

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22580271

研究課題名(和文) 建設廃棄物を用いた透水性セメント複合材に関する研究

研究課題名(英文) A Study on the Porous Cement Composite Using Building Wastes

研究代表者

保世院 座狩屋 (Hossain, Zakaria)

三重大学・生物資源学研究科・准教授

研究者番号：10314139

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、建設廃棄物を用いた透水性セメント複合材による盛土堤防の安全率を求めた。各種盛土堤防に対する所要の安全率が確保できる補強材の最適設計を行った。仮定した盛土法面を対象にエクセルソフトを用いた安定解析を提案し、デザインチャート化を試みた。計算内容がわかりやすく、誰にでも扱いやすいエクセルソフトによる解析を行い、各種盛土堤防に対する設計手法を確立した。補強していない盛土堤防の安全率を仮定した3種の法面勾配(30°, 45°, 60°)についてそれぞれ求めた。

研究成果の概要(英文)：In this study, six types of building wastes were used to produce porous cement composites. These porous cement composites were then applied for soil reinforcement of fill slopes. Ultimate design of porous cement composites were carried out in order to obtain required factor of safety of a given slope. Slope stability analyses were performed using Microsoft excel spreadsheet technique for the proposed slope and then the design chart of that slope were constructed. The analyses were performed in such a way that it can be easily understood and handled and thus established a design method for various fill embankments. The factor of safety of unreinforced slopes with these slope inclinations were calculated and the results were verified.

研究分野：土資源工学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：透水性セメント複合材 建設廃棄物 種盛土堤防 安定解析 最適設計 安全率 設計手法

1. 研究開始当初の背景

透水性セメント複合材はこう結材としてのセメント、骨材としての建設廃棄物、そして、補強材としての繊維材からなるが、多数の研究者や技術者が目を向けるわりには環境保全に対して考慮が払われてこなかった。環境保全に配慮した透水性セメント複合素材の研究は、たとえば、台地、道路、水路、舗装、盛土、斜面、水田の畦やその他の農業施設物などに対して重要な意味をもつ。コンクリート、ソイルセメント、石膏、アスファルトといったこう結性複合材は土壌の安定性を促進し、傾斜地の崩壊を防ぐ。しかし、これらの材料は大抵不透水性であり、6月から9月の雨の季節には、傾斜地の上流側において洪水とそれによる高水頭の発生が災害を引き起こすという難点を有する。

この問題を克服するために、繊維材を用いることによって土壌の補強とともに排水性の改良を確保する研究が行われている。

建設廃棄物を用いた透水性セメント複合材については、日本国内及び海外の研究者あるいは研究グループによって検討が進められている。自然と建設行為のバランスに対する要求が高まる中で、既存の施設物がその排水性、強度のみならず耐久性、環境制御機能や植性能を備えていることは重要である。これらに対処するためには建設廃棄物を使った新素材の開発が緊急の課題であると考えられる。地表水の透過性と地下水の貯留性に対して透水性セメント複合材の開発は有効な役割を果たすであろうと考えられる。また、階段状の農地でサンドイッチパネル状に配置された廃棄物を用いた透水性セメント複合材は効率的に非耕作地を耕作可能な土地に変えることができる。再生コンクリートは、石、舗装材、レンガ、木片といった廃材で構成されるので環境に優しく、また、材料の入手が比較的容易で、運搬コストも大きく縮減されることが予想される。

さらに、強度や補強性に関しても優れた特徴を有する点においても透水性セメント複合材は有効である。なぜならば、セメント複合材は引張り力を補強するとともにその表面の土とセメント間に摩擦力が加わるからである。複合材による補強効果は2素材間の相乗作用によって生じる。補強土工法への適用を念頭に置いてモルタル内の高張力ワイヤーメッシュからなるセメント複合材の性能を検討する。つまり、高張力ワイヤーメッシュによって引張り強度が確保される一方、廃棄物を用いたセメントモルタルと埋込み土との間には十分な大きさの摩擦抵抗が発生する。これらの条件は個々にコントロールすることができるので与えられた条件の下で複合材としての最適設計が可能となる。本研究では、また、引抜きテストやせん断テストなどによる性能検査を実施し、セメント複合材エレメントの破壊摩擦抵抗の解析とそれに伴う応力性状を考察する。そのために複

