

# 徐冷フェロニッケルスラグの化学的・物理的特性

八戸工業大学	学生会員	長尾大地
八戸工業大学	学生会員	苫米地学
八戸工業大学	学生会員	佐藤崇
八戸工業大学	正会員	金子賢治
八戸工業大学	フェロー会員	熊谷浩二
八戸工業大学	正会員	鈴木久美子

## 1. はじめに

八戸ではステンレスの原料となるフェロニッケルを精錬する際の副産物であるフェロニッケルスラグ(写真-1)が年間130万トン発生する。フェロニッケルスラグは、その冷却方法により風砕スラグ等と徐冷スラグに分類される。このような大量のスラグを有効利用するには、建設資材としての利用が有効であるが、風砕スラグについては、コンクリート用細骨材としてJISに認定されており、粗骨材についても現在検討中である。一方、徐冷フェロニッケルスラグについては、ケーソンの中詰め材・路盤用資材として一部利用されているが、利用方法の拡大が望まれている。また、地盤工学会においても、平成19年度から3年間「高炉水砕スラグの地盤工学的利用促進に関する研究委員会」<sup>1)</sup>が活動を行うなど、スラグ類の利用促進の機運が高まっている。フェロニッケルスラグは国内で3カ所のみで発生し、八戸が最大の発生地域である。

本研究では、徐冷フェロニッケルスラグを地盤材料、特に砂の代替材として有効利用することを目指して、地盤材料としての基礎的な化学的特性、物理的特性について実験的に検討する。一般に土木資材として使用される砂との比較を行って、徐冷フェロニッケルスラグの特徴を調べる。

## 2. 実験方法

### (1) 化学特性と環境負荷特性

本研究では、自然材料ではないフェロニッケルスラグを対象とするため、自然環境への負荷が小さいことが大前提である。したがって、まず地盤材料の代替としてフェロニッケルスラグを使用したときの地盤中への環境汚染物質溶出量等の環境負荷について文献等を調査する。さらに、基礎的な化学特性<sup>2)</sup>を把握するため、土懸濁液のpH試験(JGS 0211-2009)、土懸濁液の電気伝導率試験(JGS 0212-2009)、強熱減量試験(JIS A 1226-2009)を行う。

### (2) 物理特性

基礎的な物理的特性<sup>2)</sup>を把握するために、土粒子の密度試験(JIS A 1202:2009)、粒度試験(JIS A 1204-2009)、

砂の最小密度・最大密度試験(JIS A 1224-2009)などを実施して検討する。

### (3) 実験に使用した試料

平成22年6月に大平洋金属株式会社において製造された徐冷フェロニッケルスラグ-5mmを使用して実験を行った。なお、フェロニッケルスラグは、原料となる原石の成分等により若干性質が異なる可能性があり、粒度についても破砕機の特性に依存する部分もある。したがって、本研究で行った実験の結果がフェロニッケルスラグの性質を普遍的に表すものではない。

## 3. 室内試験結果

### (1) 化学特性と環境負荷特性の把握

徐冷フェロニッケルスラグの環境負荷特性に関する調査結果を表-1と表-2に示す。土壤汚染に係る環境基準については、環境庁告示第46号に示されている分析試験の方法に従って分析をしている。また、表中の基準値も環境庁告示第46号の値である。含有量試験は、環境省告示第19号に示される分析方法により実施した。基準値については、土壤汚染に係る指定基準を定める環境省令第29号の値を示している。これらの表より、徐冷フェロニッケルスラグは、いずれの項目についても基準値を下回っており、地盤材料として使用可能であり、環境負荷もそれ程大きなものではないと言える。

化学特性試験結果を表-3に示す。徐冷フェロニッケルスラグを用いた場合、pHが9.2とアルカリ性を示すことがわ



写真-1 徐冷フェロニッケルスラグ -5mm

表-1 土壤汚染に係る環境基準（環境庁告示第46号）

項目	分析結果	単位	基準値
カドミウム	< 0.005	mg/l	0.01
鉛	< 0.005	mg/l	0.01
六価クロム	< 0.01	mg/l	0.05
ホウ素	< 0.02	mg/l	1
ヒ素	< 0.005	mg/l	0.01
セレン	< 0.005	mg/l	0.01
総水銀	< 0.0005	mg/l	0.0005
アルキン水銀	不検出	mg/l	不検出
フッ素	< 0.16	mg/l	0.8
全シアン	不検出	mg/l	不検出
銅	< 1	mg/l	125
PCB	< 不検出	mg/l	不検出
チウラム	< 0.0005	mg/l	0.006
シマジン	< 0.0001	mg/l	0.003
チオベンカルブ	< 0.001	mg/l	0.02
有機リン	< 不検出	mg/l	不検出
ジクロロメタン	< 0.001	mg/l	0.02
四塩化炭素	< 0.0001	mg/l	0.002
1.2-ジクロロメタン	< 0.0001	mg/l	0.004
1.1-ジクロロメタン	< 0.001	mg/l	0.02
シス-1.2-ジクロロメタン	< 0.001	mg/l	0.04
1.1.1-トリクロロエチレン	< 0.0005	mg/l	1
1.1.2-トリクロロエチレン	< 0.0001	mg/l	0.006
トリクロロエチレン	< 0.001	mg/l	0.03
テトラクロロエチレン	< 0.0005	mg/l	0.002
1.3-ジクロロプロペン	< 0.0005	mg/l	0.002
ベンゼン	< 0.001	mg/l	0.01

