

# アスファルトコンクリートの 偏光顕微鏡用薄片の作製

河村 直哉<sup>1</sup>・坪川 将丈<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 空港研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail: kawamura-n92y2@mlit.go.jp

<sup>2</sup>正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 空港研究部 空港施設研究室 (同上)

E-mail: tsubokawa-y92y2@mlit.go.jp

アスファルトコンクリート中のアスファルトと骨材界面近傍を偏光顕微鏡で観察するために、本論では、観察に供するアスファルトコンクリートの薄片を乾式研磨法により作製した。その結果、骨材とアスファルトの脱落等がない薄片を作製することに成功した。偏光顕微鏡を用いて、はく離が生じたアスコンの薄片を観察した結果、骨材へのアスファルトの被覆状況、骨材のひび割れ状況およびアスファルトモルタルの混合状況をマイクロオーダーで観察できることを示した。

**Key Words :** asphalt concrete, thin section, dry method, polarizing microscope, stripping

## 1. はじめに

アスファルトコンクリート (以下、アスコン) のはく離は、骨材とそれを覆うアスファルトが水の作用で分離する現象であり<sup>1)</sup>、アスファルト舗装のわだち掘れやひび割れ等の損傷を引き起こす原因となる<sup>2)</sup>。空港舗装では、はく離が基層等で発生し砂利化に至ることがあるが<sup>3)</sup>、その詳細なメカニズムは必ずしも明らかにされていない。メカニズムを深く理解し、より効果的な対策を講じるためには、はく離の本質である、アスファルトと骨材界面近傍の微小領域における分離現象を観察することが重要であると考えられる。しかし、そのような試みは殆どない。

試料の微小領域を観察する手段の一つとして、試料を薄片にし偏光顕微鏡で観察する方法が挙げられる<sup>4)</sup>。ここでいう薄片とは、光が透過する厚さ (20~30 $\mu\text{m}$ ) に試料を研磨したものであり<sup>4)</sup>、岩石を含む薄片であれば、偏光顕微鏡により岩種、鉱物種および微小なひび割れ等を特定することが可能である。薄片は、地質学の分野では岩石の成因等を調査するために用いられ<sup>5)</sup>、土木工学の分野ではセメントコンクリートのアルカリ骨材反応の発生原因等を解明するために用いられている<sup>6)</sup>。

アスコンの薄片に関してはこれまで、研磨前の状態が保持された薄片が作製されるまでには至っていない。その理由は、アスファルトと骨材のように硬度差が大きい

物質を含むアスコンの場合、研磨の際に用いる冷却液が、アスファルトと骨材に脱落やキズ等を生じさせるためである<sup>8)</sup>。

近年では、冷却液を用いることなく試料を研磨する乾式研磨法が開発され<sup>9)</sup>、冷却液を用いる従来の湿式研磨では不可能とされてきた脆弱試料の薄片を作製することを可能にした<sup>11)</sup>、<sup>12)</sup>。それに加えて乾式研磨法で薄片を作製すると、硬度差が大きい物質界面に研磨による段差が生じない<sup>13)</sup>。そのため、偏光顕微鏡で観察した際には物質界面の焦点が合いやすく、高倍率でも物質界面に関する鮮明な画像を取得できる。

以上のことから、本論では、アスコン中のアスファルトと骨材界面近傍の微小領域を観察し、はく離のメカニズムを明らかにすることを目的として、乾式研磨法によりアスコンの薄片を作製することを試み、成功したので報告する。また、はく離が生じたアスコンの薄片を偏光顕微鏡により観察した結果も併せて報告する。

## 2. 薄片の作製に用いたアスコン

薄片の作製に供するアスコンは、空港アスファルト舗装の基層から採取した粗粒度アスコン(20)であり、粗骨材には石灰岩を用い、細骨材には主として石灰岩と砂岩を用いたものである。薄片にするアスコンは、舗装から

