

火山灰質粘性土と高炉スラグ微粉末を用いた流動化処理土の適用性

土木地質株式会社 ○相澤 英輔, 岡林 昌宏, 橋本 亮

1. はじめに

地盤に構造物を建設する場合、地山を掘削し、必要に応じて地盤を補強し、構造物を設置し、空隙の埋戻しや裏込めが行われる。過密化した都市では、道路の地下や住宅地の大深度地下に、様々な公共インフラが埋設されている。近年、地下構造物の非開削工事に伴う地上の陥没事故や、埋設物の老朽化に起因する地中の空洞化による事故が多発している。その原因は、過去の工法が未発達な時代の不十分な締固めによるものもあれば、また現代においては崩落性の高い地質に対する不適切な工法による場合もある。地下の掘削をともなう工事では、周辺地盤の確実で堅牢な補強や埋戻しが必要である。

転圧機械による締固めが困難な環境下で、堅牢な埋戻し地盤を形成可能な工法として、流動化処理工法がある。流動化処理工法は、土と水と固化材を混合した流動化処理土を空隙に充填する工法である。流動化処理土は、施工時には流動性があり運搬性に優れ、施工完了後は固化材の効果により必要な強度に硬化するよう設計調整される。流動化処理土の原料土は、ストックヤードに貯蔵された残土である場合や、現場での掘削から生じた発生土が利用される場合がある。

全国各地に分布する火山灰質粘性土（ローム）からなる軟弱地盤に対して地盤改良を施すとき、特殊土用のセメント系固化材以外では思うように効果が得られないことが知られている。本研究では、火山灰質粘性土の現場発生土を流動化処理土の材料として利用可能かどうか、いくつかの種類の固化材を用いて試みた。

2. 使用材料

(1) 材料土

使用した土は、入手性の上での便宜上、仙台市近郊などでも採取可能なローム（図-1）を使用した。その概要を以下に示す。また、土質試験結果を表-1に示す。

土質名称：ローム

採取量：135 kg 土嚢袋（内ポリ袋）10袋に分取

含水比：100.5±5.0%

表-1 ロームの土質試験結果.

土粒子密度 (g/cm ³)	自然含水比 (%)	粒度組成 (%)				コンシステンシー(%)	
		礫分	砂分	シルト分	粘土分	液性限界	塑性限界
2.493	95.7	8.6	16.8	43.0	31.6	109.2	76.3

(2) 固化材

流動化処理土を固めるための固化材には、以下の物を単独または幾つかの組合せで混合して使用した。

1. アースシリカ® (ES) — アルカリ剤を添加したガラス粉。
2. 高炉スラグ微粉末 — JIS A 6206 コンクリート用高炉スラグ微粉末に規定する高炉スラグ微粉末4000の品質に相当するもので、石膏無添加のもの。
3. 石膏系土質改良材 — 石膏を主要成分とし、水に溶いたときの液性が中性である固化材製品。
4. 普通ポルトランドセメント — JIS R 5210 に規定するポ



図-1 試料袋に採取したローム.

ルトランドセメントのうち、普通ポルトランドセメントに相当するもの。

5. 高炉セメント — JIS R 5211 に規定する高炉セメントのうち、高炉セメント B 種に分類される、高炉スラグの分量が30%を超え60%以下のもの。

3. 試験方法

流動化処理土の要求品質として、強度・流動性・材料分離抵抗性・密度などの品質を満たすための、原料土量・固化材量・水量などを探ることを目的として、室内配合試験を行った。試験の実施手順は、配合設計に基づき各材料を計量し、ミキサーで練混ぜ、フロー試験、ブリーディング試験を行い、型枠に充填し供試体を作製する。供試体は所定の養生日数毎に型枠から取り出し、湿潤密度試験、一軸圧縮試験を行った。

4. 流動化処理土の室内配合試験結果

配合及び試験結果の一覧を表-2に、フロー試験結果のグラフを図-2に、一軸圧縮試験結果のグラフを図-3に示す。

配合 No.1-No.7では、流動化処理土の練混ぜ直後の流動性の確保を目的とした。固化材添加量を 193 kg/m³、練混ぜ水の量を 290 kg/m³とし、固化材の配合を様々な組合せで試験を行った。これら7例の何れの配合もフロー値は目標の 140 mm を上回ったが、固化材の効果は現れず、供試体は28日経過後も泥状であった。このうち配合 No.1-No.5 は顕著なブリーディングが発生した。比較対象として固化材に普通ポルトランドセメントを使用した配合 No.8 は、ある程度の硬化がみられた。

