

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420513

研究課題名(和文)補強土技術による舗装の長寿命化

研究課題名(英文)High stabilization of pavement structure using geosynthetic reinforced soil technology

研究代表者

平川 大貴(Hirakawa, Daiki)

中央大学・理工学部・准教授

研究者番号：40372990

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：わだち掘れ等の供用時に生じるアスファルト(As)舗装の変状の要因の一つに、交通载荷による路盤・路床の残留変形がある。本研究では、地盤補強土技術の適用による路盤の残留変形の抑制効果に注目している。

2種類の路盤材(天然砕石、破碎コンクリートを用いた再生路盤材)に対して、a)ジオグリッド補強、b)短繊維混合補強、c)a.b.の併用、の3種類の地盤補強技術の有効性を調べた。b)は一般道のうちライフラインが車道下に埋設されている路線、a)とc)は高速道路等の路線を想定している。この結果、いずれの条件でも検討した地盤補強土技術は交通载荷による路盤の残留沈下を抑制することができることを確認した。

研究成果の概要(英文)：This study focuses residual settlement of asphalt pavement system subjected to traffic loads in the view of geotechnical engineering. Firstly, residual deformation properties of the base aggregates during wheel loading were investigated by performing of laboratory wheel loading test. Large residual deformation of the base aggregates due to traffic load was observed in the wheel loading test of asphalt pavement with conventional unreinforced subbase layer. This study also investigated the performance of the followings three geosynthetic-reinforcing technologies applied to the subbase layer on the stability of pavement system; a)geogrid-reinforcing, b)short-fiber mixing and c)combined of short-fiber mixing and geogrid-reinforcing. The residual settlement of the subbase layer caused by traffic loading can be reduced by applied the above reinforcing technologies.

研究分野：地盤工学

キーワード：アスファルト舗装 路盤 交通载荷 残留沈下 地盤補強 ジオグリッド 短繊維混合補強 再生路盤材

1. 研究開始当初の背景

我が国は近年の約 60 年で積極的な国土開発を行い、様々な社会基盤構造物を構築してきた。特に道路網は 1955 年時点で総延長 2.4 万 km (舗装率 15.7%) であったのに対して、現在では総延長は 127 万 km 以上 (同 91.0%) に達している。我が国の道路は高速道路、国道 (指定区間および指定外区間)、都道府県道および市町村道で区分され、それぞれ整備と維持管理がなされている。また、我が国での道路構造物は交通体系の中核としての役割だけでなく、地域や都市づくりの基盤としての空間機能 (ライフラインの設置空間) や災害時での避難あるいは救援経路という防災上の役割も果たしている。

道路の舗装構造は表層の材料に応じてアスファルト (以下、As) 舗装とコンクリート舗装に大別されるが、ともに共通して表層下は路盤・路床の土の層で構成された複合多層構造である。我が国の道路舗装は 1950 年代では (As 舗装 : コンクリート舗装) = (40% : 60%) とコンクリート舗装の方が多かったが、1980 年代では (94% : 6%) と推移し、現状ではほぼ As 舗装が採用されている。コンクリート舗装と比較すると As 舗装は施工性が優れ、目地がないために乗り心地が良い等の利便性を有し、さらに排水性といった機能を付加することも可能である。しかしながら、As 舗装は耐久性が低いという大きな問題点がある。このため、高い頻度での補修・修繕が求められ、As 舗装構造物を安定的に供用し続けるためには大きな経済的負担を伴う。さらに、我が国では既に人口と税収の減少が顕在化しており、高度経済成長期に急速に整備された膨大な橋梁やトンネル等の構造物が耐用年数を迎える反面、公共投資が抑制されていく状況下において社会ニーズに対応して道路構造物を合理的かつ効率的に更新していくために道路施設の維持管理の高度化や長寿命化の方法が模索されている。これには耐久性の低い舗装構造物の技術革新が重要となるが、我が国では As 舗装は定期的な打ち替えを前提としてきたため、舗装の長寿命化への効果的な技術革新の目途は立っていない。

