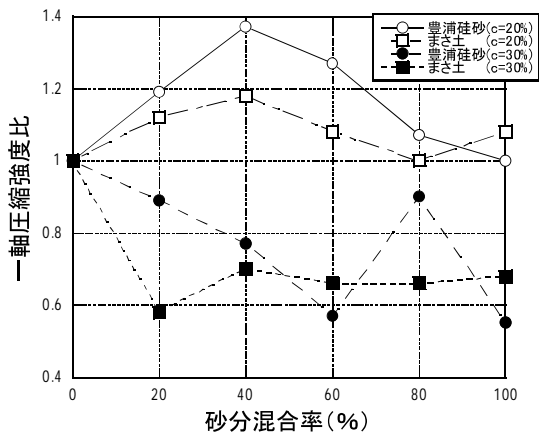


図-2 砂分混合率と脱水時間比

(3) 砂分混合により強度改善がみられなかった理由として、砂分混合した粘性土を機械脱水すると、砂分の土粒子骨格が脱水圧力を受け持つため、粘土成分の脱水が進まないためだと考えられる(図-3参照)。

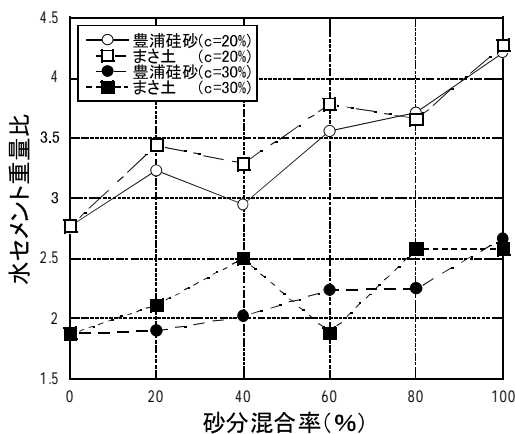


図-3 砂分混合率と脱水時間比

(4) 脱水固化処理土の一軸圧縮強度は、脱水圧力、固化材添加率や砂分混合率によらず水セメント重量比に大きく影響を受ける。よって、水セメント重量比を小さくすることが高強度化のポイントである(図-4参照)。

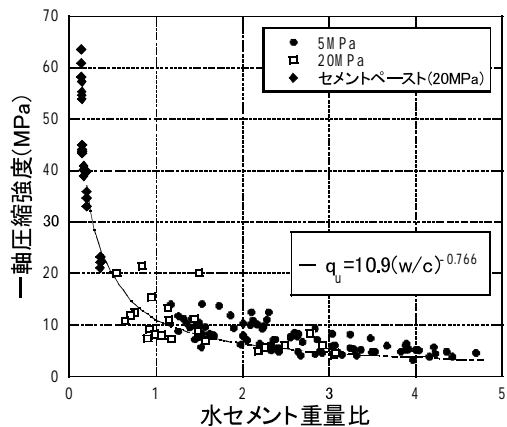


図-4 水セメント重量比と一軸圧縮強度の関係

(5) 主成分分析の結果を用いて、粘土分含有率、乾燥密度、水セメント重量比の三つの指標を用いて、脱水固化処理土の一軸圧縮強度を推定するための重回帰式を提案した。

$$q_u = 0.05P_c + 3.44\gamma_d - 1.75w/c + 6.10$$

研究の方法(2)により得られた研究成果をまとめると以下のようになる。

(6) 固化材添加率の増加にしたがって最終圧密沈下量は減少し、圧密終了時間は短縮した(図-5参照)。

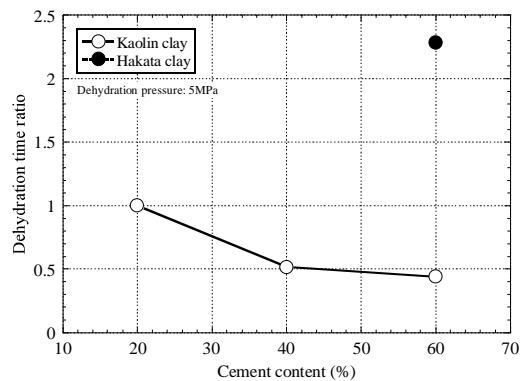


図-5 脱水時間とセメント添加率の関係

(7) 鉛直方向の含水比分布幅は小さく、均一な供試体を作製できた(図-6参照)。

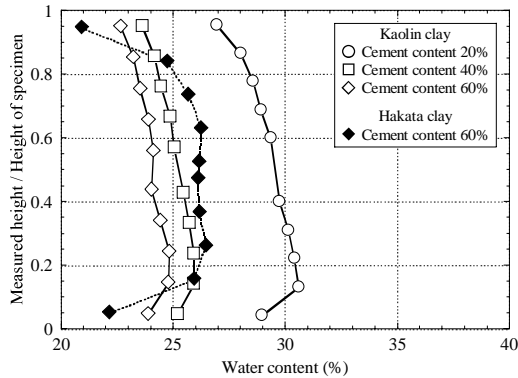


図-6 鉛直含水比分布

(8) 28日養生の一軸圧縮強度は、固化材添加率40%で最大値をとり、固化材添加率を60%に増加しても一軸圧縮強度は増加しなかった。脱水固化処理土の強度は、固化材添加率と脱水圧力をうまくバランスさせる必要がある(図-7参照)。

