投稿論文

環境に優しく豪雨と地震に強い 新しい補強土壁工法の研究開発

游谷 啓 ¹・片岡沙都紀 ²・白 濟民 ³

1神戸大学大学院 教授 工学研究科 市民工学専攻(〒 657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail: sshibuya@kobe-u.ac.jp

² 神戸大学大学院 助教 工学研究科 市民工学専攻(〒 657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail: skataoka@people.kobe-u.ac.jp

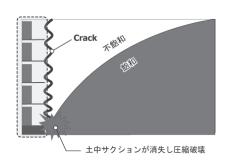
³ 神戸大学大学院 学術研究員 工学研究科 市民工学専攻(〒 657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1) E-mail:baek@people.kobe-u.ac.jp

最近の雨の降り方は尋常ではないのみならず、大地震も多発している。なお、豪雨・地震による宅地・道路盛土の被害が後を絶たない。2004年10月に兵庫県養父市で発生した盛土崩壊現場では、高さ20mもある道路補強盛土が、一夜にしてすべり落ちた。台風による豪雨により盛土内へ雨水が浸入して盛土本体が弱体化し、同時に谷部に雨水が滞水して盛土がダム化し、基礎のすべり破壊が生じたのが原因であった。この破壊事例の最大の教訓は、この種の盛土崩壊を防ぐためには、盛土内および周辺への雨水の浸透および滞水を許さないことであった。それで、本研究では、豪雨・地震に強く、低コストで環境面でも安全な"鉄鋼スラグ補強土壁工法"の研究開発を目指す。研究を具現化するために、①盛土材料となる鉄鋼スラグの材料特性に関して2種類のスラグ(水砕スラグ、製鋼スラグ)とアッシュストーン(2つのメーカーの製品)を用いて実施した室内実験の結果、および②製鋼スラグと土との混合土の環境安全性を評価するために、神戸大学内で施工した小型スラグ混合盛土のアルカリ浸出水の測定結果をまとめている。

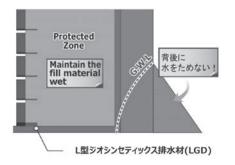
キーワード: Soil-improvement, Steel slag, Fill material, Embankment, L-shaped geosynthetic drain

1. はじめに

近年、雨水浸透に起因して補強土壁が被災する事例が 増えている. 平成16年台風23号の豪雨災害では, 兵庫 県内で建設中の補強土壁が、背面部での急激な水位上昇 に伴い崩壊した. 背部の斜面や地山からの雨水浸透によ り盛土内の飽和領域が拡大し、サクションの低下による 盛土材の剛性および強度低下を引き起こしたことが主た る原因である.一般にシルト質土や砂質土など細粒土を 使用した土構造物は透水性が低いことから, 一旦盛土内 に雨水浸透が生じると排水に時間を要し、飽和状態が長 時間継続する傾向が見られる. 長期にわたる飽和状態の 形成は、図-1(a)に示す様な盛土内部での圧縮破壊を招 き、補強材による補強効果を消失させることとなる. した がって補強土壁の被害軽減のためには、盛土内への雨水 等の浸入および盛土背部での帯水を許さないことが重要 となる. この種の盛土崩壊を防ぐために澁谷ら(2008)^{1)~3)} は、従来の排水工の弱点を改善したL型排水盛土防水 工を提案している. この工法は従来の盛土内に設置した



(a) 補強土壁内部の飽和による圧縮破壊



(b) LGD設置による盛土の飽和化防止

図-1 飽和による破壊と LGD 防水工の概念図

排水工とは異なり、盛土内に鉛直に設置したジオシンセティックス排水材によって盛土背面からの浸透水を下方に落とし、盛土底部に設置している排水層から速やかに浸透水を盛土外へ排水させる方法である。これは、盛土自体を防水領域と考え、単に遮水するのではなく、十分な排水によって盛土背面からの浸透水を断固として許さず、盛土背部からの浸透水の蓄積を防ぐことに特徴がある(図-1(b))。この特徴から、L型排水盛土防水工は「沢部の腹付け盛土」「大規模盛土」「谷埋め盛土または既設盛土対策」等の用途への適用が提案されている⁴)。

