

碎石マスティック舗装- SMA



世界のSMAの施工事例、実情に関して
Horst Erdlen (ホースト エルドレン)
2018年1月31日(札幌)、2月2日(東京)

碎石マスチック舗装- SMA



ドイツのSMA規格

<p>DER BUNDESREPUBLIK Zusätzlich bitumen Z</p> <p>1984</p>	<p>BUNDESREPUBLIK Zus Vertragsb von Fah ZTV</p> <p>1994</p>	<p>Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Zus Vertragsb von Fah ZTV Änderu</p> <p>1998</p>	<p>Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Zus Vertragsbed von Fahrb ZTV mit Einarbeitung d ARS Nr. 28/200 ARS Nr. ARS Nr.</p> <p>2001</p>	<p>Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen FGSV Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen TL Asphalt-StB 07 Ausgabe 2007</p> <p>2007</p>	<p>Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen FGSV Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt ZTV Asphalt-StB 07 Ausgabe 2007</p> <p>2007</p>
---	--	--	---	--	---

1968年、SMAがドイツ北部で初めて施工。2018年はSMA誕生50周年。標準化までの16年の間に様々な検証がされ標準化された。その後も周辺環境に変化に応じて規格の更新

ドイツのSMA規格



ZTVアスファルト-StB 07/13

道路アスファルト舗装工事の
契約および指令に関するドイツ
の追加技術条件

ドイツのSMA規格



TLアスファルトStB 07/13

道路舗装工事用アスファルト
材料のドイツの技術的条件が
記載されている

現在改訂版更新に向けて作
業中 … 騒音低減等

ドイツのSMA規格

Part 1 骨材についての規格

SMA		SMA 11 S	SMA 8 S	SMA 5 S ¹
Materials				
砕石表面比				
安定性試験損失量		$C_{100/0.7} : C_{95/1.7} : C_{90/3}$	$C_{100/0.7} : C_{95/1.7} : C_{90/3}$	$C_{100/0.7} : C_{95/1.7} : C_{90/3}$
すりへり減量		Sz_{18} / LA_{20}	SZ_{18} / LA_{20}	SZ_{18} / LA_{20}
粗骨材中の粒径0-2mm含有率		PSV _{specified} (51)	PSV _{specified} (51)	PSV _{specified} (48)
細長、あるいは扁平な石片の含有量(細長比=1:3)	%	100	100	100
骨材はがれやすさ			20	
骨材凍結耐性			20	
骨材サイズ			$G_r 85; G_c 90/10; G_c 90/15$	
耐凍結安定性			F_1	

¹ Source: Extract of ZTV BEA-StB 09, German Additional Technical Conditions of Contract and Directives for the constructional maintenance of Road Asphalt Pavements

Part 2 骨材の粒度分布

フルイ目呼び寸法				
16 mm	% by weight	100		
11.2 mm	% by weight	90 – 100	100	
8 mm	% by weight	50 – 65	90 – 100	100
5.6 mm	% by weight	35 – 45	35 – 55	90 – 100
2 mm	% by weight	20 – 30	20 – 30	30 – 40
0.063 mm	% by weight	8 – 12	8 – 12	7 – 12

ドイツのSMA規格

アスファルト量は最低含有量が規定されている。
 粗骨材のアスファルト被膜が厚ければ酸化による劣化に強くなり、結果アスファルト寿命が長くなる
 セルロース繊維は安定化剤と記載。効果はアスファルト垂れ防止材、価値の観点から、舗装耐久性向上剤と呼べる

Part3 マスチックの規格

アスファルトの種類		25/55-55 50/70	25/55-55 50/70	45/80-50 50/70 25/55-55
最低アスファルト添加量		B _{min} 6.7	B _{min} 7.3	B _{min} 7.4
安定化剤(植物性繊維)添加量	% by weight	0.3	0.3	0.3

Part 4 アスファルトミックスに関する規格

マーシャル試験空隙率の規定が2.5-3.0%と非常に厳しい

マーシャル試験 最小空隙率		V _{min} 2.5	V _{min} 2.5	V _{min} 2.0
マーシャル試験 最大空隙率		V _{max} 3.0	V _{max} 3.0	V _{max} 3.0
空隙中のアスファルト率	%	is to be specified	is to be specified	is to be specified
きめ深さ	%	is to be specified	is to be specified	—

² Factor α considers the density of the aggregate mixture

Source: Extract of TL Asphalt-StB 07/13, German Technical Conditions of Delivery for Asphalt Mixtures for the Construction of Road Pavements, updated according to "ARS 11/2012" published by the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development

Part 5 施工に関する規定

舗装厚	cm	3.5 - 4.0	3.5 - 4.0	1.5 - 2.0
舗装量	kg/m ²	85 - 100	85 - 100	30 - 50
締固め度	%	≥ 98.0		≥ 96.0
空隙率	Vol.-%	≤ 5.0		≤ 6.0
撒き砂の規格		0.5 - 1.0 kg/m ² aggregates 1/3 mm (dedusted or lightly bitumenized)		

Source: Extract of ZTV Asphalt-StB 07/13, German Additional Technical Conditions of Contract and Directives for the Construction of Road Asphalt Pavements, updated according to "ARS 11/2012" published by the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development

骨材の規格 品質試験項目

項目	規格	影響を受ける因子
砕石表面	100%破砕表面が露出していること	空隙率、安定性
硬度	LA(ロスアンジェルス試験) ≤ 20	転圧による骨材の破壊
粗骨材のすり減り量	PSV (Porished stone value) ≥ 51	舗装面平滑性 すべり抵抗
骨材形状指数 (各辺の最長と最短の比率)	3:1以内の形状比骨材 含有率80%以上	空隙率、充填率、締固め度、安定性 破砕された石は細砕石、砂分となり 構造を弱化させる
細骨材	E _{CS} 35 (CS: Crashed Sand)	空隙率、安定性 砕砂は噛み合わせ構造を助長
石粉(粒径65μm以下)	石灰岩(炭カル含有量が規定)	空隙率
オーバーサイズ アンダーサイズ	骨材比率チャートを参照	空隙率 安定性

骨材の規格 粒径サイズの配合許容量

許容範囲

骨材サイズ	カテゴリー	オーバーサイズ	アンダーサイズ
8.0 / 11.2 mm	G _C 90/10	10 %	10 %
5.6 / 8.0 mm	G _C 90/10	10 %	10 %
2.0 / 5.6 mm	G _C 90/10	10 %	10 %
0.0 / 2.0 mm	G _F 85	15 %	
1.0 / 3.0 mm*	G _C 90/10	10 %	10 %

