



京都大学経営管理大学院
Graduate School of Management, Kyoto University

新都市社会技術融合創造研究会プロジェクト (令和6年度～8年度)

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研究

2026年10月13日

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

内容

- 研究の背景および目的
- 実大規模の舗装評価路／微視的計測・解析
- 再生中温化混合物に関する検討（現状課題の抽出と対策の検討）
 - 室内評価
 - 舗装評価路での試験施工（現状課題の抽出と対策の検討）
- まとめ

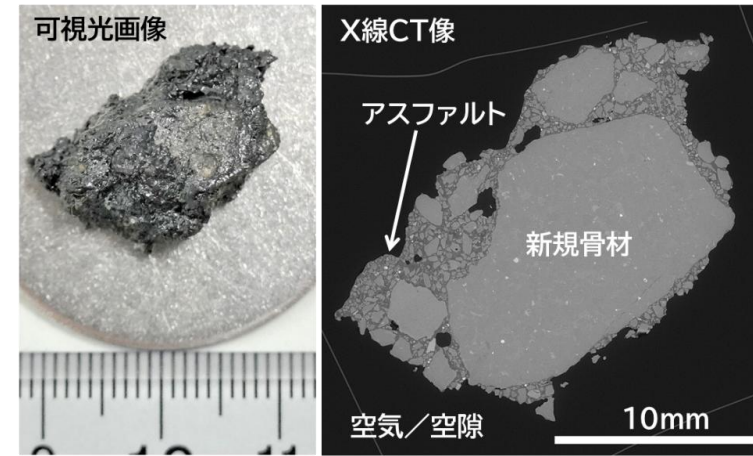
背景および目的

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、実大規模の舗装評価路を活用した耐久性検証、SPring-8の放射光による微視的計測を行うことで、社会実装を確実なものとする。



次世代舗装実験施設 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SPring-8X線CT像)

研究構成員

	氏名	所属・役職	役割	備考
官	伊藤 征毅	道路部 道路工事課 課長		
	宮腰 一也	道路部 道路管理課 課長		
	高尾 創	道路部 道路工事課 課長補佐		整備局窓口
	坂野 峻介	道路部 道路工事課 舗装係長		
	眞島 寛史	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	
	青木 一也	京都大学経営管理大学院 特定教授	同上	
	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	越川 雅行	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 実大規模舗装評価路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) 常務執行役員	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	
	宮武 真也	出光興産(株) 機能舗装材事業部 アスファルト技術課長	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

検討計画



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	■実大規模の舗装評価路を用いて、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

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)

内容

- 研究の背景および目的
- 実大規模の舗装評価路／微視的計測・解析
- 再生中温化混合物に関する検討（現状課題の抽出と対策の検討）
 - 室内評価
 - 舗装評価路での試験施工（現状課題の抽出と対策の検討）
- まとめ

実大規模の舗装評価路の概要

所在地	福島県田村市常葉町山根
大型舗装実験走路	総延長 909m
自動運転荷重車両	5 台同時走行 速度40km/h



自動運転荷重車両

次世代技術実証センター/田村 | 全景・その他の施設

大成建設グループ
大成ロテック
TAISEI



自動運転荷重車両により年間600万輪程度の載荷走行が可能



舗装の耐久性評価期間を大幅に短縮
開発技術の早期社会実装を目指す

SPring-8を用いた微視的計測・解析

- アスファルト混合物内部($\phi 70\text{mm}$)のX線CT
- 空間分解能($1 \sim 4 \mu\text{m}$)程度
- 素材を密度差で選別可能



世界最高性能の大型放射光施設SPring-8

<https://new.spring8.or.jp/index.php/2020-12-21-05-29-40/2020-12-21-06-18-40> © RIKEN/JASRI



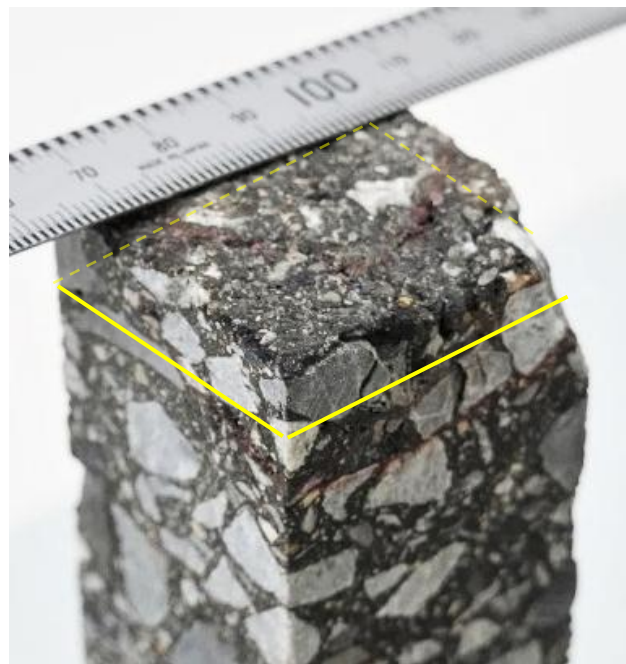
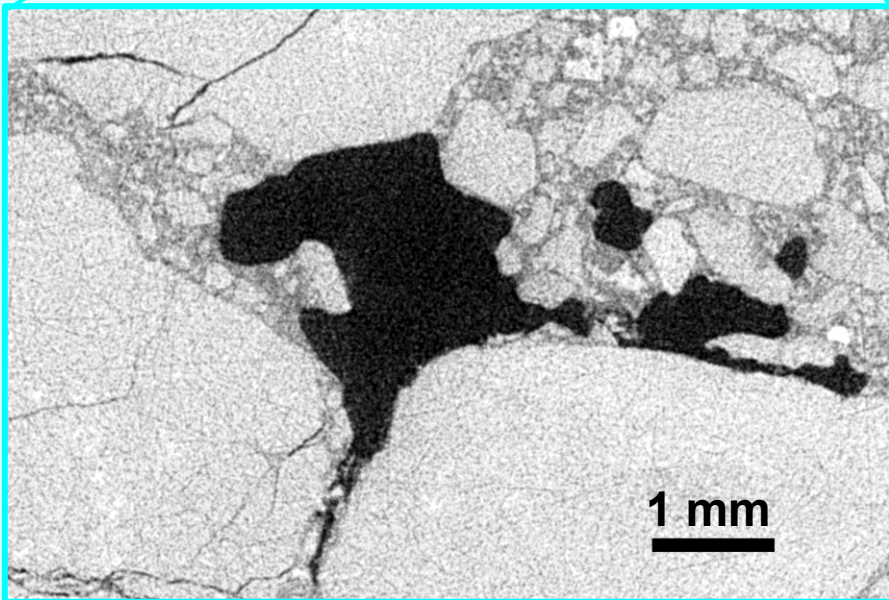
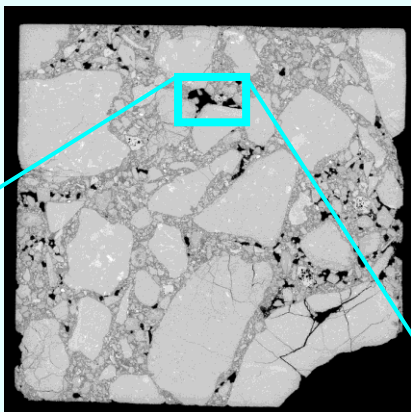
黒部分: 空気、空隙
薄いグレー: 骨材
濃いグレー: アスファルト