As 舗装の機能低下は平坦性、わだち掘れ、ひび割れを総合して評価される。これらの現象の要因同定、あるいは対応方法の検討は、舗装工学分野で検討されている。舗装工学分野での経験的知見によれば、路盤・路床が良好で表層が強固である場合、舗装の変状の主要因は As 混合物の流動もしくは摩耗とされている。これに対して路盤・路床の支持力が不足している場合では、舗装の変状の主要因は交通载荷の作用に伴う路盤・路床の残留変形であることが経験的に知られている。我が国では As 混合物の熱的挙動や環境負荷への安定性保持に関する研究は継続的に行われているが、地盤工学的視点に基づいた路盤・路床の安定性の研究は極めて限定されている。

上記の背景から、本研究では As 舗装の長寿命化に向けて、交通载荷による舗装系の変状を抑制する方法に着目した。すなわち、交通载荷による路盤・路床の残留沈下を地盤補強技術によって最小化し、これをもって舗装系の長寿命化を目指す。地盤補強技術には、a) ジオグリッド補強、b) 短繊維混合補強、および c) ジオグリッド補強と短繊維混合補強の併用について検討する。

2. 研究の目的

本研究では地盤工学の視点に基づいて、交通载荷による路盤・路床の残留沈下を抑制する方法を確立することを目的としている。すなわち、交通载荷に起因する路盤以下の層の残留沈下を抑制して、表層・基層のアスファルト混合物に対して維持・修繕を集中化できる状況を目指す。これによって、維持管理費の抑制しつつ、舗装構造物の安定的な運用を目指す。

本研究で地盤補強技術を適用する舗装構造の層系は、路盤あるいは路床である。主たる作用力を交通载荷と設定すると、路床よりも载荷点 (舗装表面) に近い路盤層の方が非弾性変形は卓越する。これより、上記の 3 つのジオシンセティックス補強土技術の適用は、路盤層に設定した。なお、前述の様に我が国の道路網は運輸基盤としての役割だけでなく、ライフラインの設置場所等の役割も有している。ライフラインが埋設されている道路では埋設構造物の設置や維持管理に伴って舗装は掘削と埋め戻しが行われる。したがって、一般道においては掘削・埋戻しが可能な地盤補強技術しか適用できないが、この様な特性を有する地盤補強技術は確立されていない。本研究で検討する b) 短繊維混合補強は掘削・埋戻しが可能であり、ライフラインが埋設されている一般道への適用を想定している。一方、a) ジオグリッド補強、および c) ジオグリッド補強と短繊維混合補強の併用は、ライフラインが埋設されていない高速道路等の路線を想定している。

また、路盤材には礫質土が用いられるが、現状では破砕コンクリート等の再生路盤材の使用が進んでいる。建設副産物の再利用への社会的な要求が増加する現在、従来の天然砕石の路盤材だけでなく、再生路盤材への適用の可否も検討しておく必要がある。そこで、本研究では路盤材には「天然由来の粒度調整砕石」と「破砕コンクリートを材料とする再生路盤材」の 2 種類について検討を行う。

3. 研究の方法

地盤補強技術の路盤への適用効果は、As 舗装模型を用いた室内移動载荷試験 (図-1) により実験的に調べた。表層 (As 混合物) と路盤層の 2 層系に簡略化した As 舗装模型を構築し、その表面に剛なローラーを用いて繰返し輪荷重を与え、路盤内の応力状態と路盤粒子の変位挙動、路盤の残留沈下特性を調べた。

