

積雪寒冷地における舗装の耐久性向上及び補修に関する研究 研究成果報告会のご案内

主催：新都市社会技術融合創造研究会「積雪寒冷地における舗装の耐久性向上及び補修に関する研究」
プロジェクト(プロジェクトリーダー：京都大学経営管理大学院 院長 小林潔司)

日時：平成 22 年 6 月 18 日(金)13:30～16:30

会場：大阪合同庁舎 第 1 号館第 1 別館 2 階 大会議室
〒540-8586 大阪市中央区大手町 1-5-44

定員：150 名

参加費：無料

プログラム：13:30～13:35 開会の挨拶 (研究会委員長 京都大学理事 副学長 大西有三)
13:35～13:50 研究概要報告 (京都大学経営管理大学院 院長 小林潔司)
13:50～14:05 豊岡河川国道における道路維持管理の現状と課題
(近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 副所長 迫俊郎)
14:05～14:20 局所的な破損(ポットホール)発生メカニズム (立命館大学 非常勤講師 鍋島益弘)
14:20～15:00 ポットホール補修箇所の耐久性分析と補修材料の室内物理性状評価
(大阪大学大学院 特任講師 貝戸清之, 京都大学 藤原栄吾)
15:00～15:10 (休憩)
15:10～15:30 積雪寒冷地に適した舗装材料, 補修工法の検討 (京都大学 藤原栄吾)
15:30～15:50 舗装健全度の劣化速度の異質性評価と検証 (元 京都大学 森悠)
15:50～16:10 研究成果総括 (京都大学経営管理大学院 院長 小林潔司)
16:10～16:25 質疑応答
16:25～16:30 閉会の挨拶 (研究会副委員長 近畿地方整備局 道路部長 宮地淳夫)

※プログラムの内容は一部変更する場合がございます。当日の資料配付は行いませんので、下記 URL よりダウンロードのうえ資料をご持参下さい。(資料は順次掲載いたします)

<http://psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp/lab/index.php/ja/thesis/asset/128-2010-03-24-03-13-38>

申込方法：参加ご希望の方は、申込代表者、参加者氏名(フリガナ)、所属、E-mail を明記のうえ 下記の E-mail アドレスへお申込み下さい。奮ってご参加下さいますようお願い申し上げます。
(申込書ファイルは上記 URL からダウンロードできます)

申込先：京都大学大学院工学研究科 藤原 E-mail: [fujiiwara.e\[at\]hy7.ecs.kyoto-u.ac.jp](mailto:fujiiwara.e[at]hy7.ecs.kyoto-u.ac.jp) ([at]を@に変換して下さい)

申込期限：平成 22 年 6 月 11 日(金)17:00 (定員になり次第、締め切らせていただきます)

案内地図



地下鉄谷町線天満橋駅 3 番出口より徒歩 2 分
(合同庁舎第 1 号館横をまわり第 1 別館 2 階へお越し下さい)

豊岡河川国道事務所における 道路維持管理の現状と課題

豊岡河川国道事務所副所長
迫 俊郎

直轄管理区間

国道9号【第一次緊急輸送路】

京都府京都市を起点とし、山口県下関市に至る延長約651kmの主要幹線道路であり、第一次緊急輸送路に指定されています。



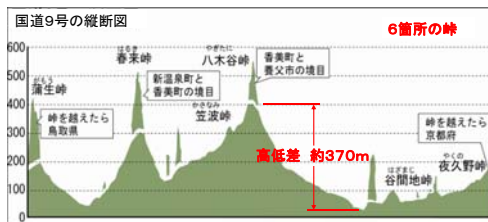
国道483号【北近畿豊岡自動車道】

兵庫県豊岡市を起点とし丹波市に至る延長約70kmの高規格道路であり、兵庫県北部の但馬地域と丹波地域を直結し、さらには京阪神都市圏との連結を強化し、地域の活性化を支援する自動車専用道路です。

国道9号の特徴

国道9号の特徴

- 山間部(6箇所の峠)・・・連続するUP・DOWN、カーブが続き、管理が非常に困難な区間を要している。
- 降雨、降雪が多い・・・路面が湿潤している事が多い
- 大型車混入率が高い・・・38.6% (12時間大型車混入率)
※H17センサス 難尾地区



国道9号の現状(その1)

市街地から山間部まで幅広い地形を要しており、特に山間部では周辺にハチ北、神鍋などいくつかのスキー場が整備されるなど、積雪の多い地域であり、冬期は積雪や凍結など、管理が非常に困難な区間を有している。

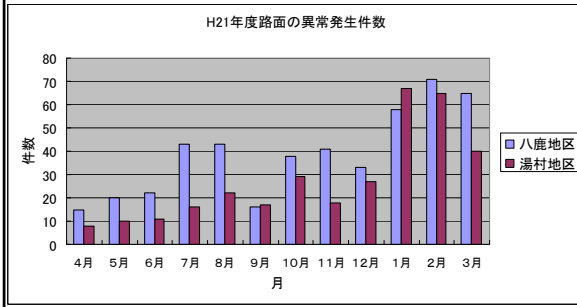
凍雪害対策

凍雪害によるスリップ事故



国道9号の現状(その2)

舗装の劣化によるクラック・辙ぼれにより、ポットホールの発生や近接家屋への水跳ねが問題である。路面の異常(常温混材を用いた軽微な補修も含む)は年間800件、特に冬期間に集中して発生しており、湧水設備による散水等により補修してもすぐに飛んでいるのが現状である。



国道9号の現状(その3)

路面異常のほか、落下物、動物処理などは通年対応してる。



H21年度発生件数

	路面の異常	落下物	緊急対応	苦情		動物処理
				騒音・振動	その他	
八鹿地区	465	280	32	15	18	108
湯村地区	330	287	9	6	14	41
合計	795	567	41	21	32	149

国道9号の現状

クラック発生状況

亀甲状のクラック発生





ポットホール発生
轍ぼれ H=70mm

国道9号の現状

ポットホール発生状況

ポットホール発生





国道483号の特徴

国道483号の特徴

自動車専用道路...
兵庫県北部の但馬地域と丹波地域を直結する高規格道路であり、巡視巡回(パトロール)等の日常管理が非常に重要な道路である。

連結する路線: 播但連絡有料道路・遠阪トンネル有料道路・舞鶴若狭自動車道


交通事故対応...
高規格道路であるため、交通事故が起こると重大事故となる場合が多く、通行止めを伴う交通規制を行い、事後処理・損傷復旧等の対応を迅速に行っていく必要がある。

雪害対策...
遠阪地区を始め、積雪量の多い地域を通る路線であり、また高規格道路でもあるため、除雪作業等の雪害対策が重要である。除雪作業に合わせてタイヤチェーン指導も行っている。

国道483号の現状(その1)

日常の巡視・巡回を1日5回行い、落下物や路面の異常等の早期発見に努めている。また、重大事故となることが多い交通事故の事後処理に早急に対応できるよう努めている。

巡視・巡回(パトロール)



交通事故対応






国道483号の現状(その2)

遠阪地区等は積雪の多い地域であり、除雪作業・凍結防止剤散布に加えタイヤチェーン指導等を行っている。また、PAやトンネル抗口付近で地熱融雪施設も設置している。

車道除雪



タイヤチェーン指導



凍結防止剤散布



地熱融雪施設



今後の課題

ポットホールなど、舗装の異常については、巡視などで発見し対応しているが、巡視・巡回の頻度が減ることにより対応が遅れ、結果、安全性・安心の確保できず事故につながってはならない。

路面状況	→	轍ぼれ、クラックの程度
周辺地域特性の把握	→	市街地、山間部
過年度の補修履歴	→	補修サイクル、補修内容

↓

- ・舗装が悪くなる原因と地域特性を考慮し、
- ・状況に適した補修工法を選定し、
- ・目先の補修だけでなく、次の補修サイクルを考えることで、**コスト削減を計りつつ、最適な補修計画を立案**する必要がある。