混合物内部のCT像

SPring-8
X線CT

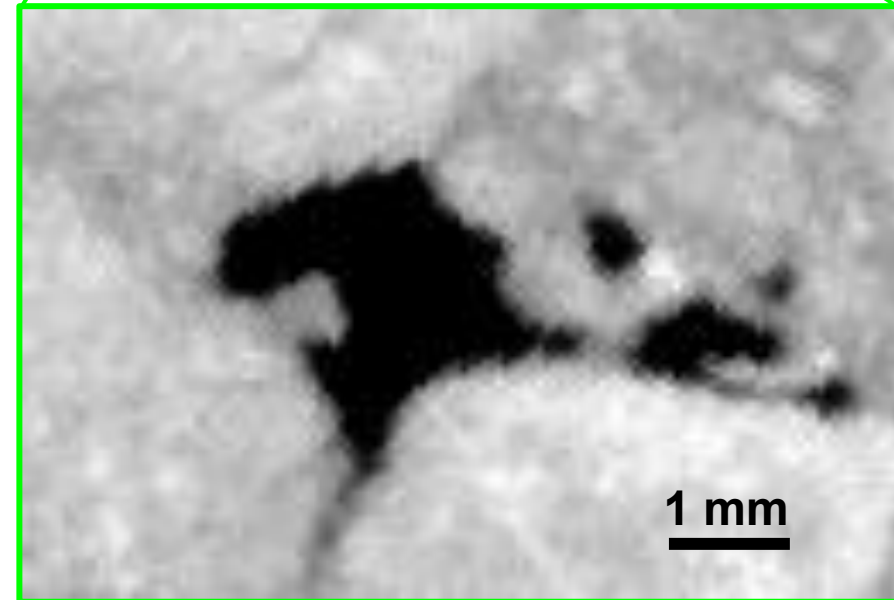
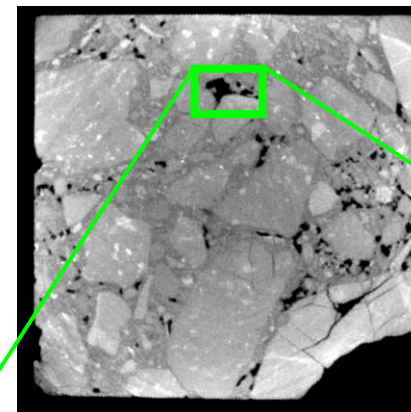
分解能 $3.74\mu\text{m}$



高分解能で
均質な画像

産業用
X線CT

分解能 $60\mu\text{m}$



内容

- 研究の背景および目的
- 実大規模の舗装評価路／微視的計測・解析
- 再生中温化混合物に関する検討（現状課題の抽出と対策の検討）
 - 室内評価
 - 舗装評価路での試験施工（現状課題の抽出と対策の検討）
- まとめ

再生混合物に関する検討（現状課題の抽出と対策の検討）

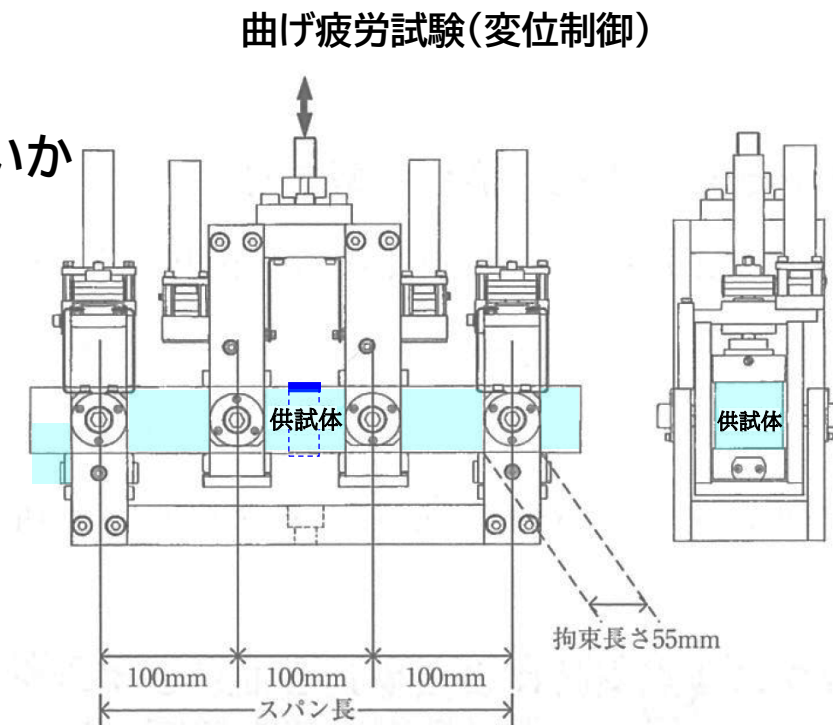
1: 再生混合物の混ざり方, 均一性の微視的検討

2: 再生混合物の配合・製造方法と性状に関する検討

再生混合物の混ざり方, 均一性の検証

- 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
 - 破壊後および破壊に至らない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:
 - 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
(新アスファルト等々の接触箇所)で破壊(凝集破壊),
滑り等が発生するのではないかと

混ざり方のちがいを
確認することが難しかったため,
壊れ方を追いかけることにしました。



曲げ疲労試験： 供試体のCT計測

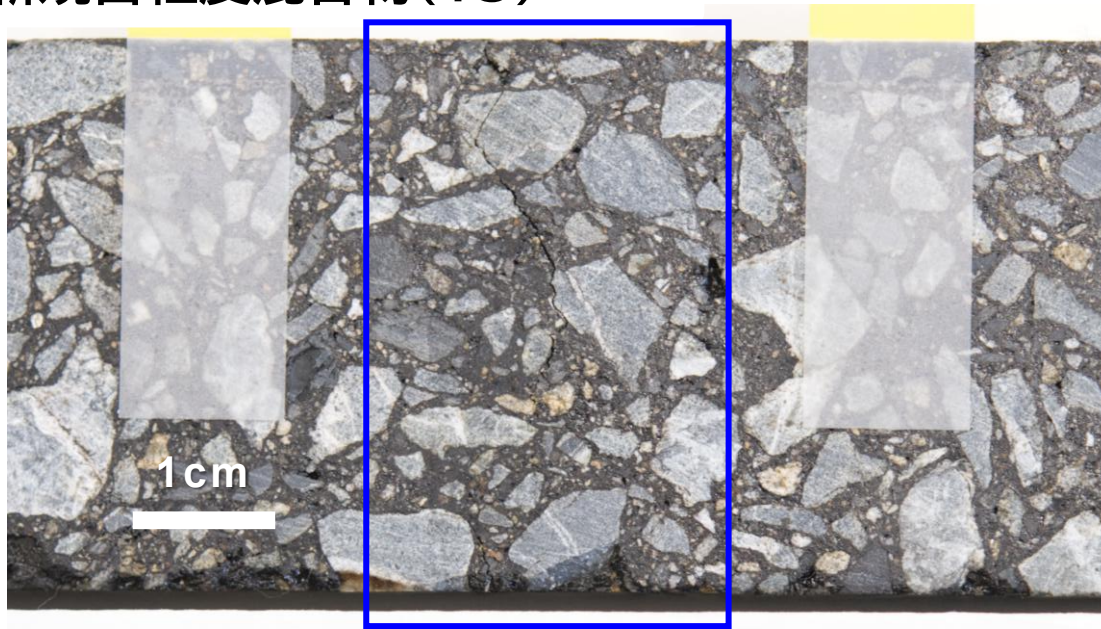
SPring-8自動計測



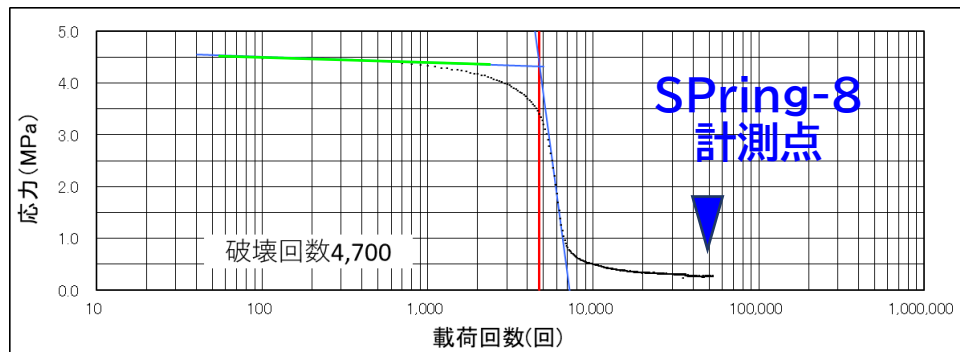
曲げ疲労試験： 供試体の様子

試験協力：大成ロテック(株)

