

## 目 次

### 調査・研究

- 再生アスファルト混合物の品質改善方法の検討 ..... 小林靖明・上地俊孝・松田幸洋 ..... 1
- 耐久性向上を目的とした土系舗装の開発 ..... 掛札さくら・小嶋匠・藤原栄吾 ..... 15

### 施工報告

- 新立岩トンネルにおけるホワイトCAPの施工報告 ..... 泉一徹・吉富祐記・薄井智 ..... 21
- 自然色排水性舗装(保水材注入型)による「けやき坂通り」の補修 ..... 小岩和雄・安達功雄・吉田伸行 ..... 25
- 仮橋道路舗装における技術的対策とオークサイレントの施工事例 ..... 井原毅・永井良介・栗原充規 ..... 29
- 総合住宅展示場における涼置の適用事例 ..... 福本佳久・丸武司・有賀公則 ..... 33
- 早強SFRCによる岸壁橋上コンクリート舗装打換え工事 ..... 栗原充規・荒木康裕・森重晴之 ..... 37
- 名古屋高速道路リフレッシュ工事におけるIH式舗装撤去の施工事例 ..... 丸山敦裕・佐藤和彦 ..... 41
- 帰還困難区域における道路改良工事の被ばく低減対策事例 ..... 寒河江和則・藤田巧一・市川佳成 ..... 45
- 特殊土(シラス)による大規模盛土工事の施工事例 ..... 石川透修・丹羽貴之 ..... 49
- 地震時の液状化対策工(タフロード工法)の施工事例 ..... 田村昌之・山田宣和・吉村昭則 ..... 53
- 大規模太陽光発電所建設工事の施工 ..... 林大喜・後藤正栄・堀隆雄 ..... 57

### 海外視察報告

- 世界三大建機展(INTERMAT 2018)に参加して ..... 阿部慎 ..... 61
- リラインヨーロッパ社視察報告 ..... 吉川智英 ..... 67

### 社外発表(土木学会第73回年次学術講演会平成30年8月)

- 加熱養生が再生アスファルト混合物の性状に与える影響 ..... 小林靖明・上地俊孝・東本崇 ..... 73
- 石貼り風半たわみ性舗装における目地デザインの記述化 ..... 武田有加里・嶋崎明代・堀繁・堀厚子 ..... 75
- 石貼り風半たわみ性舗装の変化部における目地デザインの記述化 ..... 嶋崎明代・武田有加里・堀繁・堀厚子 ..... 77
- メガソーラー防草対策の一事例 ..... 井手義勝・菅野善次郎・丸尾繁 ..... 79
- 乳剤散布装置付きアスファルトフィニッシャを用いた一般舗装の実路施工 ..... 小澤光一・小沼史則・小川隆也 ..... 81

### 社外発表(第14回北陸道路舗装会議平成30年5月)

- フィラーの性状がアスファルトモルタルに与える影響についての一考察 ..... 梅本敏史・木谷貴宏・鈴木徹 ..... 83
- 年間を通じた熱環境改善型舗装における路面温度評価 ..... 小嶋匠・掛札さくら ..... 87

### 社外誌掲載報文

- 国土交通省発注「道路休憩施設舗装他工事」におけるICT舗装工  
への取り組み(雑誌「建設マネジメント技術」2018年6月号) ..... 堀内貞夫・串田拓也 ..... 91
- 舗装用洗浄剤の効果と舗装への影響 舗装用洗浄剤の開発と評価 ..... 掛札さくら ..... 98  
(雑誌「北陸の建設技術」2018年11月号)
- 多様な道路汚れに対応した洗浄剤の開発 ..... 掛札さくら・澤田昭吾  
(雑誌「舗装」2018年1月号) ..... 報文記載なし
- 乳剤散布装置付きアスファルトフィニッシャの一般舗装への適用 ..... 小澤光一・渡邊満葉・横山昂洋・  
(雑誌「舗装」2018年4月号) ..... 報文記載なし ..... 菅野善次郎・細見耕平
- グースアスファルト舗装の施工継目に関する一検討 ..... 上地俊孝・川田良秀・鈴木徹  
(雑誌「舗装」2018年9月号) ..... 報文記載なし

## 企業理念

---

豊かな生活環境の創造に向けて  
地域社会と共に歩み  
人間尊重の経営を行います

企業理念を実現するための経営規範と行動規範

### 経営規範

---

1. 人々の期待に応え時代を先取りした技術により  
新たな価値を創ります
2. 創造力豊かな人を育て柔軟な組織のもとで  
生き生きとした職場を創ります
3. 良き企業市民として社会と文化の発展に寄与します

### 行動規範

---

1. 高める能力 2. 豊かに発想 3. たゆまぬ挑戦 4. ひろげる理解

# 再生アスファルト混合物の品質改善方法の検討

小林 靖明\*  
 上地 俊孝\*\*  
 松田 幸洋\*\*\*

## 1. 検討の背景と目的

現在、各アスファルト混合所において出荷している再生アスファルト混合物(以下、再生As混合物)について、顧客からたびたびクレームが寄せられることがある。そのクレームの内容は、①冷えやすい、②重い(施工性が悪い)、③締まりにくい、および④色が白っぽくなる、である。その他に、疲労抵抗性やはく離抵抗性についても、新規アスファルト混合物(以下、新規As混合物)に比べて、劣る可能性があることも懸念事項となっている。

そこで、今回、再生As混合物について、現在の再生骨材配合率を維持しつつ品質を改善する方法、さらには品質を改善しつつ再生骨材配合率を増加させる方法を確認し、顧客の確保および合材原価の低減を図ることを目的として検討を実施したので、その結果を報告する。

## 2. 検討の方針

- 本検討での方針を以下に示す。
- ・ 当社のアスファルト混合所を対象とする。
  - ・ 現状のプラント設備を用いた方法を検討する。
  - ・ 室内検討後、試験練りによって最終的に品質確認を行う。
  - ・ 配合設計は、針入度法によって行う。
  - ・ 現状の再生骨材配合率である60%を維持する。

## 3. 検討項目の抽出、検討フローおよび試験項目

### 3-1 検討項目の抽出

品質改善または再生骨材配合率増加に寄与する要因として、以下のことが考えられる。

- ①針入度調整の方法(新Asのみまたは再生用添加剤)
- ②新Asの種類(針入度)
- ③再生骨材の品質
- ④再生骨材の加熱温度
- ⑤再生用添加剤の投入位置(ドラム内噴射またはミキサ内噴射)
- ⑥再生用添加剤投入後の時間(サージビンまたは合材サイロ)

上記の①～③は材料、および④～⑥は製造方法に対する要因である。③の再生骨材の品質については、これまでの日常管理データによると品質の大きなばらつきはないので、今回の検討項目から除外した。

また、⑤の再生用添加剤の投入位置についても、中国支店における検討結果から、ドラム内噴射のほうが良好な品質になることが確認されているので、今回の検討項目から除外した。

### 3-2 検討フロー

検討フローを図-3.1に示す。

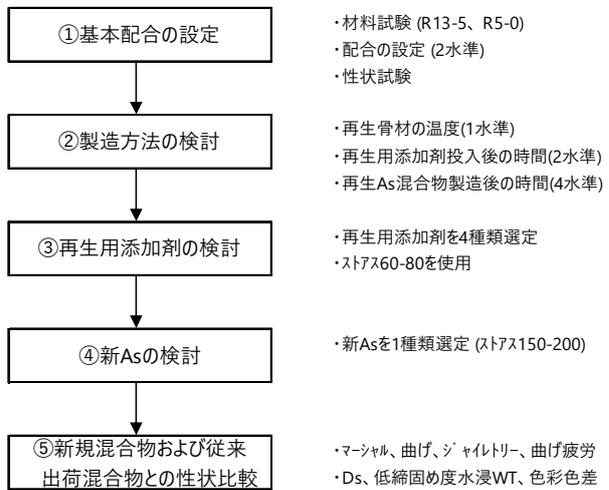


図-3.1 検討フロー

### 3-3 試験項目

今回の検討に使用した試験項目と試験方法の一覧を表-3.1に示す。

表-3.1 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法	摘要
最大密度試験	舗装調査・試験法便覧G027	
アスファルト針入度	舗装調査・試験法便覧A041、G029	
アスファルト含有量	舗装調査・試験法便覧G028	
再生骨材粒度	舗装調査・試験法便覧G028	
微粒分量	JIS A 1103	
圧裂係数	舗装再生便覧付録-2 アスファルトコンクリート再生骨材の圧裂係数の求め方	試験温度20°C
マーシャル特性値	舗装調査・試験法便覧B001	
圧裂係数	舗装再生便覧付録-3 再生アスファルト混合物の圧裂係数の求め方	試験温度20°C
曲げひずみ 曲げスティフネス	舗装調査・試験法便覧B005	試験温度20°C
シャイロトリ-回転数	舗装調査・試験法便覧B007	試験温度145°C
ほぐれ易さ	土木学会第69回年次学術講演会V-499参照	試験温度115°C
動的安定度	舗装調査・試験法便覧B003	試験温度60°C
はく離率	舗装調査・試験法便覧B004	締固め度96%
目視確認	舗装調査・試験法便覧S024	
疲労破壊回数	舗装調査・試験法便覧B018 T	ひずみ400、5Hz 試験温度5°C

\*技術研究所材料研究室研究員 \*\*同室主任研究員 \*\*\*同所東日本試験室主任研究員

## 4. 検討内容

### 4-1 基本配合の設定

#### (1) 試料調整・材料試験

検討に用いる再生骨材は、材料試験から試験練りまでに使用する量(おおむね 20t 程度)をあらかじめタイヤショベルで混合して、均一な状態でストックした。

基本配合を設定するために再生骨材の性状を確認した。新規骨材については、検討対象のアスファルト混合所(以下、プラント)の試験成績表を参照した。

材料試験の項目および数量を表-4.1 に示す。

表-4.1 試験項目および数量(材料試験)

試験項目	数量	摘要
最大密度試験	6試料	R13-5、R5-0 各3試料
旧 As 針入度	3試料	R13-5+R5-0混合
旧 As 含有量	6試料	R13-5、R5-0 各3試料
再生骨材粒度	6試料	R13-5、R5-0 各3試料
微粒分量	6試料	R13-5、R5-0 各3試料
圧裂係数	6試料	R13-5+R5-0混合

#### (2) 配合設計

プラントの配合設計書(再生密粒 As (13))を参考にして、材料試験結果に基づき配合設計を行った。配合設計方法については、針入度法(設計針入度への調整を再生用添加剤で行う場合)によって行い、ベースアスファルトはストアス 60/80 を使用して目標針入度 70 で実施した(以下、60/80 配合設計)。ただし、再生用添加剤の添加率が 10%以下になった場合は、最終的に新アスファルトのみで針入度調整した混合物との差が表れにくいことが想定されたので、別途に検討するものとした。

配合条件と配合設計にともなう試験項目および数量を表-4.2、4.3 に示す。

表-4.2 配合条件(60/80 配合設計)

配合名	60/80配合設計
条件No.	(A)
合成粒度	現状
As量	最適
再生骨材混入率	60%
新アスファルトの種類	60/80
再生用添加剤の種類	添加剤 I
目標針入度	70
再生骨材加熱温度	130°C
再生用添加剤投入後の養生時間	1h
合材サイロ貯蔵時間	0h

表-4.3 試験項目および数量(60/80 配合設計)

試験項目	数量	摘要
再生 As 針入度	2試料	添加量2水準
マーシャル特性値	7試料	5点法+OAC(標準・水浸)

#### (3) 60/80 配合設計の性状試験

60/80 配合設計の混合物の性状を確認した。その試験項目および数量を表-4.4 に示す。

表-4.4 混合物の性状試験項目および数量(60/80 配合設計)

試験項目	数量	摘要
再生混合物の圧裂係数	1試料	試験温度20°C
動的安定度	1試料	
曲げひずみ	1試料	試験温度20°C
曲げステイフネス		
シャイレトリ-回転数	1試料	試験温度145°C
ほぐれ易さ	1試料	試験温度115°C

### 4-2 製造方法の検討

以下に示す項目について、製造方法の検討を行い、その検討結果から、最適な製造方法を設定した。また、配合はプラントで現状出荷している再生混合物を再現した配合(以下、現状再現配合)を使用した。

製造方法の検討における混合物の性状試験項目および数量を表-4.5 に示す。

表-4.5 混合物性状の試験項目および数量(製造方法)

試験項目	数量	摘要
マーシャル特性値	18試料	(標準・水浸)×9水準
再生混合物の圧裂係数	9試料	試験温度20°C×9水準
曲げひずみ	9試料	試験温度20°C×9水準
曲げステイフネス		
シャイレトリ-回転数	9試料	試験温度145°C×9水準
ほぐれ易さ	9試料	試験温度115°C×9水準

#### (1) 再生骨材の加熱温度

再生骨材の加熱温度を変えて作製した供試体によって、再生 As 混合物の各性状試験を行った。

再生骨材の加熱温度は、旧アスファルトの性状に大きく影響することから、良質な再生 As 混合物の製造に対して重要な項目である。

骨材の加熱温度は、実際にプラントでの製造時の加熱温度である 165°C、および舗装再生便覧に規定されている加熱温度 130°C の 2 水準とした。

再生骨材の加熱温度による比較検討のための配合条件を表-4.6 に示す。

表-4.6 配合条件(再生骨材の加熱温度)

配合名	現状配合	
	(A)	(B)
条件No.	(A)	(B)
合成粒度	現状	
As量	現状	
再生骨材混入率	60%	
新アスファルトの種類	150/200	
再生用添加剤の種類	添加剤 I	
目標針入度	現状	
再生骨材加熱温度	165°C	130°C
再生用添加剤投入後の養生時間	1h	
合材サイロ貯蔵時間	0h	

(2)再生用添加剤投入後の養生時間

再生用添加剤投入後の養生時間を変えて作製した供試体によって各性状試験を行い、養生時間が旧 As の再生(馴染み)にどの程度影響するかを確認した。

再生用添加剤投入後の養生時間は、舗装再生便覧に規定されている方法では1時間であり、本条件は4-2の①で実施しているの、0時間と2時間の2水準を追加で実施した。

再生用添加剤投入後の養生時間による比較検討のための配合条件を表-4.7に示す。

表-4.7 配合条件(再生用添加剤投入後の養生時間)

配合名	現状再現		
条件No.	(C)	(A)	(D)
合成粒度	現状		
As量	現状		
再生骨材混入率	60%		
新アスファルトの種類	150/200		
再生用添加剤の種類	添加剤Ⅰ		
目標針入度	現状		
再生骨材加熱温度	165°C		
再生用添加剤投入後の養生時間	0h	1h	2h
合材サイロ貯蔵時間	0h		

※網掛けの配合については、既に試験を実施済み

(3)再生 As 混合物製造後の養生時間

再生 As 混合物製造後の養生時間を変えて作製した供試体によって、再生 As 混合物の各性状試験を行った。

プラントにおける合材サイロの貯蔵時間は、量的には設定しておらず、各プラントの判断に委ねられているのが現状で、おおむね最長24~48時間程度である。

良質な再生 As 混合物の製造には、旧 As が再生される(馴染む)時間が少なからず必要であり、サイロ貯蔵時間がこの「旧 As が馴染む時間」となっているものと考えられる。しかし、貯蔵時間が長くなりすぎると、熱劣化や酸化劣化などの問題も発生する。このことから、本検討に用いる再生 As 混合物製造後の貯蔵時間では、0時間はこれまでに実施しているの、追加で1、3、5、16、および24時間の5水準を選定した。

再生 As 混合物製造後の養生時間による比較検討のた

めの配合条件を表-4.8に示す。

表-4.8 配合条件(再生 As 混合物製造後の貯蔵時間)

配合名	現状再現					
条件No.	(A)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)
合成粒度	現状					
As量	現状					
再生骨材混入率	60%					
新アスファルトの種類	150/200					
再生用添加剤の種類	添加剤Ⅰ					
目標針入度	現状					
再生骨材加熱温度	165°C					
再生用添加剤投入後の養生時間	1h					
合材サイロ貯蔵時間	0h	1h	3h	5h	16h	24h

※網掛けの配合については、既に試験を実施済み

4-3 再生用添加剤の検討

各メーカーの再生用添加剤を使用して作製した供試体の性状試験結果から、品質と経済性を考慮して最適な再生用添加剤を選定した。なお、供試体作製方法は、舗装再生便覧に準拠した。また、配合として、60/80配合設計を使用した。

(1)検討に用いる再生用添加剤の選定

各種再生用添加剤および比較検討の配合条件を表-4.9、4.10に示す。表-4.9のうち、①添加剤Ⅰはプラントで使用しており{60/80配合設計(A)で使用}、②と③は潤滑オイルの発がん性の有無の指標となるPCA(多環芳香族分)が3%を超えているので、その他として④添加剤Ⅳ、⑤添加剤Ⅴ、⑥添加剤Ⅵ、および⑦添加剤Ⅶの4種類について検討することとした。

表-4.10 配合条件(再生用添加剤の選定)

配合名	60/80配合設計				
条件No.	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
合成粒度	現状				
As量	最適				
再生骨材混入率	60%				
新アスファルトの種類	60/80				
再生用添加剤の種類	添加剤Ⅰ	添加剤Ⅳ	添加剤Ⅴ	添加剤Ⅵ	添加剤Ⅶ
目標針入度	70				
再生骨材加熱温度	130°C				
再生用添加剤投入後の養生時間	1h				
合材サイロ貯蔵時間	0h				

※網掛けの配合については、既に試験を実施済み

表-4.9 各種再生用添加剤

再生用添加剤種別	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
	添加剤Ⅰ	添加剤Ⅱ	添加剤Ⅲ	添加剤Ⅳ	添加剤Ⅴ	添加剤Ⅵ	添加剤Ⅶ
60°C粘度 (mm <sup>2</sup> /s)	107	840	270	83.8	83.0	170	185.4
芳香族 (%)	15.2	37.3	63.9	63.2	15.0	49.7	環分析※ %CA 18.1 %CN 22.2 %CP 59.7
アスファルテン (%)	0	0.2	0.4	0.4	-	0	
レジン (%)	1.2	13.9	13.3	3.8	5.3	4.3	
飽和分 (%)	83.6	47.5	22.4	32.6	79.7	46.0	PCA規制対応
PCA (%)	2.4	対象外(10.2)	3以上	3未満	2.7	3未満	
針入度増加率(添加剤10%) (%)	264	195	200	478	260	204	NR

※ CA：芳香族成分含有率、CN：ナフテン系成分含有率、CP：パラフィン系成分含有率

(2)各再生用添加剤を用いた基本配合の性状試験

再生アスファルトの針入度試験によって、目標針入度となる各添加剤量を設定し、各添加剤を用いた基本配合の性状試験を行った。また、供試体の色・艶についても注意深く観察した。

各再生用添加剤の比較検討における混合物の性状試験項目および数量を表-4.11に示す。

表-4.11 混合物の性状試験項目および数量(基本配合)

試験項目	数量	摘要
再生Asの針入度	12試料	添加量3水準×添加剤4種類
マーシャル特性値	8試料	(標準・水浸)×添加剤4種類
再生混合物の圧裂係数	4試料	試験温度20°C×添加剤4種類
曲げひずみ	4試料	試験温度20°C×添加剤4種類
曲げスティフネス		
シャイレトリ-旋回数	4試料	試験温度145°C×添加剤4種類
ほぐれ易さ	4試料	試験温度115°C×添加剤4種類
屋外暴露試験	5試料	添加剤4種類

4-4 新アスファルト種別の検討

新アスファルトで針入度調整した再生As混合物の性状試験結果から、品質と経済性を考慮して最適な新アスファルト種別を選定した。なお、供試体作製方法は、舗装再生便覧に準拠した。

(1)配合設計

配合設計は以下の手順で行った。配合条件と針入度調整にともなう試験項目および数量を表-4.12、4.13に示す。

- ①StAs60/80とStAs150/200を用いて針入度調整を行う(StAs60/80はすでに実施済み)。
- ②基本配合における再生骨材配合割合と同等となる新As量と再生用添加剤量を決定する。なお、As量は60/80配合設計の最適As量とし、再生用添加剤は4-3の検討で選定したものを使用する。

表-4.12 配合条件(新アスファルト種別)

配合名	60/80配合設計	150/200配合設計
条件No.	(A)	(B)
合成粒度	現状	
As量	最適	
再生骨材混入率	60%	
新アスファルトの種類	60/80	150/200
再生用添加剤の種類	4-3での選定品	
目標針入度	70	
再生骨材加熱温度	130°C	
再生用添加剤投入後の養生時間	1h	
合材サイロ貯蔵時間	0h	

※網掛けの配合については、既に試験を実施済み

表-4.13 針入度調整にともなう試験項目および数量

試験項目	数量	摘要
再生Asの針入度	12試料	添加量3水準×新As1種類

(2)性状試験

新アスファルトで調整した再生As混合物の性状試験を行った。再生As混合物の性状試験項目および数量を表-4.14に示す。

表-4.14 各再生As混合物の性状試験項目および数量

試験項目	数量	摘要
マーシャル特性値	2試料	(標準・水浸)×1水準
再生混合物の圧裂係数	1試料	試験温度20°C×新A1
曲げひずみ	1試料	試験温度20°C×新A1
曲げスティフネス		
シャイレトリ-旋回数	1試料	試験温度145°C×新A1
ほぐれ易さ	1試料	試験温度115°C×新A1
屋外暴露試験	1試料	添加剤4種類

4-5 各種As混合物の比較検討

下記の①～③の各種As混合物について性状を比較し、①が③に比べ良好な性状を示した場合、その混合物を試験練りに使用するものとし、さらに再生骨材混入量の増加に対する検討を行った。一方、①が③に比べ性状が劣った場合、試験練りは行わないものとした。

配合条件と各種混合物の性状試験項目および数量を表-4.15、4.16に示す。なお、その表には、再生骨材混入量の増加に対する検討は含まれていない。

- ①最適な製造方法・最適な再生用添加剤・最適な新アスファルトを使用した再生As混合物
- ②新規As混合物(プラントの配合)
- ③プラントで現在出荷している再生As混合物

表-4.15 配合条件(各種As混合物)

配合名	選定配合	現状配合	新規As混合物
合成粒度	現状		※
As量	現状		
再生骨材混入率	60%		
新アスファルトの種類	5-4で選定	150/200	
再生用添加剤の種類	5-3で選定	添加剤I	
目標針入度	現状		
再生骨材加熱温度	165°C		
再生用添加剤投入後の養生時間	1h		
合材サイロ貯蔵時間	3h		

※プラントの密粒度As混合物(13)の配合より作製

表-4.16 各種As混合物の性状試験項目および数量

試験項目	数量	摘要
マーシャル特性値	4試料	(標準・水浸)×2種類
再生混合物の圧裂係数	2試料	試験温度20°C×2種類
曲げひずみ	8試料	耐候性試験有無20°C×2種類+1 耐候性試験無-10°C×3種類
曲げスティフネス		
シャイレトリ-旋回数	5試料	温度2水準(145、115°C) ×2種類+1
ほぐれ易さ	2試料	試験温度115°C×2種類
動的安定度	3試料	
はく離率	3試料	締固め度90%
目視確認	3試料	
疲労破壊回数	3試料	ひずみ400、5Hz、試験温度5°C

耐候性試験の試験条件を表-4.17 に示す。本検討では耐候性試験機を用いて、表-4.17 に示す条件を 46 日間行うことで、屋外暴露 1 年経過後の再生 As 混合物として曲げ試験を行った。

表-4.17 耐候性試験の条件

名称	ステップ	照度 (W/m <sup>2</sup> )	室温 (°C)	光照射 (分)	光照射+スプレー (分)
ASTM G155	1サイクル	0.68	48	102	-
	2サイクル	0.68	48	-	18

※照度については装置の最大値である0.68W/m<sup>2</sup>で紫外線340nmで実施

#### 4-6 貯蔵時間による選定配合と現状配合の比較検討

##### (1) 選定配合と現状配合の貯蔵時間による配合条件

2 種類の再生用添加剤を使用して再生 As 混合物を作製し、貯蔵時間毎の熟劣化の度合いを比較検討した。再生 As 混合物の貯蔵は 0h、3h および 16h の 3 水準とし、再生用添加剤種別による貯蔵の劣化の影響を検討した。

貯蔵時間の検討における選定配合と現状配合を表-4.18 に、混合物性状の試験項目および数量を表-4.19 に示す。

表-4.18 配合条件(貯蔵時間)

配合名	選定配合			現状配合		
	条件No.	(D)	(A)	(E)	(F)	(B)
合成粒度	現状					
As量	現状					
再生骨材混入率	60%					
新アスファルトの種類	150/200					
再生用添加剤の種類	添加剤Ⅳ			添加剤Ⅰ		
目標針入度	現状					
再生骨材加熱温度	165°C					
再生用添加剤投入後の養生時間	1h					
合材サイロ貯蔵時間	0h	3h	16h	0h	3h	16h

※網掛けの配合については、既に試験を実施済み

表-4.19 混合物性状試験項目および数量(貯蔵時間)

試験項目	数量	摘要
再生混合物の圧裂係数	6試料	添加剤2種類×貯蔵時間3水準
曲げひずみ	6試料	添加剤2種類×貯蔵時間3水準
曲げスティフネス		

## 5. 検討結果

### 5-1 基本配合の設定

#### 5-1-1 試料調整・材料試験

再生骨材の材料試験結果を表-5.1 に示す。

表-5.1 材料試験結果(再生骨材)

項目	単位	試験値		規格値
		R13-5	R5-0	
最大密度試験	g/cm <sup>3</sup>	2.578	2.441	-
旧 As 針入度	1/10mm	21		20以上*
旧 As 含有量	%	2.80	6.22	3.8以上*
微粒分量	%	0.81	2.88	5以下*
圧裂係数	MPa/mm	1.18		1.7以下*

※ R13-5、R5-0を配合設計量、混合した時の規格値

### 5-1-2 配合設計

プラントの配合設計書(再生密粒 As 混合物(13))を参考に、材料試験結果に基づき配合設計を行った。配合設計は針入度法によって行い、ベースアスファルトに StAs60/80 を使用して目標針入度 70 で実施した(以下、60/80 配合設計)。

再生混合物の配合表を表-5.2 に、再生用添加剤量と再生 As 量を表-5.3 に示す。配合設計の結果、再生 As 量は 5.9%で、再生用添加剤Ⅰの添加率は旧 As に対して 14.90%、再生 As 混合物に対して 0.49%であった。添加剤Ⅰを使用した再生 As 混合物の性状試験結果に関しては、「5-3 再生用添加剤の選定(検討④)」で他の再生用添加剤の混合物性状と併せて記述する。

表-5.2 再生混合物の配合表

	6号砕石	7号砕石	砕砂	細目砂	RC13-5	RC5-0	アスファルト	計
骨材のみ配合率 (%)	13.7	7.4	10.6	7.9	13.4	47.0	-	100.0
旧As含む配合率 (%)	12.9	7.0	10.0	7.4	13.0	47.1	2.6	100.0
	旧As量		0.39%	2.92%				

表-5.3 再生混合物の再生用添加剤量と再生 As 量

		配合
再生用添加剤量(針入度調整) (%)		14.90
再生 As 量 OAC 5.9%	新As60-80 (%)	2.11
	再生用添加剤 (%)	0.49
	旧As (%)	3.30

### 5-2 製造方法の検討

プラントで現状出荷している再生 As 混合物を再現した配合(以下、現状再現配合)によって、製造方法の検討を行った。検討内容は、①再生骨材の加熱温度による比較、②再生用添加剤投入後の養生時間による比較、および③再生 As 混合物製造後の貯蔵時間による比較の 3 項目である。

#### 5-2-1 再生骨材の加熱温度(検討①)

##### (1) 配合条件

プラントの製造時における再生骨材の加熱温度である 165°C、および舗装再生便覧に規定された再生骨材の加熱温度 130°C の 2 水準で、再生 As 混合物を作製し各種性状試験を行った。再生骨材の加熱温度による比較検討の配合条件を表-5.4 に示す。

表-5.4 配合条件(検討①)

配合名	現状再現	現状再現
条件No.	(A)	(B)
合成粒度	現状	
As量	現状	
再生骨材混入率	60%	
新アスファルトの種類	150/200	
再生用添加剤の種類	添加剤Ⅰ	
目標針入度	現状	
再生骨材加熱温度	165°C	130°C
再生用添加剤投入後の養生時間	1h	
合材サイロ貯蔵時間	0h	

(2)マーシャル特性値

再生骨材の加熱温度の異なる再生 As 混合物(13)のマーシャル特性値を表-5.5 に示す。再生骨材の加熱温度を低くすることで、混合物の密度が高く、空隙率は小さく、かつ、安定度および残留安定度は大きい値を示した。両水準とも密粒 As 混合物(13)の基準範囲を満足した。

表-5.5 マーシャル特性値(検討①)

再生骨材の加熱温度		130℃	160℃	密粒As(13) 基準範囲
マーシャル 特性値	かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.378	2.353	-
	空隙率 (%)	3.3	4.3	3~6
	安定度 (kN)	13.14	11.63	4.90以上
	残留安定度 (%)	90.0	87.8	75以上

(3)圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス

再生骨材の加熱温度の異なる再生 As 混合物(13)の圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネスの結果を表-5.6 に示す。再生骨材の加熱温度を 35℃低くすることで、再生混合物の圧裂係数は 0.08 小さくなり、破断時の曲げひずみは 0.6、および曲げスティフネスは 140 程度大きくなった。

表-5.6 圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス(検討①)

再生骨材の加熱温度		130℃	160℃	一般地域 設計値
圧裂	圧裂係数 (MPa/mm)	0.59	0.67	0.60~0.90
曲げ (20℃)	曲げひずみ (×10 <sup>-2</sup> )	2.0	1.4	-
	曲げスティフネス (MPa)	192.5	333.6	-

(4)ジャイレトリー旋回数とほぐれ易さ

再生骨材の加熱温度の異なる再生 As 混合物(13)のジャイレトリー旋回数(回)とほぐれ易さの結果を表-5.7 に示す。ジャイレトリー旋回数とは、一定量のアスファルト混合物を 145℃で締固めた時に厚さ 66mm に達した時の旋回数を表しており、その数値が小さいほど締固め易い混合物といえる。ジャイレトリー試験の結果、再生骨材の加熱温度を低くしたことで、再生混合物のジャイレトリー旋回数が小さくなり、締固め易い混合物となった。

ほぐれ易さ試験は、所定の締固めを与えた混合物に対して、上面から一定の荷重を載下し、供試体が崩壊する(ほぐれる)までの時間を計測して評価する試験であり、ほぐれるまでの載下時間が短いほどほぐれ易い混合物といえる。ただし、骨材の噛み合わせなどで試験値がばらつく試験であるので、本検討では参考値程度とした。

ほぐれ易さ試験の結果、再生骨材の加熱温度を 165℃から 130℃にしたことで、再生混合物は 20 秒程度ほぐれる時間が短くなった。

表-5.7 ジャイレトリー旋回数とほぐれ易さ(検討①)

再生骨材の加熱温度		130℃	160℃
ジャイレトリー(145℃)	旋回数 (回)	27	39
作業性評価(115℃)	ほぐれ易さ (秒)	32.7	52.7

(5)結果のまとめ(検討①)

再生骨材の加熱温度をプラントにおける 165℃から 35℃低減させて 130℃にすることで、密度が高いたわみ追従性に優れ、かつ、締固め易くほぐれ易い施工性の良好な再生 As 混合物となった。これは、再生骨材の加熱温度を低くしたことで、旧アスファルトの劣化や、再生用添加剤の揮発を抑えられたことによると考えられる。

5-2-2 再生用添加剤投入後の養生時間(検討②)

(1)配合条件

再生用添加剤投入後の養生時間を変えて作製した供試体によって各種性状試験を行った。再生用添加剤投入後の養生時間による比較検討の配合条件を表-5.8 に示す。

表-5.8 配合条件(検討②)

配合名	現状再現		
条件No.	(C)	(A)	(D)
合成粒度	現状		
As量	現状		
再生骨材混入率	60%		
新アスファルトの種類	150/200		
再生用添加剤の種類	添加剤 I		
目標針入度	現状		
再生骨材加熱温度	165℃		
再生用添加剤投入後の養生時間	0h	1h	2h
合材サイロ貯蔵時間	0h		

※網掛けの配合については、既に試験を実施済み

(2)マーシャル特性値

再生用添加剤投入後の養生時間とマーシャル特性値の結果を表-5.9 に示す。

添加剤投入後の養生時間を長くすることで密度とび安定度は低下し、残留安定度は増加する傾向がみられた。

表-5.9 マーシャル特性値(検討②)

再生用添加剤投入後の養生時間		0h	1h	2h	密粒As(13) 基準範囲
マーシャル 特性値	かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.367	2.353	2.354	-
	空隙率 (%)	3.8	4.3	3.9	3~6
	安定度 (kN)	12.74	11.63	11.14	4.90以上
	残留安定度 (%)	79.6	87.8	104.3	75以上

(3)圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス

再生用添加剤投入後の養生時間による圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネスの結果を表-5.10 に示す。添加剤投入後の養生時間にかかわらず、圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネスに大きな変化はみられなかった。

表-5.10 圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス(検討②)

再生用添加剤投入後の養生時間		0h	1h	2h
圧裂	圧裂係数 (MPa/mm)	0.590	0.667	0.627
曲げ (20℃)	曲げひずみ (×10 <sup>-2</sup> )	1.4	1.4	1.2
	曲げスティフネス (MPa)	345	334	397

(4) ジャイレトリー回転数とほぐれ易さ

再生用添加剤投入後の養生時間によるジャイレトリー回転数とほぐれ易さの結果を表-5.11 と図-5.1、5.2 に示す。再生用添加剤投入2時間後がもっとも締固まりにくくなり、また、ほぐれ易さについては、再生用添加剤投入後1時間がもっともほぐれにくい結果となった。

表-5.11 ジャイレトリー回転数およびほぐれ易さ(検討②)

再生用添加剤投入後の養生時間		0h	1h	2h
ジャイレトリー(145°C)	回転数 (回)	39	39	52
作業性評価(115°C)	ほぐれ易さ (秒)	34.3	52.7	20.7

再生用添加剤投入後の養生時間を変化させた場合のほぐれ易さとジャイレトリー回転数の結果を図-5.3 に示す。図に示すように、ほぐれ易さとジャイレトリー回転数との間の決定係数 R2 は0.6718 となり、相関性がみられた。

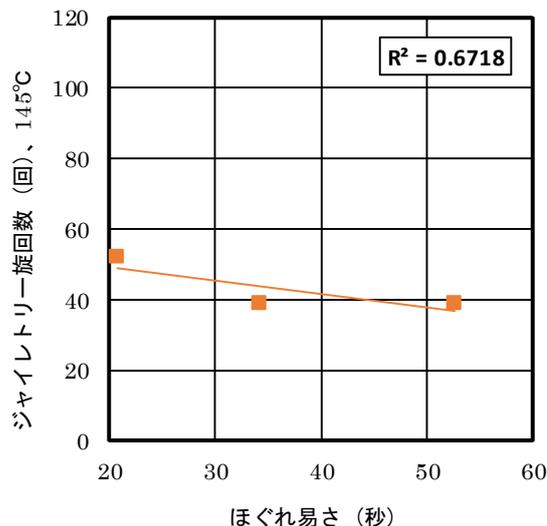


図-5.3 ほぐれ易さとジャイレトリー回転数の関係

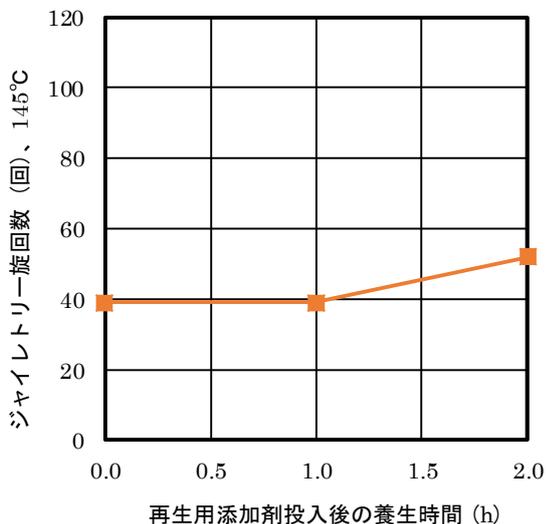


図-5.1 添加剤投入後の養生時間とジャイレトリー回転数の関係

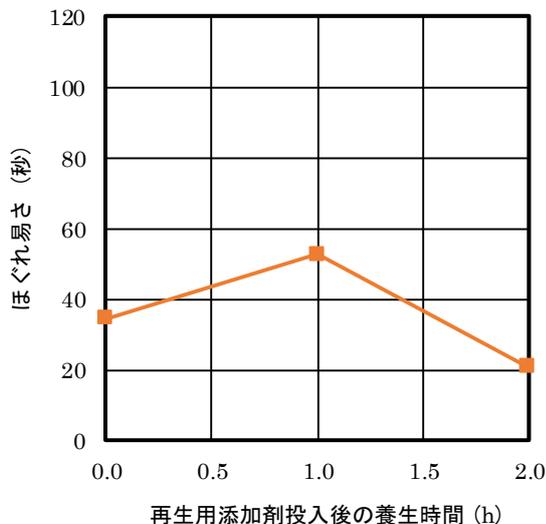


図-5.2 添加剤投入後の養生時間とほぐれ易さの関係

(5) 結果のまとめ(検討②)

再生用添加剤投入後の養生時間を長くすることで、再生 As 混合物の密度は低下し、締固まりにくい傾向にあったが、圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネスには大きな性状の変化はみられなかった。

再生用添加剤投入後の養生時間を長くしたことによる、当初に期待していた旧アスファルトの回復や混合物の物理性状の改善はみられなかった。その要因の一つとして、再生用添加剤投入後の加熱養生によって、旧アスファルトの劣化が促進されたことや、再生用添加剤が揮発したことが考えられる。

5-2-3 再生 As 混合物製造後の貯蔵時間(検討③)

(1) 配合条件

再生 As 混合物製造後の貯蔵時間を変えて作製した供試体によって各種性状試験を行った。再生 As 混合物製造後の貯蔵時間による比較検討のための配合条件を表-5.12 に示す。

表-5.12 配合条件(検討③)

配合名	現状再現					
	(A)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)
条件No.						
合成粒度	現状					
As量	現状					
再生骨材混入率	60%					
新アスファルトの種類	150/200					
再生用添加剤の種類	添加剤 I					
目標針入度	現状					
再生骨材加熱温度	165°C					
再生用添加剤投入後の養生時間	1h					
合材サイロ貯蔵時間	0h	1h	3h	5h	16h	24h

※網掛けの配合については、既に試験を実施済み

(2) 圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス

再生 As 混合物製造後の貯蔵時間による圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネスの結果を表-5.13 に示す。再生 As 混合物製造後の貯蔵時間の経過にともなって、圧裂係数および曲げスティフネスは大きくなり、曲げひずみは低下する傾向がみられた。このことから、再生 As

混合物は、貯蔵時間の経過にもなって硬く脆くなっているといえる。

表-5.13 圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス(検討③)

貯蔵時間		0h	1h	3h	5h	16h	24h	一般地域 設計値
圧裂	圧裂係数 (MPa/mm)	0.67	0.72	0.71	1.00	1.11	1.01	0.60~0.90
曲	曲げひずみ ( $\times 10^{-2}$ )	1.4	1.1	0.8	0.8	0.5	0.4	-
げ	曲げスティフネス (MPa)	334	448	788	800	1272	1168	-

(3) ジャイレトリー回転数とほぐれ易さ

再生 As 混合物製造後の貯蔵時間によるジャイレトリー回転数とほぐれ易さの結果を、表-5.14 に示す。貯蔵 24 時間後のほぐれ易さは、試験開始後 10 分以上ほぐれなかったもので、測定不能とした。

貯蔵後 5h までは締固め易さは同程度であったが、貯蔵後 16~24h の間で締固まりにくい混合物となった。また、貯蔵時間の経過にもなってほぐれにくい混合物となった。

表-5.14 ジャイレトリー回転数とほぐれ易さ

貯蔵時間		0h	1h	3h	5h	16h	24h
ジャイレトリー(145°C)	回転数 (回)	39	40	34	32	49	296
作業性評価(115°C)	ほぐれ易さ (秒)	52.7	60.3	72.3	66.0	-	測定不能

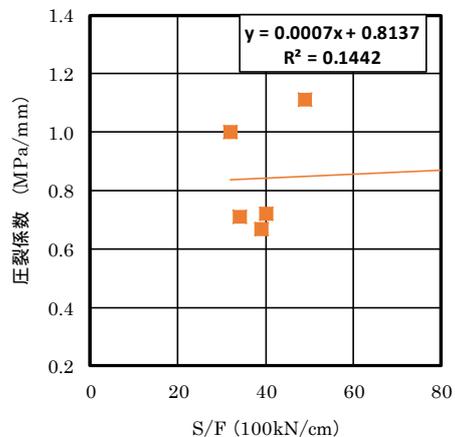
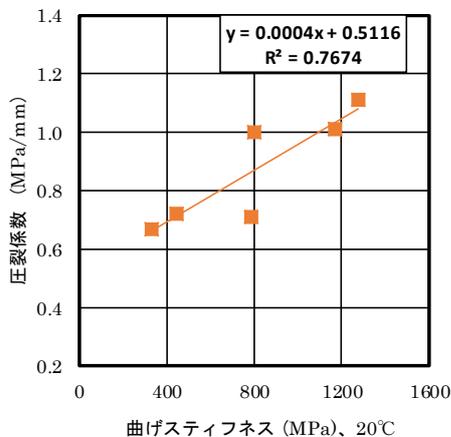
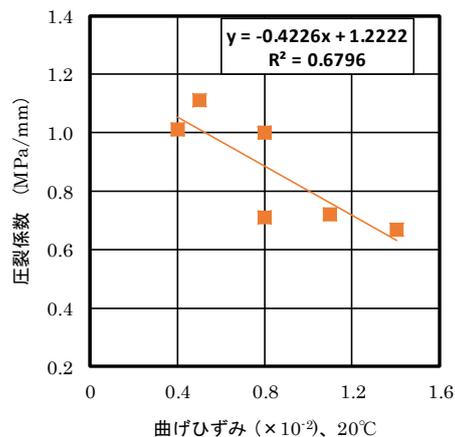
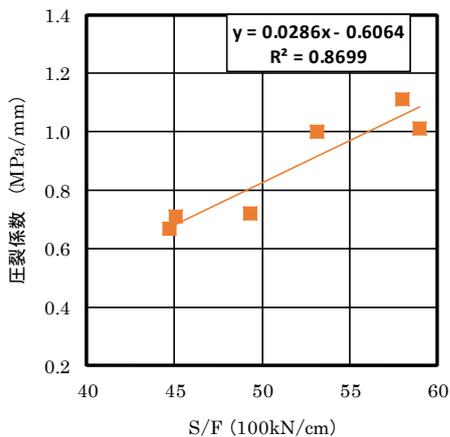


図-5.4 再生 As 混合物製造後の貯蔵時間による圧裂係数と物理性状の関係

(4) 圧裂係数と物理性状との相関性

再生 As 混合物製造後の貯蔵時間による圧裂係数と S/F、曲げひずみ、曲げスティフネス、およびジャイレトリー回転数との関係をそれぞれ図-5.4 に示す。再生 As 混合物製造後の貯蔵時間による圧裂係数とそれぞれの性状試験結果との間の決定係数の絶対値は、S/F、曲げひずみ、および曲げスティフネスにおいて、それぞれ 0.8699、0.6796、および 0.7674 であり、高い相関性がみられた。一方で、圧裂係数とジャイレトリー回転数との間の決定係数の絶対値は負の 0.1547 であり、低い相関性であった。

圧裂係数と S/F、曲げひずみ、および曲げスティフネスに高い相関性がみられた理由は、再生 As 混合物製造後の貯蔵時間の経過によって再生 As 混合物が劣化し、硬く脆くなる性状が試験値として表れたことによる。また、プラントにおいて比較的簡易に行える圧裂試験から求めた圧裂係数と、S/F、曲げひずみおよび曲げスティフネスとの相関性が高いので、再生 As 混合物製造後の加熱養生による劣化度合いの評価手法の一つとして、圧裂試験は有用である可能性がある。

(5)結果のまとめ(検討③)

再生 As 混合物は、貯蔵時間の経過にともなって圧裂係数、曲げスティフネスが上昇し、曲げひずみが低下していることから、硬くなり、たわみ追従性が低下しているものと考えられる。その要因の一つとして、再生 As 混合物製造後の貯蔵の時間経過によって As が劣化し、硬質化したことが考えられる。

ただし、本検討はプラントで再生 As 混合物を加熱サイロに貯蔵した場合よりも小スケールで加熱養生しているので、熱による劣化を受けやすい条件である。したがって、加熱サイロへの貯蔵時間の適正範囲を本検討では断定できないが、加熱養生時間が長くなるにしたがって再生 As 混合物が劣化していくことが示唆された。

また、プラントにおいて比較的簡易に行える圧裂試験から求めた圧裂係数と、S/F および曲げひずみ・曲げスティフネスの相関性が高いので、再生 As 混合物製造後の加熱養生による劣化度合いを評価する手法の一つとして、圧裂試験は有用な試験方法の可能性がある。

5-3 再生用添加剤の選定(検討④)

表-4.9 に示すような再生用添加剤を使用して作製した供試体の性状試験結果から、最適な再生用添加剤を選定するための検討を行った。

(1)検討に用いた再生用添加剤

各メーカーの再生用添加剤における配合条件を表-5.15 に示す。表-4.9 のうち、①添加剤 I はプラントで使用しており {60/80 配合設計(A)で使用}、②と③は潤滑オイルの発がん性の有無の指標となる PCA(多環芳香族分)が3%を超えているので、その他の④添加剤IV、⑤添加剤V、⑥添加剤VI、および⑦添加剤VIIの4種類について検討した。

表-5.15 配合条件(検討④)

配合名	60/80配合設計				
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
条件No.					
合成粒度	現状				
As量	最適				
再生骨材混入率	60%				
新アスファルトの種類	60/80				
再生用添加剤の種類	添加剤 I	添加剤 V	添加剤 VII	添加剤 VI	添加剤 IV
目標針入度	70				
再生骨材加熱温度	130°C				
再生用添加剤投入後の養生時間	1h				
合材サイロ貯蔵時間	0h				

(2)再生 As 混合物の添加量と単価

各再生用添加剤で針入度を調整した再生 As 混合物の添加量を表-5.16 に示す。旧 As を針入度 70 に回復させるための再生用添加剤の添加量は、添加剤IV<添加剤V<添加剤I<添加剤VI<添加剤VIIの順で低い量であった。

