

耐水性強化に資する新技術の 空港滑走路への適用

出光興産（株）

関西エアポート（株）

（株）NIPPO 関西支店

○ 呉 悦樵

小野 祐資

片岡 翼

**出光興産株式会社
機能舗装材事業部**

目次

- ・ 背景とコンセプト
- ・ 空港での適用検討
- ・ 水の影響を考慮した室内評価法の検討
空港施工時の評価例

舗装損傷の新たな課題認識

舗装内部の「見えない」損傷へ理解が深化

空港滑走路

舗装内部が剥離により損傷し、表面にポットホールが発生
(港湾空港技研、河村ら、2014)

高速道路

舗装内部で起こる水による剥離により、舗装表面に向かってひび割れが成長し、早期損傷が発生 (NEXCO総研、高橋ら、2015)

一般国道

舗装内部で起こる水による剥離により、早期損傷が発生
(国総研、若林ら、2019)

舗装表面のわだち掘れ



ポットホール



舗装表面の「見える」損傷

舗装内部の水の滞留による損傷



高橋ら、高速道路におけるアスファルト舗装の「解体新書」プロジェクト、舗装工学論文集第20巻、土木学会 (2015)

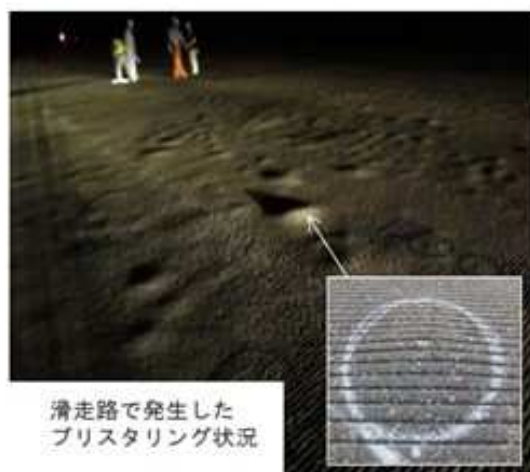
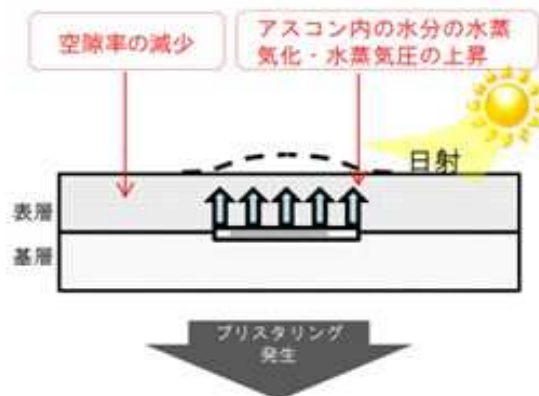
空港アスファルト舗装 損傷の要因

舗装破損事象のメカニズム

○ブリストリング

舗装下面に封じ込められた水分等が気化して膨張し舗装が膨れあがる現象

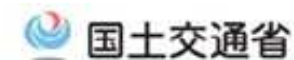
(参考文献:空港舗装補修要領)



○層間剥離

数層にわたって施工されるアスファルト混合物層間の付着が切れている現象

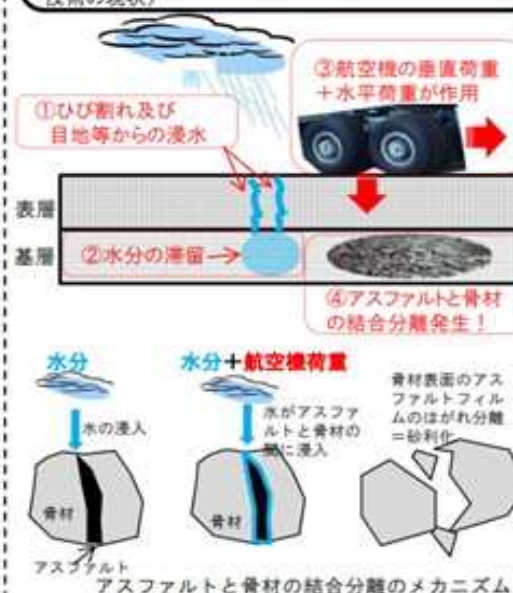
(参考文献:坪川「空港アスファルト舗装の層間剥離・ブリストリングについて」)



○アスファルトと骨材の結合分離

アスコン内に水分が滞留することにより、アスファルトと骨材が結合分離し、アスコンが砂利になる現象。

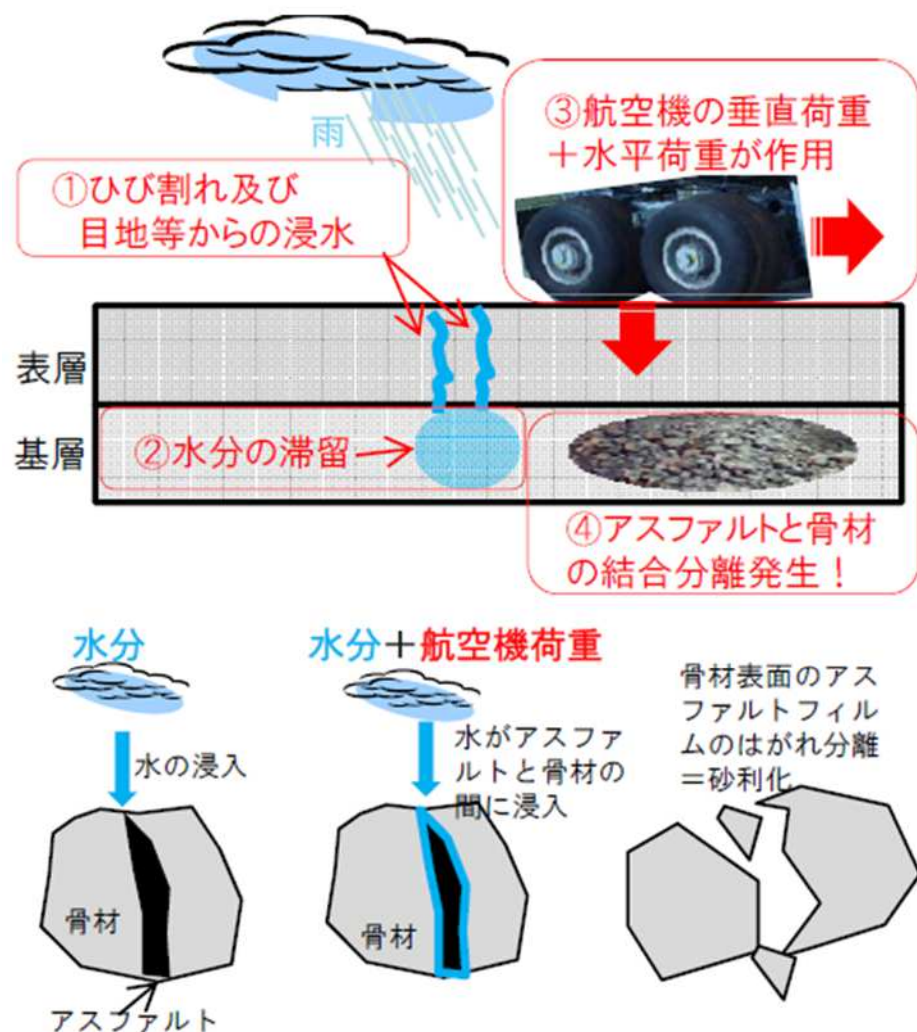
(参考文献:アスファルト舗装の変状と空港舗装点検技術の現状)



3

空港アスファルト舗装 損傷の要因

舗装内水分が滞留することにより、アスファルトと骨材が結合分離し、砂利のような現象
⇒**水と交通荷重が原因**



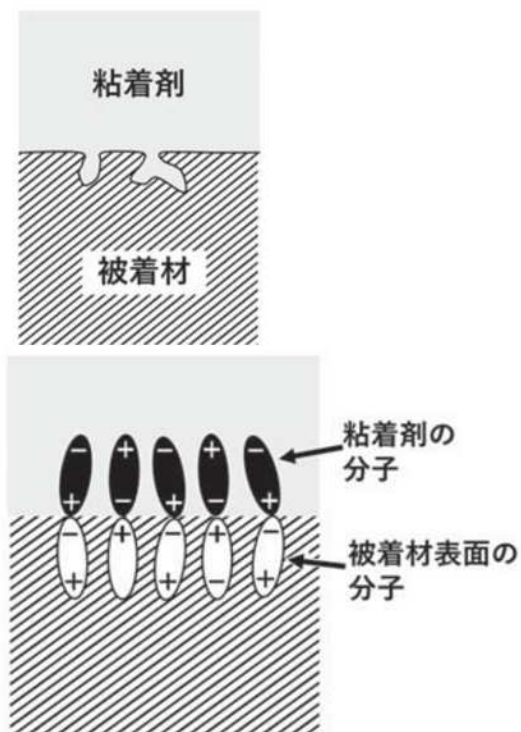
アスファルトと骨材が結合分離した滑走路



水（雨水や地下水）による剥離由来の破損事例

接着剤としてのアスファルト

接着の原理（界面）



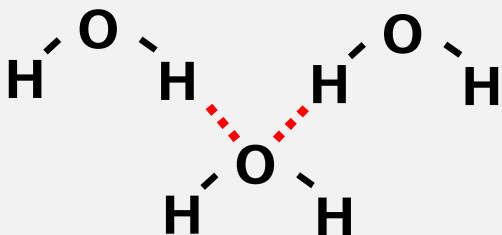
投錨効果（アンカーエフェクト）：
骨材表面の凹凸にアスファルトが入り込むことによる機械的な結合