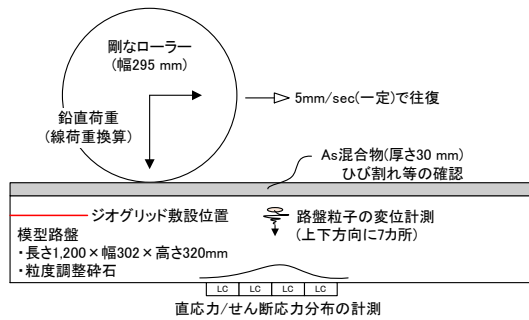


図-1 As舗装の室内移動荷重試験の概要

また、進行的で複雑な内部境界場を有する室内移動荷重試験結果を適切に解釈するため、路盤材(天然碎石、破碎コンクリート)の基本的な強度変形特性を土の室内変形強度試験(三軸圧縮試験)より調べた。短繊維混合補強土技術は、その適用に際しては混合体としての力学的特性だけでなく短繊維の混合性も重要な論点となる。したがって、路盤材への短繊維の混合性等も別途調べ、As舗装模型の室内移動荷重試験を実施した。

4. 研究成果

1) 交通荷重によるAs舗装模型の残留沈下の要因

地盤補強技術の適用による路盤の残留沈下の抑制効果は、従来の無補強路盤を有するAs舗装模型の変形特性と比較することによって定量評価する。無補強路盤を有するAs舗装に対して重交通荷重を模擬した輪荷重を繰返し負荷させたところ、路盤層の残留変形は極めて進行的であり、繰返し荷重回数の増加に対して路盤の残留沈下は継続的に発生した。この時の路盤内の応力状態は、直応力・せん断応力両方の繰返し荷重状態となり、特にせん断応力は輪荷重の位置に応じて作用する向きも逆転していた。すなわち、交通車両の通過は、路盤にとっては主軸方向の連続的な回転を伴う多軸の繰返し荷重となる(図-2)。これは土構造物の地震時で生じるゆすり込み沈下に等しく、未固化の土には進行的で大きな残留沈下が生じる作用力条件である。このような作用力条件に対して、路盤層の密度を増加させても、路盤が無補強のままでは進行的な残留沈下を根本的に抑制することは困難であった。

また、路盤層内へのジオグリッドの敷設位置を確定するためにも、無補強路盤の変形特性は重要となる。路盤層内の局所的な鉛直ひずみ量を算出したところ、荷重点に近くなるほど(表層に近づくほど)より大きな残留鉛直ひずみが発生することが確認された(図-3)。これより、路盤内にジオグリッドを敷設する際には、路盤層の上部に敷設することが効果的であることが確認された。

2) 地盤補強の残留沈下抑制効果

天然碎石(安山岩を母岩とする粒度調整碎石)に対して、a)ジオグリッド補強、b)短繊維混合補強、およびc)ジオグリッド補強と短繊維

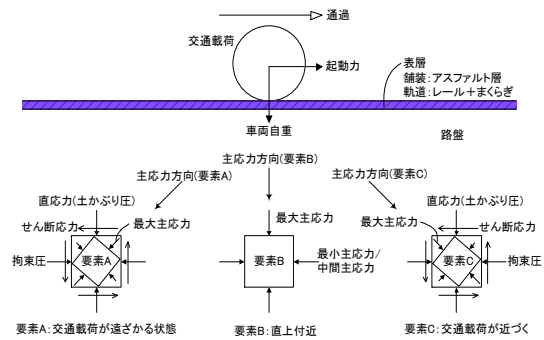


図-2 交通荷重が作用した時の路盤内応力状態の模式図の概要

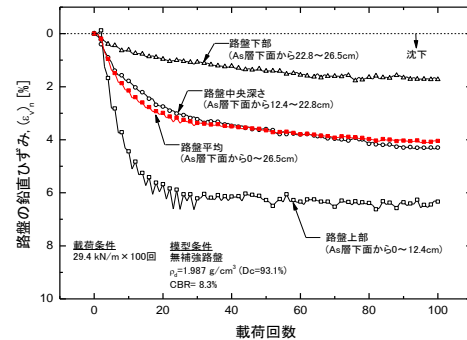


図-3 路盤層内の局所鉛直ひずみの時刻歴(無補強路盤)