ブロック状で切り出しコアを採取した後、コア孔の傍からさらに切り出したものである(写真-1)。

なお、この基層では、水の浸透とアスコンの砂利化が確認されており、採取コアの割裂面にははく離が確認された(写真-2)。また、切出しは湿式のカッター切断を行ったが、厚さに余裕をもって切り出したため、薄片にする部分の骨材とアスファルトに脱落やキズはない。

### 3. アスコンの薄片の作製方法

乾式研磨法によりアスコンの薄片を作製した。図-1に作製工程を示し、各工程を以下に詳述する。

#### (1) 花崗岩を用いた台座の作製

厚さ約 5mm の板状の花崗岩と二つの短冊状の花崗岩で構成される台座を作製する。台座を作製する理由は二つである<sup>10)</sup>。

一つは、工程 5 と工程 8 でアスコンを研磨するときに、短冊状の花崗岩が壁となることで、アスコンの縁だけが削れすぎること防ぐためである。これによりアスコン全面を均等に研磨できる。

もう一つは、工程 8 の途中で、スライドガラスに接着した短冊状の花崗岩を偏光顕微鏡で観察し、短冊状の花崗岩に含まれる石英の干渉色をミッシェル・レヴィの干渉色図<sup>14)</sup>に照らし合わせることで、石英の厚さを推測するためである。これにより、短冊状の花崗岩の間にある

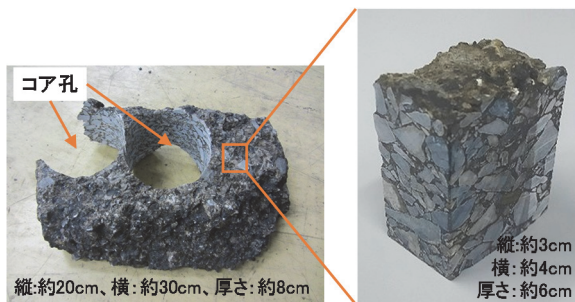


写真-1 薄片作製に用いたアスコン(左:切り出したブロック状アスコン, 右:更に切り出したアスコン)

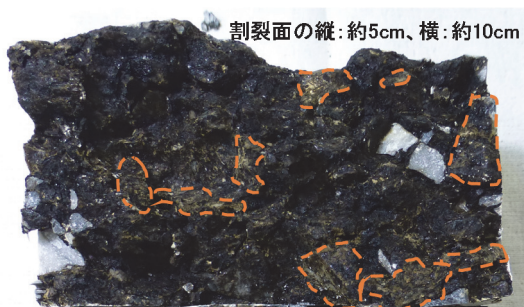


写真-2 基層コア割裂面(破線囲み:はく離が顕著な箇所)

アスコンの厚さを推測でき、アスコンを目標の厚さに調整できる。

#### (2) 樹脂包埋によるアスコンの補強

アスコンを研磨している時に骨材とアスファルトが脱落することを防ぐため、エポキシ系常温硬化型の樹脂によりアスコンを補強する。その手順は以下の通りである。

まず、写真-1の右側に示したアスコンを約 24×32mm、厚さ約 7mm に成型し、それを容器に入れ、樹脂を流し込む。次に、真空含浸装置を用いてアスコンに樹脂を含浸させる。樹脂が固化した後、アスコン周囲の余分な樹脂を電動切断機により切断する。

#### (3) 台座に接着するアスコン面の研磨

台座に接着するアスコン面が平滑になるように、樹脂で補強したアスコンを乾式研磨する。

従来の研磨方法である湿式研磨では、冷却液、研磨板および研磨材を用いて、研磨板を回転させながら研磨を行う。一方、乾式研磨法では冷却液を使用せずに、精密研磨用の耐水研磨紙を装着した可変型自動研磨機上で研磨を行う。