分子間相互作用：
骨材とアスファルトの分子同士が化学的に引き合う

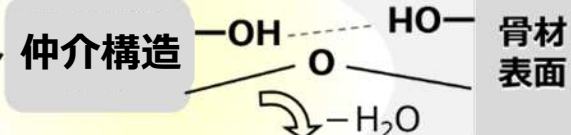
- ・ 分子間力（ファンデルワールス力）
- ・ 水素結合（分子間力の10~30倍の強さ）
- ・ **共有結合（分子間力の500倍の強さ）**

水素結合：

水素原子を仲立ちとして分子同士が引合う（ H_2O 等）



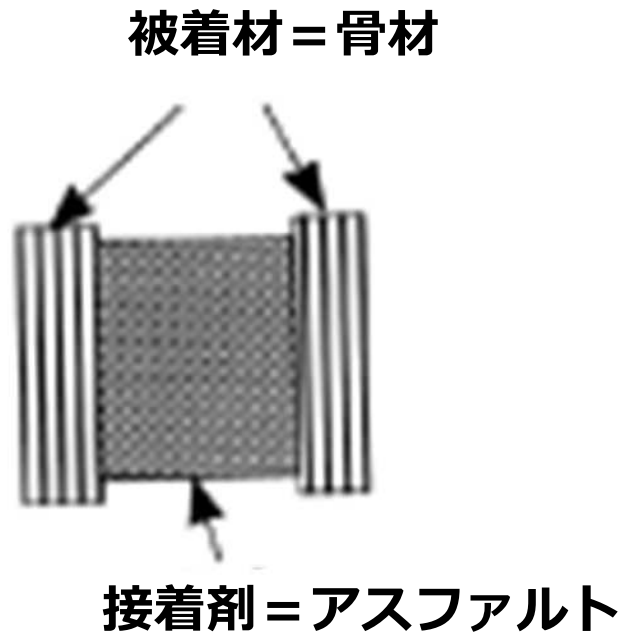
アスファルトと
均一に相溶する
石油樹脂



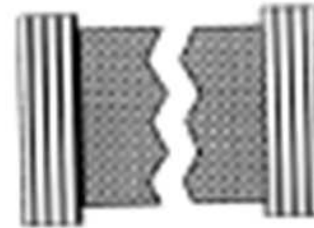
骨材表面と強固な共有結合を形成

接着剤としてのアスファルト

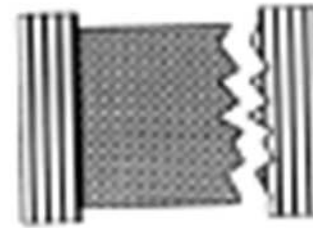
接着の破壊形態



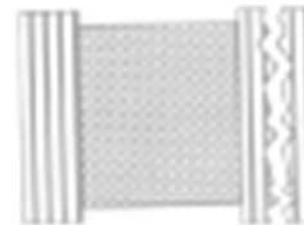
① 接着剤間での破壊 = **凝集破壊**



② 接着剤と被着材の破壊 = **界面破壊**



③ 被着材の破壊



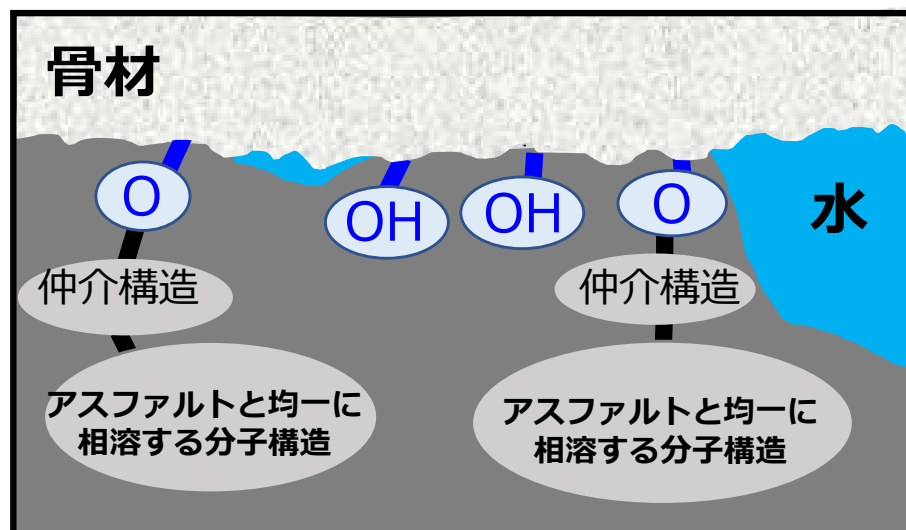
① **凝集破壊** : アスファルトの強度に依存

② **界面破壊** : アスファルトと骨材の接着強度に依存

Ref. 日本溶接協会

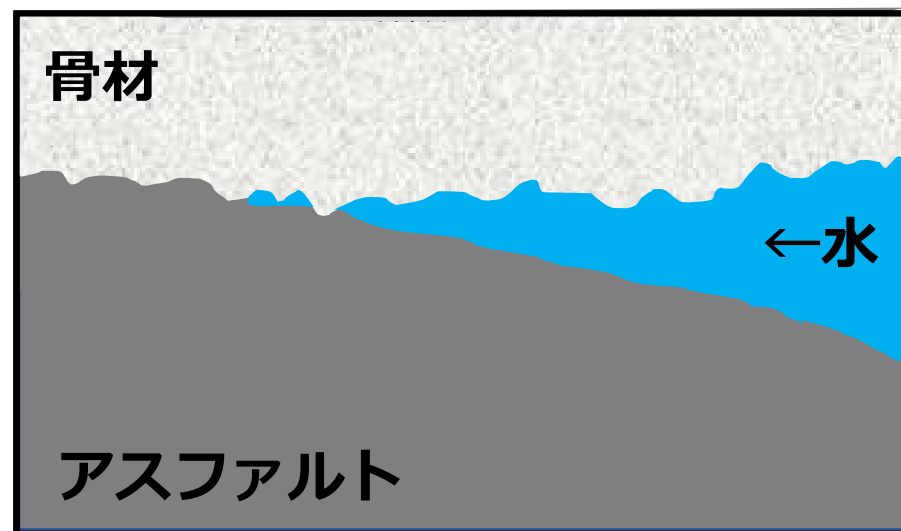
開発コンセプト

本技術：共有結合を形成



接着界面に“効く”新規化合物を合成し、**プレミックスバインダ**に適用

従来技術：アンカー効果・分子間引力のみ



水が侵入すると、骨材－水の結合の強さが勝るため、骨材－アスファルトは剥離していく

- 骨材－アスファルト間の接着力を強化
- 混合物中に水が侵入した際にも剥離を抑制する

道路舗装の寿命延長による工事回数、渋滞等の社会損失を削減

目次

- ・ 背景とコンセプト
- ・ 空港での適用検討
- ・ 水の影響を考慮した室内評価法の検討
空港施工時の評価例

大阪国際空港 B滑走路/W誘導路 試験施工

2023年7月

施工場所：滑走路と誘導路の交差部

供用環境：飛行機の**低速走行**を支える箇所

層の位置：基層 8 cm厚

混合物種：密粒度混合物(20) アス量5.3%

施工時間：夜間

施工設備：従前のアスファルト舗装と同様

温度条件：従前の改質II型と同様な転圧温度

**プレミックスタイプであり、プラントでの合材製造、
現場での敷き均し・転圧は全て従来改質と同様にできた
管理基準を満足した施工結果となった**

	基準密度(g/cm ³)	締固め度(%)	基層厚(mm)
コア1	2.366	98.7	80
コア2		99.1	82
コア3		99.9	81



試験施工1年後 追跡調査

2024年6月

試験施工エリア内において、
打音検査で異音の発生箇所を探知

調査内容：異音発生箇所での開削調査

調査結果：基層の強度も基準値（残留圧裂強度比
0.7以上）を満足したままであり、**健全であった**



	空隙率 (%)	コア厚(mm)	残留圧裂強度 比
コア1	2.9	80.6	1.0
コア2	3.2	80.0	0.9
コア3	3.0	80.1	0.8
コア4	2.6	80.2	1.1