表-5.16 各再生用添加剤で調整した再生 As 混合物の添加量

再生用添加剤種別	添加剤 I	添加剤 IV	添加剤 V	添加剤 VI	添加剤 VII
再生用添加剤量 (%) (対旧As)	14.9	13.3	14.2	15.7	17.9
バインダー量					
新As60-80(%)	2.11	2.15	2.13	2.08	2.01
OAC 5.9%					
再生用添加剤(%)	0.49	0.44	0.47	0.52	0.59
(対混合物)					
旧As(%)	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30

(3)マーシャル特性値

再生用添加剤の違いによるマーシャル特性値の結果を表-5.17 に示す。再生用添加剤の違いによって、密度、空隙率、および安定度に若干の性状の違いはみられたが、ほぼ同程度であった。残留安定度は、添加剤 I が他の再生用添加剤と比較して良好であった。すべての再生用添加剤において、密粒 As 混合物(13)の基準範囲を満足した。

表-5.17 マーシャル特性値(検討④)

再生用添加剤種別	添加剤 I	添加剤 V	添加剤 VII	添加剤 VI	添加剤 IV	密粒As(13)基準範囲
かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.353	2.361	2.353	2.357	2.352	-
空隙率 (%)	4.0	3.7	4.0	3.9	4.1	3~6
安定度 (kN)	11.1	11.2	9.5	10.3	10.3	4.90以上
残留安定度 (%)	103.3	84.1	92.6	85.9	82.6	75以上

(4)圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス

再生用添加剤の違いによる圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネスの結果を表-5.18 に示す。再生用添加剤の違いによる圧裂係数、曲げひずみ、および曲げスティフネスに差異はみられなかった。

表-5.18 圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス(検討④)

再生用添加剤種別	添加剤 I	添加剤 V	添加剤 VII	添加剤 VI	添加剤 IV	一般地域設計値
圧裂	0.59	0.54	0.56	0.58	0.62	0.60~0.90
曲げ						
曲げひずみ (×10 <sup>-2</sup> )	2.5	2.5	2.1	2.4	2.3	-
曲げスティフネス (MPa)	144	121	144	134	129	-

(5)ジャイレトリー回転数とほぐれ易さ

再生用添加剤の違いによるジャイレトリー回転数とほぐれ易さの結果を表-5.19 に示す。ジャイレトリー回転数の結果から、添加剤 I と添加剤 V がもっとも締めやすく、添加剤 V と添加剤 VII がもっともほぐれ易い混合物であった。

添加剤 I と添加剤 V は、飽和成分が多く、また、添加剤 VII は環成分中のパラフィン成分が多い。このことから、飽和成分やパラフィン成分が多い再生用添加剤は、施工時の作業性に優れているといえる。

表-5.19 ジャイレトリー回転数とほぐれ易さ(検討④)

再生用添加剤種別	添加剤 I	添加剤 V	添加剤 VII	添加剤 VI	添加剤 IV
ジャイレトリー(145°C)	27	27	37	39	46
作業性評価(115°C)					
ほぐれ易さ (秒)	20.3	13.3	13.3	21.0	24.3

(6)暴露供試体の状況

再生用添加剤の違いによる暴露供試体の変化を、作製直後から暴露3か月後まで観察した状況を写真-5.1 に示す。作製直後から3か月が経過すると、すべての再生

As 混合物が同程度の色落ちをしていた。したがって、再生用添加剤による色の違いはみられなかった。

#### (7) 結果のまとめ(検討④)

再生用添加剤を使用し針入度を70に調整した再生As混合物のマーシャル特性値、圧裂係数、曲げひずみ、および曲げスティフネスに違いはみられなかった。ジャイレトリ回転数は添加剤Iと添加剤Vがもっとも締めめ易く、添加剤VIIと添加剤Vがもっともほぐれ易かった。添加剤Iと添加剤Vは飽和成分が多く、また、添加剤VIIは環成分中のパラフィン成分が多い。したがって、飽和成分やパラフィン成分が多い再生用添加剤は施工時の作業性に優れているといえる。各再生用添加剤を使用した暴露供試体では、3か月が経過しても添加剤による色の違いはみられなかった。

プラントで現状使用している添加剤I、添加剤V、および添加剤VIIは、他の再生用添加剤と比べて施工性が良好であった。

飽和成分と芳香族成分割合の違いによって再生As混合物にどのような影響があるかを確認するために、アスファルトとの馴染みが良好である芳香族成分の割合がもっとも多い添加剤IVを選定した。

#### 5-4 新アスファルト種別による検討(検討⑤)

新アスファルトで針入度調整した再生As混合物の性状試験結果から、品質と経済性を考慮して最適な新アスファルト(StAs60/80、StAs150/200)を選定した。

#### (1) 配合条件

配合設計は、StAs60/80とStAs150/200の2種類を用いて針入度調整を行った(StAs60/80の配合設計は5-3の検討で実施済み)。再生アスファルト量は60/80配合設計時の最適アスファルト量である5.9%を、また、再生用添加剤は5-3の検討で選定した添加剤IVを使用した。新アスファルト種別による検討における配合条件を表-5.20に示す。

表-5.20 配合条件(検討⑤)

配合名	60/80配合設計	150/200配合設計
条件No.	(A)	(B)
合成粒度	現状	
As量	最適	
再生骨材混入率	60%	
新アスファルトの種類	60/80	150/200
再生用添加剤の種類	添加剤IV	
目標針入度	70	
再生骨材加熱温度	130°C	
再生用添加剤投入後の養生時間	1h	
合材サイロ貯蔵時間	0h	

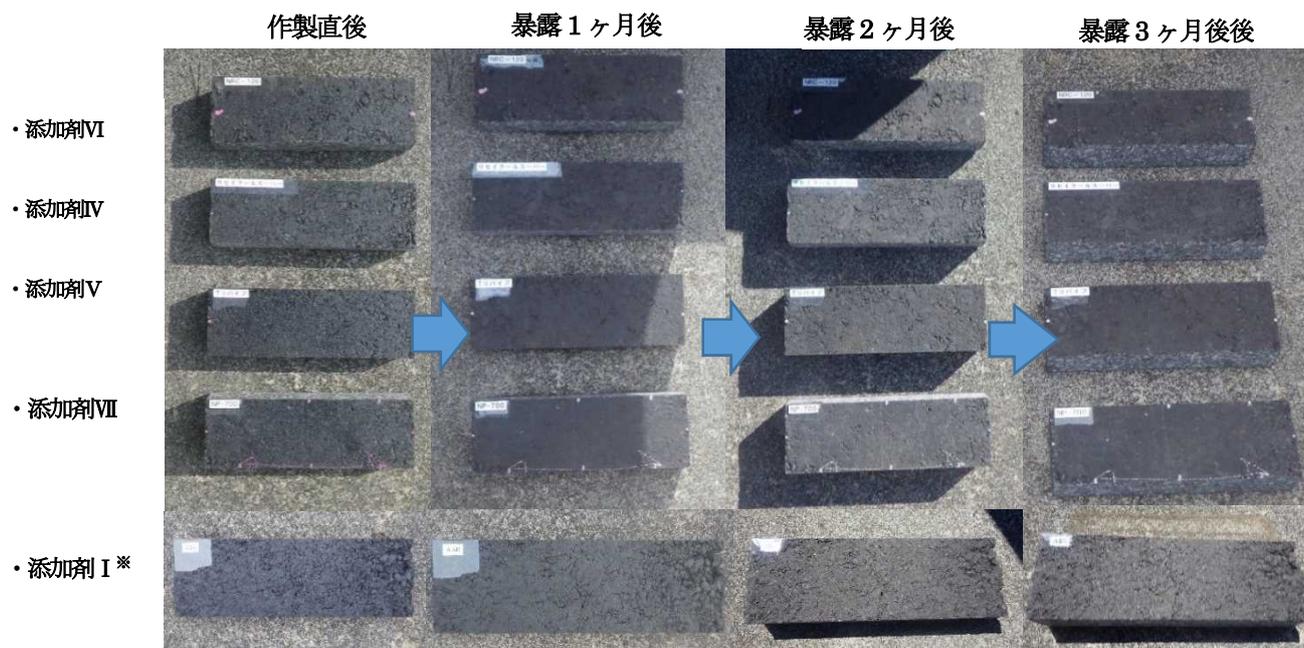
※網掛けの配合については、既に試験を実施済み

#### (2) 再生As混合物のAs量

各新アスファルト(StAs60/80、StAs150/200)で調整した再生As混合物のAs量を表-5.21に示す。

表-5.21 各新アスファルトで調整した再生As混合物のAs量

新StAs種別	StAs60/80		StAs150/200	
針入度	70		70	
As量	新StAs60/80量	2.15%	新StAs150/-200量	2.36%
	再生用添加剤量	0.44%	再生用添加剤量	0.24%
	旧As量	3.30%	旧As量	3.30%



※ 添加剤Iを使用した再生As混合物に関しては、作製時期が他の4種と異なるので、別撮りで撮影している。

写真-5.1 暴露供試体の経過状況

(3)マーシャル特性値

新アスファルトの違いによるマーシャル特性値を表-5.22 に示す。StAs150/200 を使用した配合は、StAs60/80 を使用した配合に比べて、再生 As 混合物の密度が高く空隙率は小さく、かつ、安定度と残留安定度は大きい値を示した。また、密粒 As 混合物(13)の基準範囲は両条件とも満足した。

表-5.22 マーシャル特性値(検討⑤)

新As種別		StAs 60/80	StAs 150/200	密粒As(13) 基準範囲
マーシャル 特性値	かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.352	2.362	—
	空隙率 (%)	4.1	3.6	3~6
	安定度 (kN)	10.34	12.19	4.90以上
	残留安定度 (%)	82.6	85.2	75以上

(4)圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス

新アスファルトの違いによる圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネスの結果を表-5.23 に示す。

新アスファルトの違いによる再生 As 混合物の圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネスに多少の違いはみられたが、ほぼ同程度の値であった。

表-5.23 圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス(検討⑤)

新As種別		StAs 60/80	StAs 150/200	一般地域 設計値
圧裂	圧裂係数 (MPa/mm)	0.62	0.53	0.60~0.90
曲げ (20°C)	曲げひずみ (×10 <sup>-2</sup> )	2.3	2.0	—
	曲げスティフネス (MPa)	129	152	—

(5)ジャイレトリー回数とほぐれ易さ

新アスファルトの違いによるジャイレトリー回数とほぐれ易さの結果を表-5.24 に示す。新アスファルトに StAs150/200 を使用した配合では、StAs60/80 を使用した配合と比べて、再生 As 混合物のジャイレトリー回数が 14 回多い結果となった。また、StAs150/200 のほうが、StAs60/80 に比べて 15 秒程度ほぐれ易い結果となった。

ジャイレトリー回数の試験温度が 145°Cであるのに対して、ほぐれ易さの試験温度は 115°Cであり、この試

験温度の差がジャイレトリー回数とほぐれ易さの結果が相反した理由と考えられる。

表-5.24 ジャイレトリー回数およびほぐれ易さ(検討⑤)

新As種別		StAs 60/80	StAs 150/200
ジャイレトリー(145°C)	回数* (回)	28	42
作業性評価 (115°C)	ほぐれ易さ (秒)	24.3	9.0

\* 一定量の混合物を締固めた時に供試体厚さ66mmに達したときの回転回数

(6)暴露供試体の状況

新アスファルトの違いによる再生 As 混合物の暴露供試体を、作製直後から暴露 3 か月後まで観察した状況を写真-5.2 に示す。暴露供試体の経過状況において、新アスファルト種別による違いはみられなかった。

(7)結果のまとめ(検討⑤)

再生 As 混合物製造時に StAs150/200 を使用した配合は、StAs60/80 を使用した配合と比較して、再生 As 混合物 1t 当たりの単価が 133 円安く、密度、マーシャル安定度、および残留安定度が高い結果となった。一方で、圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス、および暴露供試体の経過状況については、StAs60/80 と StAs150/200 では、同程度の物理性状であった。

したがって、針入度調整時の新アスファルト種別は StAs150/200 が望ましいと判断したので、各種混合物の比較検討の選定配合には、StAs150/200 を使用した。

5-5 各混合物の比較(検討⑥)

(1)配合条件

「5-2 製造方法の検討」、「5-3 再生用添加剤の選定」、および「5-4 新アスファルト種別による検討」の結果をもとに配合を選定した。再生 As 混合物の配合条件、配合表および再生 As 量を表-5.25~5.27 に示す。さらに密粒 As 混合物の配合表を表-5.28 に示す。

選定配合では、再生用添加剤は添加剤Ⅳ、および新アスファルトは StAs150/200 とした。

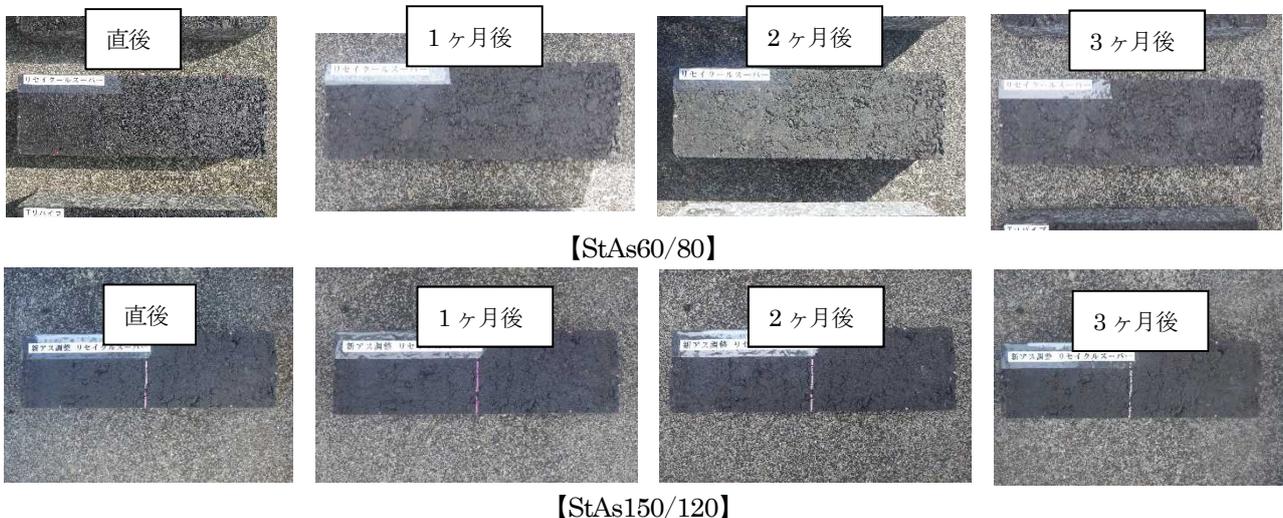


写真-5.2 暴露供試体の経過状況

再生用添加剤投入後の養生時間は、再生舗装便覧に記載されている1時間、および再生As混合物作製後の貯蔵時間は、プラントのサイロでの貯蔵時間を考慮して3時間とした。

選定配合と現状配合の違いは、使用した再生用添加剤のみである。新規As混合物に関しては、選定配合と現状配合を評価する上での参考値程度とした。

表-5.25 各種混合物の配合条件(赤文字：選定した配合条件)

配合名	選定配合	現状配合	新規As混合物
合成粒度		現状	※
As量		現状	
再生骨材混入率		60%	
新アスファルトの種類	150/200	150/200	
再生用添加剤の種類	添加剤IV	添加剤I	
目標針入度		現状	
再生骨材加熱温度		165°C	
再生用添加剤投入後の養生時間		1h	
合材サイロ貯蔵時間		3h	

※プラントの密粒度As混合物(13)の配合より作製

表-5.26 再生密粒As混合物(13)の配合表

	6号砕石	7号砕石	砕砂	細目砂	RC13-5	RC5-0	アスファルト	計
骨材のみ配合率 (%)	13.7	7.4	10.6	7.9	13.4	47.0	-	100.0
旧As含む配合率 (%)	12.9	7.0	10.0	7.5	13.0	47.3	2.3	100.0

旧As量 0.39% 2.92%

表-5.27 再生密粒As混合物(13)のバインダー量

配合		選定配合	現状配合
		添加剤IV	添加剤I
再生用添加剤量(針入度調整) (%)		5.82	6.84
再生As量 OAC 5.6%	新As150-200 (%)	2.11	2.07
	再生用添加剤	0.19	0.23
	旧As (%)	3.30	3.30

表-5.28 密粒As混合物(13)の配合表(検討⑥)

	6号砕石	7号砕石	砕砂	細目砂	石粉	アスファルト	計
骨材配合率 (%)	34.4	20.5	24.1	16.1	4.9	-	100.0
全体配合率 (%)	32.5	19.4	22.8	15.2	4.6	5.4	100.0

## (2) マーシャル特性値

各混合物のマーシャル特性値を表-5.29に示す。添加剤Iを使用した現状配合では、添加剤IVを使用した選定配合に比べて、再生As混合物の密度が高く、空隙率は小さい値を示した。残留安定度は、添加剤IVを使用した選定配合のほうが高かった。また、すべての条件で密粒As混合物(13)の基準範囲を満足した。

表-5.29 マーシャル特性値(検討⑥)

各種混合物	選定配合 添加剤IV	現状配合 添加剤I	新規 As混合物	密粒As(13) 基準範囲	
マーシャル 特性値	かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.346	2.364	2.333	-
	空隙率 (%)	4.7	3.9	6.2	3~6
	安定度 (kN)	11.5	11.7	7.3	4.90以上
	残留安定度 (%)	101.8	83.9	88.0	75以上

## (3) 圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス

各混合物の圧裂係数および20°Cと-10°Cにおける曲げひずみ・曲げスティフネスの結果を表-5.30に示す。曲げ試験を-10°Cで実施したのは、低温時でのたわみ性追従性を比較検討するためである。

選定配合と現状配合を比較してみると、再生As混合物の圧裂係数および20°Cと-10°Cにおける曲げひずみ・

曲げスティフネスでは、その性状にほぼ違いはみられず、その差は同程度であった。

表-5.30 圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス(検討⑥)

各種混合物	選定配合 添加剤IV	現状配合 添加剤I	新規 As混合物	一般地域 設計値	
圧裂	圧裂係数 (MPa/mm)	0.75	0.70	0.58	0.60~0.90
曲げ (-10°C)	曲げひずみ ( $\times 10^{-2}$ )	0.4	0.4	0.3	-
	曲げスティフネス (MPa)	2739	2424	2242	-
曲げ (20°C)	曲げひずみ ( $\times 10^{-2}$ )	1.1	0.8	2.7	-
	曲げスティフネス (MPa)	569	793	95	-
耐候性試験後 曲げ(20°C)	曲げひずみ ( $\times 10^{-2}$ )	0.9	0.9	1.1	-
	曲げスティフネス (MPa)	723	809	336	-

## (4) ジャイレトリー旋回数とほぐれ易さ

各混合物のジャイレトリー旋回数(試験温度115°C、145°C)とほぐれ易さの結果を表-5.31に示す。ジャイレトリー試験を115°Cと145°Cの2つの温度で実施したのは、最適締固め温度145°Cから30°C低減させたときの締固め回数の変化をみるためである。145°Cにおけるジャイレトリー旋回数では、添加剤Iを使用した現状配合の再生As混合物のほうが締固め易い結果となった。一方で、最適締固め温度から30°C低減させた115°Cでは、添加剤IVを使用した選定配合のほうが締固め易い結果となった。

温度依存性の観点から比較してみると、現状配合では締固め温度を30°C低減させたことで締固め回数が42回増加しているのに対して、選定配合では締固め回数が7回しか増加していなかった。このことから、選定配合は現状配合と比較して温度依存性が少ないので、合材が冷えても締固めやすい可能性がある。

表-5.31 ジャイレトリー旋回数とほぐれ易さ(検討⑥)

各種混合物	選定配合 添加剤IV	現状配合 添加剤I	新規 As混合物	
ジャイレトリー(145°C)	55	27	-	
旋回数 (回)				
ジャイレトリー(115°C)	62	69	-	
作業性評価(115°C)	ほぐれ易さ (秒)	42.3	72.3	2.0

※1 一定量の混合物を締固めた時に供試体厚さ66mmに達したときの旋回数

ほぐれ易さについては、現状配合と比較して選定配合の方が、ほぐれ易い結果となった。新規As混合物のほぐれ易さが2秒と極端に早かった理由として、As量不足によって混合物自体にまとまりがなかったことが考えられる。

## (5) 動的安定度、はく離率および疲労破壊回数

各混合物の動的安定度、はく離率および疲労破壊回数の結果を表-5.32に示す。選定配合と現状配合を比較してみると、再生As混合物の動的安定度とはく離率ともに再生用添加剤種別による性状の差はみられず同程度であった。

疲労破壊回数は、一般的な密粒度As混合物(13)が数万オーダーであるのに対して、選定配合、現状配合ともに数千オーダーであり、一般に比べて疲労抵抗性は小さかった。選定配合と現状配合の疲労破壊回数は同程度であった。

表-5.32 動的安定度、はく離率および疲労破壊回数

各種混合物		選定配合 添加剤Ⅳ	現状配合 添加剤Ⅰ	新規 As混合物
動的安定度	(回/mm)	5727	7000	1286
はく離率	(%)	0.0	0.0	40.2
疲労破壊回数	(回)	8263	7071	1722

(6) 耐候性試験後の曲げひずみと曲げスティフネス

各混合物の曲げ供試体で、耐候性試験機によって 46 日間光照射+スプレーを行い促進劣化させることで、屋外暴露 1 年経過後の混合物を疑似的に作製した。

各混合物の耐候性試験前後の曲げ試験の結果を表-5.33 に、耐候性試験後の曲げ供試体状況を写真-5.3 に示す。耐候性試験前後での曲げひずみと曲げスティフネスは、選定配合と現状配合では違いがそれほどみられなかったが、新規 As 混合物では曲げひずみと曲げスティフネスに大きな違いが表われた。写真-5.3 から耐候性試験後の供試体では、選定配合と現状配合とで色の違いはみられなかった。

表-5.33 曲げひずみと曲げスティフネス (検討⑥)

各種混合物		選定配合 添加剤Ⅳ	現状配合 添加剤Ⅰ	新規 As混合物
耐候性試験前	曲げひずみ ( $\times 10^{-2}$ )	1.1	0.8	2.7
曲げ(20°C)	曲げスティフネス (MPa)	569	793	95
耐候性試験後	曲げひずみ ( $\times 10^{-2}$ )	0.9	0.9	1.1
曲げ(20°C)	曲げスティフネス (MPa)	723	809	339



写真-5.3 耐候性試験 1 年経過後の状況

(7) 結果のまとめ(検討⑥)

添加剤Ⅰを使用した現状配合は、添加剤Ⅳを使用した選定配合に比べて、再生 As 混合物の密度が高く、空隙率は小さく、最適締固め温度においてより締め固まり易かった。一方で、最適締固め温度よりも 30°C 低減させた 115°C でのジャイレトリー旋回数において、現状配合よりも選定配合の方が、締固め易い結果となった。したがって、選定配合は現状配合と比較して温度依存性が少なく、合材が冷えても締固めやすい可能性がある。

圧裂係数、曲げひずみ、曲げスティフネス、動的安定度、はく離率、疲労破壊回数などの物理的性状において両者に違いはみられなかった。

耐候性試験後(屋外暴露 1 年相当)の供試体は、両者とも同程度の色落ちしており、曲げひずみ・曲げスティフネスに違いがみられなかったことから、同程度に劣化しているといえる。

5-6 貯蔵時間による選定配合と現状配合の検討(検討⑦)

(1) 配合条件

「4-5 各種 As 混合物の比較検討」において再生用添加剤投入後 1 時間、貯蔵後 3 時間の条件で性状試験を行った結果、現状配合(添加剤Ⅰ)では選定配合(添加剤Ⅳ)と比較して、再生 As 混合物の密度が高く、締め固まり易い混合物であることが判明した。

本検討では、現状配合と選定配合で再生 As 混合物を作製し、貯蔵後の劣化度合いを比較した。混合物の作製は、貯蔵時間を 0h、3h および 16h の 3 水準で行い、再生用添加剤種別による貯蔵時における劣化の影響を検討した。貯蔵時間における選定配合と現状配合を表-5.34 に示す。

表-5.34 選定配合と現状配合(検討⑦)

配合名	選定配合			現状配合		
	(D)	(A)	(E)	(F)	(B)	(G)
条件No.						
合成粒度	現状					
As量	現状					
再生骨材混入率	60%					
新アスファルトの種類	150/200					
再生用添加剤の種類	添加剤Ⅳ			添加剤Ⅰ		
目標針入度	現状					
再生骨材加熱温度	165°C					
再生用添加剤投入後の養生時間	1h					
合材サイロ貯蔵時間	0h	3h	16h	0h	3h	16h

※網掛けの配合については、既に試験を実施済み

(2) 密度と空隙率

選定配合と現状配合で供試体作製後の貯蔵時間による密度と空隙率の結果を表-5.35 に示す。

表-5.35 密度と空隙率(検討⑦)

配合名		選定配合 添加剤Ⅳ			現状配合 添加剤Ⅰ		
		0h	3h	16h	0h	3h	16h
マーシャル 特性値	かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.361	2.358	2.245	2.364	2.361	2.243
	空隙率 (%)	4.0	4.1	8.7	3.9	4.0	8.8

添加剤Ⅳ、添加剤Ⅰともに、貯蔵時間の経過によっても再生 As 混合物の密度が低下し、空隙率は上昇する傾向がみられた。各再生用添加剤の違いによる密度と空隙率の違いはみられなかった。

(3) 圧裂係数と曲げひずみ・スティフネス(検討⑦)

選定配合と現状配合で供試体作製後の貯蔵時間による圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネスの結果を表-5.36 に示す。再生用添加剤の種別によらず、貯蔵時間の経過によっても再生 As 混合物の圧裂係数と曲げスティフネスが上昇し、曲げひずみが低下する傾向がみられた。

各再生用添加剤の違いによる圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネスの違いはみられなかった。

表-5.36 圧裂係数と曲げひずみ・曲げスティフネス(検討⑦)

配合名		選定配合 添加剤Ⅳ			現状配合 添加剤Ⅰ		
		0h	3h	16h	0h	3h	16h
貯蔵時間	圧裂	0.67	0.80	1.02	0.62	0.80	1.09
	曲げ	1.4	1.2	0.5	1.5	1.2	0.4
曲げ (20°C)	曲げひずみ ( $\times 10^{-2}$ )	326	521	1044	291	530	1055
	曲げスティフネス (MPa)						

#### (4)結果のまとめ(検討⑦)

組成成分の異なる2種類の再生用添加剤を使用して作製した再生As混合物では、両再生用添加剤ともに貯蔵時間の経過にもなって密度、圧裂係数、およびたわみ追従性が低下した。2種類の再生用添加剤による貯蔵時の性状の変化はみられなかった。

製造方法の検討時にも述べたように、プラントにおいて実際に再生As混合物を貯蔵するよりも極端に劣化しやすい環境下で検討を行っているので、プラントにおいて同様な性状が起きるかはさらなる検証が必要である。

## 6. まとめ

本検討において得られた知見を以下に示す。

### 6-1 製造方法の検討

- 再生骨材の加熱温度を165℃から130℃に低減することで、密度が高く、たわみ追従性に優れ、締固まりやすく、かつほぐれ易い再生As混合物となった。
- 再生用添加剤投入後の養生時間が長くなると、再生As混合物の密度が低下し、締固まりにくくなる傾向がみられた。
- 再生As混合物製造後の貯蔵時間が長くなると、密度が低下し、たわみ追従性が低下し、かつ作業性が悪くなった。
- 貯蔵時間による圧裂係数とS/F、圧裂係数と曲げひずみ、圧裂係数と曲げスティフネスに相関がみられたことから、圧裂係数は再生As混合物製造後の劣化度合の評価手法の1つとして有用である可能性がある。  
※ただし、今回の検討は少量の再生混合物を乾燥機によって加熱しているため、プラントにおいて再生混合物を貯蔵するよりも極端に劣化しやすい環境下である。そのため、プラントにおいて同様な性状が起きるかは更なる検証が必要である

### 6-2 再生用添加剤

- 各再生用添加剤を使用した再生As混合物には、マーシャル特性値、圧裂係数、たわみ追従性、および暴露供試体の色に差異はみられなかった。
- 作業性評価の試験を行った結果、飽和分成分やパラフィン成分が多い再生用添加剤を使用することで、締固め易く、ほぐれ易い再生As混合物となった。

### 6-3 新アスファルト

- 新アスファルトとしてStAs150/200を使用した配合では、StAs60/80を使用した配合と比較して、再生As混合物1t当たりの単価が安く、密度やマーシャル安定度が高くなることがわかった。

- 新アスファルトとしてStAs60/80とStAs150/200を使用した配合では、たわみ追従性などの物理性状および暴露供試体の経時変化による色の違いはみられなかった。

### 6-4 各種混合物

- 添加剤Iを使用した現状配合は、添加剤IVを使用した選定配合と比較して、再生As混合物の密度が高く、締め固まり易かった。
- 圧裂係数、破断時の曲げひずみ、動的安定度、はく離率、疲労破壊回数などの物理的性状に違いはみられなかった。
- 耐候性試験1年経過後の現状配合と選定配合の再生As混合物において、目視と破断時のひずみともに違いはみられなかった。

### 6-5 供試体作製後の貯蔵時間

- 組成成分の異なる2種類の再生用添加剤を使用して作製した再生As混合物は、両再生用添加剤ともに貯蔵時間の経過にもなって密度、圧裂係数およびたわみ追従性が低下した。
- 2種類の再生用添加剤を使用した再生As混合物の貯蔵時の劣化度合いは同程度であった。  
※製造方法の検討時にも述べたように、プラントにおいて実際に再生混合物を加熱するよりも極端に劣化しやすい環境下で行っているため、プラントにおいて同様な性状が起きるかは更なる検証が必要である。

以上の検討結果から、プラントの再生密度As混合物(13)の現状配合【添加剤I、新アスファルト150/200を使用】は、コスト面および物理性状の観点から良好であるといえる。ただし、製造時の再生骨材を加熱した場合や、製造した再生As混合物を長時間貯蔵後に出荷すると、施工時には締め固まりにくく、施工後も硬く脆い混合物となることが懸念される。

本検討の目的は、現在の再生骨材配合率60%を維持しつつ、品質を改善する方法の確立である。品質改善の1つの方法として、製造時の再生骨材の温度を低減することやサイロでの貯蔵時間の短縮によって、施工時の締固め易さや供用時の耐久性を確保することができ、顧客からのクレーム低減に繋がる可能性がある。

### 【参考文献】

- (社)日本道路協会：舗装再生便覧(平成22年版)、(2010.11)
- (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、(2007.6)

# 耐久性向上を目的とした土系舗装の開発

掛札 さくら\*  
小嶋 匠\*\*  
藤原 栄吾\*\*\*

## 1. はじめに

土系舗装は、真砂土などの自然土に固化材を混合し、敷きならし、締め固めたもので、土本来の風合いを有した舗装である。当社でも種々の土系舗装の工法を保有している。土系舗装には以下に示すような特長がある。

- ①景観性：周辺環境と調和しやすく、景観性を高めることができ、自然な風合いを有する空間を創出する。
- ②弾力性：適度な弾力性、衝撃吸収性があり、歩行しやすい。
- ③保水性：適度な保水性を有し、夏季の路面温度が上がりにくく、涼感がある。

以上のことから、土系舗装は公園や園路などに適用されている。一般的な土系舗装では、車両の乗入れを想定していない。なお、土系舗装を管理用車両(4t 程度以下の車両)が通行する道路に適用する場合には、材料や構造設計の検討を必要とする。

本研究では、土系舗装の景観性や歩行性を有し、かつ、車両の乗入れが可能な耐久性の高い土系舗装の開発を行うために、新たに開発された2液混合型のエポキシ系樹脂(以下、開発品1)を使用した検討を行った。

開発品1の特徴として、臭気が少なく、かつ、材料に水分が含まれている場合でも、硬化性能が確保できることが挙げられる。

本文では、土系舗装の耐久性向上を目的として行った検討結果について報告する。

## 2. 本検討の実施内容

本検討での実施内容を以下に示す。

- (1) 土系舗装の性状の確認
  - ・樹脂の可使用時間
  - ・樹脂量と強度の関係
  - ・耐候性
- (2) 試験施工での確認
  - ・作業性と実施工の仕上がり
  - ・すべり抵抗と弾力性
  - ・経時変化

### 2-1 土系舗装の性状の確認

#### (1) 樹脂の可使用時間

舗装調査・試験法便覧 C014T「樹脂系舗装用バインダ

の可使用時間の測定方法」に従って、開発品1の可使用時間の測定を行った。冬季の施工も想定し、試験時の室温は5℃、10℃および20℃とした。その試験条件と測定状況を表-1と写真-1に示す。

各条件での樹脂の硬化時の温度変化を図-1~3に示す。

条件1(図-1参照)では、試験開始から60分で樹脂の温度が急激に上昇し、80分で最高温度約130℃に達し、120分後に完全に硬化した。

条件2(図-2参照)では、樹脂の温度は緩やかに上昇し、260分で最高温度41.9℃となった。380分後に樹脂が完全に硬化しているのを確認した。

条件3(図-3参照)では、樹脂の温度変化は確認できず、180分後でも樹脂は未硬化であった。主剤と硬化剤をあらかじめ加温していても、5℃の条件下では硬化しないことがわかった。

表-1 樹脂の可使用時間の測定条件

	室温 (℃)	主剤と硬化剤の 養生温度(℃)
条件1	20	20
条件2	10	10
条件3	5	20



写真-1 樹脂の可使用時間の測定状況

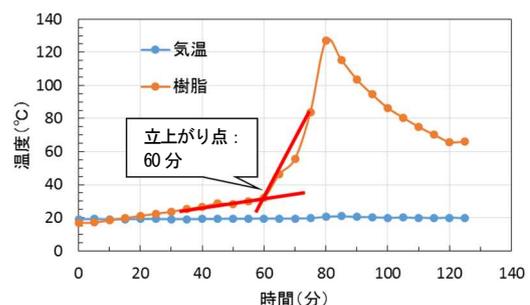


図-1 樹脂の硬化時の温度変化(条件1)

\*技術研究所環境研究室研究員 \*\*同室主任研究員 \*\*\*同室室長

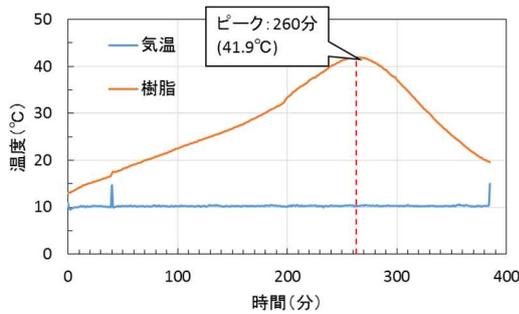


図-2 樹脂の硬化時の温度変化(条件2)

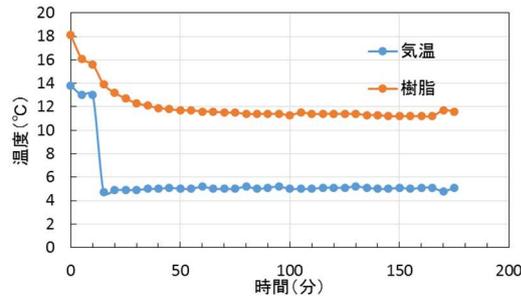


図-3 樹脂の硬化時の温度変化(条件3)

得られた時間-樹脂温度のグラフから、条件1と条件2における樹脂の可使用時間を求めた。その計算方法を以下に示す。

①急激な発熱ピークが認められる場合(条件1)

立上がり点(分)×0.7=可使用時間

60分×0.7=47分

②急激な温度上昇が認められない場合(条件2)

最高温度に到達した点(分)×0.5=可使用時間

265分×0.5=133分

この計算方法で求めた、温度条件20°Cと5°Cにおける可使用時間を表-2に示す。ただし、これらの値は、樹脂単体の可使用時間であり、土と樹脂からなる混合物の可使用時間ではない。

表-2 20°Cと5°Cにおける樹脂単体の可視時間

	室温(°C)	主剤と硬化剤の養生温度(°C)	可使用時間(分)
条件1	20	20	47
条件3	5	10	133

(2) 樹脂量と強度の関係

開発品1を使用した土系舗装の供試体を作製し、一軸圧縮試験を行った(養生7日)。含水比は通常の土系舗装と同様に8%とした。樹脂量は土の乾燥質量に対して4~8%とした。その試験結果を図-4に示す。

図-4によると、樹脂量が増えるほど、圧縮強度が高い。なお、開発品1と同じエポキシ系樹脂を使用しているオーククレ- Eの圧縮強度の社内規格0.5MPaに対して、開発品1を使用した供試体は4.7~23倍以上の強度を有していることがわかった。このことから、開発品1は、従来の樹脂結合型土系舗装よりも高強度であり、車両が

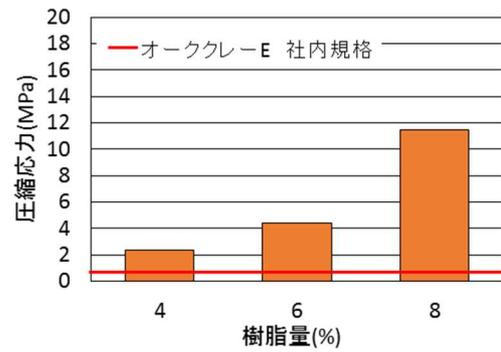


図-4 一軸圧縮強度と樹脂量の関係

走行する道路に適用できる可能性がある。

(3) 耐候性

前述したように、土系舗装は景観性を重視しており、供用による退色などの舗装面の色の変化が懸念される。特に樹脂結合型土系舗装では、樹脂が紫外線によって変色しやすいので、供試体による屋外暴露試験を行った。

暴露用の供試体には、前記の室内強度試験で使用した真砂土と同じ土を使用した。樹脂量は乾燥土量に対して8%とした。また、比較のために、オーククレ-Eの供試体を同様の条件で作製した。暴露開始時、4ヶ月および10ヶ月後の様子を表-3に示す。

開発品1を使用した供試体は、10ヶ月後も暴露開始時と同じ濃い茶色(濡れた真砂土の色)を維持しており、表面の荒れも生じていない。一方、オーククレ-Eの供試体は、開始時の土色から薄い茶色に変化しており、表面がわずかに荒れていた。このことから、開発品1は、従来のエポキシ樹脂よりも耐候性の高い樹脂であると考えられる。

表-3 暴露試験時の供試体表面

	開発品1	オーククレ-E
暴露開始時		
4ヶ月経過		
10ヶ月経過		

## 2-2 試験ヤードでの確認

### 2-2-1 構内での試験施工

#### (1) 概要

開発品1を使用した土系舗装の施工性と仕上げを確認するため、大林組技術研究所構内において小規模での試験施工を行った。なお、施工は冬季に行い、気温は9℃であった。現場見取り図と舗装断面を図-5、6に示す。

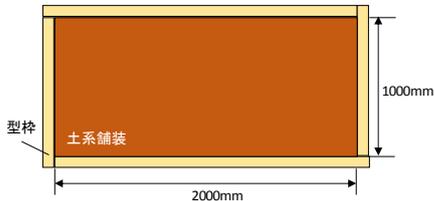


図-5 現場見取り図



図-6 舗装断面

#### (2) 配合と施工手順

配合と施工手順を表-4と図-7に示す。樹脂量は乾燥土量に対して8%とした。樹脂はあらかじめ主剤と硬化剤をハンドミキサーで混ぜたものを真砂土に添加した。これを人力によって敷きならして突き固めた後、手動式整地ローラと振動コンパクターで締め固めた。

表-4 材料の配合と概要

材料名	配合 (%)	産地・商品名	備考
真砂土	100	茨城県産	含水比約8%
樹脂 (エポキシ系)	8	開発品1 主剤:SMB-R2 硬化剤:SMB-H2	砂の乾燥質量に対して外割添加 主剤:硬化剤=6:4

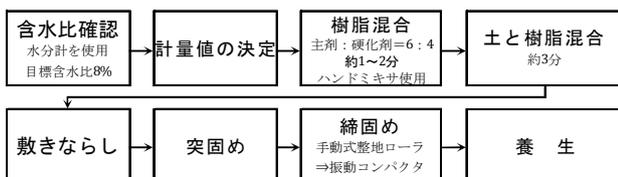


図-7 施工手順

施工完了後3日間ブルーシートを被せ、養生した。

施工時の材料の使用量、各温度および作業時間を表-5~6に示す。

樹脂混合時間は、外気温が低いことを考慮して、当初は1分としたが、樹脂の粘度が高いため2分とした。ミキサーへの真砂土の投入開始から練落としの1バッチあたりの所要時間は約20分であった。また、敷きならし+突き固め合計時間、締め固め合計時間および1バッチ目砂の投入開始~締め固め完了までの時間は、それぞれ45分、35分、2時間であった。ただし、これらは、状況確認を行いながらの作業時間である。施工完了後の様子を写真-2、3に示す。写真より、舗装表面に樹脂の浮きが発生していることがわかる。樹脂量の過多および過転圧が原

表-5 材料使用量

	真砂土 (kg)	含水比 (%)	樹脂投入量 (kg)
1バッチ	60	7.37	4.45
2バッチ	60	—	4.45
3バッチ	40※	8.05	4.45
合計	160	—	13.35

※ミキサーで60kgの混合物を製造し、その内40kgを敷きならした。

表-6 施工時の各温度(10:04測定)

気 温		9℃
温 度	真砂土	15℃
	樹脂	13℃
	真砂土+樹脂	16℃

表-7 各工程の作業時間

	樹脂混合時間	砂投入~敷きならし開始	敷きならし+突き固め	締め固め(ローラ+コンパクター)	1バッチ目開始~締め固め完了
1バッチ	1分	21分	45分	35分 (13+22)	1時間59分
2バッチ	2分	16分			
3バッチ	2分	25分			

※樹脂投入完了後、3分間攪拌



写真-2 施工完了後(1)



写真-3 施工完了後(2)

因と考えられる。

#### (3) 現場試験

施工3日後に、「土系舗装ハンドブック」(以下、ハンドブック)に示されている現場試験を行った。試験の項目は以下のとおりである。その試験結果を表-8に示す。

##### ①すべり抵抗(BPN)

(舗装調査・試験法便覧 S021-2「振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗測定方法」)

##### ②弾力性試験(GB係数、SB係数)

(舗装調査・試験法便覧 S026-1「舗装路面の弾力性試験方法(GB係数、SB係数)」)

すべり抵抗値は、ハンドブックに示されている基準値を満足している。

GB係数は、衝撃吸収性を表すといわれており、値が小さいほど衝撃吸収性が大きい。また、SB係数は、反発弾性を表すといわれており、値が大きいほど反発弾性が大きい。二つの係数は値が小さいほど身体に対する負担が少ないと考えられている(図-8参照)。

本試験では、GB係数が高く、SB係数が低い結果となった。図-8によれば、アスファルト舗装に近い衝撃吸収性を有していることがわかる。なお、GB係数とSB係

数は材料によって範囲が異なる。そのため、衝撃吸収性や反発弾性の推奨範囲は示されていない。あくまで相対的な評価としている。

表-8 現場試験の結果

試験項目	試験値	検査基準	評価項目
すべり抵抗 (BPN)	C20 : 72	40以上 (湿潤時)	安全性
弾力性	GB係数 : 78% SB係数 : 0%	GB係数 70%以下	歩行性

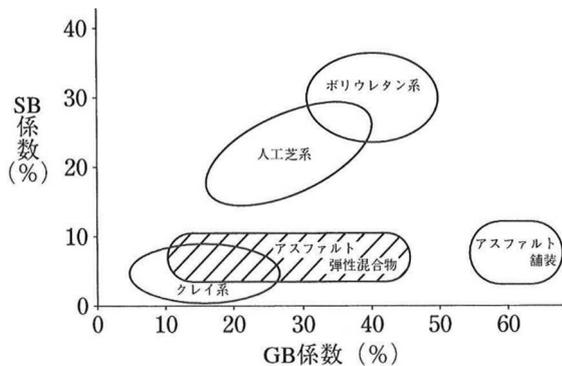


図-8 各種舗装材料のGB係数とSB係数の関係<sup>2)</sup>

表-9 試験施工時に作製した供試体の強度

	一軸圧縮試験		曲げ・圧縮試験	
	一軸圧縮強度	ひずみ (%)	曲げ強度 (MPa)	圧縮強度 (MPa)
養生3日	12.1	0.65	2.36	5.64
養生7日	14.5	0.75	2.60	8.13
規格値※	0.5	—	—	—

※オーククレ- Eの規格値

#### (4) 室内試験

試験施工時に、バッチから混合物を一部採取して供試体を作製し、一軸圧縮試験と曲げ・圧縮試験を行った。その結果を以下の表-9に示す。この表から、養生3日目でオーククレ- Eにおける規格値の24倍の強度を有していることを確認した。

#### (5) 試験施工のまとめ

本章の試験施工で得た知見を以下に示す。

- ・樹脂の粘度が高くなると、攪拌に時間を要する(従来のオーククレ- Eのエポキシ樹脂と比較して)。
- ・混合物中にダマができやすい(樹脂量が多い、もしくは粘度が高いためと考えられる)。
- ・不陸整正時に、ふるいを通した混合物で表面を整えることが望ましい。
- ・余盛3cm程度で目標舗装厚の4cmとなった。
- ・振動コンパクタ転圧時に樹脂のしみ出しが発生した。
- ・混合物の可使時間が短いように感じた(30分程度であった。1時間程度が望ましい)。
- ・すべり抵抗値(BPN)は、ハンドブックの基準値を満たした。
- ・試験施工の路面は高いGB係数(78%)を示した。
- ・現場作製の供試体は十分な強度を示した。

## 2-2-2 駐車場での試験施工

### (1) 概要

前項で示したように、開発品1を使用した土系舗装の構内試験施工において、混合物のダマと舗装面上に黒色の樹脂の浮きが発生した。これらの問題を解決するため、樹脂量を調整するとともに、樹脂を加温して攪拌の作業性改善を図ることとした。本試験施工は、構内試験施工と同様、冬季に三光(株)滋賀工場の駐車場内の駐車マス2台分(面積15m<sup>2</sup>×2)で実施した。施工時の気温は約8℃である。現場見取り図と舗装断面を図-9、10に示す。

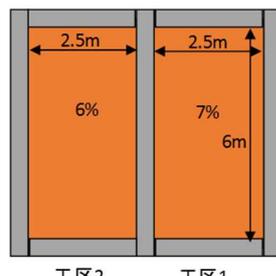


図-9 現場見取り図



図-10 舗装断面

### (2) 配合と施工手順

配合と施工手順を表-10と図-11に示す。樹脂量は、乾燥土量に対して7%または6%とした。混合にはミキサーを使用した。樹脂は、あらかじめ主剤と硬化剤をハンドミキサーで混ぜたものを真砂土に添加した。混合物を人力によって敷きならした後、振動コンパクタとハンドガイド式振動ローラで締め固めた。コンパクタの下にコンパネを敷き、機械の接地圧を分散することで過転圧を防いだ。

