

補強土擁壁の盛土材として用いた徐冷フェロニッケルスラグの有効性

八戸工業大学 学生会員 ○盛 健太郎
 八戸工業大学 正会員 橋詰 豊
 八戸工業大学大学院 正会員 金子 賢治

1. はじめに

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は、コンクリート用骨材や路盤材などとして有効利用されているが、現在は発生量に対して十分な利用量にはなっておらず、さらなる用途を生み出す必要がある。また、副産物として利用されるため材料単価が低く設定されており、その特長を活かした高付加価値化が望まれる。フェロニッケルスラグを地盤材料として利用する場合には、天然材料と比較して土粒子の密度が大きいことや内部摩擦角が大きいことが特徴となる。これについては、軟弱地盤上に構築する場合を除いて、自重により土圧に抵抗する用途であれば、利用価値が高いと考えられる。したがって、本研究では、最大粒径が40mmとなるよう粒度調整した徐冷フェロニッケルスラグCS-40を対象として、まず、室内試験により基礎的な物性値を把握する。さらに、それを盛土材として使用した簡単な補強土擁壁の設計を行って、天然材料を使用した場合と比較・検討することで、徐冷フェロニッケルスラグCS-40の盛土材としての有効性について検討する。なお、フェロニッケルスラグは、これまでの検討により地盤材料としての環境基準は満たしており、他のスラグ類の中でも非常に安全性が高いことがわかっている。

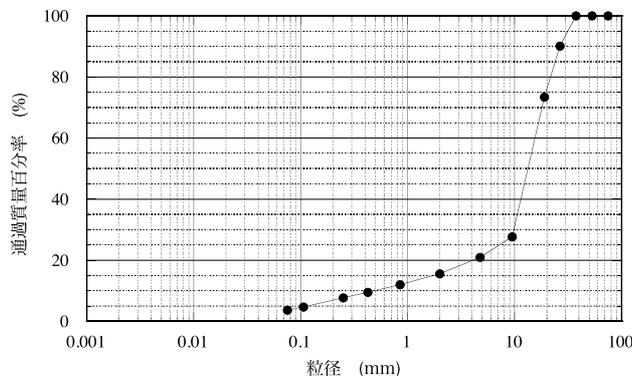


図-1 粒度分布

表-1 土質試験結果一覧

試験項目	フェロニッケルスラグ
土粒子の密度 (g/cm ³)	3.212
礫分 (%)	73.7
砂分 (%)	19.0
細粒分 (%)	7.3
最大粒径 (mm)	37.5
均等係数	100.3
曲率係数	6.544
最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.324
最適含水比 (%)	0.3
内部摩擦角 (°)	41.4
粘着力 (kN/m ²)	15.9

2. 徐冷フェロニッケルスラグの基本的物性

徐冷フェロニッケルスラグCS-40の粒度分布を図-1に、各種土質試験結果を表-1に示す。締固め試験はB-c法により行い、せん断強度定数については大型三軸圧縮試験により求めた。試験方法は圧密排水(CD)試験とした。締固め試験により得られた乾燥密度 $\rho_d = 2.324\text{g/cm}^3$ の95%密度($\rho_d = 2.208\text{g/cm}^3$)を目標とし、高さ60cm、直径30cmとなるよう突固めにより供試体を作製し、大型三軸圧縮試験を実施した。試験の結果からフェロニッケルスラグは、一般的な天然材料と比較して土粒子の密度、最大乾燥密度が大きいことがわかる。また、内部摩擦角については約41°と盛土材料として十分な強度を有している。

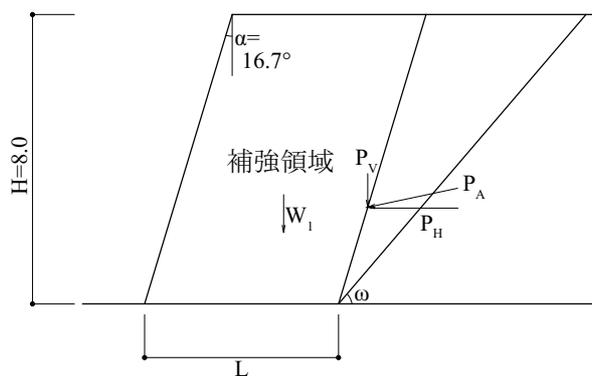


図-2 設計断面

3. 補強土擁壁の設計及び考察

ここでは、前章で求めた土質試験結果を基に例として簡単な補強土擁壁の設計計算¹⁾を実施して、フェロニッケル

スラグの盛土材としての有効性について検討する。ただし、補強土擁壁の内的安定は満たしているとし、外的安定のうち支持力は十分満足すると仮定して、主に滑動と転倒についての検討を行う。

Key Words: 徐冷フェロニッケルスラグ, 有効利用, 盛土材, 補強土擁壁
 (〒 031-8501 八戸市大字妙字大開 88-1)