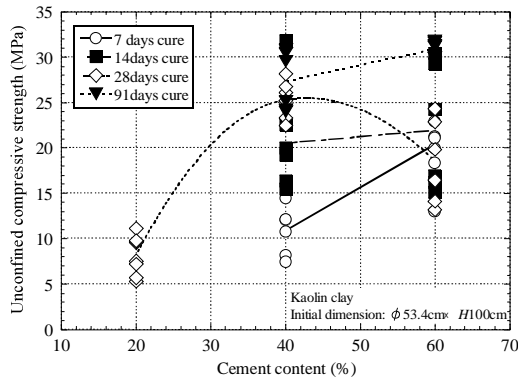


図-7 一軸圧縮強度とセメント添加率

(9) 上部供試体と下部供試体の一軸圧縮強度に大きな差異は見られなかった。

(10) 脱水固化処理土の強度は、その脱水圧力に応じた最適な固化材添加率にすることにより、コンクリート強度に匹敵する強度が期待できる(図-8参照)。

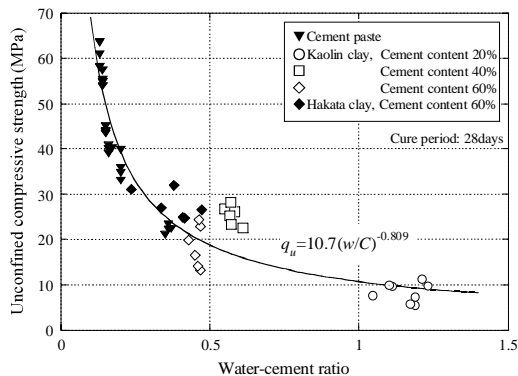


図-8 水セメント重量比と一軸圧縮強度

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計23件)

- ① 笠間清伸, 善功企, 陳光齊, 河野信貴, 高压脱水固化処理土の強度特性, 査読有, 材料, Vol. 57, No. 1, pp. 24-27, 2008年1月
- ② 笠間清伸, 善功企, 陳光齊, 固化処理工法を用いたケーソン式岸壁の動的変形抑制に関する振動台実験, 査読有, 海洋開発論文集, 第24巻, pp. 225-230, 2008
- ③ 笠間清伸, 善功企, Andrew J. Wittle, 確率数値限界解析を用いた粘性土地盤の支持力特性, 査読有, 応用力学論文集, Vol. 11, pp. 291-298, 2008
- ④ 笠間清伸, 善功企, 陳光齊, 強度の不均質性を考慮した固化処理地盤の支持力に関する信頼性解析, 査読有, 第8回地盤改良シンポジウム論文集, pp. 219-224, 2008
- ⑤ 片岡範夫, 善功企, 陳光齊, 笠間清伸, 非線形地震応答解析を用いた信頼性設計による液状化対策地盤の性能設計, 査読有, 第8回地盤改良シンポジウム論文集, pp. 225-230, 2008
- ⑥ 忽那惇, 善功企, 陳光齊, 笠間清伸, 局所的液状化を考慮した砂地盤の支持力解析, 査読有, 第8回地盤改良シンポジウム論文集, pp. 237-240, 2008
- ⑦ 小林正和, 善功企, 陳光齊, 笠間清伸, 地盤改良形状に着目した液状化対策地盤の地震時挙動に関する実験的考察, 査読有, 第8回地盤改良シンポジウム論文集, pp. 267-270, 2008
- ⑧ Kiyonobu KASAMA and Kouki ZEN, Reliability Assessment of Cement-Mixed Ground Bearing Capacity Considering Spatial Variability, Refereed, Contemporary Topics in Deep Foundations, Geotechnical Special Publication No. 185, Selected papers from the International Foundation Congress & Equipment Expo' 09 IFCEE 09, pp. 356-363, 2009
- ⑨ Kiyonobu KASAMA, Kouki ZEN and Andrew J. WITTLE, Reliability Assessment on the Bearing Capacity of Cement-treated Ground Considering Spatial Variability, Refereed, International Symposium on Deep Mixing and Admixture Stabilization, CKNAMA 2009, pp. 327-332, 2009
- ⑩ Kiyonobu KASAMA, Kouki ZEN, Giangqi

