

(論文内容の要旨)

透水性を有するポーラスアスファルト混合物や粒状路盤材料などで構成される透水性舗装は、雨水貯留および路床への雨水浸透機能を有することから、路面排水施設の負荷の軽減、植生等の地中生態の改善あるいはヒートアイランド現象の抑制効果などが期待され、これまで歩道や軽交通の車道および駐車場などに適用されてきた。しかし近年多発している都市部での豪雨対策としての雨水貯留浸透機能が注目され、その結果重交通道路への適用が検討されるにあたり、洪水抑制効果および路床の軟弱化による道路としての耐久性を定量的に評価する必要が生じている。本研究はこのような背景を鑑み、室内実験および実際の車道に適用された透水性舗装の特性を評価した結果に基づき、洪水抑制機能の算定法を構築すると共に路床の支持力を低下させる要因を明らかにすることで、重交通車道における透水性舗装の設計法に関する研究成果をまとめたものである。研究の内容は、以下のとおりである。

本論文の構成は、序章および結論を含め、以下の8章から成っている。

第1章は序論である。透水性舗装は雨水貯留機能を有していることから都市型洪水抑制効果あるいはヒートアイランド現象の緩和効果が期待されている一方で、雨水貯留機能が定量的に検証されていないこと、あるいは路盤や路床へ雨水を浸透させることから、道路としての耐久性が問題となり、特に前述の効果を発揮させるためには都市部の重交通車道へ適用する必要がある、この路床を含めた舗装構造と耐久性の関係を明らかにすることが透水性舗装の普及に当たっては必須であるという研究の目的を具体化し、本研究の位置づけを明らかにした。

第2章では、これまでの透水性舗装の耐久性に関する研究例を具体的に記述し、それらが主に歩道あるいは軽交通道路での適用に限られていたために耐久性が重要視されてこなかったことを考察し、本研究では都市部における透水性舗装の機能を有効に作用させるためには、重交通道路への普及が必要になり、その結果として新たな設計指針を構築する必要があることを論じ、従来の舗装の構造解析に使用される多層弾性理論の考え方を適用することの長短所を考察した。また、透水性舗装の設計には水収支を定量的に見積もる手法も同時に必要になり、これまで適用例のある飽和浸透流解析の考え方の長短所についても考察した。

第3章では、都市型洪水抑制効果を定量的に評価するために、実路を模擬した実物大モデルおよび実路に試験施工された透水性舗装において散水実験を行い、透水性舗装の雨水貯留および浸透機能を計測した。その結果、降雨強度および降雨波形によって雨水浸透現象が異なり、それらは舗装体内の不飽和領域の形成に影響すること、および当不飽和領域の大きさが洪水抑制効果、例えばピークカット量やピーク遅延時間を決定する大きな要因であること明らかにした。また雨水流出抑制効果については、実路実験の結果から粒状路盤材がクラッシュランと再生クラッシュランの場合とでは効果に違いがあることを実験結果に基づいて考察し、それが材料の不飽和透水係数あるいは水分保持特性の影響であることを示した。このように本研究の結果、透水性舗装の洪水抑制効果を試算する際には降雨条件や降雨時間によって形成される不飽和領域が定量的に見積もれること、粒状路盤材の浸透特性を考慮する必要があることを明らかにした。

第4章では、舗装材料の不飽和浸透係数および水分保持特性の値を具体的に測定し、前章での考察の妥当性を実証した。具体的には、ポーラスアスファルト混合物は骨材最大粒径が小さいほど、粒状路盤材はクラッシュランに比べ再生クラッシュランの方が水分を保持することを明らかにし、またポーラスアスファルト混合物は骨材最大粒径が大きく、また空隙率が大きいほど不飽和透水係数が急激に増加し、比透水係数が大きくなるなどを実測し、前章での洪水抑制機能を定

量的に考察した。またこれらの結果に基づき、透水性舗装の水収支の算定には、気相を考慮した解析が必要であることを論じ、当解析手法によって実験結果を再現することで、その有用性を明らかにした。

第5章では、雨水浸透による透水性舗装の路盤および路床の支持力の変化を、さまざまな材料で構成された路盤および路床の材料に対する通水試験における **CBR** の測定結果を実施した試験により検討を行った。その結果、路床材では **0.85mm** 未満の粒径の骨材が通水により下方へ移動し、支持力が変化することを確認した。また粒状路盤材に関しては、雨水浸透により舗装体内の小さな骨材が下方へ移動し、上部では骨材が抜け落ちて粗になる部分が形成され、これにより支持力が低下することを明らかにした。また、規定範囲内において粒度によって支持力が大きく異なり、粒径 **2.36mm** 未満の骨材割合が多い粒度ほど大きな支持力を示し、粒径 **2.36mm** 未満の骨材割合が少ない粒度では、小さな骨材が支持力への影響が小さく、雨水浸透によってこれらが移動しても、支持力の低下の割合が小さいことを明らかにした。また、礫分も支持力に影響しており、粒径 **4.75mm**~**37.5mm** の割合が多い方が大きな **CBR** 値を示すことが分かり、これらの結果に基づき、透水性舗装の施工においては、交通量に対して路床および粒状路盤材を粒度分布の観点から支持力の変化を見積もる設計指針を考察した。

