

平成 21 年 6 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2006～2008

課題番号：18206052

研究課題名（和文）廃タイヤのリサイクル材を用いた抗土圧構造物の耐震補強工法に関する研究

研究課題名（英文）Earthquake Resistant Reinforcement Method of Gravity Type Structures using Tire Derived Geomaterials

研究代表者 Hemanta Hazarika

秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授

研究者番号：00311043

研究成果の概要：中央防災会議で注目されている、近い将来に発生予測の首都直下型地震，東海，東南海，南海大地震などによる社会基盤の被害を防ぐため適切な防災対策は緊急の課題である。本研究では廃タイヤのマテリアルリサイクルの有効な利用方法の一つとして，タイヤチップ（廃タイヤを裁断したリサイクル品）を構造物の裏面に緩衝材として，また，裏込め地盤中の鉛直排水材（ドレーン材）として使用することによって，地震時に抗土圧構造物に作用する動的荷重と残留変位の低減および地盤の液状化防止に貢献できることが確認できた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	13,700,000	4,110,000	17,810,000
2007 年度	11,000,000	3,300,000	14,300,000
2008 年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
年度			
年度			
総計	30,900,000	9,270,000	40,170,000

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：地震防災，コスト縮減，環境問題，リサイクル，タイヤチップ，耐震補強

## 1. 研究開始当初の背景

社会基盤施設は，建設→維持管理→修繕・更新といったライフサイクルを有するが，社会基盤の被害は地震発生たびに報じられ，構造物の耐震設計と耐震補強の重要性と緊急性を示唆している。例えば，2004年12月26日のスマトラ沖大地震による被害は，現在でも周辺の国々の社会情勢に大きな影響を与えている。我が国においても，近い将来に発生が予測されている東海，東南海，南

海大地震およびこれらに伴う津波による社会基盤の被害を防ぐための適切な対策は緊急の課題である。本研究は港湾・空港施設の耐震性能に関する研究を産・学・官が共同で行い，耐震性評価手法の信頼性向上と防災に適した施設の整備手法を提案するものである。本研究によって開発された技術は，種々の陸上構造物への適用が可能であることから，広く我が国の社会資本の地震時安全性確保に寄与するものと考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究は、地震に対する社会基盤の安全かつ経済的な設計・施工と、廃棄物の再利用の両立を目指した耐震補強工法の開発を目的としている。2005年2月の京都議定書の発効によって、毎年確実に増加している廃タイヤ（日本の人口にほぼ匹敵する本数）のリサイクルはサーマルリサイクルからマテリアルリサイクルへの転換（CO<sub>2</sub>の排出量はサーマルリサイクルの約1/4である）に迫られている。本研究の特徴は、マテリアルリサイクルの有効な利用方法の一つとして、タイヤチップ（廃タイヤを裁断したリサイクル品）を圧縮材および排水材として活用することにある。すなわち、軽量で圧縮性および透水性に優れたタイヤチップを構造物の裏面に緩衝材として、また、裏込め地盤中の排水材として使用することによって、地震時に抗土圧構造物に作用する動的荷重と残留変位の低減および液状化防止を図ろうとするものである。本研究では、このようなサンドイッチ型複合システムにおける耐震性を評価・検討し、新しい工法を開発するとともに、これに基づいて抗土圧構造物の経済的な設計・施工法を開発することを目的としている。

## 3. 研究の方法

本研究では以下の検討を行った。

- (1) 耐震補強工法の港湾構造物への適用性を検証する一段階として水中振動台を用いて新工法の有効性の確認
- (2) オンライン地震応答実験による新地盤材料（タイヤチップまたはタイヤチップ混合砂）の応答特性の評価
- (3) 動的圧縮試験および動的一面せん断試験による、タイヤチップとタイヤチップ混合砂の動的力学特性、摩擦特性の検討
- (4) 繰り返し一面せん断試験によるタイヤチップー地盤間の動的相互作用特性の把握
- (5) X線CTスキャナによるタイヤチップおよびタイヤチップ混合砂の内部構造の検討
- (6) サンドイッチ型複合システムとしての「構造物ータイヤチップー地盤」の動的

