

高温・高圧水によるアスファルト混合物のバインダー除去に関する基礎研究

日大生産工（院） 佐藤 晃之 日大生産工（院） 加納 陽輔
日大生産工 秋葉 正一 日大生産工 栗谷川裕造

1. はじめに

近年、リサイクルに対する社会的要望が高まる中で、道路舗装の分野は本格的な維持・修繕の時代を迎えている。このため、改良・修繕工事より発生する舗装廃材（以下、発生材）は急激な増加傾向にある。現在、発生材は90%近くが再生骨材として再利用されているものの、バインダーの劣化性状に起因するひび割れや疲労抵抗性能の低下が危惧されることから、付加価値の低い路盤材等への利用にとどまっている。しかしながら、舗装用骨材の需給に関しては、天然骨材の枯渇および資源・環境問題の顕在化を背景として、発生材や溶融スラグ等を再生骨材として積極的に使用する動向にあり¹⁾、適切かつ有効な再利用方法の確立が急務となっている。

以上のことから、道路舗装の分野では再生骨材の利用に関する諸問題を迅速に究明するとともに、持続可能な舗装循環システムの形成に向けて、積極的かつ具体的な取り組みが強く望まれる。

本研究では、発生材から骨材を抽出・再利用する分離再生技術の開発に向けて、高い溶解・分散力を有する高温・高圧水による、アスファルト混合物のバインダー除去に関する基礎検討を行った。また、以上の試験結果を踏まえてアスファルト混合物の品質管理評価へのバインダー除去性能の応用を提案し、抽出試験としての適用性について検討を行ったので併せて報告する。

2. 高温・高圧水について

水は液体の中で最も多様な物質を溶かすことができる。液体の水は、常温においては100 で沸騰し気体となるが、密閉した容器中で加熱することにより、沸点および圧力は上昇し続け、温度 374.2 ，圧力 22.1MPa を越えると、気体と液体の区別がなくなる。これより先は温度を高くしても液体にはならず、非凝縮性の気体となり。このような温度、圧力を臨界点、状態を臨界状態という。臨界点を越えた水を超臨界水というが、超臨界水は沸騰水、水蒸気とは異なった性質を示す。流体の物質は密度によって決まるが、超臨界水はわずかな温度、圧力の変化で密度をガス状から液体の密度程度まで連続的に大きく変化させるこ



表 - 1 ソルトバス仕様

写真 - 1 加熱反応試験機（ソルトバス）

外形寸法	W550 × D550 × H850mm (液槽部590+攪拌部260mm)
槽内寸法	W200 × D200 × H450mm
温度範囲	+300 ~ +600
温度安定度	± 0.5
温度調節	デジタル式温度指示調節器 PID制御方式
ヒーター	シースイヤー式4kW
攪拌機	縦型攪拌方式 100Wスピードコントロール モーター(タイマー付き)

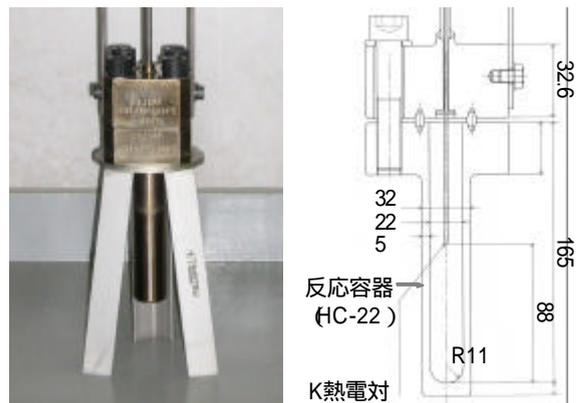


写真 - 2 反応容器（セル）

Experimental study on eliminating binder from Asphalt Mixture
with high temperature and high pressure water.

