

スラグを用いた火山灰質粘性土の化学的安定処理に関する研究

熊本大学 学生会員 ○坂井佑人
正会員 北園芳人

1. 研究背景

我が国は国土の 40%が火山灰質粘性土で覆われており、建設工事では火山灰質粘性土を扱うことが多い。火山灰質粘性土は含水比、鋭敏比が非常に高く、それを掘削、盛土することで攪乱を受けると極めて軟弱化し支持力不足になる。そのため、火山灰質粘性土を盛土等として利用するには安定処理が必要とされるが、この特性により、締め固めなどの物理的安定処理が非常に困難である。さらに多量に含まれる非晶質鉱物、有機物は、化学的安定処理効果を妨害する。このような問題を解決するために、本研究室では、固化材としてスラグ・消石灰・石膏の 3 種を混合した石灰系固化材を主に使用した安定処理を研究し、その効果を示してきた¹⁾。しかし水砕スラグを用いた安定処理では黒ぼくに対して十分な強度が出ていないことや、水砕スラグよりも安定処理効果の大きい高炉スラグ微粉末は水砕スラグに比べて高価であり、コストが高くなるという課題がある。この課題を解決するために、本研究では高炉スラグ微粉末と水砕スラグを混合したものを固化材として使用した場合の安定処理効果を検討した。

2. 研究内容と目的

火山灰質粘性土にスラグを用いた固化材を加えることで硬化反応を発生させ、一軸圧縮強度に与える影響を調べた。まず試料に固化材（高炉スラグ微粉末、水砕スラグ、消石灰、石膏）を添加し、一軸供試体（直径 5mm、高さ 10cm）を作製する。そして養生日数（0、7、28、56 日）ごとに一軸圧縮強度を測定した。また、同時に 7 日養生供試体を用い六価クロム溶出量の測定も行った。一軸圧縮強度、六価クロム溶出量、コストの関係から安定処理効果と固化材の適正添加率を検討した。

3. 試料

試料の黒ぼく、赤ぼくは表 - 1 に示すように共に含水比が非常に高い。また赤ぼくは液性指数が 1.0 以上であり攪乱により極めて軟弱になる。黒ぼくは有機物を多量に含むため、強熱減量が非常に大きい。赤ぼくと黒

ぼくは一般に黒ぼくが上位に、赤ぼくが下位にあり、場所によっては互層をなしているため、単体で用いることは施工上効率が悪い。したがって本研究では赤ぼくと黒ぼくの混合比を 7:3 として供試体を作成した。

表 - 1 試料の物理・化学特性

試料名		赤ぼく	黒ぼく
自然含水比	$w_n(\%)$	126.4	303.1
土粒子密度	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.760	2.464
液性限界	$w_L(\%)$	113.4	312.1
塑性限界	$w_P(\%)$	87.4	225.7
塑性指数	$I_p(\%)$	26.0	86.4
液性指数	$I_L(\%)$	1.49	0.90
強熱減量	$L_t(\%)$	15.1	34.8
土質分類		VH2	OV
採取地		阿蘇市狩尾	

4. 固化材

本研究室における既往の研究では、スラグ（高炉スラグ微粉末または水砕スラグ）・消石灰・石膏の 3 種を混合した石灰系固化材を使用してきた。今回の研究では研究背景でも述べたように 2 種のスラグを混合した。以下に本研究で用いた添加率を記す。固化材添加率は土の乾燥質量に対しての割合で示している。

表 - 2 添加率

供試体番号	高炉 %	水砕 %	消石灰 %	石膏 %
1	10	10	5.5	5.5
2	10	15	5.5	5.5
3	10	20	5.5	5.5
4	10	25	5.5	5.5
5	15	5	5.5	5.5
6	15	10	5.5	5.5
7	15	15	5.5	5.5
8	15	20	5.5	5.5
9	0	0	5.5	5.5
10	20	0	5.5	5.5

5. 一軸圧縮試験

5.1 目標強度の設定

火山灰質粘性土を利用する場合、安定処理したものでコーン指数 $q_c=800\text{ kPa}$ 以上であれば、道路路床用盛土などに利用することができる²⁾。また火山灰質粘性土におけるコーン指数(q_c)と一軸圧縮強度(q_u)の関係は、一軸圧縮強度 $q_u=0.083\sim 0.125q_c$ である³⁾。これらの関係から、 $q_u=66.4\sim 100\text{ kPa}$ となるので、本研究では安定処理の目標強度を $q_u\geq 100\text{ kPa}$ とする。

