

各種瀝青材を用いた路上再生セメント・瀝青安定処理混合物の特性について

黒田 智¹・加藤義輝²・根本信行³

¹ 正会員 工修 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34)

² 非会員 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34)

³ 正会員 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34)

路上再生路盤工法のひとつに、フォームドアスファルトとセメントを併用したセメント・瀝青安定処理工法がある。フォームドアスファルトは、加熱アスファルトに微量の水と空気を添加し泡状化したものであり、その製造には専用のフォームド化装置を用いる。また、混合物の配合設計にも室内用のフォームド化装置が必要となる。本研究は、本工法の混合物の配合設計の簡素化・汎用化を目的に、フォームドアスファルトと他の瀝青材による混合物の特性値を比較し、専用のフォームド化装置を使用することなく配合設計ができる代替設計法の検討を行った。その結果、発泡剤をアスファルトに添加した発泡アスファルトやアスファルト乳剤を瀝青材として使用する、代替配合設計法の適用が可能であることが判明した。

Key Words : *cement and bituminous stabilization, formed asphalt, bubbled asphalt, asphalt-emulsion, mix design*

1. はじめに

専用のフォームド化装置により発泡させた泡状のアスファルト（以下、FA と称す）とセメントを併用したセメント・瀝青安定処理（Cement Formed Asphalt より以下、この混合物を CFA 混合物、この工法を CFA 工法と称す）は、路上再生路盤工法に適用されている。CFA 工法は、関係する報文や適用事例¹⁾²⁾³⁾⁴⁾にみられるように、①常温で湿潤状態の骨材と混合できる、②ワーカビリティが良い、③経済的である、④造られた路盤は耐久性に優れるなどの特徴をもつ。したがって、環境保全、省エネルギー・省資源、コスト縮減などの 21 世紀に向けて待望される技術として、最近では施工実績も急増している。

CFA 工法に用いられる FA は、加熱アスファルトに微量の水と空気を添加し泡状化したものであり、施工には、ロードスタビライザにアスファルトのフォームド化装置を搭載した機械が一般に用いられている。したがって、CFA 混合物の配合試験には、実機と同じ機構をもつ、室内専用のフォームド化装

置を用いて CFA 混合物を作製する必要がある。

しかしながら、混合物の配合試験は、簡易かつ汎用的であることが重要である。たとえば、試験機器具が取り扱いやすいこと、どこでもできることなどであり、過去の路上再生セメント・アスファルト乳剤安定処理混合物の配合設計に関する研究⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾をみても、この点が常に考慮されてきた。

以上を踏まえ、筆者らは、CFA 混合物の配合試験の簡素化を目的に、FA を用いた通常の CFA 混合物と他の瀝青材を用いたセメント・瀝青安定処理混合物の特性値の比較試験を行ってきた⁹⁾。本論文では、これまでの比較試験の結果をもとに、専用のフォームド化装置を使用することなく、代替瀝青材を用いた CFA 混合物の代替配合設計法の提案を行う。