大阪国際空港 A滑走路 試験施工

2024年7月

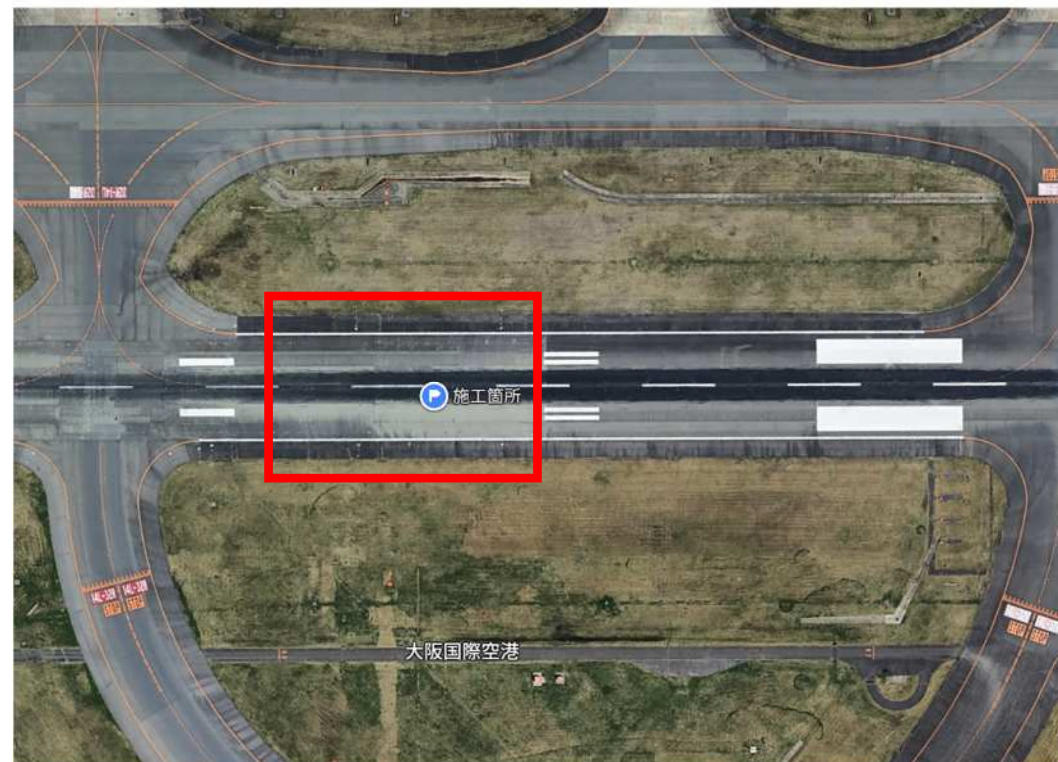
施工場所：滑走路

供用環境：離着陸を行う中心部

層の位置：基層 8 cm厚

適用面積：約1600 m²

混合物種：密粒度混合物(20)



室内配合試験データ

項目 工場	OAC (%)	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100 cm)	残留安定度 (%)	動的安定度 (回/mm)
プラントA	5.4	2.363	3.0	80.0	15.0	38	93.3	9000
プラントB	5.6	2.387	3.5	78.7	13.9	34	86.5	9000
基準値	—	—	3～6	65～80	8.8以上	15～40	75以上	3000以上

バインダ性状（抜粋）	値
針入度(1/10 mm)	41
軟化点(℃)	94.5
タフネス(N・m)	50.8
テナシティ(N・m)	40.4
伸度(cm)	100+

大阪国際空港 A滑走路 試験施工

2024年7月

施工場所：A滑走路

供用環境：離着陸を行う滑走路中心部

層の位置：基層 8 cm厚

適用面積：約1600 m²

混合物種：密粒度混合物(20)

施工時間：夜間

敷き均し・転圧は全て従来改質と同様にできた



合材ダンプ付着
なし



引きずり
なし



ヘアクラック、ローラー付着
なし



大阪国際空港 A滑走路 試験施工

2024年7月

施工場所：A滑走路

供用環境：離着陸を行う滑走路中心部

層の位置：基層 8 cm厚

適用面積：約1600 m²

混合物種：密粒度混合物(20)

施工時間：夜間

敷き均し・転圧は全て従来改質と同様にできた

管理基準を満足した施工結果となった

コア番号	締固め度(%)	基層厚(mm)
1	98.6	82
2	99.0	85
3	98.2	77
4	98.9	82
基準値	98以上	76以上



まとめ

2023年7月

飛行機の**低速走行**を支える、滑走路と誘導路の
交差部

基層8cm 密粒度混合物(20)

2024年6月の開削調査では健全であった
現在も損傷の報告なし（3年2か月）



2024年7月

離着陸を行う滑走路中心部

基層8cm 密粒度混合物(20)

適用面積：約1600 m²

**敷き均し・転圧は全て従来改質と同様にでき、
管理基準を満足した施工結果となった**

現在損傷の報告なし（2年2か月）



目次

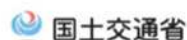
- ・ 背景とコンセプト
- ・ 空港での適用検討
- ・ 水の影響を考慮した室内評価法の検討
空港施工時の評価例

舗装の構造に関する技術基準の改定

社会資本整備審議会 道路分科会 道路技術小委員会 2025/8/26

https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s204_dourogijyutsu01.html

(3) 技術基準の改定方針



方針	基準改定での対応
① 舗装の性能の明確化	・道路構造の一部として自動車 ⁽¹⁾ を支持する観点と安全かつ円滑な交通を確保する観点から舗装の性能を規定 ・時代のニーズに即した新たな性能についても追加で設定可能に
② 設計と管理の整合	・舗装の性能を供用後に保持し続けるという観点から、施工直後ではなく供用中の舗装の性能を規定 ・供用中の舗装の性能を表す指標として、各性能について性能指標を設定
③ 舗装のライフサイクルを考慮した設計	・各性能について、回復すべき状態(性能回復推奨状態)を設定し、設計時にその状態に至るまでの耐久性(性能保持想定期間)を評価 ・優れた新技術 ⁽²⁾ を設計で評価し速やかかつ適切な現場実装を促進する観点から、性能保持想定期間について、実大の舗装だけでなく、室内試験に基づく評価も可能なように考え方を規定
④ 長寿命化、低炭素材料・工法によるCO ₂ 削減	・ライフサイクルを通じたCO ₂ の評価が可能な枠組みを構築(技術基準では、設計時にライフサイクルコストと併せて評価できる考え方を提示) ・低炭素な材料(中温化技術など)や工法について、設計時や施工時に積極的に検討することを規定
⑤ 再生材料の適切なリサイクルの促進	・アスファルト・コンクリート塊等の建設副産物の適正かつ積極的な再資源化の推進に努めることを「構造の原則」として規定 ・建設副産物の使用等について、設計時に積極的な検討することを規定

(4) 技術基準の改定方針 ① 舗装の性能の明確化



(A) 舗装を支える基盤と一体となって自動車の輪荷重を安定して支持する機能

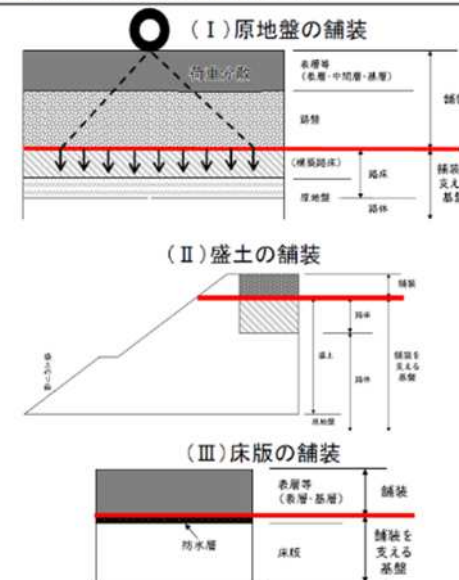
- 舗装は単独で交通荷重を支持するのではなく、必ず基盤と一体となって支持する構造となっている。
- そのため、舗装も含めた道路構造全体の性能や、基盤の性能も踏まえ舗装の性能を定める。

道路構造全体(舗装+基盤)の性能

- ① 自動車の輪荷重を支持する性能
→ 荷重支持性能
- ② ①の前提として、水に強い性能
→ 耐水性能

舗装単体の性能

- ①の性能を発揮するために定める性能
・基盤が十分な荷重支持性能を有さない場合は、舗装が荷重を分散させる性能が必要→(Ⅰ)(Ⅱ)
⇒ 荷重分散性能
- ②の性能を発揮するために定める性能
・舗装自身が水に強いことが必要(路盤等の舗装内部に水を入れない等)→(Ⅰ)(Ⅱ)(Ⅲ)
⇒ (舗装自身の)耐水性能
・基盤が十分な耐水性能を有さない場合は、雨水等を舗装で防ぐ(基盤まで水を入れない)必要→(Ⅰ)(Ⅱ)
⇒ 防水性能