合材としての引抜き強度、ワイヤーメッシュの引張り強度、セメントモルタルと建設廃棄物の配合に関わる接触強度などを明らかにする。

2. 研究の目的

本研究では、以下の項目を明らかにするつもりである。

- (1) 種々の建設廃棄物を利用したセメント複合材の透水性試験に関する研究を実施し、セメント複合材の透水係数を求めること。
- (2) 種々の建設廃棄物を用いた透水性セメント複合材の強度性状に関する研究を実施し、メッシュ破壊、モルタル破壊、メッシュ~モルタル間の滑り破壊、モルタル~土間のせん断破壊、セメント複合材の引き抜き破壊、圧縮強度、引張強度などを求めること。
- (3) 種々の建設廃棄物を利用したセメント複合材表面の摩擦抵抗試験に関する研究を実施し、セメント複合材パネルの粗さや粘着力を求めること。
- (4) 種々の建設廃棄物材料を用いた各種構造物に対する設計手法を確立すること。
- (5) 信頼性の高いセメント複合材の最適設計及び有効利用工法を確立すること。

3. 研究の方法

実験による研究: 階段状農地付近で産出する利用可能な骨材用素材と土をサンプリングして、三重大学生物資源学部内で必要な力学試験、物理試験等の室内実験を行う。骨材セメント比、水セメント比を系統的に変化させながらサンドイッチ状パネルの大きさと厚さ及び透水孔の大きさと数による相違を調べた。基本的な試験法に関してはJISとASTMの基準に沿って行う。その他、透水試験、三軸圧縮試験、耐圧試験、耐久試験、曲げ試験、せん断引抜き試験など既設の試験装置を用いた。

コンピュータによるモデリングとプログラ

ミング: 申請者は提案した薄板理論を用いて建設廃棄物骨材を利用した透水性セメントとしての複合材サンドイッチ状パネルの構造解析を行った。面内載荷に対する板要素と面外載荷に対するセル要素は有限要素化された。透水解析あるいは浸透解析は有効応力の原理に基づいた。実用設計を考慮した建設廃棄物骨材を用いた透水性セメント複合材の補強土性状をモデル化するにあたって次の二つの有限要素近似を採用した。

- a) 第一近似として建設廃棄物骨材を用いた透水性セメント複合材パネルと土の層との分離要素を考えた。
- b) 第二近似として補強材の性質を表現するために等価異方性弾塑性材を用いた。

シミュレーション, モデルの検証, 設計方法
 と成果の公表: 数値モデルのシミュレーションを行い, 各種実験結果との相違を比較検証した。上記に計画された実験も継続実施した。建設廃棄物骨材を用いた透水性セメント複合材と補強土構造物に関する詳細設計法を実用書のような形で提供し, それに含まれる研究成果は国際会議等で発表し, 以下の専門雑誌に投稿した