- CHEN and Kentaro HAYASHI, Shaking Table Test on the Seismic Behavior of Caisson Type Quay-Wall in Application of Ground Solidification Technique, Refereed, The 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2009, CD ROM 2009
- ⑪ Masakazu KOBAYASHI, Kouki ZEN Guangqi CHEN and Kiyonobu KASAMA, Shaking Table Test on the Improvement Dimension of Permeable Grouting Method for Liquefaction Countermeasure, Refereed, The 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2009, CD ROM 2009
- ⑫ Kiyonobu KASAMA, Kouki ZEN Guangqi CHEN Masakazu KOBAYASHI and Kentaro HAYASHI, Shaking Table Test for Partially Improved Ground Considering the Spatial Locality of Liquefaction, Refereed, International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering - from case history to practice -, pp. 1161-1166, 2009
- ⑬ Norio KATAOKA, Kouki ZEN Guangqi CHEN Kiyonobu KASAMA and Kentaro HAYASHI, Effects of Spatial Variability of Cement-Treated Soil on Liquefaction Potential, Refereed, International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering - from case history to practice -, pp. 1249-1554, 2009
- ⑭ 笠間清伸, 善功企, 陳光齊, 林健太郎, 固化処理地盤の地震時土圧の低減に関する振動台実験, 海洋開発論文集, Vol. 25, pp. 263-267, 2009
- ⑮ 小林正和, 善功企, 陳光齊, 笠間清伸, 表層固化処理した地盤の動的特性に関する実験的考察, 海洋開発論文集, Vol. 25, pp. 275-280, 2009
- ⑯ 佐野将輝, 善功企, 陳光齊, 笠間清伸, 砂分混合した脱水固化処理土の一軸圧縮強度特性, 第8回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp. 151-160, 2009
- ⑰ Kiyonobu KASAMA and Kouki ZEN, Reliability-Based Design on the Bearing Capacity of Cement-Treated Ground Considering the Spatial Variability of Shear Strength, Refereed, The 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 3, pp. 2304-2307, 2009
- ⑱ 笠間清伸, 善功企, 陳光齊, 小林正和, 局所的な液化化に着目した固化処理地盤の動的特性に関する振動台実験, 第54回地盤工学シンポジウム論文集, pp. 511-518, 2009年11月
- ⑲ Kiyonobu KASAMA, Kouki ZEN and Guangqi CHEN, Shaking Table Test on the Dynamic Earth Pressure against Retaining Structure in Application of Cement-Mixing Method, International Symposium on Ground Improvement Technologies and Case Histories (ISGI09), pp. 579-586, December, 2009
- ⑳ Masaki SANO, Kouki ZEN, Guangqi CHEN and Kiyonobu KASAMA, Dehydration and Strength Properties of Cement-Mixed Soils with a Mechanical Dehydration, International Symposium on Ground Improvement Technologies and Case Histories (ISGI09), pp. 483-490, December, 2009
- 21 Jun KUISUNA, Kouki ZEN, Guangqi CHEN and Kiyonobu KASAMA, Numerical Limit Analysis on the Seismic Bearing Capacity of Anti-Liquefaction Ground, International Symposium on Ground Improvement Technologies and Case Histories (ISGI09), pp. 411-418, December, 2009
- [学会発表] (計15件)
- ① 笠間清伸, 固化処理工法を用いたケーソン式岸壁の動的変形抑制に関する振動台実験, 第33回海洋開発シンポジウム, 第24巻, 2008年7月, 岡山県倉敷市
- ② 笠間清伸, 確率数値限界解析を用いた粘性土地盤の支持力特性, 第11回応用力学シンポジウム, 2008年9月, 宮城県仙台市
- ③ 笠間清伸, 強度の不均質性を考慮した固化処理地盤の支持力に関する信頼性解析, 第8回地盤改良シンポジウム, 2008年, 大阪府大阪市
- ④ Kiyonobu KASAMA, Reliability Assessment of Cement-Mixed Ground Bearing Capacity Considering Spatial Variability, Refereed, International Foundation Congress & Equipment Expo' 09 IFCEE 09, March 2009, Orlando, USA
- ⑤ Kiyonobu KASAMA, Reliability Assessment on the Bearing Capacity of Cement-treated Ground Considering Spatial Variability, Refereed, International Symposium on Deep Mixing and Admixture Stabilization, CKNAMA 2009, May, 2009, Okinawa,

Japan

- ⑥ Kiyonobu KASAMA Shaking Table Test on the Seismic Behavior of Caisson Type Quay-Wall in Application of Ground Solidification Technique, The 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2009, CD ROM June, 2009, Honolulu, USA
- ⑦ Kiyonobu KASAMA Shaking Table Test for Partially Improved Ground Considering the Spatial Locality of Liquefaction, International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering - from case history to practice -, June, 2009, Tsukuba, Japan
- ⑧ 笠間清伸, 固化処理地盤の地震時土圧の低減に関する振動台実験, 第34回海洋開発シンポジウム, 2009年6月, 神奈川県横浜市
- ⑨ Kiyonobu KASAMA Reliability-Based Design on the Bearing Capacity of Cement-Treated Ground Considering the Spatial Variability of Shear Strength, The 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, October, 2009, Alexandria, Egypt
- ⑩ 笠間清伸, 局所的な液状化に着目した固化処理地盤の動的特性に関する振動台実験, 第54回地盤工学シンポジウム, 2009年11月, 東京都
- ⑪ Kiyonobu KASAMA Shaking Table Test on the Dynamic Earth Pressure against Retaining Structure in Application of Cement-Mixing Method, International Symposium on Ground Improvement Technologies and Case Histories (ISGI09), December, 2009, Singapore

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笠間 清伸 (KASAMA KIYONOBU)

九州大学大学院・工学研究院・助教

研究者番号：10315111