耐水研磨紙の表面には、炭化ケイ素が散りばめられており、研磨は炭化ケイ素の粒子径を段階的に小さく変えて行う。耐水研磨紙の番砥は 80 番, 180 番, 320 番の順に用いる(番砥が大きいほど炭化ケイ素の粒子径が小さい)。研磨機の回転速度は、摩擦熱の発生を抑えるために 50 回転/分程度の低速とする。

なお、番砥を変えるごとに、圧縮空気で研磨面を清掃し、研磨屑を取り除く。また、研磨による骨材の脱落を防ぐために、必要に応じて研磨面をシアノアクリレート系樹脂でさらに補強する。

#### (4) 台座とアスコンの接着

エポキシ系常温硬化型の接着剤を用いて、研磨したアスコンを台座中央に接着する。

#### (5) スライドガラスに接着するアスコン面の研磨

台座に接着した面とは逆のアスコン面を乾式研磨する。研磨の手順は、使用する耐水研磨紙の番砥以外、前述した乾式研磨の手順と同じである。番砥は、500 番, 800 番, 1000 番, 2000 番, 4000 番の順に用いる。

#### (6) スライドガラスとアスコンの接着

エポキシ系常温硬化型の接着剤を用いて、研磨したアスコン面とスライドガラスを接着する。

#### (7) 台座とアスコンの切断

スライドガラスとアスコンの接着後、専用のホルダー

にスライドガラスを固定し、電動切断機を用いてアスコンと二つの短冊状の花崗岩を切断する。切断位置は、アスコンの厚さが約 1mm となる位置とする。

切断後、骨材等が切断面から脱落することを防ぐために、シアノアクリレート系樹脂で切断面を補強する。

(8) 仕上げ研磨

切断面を乾式研磨し、カバーガラスを接着する。

この工程の研磨の手順も、耐水研磨紙の番砥以外、前述の手順と同じである。番砥は、120 番、320 番、500 番、800 番、1000 番、2000 番、4000 番の順に用いる。

研磨終了後、スライドガラス上に残った短冊状の花崗

岩を削り落とし、エポキシ系常温硬化型の接着剤を用いてカバーガラスを接着する。

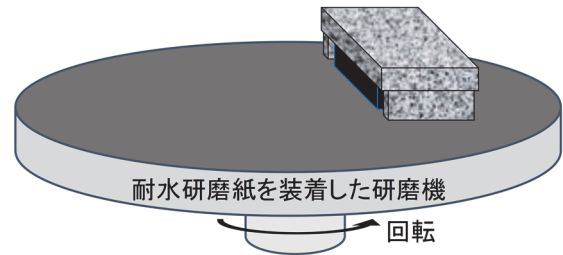
写真-3 に完成した薄片を示す。肉眼で観察した場合、無色に近い部位は骨材か空隙、褐色の部位はアスファルトである。

4. 薄片の観察

作製した薄片を偏光顕微鏡により観察した結果を以下に示す。なお、開放ニコルと直交ニコル<sup>19)</sup>で観察される骨材、アスファルトおよび空隙の色を表-1 に示す。以後、



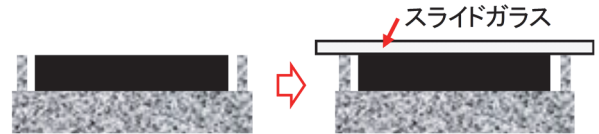
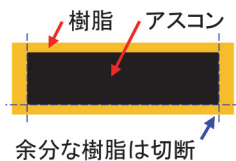
工程 1) 花崗岩を用いた台座の作製 (左: 台座の写真, 右: 横から見た模式図)



