

非鉄金属系溶融固化物の硬さ・形状に関する研究

日本大学大学院 ○土 井 啓 徳
日本大学大学院 佐 藤 晃 之
日本大学大学院 吉 野 正 弘
日 本 大 学 栗谷川 裕 造

1. はじめに

近年，国際的に環境保全への関心が高まっており，あらゆる分野でリサイクルの具現化が求められている．一方，都市ゴミや下水汚泥等の廃棄物に対しては，年々増加する排出量とその処理に関する問題が顕在化しており，従来の焼却処理だけでなく，焼却灰をさらに 1200 以上の高温で溶融処理することによる減容化が推進されている．道路舗装の分野においても，製鋼スラグをはじめ都市ゴミ，下水汚泥より製造される溶融固化物（以下，スラグ）の再資源化が注目されており，焼却灰の無害・安定化，および枯渇化の進む建設用天然骨材の代替材料獲得という観点からも，スラグの標準化に向けて積極的に取り組まなければならない．

2. 試験概要

昨年までの研究より，都市ゴミ・下水汚泥スラグの物理的性状，特に硬さや形状等がスラグを混入したアスファルト混合物に影響を与えることが確認されている．そこで本研究では，銅を精錬する際に排出される銅スラグを異なる製造施設より 3 種類(slag A,B,C)．ステンレス鋼等の原料であるフェロニッケルの製造時に排出されるフェロニッケルスラグ 1 種類(slag D)の計 4 種類の非鉄金属スラグに関して，粒度，硬さ，形状，に関する試験を行い，舗装用細骨材としての物理的性状について一般的な細骨材である砕砂，粗砂，細砂との比較評価を行った．また，銅スラグ，フェロニッケルスラグにおいては，整粒処理前(以下原粒)，整粒処理後(以下整粒)との物理的性状の変化を調査した．

3. 試験方法・結果および考察

3-1. ふるい分け試験

スラグの粒度組成を把握するために，ふるい分け試験を行った．また，粒径加積曲線より，均等係数，曲率係数を算出し評価した．

粒径加積曲線を図-1 に，曲率係数，均等係数を図-2 に示した．試験結果より，スラグの粒度は砕砂と同等もしくは若干大きい径に分布しており，単粒であるといえる．整粒後の slag A, B は，原粒に比べ大きい径に分布されていた骨材の細粒化が見られ，粒径加積曲線の傾きがなだらかに変化している

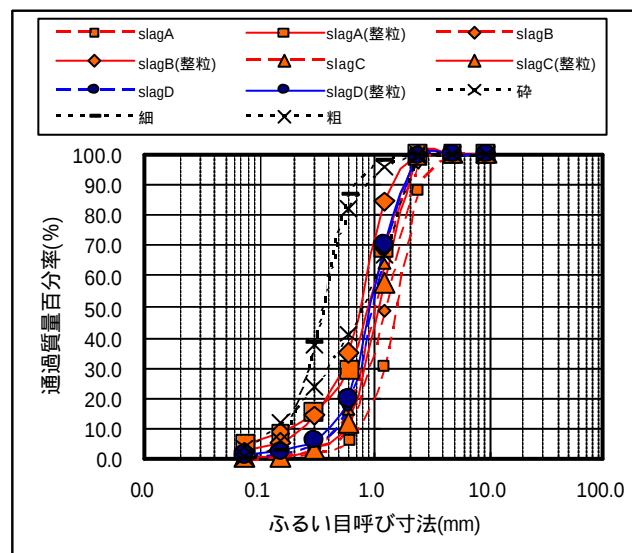


図-1 粒径加積曲線

**Research on Hardness and Shape of Nonferrous Metals System and
Melt-Solidified Products**

Hironori DOI, Teruyuki SATO, Masahiro YOSHINO, Yuzo KURIYAGAWA

のがわかる。また，曲率係数，均等係数も増加傾向にあり，粒度分布の向上を示している。また slag C, D の整粒後の，粒度分布，曲率係数，および均等係数に大きな変化は見られなかった。

以上より，スラグの粒度組成は種類，または整粒処理方法による差異が大きいものの，整粒処理の有意性とその方法改善による品質向上が期待される。

3 - 2 . 比重および吸水率試験

比重および吸水率試験より，スラグの骨材性状の把握と耐久性の推定を行った。図 - 3 に示した試験結果より，スラグは一般的な細骨材に比べて比重が大きく，吸水率が低い特徴を有しているのがわかる。なお，舗装用砕石の目標値である，比重 2.45 以上，吸水率 3.0% 以下を十分に満たしていることからスラグの骨材としての耐久性および適正は，比重および吸水率を指標とした場合，極めて良好であると判定される。

