

学位論文題名

Performance evaluation of unsaturated base course materials subject to repeated traffic loads

(繰返し交通荷重作用下の不飽和路盤材の材料性能評価)

学位論文内容の要旨

It is generally observed that stress state induced through traffic loads inside substructure of pavements is not exactly reproduced through conventional laboratory element tests. It is therefore required to develop new testing method which can simulate traffic loading condition and accordingly evaluate reliable and realistic deformation behavior inside pavement structure. In addition, there are not sufficient studies that examine behavior of granular base course materials under unsaturated conditions. However, unsaturated behavior is more prevalent in pavement structure. Therefore, mechanical response of unsaturated granular base course materials is needed to be addressed. In Japan, natural crusher-run material is employed as a base course material for pavements. Nowadays, in order to economize the cost of pavements, recycled crusher-run materials made from construction waste are employed as one of the base course material for low traffic volume roads. Therefore, it is the need of pavement engineers to evaluate mechanical response of natural and recycled crusher-run base course materials in order to construct quality roads with minimum cost.

This research proposes a testing method to determine strength-deformation characteristics of unsaturated natural and recycled crusher-run materials used in base course layer. A series of laboratory element tests using multi-ring shear apparatus, which can take into account rotation of principal stress axis, were carried out on natural and recycled crusher-run materials under different saturation degrees. An attempt is made to examine shear behavior of natural and recycled crusher-run base course materials under different degrees of saturation. This study emphasizes on mechanical response in terms of cyclic plastic deformation behavior of unsaturated natural and recycled crusher-run materials under various cyclic loading conditions which include phenomenon of principal stress axis rotation (experienced by pavement element under traffic load). Besides considering mechanical response of unsaturated natural

and recycled crusher-run materials, shear and cyclic plastic deformation behavior of natural and recycled crusher-run materials were also compared and analyzed in this study.

The experimental results show that degree of saturation has obvious effect on shear and cyclic plastic deformation behavior of natural and recycled crusher-run materials. It is also explained that cyclic plastic deformation under repeated axial and shear loading tests significantly enhances due to rotation of principal stress axis when compared with cyclic plastic deformation under repeated axial loading regardless of type of material and degree of saturation. Moreover, shear and cyclic plastic deformations of recycled crusher-run material are more significant when compared with natural crusher-run material under same experimental conditions. This indicates that natural crusher-run material has more strength to resist cyclic and shear loading as compared to recycled crusher-run material under the same experimental conditions. Finally it is pointed out that results of cyclic plastic deformation obtained from multi-ring shear tests under the influence of principal stress axis rotation are much more realistic and these results can be incorporated in practical pavement design.

学位論文審査の要旨

主 査	特任教授	三 浦 清 一
副 査	教 授	蟹 江 俊 仁
副 査	准教授	石 川 達 也

学 位 論 文 題 名

Performance evaluation of unsaturated base course materials subject to repeated traffic loads

(繰返し交通荷重作用下の不飽和路盤材の材料性能評価)

公共事業への投資余力の減退や労働人口の減少が深刻な近年では、メンテナンス・フリーな運輸基盤施設の開発や、交通施設網の効率的な維持管理方法の構築が急務である。特に、最近、国内における各種運輸基盤施設の設計では、限界状態設計法に代表される性能規定型のより合理的な設計法の導入が始まっている。例えば、道路舗装の構造設計では、従来の経験的設計法から理論的設計方法への移行・確立に向けた検討が行われている。このため、交通荷重を繰返し受ける道路舗装のような多層系走行路構造の変形・沈下特性の解明および挙動予測手法の構築を目的とした研究開発は、その重要性を増している。本論文は、このような状況の下、アスファルト舗装の疲労破壊に対する最適設計を行い、供用性の確保とライフサイクルコストの低減を図ることを目的として、舗装材料の一種である粒状路盤材の支持力や変形特性の評価を実現に近い条件で行う材料試験方法を新たに提案し、その力学的応答特性に関する解析手法あるいは設計計算法の合理化を指向したものである。

一般に、砂もしくは粘性土のような粒径の小さい土を対象とした既往の研究では、主応力軸回転が土の強度・変形特性に強い影響を及ぼすことが示されているにもかかわらず、交通荷重載荷時に道路舗装内で生じる主応力軸が回転するような応力状態は、これまで粒状路盤材の室内要素試験では再現されていない。また、供用時の道路舗装では、降雨や融雪による浸透・地下水位上昇等に伴う含水状態の変化が確実に認められるが、舗装調査・試験法便覧などの設計基準類で規定される試験は、最適含水比あるいは飽和条件など特定の含水状態で行うことを想定したものであり、粒状路盤材の含水状態がその材料特性に及ぼす影響を詳細に検討した研究は極めて限定されている。そこで、本論文では、粒状路盤材の材料試験方法の信頼性を向上させるため、従来の試験方法において粒状路盤材のせん断挙動や繰返し塑性変形挙動への影響が充分評価されていない、①主応力軸回転と②含水状態

という2種類の要因について、それらの影響を評価可能な多重リングせん断試験機により、種々の荷重条件・含水条件における粒状路盤材のねじり単純せん断試験を実施し、その基本的力学機構の解明を目指している。また、本研究では、天然資源の枯渇などの環境問題に配慮して近年利用率が増加傾向にある再生碎石を試験試料として用い、不飽和条件における再生碎石・天然碎石の変形・強度特性を詳細に調べ、両者の力学的応答の違いが考慮された省資源で循環型の運輸基盤施設を構築するための設計・維持管理手法の在り方についても考察を進めている。

一連の試験結果から、載荷方法に依存してその影響度は異なるものの、含水比が粒状路盤材のせん断特性及び繰返し塑性変形特性に強く影響を及ぼすこと、および主応力軸回転により不飽和粒状路盤材の繰返し塑性変形量が大幅に増加することを明らかにしている。また、同一試験条件で比較した場合、天然碎石に比べて、再生碎石のせん断強度は低下し、繰返し塑性変形量は顕著に増加することを明確にしている。このように、本論文では、交通荷重載荷時の不飽和粒状路盤の繰返し塑性変形挙動を解明する上で従来課題とされてきた移動体の走行による主応力軸回転の影響と降水等による含水比変化の影響との相乗効果の評価について、既往の試験方法の課題を解決した高い汎用性と信頼性を有する試験方法を新たに提案し、その結果に基づく解析手法を構築した点は、今後、実現象に即して粒状路盤の力学的応答を数理モデル化し道路舗装の理論的設計方法に組み込む際に、有用な研究成果になるものと期待される。

これを要するに、著者は、これまで未解明であった交通荷重を繰返し受ける不飽和粒状路盤材の力学的応答について、その評価のために必須となる試験手順を地盤力学的観点から見直し、粒状路盤の力学挙動に及ぼす交通荷重の作用と含水状態の影響、および道路舗装の設計計算を合理化するためのより実現象に即した室内要素試験方法の在り方について貴重な知見を得たものであり、基礎地盤工学ならびに交通地盤工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。