Teruyuki SATO, Yosuke KANO, Shyoichi AKIBA and Yuzou KURIYAGAWA

とができる。

圧縮により密度は液体の水に匹敵するほど大きくなるが、粘度は気体並みに小さいことから流動性に優れた流体となる。このように超臨界状態では、気体の水の密度は非常に高まり、液体の水と区別できなくなる。圧力を上げ、密度を液体状態に近づけることで、水と同様に溶解する作用が上昇する。また、このような高温の状態では分子運動が激しいため、水の特徴である水素結合が弱まり、常温の水に比べ拡散速度が高く、粘性も低下する。常温の水は極性が大きいため、極性のある物質は溶解できるが、無極性の有機物は溶解できずに分離してしまう。しかし、超臨界水はイオン移動度が増大、誘電率は低下し、無極性の溶剤あるいは極性を有する有機溶媒の範囲に調節が可能であるため、無極性の有機物を溶解することが可能である。誘電率の比較的大きい高密度の超臨界水中には、塩類も溶解し、イオンに離解する。このように超臨界水は無極性の有機物と有極性の無機物どちらも溶解できる特徴を有している²⁾。

3. 溶媒性能に関する検討

3-1. 試験概要

本研究では、高温・高圧水によるアスファルト除去性能の確認とともに温度・圧力レベルがこれに与える影響について、アスファルト皮膜骨材を用いた反応実験による工学的評価を試みた。

使用したバインダーは StAs60-80(以下, StAs), 改質型 As(以下, 改 As)の2種類とし、供試体は、6号碎石に StAs および改 As それぞれの、バインダーを骨材重量比で 1~2% 程度皮膜させたものを使用した。試験は温度を 300~450 で 25 間隔の 7 通りに対し、圧力をそれぞれで 30,35,40,45MPa の 4 段階で実施し、計 28 通りの試験条件について検討を行った。なお、本試験における反応時間は目標温度・圧力とう達後から 180sec とした。

評価方法は次式から As 除去率を算出し、As 除去性能を評価した。

$$\text{As除去率(\%)} = \frac{\text{皮膜後質量} - (\text{反応後質量} + \text{細粒分質量})}{\text{皮膜後質量} - \text{骨材質量}} \times 100$$

実験に使用した装置の概要は写真-1, 表-1, 写真-2 に示すとおりである。

3-2. 結果および考察

表-2, 3 は、前述の式より算出した StAs, 改 As それぞれの As 除去率を示したものである。これより StAs が臨界温度 改 As が 350 を境に、As 除去率の大きな差異が見られ、温度レベル、特に、臨界温度とバインダー除去性能との関連性が伺える。また、圧力レベルに関しては大きな差異が見られず、本実験で行った 30~45MPa の範

表-2 StAs 除去率

温度 \ 圧力	30MPa	35MPa	40MPa	45MPa
300	39.8	30.7	24.0	38.5
325	60.2	64.3	64.5	66.2
350	68.0	89.2	88.9	97.3
375	93.0	97.7	104.0	105.3
400	103.3	106.3	101.0	106.0
425	94.8	106.4	98.8	102.6
450	100.7	106.2	101.8	95.6

表-3 改 除去率

温度 \ 圧力	30MPa	35MPa	40MPa	45MPa
300	51.5	46.1	40.8	60.3
325	61.4	80.9	73.3	65.0
350	102.5	95.9	96.7	101.4
375	97.3	99.7	103.6	106.2
400	95.5	102.8	104.1	103.3
425	102.3	100.9	98.9	104.4
450	99.7	101.3	98.9	102.5