一方、細粒土に分類される現地発生土を盛土材として 適用しなければならない場合、セメント系改良材による 安定処理が行われることが往々にしてある。安定処理に より透水性が低下することで、補強土壁背面での滞水が 懸念される。

本研究では、研究開発中である新盛土工の実現を目的とし、強度特性が優れる製鋼スラグの盛土材料としての活用性および不良盛土材(例えば、細粒分の多い自然土など)に対する改良効果を検討するため、自然土、製鋼スラグ、製鋼スラグと自然土を混合した混合土について、一連の室内試験を通して物理的特性、透水・pH特性、締固め特性およびせん断強度特性を調査している.

さらに、製鋼スラグと土との混合土の環境安全性を評価するために、神戸大学内で施工した小型スラグ混合盛土のアルカリ浸出水の測定結果をまとめている.

2. 鉄鋼スラグ盛土の力学・耐震性に関する 検討

重質で自硬性を有する鉄鋼スラグを土木分野で多用されている面状の補強材で巻いて締固めることにより、L型スラグ鉛直擁壁を築造する。同時に粒状の軽量スラグ(例えば、アッシュストーン)を盛土材として使用する。このような盛土の場合、軽量盛土であるため地震時の水平土圧が軽減され、さらにL型スラグ擁壁が抗土圧構造物として機能するため、地震に強い盛土となる。

鉄鋼スラグは高炉スラグと製鋼スラグ(転炉スラグ,電気炉スラグ)に大別され、冷却方法や化学組成により軽量なものから重質なものまで、種々の特性を有するものがある。また兵庫県で公認され、NETIS にも登録されているアッシュストーン(石炭灰固化物)もユニークな材料特性を有している。

2.1 一次的性質および土壌環境特性

表-1 は鉄鋼スラグそれぞれの試料の一次的性質を表している. アッシュストーン A および B の密度は一般

表-1 用いた試料の基本的な物理特性

	区 分	アッシュ ストーンA	アッシュ ストーンB	水砕 スラグ	製鋼スラグ	電気炉スラグ	淀川 試料A
	含水比(%)	45	40	4.2	3	0.35	17.1
密度(g/cm³)		2.393	2.410	2.691	3.167	3.601	2.667
間隙比		-	-	e_{max} =1.431 e_{min} =0.999	-	(i)=	-
吸水率(%)		45.6	39.7	-	2.7	2.0	-
コン	,システンシー	NP	NP	NP	NP	NP	W_L =33.9 W_p =20.8 I_p =13.1
粒度特性	均等係数(Uc)	92.6	68.2	3.9	33.17	11.59	185
	曲率係数(Uc')	1.66	13.2	0.66	4.29	1.26	1.7
	最大粒径(mm)	26.4	19	4.75	37.5	31.7	37.5

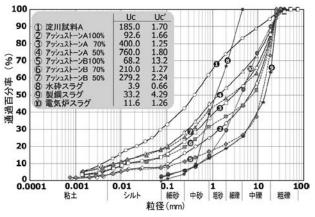


図-2 粒径加積曲線

的な土と比べて軽質であり、吸水率は 40%程度と高い。また、水砕スラグの密度 $(2.691~{\rm g/cm^3})$ は自然砂である豊浦砂 $(2.643~{\rm g/cm^3})$ と概ね等しい値であるが、水砕スラグの粒子に気泡が多く含まれている $^{5)}$ ので、最大・最小間隙比 $(e_{\rm max}=1.431,~e_{\rm min}=0.999)$ は豊浦砂 $(e_{\rm max}=0.977,~e_{\rm min}=0.597)$ よりも大きい。一方、製鋼スラグは重質であり、吸収率が 2.7% と低い値を示している。