表-10 材料の配合と概要

材料名	配合 (%)	産地・商品名	備考
真砂土	100	滋賀県甲賀氏信楽町産	含水比約7~8%
樹脂	工区1:7 工区2:6	開発品1	砂の乾燥質量に対して外割添加主剤:硬化剤=6:4

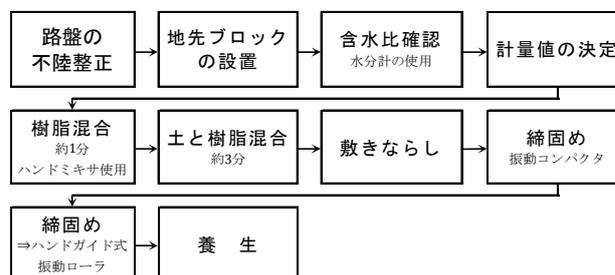


図-11 施工手順

### (3) 表層の施工状況

使用した真砂土は、屋外で前日からブルーシートを被せて放置した。真砂土の自然含水比は水分計で測定した結果、一日を通して約7%であった。したがって、加水せずに自然含水比のまま混合した。また、主剤と硬化剤は、計量前まで屋内で缶ごと湯煎(約30℃)したものを使

用した。施工完了後の様子を写真-4、5に示す。

工区1では、路面表面に転圧時に敷いたコンパネの縁の部分で樹脂の浮きが格子状に発生した(写真-5 赤色線部分)。工区2では、工区1よりも樹脂量が1%少なく、緩く締め固めたため、樹脂の浮きは発生しなかった。

材料の使用量や施工に要した時間などを表-11に示す。



写真-4 施工完了後

写真-5 工区1の近接

表-11 各工区の概要と使用材料

	工区1	工区2	合計
面積×舗装厚	15m <sup>2</sup> ×4cm=0.6m <sup>3</sup>		30m <sup>3</sup>
			1.2m <sup>3</sup>
真砂土使用量	1260kg	1080kg	2340kg
樹脂使用量 (ロス分含む)	約108kg <sup>※1</sup> 樹脂量7%	約70kg 樹脂量6%	約178kg
理論値	84kg	62kg	146kg
バッチ数 (1バッチ：山砂60kg)	21バッチ <sup>※2</sup>	18バッチ	39バッチ
密度	約2.2t/m <sup>3</sup>	約1.9t/m <sup>3</sup>	平均2.1t/m <sup>3</sup>
正味作業時間	約2時間	約2時間30分	約4時間30分

※1：工区1はロス分を考慮して樹脂の計量を行った。

※2：最終バッチの残量(約40kg)を工区2で使用した。

#### (4)現場試験

施工完了翌日と2ヶ月後に弾力性試験を行った。その結果を表-12に示す。工区1は構内の試験施工と同様に高いGB係数を示した。一方、工区2ではGB係数の値が小さくなり衝撃吸収性が高くなった。これは、工区1よりも工区2の樹脂添加量が少ないためと考えられる。衝撃吸収性が高くなったことによって、歩行性の向上が期待できる。

表-12 弾力性試験の結果

測定日	工区1(樹脂量7%)		工区2(樹脂量6%)	
	GB係数	SB係数	GB係数	SB係数
施工翌日	80%	—	60%	—
2ヶ月後	76%	4%	58%	1%

#### (5)室内試験

工区2(樹脂量6%)の施工時に、バッチから混合物を一部採取して供試体を作製し、一軸圧縮試験を行った(養生7日)。また、施工前の事前検討として、樹脂と真砂土の養生温度を5℃または20℃で変化させた場合の一軸圧縮試験を行った。この結果と併せて図-12に示す。事前検討の結果では、樹脂と真砂土の養生温度の違いによる強度の差は生じなかった。気温8℃の環境下で行われた試験施工時に採取した供試体も同様である。

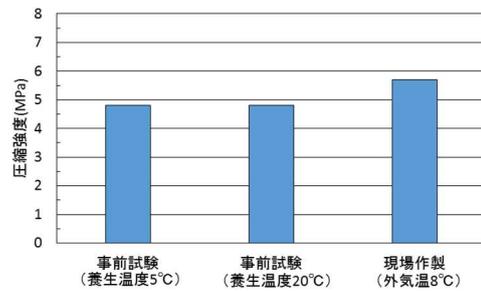


図-12 一軸圧縮強度と養生温度の関係

#### (6)経過変化

施工から約2ヶ月後に経過観察を行った。観察内容は、目視による観察と色彩色差の測定である。

##### ①目視観察

施工日と2ヶ月後の状況を写真-6～9に示す。

本現場は、施工完了翌日から駐車場として利用し、車両の乗入れを行っていた。施工から2ヶ月経過した後も、両工区ともクラックなどの破損は生じていなかった。



写真-6 施工完了後



写真-7 施工から2ヶ月後



写真-8 工区1の近接写真(2ヶ月後)



写真-9 工区2の近接写真(2ヶ月後)

歩行時の足元に感じる「柔らかさ」は、工区1よりも工区2が良好に感じた。工区1において、施工時に発生した樹脂の浮きは黒色になっていた。工区2ではわずかに表面の荒れがあったが、一般的な土系舗装に発生する表面の荒れと同程度～少量の程度である(写真-9:赤色丸内)。また、工区1と工区2で舗装表面の色が異なっていた。

#### ②色彩色差の測定

色彩色差計で舗装表面の色を測定し、彩度C\*と工区1と工区2の色差ΔEを求めた。その結果を表-13に示す。また、色差と色差の評価の関係を表-14に示す。彩度C\*の値は、工区1よりも工区2のほうが高く、使用した真砂土の色に近かった。

表-13 工区1と2の色彩と色差

	工区1	工区2
L*、a*、b*	47.31、5.92、11.83	43.42、6.70、15.76
彩度C*	13.32	17.13
色差ΔE	5.58(著しく異なる色)	

表-14 色差による評価

色差 ΔE	色差の程度の評価
0～0.5	極めてわずかに異なる
0.5～1.5	わずかに異なる
1.5～3.0	感知し得るほど異なる
3.0～6.0	著しく異なる
6.0～12.0	極めて著しく異なる
12.0以上	別の色系統になる

#### (7) 駐車場で試験施工のまとめ

本試験施工で得られた結果と所見を以下にまとめる。

##### ①樹脂について

- 樹脂の臭気は従来のものよりも低い。
- あらかじめ加温した主剤と硬化剤を使用することによって樹脂の粘度が低くなり、ダマが生じにくい。
- 主剤と硬化剤の混合によって、樹脂中に細かい気泡が含まれ、嵩が増した。そのため、真砂土との攪拌の作業性が向上した。

##### ②混合物と仕上げについて

- 締め固め時にコンパネの縁が過転圧になり樹脂の浮きが発生した。工区1で全体に格子状の線が見える。
- 工区2では、工区1よりも樹脂の浮きが極力生じな

い様に緩く締め固めた。その結果、施工後の歩行性は工区1よりも良好に感じた。

- 施工完了後も樹脂のベタつきはなく硬化不良は生じていない。
- 工区1と2で舗装面の色が異なる。樹脂量が少ない工区2のほうが自然な真砂土の色に近い。

### 3. まとめ

エポキシ系樹脂「開発品1」を固化材とする土系舗装に関して、種々の検討を行った。そのまとめを以下に示す。

- 開発品1を使用した土系舗装は、乾燥土量に対して4～8%添加したとき、樹脂量が多いほど高い強度を示す。
- 開発品1を使用した土系舗装は、同じ樹脂結合型土系舗装「オーククレーE」よりも4～20倍の圧縮強度を示す。
- 開発品1を使用した土系舗装は、オーククレーEよりも耐候性を有している。
- 冬季の施工でも樹脂は硬化し、強度を発現した。
- 施工において、樹脂量が7～8%の場合、過転圧による樹脂の浮きが発生した。しかし、樹脂量6%での施工では、樹脂の浮きは発生しなかった。
- 試験施工工区のGB係数は60～78であり、樹脂量が多いほど高いGB係数を示した。
- 施工後、翌日から駐車場として供用した結果、2ヶ月後も大きな破損が生じていないことを確認した。

### 4. おわりに

本検討において、高耐久性を有し、車両の乗入れを可能とする、新規の土系舗装工法の開発の可能性が得られた。今後は、長期における耐久性、弾力性と強度の関係の検討などを行っていく予定である。

#### 【参考文献】

- 1) 独立行政法人土木研究所：土系舗装ハンドブック(歩道用)、大成出版社、(2009.8)
- 2) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、S026-1「舗装路面の弾力性試験方法(GB係数、SB係数)」、(2007.6)

# 新立岩トンネルにおけるホワイトCAPの施工報告

泉 一徹\*  
吉富 祐記\*\*  
薄井 智\*\*\*

## 1. はじめに

ホワイトCAP(White Colored Asphalt Pavement)は、アスファルト混合物を白色化(明色化)することによって、道路の視認性を高めた舗装である。

このホワイトCAPは、脱色アスファルトと白色顔料などを組み合わせて舗装の明色化を図るもので、トンネル内舗装などの明色化が求められる箇所に有効な舗装である。

本文では新立岩トンネル内における、既設コンクリート舗装上のホワイトCAPの施工事例を報告する。なお、当社は当該工事の2年前に同じ場所でホワイトCAPを施工している。

## 2. 工事概要

工事名：補助公共 社会資本総合整備(防災・安全)(地方道トンネル)トンネル補修工事

工事場所：群馬県利根郡みなかみ町藤原(図-1)

施工日：平成29年10月16日

工事内容：

オーバーレイ工 W=6m、L=250m、A=1500㎡  
 基層-砕石マスチック(5)改質Ⅱ型 t=3.3cm  
 表層-明色砕石マスチック(13)改質Ⅱ型 t=4.0cm  
 (ホワイトCAP)



図-1 施工場所位置図

## 3. ホワイトCAPの配合および混合物性状

### 3-1 使用材料および混合物配合

ホワイトCAPの使用材料、混合物の配合割合、および合成粒度を表-2~4に示す。

なお、2年前の施工時には6号砕石の一部に石灰岩を使用し、チタンホワイトを1.0%使用したが、供用

後に若干黒っぽくなり明色性が低下したので、今回の施工ではチタンホワイトの量を2.0%に増やし、また、経済性の面から石灰岩を使用しないことにした。

表-2 使用材料

種類	製造会社	産地	材質
6号砕石	東京石灰工業株式会社	栃木県佐野市	硬質砂岩
中目砂	西武建材株式会社	埼玉県神流川流域	洗砂
細目砂	東和アークス株式会社	埼玉県神流川流域	洗砂
石粉	秩父石灰工業株式会社	埼玉県秩父市	タンカル
カラックスSS-S	日進化成株式会社	埼玉県川口市	明色バインダ
セルロード	三共精粉株式会社		植物繊維
チタンホワイト	ランクセス株式会社		色粉(白)

表-3 混合物配合割合

混合物名	骨材配合 (%)				チタンホワイト (%)	植物繊維※ (%)	As (%)	合計 (%)
	6号砕石	中目砂	細目砂	石粉				
ホワイトCAP	67.0	7.5	7.5	9.7	2.0	0.3	6.3	100.3

※混合物量に対して外掛け

表-4 合成粒度

ふるい目 (mm)	19	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
合成粒度	100	97.0	32.7	28.3	21.0	17.4	14.7	10.9
粒度範囲	100	100~95	50~30	35~25	-	20~13	-	13~8

### 3-2 試験練りおよび混合物性状

試験練りでは、チタンホワイトの量を2.0%と1.0%で混合物を練り落とし、明色性の確認を行った(写真-1)。また、前回施工時に、転圧時のタイヤローラ痕や通行車両からの汚れによって舗装表面が若干暗色化したので、タイヤ痕付着防止や供用直後の通行車両からの汚れ防止として施工時に石粉を散布し、その散布のタイミング(初転圧前・後)において、ハンドガイド式振動ローラを用いて確認した(写真-2)。



写真-1 ホワイトCAP混合物

\*関東支店群馬営業所 \*\*同営業所副所長 \*\*\*同営業所所長



写真-2 転圧方法の確認状況



写真-3 既設コンクリート舗装清掃状況

その結果、チタンホワイトの量については、より明色性が確保できた2.0%を選定した。

初転圧前に石粉を散布した場合、アスファルトが石粉を吸着し、タイヤ痕付着防止効果が小さくなる。また、初転圧後に石粉を散布した場合、アスファルトが石粉を吸着せず、タイヤ痕付着防止効果が発揮された。この結果から、石粉の散布は初転圧後とした。試験練り混合物の性状を表-5に示す。

表-5 混合物性状

項目	性状値	目標値	備考
基準密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.372	-	試験練り結果
空隙率 (%)	2.0	1~3	
飽和度 (%)	88.0	-	
安定度 (kN)	7.35	4.9以上	
フロー値 (1/100cm)	38.0	-	
動的安定度 (回/mm)	4,500	-	



写真-4 目地補修状況

## 4. 施工

### 4-1 基層工

#### (1) 基層用混合物の変更

基層工に使用する混合物は、設計では最大粒径13mmの碎石マチックアスファルト混合物であった。しかし、平均施工厚さが3.3cmと薄層で、材料分離や締固め不足の懸念があったので、最大粒径を5mmに変更した。

#### (2) 準備工・目地補修

基層工を施工するにあたり、既設コンクリート舗装と基層の接着状態を良好にするために清掃を行った(写真-3)。また、その際、目地が破損している部分については補修を行った(写真-4)。

#### (3) 舗設

舗設に先立ち、タックコート(タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤PKM-T)を行った。敷きならしにミニアスファルトフィニッシャ(写真-5)、締固めにマカダムローラとタイヤローラ(写真-6、7)を使用した。



写真-5 敷きならし状況



写真-6 転圧状況(マカダムローラ)



写真-7 転圧状況(タイヤローラ)



写真-9 端部成形目地材貼り付け

#### 4-2 表層工

##### (1) 合材運搬

ホワイトCAP混合物は、通常のアスファルト混合物と比較して、温度が低下した際に施工性が極度に低下する。また、プラントから現場までの運搬時間が2時間弱なので、混合物の温度低下抑制対策として、二重シートで覆うこととし、一層目に麻袋シートを、二層目に保温マット「Goマット」を使用した(写真-8)。

トンネル内では、大型ダンプトラックによる混合物の荷下ろしができないので、4tダンプトラックへ積み替えを行った。また、大型および4tダンプトラックともに荷台を入念に清掃し、付着防止剤として「アスファラブ」を散布して汚れが合材に付着しないよう注意した。



写真-8 Go マット使用状況

##### (2) 端部止水措置

トンネル内の舗装においては、湧水や結露などが舗装体内へ浸入することではく離などによる破損に繋がる可能性があるため、舗装端部に成形目地材を貼り、浸入水の防止措置を行った(写真-9)。

##### (3) タックコート工

タックコートには、タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤(PKM-T)を用いた。乳剤散布状況を写真-10に示す。



写真-10 タックコート工 乳剤散布状況

##### (4) 敷きならし

敷きならし機械には、ミニアスファルトフィニッシャを使用し、アスファルト汚れが舗装表面に付着しないよう、ホップ、スクリュウおよびスクリードを事前に入念に清掃した。また、舗装道具(レーキ、スコップ)の洗い油についても軽油は使用せず、「アスファラブ」を使用して、汚れの付着防止対策を行った。

路側帯にセンサーロープを設置するスペースがなかったため、縁石などに事前にチョークラインで基準線をマーキングしておいた。そのマーキングを画像認識しながら高さを制御する装置であるレベリングセンサ「ラインリーダ」をミニアスファルトフィニッシャに装着し、敷きならし高さを自動制御して平坦性を確保した。なお、平坦性 $\sigma$ は0.98と良好な結果であった。敷きならし状況を写真-11に示す。

##### (5) 転圧

初転圧にマカダムローラ、二次転圧にタイヤローラを使用した。鉄輪、タイヤとも事前に入念に清掃を行い、汚れが舗装表面に付着しないよう注意した。転圧状況を写真-12、13に示す。



写真-11 敷きならし状況



写真-12 初転圧状況(マカダムローラ)



写真-13 二次転圧状況(タイヤローラ)

#### (6) 石粉散布

初転圧終了後、ふるいを用いて舗装表面に石粉をまんべんなく散布し(300g/m<sup>2</sup>程度)、その後タイヤローラによる二次転圧を行った。石粉は産地によっ

て色が異なるので、事前にメーカーからなるべく白いものを取り寄せて使用した。石粉散布状況を写真-14に示す。



#### 5. おわりに

2年前に施工した際には、タイヤローラのタイヤ痕で若干暗い色に変色したり、供用直後に坑口付近で既設舗装のアスファルト分を通行車両が引っ張って黒っぽくなったりした。しかし、本工事においてはその経験を踏まえ、事前に各種検討を行った結果、施工中・供用直後に舗装表面が変色するようなことはなく、良好な明色性を確保することができた(写真-15)。

本文が、同様の工事を施工する際の一助になれば幸いである。



写真-15 完成写真

## 自然色排水性舗装(保水材注入型)による「けやき坂通り」の補修

小岩 和雄\*  
 安達 功雄\*\*  
 吉田 伸行\*\*\*

### 1. はじめに

平成15年4月25日に東京都港区の六本木において大規模再開発事業の複合施設「六本木ヒルズ」が開業した。当社はこの施設の内、毛利庭園をはじめ当該エリアの外構工事を行った。また、当該エリアを東西に縦断する「けやき坂通り」に自然色排水性舗装(ハイドレールN)を施工した。

「けやき坂通り」には、延長約400m、幅10mの車道の両側に幅3mの歩道があり、緩やかな勾配(最大5.8%)が続く、六本木ヒルズのメインストリートである(写真-1)。

本文では、供用開始後15年が経過した、「けやき坂通り」の自然色排水性舗装の補修工事について報告する。



写真-1 けやき坂通り

### 2. 補修前の状況

自然色排水性舗装(ハイドレールN)は、施工直後から使用骨材の地肌を表層面に露出し、かつ、耐久性に優れた舗装である。自然色排水性混合物を舗装後、樹脂コートによって表面部を強化し、その後ウォータージェットによって表面を研掃して仕上げる舗装である。

平成30年2月時点の当該舗装の状況を写真-2に示す。全体として健全な状態を維持しているが、表面の荒れおよび路体盛土沈下に伴うひび割れが発生している状況であった。



写真-2 平成30年2月時点の既設舗装の状況

### 3. 自然色排水性舗装(保水材注入型)の提案

発注者の森ビルは現況と同様の路面(自然色排水性舗装)で更新する意向であったが、当該道路を管理する港区から路面温度抑制性能を有する遮熱性舗装で補修するよう要求があった。

このため、港区と森ビルの両者の要求を満足させられる自然色排水性舗装(保水材注入型)を提案し了承された。

当該舗装は、施工直後から使用骨材の地肌を露出させるとともに、排水性と低騒音性に加えて路面温度抑制性能を有する舗装である。図-1に自然色排水性舗装(保水材注入型)の断面を示す。

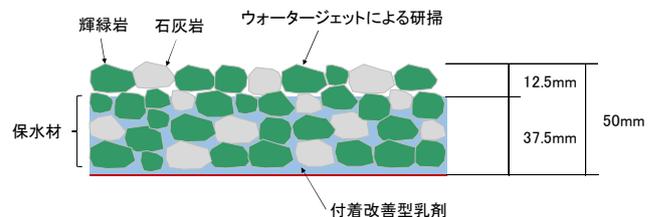


図-1 自然色排水性舗装(保水材注入型)

### 4. 工事概要

本工事は建設後に策定した「六本木ヒルズ長期修繕計画」に基づき、「けやき坂通り」の表層を切削オーバーレイするもので、工事概要は以下のとおりである。

- ①発注者：森ビル
- ②工事名：六本木ヒルズ森タワーけやき坂通り  
車道全面舗装打換工事
- ③工期：平成30年2月5日～平成30年3月31日
- ④場所：東京都港区六本木
- ⑤施工面積：3,644m<sup>2</sup>(延長約400m、幅10m、車道最大勾配5.8%)

\*関東支店東京第2営業所 \*\*同営業所 \*\*\*同営業所副所長

- ⑥ 施工厚：t=50mm(切削オーバーレイ)
- ⑦ 混合物：自然色排水性舗装用混合物  
(輝緑岩+石灰岩、保水材注入型)

### 5. 使用材料、配合および試験練り

自然色排水性舗装用混合物については新設時と同様に、バインダは高粘度脱色バインダ、粗骨材は静岡県浜北産の輝緑岩と、群馬県中里村産の石灰岩とした。粗骨材には粒形が立方体に近く、硬質で色の鮮やかなものを選定した。混合物の配合および特性を表-1、2に示す。空隙率20%程度、動的安定度は3,000回/mm以上、およびねじり抵抗性能は通常の排水性舗装と同等以上を目標とした。写真-3に試験練りの状況を示す。

表-1 母体アスコンの配合

材料名	6号砕石		細砂	石粉	高粘度脱色バインダ	計
	(輝緑岩)	(石灰岩)				
骨材配合	65.0	21.8	8.6	4.6	—	100.0
全体配合	62.0	20.8	8.2	4.4	4.6	100.0

表-2 母体アスコンの物理特性

項目	単位	試験結果	基準値 目標値
バインダ量	%	4.6	
理論密度	g/cm <sup>3</sup>	2.684	
密度	g/cm <sup>3</sup>	2.156	
空隙率	%	19.7	20
連続空隙率	%	16.4	
マーシャル安定度(標準)	kN	8.3	3.5以上
残留安定度(水浸)	kN	85.5	75.0以上
フロー値	1/100cm	30.0	20~40
カンタプロ損失量(20℃)	%	5.0	20以下
動的安定度	回/mm	6,000以上	3,000以上



写真-3 試験練りの状況

### 6. 達成目標・事前検討

#### (1) 達成目標

達成目標を以下のとおりとした。

- ・平たんに美しく仕上げる。
- ・耐久性と景観性に優れた舗装とし、今後10年間の補修をゼロにする。

#### (2) 事前検討

新設時(平成15年3月)では、自然色排水性舗装→

トップコート(樹脂散布量：0.7kg/m<sup>2</sup>)→ウォータージェット147MPaとしたが、今回はトップコート面での交通開放およびトップコート後の保水材の注入が困難と予想されたので、ウォータージェット前の表面強化を実施しないこととした。この代替としてウォータージェットの水圧を下げ、粗骨材の地肌の露出度を下げ、骨材飛散抵抗性能を確保することとした。

ねじり抵抗性試験は、ポーラスアスファルト混合物を用いた舗装において、タイヤのねじりによって路面の骨材が飛散する程度を評価する試験である。この試験結果を図-2に示す。

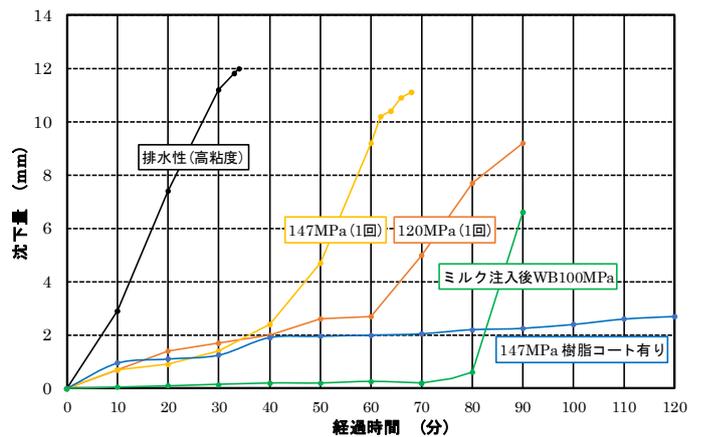


図-2 ねじり抵抗性試験結果

この結果から、トップコート無しで新設時と同じ147MPaで研掃した場合、通常の国道の表層に用いられている排水性舗装よりは強いものの、けやき坂の条件(勾配がきつい、交差点が二つある、および車両の出入口もある)では、骨材飛散が生じる可能性があることがわかった。したがって、今回はウォータージェットの水圧を100MPaと決定した。

この水圧で施工した場合、粗骨材表面を被膜した高粘度脱色バインダが若干残置され、施工直後から輝緑岩と石灰岩の地肌を完全に露出させることができない。しかし、景観性をある程度考慮しつつ、耐久性を重視する考え方で施工に臨むこととした。

### 7. 施工方法

自然色排水性舗装(保水材注入型)の施工方法は、図-3に示すとおりである。

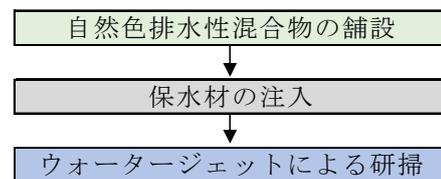


図-3 施工方法

### (1) 製造・運搬

製造温度は、バインダ温度 $175\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、骨材温度 $180\pm 5^{\circ}\text{C}$ とした。冬期施工なので、中温化剤(2kg/t)を投入し、混合温度(出荷温度)は $175^{\circ}\text{C}$ とした。

運搬では荷台に生分解性アスファルト付着防止剤(アスクリーン)を均一に塗布し軽油の使用は厳禁とした。シートは2重掛けとした。

### (2) リフレクションクラック防止対策

既設舗装面には、路体の圧密沈下起因する横断ひび割れが四箇所あった。ひび割れ箇所を50mm切削後さらに100mm切削し、この100mm厚の箇所密粒アスコン(13)を舗設しリフレクションクラックの発生を抑制することとした(図-3)。

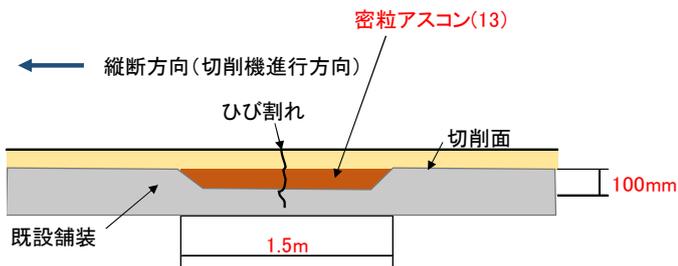


図-3 既設ひび割れ箇所の補修方法



写真-4 既設舗装ひび割れ箇所の施工状況

### (3) 切削オーバーレイ

切削の平坦性が仕上がりの平坦性に大きく影響するので、切削は平坦に段差なく実施した。

また、切削面の清掃が悪い場合、基層と接着不良が生じるので、清掃を徹底した。タックコートには付着改善型乳剤(0.20/m<sup>2</sup>)を用いた。

アスファルトフィニッシャーで敷きならした後、初転圧はマカダムローラ(10~12t)で4回、二次転圧はタンデムローラ(6~8t)で2回転圧した。

混合物の敷きならし温度は $155\pm 10^{\circ}\text{C}$ 、初転圧温度は $145\pm 10^{\circ}\text{C}$ 、二次転圧温度は $65\pm 10^{\circ}\text{C}$ とした。

舗設器具への付着防止剤はアスクリーンとした。

### (4) 保水材の注入

保水材は秩父コンクリート工業の吸水率40%の超速硬セメント型とし、東京舗装工業の専用機で製造した。Pロートで9~10secとし勾配の上から下に向かって注入した。上部の保水材を吸水ローラで撤去した。



写真-5 自然色排水性舗装の舗設状況

保水材の製造状況、注入状況、および吸水ローラによる表面の保水材の吸水状況を写真-6~8に示す。



写真-6 保水材の製造状況



写真-7 保水材の注入状況

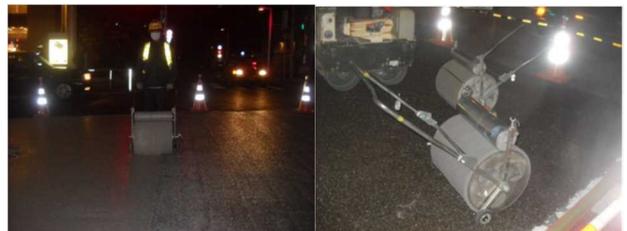


写真-8 吸水ローラによる保水材の吸水状況

### (5) ウォータージェットによる研掃

ウォータージェットの施工速度は5m/分、および水圧は前述の方針によって100MPaとした。施工状況を写真-9に示す。

濁水は廃水タンクに吸引し産業廃棄物として処理した(写真-10)。



写真-9 WJ施工状況

写真-10 廃水タンク車

(6) 路面の状況

各施工段階の路面の状況を写真-11に示す。



<自然色排水性混合物の舗設後>



<保水材の注入後>



<ウォータージェットによる研掃後>

写真-11 路面の状況

8. 試験結果

施工後の諸性状を表-3に示す。DFテスターによるすべり摩擦係数は0.42(40km/h)、および平坦性σは1.70mmであった。

表-3 施工後の諸性状

項目	単位	試験結果	新設時の値
現場透水量	cc/15sec	—	1,139
DFテスターによるすべり摩擦係数 (40km/h)		0.42	0.61
平坦性	mm	1.70	—

また、温度低減効果の測定結果を図-4に示す。6月24日に2.5mmの降雨があり、翌6月25日の最高気温は32.6℃であった。図-4に示すように密粒度アスコンの路面温度55℃に対し、自然色排水性舗装(保水材注入型)は49℃であった(6℃の温度低減効果)。

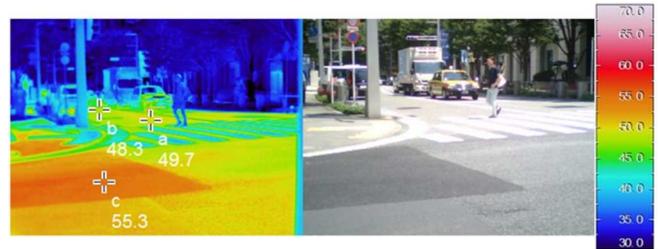


図-4 温度低減効果の測定結果(6月25日測定)

9. おわりに

平たんに美しく仕上げること、耐久性と景観性に優れた舗装を構築することを目標に自然色排水性舗装(保水材注入型)を施工した。

「けやき坂通り」の両側にはテレビ朝日、ホテルグランドハイアット、ブランド店舗、高層住宅棟、バス停などがあり、また、交差点および24時間供用のヒルズ専用出入口がある。これらの施設と事前調整し、切削オーバーレイを7分割、保水材の注入を6分割、およびウォータージェットを8分割で施工したが、無事に顧客の森ビルを満足させることができたものと思われる。

最後に本工事にあたりご協力いただいたホテルグランドハイアットはじめ、沿道関係各位、港区、森ビル、協力会社、技術研究所、および横浜アスコンに対し感謝の意を表したい。

# 仮栈橋道路舗装における技術的対策とオークサイレントの施工事例

井原 毅\*  
永井 良介\*\*  
栗原 充規\*\*\*

## 1. はじめに

横浜環状道路は、横浜市の道路ネットワークの骨格を形成する自動車専用道路で、首都圏3環状道路などと一体となって、首都圏の広域的な高速道路網を形成する重要な路線である。

この横浜環状道路は、横浜環状北線、横浜環状北西線および横浜環状南線の3路線が事業中であり(図-1参照)、このうち横浜環状南線公田地区掘割試験工事を大林組が現在施工中である。

本文は、横浜環状南線公田地区掘割試験工事のうち、仮栈橋上の付替え道路における舗装構成、施工方法の検討および施工内容を報告するものである。



図-1 横浜環状道路の整備状況

## 2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

工事名：横浜環状南線公田地区掘割試験工事  
工事場所：神奈川県横浜市栄区公田町(図-2参照)  
全体工期：平成26年2月5日～平成31年7月8日  
施工期間：平成29年4月1日～10月31日

(付替え道路完全供用まで)

元発注者：東日本高速道路株式会社

発注者：株式会社大林組

工種数量：表-1に示すとおり

付替え道路完成時のイメージを図-3、4に示す。

## 3. 舗装構成の検討

付替え道路は、公田小下交差点付近の工事を行う際、一般車両および歩行者を迂回させるための道路

で、鋼桁と覆工板で構成される栈橋道路であった。



図-2 施工位置図

表-1 工種・数量

工種	細別	形状	厚さ(cm)	数量(m <sup>2</sup> )
車道舗装工	準備工	吸出し防止処理 不織布	0.3	4,093
	路盤工	RM-40	0~53	4,093
		軽量骨材(カルグリ)	0~48	253
	表層工	再生粗粒度アスファルト混合物	5	4,093
歩道舗装工	準備工	吸出し防止処理 不織布	0.3	1,520
	路盤工	RM-40	0~32	1,520
		表層工	オークサイレント	5



図-3 付替え道路完成イメージ図①



図-4 付替え道路完成イメージ図②

この付替え道路の設計舗装断面は、表層5cmが開粒度アスファルト混合物(ｽﾌ7ｽ)、基層が再生粗粒度

\*関東支店横浜営業所 \*\*同営業所 \*\*\*同営業所副所長

アスファルト混合物(ス7アス、以下、再生粗粒)であったが、この付替え道路は、四方向から道路が交差する交差点を含んでいるので、塑性変形抵抗性、骨材飛散抵抗性および覆工板特有の変形に対する追従性を考慮した舗装断面を検討する必要があった。当初設計および最終決定の舗装構成を図-5に示す。

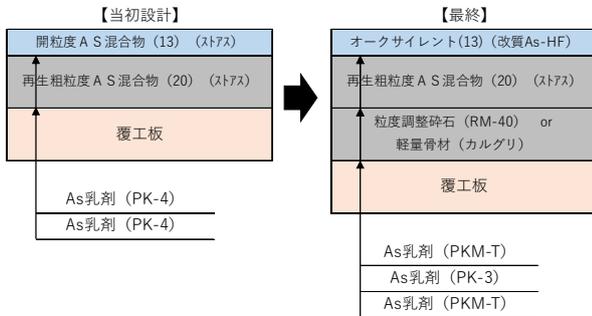


図-5 当初および最終の舗装構成

(1) 表層材料の検討

付替え道路は団地や民家などに近接していたので、騒音抑制の目的で受注時の技術提案として、当社の低騒音舗装「オークサイレント」を提案し、NEXCOから評価され採用された。また、バインダには塑性変形抵抗性と骨材飛散抵抗性を向上させる目的で、高耐久型ポリマー改質アスファルトの「シーロフレックスHT」を使用した。

オークサイレントの混合物配合、合成粒度および混合物性状を表-2~4に示す。

表-2 オークサイレントの混合物配合

混合物名	骨材配合 (%)			ゴムチップ (%)	植物繊維※ (%)	As (%)	合計 (%)
	6号砕石	細目砂	石粉				
オークサイレント	75.4	14.1	4.7	0.5	0.1	5.3	100.1

※混合物量に対して外掛け

表-3 オークサイレントの合成粒度

ふるい目 (mm)	19	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
合成粒度	100	98.2	23.8	20.2	17.7	11.9	5.8	4.4
粒度範囲	100	100~90	40~10	30~5	20~4	15~3	10~2	8~1

表-4 オークサイレントの混合物性状

項目	性状値	目標値	備考
基準密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.025	—	試験練り結果
空隙率 (%)	17.8	18±1	
安定度 (kN)	6.55	3.5以上	
フロー (1/100cm)	35	—	
残留安定度 (%)	87.8	75以上	
低温かつろし損失率 (%)	17	20以下	
動的安定度 (回/mm)	10,500	3,000以上	

(2) 基層材料の検討

基層材料は、耐水性・たわみ追従性に優れたFB13(改質Ⅲ型-WF)を提案し、付替え道路の線形(平面曲線)による横断勾配を調整するためのレベリング層についても同じ混合物で計画した。しかし、レベリング層にすべてアスファルト混合物を使用し

た場合、仮栈橋の許容死荷重を超過するので、路盤材によって死荷重を低減することにした。したがって、基層材料は後述する路盤材の効果によって当初設計の再生粗粒とした。

(3) 路盤工の検討

覆工板1枚に対して対角2箇所を溶接固定しているので、溶接していない対角線上にたわみが発生するので、覆工板継ぎ目のリフレクションクラック抑制対策として路盤工が有効となり、また、路盤工の適用によって基層材には耐水性は必要なくなる。

路盤工の適用に当たって、以下の問題点が考えられた。

- ① 施工中に路盤材が覆工板との間でズレを起こす可能性がある(縦断勾配が最高で約7.5%)。
- ② 路盤材の細粒分が仮栈橋下へ流出する可能性がある。
- ③ 路盤材(RM-40)でも部分的に許容死荷重を超える箇所が存在する。

路盤のズレ対策には、覆工板上に鋼材(アングル 50×50×6、以下、アングル)を横断方向に溶接することとし、効果については試験施工において検証することにした。路盤材細粒分の流出防止対策には、不織布を敷設することとし、事前検討によって覆工板とのなじみが良好な厚さ3mmのものを採用した。また、許容死荷重を超える箇所については軽量骨材を用いることにした。不織布と軽量骨材の仕様を表-5に、不織布および軽量骨材の外観を写真-1に示す。

表-5 不織布および軽量骨材の仕様

材料名	品番	メーカー
不織布	e-ODS300	東洋紡(株)
軽量骨材	カルグリ	日本メラサイト工業(株)

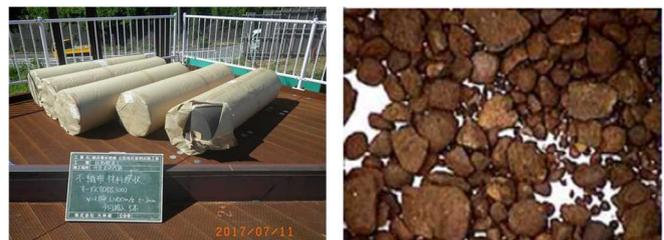


写真-1 不織布(左)と軽量骨材(右)の外観

(4) その他検討事項

覆工板上の舗装における破損の原因として、交通車両の荷重や制動による覆工板の挙動がある。この挙動を抑制するため、覆工板と受桁をボルトで固定し、さらに10mに一箇所、覆工板継ぎ目の隙間に杉板を挟むことによって対策を行った。また、表層工完了後、杉板設置箇所の直上に、カット目地(瀝青材注入)を設け、リフレクションクラック抑制対策とした。

## 4. 路盤試験施工

### 4-1 試験施工概要

路盤の試験施工では、ズレ止めのアングルを2.5mピッチ、5.0mピッチ、および7.5mピッチに設置した3工区に分け、アングル溶接後にラップ長300mm以上となるよう、不織布を隙間なく敷設した。

試験施工の平面図を図-6に、条件を表-6に示す。

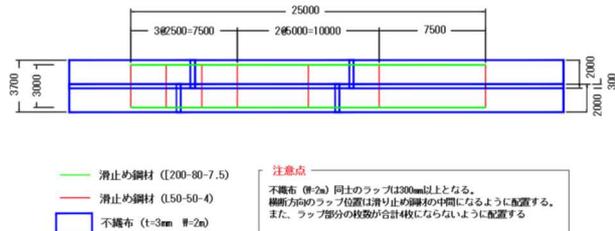


図-6 試験施工平面図

表-5 試験施工条件

側線(図4.2参照)	①, ②, ③	④, ⑤, ⑥	⑦, ⑧, ⑨	⑩
滑り止めアングル間隔	2.5m	5m	7.5m	なし
転圧回数機械	4tタンDEMローラ 4回 (累計 4回)			
	13tタイヤローラ 2回 (累計 6回)			
	13tタイヤローラ 4回 (累計 8回)			
	13tタイヤローラ 6回 (累計 10回)			
	13tタイヤローラ 8回 (累計 12回)			
路盤材	再生粒度調整碎石RM-40			
アングル仕様	L50×50×6			

### 4-2 路盤材搬入・敷きならし

路盤材(RM-40)をタイヤショベル(0.3m<sup>3</sup>級)で小運搬してヤードに投入し、バックホウ(0.1m<sup>3</sup>)と人力併用で敷きならした。この際、不織布が汚れないように片押し施工とした。

### 4-3 転圧

転圧は縦断勾配の下方から上方に向かって、4tタンDEMローラおよび13tタイヤローラを用いて行い、端部についてはプレートを使用して転圧した。

### 4-4 沈下量の測定

#### (1) 測定位置

沈下量の測定は、初期(不織布敷設前)、路盤材敷きならし後、および各転圧回数において、幅止め鋼材の天端から下がり方を測定した。沈下量測定位置を図-7に示す。

#### (2) 測定結果

アングルを設置した側線①から側線⑨の沈下量測定結果を図-8に、アングルを設置していない側線⑩の沈下量測定結果を図-9に示す。

図-8に示すように、各側線においてばらつきはあるものの、転圧10回までは沈下が進行し、10回から12回にかけて沈下は収束しており、アングルの効果がみとれる。

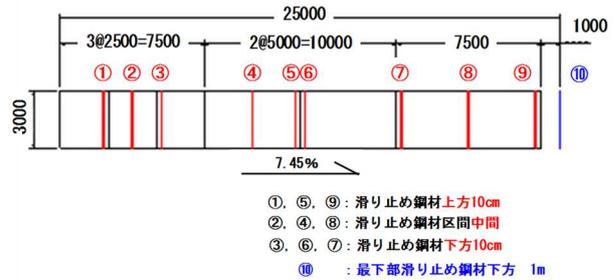


図-7 沈下量測定位置

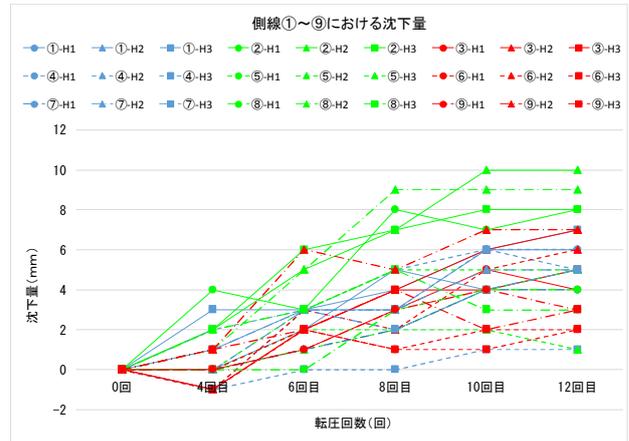


図-8 沈下量測定結果(側線①~⑨)

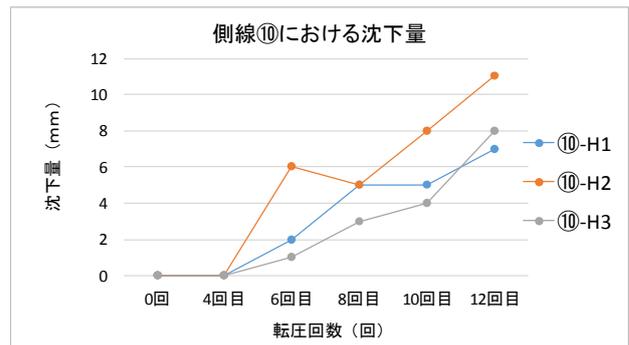


図-9 沈下量測定結果(側線⑩)

一方、図-9に示すようにアングルを設置していない側線⑩では、転圧12回まで沈下が進行しており、ズレによる影響がみとれる。

以上のことから、本施工におけるアングルの設置間隔を7.5mピッチ、転圧回数を10回以上と設定した。

## 5. 本施工

### 5-1 アングル溶接と不織布敷設

アングル溶接状況と不織布敷設状況を写真-2、3に示す。1mピッチに3cm程度、アングルを溶接した。



写真-2 アングル溶接状況

写真-3 不織布敷設状況

### 5-2 路盤工 (RM-40)

路盤工 (RM-40) では、試験施工と同様に不織布がよれないよう慎重に施工した。路盤工 (RM-40) の施工状況を写真-4に示す。



写真-4 路盤工 (RM-40) 施工状況

### 5-3 路盤工 (軽量骨材)

路盤工 (軽量骨材) では、1層仕上がり厚さが20cm以下となるように敷きならし、転圧を行った。

転圧回数についてもRM-40と同様の転圧回数で所定の締固め度が得られた。路盤工 (軽量骨材) の施工状況を写真-5に示す。



写真-5 路盤工 (軽量骨材) 施工状況

### 5-4 基層工

基層工は分割施工となったので、敷きならし機械にはミニアスファルトフィニッシャを使用し、転圧機械には、4tコンバインドローラと13tタイヤローラを使用した。基層工の施工状況を写真-6に示す。



写真-6 基層工施工状況

### 5-5 表層工 (オークサイレント)

表層工では、当社のアスファルトフィニッシャ (フェーゲルS-1600) にチップスプレッダを装着したものを敷きならしに使用し、転圧については、7tタンデムローラとタイヤローラを使用した。

事前に表面ゴムチップ散布量のキャリブレーションを行い、所定量 (300g/m<sup>2</sup>) を散布した。チップスプレッダによる散布が行き届かない箇所については、種蒔き器を用いて散布した。表層工施工状況を写真-7、8に示す。



写真-7 表層工施工状況 (敷きならし、ゴムチップ散布)



写真-8 表層工施工状況 (転圧)

## 6. おわりに

本工事は、覆工板上に路盤を施工するという、これまで事例がない条件での舗装工事であった。また、道路線形の検討、現道との取り合い、舗装構成の検討、路盤の施工方法など、様々な事前協議に大幅に時間を費やしたので、工程が厳しいものとなった。

しかし、発注者、元請および協力業者と緊密に打合せを行うことによって、舗装の施工時には大きなトラブルもなく、出来形・品質ともに満足する施工を行うことができた。今後、本文が同様の条件における舗装工事の参考になれば幸いである。

## 総合住宅展示場における涼置の適用事例

福本 佳久\*  
丸 武司\*\*  
有賀 公則\*\*\*

### 1. はじめに

西宮市酒蔵通り地区における総合住宅展示場(全6区画)の建設工事に伴い、センターハウスの建築と外構工事を当社が元請で施工することになった。

受注後、発注者との協議の中で、地域特性と当社技術の宣伝を兼ねて、駐車場舗装において当社の工法である涼置を施工する機会を得た。

本文では、当社技術の宣伝のために一般のアスファルト舗装を変更して涼置が採用された経緯やその施工について報告する。

### 2. 工事概要

工事概要は、以下に示すとおりである。

- ・工事名：某大手住宅展示場  
西宮・酒蔵通り住宅公園 開設工事
- ・工事場所：兵庫県西宮市鞍掛町5-5
- ・工期：平成29年11月27日～平成30年4月27日
- ・発注者：某大手住宅展示場
- ・主要工事：宅地造成、センターハウス新築  
歩道舗装、駐車場舗装(内、涼置558m<sup>2</sup>)

