

V-6 薄層化橋面舗装の施工性能向上に関する調査

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）
 研究期間：平 14～平 15
 担当チーム：舗装チーム
 研究担当者：伊藤正秀、新田弘之

【要旨】

長大橋の建設コスト削減方策のひとつとして、橋面舗装の薄層化により死荷重の軽減を図る方法が考えられる。通常は二層構造の橋面舗装を薄層化するためには、一層構造での対応が考えられるが、このためには一層で二層両方の機能を有する必要がある。これまでの検討により、これに適した混合物として砕石マスチックアスファルト混合物（SMA）が有効であるが、橋面では、アスファルト混合物の早期温度低下が起りやすく、十分な機能が得られないことがあることが分かっている。このため、施工時の温度低下を考慮した混合物配合や舗装構造を開発する必要がある。

本調査では、薄層化橋面舗装用混合物としての SMA について混合物配合、締固め温度を変化させて水密性や床版との付着性、端部の防水性への影響、経済性などを検討した。その結果、橋面用 SMA 混合物の選定には締固め性・接着性へ影響を考慮する必要があり、接着性の向上には防水材料の利用、施工不良の防止には中温化技術の利用が有効であることなどがわかった。また、経済性については、SMA 混合物の使用により舗装の死荷重軽減に寄与することが確認され、また舗装工だけでもコスト削減になることが分かった。

キーワード：橋面舗装、砕石マスチックアスファルト、防水性、中温化技術、繰返しせん断

1. はじめに

鋼床版における橋面舗装は通常、表層に密粒度アスファルト、基層にグースアスファルトを用いた二層構造で施工が行われている。しかし、長大橋の建設コストの削減のためには、死荷重軽減のために橋面舗装の薄層化が必要である。橋面舗装の薄層化に当たっては、これまでの検討¹⁾より砕石マスチックアスファルト（以下 SMA と示す）を一層で用いる方法が有効であることが分かっている。

しかし、橋面上で舗装を施工する場合、混合物の締固め不足を引き起こしやすく、その原因として図-2に示すように放熱のための急激な温度低下が影響していると考えられている。また、一方では混合物の温度低下が鋼床版との付着力を低下させる可能性もある。さらには、舗装端部において締固め温度の低下、転圧が困難などの理由で水密性が不十分にな

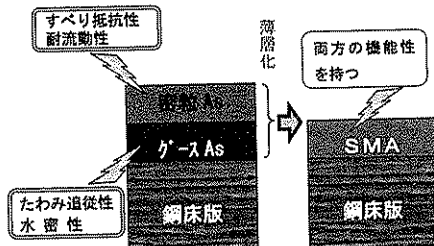


図-1 橋面薄層舗装のイメージ

る可能性もある。

そこで、平成14年度は、橋面での施工を考えた温度低下に対する配合の検討、温度低下が懸念される場合の対策について検討を行った。平成15年度は、橋面との接着性向上技術や端部の処理方法について検討を行い、薄層化橋面舗装の施工性向上のための方策をまとめたので報告する。

2. 薄層化橋梁舗装用 SMA 混合物の配合

SMA 混合物は、骨材配合により様々な性質を示すため、薄層化橋面舗装に適した骨材配合の検討を行った。

SMA の骨材配合は、2.36mm ふるい通過分の率を 20.0、22.5、25.0、27.5、30.0% の 5 種類検討を行った。骨材の配合率を決めるに当たっては、まず使用する粗