応答解析法の開発

- (7) 模型実験およびそのシミュレーションによる複合システムの振動特性、耐震性および液状化防止に関する検討
- (8) 有害物質の溶出に対して地盤中に埋めたタイヤチップの環境安全性に関する実験的調査

## 4. 研究成果

- (1) 本研究の主な成果は以下のとおりである
  - ① 地震時の液状化防止対策としてタイヤチップドレーンおよびタイヤチップスと砂の混合材を用いた地盤の応答に関する振動台実験を行った結果、土圧低減のみならず水平変位も低減できることが明らかになった
  - ② タイヤチップの弾性的性質に着目して、タイヤチップと砂との混合または互層地盤を想定し、オンライン地震応答実験によりタイヤチップを単体で用いることで、大幅な減震効果・液状化抑止効果・免震効果が期待でき、最下層に一層敷いただけでも十分な効果があることが分かった
  - ③ X線CT用一面せん断装置の開発を行い、その有用性を確認した結果、砂地盤と違って弾性体であるタイヤチップの場合小さなひずみが広範囲に広がっていることを確認できた。また、タイヤチップと砂の混合体の圧縮特性にタイヤチップの変形特性の影響が顕著に出ることを確認した。
  - ④ 粒径の異なる材料を対象に、大型三軸試験装置を用いた繰返し三軸試験を行った結果、最大粒径の違いがタイヤチップの変形特性に与える影響は見られなかった
  - ⑤ 繰返しせん断試験を用いてタイヤチップス混合砂の動的せん断特性を調べた結果、タイヤチップス混合砂の破壊線は、砂の混合比の増加に伴い、破壊線の勾配が大きくなり、砂単体の破壊線に近づくことが分かった
  - ⑥ タイヤチップスと砂およびコンクリートとの摩擦特性を得るため中型一面せん

ん断試験機を用いて繰り返し試験を行い、設計および解析用定数を求めることができた。

- ⑦ 擁壁裏込めにタイヤチップスを緩衝材として設置した場合に見られる土圧低減のメカニズムについて数値的に検討した結果、弾性体としての緩衝材は、弾性定数が小さく、しかもポアソン比が小さいものほど土圧の低減効果があることが明らかになった
- ⑧ サンドイッチ型複合システムの動的応答解析の結果から補強材の効果により、裏込め土の間隙水圧の上昇を抑制できることを確認できたとともに、影響範囲についてさらに検討する必要があるということが確認できた。
- ⑨ 環境庁告示第46号の溶出試験に準拠して、タイヤチップにおける溶出試験の条件を検討した結果として、発光バクテリア及びミジンコでは劣化時間に依存して影響程度が増加することを確認した。他方、藻類には明確な劣化時間と影響は相関関係が認められなかった。発光バクテリア及びミジンコにおいてこのような結果が得られた要因として、亜鉛の増加が関与しているものと考えられた。

## (2) 国内外における位置づけとインパクト

- ① 廃タイヤリサイクルに関する新しい技術の発展を推進するために、世界中の土木工学、建築学、材料工学、地盤工学、耐震工学、環境工学や化学工学、生物学など様々な分野の専門家や研究者が一堂に会し、相互に知識と経験を共有し、意見交換をすることが目的として2007年3月23~24日に国土技術政策総合研究所研修センター(横須賀)にて国際ワークショップ(International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials (IW-TDGM 2007))を開催した。このような国際ワークショップは世界に先駆けて日本で開催された。ワークショップでは投稿論文数36編、当日参加者人数88名(海

外8カ国から17名と国内71名)があった。本ワークショップの結果を通じて最新技術および情報通信によって、これらの成果は、地盤工学の新たな進展だけでなく持続可能な地球環境の創造の観点からも、確実に寄与するものであることといえる。

