

粒径の違いが浸透固化改良したガラスビーズの強度に及ぼす影響

日本大学工学部 学生会員 ○石塚 幸太郎

日本大学工学部 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

近年発生する強い揺れと継続時間の長い地震によって液状化の被害が度々発生している。液状化対策として浸透固化処理工法を用いる場合、礫地盤に薬液注入すると所定の強度が発現し難いことが報告されている。加えて、粒径の違いが強度発現に及ぼす影響については未だ解明されてない。

本研究では、粒径が強度に与える影響を明らかにすることを目的として、粒径の異なる均等粒度のガラスビーズを用いて、同一の間隙比及び飽和度条件で改良土を作製した。その後、一軸圧縮試験を行い、粒径から求まる指標である比表面積と一軸圧縮強さの関係について考察を行った。

2. 実験方法

試験には4つの呼び径（1mm,0.6mm,0.1mm,0.05mm）のガラスビーズを用いた。表-1に物理特性を、図-1に粒径加積曲線を示す。薬液のシリカ濃度は4%,6%とし、これらの配合（1ℓ当たり）を表-2に示す。各試料の相対密度が60%のとき、間隙比がほぼ一致したため、供試体作製時の目標相対密度は60%とした。表-3に実験ケースを示す。なお、供試体は各ケース3本ずつ作製した。飽和度を高める方法として以下の真空水中落下法を用いた。具体的には、図-2に示すように、脱気槽内でモールドに入れた薬液にガラスビーズを落下させ、所定の高さに調整することで供試体作製とした。なお、薬液の粘性でガラスビーズが水中に落下しづらい場合は、振動を加えて試料の落下を促した。脱気時間は、薬液を60分間、試料を10分間、作製供試体を10分間とした。養生は気中で14日間とした。

3. 実験結果

実験結果の一覧を表-4に示す。なお、case2及びcase3ではモールド脱型時に供試体が破損したため2つのみのデータとなっている。表中の ρ_d (g/cm³)から、目標よりも高い密度となったものがある。これは供試体作製時に脱気槽に与えた振動が影響してしまったものである。呼び径ごとの一軸圧縮強さは、粒径が小さいほど強度は高い結果となった。図-3に応力-ひずみ曲線を示す。シリカ濃度によらず粒径が最も大きい1mmの強度とその他の粒径の強度を比べると約2~10倍ほどの強度の差が生じた。

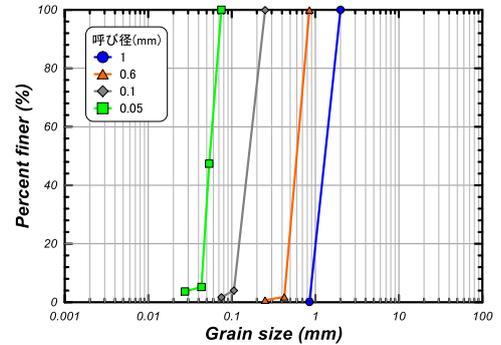


図-1 粒径加積曲線

表-1 物理特性

呼び径 (mm)	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}	D ₅₀ (mm)	U _c	U _c '	比表面積 (cm ² /g)
1	2.498	0.691	0.617	1.3	1.6	1	18.5
0.6	2.490	0.739	0.562	0.65	1.6	0.9	37.1
0.1	2.482	0.734	0.567	0.16	1.5	0.9	151.1
0.05	2.470	0.771	0.571	0.057	1.4	0.9	426.2

表-2 薬液配合表（1ℓ当たり）

シリカ濃度 (%)	水ガラス (g)	特殊シリカ (g)	硫酸 (g)	クエン酸 (g)	水 (g)
4	92.4	120.5	11.1	37.4	797.2
6	56	84.4	7.2	14.3	874.2

表-3 実験ケース

ケース	呼び径 (mm)	シリカ濃度 (%)	目標D _r (%)	目標 ρ_d (g/cm ³)	養生 (日)
1	1	4	60	1.517	14
2	0.6			1.525	
3	0.1			1.519	
4	0.05			1.496	
5	1	6		1.517	
6	0.6			1.525	
7	0.1			1.519	
8	0.05			1.496	