### 3. 西宮酒蔵通り

西宮市の酒蔵通りは、日本を代表する酒どころの一つ灘五郷(神戸市灘区・東灘区および西宮市の一部地域)の内、西宮郷と今津郷を結ぶ道である。

灘五郷は、日本酒造りに適した上質の酒米(山田錦)、ミネラル豊富な上質の地下水(宮水)が取れ、寒造りに最適と呼ばれる北風(六甲おろし)が吹き、製品の水上輸送に便利な港があったので、古くから日本酒の名産地として栄えた。現在も大手酒造会社の本社や、中小の酒蔵が点在しているところである。また、日本酒ブームの影響から海外の観光客も増加し、酒蔵見学や新酒を試飲できるイベントなども年中開催されており、観光にも力を入れている地域である。

### 4. 涼置の採用の経緯

当該展示場のセンターハウス前のメイン駐車場において、涼置を提案した理由は、以下に示すとおりである。

- ①センターハウスが木造建物であるので、和の印象を持つ涼置がふさわしい。



図-1 施工場所位置図

- ②酒蔵通りという地域性からも、和の印象を持つ涼置がふさわしい。
- ③夏季における路面温度の低減によって、来場者に対して熱環境の改善が図られる。

以上の提案理由を発注者に説明したところ、展示場全体のイメージアップに繋がることに加え、販売する住宅に高級感を与えると評価され、涼置の採用となった。

さらに涼置の宣伝のため、工法説明看板を駐車場の片隅に設置し、来場者からの問い合わせにも対応できるように、センターハウス内にリーフレットを常備させることも発注者に了承をもらった。

### 5. 涼置の適用における課題

涼置の適用における課題を以下に示す。

- ①車室部の明確化  
涼置の表面の色は、充填する保水性能のある材料(以下、保水材)の影響が大きく、全体的に白くなる。とりわけ車室部においては、路面標示の視認性が悪くなる。また、通路部と車室部の色を同じにすると、それらの境界部が不明確となる。
- ②車室部における路面標示  
通常、涼置における路面標示の施工は、舗装との接着力を確保するため、母体アスコン舗設後、保水材を充填する前に行う。しかし、保水材の充填

\*大阪支店阪神営業所工事長 \*\*本店建築部副部長 \*\*\*大阪支店技術部部長

前に路面標示を施工すると、車室部では駐車枠の路面標示の数が多いことに加え、身障者マーク、軽自動車マークなどもあり、それらがボトルネックとなり、研掃作業に支障をきたし均一な研掃面が得られない。

## 6. 涼畳のデザイン

### 6-1 適用範囲とパターン

涼畳の適用範囲は、図-2に示す通路部と車室部である。前章①の課題である通路部と車室部の区分の明確化を図るため、通路部と車室部の目地パターンおよび色を異なったものにした。さらに、車室部では路面標示の明確化を図るため、過去の実績を考慮し黒顔料(4%)入り保水材を使用することにした。

それぞれに適用した目地パターンおよび色を表-1に示す。なお、これらのデザインについては、本店環境技術営業部から案を提案し、発注者の承認を得た。

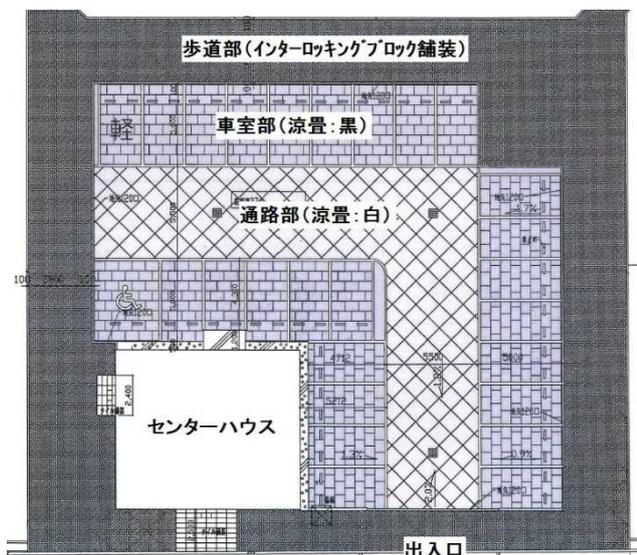


図-2 涼畳適用範囲

表-1 目地パターンと色

適用場所	目地パターン	色
通路部	四半目地 1000×1000mm	白
車室部	馬踏み目地 800×600mm	黒

### 6-2 舗装構成

表層を涼畳とするため、基層を設けることによって、舗装構成は図-3に示すとおりとした。

表層: 涼畳	50mm
基層: 再生粗粒度アスコン	50mm
路盤: 再生クラッシュラン(RC-40)	150mm

図-3 舗装構成

### 6-3 母体アスコン

涼畳の母体アスコンに用いる粗骨材は、平成23年度に兵庫県伊丹市で施工を行った石畳風半たわみ性舗装において良好な風合いを演出できた、広島県呉市産の硬質砂岩を用いることにした。また、混合物は、一般のポラスアスファルト混合物の配合をもとに目標空隙率を20%とし、粗骨材の一部に使用する石灰岩の配合割合も、伊丹市での実績をもとに6号砕石全体の30%とした。母体アスコンの材料および配合割合は、表-2に示すとおりである。

表-2 母体アスコンの使用材料と配合割合

材料名	産地	材質	配合比(%)
6号砕石	広島県呉市	硬質砂岩	59.5
6号砕石	高知県吾川郡	石灰岩	25.5
砂	滋賀県大津市	洗い砂	10
石粉	滋賀県米原市	石灰岩	5
アスファルト	兵庫県姫路市	改質H型	(4.9)

## 7. 施工方法

### (1) 母体アスコン舗設

一般的なアスファルトフィニッシャ(4.5m)および4tコンバインドローラで母体アスコンの舗設を行った。

### (2) 保水材充填

保水材の充填に用いた機械を以下に示す。

- ・移動式ミキサ(100ℓ) : 2台
- ・タンデムローラ(2.5t) : 1台

移動式ミキサは、保水材の練り混ぜおよび充填場所までの運搬・排出が可能で、従来のようにミキサから一輪車に積み込む作業が不要となり作業性がよい。移動式ミキサを写真-1に示す。



写真-1 移動式ミキサ

保水材の充填については、施工性を考慮し施工範囲の外側に位置する車室部を先に行い、最後に通路部を奥から出入口に向かって進めることにした。

車室部と通路部で保水材の色が黒から白へ変更に

なるので、車室部の施工終了後、移動式ミキサをきれいに水洗いし、色むらの発生防止を図った。車室部および通路部における保水材充填状況を写真-2、3に示す。



写真-2 保水材充填状況(車室部)



写真-3 保水材充填状況(通路部)

車室部と通路部の境目については、路面標示が入って供用後は頻りにタイヤの荷重を受けることとなる。路面標示と舗装との接着力を確保するため、路面標示の位置に幅120mmの未充填部を作った(写真-4)。また、施工時に採取した保水材の性状を表-3に示す。仕様値と同程度の値が得られている。



写真-4 路面標示位置における未充填部

表-3 保水材の品質管理試験結果

項目	保水材 黒	保水材 白	仕様値
フロー値 (秒)	9.06	9.15	9~10
最大吸水率 A方式 (%)	24.1	21.5	35
最大吸水率 B方式 (%)	33.1	30	
圧縮強度(7日) (N/mm <sup>2</sup> )	16	19.8	17

### (3) 研掃

保水材注入から八日後、ショットブラストによる表面の研掃処理を実施した。投射密度については、研掃後の仕上がり状況を考慮し65kg/m<sup>2</sup>で1往復とした。また、壁際の端部については、端部処理用の研掃機を用いたが、それでも幅100mm程度の未処理部分が残るので、その部分はジェットタガネによる研掃を行った。研掃状況を写真-5、6に示す。



写真-5 ジェットタガネによる研掃状況



写真-6 通路部における研掃状況

### (4) 路面標示

今回、5章で示した②の課題に対処するため、路面標示の施工を研掃後に実施した。車室部と通路部の境目については、未充填部の設置によって接着力を確保した。

車室と車室の境については、タイヤによる荷重の作用が少ないことを考慮し、接着力確保の対策として、表面が十分に乾燥していることを確認のうえ、

路面標示用プライマーを均一に散布して施工を行うことにした(写真-7)。



写真-7 路面標示用プライマー散布状況

#### (5) カッタ目地

カッタ目地は、幅6mm、深さ10mm程度とし、ドライカッタによって施工した(写真-8)



写真-8 カッタ目地施工状況

### 8. まとめ

今回の涼畳の施工におけるまとめを以下に示す。

- ①涼畳は保水材の充填不足、色むら、カッタ目地の歪みなどはなく良好な仕上がりであった(写真-9)。
- ②車室部の目地パターンおよび色を通路部と変えることによって、車室の明確化が図られた(写真-9)。

③涼畳はセンターハウスおよび展示用住宅と景観的に調和した仕上がりとなった(写真-10)。

④当該場所は比較的交通の便が良く、また、工法説明看板およびリーフレットの設置ができたことによって、今後の涼畳の営業に活用できる。

⑤車室部における路面標示の耐久性、夏季の路面温度低減効果などを、今後の追跡調査で検証したい。



写真-9 車室部の明確化



写真-10 オープン後の涼畳の状況と工法説明看板

### 9. おわりに

各住宅メーカーの建築工事が佳境に入り、輻輳作業が予想された状態での施工であったが、各住宅工事関係者のご協力もあり無事に工事を終了できた。

ご指導ご協力いただいた本店環境技術営業部、技術部および技術研究所西日本試験室の方々にお礼申し上げます。

# 早強 SFRC による岸壁棧橋上コンクリート舗装打換え工事

栗原 充規\*  
 荒木 康裕\*\*  
 森重 晴之\*\*\*

## 1. はじめに

本牧ふ頭のA突堤は昭和45年に完成したふ頭で、フルコンテナ船以外にも在来船などによる多様な荷役に対応し、長年に亘って横浜港の中心的な役割を担ってきた。

近年、コンテナ貨物の増加によって、棧橋上部のコンクリート舗装の老朽化が進み、棧橋の耐震補強とともにコンクリート舗装の打換え工事が施工されている。

## 2. 受注に至る経緯

横浜市の某建設会社(本牧ふ頭A突堤岸壁補修工事その2の施工会社)を通じて、横浜市港湾局から当社に相談があった。「コンクリート舗装の施工後、1年も経過しない内に発生したひび割れの原因究明と対策」について、当社の見解を求められた。そこで、当社として『鋼繊維補強コンクリート設計・施工マニュアル・道路舗装編』を参考に設計提案をし、併せて設計見積を提出した。

その結果、その3～6のA突堤の岸壁補修工事におけるコンクリート舗装打換え工事をすべて受注し施工を行った。

本文では、その6の工事内容について報告する。

## 3. 工事概要

工事概要は、以下のとおりである。なお、現場位置図を図-1に、舗装打換工の平面図・断面図を図-2に示す。

工事名：本牧ふ頭A突堤岸壁補修工事(その6)

工事箇所：横浜市中区本牧ふ頭6-1地先

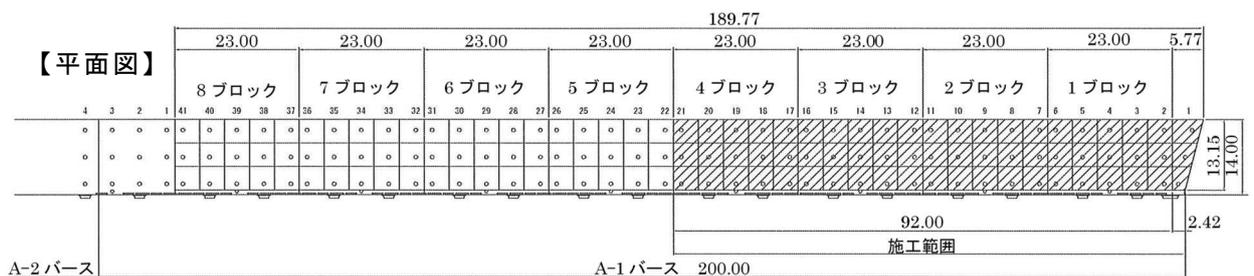
施工期間：2019年2月1日～2019年3月23日

発注者：横浜市港湾局

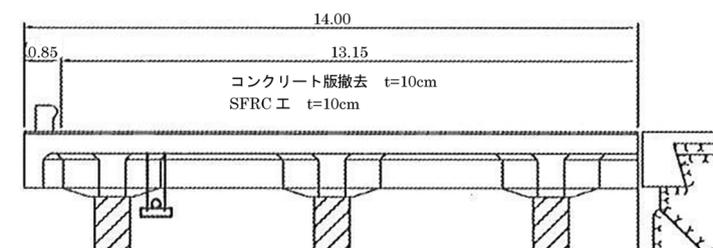
工種・数量：コンクリート舗装打換工 1,262m<sup>2</sup>  
 27時間連続規制(600m<sup>2</sup>/日)



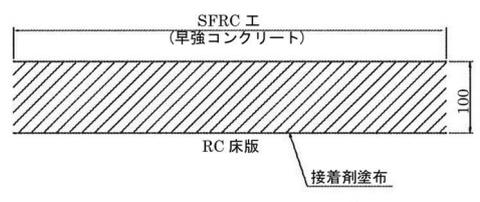
図-1 現場位置図



【舗装範囲断面図】



【舗装断面図】



【伸縮目地設置】

図-2 平面図・断面図

\*関東支店横浜営業所副所長 \*\*同営業所工事主任 \*\*\*同営業所

#### 4. 当工事の特色(当社の提案内容)

##### 4-1 コンクリートのひび割れ対策

###### (1) ひび割れ対策①

- ・コンクリートの収縮変形を抑制し、乾燥収縮ひび割れの発生を低減する目的で、混和剤としてコンクリート用膨張剤を使用した。
- ・乾燥による自己収縮において、粗骨材を秩父産の石灰石骨材(20-05)を使用することで、砂岩系骨材に比べてコンクリートの乾燥収縮率は約40%減少するといわれている。また、副次効果として、石灰石骨材の使用によって、アルカリ骨材反応が起こらないことや7日強度が高くなることが期待できる。

###### (2) ひび割れ対策②

- ・スチールファイバー(以下、SF)の端部フック形状は、引抜き抵抗を与える繊維の弾性係数が大きいので、SFを混入すること高いひび割れ抑制機能を持つことになる。
- ・一般のコンクリートは圧縮には強いが引張り、曲げおよびせん断に弱く破壊に対して脆い。しかし、SF入りコンクリート(以下、SFRC)では、圧縮強度についてはさほど改善されないが、引張り、曲げおよびせん断の各強度では1.3~1.8倍と改善され、ひび割れが生じにくくなる。

##### 4-2 目地

- ・コンクリート版が栈橋スラブと接着剤によって一体化するので、反りに対する目地は設置しなかった。
- ・各ブロック(13m×23m)の外周にt=10mmのエラストイトを設置した。

##### 4-3 養生

- ・コンクリートの打設時期に予想される養生温度が0~8℃であり、材令3日における圧縮強度の増大を期待する目的で真空処理を提案した。真空処理で脱水されたコンクリートでは、表層ほど圧縮強度が大きく、低水セメント比の緻密な組織が形成される。したがって、供用時の輪荷重が大きい交通量に対しての抵抗性も期待できる。
- ・海風が強くとシートと散水による養生が不可能であるので、被膜養生剤を散布した。

#### 5. 主な使用材料

SFRC工の主な使用材料を表-1~3に示す。

表-1 SFRC(早強：呼び強度36N/mm<sup>2</sup>)の配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (w/c)	細骨材率 (s/a)	鋼繊維混入量 (kg/cm <sup>3</sup> )	目標スランブ (cm)	目標空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					高性能AF減水剤 Ad
						水 W	早強セメント C	細骨材 S	粗骨材(石灰石) G	膨張材 EX	
20	45	57.9	100	6.5±1.5	4.5±1.5	175	389	976	745	20	3.11

※1 高性能AF減水剤(C+EX)×% フローリックSF500S

※2 SF投入前スランブ 15~21cm

※2 目標スランブ、目標空気量は鋼繊維混入後

※3 膨張剤：太平洋マテリアル㈱：ハイパーエクスパン

表-2 接着剤の品質性状

項目	主剤	硬化剤
主成分	エポキシ樹脂	ポリアミドアミン 変性脂肪族アミン
外観	白色モルタル状	濃緑色液状
混合比	主剤：硬化剤=5：1(質量比)	
硬化物比重	1.529(1.40±0.20)	
圧縮強さ	92.3(50N/mm <sup>2</sup> 以上)	
圧縮弾性係数	4.234(1.0×10 <sup>9</sup> N/mm <sup>2</sup> 以上)	
曲げ強さ	46.1(35N/mm <sup>2</sup> 以上)	
引張せん断接着強さ	22.7(10N/mm <sup>2</sup> 以上)	

表-3 SFの品質性状

材質	JIS G 3532適合品	
形状	両端フック型	
寸法	直径	0.6mm
	長さ	30mm
引張強度	600N/mm <sup>2</sup>	

#### 6. 施工

##### 6-1 施工フローとタイムスケジュール

施工フローとタイムスケジュールを図-3、4に示す。

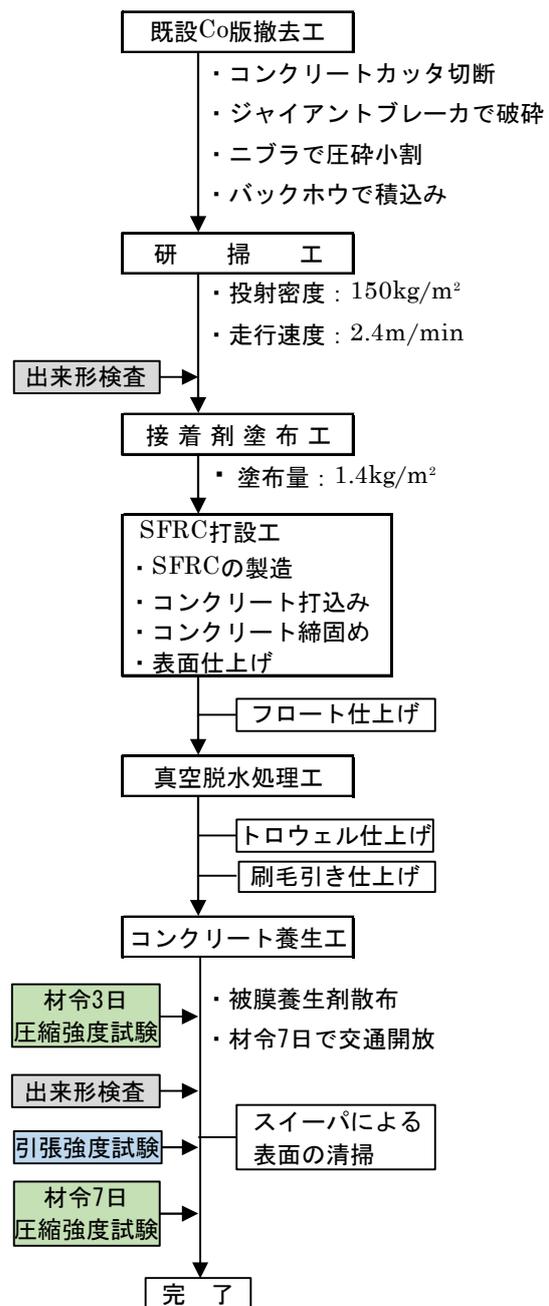


図-3 施工フロー

時間	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
工種																											
コンクリート版切断工																											
コンクリート版取壊し																											
コンクリート塊積み込み																											
研掃工																											
出来形測定・準備工																											
接着剤塗布工																											
コンクリート打設工																											
真空脱水処理工																											
被膜養生剤散布工																											

図-4 タイムスケジュール(600m<sup>2</sup>/27時間)

## 6-2 施工内容

### (1) コンクリート版撤去工

ジャイアントブレーカでコンクリート版を取壊し、ニブラを使って圧砕小割を行い、バックホウのバケットでダンプに積み込んだ。栈橋スラブとコンクリート版が40%位しか接着していないので、撤去は容易であった。

接着が強固な部分については、ミニのジャイアントブレーカで破碎を行った。その後、小型スイーパーなどで入念に清掃を行った。

### (2) 研掃工

コンクリート床版の研掃は、ショットブラスト工法(スチール径：1.2～1.7mm)で投射密度を150kg/m<sup>2</sup>とし、施工初日にキャリブレーションを行い施工速度を決定した。端部用機械の入らない部分については、サンダとハンドブラストで施工した。

### (3) 接着剤塗布工

下地の栈橋スラブの表面温度を測定し、5～20℃の施工温度範囲かどうかを確認してから塗布を行った。その際、打継ぎ可能時間は1～2.5時間とした。塗布工にはゴムレーキを使用し均一に敷きならした。

### (4) SFRC工

SFRCの製造では、生コン車が到着したら速やかにスランプを測定後、消泡剤を投入し、SF投入機によって100kg/m<sup>3</sup>のSFを、約20～25分で生コン車に投入した。その後、高速回転で混合・攪拌した(写真-1)。

26m級のブームポンプ車でSFRCを打設箇所投入した(写真-2)。粗ならし後、簡易フィニッシャ(以下、レーザーバック)によって一定の速度(0.5～1.0m/min)で敷きならした(写真-3)。端部は、鋺を使って人力で丁寧に仕上げた。

### (5) 真空処理工

打設後1～1.5時間経過後を目途に真空脱水処理を行った。脱水処理は表面から2～3cmの深さを2～5分間行った(写真-4)。真空処理後、トロウエル仕上げを実施した(写真-5)。



写真-1 SF投入状況



写真-2 ポンプによる打設状況



写真-3 レーザーバックによる敷きならし状況



写真-4 真空処理状況



写真-5 トロワエル仕上げ状況

#### (6) コンクリート養生工(被膜養生剤の散布)

当該現場は岸壁という環境下であり、風が強く(シート+散水)養生が困難なので、被膜養生剤を散布した。

### 7. 課題・問題点の対策

#### (1) 塩害によるSFの錆びの発生防止

レーザーバックを使用してエアによる高周波振動による締固めを行うことで、SFは表面に露出せずに5mm程度沈む。したがって、人力仕上げ部以外でSFの錆びの発生はなくなる。

#### (2) 施工時間の制約

レーザーバックを連結して、幅員13.2mの一括施工に対応できるように組立を行い施工した。なお、その際にコンプレッサの馬力もアップさせた。

#### (3) 施工時期(毎回2月)

真空脱水では、コンクリート打込み終了2時間(ブリーディング終了間際)後にろ過マットを設置し、表面から2cm程度を対象として5~10分間吸引を行った。真空脱水処理を行い、コンクリート打込み後のブリーディング現象によって表面近くに上昇した余剰水を吸引することで、凍結防止の一助になる。

### 8. まとめ

当該現場で一番苦勞(工夫)したのが、生コン車のドラムの内側と羽根に付着したSFRCの処理である。

ポンプ車にコンクリート投入後、写真-6に示すように用意したベッセル(容量：6m<sup>3</sup>)にシュートを洗浄した水を貯留した。

しかし、一日の打設量約60m<sup>3</sup>(15台分)当たりの洗

浄水と、最初にポンプ車に投入したモルタル0.5m<sup>3</sup>、および最後にポンプ車の残コンを排出すると、ほぼベッセルが一杯となった。翌日に上澄み水を生コンプラントに持込み、処理を依頼した。



写真-6 洗浄水投入状況

残った硬化途中のコンクリートをミニバックホウ装着のブレーカで小割し、産廃処分業者のダンプで処分した。一方、プラントに戻った生コン車に単粒砕石(S-4)を投入して空回しを行った後、約8m<sup>3</sup>の残コンと砕石を産廃処分したので、費用もかさむ結果となった。

### 9. おわりに

当該現場における生コンプラントの選定条件は、以下のとおりであった。

条件①：土曜日の出荷が可能であること。

(対応策) 組合に加盟していないJIS工場を使用

条件②：早強セメント使用が可能であること。

条件③：早強セメントの運搬時におけるスランプロスを考慮し、運搬時間30~40分以内とした。

(対応策) 往復、高速道路を使用した。

条件④：使用プラントには、SFRCの配合設計の実績があること。

以上の結果、遠方のプラントを使用せざるをえなかった。

今後に予定されている本牧ふ頭B、C突堤、山下ふ頭、および大黒ふ頭等の同種工事の際には、これらの問題点を改善し、施工性の向上につなげたい。

本文が今後の同種工事の参考になれば幸いである。

# 名古屋高速道路リフレッシュ工事における IH 式舗装撤去の施工事例

丸山 敦裕\*  
佐藤 和彦\*\*

## 1. はじめに

近年、鋼床版上の舗装は、交通荷重など様々な要因で損傷を受け、舗装の全層打換えを行う場合も増えてきている。修繕工事の際に行われる鋼床版上の舗装全層の撤去は、路面切削とバックホウによる剥ぎ取りとボルト接合部などでの人力によるはつりでの剥ぎ取りが一般的である。そのため、住宅密集地区では、粉塵や騒音の問題によって交通規制時間に制約を受けることが多い。

このような問題を解決するために開発されたのが、IH式舗装撤去(以下、IH式)工法である。本文では、名古屋高速道路のリフレッシュ工事のうち、IH式工法の施工事例について紹介する。

## 2. 工事概要

工事概要は、以下に示すとおりである。

工 事 名：平成29年度高速1号楠線  
舗装修繕工事(第4工区)

工事箇所：高速1号楠線(上り)(図-1参照)

施工期間：平成29年11月 3日(0:00)～  
平成29年11月11日(24:00)昼夜連続規制

発 注 者：名古屋高速道路公社

施工数量：(IH式工法採用部のみ抜粋)

幅員12.45～10.95m、延長77.4m、面積887m<sup>2</sup>

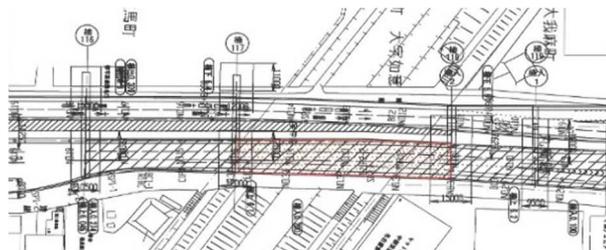


図-1 施工箇所図(赤枠内)

## 3. 舗装撤去方法の検討

### 3-1 事前調査

事前調査として、公社から提示された平成3年建設時の橋梁図面に示された添接板部およびハンドホール位置と、本工事の設計図との整合を得るため、ハンディタイプの電磁波探査機【日本無線(株)製NJJ-105】(図-4参照)で位置確認をした。電磁波探査機の精度確認のため、舗装の一部を人力撤去して添接部およびハンドホール部を目視確認した(写真-1、2)。

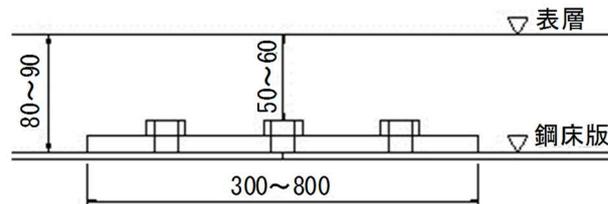


図-2 添接板部詳細図

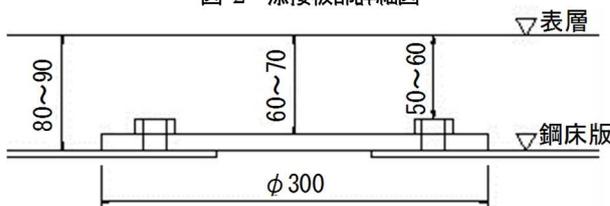


図-3 ハンドホール部詳細図

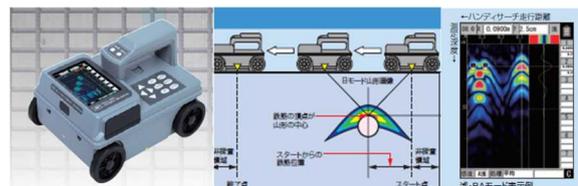


図-4 電磁波探査機(ハンディ型)



写真-1 電磁波探査機による調査状況



写真-2 人力撤去による目視確認状況

\*中部支店尾張営業所工事主任 \*\*中部支店技術部技術課課長

### 3-2 舗装切断位置の検討

事前調査によって橋梁図面との整合が得られたので、平面図に添接板部およびハンドホール位置を追記することができた。その追記したものを図-5に示す。

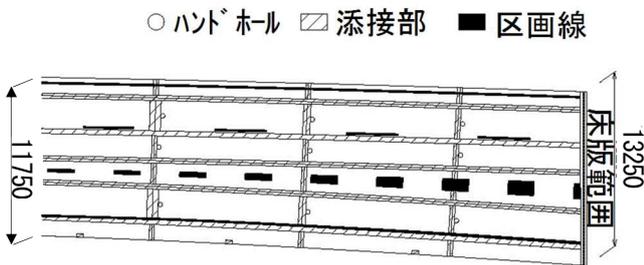


図-5 添接板・ハンドホール重ね図

### 3-3 舗装切断位置の計画

本工事におけるIH機械の性能特性および施工特性は、以下のとおりである。

#### 【性能特性】

- ・撤去幅を4.2m以内に設定すること。

#### 【施工特性】

- ・追越車線(工事用車両通行帯)の幅員が3.68mと固定されていたこと。
- ・舗装版切断時に、添接ボルトおよびハンドホールを損傷させないこと。
- ・添接板上に型枠を設置できないので、添接板から200mm以上の離隔をとり切断位置を確定すること。
- ・隣接作業が中断しないよう計画すること。

上記の特性を考慮し、舗装切断位置を決定したものを図-6に示す。

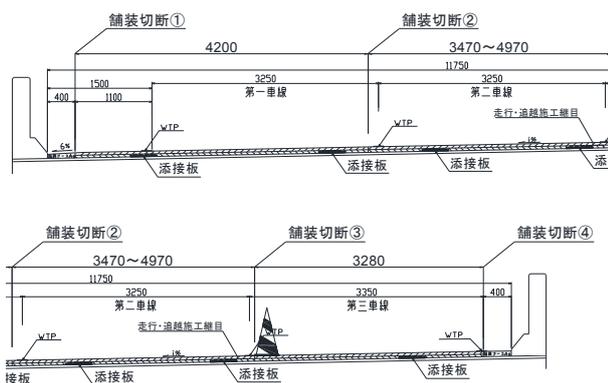


図-6 舗装切断位置図

### 3-4 舗装切断位置の検証

既設舗装撤去後の添接板部および計画舗装切断位置を写真-3、4に示す。切断直前に再度、電磁波探査機で確認したことで、添接部を損傷させることなく舗装切断できた。その結果から、電磁波探査の精度

は高かったといえる。



写真-3 既設舗装撤去完了状況(走行車線)



写真-4 既設舗装撤去完了状況(追越車線)

## 4. 施工状況

### 4-1 施工配置

施工時の機械配置を図-7に示す。

IH式は舗装厚8cm以下であれば撤去できるが、撤去厚を薄くすることで作業効率が上がる。そのため、添接板ボルトが損傷する可能性がない厚さ2cmで、切削機による先行切削を行った。作業が輻輳しないように、先行切削との作業離隔が得られた後、IH式による舗装撤去を進めた。

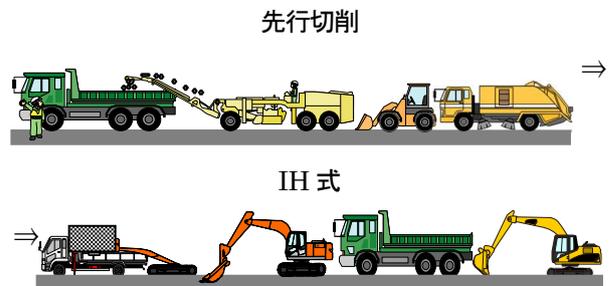


図-7 施工配置図

### 4-2 施工手順

施工手順を以下に示す。

#### (1) 添接部位置マーキング

図-4、5に示した電磁波探査機および図面を使用し、添接部およびハンドホールの位置を、既設舗装にスプレーで明示した。

#### (2) 舗装版切断

残置となる両端部および走行・追越の車線境において、深さ6cmで舗装版を切断した。ただし、横断添接部位置では、3cmで切断した。

#### (3) 先行切削

4-1で示したとおり、添接板ボルトの損傷防止のため、先行切削は深さ2cmとした。

#### (4) 人力はつり

端部を先行して、人力はつりで撤去した。

#### (5) IH式舗装撤去

IHによる加熱直後、幅狭逆付バケット(0.45m<sup>3</sup>バックホウ)で鋼床版から舗装版を剥がした。なお、再付着しないよう、剥がし面に石粉を散布した。

舗装厚8cmに対して6cmで舗装版を切断しているので、剥がす際に残置部も剥がれてくる場合があり、その場合は、人力はつりで縁を切り、残置部が剥がれないよう対処した。なお、剥がれた舗装版については、搬出のため集積しておいた。

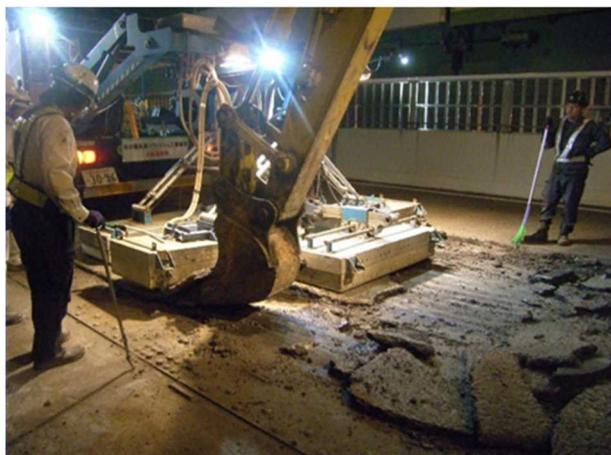


写真-5 IH式舗装撤去

#### (6) 舗装積込・搬出

IH式舗装撤去の後方で、舗装版を積込・搬出した。鋼床版および添接部を損傷させないように、平爪バケット(0.45m<sup>3</sup>バックホウ)を使用した。

#### (7) 仕上げ

添接板ボルトの周囲に残った舗装は、チッパーを用いて人力で除去した。

### 4-3 施工能力

本工事における施工面積、および施工時間より算出した実施工能力は、表-1に示すとおりである。

表-1 実施工能力

車線区分	施工面積 (m <sup>2</sup> )	施工時間 (h)	施工能力 (m <sup>2</sup> /h)
走行車線	634	14	45
追越車線	253	6	42
合計・平均	887	20	44

IH式舗装撤去の公称能力は、添接板ありで30 m<sup>2</sup>/h、添接板なしで40 m<sup>2</sup>/hである。前述のとおり、本工事では添接板ありの条件で施工した。その結果、平均44 m<sup>2</sup>/hとなり、公称より14 m<sup>2</sup>/hも施工能力が向上した。その要因としては、以下のことがあげられる。

(1) 先行切削によって舗装厚を薄くしたことで、施工能力が向上した。

(2) 昼夜連続通行止め規制によって、一般車両の往来がなかったことで、施工性が向上した。

その中でも(1)による要因が、もっとも施工能力に影響を与えたのではないかと考えられる。

## 5. まとめ

IH式舗装撤去を施工していくうえで、既設床板を損傷させないために、考慮すべき点をまとめたものを以下に示す。

(1) 添接板位置を電磁波探査および目視で確認し、図化することで、添接部の損傷を防止する。

(2) 施工前に添接部をマーキングし、位置を明らかにしておく。

(3) マーキング位置と実際の添接板位置に相違がないか、事前に人力はつりで目視確認しておく。

(4) 埋設物などに影響しない可能な厚さで先行切削を行い、IH式舗装撤去の厚さを可能な限り薄くしておく。ただし、時間の制約があり、工程短縮が必要であるなど、やむをえない場合に採用することが望ましい。先行切削による埋設物や既設床板の損傷リスクを少しでも回避する必要がある。

(5) 床版・添接板を損傷させないように、舗装版切断は、推定舗装厚-2cm以上で行う。それには、電磁波探査などの非破壊と整合確認のための一部破壊による事前調査を行い、推定舗装厚を把握しておく必要がある。

(6) ボルトまわりは舗装が残りやすく、また、残る程度が予見できないので、人力撤去する要員を見込み以上に準備しておく。

## 6. 鋼床版上舗装撤去とIH式の今後

名古屋高速道路公社は、例年行っているリフレッ

シュ工事の際、通行止め規制にともなう交通渋滞による一般の運転手からの苦情、および主に撤去作業時に発生する振動および騒音による近隣住民からの苦情対応に苦慮している。

とりわけ、鋼床版上の舗装撤去作業時に発生する振動音は、甲高く、かつ広範囲に伝播して増幅されていくので、苦情内容の中でも、もっとも多いとのことであった。

従来の鋼床版部の舗装撤去は、切削機による一次切削、平爪バックホウによる二次撤去、および人力による残層撤去で行われていた。一次切削を深く行って、添接部を損傷させてしまう、および鋼床版と舗装版の付着性もよいので、二次撤去や残層撤去に多くの時間を要するなどの問題があった。また、人力撤去は、多人数でブレーカを使用するので、騒音も大きなものとなり、近隣住民からの苦情対象となった。

IH式は、従来工法より二次撤去にかかる時間を短縮させ、残層撤去にかかる要員も縮小できるので、騒音も低減できる。IH式は、名古屋高速道路公社がかかえる上記問題を改善できる工法であり、現段階では最適な工法と思われる。

今後、大規模修繕工事は増加し、鋼床版部をとともなう修繕工事も増加すると考えられるので、IH式の需要も高まると思われる。

しかし、現在、本機械は全国に2台しかなく、また、その機械も、使用開始から10数年経ち、老朽化も進んでいる。そのため、使用時期の綿密な調整が必要となる。

また、現行機械では、時間当たりの施工能力が40m<sup>2</sup>/h程度であり、切削工の施工能力200m<sup>2</sup>/h (t=8cm)には遠くおよばない。

そこで、IH式の今後の改善点として、以下の点があげられる。

- (1) 本機械の増台およびオペレータの増員によって、絶対数を増やすことで、大規模修繕工事に対応できるようにする。
- (2) 本機械の作業能力を向上させ、時間当たりの施工量をより増やしていくことで、早く作業を完了させる。

このような改善を行うことで、IH式の需要はさらに高まるものと思われる。

## 7. おわりに

本工事は、IH式を採用したこともあり、騒音や振動による苦情を受けることなく完工することができた。

本工法に携わる貴重な機会を与えてくださいました名古屋高速道路公社の関係各所の方々、および施工に従事した協力会社の方々に感謝いたします。

IH式舗装撤去工法 当社施工実績

No.	施工年月	発注者	工事名	施工場所(路線)	施工面積(m <sup>2</sup> )	備考
1	2009年10月	国土交通省(JR東日本)	国道20号新宿こ線橋取付高架橋改築他 1工事	JR新宿駅南口前/国道20号線・甲州街道	900	
2	2010年 6月	国土交通省(JR東日本)	国道20号新宿こ線橋取付高架橋改築他 1工事	JR新宿駅南口前/国道20号線・甲州街道	1,375	
3	2010年 7月	本州四国連絡高速道路㈱	今治管内橋面防水他工事	西瀬戸自動車道(しまなみ海道)伯方大島大橋	150	試験施工
4	2010年 8月	本州四国連絡高速道路㈱	今治管内橋面防水他工事	西瀬戸自動車道(しまなみ海道)伯方大島大橋	3,010	
5	2010年11月	阪神高速道路㈱	湊川JCT下部その他工事	阪神高速3号神戸線湊川JCT	645	
6	2011年 4月	首都高速道路㈱	BY413工区(その1-3)高架橋上部構造及び橋脚構造新設工事「鋼床版Uリブ補修工事」	横浜市鶴見区大黒埠頭高速湾岸線(下り)	4	
7	2011年 7月	北海道開発局室蘭開発建設部	追直漁港人工地盤その他工事	北海道室蘭市追直漁港人工島連絡橋	1,580	
8	2011年10月	西日本高速道路㈱	四国地区保全工事	徳島県三好郡東みよし町(徳島自動車道吉野川橋)	149	
9	2011年11月	中日本高速道路㈱	東名高速道路東京～大井松田間舗装補修工事	東京都町田市(横浜町田IC、Gランプ)	191	
10	2012年 3月	横浜市	市道環状2号線屏風ヶ浦高架橋他1橋舗装補修工事	横浜市磯子区	1,046	
11	2012年 4月	東日本高速道路㈱	東京外環自動車道三郷管理事務所管内舗装補修工事	埼玉県戸田市(外環道、幸魂橋)	1,161	
12	2013年 5月	本州四国連絡高速道路㈱	平成24年度鳴門管内橋面防水他工事	神戸淡路鳴門自動車道 鳴門大橋(下り)	1,882	
13	2014年 4月	東日本高速道路㈱	東北自動車道加須管内舗装補修工事	埼玉県戸田市(外環道、幸魂橋)	3,490	
14	2014年 7月	北海道開発局札幌開発建設部	一般国道231号石狩市花畔大橋舗装補修外一連工事	北海道石狩市	2,880	
15	2014年 7月	国土交通省関東地方整備局	新4号新利根川橋外舗装工事	茨城県五霞町～境町	2,463	
16	2016年 3月	東日本旅客鉄道株式会社	新宿駅新南口ビル(仮称)他新築工事	渋谷区千駄ヶ谷5-35(JR新宿駅南口)	305	
17	2016年11月	阪神高速道路株式会社	舗装補修工事(27-4-西宮)	兵庫県尼崎市	582	
				計	21,813	

# 帰還困難区域における道路改良工事の被ばく低減対策事例

寒河江和則\*  
 藤田 巧一\*\*  
 市川 佳成\*\*\*

## 1. はじめに

2011年3月11日に宮城県沖を震源とする東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震による巨大津波などの影響で、北海道南岸から東北を経て東京湾を含む関東南部に至る広大な範囲で壊滅的な被害が発生した。東京電力福島第一原子力発電所では、原子炉を冷却できなくなり炉心溶融が発生し、大量の放射性物質の漏洩を伴う重大な原子力事故に発展した。

国および地方自治体では、拡散した放射性物質が付着した表土を削り取り、枝葉や落ち葉の除去、建築表面の洗浄などによって、放射性物質を生活圏から除去するための除染を実施し、除染で排出された除染土壌や廃棄物を所定の容器に入れ仮置場等で保管している。除染と復興の推進に向けて、除染土壌などを最終処分までの間、安全に集中的に貯蔵する「中間貯蔵施設」の整備や仮置場・除染の現場で保管されている除染土壌および廃棄物を中間貯蔵施設まで運搬するための道路整備が進められている。

本文は、帰還困難区域において行った道路改良工事の被ばく低減対策について報告するものである。

## 2. 工事概要

本工事は、帰還困難区域となっている福島県双葉郡大熊町と富岡町における15路線・延長14kmの道路改良工事である。工事概要などを以下に示す。

工事名：平成28年度  
 中間貯蔵に係わる道路改良工事(大熊町)  
 工事場所：福島県双葉郡大熊町(富岡町)地内  
 発注者：環境省福島地方環境事務所  
 工期：平成28年10月29日～平成30年2月28日  
 工事内容：路面切削工、舗装破碎工79,600 m<sup>2</sup>、  
 路上再生工37,600 m<sup>2</sup>、基層工26,000 m<sup>2</sup>、  
 表層工82,500 m<sup>2</sup>、区画線工、アスファルト舗装殻再資源化

## 3. 現場の課題および対策

### 3-1 現場の課題

帰還困難区域とは、放射線の年間積算線量が50mSvを超え、5年間を経過しても年間積算線量が20mSvを下回らないおそれがあり、立入を制限して

いる地域である。



図-1 工事施工場所

本工事では、すべての工事予定箇所が帰還困難区域である。現場では、高線量下での作業となるので、職員および作業員の被ばく低減を図ることが課題となった。

### 3-2 被ばく低減対策

#### (1) 作業時の装備

帰還困難区域内に入るための装備として、放射線防護服(タイベックス®Ⅲ型)と粒子捕集効率95%以上の防塵マスクを着用し、個人線量計を携帯して外部被ばくをモニタリングした。さらに、各装備の使用状況については、毎日、放射線管理技術者または補助者による点検を実施した(写真-1)。



写真-1 作業時の装備確認

\*東北支店浜通り復興営業所工事長 \*\*同営業所 \*\*\*同営業所

## (2) 現場放射線量の確認

各工区とも作業区域の地上1cmおよび地上100cmでの空間線量率を事前に測定して、空間線量率の高い路線およびエリアの把握を行った。空間線量率の高い路線およびエリアに関しては、線量低減措置として、作業エリア内の除草、路面・側溝および集水枡内の堆積物除去などの除染を行い、高線量下での継続作業が少なくなるようにした。

工事着手前に作業区域の地上1cmおよび地上100cmでの空間線量率を再度測定し、空間線量率マップ図を作成し、現場内移動ルートや当日の作業箇所の空間線量率を全員に周知できるように朝礼広場の安全掲示板とトイレ搭載車に明示した。

現場作業範囲内の空間線量率の「見える化」をするため、 $20\mu\text{Sv/h}$ 以上のホットスポットを赤色のカラーコーンで区画明示し、測定した線量を掲示した。また、空間線量率10以上 $20\mu\text{Sv/h}$ 未満の区域については、桃色のカラーコーンと桃色テープによる目印で、作業員に注意喚起を促した(写真-2)。



写真-2 空間線量表示および注意喚起

## (3) 休憩施設の設置

工事着手当初には、作業区域付近で空間線量率が低く、休憩所設置に適した敷地を確保することができず、帰還困難区域外に設置していたので、休憩するための移動にかなりの時間を要していた。アスファルト殻の再生資源化作業場が $1\mu\text{Sv/h}$ 以下の低線量エリアとなったので、休憩所を移設した。帰還困難区域内であるので、休憩所の周囲に耐候性大型土のう袋を積み上げ、作業員の被ばくを極力低減するように努めた(写真-3)。



写真-3 帰還困難区域内休憩所の線量低減対策

## (4) 安全教育の強化

社外の安全教育講師を招き、安全や感染症予防に関する講習会の開催や放射線取扱主任者を講師に招き、放射線取扱いに関する講義を実施した。その他、放射線管理技術者による職員、作業員、運転手、および交通誘導員に対する被ばく低減教育を毎月実施した(写真-4)。