その為には、**ポットホール補修の延命化**が必要である

積雪寒冷地における舗装の耐久性向上及び補修に関する研究

研究成果報告会

局所的な破損(ポットホール)発生メカニズム

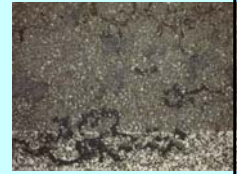
平成22年6月18日(金)14:05~14:20

立命館大学 非常勤講師 鍋島益弘

ポットホールの発生メカニズムの種類

1. 降雨と交通荷重の繰返応力で発生するケース

特徴: 一般的な亀甲ひび割れから進展する



2. RC床版上面の砂利化により発生するケース

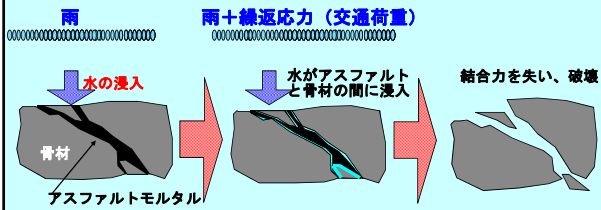
特徴: 遊離セメントが亀甲ひび割れ部に溶出する



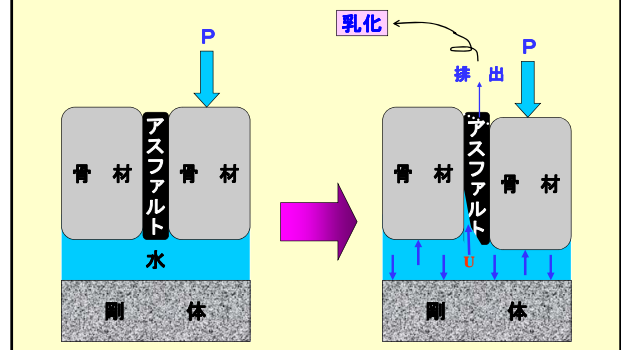
1. 降雨と交通荷重の繰返応力で発生するケース

・阪神高速道路の報文(1995年)より

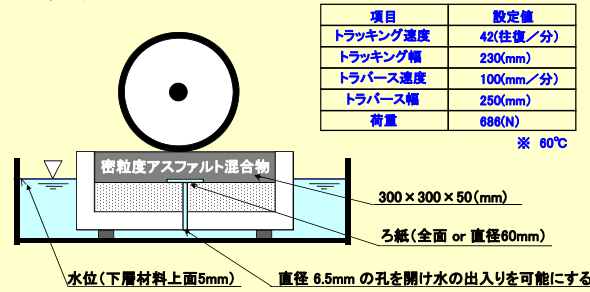
阪神高速道路における調査では、平成5年度のアスファルト舗装の破損の発生数681カ所のうち、ポットホールは239カ所。ポットホールは水平部において高い頻度で発生している。これは、**排水の悪い路面勾配に起因するものと考えられ、路面勾配が水平な場所**に使用する混合物は、はく離抵抗性を考慮する必要がある。



大阪市立大学 山田名誉教授の報文(1982年)より はく離のメカニズム=Stripping



再現実験(水浸ホイールトラッキング試験) 鎌田・山田 2001年より



・2水準の境界条件

- 条件1 全面にろ紙を敷設
- 条件2 中央部に直径60mmのろ紙を敷設、他部分は乳剤を塗布

剥離過程の検証(水浸ホイールトラッキング試験) 鎌田・山田2001年より



破壊直後の断面 (水浸ホイールトラッキング試験)

鎌田・山田2001年より

全面ろ紙

中央60mmろ紙

中央部にはのみはく離が見られた

∴ 舗装下面の滞水が、ポットホールの原因となる

高機能

旧表層

表層

基層

基層部のはく離と乳化 (提供: NEXCO西日本本松調整役)

破壊時間の定義 (水浸ホイールトラッキング試験)

鎌田・山田2001年より

破壊時間(分)

潜伏期 進展期 加速期 劣化期

時間(分)

0 30分 30分

破壊点 (最大曲率点)

破壊点における割線交角

変形量(mm)

使用不能

走行速度と変形量および浸漬時間と破壊までの時間

鎌田・山田2004年より

△ A-60/80密粒As 走行速度: 21往復/分

○ A-改質密粒As 走行速度: 21往復/分

▲ A-60/80密粒As 走行速度: 42往復/分

● A-改質密粒As 走行速度: 42往復/分

変形量(mm)

走行時間(分)

破壊時間(分)

走行前の浸漬時間(時間)

結果① 走行速度が早く(交通量が多く)なるに従い、同一距離でも変形量は大きくなる

結果② 改質アスファルトを用いた混合物の変形量は、ストレートアスファルトを用いた混合物と比較して小さくなる

結果③ 走行前の浸漬時間(滞水時間)が長くなるほど破壊時間が短くなる

水位の変化と破壊までの時間

鎌田・山田2004年より

水位の変化と破壊までの時間の関係

破壊時間(分)

水位(供試体下面より)(mm)

項目	単位	設定値
走行試験前の浸漬時間	時間	15
試験軸荷重	N	686
試験温度	°C	60
走行速度	往復/分	42
走行距離	mm	230
トラバース速度	mm/分	100
トラバース幅	mm	250
供試体寸法	mm	300×300

結果① 密粒度アスコンは、水位を上げてても破壊時間は排水性アスコンほど大きく変化しない。これは、密粒度アスコンがほぼ不透水(10-6cm/sec)であるため、舗装体中に滞水しにくいからであると考えられる。

結果② 一方、排水性アスコンは、水位の上昇に敏感で、5mm水位の破壊時間を基準とすると、20mmの場合はその40%、40mmの場合はその僅か10%と破壊までの時間が大きく低下する。

境界条件と破壊時間

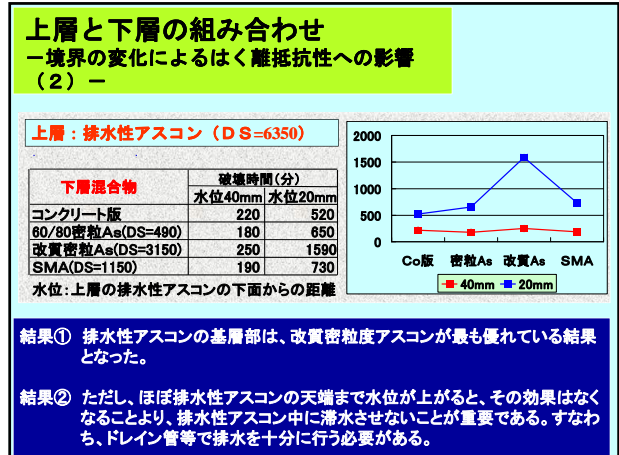
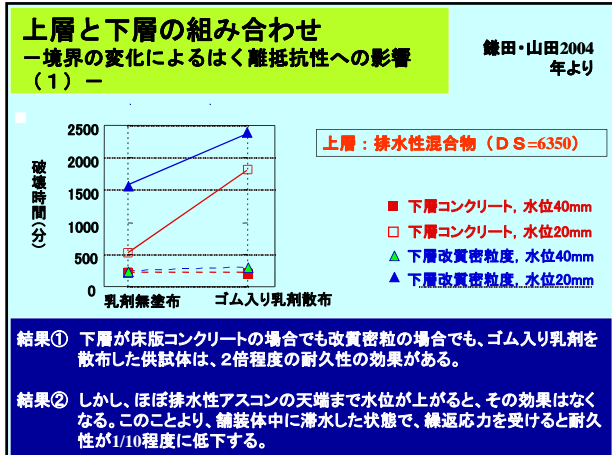
鎌田・山田2004年より

各供試体の破壊時間

破壊時間(分)

結果① 各供試体の破壊までの時間は、ストレートアスファルトより改質アスファルトを用いた供試体が約2.5倍と長く、水浸下でも耐久性の大きいことが分かる。

結果② 基層(この場合はコンクリート)との境界条件は、乳剤を散布したものが約2倍の耐久性を示す。これは、繰返応力を受けた場合、基層との接着性能が耐久性に影響するからである。



供試体厚さと破壊までの時間

鎌田・山田2004年より

混合物種類	供試体呼び名称	破壊時間(分)	
		供試体厚40mm	供試体厚50mm
密粒度アスコン	A-80/80	110	220
	A-改質	160	560
排水性アスコン	A-排水	1210	3000以上

・水位は密粒度アスコンが下面より5mm、排水性アスコンが下面より20mm

結果① 供試体厚を1cm増加させると、密粒度アスコンも排水性アスコンも破壊までの時間が2倍以上になる。

結果② 特に、改質密粒度アスコンは、供試体を1cm増加しただけで3.5倍の耐久性を示した。

※ 以下の実験では、密粒度アスコンの場合の供試体厚さを5cm、排水性アスコンの供試体厚さを4cmとした

- ### 1. 降雨と交通荷重の繰返応力で発生するケース
- #### まとめ 1
- ① 阪神高速道路の調査において、ポットホールが水平部に高い頻度で発生していることから、この破壊は、排水の悪い現場条件に起因するものと考えられた。
 - ② 水浸ホイールトラッキング試験において、下方からはく離現象の進行により、ポットホールが発生することを確認できた。
 - ③ つまり、剥離のメカニズムは、水と繰返し応力の相互作用により発生することが分かる。

- #### まとめ 2
- ④ 走行速度が早くなるに従い、同一距離でも変形量は大きくなる。すなわち、交通量の大小が変形量に影響する。また、改質アスファルトを用いた混合物の変形量は、ストレートアスファルトを用いた混合物と比較して小さくなる。
 - ⑤ 走行前の浸漬時間が長くなるほど、破壊時間が短くなる。この理由は、密粒度アスコンは疎水性であるため、降雨程度では滞水しない。しかし、強制的に滞水させると、骨材間に少しずつ水が浸入する。
 - ⑥ しかし、密粒度アスコンは、水位を上げて排水性アスコンほど大きく破壊時間が変化しない。これは、密粒度アスコンがほぼ不透水(10-6cm/sec)であるため、舗装体中に滞水しにくいためであると考えられる。また、改質密粒度アスコンは密粒度アスコンと比較して約2.5倍の耐久性を示すことが分かる。