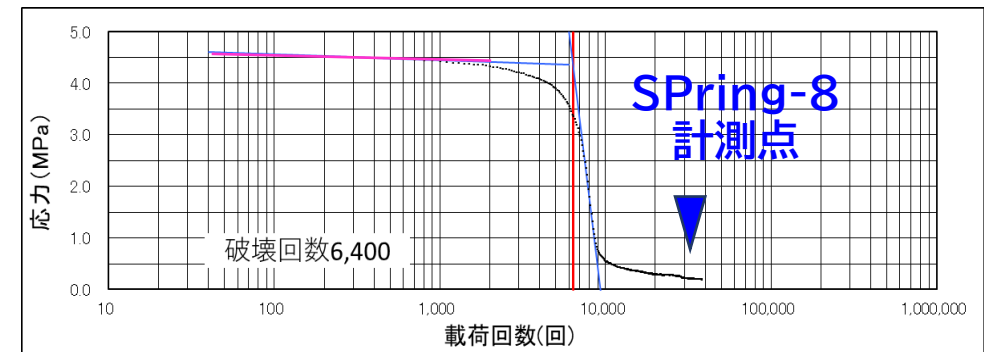
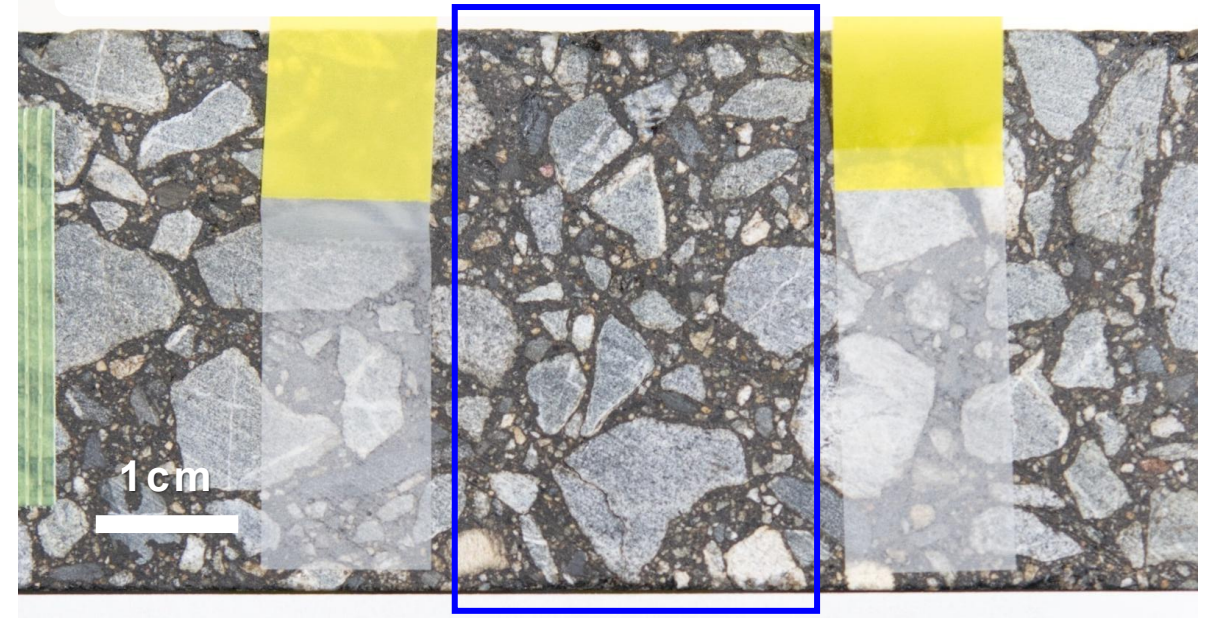
新規密粒度混合物(13)



曲げ疲労試験の計測例(400 μ 、5Hz、5℃)



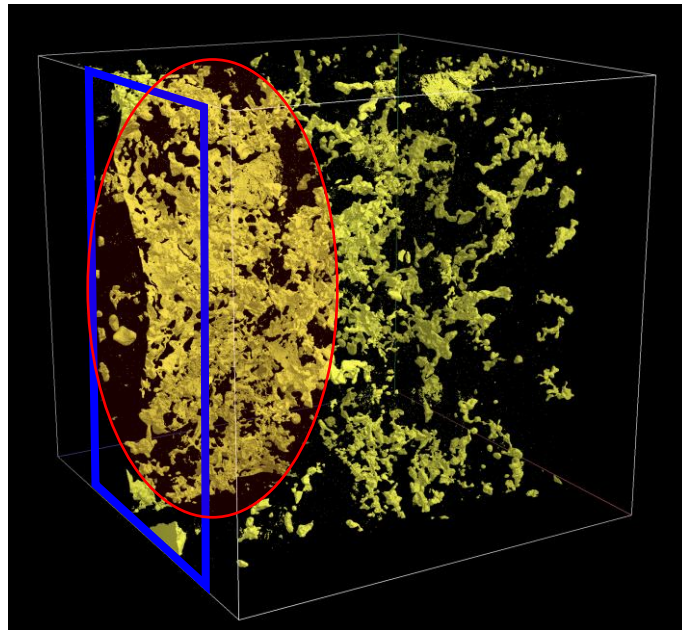
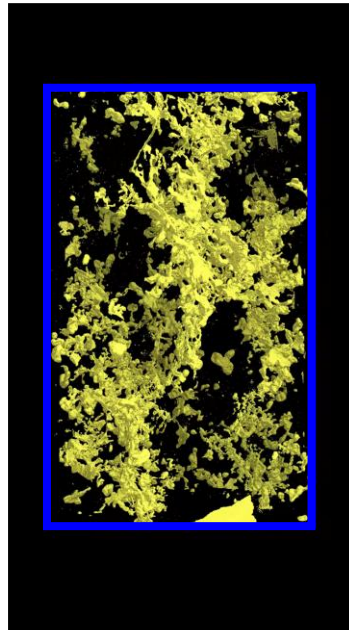
再生密粒度混合物(13)(R50)



曲げ疲労試験：破壊後供試体のCT

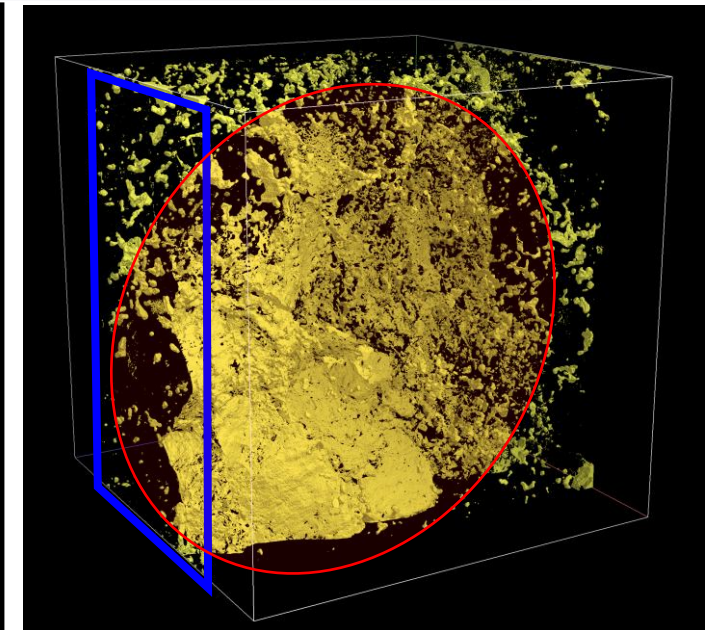
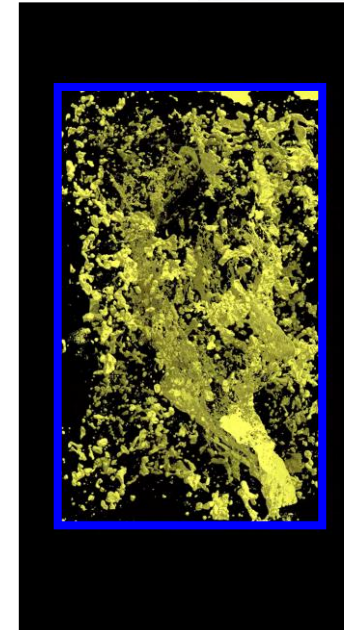
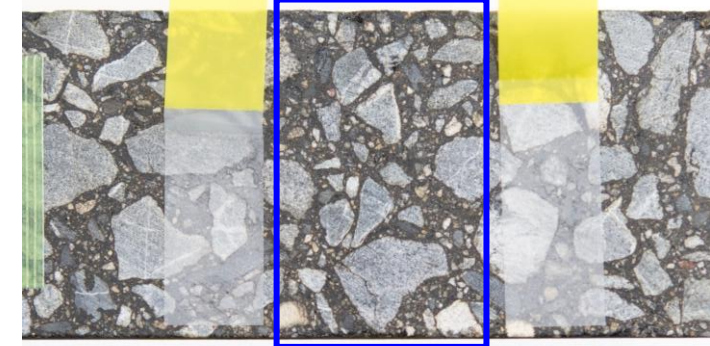
内部の空隙を黄色で表示