写真-4 社外講師による講習会

## (5) 工程短縮に対する取組み

職員および作業員の被ばく低減に関しては、工程短縮による高線量下での作業の減少が最も効果的である。当初、舗装工における舗装版破碎工は、バックホウによる既設舗装版撤去で、掘削工はバックホウによる既設路盤材撤去となっていた。また、舗装版破碎工では、現場から排出したアスファルト殻を再資源化できるように小割りすることとなっていた。そこで、工期短縮のため、舗装版撤去工および掘削工ともに大型路面切削機を使用することを提案し施工した。その結果、本工事全体の舗装版破碎工の総面積が $79,600\text{m}^2$ で、バックホウでの施工は平均 $800\text{m}^2/\text{日}$ であり、大型路面切削機での施工が平均 $1,800\text{m}^2/\text{日}$ となったので、実稼動日数で約54日の工程短縮となった。また、大型路面切削機を使用することで、アスファルト殻の小割り作業も省略でき、大きな工程短縮を行うことができた。

## (6) アスファルト殻の再資源化

現場から排出されたアスファルト殻および路盤材を一箇所に集積し、ふるい分けによって $53\text{mm}$ 以上のものは破碎機で破碎して再生路盤材とすることとなっていた。しかし、現場から排出されたアスファルト殻および路盤材は、放射性物質の強さが4,000ベクレル以上と高いので、そのままでの再利用は困難であった。再利用が可能となる3,000ベクレル以下とするため、新材のクラッシュラン(C-40)と混合することとなり、混合割合を決める試験施工を行った。

混合割合ごとに放射性物質の強さを測定し、放射性物質の強さが基準値以下となる配合を決定して、アスファルト殻および路盤材の再資源化を行った。混合後の材料に関しても放射性物質の強さを確認した。



写真-5 再資源化試験施工状況

## 4. その他の取組み

### 4-1 地域貢献

#### (1) 下水管路およびマンホールの調査・点検

舗装対象路線においては、地震の影響によると思われる陥没が数多く見られた。これらの陥没が、下水管の破損によって土砂が流入したのであれば、舗装後、また、陥没が発生することが考えられたので、自主的に下水管路のカメラ調査(写真-6)を行った。また、併せて路線内にある46箇所の下マンホールについても、蓋を開けてマンホール本体、調整リングおよび目地、インバートや管口などの破損の有無についても目視で確認を行った。



写真-6 下水管のカメラ調査

#### (2) 清掃およびマナーアップ活動

帰還困難区域で地域住民の方々が通行している国道6号において、震災復興工事に携わる他業者と合同での清掃活動や当社単独での清掃活動を職員と作業員全員で行った(写真-7)。また、現場付近の国道6号沿線にあるコンビニエンスストアにおいて、通行している方や震災復興工事関係者に向けてチラシを配布し、歩行喫煙の禁止やゴミのポイ捨て禁止などのマナーアップ向上に関する活動を行った(写真-8)。



写真-7 清掃活動



写真-8 マナーアップ活動

#### (3) WEBを活用した工事情報の配信

工事に関するお知らせ、進捗状況、迂回路情報などを近隣住民用お知らせウェブシステム(NETIS登録番号KT-150019-A)を使用して、タイムリーな情報を近隣住民に提供し、一時帰宅等で現場周辺を訪れる方々の参考となるようにした(写真-9)。



写真-9 地域住民の方々への情報提供

### 4-2 作業員の体調管理

作業時には防護服と防塵マスクの着用を義務づけており、気温の上昇とともに熱中症となる可能性が非常に高いので、以下に示す対策を行った。

#### (1) 暑さ指数(WBGT)測定機の導入と掲示

作業場所で一定時間ごとに暑さ指数を測定することによって、作業員への周知と暑さ対策を状況に応じてできるように暑さ指数(WBGT)測定機を導入した。また、安全掲示板に当日の予想される最高気温と暑さ指数を掲示し、朝礼時に周知することによって、作業員が自主的に暑さ対策を行うようになった。



写真-10 暑さ指数測定機と安全掲示板

#### (2) 冷温水機と冷凍庫の設置

現場周辺には、店舗および自動販売機がないので、現場事務所および休憩所に天然水の冷温水機を設置した。また、休憩所には大型の冷凍庫を設置

し、スポーツドリンクなどを冷凍して、熱中症の危険度が高い日に作業員に支給したところ、冷たさが長く持続できるので好評であった。



写真-11 冷温水機と冷凍庫の設置

(3) ミスト扇風機などの導入

気温が25℃を超える日は、連続作業とならないように定期的に小休止させ、少しでも涼むことができるように、ミスト機能付き大型扇風機を活用した。また、舗装作業時には、熱中症の危険度がさらに高くなるので、アスファルトフィニッシャに扇風機を設置し作業環境の改善を図り、無風時にはかなりの効果があることを実感した。



写真-12 ミスト扇風機等の導入

5. まとめ

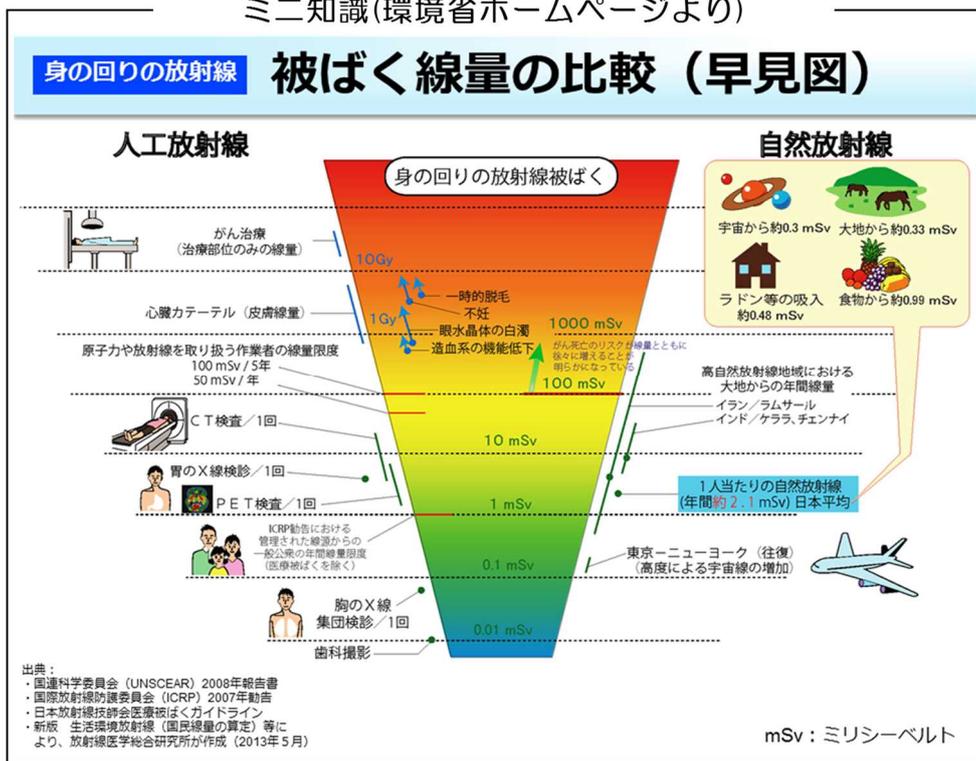
被ばく低減対策として、作業時の装備や現場の放射線量の確認などを行ったので、外部被ばくも基準値内となり安全に作業できた。また、様々な取組みを行い、復興に向けた地域に貢献できたものと考えている。

6. おわりに

本工事は、帰還困難区域での道路改良工事であったので、様々な制限があり工事完了まで大変であったが、無事完了した。今後、福島県内に保管されている1,000万m<sup>3</sup>以上の除染土壌が早期に処理され、震災以前と同じ環境が取り戻せる地域が少しでも多くなることを願います。

最後に、施工においてご指導・ご協力頂きました本支店および協力業者の方々に感謝の意を表します。

ミニ知識(環境省ホームページより)



## 特殊土(シラス)による大規模盛土工事の施工事例

石川 透修\*  
丹羽 貴之\*\*

### 1. はじめに

近年、情報化施工は急速に普及が進み、大規模盛土工事においてはその活用はもとより、生産性の向上や施工の高精度化がこれまで以上に求められている。

特に、大規模盛土工事は情報化施工の活用による省力・効率化によって施工期間の短縮が求められている一方、盛土材の搬入量が施工量に見合わない場合、その効果を発揮できない。

今回、特殊土であるシラスを用いた大規模盛土工事を施工する機会を得たが、過去の施工実績が少なく、計画した工程どおりの施工を行うためには、様々な課題を解決することが重要であった。

本文は、昨年施工したこの大規模盛土工事において、実施した情報化施工のメリットである省力・効率化を最大限に発揮するための取組みについて述べるものである。

### 2. 工事概要

- ・工 事 名：鹿屋(H27)駐機場整備工事
- ・工 期：平成28年3月3日～平成29年5月31日
- ・発 注 者：防衛省熊本防衛支局
- ・施工面積：約50,000 m<sup>2</sup>
- ・盛 土 工：131,800 m<sup>3</sup>(40,500 m<sup>3</sup>余盛撤去)
- ・舗 装 工：27,400 m<sup>2</sup>
- ・使用機械：表-1に示す

表-1 施工機械一覧

名 称	機 種	仕 様
ブルドーザ	D37	3D-MC仕様
ブルドーザ	D60	粗押し用
モーターグレーダ	3.1m	3D-MC仕様
mmGPSシステム	TOPCON	HiPerV
タンDEMローラ		7t級
タイヤローラ		10t級

### 3. シラスの特徴

シラスは関東ローム、まさ土、高有機質土などと並ぶ特殊土の一つで、日本統一土質分類で火山灰質砂(SV)に分類される。シラスは南九州に広く分布しており、下層路盤や路床置換え用材料として広く利用されている。シラスの主な特徴を以下に示す。

- ①土粒子の密度が極端に小さい。
- ②土粒子自体の強度が小さく、粒子破砕を生じやすい。
- ③大きささまざまな軽石や岩片と細かな火山灰とが混ざり合い、粒径分布範囲が広い。
- ④流水による浸食に弱い。

### 4. 盛土施工における課題

工事の円滑な進捗を図るための課題を整理した結果、以下の項目が抽出された。

- ① 載荷盛土終了後の盛土休止期間や主工事である舗装工に要する期間を考慮すれば、盛土工の施工可能期間である3箇月間に、盛土材の搬入量として1日当たり2,500m<sup>3</sup>以上が必要である。
  - ② 日々の使用量を確保するためには、盛土材を四箇所の産地から搬入しなければならない。
  - ③ 運搬経路での渋滞や苦情の緩和、および事故防止対策を強化しなければならない。
  - ④ 四箇所の産地から調達する各々の盛土材の特性を把握するとともに、品質の均一化と出来形管理の確実な履行を図る必要がある。
  - ⑤ 運行中の航空機および隣接する訓練エリアへの粉じん飛散対策を講じなければならない。
  - ⑥ 降雨による侵食対策を検討する必要がある。
- これらの課題を解決するために実施した取組みは、以下に示すとおりである。

### 5. 課題への取組み

#### 5-1 盛土材の搬入管理

##### (1) 基地入場門における入場車両の管理

- ① 基地への入場を予定しているすべての盛土材運搬車の入場パス登録を事前に行い、入場手続きを簡素化し、運搬時間の短縮を図った。
- ② 盛土材搬入の円滑化のため、翌日の搬入計画表を日々作成して、航空基地隊(以下、部隊)へ提出して調整を図った。
- ③ 盛土材搬入の管理を合理化するため、運搬車の日々の台数管理は入場パスを確認する入場門に配置したガードマンに委託した。
- ④ 当初、入場門は正門一箇所として計画していたが、日平均250台以上の搬入をした場合、一般道

\*九州支店鹿児島営業所 \*\*同営業所

までの渋滞が懸念されたので、部隊と協議を行い、新たに一箇所搬入口を増設し、計二箇所からの搬入を実施した。

(2) 識別プレートによる産地表示

四箇所の産地から搬入した盛土材は、品質確保の観点から異なる産地のものを混ぜずに使用したので、盛土区間を産地ごとに分別する必要がある。その管理をするうえで運搬車に産地をわかりやすく表示する必要があった。このため、盛土材の産地と識別色を表-2のとおりに定義して、写真-1のように運搬車のフロントガラス部に識別プレートを掲示した。

表-2 盛土材の産地および識別色

産地	略称	運搬時間	識別色
鹿屋市串原町糸山田	平瀬	片道50分	赤
鹿屋市串原町上小原	中山	片道30分	緑
垂水市新庄	新庄	片道45分	黄
鹿屋市天神町	高須	片道30分	灰



写真-1 盛土材運搬車の識別プレート

(3) VasMapによる安全運搬監視

本工程では、短時間で多くの盛土材を搬入するにあたり、日々用いる運搬車の台数が著しく多いので、運搬経路での安全性向上も視野に入れなければならなかった。そのため、本工程ではVasMap(工事車両運行管理システム)を導入し、運行状況の把握に努めた。VasMapの運行状況を図-1に示す。



図-1 運行日報

5-2 盛土工の管理

(1) 識別旗による荷下ろし場所の表示

前述のとおり、盛土材は品質確保の観点から異なる産地のものを混ぜずに使用したので、盛土区間を産地ごとに分別する必要があった。しかし、広い施工現場へ次々と到着する運搬車に対し、各々荷下ろしする場所を指示することは極めて困難であった。そのため、写真-2に示すように、運搬車のフロントガラスへ掲示した識別プレートと同一色の旗を設けて荷下ろし場所を表示する方法をとった。



写真-2 識別旗による荷下ろし場所の表示

(2) 産地分け盛土箇所管理マップ作成

盛土工の品質管理を行うためには、四種類の盛土材ごとに使用区間を明確にし、品質を確認しながら施工を進める必要があった。盛土材の荷下ろし場所は識別旗による表示で特定できるが、実際に盛土材として使用した領域を詳細に記録するため、日々管理マップを作成した。

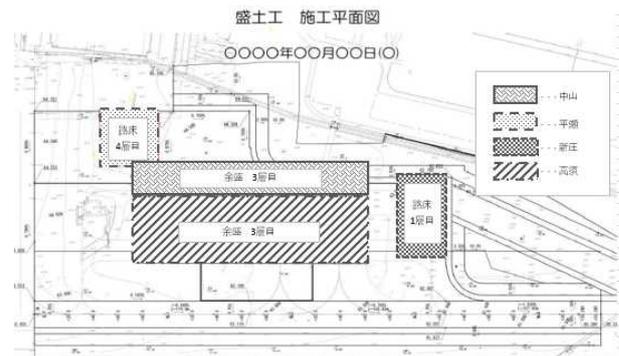


図-2 管理マップ作成

(3) mmGPS測量器による出来形および沈下量測定

日々施工の出来形確認および46箇所に設置した沈下板による沈下収束の確認は、mmGPS測量器を使用することで効率的に行った。また、写真-3に示すように立会検査にも本器を活用した。



写真-3 沈下板収束立会状況

### 5-3 運搬エリアの粉じん対策

#### (1) 大型散水車による散水の実施

粉じんの飛散を抑制するため、盛土の乾燥状態に応じて写真-4に示す大型散水車による散水を行った。また、多忙時期は、1台の散水では盛土表面の乾燥に間に合わず、3台の運行で対応した。これに伴って必要となる給水ポイントも増設した。



写真-4 散水状況

#### (2) 団粒化剤散布による盛土完了箇所の保護

当初、余盛完了箇所や法面整形完了箇所には、乳剤による粉じん対策を計画していたが、余盛土を次期工事で流用することを考慮し、人畜無害である団粒化剤の使用した(写真-5)。



写真-5 団粒化剤散布後の状態

### 5-4 雨水による法面浸食防止対策

シラスによる盛土は、一度法肩に浸食による水道

ができる、写真-6に示すようにいっきに洗掘し崩壊する。その防止対策として、水下側の法肩の仕上がり高さを上げて堰堤を造るように施工したことに加え、数箇所仮設排水を設けた。また、更なる対策として工区境では透水性シートと耐候性土のうを組合せた流末の保護を行った。



写真-6 雨水による浸食

## 6. 取組みの効果

### 6-1 盛土材の搬入管理

盛土材の搬入は、運搬車両の入門管理の徹底と産地識別管理によって、一般道の利用者への負担を抑制することができた。また、VasMapの導入によって、当社職員は運搬車の走行ルートおよび所要時間などの運行状況がリアルタイムで把握できるようになり、運転手の安全意識の向上にもつながり、無事故を達成することができた。

盛土材の搬入量は、全体計画の中では概ね予定どおりであった。しかし、盛土材生産地の供給能力の不均衡、台風による施工中断、運搬車両確保の困難などで、搬入量は9月～10月に計画以上となりバランスのよい進捗にはならなかった(表-3)。

表-3 月別平均一覧

時期	総数量	総台数	施工平均日数	日平均数量	日平均台
	m <sup>3</sup>	台	日	m <sup>3</sup>	台
8月	16,961	2,423	9.3	1,834	262
9月	52,696	7,528	19.8	2,668	381
10月	52,318	7,474	25	2,092	299
11月	16,884	2,412	23	734	105
12月	1,505	215	9	167	24

### 6-2 盛土工の管理

盛土材の搬入を識別管理し盛土工と連携したことは、運搬車両の円滑な運行および盛土工の品質管理の徹底に繋がった。また、mmGPS測量器を使用し出来形や沈下量管理に活用することで時間短縮、人員削減、および立会検査の簡素化を図ることができた。

### 6-3 運搬エリアの粉じん対策

散水の徹底および団粒化剤の使用による粉塵対策で、基地の運営に影響を与えることなく工事を進捗することができた。

### 6-4 雨水による法面浸食防止対策

法肩の築堤と仮設排水を設け、透水性シートと耐候性土のうで流末を保護した結果、雨水による法面の浸食は最小限に抑制することができた。しかし、これらの対策とともに連続施工する面積を可能な範囲で大きくして、端部転圧を要する箇所数の減少に努めていけば、盛土は転圧しやすくなり一層締め固まるので、法面の浸食はより抑制できると思われた。

## 7. まとめ

本工事は、大型盛土工事に情報化施工を適用して、施工能力に見合う盛土材を安定供給して、特殊な材料を効率よく施工することがテーマであった。

それぞれの課題に対して実施した取組みは、各々特別な方法ではないが、本工事のように材料などの取扱量が極端に多い場合や急速施工を強いられる場合、情報化施工の利点を最大限に活用するとともに、材料供給の安定化を図らなければならないことを知るうえで貴重な経験であったといえる。

情報化社会で技術が進歩し続けても、これまでどおり地域の特徴、材料の特性、調達状況などを把握し、さらには新しい補助技術や環境対策を加え、情報化施工のメリットを最大限に生かせる手法を確立していくことは重要である。

## 8. おわりに

本工事は、盛土上に構築するコンクリート舗装が最終目的であった。そのためにコンクリートの打設と養生期間を考慮し、盛土工事として工程的制限のある中での施工を行わなければならない、多くの調整が必要であった。また、シラスという特殊土を扱う中で、筆者らは情報化施工を効率よく行うために試行錯誤しながらあらゆる対策を講じ、大きな経験を得ることができた。

今後、大規模盛土工事の施工において、本工事の経験を少しでも参考にいただければ幸いである。

最後に、シラスを扱う中で、施工方法などについて多くの指導や助言をいただいた方々、基地・部隊との調整をしてくださった熊本防衛支局をはじめ関係各位に心から感謝いたします。



写真-7 完成状況

## 地震時の液状化対策工(タフロード工法)の施工事例

田村 昌之\*  
山田 宣和\*\*  
吉村 昭則\*\*\*

### 1. はじめに

北海道電力株式会社は、既設火力発電所の経年化に対応するとともに、燃料種の多様化や電源の分散化を図り、将来的な電力の安定供給を確実なものとするため、2019年2月の営業運転開始を目指して、同社で初めてのLNG(液化天然ガス)火力発電所を新たに導入することになった。

その建設場所は、港湾法上の重要港湾で国際貿易港である石狩湾新港内である。石狩湾新港は、札幌中心部まで約15kmであり、災害時における緊急物資輸送拠点の役割を担っている。

この火力発電所は、石狩湾新港や進入航路を浚渫した土砂によって埋め立てた人工地盤上(砂質土)に建設されるので、地震時の液状化対策が必要となる。

本文は、火力発電所の構内道路において、液状化対策として採用されたタフロード工法について報告するものである。

### 2. 工事概要

工事名：石狩湾新港発電所1号機新設工事のうち土木本工事(第2工区)

工期：2017年10月9日～2017年12月20日

施工箇所：北海道小樽市銭函5丁目

元発注者：北海道電力株式会社

工事概要：液状化対策工(タフロード工法)

2,323m <sup>2</sup>
・掘削工 2,735m <sup>3</sup>
・ジオグリッド(2層) 2,423m <sup>2</sup>
・集積土安定処理工 371m <sup>3</sup>
・軽量骨材盛土 200m <sup>3</sup>



図-1 施工位置図(Google Mapより)

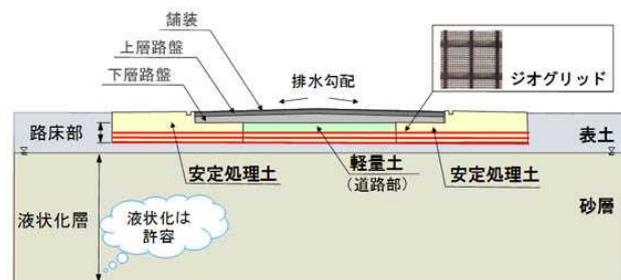


図-2 施工平面図(航空写真：Google Mapより)

### 3. タフロード工法

タフロード工法は、地震時の液状化による道路の変状を抑制し、被災後でも車両の通行を可能とする、大林組が開発した工法である。

特徴として、路床全体にジオグリッドを敷設し一体化および補強するとともに、道路直下に軽量土を用いて周辺地盤との重量バランスをとり、その周辺部に安定処理土を施工することで道路の極端な沈下や隆起、および段差の発生を抑制するものである。



タフロード工法概念図(道路断面図)

工法	対策なし	タフロード
原理	道路部と道路外との荷重差大 ↓ 初期せん断応力大 ↓ 地震による残留変形大	道路部と道路外との荷重差小 ↓ 初期せん断応力低減 ↓ 地震による残留変形小
液状化後の状況(有効応力解析結果)	沈下：大 移動：大	沈下：小 移動：小

比較概念図(道路断面図)

図-3 タフロード工法(大林組技術資料)

\*北海道支店道央営業所工事長 \*\*同営業所工事主任 \*\*\*同営業所

#### 4. タフロード工法採用の経緯

今回の施工箇所は発電所入り口に当たり、その入ったすぐ先に発電所関連の資材倉庫と点検事務所などが建築される予定である。そのためには、地震などの災害時にその部分まで車両が乗入れ可能としなければならない。道路の耐震補強としては、サンドコンパクションパイル工法などが他の路線で施工されているが、発電所本体の建設工事などの工事車両の通行や施工日数の短縮を考慮して、タフロード工法が採用された。

#### 5. タフロード工法の仕様検討

##### 5-1 使用資材の検討

タフロードの軽量骨材は、製品としてどこでも入手可能なカルストーン(太平洋セメント社製、単位体積質量 $\gamma_t=1.2g/cm^3$ )が標準仕様である。見積を取り寄せたところ現着で数万円/m<sup>3</sup>であり、他の多孔質軽量盛土材スーパーソル(ナラサキ産業社製、 $\gamma_t=0.5g/cm^3$ )も数万円/m<sup>3</sup>であった。単価が高いため発注者と協議のうえ、コストダウンとして代替可能な軽量骨材( $\gamma_t=1.2g/cm^3$ 程度)が求められた。幸い現場から約1.5時間程度の北広島市には樽前山噴火時の火山灰堆積地があり、安価で $\gamma_t=1.05g/cm^3$ であったので、この火山灰を使用することにした(材料試験表から：凍上試験合格)。

ジオグリッドには、アデムF-200(前田工織社製、製品基準強度180kN/m)を使用した。

##### 5-2 設計断面

現場条件から設計されたタフロードの標準断面は、図-4に示すとおりである(交通量区分N<sub>3</sub>)。

- (1) 車道幅員13mのうち、センター部7.0mに軽量土を施工する。
- (2) 車道幅員に加え端部側へ左右2mまでジオグリッドを敷設する。

(3) ジオグリッドは $t=200mm$ の間隔で2層とし、その間に軽量土をサンドイッチにして施工する。

(4) 安定処理土は現場集積土をセメント安定処理したもの(80kg/m<sup>3</sup>)である。

#### 6. タフロード工法の施工

##### 6-1 タフロードの施工フロー

施工フローを図-5に示す。

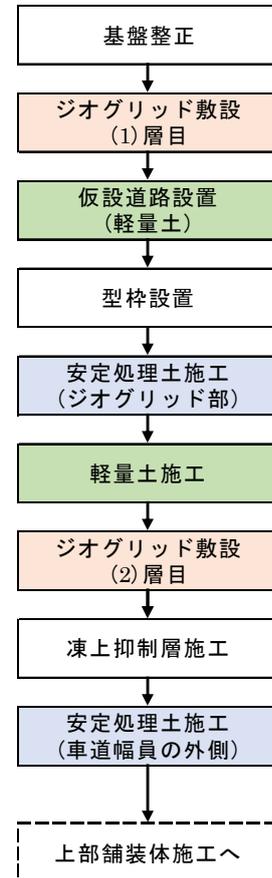


図-5 タフロードの施工フロー

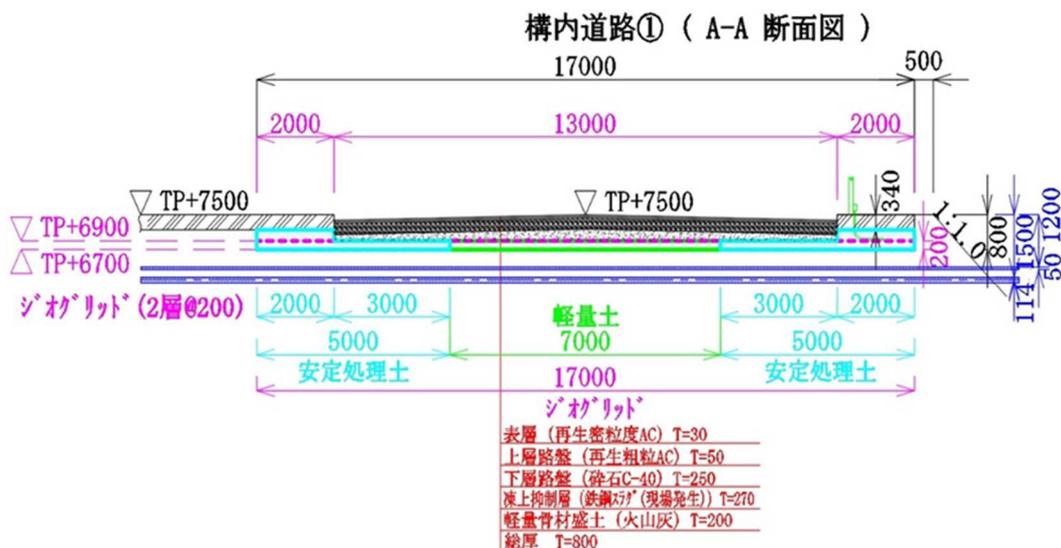


図-4 施工断面図(全体)

敷設後のジオグリッドの損傷や変位を防止するため、車両や重機を直接にジオグリッドの上で走行させてはならない。そのため、1層目のジオグリッド敷設後、安定処理土施工のため、中央部に軽量土による仮設道路を施工し、その上を走行させて安定処理土を施工した。また、安定処理土と軽量土の境界には、H鋼による型枠を設置してそれぞれの混入を防止した(写真-1)。

同様に車道部分から外側の安定処理土部分(W=2000)については、2層目のジオグリッドを敷きならした後に車道部の凍上抑制層を施工した。



写真-1 仮設道路と型枠

道路縦横断勾配を計算して設計値になるように型枠を設置したが、管理測点以外は設計高さに合わせる事が困難で苦勞した。

(2) タフロード敷設部にはジオグリッド1層目から60cm下にガス導管(400A)が道路を横断していた。そのため、地震時のジオグリッドのズレを防止し、ガス導管を防護するため、その部分にジオグリッドの重ね(W=500:上下ジオグリッド)を設けた。また、その重ね部分は地震時のズレ止めとして、ジョイントスチールコイルを使用して結束した(写真-3)。

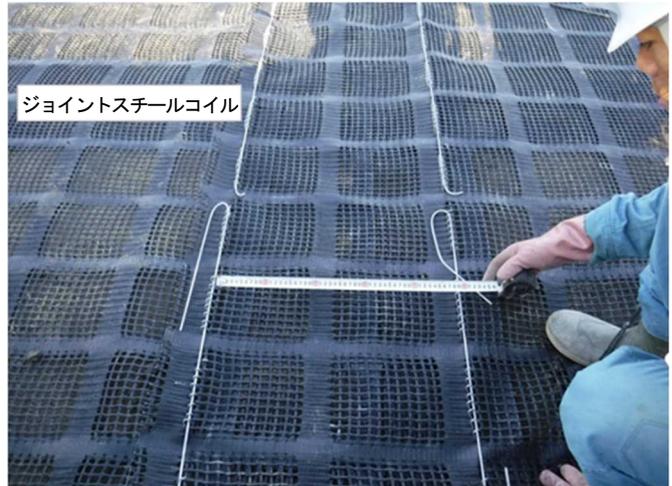


写真-3 ジョイントスチールコイルによる重ね部結束



写真-2 安定処理土の敷きならし

## 6-2 タフロード施工時の注意点

タフロード施工時の注意点を以下に示す。

(1) 耐震性を確保するため、中央部の軽量土と端部の安定処理土との混入防止を図らなければならなかった。

そこで、各材料の締固めを考慮し、境界には型枠としてH鋼を設置した。長さ5.0mのH鋼を用いて

(3) 単粒の軽量骨材(カルストーン)を使用する場合、軽量骨材の空隙に上部路盤材の細粒分が混入するので、上部路盤との境界に土木用安定シート(不織布)を敷設して、路盤材の混入による単位体積重量の増加と沈下を防止することが標準仕様である。

今回は下記のような火山灰を使用していたので、土木用安定シートを敷設しなかった。

(4) 使用した火山灰は、細粒分まじり礫質砂(日本統一土質分類の記号:SG-F)で、礫分が約20%含まれ締固めやすい。しかし、シルト分が約17%含まれているので、降雨によってトラフィカビリティが大きく低下する。

施工時期が11月の秋期であり、施工場所が日本海側であるので、降雨によって品質低下と工程遅延の発生が考えられた。

そこで、火山灰による仮設道路設置時には、端部に仮排水を設けて降雨対策を行った。施工中に降雨や降雪があったが、品質は影響を受けず、工程内に施工を完了することができた。



写真-4 完成写真(車道舗装)

## 7. おわりに

東日本大震災では、甚大な被害が広範囲で発生した。被害の中でも臨海部の埋立て部や砂地盤部では、液状化による大規模な交通障害が発生したので、液状化対策の重要性がクローズアップされた。

日本の国土は狭く平野部の少ない特徴によって、

物流や製造およびエネルギーの拠点は臨海部に集中しているため、事業の継続性の観点から構内道路の液状化対策は今後も増加すると考えられる。

今回施工したタフロード工法は、ジオグリッドを使用して構築するので、従来の液状化対策工法と比較して施工が容易で工期短縮も図れ、安価な特徴があり、企業に提案する際のツールとなりうる。

今回の施工事例が今後のタフロード工法を施工する際の参考となれば幸いである。



図-6 石狩新港発電所完成予想図

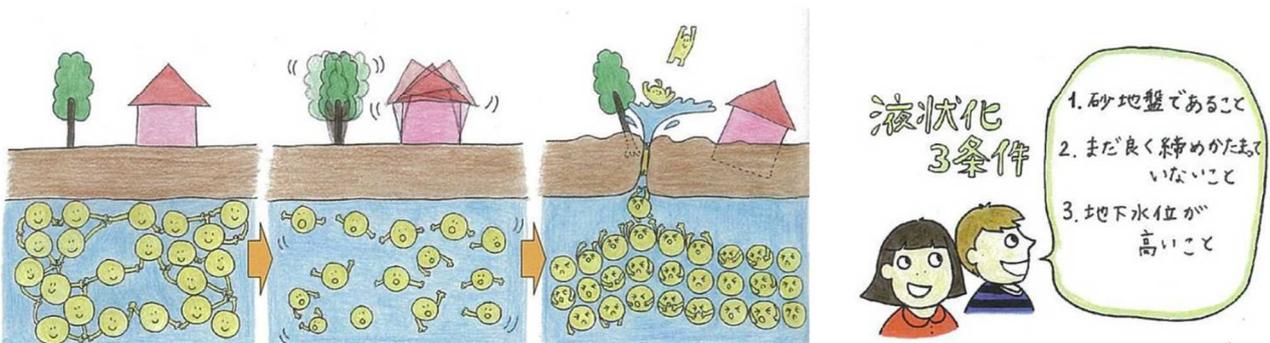
### ミニ知識

#### 1. 地盤の液状化現象とは

地盤の液状化現象とは、地震の際に地下水位の高い砂地盤が、振動により液体状になる現象をいう。液状化の典型的な現象として噴砂がある。この現象は地盤中の砂層が液状化すると、砂層に含まれる地下水の圧力が高まるので、地下水とともに砂が地表に噴出する現象である。

#### 2. 液状化3条件

液状化しやすい条件として三つある。一つは、砂地盤であること(少なくとも地下2~3mの浅い位置に砂層が存在すること)、二つ目は、砂がふんわりとたまっていて締めかたまっていないこと(N値が低いこと)、三つ目はこうしたゆるい砂の層が地下水に満たされていることである。



※国土交通省北陸地方整備局ホームページ「液状化しやすさマップ」より

# 大規模太陽光発電所建設工事の施工

林 大喜\*  
後藤 正栄\*\*  
堀 隆雄\*\*\*

## 1. はじめに

太陽光発電は、環境省が推進している「低炭素社会に向けた12の方策」のひとつであり、CO<sub>2</sub>排出量を減らす有効なエネルギーの供給方法といえる。

「新潟県四ツ郷屋発電所(以下、当該発電所)」は、新潟駅から南西約20kmに位置し、広大な耕作放棄地の有効活用の一環として、オリックス株式会社と地元「四ツ郷屋開発区域推進会議」が平成26年から計画・協議を重ね、官公庁の許認可を得て事業化されたメガソーラー施設である。

本文は、日本海側最大級で当社としても過去に例のない大型プロジェクトとして注目された、大規模太陽光発電所建設工事の施工について報告するものである。

## 2. 工事概要

工事名：新潟四ツ郷屋

大規模太陽光発電所建設工事

施工場所：新潟市西区四ツ郷屋字岩山500番 他

工事期間：平成28年5月18日～平成30年7月1日

775日

事業規模：面積約780,000m<sup>2</sup>(東京ドーム約16個分)

太陽光パネル205,964枚、基礎杭37,448本

(アレイ架台4,681基→44枚/基、8本/基)

出力規模55,610kW(55.61MW)

年間予想発電量60,549,212kWh(初年度)

(一般家庭約16,800世帯分)



図-1 現場位置図



図-2 現場平面図

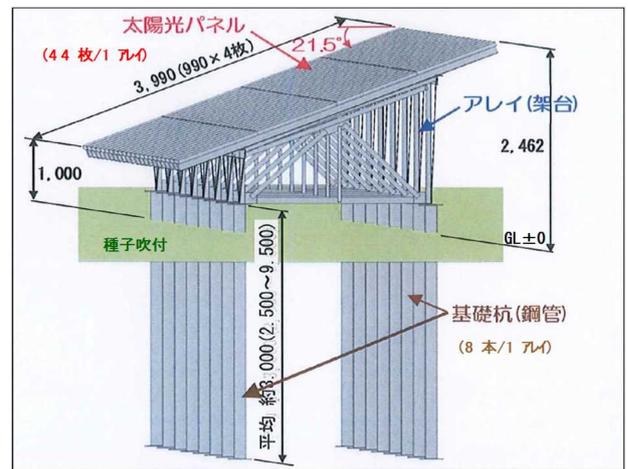


図-3 標準構造図

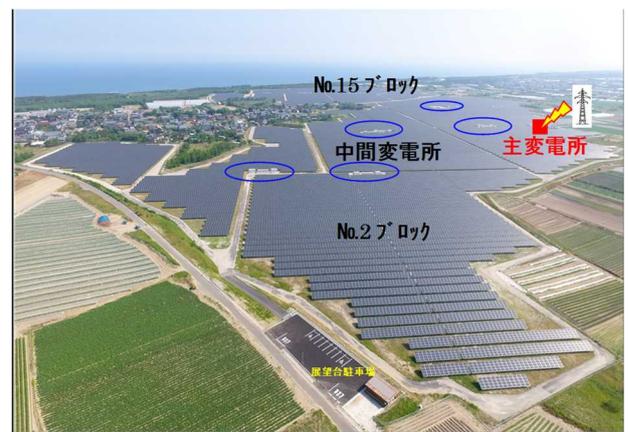


写真-1 完成写真(No.2からNo.15ブロック方向を望む)

## 3. 現場条件と設計概要

### 3-1 現場条件

- ①現状土質：細砂(粒径0.10～0.25mm)
- ②垂直積雪量：100cm(過去20年最高積雪深81cm)

- ③基準風速：30m/s(過去20年最大瞬間風速37.9m/s)

### 3-2 設計概要

- ①敷地排水計画：全浸透式(透水係数0.11mm/s)  
降雨強度50mm/hr ※排水構造物なし

\*関東支店新潟メガソーラー工事事務所 \*\*同事務所工事長 \*\*\*同事務所所長

- ②敷地造成計画：最大高低差7m(各ブロック毎に東西方向レベル、南北方向2%未満)
- ③アレイ基礎：羽根付鋼管杭(2.5~9.5m)回転貫入
- ④アレイ架台：高耐食性メッキ鋼板、アレイ間3.5m
- ⑤太陽光パネル：多結晶シリコン(最大出力270W)

#### 4. 課題と対応

##### 4-1 課題

###### (1) 敷地造成に関すること

当該発電所は、市道を挟み南北に敷地が分かれており、売電期間終了後(20年間の予定)には約70%の敷地を地権者104名に農用地として返却することになっている。そのため、南北の敷地毎に土砂の搬出入なしで土量調整を行い、全15ブロック毎に東西方向レベル、南北方向2%未満で造成しなければならないという施工条件であった。

また、工程的な制約から、総土量380,000m<sup>3</sup>の切盛土を6ヶ月以内(約2,500m<sup>3</sup>/day)で仕上げなければならず、施工機械編成の検討が必要であった。

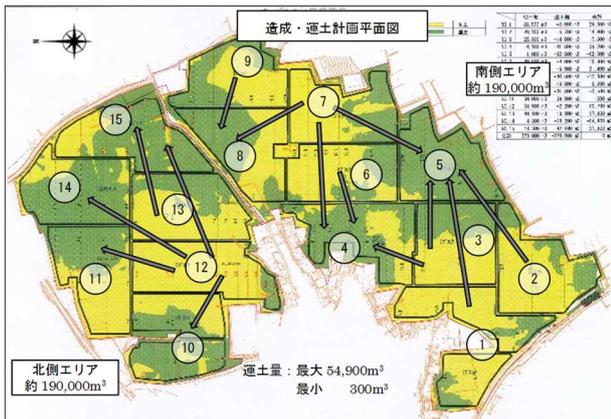


図-4 切盛土計画図

###### (2) 飛砂

当該発電所の所在地は日本海に近接して北西の風が強く、夏期(6月~9月)を除く季節には毎年飛砂被害が発生するので、近隣住宅や周辺畑地への飛砂防止措置を検討する必要があった。

##### 4-2 課題に対する対応

###### (1) 敷地造成管理(切・盛土管理)

当該発電所は、広大な敷地のため従来の施工方法では膨大な労力と時間を要し、不経済かつ品質低下が懸念されたため、情報化施工による敷地造成管理および大型機械による機械編成を実施した。

具体的には、以下のとおりである。

- ①現況地盤高の測定にUAVレーザ測量を主体とし、その欠点を補うために地上三次元レーザ測量を併用して高精度な点群データを取得し、敷地計画高の設定および運土計画を策定した。

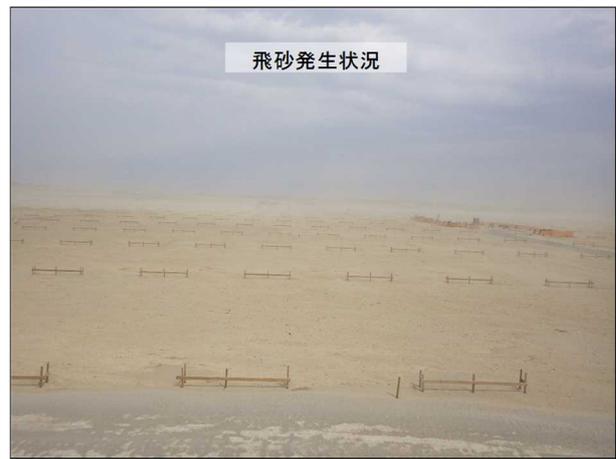


写真-2 飛砂発生状況および飛砂被害状況



写真-3 UAVレーザ測量と地上三次元レーザ測量

②切・盛土管理には、ICT技術を施工プロセス全体に活用した「スマートコントラクション」により見える化して品質および生産性の向上を図った。

図-5はクラウド型プラットフォーム「コムコネクト」によって、現場の進捗状況がパソコン上で一目で確認できる画面例で、図-6は同じくパソコン上で切・盛土の過不足厚さが、10cm間隔で1cm単位で表示される画面例である。

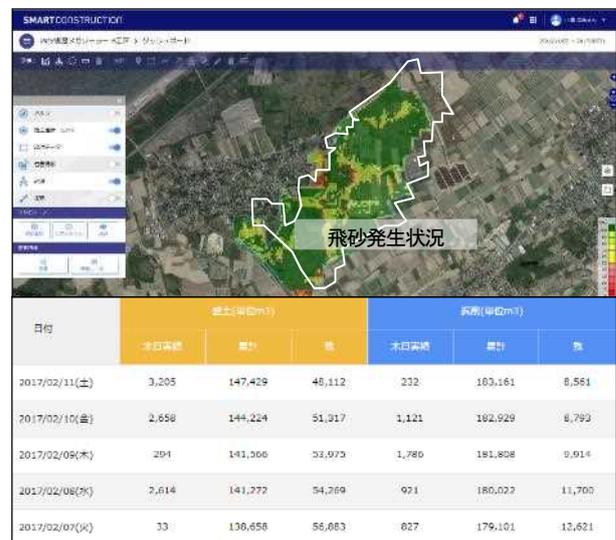


図-5 日々の切・盛土量進捗管理画面

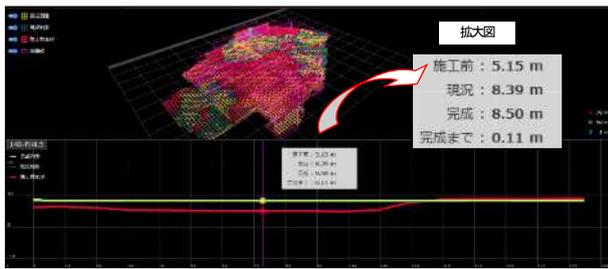


図-6 切・盛土過不足厚表示画面

③切・盛土作業は、2班体制で下記の機械編成によって施工し工程を確保(約2,500m<sup>3</sup>以上/day)した。

- ・法面整形：バックホウ(ICT機械0.8級)
- ・掘削積込：バックホウ(一般機械1.0 m<sup>3</sup>級)
- ・整地：ブルドーザ(ICT機械D65PXi)
- ・切土押土：ブルドーザ(一般機械D60P)
- ・締め：土工用振動ローラ
- ※細砂地盤のためタイヤローラ不可
- ・土砂運搬：アーティキュレートダンプ

(17 m<sup>3</sup>級) 2台

※運搬距離120m~470m(平均230m)



バックホウ操作画面



拡大写真



ブルドーザ操作画面



拡大写真

写真-4 ICT機械操作画面(バックホウおよびブルドーザ)



バックホウ(ICT機械)



ブルドーザ(ICT機械)



土工用振動ローラ



アーティキュレートダンプ

写真-5 敷地造成工事における施工機械

## (2) 飛砂防止対策

飛砂による周辺被害(民家および畑地への被害)を防止するため、写真-6に示す防砂ネットの設置などの対策を実施した。



防砂ネット①(民家近接部)



防砂ネット②(畑地隣接部)



飛砂防止ネット(現場内設置)



散水養生(管理道路部)

写真-6 各種飛砂防止対策

## 5. 創意工夫・想定外の出来事等

### 5-1 工時における創意工夫

#### (1) 施工の重点事項を見える化表示(写真-7)

アレイ架台およびモジュールの施工における重点事項や締付トルク管理値を現場に見える化表示して施工ミスを防止した。

#### (2) 建設副産物の再資源化(写真-8)

現場内で発生した建設副産物を自走式破砕機(ガラパゴス)により再資源化して現場で活用した。

#### (3) 生コンの品質管理にW/Cミータ採用(写真-9)

北陸地方整備局において、重要構造物の単位水量測定に義務化されている「W/Cミータ」を特高基礎コンクリートの品質管理として採用した。

#### (4) 移動式トイレカー、冷房車の設置(写真-10)

広域、かつ、伐採によって裸地化した現場内(日陰なし)において、熱中症等を防止するために移動式のトイレカーと冷房車を配置した。



写真-7 見える化表示



写真-8 自走式破砕機



写真-9 W/Cミータ



写真-10 トイレカー・冷房車

## 5-2 想定外の出来事

### (1) 国の絶滅危惧種コアジサシの営巣

国の絶滅危惧種Ⅱ類に指定されている野鳥(コアジサシ)が現場に営巣しているところが昨年6月に発見され、巣立つ8月中旬頃まで注意深く保護した。



写真-11 絶滅危惧種(コアジサシ)と営巣状況

### (2) 8年ぶりの異常低温と大雪

本年1月中旬に新潟市内では8年ぶりとなる80cmを超える降雪・積雪が発生し、現場内においても1m弱の積雪を観測した。



写真-12 現場事務所前の降雪状況と現場の積雪状況

## 5-3 地元対策と地域貢献

地元の要望によって、現場中央部を縦断している市道の線形を緩和化し、新設して「開通式」の執行や現場見学会を開催した(写真-13、14)。



写真-13 開通式の状況



写真-14 現場見学会

## 6. 施工結果

当該発電所の規模は、受注時において全国7番目(日本海側1番)で、広大な敷地(当初はゴルフ場計画地)の伐採・造成に課題が山積していた。しかし、情報化施工を行うことによって、安全・工程・品質とも良好な成果をあげることができた。造成工事などには、情報化施工が最適な管理手法であると思われた。

## 7. おわりに

本工事は当社の受注工事で過去最大の大型プロジェクトで、起工式から約3年(実質2.2年)にわたる長い期間を経て、本年7月1日に無事に完成・引渡しすることができた。

事業主であるオリックス株式会社としても全国一番のメガソーラー施設で、着工時から高度な要求事項を提示されたが、本店や関東支店からの全社的な支援を受けて課題を解決することができ高評価をいただいた。

