

セメント混合処理土の弾性特性

福山大学工学部 正会員 西原 晃
福山大学大学院 学生会員 桂 勲
福山大学大学院 学生会員 ○ 大西 正城

1. はじめに

軟弱な地盤が多いわが国では、深層混合処理工法などセメントを硬化剤として用いた地盤改良が多く行われている。これまで、セメント混合処理地盤の特性に関しては、一軸圧縮強度を主として研究が行われてきているが、改良地盤の地震時における挙動に関する研究はあまり多くない。そこで本研究では、セメント混合処理地盤の地震応答の解析に用いられるせん断弾性係数について、繰返し振動三軸試験ならびにベンダーエレメントを用いた弾性波速度の測定を行った。

2. 実験の方法及び条件

(1) 実験試料

本研究で用いた試料は、大阪近郊で採取された高含水比の海成粘土（液性限界＝73.5%、塑性限界＝29.4%、土粒子密度＝2.646g/cm³）である。実験では、この試料を含水比が200%になるように練り返し、ポルトランドセメントを土1m³に対して50kg、100kgおよび200kgの3種類の混合割合で添加して試料を作製した。作製した試料は密封して所定の期間水中養生を行った。

(2) 実験方法

繰返し振動三軸試験

繰返し振動三軸圧縮試験では、せん断弾性係数における拘束圧の影響を調べるため、9.8, 19.6, 78.4, 313.6MPaの拘束圧のもとで繰返し荷重を与えた。また、それぞれの拘束圧において、ひずみレベルの影響を調べるために、繰返し応力振幅を4.9, 19.6, 39.2MPaに変化させた。なお、試験は15日および28日養生試料を用いて、非圧密非排水状態でを行った。

ベンダーエレメントによる弾性波速度の測定

近年、土質材料のせん断弾性係数を求めるために、ベンダーエレメントによる弾性波速度の測定が数多く行われている。本研究では、ベンダーエレメントを三軸圧縮試験機に取り付け、繰返し振動三軸試験と同様に、15日および28日養生試料に対して、9.8, 19.6, 78.4, 313.6MPaの拘束圧のもとで、非圧密非排水状態でせん断波速度の測定を行った。また、セメント混合土の養生日数とせん断弾性係数の関係を調べるため、ベンダーエレメントを一軸圧縮試験機に取り付け、養生日数1, 3, 7, 15, 28, 日の時点でせん断波速度の測定も行っている。なお、せん断弾性係数はせん断波速度から、次式によって求めることができる。

$$G = \gamma V_s^2 \tag{1}$$

ここに、 γ ：土の密度、 V_s ：せん断波速度である。

3. 実験結果及び考察

図-1 は、繰返し振動三軸圧縮試験から得られたセ

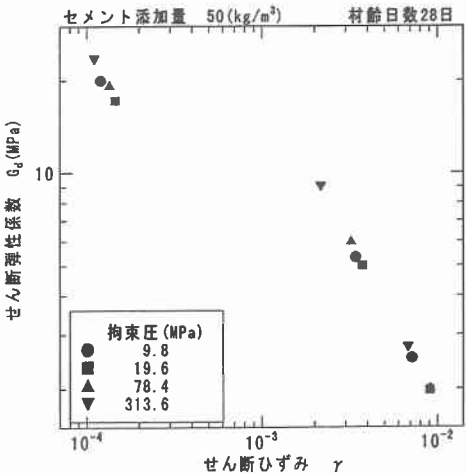


図-1 セン断弾性係数とせん断ひずみの関係

せん断弾性係数とせん断ひずみの関係である。従来いわれているように、せん断ひずみが小さくなるとせん断弾性係数は大きくなっていることがわかる。また、セメント混合土のせん断ひずみとせん断弾性係数の関係は、セメント添加量に関係なく、一意的に決まることがわかった。これは、今回の試験では、繰返し載荷を応力制御で行ったため、セメント添加量の変化にともなう剛性の変化がせん断ひずみレベルの変化として現れたためと考えられる。したがって、セメント添加量の影響を厳密に調べるためには、繰返し載荷を変位制御で行い、同じひずみレベルでその影響を調べる必要がある。