また，整粒後のスラグについては，原粒と比較して，吸水率，比重ともに顕著な変化は見られず，特徴的な性状と品質を維持していることが確認された。

3 - 3 . 突き固めによる硬さ試験

硬さに関する評価として，各試験試料 5kg を，突き固めによる土の締め固め試験に使用するランマー（質量 4.5kg，落下高 45cm）およびモールド（内径 150mm，高さ 175mm）を用いて三層 75 回または 125 回突き固めを行った後，前後の粒度組成を比較検討した。なお，突き固め後の試料は四分法により，代表的な骨材を各試料約 500g ずつ採取し，ふるい分け試験より粒度を測定した。また，硬さ評価については，試験前と試験後の通過百分率の差より，1.2 ~ 0.6mm 径での細粒化率を求め，細骨材の硬さ評価を目的とした既存の試験，ロータップ方式との傾向比較を行った。

試験結果を図 - 4 に示した。slag A, B は，突き固めによる硬さ試験，ロータップ方式共に整

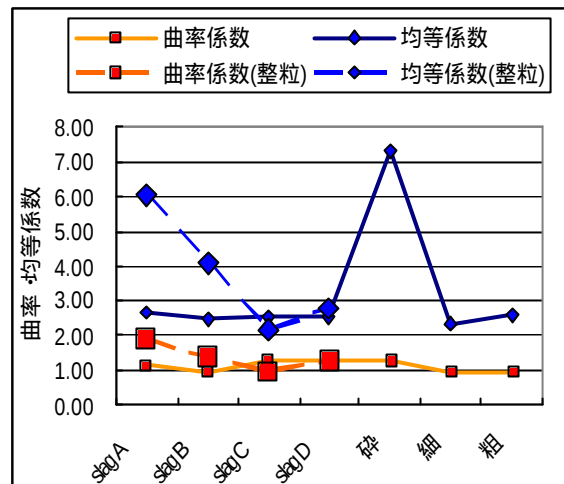


図-2 曲率係数・均等係数

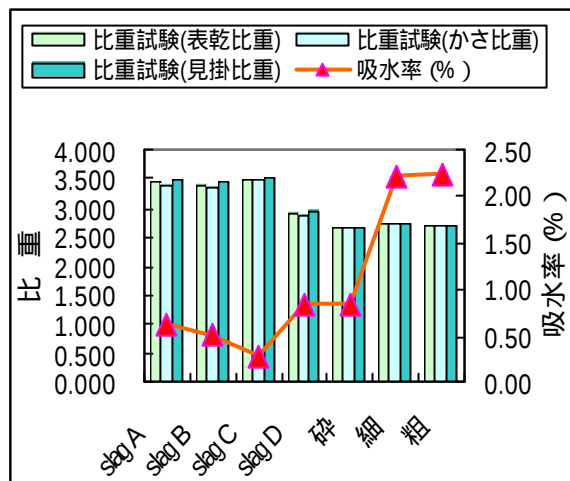


図-3 比重と吸水率

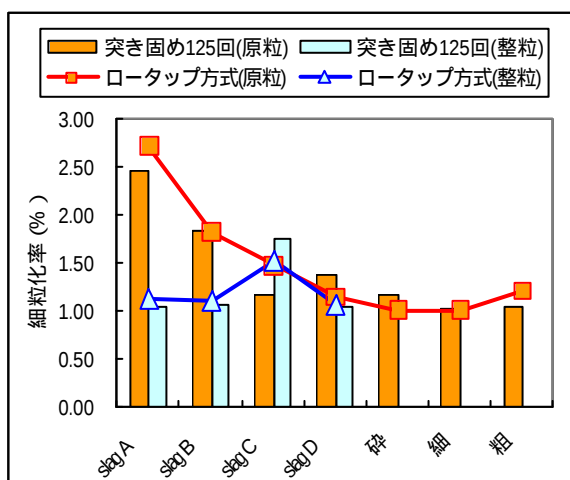


図-4 細粒化率

粒後の細粒化率が大きく減少している．このことから，整粒後のスラグについてはすり減りに対する耐久性の向上が顕著に発現したといえる．なお，slag C，D に至っては，粒度に関する評価同様，硬さについても目立った向上は確認されなかった．