- #### まとめ 3
- ⑦ 一方、排水性アスコンは、水位の上昇に敏感で、5mm水位の破壊時間を基準とすると、20mmの場合はその40%、40mmの場合はその僅か10%と破壊までの時間が大きく低下する。排水性アスコン中に滞水させないことが重要である。
 - ⑧ 基層(この場合はコンクリート)との境界条件は、乳剤を散布したものが約2倍の耐久性を示す。これは、繰返応力を受けた場合、基層との接着性能が耐久性に影響するからである
 - ⑨ さらに、ゴム入り乳剤 > 乳剤 > 塗布なしの順に耐久性が高いことが分かった。すなわち、界面の接着性能は、ゴム入り乳剤が優れていることが分かる。
 - ⑩ また下層は、アスコン > コンクリート版の順に耐久性の高いことが分かった。

まとめ 4

⑪さらに、上部が排水性アスコンの二層構造で実験した場合、その基層部は、改質密粒度アスコンが約3倍優れている。

⑫ただし、ほぼ排水性アスコンの天端まで水位が上がると、その効果はなくなることより、排水性アスコン中に滞水させないことが重要である。

⑬供試体厚を1cm増加させると、密粒度アスコンも排水性アスコンも破壊までの時間が2倍以上になる。特に、改質密粒度アスコンは、供試体を1cm増加しただけで3.5倍の耐久性を示した。

2. RC床版上面の砂利化により発生するケース

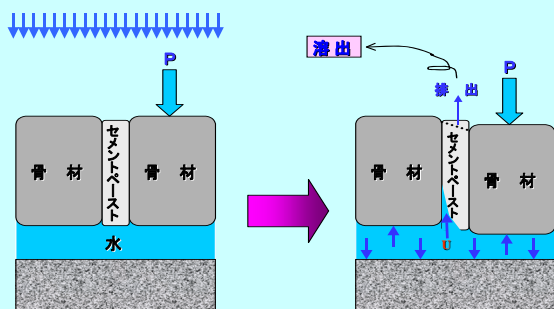
亀甲状のクラックの発生状況 (RC床版の砂利化によるポットホール)



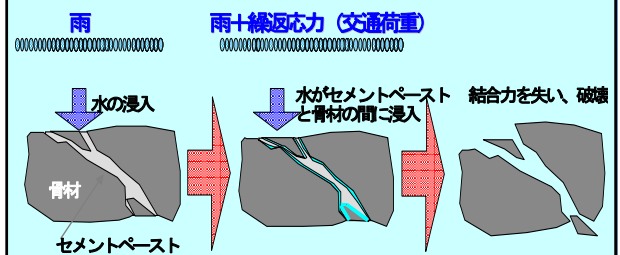
コンクリートからストリップしたセメント分が溶出

砂利化の原因

- ①水の進入
- ②繰り返し荷重



砂利化の原因

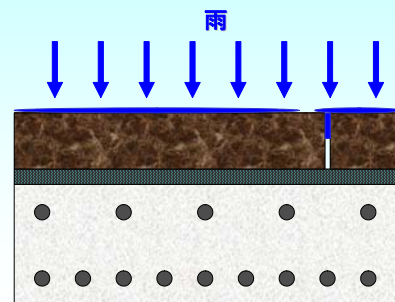


切削後の現状

- ①被りコンクリート(4cm)がなくなっている
- ②上筋下部も砂利化している
- ③上筋下部のコンクリート強度=13 MPa



(1)降雨がジョイント・施工目地から浸入する



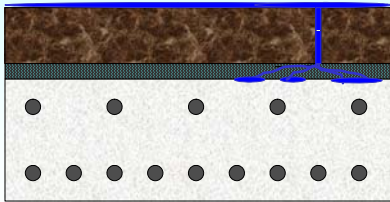
施工目地の状況 (その1)



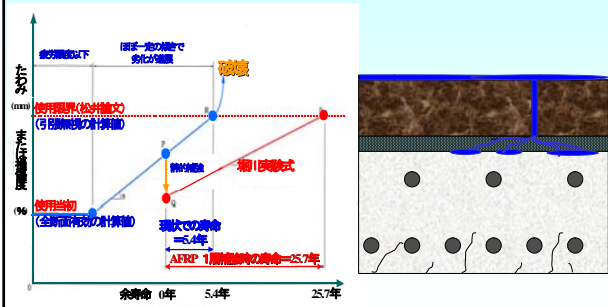
伸縮ジョイント (その2)



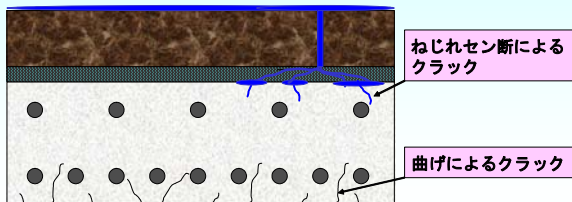
(2) 防水層の破損部から防水層下面へ浸入する



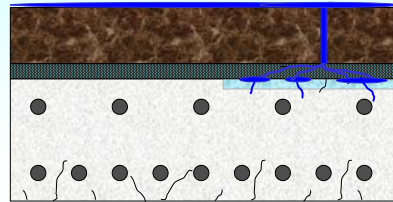
(3) 長年の交通荷重により床版が疲労し始め、下面よりクラックが発生する



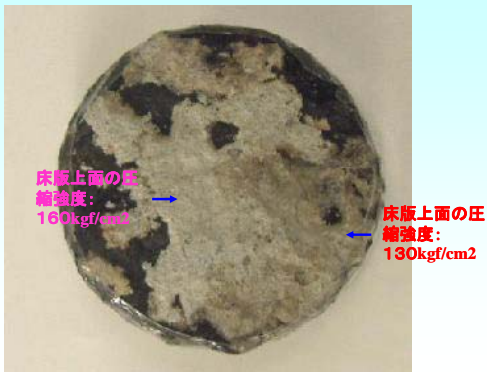
(4) 水浸部のコンクリートが膨潤し、繰り返し荷重によりセメント分が遊離 (Stripping) し始める。その結果、強度が落ち、ねじれせん断応力により上部にクラックが発生する



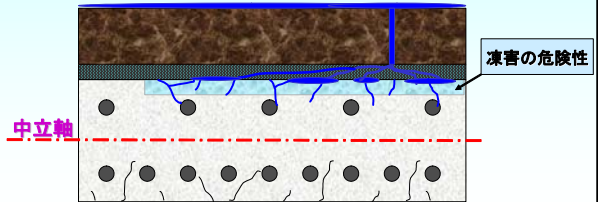
(5) クラックがすり磨き現象で太くなり、セメント分が遊離しコンクリート上面部が劣化し始める (砂利化の始まり)



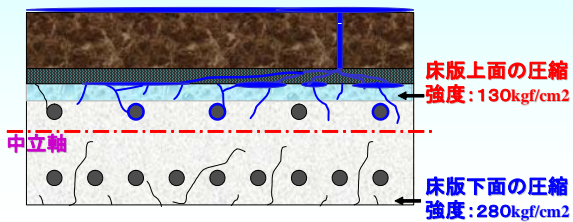
床版下面へ漏水部分の上面のコアー



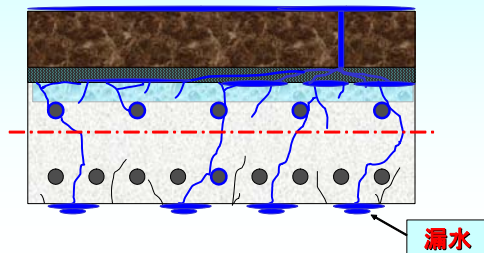
(6) 徐々にコンクリート上面の劣化の領域が広がるとともに、上面のクラックが上鉄筋まで伸びる。寒冷地では、凍害が発生し始める。



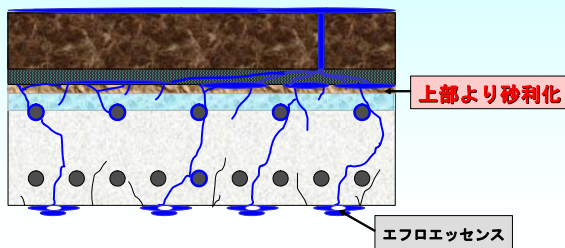
(7) 鉄筋まで水がまわると、鉄筋の周囲がすり磨かれて、鉄筋の拘束力が落ちる。さらに、凍結防止剤の撒布により、鉄筋の不導態皮膜が浸食され、酸素の供給があれば、錆び始める。このころには、下面からの曲げクラックが伸張し、中立軸を押し上げる。砂利化はさらに進む。



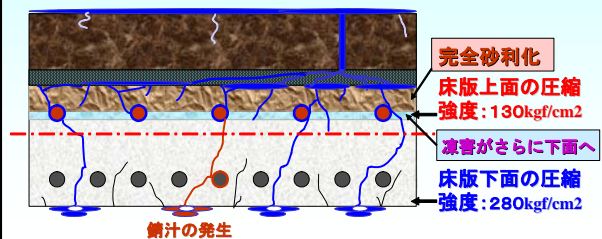
(8) 中立軸が押し上がることにより、圧縮部のコンクリート厚が薄くなることにより、ねじれせん断応力が大きくなり上部のクラックが伸張する。その結果、貫通クラックを発生させて、床版下面より漏水が始まる。