図-2は、それぞれの試料の粒径加積曲線である。アッ シュスト-ンA, Bをシルト質土の淀川試料Aと混合 することにより、 粒度分布が大幅に改善できることが分 かった. 一方, 鉄鋼スラグを盛土材料として利用する場 合、周辺土壌に及ぼす環境的な影響を検討する必要があ ることに着目して、2種類のアッシュストーン混合土の pH 値を測定した. シルト質土と混合すると, pH 値が 若干小さくなるものの、10以上と高いアルカリ性を示 している、水質汚濁防止法による排水基準である pH の 許容値が 5.8 ~ 8.6 (海域 5.0 ~ 9.0) と定められているこ とを考慮すると 6) アッシュストーンを単体で盛土材料と して利用する際には、しかるべき対策をすべきである. その意味で、浸透水の流入を防ぐ盛土防水工が必須とな る. また、水砕スラグの時間経過による pH の変化を観 察するために、締固め度 Dc = 95%で締固めた供試体に 水道水(pH7.2)を透水させて, 流出水の pH を測定した.

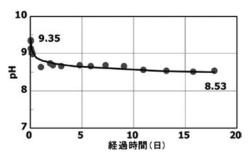


図-3 水砕スラグの経過時間 -pH 関係

表-2 定水位透水試験の結果

	E ()	D _c				
	区 分	80%	85%	95%		
定水位	アッシュストーンA	-	4.7×10^{-4}	5.9×10^{-5}		
透水試験	アッシュストーンB	_	7.9×10^{-4}	6.7×10^{-5}		
k ₁₅	水砕スラグ	6.37×10^{-4}	-	1.72 × 10 ⁻⁴		
(m/s)	製鋼スラグ	9.41×10^{-5}	-	1.75 × 10 ⁻⁵		
	電気炉スラグ	1.09×10^{-3}	-	3.49×10^{-4}		

初期のpH は9.35 であったが、わずか1日で急激に低下している(図-3 参照). 試験開始後、約18日経過した時点でpH は収束する傾向が見られた. 18日以後はpH は約8.53 であり、水質汚濁防止法による排水基準のpH の許容値以内の値となった.

2.2 透水及び締固め特性

鉄鋼スラグを盛土材料として利用するためには高い透 水能力と締固め管理が容易でなければならない. した がって、各試料における透水特性及び締固め特性を評価 した. 表-2 は各試料に対して定水位透水試験を行った 結果であり,製鋼スラグの場合は粒度調整(19 mm ふる い通過分)した試料を用いて透水試験を実施した. 試験 の結果、それぞれの試料の透水係数は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ m/s 程度で「中位」の透水性を表している. また、水砕スラグ の時間経過による透水係数の変化を観察するために水砕 スラグを 10×12.73 cm のモールドに締固め度 95% (ρ_{dmax} =1.455 g/cm³, w_{opt} = 26.5%) で締固めた後, 定水位透水 試験を実施した. その結果, 試験初期の透水係数は1.76 ×10⁻⁴ m/s であったが、試験開始後 18 日経過時の透水 係数は2.13×10⁻⁵ m/s と当初より低い値に収束して いった. これは水砕スラグの潜在水硬性の影響が原因で あると考えられる.一方,表-3は各試料ごとの締固め 方法であり、図-4 は JISA1210 「突固めによる土の締固 め試験」に従って実施した各試料の締固め曲線である.

図-4 は、それぞれの試料の締固め曲線を示している. 製鋼スラグ、アッシュストーン A、B と水砕スラグはシルト質土である淀川試料 A と混合して締固め試験を実施した. 図-5 に示すように、重質である製鋼スラグを除き、軽質であるアッシュストーン A、B と水砕スラグ