2. 現行の C F A 混合物の配合設計法

(1) アスファルトのフォームド化装置

配合試験時の CFA 混合物の供試体作製には、ロードスタビライザに搭載した機構と同様の、室内用

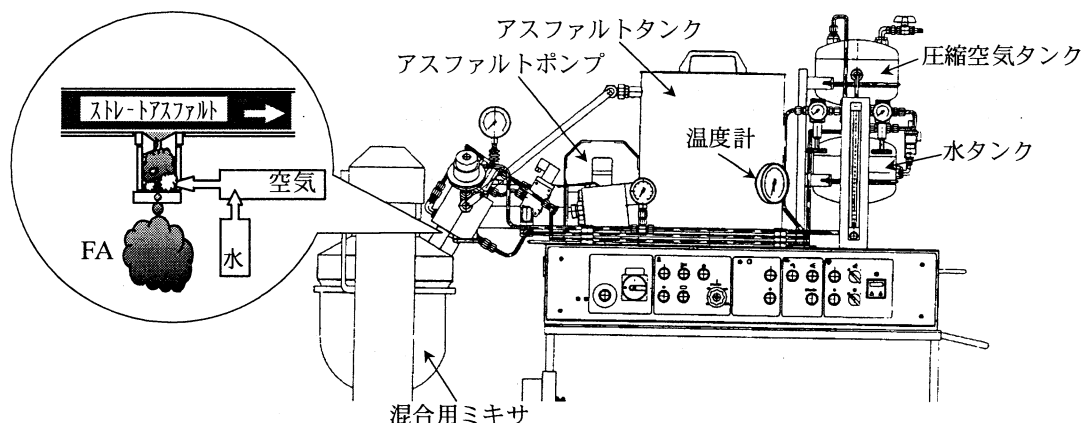


図-1 アスファルトのフォームド化装置¹⁰⁾

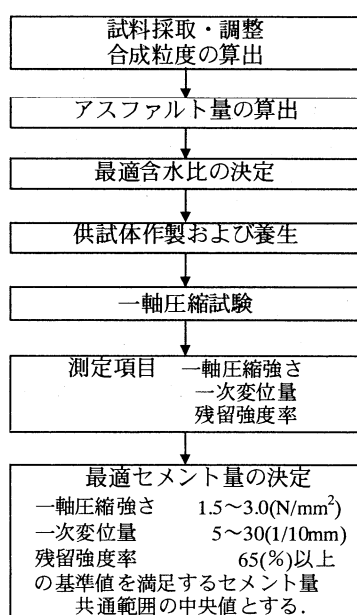


図-2 CFA 工法の配合設計フロー

フォームド化装置を使用する必要がある。同装置の一例を図-1に示す。本装置は、ポンプにて循環される加熱アスファルトに微量の水を空気とともに送り込み、アスファルトの熱により水・空気を一瞬にして気化させることでアスファルトを膨張・泡状化させ、噴射ノズルより混合ミキサ内に放出されるものである。

(2) 現行の配合設計法

現行の CFA 混合物の配合設計法には、特殊な条件の下で水浸・非水浸マーシャル安定度試験を行い、アスファルト量やセメント量を決定する方法³⁾や、路上再生路盤工法技術指針(案)¹⁰⁾に準じて行う方法などがある。

最近では、後者における図-2のフローに示すようなセメント・アスファルト乳剤安定処理（Cement

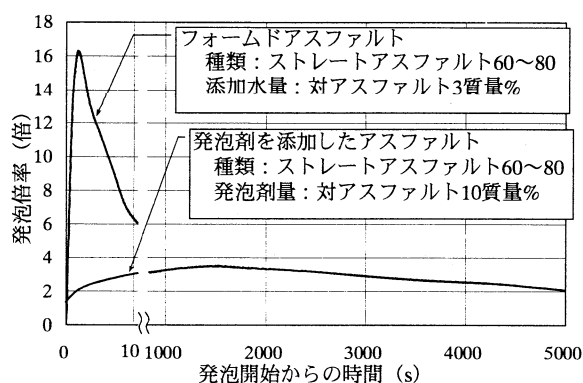


図-3 FA と発泡させたアスファルトとの違い

Asphalt Emulsion より以下、この混合物を CAE 混合物と称す）の配合設計に準じて行う方法が一般的である。ただし、FA 量の決定には、使用する再生路盤用骨材の粒度にもとづき、これまでの実績に最も近似するように求める式(表-2式(1))を用いて算出する⁴⁾。

3. 各種瀝青材を用いたセメント・瀝青安定処理混合物の特性値の比較

(1) 試験目的

現行の CFA 混合物の配合試験では、フォームド化装置により製造された FA が必要である。筆者らは、特殊な装置を必要としない他の瀝青材で配合設計が可能か検討を行った。

ここでは、瀝青材として、①通常の「FA」、②発泡剤をアスファルトに添加した「発泡アスファルト」、③ノニオン系の「アスファルト乳剤」を用いたセメント・瀝青安定処理混合物を作製し、現行の配合試験で実施される、突固め試験ならびに一軸圧