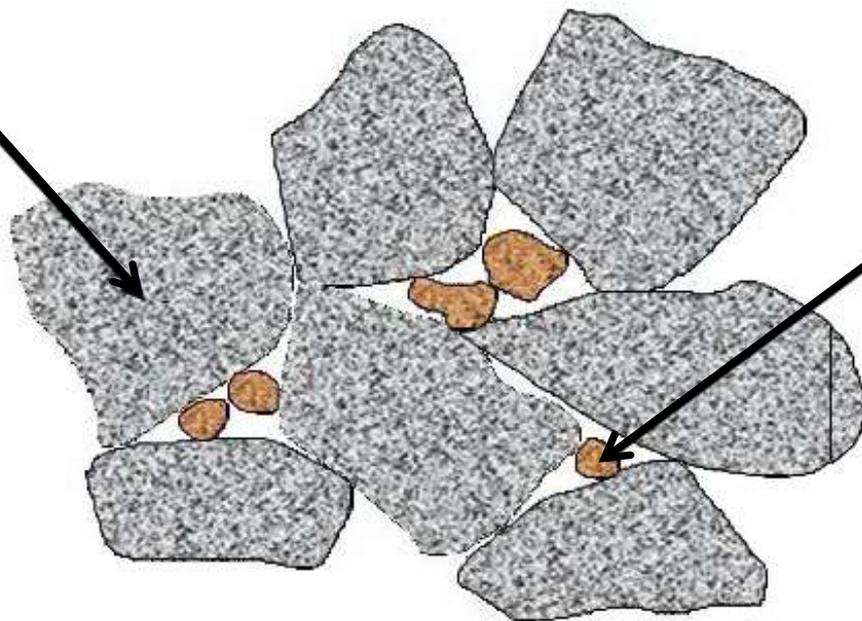
骨材の規格

良い粗骨材の構造

粗骨材同士の噛み合わせが多数

粗骨材

細骨材

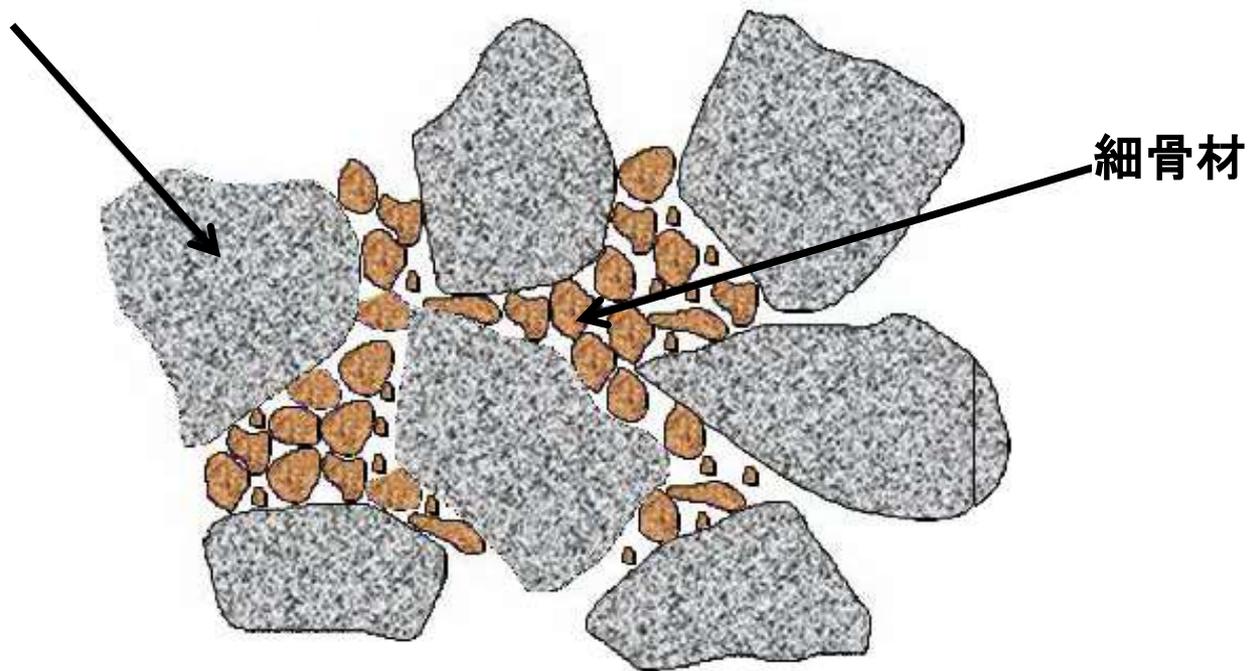


骨材の規格

悪い粗骨材の構造

細骨材が粗骨材の間に入り込み、噛み合わせを阻害

粗骨材



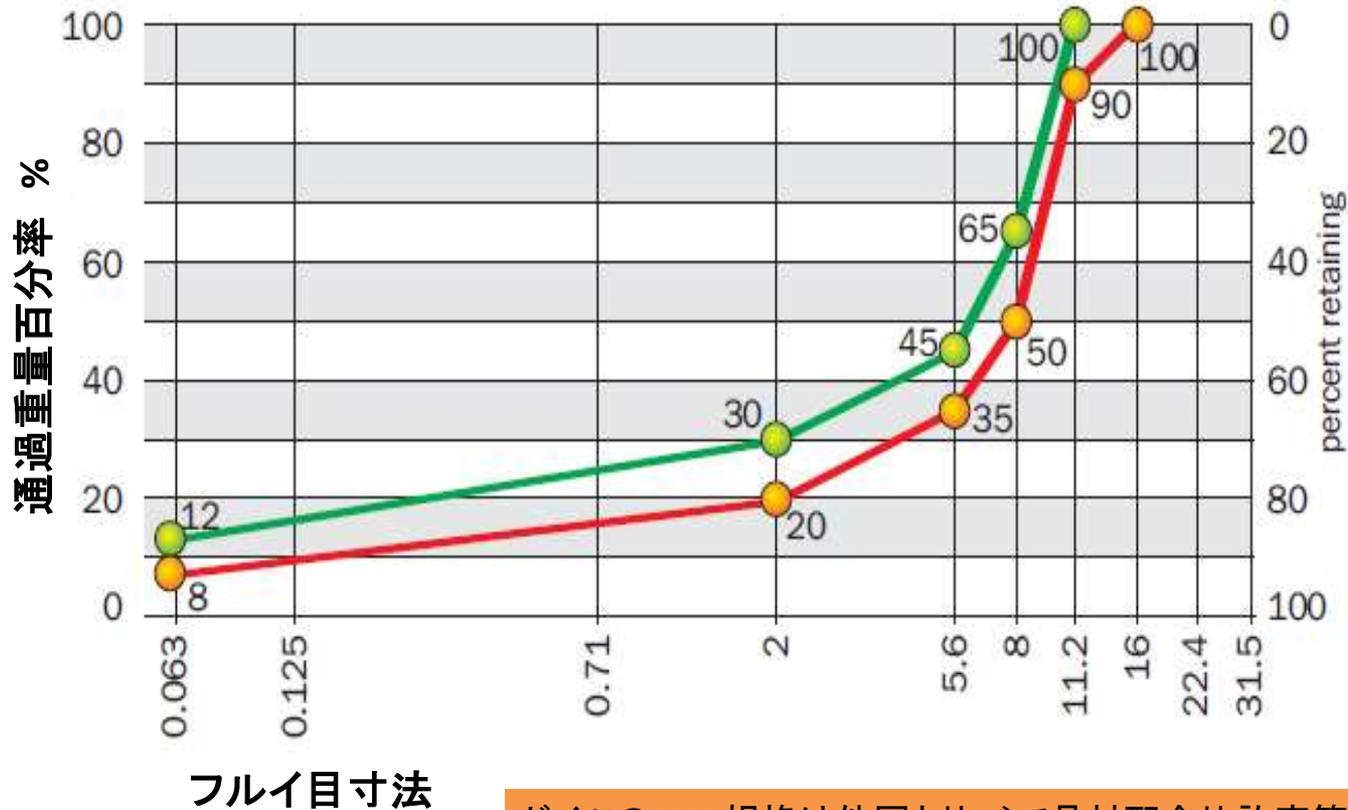
ドイツのSMA規格

SMA		SMA 11 S	SMA 8 S	SMA 5 S ¹
Composition of Asphalt Mixture				
フルイ目呼び寸法				
16 mm	% by weight	100		
11.2 mm	% by weight	90 – 100	100	
8 mm	% by weight	50 – 65	90 – 100	100
5.6 mm	% by weight	35 – 45	35 – 55	90 – 100
2 mm	% by weight	20 – 30	20 – 30	30 – 40
0.063 mm	% by weight	8 – 12	8 – 12	7 – 12

¹ Source: Extract of ZTV BEA-StB 09, German Additional Technical Conditions of Contract and Directives for the constructional maintenance of Road Asphalt Pavements

ドイツのSMA規格 骨材配合比

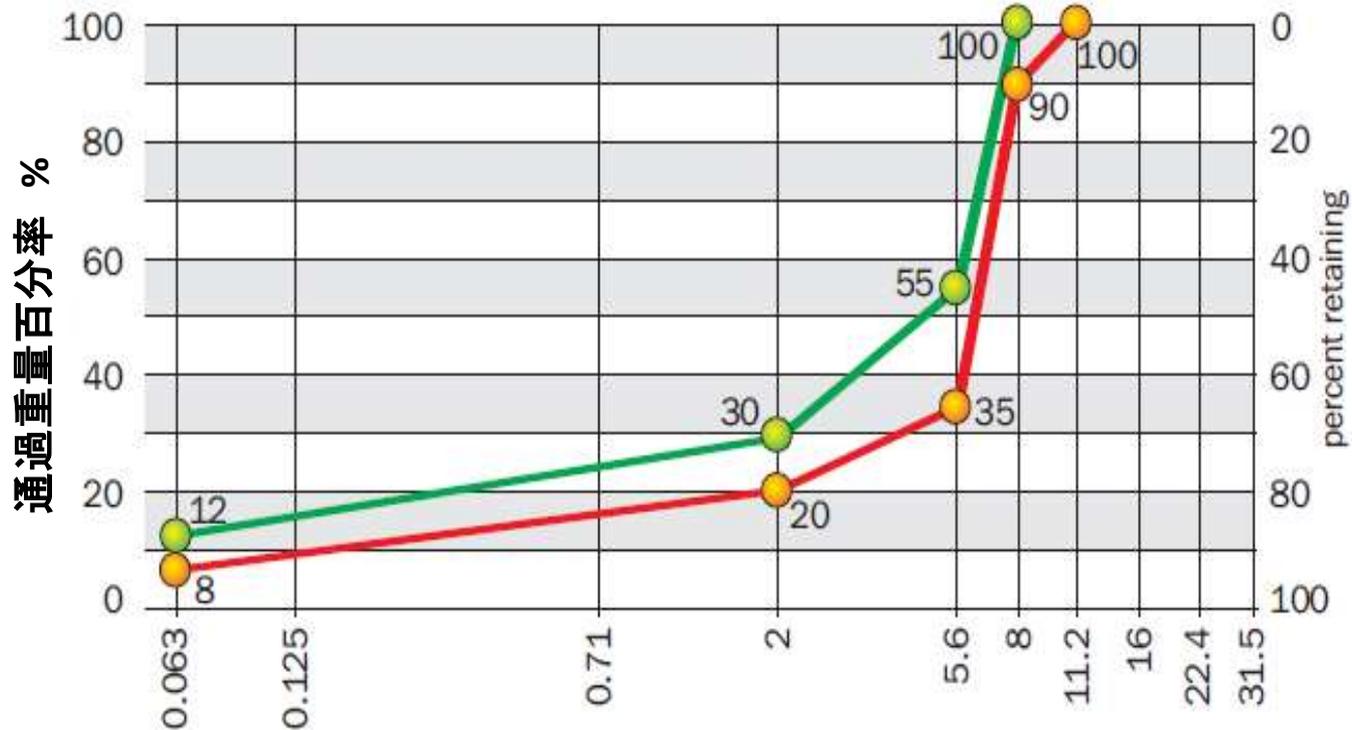
SMA 11 S



ドイツのSMA規格は他国と比べて骨材配合比許容範囲が非常に狭い

ドイツのSMA規格 骨材配合比

SMA 8 S

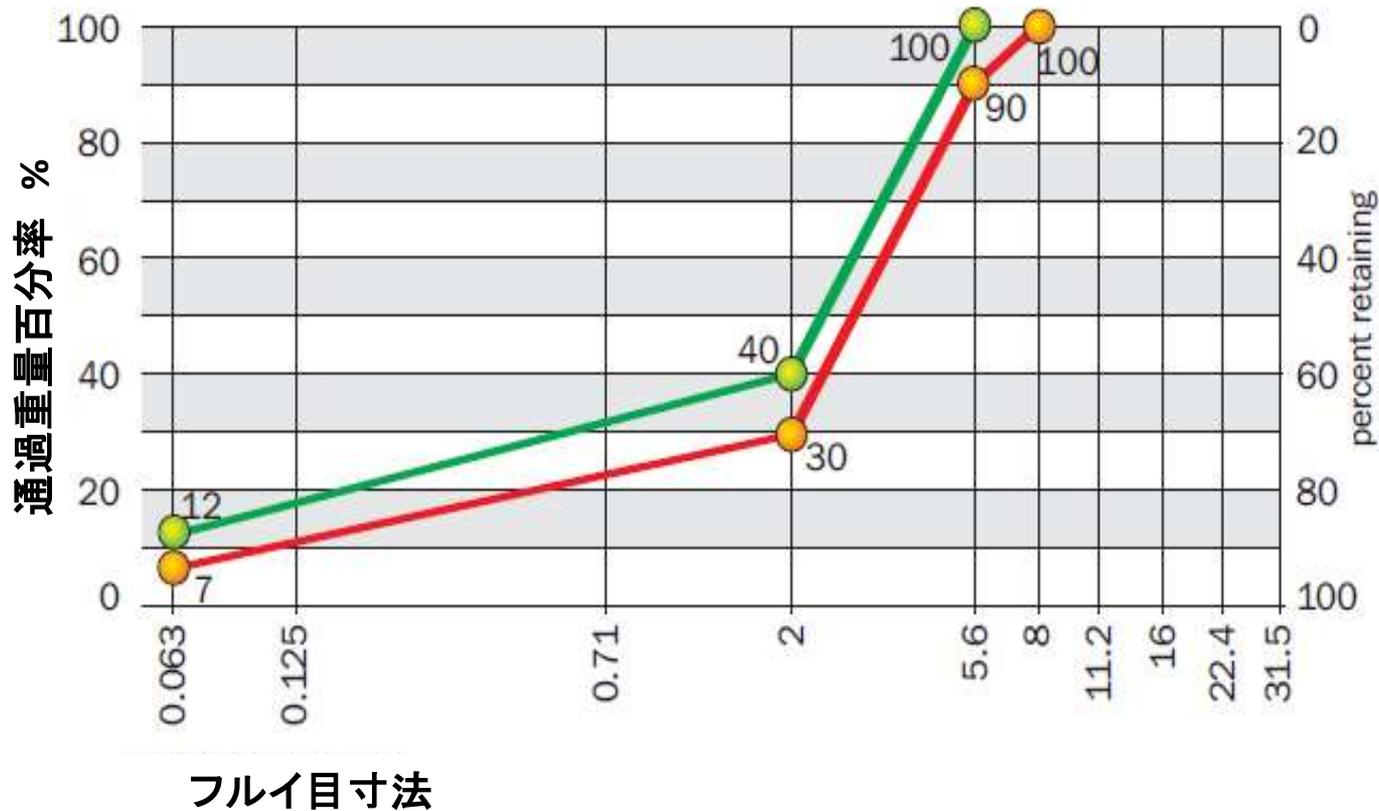


フルイ目寸法

以前は11mmトップが主流であったが、現在は8mmトップが主流になりつつある
粗骨材の径が小さくなると転がり抵抗が下がり、騒音抑制効果が高い、安全性が高くなる

ドイツのSMA規格 骨材配合比

SMA 5 S



ドイツのSMA規格

SMA		SMA 11 S	SMA 8 S	SMA 5 S ¹
Binder				
アスファルトの種類		25/55-55 50/70	25/55-55 50/70	45/80-50 50/70 25/55-55
最低アスファルト添加量		B _{min} 6.7	B _{min} 7.3	B _{min} 7.4
安定化剤(植物性繊維)添加量	% by weight	0.3	0.3	0.3

¹ Factor α considers the density of the aggregate mixture

Source: Extract of TL Asphalt-StB 07/13, German Technical Conditions of Delivery for Asphalt Mixtures for the Construction of Road Pavements, updated according to "ARS 11/2012" published by the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development

Characteristics of Layer				
舗装厚	cm	3.5 - 4.0	3.5 - 4.0	1.5 - 2.0
舗装量	kg/m ²	85 - 100	85 - 100	30 - 50
締固め度	%	≥ 98.0		≥ 96.0
空隙率	Vol.-%	≤ 5.0		≤ 6.0
撒き砂の規格		0.5 - 1.0 kg/m ² aggregates 1/3 mm (dedusted or lightly bitumenized)		

Source: Extract of ZTV Asphalt-StB 07/13, German Additional Technical Conditions of Contract and Directives for the Construction of Road Asphalt Pavements, updated according to "ARS 11/2012" published by the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development