5.2 試験結果

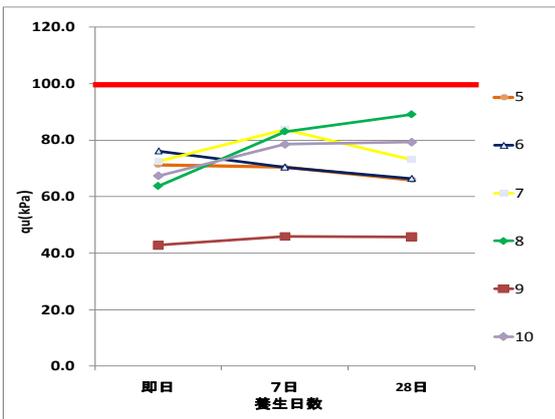
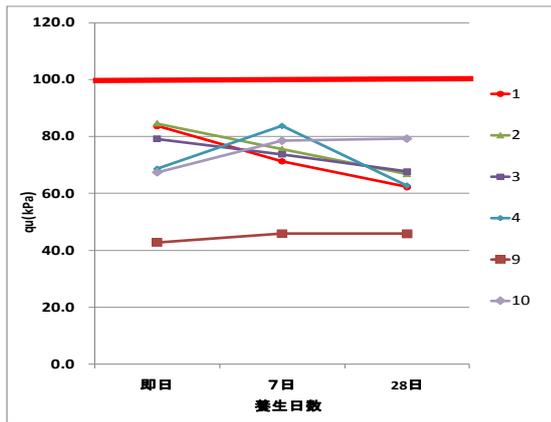


図-1 養生日数における強度変化

養生日数 (0 日) の強度発現は固化材の添加による含水比の低下が、7 日養生では主に水和反応やイオン交換反応及びによる強度発現が見られるといわれている。本研究では高炉 10% で 1 つ、高炉 15% で 2 つの供試体に増加傾向が見られた。7 日強度の伸びは水砕スラグの添加率に比例して大きくなっている。

28 日養生 (長期養生) では主にポズラン硬化反応と高炉スラグ微粉末および水砕スラグの潜在水硬性による強度増加が期待できるといわれている。高炉 15% で 1 つの供試体に増加傾向が見られたが、高炉 10% ではどの供試体にも強度増加が現れなかった。黒ぼくの硬化妨害作用により、高炉スラグ微粉末の割合が少ない固化材を混合した供試体では十分な強度が得られなかったと考えられる。

6. 六価クロム溶出試験結果

消石灰に含まれる六価クロムは土と固化材との水和反応により十分に固定されなかった場合、土中に溶出する可能性がある。本研究では水和反応が出にくいと考えられる高炉 10% の 4 種類 (供試体番号 1、2、3、4)

の 7 日養生供試体について試験を行った。本実験では環境基準である 0.05mg/l を超過したケースはなかった。スラグのもつ還元作用が発揮され、六価クロムの溶出を抑制したと考えられる。

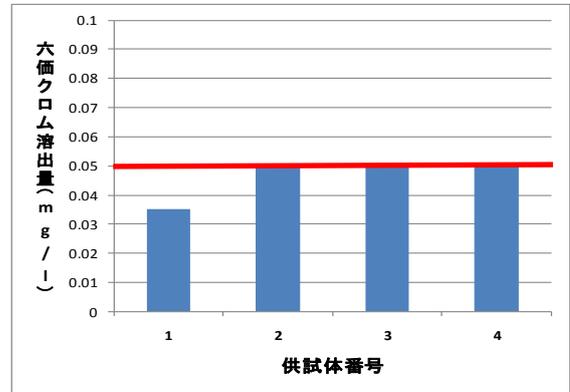


図-3 六価クロム溶出量

8. 考察

7 日養生後、7 日から 28 日養生後の供試体では一軸圧縮強度の増加が確認できたが、目標強度を満たす供試体は無かった。水砕スラグは高炉スラグ微粉末と比較して比表面積が小さく土粒子と接触できる面積が少ないため硬化反応が進まなかったことや、黒ぼくの硬化妨害作用が働き本実験で設定した添加率では目標強度を達成するには不十分であったと考えられる。そこで現在、目標強度を達成できるように高炉スラグ微粉末、水砕スラグの添加率を変えて再試験を行う予定である。また、六価クロム試験においてはどの添加率においても土壌環境基準 (0.05mg/l 以下) を満たしており、今回の研究で用いる固化材添加率において六価クロムの溶出の問題はないことが確認できた。

謝辞

スラグを提供していただいた JFE ミネラル様はこの場を借りて感謝するとともに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 石井・畠添：火山灰質粘性土に対する安定処理材の適正添加率に関する研究～主に水砕スラグを対象として～、平成 22 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp.483-484, 2011.
- 2) 独立法人 土木研究所：建設発生土利用技術マニュアル 第 3 版、pp.5-7, pp13-15, 2004.
- 3) 熊本大学工学部土木工学科土質研究室：『阿蘇火山灰土の土質試験法』、pp1-10, pp12