表-1 検討に使用した粒状材料

試料名		A	B	C	D	E	F	G	M-25
既設路盤材の産地等		青森県	長野県	東京都	島根県	熊本県	鹿児島県	鹿児島県	JIS K 5001
既設路盤材 とR材の 合成粒度	53.0mm	100	100	100	100	100	100	100	100
	31.5	90.9	92.8	90.3	95.1	96.6	92.4	92.6	100
	26.5	84.3	85.7	82.0	91.4	89.4	86.8	85.9	100
	19.0	74.2	76.1	73.8	81.3	72.4	77.2	65.7	85.0
通過質量 百分率(%)	13.2	60.7	66.5	62.0	66.6	60.8	65.0	50.2	70.0
	4.75	33.1	42.8	37.5	39.3	39.6	38.8	30.6	47.5
	2.36	20.1	31.9	25.4	25.7	29.2	29.6	22.5	30.0
	0.075	0.7	6.2	1.6	1.4	7.6	2.9	7.1	5.6
R材混入率(%)		38	20	48	29	16	20	0	0

注) R材とは再生材混合所で準備されたアスファルトコンクリート再生骨材。

表-2 各供試体作製方法の比較

	CFA混合物	CBA混合物	CAE混合物
瀝青材の名称	FA	発泡アスファルト	アスファルト乳剤
使用する瀝青材	舗装用アスファルトを専用のフォームド化装置にて発泡させたもの	舗装用アスファルトに特殊添加剤(外割10質量%)を添加し発泡させたもの	アスファルト乳剤(MN-1)
瀝青材量(%)	$P^*=0.03a+0.05b+0.2c$ 式(1)	$P^*=0.03a+0.05b+0.2c$ 式(1)	$P^*=0.04a+0.07b+0.12c-0.013d$ 式(2)
混合方法	万能ミキサ	混合鍋による手練り	混合鍋による手練り
1回に混合する量	5.0kg程度	1.2kg程度	1.2kg程度
その他	路上再生路盤工法技術指針(案)に準ずる		

*) a: 粒状材中の2.36mmふるい残留質量%, b: 2.36mmふるいを通過し0.075mmふるいに残留する質量%, c: 0.075mmふるいを通過する質量%, d: R材の混入率%。

縮試験を実施し、その特性値を比較した。

(2) 試験用材料

比較・検討試験に使用した瀝青材、セメント、粒状材は、以下に示すとおりとした。

a) 瀝青材

瀝青材は、標準のFAに対して、フォームド化装置を必要としない瀝青材として、発泡アスファルトとアスファルト乳剤を選定した。

発泡アスファルトは、加熱アスファルト混合物の混合性・締固め性を向上させるため、アスファルト中に微細泡を発生・分散させる「中温化技術」¹²⁾に用いられる特殊添加剤（発泡剤＋発泡強化剤）を加熱アスファルト中に添加したものである。発泡アスファルトとFAは擬似的であるが、その発泡倍率と発泡持続時間が大きく異なる。図-3は、両者の発泡倍率（泡状後のアスファルトの体積/元のアスファルトの体積）の経時変化の測定結果を示したものであるが、FAが発泡倍率が大きく、発泡持続時間が小さいのに対し、発泡アスファルトはその逆となる。

アスファルト乳剤は、規格に適合したセメント・アスファルト乳剤安定処理用の混合用ノニオン乳剤(MN-1)とした。

b) セメント

安定材として用いるセメントは、JIS R 5210に規格が定められている、普通ポルトランドセメントと

した。

c) 粒状材

粒状材には、全国7カ所から採取した既設粒状路盤材、JIS K 5001に規格が定められている粒度調整碎石(M-25)、再生材混合所で準備されたアスファルトコンクリート再生骨材（以下、R材と称す）を単体もしくは混合して使用した。