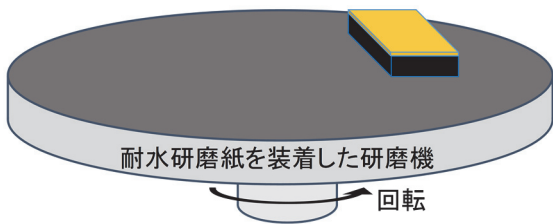
工程 5) スライドガラスに接着するアスコン面の研磨



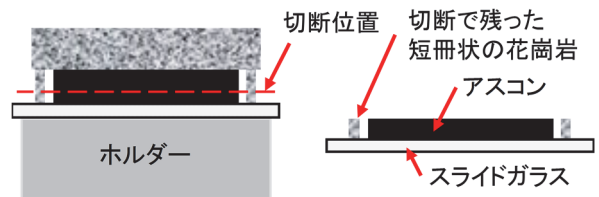
工程 2) 樹脂包埋によるアスコンの補強 (左: 樹脂包埋したアスコンの写真, 右: 横から見た模式図)



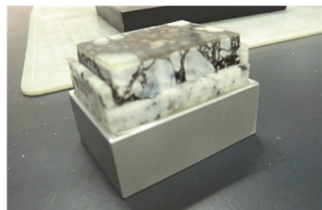
工程 6) スライドガラスの接着 (左: 工程 5 終了時の模式図, 右: スライドガラスを接着した模式図)



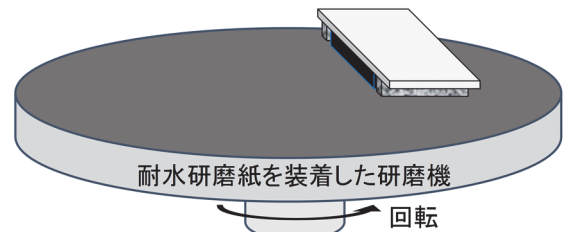
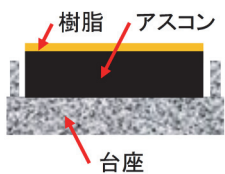
工程 3) 台座に接着するアスコン面の研磨



工程 7) 台座とアスコンの切断 (左: 切断時の固定状況と切断位置の模式図, 右: 切断後の模式図)



工程 4) 台座とアスコンの接着 (左: 接着後の写真, 右: 横から見た模式図)



工程 8) 仕上げ研磨

図-1 アスコンの薄片作製工程



薄片の厚さに関することを述べる場合には、直交ニコルで取得した画像を示し、それ以外では、開放ニコルで取得した画像を示す。

(1) 作製した薄片の状態と厚さ

図-2に、作製した薄片全面を偏光顕微鏡により撮影した画像を示す。湿式研磨法では骨材やアスファルトに脱落やキズ等が生じてしまうが<sup>8)</sup>、乾式研磨法で作製した薄片では、そのようなことは確認されない。

図-3には、砂岩(図中央の骨材)を示す。主に石英の碎屑粒子から構成され、その粒径は概ね1/16~2mmであることから砂岩と判定される。観察される石英は、直交ニコルでは白色から暗い灰色の干渉色を呈している。この干渉色をミッセル-レヴィの干渉図<sup>14)</sup>に照らし合わせると、石英の厚さは25~28μmであると推察される。この干渉色を示す石英は、薄片全面で確認されたことから、作製した薄片は全面が均一な厚さであるといえる。

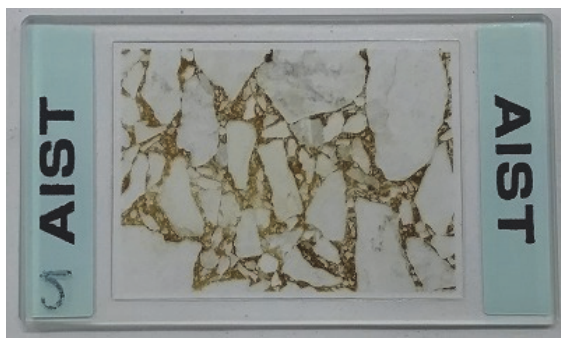


写真3 完成した薄片

表-1 偏光顕微鏡で観察されるアスコンの構成要素の色

	開放ニコル	直交ニコル	備考
アスファルト	褐色	濃い褐色	
空隙	無色	暗黒	
骨材	無色・有色 (骨材中の鉱物の種類による)	一般に有色	直交ニコルで観察される鉱物の色を干渉色といい、この色で鉱物の厚さを推測できる