- ② 上記のワークショップの論文集は(Scrap Tire Derived Geomaterials-Opportunities and Challenges)は英国のTaylor & Francisから出版された。研究代表者が編集委員長である本出版物は世界で始めて廃タイヤのリサイクル材に関する著作であり、世界中の研究者から良い評価を受けている。
- ③ 韓国の地盤工学会から招待論文として依頼を受け、学会誌(地盤)に本研究の結果が掲載された。

## (3) 今後の展望

- ① 本研究成果を実用化に向けた要素試験と模型実験およびこれらに環境影響評価を加味して統合した現地施工とそのモニタリングを行って、タイヤチップを用いた新しい耐震補強工法の確立を目指す。
- ② 企業との共同事業を実施し、フィージビリティ・スタディを含む実施試験を行う。

## 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 9件)

- 1) Hazarika, H., Yasuhara, K., Karmokar, A. K., Kikuchi, Y., & Mitarai, Y. (2009). "Multifaceted Potentials of Tire Derived Three Dimensional Geosynthetics in Geotechnical Application and Their Evaluation", *Geotextiles and Geomembranes*, Special Volume, (*In Press*), 査読あり.
- 2) Hazarika, H., Kohama, E., and Sugano, T. (2008). "Underwater Shaking Table Tests on Waterfront Structures

- Protected with Tire chips Cushion”, *Journal of Geotechnical and GeoEnvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 134, No. 12, pp. 1706-1719, 査読あり.
- 3) Hazarika H. (2008). “Recycle Material as Geosynthetics – A Dual Approach for Mitigating Earthquake Disasters”, *Geotechnical Engineering, Invited Paper, Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol. 24, No. 6, pp. 8-17, 査読あり.
  - 4) 島田 里美、ハザリカ ヘマンタ、大谷 順、菊池 喜昭 (2008). “地盤材料としてタイヤチップの一面せん断挙動—X 線 CT の適用”, *ジオシンセティックス論文集*, Vol. 23, pp. 75-82, 査読あり.
  - 5) ハザリカ ヘマンタ、安原一哉 (2008). “ゴムチップ混合による護岸裏込め砂質土の地震時変状低減”, *ジオシンセティックス論文集*, Vol. 23, pp. 83-88, 査読あり.
  - 6) 菊池 喜昭、佐藤 宇紘、ハザリカ ヘマンタ (2008). “ゴム球集合体の三軸圧縮時の変形特性に関する検討”, *ジオシンセティックス論文集*, Vol. 23, pp. 89-94, 査読あり.
  - 7) 金田 一広、ハザリカ ヘマンタ、山崎 浩之 (2007). “擁壁裏込めに廃タイヤを用いた土圧低減の数値解析”, *応用力学論文集*, Vol. 10, pp. 467-476, 査読あり.
  - 8) 安原一哉、ハザリカ ヘマンタ、御手洗 義夫、アショカ・K. カルモカル (2006). “古タイヤ材の建設分野への適用事例”, *ジオシンセティックス技術情報*, Vol. 22, No. 3, pp. 15-30, 査読あり.
  - 9) Hazarika, H., Sugano, T., Kikuchi, Y., Yasuhara, K., Murakami, S., Takeichi, H., Karmokar, A. K., Kishida, T., & Mitarai, Y. (2006). “Flexibility and Stability Enhancement of Structures during Earthquakes using a Novel Geosynthetic Material”, *ジオシンセティックス論文集*, Vol. 21, pp. 125-130, 査読あり.
- [学会発表] (計 22 件)
- 1) Hazarika, H., Kobayashi, J., Kanno, H., & Madabhushi. G. (2009). “Centrifuge modeling for performance evaluation of geotechnical structures improved by earthquake resistant cushion”, *International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering (IS-TOKYO 2009)*, 15-18 June 2009, Tsukuba, Japan (In Press).
  - 2) Hazarika, H. (2009). “Difficulties Associated with Tire Chips in Seismic Buffer Applications”, *第8回環境地盤工学シンポジウム*, 7月16日～17日、秋田 (投稿中) .
  - 3) 五十嵐 信貴、Hemanta Hazarika (2009). “廃タイヤリサイクル材の強度特性に寸法の違いが及ぼす影響”, *第8回環境地盤工学シンポジウム*, 7月16日～17日、秋田 (投稿中)
  - 4) 安原一哉、小峯秀雄、村上 哲、藤原康成、木立恭史、ヘマンタ・ハザリカ (2009). “裏込めにタイヤチップス混合砂を適用した構造物の地震時土圧低減のメカニズム”, *第8回環境地盤工学シンポジウム*, 7月16日～17日、秋田 (投稿中)
  - 5) 菊池 喜昭、日高 健寿、佐藤 宇紘、阿曾 美之、Hemanta Hazarika (2009). “三軸圧縮過程におけるゴム球集合体およびタイヤチップ混合土の変形特性の観察”, *第8回環境地盤工学シンポジウム*, 7月16日～17日、秋田 (投稿中)
  - 6) 金田 一広、ハザリカ ヘマンタ、山崎 浩之 (2009). “擁壁裏込めに緩衝材として用いた廃タイヤの土圧低減効果”, *第8回環境地盤工学シンポジウム*, 7月16日～17日、秋田 (投稿中)
  - 7) 鑪迫 典久、中川 理緒、Hemanta Hazarika、有菌 幸司、安原 一哉 (2009). “リサイクルタイヤチップの水生物におよぼす影響”, *第8回環境地盤工学シンポジウム*, 7月16日～17日、秋田 (投稿中)