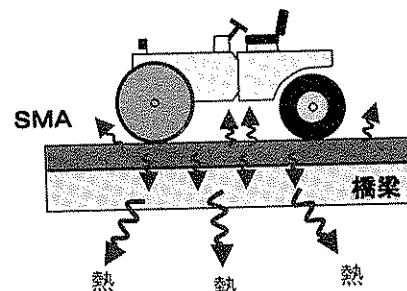


図-2 鋼床版の放熱のイメージ

表-1 検討した SMA 混合物の配合

骨材	2.36mm フライの通過質量百分率				
	20.0%	22.5%	25.0%	27.5%	30.0%
6号砕石	68.0	66.0	64.0	61.0	59.0
7号砕石	12.0	11.5	11.0	11.0	10.0
細砂	4.5	5.5	6.5	8.5	9.5
砕砂	4.5	5.5	6.5	8.5	9.5
石粉	11.0	11.5	12.0	11.0	12.0
フライ目 (mm)	合 成 粒 度				
19.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
13.2	97.8	97.8	97.9	98.0	98.1
9.5	82.7	83.2	83.7	84.5	85.0
4.75	37.2	39.0	40.9	43.6	45.6
2.36	20.3	22.6	24.8	27.4	30.0
0.60	16.7	18.4	20.1	21.7	23.9
0.30	13.8	15.0	16.0	16.3	17.9
0.15	11.5	12.1	12.8	12.2	13.4
0.075	8.5	8.8	9.2	8.6	9.5

骨材である6号砕石と7号砕石が最も密なる配合比率を骨材のみの試験により求め、その粗骨材配合率における細骨材の配合比率をアールト混合物の密度測定によって求めた。これらにより求めた骨材の配合率及び合成粒度の一覧を表-1に示す。

表-1の配合でのSMAの混合物性状の試験結果を表-2に示す。ここで、目標値は本四公団の基準値^りや舗装の耐久性を考慮して決めた。表に示すように、すべり抵抗値は若干低いものの全ての配合でおおよそ目標値を満足した。従って、目標通りに施工ができれば、どの配合も適用の可能性はあるが、橋面舗装では施工上の問題があるため、これを考慮して選定することにした。

3. 施工を考慮した混合物の選定

3.1 締固め温度の低下による影響

橋面上では、図-2で示したように通常の舗装より

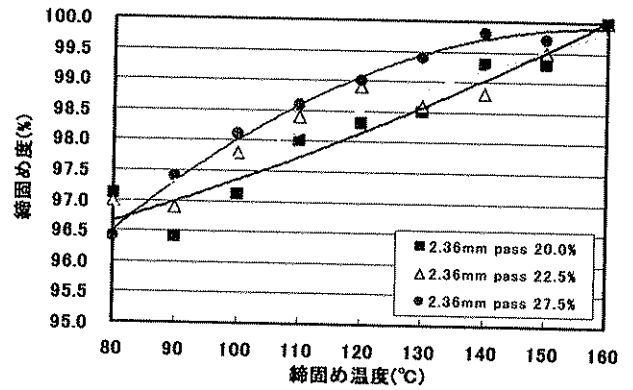


図-3 締固め温度の低下による締固め度の変化

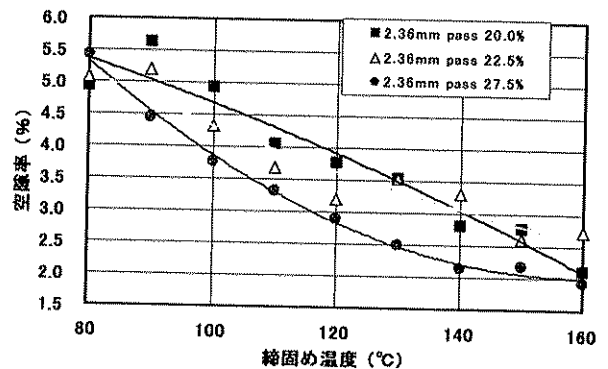


図-4 締固め温度の低下による空隙率の変化

も放熱しやすいため、施工温度の低下につながり、締固め不足などによる機能低下が懸念される。そこで、締固め温度を変えてマーシャル試験供試体を作成し、締固め温度低下による影響を検討した。

検討には、2.36mm 通過分 20.0%、22.5%、27.5%の3種類を用いた。

図-3、4に示すように、締固め温度が低下することにより、締固め度の低下、空隙率の増大が見られた。また、影響の度合いは混合物によって異なり、粒度の粗い2.36mm 通過分 20.0%のSMA混合物は特に締固め温度の低下の影響が大きかった。