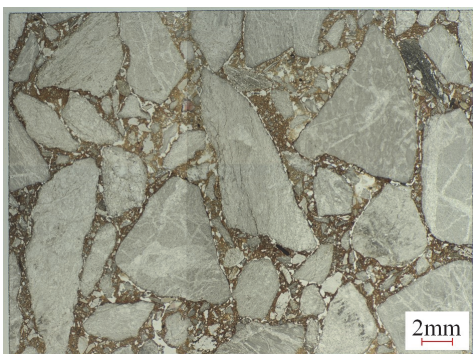


図-2 薄片全面の画像(開放ニコル)

(2) 骨材へのアスファルトの被覆状況

図-4に、石灰岩および砂岩を示す。図中に示すA~Dは、直交ニコルで虹色の干渉色を呈する微細な方解石(化学組成CaCO<sub>3</sub>)で主に構成されるため石灰岩と判定され、Eは前述と同様の理由で砂岩と判定される。A~Eのいずれも、骨材周囲に空隙(図中の赤矢印箇所)があり、骨材がアスファルトで被覆されていないことを確認できる。図-5には、CとDの一部を拡大した図を示す。Dの下半分は、アスファルトで殆ど被膜されていないことを確認できる。

また、空隙の大きさには大小があり、中には幅約20μm程度の微小な空隙も観察された(図-6)。

今回作製した薄片には、粗骨材の石灰岩が34個含まれており、その全てについてアスファルトで被覆されて

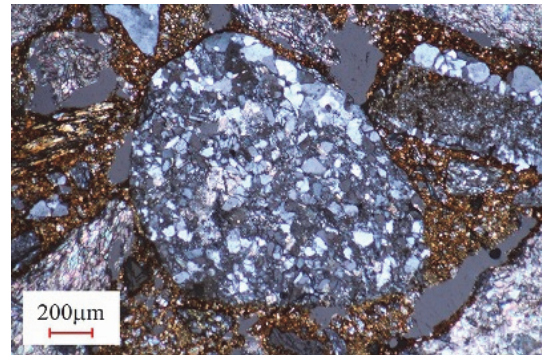


図-3 砂岩(直交ニコル)

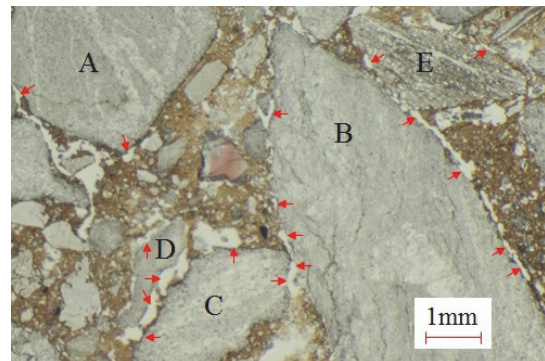


図-4 石灰岩と砂岩(開放ニコル, A~Dは石灰岩, Eは砂岩, 矢印はアスファルトで被覆されていない箇所)

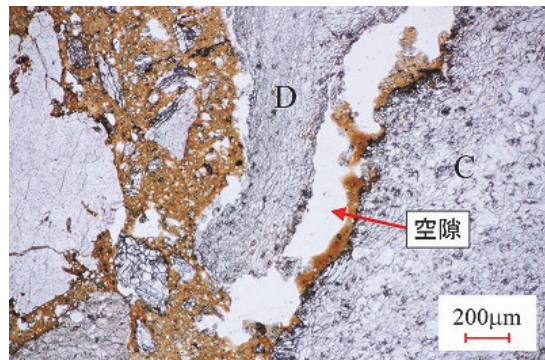


図-5 図-4に示したCとDの拡大画像(開放ニコル)