表-3 各試料ごとの締固め方法

-	区分	締固め方法
Г	電気炉スラグ	A-c (湿潤法,非繰返し)
19mm	製鋼スラグ 50%:50% 淀JIJA	A-c (湿潤法,非繰返し)
通過分	製鋼スラグ 70%:30% 淀川A	A-c (湿潤法,非繰返し)
Ľ	製鋼スラグ 100%:0% 淀川A	A-c (湿潤法,非繰返し)
	淀川試料A	B-c (湿潤法,非繰返し)
-	水砕スラグ 50%:50% 淀川A	A-c (湿潤法,非繰返し)
	水砕スラグ 70%:30% 淀川A	A-c (湿潤法,非繰返し)
_	水砕スラグ 100%:0% 淀川A	A-c (湿潤法,非繰返し)
	アッシュストーンA,B 50%:50% 淀川A	B-c (湿潤法,非繰返し)
	アッシュストーンA,B 70%:30% 淀川A	B-c (湿潤法,非繰返し)
	アッシュストーンA,B 100%:0% 淀川A	B-c (湿潤法,非繰返し)

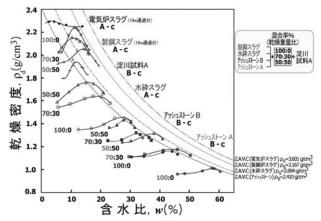
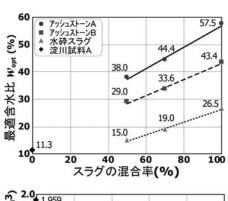


図-4 鉄鋼スラグ及び混合土の締固め曲線



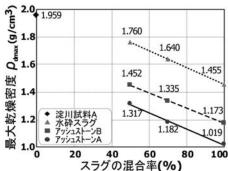


図-5 鉄鋼スラグの混合率と W_{opt} と ρ_{dmax} の関係

の場合は、スラグ混合率が高くなるほど、最適含水比は高くなる反面、最大乾燥密度は低くなることが明らかになった。これは前述したように粒度の改善によって細粒分が多くなったこと 7 とアッシュストーン A、Bと水砕スラグが有している軽量性および高吸水性(アッシュス

トーン A, Bのみ)に起因すると考えられる。したがって、アッシュストーン A, Bと水砕スラグを用いた混合土は、重質である製鋼スラグ混合土とは異なる傾向で、一般の盛土材料より軽量で締固めが容易であり、盛土構造物としての耐震性が大幅に改善できるものと予想される。

2.3 一軸及び三軸試験による強度特性

供試体は、ブリキ製モールドに締固め度95%になるように静的に締固めて作製し、恒温室で水中(蒸留水)養生した. 図-6 は、養生期間が水砕スラグの一軸圧縮強度に及ぼす影響を示している。養生期間が6ヶ月(187日)までの水砕スラグの一軸圧縮強度の増加は認められない。さらに最大圧縮強度は10 kPa 以下で非常に低い値である。ところが、養生期間9ヶ月(285日)では一軸圧縮強度が若干増加し、1年間養生した供試体の一軸圧縮強度は著しく増加して414.8 kPa まで上がった。水砕スラグの特徴である潜在水硬性が発現されているものと考えられる。一方、鉄鋼スラグを盛土材料として利用するために、養生した供試体ではないが、三軸圧縮試験を通して強度特性を評価した。表-4 に三軸圧縮試験の条件を示す。

図-7 にスラグ混合率と粘着力 $c_{\rm d}$ 及び内部摩擦角 $\phi_{\rm d}$ の関係を示している。アッシュストーンの混合土の $\phi_{\rm d}$ は

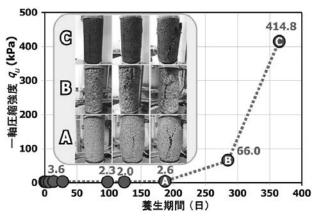


図-6 水砕スラグの時間経過による一軸圧縮強度特性

表-4 三軸圧縮試験の条件

区分	混合率(乾燥		締固め度 Dc(%)	拘束圧力 σ'(kPa)	ひずみ速度 (%/min)	
アッシュ	0%:100%	CU試験	98	50,100, 150	0.05	
ストーン の混合土	50%: 50% 70%: 30% 100%: 0%	CD試験	95	50,100, 200	0.1	
区分	混合率(乾燥水砕スラグ:流		締固め度 Dc(%)	拘束圧力 σ'(kPa)	ひずみ速度 (%/min)	
水砕スラグの混合土	100%: 0% 70%: 30% 50%: 50%	CD試験	95	49.05 98.10 196.20	0.3	