4. 研究成果

廃棄物なし「コントロール」セメント複合材は図 1 に示す。歴を用いた透水性セメント複合材は図 1 に示す。

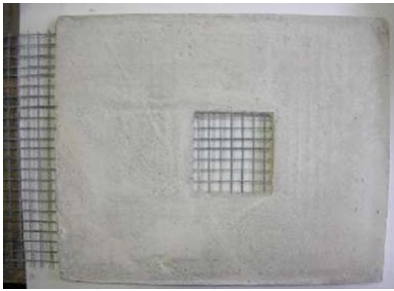


図 1. コントロール供試体「43 × 35 × 1.5 cm」

貝殻を用いたセメント複合材は図 2 に示す。



図 2. 貝殻供試体

歴を用いたセメント複合材は図 3 に示す。



図 3. 歴供試体

木材を用いたセメント複合材は図 4 に示す。



図 4. 廃棄木材供試体

廃棄コンクリートを用いたセメント複合材は図 5 に示す。



図 5. 使用済みコンクリート供試体

廃棄煉瓦「小さく砕いたもの」を用いたセメント複合材は図 6 に示す。

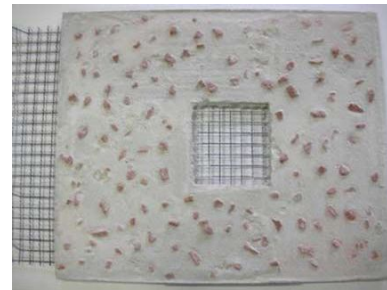


図 6. 廃棄煉瓦供試体

建設廃棄物を用いた透水性セメント複合材を用いた盛土堤防の安全率を發揮していることが確認した「図 7」。

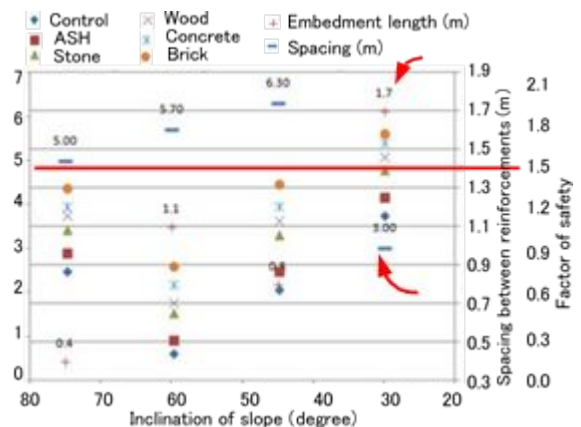


図 7. 盛土堤防の安全率の比較

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 17 件)

1. Hossain, M.Z. Waste Shell Husks Concrete: Durability, Permeability and Mechanical Properties, *Journal of Building Construction and Planning Research*, 1, 61-66, DOI: 10.4236/jbcpr.2013.13009 査読有, 2013.
2. Hossain M.Z. Influence of Recycled Aggregate Composites on the Factor of Safety of Earthen Structures, *International Journal of Geosciences*.4(5): PP. 844-849, DOI: 10.4236/ijg.2013.45078 査読有, 2013.
3. Hossain M.B. Sakai T. and Hossain M.Z. Evaluation of Sand/Geosynthetic Interface Behavior for Earth Reinforcement. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 7(3): 452-465, DOI: 10.1179/1938636213Z.00000000034 査読有, 2013.
4. Awal, A.S.M.A., Yee, L.L. and Hossain M.Z. Fresh and Hardened Properties of Concrete Containing Steel Fibre from Recycled Tire, *Malaysian Journal of Civil Engineering, The Institution of Engineers, Malaysia*, 25(1):20-32, http://www.myjournal.my/filebank/publicshed_article/26373/Paper_3.pdf 査読有, 2013.
5. Islam M.T., Hossain M.Z. and Ishida M.: Designing Vertical and Horizontal Frame Structure for Slope Protection, *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 3(2):70-74, 2012, <http://www.sciencej.com/> 査読有, 2012.
6. Islam M.T., Hossain M.Z. and Ishida M.: Analyses of Cost Comparison of Slope Protection Method between Japan and Bangladesh, *International Journal of Environment*, 2(1): 73-79, DOI: 10.4236/ijg.2013.45078 査読有, 2012.
7. Hossain M.B., Hossain M.Z. and Sakai T. Interaction Properties of Geosynthetic with Different Backfill Soils. *International Journal of Geosciences*.3(5): 1033-1039, DOI: 10.4236/ijg.2012.35104 査読有, 2012.
8. Islam M.T., Hossain M.Z. and Ishida M.: Trends Analyses for Several Factors Affected by Tropical Cyclones, *American Journal of Environmental Sciences*, Science Publications, Volume 7, Issue 3, pp.200-206, DOI: 10.1098/rstb.2010.0158 査読有, 2011.
9. Hossain M.Z. Development of a Small-Scale Universal Apparatus for Evaluating Soil-Structure Interaction, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol. 5, No.4 (Serial No. 41), pp. 314-321, 10.4236/ijg.2013.45078 査読有, 2011.
10. Hossain M.Z. and Inagaki, H.: Dilatancy Behavior of Soil-Structure Interfaces for Farm Roads and Embankments, *Australian Journal of*

Agricultural Engineering, Southern Cross Publisher, Australia, 2(1):12-17, <http://www.sciencej.com/> 査読有, 2011.

11. Hossain M.Z. and Awal, A.S.M.A.: Experimental Validation of A Theoretical Model For Flexural Modulus of Elasticity of Thin Cement Composite, *Construction & Building Materials*, Elsevier Science, 25(3), pp.1460-1465, DOI: 10.1016/j.conbuildmat. 2010.04.027 査読有, 2011.

12. Hossain, M.B., Sakai, T. and Hossain M.Z. River Embankment and Bank Failure: A Study on Geotechnical Characteristics and Stability Analysis, *American Journal of Environmental Sciences* 7 (2): 102-107, DOI: 10.3844/ajessp.2011.102.107 査読有, 2011.

13. Hossain M.Z. A Study on Thin Cementitious Composite (TCC) Materials For Soil Reinforcement Applications, *Australian Journal of Agricultural Engineering*, Southern Cross Publisher, Australia, ISSN:1836-9448, 1(4): 153-159, <http://www.sciencej.com/> 査読有, 2010.