いない箇所が確認された。細骨材でも確認された。基層への水の浸潤、およびコアにはく離が確認されたことを踏まえると、被覆されていない要因として、水の作用ではく離が生じたことが考えられる。

### (3) 骨材表面のひび割れ

図-7に石灰岩の角部の画像を示し、図-8には図-7左下の空隙を拡大した画像を示す。骨材表面近傍ではひび割れが生じており、表面に近いほどひび割れの程度が大きい。図-7の石灰岩とは別の位置の石灰岩では、ひび割れにアスファルトが浸透している状況も確認された(図-9)。全体的には、アスファルトが浸透していないひび割れがほとんどであった。

アスファルトが浸透したひび割れは、アスコンの混合時や初期転圧時など、アスコンが高温でアスファルトの

粘性が低い時に発生したものと考えられる。

一方、アスファルトが浸透していないひび割れは、仕上げ転圧時のようにアスコンの温度がある程度低下した時や舗設完了後など、アスファルトの粘性が高い時に発生したものと考えられる。

アスファルトが浸透していないひび割れがほとんどであったことを踏まえると、アスファルトの粘性が低く骨材が大きく動く時には、ひび割れはあまり発生しなかった一方で、アスファルトの粘性が高くなり骨材の動きが小さくなったが、アスコンが密な状態で骨材同士が近接している時に、ひび割れが多く発生した可能性がある。

なお、石灰岩表面近傍のひび割れの発生原因が、アスコン研磨時の加圧であるとは考えにくい。その理由は、研磨途中でシアノアクリレート樹脂により補強を行っており、その状態で加圧によりひび割れが発生するのであれば、石灰岩の表面近傍だけでなく石灰岩全体にひび割れが発生するはずであるが、そのような事象は確認されないためである。

### (4) アスファルトモルタルの混合状況

図-10に、アスファルトモルタル(アスファルト、細骨材およびフィラーの混合物、以下、アスモル)を拡大した画像を示す。画像上部のアスモルはアスファルトリッチであり、アスファルトが単体で存在する箇所を確認

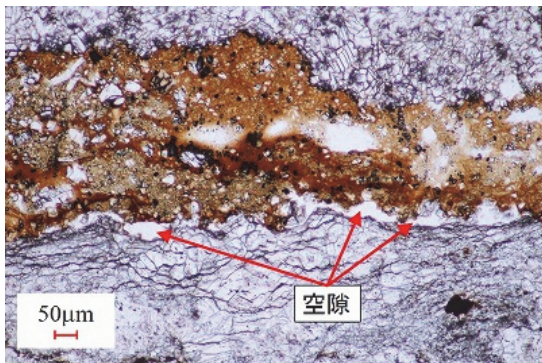


図-6 石灰岩周囲の微小な空隙(開放ニコル)

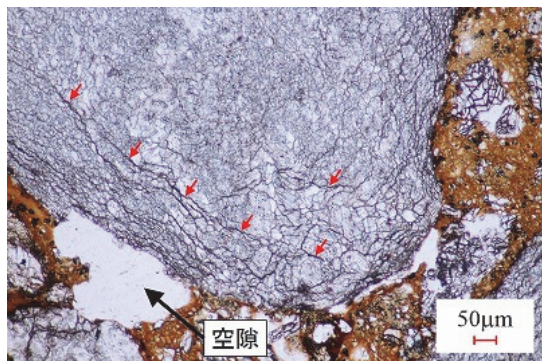


図-7 石灰岩(開放ニコル, 赤矢印はひび割れ)

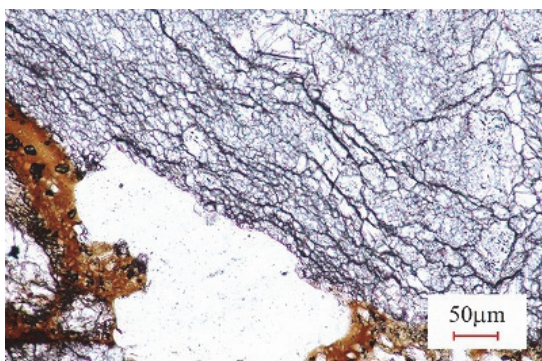


図-8 図-7の空隙近傍を拡大した画像(開放ニコル)

