

第22回 新都市社会技術セミナー

研究テーマ:

再生骨材の利用に着目した中温化アスファルト混合物の性能評価に関する研究

研究プロジェクト:

再生骨材を利用した中温化アスファルト混合物の社会実装に向けた、現状課題の抽出から対応策の検討、実大載荷試験に舗装の耐久性評価に至るまでの総合的研究

代表者: 山本 貴士

所属機関: 京都大学経営管理大学院教授

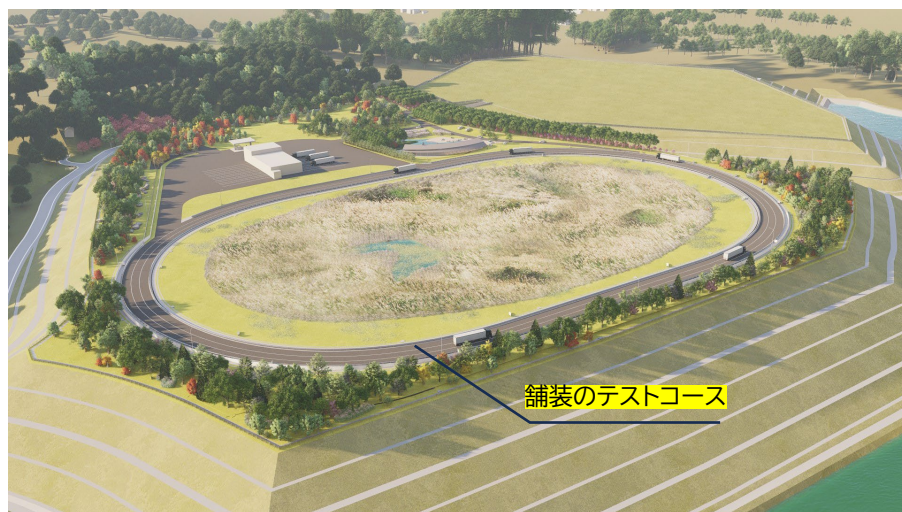
(併任)大学院工学研究科社会基盤工学専攻

令和6年度 研究成果まとめ

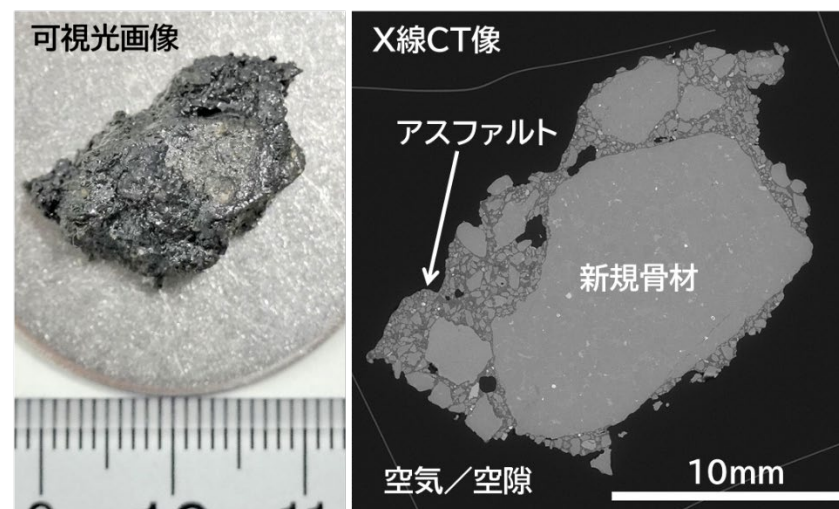
背景および目的:

舗装事業における循環型社会ならびに脱炭素社会の実現に向けて、再生骨材配合率50%以上かつ製造温度を20～30℃程度低下させて製造した再生中温化アスファルト混合物を社会実装することを目的とする。

研究の特徴として、適切に製造施工し必要性能を有する舗装を得るための適用条件の明確化、品質確認項目と基準値の明確化、実大規模の舗装のテストコースを活用した耐久性検証、大型放射光施設SPring-8を用いた微視的計測を行うことで、社会実装を確実なものとする。



実大規模の舗装のテストコース
(大成ロテック提供)



微視的計測例(新規混合物のX線CT像)