上の例にて固化しなかった原因は水量が多すぎたためと考え、配合 No.9-No.11では、練混ぜ水を 241 kg/m³ に減らした。だが、目標のフロー値を得るには固化材料も 142 kg/m³ に減らす必要があり、これも28日経過後も固化材量の不足のため固化しない結果となった。

配合 No.12-No.15では固化材量を 240 kg/m³ または 290 kg/m³ に増やし、練混ぜ水量も 312 kg/m³ と 318 kg/m³ に増やした。これらの配合では固化材に石膏系固化材と普通ポルトランドセメントを6対4または8対2に混合したものを使用した。セメントの割合が 40% の場合は

7日養生で目標強度に達したが、セメントが 20% の場合はほとんど硬化が伸びなかった。以上から、この固化材の組み合わせでは、固化材添加量 240 kg/m³ 以下では固化せず、また固化材添加量 240 kg/m³ 以上でも、セメントが 20% 以下では固化しないという傾向が見られた。

配合 No.16-No.19は、水の量が少なく、フロー試験ではほぼ流動性が現れなかった。強度については、固化材に普通ポルトランドセメントを 33% 使用した No.16, 18 は十分な強度が出たが、高炉セメント B 種を 33% 使用した No.17, 19 は事実上ポルトランドセメント約 16% となるため目標強度に達しなかった。

No.20, 21 は高炉セメント B 種固化材を使用、No.22, 23 は石膏系 60% , 高炉セメント B 種 40% の固化材を使用した。これら 2 通りの固化材を比較すると、硬化速度の違いがよく現れている。石膏系主体の固化材の

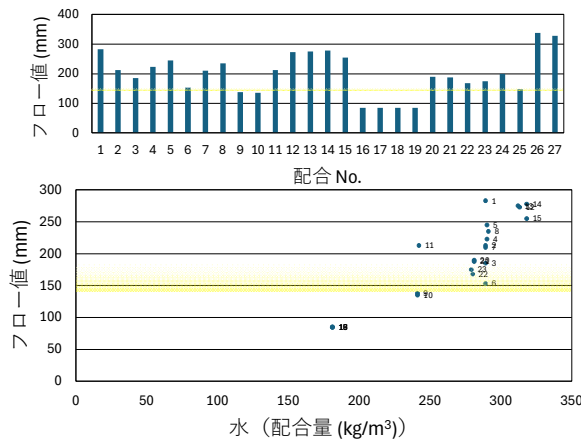


図-2 フロー試験結果.

No.22, 23 は7日経過時点では最終的な強度の半分程度かそれ以下の強度までしか達していない。一方で高炉セメント B 種固化材の No.20, 21 は7日で 80% の強度に達している。

No.24-27 は比較対象として土に笠岡粘土を使用したもので、ロームに比して非常に高強度となった。

5. まとめ

自然含水比 100±5% のロームを流動化処理土の原料土とするとき、実用的な流動性（本件ではフロー値 140 mm）を得るには、流動化処理土の練上がり1立方メートルのうち、加水量は 250 kg/m³ 以上を必要とする（図-2 下段）。養生後の仕上がり土の強度について、十分な強度（本件では $q_u \geq 200$ N/m²）を得るには少なくとも 240 kg/m³ の固化材添加量を必要とする（図-3 下段）。

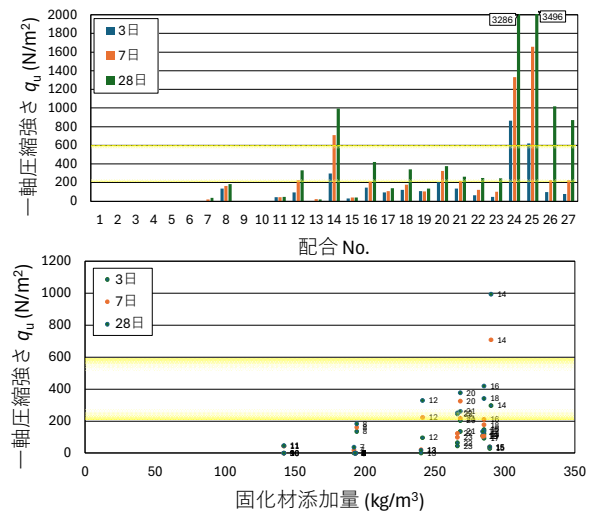


図-3 一軸圧縮試験結果.