優れた新技術の設計で評価し速やかかつ適切な現場実装を促進する観点から、性能保持想定期間について、実大の舗装だけでなく、**室内試験に基づく評価も可能なように考え方を規定**

舗装の耐久性に関する評価方法

WT :

水が介在せず、気中で表面の塑性変形量のみを測定し、混合物の耐流動性を評価

水浸WT :

塑性変形量を検出しない

冠水式WT :

水浸WTより厳しいが、塑性変形量を検出しない

EN 12697-22（ヨーロッパ、トラバースしない冠水式WT） :

破壊過程を追跡可能。しかし、改質アス混合物には十分な損傷を与えられない

AASHTO T324（アメリカ） :

破壊過程を追跡可能であり、III型以上にも十分な損傷を与えられる。

しかし、供試体規格が一般的ではない。（旋回締固め供試体＆精密なカッティング）

- ・ 破壊過程を追跡し、実在する損傷を再現できる試験法
- ・ 有意な優劣比較ができる試験法

既存評価法の例 冠水式WT

首都高試験法便覧

試験水温	60℃
養生時間（水中）	12時間
走行往復数	18900
走行速度	21往復/分
走行時間	15時間
トラバース速度	10 cm/分



改質II型A (0%)



改質II型B (1.0%)



改質II型C (2.0%)

DS

6300

7000

7000

剥離率

58.2%

17.7%

13.3%

耐久性に明確な差が確認できたが、損傷の過程を追跡したい

新たな耐久性評価法の考え方

EN 12697-22



✓一般的なWT供試体
✓破壊過程を追跡可能

✗試験条件が緩やか

それぞれの長所を融合

- ・試験過程の追跡
- ・十分な損傷
- ・有意な優劣比較

冠水式WT



✓養生条件が厳しい

✗破壊過程を追跡しない

AASHTO T324



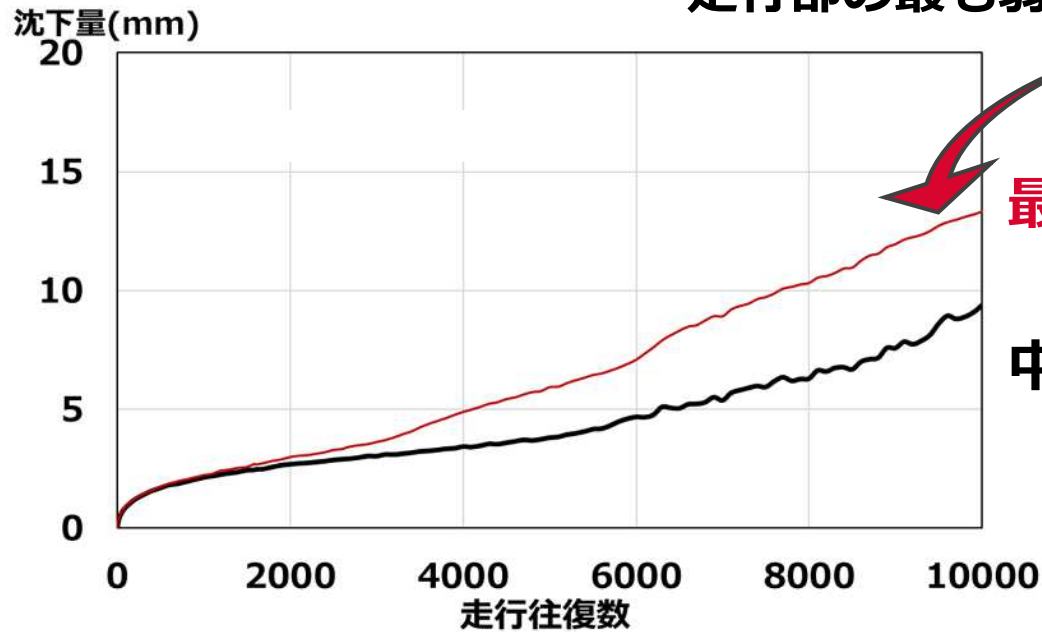
✓走行条件が厳しい

✗改質II型を有効評価できない

✗供試体規格が一般的でない

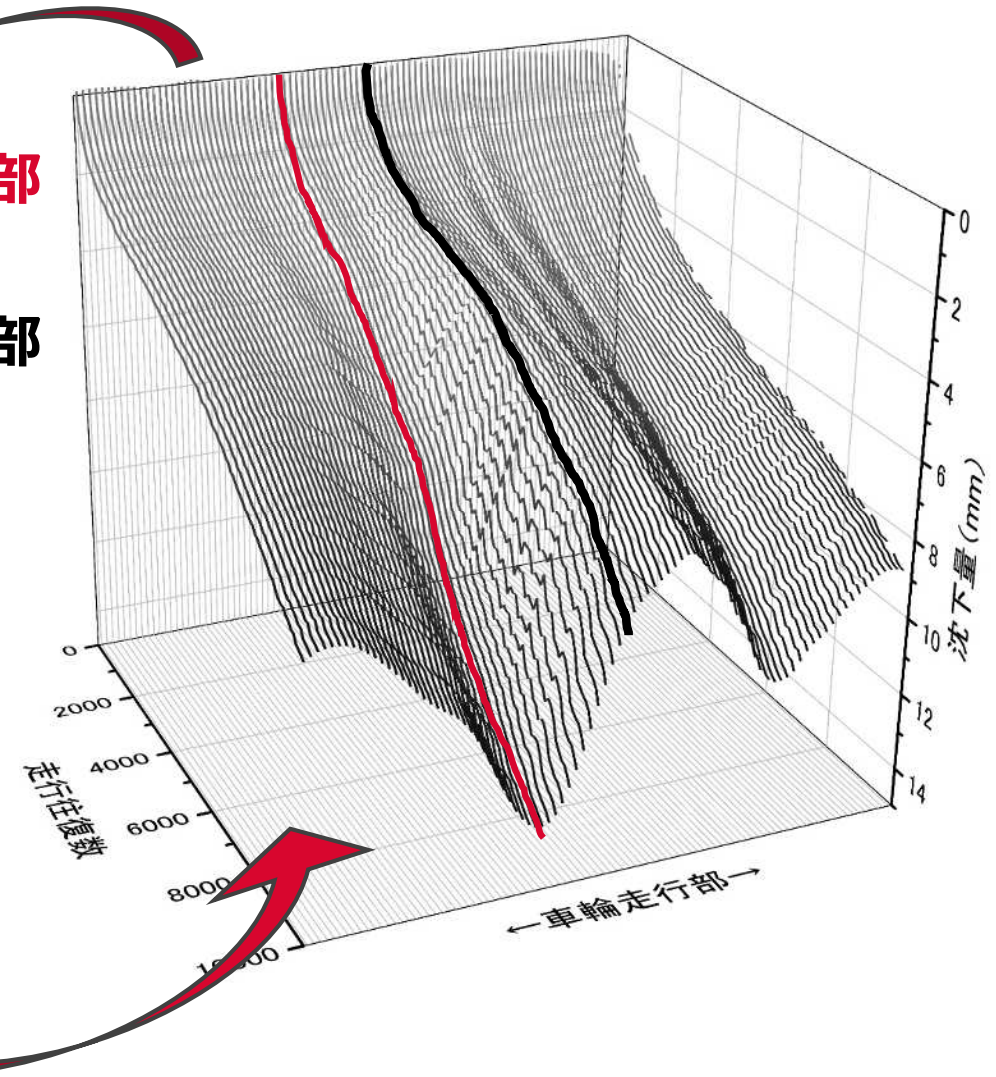
新たな耐久性評価法の考え方

走行部の最も弱い箇所を発見



最深部

中央部



車輪走行

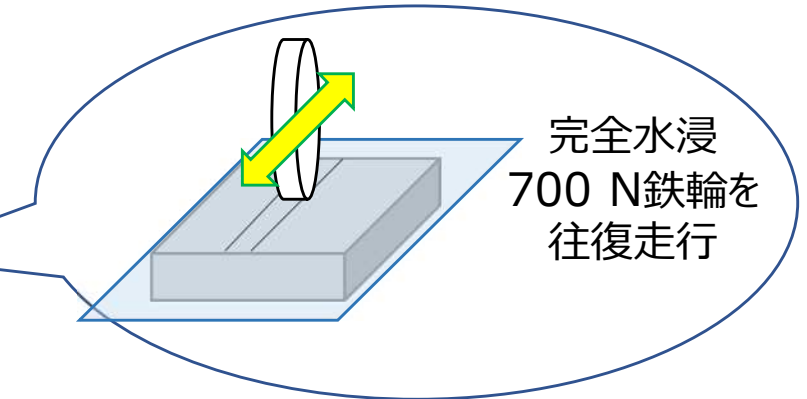
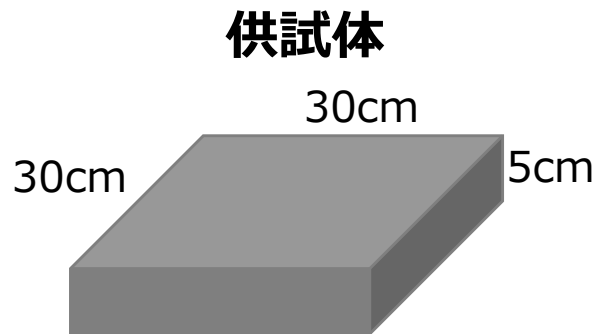