令和6年度 研究成果まとめ

研究成果の概要

1. CO₂削減効果、施工実績、作業環境への影響について調査

- 米国では、再生混合物の製造量は全混合物出荷量の22%。骨材配合率は30%が上限
- 少なくとも10°F(6℃相当)低減したものを中温化と定義。出荷量の約40%が中温化混合物(2022年)
- 中温化手法は、化学添加剤系技術が2/3、水を用いたフォームド系技術が1/3
- 混合温度を30℃低下すると揮発分が1/10~1/20程度となるため、作業環境の改善が期待できる

2. 既存中温化技術の再生混合物での有効性の確認

- 既往中温化技術である「発泡系」および「粘弾性調整系」について、室内で再生混合物での有効性を評価した両技術とも締固め温度を通常より20℃低下させても十分な混合物密度が得られ、有効であることを確認した
- 既往耐水性評価試験において、再生混合物は、新規混合物よりも良好な結果が得られた
- 疲労抵抗性評価において、曲げ疲労試験とIDEAL-CT試験で異なる結果が得られた。継続して詳細検討する

3. 試験施工による製造性、施工性および課題の確認

- 2025年1月に福知山河川国道事務所管内国道9号にて通常温度で製造した再生混合物の施工を行った
- 中温化施工を推進する際に考慮すべき課題として、1. 混合物温度低下の抑制が必要であること、2. 混合物温度低下に伴い発生するアスコン塊の発生および施工性低下への対策が必要であることが抽出された

4. X線、放射光を用いた微視的計測

- 中温化技術の効果確認を行うとともに、再生中温化混合物の耐久性に関わる基礎情報の獲得を試みた
- フォームド技術を適用した再生混合物内部の「泡」の確認、および造影剤を添加した再生混合物の混合状態の微視的検証を行ったが、いずれも明確に確認できなかった。次年度以降も継続して検証する
- 新規混合物と再生混合物は、破壊の仕方が異なることが分かった。次年度以降も継続して検証する

再生中温化混合物社会実装に向けた検討計画

① 文献調査・
事前調査

② 室内評価・
工場試験練り

③ 実大規模の舗装の
テストコースでの評価

④ 国道での実証試験

⑤ 社会実装

成果物

■現状技術と目標技術の乖離(ギャップ)を明らかにし、解決すべき社会課題を明確化

■素材品質管理基準、施工品質、施工管理基準の検討・整理
■事前に考慮すべき条件(適用範囲、地域性、施工現場条件等)の検討・整理

■新技術、手順の、環境影響、施工可能性および耐久性を評価し、社会実装可能性を評価

■新技術、手順の、社会実装可能性の最終評価

■再生骨材配合率50%以上で、製造温度を20~30℃程度低下させた再生中温化混合物の社会実装

具体例

■CO₂削減効果、施工実績、施工性評価、作業環境への影響等

■適用範囲に関する考察(交通条件、環境条件等)

■現在知られている中温化技術を適用した再生混合物を調製し、有効性、実効性を評価する

■必要に応じて、耐水性強化等の新技術、手順の考案、適用を行う

■工場製造、施工を考慮した、材料品質、製造条件、施工条件において、留意すべき項目の抽出と、基準値案の検討

■実大規模の舗装のテストコースを用いて、室内および試験練りで有効と考えられる技術の、促進载荷を行い、施工可能性および耐久性を評価し、社会実装可能性を評価する

■国道9号線での試験施工(再生混合物として)

■新技術、手順の、環境影響、施工可能性、および追跡調査行い、社会実装可能性を最終評価

■設計・施工マニュアル(案、仮称)

■適用範囲(交通量、環境条件など)、設計手順、材料品質、製造条件、施工条件、留意点、基準値

令和6年度実施事項

放射光、X線を用いた微視的計測

(再生混合物の現状把握および新技術の有効性を評価)

CO₂削減効果、施工実績、作業環境への影響について調査

アメリカ合衆国における中温化技術について ¹⁾

- 少なくとも10°F(6°C相当)低減したものを中温化と定義
- 中温化混合物の出荷量は1.8億万トン。混合物出荷量の約40%に相当(2022年)
- 再生混合物の製造量は全混合物出荷量の22%。骨材配合率は30%が上限
- 中温化手法は、化学添加剤系技術が2/3、水を用いたフォームド系技術が1/3
⇒ わが国に再生中温化舗装を社会実装する際の参考となりうる

作業環境への影響について ²⁾

- 室内評価において、30°C温度低下させた中温化により揮発分が1/10～1/20程度に低減された。作業環境の改善が期待できる

1) Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage 2022 Information Series 138, National Asphalt Pavement Association (2024)

2) 田湯ほか;アスファルト混合物から発生するアスファルトヒューム量における温度の影響, 土木学会全国大会第74回年次学術講演会, V-100(2019)