ドイツのSMA規格

SMA		SMA 11 S	SMA 8 S	SMA 5 S ¹
Materials				
Aggregates (production size)				
Ratio crushed aggregate surface		$C_{125/0.075} : C_{0.075} : C_{0.075}$	$C_{0.075} : C_{0.075} : C_{0.075}$	$C_{0.075} : C_{0.075} : C_{0.075}$
Resistance to crushing		Sz_{18} / LA_{10}	Sz_{18} / LA_{10}	Sz_{18} / LA_{10}
Resistance to polishing		PSV _{polished} (51)	PSV _{polished} (51)	PSV _{polished} (48)
Minimum part of fine aggregates with 0/2 E _{max} 35	%	100	100	100
Shape Index (SI)			20	
Flakiness Index (FI)			20	
Aggregate product size				
Resistance to frost				

¹Source: Extract of ZTV BEA-StB 09, German Additional Technical Conditions of Contract and Directives of Road Asphalt Pavements

Composition of Asphalt Mixture				
Aggregate mixture				
Passing sieve				
16 mm	% by weight	100		
11.2 mm	% by weight	90 – 100		
8 mm	% by weight	50 – 65		
5.6 mm	% by weight	35 – 45	35 – 55	90 – 100
2 mm	% by weight	20 – 30	20 – 30	30 – 40
0.063 mm	% by weight	8 – 12	8 – 12	7 – 12

Binder				
Binder, type and grade				
		25/55-55 50/70	25/55-55 50/70	45/80-50 50/70 25/55-55
Minimum binder content (factor α) ¹		B_{min} 6.7	B_{min} 7.3	B_{min} 7.4
Stabilizing additive (cellulose fibers)	% by weight	0.3	0.3	0.3

Asphalt Mixture				
Minimum void content Marshall-Specimen				
		V_{min} 2.5	V_{min} 2.5	V_{min} 2.0
Maximum void content Marshall-Specimen				
		V_{max} 3.0	V_{max} 3.0	V_{max} 3.0
Voids filled with bitumen	%	is to be specified	is to be specified	is to be specified
Proportional rut depth	%	is to be specified	is to be specified	—

¹Factor α considers the density of the aggregate mixture
 Source: Extract of TL Asphalt-StB 07/13, German Technical Conditions of Delivery for Asphalt Mixtures for the Construction of Road Pavements, updated according to 'ARS 11/2012' published by the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development