最後に、本店環境技術営業部および関東支店ならびに関係者全員に、感謝の意を表したい。

## 世界三大建機展 (INTERMAT 2018) に参加して

阿部 慎\*

## 1. はじめに

世界中から業界を牽引する主要建設機械メーカーが集結する世界三大建機展(仏国：INTERMAT、独国：BAUMA、米国：CONEXPO)の一つである『INTERMAT 2018』が平成30年4月23日から28日の6日間にわたり、フランス共和国パリ・ノール・ヴィルパント見本市会場で開催された。

本建機展は、最新建設機械のダイナミックなデモンストレーション「パリ・デモ」が行われることでも知られ、建設・建設機械およびその関連機器を中心とした国際見本市であり、建設業界を牽引する世界各国の主要企業40ヶ国約1,500社が一同に集結し開催された。

今回、一般社団法人日本建設機械施工協会の視察団の一員として参加する機会を得たので、国際的な建設機械分野の動向調査と現場視察の概要について報告する。

## 2. 渡航概要

渡航期間としては平成30年4月22日～28日の5泊7日で、INTERMAT 2018および工事現場を2カ国(フランス共和国・ドイツ連邦共和国)で下記の3箇所を視察した。

- ① ITNERMAT 2018(パリ・ノール・ヴィルパント見本市会場)
- ② パリ13地区マセナプロジェクトセーヌ左岸再都市開発事業
- ③ イル・ド・フランス行政道路総局ハイウェイノジェント橋開発事業
- ④ フランクフルト国際空港第3ターミナル建設プロジェクト

## 3. INTERMAT 2018の開催概要

INTERMAT 2018 の見本市会場の規模として総面積約38万㎡で、屋内では建設機械やエンジン、屋外ではデモンストレーションや大型機械が展示されていた。その中で本建機展では、主要4大出展分野「土砂運搬と解体」、「道路・採掘／採石・基礎工事」、「ビル建設とコンクリート産業」および「リフティング・ハンドリング・輸送」の最新技術の紹介や発展途上地域も含めた EMEA(ヨーロッパ・中東・アフリカ地域)ゾーンの新設、さらには欧州コンクリート業界を代表する見本市「ワールド・オブ・コンクリート・ヨーロッパ」が同時開催されるなど、来場者約18万人と盛大であった。



写真-1 ヴィルパント見本市会場

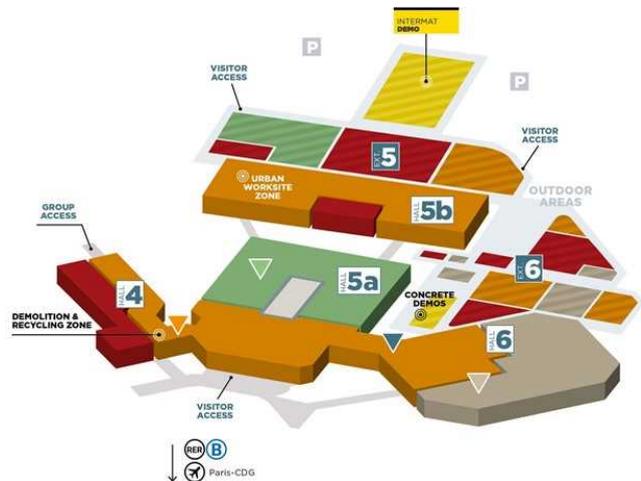


図-1 会場案内図

## 3-1 第7回イノベーションアワード受賞製品

## ① 土砂運搬と解体(機械・機器賞)

企業名：VOLVO CE (Volvo Construction Equipment  
ボルボ建設機械)

製品名：EX2

概要：世界初のCO<sub>2</sub>排出ゼロ・全電気式掘削機であり、騒音レベルは従来型と比較して10分の1である。



写真-2 全電気制御バックホウ

\*本店機械部機械課課長代理

② 道路・採掘/採石・基礎工事(コンポーネント・アクセサリ賞)

企業名：RB3D

製品名：EXO PUSH

概要：人力で行うレーキ作業を電動アシストするスケルトン構造のロボット。公共事業分野初の電動「WEARBOT(装着型ロボット)」である。



写真-3 電気式アシストレーキ

③ ビル建設とコンクリート産業(コンポーネント・アクセサリ賞)

企業名：360SMARTCONNECT

製品名：Connected concrete

概要：RFID または NFC 機器(IC チップ)をコンクリートに埋込み、施工時期・設計情報などをクラウド管理するシステムである。



写真-4 NFC 内蔵コンクリート

④ 特別賞(デジタル移行賞)

企業名：EFA FRANCE

製品名：EVAS

概要：CAN BUS インターフェースを通信型音声制御システム(音声認識)と融合させ、重機側のコントロールを音声にて制御できる。



写真-5 音声認識制御

⑤ 特別賞(ワールド・オブ・コンクリート・ヨーロッパ賞)

企業名：SIKA FRANCE

製品名：Concrete 3D printing

概要：3D プリンタ技術を大規模構造物に適用するための混合装置で、将来は床上操作式クレーンなどを使用して、自動で前後左右に稼働させて二次製品を製作する計画である。



写真-6 3D プリンタ混合装置

3-2 出展機械

① エンジン関連

地球環境に対する保全意識が高まる中、第4次排出ガス規制(EU StageIV)より更なる環境負荷低減を目的として、2019年度から始まる欧州ノンロードディーゼル第5次排出ガス規制(EU StageV)に対応するエンジンが各社一様に展覧され、日米欧の現行の排ガス規制よりも一段階厳しいレベルが出揃っているなど、注目度も高い印象があった。



写真-7 EU 版規格 StageV エンジン

② 道路機械関連

舗装機械では、VOLVO 社のみ最新の第4次排ガス規制エンジンが搭載され、作業員の作業環境に配慮したアスファルトフェュームの除去装置、および本体スクリードワイドナー側折れ点スクリード(-10%)が付加されている。

さらに、世界的に建機メーカーが統合されている傾向もあり、米国の JOHN DEERE グループの傘下になった WRITGEN グループは、グループ同士の機材を組み合わせたトラクタ牽引式スタビライザの混合装置などの類似した機械も多く展覧されていた。



写真-8 VOVLO P68200(最新モデル)



写真-9 本体スクリードワイドナー側折れ点構造



写真-10 牽引式スタビライザ

### ③ 電気式(EV)機械関連

特に注目した点として、ディーゼルエンジンと電動モータを組み合わせたハイブリッド(HV)ではなく、完全に電気化(EV)に向けた機械が多く展示されていた。この背景として、自動車産業からのEVに向けた市場に建機メーカーも次世代を見据えた開発、さらには欧州特有の文化として、歴史的建造物の維持メンテナンスが建物室内や狭い扉から機械を搬入させ、作業環境をクリーンな環境に保つ意識が高いのが要因と思われる。



写真-11 セミEVアジテータ(8m<sup>3</sup>)



写真-12 EVトラクタ式運搬台車



写真-13 EVタイヤ式運搬台車

### ④ 小型機械関連

小型機械の出展割合が多い理由として、建物内への運搬や歩道への対応があげられる。また、展示会以外の一般的な外構現場に注目すると、運搬する資材として碎石の他に平板ブロックを運搬する機会も多く、また、作業人員が少ない(おおよそ3名程度)状況下では生産性の向上が必須であり、使用する頻度が高い傾向がある。

ホイールローダに類似した運搬機械では、バケットがバックホウのようにウォームギアによって360度旋回し、現場の作業範囲が狭い場所でも運搬車両と並行に位置取りや、積込みや荷下ろしが可能である。



写真-14 KATO IMER 社



写真-15 Thwailles 社



写真-16 CORMIDI 社



写真-17 Bobcat 社

#### ⑤ 景観機械関連

フランス国内では、古代から建造された建物も多く、その景観を活かした平板舗装が多種多様に施されている。



写真-18 研磨機材

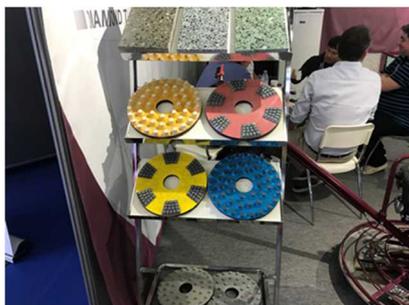


写真-19 研磨砥石



写真-20 平滑研磨機械

そのため、メンテナンス(道路表面・外壁)も素材によって異なるので、さまざまな研磨機械および砥石が準備されている中、その需要も高くレンタル対応できる文化は特性を感じられた。

#### ⑥ ICT 関連

ICT 機材は日本と同様にトプコン、ニコン、およびライカ社の3社が中心である。スリップフォームペーパー用として、GNSS と TS の高さや位置情報を融合させて測長精度を高めた世界初となる機材をトプコンが発表した。一方では、TLS や UAV、CIM などの出展は少ない状況であった。



写真-21 Co 用 ZPS (受光機) GNSS/TS



写真-22 Co 用 ZPS (発光機) GNSS/TS

#### ⑦ プラント関連

小規模コンクリートプラントの出展が多い中、トルコ共和国 E-MAK 社のアスファルトプラントでは 100%リサイクル(劣化防止添加剤・天然アスファルト)をアピールしており、資源の再利用の意識が高い印象がある。



写真-23 E-MAK 社 AP

#### ⑧ 安全・情報通信関連

磁界を利用した RFID 発信機を保持している作業員がバックホウなどの作業範囲内に作業員が立ち入った場合、RFID 技術によって重機の動作を停止させることが可能

であり、磁界で設定した作業範囲も制限設定できる機器も紹介されていた。



写真-24 エリアセンサ(RFID)

#### ⑨ その他

建機メーカーが販売する機械に使用する材料を評価する試験器具として、フォームドアスファルト舗装の性状試験機が展示されていた。また、橋梁施工時のシート防水についても専用の機械があるなど、ユニークな製品を出展する企業もあった。



写真-25 WIRTGEN 社(フォームド試験機)



写真-26 防水シート張付け機械

### 4. 現場視察

#### 4-1 パリ 13 地区マセナプロジェクトセーヌ左岸都市再開発事業

##### ① 事業内容

街路を重視した都市空間および大学誘致による知識階層都市(ナレッジタウン)への試行

##### ② 概要

パリ市単独出資による開発を 1989 年からフランス国営鉄道(TGV・RER)の土地を買収しながら輸送網を停滞させることなく、鉄道の上空空間を活用し、ドーム型の地盤を構築し、総事業面積 130ha の再開発事業を 2024 年に開催されるパリオリンピックまでに完了を目指す総

事業費 40 億€のプロジェクトである。



写真-27 ドーム型景観



写真-28 車道(SAM)、歩道(ゲース)

#### 4-2 イル・ド・フランス行政道路総局ハイウェイノジェント橋開発事業

##### ① 事業内容

行政組織(道路総局)が主導する新設大型工事プロジェクト

##### ② 概要

EU 圏の中においても最も渋滞が発生するハイウェイ A4 号線の渋滞解消を目的としたランプ新設工事に伴う『ノジェント橋』の橋梁工事で、2017 年から工事着手し、2020 年に完成を目指す工事である。橋梁の仕様として、全長 L=62m、幅員 W=12m、および総重量 1,200 t の 1 本のハイブリッド橋梁である。

橋梁を掛ける業社の選定では、EU 圏のオランダ(MAMMOET 社)から専門の橋梁業者を手配し、6 台の多軸台車(ユニットドーリー車)を使用し、50m の距離を移動から据付けまで 6 時間(ハイウェイ通行止め)で実施する予定である。



写真-29 ハイウェイ A4 号線

#### 4-3 フランクフルト空港第3ターミナル建設プロジェクト開発事業

##### ① 事業内容

フランクフルト国際空港のハブ化に向けた拡張工事建設プロジェクト

##### ② 概要

フランクフルト国際空港の南に位置にある以前、米軍基地として占有していた土地に、第3ターミナル新築工事を計画、2015年に工事着手し2023年度の開港予定である。

総面積 306,000m<sup>2</sup>、ターミナル延長 L=500×3 本、総事業費 35 億€(日本円：約 4,700 億)、および集客人員年間約 7,000 万人として、EU 圏の中心となるハブ空港を目指す大型プロジェクトの一つである。日本国内も同様な計画をしている成田国際空港関係者も視察するなど、注目度の高い国際空港である。

現在、地下水処理および造成中である一方、本工事では建築の設計、施工から維持管理までのあらゆる工程で情報活用を行うためのソリューションである BIM (Building Information Modeling) は検討されていない。



写真-30 地下水貯蔵エリア(-18m)



写真-31 地下水浄化装置

#### おわりに

世界三大建機展の最先端の機械や技術を実際に体験し、特に古代の建造物を重視するフランスの特性を活かした機種が多い中、今後の環境に配慮した機械や高効率で生産性の高い機械開発に活せる機会を頂いたことに深く感謝致します。誠にありがとうございました。



写真-32 第64回欧州建設機械施工視察団

# リラインヨーロッパ社視察報告

吉川 智英\*

## 1. はじめに

アルファライナー工法は、リラインヨーロッパ社(ドイツ)が開発した、光硬化の技術を応用した形成工法に分類される本管更生用の管更生工法で、強固な耐酸性ガラス繊維を採用することで、従来の光硬化工法より高強度で施工時間が短縮できるという特徴を有している。

今回、光硬化工法協会会員の一員として「リラインヨーロッパ社視察」に参加する機会を得たので、その視察の概要について報告する。

## 2. 視察概要

視察概要は以下のとおりである。

- ・視察先：リラインヨーロッパ社(以下、リライン社)  
(ドイツ連邦共和国ロアバッハ、図-1参照)
- ・日程：平成30年8月20日～25日(4泊6日、表-1参照)
- ・参加者：光硬化工法協会会員会社および東亜グラウト工業株(23名)
- ・目的：アルファライナー工法の開発会社を訪問し、最新技術のヒヤリングや材料の製造工程・品質管理方法、および実際の施工現場を見学し、今後のアルファライナー工法の技術力の向上に役立てる。

表-1 視察スケジュール

日程	月日	発着時間	発着地	摘要
1	8月20日(月)	14:05 18:45	羽田発 フランクフルト着	ルフトハンザ航空でフランクフルトへ バスでカールスルーエへ移動 カールスルーエ泊
2	8月21日(火)			終日：リラインヨーロッパ社視察 午前：ノル社長によるプレゼン 午後：工場内視察 カールスルーエ泊
3	8月22日(水)			午前：現場視察(アッシャフェンブルグ) 午後：バスでハイデルベルグへ移動 ハイデルベルグ泊
4	8月23日(木)			午前：ハイデルベルグ半日市内視察 午後：バスでフランクフルトへ移動 フランクフルト泊
5	8月24日(金)			午前：ライン川クルーズ 午後：バスでフランクフルト空港へ移動 ルフトハンザ航空で羽田へ
6	8月25日(土)	18:05 12:15	フランクフルト発 羽田着	着後解散

## 3. アルファライナーの特徴

アルファライナー(ライニング材)の特徴は、以下のとおりである。

- ①他の光硬化の耐酸性ガラス繊維樹脂より強固
- ②管厚が薄くなり施工品質が向上し、施工時間も短縮
- ③シームレスシステム工法より高い長期曲げ弾性率

- ・アルファライナー  $9,500\text{N}/\text{mm}^2$
- ・シームレス  $4,090\text{N}/\text{mm}^2$

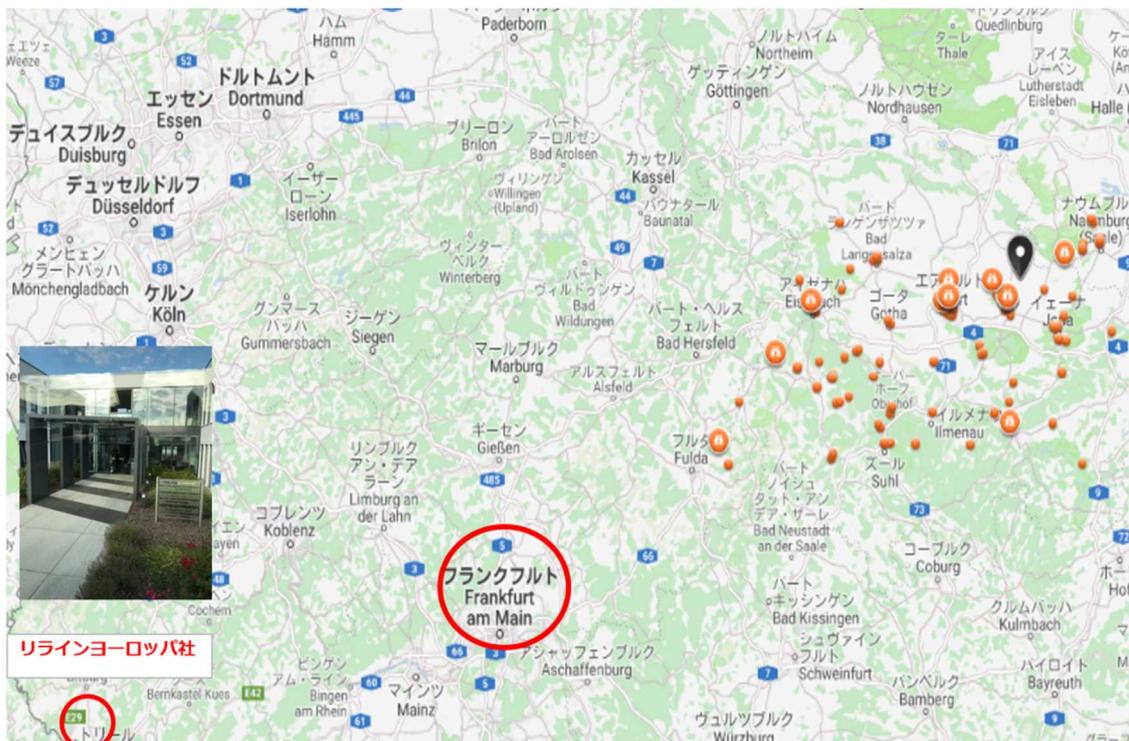


図-1 リラインヨーロッパ社位置図

\*本店環境技術営業部環境技術課課長

#### 4. ノル社長によるプレゼンテーション

クリスチャン・ノル社長は 2009 年にリライン社を設立し、設立からわずか 9 年でアルファライナーの総生産量 4,000km、2017 年の生産量は 800km 近くを達成している。ノル社長によるプレゼンテーションの内容は、以下のとおりである。

##### 4-1 会社概要

リライン社は光硬化のライニング材および施工機械

の開発、製造および販売を行う会社である(図-2)。

##### 4-2 アルファライナーの生産状況

アルファライナー工法は国際展開されており、世界 48 ケ国において施工が行われている(図-3)。

##### 4-3 ドイツにおける管更生の現状

熱硬化(フェルトを材料にした工法)では、保冷車による材料運搬になり材料管理が難しく、光硬化は水密性が熱硬化より優れているので、ドイツでは光硬化が増加している(図-4)。



図-2 リライン社の沿革



図-3 リライン社の生産状況

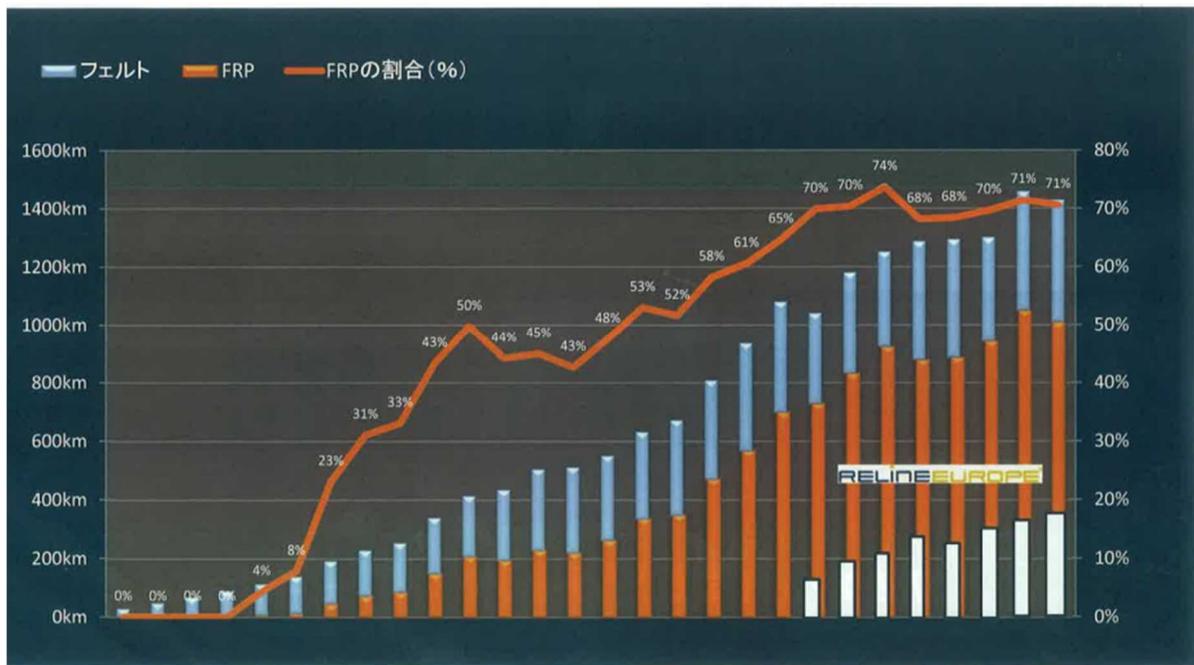


図-4 ドイツにおける管更生の実績

## 5. 工場視察

### 5-1 材料の生産工程

材料の生産工程では、図-5 に示すような順序で材料が製造されている。

### 5-2 品質管理

リライン社は施工会社を含めて、材料の製造・施工・試験をトータル管理することによって、徹底的な品質管理を行っている(図-6)。

機械についても電子化され、材料や施工の状況が瞬時に確認できるようになっている(図-7)。



図-5 材料の生産工程

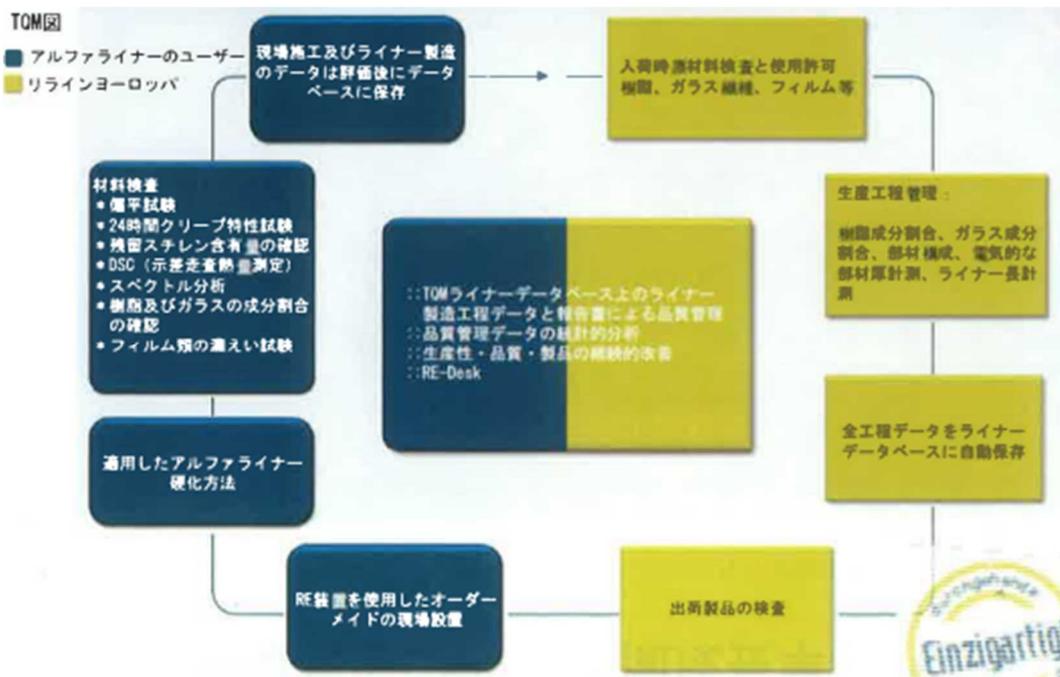


図-6 材料の製造・施工・試験のトータル管理システム



ACAS: Advanced Curing Assistant System (先進的硬化作業補助システム)  
「コネクテッド・キュア」が、ライナーのデータと現場条件を統合し硬化作業を自動化する

後部カメラを備えた自動停止機能付き超音波センサー

タブレットの活用で現場管理がより柔軟に



革新的なフロント回転カメラ

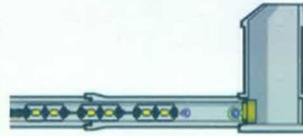


図-7 機械の管理システム

### 5-3 施工機械

リライン社の施工機械を写真-1に示す。



写真-1 光硬化施工車・削孔機

## 6. 現場視察(アッシュフェンブルグ)

視察したのは閑静な住宅街で、下水道管構築後 30 年以上経過した排水管を更生する(φ250mm、L=23.0m、t=5.0mm)現場であった。

現場の状況を写真-2、3に示す。



大型洗浄車による管内洗浄

作業状況

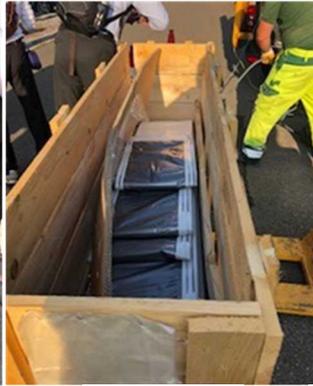
写真-2 視察現場(1)



UV ライト 600W 9 連



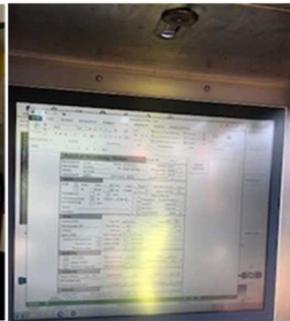
UV ライト挿入状況



メインライナー



メインライナー挿入後のエンドパッカー設置



硬化管理状況

写真-3 視察現場(2)

## おわりに

今回の視察での成果や感想を以下に示す。

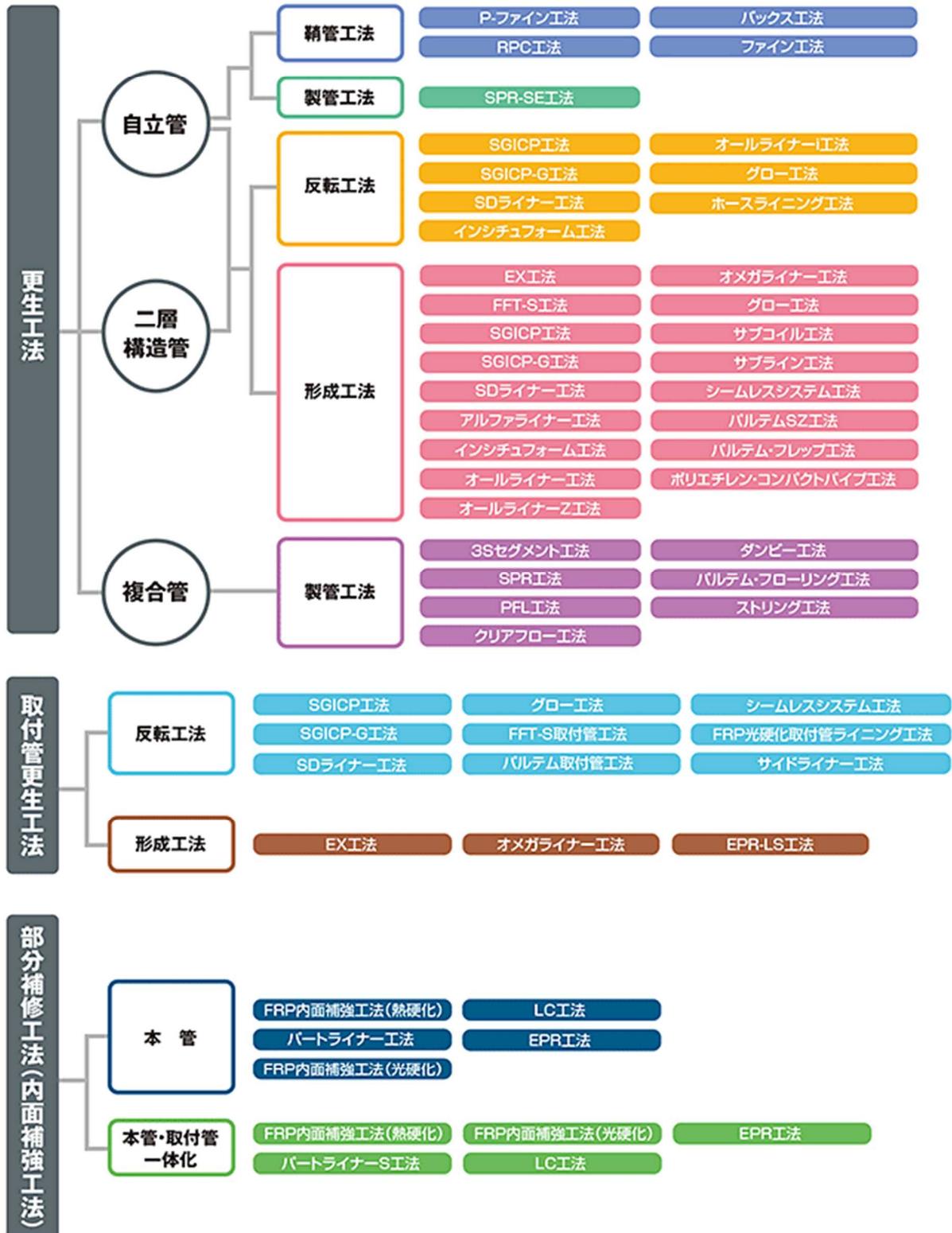
- ・管更生におけるドイツと日本の違い
  - ①ドイツでは自立管の概念が無く、単純に既設管の管径 1/100 で更生管の管厚を決定し施工している。
  - ②狭い場所での施工が少なく、施工機械が大型化している。
  - ③施工にあたり周辺住民が協力的である。  
(苦情・嫌がらせなどは一切ない)
- ・リライン社は材料・施工・試験とトータル的に品質管理をしている(コンピューター化)。
- ・ドイツでの管更生の特徴として、内面被覆が目的で工事をしている。
- ・工事エリア住民と施工会社とが一体となり、協力して工事をしているように感じた。

最後に、今回のように貴重な機会をいただいたことに深く感謝致します。



写真-4 視察団集合写真

品確協の取り扱い工法



一般社団法人 日本管路更生工法品質確保協会のホームページから抜粋

加熱養生が再生アスファルト混合物の性状に与える影響

大林道路(株) 技術研究所 正会員 ○小林 靖明  
 同上 正会員 上地 俊孝  
 同上 正会員 東本 崇

1. はじめに

アスファルトプラントにおける加熱サイロの貯蔵時間は、定量的には設定しておらず各プラントの判断に委ねられているのが現状であり、合材の出荷状況に応じて0~48時間程度である。良質な再生アスファルト混合物の製造には、再生用添加剤によって旧アスファルトが再生される時間が少なからず必要とされているが、一方で、加熱サイロへの貯蔵時間が長くなり過ぎると熱劣化や酸化劣化を引き起こし、混合物性状に影響を及ぼすことが懸念される<sup>1)</sup>。そこで本検討では、室内にて再生アスファルト混合物(以下、再生As混合物)を作製し、恒温乾燥炉で任意の時間加熱養生したときの混合物性状を確認したので、その結果について報告する。

2. 試験概要

再生As混合物の作製手順を図-1に、作製条件を表-1に示す。本検討では、再生As混合物に新規骨材・新規アスファルトを加えて混合後、165℃の恒温乾燥炉にて養生時間6水準で加熱(0h,1h,3h,5h,16h,24h)、供試体を作製した。その後、圧裂試験、曲げ試験を行い評価した。尚、本試験では恒温乾燥炉による養生時、合材に直接温風が当たらない措置をとっているが、アスファルトプラントの加熱サイロと比べ、加熱養生している再生As混合物が少量(1200g程度)であるため、より劣化しやすい条件となっている。

表-1 再生As混合物の作製条件

混合物種類	再生密粒度アスファルト混合物(13)
設計針入度	1/10mm
再生骨材混入率	70
再生アスファルト量	5.63%
再生用添加剤量(対再生混合物)	0.24%

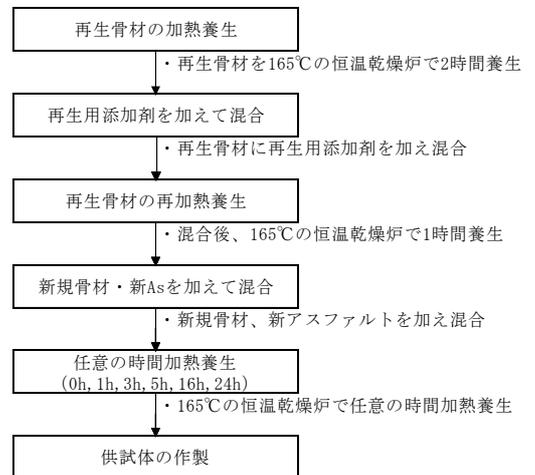


図-1 再生As混合物の作製手順

3. 試験結果と考察

3.1 圧裂試験結果

再生As混合物製造後の加熱養生時間と圧裂強度の関係を図-2に、圧裂係数の関係を図-3に示す。圧裂強度は加熱養生5時間まで上昇するが、その後は低下する傾向が見られた。圧裂係数は、加熱養生3時間までは一般地域用設計圧裂係数の目標値である0.60~0.90MPa/mmを満足しているのに対して、加熱養生5時間経過後は目標上限値である0.90MPa/mmを超えた。

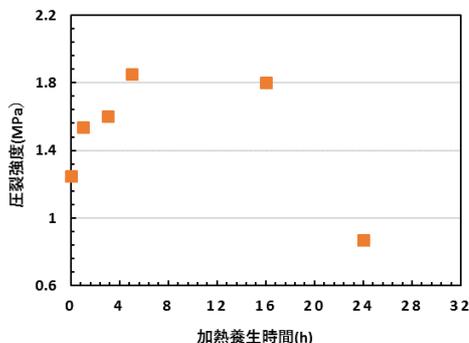


図-2 加熱養生時間と圧裂強度の関係

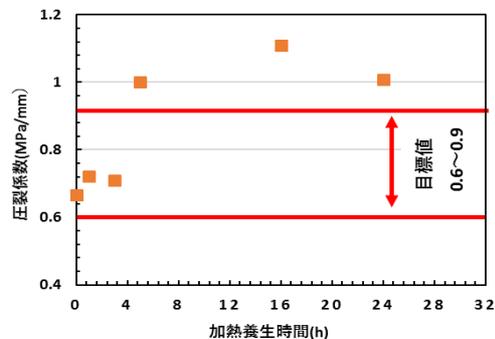


図-3 加熱養生時間と圧裂係数の関係

キーワード 再生アスファルト混合物, 加熱養生, 劣化, 圧裂係数

連絡先 〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640 大林道路(株) 技術研究所 TEL 042-495-6800

### 3.2 曲げ試験結果

再生 As 混合物製造後の加熱養生時間と破断時の曲げ強度の関係を図-4に、破断時のひずみの関係を図-5に示す。試験は 20℃条件下で行った。破断時の曲げ強度は、圧裂強度と同様に養生後 5 時間まで上昇し、その後は低下する傾向が見られた。破断時のひずみは、貯蔵時間の経過に伴って低下することが認められた。

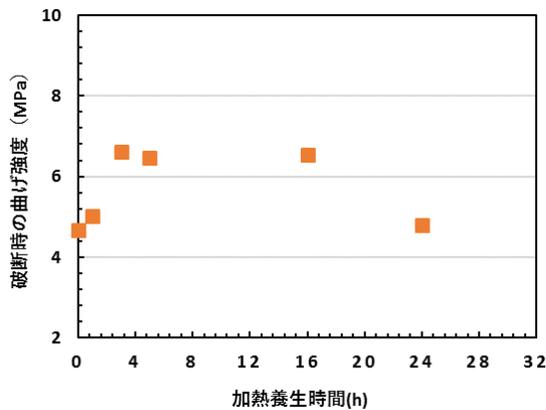


図-4 加熱養生時間と破断時の曲げ強度の関係

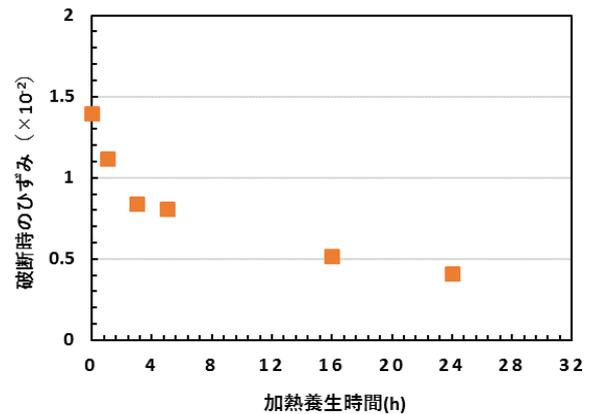


図-5 加熱養生時間と破断時のひずみの関係

### 3.3 圧裂係数と破断時のひずみの相関関係

加熱養生時間による圧裂係数と破断時のひずみの関係を図-6に示す。圧裂係数と破断時のひずみには負の高い相関が見られ、圧裂係数が小さくなるほど破断時のひずみは大きくなる傾向が見られた。加熱養生の時間経過に伴って、圧裂係数が上昇し、破断時のひずみが低下していることから、硬くなり、たわみ追従性が低下していると言える。これは再生 As 混合物製造後の養生の時間経過によってアスファルトが劣化し、硬く脆くなったことが原因と考えられる。

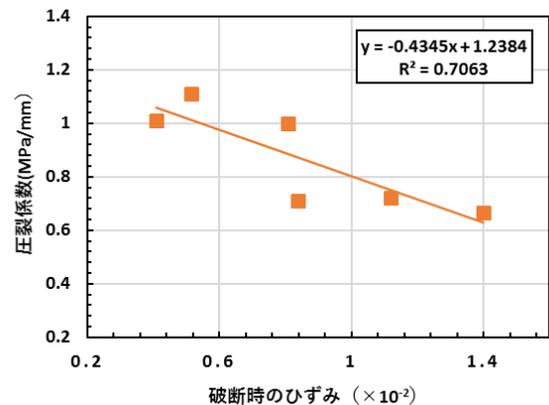


図-6 破断時のひずみと圧裂係数の相関関係

また、アスファルトプラントにて比較的簡易に行える圧裂試験から求めた圧裂係数と、破断時のひずみの相関性が高いことから、再生 As 混合物製造後の加熱養生による劣化度合いを評価する手法の 1 つとして圧裂試験は有用であると言える。

## 4. まとめ

再生 As 混合物は恒温乾燥炉内での加熱養生時間が長くなるに従って、硬くなり、たわみ追従性が低下することを確認した。また、加熱劣化させた再生 As 混合物の圧裂係数と破断時のひずみに相関が認められ、再生アスファルト混合物の劣化度合いを評価する手法の 1 つとして圧裂試験は有用であった。

## 5. おわりに

本検討は、アスファルトプラントで再生 As 混合物を加熱サイロに貯蔵した場合よりも小スケールで加熱養生しているため、熱による劣化を受けやすい条件で行った。そのため、加熱サイロへの貯蔵時間の適正範囲が本検討では断定できないが、加熱養生時間が長くなるに従って再生 As 混合物が劣化していくことが示唆された。今後はアスファルトプラントにて同様な試験を行い、貯蔵時間毎の劣化状況を確認していく予定である。

## 参考文献

- 1) 谷口豊明・伊藤達也：「アスファルトの劣化」、アスファルト Vo.33 No.164, pp.67～82、1990 年 7 月

## 石貼り風半たわみ性舗装における目地デザインの記述化

大林道路株式会社 正会員 ○武田有加里  
 大林道路株式会社 正会員 嶋崎 明代  
 東京大学 堀 繁  
 東京大学 堀 温子

### 1. 目的

路面に景観を求める地域では、舗石の上面形状（以下「モジュール」という）とその並べ方で路面をデザインする石貼り舗装が重用されてきた。石貼り風半たわみ性舗装（以下「本工法」という）は、カッターによる目地切り（以下「カッター目地」という）で半たわみ性舗装を任意のモジュールに分割するもので、切り方のパターン（以下「目地パターン」という）によりモジュールの形や大きさ並べ方を工夫できるという点において石貼り舗装より自由なデザインが期待できる工法である。ただしそのデザイン（以下「目地デザイン」という）の選定にはカッターの機構上①モジュールは直線の組み合わせのみ②カッター目地は総延長が長くなる、或いは断続部が多くなるほどコストが嵩む、といった制約を加味する必要がある。そこで筆者らは目地デザインを適切に選ぶための情報ツールに活用することを目的としてその記述化を研究している。本稿では筆者が関わった物件で多くを占めた矩形の目地パターンを分類・記述化しその適用の可否を検証した結果を報告する。

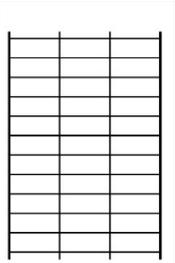
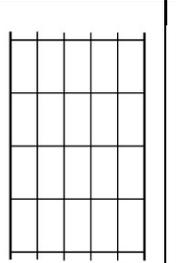
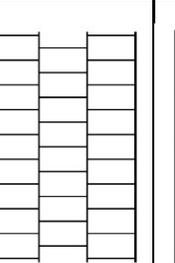
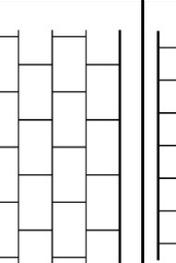
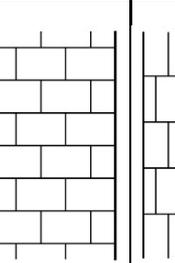
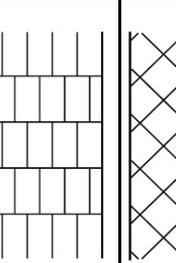
### 2. 記述化の検討

#### 2-1 目地パターンの呼称

矩形のモジュールを構成するカッター目地の基本パターンを石貼り舗装の一般的な貼り方に基づき 4 つに分類（表-1）し、それぞれ石貼り舗装における貼り方の呼称<sup>1)</sup>を参考に記述化した。なお、ここでは便宜上横断方向を横目地、進行方向を縦目地とした。結果を以下に列記する。

- ①「芋目地」；横目地、縦目地とも連続的に直行させる。モジュールが格子状に整列する。
- ②「千鳥目地」；縦目地を連続、横目地は一定の寸法（割合）でずらして断続させる。隣接する左右のモジュールが進行方向に交互に並ぶ。
- ③「馬目地」；横目地を連続、縦目地は一定の寸法（割合）でずらして断続させる。隣接する前後のモジュールが横断方向に交互に並ぶ。
- ④「四半目地」；進行方向に  $45^\circ$  と  $315^\circ$  で直交させる。ひし形のモジュールが格子状に整列する。

表-1 目地パターンの分類

	①		②		③		④
呼称	芋目地		千鳥目地		馬目地		四半目地
細分	横長の芋目地	縦長の芋目地	横長の千鳥目地	縦長の千鳥目地	横長の馬目地	縦長の馬目地	
基本パターン							

キーワード 石貼り風半たわみ性舗装 目地 記述化

連絡先 〒101-8228 東京都千代田区神田猿楽町 2-8-8 大林道路株式会社 技術部 TEL 03-3295-8855

## 2-2 モジュールの寸法, 位置

カッター目地で構成するモジュールの寸法, 位置を伝える記述化を試みた結果を以下に列記する。

- ① 横縦比○ : ● ; 横辺の長さ と 縦辺の長さの比
- ② W○○ × D●●● ; 横辺の長さ と 縦辺の長さ
- ③ △/▲ ずらし ; モジュールの辺長を分母とする直交する隣のモジュールとの交点までの長さの分数

## 3. 検証結果

前述の記述化により目地デザインに必要な基本情報を的確に伝えることが可能かを筆者が関わった物件で検証した結果(表-2)全ての事例を当てはめることができ, 使用可能であることが確認された。写真-1 に横長の馬目地(表中 6), 写真-2 に四半目地の例(表中 11)を示す。

また, 事例には以下の傾向が確認された。

- ① 目地パターンの多くは横長の馬目地である。
- ② モジュールの寸法は黄金比等何らかの法則によるものとは確認できない。
- ③ ずらしは全て 1/2 となっている。

表-2 目地デザインの実例の記述化による検証結果

	目地パターン	モジュールの横縦比	寸法(mm) W(横) × D(縦)	ずらし
1	横長の馬目地	3:2 (1.5:1)	W900 × D600	1/2ずらし
2	横長の馬目地	2:1	W600 × D300	1/2ずらし
3	縦長の千鳥目地	1:2	W450 × D900	1/2ずらし
4	横長の馬目地	5:4 (1:0.8)	W1000 × D800	1/2ずらし
5	横長の馬目地	5:4 (1:0.8)	W1000 × D800	1/2ずらし
6	横長の馬目地	5:4 (1:0.8)	W1000 × D800	1/2ずらし
7	芋目地	1:1	W700 × D700	-
8	横長の馬目地	5:4 (1:0.8)	W1000 × D800	1/2ずらし
9	横長の馬目地	2:1	W900 × D450	1/2ずらし
10	横長の馬目地	2:1	W1200 × D600	1/2ずらし
11	四半目地	1:1	W500 × D500	-

## 4. 考察

目地デザインについて, 記述化の検討・検証結果から目地パターンやモジュールの寸法は記述化することで容易に整理できることが解った。また総じて現況の目地デザインには, 設計思想(通行する歩行者やドライバーにどのように見せたいか)の要素が不足していることが伺えた。

記述化により改善できると考えられる可能性を以下に列記する。

- ① 目地パターンやモジュールの寸法を, 道路の使用目的に応じた景観上の設計思想を定め心理学的な要素を加味して決める。
- ② 矩形モジュールの寸法を変化させるパターン等, コスト増を抑えつつより複雑なデザインを提供する。

## 5. おわりに

本稿では適用事例から矩形の目地パターンについてのみ取り上げた。しかしカッター目地の自在性を活かす意味で多角形のモジュールや, モジュールを構成しない目地デザインも考えられる。今後はそれら応用的な目地パターンの整理と記述化にも取り組む所存である。