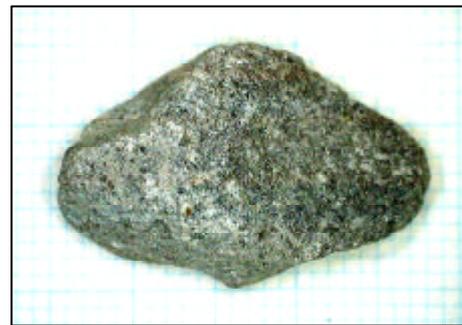


写真-3 皮膜前骨材



写真-4 皮膜後供試体

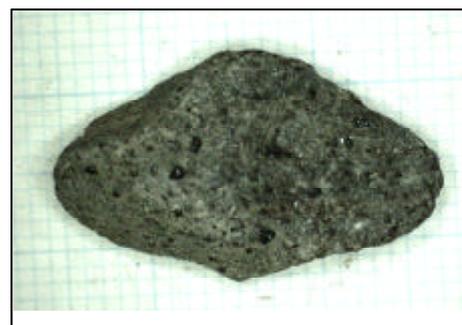


写真-5 反応後供試体

困では、圧力レベルの違いによる除去性能への影響は小さいと考えられる。

写真-3,4,5は、上からアスファルト皮膜前の骨材および皮膜後の供試体、高温・高圧水反応後の供試体の一例である。皮膜前と反応後と比較すると、色や形状等の外観に大きな変化は確認されず、目視による判別が困難なほどアスファルト皮膜が十分に除去されていることが分かる。以上の結果から、高温・高圧水によるアスファルト除去効果の発現が認められるとともに、アスファルト混合物の抽出試験および分離再生技術としての高温・高圧水の有用性を示唆している。

4. 抽出試験に関する検討

4-1. 試験概要

既存の抽出試験に関しては、安全性、簡便性、改質バインダーの除去性能等の問題が指摘されている。本研究ではこれらの問題を解決しうる新たな抽出試験として、高温・高圧水の刊用を提案しこれについての検討を行った。前述の試験結果から StAs、改 As とともに超臨界領域におけるバインダー除去効果が認められることから、抽出試験としての適用性を調査するために以下の式により3.の試験結果から推定 As 含有量を算出し検討を行った。

$$\text{推定As含有量(\%)} = \left(\frac{\text{皮膜後質量} - \text{反応後質量}}{\text{皮膜後質量}} \right) \times 100$$

4-2. 試験結果

表-4,5にAs含有量、推定As含有量との誤差を示す。これより、As量推定誤差の平均値はStAs0.08%、改As0.04%となっており、先に問題となっていた改質バインダーに対する十分な除去性能が認められる。また、プラントにおける抽出試験の精度が0.3~0.35程度であり³⁾、本試験の供試体質量とその誤差範囲を踏まえると、得られた推定As含有量が極めて高い精度であるといえる。なお、より正確な細粒分の採取、測定方法を検討することでさらなる精度の向上が望まれるとともに、超臨界水の抽出試験への適用が十分に期待される。

5. 分離再生技術に関する検討

5-1. 試験概要

分離再生技術に関しては、十分なバインダー除去性能はもとより大型化、プラント化を考慮した技術的な観点から、より低温かつ低圧な条件下での検討が必要不可欠である。ここでは、3.の試験結果から十分な除去率が得られなかった条件下において、繰り返し反応試験を行い、効率的なAs除去方法に関する検討を行った。なお、本実験では4.の試験結果より、As推定誤差が0.2%以内となる除去率(90%)に満たないものに対して繰り返し反応試験を実施した。

表-4 StAs量推定誤差

温度/圧力	30MPa	35MPa	40MPa	45MPa
375	0.14	0.03	0.04	0.05
400	0.06	0.12	0.03	0.17
425	0.13	0.13	0.03	0.05
450	0.02	0.13	0.03	0.1

表-5 改As量推定誤差

温度/圧力	30MPa	35MPa	40MPa	45MPa
375	0.04	0.01	0.06	0.09
400	0.05	0.02	0.04	0.08
425	0.04	0.02	0.02	0.11
450	0	0.03	0.02	0.04

表-6 繰り返し反応試験 StAs 除去率

温度/圧力	回数	30	35	40	45
300	1	39.8	30.7	24.0	38.5
	2	62.2	55.4	44.9	65.1
	3	66.7	60.7	46.8	70.3
325	1	60.2	64.3	64.5	66.2
	2	85.6	86.9	84.9	92.4
	3	88.0	96.4	92.9	97.3
350	1	68.0	89.2	88.9	97.3
	2	94.7	99.5	96.9	
	3				

表-7 繰り返し反応試験 改As 除去率

温度/圧力	回数	30	35	40	45
300	1	51.5	46.1	40.8	60.3
	2	61.8	84.3	62.0	69.4
	3	73.8	86.8	81.2	75.1
325	1	57.7	80.9	73.3	65.0
	2	66.5	84.8	79.0	83.5
	3	70.4	90.9	90.0	88.2