なお、CFA工法における既設舗装の現位置での破碎・混合を想定して、粒状材へのR材の混入率は0～50%とした。

使用した粒状材の合成粒度、R材の混入率を表-1に示す。

(3) 試験用供試体の作製

各瀝青材を用いたセメント・瀝青安定処理混合物の供試体作製方法の比較一覧を表-2に示す。

FAを用いたCFA混合物用供試体の作製は、既に述べた現行の配合設計手順とし、また、瀝青材量は表-2式(1)とした。各材料の混合には、フォームド化装置のFA噴射ノズルと連結した万能ミキサにより行う。なお、万能ミキサの適正混合量、最適FA噴射量を勘案すると、1回の混合量は5.0kg程度必要である。

発泡アスファルトを用いたセメント・瀝青安定処理混合物(Cement Bubbled Asphalt混合物より、以

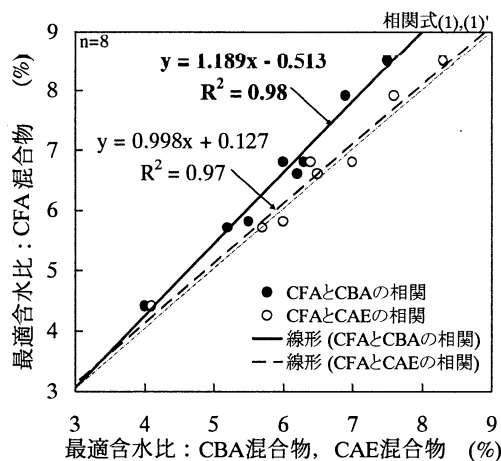


図-4 最適含水比の相関関係

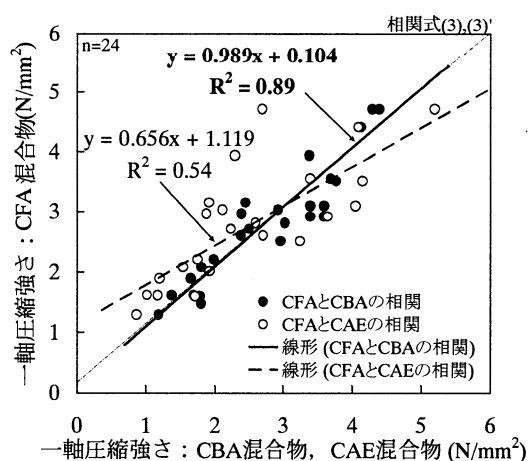


図-6 一軸圧縮強さの相関関係

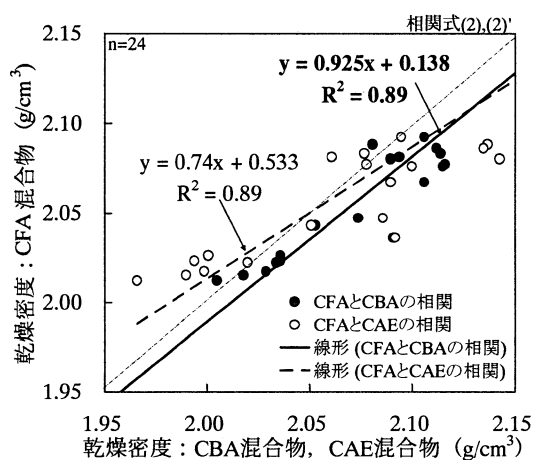


図-5 乾燥密度の相関関係

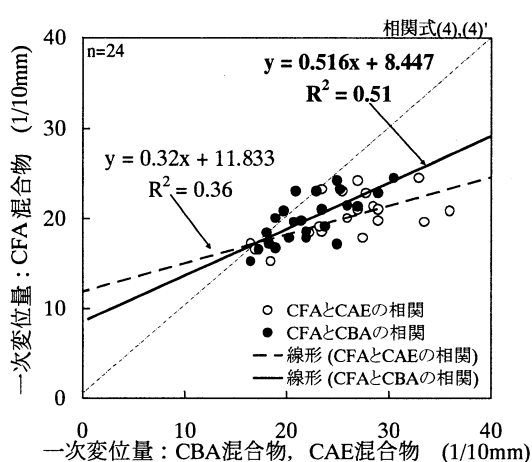


図-7 一次変位量の相関関係

下, CBA 混合物と称す) 用供試体の作製は, CAE 混合物の配合設計手順を基本とした。各材料の混合は, 供試体 1 個分の計量値を混合鍋による手練りで行う。混合順序は, 粒状材, セメント, 添加水の順に進め, これに加熱アスファルトに発泡剤を添加し発泡させたアスファルトを, CFA 混合物と同じ算出式(表-2式(1))で求めた量, 添加・混合する。