ドイツと他国とSMA規格の相違

- ① SMA8Sが主流
- ② 改質ポリマーの使用を規定
- ③ 植物繊維の使用の規定

舗装と転圧- 撒き砂



施工直後の滑り抵抗を確保するため撒き砂を使用することを規定している
オランダでは撒き砂の代わりに車速制限を行い、滑り抵抗が高くなるのを待つ



砂利サイズ 1 to 3 mm

0.5 – 1.0 kg/m²

SMA実績紹介



ブエノスアイレスの市街地、港から郊外につながる重交通道路

アルゼンチン

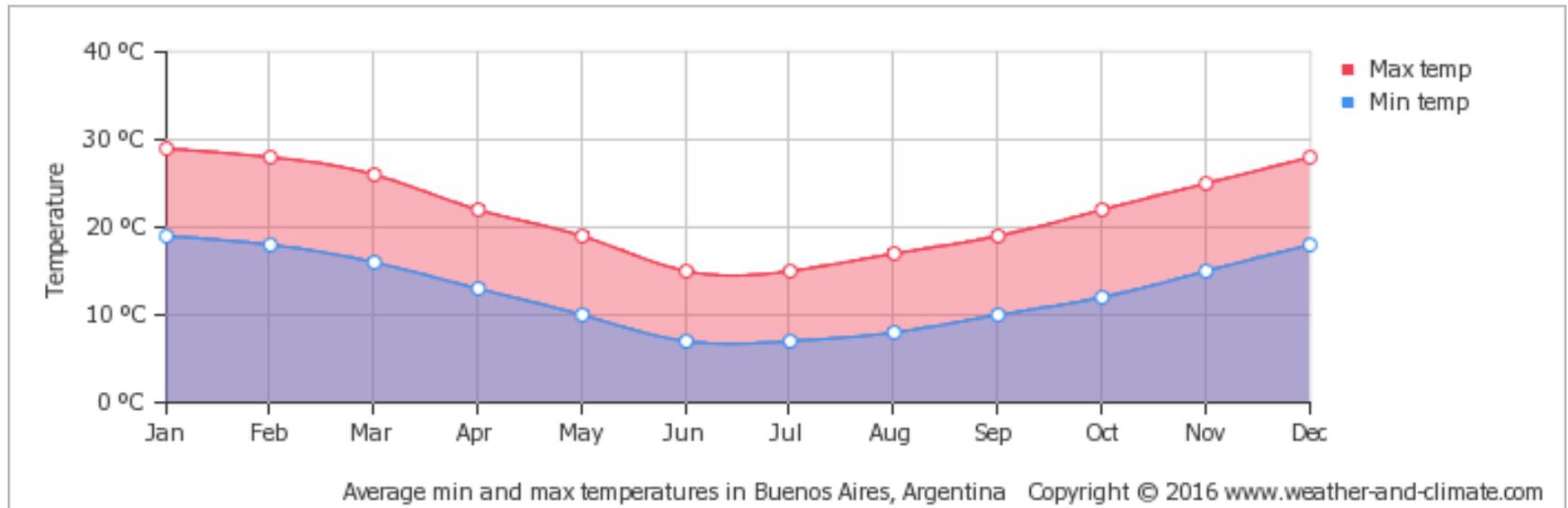
SMA実績紹介



表層、中間層の2層にSMAが使用されている。
施工後、現在6-7年経過しているが品質問題なし

アルゼンチン

SMA実績紹介



夏の最高気温は40-45°C、冬のさ0-5°Cまでしか下がらない
SMAは問題無く使用されている

アルゼンチン

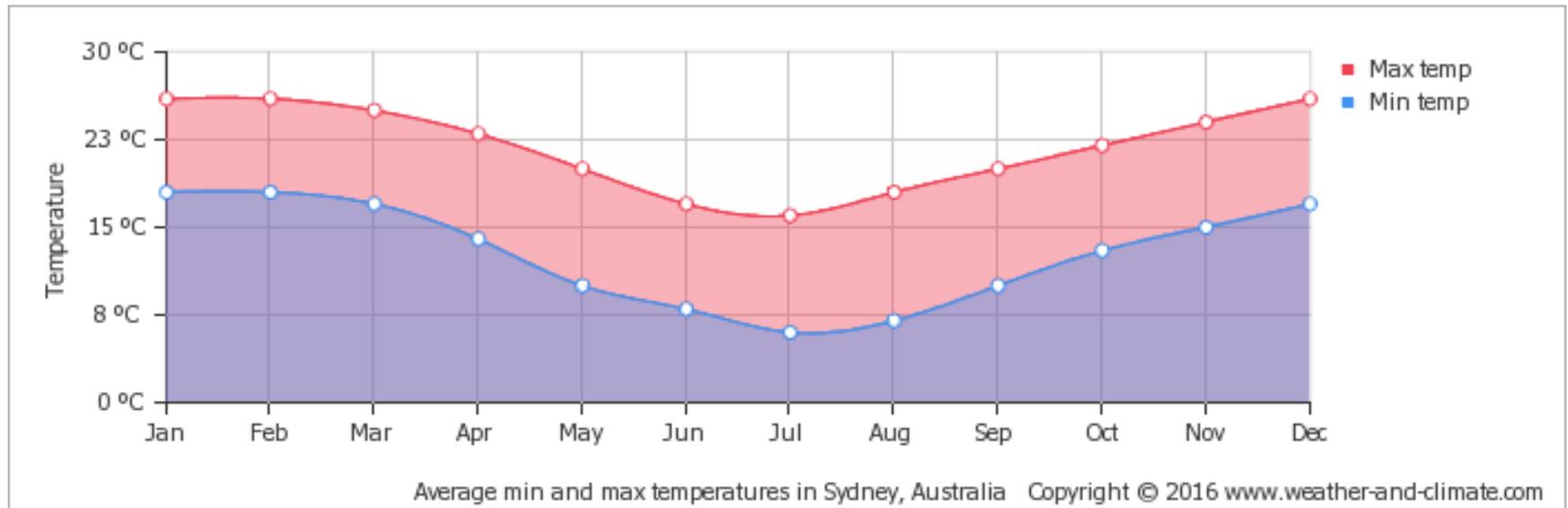
SMA実績紹介



オーストラリア

シドニーの海峡を繋ぐトンネルでSMA10が使用されている

SMA実績紹介



メルボルンでもSMAが使用されており、夏場の最高気温は45°Cに達する

オーストラリア

SMA実績紹介



サンパウロの市街地、バスレーンで30kmに渡りSMA5が施工されている

ブラジル

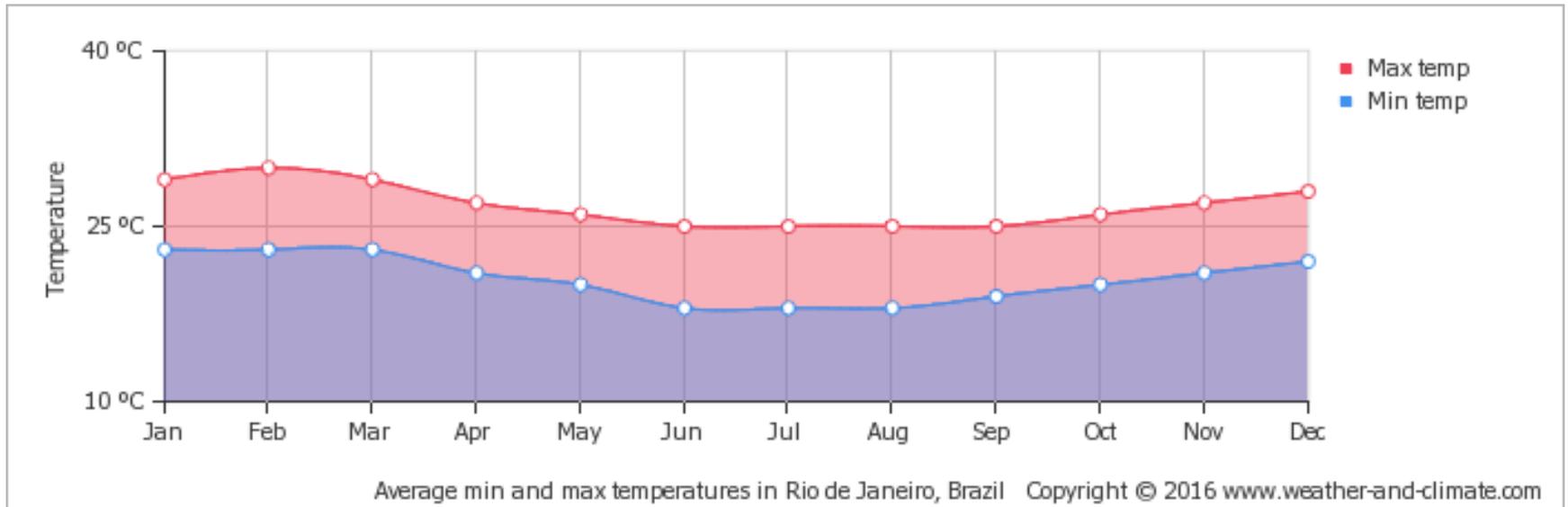
SMA実績紹介

リオのオリンピックパークの周辺道路はすべてSMAで施工された



ブラジル

SMA実績紹介



冬の気候はなく、年中温暖である

ブラジル

SMA実績紹介

インドの北部デリーのみではなく、気温が高く湿度の高い南部のムンバイでも使用されている



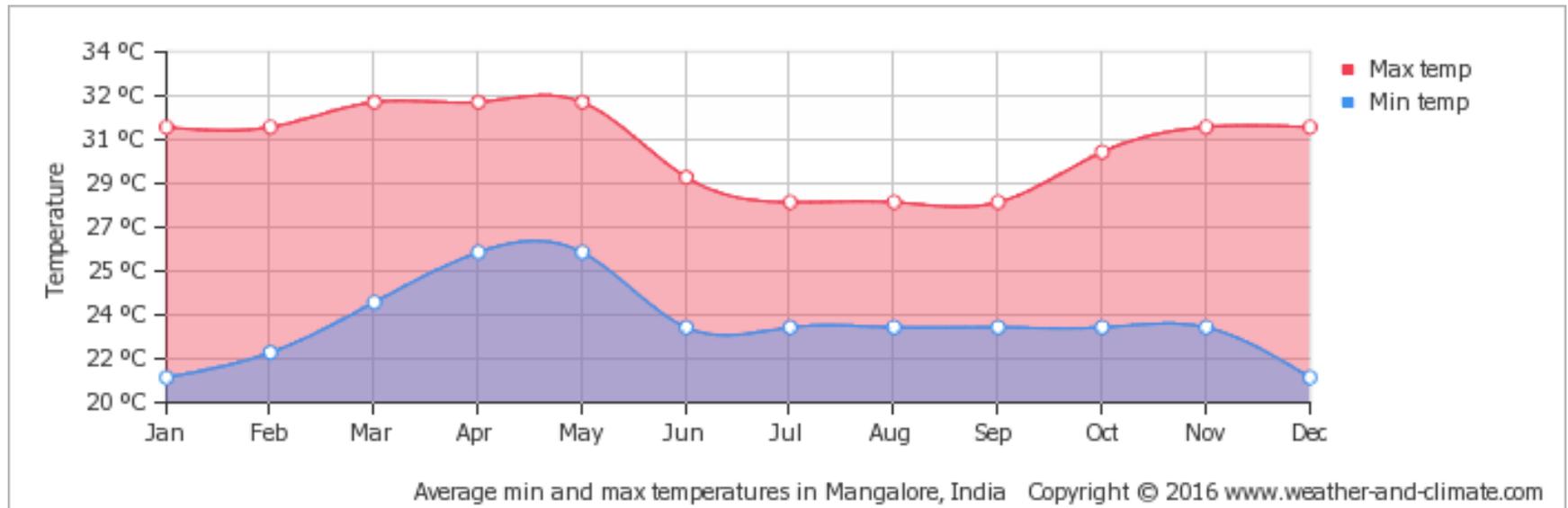
インド

SMA実績紹介



インド

SMA実績紹介



非常に気温が高く湿度が高い

インド

SMA実績紹介



イスラエル

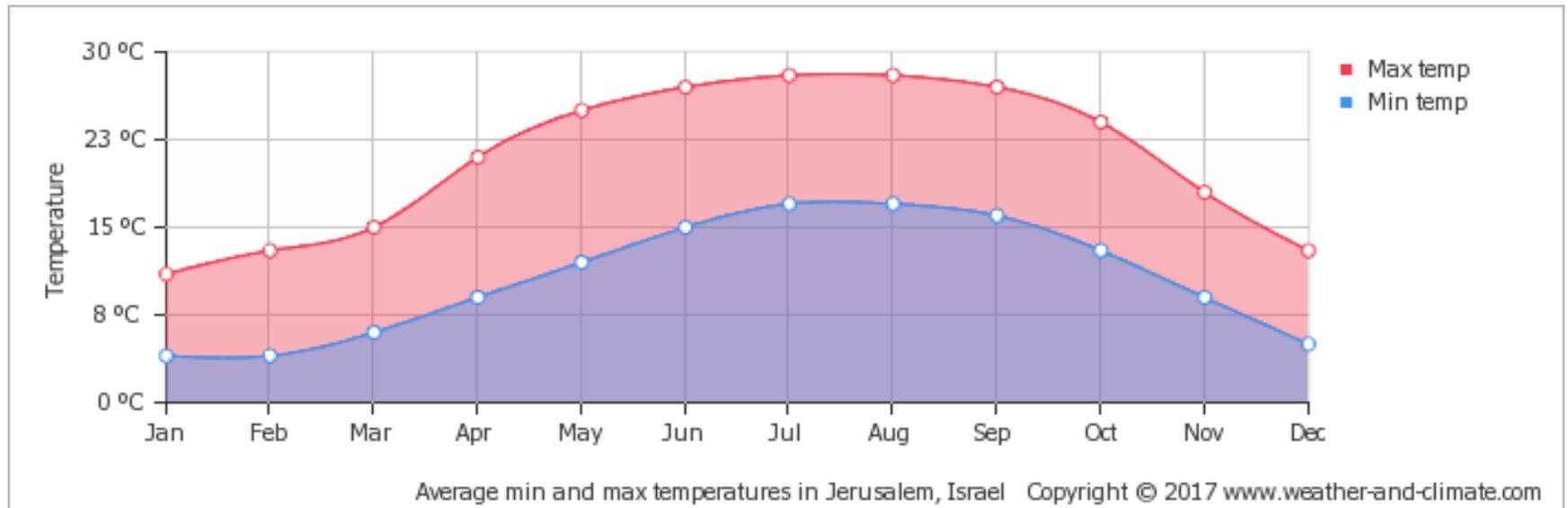
テルアビブに続く幹線道路でSMA5が使用されている

SMA実績紹介



イスラエル

SMA実績紹介



イスラエル

SMA実績紹介



20年前は高速道路において殆どがコンクリート舗装であった
現在は70%がアスファルト舗装になった
そのすべてがSMA舗装である

韓国

SMA実績紹介



冬は気温が低く、海水のしぶきをかぶり、夏場は非常に気温が高くなる

韓国

SMA実績紹介

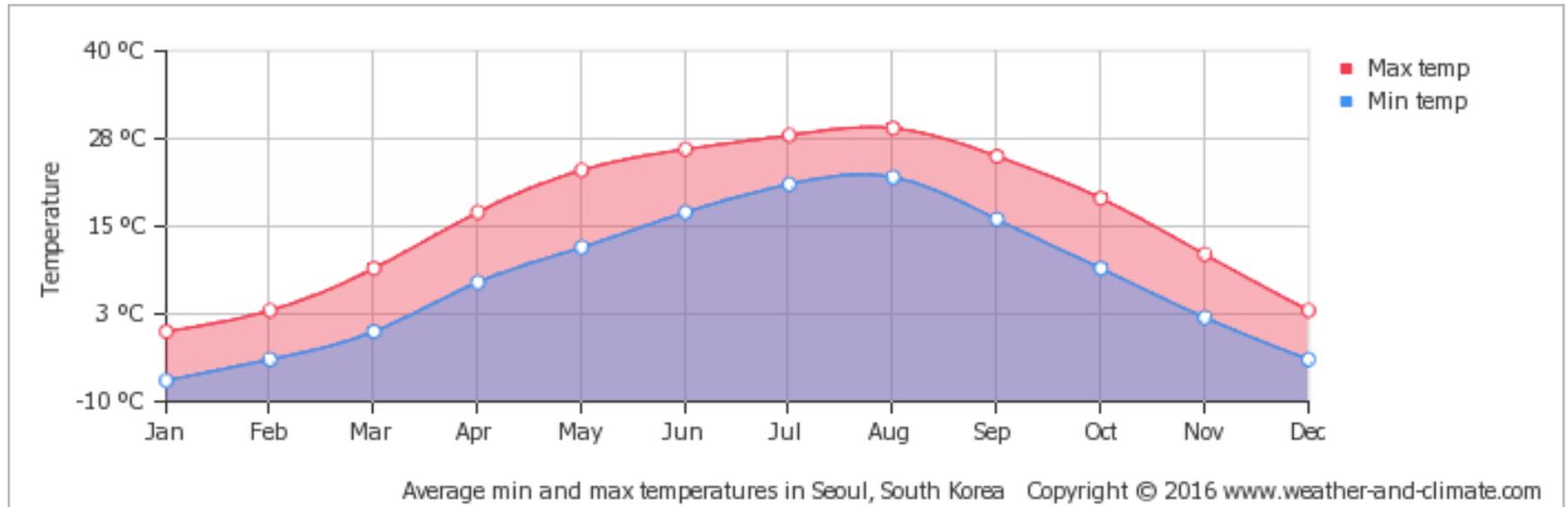
韓国

橋梁技術者にとって、海で隔てられた2つの島を橋で繋ぐことは大きな挑戦でした。安全且つ長寿命を達成するには最高の素材を選択し、慎重な計画が不可欠でした。

平壤(Pyongtaek、京畿道)と韓国の唐津(Dangjin、忠清南道)を結ぶ咸平(Sohe)大橋を設計したエンジニアたちが徹底的な調査を行い、最終的にこの橋の建設のための舗装表層をセルロース繊維を使用したSMAに決定しました。

