

粒度が異なるフェロニッケルスラグの再生アスファルト混合物への適用

福岡大学工学部

学生会員 菅 勇太 孫 松

福岡大学工学部

正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

株式会社日向製錬所

黒木 良勝 中野 修

1. はじめに 非鉄スラグであるフェロニッケルスラグ(略記：FNS)は、フェロニッケルを製錬する際に、電気炉またはロータリンキルンで発生するスラグである。現在は国内 3 製造所で年間 250 万トン生成¹⁾されており、コンクリート用骨材、本土工中詰材、地盤改良工などの地盤材料に有効利用されている²⁾。また、著者らはこれまでの研究より、FNS の舗装材への適用についてその有効性³⁾を示している。しかし、有効利用されている FNS は、粒度調整されたものを使用しており、利用用途の幅が限定されている。そこで本研究では、再生 As 混合物への FNS の適用性について、1)従来の粒度調整された FNS を最大量使用できる範囲の選定と、2)粒度調整前の有姿の適用性について検討した。本報告では、再生アスファルト混合物の骨材の代替え材として粒径の異なる 2 種類の FNS を配合し、マーシャル試験により混合物の材料特性に及ぼす影響について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 FNS は、粒度調整された FM2.6 と粒度調整前である有姿 FNS の 2 種類を用いた。二つの外観を写真-1(a), (b)に示す。



(a) 粒度調整 (b) 有姿
写真-1 FNS の外観

また、表-1 に FNS の物理特性、図-1 に FNS の粒度加積曲線を示す。

粒度調整された FM2.6 は 2.36mm 以下で調整されており、有姿に比べて砂分が多いことがわかる。

2-2 再生アスファルト混合物の配合条件 アスファルト (略記：As) 混合物には、再生密粒度アスファルト混合物(20mmTop)を用いた。骨材は 5 号砕石、6 号砕石、7 号砕石、中砂(海砂)、石粉、再生骨材(20-0mm)、FNS を用いて配合した。図-2 に再生 As 混合物に用いた骨材の合成粒度を示し、表-2 に骨材配合率を示す。As バインダには st60-80 を用いており、再生添加剤添加率(対旧 As)を 15.5%とした。再生 As 混合物の配合条件においては、規定範囲内⁴⁾で得られる最適分配量に加え、FNS の配合量が最大となる最大分配量である合計 3 種類(粒度調整:10.8%、26.0%、有姿:28.0%)について検討した。再生骨材の配合率は 30%で統一し、FNS は中砂と 5~7 号砕石の細粒分として代替え材とした。

2-3 実験方法 FNS を配合した再生 As 混合物の材料特性把握のため、まず、As 配合量を 4.5~6.5%と変化させ標準マーシャル安定度試験(略記：標準 MT 試験)により、最適 As 量を算出した。更に最適 As 時に調整した FNS を配合した再生 As 混合物を標準 MT 試験により、強度特性について検討した。標準 MT 試験は、供試体を 60℃ の恒温水槽にて 30 分間養生後に試験を実施した。使用する骨材は、事前に 110℃ にて炉乾燥したものを使用した。供試体作製法は、骨材を 160℃ まで加熱させ、計量した As バインダを投入し、145℃ になるまで均等に混合し、直径 101.6mm、高さ 63.5±1.3mm の円柱形モールドに加熱した骨材を入れ、高さ 45.7cm から質量 4.5kg の重錘を自由落下させて両面 50 回ずつの突き固めを行った。作製した供試体を 24 時間放熱し脱型し、直径、高さ、各重量を測定した。

表-1 FNS の物理特性

試料名	粒度調整	有姿
粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.954	2.966
細粒分含有率 F_c (%)	0.313	0.582
液性限界 w_L	N.P.	N.P.
塑性限界 w_P	N.P.	N.P.
塑性指数 I_p	N.P.	N.P.