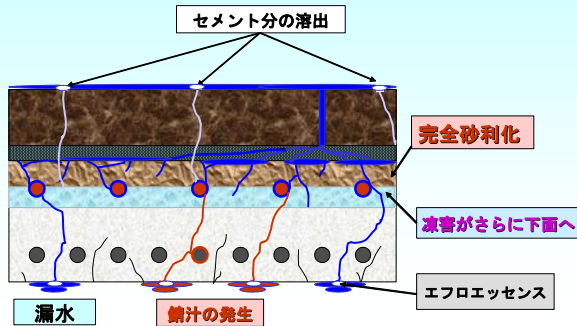
(9) 被りコンクリートの上部が完全に砂利化する。床版下面からエフロエッセンスが発生する。



(10) 被りコンクリートが全面に浮き、舗装上部にクラックが発生する。アスファルト舗装はコンクリートと比較して弾性係数が小さいことから、輪荷重により上面よりクラックが発生する。このころには、鉄筋も錆び始める。



(11) 舗装下部にも曲げによるクラックが発生して貫通クラックとなり、路面には亀甲状のクラックが発生し、セメントが溶出する



2. RC床版上面の砂利化により発生するケース

ま と め

- ①床版防水工の防水機能の低下により、床版コンクリートからセメントペーストが Stripping(剥離)し、砂利化する。
- ②床版下面の曲げクラックと床版上面のねじれせん断クラックにより、床版に貫通クラックが入り、床版下面より漏水が発生する。
- ③経年により砂利化が上被り鉄筋より下方(床版上面より6cm程度)まで進行するため、構造的にも深刻化する。
- ④床版上部が砂利化することにより、アスファルト舗装にも亀甲クラックが発生する。また、同時にセメント成分が舗装面上に溶出する。 → **ポットホールの発生**


2010.06.18

積雪寒冷地における舗装の耐久性向上及び補修に関する
研究成果報告会@大阪合同庁舎

**ポットホール補修箇所の
耐久性分析**

大阪大学大学院 貝戸清之
kaito@ga.eng.osaka-u.ac.jp

ポットホールの発生



- 交通事故等の発生
- 道路管理に対する瑕疵責任

積雪寒冷地で多発。
➔ 路面の滞水が影響。

2

分析の対象地域

国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所 管内
(対象道路延長: 70.8km)



日本海

- 日本海側で積雪量が多い。
- 冬季の融雪・除雪対策として
融雪散水装置が設置。

3

ポットホール補修用常温混合物



補修前



補修後



- 厳しい施工・環境条件(降雪, 融雪散水, 低温)下で使用。
- 限定的な施工時間。

➔ 積雪寒冷地に適した常温混合物とは?
常温混合物本来の性能を發揮するまでに至らない?

4

研究目的

**ポットホール補修用常温混合物の耐久性
に関する実証的分析**

- 常温混合物の剥離過程のモデル化
ワイブル劣化ハザードモデル
- 日常点検データを用いたモデル推計
- 剥離要因(耐久性に影響を及ぼす要因)の分析

↓

積雪寒冷地に適した補修工法, 補修材料の開発
に向けた基礎検討。

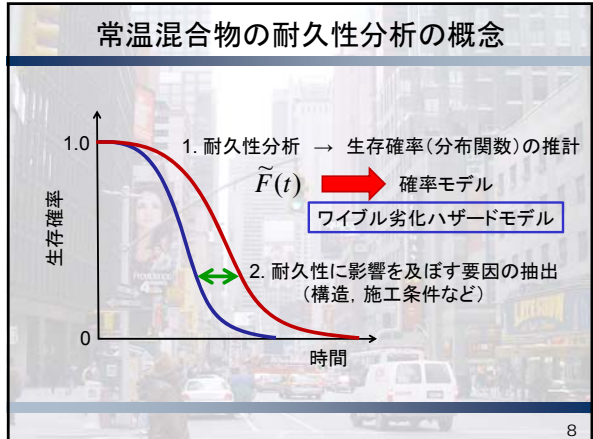
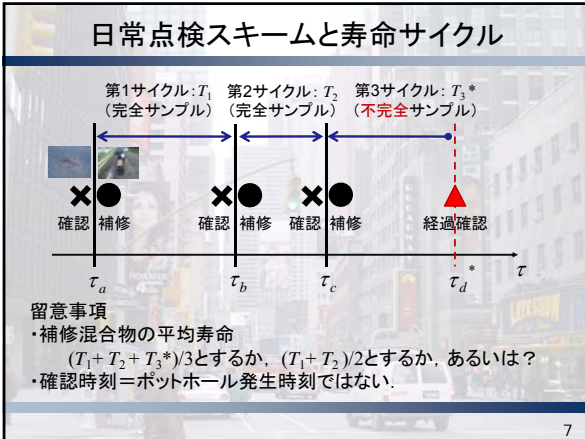
5

ポットホールに対する点検(巡回)と記録




情報収集期間: 平成19年6月から平成22年2月

6



- ### 常温混合物の耐久性に影響を及ぼす要因1
- #### 構造条件
1. 構造物 (CO床版部:0 or 土工部:1)
 2. 表層材料 (排水性舗装:0 or 密粒度舗装:1)
 3. 融雪散水装置 (無し:0 or 有り:1)
 4. 地域 (湯村地区:0 or 八鹿地区:1)
 5. 車線 (下り:0 or 上り:1)
 6. 平面線形 (曲線:0 or 直線:1)
 7. 横断位置 (非わだち部:0 or わだち部:1)
 8. ポットホール複数回発生 (1回:0 or 2回以上:0)
 9. 大型車交通量
 10. 舗装の最終補修時点からの経過時間

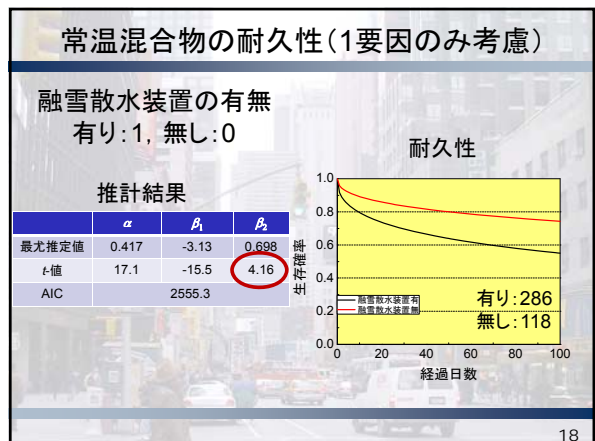
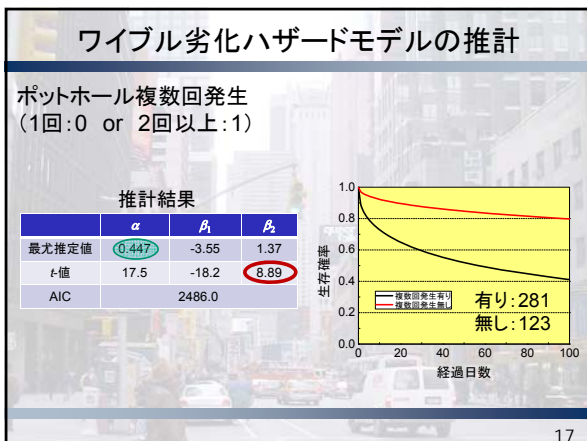
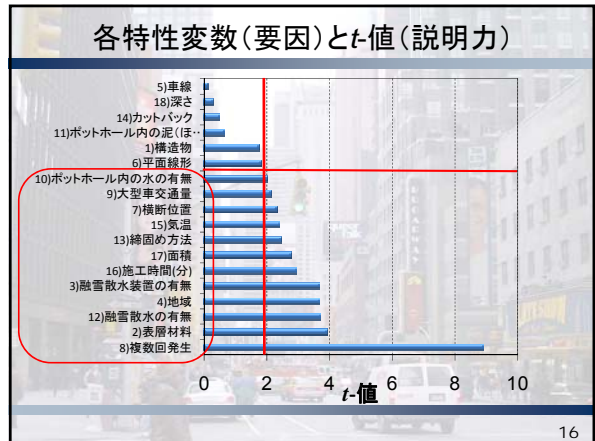
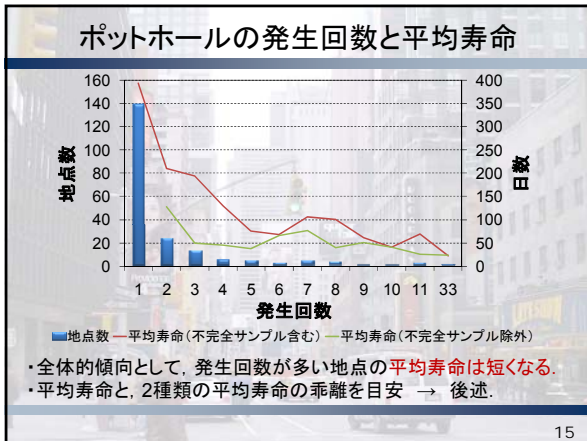
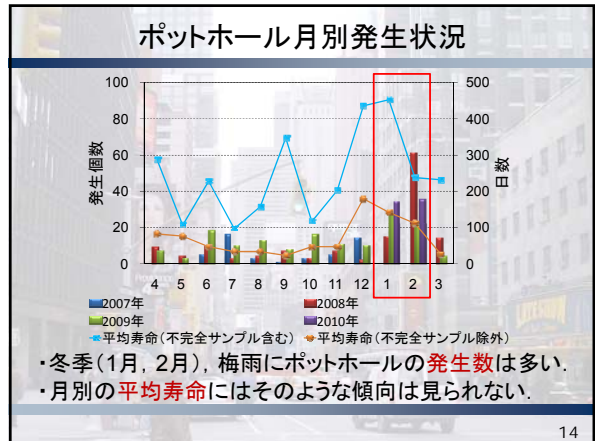
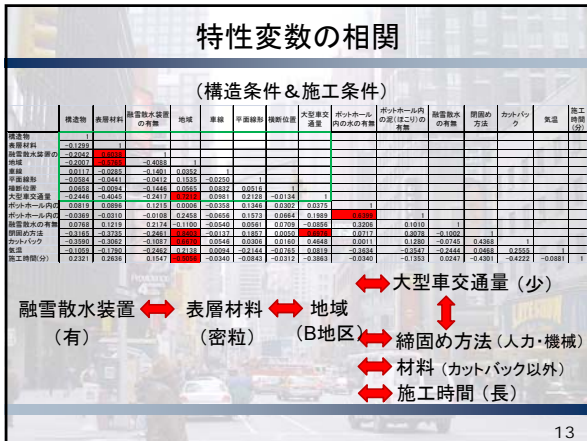
- ### 常温混合物の耐久性に影響を及ぼす要因2
- #### 施工条件
1. 施工時間
 2. ポットホール内の水の有無 (無し:0 or 有り:1)
 3. ポットホール内の泥の有無 (無し:0 or 有り:1)
 4. 融雪散水の有無 (無し:0 or 有り:1)
 5. 常温混合物の締固め方法 (人力・機械:0 or 作業車で転圧:1)
 6. 常温混合物の材質 (カットバック以外:0 or カットバック:1)
 7. 施工時気温
- #### ポットホール条件
1. 深さ
 2. 面積