アスファルト乳剤を使用した CAE 混合物用供試体の作製は, 路上再生路盤工法技術指針(案)に準じた CAE 混合物の配合設計手順と同様とした。また, アスファルト乳剤量は, CFA, CBA, CAE 各混合物の特性値をみるために, CAE 混合物における従来の算定式を用いた。

(4) 試験方法

突固め試験ならびに一軸圧縮試験は, 現行の CFA 混合物の配合設計法によるものとし, 路上再生路盤工法技術指針(案)¹⁰⁾に準じて行った。

突固め試験は, 粒状材にセメント量 2.5%と各瀝青材を添加した供試体で最適含水比を求めた。また,

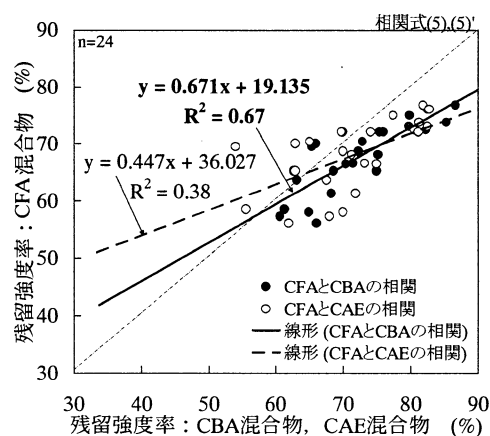


図-8 残留強度率の相関関係

一軸圧縮試験は, 最適含水比で, セメント量 1.0, 3.0, 5.0%と変えた 6 日養生 1 日水浸後の供試体で一軸圧縮強さ, 一次変位量, 残留強度率および乾燥密度を求めた。

(5) 試験結果

図-4～図-8には, 同一粒状材における, CFA 混

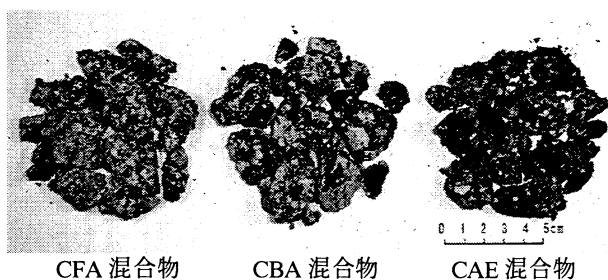


写真-1 瀝青材の分散状況

合物と CBA 混合物ならびに CFA 混合物と CAE 混合物の各特性値の比較を示した。なお、各特性値の混合物間の相関は、直線近似されることがわかった。

図-4は、最適含水比の比較結果である。同一粒状材における CBA 混合物、CAE 混合物の最適含水比は、CFA 混合物のそれと高い相関関係にある。同一粒状材に対して、CFA 混合物と CAE 混合物が同じ最適含水比を示すのに対し、CBA 混合物の最適含水比は小さい。これは、CBA 混合物中の発泡アスファルトが、「中温化技術」の適用であることから、常温混合物においても締固め性の向上に寄与しているといえる。

図-5は、一軸圧縮試験のうち、供試体の乾燥密度の比較結果であり、いずれも高い相関関係にある。CBA 混合物は、発泡アスファルトが混合物の締固め性を向上させており、CFA 混合物より密度が大きい。

図-6～図-8は、一軸圧縮試験のうち、一軸圧縮強さ、一次変位量、残留強度率の比較結果である。3つの特性値ともに、CFA 混合物と CBA 混合物の相関が、CFA 混合物と CAE 混合物の相関よりも高い。