表-2 含有量試験結果（環境省告示第19号）

項目	分析結果	単位	基準値
カドミウム	< 15	mg/kg	150
鉛	< 15	mg/kg	150
六価クロム	< 25	mg/kg	250
ホウ素	< 40	mg/kg	4,000
ヒ素	< 15	mg/kg	150
セレン	< 15	mg/kg	150
総水銀	< 1.5	mg/kg	15
フッ素	< 40	mg/kg	4,000
シアン	< 0.5	mg/kg	50

表-3 化学特性試験結果

pH 値	9.2
電気伝導率	19.7mS/m
強熱減量	0.04%

かる。これは、自然土の中でも高い方である。電気伝導率については、19.7mS/mであり、一般の土と比較すると大きい値を示している。電気伝導率は電解質濃度を表しているが、自然土の中でも沖積粘土や泥岩等で100mS/m以上の値を示す場合もある<sup>2)</sup>。強熱減量は0.04%となり、自然の土でも強熱減量が少ないしらすやまさ土の1.6~3.5%に比べても非常に少ないということが確認できた。したがって、徐冷フェロニッケルスラグには有機物がほとんど含まれていないものと考えられる。

## (2) 物理特性

土粒子の密度試験，砂の最大・最小密度試験，粒度試験の結果を表-4に示す。また，図-1には本研究で使用した

表-4 物理特性試験結果

土粒子の密度	3.21g/cm <sup>3</sup>
粒度試験	礫分 35.8%
	砂分 54.0%
	シルト・粘土 10.2%
	最大粒径 9.0mm
	均等係数 20.0
曲率係数 0.41	
最小密度	1.86g/cm <sup>3</sup>
最大密度	2.21g/cm <sup>3</sup>

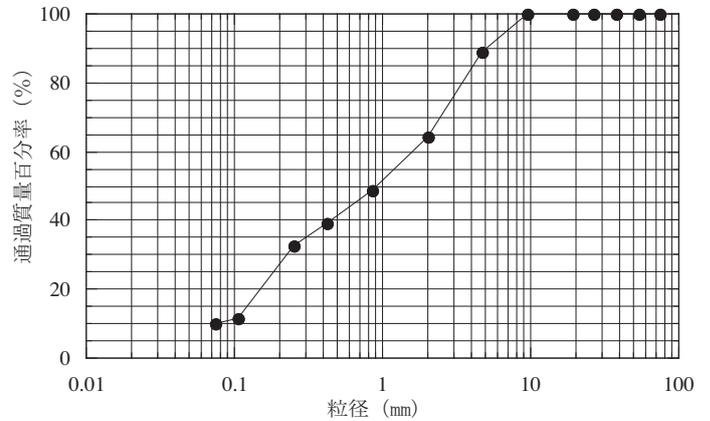


図-1 粒度試験結果

徐冷フェロニッケルスラグの粒径加積曲線を示す。土粒子の密度は3.21g/cm<sup>3</sup>となっており、一般的な土粒子の密度と比べて大きい値となっている。また、高炉水砕スラグにおいても2.6~2.9g/cm<sup>3</sup>といった報告があり、これと比較しても大きい密度を示している。粒度特性としては、今回使用した試料については、粒径が広い範囲にわたって分布する（粒径幅の広い）締めめ特性の良い土に近い傾向を示している。土粒子の密度が大きいため、最小密度と最大密度も比較的大きい値を示している。また、粒径幅が比較的大きいこともあり、最小密度と最大密度の幅が大きい。

## 4. 結論

本研究では、徐冷フェロニッケルを自然砂の代替材として利用することを目指して基本的な化学特性・物理特性の確認を行った。環境負荷特性については、一連の環境基準を下回っており地盤材料としての利用可能性を確認することができた。徐冷フェロニッケルスラグは工業製品であり、成分や粒度の調整が可能であり、用途・目的に合わせて製造することで砂の代替材として利用できると考えられる。また、特に、土粒子の密度が大きいう特徴を活かして、例えばサンドマット等に利用できる可能性がある。

### 参考文献

- 1) 社団法人 地盤工学会：高炉水砕スラグの地盤工学的利用促進に関する研究委員会報告書，平成22年4月。
- 2) 社団法人 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009。