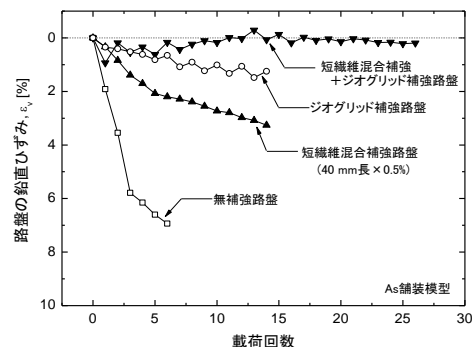


図-4 各地盤補強技術の残留沈下抑制効果の例

維混合補強の併用の3つの地盤補強技術の残留沈下抑制効果を調べた。この結果、いずれの地盤補強技術においても重交通荷重による路盤の残留沈下を抑制できることが確認できた。定量的には、c)ジオグリッド補強と短繊維混合補強の併用>>a)ジオグリッド補強>b)短繊維混合補強の順で残留沈下を抑制できた(図-4)。短繊維混合補強技術においては、路盤材の乾燥質量に対して0.5%という微量な配合量であっても、従来の無補強路盤と比べると発生する残留沈下量は半減できた。これに更にジオグリッドを1層敷設する(上記c)と、残留沈下の発生をほぼゼロに抑えることができた。このような地盤補強技術による残留沈下抑制効果は、主軸方向の連続的な回転を伴う多軸の繰返し荷重に対する土骨格の強固さに起因する。地盤補強の効果はその時の土骨格の強さに起因するため、より路盤を密な状態にするほど効果的になる。

3) 破碎コンクリート(再生路盤材)への検討
建設副産物の再利用という社会的要請において、コンクリート塊(破碎コンクリート)の再利用先はほぼ路盤に限定されている感が強い。現状では都市部の一般道で用いられる路盤材の半数が破碎コンクリート(再生路盤材)と推移しており、この傾向は今後も継続すると考えられる。破碎コンクリートは粗骨材の周囲にセメントペーストが付着している複合構造の粒子である。本研究では、このような粒子に対する b)短繊維混合補強の適用性についても検討を行った。

この結果、破碎コンクリート路盤に対して短繊維を混合する(図-5)と、天然由来の路盤材よりも高い補強効果が期待できることが明らかとなった。この高い残留沈下抑制効果は、破碎コンクリート粒子の構造に起因していることが同定された。地下水位で浅く打設・気中で供用されているコンクリート内部には、通常では未水和のセメント粒子が残存している(図-6)。原コンクリートを粉砕して粒状体に再生させ、適度に加水して締め固めると、セメントペースト内にある未水和のセメント粒子の固化が生じる。破碎コンクリートに短繊維を混合させると、微弱な固化構造同士を結び付ける架橋効果と、短繊維の剛性に起因する土骨格内の拘束圧の増加が期待できる。これによって、交通载荷に対しても残留沈下が生じにくい路盤を構築することが可能となる。



図-5 短繊維を混合した破碎コンクリート(再生路盤材)