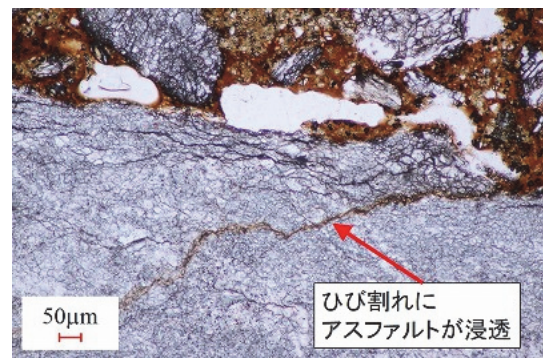


図-9 ひび割れにアスファルトが浸透した状況(開放ニコル)

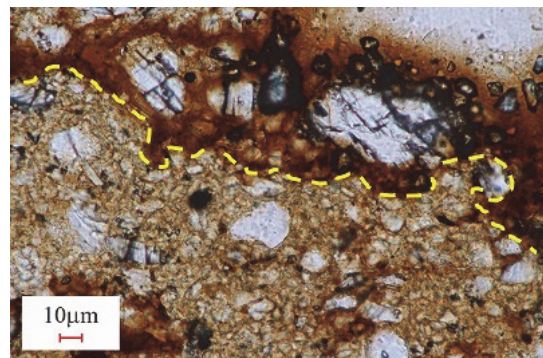


図-10 アスファルトモルタルの混合状況(開放ニコル, 破線はアスモル混合状況の境界)

できる。一方、画像下部のアスモルは、アスファルト、細骨材およびフィラーが均質に混合されている。既往の研究で作製された、厚さ 70~80 $\mu\text{m}$  と推定される薄片<sup>9)</sup>では、アスモルの混合状況を確認できないことから、厚さ 30 $\mu\text{m}$  以下にすることでアスモルにも光が透過し、このような混合状況を確認できたと考えられる。したがって、アスモルの混合状況および細骨材とフィラーでのはく離発生状況を観察するためには、薄片を厚さ 30 $\mu\text{m}$  以下に調整する必要がある。

なお、確認された混合状況の違いは、アスコンを混合もしくは舗設した時に生じたムラによるものか、何らかの劣化に伴いアスモルの構造が変化したことによるものかは不明である。

## 5. まとめ

- (1) 従来の研磨方法である湿式研磨法では、研磨前の状態が保持されたアスコンの薄片を作製できなかったが、本研究では、骨材とアスファルトに脱落やキズ等がない薄片を乾式研磨法により作製することに成功した。
- (2) 作製した薄片を観察した結果、アスファルトで被覆されていない骨材を特定できたため、アスコンの薄片を観察することにより、アスコンにおけるはく離の発生状況をマイクロオーダーで調べることができる。
- (3) また、アスファルトで被覆されていない骨材の粒径、骨材の種類および骨材を構成する鉱物を特定できるため、はく離が生じた骨材を岩石学的な観点で調べることができる。
- (4) 加えて、骨材のひび割れ発生状況とアスファルトモルタルの混合状況も調べることができる。

## 6. おわりに

本論では、はく離が生じた薄片のみを作製したが、今後、はく離発生前およびはく離の進行した状態のアスコンの薄片を観察することで、はく離の発生状況の変化を特徴づけることができる可能性がある。これにより、はく離の発生進行メカニズムの解明、ひいては、はく離の抑制対策やはく離によるアスコンの劣化診断手法の開発等の一助となると考えられる。

また今回は、はく離に着目して薄片を作製したが、その他の劣化や改質アスファルトのような各種添加剤の混合状況を調べる方法としても薄片は有用であり、偏光顕微鏡観察でしか知りえない情報が得られる可能性がある。