ポットホールの発生概要 (構造条件)

構造条件	相違	総発生数	発生回数	平均寿命 (不完全サンプル(全数))	平均寿命 (不完全サンプル(発生))
構造物	土工部	333	2.0	2244	54.6
	CO床版部	70	2.3	159.9	51.9
	CO(ポットホール部)	1	1.0	21.0	-
表層材料	密粒度舗装 (57%)	359	2.2	1924	52.6
	排水性舗装 (21%)	47	1.3	374.5	77.5
	半たわみ性舗装	1	1.0	13.0	-
	その他	1	1.0	21.0	-
融雪散水装置の有無	有 (33%)	281	2.2	180.0	44.4
	無 (37%)	123	1.7	258.2	83.6
地域	A地区 (47%)	121	1.7	318.4	84.6
	B地区 (53%)	283	2.2	168.4	43.8
車線	上り	211	2.1	215.6	62.9
	下り	181	2.0	210.0	43.3
	センター 中央帯	6	1.5	183.7	63.0
平面線形	直線部	288	1.8	214.6	49.9
	曲線部	118	2.3	208.0	68.6
横断位置	わだち部	391	2.1	206.3	53.9
	非わだち部	13	1.1	404.5	68.5
合計		404	2.0	212.7	54.0

ポットホールの発生概要 (施工条件)

施工条件	相違	総発生数	平均寿命 (不完全サンプル(全数))	平均寿命 (不完全サンプル(発生))
水の除去	有	90	240.0	37.5
	無	314	204.9	60.3
泥の除去	有	93	305.1	46.5
	無	311	185.1	59.5
融雪散水	有	53	132.5	10.1
	無	351	224.8	62.6
締固め方法	人力	211	116.3	45.9
	作業車転圧	98	342.3	88.3
	機械	90	306.5	41.4
常温混合物の材質	カットバック	5	53.6	32.3
	カットバック以外	76	237.6	68.3
合計		404	212.7	54.0

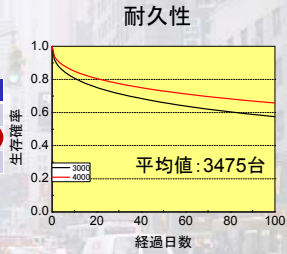


常温混合物の耐久性(1要因のみ考慮)

大型車交通量

推計結果

	α	β_1	β_2
最尤推定値	0.411	-1.66	-1.28
t-値	17.0	-3.62	-2.12
AIC	2570.0		



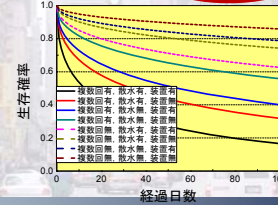
常温混合物の耐久性(3要因を考慮)

モデル構成: 複数回 & 散水 & 装置

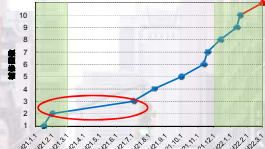
推計結果

	α	β_1	β_2	β_3	β_4
最尤推定値	0.459	-4.00	1.35	0.674	0.450
t-値	17.8	-17.0	8.66	3.50	2.61
AIC	2468.0				

耐久性



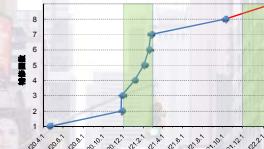
ポットホール発生状況(No.199, 10回)



発生回数	施工時気温(°C)	施工時間(分)	散水回数	ポットホール内の水の有無	ポットホール内の水の有無(仮工)の有無	舗装材料の種類
1	1	30	無し	施工時に発生した	無し	特になし
2	8	30	無し	無し	舗装済	舗装済
3	21	30	無し	無し	施工時に発生した	特になし
4	20	30	無し	施工時に発生した	無し	特になし
5	16	30	無し	無し	無し	特になし
6	16	30	無し	施工時に発生した	無し	特になし
7	8	30	無し	施工時に発生した	無し	特になし
8	14	30	無し	施工時に発生した	無し	特になし
9	8	30	無し	無し	無し	特になし
10	2	30	無し	無し	無し	特になし

上り 152km+200m わだち部 土工部 直線部 密粒 装置無し

ポットホール発生状況(No.144, 8回)



発生回数	施工時気温(°C)	施工時間(分)	散水回数	ポットホール内の水の有無	ポットホール内の水の有無(仮工)の有無	舗装材料の種類
1	11	8	無し	施工時に発生しない	無し	特になし
2	9	7	有り	施工時に発生しない	無し	特になし
3	8	9	無し	施工時に発生した	施工時に発生した	特になし
4	9	7	無し	無し	施工時に発生しない	特になし
5	1.8	7	無し	無し	施工時に発生しない	舗装済
6	0.4	10	無し	施工時に発生した	施工時に発生しない	舗装済
7	8	8	無し	無し	施工時に発生しない	舗装済
8	18	10	無し	施工時に発生しない	施工時に発生しない	特になし

上り 114km+830m わだち部 CO床版 直線部 密粒 装置有り

スローガン

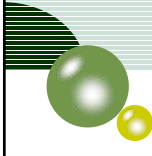
- ・施工時に水は除去.
- ・応急補修は3回を目途に.
- ・常温混合物の保温(車内で保管).

Logo

「積雪寒冷地における舗装の耐久性向上及び補修に関する研究」
研究成果報告会 平成22年6月18日

補修材料(補修用常温混合物)の 室内物理性状評価

京都大学 工学研究科 藤原 栄吾



室内試験の目的

1. 補修用常温混合物の特性を評価

骨材の粒径、バインダや混合物の種類が異なる

- ①骨材の種類(再生, 新規)
- ②骨材の最大粒径(5~13mm)
- ③混合物の種類(密粒, ポーラス)
- ④バインダの種類(カットバックアスファルト, 特殊樹脂・改質アスファルト系)
- ⑤使用条件(全天候型, 温度範囲)

破損箇所状況に応じた常温混合物の選定(適材適所)

↓

ポットホール補修作業の効率アップ, 補修箇所の耐久性向上

2. 当該地域における補修材料の性能要件

補修材料に求められる性能(作業性, 耐久性)
積雪寒冷地に適した材料(耐水性)

試験施工+経過観察→破損の有無を確認
(費用, 場所等の問題)

↓

試験施工の観察結果から, 品質に問題が無いと思われる材料を室内試験で評価
→試験施工で調査期間内(1ヶ月)に破損が生じていない

これらの材料の物性値から要件を設定できないか?