表-2 混合物性状試験の結果

2.36mm pass 項 目	20.0%	22.5%	25.0%	27.5%	30.0%	目標値	
	試 験 値						
アスファルト量 (%)	6.9	6.6	6.4	6.3	6.2	-	
密 度 (g/cm ³)	2.358	2.371	2.380	2.384	2.397		
理論最大密度 (g/cm ³)	2.421	2.432	2.439	2.443	2.448		
空 隙 率 (%)	2.6	2.5	2.4	2.4	2.1		
骨材間隙率 (%)	18.3	17.6	17.2	16.9	16.5		
飽 和 度 (%)	85.8	85.8	85.9	85.7	87.4		
安 定 度 (kN)	8.1	8.8	9.0	10.3	9.9		
フロー値 (1/100cm)	33	35	37	50	49		
残留安定度 (%)	96.4	94.6	85.5	85.4	94.9		75%
動的安定度 (回/mm)	6,300	7,800	7,000	6,300	3,900		3,000以上
透水係数 (cm/sec)	不透水	不透水	不透水	不透水	不透水		1×10 ⁻⁷ 以下
破断ひずみ	6.2×10 ⁻³	6.2×10 ⁻³	5.8×10 ⁻³	6.5×10 ⁻³	6.2×10 ⁻³		6×10 ⁻³ 以上
すべり抵抗値 60km/h	0.38	0.33	0.34	0.38	0.36		0.4以上

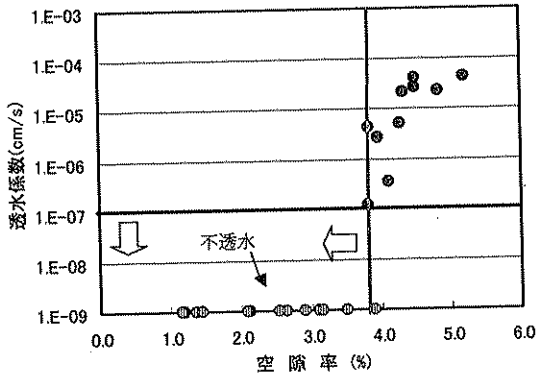


図-5 空隙率と透水係数

空隙率の増大は、水密性の低下につながるため、異なる空隙率の SMA 混合物を作製し、加圧透水試験により透水係数を調べた。結果を図-5に示す。図のように空隙率 3.8%以下であれば不透水となることが分かった。従って、SMA の選定に当たっては、締め固めやすく、また空隙率が 3.8%以下 (4cm の場合) になるように施工することが良いことが分かった。

3.2 締め固め温度の低下への対策

締め固め温度が低下すると空隙率の増大につながり、水密性が確保できない問題があることが分かった。このため、温度が低下しても締め固めが可能な中温化技術について検討を行った。

図-6に中温化剤を添加しない場合と添加した場合の締め固め特性の違いについて示す。中温化剤を使用することにより、温度が低下しても締め固め性が向

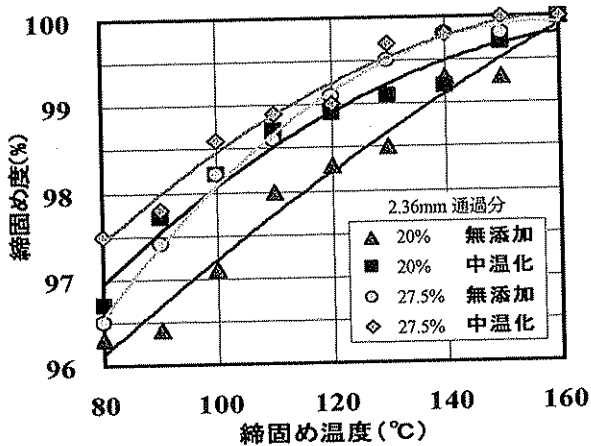


図-6 中温化剤の締め固め度への影響

表-3 水密性を確保するのに必要な締め固め温度

		締め固め温度 (°C)				
		80	100	120	140	160
2.36mm 通過分	20.0%		←			→
	22.5%		←			→
	27.5%	←				→

→ 中温化剤なしで水密性確保が可能
←..... 中温化剤により水密性確保が可能

表-4 鋼床版上の突起物

		高さ
ボルト	高力ボルト +座金	呼び M20 17.5mm
		呼び M22 20mm
		呼び M24 21mm
溶接	溶接余盛り	ビード幅 B<15 のとき h≤3
		ビード幅 15≤B<25 のとき h≤4
		ビード幅 25≤B のとき h≤(4/25)・B
リップ間平坦性		≤2mm
吊りピース残部		≤5mm