既存中温化技術の再生混合物での有効性の確認

既往中温化技術である「発泡系(フォームド)」および「粘弾性調整系」について、再生混合物での有効性を室内試験で評価した

■ 混合物密度、締固め度について

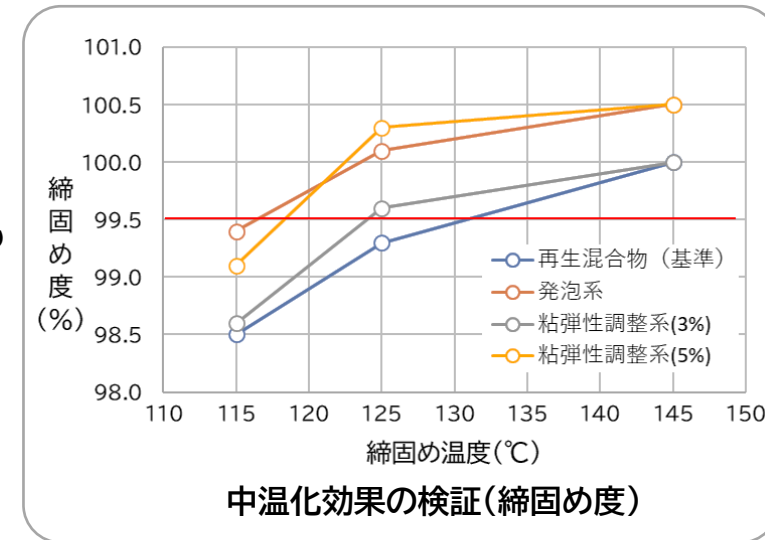
- 製造および締固め温度を通常より20℃低下させても通常温度で製造した再生混合物の密度を基準とした締固め度が99.5%以上で、十分に締め固められることが分かった

■ 耐水性評価について(既往評価方法による)

- 中温化技術の有無によらず新規混合物よりも、再生混合物は良好な結果が見られた。

■ 疲労抵抗性について

- 曲げ疲労試験では再生混合物が新規混合物よりも疲労抵抗性が高くなったが、IDEAL-CT試験では、逆に、再生混合物が新規混合物よりも疲労抵抗性が低い結果となった。試験条件の変更も含め詳細を検討する



試験施工による製造性、施工性および課題の確認

福知山河川国道事務所管内国道9号において通常温度の再生混合物を用いた施工を行い(2025年1月)、中温化施工を推進する際に考慮すべき課題、条件等を抽出した

■ 確認された事項

- ・ 冬期施工では、気温低下(当日3℃)により**顕著に混合物温度が低下**する
- ・ ダンプ荷台の**保温シートを2重**にし、出荷温度を上限に設定することで混合物材温度低下を抑制できた

抽出された課題： 混合物の温度低下を抑制が必要

- ・ 混合物温度低下に伴い発生する**アスコン塊抑制**
- ・ **施工性低下**への対策



アスコン塊の例

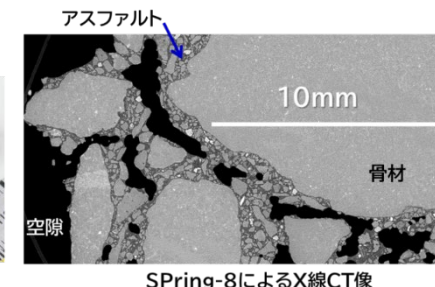
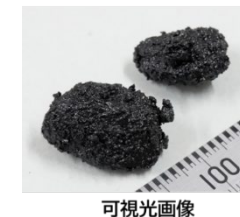
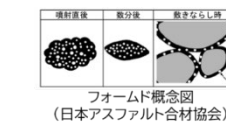
次年度以降に、再生中温化混合物における適切な管理温度、転圧回数、施工性を加味した管理項目および目標値を設定する

X線、放射光を用いた微視的計測

再生混合物内部の状況を非破壊で微視的計測を実施し、中温化技術の効果確認を行うとともに、再生中温化混合物の耐久性に関わる基礎情報を獲得することを試みた

■ フォームド技術による再生混合物内部の「泡」の確認

- ・ 混合物中に「泡」の存在を明確には確認できなかった
- ・ 当該工法は中温化工法として国内外での活用実績があることから継続して有効性の要因検証を行う



■ 造影剤を添加した再生混合物の混合状態の確認を目的に微視的検証

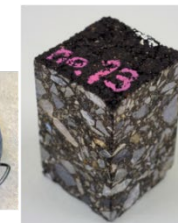
- ・ 造影剤添加量が少なく、混合状態を明確にできなかった
- ・ フィラーの全量を造影剤に置き換え再検証