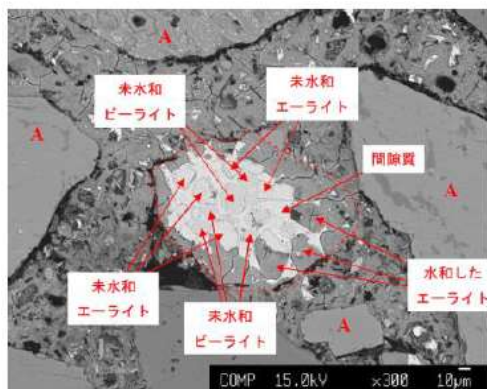


図-6 破碎コンクリート粒子内の未水和セメント粒子

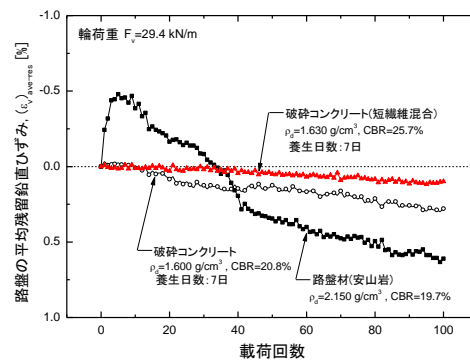


図-7 短繊維混合した破碎コンクリート路盤の変形特性

破碎コンクリートによる再生路盤材料は、多孔質の粒子であるために締め固め後の単位体積重量も $1.6\sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ 程度と天然由来の路盤材と比較すると軽い。適度に加水して短繊維を混合して締め固めると、交通载荷が作用しても残留沈下が生じにくい路盤を構築できる(図-7)。すなわち、短繊維混合した破碎コンクリート路盤は、軽量土・セメント固化土・ジオシンセティックスを用いた補強土としての特性を有することになり、軟弱な地盤上の道路舗装に有効であることが示唆された。

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5件)

- 1) 平川大貴, 宮田喜壽, 再生路盤材料の工学的特性と短繊維混合による変形抑制効果, ジオシンセティックス論文集, 30 巻 pp.111-118, 2015.
DOI: (未定)
査読: 有
- 2) D.Hirakawa, Y.Miyata, Roller compaction behavior of short fiber reinforced gravelly soil, *Proceedings of 15th Asian regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6 pages, 2015.
DOI: 10.3208/jgssp.JPN-080
査読: 有
- 3) 平川大貴, 宮田喜壽, ジオグリッド補強による路盤の高安定化, ジオシンセティックス論文集, 29 巻, pp.139-146, 2014.
DOI: <http://doi.org/10.5030/jcigsjournal.29.139>
査読: 有
- 4) D.Hirakawa, Y.Miyata, Mechanical Properties of fiber reinforced gravelly soil, *Proceedings of 10th International Conference on Geosynthetics*, 8 pages, 2014.
査読: 有
- 5) 平川大貴, 宮田喜壽, 道路路盤へのジオシンセティックス補強土技術の適用性の検討, ジオシンセティックス論文集, 28 巻, pp.311-318, 2013.
DOI: <http://doi.org/10.5030/jcigsjournal.28.311>
査読: 有

〔学会発表〕（計 7 件）

- 1) 平川大貴, 宮田喜壽, 破碎コンクリートの工学的性質に関する一考察, 第 50 回地盤工学研究発表会, 2015 年 9 月 3 日, 札幌.
- 2) 平川大貴, 宮田喜壽, 短繊維混合補強礫の転圧縮固め特性, 第 49 回地盤工学研究発表会, 2014 年 7 月 15 日, 北九州.
- 3) 藤永潤樹, 平川大貴, 宮田喜壽, 再生路盤材としての破碎コンクリートの力学・環境性能, 第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2015 年 3 月 5 日, 平塚市.
- 4) 平川大貴, 宮田喜壽, 母岩の違いによる礫質土の強度変形特性, 第 11 回地盤工学会関東支部発表会, 2014 年 10 月 3 日, 東京都江東区.
- 5) 平川大貴, 宮田喜壽, 交通載荷作用時における路盤の応力状態と残留変形特性, 土木学会第 69 回年次学術講演会, 2014 年 9 月 10 日, 大阪市.
- 6) 松木眞大, 平川大貴, 宮田喜壽, 路盤の短繊維・ジオグリッド補強によるアスファルト舗装の残留変形の抑制, 第 41 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2014 年 3 月 14 日, 長岡市.
- 7) 平川大貴, 宮田喜壽, 短繊維混合による礫質土の強度変形特性の変化, 第 10 回地盤工学会関東支部発表会, 2013 年 10 月 4 日, 東京都江東区.

〔図書〕（計 0 件）

なし

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

なし

○取得状況（計 0 件）

なし

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平川 大貴 (Hirakawa Daiki)

中央大学・理工学部・准教授

研究者番号：40372990

(2) 研究分担者

宮田 喜壽 (Miyata Yoshihisa)

防衛大学校・システム工学群・教授

研究者番号：20532790

(3) 連携研究者

なし