

## 土木構造物の短寿命の原因究明にはじめて成功

～土木構造物の長寿命化への貢献に期待～

### ポイント

- ・アスファルト舗装及びコンクリート構造物の短寿命の原因究明に成功。
- ・これら2つの構造物の亀裂、砂利化、非晶質化、骨材の飛び出し等の原因の究明。
- ・世界中のアスファルト舗装及びコンクリート構造物の長寿命化の進展に期待。

### 概要

北海道大学大学院工学研究院の森吉昭博名誉教授らの研究グループは、アスファルト舗装及びコンクリート構造物の短寿命の現状とその原因を究明しました。

各種の損傷が発生したアスファルト舗装及びコンクリート構造物の試料を日本や海外で採取し、計測を行ったところ、アスファルト舗装では砂利化(黒いアスファルト成分が消失)、ブリスタリング(表層(5cm)が気温が上がる夏季に直径30-40cm、高さ3-5cmの膨張)、滑走路表層の大規模剥離(長さ8m、幅4m、厚さ5cm)が発生しており、コンクリート構造物では劣化(コンクリート中のカルシウム分が消失または他の物質へ変化)、層状亀裂(コンクリートの表面近くで平行に発生する亀裂幅の狭い亀裂)、砂利化\*<sup>1</sup>(コンクリートがうどん粉(直径:0.05mm)のような細かい物質に変化する)、非晶質化\*<sup>2</sup>(コンクリート中の結晶成分が非晶質物質に変化する)、骨材の飛び出し(ポップアウト、滑走路:50,000個)が融雪剤散布後数時間の単位で発生していることを確認しました。これらの各種損傷は世界中で不思議で不可解な現象とされてきたものです。

そこで本研究では、市販のセメントが水と混合すると瞬時に嫌な臭いが発生することを偶然発見したことから、フタル酸エステルが加水分解した物質(2-ethyl-1-hexanol: 2E1H)が空気中にも存在し、それが劣化に関連していると仮定し、実験室内に夏季の気候条件を再現して実験を行いました。

その結果、外気温の変動に伴い、構造物自身が呼吸をするように空中の湿気や様々な極微量の有機物を内部に短期間に取り込み、セメント中及び空中の2か所に存在する極微量の有機物が短寿命化に影響していることを明らかにしました。また、市販のセメント中に極微量に存在するフタル酸エステル、リン酸化合物、AE減水剤の含有量を調べたところ、それぞれ0.0012%、0.12%、0.25%と違いましたが、各物質がコンクリートの劣化に及ぼす影響はほぼ同一でした。つまり、フタル酸エステルはコンクリートの劣化や亀裂に対して、極微量でも著しい影響を及ぼすことが明らかになりました。

本研究の成果は世界中で短寿命化したアスファルト舗装及びコンクリート構造物の長寿命化、補修時期や補修の深さを的確に判定することを可能にしたことで、新設の構造物の品質管理や長寿命化に寄与する様々な技術開発への応用が期待されます。

なお、本研究成果は、2021年5月14日(金)公開のPLOS ONE誌に掲載されました。

## 【背景】

現代のアスファルト舗装やコンクリート構造物は、昔の構造物より極めて短期間に損傷します。この原因は長い間不思議で、かつ説明が不可能な現象とされていました。この現象が進行すると、アスファルト舗装及びコンクリート構造物は細かい粉状物質だけが構造物の内部に残り、鉄筋がむき出しとなる、いわゆる「砂利化現象」が発生します。構造物表面から色々な装置を使用して原因究明が試みられてきましたが、この現象の原因を解明することはできませんでした。しかし、安全性の面から、この現象の解明は極めて重要と考えられていました。

研究グループは、市販のセメントが水と混合すると瞬時に嫌な臭いが発生することを「偶然」見いだしました。この臭いの原因はフタル酸エステルが加水分解した物質（2-ethyl-1-hexanol:2E1H）であることを突き止めました。また、この臭いの原因はセメントの中だけでなく、空気中にも存在すると仮定して研究をさらに進めることにしました。その結果、この臭いは世界中の市販セメントからも発生していることが分かりました。また、劣化したアスファルト舗装やコンクリート構造物中からはこの物質以外にも、AE減水剤、自動車のウォッシャー液中の界面活性剤、融雪剤中の界面活性剤も極微量に検出されました。このため、アスファルト舗装やコンクリート構造物にこれらの有機物がどのように損傷を与えているのかを解明するため、さらに研究を進めることとしました。

## 【研究手法】

各種の損傷が発生したアスファルト舗装及びコンクリート構造物の試料を日本だけでなく、外国からも採取しました。アスファルト舗装では滑走路、各地の高速道路から試料を採取しました。コンクリート構造物はコンクリート橋の床版、コンクリート製橋脚、中央分離帯のコンクリート、滑走路から試料を採取しました。これらの試料を採取する際、内部の極微量の有機物の量を確認するため、新設及び既設の劣化した構造物からも試料を採取し、試料内部に含まれる極微量の有機物の量、水分量も測定しました。また、この試料とは別に直径10cmのコア試料も採取し、このコア試料を用いた1次元非定常の透湿試験法を新たに開発しました。この試験はアスファルト舗装の滑走路で表層が夏季に剥がれた日の気象条件と全く同一の気象条件（夏季の1日の24時間の表面温度、底面温度、及び相対湿度）を実験室で再現して行い、試験中に試料表面に置いた微量のフタル酸エステルや湿気がこの試料の呼吸作用で時間と共に水分や極微量の有機物が内部に溜まる現象を時間ごとの試料の重量変化( $\pm 0.1g$ )として捉えました。これによりコンクリート橋の上にアスファルト舗装自体や舗装とコンクリートスラブ（コンクリートの床版）の界面にビニールシートを置いて、外気の湿気や舗装表面の極微量の有機物がアスファルト舗装やビニールシート、コンクリートスラブの層を簡単に通過して底部に溜まり、舗装表面のフタル酸エステルと共に、短時間で劣化を促進することを実験室で確認しました。