新規密粒度混合物(13)



一部にひび割れが発生

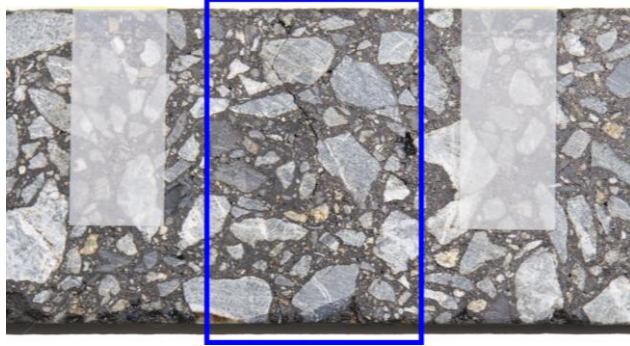
再生密粒度混合物(13)(R50)



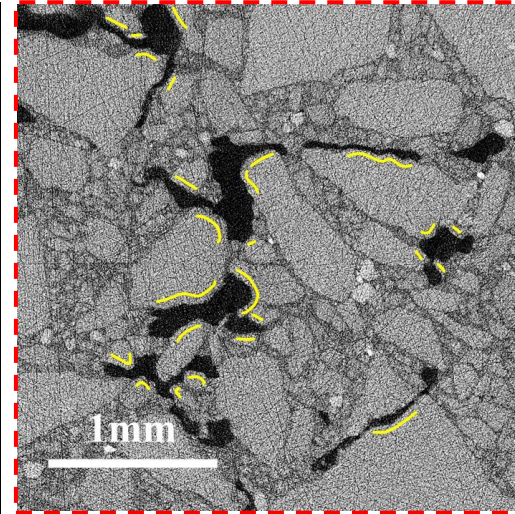
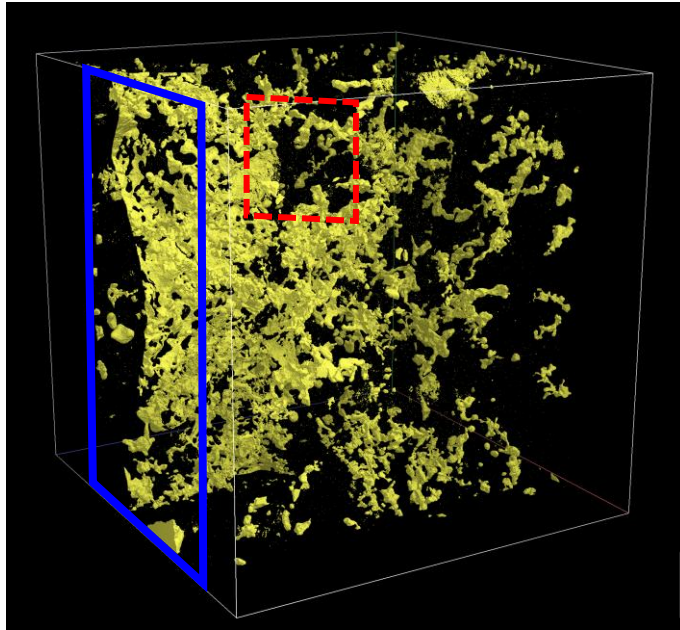
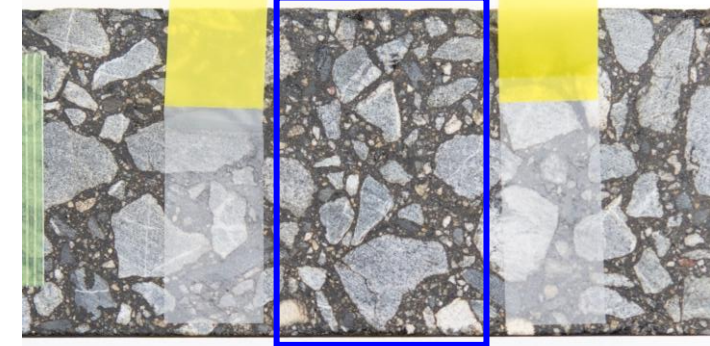
連続した破壊面が存在

曲げ疲労試験：破壊箇所での微視的観察

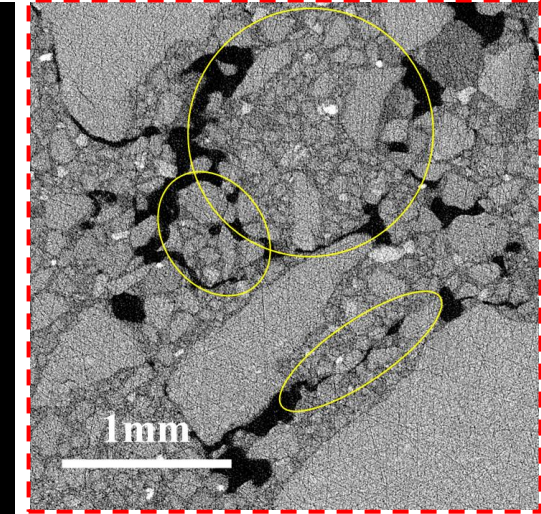
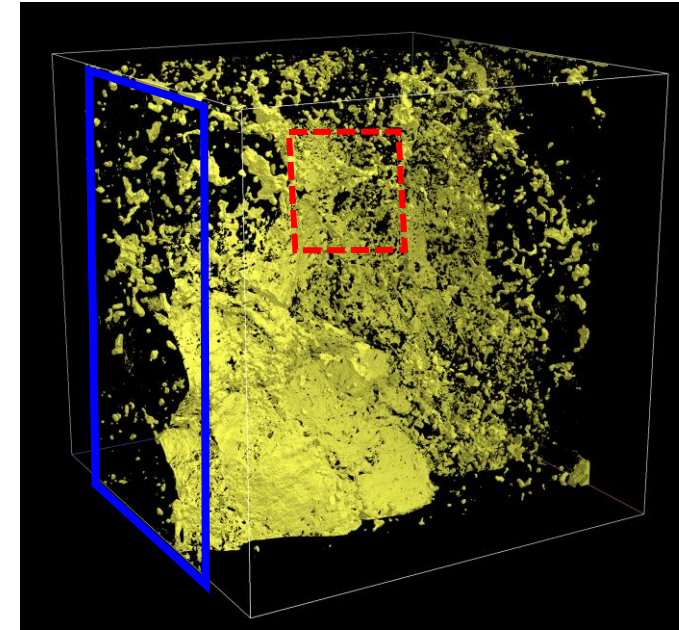
新規密粒度混合物(13)



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

新規混合物と再生混合物の破壊形態の考察

- **新規混合物**のひび割れの起点は骨材からのアスファルト剥離が主要因と考えられる。骨材とアスファルトの接着の弱い箇所が剥離することで他所に応力が集中し、そこが剥離することで破壊が進展する。面状の破壊に至らなかった理由は、アスファルトが塑性変形することで空隙の拡大および応力緩和されたためと考えられる。