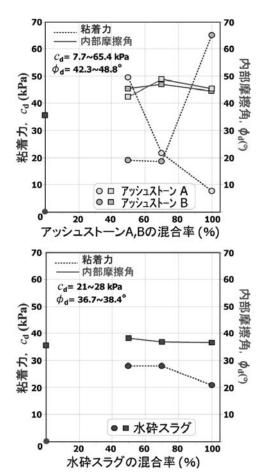


図-7 鉄鋼スラグの混合率と強度定数

 40° 以上となり、水砕スラグの混合土の ϕ_d は 36° 以上となる。これは、通常の盛土設計時に使われている値 $^{8)}(c_d=0~\mathrm{kPa},~\phi_d=30\sim35^\circ)$ を大きく上回っている。 したがって、アッシュストーン・水砕スラグの混合土は、通常の応力レベルにおいて盛土材料として十分な強度を有していると考えられる。

3. 製鋼スラグ混合盛土のアルカリ浸出水の 測定

3.1 小型盛土試験に使用した試料の物性

今回使用した建設残土および製鋼スラグの主な物性を表-5にまとめる。使用した建設残土は、高速道路建設予定地より発生した残土であり、高い細粒分含有量を示す土試料である。また製鋼スラグは、精製過程の異なるものを2種類使用した。以下、本文ではスラグA、Bと記載する。スラグの土粒子密度は、建設残土に比べると双方とも高い値を示していることがわかる。また、各試料の初期pHは、建設残土が8.8に対してスラグA、Bは各々11.5、10.8と高い値を示しており、同じ製鋼スラグでも精製方法が異なると成分が異なってくるので得られるpHにも違いが出ていることがうかがえる。図-8は

最適含水比(%)

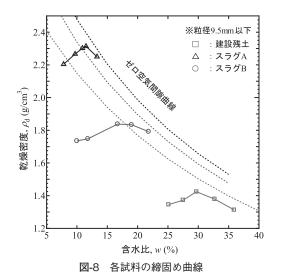
X O IX/N O /CEVITIVE II III/II							
区名	٦.	建設	スラグ	スラグ			
	,J.	残土	A	В			
土粒子密度(g/cm³)		2.694	3.294	3.051			
初期含水比(%)		30.9	5.2	11.6			
液性限界(%)		38.4	NP	NP			
塑性限界(%)		31.0	NP	NP			
	礫	36	47	41			
粒度 (%)	砂	16	48	49			
	細粒土	48	5	10			
初期 pH		8.8	11.5	10.8			
最大乾燥密度(g/cm³)		1.41	2.32	1.85			

29.3

11.3

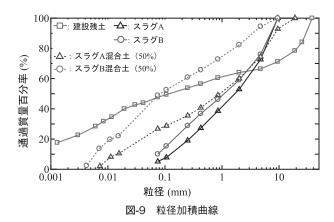
18.9

表-5 使用した試料の各種物性



各試料の締固め曲線である. なお, 試験は A-a 法にて 実施した. 双方のスラグに関しては, 表-5 で粒度分布 に大きな差は見られないものの, 締固め曲線上ではスラ グBで最大乾燥密度がスラグ A に比べて低くなってい るが, これは土粒子密度の違いが影響していることが一 因となっている. ここで, 今回の試験は建設残土と製鋼 スラグを混合させることによる粒度改善や締固め効果が 強度や透水性に与える影響を検討していくことを目的と しているが, 各製鋼スラグと建設残土との混合土の作製 方法に関しては, 土と製鋼スラグの土粒子密度に差があ ること, 実際の盛土施工時の配合を考慮し, 配合比は体 積割合とした.