今後、それらの薄片についても作製したい。

**謝辞:** アスコンの研磨薄片を乾式研磨法により作製するにあたり、産業技術総合研究所 地質情報基盤センター 地質標本館 地質試料調整グループの大和田朗氏、佐藤卓見氏、平林恵理氏に終始ご指導を賜りました。ここに記して謝意を表します。

また、本研究の一部は、科研費(若手研究(B)課題番号 16K18135)の助成を受けて行ったものである。

## 参考文献

- 1) 「舗装工学」編集委員会：舗装工学，(社)土木学会，1995.
- 2) Hicks, R., Santucci, L. and Aschenbrener, T.: Moisture Sensitivity of Asphalt pavements, A National Seminar (TOPIC 1 Introduction and Seminar Objectives), TRB, pp. 3-22, 2003.
- 3) 元野一生，村永努，八谷好高，梶谷明宏，加納孝志：プリスタリング対策を講じた福岡空港滑走路の大規模補修，土木学会論文集 E，Vol. 63, No. 4, pp. 518-531, 2007.
- 4) チーム G 編：薄片でよくわかる岩石図鑑，誠文堂新光社，2014.
- 5) 加納博：わが国における岩石薄片製作の現状について，地球科学，Vol. 1951, No. 4, pp. 129-131, 1951.
- 6) Katayama, T., Tagami, M., Sarai, Y., Izumi, S. and Hira, T.: Alkali-aggregate reaction under influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan, *Materials Characterization*, Vol. 53, pp 105-122, 2004.
- 7) 川端雄一郎，山田一夫，松下博通：岩石学的分析に基づいた安山岩の ASR 反応性評価および膨張挙動解析，土木学会論文集 E，Vol. 63, No. 3, pp. 379-395, 2007.
- 8) Poulikakos, L. D. and Partl, M. N.: Investigation of porous asphalt microstructure using optical and electron microscopy, *Journal of Microscopy*, Vol. 240, pp. 145-154, 2010.
- 9) 大和田朗，佐藤卓見，平林恵理：新開発乾式法による脆弱岩石試料の薄片・研磨薄片製作，地質調査研究報告，Vol. 64, No. 7-8, pp. 221-224, 2013.
- 10) 大和田朗，佐藤卓見，平林恵理，永好けい子，鈴木正哉：乾式研磨法による脆弱試料薄片の作製法，特許第 5633078 号，2014.
- 11) 鈴木正哉，大和田朗，佐藤卓見，永好けい子，犬飼恵一，青木正博：乾式法によるイモゴライトの薄片試料作製，粘土学会，Vol. 50, No. 2, pp. 63-68, 2011.
- 12) 山田裕久，大和田朗，平林恵理，佐藤卓見，鈴木正哉：ベントナイトの光学顕微鏡用薄片の作製，粘土科学，Vol. 55, No. 1, 2016.
- 13) 中村晃輔：乾式研磨法により作製した高精度な研磨面について，新・地殻，No. 1, pp. 8-10, 2014.
- 14) Kato, T.: Synthesized interference color chart with personal computer, *地質学雑誌*，Vol. 107, No. 1, I-II, 2010.
- 15) 黒田吉益，諏訪兼位：偏光顕微鏡と岩石鉱物(第 2 版)，共立出版，1983.

(2018. 2. 9 受付)

## THIN SECTION OF ASPHALT CONCRETE FOR POLARIZED MICROSCOPY

Naoya KAWAMURA and Yunitomo TSUBOKAWA

The authors tried to make a thin section of asphalt concrete by applying dry method to observe the interface of asphalt and aggregate by polarized microscopy. As a result, this method enables to make thin section that does not have damages such as defects of aggregate and asphalt. When the thin section of stripped asphalt concrete are observed by polarizing microscope, stripping, crack of aggregate and mix statement of asphalt mortar in asphalt concrete can be found in order of micro meter.