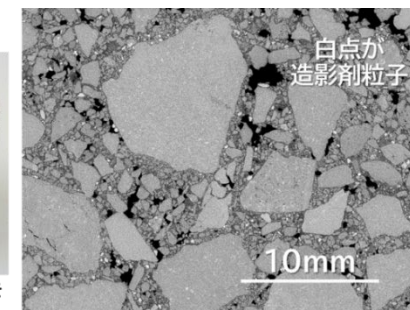
造影剤



再生混合物



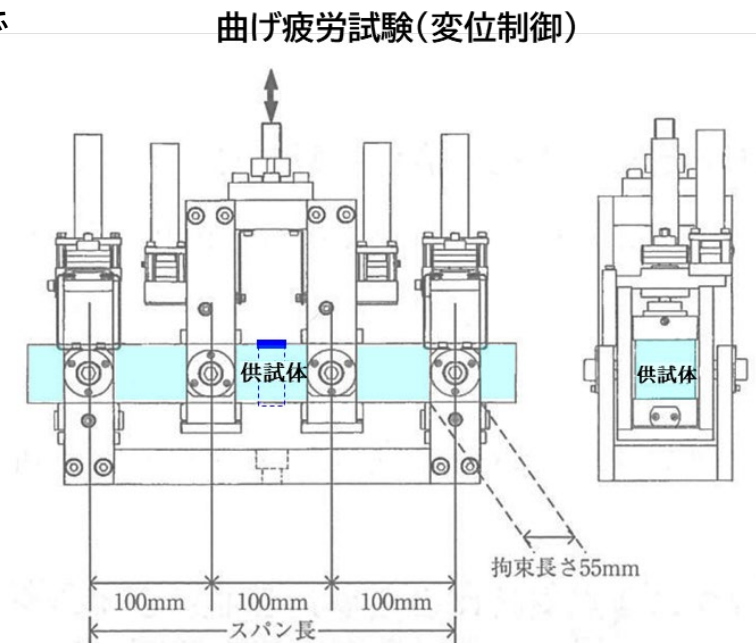
マーシャル供試体を
4cm角に切り出し



次年度以降も供試体作製条件を変え、微視的検証を行う

再生混合物の混ざり方、均一性の微視的検証

- 曲げ疲労試験供試体を用いた損傷起点と進行メカニズム検討
 - 破壊後の供試体内部の微視的計測により、**新規混合物と再生混合物の損傷の差異を明らかにし、混合状態の差異を考察**する
- 仮説： 界面となる場所で破壊が発生
 - 新規混合物は、骨材とアスファルトの剥離が発生するのではないかと
 - 再生混合物は、再生骨材周囲の旧アスの外側で（新アスファルト等との接触箇所）で破壊や滑り等が発生するのではないかと

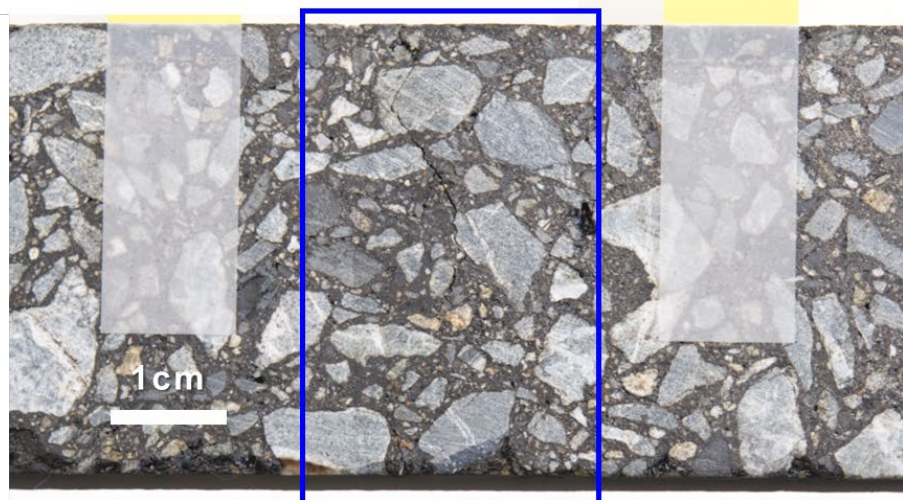


曲げ疲労試験供試体のCT計測 (SPring-8自動計測)