図-9には各試料の粒径加積曲線を示す.なお、グラフには建設残土に双方の製鋼スラグを50%配合させた試料の粒径加積曲線も示している.ここで、スラグ混合土の最大粒径が建設残土のそれよりも小さくなっているが、これは建設残土の粒径幅が広く、建設残土を採取する際に試料粒径がばらつくことで最大粒径が変動したものと思われる.図より、建設残土にスラグを混合させる



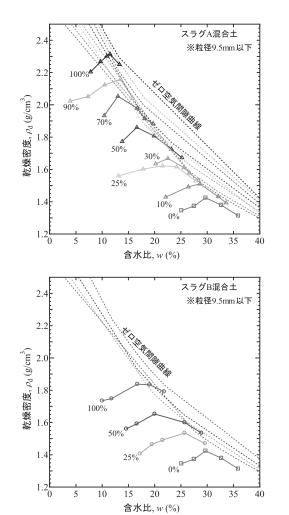


図-10 締固め曲線(図中の割合は製鋼スラグの混合割合を示す.)

ことにより建設残土単体だと30%近く存在していた粘土 分含有量が低下し、砂~シルトの粒径割合が増加した. また、各スラグ混合土の平均粒径を比較すると、スラグ Aが0.8 mm, スラグBが0.07 mmという結果となった.

所定の配合比で作製したスラグ混合土を用いて得られた締固め曲線を図-10に示す. なお締固め曲線は, 各配合比で建設残土とスラグを混合させたスラグ混合土に対して 9.5 mm 通過試料を用い, A-a 法を用いて実施した結果となっている. 図より, 双方のスラグ混合土ともス

ラグの混合割合が高くなるほど、締固め曲線は右下から 左上に推移する傾向が確認できる.

3.2 施工時の盛土の様子

大学内において小型盛土(幅2m,高さ1m)を施工し、 盛土内から浸出する水の pH 計測を実施することでスラ グ混合土により施工した盛土のアルカリ浸出水の影響を 検討した. 写真-1 に小型盛土の様子を、図-11 に盛土の 概略図を示す. なお、pH は盛土内部の浸出水のみとし て極力雨水の希釈を防ぐために**写真-1 b, c** に示すよう に上面以外をブルーシートで覆い、水溜めで受けた浸透 水を採取して pH の測定を実施した. また, 図-11 中の 断面図にも示す通り、盛土底面には防水シートを敷設し ており、盛土底面から地盤への雨水の浸透はない. 盛土 材料は前節の室内試験結果を考慮し、スラグ A 混合土 (50%, 75%), スラグB混合土(50%, 75%), 建設残 土のみの5つのパターンとした. 施工後の盛土天端にお いて砂置換による現場密度試験を実施し、施工盛土の乾 燥密度と締固め試験(A-a 法, 1Ec にて実施)より得られ た最大乾燥密度より、施工盛土の締固め度を算出した.



写真-1 小型盛土の様子(a:正面, b, c:背面, d:上面)

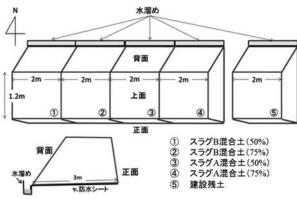


図-11 小型盛土の概略図

表-6 各盛土の詳細

	1	2	3	4	(5)
現場乾燥密度 g/cm³	1.86	2.22	1.85	1.78	1.88
盛土の含水比 %	13.8	17.4	17.4	24.6	14.4
最大乾燥密度 g/cm³	1.83	2.07	1.82	1.94	1.81
最適含水比 %	15.7	12.4	10.6	12.9	13.5
締固め度 %	102	107	102	92	104

各盛土の詳細を表-6 に示す(表内の①~⑤は図-11 の① ~⑤に対応). これより, 施工後の盛土の締固め度は概ね 100%を超える結果となることが確認できた.

