

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目

X線 CT を用いたアスファルト混合物の品質評価および耐久性評価に関する研究

熊本大学大学院自然科学研究科 環境共生工学専攻 広域環境保全工学講座
(主任指導 大谷 順 教授)

論文提出者 谷口 聡

主論文要旨

X線 CT 法を用いたアスファルト舗装材料への適用については、アスファルト混合物の空隙、亀裂及び透水性の分析、骨材の形状把握等の論文が国内外において発表されているものの、X線 CT の特性値である CT 値や密度の観点での研究はほとんど実施されておらず、セメントコンクリートで実施した材料構成の定量化や、土系材料で実施されている破損メカニズムの解明までに踏み込んだ研究は行われていないのが現状である。そこで、まず室内で作製されたアスファルト混合物の円柱供試体の試験を実施し、密度と相関の高い CT 値によってアスファルト混合物の物性評価及び材料構成の定量化を行った。次に、実現場で作製及び採取されるアスファルト混合物の基準供試体及び現場供試体を用いた試験を実施し、品質評価への適用のための検討を行った。最後に、直方体のホイールトラッキング試験用供試体を用いた試験を実施し、X線 CT を用いた耐久性評価手法の検討を実施した。

第 1 章では、X線 CT 法をアスファルト混合物の品質評価及び耐久性評価へ適用する本研究の背景と目的を示すとともに、本論文の構成について述べた。

第 2 章では、既存のアスファルト混合物の品質評価及び耐久性評価手法について概観するとともに、その問題点を抽出し、これらの問題を解決する方法として、アスファルト混合物の内部を容易に測定できる X線 CT 法が期待されていることを示した。以下に第 2 章の結論を列挙する。

- i) 密度試験、アスファルト抽出試験、ふるい分け試験という一連の品質評価手法は、多くの労力を要するとともに、抽出試験に使用する溶剤の取扱いが煩雑である
- ii) 現場における耐久性評価手法は、舗装の表面のみの評価または表面から構造を予測しているにすぎない
- iii) 既存のホイールトラッキング試験の骨材挙動の把握は、側面のみからの評価であり、供試体中央部での骨材挙動の評価がなされていない

第3章では、X線CTの基本及びCT画像の処理手法を説明するとともに、土系材料、セメントコンクリート及びアスファルト混合物に対するこれまでのX線CTの研究について概観した。以下に第3章の結論を列挙する。

- i) CT撮影により得られた断面画像は、CT値によるデジタル画像であり、被検体の密度を定量的に表すことから、構成材料の定量化が可能である。
- ii) ある程度大きい材料の品質を評価する場合には、ミニフォーカス型X線CTの方が適している。一方、微小な亀裂及び損傷等を評価するためには、解像度の高いマイクロフォーカス型X線CTの方が適している。
- iii) 供試体の大きさ、形状によってはアーティファクトの問題が発生するため、資料の形状に留意する必要がある。
- iv) X線CTに関する画像処理方法のとりまとめを行った。
- v) 土系材料については、熊本大学をはじめとして国内外において研究が盛んに行われ、X線CT及び三軸圧縮試験によって砂の破壊メカニズム、一軸圧縮試験によって粘土の破壊メカニズムの解明を行っている。また、杭の貫入やトンネルの切り羽崩壊等、応用分野へ研究が展開している。
- vi) セメントコンクリート材料については、モルタル、コンクリートにおいて適用事例があり、X線CT試験の結果から水セメント比を評価する等といった品質管理手法の提案や既設構造物のコンクリートの破損の評価が行われた。
- vii) アスファルト混合物については空隙、亀裂及び透水性の評価、並びに骨材の形状に特化した研究が盛んに行われている一方、X線CTの特性である密度、CT値に着目した議論が行われていない。

第4章では、マーシャル安定度試験用供試体（直径101.6mm）のX線CT撮影を行い、アスファルト混合物を構成する素材及びアスファルト混合物のCT値特性を把握した。以下に第4章の結論を列挙する。