上し、特に粒度が粗い 2.36mm 通過分 20.0% の SMA 混合物の締め固め性が大きく向上した。

表-3に中温化剤を添加しない場合と添加した場合における水密性が確保できる締め固め温度についてまとめた。粒度の粗い SMA 混合物は中温化剤を添加することで、締め固め温度が 110°C程度まで低下しても水密性が得られるようになり、施工性が非常に向上することが分かる。

4. 舗装厚さの変化に関する検討

4.1 舗装厚さの変動要因

ボルトや溶接跡など局所的な舗装厚さの変動が発生すると破損や機能低下の原因になる。鋼床版上の突起物について表-4にまとめた。高力ボルトの場合、最大で 21mm の高さがあり、ボルトを使用した橋梁には薄層化舗装は困難であることが予想される。表の中で最も大きな凸部となる溶接余盛りは、ビード幅によるが、5mm 程度を見ておけば良いと考えられる。また、舗装の厚さの合格判定値は、設計厚さより-7mm まで (個々の測定値の場合) とするのが一般的であるため、溶接による鋼床版の場合、12mm までの厚さ変動に耐えられる舗装とする必要がある。

4.2 舗装厚さによる水密性の変化

舗装厚さの変動の影響について検討を行った。舗装厚さを 2.0~4.0cm 変化させて加圧透水試験を行い、それぞれの厚さで不透水となる空隙率を求めた。結果を図-7に示す。図より、舗装厚さが薄くなるほど不透水とするためには空隙率を小さくする必要がある。仮に空隙率 3% となるように施工が行われた場合、今回のデータの最下限で見ると、最低でも 3.4cm の舗装厚を確保する必要があることが分かる。

4.3 ボルトによる影響

ボルトを使用した鋼床版に薄層化舗装を施工した場合、ボルトの部分だけかぶり厚さが薄くなり、耐久性や水密性に影響が出る可能性がある。このため、ボルト上にかぶり厚さが変わるように舗装を施工し、耐久性、水密性への影響を見た。水密性を検討した

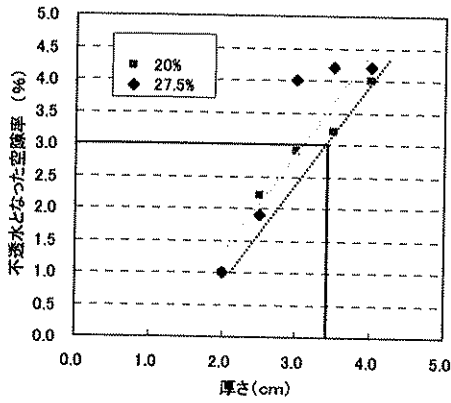


図-7 不透水となる空隙率の厚さによる違い

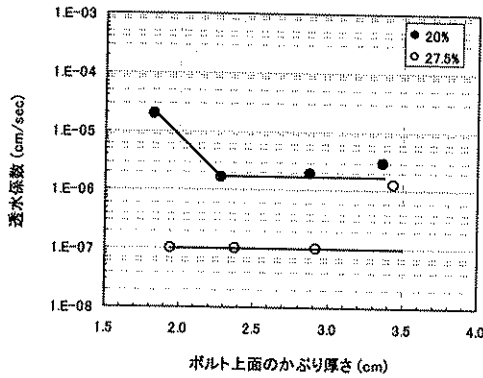


図-8 ボルト上のかぶり厚による透水係数の違い

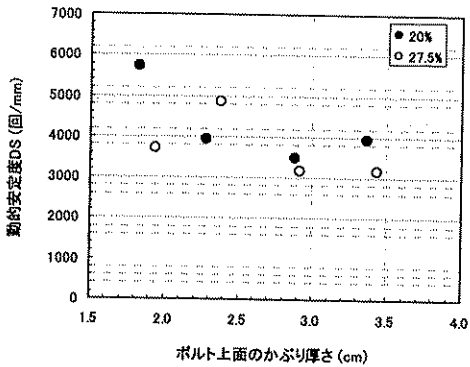


図-9 ボルト上のかぶり厚による動的安定度の違い

結果を図-8に示す。混合物の粒度によって異なり、粒度が粗い 2.36mm 通過分 20.0%の SMA 混合物では、ボルトの影響が大きく、水密性を確保することは難しい。特に 2.3cm 以下では透水係数が非常に大きくなった。これに対し、2.36mm 通過分 27.5%の SMA 混合物では、ボルトの影響はあまり見られず、ボルトのような局所的な厚さ不足の影響は小さかった。また、図-9に示すように耐流動性については、かぶり厚さの影響はあまりなかった。