3.3 盛土浸出水の pH 計測結果

図-12 には、施工後 25 日および 50 日経過時の盛土浸 出水の pH 計測結果を示す. ここで. 各計測日に採取し た浸出水は採取後一度水溜め内に残っている水を排水し ている. また, 施工後25日の浸出水の採取にあたって は、盛土を造成した時期が2月下旬と比較的降雨の少な い時期であったために、雨水による盛土内からの浸出水 を十分に得ることができなく、盛土施工直後に人工的に 注水を行った。その際、注水した水量は、気象庁 HP よ り抜粋した2014年度の神戸市の年間平均降水量(約 1,216 mm) を参照にし、1日平均降水量(30日/月として 計算)を計算して、天端の面積から算出した量(約9ℓ)を 盛土天端より注水した。図より、施工後25日では①~ ④のスラグ混合土はいずれも pH が 10 ~ 13 と高い値を 示していることがうかがえるが、施工後50日では概ね pHが8程度になっており、建設残土のみの盛土(⑤)の 値と同様な値を示していることがわかる. このように.

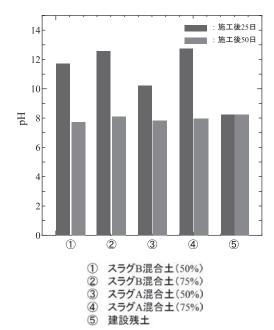


図-12 小型盛土からの浸出水の pH

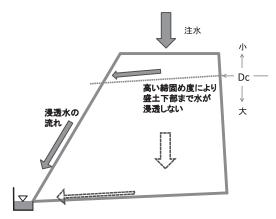


図-13 盛土内部への降雨の浸透(イメージ)

約50日程度でpHの値が建設残土と同程度の値にまで低下した原因として、今回の盛土は天端部分の締固め度がどれも90%以上と高いこと、盛土は下部にいくほど土被り圧の影響を受けて締固め度が高くなることを考慮すると、天端より浸透した水は下部まで浸透せず、上層部で背面方向に水がしみ出して流れている可能性が考えられる(図-13にイメージ図を示す.). これにより、スラグのアルカリ分が低下するのが早く、50日程度で建設残土と同程度になったものと思われる. 以上より、スラグと土が混在している盛土では、締固めを十分に行うことによって盛土深部に雨水が浸透する量はごくわずかであると想定されるため、施工直後はpHが高いものの、施工後2か月も経過するとpHが安定する可能性が示唆される. しかし、現時点ではまだデータが少ないので、今後も長期的なpHの経時変化を計測していく必要がある.

4. 結論

本研究では、鉄鋼スラグの有効利用促進の一環として研究開発中である新盛土工の実現のために、それぞれの鉄鋼スラグの材料特性を明らかにした。まず、2種類のスラグ(水砕スラグ、鉄鋼スラグ)とアッシュストーン(2つのメーカーの製品)の一次的性質、透水性、pH値、締固め特性およびせん断強度特性を調査した。また、シルト質土(淀川試料 A)を重量比で混合した複合土を用いて同様な室内試験を実施して混合土の工学的な特性を把握した。

1) アッシュストーンと水砕スラグは一般の盛土材料に比べて軽質であり、鉄鋼スラグと電気炉スラグは重質である。水砕スラグは粒子の中に気泡が多いので最大・最小間隙比が大きい、アッシュストーン A、Bの吸水率は高い、したがって、現場において最適含水比よりも湿潤側にあるシルト質土にアッシュストーンを適量混合することにより、粒度特性及び締固め特性が改善

できるであろう.