図-2は、一軸圧縮試験機に取り付けたベンダーエレメントによって測定した結果で、セメントの添加量とせん断弾性係数の関係を示したものである。この結果はベンダーエレメントによって測定した結果であるため、ひずみレベルはほぼ一定 (10^{-6} 程度) である。したがって、ひずみレベルが同じ場合は、セメントの添加量と養生日数が多くなるにつれて、セメント混合土の剛性が高まるため、せん断弾性係数が大きくなることがわかる。

図-3は繰返し振動三軸試験機とベンダーエレメント試験によって得られたせん断弾性係数 G と拘束圧の関係を示したものである。繰返し応力振幅が小さいほどせん断弾性係数が大きくなっているが、これは、応力振幅が小さいものほどせん断ひずみが小さくなるためである。また、ベンダーエレメントによって求められたせん断弾性係数は、振動三軸試験から得られる G よりもかなり大きい。これは、ベンダーエレメントによって測定されるせん断弾性係数は 10^{-6} 程度のひずみレベルにおける値に相当するといわれており、繰返し振動三軸試験におけるひずみレベルよりかなり小さいため、せん断弾性係数が大きくなっているからである。図-3より、拘束圧が大きくなるにつれて、せん断弾性係数も大きくなり、両対数紙上で両者はほぼ直線関係にある。砂質土や粘性土を対象とした試験においても同様の結果が得られており、一般に次のような関係式が成り立つことが報告されている。

$$G = A \cdot F(e) \cdot (\sigma_c)^m \quad (2)$$

ここに、 A は材料定数、 $F(e)$ は間隙比の関数、 σ_c は拘束圧である。また、指数 m の値は、砂質土、正規圧密粘土では約0.5、過圧密粘土では0.5以下の値が報告されている。今回の実験は非圧密非排水試験であるため、間隙比の変化はない。したがって、図-3の関係は、

$$G = A \cdot (\sigma_c)^m \quad (3)$$

と表すことができる。表-1は今回の実験で得られた A と指数 m の関係をまとめたもので、セメント混合土では m の値は0.05~0.2程度の値となる。セメント混合土では、セメント添加によって強固な構造骨格を有しており、したがって、拘束圧の影響を大きく受けないといえる。

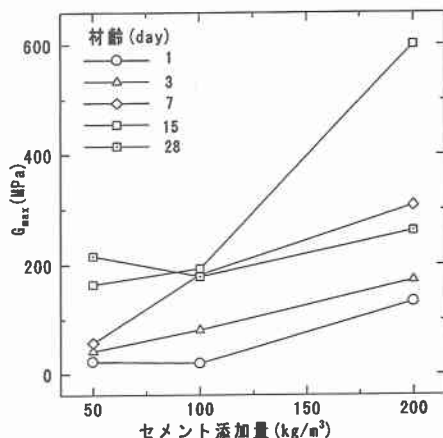


図-2 セン断弾性係数とセメント添加量の関係

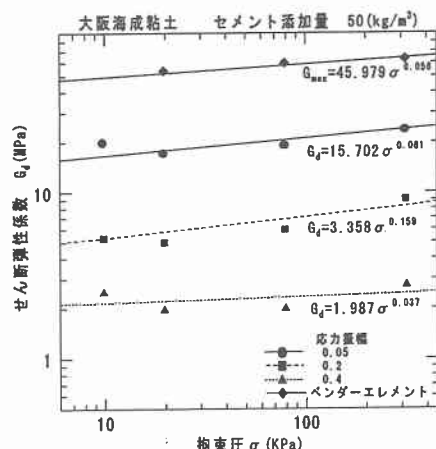


図-3 セン断弾性係数と拘束圧の関係

表-1 セン断弾性係数と拘束圧の関係

応力振幅 kgf/cm ²	セメント添加量					
	50 kg/m ³		100 kg/m ³		200 kg/m ³	
	A	m	A	m	A	m
0.05	15.702	0.061	-	-	17.088	0.067
0.2	3.358	0.159	9.529	0.109	3.167	0.472
0.4	1.987	0.037	7.083	0.193	2.119	0.532