5. 繰返しせん断抵抗性の検討

車両の走行により舗装は繰返しせん断を受けることから、接着層の繰返しせん断に対する抵抗性につ

表-5 試験に用いた接着層

No.	接着層	概要
1	接着剤のみ	一般的に鋼床版上で用いられる接着剤を施した。
2	シート系防水材	1.の接着剤の上に一般的に床版上で用いられるシート系の防水材を施したものの。
3	塗膜系防水材 1	1.の接着剤の上に一般的に床版上で用いられるアスファルト系塗膜防水材を施したものの。
4	塗膜系防水材 2	1.の接着剤の上に延性を強化したアスファルト系塗膜防水材を施したものの。
5	塗膜系防水材 3	1.の接着剤の上に弾性を強化したアスファルト系塗膜防水材を施したものの。

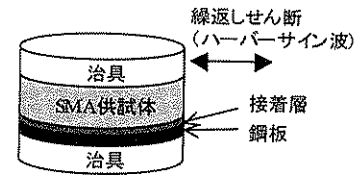


図-10 繰返しせん断試験の概要

いて検討した。繰返しせん断による試験は、特に標準的な試験方法がなかったため、図-10に示すような試験機を用いて 150mmφの鋼板上に表-5に示す各種接着層(接着剤、接着剤+防水材)を設け、その上に締固め温度を変えて SMA 混合物を舗設したものを供試体とし、100kPaの応力で繰返しせん断試験を行った。結果を図-11~13に示す。

締固め温度が低くなると一様に破壊回数が減少し、接着性が悪くなることが分かる。本試験で通常橋面舗装に用いられるグースアスファルトの結果と比較すると、鋼板上に接着層だけを施し、SMA 混合物を舗設したものは、適正な施工温度でもグースアスファルトと同程度の破壊回数を得ることが難しいことが分かる。また、塗膜系防水材 2も接着力が小さかった。塗膜系防水材 3は非常に接着性がよく、他の防水材の 10倍程度の抵抗性が見られた。

混合物の違いについては、粒度の粗い 2.36mm 通過分 20%の混合物は、防水材の効果が大きくなった。これは、粒度が粗いため、粗骨材と防水材がかみ合い、機械的な強度も増したためと考えられた。

中温化剤の影響については、図-13に示すように破壊回数の向上は見られず、接着性の向上には寄与しないと考えられた。これは、防水材も混合物の温度により多少溶融し、接着しているが、中温化剤を用いても防水材側の溶融にはつながらないためと考えられた。

以上より、グースアスファルト並の接着力を確保するためには、通常用いられる接着剤のみでは難し

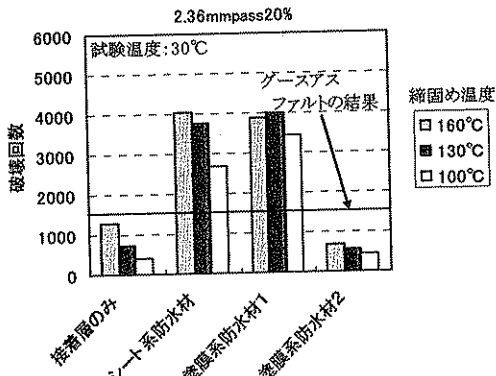


図-11 繰返しせん断試験における破壊回数 (20%)

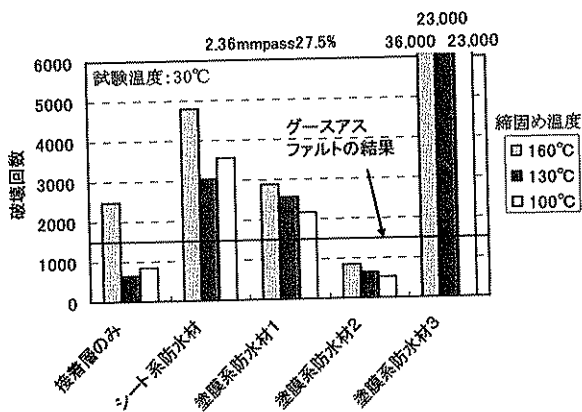


図-12 繰返しせん断試験における破壊回数 (27.5%)