## 参考文献

- 1) デザインパターン集 : 一般社団法人日本タイル煉瓦工業会, <http://www.nittaren.or.jp/>



写真-1 横長の馬目地 5:4  
W1000 × D800 1/2 ずらし



写真-2 四半目地 1:1  
W500 × D500

石貼り風半たわみ性舗装の変化部における目地デザインの記述化

大林道路株式会社 正会員 ○嶋崎 明代  
 大林道路株式会社 正会員 武田有加里  
 東京大学 堀 繁  
 東京大学 堀 温子

1. 目的

石貼り風半たわみ性舗装は、カッター目地で舗装面を個々のモジュールに分割して石貼りの趣を醸し出す工法（以下「本工法」という）である。本工法の目地の割り付けの設計は当該道路における標準的な部分をピックアップしてなされる場合が多く、幅員や線形が変化する箇所（以下「変化部」という）については適宜施工者が現地の寸法に合わせて割り付ける（以下「現場合わせ」という）場合が多い。曲がり角、カーブ、交差点、拡幅部、環状部が多く含まれる路線に本工法を適用すると現場合わせの良否が全体の出来栄に大きく影響し、結果的に設計者のイメージに必ずしもそぐわない違和感のある仕上がりとなった事例も散見される。設計段階で変化部の詳細を考慮できればこういった不具合は防止できる。しかし現地における様々な条件を設計段階で考慮することは難しく、むしろ設計者のイメージを施工者が理解し、的確な現場合わせができる情報伝達の方法を工夫する方が現実的と考えられる。本研究は筆者らの知見で最も多用されていると思われる矩形のモジュールを対象として、変化部に応じて考えられる基本的な現場合わせの方法を整理し、これを記述化して略称を付すことで、情報伝達のツールとすることを目的とするものである。

2. 記述化の検討

以下、変化部を3つに大別し整理した。

(1) 曲がり角、交差点

モジュールの向きを進行方向の変化点で変える箇所という共通点から整理(表-1)し記述化した。結果を以下に列記する。

- ① 優先型；何れかのモジュールの向きを優先的に連続させ、他方はこれと接した箇所を断続させる。
- ② 均等型；両方向のモジュールの重複箇所を対角線で二・四分割して断続させる。
- ③ 重合型；交差部分のモジュール両方向を重畳させる。
- ④ 緩衝型；交差部を別のモジュールとする。
- ⑤ 鳥瞰型；進行方向が変わってもモジュールの向きを変えず縦横比が逆転する。

表-1 曲がり角、交差点の現場合わせ

略称	代表的なイメージ		留意点
	曲がり角	交差点	
優先型			施工上、優先方向の目地カッターを先に施工すると誤切が防げ効率的
均等型			基本的に接続対角線に対して上下、左右対称となるよう接続対角線から目地割を調整する
重合型			目地間隔が細くなるため交通負荷が大きい箇所には不向き
緩衝型			左図は内割りを含めて無くした例(交通負荷が大きい箇所)に有効と考えられる
鳥瞰型			両方向とも延長が比較的長い場合は不向き

キーワード 石貼り風半たわみ性舗装 目地 記述化

連絡先 〒101-8228 東京都千代田区神田猿楽町 2-8-8 大林道路株式会社 技術部 TEL 03-3295-8855

(2)カーブ、環状部

表-2 カーブ、環状部の現場合わせの記述化

環状部はカーブが併合したものであり同様に整理(表-2)できる。矩形のモジュールを曲線状にすり合わせていく現場合わせが要求される。曲線の内外で弧長が異なることから、進行方向にあわせる為にはモジュールを矩形から台形に転じて組み合わせる必要があり、パターンによって六角形が混じる場合もある。記述化した結果を以下に列記する。

	略称	代表的なイメージ		留意点
		カーブ・環状部		
モジュールの方向の大きさや数を変えて擦り合わせる方法	内角均等型			千鳥目地の場合は1列おきに矩形の中折れ六角形となる
モジュールの方向を切替えない方法	鳥瞰型			内外円弧端は目地を入れ難い

- ① 内角均等型；カーブや環状部の中心角を均等に分割し、モジュールの台形の上底の辺長を内から外へ大きくしていく。
- ② 鳥瞰型；一定方向を基準としてモジュールの向きや形，大きさを変えない。

(3)拡幅部

幅員の変化でありモジュールの向きは変えないことを前提に記述化した。結果を以下に列記する。

- ① 加算型；拡幅分に新たなモジュール（横方向の長さのみ変化させた矩形）を付け足す。拡幅が小さいと違和感が生じる場合がある。
- ② 端部変形型；モジュールの数は変えずに標準部の拡幅側端部のみ長さを変化させて調整する。拡幅が大きい場合には違和感が生じる。

3. 考察

筆者らが関わった実物件から違和感のある変化部を抽出し、その原因を前項に照らして整理(表-3)した結果、いずれも本記述化による基本形から外れていることが原因と考えられた。これは施工者が現場合わせを文字通り現場で考えた結果によるもので、もし設計時に現場合わせの方法が記述化されていれば施工者は的確に設計者のイメージを共有でき、よりよい仕上がりになったものと推定される。

表-3 記述化による違和感のある変化部の問題点の抽出例

曲がり角				
	均等型 例1	均等型 例2	均等型 例3	均等型 例4
問題点	いずれも接合対角線に対して非対称			
カーブ				
	内角均等型の例	鳥瞰型と内角均等型が混在している例	鳥瞰型の例	
問題点	内角に規則性がない	混在による違和感		歩道の石貼りの方向と不一致

4. おわりに

以上、変化部の現場合わせの記述化を試み、実例に照らして有効性の考察を行った。本研究ではこの他に現場合わせに算術的な解を用いる等より具体的な割り付け方法や、人間の視覚の特徴を考慮してより効果的に割り付ける方法の可能性を見出しており、今後これらについても研究していく所存である。

## メガソーラー防草対策の一事例

大林道路株式会社 正会員 ○井手 義勝  
 " 正会員 菅野 善次郎  
 " 丸尾 繁

現在我国では再生可能エネルギーとして、太陽光発電事業が全国で展開され、メガソーラーの建設が盛んである。ソーラパネルに雑草・土埃等が被ると発電量が低下する。このため、除草剤の散布や草刈、碎石で地面を覆う等の対策がとられるが、抜本的なものではなく煩雑な作業を定期的に行わなければならない。そこで、比較的安価となる安定処理工法で現地盤を固めてしまう方法による雑草土埃対策を検討した。

安定処理剤には六価クロムが懸念されるセメントや却って雑草の生育を助長しかねない石灰ではなく、防草効果の持続性があるといわれている酸化マグネシウム固化材を軸に防草効果の持続性および経済性を考慮し碎石敷きと組み合わせて試験施工を実施した。本件では、試験施工により得られた知見を紹介するものである。

### 1. 目的

メガソーラーの発電量低下要因である雑草、土埃、泥はねを防止し、雨水循環を妨げない方策として経済的優位性のある酸化マグネシウム等を用いた防草対策の施工方法および効果の持続性の確認を目的とする。

### 2. 実施概要

実施概要を以下に列記する。

- ① 実施時期 平成29年8月
- ② 施工箇所 岡山県浅口市寄島
- ③ 施工区分 固化材A 添加率：8%、4% (酸化マグネシウムが主成分)  
 固化材B 添加率：8% (酸化マグネシウムと石灰が主成分)  
 碎石敷き 単粒碎石(6号) t=5cm、t=3cm、石灰岩(単粒度) t=5cm、t=3cm

### 3. 固化材の配合

現地盤から採取した土砂により供試体を作製し固化材の添加量による一軸圧縮強度および山中式硬度計による硬度の変化を確認した。硬度に大きな変化は見られなかったが、一軸圧縮強度より現状地盤の現地混合による影響を考慮し、固化材Aの添加率を8%、4%、固化材Bの添加率を8%とした。山中式硬度による硬度が25mm以上では、硬くて根が入らないとされている<sup>1)</sup>。供試体による一軸圧縮強度を図-1に、山中式硬度計による硬度を表-1に示す。

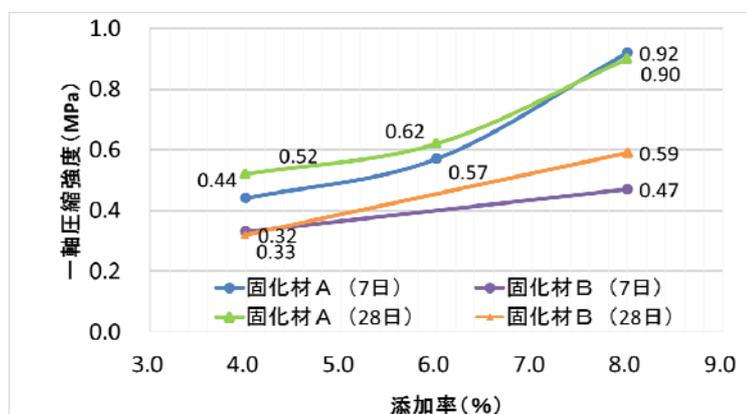


表-1 山中式硬度計による硬度 (mm)

種別	添加率	7日	28日
固化材A	4%	33	33
	8%	35	35
固化材B	4%	30	35
	8%	34	35

図-1 固化材の添加率

キーワード 防草対策, 酸化マグネシウム系固化材, 雨水循環, メガソーラー

連絡先 〒101-8228 東京都千代田区神田猿樂町 2-8-8 大林道路株式会社 技術部 TEL03-3295-8855

#### 4. 作業概要

固化材による現地盤の安定処理は、現状地盤の草刈および表土の剥ぎ取りを行った後、固化材を敷きならし(写真-1) 耕運機にて攪拌混合を実施し(写真-2)、コンバインドローラにて転圧を行った(写真-3)。



写真-1 固化材敷ならし状況



写真-2 攪拌状況



写真-3 転圧状況

舗設完了後散水し、砕石敷きを行った(写真-4)。完成状況を写真-5へ、試験ヤードを写真-6に示す。



写真-4 砕石敷ならし状況



写真-5 完成



写真-6 試験ヤード

防草対策の手法として単粒砕石や防草シートを単独で用いるより組み合わせることで効果の持続性が確認されている<sup>2)</sup>が、効果の確認は、目視による雑草の生育や土埃の発生状況を経過観察するものとなり時間がかかる。そこで、まずは硬度による評価を行った。本試験施工では、地盤の安定処

理を行った上部を保護する役割で砕石敷きを行っているため、安定処理地盤の状態を確認する試験ヤードを隣接して設けプロクターニードル貫入試験(耐久性)、強度特性(山中式硬度計)の試験を行った。安定処理地盤の試験結果を表-2に示す。

表-2 安定処理地盤の試験結果

試験項目	種別	添加率	2017/8/4	2017/8/11
プロクターニードル (ポンド)	固化材A	4%	75	69
		8%	65	78
	固化材B	8%	92	105
山中式硬度計 (mm)	固化材A	4%	29	27
		8%	31	28
	固化材B	8%	28	30

#### 5. まとめ

本件から以下の知見が得られた。

- ①試験施工での強度発現は、室内の配合設計時の強度発現と異なり比較的緩やかであった。
- ②施工後7か月での強度低下は認められず、防草効果は持続している。
- ③防草効果は砕石敷きが無くても継続するが降雨量、日照時間、気温等の影響を含めてなお検証が必要。

#### 参考文献

- 1) 安西, 犬伏 編, 梅宮, 後藤, 妹尾, 筒木, 松中 著 土壌学概論, (2001年4月 朝倉書店)
- 2) 西野, 防草工の試験施工における追跡調査について, 国土交通省関東地方整備局 宇都宮国道事務所

## 乳剤散布装置付きアスファルトフィニッシャを用いた一般舗装の実路施工

大林道路 (株) 正会員 ○小澤 光一  
 大林道路 (株) 小沼 史明  
 サイレキ建設工業 (株) 小川 隆也

### 1. はじめに

乳剤散布装置付きアスファルトフィニッシャ (Self Priming Asphalt Finisher, 以下 SPAF) を用いる舗装の施工は、1 台のアスファルトフィニッシャがタックコート用アスファルト乳剤 (以下, As 乳剤) を散布しながらアスファルト混合物 (以下, As 混合物) の敷きならしを同時に行う。したがって、SPAF を用いる施工は、従来より用いられているアスファルトフィニッシャによるものと比較すると、As 乳剤の散布作業と分解養生に要する時間を省略でき、効率的な施工が期待できる。また、SPAF および As 混合物を運搬するダンプトラックは、As 乳剤の散布面を走行しないため、クローラやタイヤに As 乳剤を付着させることなく走行できる。その結果、As 乳剤ははく離することなく散布面に残存することで、層界面の接着性を確保するとともに、施工現場周辺の路面を汚さないなどの利点がある。

筆者らは、現在に至るまでに室内実験と試験施工を行って、分解促進型の As 乳剤を用いない一般的な舗装の施工に SPAF を適用して、As 乳剤の散布を As 混合物の敷きならしの直前に行っても、As 乳剤による層間の付着性に問題はなく、ブリストリング現象が発生する可能性は極めて小さいことを明らかにしている。

今回、SPAF を用いた一般舗装を実路施工する機会を得たため、本報ではその概要と結果を述べる。

### 2. SPAF の概要

施工に使用した SPAF を写真-1 に示す。また、SPAF の As 乳剤の散布パターンを図-1 に示す。

### 3. 工事概要

施工場所は交通量が著しく多い一般国道と県道が交わる交差点部であり、工事による交通規制は通行車両の円滑な走行に大きな影響を与える。したがって、施工は交通規制時間の縮減によって交通渋滞の発生による経済損失や道路利用者への負担を軽減することが求められた。このため、本工事では SPAF を導入し施工の合理化を図った。工事概要を表-1 に、断面構造を図-2 に、施工場所の線形を図-3 に示す。



写真-1 SPAF

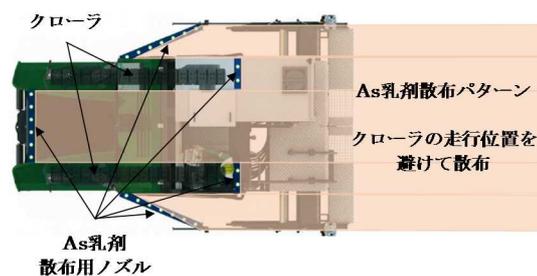


図-1 As 乳剤の散布パターン

表-1 施工概要

項目	内容	
施工場所	埼玉県加須市内	
施工時期	平成30年2月 (夜間)	
規模	切削オーバーレイ工	2,700m <sup>2</sup>
	延長	300m
	幅員	6.6~11.4m



図-2 断面構造

キーワード 乳剤散布装置付きアスファルトフィニッシャ, 接着性, 交通規制時間, 平坦性

連絡先 〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640 大林道路 (株) 技術研究所 TEL 042-495-6800

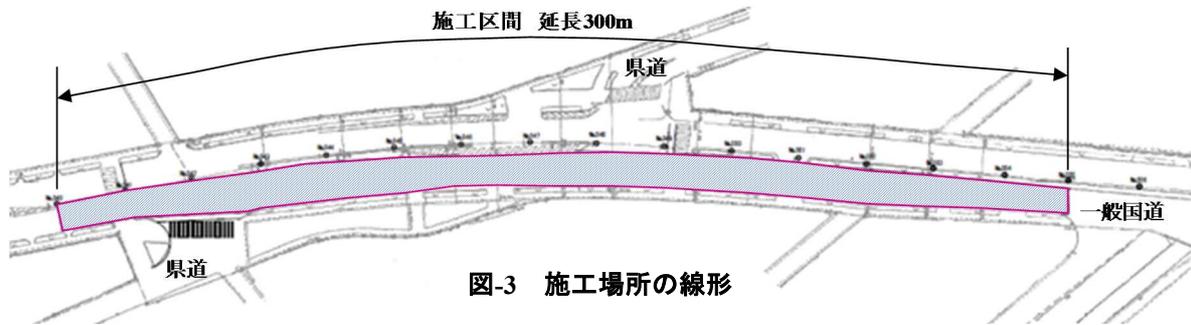


図-3 施工場所の線形

#### 4. 結果

##### 1) 層間の接着性

直接引張試験による層間の接着性を示した図-4 によれば、本工事による表層と中間層の接着性（条件 5）は、同一施工条件の実績値（条件 2）と同程度であり、As 乳剤を前日散布し施工した実績値（条件 1）より大きいことが明らかである。また、本工事による中間層および既設舗装の接着性（条件 6）を確認した結果、供試体は既設舗装で破断した。つまり、層間の接着性は既設舗装内部における骨材間の付着力より大きいことが明らかである。したがって、本工事で SPAF を用い As 混合物層と同時に構築した As 乳剤層の接着性は良好であると判断できる。

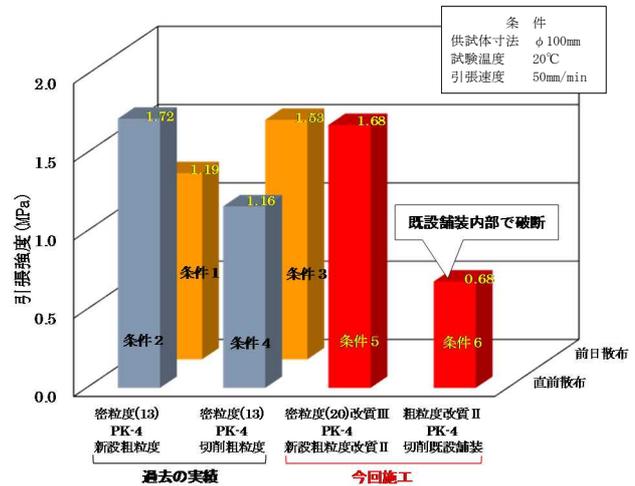


図-4 層間の接着性

表-2 平たん性

車線	走行	追越
平たん性 (標準偏差, mm)	0.80	0.83

##### 2) 交通規制時間

供用中の交差点を舗装する場合、施工は一般的に交通規制を分割して一般車両を通行させながら行うが、本工事では施工時間を短縮できる特長を有する SPAF の使用により分割施工は行わず連続施工した。一般的な方法によって本工事を分割施工する場合、交通規制は 1 箇所の交差点で 1 車線につき 2 分割を要し、90 分程度の施工時間を要すると予想されるが、SPAF の活用により As 乳剤の散布と養生に要する時間を省き連続施工した結果、県道の通行車両を遮断した時間はおよそ 15 分に抑制できた。

##### 3) 平たん性

SPAF の使用により分割施工を回避した結果、交差点部にジョイントを構築することなく施工ができた。その結果、表-2 に示すように施工後の路面の平たん性は極めて良好であった。

#### 5. まとめ

以上の結果により、一般的なアスファルト舗装に SPAF を適用することにより、実路の施工においても層間の接着性を損なうことなく As 乳剤層と As 混合物層の同時施工が可能になり施工の合理化が図れること、供用中の交差点部における舗装工事に適用すれば交通規制時間の短縮と平たん性の向上に寄与できることが明らかになった。

#### 6. おわりに

本報は、SPAF を実路における一般的なアスファルト舗装の施工に適用した結果からその合理性について述べたものである。今後は施工実績をさらに重ね、追跡調査結果を取りまとめ、別途に報告する機会を得たいと考えている。

##### 【参考文献】

- 1) 小澤光一ほか：乳剤散布装置付アスファルトフィニッシャの一般舗装への適用，第 72 回年次学術講演会講演概要集，pp.9-10，土木学会(2017.9)

## フィラーの性状がアスファルトモルタルに与える影響についての一考察

大林道路(株) 技術研究所 ○梅本 叡史  
木谷 貴宏  
鈴木 徹

### 1. はじめに

国内における道路の舗装の95%以上はアスファルト混合物を用いたアスファルト舗装である。アスファルト混合物は骨材とアスファルトとフィラーで構成されており、その配合比率は概ね骨材が90%、アスファルトとフィラーが残りの10%である。配合比率が微量なフィラーの役割としては骨材の空隙を埋める充てん材であり、アスファルト混合物の耐久性を担う要因であることは広く知られている。特にグーラスアスファルト混合物におけるフィラーとアスファルトの配合比率は30%以上であり、混合物の性状を決定づける重要な要因である。フィラーとアスファルトの関係を示す研究として、フィラー入りアスファルトのコンシステンシーについて報告されている<sup>1)</sup>。しかしながら、フィラーとアスファルトに関する報告例は少ないのが現状である。そこで、本研究はアスファルトとフィラーの基礎的な関係性について報告する。フィラーの性状を測定し、その性状がアスファルトモルタルに与える影響について粘弾性測定を用いて評価と検討を行った。

### 2. サンプル

表一1 フィラーデータ

試験サンプルとして製造企業及び産地の異なる4つのフィラーを用いた。表一1に各フィラーサンプルのデータを示す。次に、フィラーと混合しアスファルトモルタルを作製するためのアスファルトとして、II型相当の改質アスファルトを用いて試験を行った。アスファルトモルタルはフィラー/アスファルト(以下:F/A)が異なる4つの系を作製した。作製したモルタルのF/Aの値はそれぞれ3.0、3.2、3.5、3.8である。

サンプル	主成分	性状	ふるい通過質量百分率 (75 $\mu$ m)
フィラー1	CaCO <sub>3</sub>	見掛け密度 2.70 g/cm <sup>3</sup>	86.7%
フィラー2	CaCO <sub>3</sub>	見掛け密度 2.70 g/cm <sup>3</sup>	93.0%
フィラー3	CaCO <sub>3</sub>	比重 2.72	79.7%
フィラー4	CaCO <sub>3</sub>	見掛け密度 2.71 g/cm <sup>3</sup>	81.8%

### 3. 試験方法

本実験ではフィラーの性状試験として、粒径分布測定とフロー性試験を行った。粒径分布測定はレーザ回折式粒径分布測定機を用いて試験を行った。粒度分布測定は水にフィラーを微量に分散させた測定サンプルを作製し、測定サンプルにレーザ光を照射させた時の回折散乱光の強度分布のパターンを測定することにより測定サンプル中のフィラーの粒子径を算出するものである<sup>2)</sup>。また、フィラー

表一2 DSR 試験条件

試験装置	T.A instruments 社製 ARES
測定モード	temperature lamp test
プレート	パラレルプレート(25mm)
測定温度	10~160°C
昇温速度	1°C/min
周波数	1 rad/s
歪み	1%
GAP	1.0 mm

のフロー性試験は試験法便覧 A016 に準拠して試験を行った。

アスファルトモルタルの標準的な性状試験は試験法便覧に記載されていない。そのため、本実験ではアスファルトの粘弾性性状を測定する試験機である DSR 試験機を用いて評価を行った。粘弾性性状を測定することで、アスファルトに対する影響がフィラーごとに評価できると考えたからである。試験条件は表-2 に示した条件により試験を行った。

## 4. 試験結果

### 4.1. フィラーの性状試験

まず、各フィラーのふるい通過質量百分率の値を図-1 に示す。最もふるい目の開きが小さい  $75\mu\text{m}$  であっても全てのフィラーの通過質量百分率は約 80% であり、それ以上に微細なフィラーの大部分については評価できない。次に粒度分布測定の結果を図-2 に示す。積算相対粒子量とは横軸における粒子径を持つ粒子が体積全体に占める割合を表したものである。この測定において先のグラフで確認できない  $75\mu\text{m}$  以下の粒径の違いが判別できる。粒子径が  $50\mu\text{m}$  以下の割合はフィラー2、フィラー4、フィラー3、フィラー1 の順で多くなりフィラーごとの違いが確認された。

図-3 にフィラーの  $75\mu\text{m}$  ふるいの通過質量百分率と積算相対粒子量の関係を示す。このグラフより  $75\mu\text{m}$  の積算相対粒子量と  $75\mu\text{m}$  ふるいの通過質量百分率は良い一致を示すことが確認できる。よって、粒度分布測定を用いることでふるいでは判別できないフィラーの  $75\mu\text{m}$  以下の微細な粒径について評価することが可能であると考えられる。

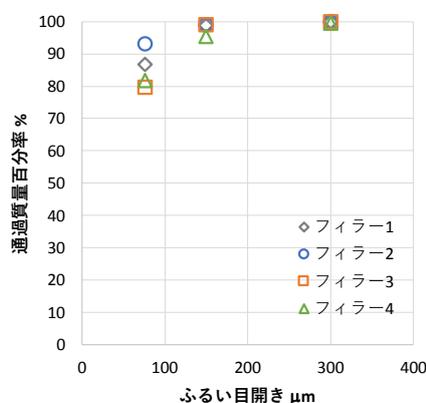


図-1 フィラーの  
通過質量百分率

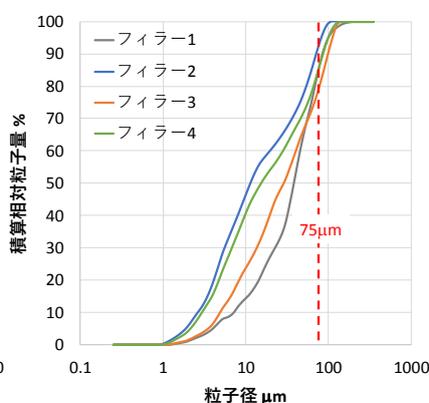


図-2 粒度分布測定結果

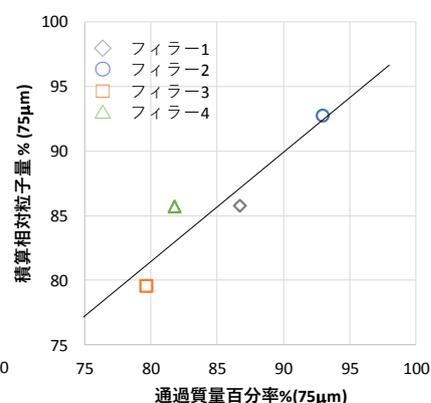
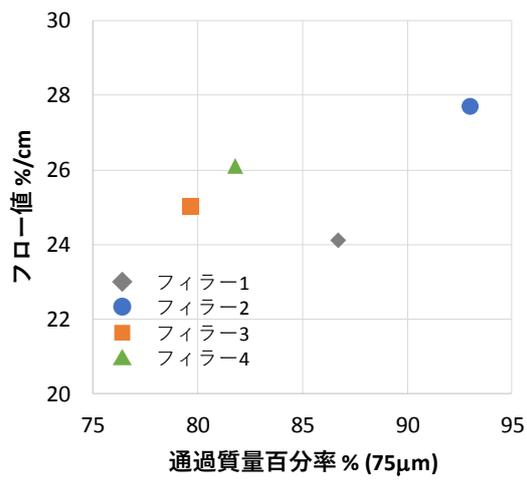
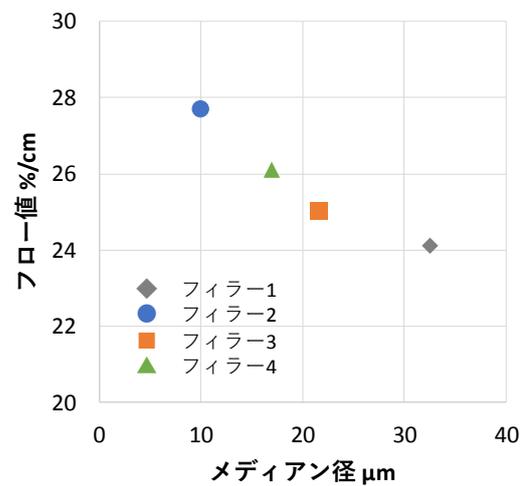


図-3 粒度分布測定と  
通過質量百分率の関係

実験により算出したフロー値と  $75\mu\text{m}$  ふるいの通過質量百分率の関係を図-4 に示し、メディアン径との関係を図-5 に示す。なお、メディアン径とは先の粒度分布測定で算出した積算相対粒子量が 50% になる粒径のことである。図-4 のグラフより、フロー値と通過質量百分率は相関しない結果を示した。一方、図-5 のフィラーのメディアン径とフロー値は直線的に相関することが確認でき、メディアン径が小さくなると共にフロー値が大きくなる結果を示した。つまり、フィラーのメディアン径つまり粒径がフィラーの性状を決定づける要因の一つだと考えられ、以下の実験においてフィラーのメディアン径とアスファルトモルタルの関係について評価を行った。



図—4 フロー値と通過質量百分率の関係

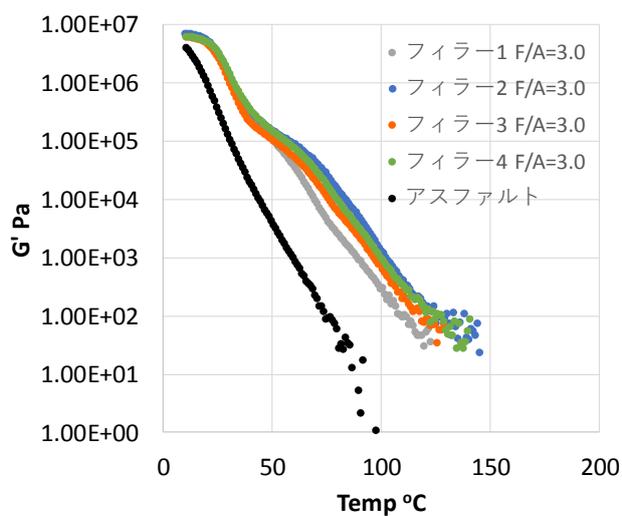


図—5 フロー値とメディアン径の関係

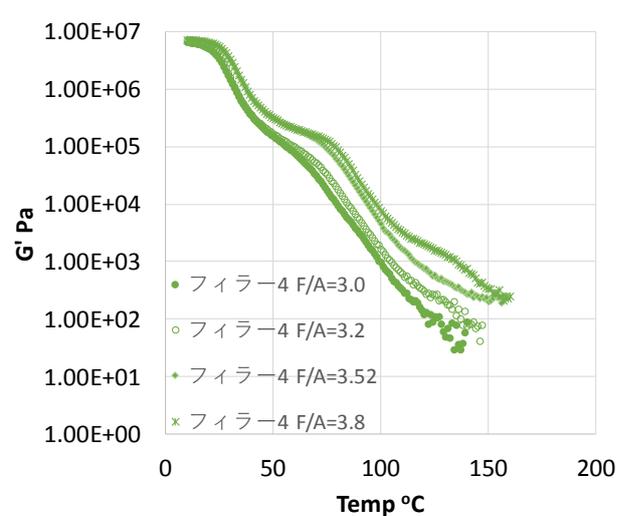
#### 4.2 アスファルトモルタルの試験結果

フィラー性状がアスファルトに与える影響を、DSR 試験より得られた各アスファルトモルタルの貯蔵弾性率  $G'$  の値を用いて評価した。結果の代表例としてアスファルト単体と  $F/A \div 3$  の各フィラーにおける  $G'$  を図—6 に示す。また、フィラー4 の  $G'$  について  $F/A$  が異なる 4 つの系の結果を図—7 に示す。

まず図—6 の結果より、アスファルトにフィラーを添加することで  $G'$  が増加し、またフィラーの違いにより  $50^{\circ}\text{C}$  以上において変化するのが確認できた。フィラー1 が最も  $G'$  が小さくなり、フィラー2 が最も高い結果を示した。つまり、フィラーの性状が異なるとアスファルトに与える影響も同様に変化することが示唆された。また、図—7 の結果よりフィラーの  $F/A$  が増加すると共に  $G'$  も増加する結果を示した。特に  $100^{\circ}\text{C}$  以上では  $F/A$  の影響が顕著に表れているのが確認できたことから、アスファルトの流動温度に近くなるとフィラー量の影響が確認できやすくなったと推察される。



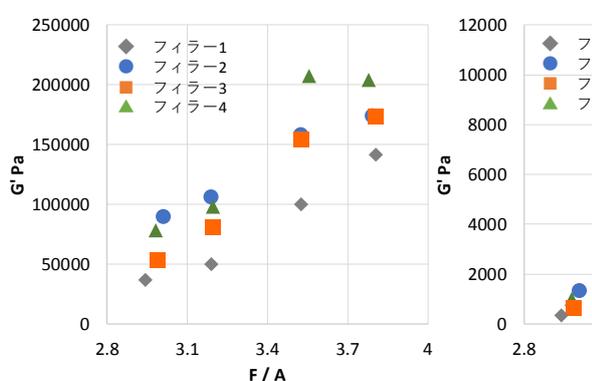
図—6 フィラーが異なる系の  $G'$  ( $F/A=3.0$ )



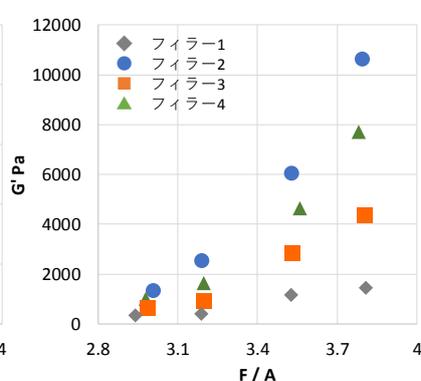
図—7  $F/A$  が異なる系の  $G'$  (フィラー4)

次に 60°C と 100°C における  $G'$  の結果について各 F/A ごとにプロットした結果を図—8 と 9 に示す。どちらの温度においても F/A の増加とともに  $G'$  の値は増加したが、その増加割合はフィラーごとに異なる傾向を有することを示した。しかし、60°C では各フィラーの  $G'$  の増加割合に一定の傾向が確認できなかったが、100°C においては各フィラーによる違いが顕著に確認できた。また 100°C において、F/A が小さい系ではフィラーの違いによる  $G'$  の変化は微小であるが、F/A が大きくなると共にフィラーの影響が増大することが確認できた。

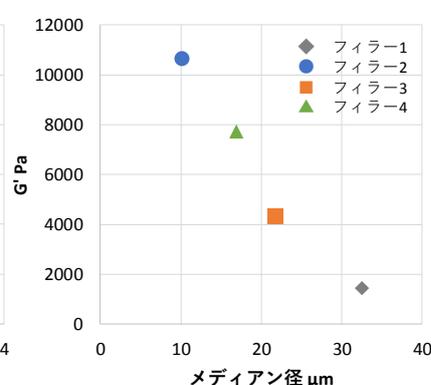
最後に F/A=3.8、100°C における  $G'$  とメディアン径の関係について図—10 に示す。この結果から  $G'$  はメディアン径と相関し、メディアン径が増大すると  $G'$  が低下する直線的な関係が存在することが示唆された。数値的關係を比較すると、メディアン径が約 20 $\mu\text{m}$  小さくなることにより  $G'$  が 10000Pa 高くなる結果を示している。以上より、 $G'$  はアスファルトが流動する 100°C ではフィラーに大きく依存することが考えられ、60°C ではアスファルトと含まれる改質材の影響を無視できなかった可能性が考えられる。



図—8 F/A と  $G'$  の関係  
(60°C)



図—9 F/A と  $G'$  の関係  
(100°C)



図—10 メディアン径と  $G'$  の関係  
(F/A=3.8, 100°C)

## 5. おわりに

本実験では、フィラーの性状試験とそのフィラーを用いたアスファルトモルタルについて評価を行った。粒径分布測定ではフィラーごとにメディアン径は大きく異なることを示し、さらにメディアン径はフロー値と相関し径が大きいものほどフロー値が低下することを示した。また、アスファルトモルタルの粘弾性を測定することによりフィラーの性状による変化が確認できた。100°C における  $G'$  はフィラーと相関する結果を示し、フィラー量だけでなく粒径もアスファルトに大きく影響を与えることが示唆された。よって、フィラーの性状の操作がグースアスファルトの性能向上の一助になることを期待するものである。

## 6. 参考文献

- 1) 安部頼政：フィラー入りアスファルトの特性，アスファルト第 98 号 pp.34-43(1974)
- 2) レーザ回折・散乱法における粒度分布測定：島津製作所，  
<https://www.an.shimadzu.co.jp/powder/lecture/middle/m01.htm>(参照 2018.2.23)

## 年間を通じた熱環境改善型舗装における路面温度評価

大林道路（株）技術研究所 ○小嶋 匠

掛札 さくら

### 1. はじめに

熱環境への負荷の内、道路舗装による熱収支の変化は、舗装面の占める割合が大きい大都市において顕著になる。そこで、首都圏や近畿圏などの大都市では、後述する熱環境改善型舗装の一種となる保水性舗装や遮熱性舗装など、熱環境に配慮した舗装の導入を進めており、機能や効果など多くのデータが収集されつつある<sup>1)</sup>。

しかし、これらの舗装は、路面温度低減効果が要求されるものであることから、夏季の温度データで評価されることが多く、その他の期間の効果を検証した事例は少ない。また、道路利用者からは、路面温度が下がることによる冬季の路面凍結を懸念する声もある。

そこで、本稿では年間を通じた熱環境改善型舗装の路面温度の測定結果について報告する。

### 2. 測定の概要

#### 2.1 測定場所

熱環境改善型舗装の路面温度の測定は、当社の名古屋営業所構の各種舗装技術を紹介するスペースに設置した熱環境改善型舗装と透水性舗装で実施した。なお、各舗装には非接触温度計を設置しており、各路面の温度データを取得している。また、温度データは現地および営業所内において表示できるほか、専用の端末によるグラフ表示なども可能であり、年間を通じてデータを蓄積している。

本検討ではこれらのデータを用いて評価を行った。対象とした期間は、2016年4月から2018年1月末である。

#### 2.2 対象とした舗装と路面温度評価について

対象とした舗装は、いずれも母体がポーラスアスコンの保水性舗装（写真-1）および遮熱性舗装（写真-2）である。また、比較舗装は同じ敷地に設置した透水性舗装とした。保水性舗装については、路面が一定の温度以上になると自動的に散水を行う装置が設置されている。

路面温度の測定結果は、透水性舗装と保水性舗装または遮熱性舗装との温度差で評価した。透水性舗装の路面温度が最大になったときの各舗装との温度差を温度差①、透水性舗装の路面温度が最小のときの温度差を温度差②とした。



写真-1 保水性舗装



写真-2 遮熱性舗装

### 3. 保水性舗装

#### 3.1 夏季における路面温度の評価

夏季（6月～8月）、透水性舗装の路面温度が最大になったときの保水性舗装と温度差の平均値を表-1に示す。また、夏季の1日毎の温度差①を図-1に示す。

その結果、温度差①は16℃程度あることがわかる。

表-1 夏季の温度差①

	2016年	2017年
透水性舗装	53℃	53℃
保水性舗装	37℃	36℃
温度差	16℃	17℃

表-2 冬季の温度差①

	2016年	2017年
透水性舗装	18℃	15℃
保水性舗装	8℃	7℃
温度差	10℃	8℃

表-3 冬季の温度差②

	2016年	2017年
透水性舗装	-3℃	0℃
保水性舗装	1℃	4℃
温度差	-4℃	-4℃

#### 3.2 冬季における路面温度の評価

冬季（12月～2月）の温度差①を表-2に示す。また、1日毎の温度差①を図-2に示す。

冬季においても温度差①は9℃程度ある。

熱環境改善型舗装における温度差は、比較舗装の路面温度が最も高い時の温度差①である。冬季に保水性舗装が、透水性舗装より冷えやすいかどうかを検証する場合、透水性舗装が最低となる路面温度での、保水性舗装の温度を示す必要がある。そこで、透水性舗装が最低となる時の温度差②を調べた。

結果を表-3、図-3に示す。夏季においても、天候などにより最低の温度差は0℃前後になることもあるが、冬季では温度差②はすべてマイナスになっており、路面温度が低い時には、保水性舗装より透水性舗装が温度は低い傾向にあり、保水性舗装は透水性舗装と比べて、必ずしも路面が冷えて、凍結しやすいとはいえないことが確認できた。

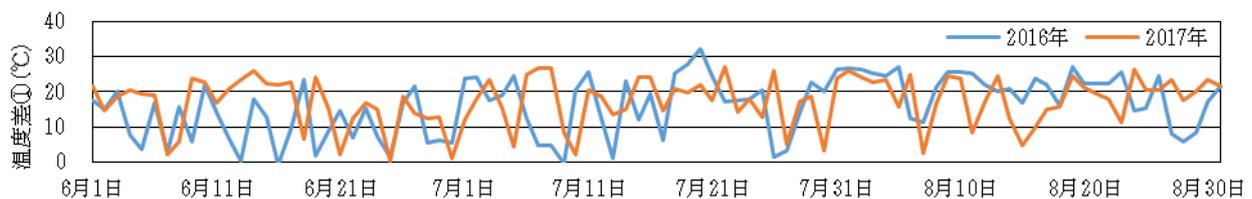


図-1 夏季の温度差①

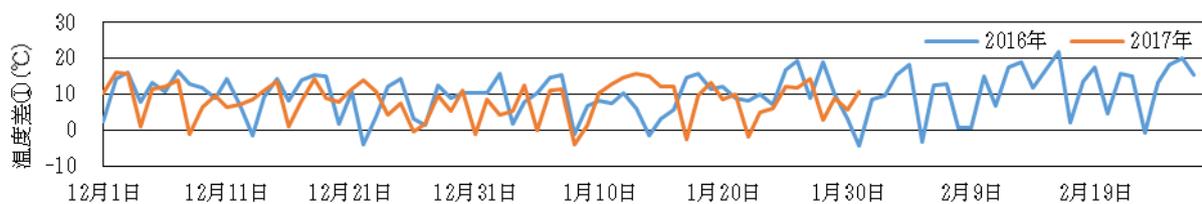


図-2 冬季の温度差①

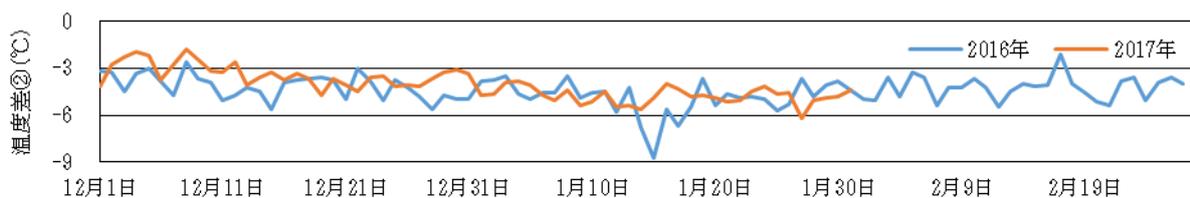


図-3 冬季の温度差②

#### 3.3 年間を通じた路面温度の評価

年間の温度差を表-4に示す。

その結果、年間を通じて保水性舗装の温度差①は12℃程度あることがわかる。

表-4 年間の温度差①

	温度差① (°C)												
	春			夏			秋			冬			平均
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	
2016年3月～2月	—	10	11	11	17	20	10	12	10	10	9	12	12
2017年3月～2月	11	10	14	16	17	19	12	7	10	8	8	—	12

図-4は2016年4月から2018年1月末の透水性舗装と保水性舗装の路面温度をプロットしたものである。

このグラフより、透水性舗装と保水性舗装の温度には一定の相関がある。また、透水性舗装に比べ保水性舗装の温度が低いことが分かる。ただし、40°C以上の高温域では、透水性舗装の温度上昇に比べ、極端に保水性舗装の上昇が小さい。これは保水の効果だけでなく、散水の効果もあることが考えられる。

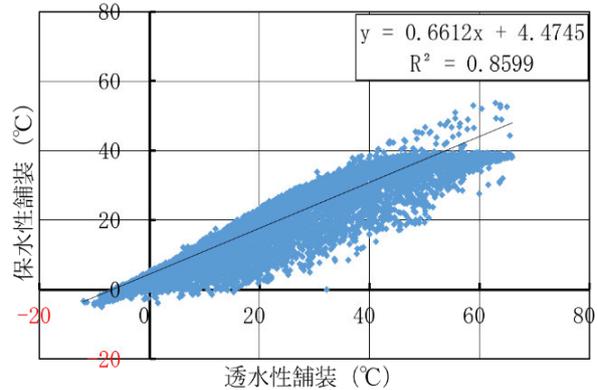


図-4 透水性舗装と保水性舗装の関係

#### 4. 遮熱性舗装

##### 4.1 夏季における路面温度の評価

夏季(6月～8月)の遮熱性舗装における温度差①の平均値を表-6に示す。また、1日毎の夏季の温度差①を図-5に示す。

その結果、温度差①は10°C程度あることがわかる。

##### 4.2 冬季における路面温度の評価

冬季(12月～2月)までの保水性舗装における温度差①の平均値を表-7に示す。また、冬季の1日毎の温度差①を図-6に示す。

その結果、温度差①は4°C程度と小さいものがあることがわかる。

保水性舗装と同様に、透水性舗装が最低温度の時の遮熱性舗装の温度差②を表-8、図-7に示す。

その結果、遮熱性舗装も保水性舗装と同様に、低温時には、遮熱性舗装より透水性舗装の温度が低い傾向にあることが確認できる。

表-6 夏季の温度差①

	2016年	2017年
透水性舗装	53°C	53°C
遮熱性舗装	43°C	41°C
温度差	10°C	12°C

表-7 冬季の温度差①

	2016年	2017年
透水性舗装	18°C	15°C
遮熱性舗装	13°C	12°C
温度差	5°C	3°C

表-8 冬季の温度差②

	2016年	2017年
透水性舗装	-3°C	0°C
遮熱性舗装	1°C	4°C
温度差	-4°C	-4°C

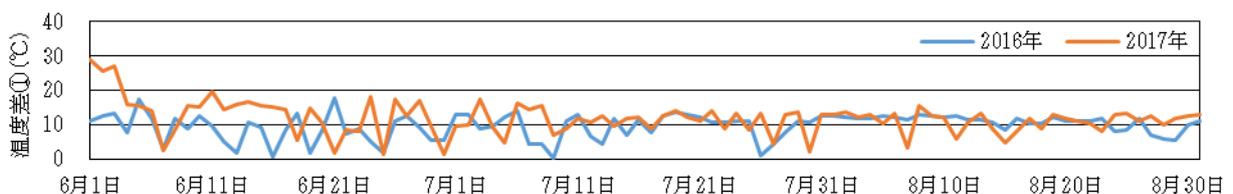


図-5 夏季の温度差①

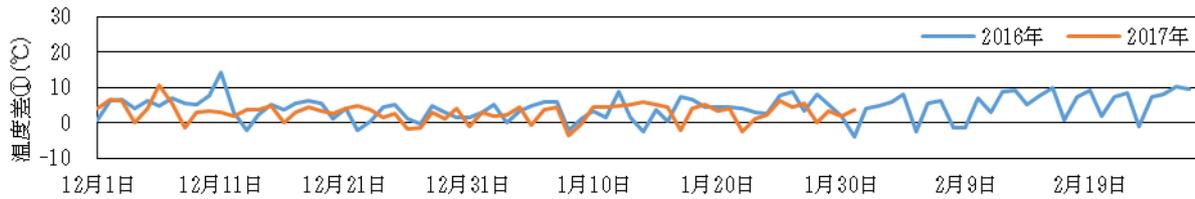


図-6 冬季の温度差①

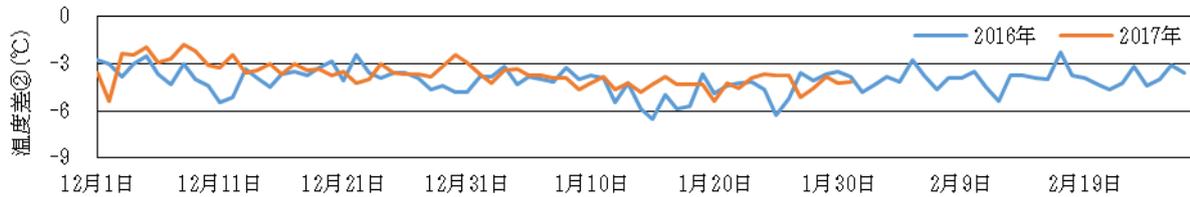


図-7 冬季の温度差②

### 4.3 年間を通じた路面温度の評価

年間を通じた温度差を表-9に示す。

その結果、年間を通じて遮熱性舗装の温度差①は7°C程度あることがわかる。

表-9 年間の温度差①

	温度差① (°C)												平均
	春			夏			秋			冬			
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	
2016年3月～2月	—	10	11	9	10	11	7	6	5	4	4	6	7
2017年3月～2月	8	9	11	14	11	11	9	4	4	3	3	—	8