(対策) **剥離抑制**が対策となりうる。共有結合の導入も対策となりうる

- **再生混合物**のひび割れは、剥離も起点となりうるが、**モルタル内部もしくはその周囲で凝集破壊**が発生し、面状に破壊が拡大すると考えられる。凝集破壊は、再生骨材表面の**旧アスファルト等と、新アスファルトあるいは再生用添加剤の接触界面**で発生していると考えられる。繰り返し载荷により弾性率変化の大きい界面に応力集中し面状の破壊が発生したと考えられる。

(対策) **旧アスと、新アスおよび再生用添加剤の弾性率差を縮小**することが対策となりうる
旧アスへの**拡散速度**の高い再生用添加剤の使用、
もしくは**再生用添加剤を使用しない**ことも対策となりうる
剥離抑制も併用することが望ましい

再生混合物に関する検討（現状課題の抽出と対策の検討）

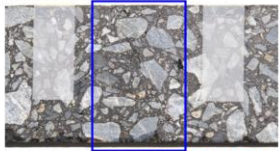
1: 再生混合物の混ざり方, 均一性の微視的検討

2: 再生混合物の配合・製造方法と性状に関する検討

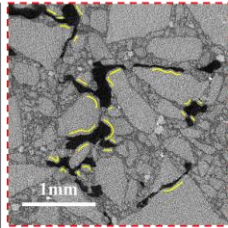
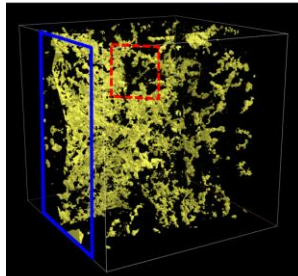
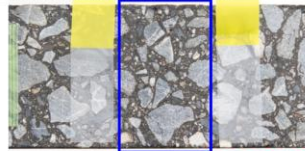
再生骨材表面に着目した混合物の製造方法および性状

- 再生混合物の損傷メカニズム、および再生骨材の表面の状態に着目し、破壊起点を作りにくい混合物の製造方法を検討する

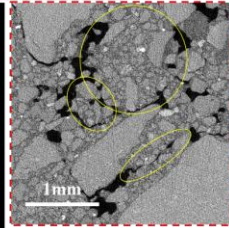
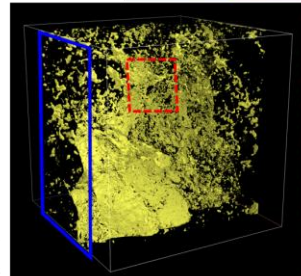
新規密粒度混合物(13)



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

混合物の破壊箇所

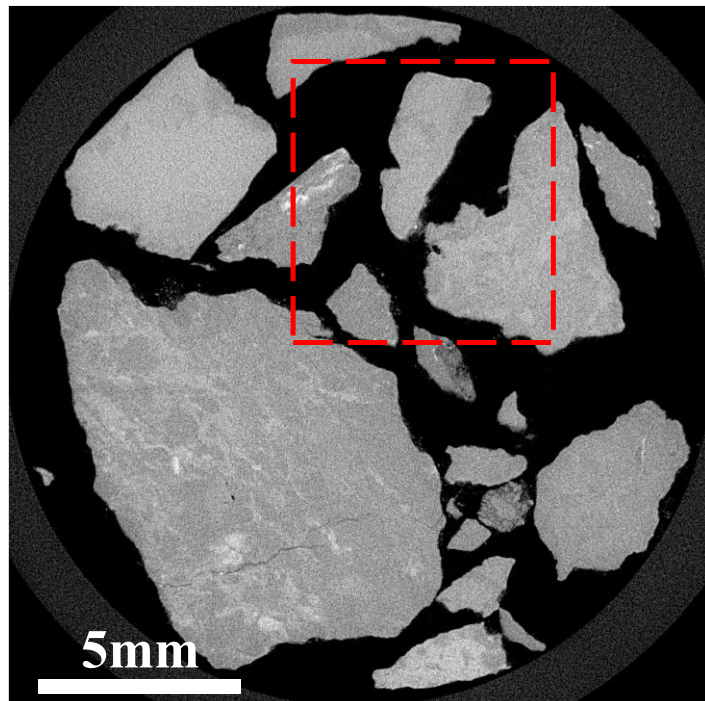


新規骨材

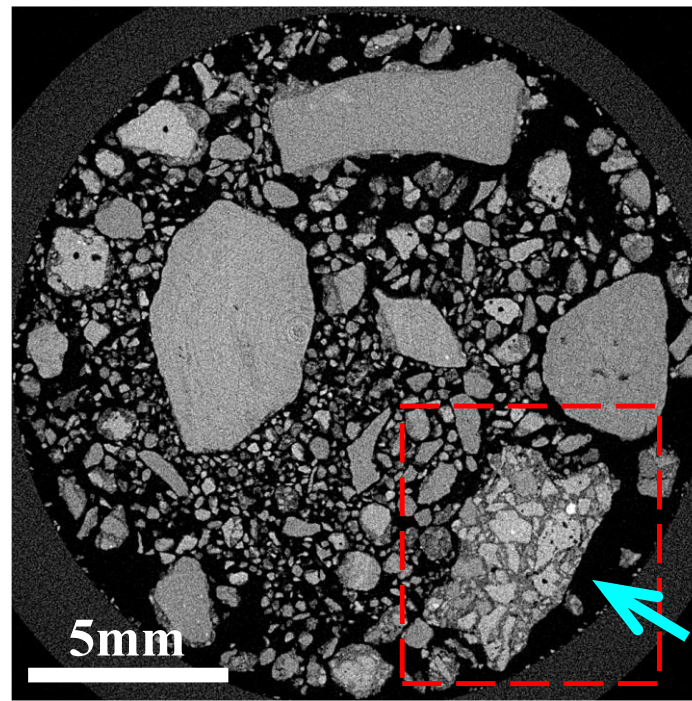


再生骨材

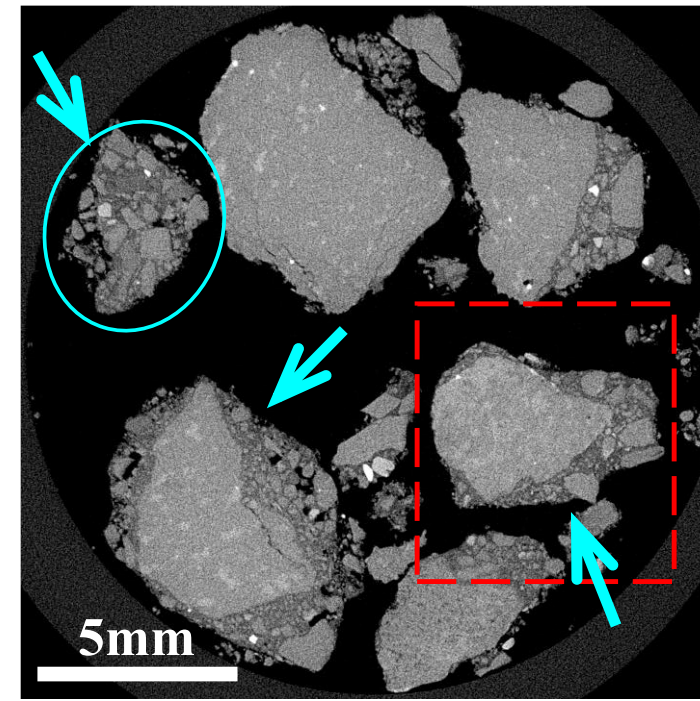
新規骨材と再生骨材のCT画像



7号碎石(福島県)



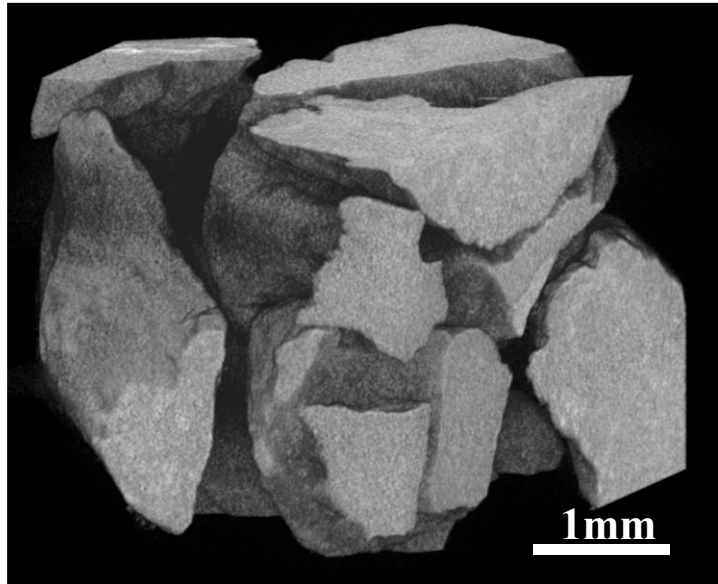
再生骨材R5-0(福島県)