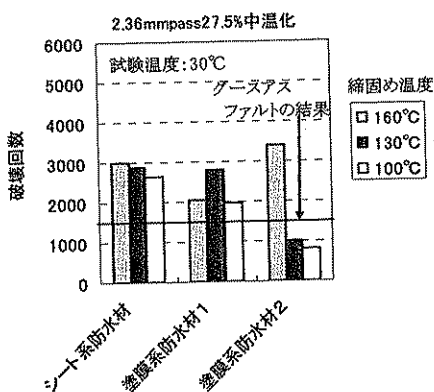


図-13 繰返しせん断試験における破壊回数 (中温化)

く、防水材料のような多少厚みのある材料を利用して機械的なかみ合わせによる接着力の強化を行うことが有効であることが分かった。また、中温化を行った場合、SMA 混合物の性状は向上するが、接着力は向上しないため、中温化剤を利用した場合でも敷均し温度、初期転圧温度は下げないようにするべきであることが分かった。

6. 舗装端部の防水対策

舗装端部においては、図-14 に示すように粗骨材が壁面に直接当たるため、空隙が生じやすい。この

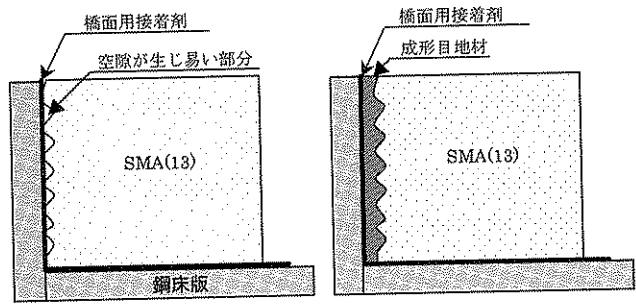


図-14 舗装端部の防水対策

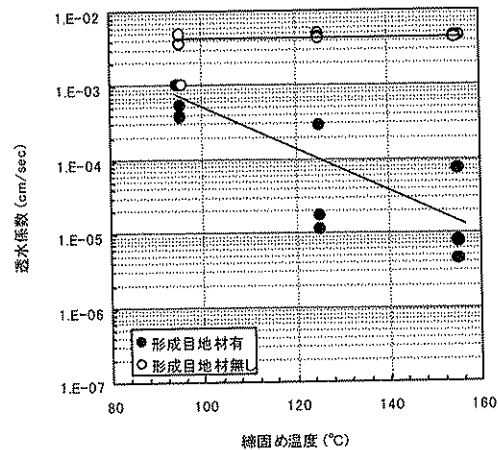


図-15 形成目地材の防水性 (20.0%)

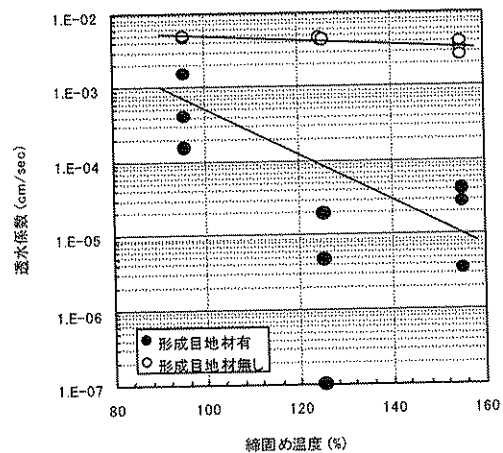


図-16 形成目地材の防水性 (27.5%)

ため、形成目地材を予め施す場合が多いが、その防水効果について確認を行った。形成目地材を施した場合と施さない場合について、縮固め温度を変えて試験を行った。結果を図-15, 16 に示す。

図より、形成目地材を施さない場合は、全く防水性はないことが分かる。形成目地材を施した場合、縮固め温度により透水係数が異なり、縮固め温度が高い方が防水性が高いことが分かる。これは、形成目地材が混合物の温度により熔融し、骨材間を充填し機能を発現するためであり、温度が低いとこれが