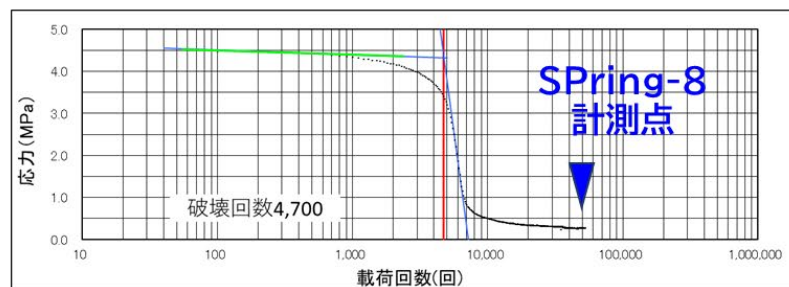


曲げ疲労試験供試体の様子

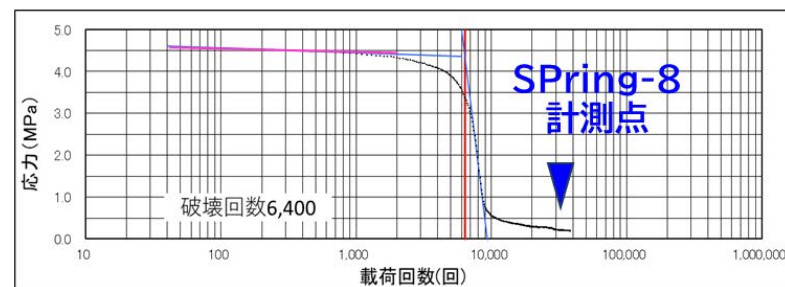
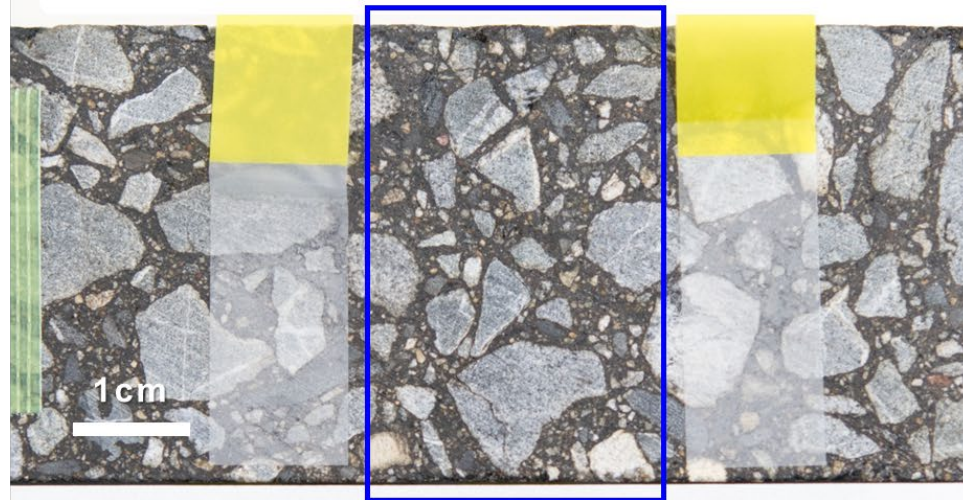
新規密粒度混合物(13)



曲げ疲労試験の計測例(400 μ 、5Hz、5℃)

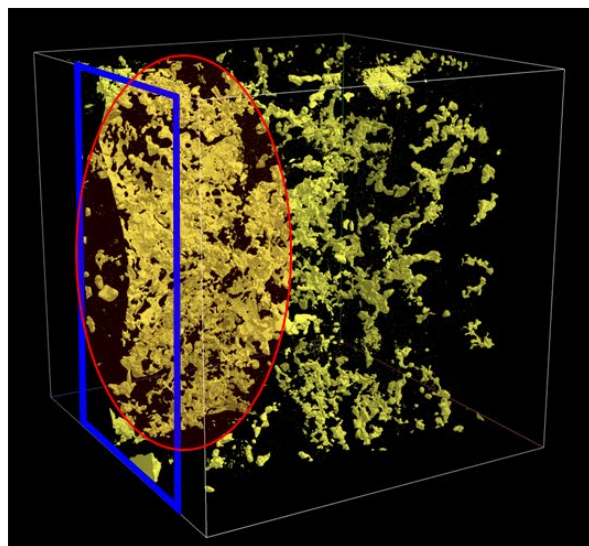
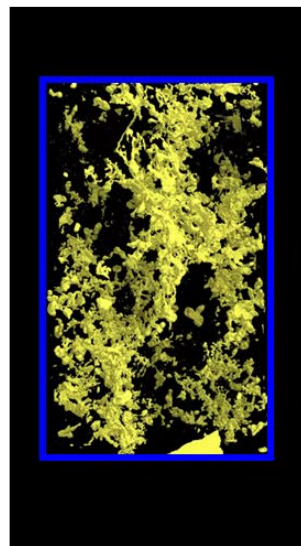
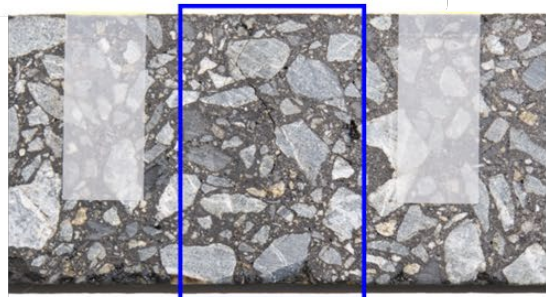