走行部全体の沈下過程を追跡し、データ記録する

新たな耐久性評価法の考え方

耐水性評価試験（Double Wheel Tracker試験機を用いた評価）

ヨーロッパ試験法EN12697-22/米国試験法AASHTO T324を基に調整

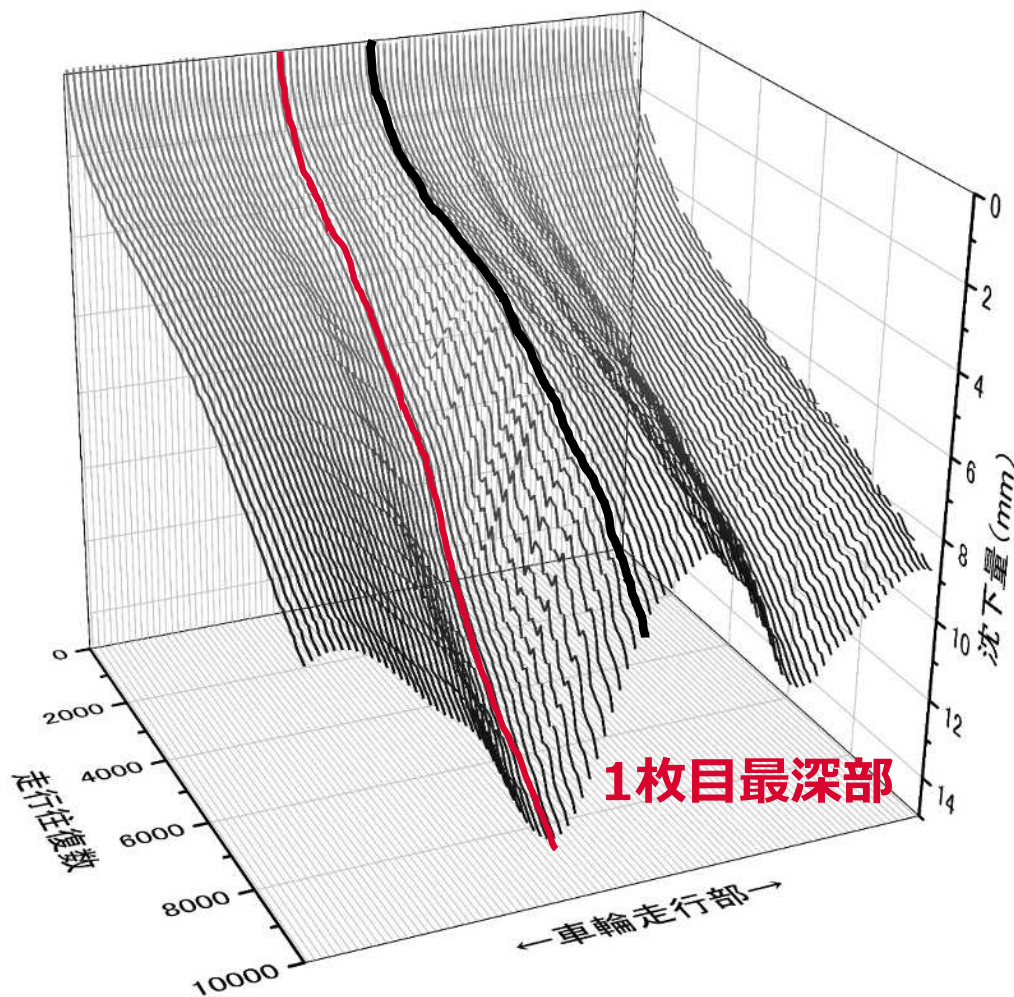


車輪	スチール輪
荷重	700 N
養生時間（水中）	12 h
水温	50℃（海外規格そのまま）/60℃（日本WT試験）
供試体サイズ	300×300×50 mm
評価	リニアゲージで沈下量をフル記録