現在、16年間経過しましたが表層の状態は良く、優れた性能を有し、表層にSMAを採用したことの正当性が証明されました。

SMA実績紹介



韓国

SMA実績紹介



ハリスコ州グラデラ市、砂漠地帯でSMAが施工された

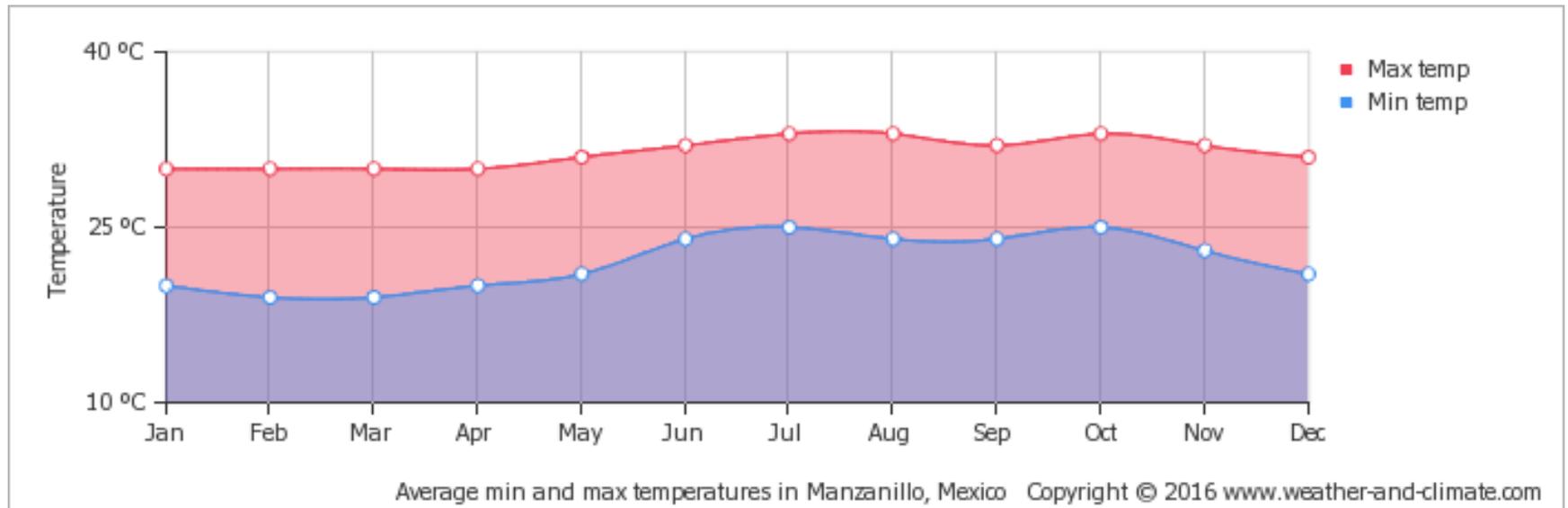
メキシコ

SMA実績紹介



メキシコ

SMA実績紹介



メキシコ

SMA実績紹介

熱帯気候のマニラからルソン島北部に向けての高速道路でSMAが使用されている



フィリピン

SMA実績紹介

料金所周辺のみではなく、高速道路全体でSMAが使用されている



フィリピン

SMA実績紹介

マニラ市街地でもSMAが使用されている



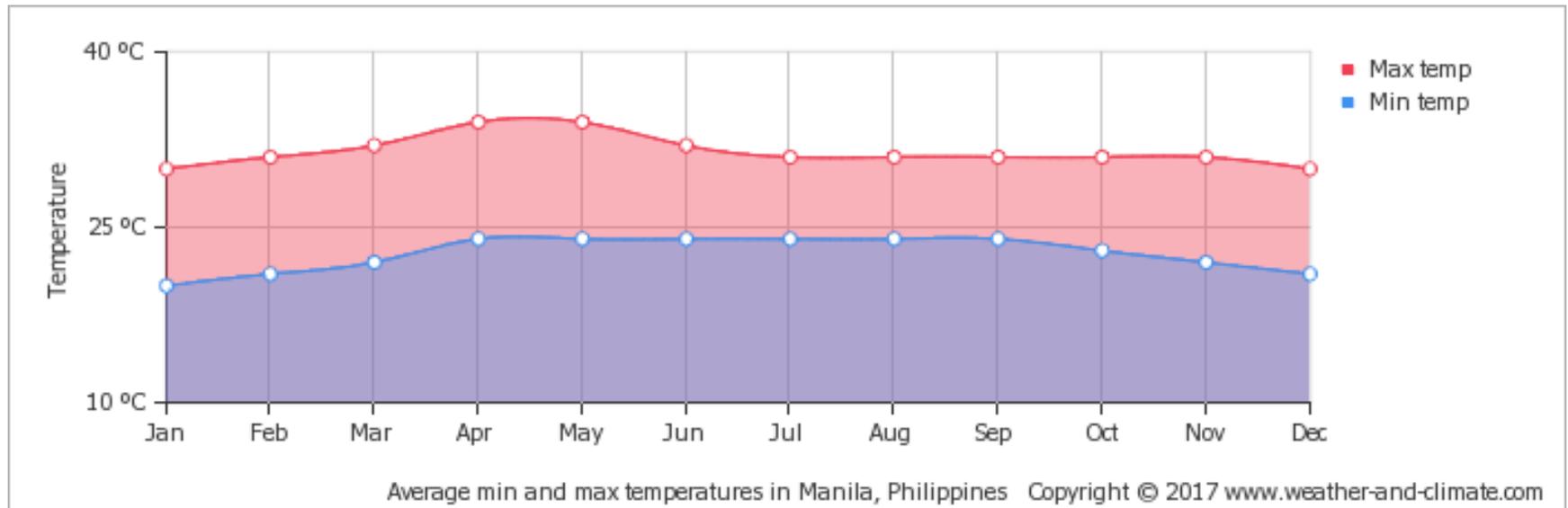
フィリピン

SMA実績紹介



フィリピン

SMA実績紹介



高温多湿の熱帯性気候である

フィリピン

SMA実績紹介



スペイン国内全ての空港の滑走路でSMAが使用されている

スペイン

SMA実績紹介



スペイン

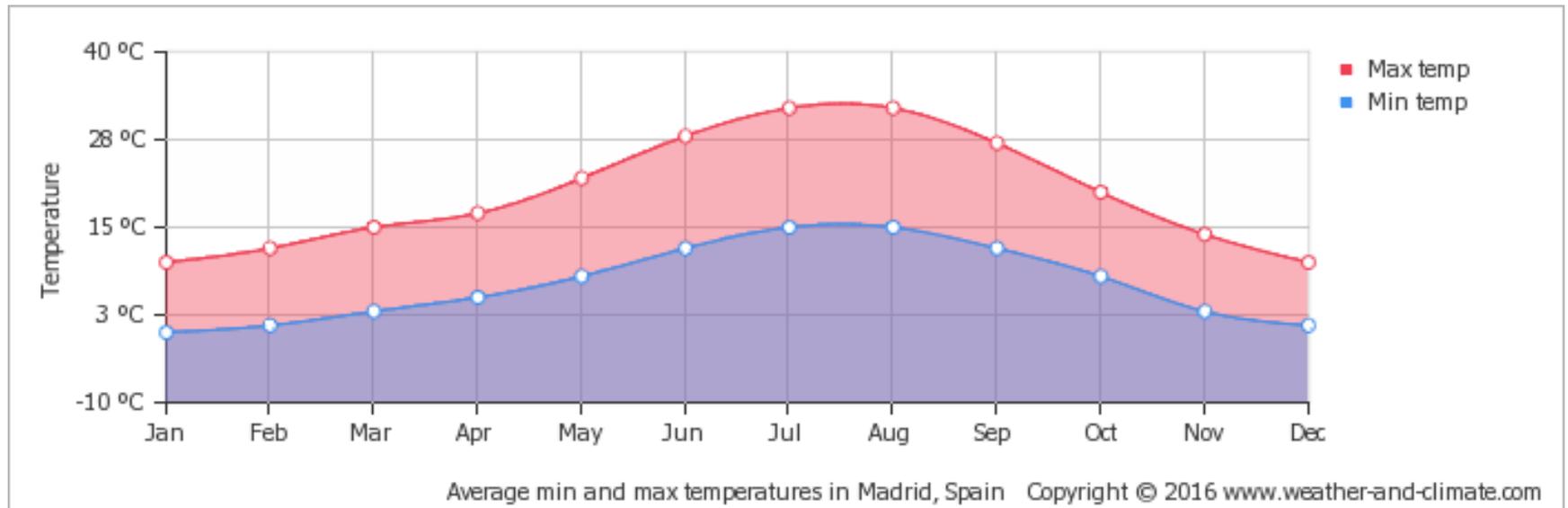
SMA実績紹介



スペイン

バルセロナ、コンテナヤード周辺の重交通道路においてSMA
が使用されている

SMA実績紹介



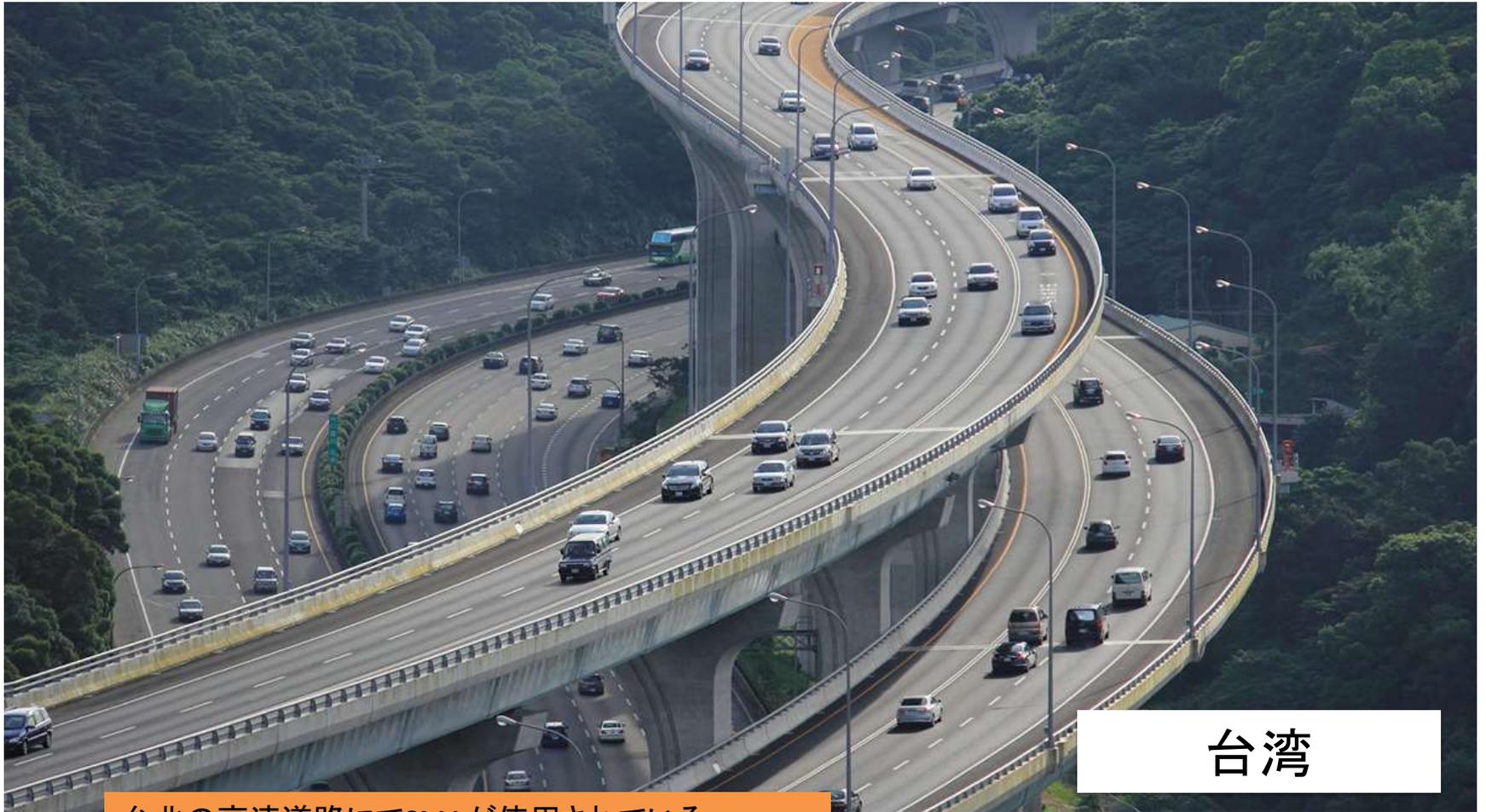
スペイン

SMA実績紹介

スペインには2つの基本的な気候地域があります：

- 海洋性気候（地中海沿岸、大西洋沿岸の両方）：
平均最低気温は約10°C、
平均最高気温は約30-35°C
- 冷たい冬の穏やかな内陸性気候：
平均最低気温が-5°C
平均最高気温が約40°C（マドリードの場合）