補足(ポットホール補修試験施工)

(試験施工場所の選定)

- ①気象条件が特に厳しい
→ 融雪散水装置が設置されている山間地域
- ②日常的に経過観察が可能
→ CCTVによる監視範囲内に位置している
- ③緊急時の対応が比較的容易である
→ 登坂車線が整備されている

ポットホール補修試験施工の概要



場所: 140.75kp(上り線)
時期: 平成19年2月
延長: 22m程度
材料: 補修用常温混合物(6種類)

模擬ポットホール試験施工のながれ

- ・切削機で深さ4cm, 幅60cm, 長さ2mで切削(段差が生じないようにスロープを設ける)
- ・路面清掃を行った後, 路面に散水
- ・各混合物を模擬ポットホールに投入, 締め固め(概ね10~30分で補修作業を完了)



試験施工後の経過観察

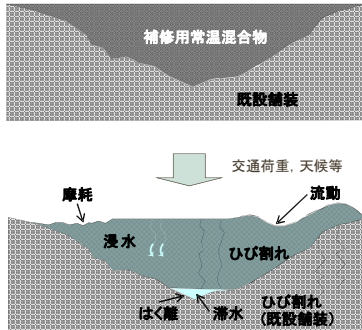


施工前 施工直後

1週間後 1ヶ月後

全面的な補修が行われるまで全ての箇所で良好な状態を維持

ポットホール補修箇所の破損形態



室内試験と混合物の種類

試験名称	評価項目	破損形態など
アスファルト混合物の密度試験	供試体の密度, 空隙率	締め固め不足による破壊
マーシャル安定度試験	混合物の安定性, 耐水性	浸水に起因する破損
一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ, 残留強度率	交通荷重による変形全般

種類	バインダ	粒度	最大粒径
A	特殊樹脂・改質アスファルト系	密粒度	13mm
B	カットバックアスファルト系	開粒度	5mm
C	特殊樹脂・改質アスファルト系	開粒度	5mm

試験施工で評価した混合物(各種類で2材料)

室内試験の温度条件

ポットホールは冬季に多く発生
→ 低温条件で補修されることが多い

補修用常温混合物は揮発成分の蒸散や硬化反応により安定
→ 理想的な温度条件で本来の性能を発揮

	作製温度	保管温度	試験温度
試験条件1	5°C	5°C	5°C
試験条件2	20°C	60°C	5°C

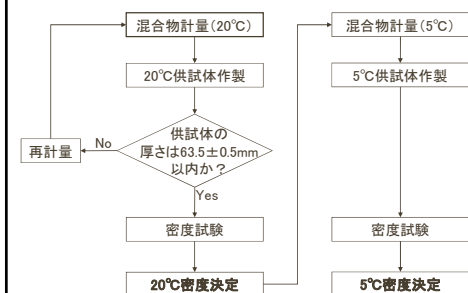
※各温度は供試体作製時, 保管時, 試験時(一軸圧縮試験)の温度
保管期間は7日, 条件2では試験開始6時間前から試験温度で保管

各試験の供試体作製法



モールドの内径と高さ	内径101.6±0.2mm, 高さ88.9±0.3mm
突き固めハンマ重量	4.5kg
ハンマ落下高さ	45.7cm
突き固め回数	両面100回(片面各50回)

補修用常温混合物の密度試験のフロー



密度試験結果

供試体の密度は骨材等の単位体積重量に依存する
→ 各混合物の密度の大小だけでは評価できない

供試体に占める空隙の割合(空隙率)で評価
(ただし空隙率も混合物の粒度に依存していることに留意)

種類	供試体の空隙率(%)	
	条件1 (5°C)	条件2 (20°C)
A	12.6	10.4
B	18.9	17.2
C	23.9	21.8

Bの混合物(カットバックアスファルト系)は5°Cでも空隙率の低下が小さい

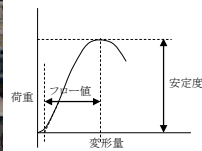
低温でも締め固めやすい
(低温条件下での作業性が高い)

マーシャル安定度試験

- ・供試体作製法に準じて供試体を作製する
- ・標準試験は保管期間終了後 30分間60°Cの水槽に浸す (水浸マーシャル安定度試験は48時間)
- ・供試体を載荷ヘッドに設置し載荷速度5mm/minで載荷する
- ・最大荷重(安定度)と変形量(フロー)を記録する



載荷装置



マーシャル安定度試験結果

条件1は混合物Aを除き60°Cの水槽から引き上げ時に供試体が崩壊→試験不能(条件2では試験可能)

種類	条件1 (5°C)		条件2 (20°C)	
	安定度 (kN)	残留安定度 (%)	安定度 (kN)	残留安定度 (%)
A	1.08	95以上	1.50	89.7
B	E	E	1.17	0.0
C	E	E	2.82	69.8

混合物Aの残留安定度が最も高い

混合物A(特殊樹脂・改質アスファルト系-密粒)は他の混合物と比較して耐水性が高い

残留安定度=水浸マーシャル安定度/マーシャル安定度×100(%)



条件1試験前(水浸後)



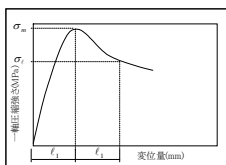
条件2試験後

常温補修用混合物の一軸圧縮試験

- ・供試体作製法に準じて供試体を作製する(厚さは68mm)
- ・供試体に載荷速度1mm/minで載荷する
- ・最大の載荷強さと変形量を記録する
- ・最大の載荷強さの2倍の変形量まで記録する

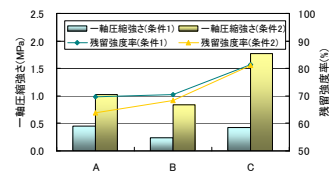


載荷装置



常温補修用混合物の一軸圧縮試験結果

圧縮強さと残留強度率で供試体の耐久性を評価



$$\text{残留強度率} = \frac{\sigma_l}{\sigma_m}$$

混合物C(特殊樹脂・改質アスファルト系-C)の残留強度率が最も高い
条件2で一軸圧縮強さが大きく向上する(最終的に耐久性が最も高い)

室内試験結果から

混合物Aは耐水性、Bは作業性、Cは耐久性が高い
(これらの性能が求められる箇所のポットホール補修に適している)

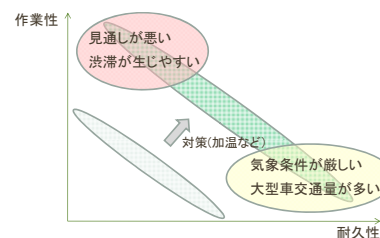
耐水性や耐久性は補修後の時間経過に伴い向上
(気温が低い場合、これらの性能向上は期待できない)

混合物のタイプと補修箇所の耐久性分析結果との関係が不明
(データが少なく、明確な性能基準値を設けることは困難)

締め固め密度が高い → 供試体の強度大

冬季は混合物を加温することで作業性、耐久性向上が期待できる

地理的条件と補修用常温混合物の適性



作業性: 作業時間、(交通開放までの)養生時間、締め固め易さ?

◆トレードオフ?!

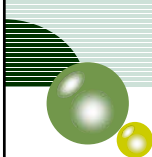
耐久性: 耐摩耗性、耐流動性、耐水性

Logo


「積雪寒冷地における舗装の耐久性向上及び補修に関する研究」
研究成果報告会 平成22年6月18日

積雪寒冷地に適した舗装材料、 補修工法の検討

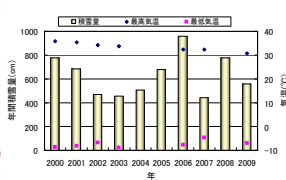
京都大学 工学研究科 藤原 栄吾



本研究対象地域の特徴



兵庫県北部地方 → 豪雪地帯に指定
(豊岡市, 養父市, 朝来市ほか)



最高気温, 最低気温と年間積雪量の推移 (兎野高原)
気象統計情報(気象庁HP)より

国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所HPより引用
<http://www.kkr.mlit.go.jp/toyooka/gyoumu/area/area.html>

本地域に適した舗装材料の検討

現状

- 山間部の積雪量が特に多く、融雪散水装置が稼働
- 夏に暑く、冬は寒い
- 幹線道路の大型車の混入率が高い

対策

- 滞水による舗装のアスファルト被膜のはく離防止
- 舗装の耐流動性向上(夏季), 耐摩耗性向上(冬季)

他の積雪地域における舗装材料の仕様や関連する論文等を照査
当該地域に該当する項目を整理して新しい仕様(対象は国道9号)を提案

検討した項目と基準値(抜粋)

項目	詳細
舗装用アスファルト	ポリマー改質アスファルトH型-Fの物理性状を明記
舗装用骨材	物理性状試験の基準値を改訂・追記
改質アスファルト乳剤	タイヤ付着抑制型乳剤の物理性状を明記
各種アスファルト混合物の粒度範囲	耐流動性に優れる(密粒, 粗粒度アスコン) 耐摩耗性に優れる(ホーラスアスコン)
各種アスファルト混合物の物理性状	基層用混合物の動的安定度, 表層用混合物のヘアリング摩耗量を追記