- 2)スラグは、盛土材料として一般的に使用されている土砂と同等な透水能力を有している。なお、水砕スラグは時間経過とともに透水係数とpHが低下しながら収束して行く。アッシュストーンはシルト質土と混合することによりpHが減少する。
- 3)アッシュストーンと水砕スラグをシルト質土と混合して 締固め試験を行った結果、混合率が高くなるほど、最適 含水比が高く、最大乾燥密度は低くなる傾向を示した.
- 4) 水砕スラグを蒸留水に水浸させて養生した後,一軸圧縮試験を行った結果,養生期間が6ヶ月(187日)までの水砕スラグの一軸圧縮強度の増加は認められない。さらに最大圧縮強度は10 kPa 以下で非常に低い値である。ところが,養生期間9ヶ月(285日)では一軸圧縮強度が若干増加し、1年間養生した供試体の一軸圧縮強度は著しく増加して414.8 kPaまで上がった。水砕スラグの特徴である潜在水硬性が発現されていると考えられる。アッシュストーンの混合土と水砕スラグの混合土は内部摩擦角が通常の盛土材料より大きく,盛土材料として十分な強度特性を有していることが分かる。
- 5) 鉄鋼スラグ混合土を用いて造成した盛土の暴露試験結果より、造成当初は浸出水のpHが高くなるが盛土を十分に締固めることで盛土深部への浸透が低下し、2か月程度でpHは減少してアルカリ浸出水の影響を抑制することが示唆された.

謝辞:本研究の遂行において,一般社団法人日本建設機械施工協会ならびに鐵鋼スラグ協会からの研究助成金を受けた.記して謝意を表します.

鉄鋼スラグ混合盛土の暴露試験は、神鋼スラグ製品㈱ならびに日鉄住金スラグ製品㈱からの資金援助を受けた。

参考文献

- 1) 澁谷啓, 齋藤雅彦, 原健二,三井仁哉:ジオシンセティックスを用いた「L型排水盛土防水工」の提案,第43回地盤工学研究発表会発表講演集,pp. 1539-1540, 2008. 7.
- 2) 原健二, 齋藤雅彦, 三井仁哉, 澁谷啓: ジオシンセティックスを用いた L 型排水盛土防水工の模型実験と数値シミュレーション, 第43 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1541-1542, 2008. 7.
- 3) 原健二、澁谷啓、齋藤雅彦、鳥居宣之、蔡鍾吉、桝尾孝之:ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土防水工、ジオシンセティックス論文集、Vol. 23、pp. 147-154、2008
- 4) 澁谷啓:盛土崩壊のメカニズムと対策工、ジオシンセティックス論 文集、Vol. 23, pp. 1-4, 2008.
- 5) 沿岸技術研究センター:港湾・空港における水砕スラグ利用技術マニュアル,沿岸技術ライブラリー No.27, pp.4-5, pp.25-26, 2007.
- 6) 国土交通省:http://www.mlit.go.jp/, pH 及び悪臭に関する留意事項、資料 1-6-9.
- 7) 土質工学会:土質試験結果の解釈と適用例, pp. 335-336, 1979.
- 8) 日本道路公団:設計要領第一集, 2009.7.

(2015. 7. 24 受付, 2016. 5. 31 採用決定)

ENGINEERING PROPERTIES OF THE MIXTURE OF STEEL SLAG WITH FINE-GRAINED SOIL IN USE FOR FILL MATERIAL

Satoru SHIBUYA¹, Satsuki KATAOKA² and Je-Min BAEK³

¹ Professor, Graduate school of Civil Engineering, Kobe Universitiy ² Assistant Professor, Graduate school of Civil Engineering, Kobe Universitiy ³ Post-doctoral Fellow, Graduate school of Civil Engineering, Kobe Universitiy

Steel slag is by-product in the process of producing steel. It is a granular material in shape. The objective of this research is to examine engineering properties of the mixture of various kinds of steel slag with fine-grained soil, bearing in mind the use of it as fill material in geotechnical engineering practice. In this paper, the results of laboratory tests such as the characteristics of grading, compaction, permeability, deformation-strength and pH were presented. It was manifested that the engineering properties of fine-grained soil as fill material are significantly enhanced by adding the steel slag with appropriate amount. In addition to it, the alkali seepage water from the steel slag embankment disappeared in about two month, after the examination in a test fill.