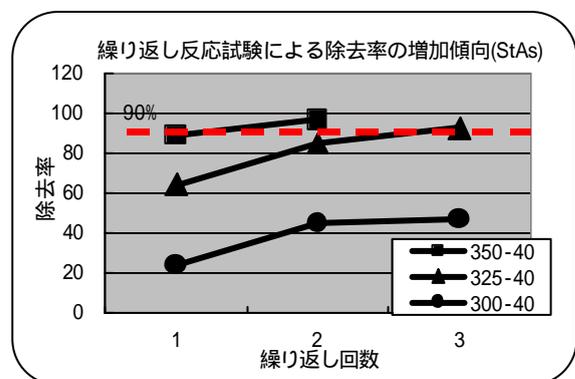


図-1 繰り返し反応試験 StAs 除去率

5-2. 試験結果

繰り返し反応試験結果による除去率を表 - 6, 7 に、各温度の 40MPa における除去率の増加傾向を図 - 1, 2 に示す。また、繰り返し反応毎における供試体の状態変化を写真 - 6 ~ 9 に示す。以上の結果より、StAs, 改 As 共に繰り返し反応を行うことで、アスファルト除去率の増加が見られる。なお、所要の除去率とした 90% については、繰り返し反応による除去率の増加傾向から、325 以上の温度条件および 2~3 回以上の反応回数が必要であるといえる。これらのことから、1 回の反応で十分な除去効果が得られなかった条件下においても、反応を繰り返すことで残存アスファルトの除去が可能であり、連続式アスファルト除去方法の分離再生技術に対する有意性が確認された。

4. まとめ

以下に、各実験から得られた知見を取りまとめる。

- StAs が臨界温度、改 As が 350 を境に、As 除去率の大きな差異が見られ、温度レベル、特に、臨界温度とバインダー除去性能との関連性が伺えた。
- 亜臨界領域では、温度上昇に伴う除去性能の向上が確認されたが、超臨界領域を含めたどの温度においても圧力レベルによる除去性能の向上は認められない。
- 超臨界領域においては、As 量推定誤差が極めて小さいことから抽出試験への有効性が確認された。
- 分離再生技術に関して大型化、プラント化を考慮した技術的な観点から、より低温度かつ低圧な条件下での検討を行った結果低温度領域においても反応を繰り返すことで残存アスファルトの除去が可能であり、連続式アスファルト除去方法の分離再生技術に対する有意性が確認された。

今後の課題、展望を以下に上げる。

- 細粒分採取、測定方法の検討および確立。
- 細骨材に対する高温・高圧水の影響の調査および検討。
- 多くの試験データを蓄積、解析することにより精度を向上させること。

参考文献

- 1) 荒井 康彦ほか：「超臨界流体のすべて」, (株)テクノシステム, 2002.10.
- 2) 村田 徳治：「注目される超臨界水技術」, 資源環境対策 Vol34, No.9, Page861-866 1998
- 3) 山之口 浩ほか：「プラントにおけるアスファルト量抽出試験の精度について」, 第 9 回日本道路会議論文集 Vol360
- 4) 渡辺 忠：「焼却法によるアスファルト抽出試験について」, 第 15 回日本道路会議論文集 Vol513

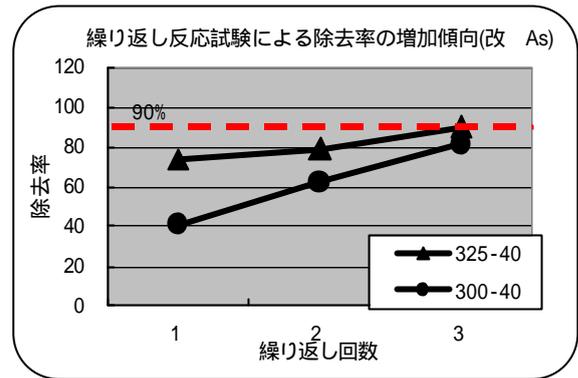


図 - 2 繰り返し反応試験 改 As 除去率



写真 - 6 皮膜後供試体



写真 - 7 1回反応後供試体



写真 - 8 2回反応後供試体



写真 - 9 3回反応後供試体