項目	種別	表: 基層アスファルト混合物用骨材		表: 基層アスファルト混合物用骨材		現在の基準値
		基準値案	現在の基準値	基準値案	現在の基準値	
表積密度	密粒度アスコン / 5-7.5アスコン	2.50以上	2.45以上	2.50以上	2.50以上	
吸水率		2.5以下	3.0以下	-	-	
すり減り減量		30.0以下	15.0以下	30.0以下	-	
安定性損失量		10.0以下	12.0以下	10.0以下	10.0以下	
粘土・粘土塊		0.25以下	-	0.25以下	-	
粘土量		5.0以下	-	5.0以下	-	
塊状・扁平骨片		10.0以下	5.0以下	-	-	
はく離抵抗性(A74)		15.0以下	-	-	-	

補修工法に関する検討

(方針)

- 従来の補修工法を採用する
- 過去の補修履歴から採用頻度の高い補修工法に着目
- 特に舗装材料の違いが耐久性に関係する工法を選定

最も実績のある工法は切削オーバーレイ工法
→ 表層のみの補修では、既設の基層の影響を受けやすい

その次に実績のある表層・基層切削工法で評価

表層・基層切削工法による補修が望ましい路線において試験施工的に実施
(基層より下の層に構造的な問題がないことを確認)

試験施工のながれ

- 補修工法の選定(表層・基層オーバーレイ)
- 試験施工場所の選定
 - ①の工法による補修が望ましい箇所
 - 舗装の劣化が短期間で進んでいない箇所(補修履歴, MCIデータ, 事前調査)
- 舗装材料の選定
 - 経済的な材料(再生アスファルト混合物)
 - 過去の実績から耐久性が高いと認められる材料
 - 性能を重視した新材料(新しい仕様を満足する厳選された材料)
- 補修試験施工の追跡調査による評価
 - 路面性状、舗装の支持力調査(舗装の構造的な劣化の有無)
 - 室内試験によるはく離抵抗性評価(積雪寒冷地における舗装劣化要因)

補修試験施工の場所と施工時期

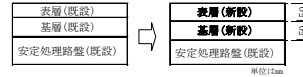
(施工場所) (141kp490~640下り線)密粒度舗装区間
(108kp719~854下り線)排水性舗装区間
(施工時期) 平成21年2月



工区割り

既設舗装	1工区 (経済性に配慮した舗装材料)	2工区 (過去の実績から耐久性が高いと思われる舗装材料)	3工区 (一層の耐久性向上が期待できる舗装材料)	既設舗装
(表層)	従来の再生密粒度712 μ m	従来の改良II型密粒度712 μ m	骨材厳選改良II型密粒度712 μ m	
(基層)	従来の再生粗粒度712 μ m	従来の改良II型再生粗粒度712 μ m	骨材厳選改良II型粗粒度712 μ m	
(表層)	従来の ϕ -5 \times 7 μ m	従来の ϕ -5 \times 7 μ m	骨材厳選 ϕ -5 \times 7 μ m	
(基層)	従来の再生粗粒度712 μ m	従来の改良II型再生粗粒度712 μ m	骨材厳選改良II型粗粒度712 μ m	

上段:密粒度舗装, 下段:排水性舗装



各工区の延長は約50m, 幅員は約3.5m

ポーラスアスコンの目標空隙率は18%

調査時期と調査試験項目

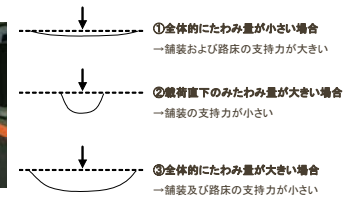
事前調査:平成21年1月(室内試験以外の全項目)
第1回追跡調査:平成21年3月(たわみ量調査以外の全項目)
第2回追跡調査:平成21年10月(全項目)

調査試験項目	調査箇所	目的
たわみ量	3点/工区	舗装の支持力評価
平坦性	1測線/工区	路面性状の評価 (MCIの算出)
わだち掘れ量	3測線/工区	
ひび割れ率	3断面/工区	
室内試験 修正ロマン試験	6個/工区	混合物のはく離抵抗性評価

MCI: Maintenance Control Index (維持管理指数)

現地調査

たわみ量調査



舗装計画交通量 (台/日・方向)	100 未満	100以上 250未満	250以上 1000未満	1000以上 3000未満	3000 以上
交通量の区分	N3以下	N4	N5	N6	N7
旧名称	L	A	B	C	D
D ₀ の基準値(μ m)	800	600	400	300	200

※図と表は活用しよう! FWDJ, (財)道路保全技術センター-p13,21から引用

平坦性, わだち掘れ, ひび割れ率調査



平坦性調査



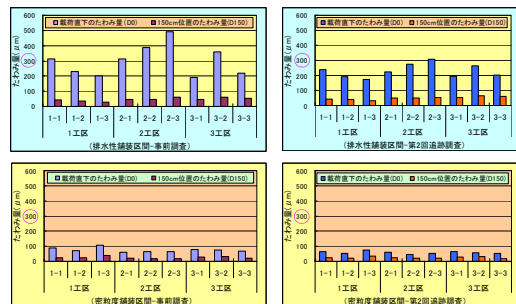
わだち掘れ量調査



ひび割れ率調査

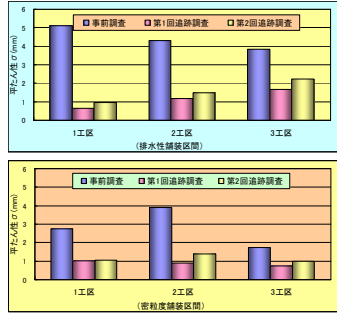
現地調査結果

①たわみ量測定結果

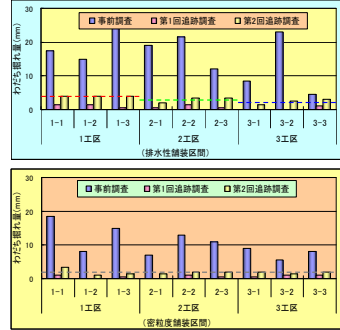


※たわみ量は全て温度補正値

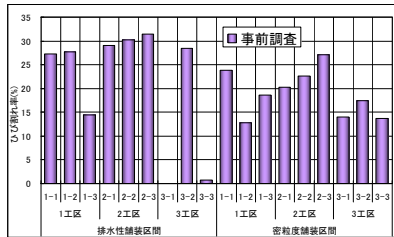
② 平坦性測定結果



③ わだち掘れ量測定結果

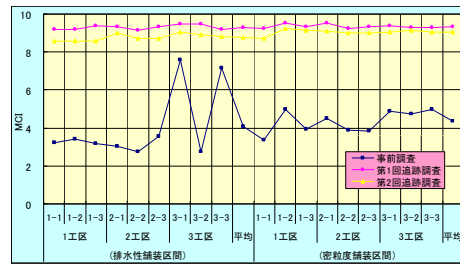


④ ひび割れ率測定結果



補修後、第2回追跡調査までひび割れは発生していない

MCIの比較



現地調査結果のまとめ

(事前調査から)

- 排水性舗装区間、密粒度舗装区間共にMCIの平均値が5未満
- 排水性舗装区間の載荷直下のたわみ量(D0)が大きい
- 路床の支持力に大きな問題はない(材料以外の劣化要因は小さいと思われる)
- 排水性舗装区間では路肩部の滞水に起因する基層の流動、密粒度舗装区間ではタイヤチェーンが原因と思われる摩耗が発生(舗装の典型的な損傷)

耐久性評価に適した区間を選定

(追跡調査から)

- 第1回調査でMCIは9以上まで回復していることを確認
- 第2回調査、わだち掘れ量が1工区>2工区>3工区(排水性舗装区間)
- 排水性舗装区間は密粒度舗装区間よりも若干MCIが低下

材料の違いによる差が現れ始めていると思われる

室内試験(修正ロットマン試験)

修正ロットマン試験(Modified Lottman Test): AASHOTO T283 -99

(目的)

基層混合物のはく離抵抗性評価

供試体の空隙率と標準圧裂強度の関係 → 既に混合物層にはく離が生じているか?

供試体の空隙率と圧裂強度比の関係 → 将来はく離が生じる可能性があるか?

使用材料により圧裂強度に差が生じるか?

次回に基層まで補修する必要があるか?

修正ロットマン試験の手順(基層の供試体使用)



水浸・減圧



少量の水と封入 18°Cで16時間



60°C水槽で24時間水浸



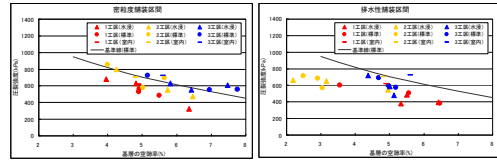
25°C水槽で2時間



圧裂試験



はく離状況の確認



※基準値は「アスファルト混合物のはく離抵抗性評価方法に関する研究」, 道路建設No.672,p32-38から引用

1工区から採取した供試体の圧裂強度(標準)が小さい
(アスファルト被膜のはく離の割合が高い供試体で圧裂強度が小さい)

アスファルト被膜のはく離が基層の流動わだち発生の大きな原因の一つ
排水性舗装区画では雨水の影響を受けている?