SMA実績紹介



台湾

台北の高速道路にてSMAが使用されている

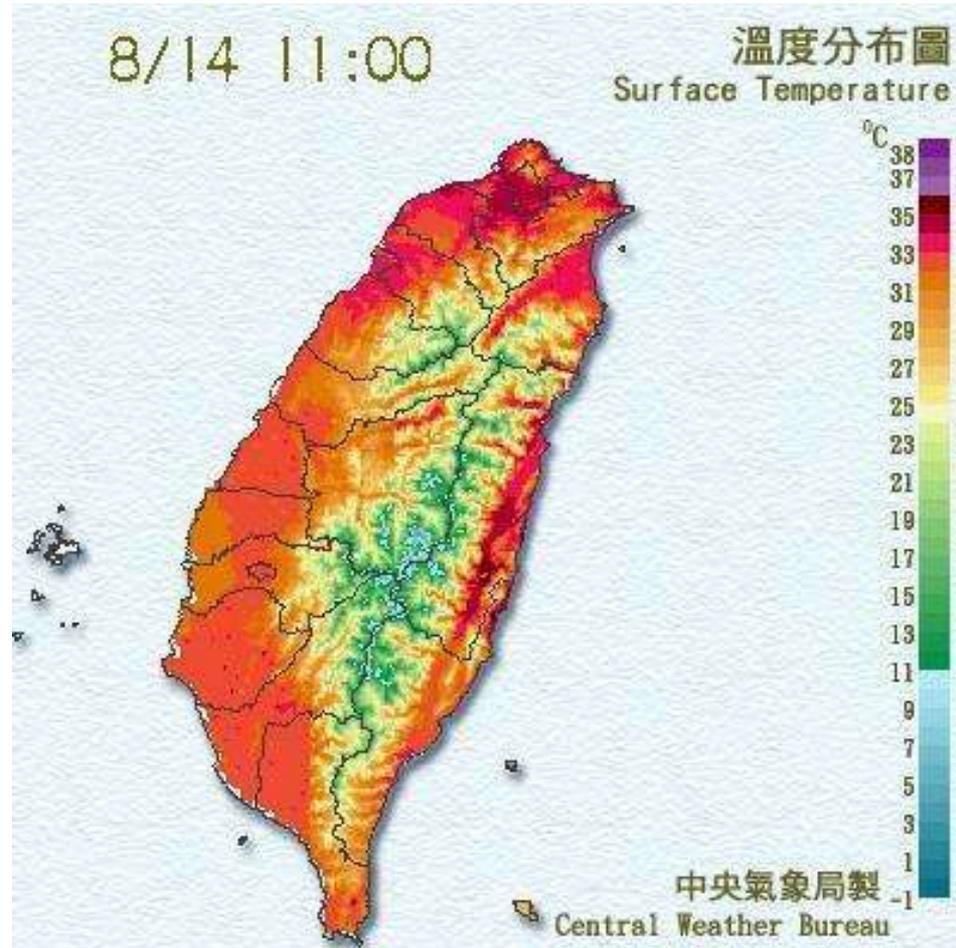
SMA実績紹介



台湾

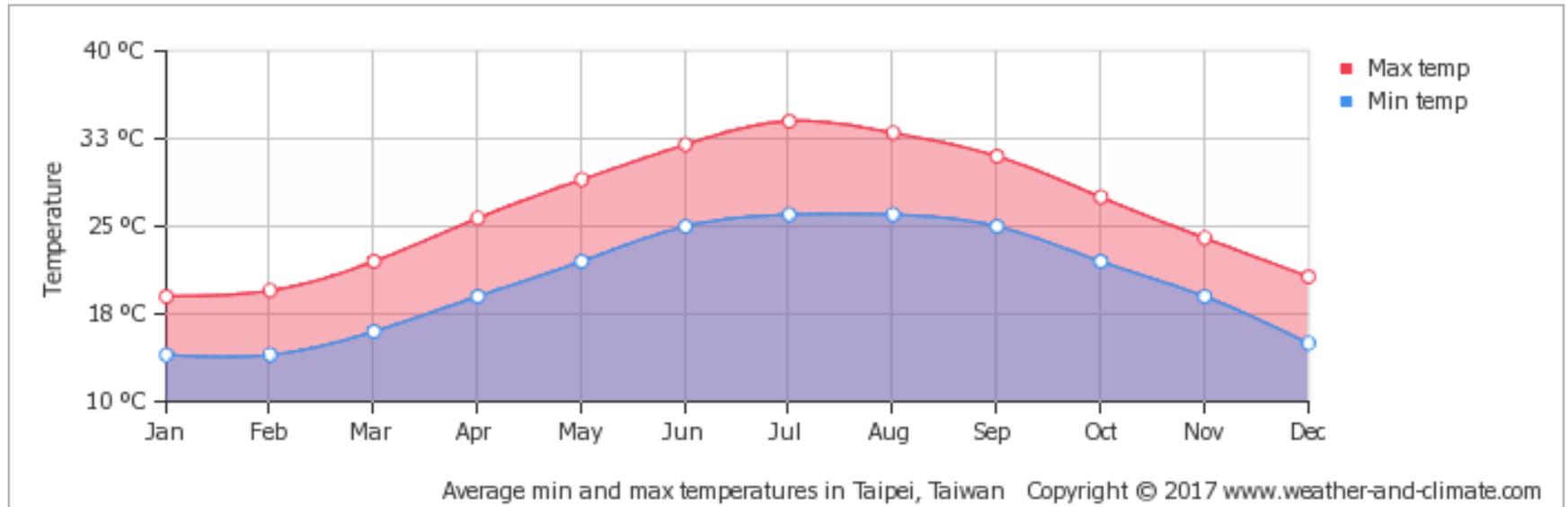
台湾の空港でもSMAが使用された実績がある

SMA実績紹介



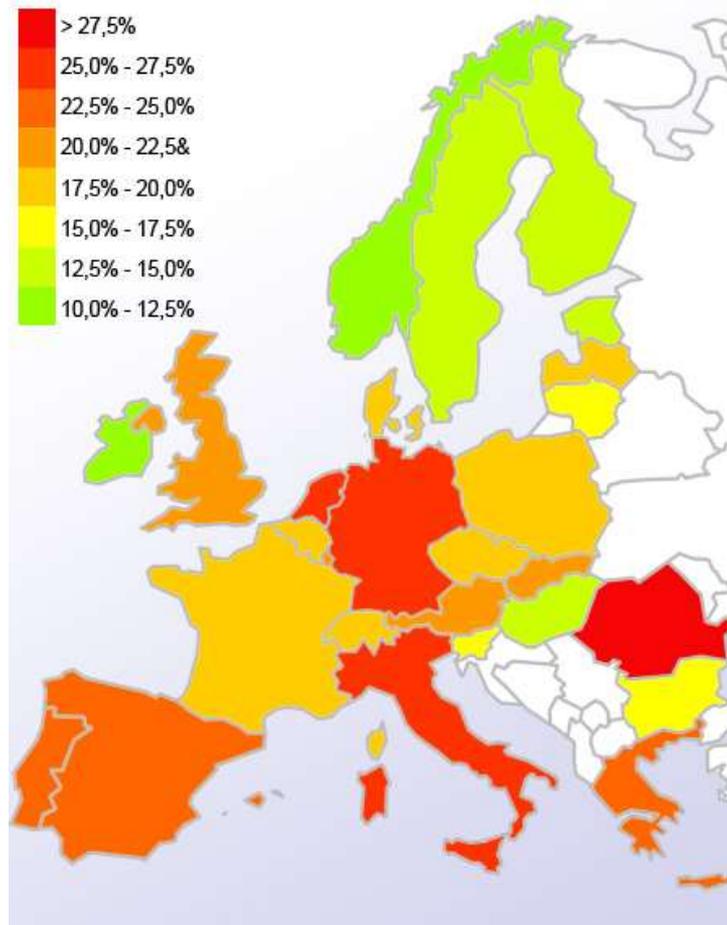
台灣

SMA実績紹介



台灣

騒音



騒音に苦しむ人口の割合

Source: Eurostat

PAとSMAの組み合わせ

PA

SMA plus

SMA

- 信頼できるプロセス
- 施工、取り扱いが簡単
- シンプルな排水システム
- 長い舗装寿命(20年以上)
- ライフサイクルコストの削減
- 騒音削減

騒音低減SMA – SMA Plus



騒音低減SMA – SMA plus 規格

SMA plus		SMA plus 8	SMA plus 5
Materials			
Aggregates (production size)			
Ratio crushed aggregate surface		$C_{100/0} : C_{85/1} : C_{90/1}$	$C_{100/0} : C_{95/1} : C_{90/1}$
Resistance to crushing		SZ_{18} / LA_{20}	SZ_{18} / LA_{20}
Resistance to polishing		PSV _{specified} (51)	PSV _{specified} (51)
Minimum part of fine aggregates 0/2 with E _{CS} 35		100	100

Composition of Asphalt Mixture			
フルイ目呼び寸法			
11.2 mm	% by weight	100	
8 mm	% by weight	90 - 100	100
5.6 mm	% by weight	20 - 30	85 - 100
2 mm	% by weight	15 - 20	20 - 30
0.063 mm	% by weight	6 - 8	7 - 10

使用する粗砕石はSMAの規格と同じ

騒音低減SMA – SMA plus 規格

Binder			
Binder, type and grade		40/100-65 45/80-50 (25/55-55)	40/100-65 45/80-50 (25/55-55)
Minimum binder content ¹ (factor α)	% by weight	B_{min} 6.6	B_{min} 7.0
Binder volume	Vol.-%	is to be specified	is to be specified
Stabilizing additive (cellulose fibers)	% by weight	≥ 0.3	≥ 0.15

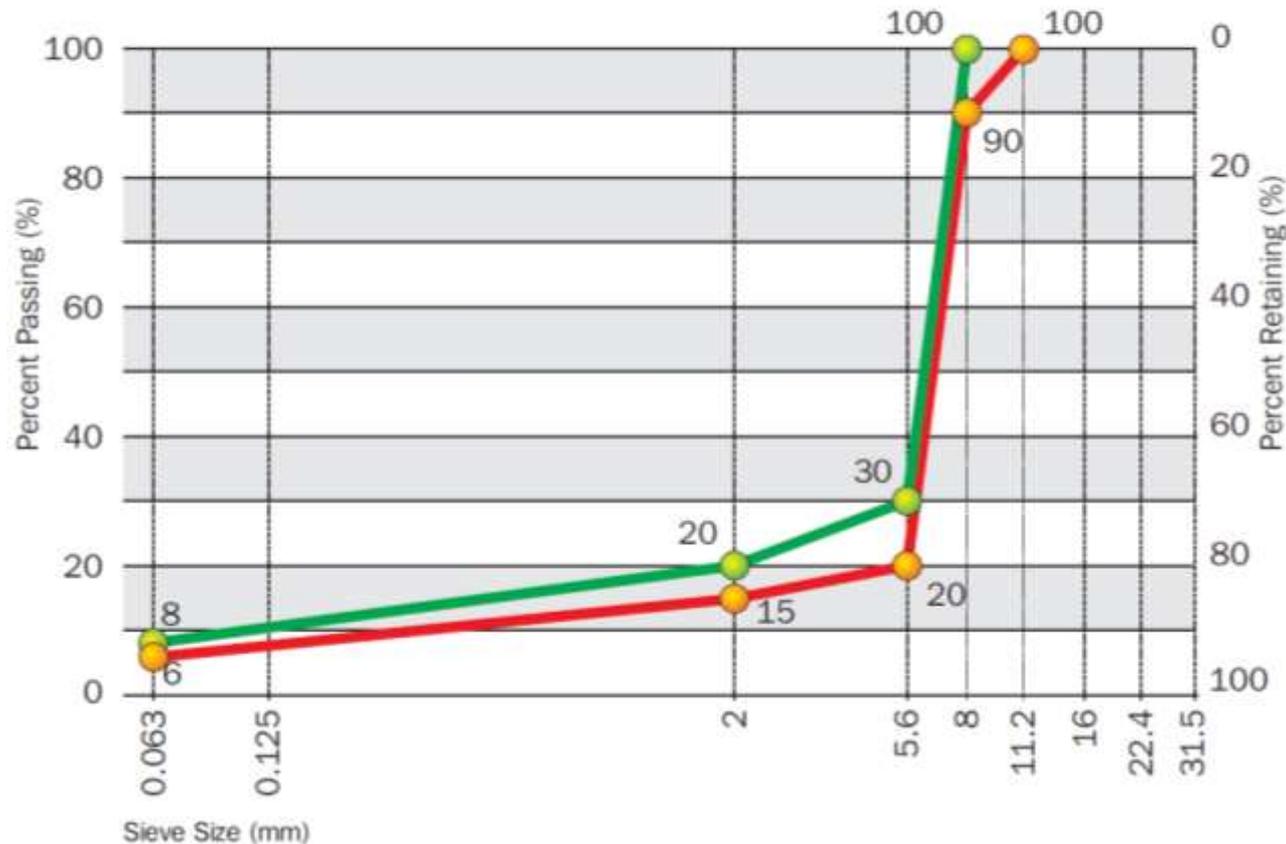
¹ factor α considers the density of the aggregate mixture

Asphalt Mixture			
マーシャル試験 最小空隙率	Vol.-%	V_{min} 9.0	V_{min} 9.0
マーシャル試験 最大空隙率	Vol.-%	V_{max} 11.0	V_{max} 11.0
空隙中のアスファルト率	%	is to be specified	is to be specified
きめ深さ	%	is to be specified	is to be specified

Characteristics of Layer		舗装厚を薄くでき、コストダウンが可能	
舗装厚	cm	2.5 - 4.0	2.0 - 3.0
締固め度	%	≥ 97.0	≥ 97.0
空隙率	Vol.-%	9.0 - 14.0	9.0 - 14.0
平滑性	mm	≤ 3	≤ 3