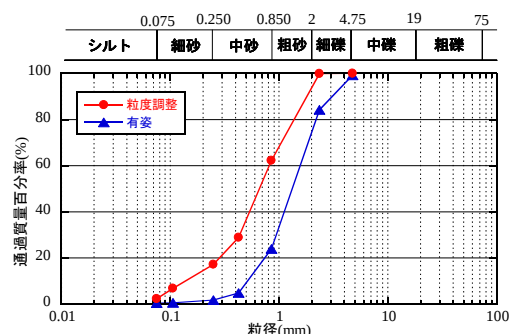


図-1 FNS の粒度加積曲線

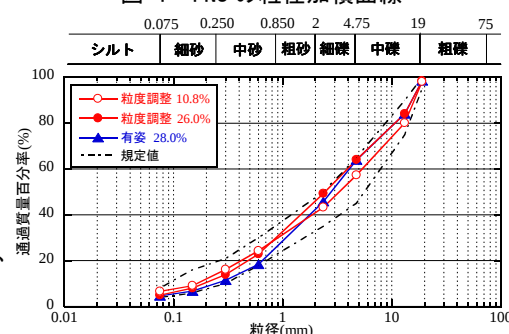


図-2 再生 As 混合物の合成粒度

表-2 骨材配合率

骨材配合率 (%)	粒度調整		有姿
	密粒度		密粒度
	最適	最大	最大
5号砕石	19	15	15
6号砕石	17	14	14
7号砕石	7.5	9.0	6.0
再生骨材	30	30	30
FNS	10.8	26.0	28.0
中砂	12.2	5.0	5.0
石粉	3.5	1.0	2.0