第6章では、実路における透水性舗装各層の支持力変化を約 **10** 年間にわたって計測した結果に基づき、前章での設計法の妥当性の検証と、これまで論じられなかった重交通道路への透水性舗装の適用に関して論じた。具体的には、粒状路盤材として再生クラッシュランを使用している舗装の方が、クラッシュランを使用しているものよりも支持力が大きく、逆解析の手法によって求めた結果からもその結果が実証されることなどの結果を合わせて、実測された支持力の変化を説明すると共に、重交通道路では路床の保護に使用するジオテキスタイルおよび砂層などが支持力の保持に有効であることを指摘し、さらに実路では雨水浸透による支持力の低下よりもむしろ、交通荷重による締固め効果が発揮されることにより支持力の低下が軽減されることも考察した。これらの結果から、交通量に対する粒状路盤材の選定法あるいは路床の施工法についての提言をまとめ、これまでの材料の雨水浸透特性との関係から、水収支と耐久性の両者において優れた舗装構造に関しての設計法に関する考え方としての粒状路盤材の選定および路床の施工法に関して考察した。

第7章では、本研究から得られた結果を基に透水性舗装の設計に関する知見をまとめ、また都市部への透水性舗装の普及における課題について論じた。後者の課題に関して、今後重交通道路へ普及させるに当たっては、透水性舗装の透水性能の機能回復が必要になることについて言及し、これまで論じた設計指針と空隙のつぶれについての関係を、これまでの施工例において考察した結果、路床および路盤の材料選定が同じく透水機能の保持のために有用であることを示し、さらに施工する周囲の環境、特に土粒子や粉塵が多い箇所などにおける透水性舗装とその他の構造の舗装の使い分けについての考え方を示した。

第8章は、本研究結果のまとめおよび今後の課題について論じた。今後の課題については、交通荷重による締固め効果を実証するために、輪荷重を加えた支持力を測定する実験の考え方を提言し、支持力変化のメカニズムをさらに詳細に解明することが、透水性舗装の実用化をさらに促進させることを示した。

(論文審査と結果の要旨)

透水性を有するポーラスアスファルト混合物や粒状路盤材料などで構成される透水性舗装は、1970年代初頭に誕生したが、当初は歩道や駐車場など比較的荷重の掛からない場所への適用に限定されていた。しかし、近年多発している都市部での豪雨対策としての洪水抑制機能が注目され、軽交通から重交通の車道への適用が試みられている。その結果、重交通道路への適用が検討されるにあたり、洪水抑制効果および粒状路盤および路床の軟弱化による道路としての耐久性を定量的に評価する必要性が生じている。本研究はこのような背景を鑑み、室内実験および実路に適用された透水性舗装の特性を評価した結果に基づき、洪水抑制機能の算定法を構築すると共に粒状路盤および路床の支持力を低下させる要因を明らかにすることで、重交通道路における透水性舗装に関する研究成果をまとめたものであり、研究の主な内容は以下のとおりである。

(1) 透水機能の測定法の開発による洪水抑制効果の定量評価の実施

実際の重交通道路への適用を想定した舗装構造より成る実物大モデルヤードを作製し、人工降雨による当舗装の水収支を測定した結果、構成材料の飽和透水係数を用いて洪水抑制機能の評価する従来の手法は、当洪水抑制機能を極端に危険側に評価することを明らかにした。この要因を解明するため、これまで測定が試みられなかった透水係数の大きい材料の浸透特性を測定する手法を開発し、その測定結果から不飽和帯の挙動を考慮することで、透水性舗装の正確な水収支の算定が可能となることを実証した。

(2) 洪水抑制機能の設計のためのシミュレーション技術の開発

前述の舗装体内の不飽和特性を考慮した気液二相からなるシミュレーション技法を開発することにより、透水性舗装の設計の際に使用する10年確率の基準降雨波形に対して、例えば貯留型の構造と浸透型の構造では期待できる洪水抑制機能がどの程度相違するのかなど、所望の洪水抑制機能を有する構造を設計する技術を構築し、またその妥当性を実際の車道に適用された舗装体を用いて検証した。

(3) 車道に適用する場合の耐久性の評価手法の開発

路床および粒状路盤材料の雨水浸透による支持力の変化を把握するため、材料中の細粒分割合と通水によるCBR低下率の定量的な関係を実験により求め、細粒分を多く含む材料は、雨水によって流出する骨材量は少ないにもかかわらず支持力の低下が大きいことを明らかにすると同時に、細粒分割合とCBRの低下率の関係を定量的に求め、耐久性に関して粒度分布を設計の指針に適用する方法を考案した。

(4) 実車道を用いた実験結果に基づく高耐久性舗装構造の考察

重交通道路へ適用した透水性舗装の約10年間の耐久性に関する計測結果を考察し、路床へのフィルター層およびジオテキスタイル保護層の耐久性向上への効果などを定量的に評価し、前述の耐久性に関する実内実験および洪水抑制機能の考察結果と合わせて粒状路盤材の骨材の粒度等を反映させた重交通道路に適用する透水性舗装の設計法を構築した。

以上、本論文は都市の環境改善効果が期待される車道透水性舗装の実用化に向けて、必要となる技術の集大成として有用なものである。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成20年11月6日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。