不十分になるためである。

舗装端部においては、車両の走行がないため、混合物に要求する防水性と比べて多少小さくてよいと考えられる。仮に $1 \times 10^4 \text{cm/s}$ 程度必要だとすれば、舗装端部の混合物温度は 120°C 以上必要となる。

7. 経済性に関する検討

7.1 舗装の低コスト化

表-6 に検討した構造の直接工事費を示す。なお、本検討では、防水材の一部に市販されていない配合のものも用いている。これについては単価が分からないので、現在市販されている防水材の単価についてのみ計上している。

比較は、現在鋼床版で通常用いられるグースアスファルトを基層、表層を密粒度混合物とした場合とした。ケース1では防水材は用いず、接着層のみの場合とした。この場合、従来の構造の約半分の直接工事費となる。しかし、5.の繰返しせん断試験による検討で示したとおり、この構造でグースアスファルト並の接着性を出すのは難しく、気温が高く、非常に厳しい施工管理下でないと実現性が低い。

ケース2と3は、防水材を設けた場合であるが、通常市販されている防水材でも十分な接着性が得られており、通常と比べて $700 \sim 1,000 \text{円/m}^2$ 程度コストが少なく、明石海峡大橋で試算すると $59 \sim 84$ 百万円程度コストを抑えることができると考えられる。

7.2 死荷重の軽減



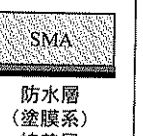
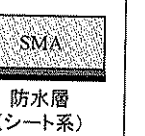
4.2 の検討により、最薄部で 3.4cm を確保する必要があるが、また4.1の検討により最厚部から -1.2cm まで厚さが変動する可能性があることが分かった。従って、十分な防水性を確保するためには、 4.6cm を設計厚さにする必要がある。従って、 4.6cm の舗装厚とした場合の死荷重の軽減量を計算すると、約47%の死荷重軽減となる。これを明石海峡大橋で試算した場合、舗装の重量は17千トンから9千トンになり8千トンの死荷重軽減が可能となることが分かった。

8. まとめ

以上の結果をまとめると以下のようなものである。

- 薄層化橋面舗装用混合物としては、SMA混合物が適しており、温度低下の影響を受けにくかった 2.36mm ふるい通過分が27.5%の配合のものが有

表-6 薄層化舗装の直接工事費

	比較 (従来型)	ケース1 (防水層なし)	ケース2 (塗膜防水材)	ケース3 (シート防水材)
構造				
合計 (直工)	約 $5,500 \text{円/m}^2$	約 $2,300 \text{円/m}^2$	約 $4,500 \text{円/m}^2$	約 $4,800 \text{円/m}^2$

効であった。

- 水密性は、空隙率と厚さの影響を受けるため、この両方を考慮して決定する必要がある。
- SMA混合物は締固め温度の低下により機能が発現できない場合があるため、必要に応じて中温化剤の利用などの対策を行う。
- SMA混合物は厚さが不足すると機能が発現できないので、最低厚さを 3.4cm 以上とし、床版上の不陸、舗装施工精度を考慮すると、設定厚さは 4.6cm 以上の厚さとする必要がある。
- 接着剤のみでは必要な接着強度が得られない場合があるため、防水材を用いることが有効である。
- 舗装端部は、必ず予め形成目地材を施し、高い混合物温度で熔融する必要がある。
- 舗装工のコストは、防水材を使用しないと $1/2$ 程度、防水材を使用すると $700 \sim 1,000 \text{円/m}^2$ 程度コストを低減できる。
- 薄層化により死荷重は47%程度軽減できる。

これらの知見から薄層化橋面舗装の主な点をまとめると、以下ようになる。

- 薄層化橋面舗装仕様： 2.36mm ふるい通過分27.5%のSMA混合物、配合設計時の空隙率3%以下(厚さ 4.6cm の場合)とする。
- 舗装厚：床版上の不陸および施工精度を考慮して、設計舗装厚は 4.6cm 以上とする。
- 施工管理：走行部の締固め度は98%以上とする。
- 床版上面：防水材を使用するか、十分な接着性が得られる温度で施工を行う。
- 端部処理：必ず形成目地材を設け、高い温度の混合物で熔融させる。

参考文献

- 本州四国連絡橋公団：橋面舗装基準，1987.6