再生密粒度混合物(13)(R50)



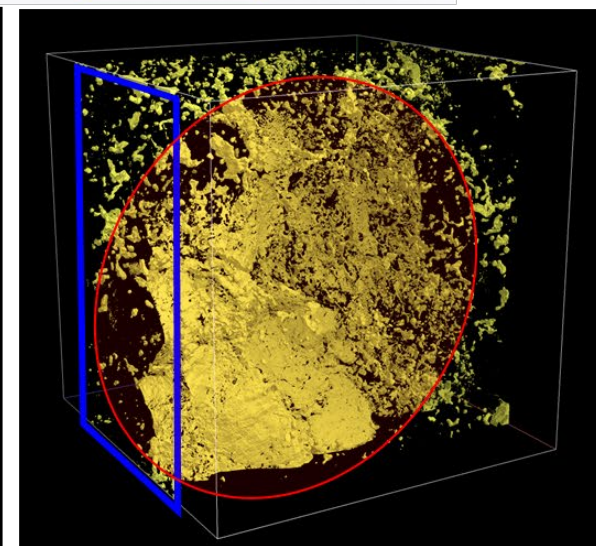
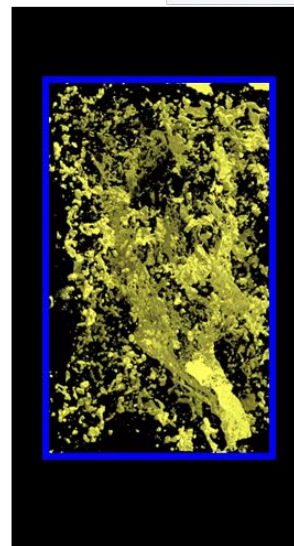
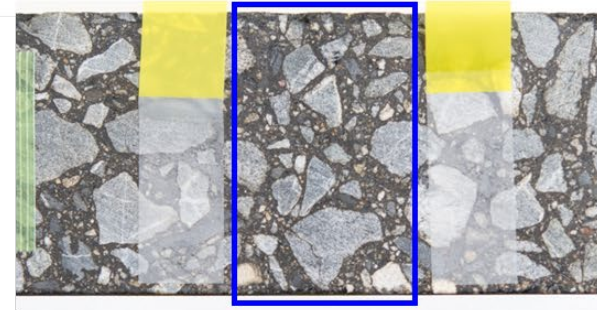
曲げ疲労試験：破壊後供試体のCT（□部分を計測）

新規密粒度混合物(13)



一部にひび割れが発生

再生密粒度混合物(13)(R50)