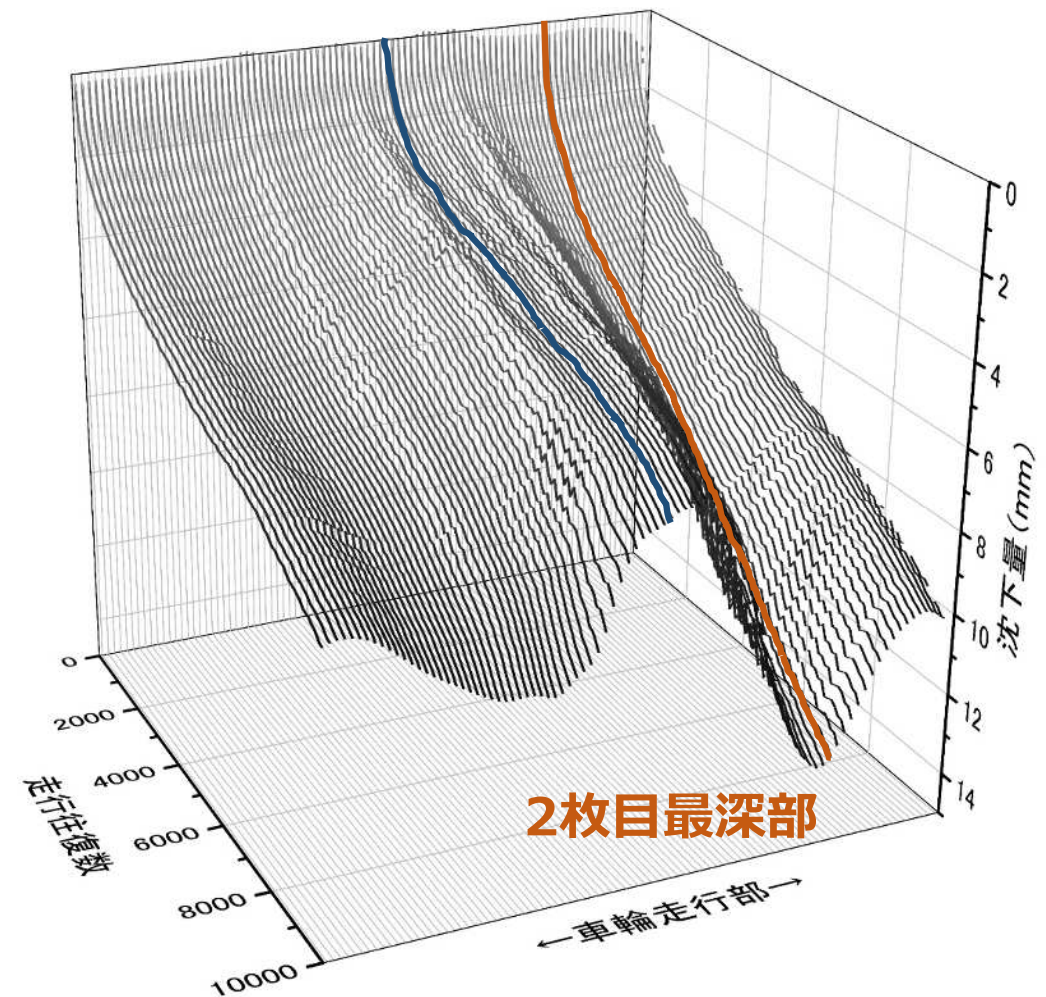
評価例 バラツキの捉え方

改質II型 密粒度混合物(13) 水温50℃ N=2

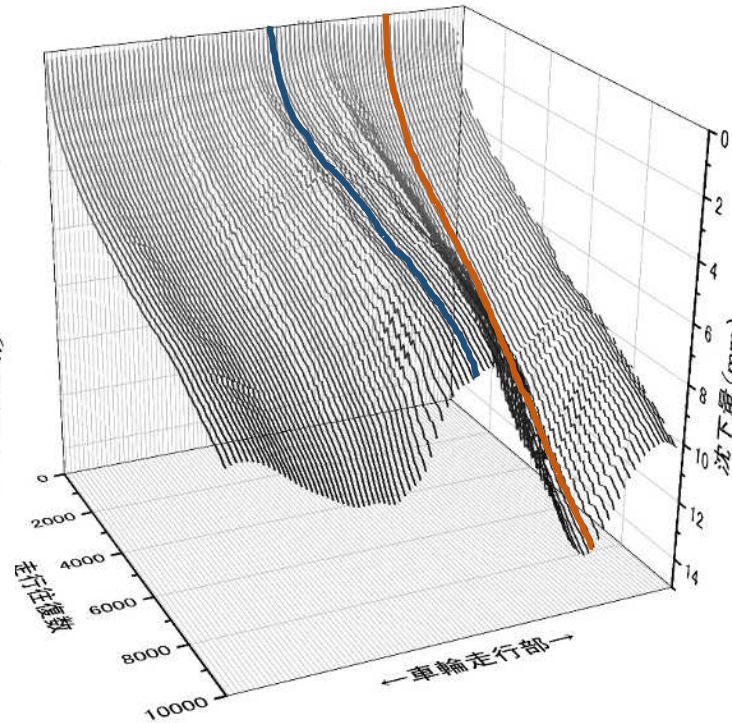
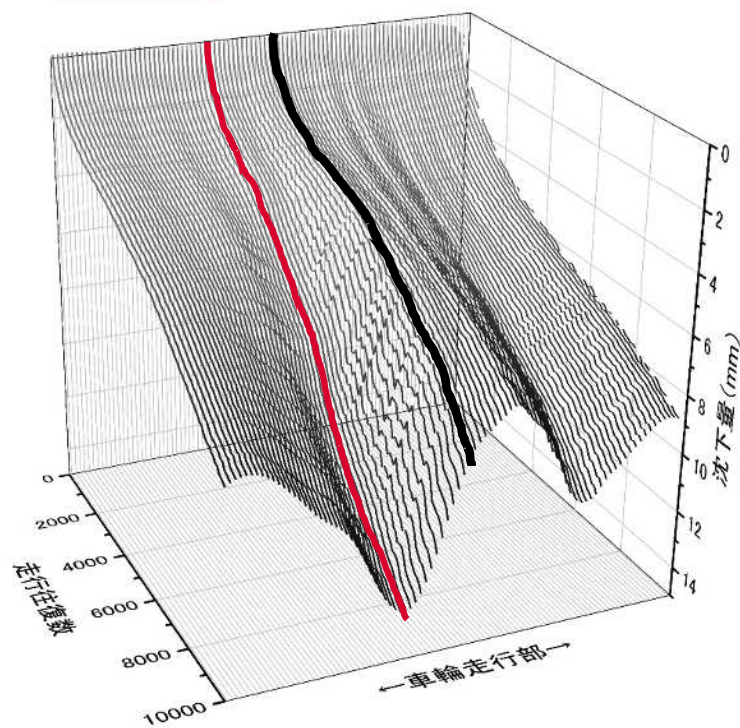
1枚目中央部



2枚目中央部

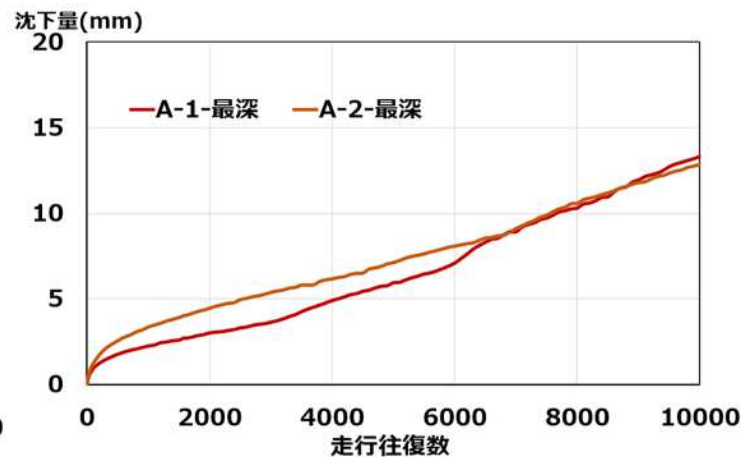
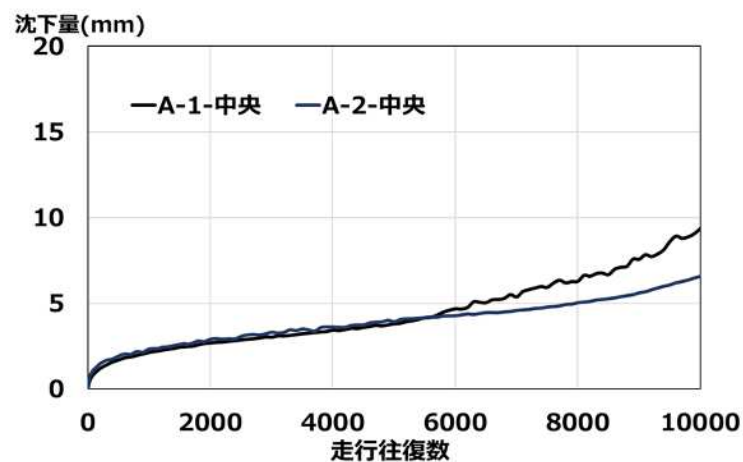


評価例 バラツキの捉え方



・最も損傷が起きる場所は中央部とは限らず、最深部の位置が一定ではない

・**最深部を発見**し、追跡評価することで、走行部の粗骨材の分布などによるバラツキを抑えられる



評価例 バラツキの捉え方

前述バインダ3種 密粒度混合物(13) 50℃ N=4

	バインダ	最終沈下量 (mm)	平均 (mm)	変動係数 (%)
中央部	改質II型A	3.68	4.11	13.8
		4.94		
		4.33		
		3.50		
	改質II型B	4.59	4.44	8.7
		4.73		
		3.78		
		4.67		
	改質II型C	4.00	3.91	12.5
		4.62		
		3.77		
		3.26		

	バインダ	最終沈下量 (mm)	平均 (mm)	変動係数 (%)
最深部	改質II型A	8.64	8.12	4.1
		8.05		
		7.73		
		8.05		
	改質II型B	7.00	6.89	5.9
		6.80		
		6.32		
		7.45		
	改質II型C	5.37	5.53	5.4
		5.12		
		5.90		
		5.72		