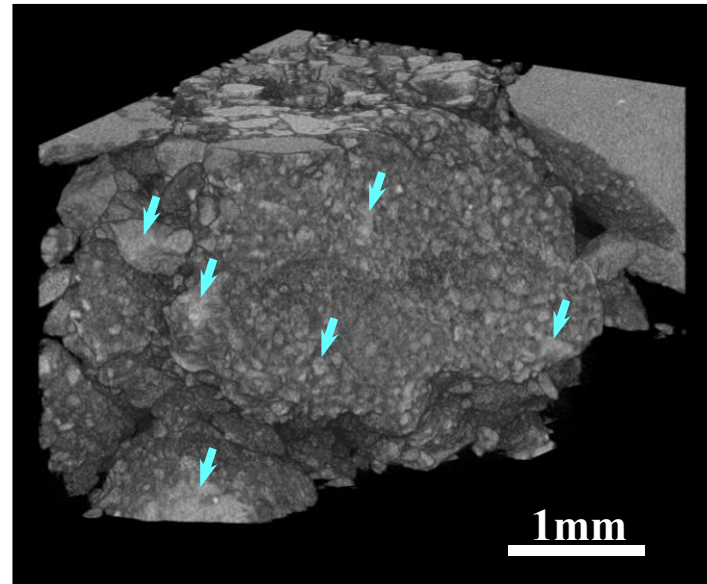
再生骨材R5-0(茨城県)

- 再生骨材の周囲には, 旧アスファルトおよびモルタルが付着
- モルタルのみで再生骨材R5-0を形成している箇所もある

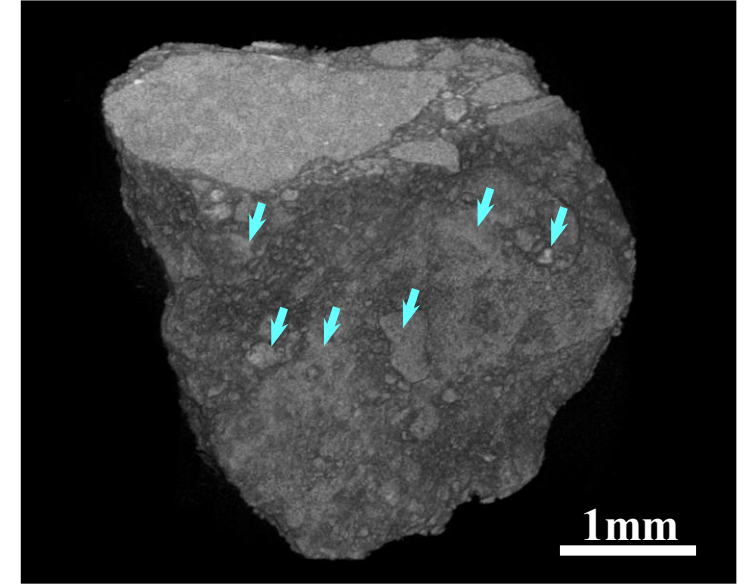
新規骨材と再生骨材の3D顕微鏡画像



7号砕石(福島県)



再生骨材R5-0(福島県)



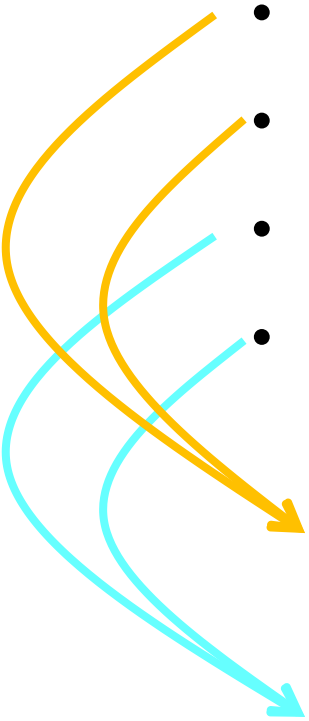
再生骨材R5-0(茨城県)

- 再生骨材の表面には骨材が露出している(矢印部分)
- 再生骨材表面のモルタル内部から旧アスファルトが全量溶出することは困難
- 再生骨材表面の骨材に、新規混合物と同様に、アスファルトを直接接着させることもできる

再生中温化混合物の考え方

これまでの知見のまとめ

- 旧アスと、新アスおよび再生用添加剤の弾性率差を縮小する
- 旧アスへの拡散速度の高い再生用添加剤の使用
- 剥離抑制も併用することが望ましい
- 再生骨材表面の骨材に、アスファルトを直接接着させる