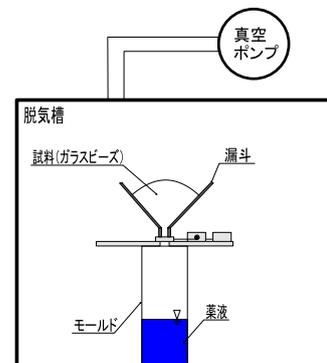


図-2 供試体作製方法

キーワード 液状化, 浸透固化, 比表面積, ガラスビーズ

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 日本大学工学部 TEL 024-956-8710

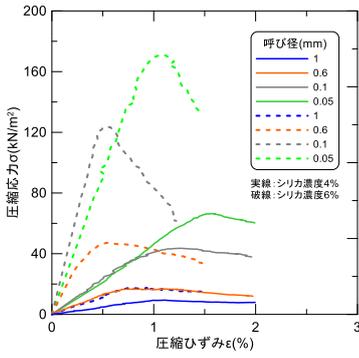


図-3 応力-ひずみ曲線

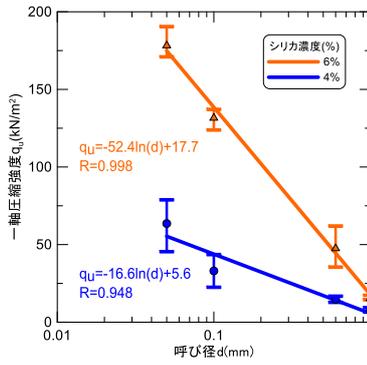


図-4 一軸圧縮強度と呼び径の関係

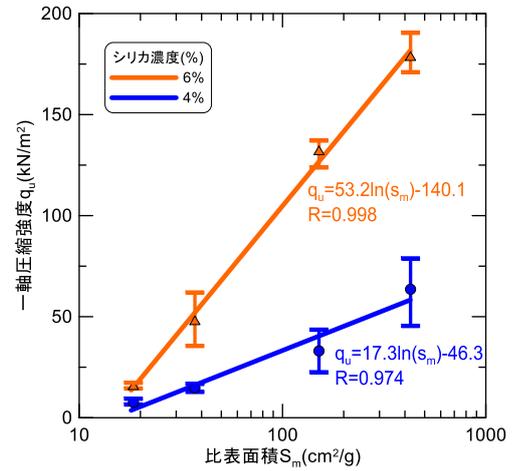


図-5 一軸圧縮強度と比表面積の関係

図-4 に一軸圧縮強度と呼び径の関係を示す。図より一軸圧縮強度と呼び径は対数軸で線形関係にあることがわかった。勾配が異なるのはシリカ濃度の違いによるものである。また、相関係数はシリカ濃度 4%では $R=0.948$ 、6%では $R=0.998$ であった。次に、既往の研究でも相関が見られた比表面積を指標として考察を行った。ガラスビーズの粒子形状は球状であるため比表面積 S_m は(1)式で表される。

$$S_m = \frac{S}{\rho_s V} \quad (1)$$

ここで S は球の表面積、 V は球の体積である。なお、ここでの球の直径は平均粒径 D_{50} を用いた。図-5 に一軸圧縮強度と比表面積の関係を示す。相関係数はシリカ濃度 4%で $R=0.974$ 、6%で $R=0.998$ と、呼び径を指標とした場合よりも高い相関があった。これより、薬液による改良強度には比表面積が影響しているといえる。この強度と比表面積の関係から強度増加のメカニズムを推定すると、抵抗力の増加が考えられる。そのプロセスとして、

圧縮载荷を受けた改良体はせん断に伴うダイレイタンスが発生し、粒子と間隙ゲルに相対変位が生じる。その際、抵抗力が発生し、この抵抗力が粒子骨格の変形を抑制することで強度が増加すると考えた。また、粒径が小さいほど間隙の細孔径は小さく、その数も多くなる。間隙の細孔径が小さくなるほど抵抗力は大きくなるため、粒径が小さく比表面積が大きいほど抵抗力が増し、強度が増加したものとする。

4. まとめ

粒径の異なる 4 種のガラスビーズを用いて浸透固化改良した供試体の一軸圧縮強度を求めて、以下のことがわかった。

- 1) 間隙比が同じでも、粒径が小さいほど強度は高くなった。
- 2) 一軸圧縮強度と比表面積にはシリカ濃度の違いによらず高い相関関係が見られた。

5. 参考文献

- 1) 栗原聡,末政直晃,島田俊介,佐々木隆光:薬液注入地盤の強度特性に関する研究, 土木学会第 62 回年次学術講演会, 3-344, pp.687-688, 2007.

表-4 一軸圧縮試験結果

呼び径 (mm)	シリカ濃度 (%)	ρ_t (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	e	S_r (%)	q_u (kN/m ²)	平均 q_u (kN/m ²)	E_{50} (MN/m ²)	ϵ_f (%)
1	4	1.887	1.515	0.65	94.5	6.6	7.6	0.6	1.8
		1.897	1.523	0.64	95.8	9.4		1.0	1.1
		1.891	1.514	0.65	95.7	6.9		1.5	1.2
0.6	4	1.886	1.522	0.64	93.6	16.7	14.8	2.6	1.1
		1.873	1.507	0.65	92.7	12.8		1.1	1.5
0.1	4	1.920	1.545	0.61	99.3	43.6	33.0	4.6	1.3
		1.902	1.522	0.63	98.4	22.5		2.0	1.8
0.05	4	1.899	1.518	0.63	98.7	66.4	63.6	4.5	1.6
		1.912	1.540	0.60	98.6	78.8		6.9	1.2
		1.895	1.510	0.64	99.1	45.4		1.1	4.5
1	6	1.906	1.535	0.63	96.3	16.5	16.1	2.1	1.0
		1.909	1.543	0.62	95.8	17.3		2.2	0.9
		1.874	1.509	0.66	92.2	14.5		1.4	1.4
0.6	6	1.874	1.571	0.58	95.7	35.5	48.2	5.0	0.9
		1.907	1.571	0.59	94.0	47.2		10.9	0.5
		1.914	1.587	0.57	94.4	62.0		3.3	1.2
0.1	6	1.949	1.598	0.55	98.4	137.1	132.3	20.8	1.0
		1.947	1.591	0.56	99.3	136.0		27.5	0.6
		1.929	1.575	0.58	96.9	123.8		26.4	0.5
0.05	6	1.916	1.552	0.59	98.0	190.5	178.9	18.3	1.1
		1.906	1.545	0.60	96.5	171.0		18.4	1.1
		1.911	1.547	0.60	97.3	175.4		19.4	1.1