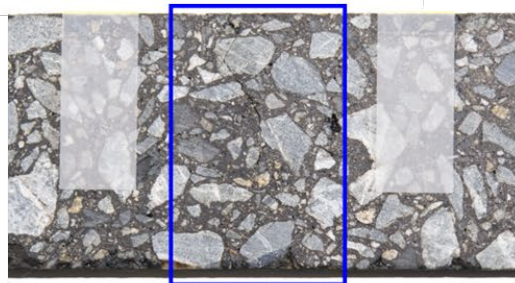


連続した破壊面が存在

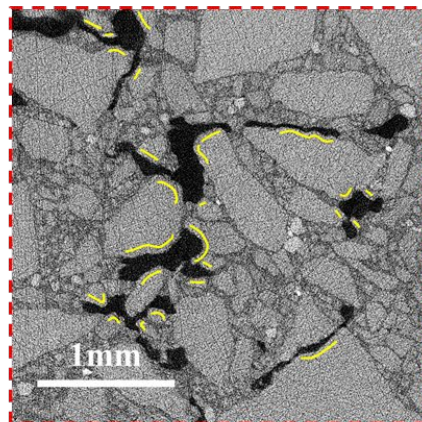
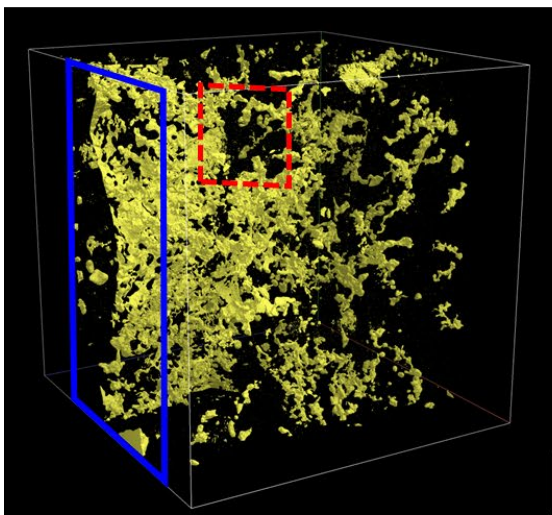
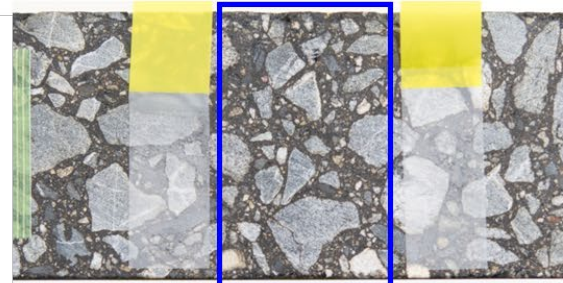
新規混合物と再生混合物で破壊の仕方が異なることを確認した

曲げ疲労試験：破壊後供試体のCT（□部分を計測）

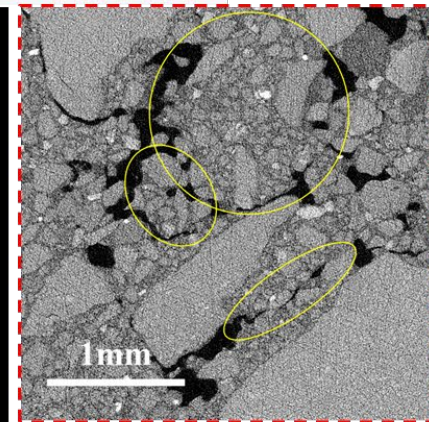
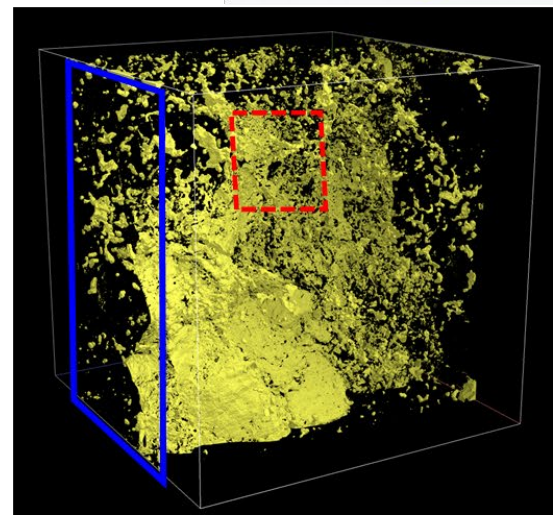
新規密粒度混合物(13)



再生密粒度混合物(13)(R50)