表-2 配合及び試験結果の一覧.

配合 No	水 固化材 比 W/B (%)	固 化 材 量 kg/m ³	流動化処理土 材料配合 (kg/m ³)								湿潤密度 ρ_t g/cm ³	フロー試験 目標 ≥140 mm	ブリーディング試験 目標 ＜ 3%		一軸圧縮試験 q_u (N/m ²) 28日目標強度 200-600 N/m ²			適用 性
			水 W	固 化 材					対 象 土									
				アルカリ 添加剤 ES	石膏系固 化材 GS	高炉スラ グ微粉末 BS	普通セメ ント N	高炉セメ ントB BB	湿潤 ローム Lm	湿潤 粘土 KC								
									1.00	2.58					2.70	2.90	3.14	
1	150	193	289	26	-	167	-	-	927	-	1.41	283	0.5	7.0	軟	軟	軟	-
2	150	193	289	26	33	134	-	-	926	-	1.41	213	1.0	3.6	軟	軟	軟	-
3	150	193	289	26	67	100	-	-	925	-	1.41	185	0.1	2.4	軟	軟	軟	-
4	150	193	290	26	-	134	33	-	927	-	1.41	223	1.0	4.9	軟	軟	軟	-
5	150	193	290	26	-	100	67	-	928	-	1.41	245	1.0	3.8	軟	軟	軟	-
6	150	193	289	9	147	-	37	-	925	-	1.41	153	0.0	0.0	軟	軟	軟	-
7	150	192	289	9	110	-	73	-	926	-	1.46	210	0.0	0.0	軟	18.3	37.1	-
8	150	194	291	-	-	-	194	-	932	-	1.45	235	0.0	0.0	136	162	184	△
9	170	142	241	7	108	-	27	-	1020	-	1.40	138	0.0	0.1	軟	軟	軟	-
10	170	142	241	7	81	-	54	-	1022	-	1.41	135	0.0	0.1	軟	軟	軟	-
11	170	142	242	-	-	-	142	-	1027	-	1.45	213	0.0	0.0	44.2	44.1	46.5	-
12	130	241	313	-	145	-	96	-	868	-	1.44	273	0.0	0.0	96.5	224	330	○
13	130	240	312	-	192	-	48	-	866	-	1.47	275	0.0	0.0	軟	21.5	17.7	-
14	110	290	318	-	174	-	116	-	835	-	1.45	278	0.0	0.0	297	709	994	△
15	110	289	318	-	231	-	58	-	833	-	1.47	255	0.0	0.0	28.6	39.5	39.7	-
16	64	285	181	-	190	-	95	-	1034	-	1.48	85	0.0	0.0	147	211	420	-
17	64	285	181	-	190	-	-	95	1033	-	1.49	85	0.0	0.0	93.3	107	138	-
18	64	285	181	4	190	-	91	-	1034	-	1.49	85	0.0	0.0	122	178	342	-
19	64	284	181	4	190	-	-	90	1033	-	1.50	85	0.0	0.0	109	106	136	-
20	105	268	281	-	-	-	-	268	908	-	1.46	190	0.0	0.0	203	326	378	○
21	105	268	281	13	-	-	-	255	907	-	1.46	188	0.0	0.0	136	218	262	○
22	105	266	280	-	157	-	-	109	902	-	1.49	168	0.0	0.0	65.8	123	251	○
23	105	266	279	5	157	-	-	104	902	-	1.50	175	0.0	0.0	45.6	99.6	246	○
24	105	298	313	-	-	-	-	298	-	888	1.51	200	0.0	0.0	863	1330	3286	△
25	105	298	313	14	-	-	-	284	-	887	1.50	148	0.0	0.0	619	1657	3496	△
26	105	296	311	-	175	-	-	121	-	881	1.50	338	0.0	0.0	97.6	227	1018	○
27	105	296	310	6	175	-	-	115	-	881	1.50	328	0.0	0.0	76.8	227	872	○