最終沈下量の最も大きい走行箇所を追跡評価することで試験精度を向上できる

目次

- ・ 背景とコンセプト
- ・ 空港での適用検討
- ・ 水の影響を考慮した室内評価法の検討
空港施工時の評価例

評価例 大阪国際空港B滑走路の混合物 2023年

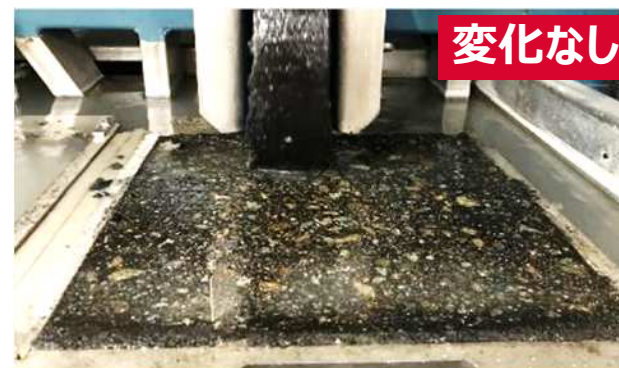
従来品

本技術

7000往復後



11000往復後



13000往復後



評価例 大阪国際空港B滑走路の混合物 2023年



従来改質II型

A-A断面



B-B断面



剥離面積率：44%程度

剥離、砂流出、上部の破壊を確認

本技術

A-A断面



B-B断面

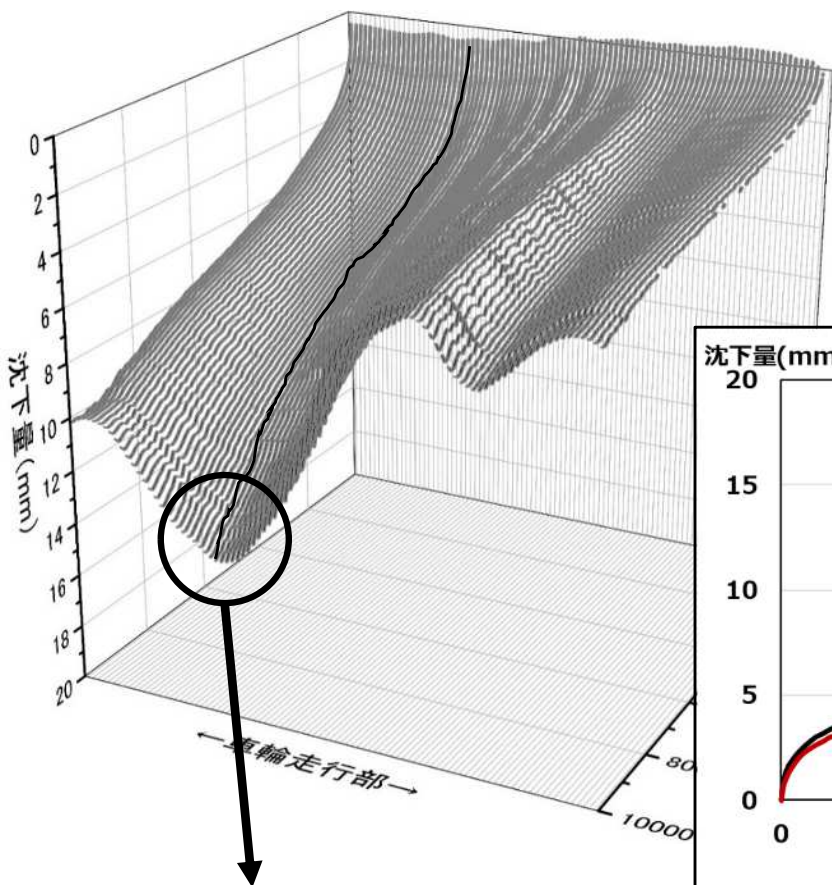


剥離面積率：3%程度

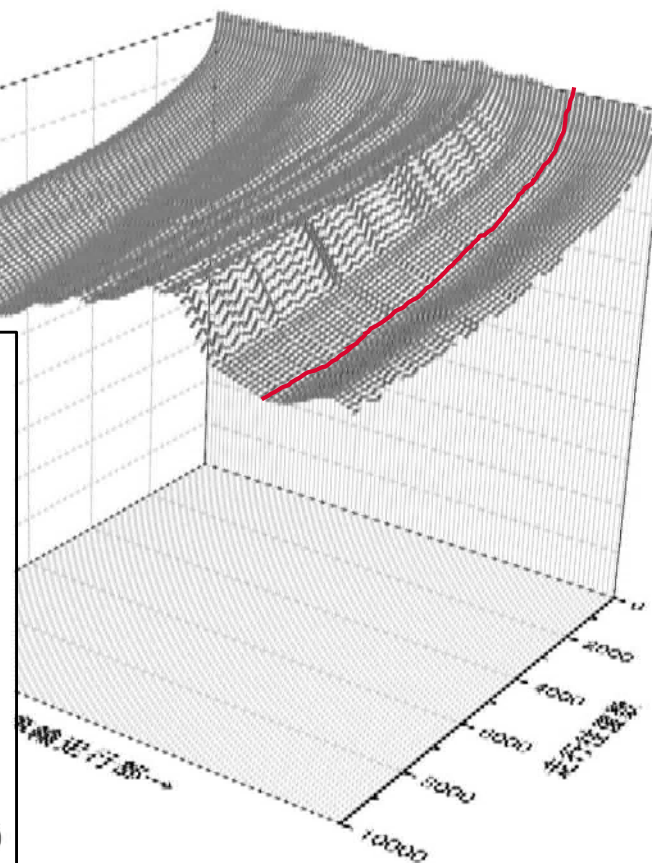
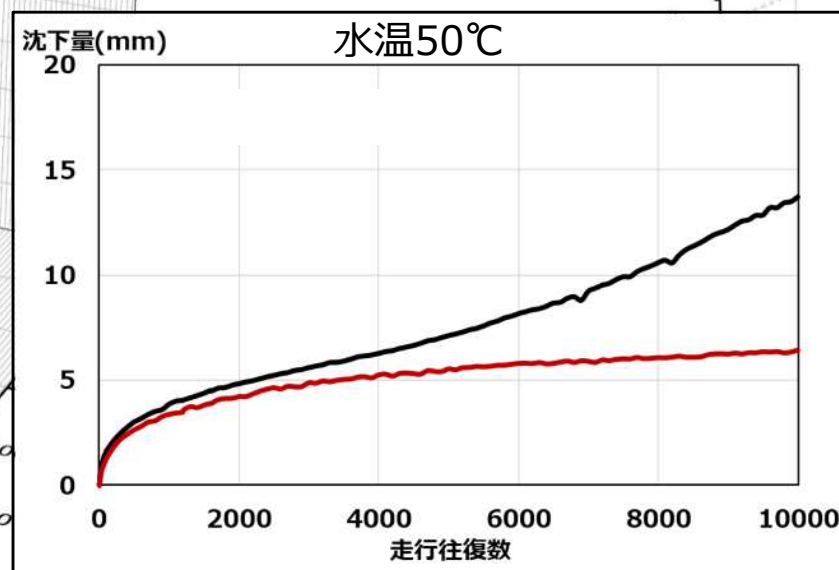
供試体の変形や剥離は少ない

評価例 大阪国際空港B滑走路の混合物 2023年

従来改質II型



- ・試験過程の追跡
- ・十分な損傷
- ・有意な優劣比較



剥離変曲点あり、耐久性が不十分
※グラフと供試体の実態がリンクしている



剥離変曲点なし

評価例 大阪国際空港A滑走路の混合物 2024年

密粒度混合物(20)

碎石：兵庫県産 安山岩

砂：長崎県産 海砂

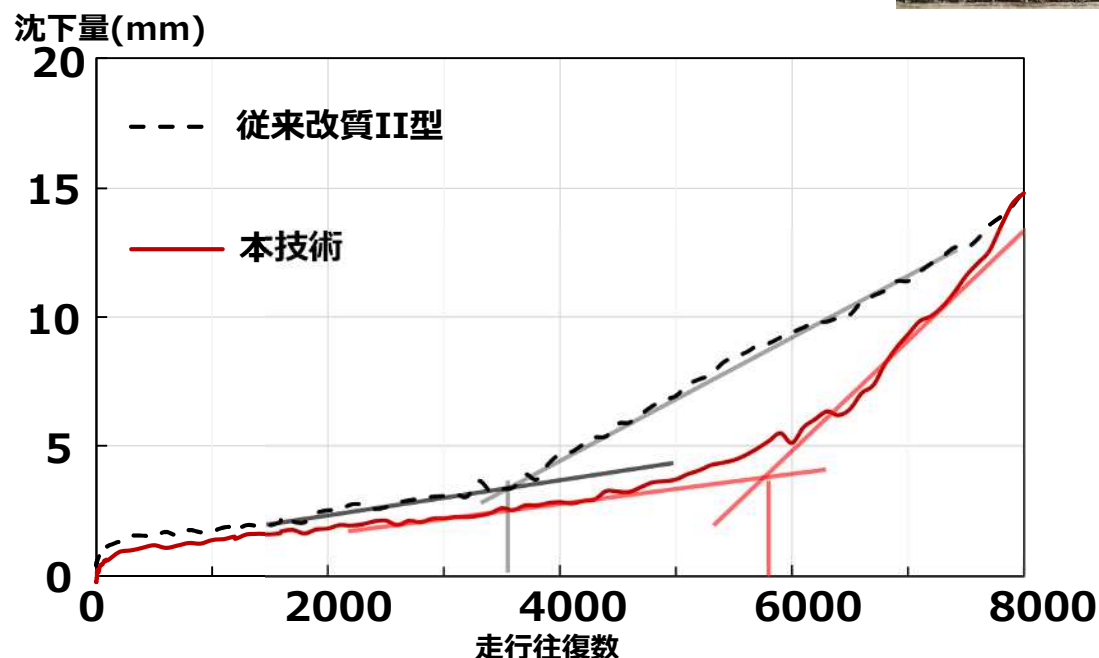
アス量：5.4%

水温：60℃

従来改質II型



本技術



剥離変曲点（剥離による損傷が顕著になり、急激に沈下が激しくなる段階）の出現：

従来改質II型：約3600往復後

本技術：約5600往復後

剥離による顕著な損傷まで
約1.6倍の走行回数

評価例 大阪国際空港A滑走路の混合物 2024年

密粒度混合物(20)