骨材とアスファルトの
界面が剥離



骨材とアスファルトの
界面剥離に加え
細粒分、モルタル中で破断

再生混合物内部の状況を考察し、再生中温化実現の基礎情報とする

次年度以降の方針： 研究構成員

	氏名	所属・役職	役割	備考
官	福本 雅宏	道路部 道路工事課 課長		
	三浦 淳	道路部 道路管理課 課長		
	市場 弘美	道路部 道路工事課 課長補佐		整備局窓口
	井上 恭介	道路部 道路工事課 舗装係長		
	鎌田 洋一	近畿技術事務所 副所長		
	仲野 悌弘	近畿技術事務所 技術情報管理官		契約担当
学	山本 貴士	京都大学経営管理大学院 教授	社会実装を含めた研究マネジメント X線、放射光を用いた微視的計測とその評価	PJリーダー
	肥後 陽介	京都大学経営管理大学院 教授	同上	
	藤木 修	京都大学経営管理大学院 客員教授	本検討の成果を、社会実装するためのマネジメントに関する知見の提供	
	竹末 直樹	京都大学経営管理大学院 特定教授	同上	R7/3まで
	青木 一也	京都大学経営管理大学院 特定教授	同上	R7/3から
	瀬尾 彰	京都大学経営管理大学院 特定教授	社会実装を含めた研究マネジメント X線、放射光を用いた微視的計測とその評価	
	高橋 茂樹	金沢工業大学 工学部 教授	アスファルト混合物製造、施工、舗装管理全般に関する知見の提供	
	上杉健太郎	(公財)高輝度光科学研究センター 散乱・イメージング推進室 主席研究員	X線、放射光を用いた微視的計測に関する知見の提供および測定	
産	青木 政樹	大成ロテック(株) 技術研究所 鴻巣研究所 所長	再生アスファルト混合物の試作・評価 実大規模の舗装のテストコースや国道での試験施工、評価の管理	幹事役
	守安 弘周	前田道路(株) 取締役 常務執行役員 技術本部長	再生アスファルト混合物の試作・評価 国道での試験施工、評価の管理	R7/3から
	呉 悦樵	出光興産(株) 機能舗装材事業部 アスファルト技術課	アスファルトの調製および剥離抵抗性の向上等の素材準備	

上記構成員に加え、実大実験走路での施工および評価においては、実施可能な道路会社や建設コンサルタント等に協力を求める
くわえて、国道での試験施工、評価においては、近畿地方整備局近畿技術事務所のご協力ならびにご指導のもと、
実施可能な道路会社や建設コンサルタント等の協力を求める

次年度以降の方針 令和7年度

計画内容	目的・手段
国道9号試験施工箇所の追跡調査(コア抜き含む)	・わだち掘れ、ひび割れ ・現場コアの微視的計測(施工直後と追跡調査)
社会実装に適した工法の選択・改良・開発 ・室内評価による検討 ・工場試験練り(必要により実施)	我が国で施工実績のある工法の検証を追加 ・耐わだち掘れ、耐水性(混合物評価) ・疲労抵抗性(ひずみ増減による適用箇所検討)
再生混合物の均一性の検証	・微視的計測および解析(造影剤・再生混合物の破壊の起点の微視的検証)
再生混合物の製造方法の検討	・室内実験およびSpring-8の微視的計測で得られた再生混合物の破壊のメカニズムを元に, 耐久性向上に資する対策技術を室内実験で検証
中温化時のはく離の微視的検証 中温化効果発現の要因の検証	・はく離試験後骨材の微視的計測 ・混合時のアスファルト粘度を検証(高せん断速度における粘度など)
舗装のテストコースおよび実道での試験施工の準備 ・骨材からのアスファルトはく離の検証 ・中温化時の混合工場への影響調査、抽出 ・試験工区、比較工区の決定	工場での連続製造および評価混合物選定 ・混合温度低下時のはく離試験(複数骨材) ・試験練りによる調査、対策提案 ・使用材料での配合設計、評価

次年度以降の方針 令和8年度

計画内容	目的・手段
国道9号試験施工箇所の追跡調査(コア抜き含む)	・わだち掘れ、ひび割れ ・現場コアの微視的計測(施工直後と追跡調査)
舗装のテストコースおよび実道での耐久性評価 ・中温化施工 車輪走行箇所、非走行箇所の追跡調査(コア抜き含む)	大型荷重車走行による促進載荷試験(舗装のテストコース) ・わだち掘れ、ひび割れ ・コアの微視的計測 ・混合物製造時のエネルギー消費量実測
舗装のテストコースにおける耐久性評価 ・車輪走行箇所、非走行箇所の追跡調査(コア抜き含む)	大型荷重車走行による促進載荷試験 ・わだち掘れ、ひび割れ ・コアの微視的計測
設計・施工マニュアル(案)仮称の作成	舗装のテストコースで耐久性優秀な工法 ・適用箇所(適用除外箇所) ・CO₂排出量の削減、周辺環境ならびに作業環境の改善の定量的効果を記載 ・必要な仕様規定 ・品質確認項目と基準値
国道での実証試験の実施	国道で耐久性優秀な混合物を適用 ・わだち掘れ、ひび割れ ・コアの微視的計測(必要に応じて)