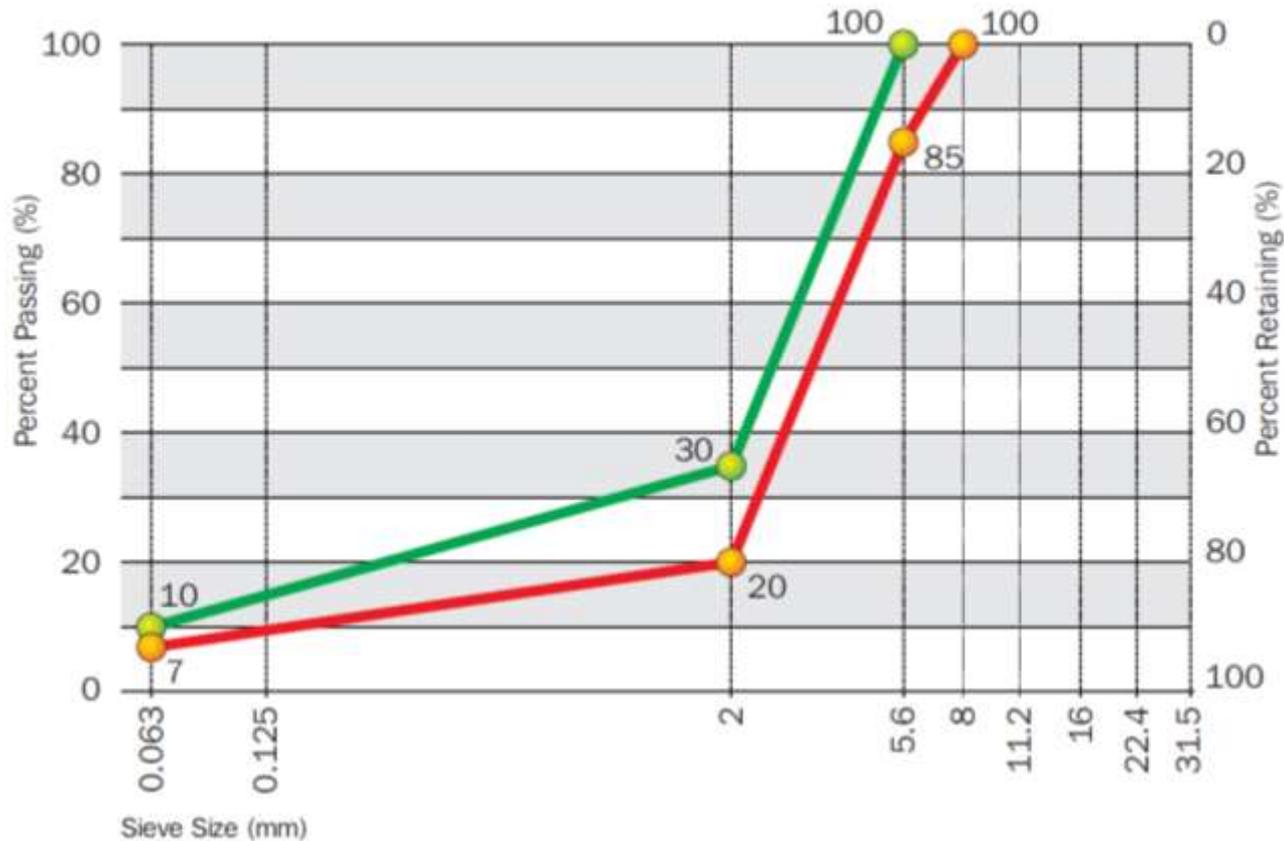
騒音低減SMA – SMA plus規格 骨材配合比

SMA plus 8



騒音低減SMA – SMA plus規格 骨材配合比

SMA plus 5



騒音低減SMA – SMA plusの実績



騒音低減SMA – SMA plusの実績



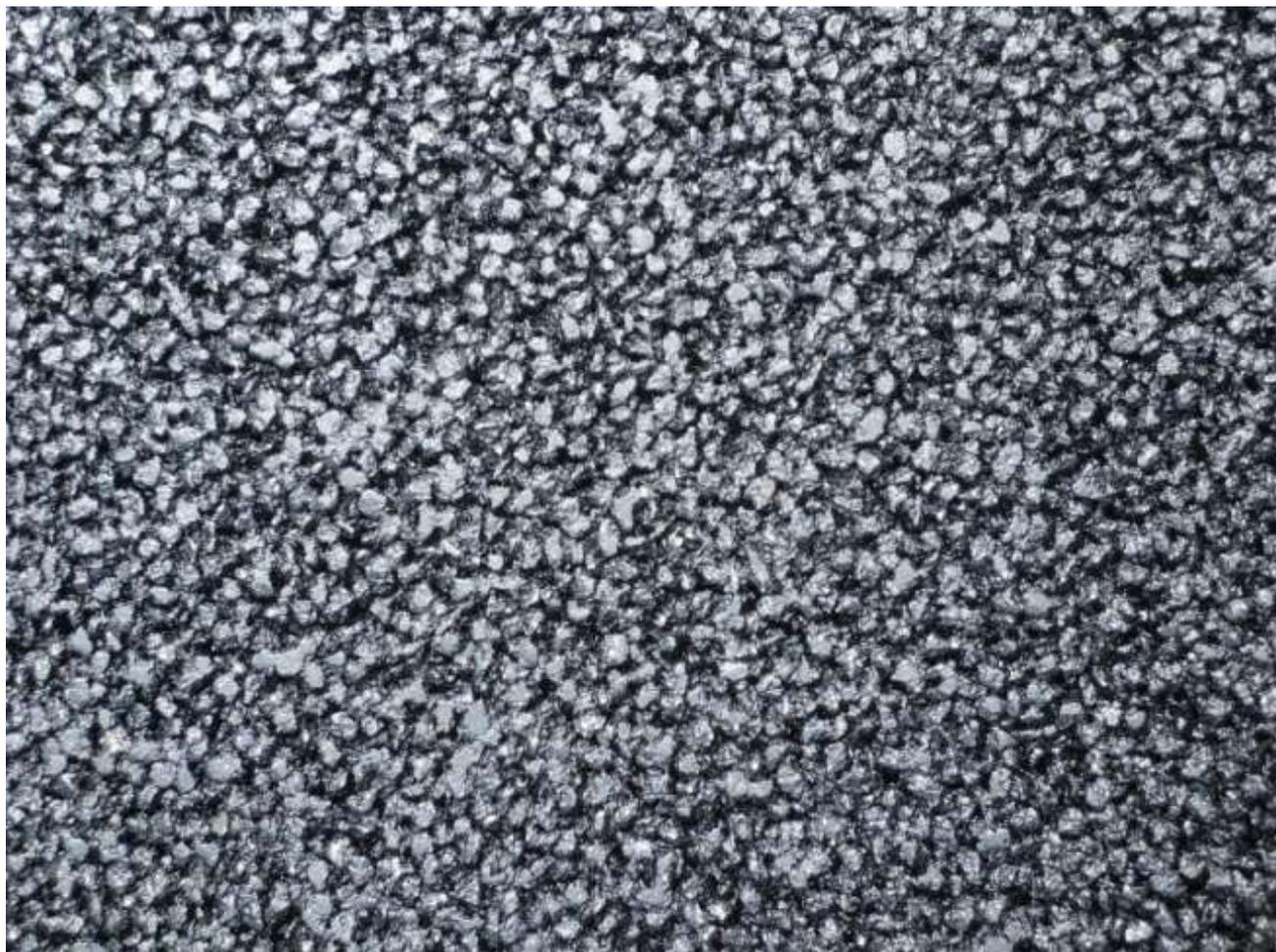
騒音低減SMA – SMA plusの実績



騒音低減SMA – SMA plusの実績

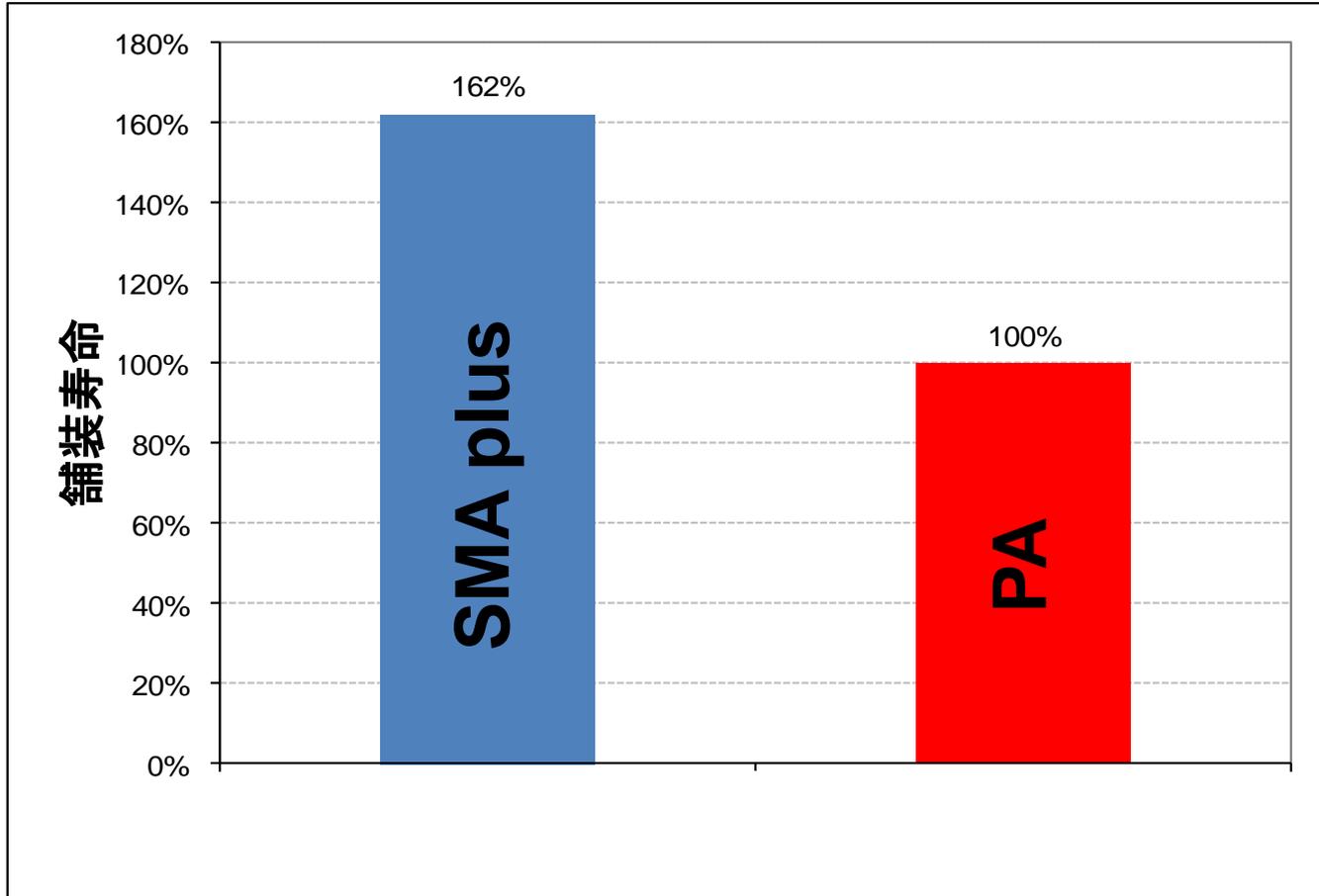


騒音低減SMA – SMA plusの実績



騒音低減アスファルト舗装

	PA 8	SMA plus 8
骨材の特殊仕様	Yes PSV (min. 53) SI 3:1 min. 92%	No PSV (min. 51) SI 3:1 min. 80%
バインダー	40/100-65 A	40/100-65 A
バインダー含有量	≥ 6.5%	≥ 6.6%
植物性繊維	≥ 0.5 % by weight	≥ 0.3 % by weight
中間層均一性	≤ 3 mm	≤ 4 mm
中間層材料	AC 22 B S, AC 16 B S AC 16 B S - Typ SMA	AC 16 B S SMA 16 B C
タックコート	2,000 g/m ²	350 – 500 g/m ²
層厚み	4.5 – 5.5 cm	2.5 – 3.5 cm
初期費用(タックコート含む)	€ 15.00 / m ²	€ 6.50 / m ²
寿命	8 – 10 years	14 – 16 years