写真-1は、一軸圧縮試験後の供試体をほぐし、瀝青材料の分散状況を観察したものである。CFA 混合物と CBA 混合物では、アスファルトは粗骨材を被覆せず、細粒分とアスファルトモルタルを形成し、混合物中に小さな塊となって分散している。一方、CAE 混合物は、分解後のアスファルトが骨材粒子のほとんどを被覆する形で分散している。これは、FA と発泡アスファルトが、ともに加熱アスファルトを泡状にしたものに対し、アスファルト乳剤は常温で液体という、瀝青材の形態の違いによるものと考えられる。

既往の研究¹³⁾では、アスファルトの分散状態をはじめとする混合物のメカニズムが、混合物の特性に影響を与えることが明らかにされている。今回の、特に一軸圧縮強さにみられる CFA 混合物と CBA 混合物の相関の高さは、両者の混合物のメカニズムが似通っていることの現れと考えられる。

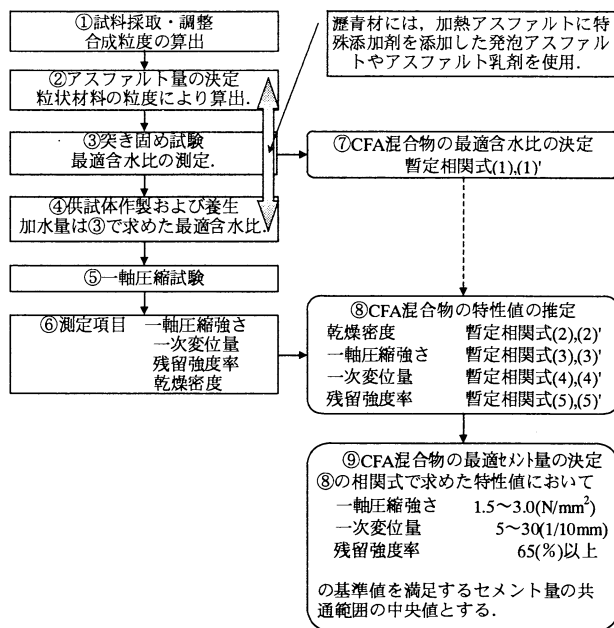


図-9 代替配合設計法案

表-3 配合設計の結果（最適セメント量の比較）

試料名	最適セメント量 (%)		
	現行法	発泡アスファルト法	アスファルト乳剤法
A	3.3	3.4	2.5
B	2.0	2.0	1.2
C	1.9	2.3	2.5
D	1.4	1.5	1.5
E	2.8	2.5	2.5
F	2.5	2.3	1.8
G	1.4	1.3	1.1
M-25	2.5	1.8	2.0

以上の試験結果から、① CFA 混合物の特性値は、CBA 混合物の特性値や CAE 混合物の特性値と相関関係があり、一次回帰式で整理されること、② CAE 混合物に比べ、CBA 混合物はそのメカニズムが CFA 混合物に似ていることがわかった。

4. C F A混合物の代替配合設計法

前節の比較試験の結果より、現行の CFA 混合物の配合設計に用いられる各特性値は、発泡アスファルトを用いた CBA 混合物やアスファルト乳剤を用いた CAE 混合物の特性値から、一次回帰式を用いて、ある程度の推定が可能であることがわかった。

したがって、CFA 混合物の配合設計は、FA の代替として発泡アスファルトやアスファルト乳剤を用いて行うことが可能であり、代替配合設計法のフローを示すと図-9のようになる。本代替配合設計法は、①代替瀝青材で現行と同様に配合試験を進め、②その結果より CFA 混合物の最適含水比、一軸圧縮強

さ、一次変位量、残留強度率を各相関式により推定し、③さらに推定値を用いて最適セメント量を決定するものである。

表-3は、今回の8種の試料にてCFA混合物の配合設計を行った場合、現行の配合設計法と代替配合設計法で得られた最適セメント量を比較したものである。結果は、代替瀝青材にアスファルト乳剤を使用したものは両者に多少の差があるが、発泡アスファルトを使用したものはほぼ等しい結果が得られている。ここで最適セメント量は、一軸圧縮強さ、一次変位量、残留強度率の基準値を満足するセメント量により決定されるが、今回、M-25の場合を除いてそのほとんどは、一次変位量、残留強度率が基準値内にあり、一軸圧縮強さの基準値を満足するセメント量の中央値により決定されている。一般的な粒状材の最適セメント量が、高い相関関係にある一軸圧縮強さを主として決定されることを勘案すると、本代替配合設計法、特に代替瀝青材として発泡アスファルトを用いたものは、妥当と判断される。