また，両試験結果とも類似した傾向を示したことから，本試験方法での細骨材に対する硬さ評価の可能性が認められた．

3 - 5 . 形状試験

各試料を 30 g とし，突起部分が多く割れやすいと考えられる形状（以下，脆形）を目視により判別し，脆形骨材の混入率（以下，脆形率）を測定した．

試験結果を図 - 5 に示した．脆形骨材は砕砂に少量確認されたものの，総体的な脆形率の違いからスラグ特有の形状であるといえる．またスラグの種類により脆形率に大きな差異が見られるが，整粒後のスラグ，特に slag B については，脆形率の減少傾向が顕著となっている．

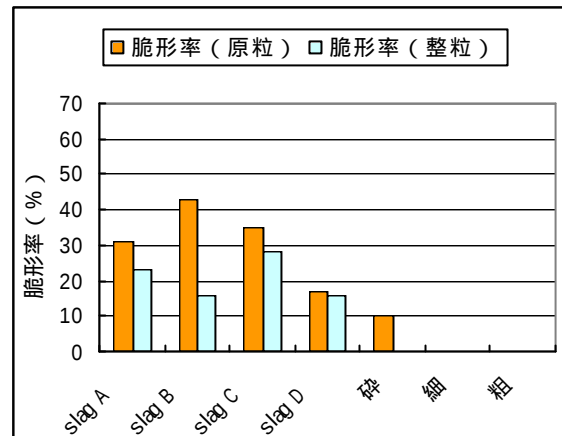


図-5 脆形骨材混入率

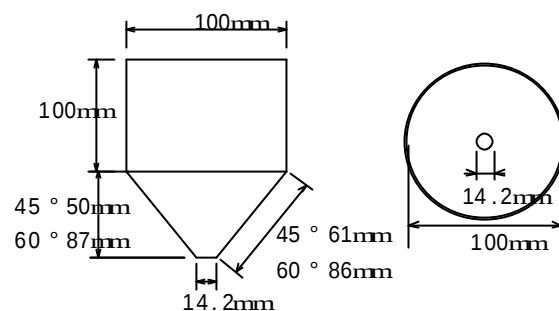


図-6 ロート

3 - 6 . ロート通過試験

さきに行った細骨材の形状や粒度分布に関する簡便な評価方法として，ロート通過試験を提案し検討を行った．試験は各骨材の試料を 500g とし，図 - 6 に示す 2 種類のロートを用いて，全試料が通過する時間（以下，ロート通過時間）を目視により計測した．

試験結果を図 - 7 に示した．slag A，B は硬さ，形状試験の結果と同様に，整粒処理によるロート通過時間の減少傾向が見られることから，ロート通過試験によるスラグの品質評価の可能性を示唆した．

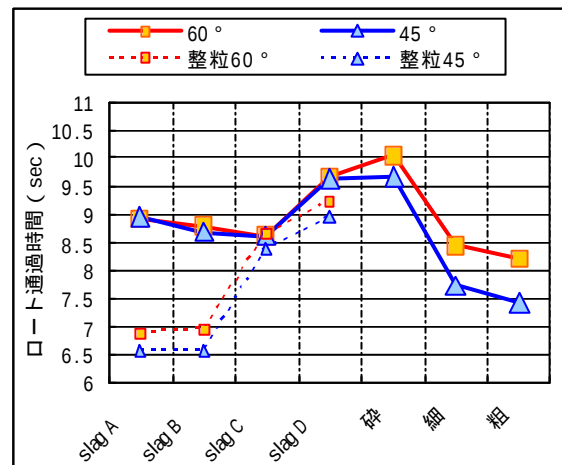


図-7 ロート通過時間

4 . 総合評価

各スラグの舗装用細骨材としての適正と品質，また原粒，整粒との性状変化を評価した．

図 - 8 は各性状試験より得られた原粒，整粒の粒度，硬さ，形状の結果を砕砂の実験値を基準に相対評価したものである．slag A，B は，硬さ評価としたロータップ方式，および突き固め(125 回)の細粒化率，および脆形率，ロート通過時間(45°)が，整粒後それぞれ減少傾向にある．それに伴い，粒度組成評価として求めた曲率・均等係数の向上が見られた．このことから，スラグの硬さ評価においては，比重・吸水率のみに依存するのではなく，骨材形状，粒度等の性状把握が