騒音低減SMA – SMA plusの実績



騒音低減SMA – SMA plusの実績



騒音低減SMA – SMA plusの実績



騒音低減SMA – SMA plusの実績



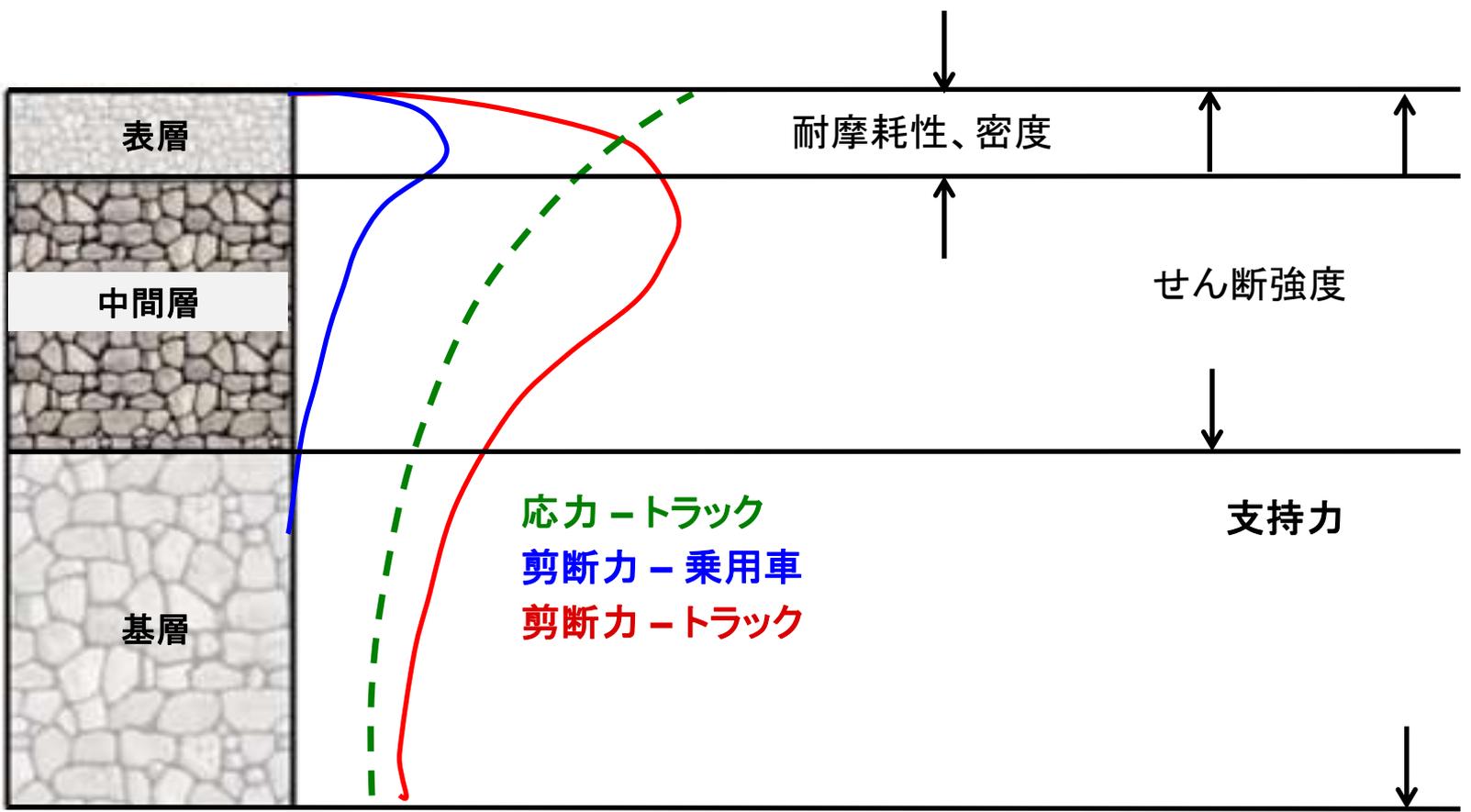
SMA Binder Course (BC) - SMA中間層



ドイツの交通事情



舗装各層への荷重のかかりかた



デメリット



デメリット



デメリット



ブリストラー

デメリット



SMA B C - SMA中間層 規格

SMA B C		SMA 22 B C	SMA 16 B C
Materials			
Aggregates (production size)			
Ratio crushed aggregate surface		$C_{100/0} ; C_{95/1} ; C_{90/1}$	$C_{100/0} ; C_{95/1} ; C_{90/1}$
Resistance to crushing		SZ_{18} / LA_{20}	SZ_{18} / LA_{20}
Minimum part of fine aggregates 0/2 with $E_{CS} 35$	%	100	100

Composition of Asphalt Mixture			
Aggregate mixture			
Passing sieve	31.5 mm	% by weight	100
Passing sieve	22.4 mm	% by weight	90 - 100
Passing sieve	16 mm	% by weight	65 - 75
Passing sieve	11.2 mm	% by weight	50 - 60
Passing sieve	8 mm	% by weight	-
Passing sieve	2 mm	% by weight	23 - 28
Passing sieve	0.063 mm	% by weight	6 - 10

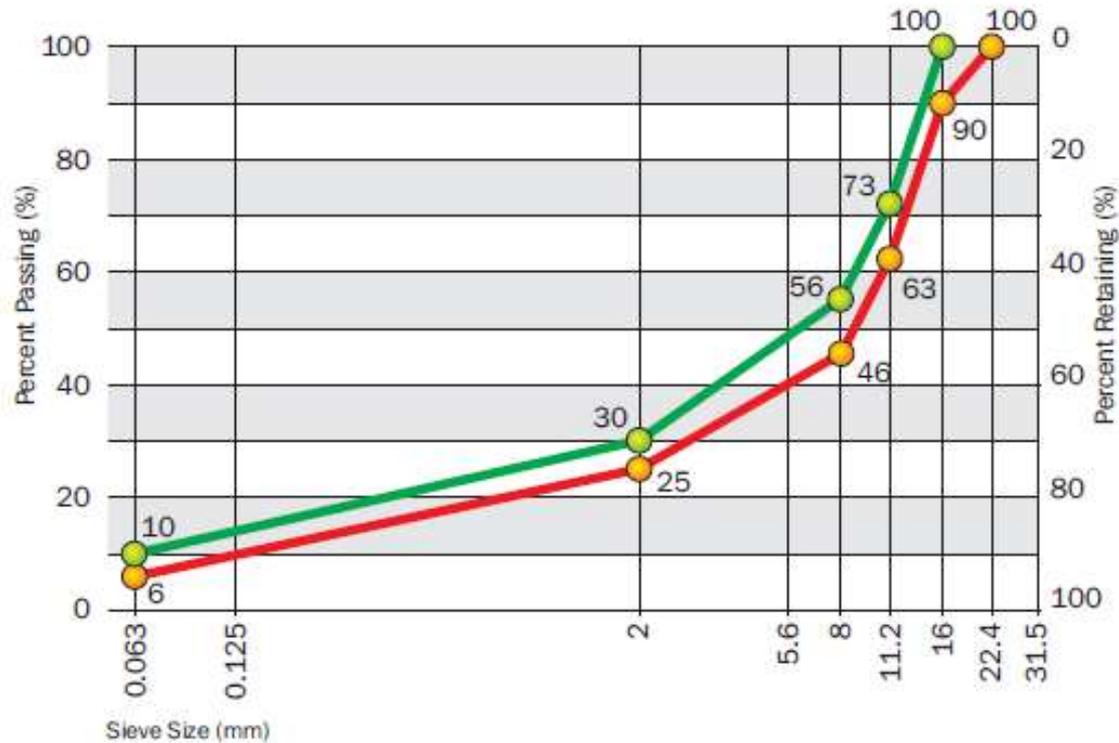
SMA B C - SMA中間層 規格

SMA B C		SMA 22 B C	SMA 16 B C
Asphalt Mixture			
Minimum void content Marshall-Specimen	Vol.-%	$V_{min} 3.0$	$V_{min} 3.0$
Maximum void content Marshall-Specimen	Vol.-%	$V_{mat} 4.0$	$V_{mat} 4.0$
Binder volume	Vol.-%	is to be specified	is to be specified
Voids filled with bitumen	%	is to be specified	is to be specified
Proportional rut depth	%	$PRD_{Av} 5.0$	$PRD_{Av} 5.0$

(...) in exceptions

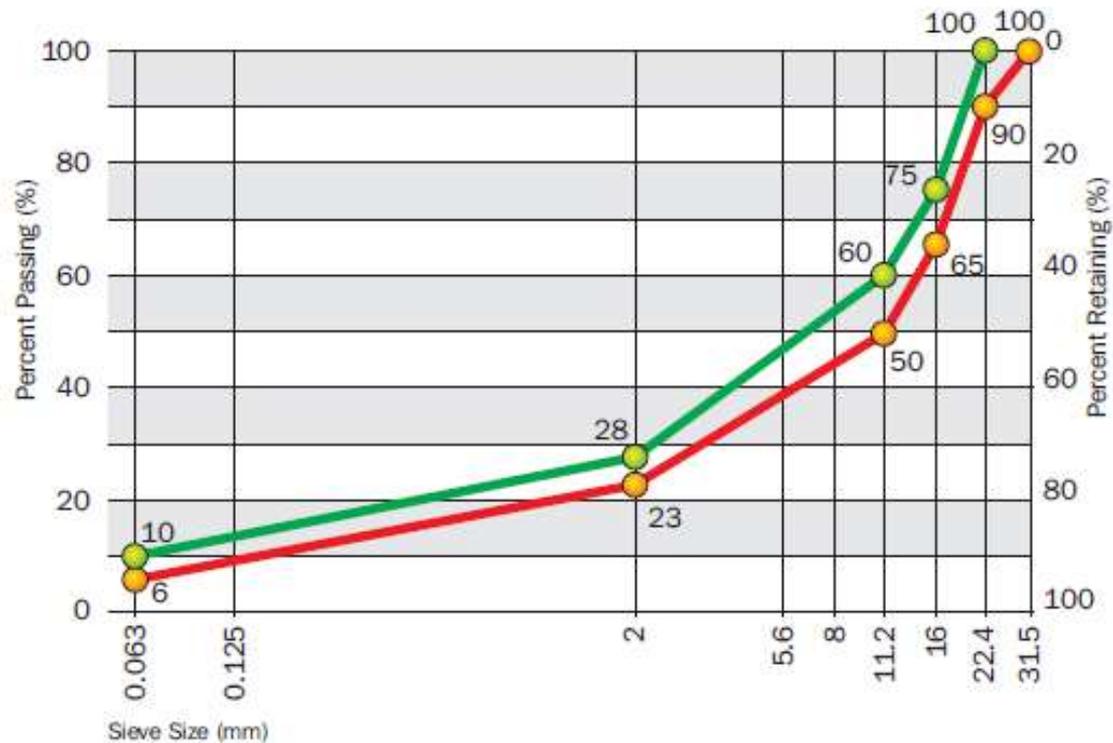
SMA B C - SMA中間層 規格 骨材配合比

SMA 16 B C



SMA B C - SMA中間層 規格 骨材配合比

SMA 22 B C



SMA B C - SMA中間層 規格

SMA B C		SMA 22 B C	SMA 16 B C
Characteristics of Layer			
Paving thickness	cm	9.5 - 12.0	6.0 - 9.5
Degree of compaction	%	≥ 98.0	≥ 98.0
Void content	Vol.-%	1.5 - 5.5	1.5 - 5.5

SMA B C - SMA中間層 実績



SMA B C - SMA中間層 実績



SMA B C - SMA中間層 実績



SMA B C - SMA中間層 実績



SMA B C - SMA中間層 実績



A dramatic sunset with a red and orange sky, silhouettes of trees, and a building with a window.

SMA

Do it right
or just don't do it!