- i) 粒径が大きく多孔性の粗骨材については、CT値ヒストグラムの分布に双峰性が見られた一方、粒径が小さく密な構造の細骨材及び石粉については、CT値ヒストグラムの分布に単峰性が見られたことから、粒径によるCT値分布特性を明らかにすることができた。
- ii) アスファルトについては、CT画像に密度の高い部分と低い部分が点在する一方、平均CT値は密度がほぼ同じの水に近く、CT値が骨材に比べ狭い範囲に分布している等、アスファルトのCT値特性を把握することができた。
- iii) アスファルト量及び骨材配合率が変化した場合にはCT値の分布やしきい値が大きく変化する一方、アスファルトの種類を変化させてもCT値の分布に大きな変化がなかった等、アスファルト混合物のCT値特性を把握することができた。
- iv) 4値化画像により、骨材の形状、並びに骨材、アスファルト及び空隙の分布状況を把握することができた。
- v) 断面平均CT値とアスファルト混合物の密度、アスファルト+石粉の平均CT値とアス

ファルト量，並びにしきい値 3 と 2.36mm ふるい通過百分率との間の相関係数が大きいことから，CT 値の各指標からアスファルト混合物の密度，アスファルト量，2.36mm ふるい通過百分率を定量化できる可能性があることがわかった。

第 5 章では，高速道路の現場において採取された基準供試体及び現場供試体を用いて，全断面撮影を実施し，アスファルト混合物の物性評価を行うとともに，X 線 CT 撮影方法について提案した。以下に第 5 章の結論を列挙する。

- i) 基準供試体及び現場供試体を全断面撮影し，グラブス・スミルノフ検定を行ったことにより，採択領域と棄却領域を明確にするとともに，棄却領域における外部空隙や裁断面の状況を CT 画像により取得することができた。
- ii) 基準供試体は，マーシャル自動突固め装置のハンマにより突き固められることから，供試体上下部で空隙率が高く，中間部で CT 値及び密度，並びに骨材体積率が高くなることが明らかとなった。
- iii) 現場供試体は敷き均し及び転圧の影響により，供試体上部で空隙率が高く，供試体下部で CT 値及び密度，アスファルト+石粉の体積率並びに骨材体積率が高くなることが明らかとなった。
- iv) 断面抽出数と抽出された断面の平均 CT 値，標準偏差，標準誤差の関係を勘案した結果，X 線 CT でアスファルト混合物の品質評価を行う際には，基準供試体については等分布で最低 5 断面，現場供試体については等分布で最低 3 断面抽出することが望ましい。

第 6 章では，輪荷重直下のアスファルト混合物の変位特性及びひずみ特性を解明することを目的に，ホイールトラッキング試験，X 線 CT 撮影，DIC 解析を実施し，アスファルト混合物の耐久性に関する評価を試みた。以下に第 6 章の結論を列挙する。

- i) X 線 CT 及び DIC 解析を行うことにより，アスファルト混合物のホイールトラッキング試験における変位場及びひずみ場を求めることができた。
- ii) ホイールトラッキング試験，CT 画像の比較及び DIC 解析から得られた変位は概ね一致した。
- iii) 鉛直方向及び水平方向の変位はストレートアスファルトを用いた密粒度アスファルト混合物，ポーラスアスファルト混合物，ポリマー改質アスファルトを用いた密粒度アスファルト混合物の順に大きくなった。
- iv) 600 回まで載荷した結果，すべての供試体において載荷位置を中心に放射状に骨材が移動していることが確認された。
- v) 2,400 回載荷した結果，載荷位置の脇でアスファルト混合物の隆起が確認された。これは 600 回までの圧密で骨材がかみ合った密な状況になり，変形の拘束がない表面に盛り上がったためと考えられる。
- vi) ストレートアスファルトを用いた密粒度アスファルト混合物の場合，600 回までの載荷では全体的には引張りひずみは小さくなる一方，載荷回数が増加するに従って引張りひずみが大きくなる。

- vii) ポリマー改質アスファルトを用いた密粒度アスファルト混合物の場合，大きな引張りひずみが表面に集中した．これは表面から入る縦ひび割れ(Top-down Cracking)の発生の可能性を示している．
- viii) ポーラスアスファルト混合物の場合，舗装の内部に大きな引張りひずみが発生した．これは，縦ひび割れはアスファルトコンクリートの表面または底面からだけでなく，内部からも発生することを示している．

第 7 章では各章において得られた成果を総括した．

以上より，X線 CT 法をアスファルト混合物の室内作製の供試体，現場採取コアにより品質評価の適用性，有効性を論じるとともに，ホイールトラッキング試験によりアスファルト混合物の耐久性について論じることができた．