碎石：大阪府産 硬質砂岩

砂：福岡県産 海砂

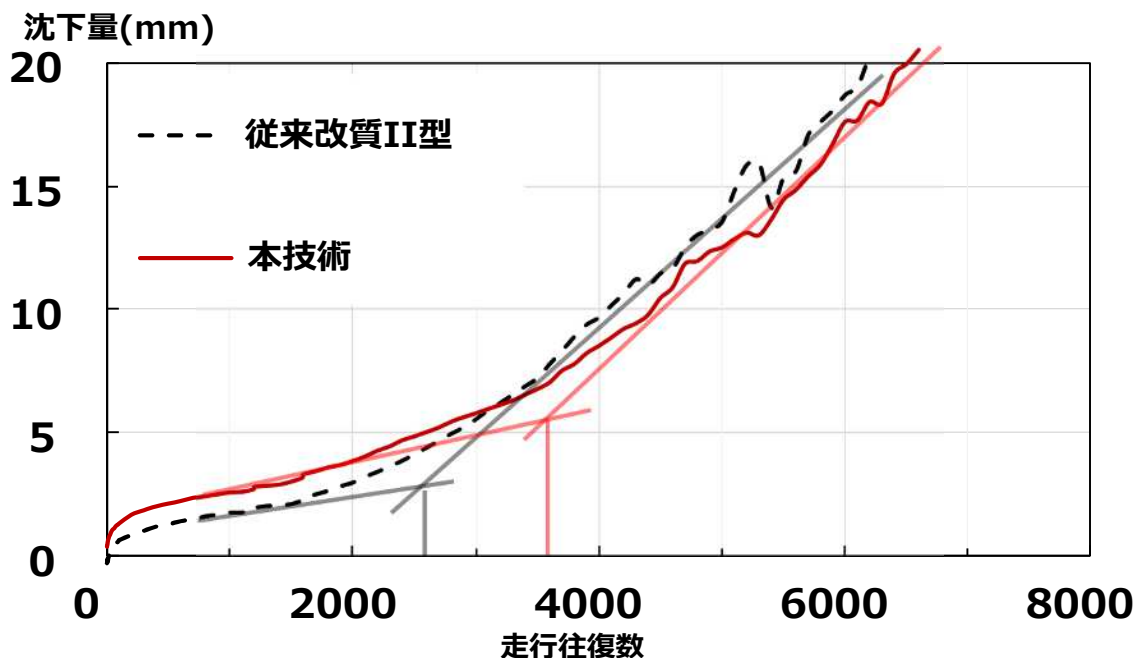
アス量：5.6%

水温：60℃

従来改質II型



本技術



剥離変曲点（剥離による損傷が顕著になり、急激に沈下が激しくなる段階）の出現：

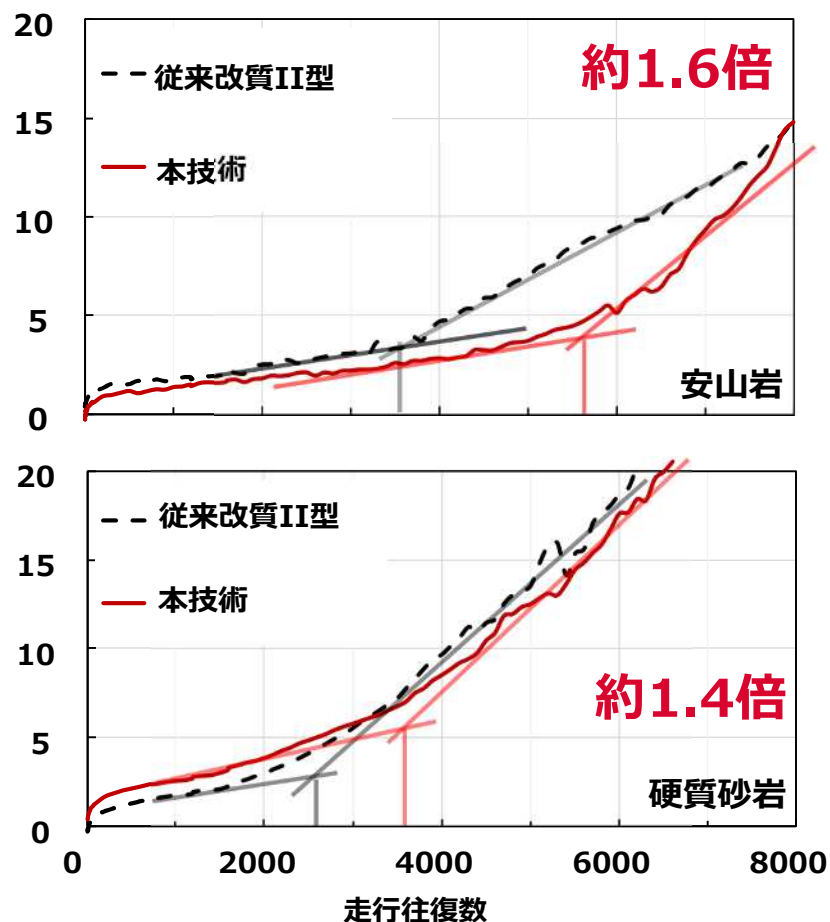
従来改質II型：約2600往復後

本技術：約3600往復後

剥離による顕著な損傷まで、
約1.4倍の走行回数

ライフサイクルコスト低減効果

沈下量(mm)



コスト

■ 従来改質II型
■ 本技術

約29%削減

補修サイクル

耐久性1.5倍 ⇔ 工事コスト1.07倍の例
※国土技術政策総合研究所データを基に試算

室内試験では従来改質II型の約1.5倍の耐久性
改質II型比約1.07倍の工事費用（弊社試算）でライフサイクルコストの低減に貢献

まとめ

2023年7月

飛行機の**低速走行**を支える、滑走路と誘導路の交差部

基層8cm 密粒度混合物(20)

2024年6月の開削調査では健全であった
現在も損傷の報告なし（3年2か月）



2024年7月

離着陸を行う滑走路中心部

基層8cm 密粒度混合物(20)

適用面積：約1600 m²

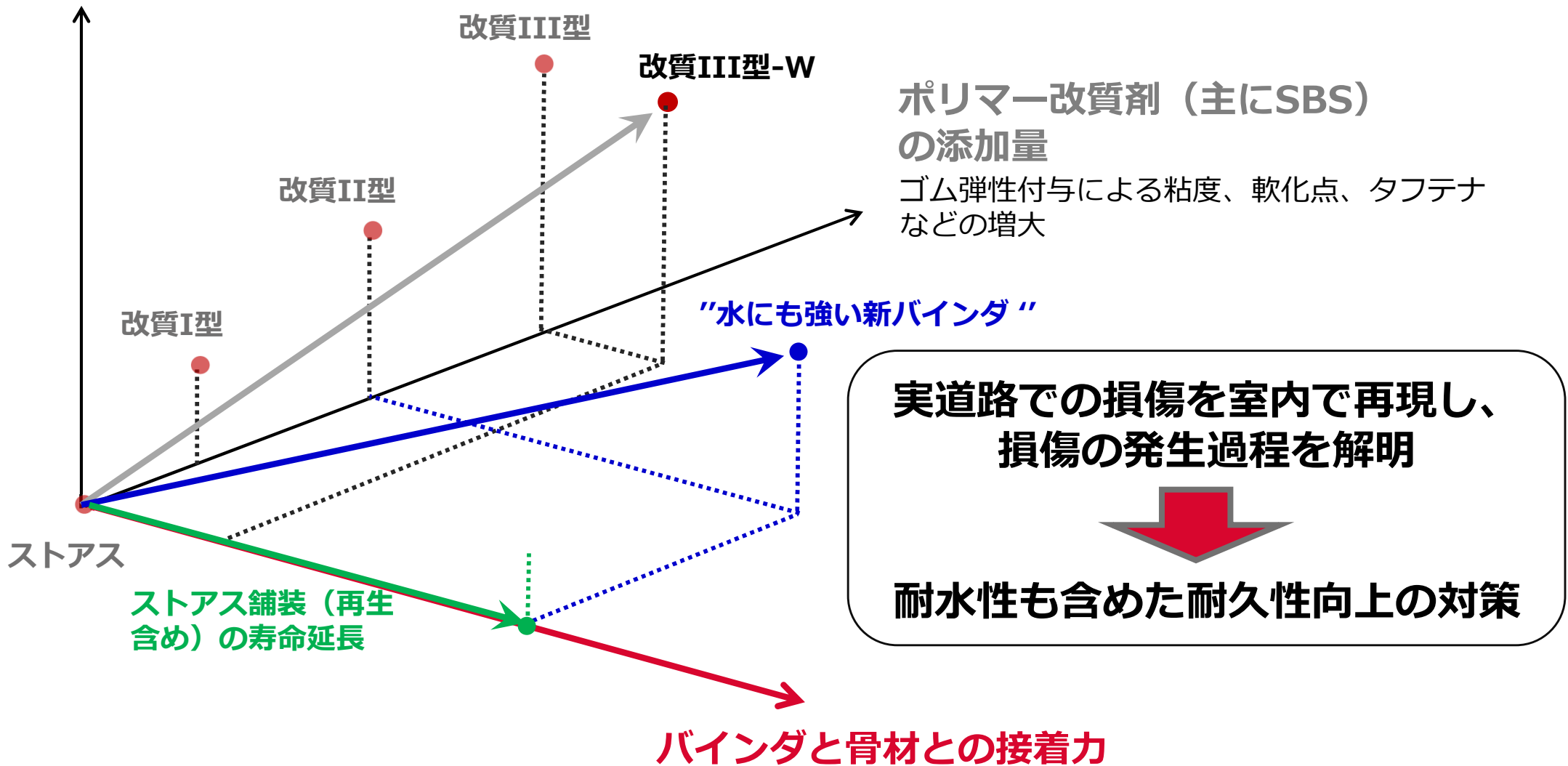
**敷き均し・転圧は全て従来改質と同様にでき、
管理基準を満足した施工結果となった**

現在損傷の報告なし（2年2か月）



まとめ

塑性変形への耐性



まとめ

耐水性強化に資する新たなプレミックスバインダ

- ① **剛性： わだち掘れしにくい**
 - ポリマーの添加によって達成
- ② **施工性： 道路工事の際にムラなく、平坦にしやすい**
 - 剛性との両立が困難だが、独自技術で改質II型と同等レベルを達成
- ③ **骨材との接着性： 水によるバインダ剥離が起こりにくい**
 - アスファルトバインダは、石・砂同士を接着させ、固定する役割を担う
 - 土木および化学的に先進的な独自技術で達成