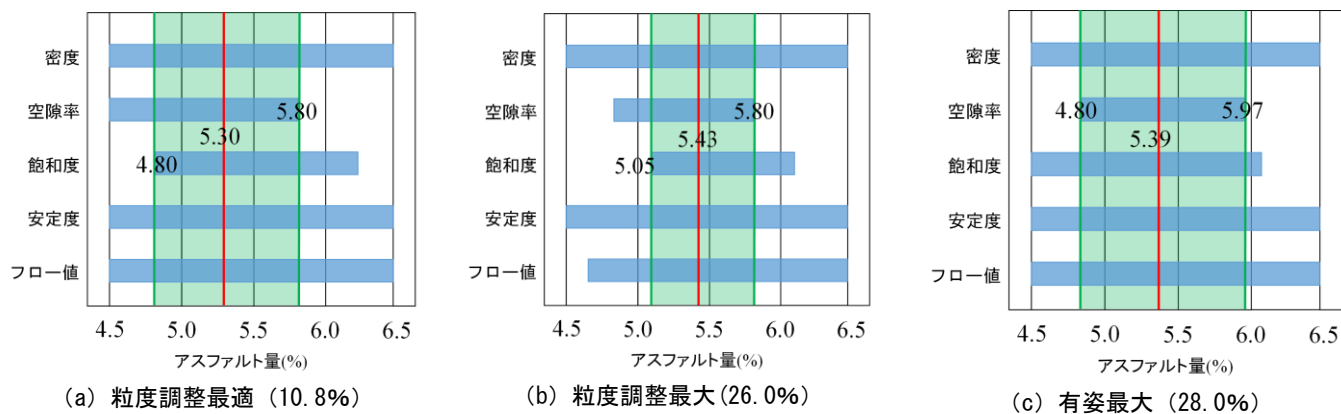


図-3 マーシャル試験結果と最適アスファルト量の算出

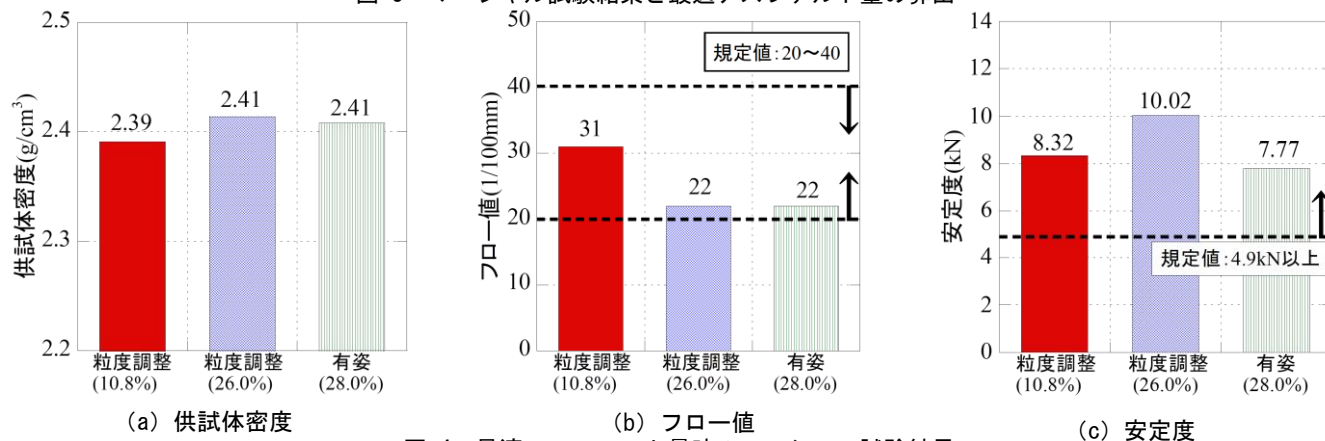


図-4 最適アスファルト量時のマーシャル試験結果

3. 結果及び考察 図-3(a)～(c)に標準マーシャル安定度試験より得られた、各 As 添加量における再生 As 混合物のマーシャル試験結果を示す。また、各種物理・力学特性値の共通範囲を示す。図中の As 量の共通範囲は、粒度調整最適で 4.80～5.80%、粒度調整最大では 5.05～5.80%、有姿では 4.80～5.97%の範囲を示している。材料別に比較すると、有姿が最も広い共通範囲を示し、設計・As 調整において許容幅の有効性が確認できる。また、最適 As 量は粒度調整最適 5.30%、粒度調整最大 5.43%、有姿 5.39%となり、最適 As 量に大きな差はみられない。これは、一般再生 As 混合物の最適 As 量が 5.1～5.6%範囲であることから、従来の設計と同程度の最適 As 量を示すことが明らかになった。

次に、図-4(a)～(c)に図-3(a)～(c)で求められた最適 As 添加量における各 FNS を混合した再生 As 混合物の (a) 供試体密度、(b) フロー値、(c) 安定度を示す。(a) 供試体密度は FNS の配合量の増加に伴い、供試体密度が増加していることがわかる。これは表-1 より FNS の粒子密度が高い値を示していることが原因と考えられる。As 舗装材料の混合物積算密度は、一般に 2.35g/cm³ であり、FNS 利用により混合物密度が高いことから、現場施工における数量換算には注意する必要がある。また、(b) フロー値をみると、FNS が増加するとフロー値は低下し、FNS の種類による差はみられない。これは、FNS 添加量の増加により、混合物の剛性が増加したと考えられる。(c) 安定度は、粒度調整した FNS(26.0%)時に最も高い安定度を示している。粒子に空隙を持つ有姿 FNS は、混合時の粒子破碎が安定度の低下を招いたと考えられるが、いずれの FNS の利用も規格値を満足していることがわかる。以上の知見から、今回用いた粒度の異なる 3 つの条件では、十分な再生 As 混合物へ有効利用できることが明らかとなった。

4. まとめ 粒度調整 FNS を規定範囲内で利用できる最大配合量と、有姿 FNS の再生 As 混合物への有効性が示された。今後は、混合物密度増加の影響も踏まえた現場の作業性について検討していく必要がある。

謝辞：実験を行うにあたり株式会社はまゆうロードより、試料をご提供いただきました。末筆ながらここに記し謝意を評します。

【参考文献】 1) 庄嶋ら：産業副産物の微粉末を用いた路床改良材に関する研究，土木学会論文集 EI(舗装工学)Vol.68, No3(舗装工学論文集第 17 巻)，ppI_89-1-I_98, 2012. 2) 公益社団法人地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，pp402, 2009. 3) 福味ら：フェロニッケルスラグ混合土の力学特性に及ぼす地盤材料の影響，平成 29 年度土木学会西部支部III-047, pp333-334, 2018. 4) 舗装試験法便覧社団法人日本道路協会，第III章 2-1.B001, pp[3]005-016, 2007.