図-8は透水性舗装と遮熱性舗装の路面温度をプロットしたものである。

このグラフより、透水性舗装と遮熱性舗装の温度には高い相関がある。また、透水性舗装に比べ保水性舗装の温度が低いことがわかる。

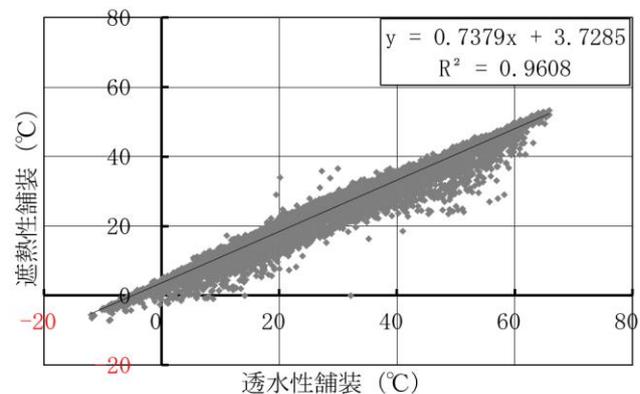


図-8 透水性舗装と遮熱性舗装の関係

### 5. まとめ

年間の熱環境改善型舗装を評価することで以下の知見が得られた。

- ・年間を通して温度差①は、保水性舗装は平均12°C、遮熱性舗装は平均7°Cある。
- ・冬季など気温が下がるときには、熱環境改善型舗装より透水性舗装の温度が低くなることから、必ずしも路面が冷えて、凍結しやすいとはいえないこととは言えない。

### 6. おわりに

今後も継続してデータを検証していくことで、長期的な効果なども評価していきたい。

- 1) 土木学会舗装工学委員会舗装環境小委員会：舗装工学ライブラリー4 環境負荷軽減舗装の評価技術，p85，2007.2

# 国土交通省発注 「道路休憩施設舗装他工事」における ICT 舗装工への取り組み

大林道路株式会社 本店 工事企画部長 堀内 貞夫  
ほりうち さだお  
くしだ たくや  
 (現場代理人) 関東支店 串田 拓也

## 1. はじめに

2016年「生産性革命元年」から2年が経過し、i-Constructionの推進の施策のひとつ「ICTの全面的な活用」としてのICT土工は、初年度より多くの現場で活用され、生産性の向上はもとより安全性の向上も含め大きな成果を上げ、さらなる拡大が進められている。そのような中、ICT技術のひとつであるICT舗装工の初弾工事が関東地方整備局首都国道事務所から発注された。

本工事は、ICT舗装工の施工者希望型Ⅱ型に位置付けられ、建設生産プロセスの3次元起工測量から3次元設計データの作成、ICT建設機械による施工、3次元出来形管理、3次元データの納品までICT技術の全面的活用を希望するものであり、事業フェーズは第1段階のマシンコントロール(以下、「MC」という)を導入した路盤工での取り組みであった。

当社としては会社全体で進めている働き方改革の一環として、現在保有しているICT技術の現場への普及および生産性の向上の検証を目的として、事業フェーズ第1段階から第2段階(アスファルト舗装、品質管理)も捉

え、本現場で導入・試行した。

本稿では、ICT技術の活用および、現時点におけるICT舗装工の課題等を紹介する。

## 2. 工事概要

- (1) 工事名：道路休憩施設舗装他工事
- (2) 発注者：国土交通省 関東地方整備局  
首都国道事務所
- (3) 工期：H29.9.5～H30.3.30
- (4) 内容：  
道の駅「いちかわ」の駐車場新設他路床盛土：8,000 m<sup>3</sup>  
アスファルト舗装工(小型駐車場)：2,035 m<sup>2</sup>  
半たわみ性舗装工(大型駐車場)：7,695 m<sup>2</sup>  
その他工事：1式

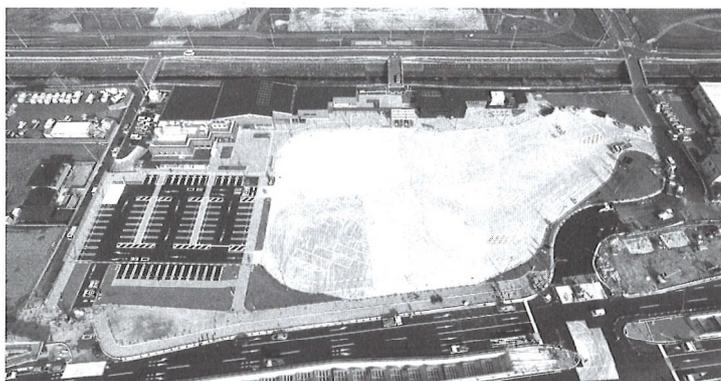


図-1 本現場の完成写真(UAV撮影)

### 3. ICT 活用工事

本現場は、路床盛土工からアスファルト舗装工までICT技術を活用するため、路床盛土工はICT土工、路盤工からアスファルト舗装工は、ICT舗装工として施工した。

本現場で取り組んだ内容を以下に述べる。

#### (1) ICT 土工

##### ① 3次元起工測量

ICT土工の起工測量は、無人航空機（以下、「UAV」という）を用いた空中写真測量が一般的であるが、今回地上型レーザースキャナー（以下、「TLS」という）の性能、精度、計測時間の検証のため、双方による測定を実施した。今回使用したUAVの外観を写真-1に示す。



写真-1 UAV (ZION QC730)

UAVでの起工測量は、約2,430万画素のデジタルカメラを搭載した機種を使用し、飛行経路については進行方向のラップ率80%以上、隣接コースとのラップ率60%以上を確保するように計画した。UAVの精度確認においては、規格が±50mm以内に対しX成分で11mm、Y成分で15mm、Z成分で5mmの精度であった。図-2は写真のように見えるが、UAVにより撮影した写真を専用ソフトで点群化した画像である。

TLSによる起工測量は、写真-2に示すTOPCON製のGLS-2000を使用した。その精度確認では、点間距離は0.00mm、高さは+6mmであり、UAVと比較して非常に精度が高いことが確認できた。

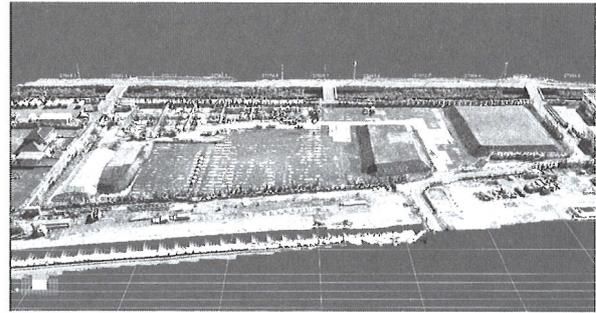


図-2 UAVによる点群画像



写真-2 TLS (TOPCON GLS-2000)

##### ② 3次元設計データの作成

3次元設計データは、設計図書（平面図・縦断面図・横断面図）の情報から専用ソフトを使用して作成した（図-3）。

図-4は、点群データに3次元設計データを照合した図である。図-4のように起工測量で取得した点群データに3次元設計データを照合することにより切土および盛土の土量を算出した。

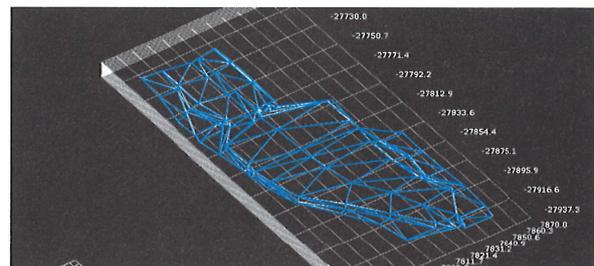


図-3 3次元設計データ

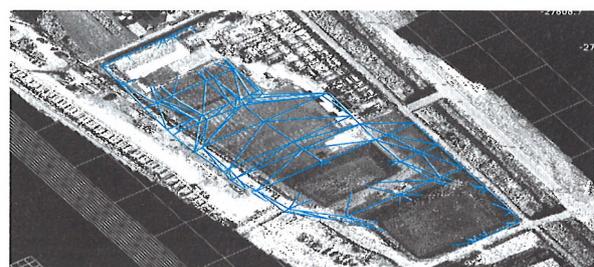


図-4 点群データと3次元設計データの照合

図-5は、切盛土量のヒートマップで赤色が盛土※、青色が切土を表している。

※誌面では、グレーで表示されています。

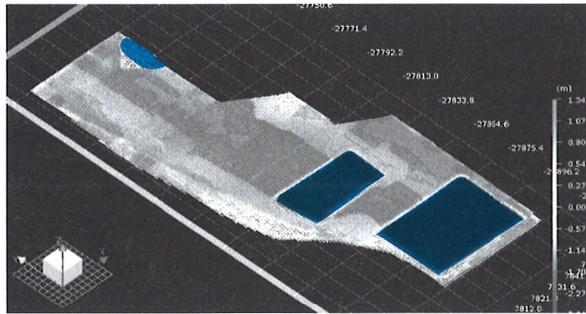


図-5 切盛土量のヒートマップ

従来の起工測量では、人力で中心点の位置を20mおよび変化断面ごとに出し、その中心点の横断形状を測量していた。しかし、本現場のように残土が場内に置かれている場合などは、特に測定点数が多くなり、人手と日数が必要となるため、従来の方法では現場での測量日数が4～5日程度必要であるが、本現場におけるUAVおよびTLSによる測量ではそれぞれ1日で終了した。

土工事数量の算出は、3次元設計データの作成に多大な労力と時間が必要であり、またUAVおよびTLSで取得した起工測量の点群処理には、専門の解析ソフトと技術・知識が必要である。しかし、設計データの作成および点群処理の作業が完了すれば、数量の算出は解析ソフトで行うため、従来のように手計算する必要がなく、またその都度必要な区間を容易かつ正確に算出できることから、生産性および精度の向上が可能となる。

また、UAVおよびTLSの測定結果からそれぞれ土量を算出したところ、その差は切土および盛土とも0.4%程度と小さな値であり、土量の算出にはどちらの機器を使用しても問題ないものと考えられる。ただし、測定時間については、UAVの方が圧倒的に早いことから、大規模になるほど効率的・経済的である。

### ③ ICT建設機械による施工

ICT土工は、MCを使用したブルドーザ（以下、「MCブルドーザ」という）で施工した。MCブルドーザによる施工状況を写真-3に示す。

この施工方法は、作成した3次元設計データをブルドーザ本体に接続されたPC内蔵コントロールボックスに読み込ませ、ブルドーザの排土板に設置された全方位プリズムを自動追尾型トータルステーション（以下、「TS」という）で測定して機械の位置を確定し、この位置情報と3次元設計データを基にブルドーザの排土板の高さを制御しながら施工する方法である。路床盛土の1層の仕上がり厚さは20cm以下と規定されているため、従来は層厚管理用の丁張を多く設置していた。しかし、MCブルドーザによる施工は、各層の高さを自動制御するため、施工精度を確認するための丁張以外は必要とせず、所定の高さに施工できることから、生産性・安全性の向上とともに、品質管理の向上にも寄与する工法である。



写真-3 MCブルドーザによる路床盛土施工状況

### ④ 路床盛土工の出来形管理

路床盛土が完了した段階で出来形測定を行った。写真-4にTLSを用いた路床盛土工の出来形測定状況を示す。土工事と舗装工事が分離発注されている場合などは、この段階がICT舗装工の起工測量となる。



写真-4 TLSによる路床盛土工の出来形測定状況

路床盛土工の出来形測定は、起工測量と同様に UAV と TLS で計測し、両者の精度検証等を行った。

個々の測定値の最大値および最小値は、TLS での測定結果の方が UAV の結果に比べて測定誤差が小さいことが確認できたため、舗装工事における出来形測定には TLS での測定が適当であると考えられる。TLS による出来形測定には、事前に各メーカーの性能比較を行い、最適な機種を選定した (RIEGL 製 VZ-400i を使用)。なお、測定の際には起工測量と同様に測定精度 (± 20 mm) を確認してから実施した。

出来形の合否は、図-6 に示す出来形合否判定総括表により、各項目が規格値を満足しているか確認した。測定結果は、測定値のほかに施工面全体がヒートマップ (規格値に対する差の割合) で色別に表示され、またばらつきも数値化されるため、施工精度やばらつきがこの出来形合否判定総括表 1 枚で確認できる。

本現場の路床盛土工の出来形は、高さについては施工面全面で平均 - 3.2 mm の精度で仕上がっており、ばらつきについては、規格値の ± 80% 以内が 100%、規格値の ± 50% 以内が 99.4% の精度であった。

(2) ICT 舗装工

① ICT 建設機械による路盤工の施工

1) 敷きならし

路盤工の敷きならし作業には、MC モーターグレーダ (以下、「MCMG」という) および MC ブルドーザを使用した。MCMG による敷きならし状況を写真-5 に示す。



写真-5 MCMG による敷きならし状況

従来は、10 m 間隔に丁張を設置し、検測作業員により数回検測しながら仕上げていく方法であった。そのため、時間と労力がかかる上に、建設機械と作業員との接触災害の危険性を伴っていた。しかし、今回実施した ICT 建設機械による施工では、丁張の設置および検測作業員の配置が不要であることから、生産性が向上し、安全性も飛躍的に向上した。

出来形合否判定総括表												
工種	道路土工		測点	No. 3+4. 53~No. 8								
種別	路床盛土工		合否判定結果	異常値無								
天端 標高較差	平均値	-3.2mm	±50mm									
	最大値(差)	116mm	±150mm									
	最小値(差)	-89mm	±150mm									
	データ数	5,545	1点/2以上 (5,377点以上)									
	詳細面積	5,376.8m <sup>2</sup>										
	棄却点数	0	3点未満 (15点以下)									
	判定											
天端 ばらつき	平均値			<table border="1"> <tr> <td>規格値の± 80% 以内のデータ数</td> <td>5,545 (100.0%)</td> <td>規格値の± 80% 以内のデータ数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>規格値の± 50% 以内のデータ数</td> <td>5,513 (99.4%)</td> <td>規格値の± 50% 以内のデータ数</td> <td></td> </tr> </table>	規格値の± 80% 以内のデータ数	5,545 (100.0%)	規格値の± 80% 以内のデータ数		規格値の± 50% 以内のデータ数	5,513 (99.4%)	規格値の± 50% 以内のデータ数	
	規格値の± 80% 以内のデータ数	5,545 (100.0%)	規格値の± 80% 以内のデータ数									
	規格値の± 50% 以内のデータ数	5,513 (99.4%)	規格値の± 50% 以内のデータ数									
	最大値(差)											
	最小値(差)											
	データ数											
	詳細面積											
棄却点数												
判定												

図-6 路床盛土工の出来形合否判定総括表

2) 転 圧

路盤工の転圧作業は、8tタイヤローラおよびICTローラとして $\alpha$ システムを搭載した7t振動ローラを使用した。 $\alpha$ システムを搭載した7t振動ローラによる転圧状況を写真-6に、車載モニタを写真-7に示す。



写真-6  $\alpha$ システムによる転圧状況

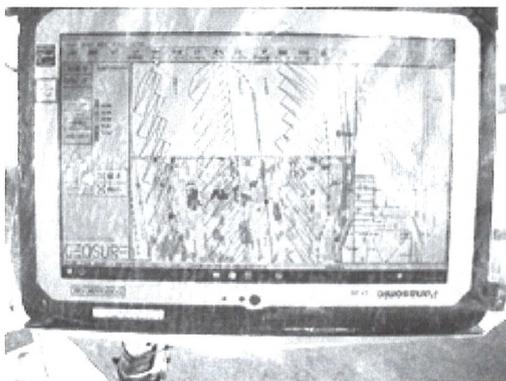


写真-7 車載モニタ

$\alpha$ システムとは、振動ローラに加速度センサを取り付け、その加速度センサから得られる波形が転圧の進行に伴い剛性が変化し乱れる性質を利用し、転圧中の振動ローラに生じる加速度応答を検知して、地盤の剛性を判定するシステムである。本現場での $\alpha$ システムによる転圧管理は、下層路盤工 (RC-40,  $t = 15\text{ cm}$ ) および上層路盤工 (RM-40,  $t = 15\text{ cm}$ ) を対象として実施し、また、 $\alpha$ システムとGPSによる転圧管理システムを併用することにより、施工位置・転圧回数等の情報および $\alpha$ システムにより得られる地盤変形係数をリアルタイムに記録した。なお、路床については、深さ40cmの部分に石灰系安定材 ( $30\text{ kg/m}^3$ ) で全面改良を行っており、 $\alpha$ システムによる転圧管理は行っていない。

本現場では、 $\alpha$ システムを利用することで路盤工の品質管理項目 (現場密度試験、プルーフローリング) が省略可能か検証した。

上層路盤工で測定した、 $\alpha$ システムによる地盤変形係数分布図を図-7に、地盤変形係数と現場密度試験による締固め度の一覧を表-1に示す。

下層路盤工および上層路盤工の、地盤変形係数と締固め度の関係は、地盤変形係数が小さいエリアは締固め度が小さく、地盤変形係数が大きいエリアは締固め度が大きくなる傾向が見ら

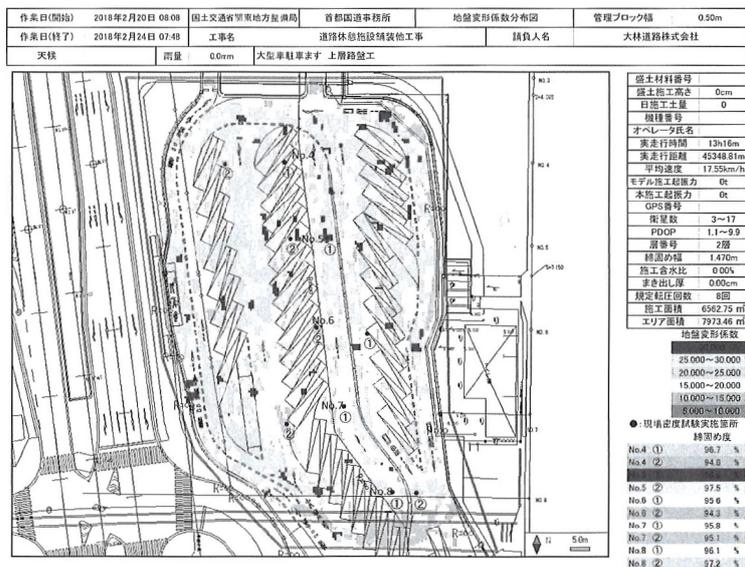


図-7 上層路盤工の地盤変形係数分布図

表-1 上層路盤工の地盤変形係数と締固め度(平均)

地盤変形係数 (MPa)	現場密度試験 締固め度 (%)
10.0 ~ 15.0	94.6
15.0 ~ 20.0	95.8
20.0 ~ 25.0	96.9
25.0 ~ 30.0	97.5
30.0 以上	98.6

れる結果となった。この結果より、地盤変形係数の小さいエリアでの締固め度が規格値を満たし、ブルーローリングが合格であれば、その地盤変形係数より大きいエリアでの品質試験が省略できる可能性が認められた。

② TLSによる路盤工の出来形測定

路盤工が完成後、路床と同様に TLS による出来形測定を行った。上層路盤工での出来形合否判定総括表を図-8に示す。図-8に示すように、施工面全面がほぼ緑色\*であり、規格値を満足していることが分かる。

\*誌面では、グレーで表示されています。

③ ICT 建設機械によるアスファルト舗装工

本現場では、表層工以外のアスファルト舗装工については、MC アスファルトフィニッシャ（以下、「MCAs/F」という）を使用し、表層工については、当社の保有する平坦性向上システム「マルチソニック」を使用して施工した。

MCAs/F は、MC ブルドーザ、MC モーターグレーダと同様の原理で、アスファルトフィニッシャのスクリードの高さを自動制御する方法であ

り、従来の施工方法に比べ生産性向上という面ではほぼ同等であるものの、オペレータへの技術的なサポートを行うことで、出来形精度の向上に寄与するものである。表層工においては厚さ、平坦性を優先しマルチソニック装置（平坦性向上システム）を使用して施工を行った。MCAs/F による施工状況を写真-8に示す。



写真-8 MCAs/F による施工状況

④ TLSによるアスファルト舗装工の出来形測定

アスファルト舗装工の出来形測定は、各層が完了した時点で TLS により実施した。TLS による出来形測定状況を写真-9に示す。

TLS による点群取得は、測定対象物にレーザー光線を照射してレーザーが反射し戻ってくるまでの時間を測定し距離に換算する方式である。そのため、アスファルト舗装のような仕上がり面が黒色の場合、反射強度が弱く測定距離が短くなることが分かっている。今回使用した TLS は、60 m 程度の距離で十分に規格値を満足する点群を取得で

出来形合否判定総括表						
工種		舗装工		測点	No. 3+4. 53~No. 8	
種別		半たわみ性舗装工（上層路盤工（精度調整路盤工））		合否判定結果	異常値無	
厚さ 小規模以下	測定項目	規格値	判定			
	平均値	17.1mm	-10mm			
	最大値(差)	73mm	-63mm			
	最小値(差)	-63mm	-63mm			
	データ数	5,389	1点/2以上 (5,382点以上)			
	評価面積	5,381.2m <sup>2</sup>				
実印点数	14	0.3%未満 (16点以下)				
平均値						
最大値(差)						
最小値(差)						
データ数						
評価面積						
実印点数						
		小規模以下の ばらつき	規格値の±80% 以内のデータ数 5,363 (99.5%)	規格値の±50% 以内のデータ数 5,335 (99.0%)	規格値の±80% 以内のデータ数	規格値の±50% 以内のデータ数

図-8 上層路盤工の出来形合否判定表総括表

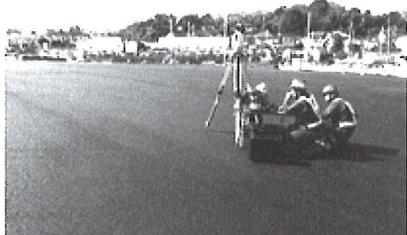


写真-9 TLSによるアスファルト舗装の出来形測定

きることが検証された。本現場では、道路とは異なる駐車場という形状であることから、取得距離を短くしても TLS の据え付け回数がそれほど増加しないため TLS を据え付ける間隔を 40 m まで短くすることとした。ただし、今回のような駐車場ではなく長距離の道路舗装で実施する場合は、点群取得可能距離が測定にかかる日数と労力に影響するため注意が必要である。

図-9 は、表層工における出来形合否判定総括表である。この表から、全ての測定面が規格値を満足していることが分かる。

#### 4. まとめ

本工事において、ICT 技術の全面的な活用を支援したことにより、ICT 土工の効率的な測量・施工・管理を実感し、ICT 舗装工の課題を抽出

した。

3次元による出来形測定は、取得された点群により、今まで測定されなかった測点間の出来形も面的に管理され、出来形の精度は大きく向上した。また、測定にかかる時間も、従来の方法と比較して確実に短縮された。しかし、現時点では、現在の地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）および（舗装工事編）（案）に準拠して実施した場合、点群取得には、高価な TLS を使用し、測定には専門知識と技術・経験が必要である。さらに、測定データの解析についても、専用ソフトと、取得した点群の容量が大きいことから、解析するための高性能 PC が必要となり、専門的な知識と技術・経験が必要となる。そのようなことから、ICT 舗装工を普及するためには、今後要領の改訂などの検討が必要であると考えられる。

ICT 舗装工は、情報通信技術を適用することにより、高効率・高精度の施工を実現するものである。施工中に連続的な施工管理データを取得することで、トレーサビリティが確保されるとともに高精度の施工や、データ管理の簡略化、書類作成の効率化などの効果が期待できる。

今回の経験と実績を活かし、ICT 舗装工の普及、生産性向上、ならびに働き方改革の推進を目指し、魅力ある建設業界になるよう今後も努力していく所存である。

出来形合否判定総括表			
工種 舗装工		測点	
種別 半たわみ性舗装工（表層工）		合否判定結果 異常値無	
測定項目	規格値	判定	
厚さ 小規模以下	平均値	1.5mm	-3mm
	最大値(差)	22mm	-20mm
	最小値(差)	-20mm	-20mm
	データ数	5,389	1点/㎡以上 (0.382点以上)
	評価面積	5,381.2㎡	
	棄却点数	0	0.3%未満 (16点以下)
平均値			
最大値(差)			
最小値(差)			
データ数			
評価面積			
棄却点数			

小規模以下の ほらつき	規格値の±60% 以内のデータ数 5,389 (100.0%)	規格値の±50% 以内のデータ数 5,348 (99.2%)	規格値の±60% 以内のデータ数	規格値の±50% 以内のデータ数
----------------	------------------------------------------	-----------------------------------------	---------------------	---------------------

図-9 表層工の出来形合否判定総括表

# 技術レポート

舗装用洗浄剤の効果と舗装への影響

## 舗装用洗浄剤の開発と評価

大林道路株式会社

舗装面でしばしば発生する「汚れ」問題に対応するため、2種の舗装用洗浄剤を開発した。開発した洗浄剤の洗浄効果や作業性の確認のため、室内で種々の舗装汚れを再現し、洗浄作業を行った。その結果、開発した洗浄剤は市販品と比較して高い洗浄効果を有することが判明した。さらに、実際に発生した各舗装汚れでも、効果が確認できた。また、開発した洗浄剤は、舗装面や舗装強度に影響をおよぼさないことを確認した。

### 1. はじめに

舗装面には様々な汚れが付着し、それらは景観や路面標示の視認性を低下させてしまう。舗装面は種々のアスファルト舗装やコンクリート舗装など、テクスチャや汚れの付きやすさが多様である。頻繁に見られる舗装の汚れは、タイヤ痕、鉱物油、錆、乳剤汚れなどである。これらの舗装汚れの洗浄作業では、次の点に留意する必要がある。

- (1) より効果的な洗浄のためには、汚れの種類に適した洗浄剤の選定を要する。
- (2) 洗浄作業の際にハイウォッシャー等の機械を必要とする場合がある。
- (3) 汚れの程度によっては、長時間の洗浄作業を要する。

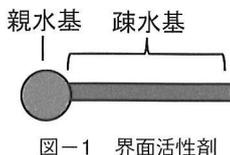
そこで、これらの問題を解決するため、小労力で洗浄可能かつ、様々な舗装の汚れに対応した舗装用洗浄剤「S」および「E」を開発した。本稿では、これらの洗浄効果、舗装の強度に与える影響の確認および、他製品との比較を行った結果を報告する。

### 2. 洗浄のメカニズム

洗浄剤は種々の界面活性剤、助剤、添加剤から構成される。界面活性剤は、図-1のように、1分子中に疎水基と親水基を有する。これにより「乳化作用（汚れを包み込んで水中に安定化させる作用）」および「表面張力の低下（汚れと被洗物の間に入り込む作用）」を洗浄剤に与え、洗浄効果を発揮する（図-2、3）。

開発した洗浄剤「S」はアスファルト舗装やコンクリート舗装に付着したタイヤ痕、鉱物油、錆を対象としている。洗浄剤「E」はコンクリートに付着したアスファルト乳剤汚れを対象とした洗浄剤である。

洗浄剤「S」および「E」は、各成分の種類やバランスを調整することで界面活性剤の作



用を効果的に発揮し、舗装の各汚れに特化した洗浄剤となっている。

### 3. 開発した洗浄剤の洗浄効果の確認

#### 3.1 室内試験

##### (1) 室内試験

表-1に検討した汚れと舗装の種類、使用した洗浄剤を示す。被洗物となる舗装の各供試体は、密粒度アスファルト舗装（以下、密粒と称す）、半たわみ性舗装（以下、半たわみと称す）、保水性舗装（以下、保水と称す）および、コンクリートである。なお密粒はストレートアスファルト、半たわみと保水はポリマー改質アスファルトH型をバインダに使用している。ま

表-1 検討する汚れ・舗装・洗浄剤（室内試験）

	タイヤ痕・錆・鉱物油	アスファルト乳剤
舗装の種類 (被洗物)	密粒 半たわみ 保水 コンクリート	コンクリート
検討する 洗浄剤	洗浄剤「S」 市販酸性洗浄剤 市販アルカリ性洗浄剤 市販中性洗剤	洗浄剤「E」 類似品A 類似品B

た、コンクリートは市販のコンクリート平板の表面をショットブラスト加工したものを使用した。

### (2) 汚れの付着方法

表-1の各汚れの付着方法を以下に示す。

#### ●タイヤ痕

舗装面に付く汚れの代表例がタイヤ痕である。本試験では、ねじれ骨材飛散試験機を用いてコンクリート平板にタイヤ痕を付着させた。

#### ●鉱物油

車や機械などから油が落ち、舗装面に付着することがある。この油は鉱物由来であり、ススなどを含んでいる。また、付着した油の上に泥などの固体汚れが付着し、複合汚れなどになる。本試験では、鉱物油にカーボンブラックまたは酸化鉄の粉末を混ぜた複合汚れを再現した。

#### ●錆

舗装の上にドラム缶などの金属製品を置くと、錆が発生し、舗装面に付着することがある。本試験では、各供試体上にスチールボールを置き、水を散布して錆を発生・付着させることで錆汚れを再現した。

#### ●アスファルト乳剤

アスファルト乳剤は、舗装の施工の際に、コンクリート製品や舗装面に付着することがある。本試験では、コンクリート平板にアスファルト乳剤を塗布し、乾燥させることで再現した。

### (3) 洗浄方法と評価方法

本研究では、「小労力で洗浄可能な洗浄剤の開発」を目的としている。よって、洗浄作業は全て手作業で行うこととした。洗浄剤「S」とその他の市販洗浄剤は、霧吹きまたはスポイトを用いて汚れに塗付し、市販のブラシを用いて軽く擦った後、ウエスと水で汚れと洗浄剤成分を充分に取り除いた。洗浄剤「E」と類似品は、スポイトを用いて乳剤汚れに塗付した後、ウエスで汚れと洗浄剤成分を充分に取り除いた。なお、全ての洗浄作業は同じ人員で行い、擦る回数と時間は汚れごとに統一した。洗浄効果の評価は目視で行った。

### (4) 結果

#### ①洗浄剤「S」とその他の市販洗浄剤

室内試験の結果を表-2～5に示す。表中では市販洗浄剤の名称を以下の様に表記する。

- ・市販の酸性洗浄剤…酸性
- ・市販のアルカリ性洗浄剤…アルカリ
- ・市販の中性洗浄剤…中性

#### ●タイヤ痕の洗浄結果

洗浄剤「S」>市販アルカリ洗浄剤>市販中性洗浄剤の順で落ちた。洗浄剤「S」で洗浄した際、泡のな

表-2 タイヤ痕の汚れ

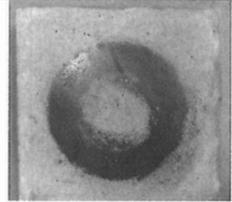
	洗浄前	洗浄後								
コンクリート		<table border="1"> <tr> <td>アルカリ</td> <td></td> <td>中性</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	アルカリ		中性		S			
アルカリ		中性								
S										

表-3 鉱物油+カーボンブラックの複合汚れ

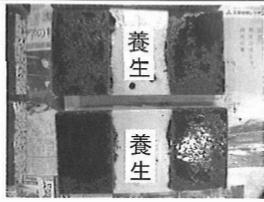
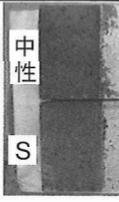
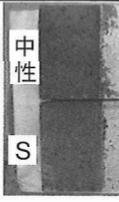
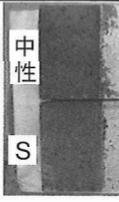
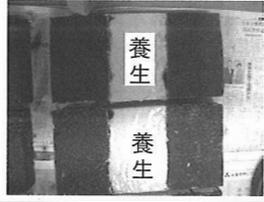
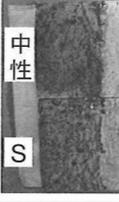
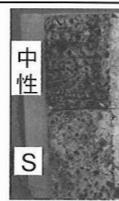
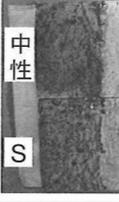
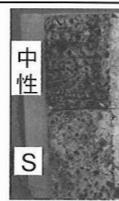
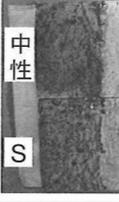
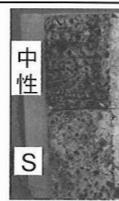
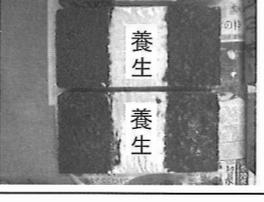
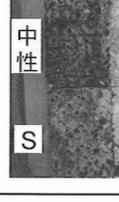
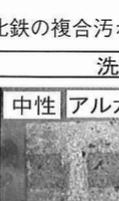
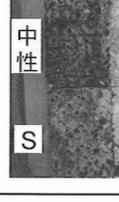
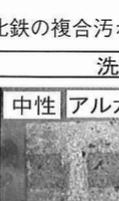
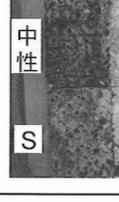
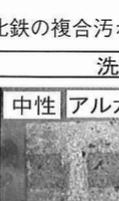
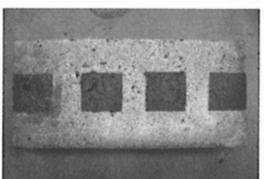
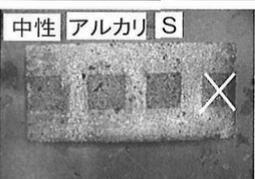
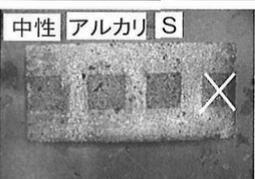
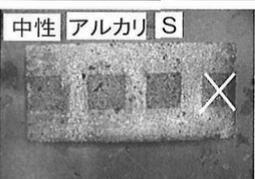
	洗浄前	洗浄後								
コンクリート		<table border="1"> <tr> <td>中性</td> <td></td> <td>アルカリ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	中性		アルカリ		S			
中性		アルカリ								
S										
半たわみ		<table border="1"> <tr> <td>中性</td> <td></td> <td>アルカリ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	中性		アルカリ		S			
中性		アルカリ								
S										
排水		<table border="1"> <tr> <td>中性</td> <td></td> <td>アルカリ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	中性		アルカリ		S			
中性		アルカリ								
S										

表-4 鉱物油+酸化鉄の複合汚れ

	洗浄前	洗浄後				
コンクリート		<table border="1"> <tr> <td>中性</td> <td>アルカリ</td> <td>S</td> <td></td> </tr> </table>	中性	アルカリ	S	
中性	アルカリ	S				

かにタイヤゴムの小片が浮いているのを確認した。洗浄剤「S」がコンクリート表面と汚れの隙間に入り込み、分離させたためである。他の種類の洗浄剤ではゴムの小片は確認できなかった。

#### ●鉱物油の洗浄結果

鉱物油+カーボンブラックの複合汚れは、内部まで浸透した油汚れや供試体表面の凹部に入り込んで固化した汚れは落ちなかった。

鉱物油+酸化鉄の複合汚れは、油染みの痕が残ったが、洗浄剤「S」>市販アルカリ性洗浄剤の順で酸化鉄の赤褐色が落ちた。また、市販アルカリ性洗浄剤と市販中性洗浄剤は一度落ちた汚れが周囲に付着したが、洗浄剤「S」では再付着は確認されなかった。

表-5 錆汚れ

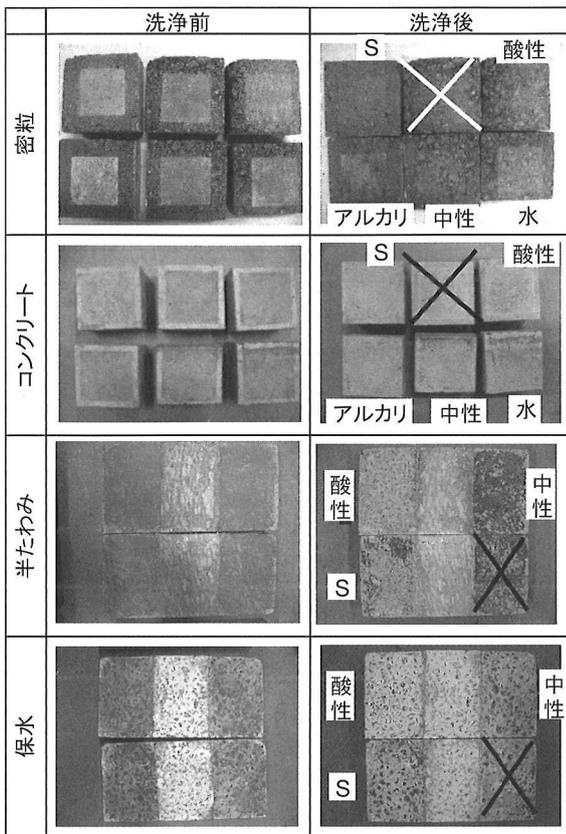


表-6 洗浄剤「S」および市販洗浄剤の評価

汚れ・舗装種	タイヤ痕	鉱物油				錆			
		鉱物油+カーボンブラック		鉱物油+酸化鉄		密粒	Con	半たわみ	保水
洗浄剤	Con	Con	半たわみ	保水	Con	密粒	Con	半たわみ	保水
「S」	◎	△	△	○	◎	◎	○	○	○
酸性	△	△	△	△	△	◎	◎	◎	◎
アルカリ	△	△	△	○	△	△	△	△	△
中性	×	○	◎	×	△	×	×	×	△

◎：優、○：良、△：可、×：不可 Con…コンクリート

●錆汚れの洗浄結果

錆汚れに最も効果を示したのは、市販酸性洗浄剤であった。酸が錆（酸化鉄）と反応し、水に可溶性塩化鉄となったためである（式1）。しかし、酸性洗浄剤はコンクリートに含まれる水酸化カルシウムとも化学反応し、舗装表面を傷めてしまう（式2）。



酸性洗浄剤以外では、舗装の種類によって評価の順位に前後があるが、洗浄剤「S」の洗浄効果が高い傾向にあった。なお、舗装内部まで付着した錆汚れでは酸性洗浄剤以外では落ちなかった。

各汚れの洗浄効果の評価を表-6にまとめる。市販のアルカリ洗浄剤は、密粒および保水の鉱物油+カーボンブラック以外は△の評価であった。市販の中性洗浄剤は鉱物油汚れに効果を示したが、タイヤ痕や錆では評価が低い。一方、洗浄剤「S」は、タイヤ痕、錆、鉱物油汚れにおいて、総じて高い評価となった。特に錆汚れでは、市販の酸性洗浄剤に次いで高い評価で

表-7 アスファルト乳剤汚れ

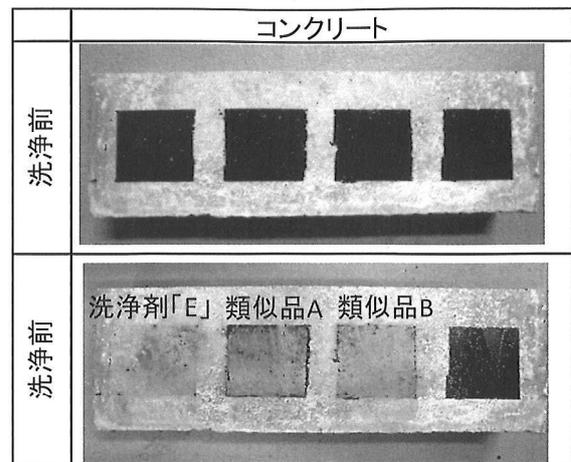


表-8 洗浄剤「E」および類似品の評価

汚れ	アスファルト乳剤
舗装	コンクリート
洗浄剤「E」	◎
類似品A	△
類似品B	○

◎：優、○：良、△：可、×：不可

あった。これは洗浄剤「S」の高い乳化作用と表面張力を下げる性能により、酸の様に錆を化学反応で落とすのではなく、錆と舗装面の隙間に洗浄剤が入り込み、錆を分離させるためである。加えて、洗浄剤「S」はアルカリ性のため、コンクリートや半たわみ、保水を傷めないという利点がある。以上の事から、洗浄剤「S」は、本試験で使用した市販洗浄剤と比較して、各舗装の各汚れに対応した洗浄剤あることが分かった。

②洗浄剤「E」と類似品

●アスファルト乳剤汚れの洗浄結果

洗浄剤「E」とその類似品の洗浄効果の比較を表-7に示す。洗浄剤「E」は2種の類似品よりも洗浄効果が高く、汚れの再付着もほとんど生じないことを確認した。表-8にアスファルト乳剤汚れの洗浄効果の評価をまとめる。

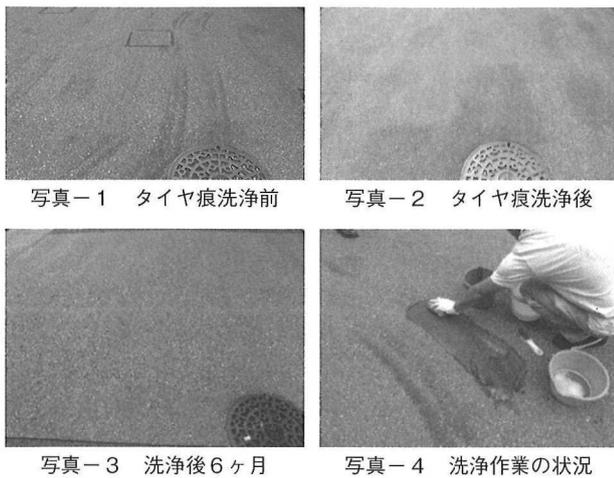
3.2 現地試験

タイヤ痕が付着し、しばらく経過した密粒の路面で洗浄を行った。

洗浄作業はブラシやデッキブラシを使用し、高圧洗浄機などの機械は用いていない。室内試験と同様に、汚れ部分に洗浄剤「S」を塗布し、ブラシで擦った。

洗浄前後の状況を写真-1および2に示す。これらの写真から、タイヤ痕の洗浄効果が確認できる。また、洗浄後6ヶ月後（写真-3）も洗浄部分のアスファルトや骨材の変質は生じていない。このことから、洗浄剤「S」による舗装への影響はないことが確認された。

洗浄中の様子を写真-4に示す。洗浄剤「S」を汚れに塗付しブラシで擦ると起泡した泡が茶色くなった。このことから、汚れが乳化・分離し、泡の表面に取り込まれていることが分かる。



他の現場でも、洗浄剤「S」および「E」を用いて洗浄作業を行った。その結果、コンクリートやアスファルト舗装など種々の舗装に付着した油汚れやタイヤ痕、錆汚れ、油と乳剤の足痕などを洗浄することができ、その後も供用に問題がないことを確認した。事例の一部を表-9に示す。

表-9 現地での洗浄の効果

	洗浄前	洗浄後
半たわみ		
密粒		
半たわみ		
ライン		

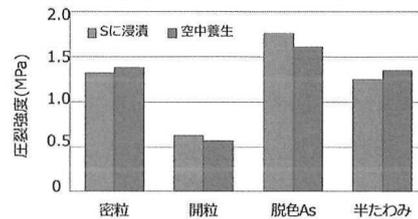
#### 4. 強度試験 (圧裂試験)

舗装を洗浄する際、洗浄剤が、舗装を傷めてしまうことが危惧される。そこで、洗浄剤が舗装の強度におよぼす影響を確認した。具体的には、密粒度アスファルト舗装 (ストレートアスファルトおよび脱色アスファルト+弁柄)、開粒度アスファルト舗装および半たわみ性舗装の供試体を洗浄剤「S」に360分間浸漬させた後、圧裂試験を行い、浸漬させていない供試体 (空

中養生) と圧裂強度を比較した。結果を図-4に示す。

値に多少の前後はあるが、全ての結果において空中養生の値と大きな差はなかった。また、試験後の供試体表面や破断面でも剥離などの劣化は確認できなかった。この結果から洗浄剤「S」は舗装の強度に影響をおよぼさないことが確認できた。アスファルトは、幅広いpHに耐性を持っていることが既に確認されている<sup>1)</sup>。アルカリ性の溶剤に界面活性剤や助剤などが添加されている洗浄剤でも同様であることが分かった。

アスファルト-骨材間、脱色As-骨材間、アスファルト-セメントグラウト間などの舗装材料同士の間に洗浄剤が入り込み、剥離させることはなかった。界面活性剤は、乳化作用と表面張力の低下による分離性能を有しているが、硬化したアスファルト、脱色As、セメントグラウトを乳化・分離させるほどではないためである。



#### 5. まとめ

本研究では、小労力かつ効果的な舗装面の洗浄を目的とし、舗装用洗浄剤「S」および「E」の開発を行った。これらと市販洗浄剤の効果の比較および、舗装面に与える影響を検証した結果、以下のことが分かった。

- ・洗浄剤「S」は各舗装の様々な汚れに対応し、市販洗浄剤よりも高い効果を示す。
- ・洗浄剤「E」は類似品よりも乳剤汚れの洗浄効果が高い。
- ・洗浄剤「S」は舗装の強度や色に影響をおよぼさず、洗浄6ヶ月後も舗装面の変質は生じない。

#### 6. おわりに

洗浄剤「S」および「E」は、広範囲な舗装の種類、汚れの種類に効果を発揮するため、洗浄剤の選定が不要であり、機械等も使用しない。本開発品が、舗装の汚れの問題解決に役立てば幸甚である。

#### ○参考文献

- 1) 牛島栄、宮田尚彦、佐藤勝俊：アスファルト系材料の耐酸性に関する研究、土木学会第43回年次学術講演会、60-61 (1988)

#### ●問い合わせ先

大林道路株式会社 技術研究所  
 環境研究室 掛札 さくら  
 TEL (042) 495-6800  
 sakura-kakefuda@obayashi-road.co.jp