14. Hossain M.Z. and Islam, M.P.: Cracking Stress and Bending Moment in Flexural Ferrocement Elements, *Int. Journal of Characterization and Development of Novel Materials*, Nova Science Publishers, Inc., New York. USA, Vol.1, No.4, pp.1-16. DOI: 10.1016/0958-9465(91)90043-H 査読有, 2010.

15. Hossain M.Z. and Awal, A.S.M.A.: Flexural Response of Hybrid Carbon Fiber Thin Cement Composites, *Construction & Building Materials*, Elsevier Science, 25(2), pp.670-677, doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.07.022 査読有, 2010.

16. Hossain M.Z. and Awal, A.S.M.A.: A Study on Flexural Modulus, Ductility and Field Applications of Laminated Cementitious Composites, *Malaysian Journal of Civil Engineering*, The Institution of Engineers, Malaysia, 22(2):32-43, <http://civil.utm.my/mjce/> 査読有, 2010.

17. Hossain M.Z. and Islam, M.Z. Embankments Failure in Bangladesh: Causes and Recommendations, *Indian Journal of Power and River Valley Development*, Vol.60, No.10, pp. 166-171, <http://www.journalmp.com/ijprvd.html> 査読有, 2010.

〔学会発表〕(計 19 件)

1. Hossain M.Z. Flexural Response of Basalt Mesh Thin Cement Composite Asia-Pacific International Congress on Engineering and Natural Sciences, April 16-18, Bangkok, Thailand, pp.106-115. ISBN 978-986-89298-2-1, 2013.

2. Hossain M.Z. Effect Of Reinforcement On Flexural Properties Of Brittle Composites, *Multi-Functional Materials and Structures*, Vol.4,

No.1, pp.76-79. Trans Tech Publications, July 14-17, Bangkok, Thailand, ISBN: 978-3-03785-771, 2013.

3. Islam, M.T., Hossain M.Z. and Ishida, M.: Cost-Performance Studies of Abandoned Shell Husks (ASH) for Soil Reinforcement Applications, Second International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Kuala Lumpur, Malaysia, Nov. 14-16, pp.877-880. ISBN: 978-4-9905958-1-4 C3051, 2012.

4. Hossain M.Z., Ito, K. Sakai, T. and Hossain, M.B.: Simplified Slope Stability Analysis For Earth Fill Structure With Various Types Of Reinforcements, GEOSYNTHETICS ASIA, 5th Asian Regional Conference on Geosynthetics, 13 to 16 December Bangkok, Thailand, pp.617-623, 2012.

5. Hossain, M.B., Hossain M.Z. and Sakai, T.: Experimental Study on Mechanical Characteristics of Soil-Geosynthetic Interface, Second International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Kuala Lumpur, Malaysia, Nov. 14-16, pp.660-665. ISBN: 978-4-9905958-1-4 C3051, 2012.

6. Awal, A.S.M.A., Yee, L.L., Dianah M and Hossain M.Z. Mechanical Properties of Recycled Steel Fibre Reinforced Concrete, Second International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Kuala Lumpur, Malaysia, Nov.14-16, 564-669. ISBN: 978-4-9905958-1-4 C3051, 2012.

7. Ali, M., Hossain M.Z. and Haruyama, S.: Cyclones Path and Severities: Effect on Flood Height and Damages of Land and Embankments in Bangladesh, Second International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Kuala Lumpur, Malaysia, Nov. 14-16, pp.881-884. ISBN: 978-4-9905958-1-4 C3051, 2012.

8. Mukabi, J.N. and Hossain M.Z. Characterization and modeling of various aspects of pre-failure deformation of clayey geomaterials – applications in modeling, First International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Mie, Japan, Nov. 21-23, pp.563-572. ISBN: 978-4-9905958-0-7 C3051, 2011.

9. Khan, M.A., Parvin F., Islam, J.M.M and Hossain M.Z. Manufacture of Housing Construction Materials with Jute Polymer Composite (Jutin), First International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Mie, Japan, Nov.21-23, pp.239-244. ISBN: 978-4-9905958-0-7 C3051, 2011.

10. Ito K., Hossain M.Z. and Sakai T.: Development of design charts for reinforced embankment using excel spreadsheet slope stability analysis, First International Conference

on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Mie, Japan, Nov.21-23, pp.183-186, ISBN: 978-4-9905958-0-7 C3051, 2011.