- 8) 五十嵐 信貴、Hemanta Hazarika (2009). “廃タイヤリサイクル材の圧縮及び繰返しせん断特性”, 第44回地盤工学会研究発表会, 横浜, 2009年8月(投稿中)
- 9) Hemanta Hazarika、山田 祐樹、粕谷 悠紀、山本 彰 (2009), “高圧縮性を有する人工地盤材の大型繰返し三軸試験”, 第44回地盤工学会研究発表会, 横浜, 2009年8月(投稿中)
- 10) 島田 里美、大谷順、Hemanta Hazarika、菊池 喜昭 (2009). “タイヤチップ混合砂の一面せん断特性における弾塑性挙動”, 第44回地盤工学会研究発表会, 横浜, 2009年8月(投稿中)
- 11) 菊池 喜昭、水谷 崇亮、日高 健寿、阿曾美之、Hemanta Hazarika (2009). “三軸圧縮試験におけるタイヤチップ混合土の変形特性について”, 第44回地盤工学会研究発表会, 横浜, 2009年8月(投稿中)
- 12) 丸井祐司、矢島寿一、ヘマンタ・ハザリカ (2008). “平均粒径 6.0mm タイヤチップスの液状化特性について”, 第43回地盤工学会研究発表会, 広島, 2008年7月
- 13) 安原一哉、村上智、ハザリカ・ヘマンタ (2008). “タイヤチップ混合による砂の液状化低減”, 平成20年土木学会全国大会, 仙台市, 2008年10月
- 14) Hazarika, H., Yasuhara, K., Hyodo, M., Karmokar, A. K., and Mitarai, Y. (2008). “Mitigation of Earthquake Induced Geotechnical Disasters using A Smart And Novel Geomaterial”, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE)*, Beijing, China, CD-ROM.
- 15) Hazarika, H. & Yasuhara, K. (2008). “Tire Derived Recycle Material as Earthquake Resistant Geosynthetic”, *The First Pan American Geosynthetics Conference*, Cancun, Mexico, CD-ROM.
- 16) Hazarika, H. (2007). “Earthquake Hazard Mitigation Measures using Tire Derived Geomaterials”, *International Workshop on Earthquake Hazards and Mitigations (EHAM 2007)*, Guwahati, Assam, India, pp 453-462.
- 17) Hazarika, H. (2007). “Structural Stability and Flexibility during Earthquakes using Tyres (SAFETY) - A Novel Application for Seismic Disaster Mitigation -”, *Proceedings of the International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials, (IW-TDGM 2007)*, Yokosuka, Japan, Hazarika and Yasuhara Eds., pp. 115-126.
- 18) Hazarika, H., Yasuhara, K., Karmokar, A. K., and Mitarai, Y. (2007). “Shaking Table Test on Liquefaction Prevention using Tire chips and Sand Mixture -”, *Proceedings of the International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials (IW-TDGM 2007)*, Yokosuka, Japan, Hazarika and Yasuhara Eds., pp. 215-222.
- 19) Kaneda, K., Yamazaki, H., & Hazarika, H. (2007). “The Numerical Simulation of Earth Pressure Reduction using Tirechips in the Backfill”, *Proceedings of the International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials (IW-TDGM 2007)*, Yokosuka, Japan, Hazarika and Yasuhara Eds., pp. 245-252.
- 20) Okamoto, S., Hyodo, M., Orense, P., and Hazarika, H. (2007), “Undrained and drained shear behaviour of sand and tire chips composite material -”, *Proceedings of the International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials (IW-TDGM 2007)*, Yokosuka, Japan, Hazarika and Yasuhara Eds., pp. 187-196.
- 21) 河田慎治朗, 兵動正幸, 岡本真紀, 山田卓, 金和寛, ハザリカ・ヘマンタ (2007) “タイヤチップ混合砂の排水・非排水単調せん断特性”, 第42回地盤工学会研究発表会, 名古屋.
- 22) Hazarika, H., Sugano, T., Kaneda, K., Kishida, T., and Mitarai, Y. (2007). “Shaking Table Test on a Novel