5. まとめ

CFA混合物の配合設計法の簡素化を目的に、各瀝青材を用いたセメント・瀝青安定処理混合物の特性値の比較と、FAを用いることなくCFA混合物の配合設計が可能となる代替配合設計法の検討を行った。得られた結論は、以下のとおりである。

- ① CFA混合物の各特性値は、発泡アスファルトやアスファルト乳剤を用いたセメント・瀝青安定処理混合物の特性値と相関関係にある。
- ② CFA混合物の配合設計は、FAの代替として、発泡アスファルトやアスファルト乳剤を用いて行うことが可能である。

参考文献

- 1) 福川光男：泡状化アスファルトを用いた路盤強化工法、建設の機械化、No.573, pp.35-39, 1997.
- 2) 森内健二、尾崎美伸、海老澤秀治：SKS工法（フォームドスタビ工法）の工事用仮設道路への適用性について、第22回日本道路会議, pp.264-265, 1997.
- 3) 岩原廣彦、海老澤秀治、坂本康文、谷本 昇：フォームドスタビ混合物の性状および適用事例、舗装、Vol.33, pp.9-15, 1998.
- 4) 松浦精一、海老澤秀治、泉 秀俊：CFA工法を用いた路上再生路盤工法の設計・施工、第23回日本道路会議, pp.232-233, 1999.
- 5) (社)日本アスファルト乳剤協会 技術委員会 セメント・アスファルト乳剤混合物の配合設計方法に関する分科会：「セメントアスファルト乳剤混合物の配合設計方法に関する研究」報告書, 1984.
- 6) (社)日本アスファルト乳剤協会 技術委員会 セメント・アスファルト乳剤混合物の配合設計方法に関する分科会：「破碎アスファルト混合物入りセメント・アスファルト乳剤混合物の配合設計方法に関する研究」報告書, 1986.
- 7) 召田紀雄、玉置英夫、鈴木秀敏、五十嵐耕二：セメント・アスファルト乳剤混合物試験方法の提案、あすふあるとにゅうざい、No.64, pp.14-18, 1981.
- 8) 召田紀雄、緑川 宏、吉川文夫：セメント・アスファルト乳剤混合物における配合設計上の一検討、あすふあるとにゅうざい、No.74, pp.16-19, 1983.
- 9) 黒田 智、加藤義輝、根本信行：セメント・瀝青安定処理工法の配合設計に関する一検討、土木学会第54回年次学術講演会概要集、第V部門, pp.432-433, 1999.
- 10) (社)日本道路協会：路上再生路盤工法技術指針（案）、1987.
- 11) Wirtgen社：WLB10使用マニュアルに一部加筆.
- 12) 吉中 保、根本信行：アスファルト舗装の中温化施工に関する研究、土木学会舗装工学論文集、第1巻, pp.129-136, 1996.
- 13) 阿部頼政、蒔田 實、辻野昭夫：舗装用常温混合物の研究開発、土木学会論文集、No.508/V-26, pp.23-32, 1995.

ON THE CHARACTERISTICS OF CEMENT AND BITUMINOUS STABILIZED MATERIAL USING VARIOUS BITUMINOUS

Satoshi KURODA, Yoshiteru KATO and Nobuyuki NEMOTO

In Japan, cement and formed asphalt stabilization has been used very often lately. In this mix design, we must use a special formed asphalt production device for making a stabilized material. The purpose of the present investigation is to compare the characteristics of cement bituminous stabilized material using various bituminous, and to simplify mix design. In this report, the authors studied the method of mix design using asphalt emulsion and bubbled asphalt which make admixture, and the substitute method of mix design is explained.