11. Islam, M.T., Hossain M.Z. and Ishida, M.: Design and Fabrication of Composite Technology for Earth Slope Protection, First International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Mie, Japan, Nov. 21-23, pp.375-380. ISBN: 978-4-9905958-0-7 C3051, 2011.

12. Hossain, M.B., Hossain M.Z. and Sakai, T.: Interface behaviour of basalt geosynthetic with sand in direct shear mode, First International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Mie, Japan, Nov. 21-23, pp.391-396. ISBN: 978-4-9905958-0-7 C3051, 2011.

13. Islam, M.T., Hossain M.Z. and Ishida, M.: Low Cost Composite Technology for Earth Slope Protection – Case Studies in Japan and Bangladesh, International Conference on “Geotechnics for Sustainable Development” October 6th – 7th, Hanoi, Vietnam, ISBN 978-604-82-000-8, 917-924, 2011.

14. Hossain M.Z. Possible Utilization of Waste Shell Husks in Concrete Construction for Environmental Pollution Mitigation, The 1st EnvironmentAsia International Conference on “Environmental Supporting in Food and Energy Security: Crisis and Opportunity”, Thai Society of Higher Education Institutes on Environment, 22-25 March Bangkok, Thailand, pp:508-517. ISBN: 978-974-11-1446-7, 2011.

15. Hossain M.Z. Development of A Small-Scale Universal Apparatus For Evaluating Soil-Structure Interaction, IAEC 2010 International Agricultural Engineering Conference, Shanghai, China, Sept. 17-20, 2010, pp.143-155, 2010.

16. Hossain, M.B., Sakai, T. and Hossain M.Z. Seepage and stability analysis of Manu river embankment of Bangladesh: A case study, Proc. of the National Conference of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering, JSIDRE, Kobe, pp.276-277, Aug.31-Sept.2., 2010.

17. Hossain, M.B., Sakai, T. and Hossain M.Z. River embankment and bank failure in Bangladesh: A Study on Geotechnical characteristics and stability analysis, International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh (ICEAB), Sept. 4, pp.171-174, University of Kitakyushu, Kitakyushu, Fukuoka, JAPAN, ISBN: 978-984-33-1979-1. Best Paper Award, 2010.

18. Hossain M.Z. A Study On Composite Technology For Earth Slope Protection, Proc. of 7th International Conference on Ground Improvement Techniques, June 23-25, Seoul, Korea, pp.199-208. ISBN: 978-981-08-5201-6,

2010.

19. Hossain M.Z. Improvement of Akogi Volcanic Soil Applying Nominal Dosage of Ordinary Portland Cement, Proc. of 3rd International Conference on Problematic Soils, April 7-9, Adelaide, Australia, pp.163-170. ISBN: 978-981-08-5197-2, 2010.

〔図書〕(計6件)

1. Hossain M.Z. and Shahin H.M. Geotechnique, Construction Materials and Environment, Volume 1 & 2, pp.1-735, Published by Geomate International Society, Japan, ISBN: 978-4-9905958-2-1 C3051, 2013.

2. Hossain M.Z. Laminated Cementitious Composites Lambert Academic Publishing, Germany, pp.1-224, ISBN: (English Language), ISBN: 9783847343141, 2012.

3. Hossain M.Z. and Bujang B.K. Huat. Geotechnique, Construction Materials and Environment, Volume 1, pp.1-890, Published by Geomate International Society, Japan, ISBN: 978-4-9905958-1-4 C3051, 2012.

4. Hossain M.Z. and Sakai, T. Geotechnique, Construction Materials and Environment, Volume 1 & 2, pp.1-630, Published by Geomate International Society, Japan, 2011, ISBN: 978-4-9905958-0-7 C3051, 2011.

5. Sakai, T., Katsuyama, K., Hossain M.Z. and Pyrak-Nolte, L.J.: Soil Mechanics II - Mechanical Properties, Korona Publishing Company, Japan, September, 1-163, SBN: 978-4-339-05225-1 (English and Japanese Languages together), 2010.

6. Sakai, T., Katsuyama, K., Hossain M.Z. and Pyrak-Nolte, L.J.: Soil Mechanics I - Fundamental Properties, Korona Publishing Company, Japan, pp.1-161, ISBN: 978-4-339-05224-4 C3051 (English and Japanese Languages together), 2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

保世院 座狩屋(Hossain Zakaria)

三重大学・大学院生物資源学研究科・准教授

研究者番号：10314139