• 高粘度の芳香族系再生用添加剤を使用する

• 剥離抑制アスファルトのみで混合物を製造する

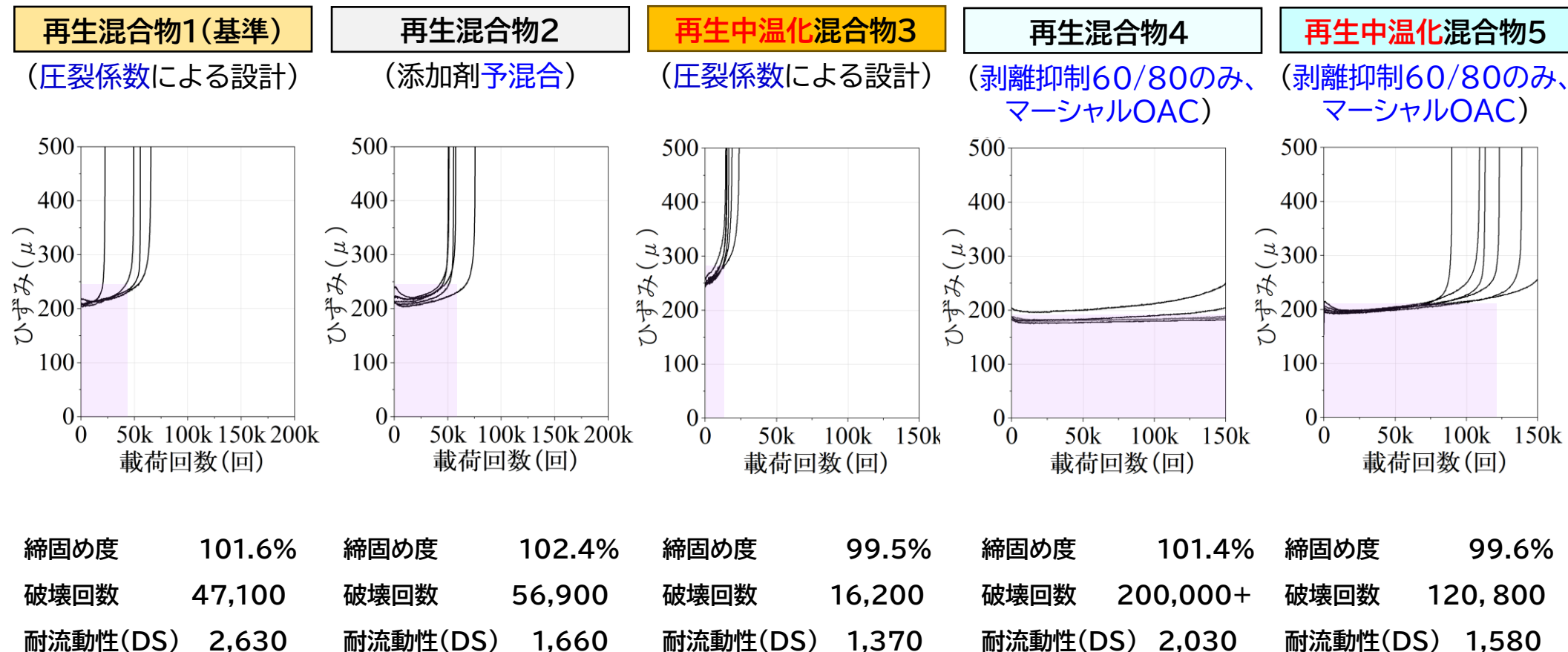
再生骨材を配合した混合物 R50 密粒(20)[50]上方粒度

	追加添加する新アスの量	考え方と混合物作製方法
再生混合物1 (現行品, 比較混合物)	新アス量:2.08% 再生用添加剤量:0.46% 旧アス量2.56%, OAC 5.1%	圧裂係数により配合設計. 一般地域の設計圧裂係数1.10~0.8 MPa/mmの中央値0.95MPa/mmとなる再生用添加剤量17.7%(旧アスに対し)を採用. 再生骨材に再生用添加剤を予め混合し, その後に新骨材と新アスを添加混合.
再生混合物2 (予混合, 60/80)	新アス量:2.08% 再生用添加剤量:0.46% 旧アス量2.56%, OAC 5.1%	混合物1の配合をもとに作製. 再生骨材に, 予混合したストアス60/80と再生用添加剤を全量混合し, その後に新骨材添加混合.
再生中温化混合物3 (現行品, 比較混合物)	新アス量:2.08% 再生用添加剤量:0.46% 旧アス量2.56%, OAC 5.1%	再生混合物1の中温化. 再生骨材に再生用添加剤を予め混合し, その後に新骨材とフォームドした新アスを添加混合.
再生混合物4 (添加剤不使用, 剥離抑制, MS OAC)	剥離抑制新アス量:2.94% 旧アス量2.56%, OAC 5.5%	混合物1の配合をもとに, 再生用添加剤を使用せず, 剥離抑制新アス量のみの変化させ, マーシャル特性値共通範囲の中央値を最適アスファルト量とした. 再生骨材に剥離抑制新アスを全量混合し, その後に新骨材を混合.
再生中温化混合物5 (添加剤不使用, 剥離抑制, MS OAC)	剥離抑制新アス量:2.94% 旧アス量2.56%, OAC 5.5%	再生混合物4の中温化. 再生用添加剤を使用せず, 剥離抑制新アス量のみの変化させ, マーシャル特性値共通範囲の中央値を最適アスファルト量とした. 再生骨材にフォームドした剥離抑制新アスを全量混合し, その後に新骨材を混合.

- 再生骨材R13-0: 旧アス量 5.09%、圧裂係数1.51MPa/mm、福島県内の硬質砂岩、川砂、石粉
- 再生用添加剤: 芳香族系 60℃粘度 500mm²/s、新アス: 60/80および剥離抑制ストアス(60/80相当)

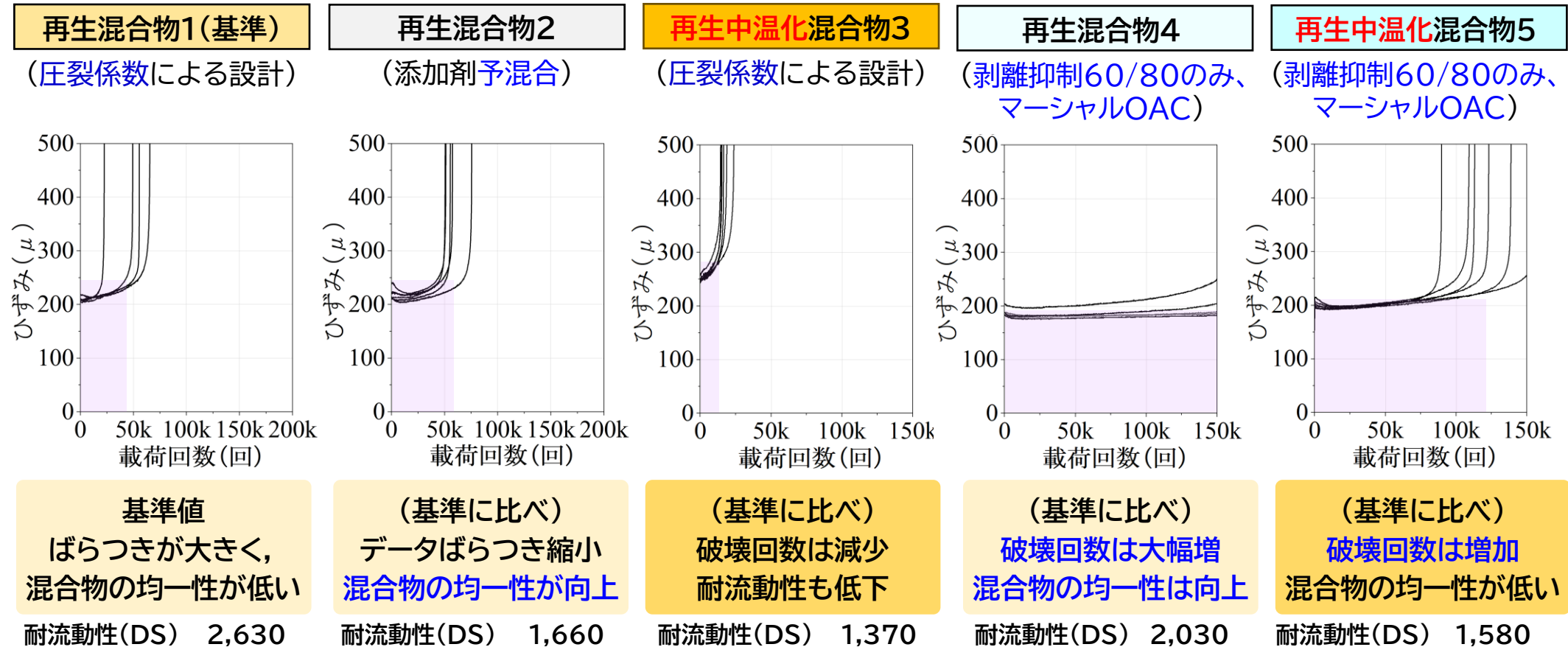
曲げ疲労試験結果（応力制御のため破壊時はひずみが増加）

- ・ 疲労試験： 温度 5℃, 周波数 5Hz、応力制御 2.61MPa(ひずみ約200 μ)
- ・ 「フォームド」による中温化(-20℃)



曲げ疲労試験結果（応力制御のため破壊時はひずみが増加）

- ・ 疲労試験： 温度 5℃, 周波数 5Hz、応力制御 2.61MPa(ひずみ約200 μ)
- ・ 「フォームド」による中温化(-20℃)



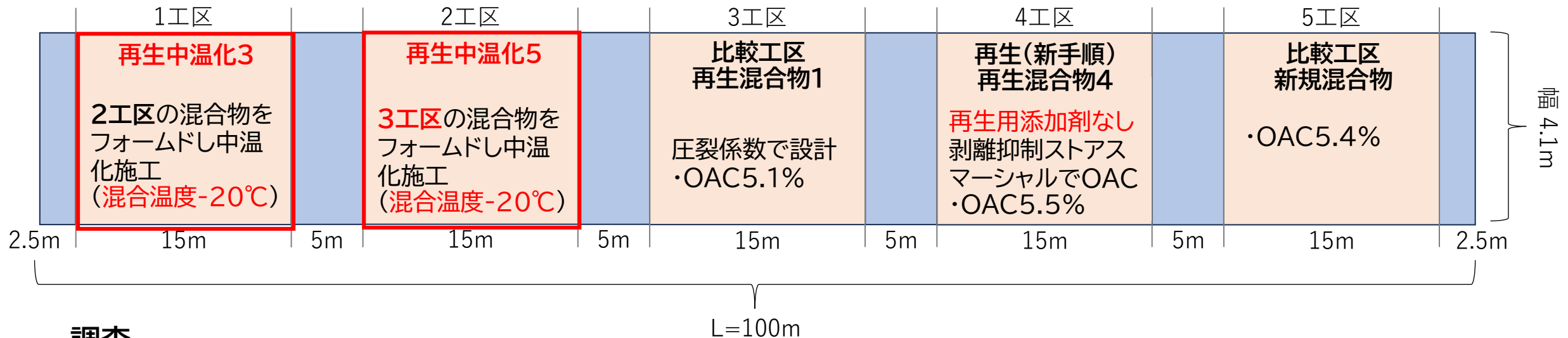
内容

- 研究の背景および目的
- 実大規模の舗装評価路／微視的計測・解析
- 再生中温化混合物に関する検討（現状課題の抽出と対策の検討）
 - 室内評価
 - 舗装評価路での試験施工（現状課題の抽出と対策の検討）
- まとめ