表-2 設計パラメータ

	フェロニッケルスラグ	砕石
ϕ (°)	40	35
c (kN/m ²)	0	0
γ (kN/m ³)	21.6	20
δ (°)	13.3	11.7

表-3 設計の結果

	スラグ	砕石
主働すべり角 ω (°)	56	53
くさび土塊の自重 W (kN/m)	258.85	290.27
主働土圧合力 P_A (kN/m)	75.63	97.47
補強領域の幅 L (m)	0.78	1.46
補強領域の体積 V (m ³)	5.41	11.69
転倒の安定性 e (-)	-3.15	-2.84

(1) 設計の概要

設計の対象とした断面を図-2に示す。壁高8mとし補強土擁壁の勾配を1:0.3とした。簡単のために上載盛土や上載荷重は無いものとした。設計に用いたフェロニッケルスラグと比較のために用いた砕石³⁾のパラメータを表-2に示す。フェロニッケルスラグの内部摩擦角は安全を考慮して40°、粘着力は2つの盛土材ともに0°とし、補強土擁壁と盛土の境界の摩擦角 δ は $\phi/3$ とした。湿潤単位体積重量は、締固め試験の結果より締固め度95%の乾燥密度、最適含水比として設定した。

まず、試行くさび法により、いくつかの主働すべり角 ω に対する背面土圧 P_A を

$$P_A = \frac{\sin(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \delta - \alpha)} W \quad (1)$$

のように求め、 P_A の最大値とそのときの ω を求める。ここで、 W は補強領域背面のくさび形土塊の自重であり、次式で表される。

$$W = \frac{1}{2} \frac{\cos(\omega - \alpha)}{\sin \omega \cos \alpha} \gamma H^2 \quad (2)$$

また、土圧 P_A の水平成分 P_H および鉛直成分 P_V は、それぞれ、

$$P_H = P_A \cos(\phi - \alpha), P_V = P_A \sin(\phi - \alpha) \quad (3)$$

と書くことができる。

補強土領域背面に作用する土圧に対して、まず、滑動に対する安全率

$$F_s = (\alpha_1 \tan \phi (\gamma H L + P_V)) / P_H \quad (4)$$

より、壁高 H は一定として補強領域の幅 L を

$$L = \left\{ \frac{F_s P_H}{\alpha_1 \tan \phi} - P_V \right\} / (\gamma H) \quad (5)$$

として求める。ここで、 α_1 は摩擦補正係数であり、ここでは1とした。また、安全率 F_s は地震時土圧を考慮していないため大きめの $F_s = 2$ と仮定し、壁高 H と勾配は一定として補強土擁壁の幅 L を決定する。

決定した L を基に補強領域の転倒の検討を行って、転倒に対する安定性についてもチェックする¹⁾。

(2) 設計の結果および考察

前節のように設計した結果、滑動の安全率を満たす場合には、転倒の安定条件についても満足する結果となった。設計した結果について整理して、表-3に示す。補強領域については、フェロニッケルスラグを用いた場合の方が補強領域の幅 L が小さくなり、断面の単位奥行き当たりの体積 V は約46%小さくなった。これは、滑動に対する安定性については単位体積重量や内部摩擦角が大きい方が有利となるが、本文における検討ではフェロニッケルスラグの内部摩擦角が大きいため主働土圧合力 P_A が砕石に比べて小さくなったことが要因であると考えられる。

補強領域の断面積を小さくできることは、材料コストに加えて用地も小さくできることから経済性に関して非常に有利であり、フェロニッケルスラグを補強土擁壁の盛土材として利用することは有効である。

4. おわりに

本文では、徐冷フェロニッケルスラグの土質試験を行って得られた結果を設計パラメータとして、砕石と比較しながら簡単な補強土擁壁の設計を行い、フェロニッケルスラグの盛土材についての有用性について検討した。フェロニッケルスラグの力学特性については盛土材として十分に利用可能であること、補強土擁壁の盛土材として使用した場合には砕石と比べて補強領域断面を大幅に縮小可能であることを示した。このことから、フェロニッケルスラグを盛土材として使用することにより材料の節約・用地縮小等によって砕石と同等の価格であったとしても結果的にトータル・コストが低減されるため有効であると言える。

本実験シリーズにおいて、せん断試験後の試料を観察した結果、試料の粒子破碎が確認された。そのため、今後は徐冷フェロニッケル材の粒子破碎の耐久性も含めたさらなる検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) (財)土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計施工マニュアル, 2013.
- 2) (社)日本道路協会：道路土工擁壁工指針, 平成24年度7月
- 3) 盛健太郎, 小山直輝, 橋詰豊, 金子賢治：徐冷フェロニッケルスラグの盛土材としての有効性の検討, 平成27年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, III-9, 平成28年3月