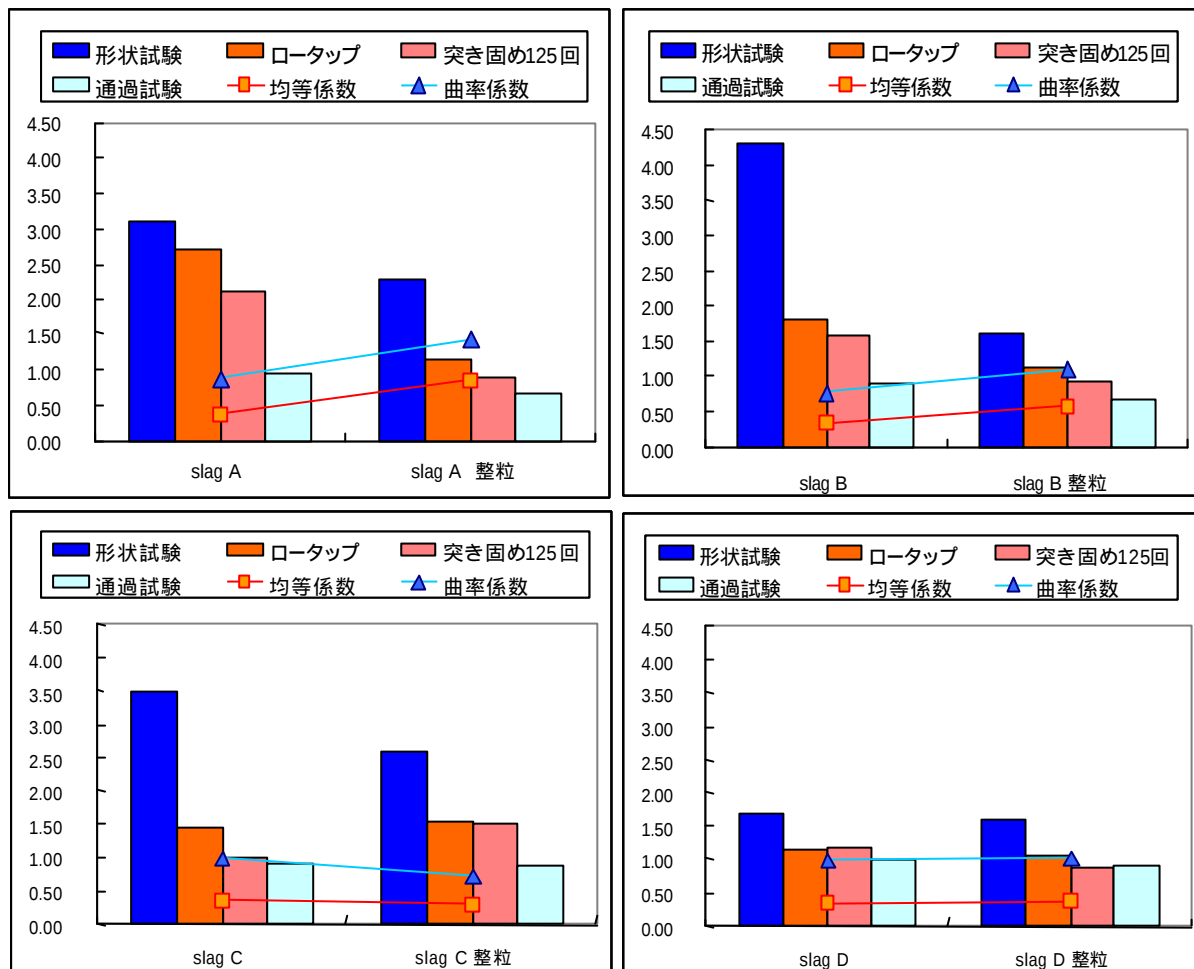


図-8 総合評価

必要不可欠であると推測される。また，以上の結果より，整粒処理における骨材の品質向上とその有意性を示唆したといえる。しかし slag C に関していえば，整粒後細粒化率の増加現象による骨材品質の脆弱化が見られたことから，整粒処理方法の改善が望まれるものの，slag D は，原粒，整粒ともに舗装用細骨材としての適正・品質は良好であるといえる。

以上のことよりスラグの舗装用細骨材としての高品質化および適用品質管理基準を具現化する上で，スラグの特性を考慮した製造方法と品質評価方法の確立，高品質化に向けた整粒処理方法の検討が重要であるといえる。

今後の検討課題として，粒度，硬さ，形状等の骨材品質とスラグを混入した混合物の性能との関係究明，整粒処理後の物理的性状変化に関する具体的な検討と評価が必要である。

【参考文献】

- 1) (社) 日本道路協会:舗装試験法便覧，(1988)
- 2) 小川康夫，アスコン細骨材としての焼却灰溶融スラグの活用について，pp.436-437
- 3) 鹿島道路株式会社，スラグ細骨材硬さ試験結果報告書，2003