「実大規模の舗装評価路」での試験施工

評価路構築（新規合材、**R50**、通常温度および**-20℃**）

- ・ 基層路盤を切削し、As安定処理、基層を施工
- ・ 表層に評価混合物を施工(5cm厚)
- ・ 密粒(20)上方粒度
- ・ フォームドによる中温化



調査

- ・ わだち掘れ、ひび割れ、FWD
- ・ コア採取しSPring-8で内部計測

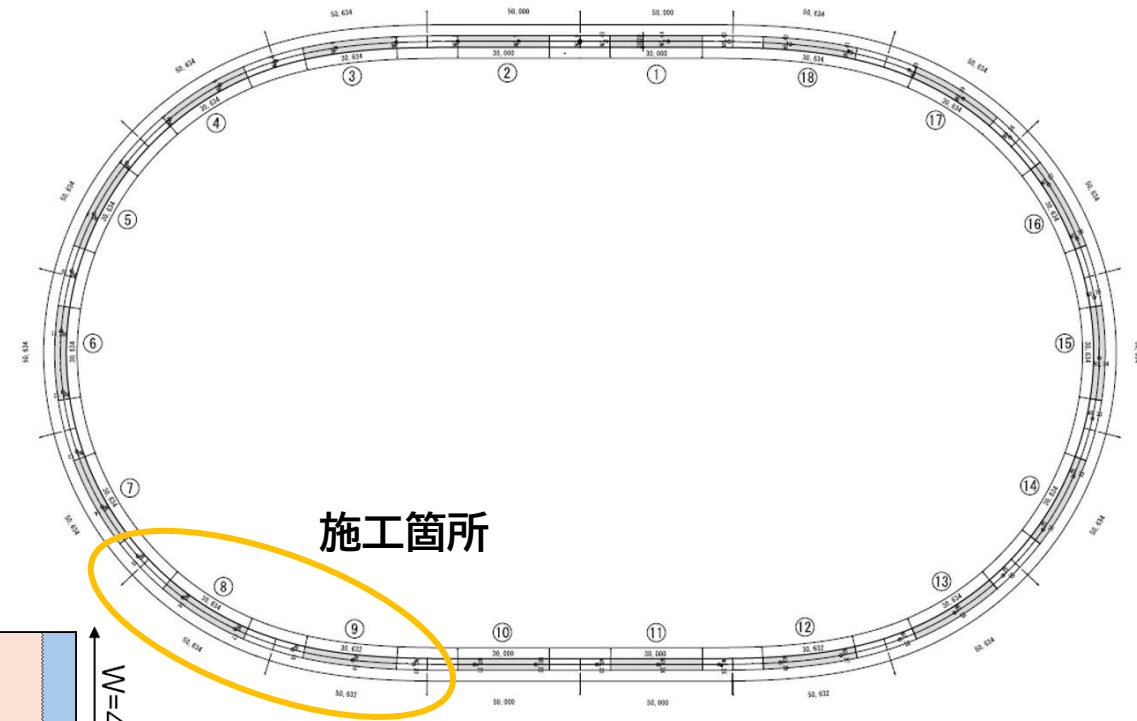
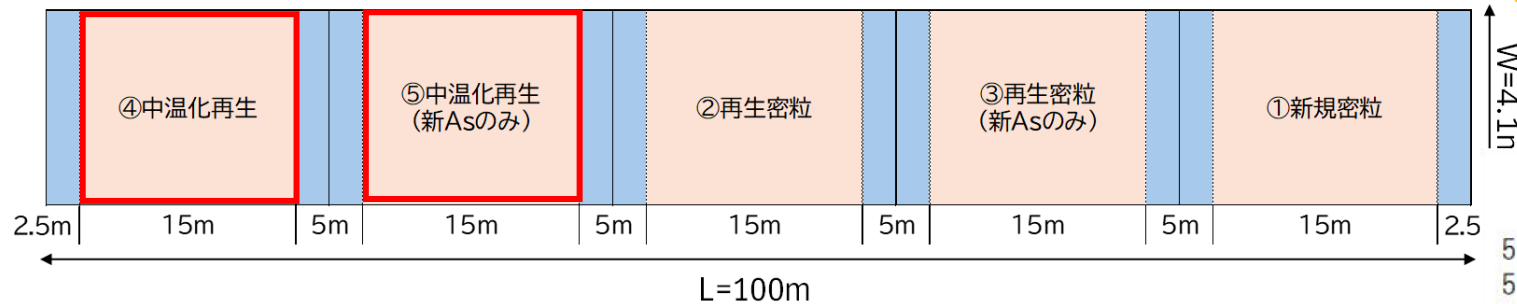
舗装評価路での試験施工状況

施工箇所: 大成ロテック(株)次世代技術実証センター
「舗装のテストコース」

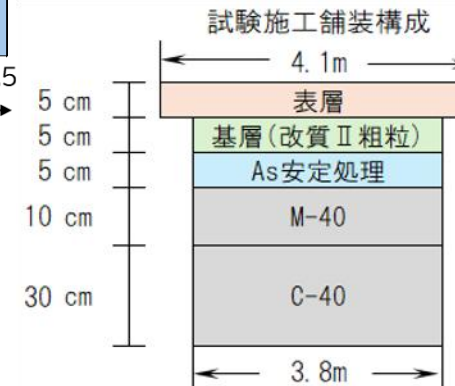
施工面積: 410m²(幅員4.1m×延長20m×5工区)

追跡調査評価区間

追跡調査非評価区間



施工箇所



舗装評価路での試験施工状況（2026/9施工）

通常再生・新規密粒

出荷目標：
160℃



敷均し: 150℃



初期転圧: 139℃



二次転圧: 106℃

再生中温化

出荷目標：
140℃



敷均し: 130℃



初期転圧: 123℃



二次転圧: 101℃

舗装評価路での試験施工状況（2026/9施工）

試験施工で得られた再生中温化混合物製造・施工の留意事項

通常の運転条件と異なる温度で混合物を製造するため、混合ムラ・温度ムラのない合材を出荷するためには、

- ・ 新規, 再生骨材の加熱温度を管理し, 所定の製造温度となるよう調整する
- ・ 捨てバッチにより混合物状況を確認し, 温度, Wetミキシング時間を調整する
- ・ 運搬時の保温に留意する
- ・ バーナー後段の結露による配管詰まり(バグフィルター等)が懸念される
- ・ 混合物配合については, 供用調査を経て留意事項を抽出する

敷均し: 130℃

初期転圧: 120℃

二次転圧: 101℃

まとめ

- 新規混合物のひび割れの起点は骨材からのアスファルト剥離が主要因と考えられ, 剥離抑制が対策となりうる
- 再生混合物のひび割れはモルタル内部もしくはその周囲で凝集破壊が主要な起点となると考えられる. このため旧アスと, 新アスおよび再生用添加剤の弾性率差を縮小すること, ならびに剥離抑制が対策となりうる
- 再生骨材のSPring-8解析画像から, 再生骨材の表面には骨材が露出していることが分かった
- 再生骨材表面の骨材に, 新規混合物と同様に, ストアスを直接接着させることで, 曲げ疲労試験破壊回数的大幅な増加を確認した
- 実大規模の舗装評価路において, 既往中温化技術に加え, 本研究で得られた知見を基に剥離抑制等を考慮し製造した中温化再生混合物を試験施工し, 製造・施工上の留意点を抽出した
- 試験施工箇所の供用調査を行い, 適用条件を含む再生中温化混合物に関する留意事項を「手引き」として取りまとめる

以上