Earthquake Resistant Technique Utilizing Smart Geomaterials”, 13<sup>th</sup> Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Kolkata, India, pp. 629-632.

[図書] (計 1件)

- 1) Hazarika, H. & Yasuhara, K. (2007). Scrap Tire Derived Geomaterial -Opportunities and Challenges, Taylor and Francis, London, UK.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

Hemanta Hazarika

秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授

研究者番号：00311043

### (2) 研究分担者

小林 淳

秋田県立大学・システム科学技術学部・教授  
研究者番号：30315626

菅野 秀人

秋田県立大学・システム科学技術学部・助教  
研究者番号：20336449

渡慶次 ファン・カルロス

秋田県立大学・システム科学技術学部・助教  
研究者番号：10336448

安原 一哉

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：20069826

兵動 正幸

山口大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：40130091

大谷 順

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：30203821

菊池 喜昭

(独)港湾空港技術研究所・  
地盤構造部・地盤研究領域長

研究者番号：40371760

金田 一広

(独)港湾空港技術研究所・地盤構造部・研究官

研究者番号：30314040

鑪迫 典久

(独)国立環境研究所・環境リスクセンター・  
主任研究員

研究者番号：40370267

矢島 寿一

明星大学・理工学部・准教授

研究者番号：50386455

御手洗 義夫

東亜建設工業(株)・技術研究開発センター・主任研究員

研究者番号：20446925

高谷 富也

舞鶴工業高等専門学校・  
建設システム工学科・教授

研究者番号：70179448

菅野 高弘

(独)港湾空港技術研究所・

地盤構造部・研究室長

研究者番号：10187635

田中 智宏

(独)港湾空港技術研究所・

地盤構造部・特別研究員

研究者番号：60416021

### (3) 連携研究者

高橋 重雄

(独)港湾空港技術研究所・津波防災研究センター・センター長

岸田 隆夫

東亜建設工業(株)・土木事業本部・副本部長  
永留 健

東亜建設工業(株)・技術研究開発センター・研究員

武市 秀雄

(株)ブリヂストン・中央研究所・研究第3部長

鈴木 欽也

(株)ブリヂストン・中央研究所・ユニットリーダー

アショカ・クマル・カルモカル

(株)ブリヂストン・中央研究所・研究員

蓮見 隆

NPO法人リサイクルソリューション・技術顧問

Isao Ishibashi

Old Dominion University, Virginia, USA・  
Professor & Graduate Program Director

村上 哲

茨城大学・工学部・講師

宮田 喜壽

防衛大学校・システム工学群・准教授

山田 卓

東京大学大学院・工学系研究科・助教