供用期間が短い → 圧裂強度と関係

まとめ


- 研究対象地域における舗装の耐久性向上に必要な仕様を提案
- 補修工事の一部で提案した材料を採用
- 追跡調査で短期間ながらも路面性状の差を確認
- 室内試験でも追跡調査の結果を裏付ける結果

舗装の耐久性効果をより詳しく検証するためには
継続して調査を実施することが望ましい




舗装健全度の劣化速度の異質性評価と検証

京都大学 経営管理大学院
森 悠




本日も話すること

- 研究の背景と目的
- 劣化速度の異質性評価の技術化
- 適用事例(検証)



研究の背景と目的




道路維持管理の課題

- 道路利用者に対するサービスレベル維持
- 限られた予算
- 道路管理者の利用者に対する管理瑕疵

↓

- 効率的な維持管理を行う必要がある



道路サービスと劣化の調査方法


- 道路の損傷状況を正しく認識する
- 一定の予算で最大限の効果を発揮させる

↓

- 路面の劣化は舗装全体の耐荷力に依存

↓

- 調査方法
 - 路面の劣化:路面性状調査
 - 舗装全体の耐荷力の低下:FWD調査等



舗装表面(路面)の評価

- 道路サービスレベルに直接的に影響
- 路面性状調査
 - 路面の性能指標(ひび割れ, わだちぼれ, 平坦性)により, 路面の劣化に関する情報を取得することができる
 - 測定車で調査でき, 規制は必要ない

↓

- 路面より下の劣化情報を得ることはできない

基層以下(舗装構造)の評価

- 交通加重に対する耐荷力を示す
- FWD(Falling Weight Deflectometer)試験
 - たわみ量の測定(構造的ダメージの有無の確認)
 - 非破壊試験, 信頼性が高く, 最も一般的に用いられる
 - 交通規制が必要
 - 調査が広範囲になればなるほど, 費用がかかる

全区間で実施することは非現実的

研究の背景と目的

- 舗装劣化は, 路面の損傷と舗装全体の耐荷力, どちらからも評価する必要がある
 - 路面性状調査
 - 路面状態のみを測定
 - FWD調査
 - 規制の必要性
 - 広範囲の調査は費用負担 大
- 効率的な補修箇所の選定方法の提案と検証
 - 舗装耐荷力の測定(FWD調査)箇所の選定方法
 - 調査結果の検証

劣化速度の異質性評価の技術化

劣化の観測と要因

- 観測できる路面の劣化指標
 - 路面性状指標
- 記録されている・観測できる路面の劣化要因
 - 舗装種類, 交通量, 施工方法, 補修方法・時期, 気候等
- 観測できない路面の劣化要因
 - 舗装全体の耐荷力

研究の立場

道路ネットワーク全体

- 舗装の劣化は**不確実性**を持っている
- 過去のパフォーマンスと観測できる要因, 故障する確率(ハザード率)を推計

グルーピング

個別グループ

- 劣化速度のばらつきを**異質性**として相対評価する
- 路面の劣化速度は**舗装全体の耐荷力**に大きく依存

不確実性と異質性

マルコフ劣化ハザードモデル 津田, 貝戸, 青木, 小林: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推計, 土木学会論文集, No.801/1-73, pp.69-82, 2005.

$$\lambda_i^k = \beta_{i,1} + \beta_{i,2} x_2^k + \dots$$

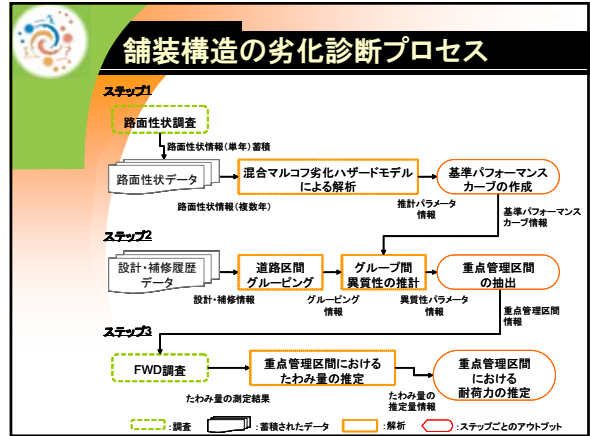
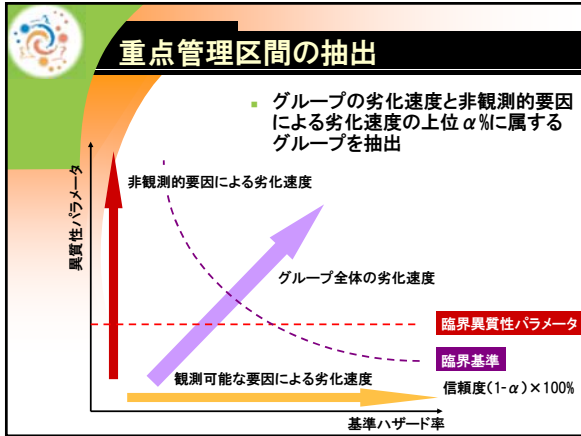
特性変数

混合マルコフ劣化ハザードモデル 小澤, 岡田, 貝戸, 小林: 劣化ハザード率評価とベンチマーキング, 土木学会論文集A, Vol.64, No.4, pp.857-874, 2008.

$$\lambda_i^k = \tilde{\lambda}_i^k \epsilon^k$$

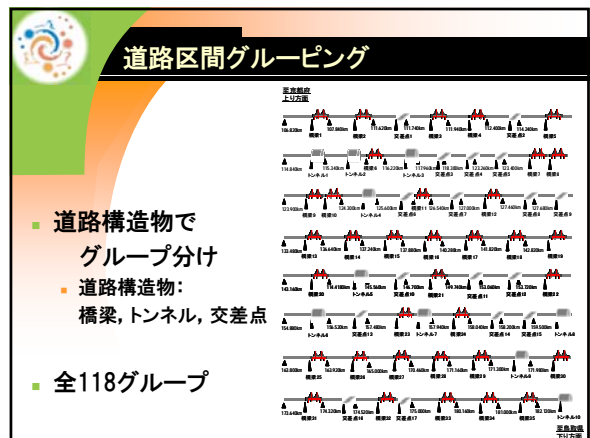
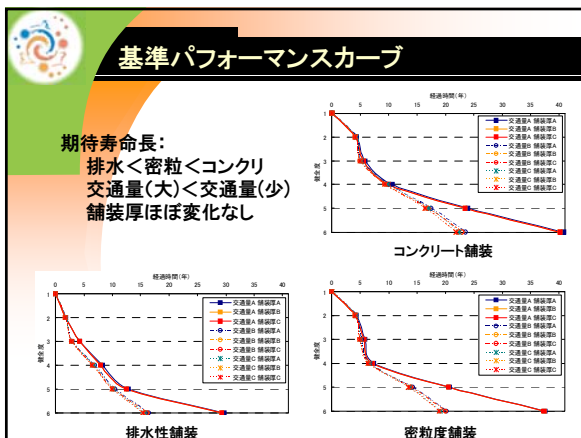
異質性パラメータ

劣化過程の不確実性: 特性変数
異質性: 異質性パラメータ



適用事例(検証)

- ### 概要
- 近畿地方整備局豊岡河川国道事務所
 - 国道9号 管理延長 約全長70km
 - 使用データ
 - 路面性状調査データ(MCI:2006年度)
 - 健全度を1-6Iに区分
 - 1:MCI10-8, 2:8-7, 3:7-6, 4:6-5, 5:5-4, 6:4以下
 - 調査区間に関するデータ(舗装種別, 大型車交通量, 補修履歴データ)
 - 最小評価区間20m(道路区間)
 - 総道路区間3,587区間, 有効道路区間3,309区間



FWD調査の実施

- 調査箇所の選定基準
 - 劣化速度による相対評価
 - 道路構造物は除外(構造の特殊性より)
 - 工事・規制情報を加味(安全性, 抱き合わせの可否)
- 調査地点は4地区(各地区約500m)
 - A地区(137kp付近 下り線)
 - B地区(152kp付近 下り線)
 - C地区(176kp付近 下り線)
 - D地区(180kp付近 下り線)

重点管理区間の抽出

- 臨界異質性パラメータおよび臨界基準は、ともに上位10%に設定

各グループのパフォーマンスカーブ

調査結果(たわみ量とMCI)

異質性パラメータとFWD 調査結果の関連性

- サブグループを設定
 - 補修履歴データ(補修厚, 補修年, 補修工法)を用いて, 連続区間においてデータが変化する位置を分割点とする.
- 評価方法
 - 異質性パラメータ: 1.97(臨界異質性パラメータ)
 - たわみ量D0: 300 μ m(舗装計画交通量N6 区分(IBC 区分)の許容たわみ量の目安)

FWD調査結果と異質性パラメータの関係

- A地区
 - たわみ量, 異質性パラメータともに低い
- B地区(重点管理区間)
 - 異質性パラメータが基準値よりも大きく, たわみ量が基準値より小さいサブグループを1箇所検出