## 【研究成果】

様々な実験から、市販のセメント中及び空気中に極微量な有機物（タイヤ屑、ディーゼル排煙、アスファルト、ウォッシャー液中や融雪剤中の界面活性剤）がアスファルト舗装及びコンクリート構造物に様々な損傷を与えていることを明らかにしました。コンクリート構造物は今までコンクリートの断面にフェノールフタレイン溶液を塗布し、その時の色の変化からコンクリートの損傷を判定していました。しかし、コンクリートの表面に存在するOH基のみ（pH値）で判定する、この方法で健全と判定されても、実は強度が小さいことが指摘される場合がある等、この方法の劣化判定法に対する不信感が強くあります。このため、本研究は採取したコンクリート試料に対して、マイクロフォーカスCTスキャナー(CT)で試料の内部を撮影し、この画像に対して特殊なソフトウェアを使って、3次元の亀裂形状及び

劣化状況を判別する手法を開発し、コンクリート中の複数の化学成分が極微量の有機物により、結晶から非晶質物質と変化すること、また、この手法で亀裂や劣化の程度が判定できることを見出しました。

この手法により、アスファルト舗装及びコンクリート構造物の内部損傷の程度が極めて正確に判定できるようになりました（図1）。

### 【今後への期待】

本研究の成果は世界中で短寿命化したアスファルト舗装及びコンクリート構造物の寿命を長くできるだけでなく、2つの構造物、アスファルト舗装及びコンクリート構造物の補修時期及び補修の深さが的確に判定できたことです。この手法を2つの構造物に適用すると、新設構造物の損傷程度が適格に判定できるため、新設構造物の品質管理への使用、長寿命化への様々な技術開発への応用も期待されます。

### 論文情報

論文名	Deterioration of modern concrete structures and asphalt pavements by respiratory action and trace quantities of organic matter（現代のコンクリート構造物とアスファルト舗装の呼吸作用と極微量の有機物による損傷）
著者名	森吉昭博 <sup>1</sup> ，柴田英治 <sup>2</sup> ，夏原正仁 <sup>3</sup> ，酒井 潔 <sup>4</sup> ，近藤 崇 <sup>5</sup> ，笠原彰彦 <sup>6</sup> （ <sup>1</sup> 北海道大学大学院工学研究院， <sup>2</sup> 愛知医科大学医学部， <sup>3</sup> 島津製作所株式会社， <sup>4</sup> 名古屋市立大学医学研究科， <sup>5</sup> 苫小牧工業高等専門学校， <sup>6</sup> グリーンコンサルタント株式会社）
雑誌名	PLOS ONE（工学の専門誌）
D O I	10.1371/journal.pone.0249761
U R L	<a href="https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.pone.0249761">https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.pone.0249761</a>
公表日	2021年5月14日（金）（オンライン公開）

### お問い合わせ先

北海道大学大学院工学研究院 名誉教授 森吉昭博（もりよしあきひろ）

メール moriyosi@eng.hokudai.ac.jp

### 配信元

北海道大学総務企画部広報課（〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目）

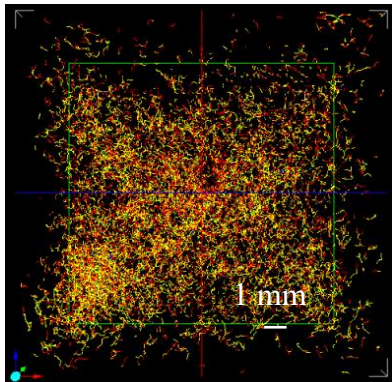
T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimuhokudai.ac.jp

### 【用語解説】

\*1 砂利化 … アスファルト舗装やコンクリート構造物が細かく細粒分だけの状態となること。

\*2 非晶質化 … コンクリート中の複数の化学成分が劣化により結晶から無定形物に変化すること。

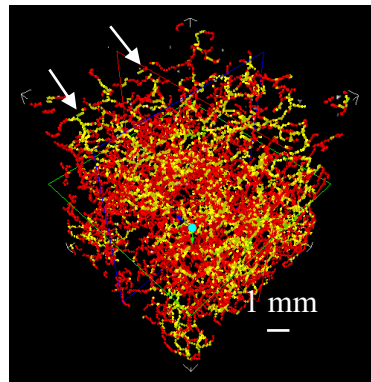
【参考図】



A

120年経過したモルタル試料

亀裂幅 (赤: 0.05mm ~  
紫: 0.25mm)



B

現代のモルタル試料  
(打設後 30 日)

亀裂幅(赤: 0.138mm ~  
紫: 0.552mm),  
白い矢印: 1本の層状亀裂  
(同じ亀裂上で亀裂幅が異なる)

図 1. 120 年前に作られたセメントのモルタル試料と現代のセメントモルタル試料の比較