

粒状物体のせん断弾性係数が非線形性に与える影響の実験研究

日本大学 学生員 ○橋井 康美 日本大学 正会員 木田 哲量
日本大学 正会員 澤野 利章 日本大学 正会員 近藤 勉

1. はじめに

我が国における地震被害拡大の要因のひとつとして、都市部や産業活動地域が沖積層などの軟弱地盤上に位置していることが挙げられる。特に、粒状物体である砂質土を多く含む地盤の場合、地震などの強制水平振動を受けると、最大応答加速度や共振振動数の特定が困難となる非線形の振動応答を呈することから、地盤特性を考慮した耐震設計が困難になるため、砂質土の非線形振動応答を解明することは重要とされている。既往の研究では、様々な条件下で砂質土の非線形振動応答に関する研究が行われているが、未解明な要素がある。

そこで本研究では、粒状物体としての砂のせん断波伝播速度から未解明な要素のひとつであるせん断弾性係数を求め、得られた係数を共振曲線算出式に適用し、非線形振動応答実験により得た応答結果との適合性を検討することとする。さらに、既往の研究結果と比較・検討して、せん断弾性係数と非線形振動応答の関係について考察することとする。

2. 実験概要

本実験に使用する砂は珪砂 3 号・珪砂 7 号と山口県豊浦産の標準砂（以下、豊浦標準砂と称す）とする。せん断波伝播時間はウルトラソニースコープにより、試料の厚さはダイヤルゲージ式変位計により計測する。また、試料を保持する鋼管型枠には内径 130mm、高さ 20mm、厚さ 4mm のものを使用する。図 - 1 に実験装置概略を示す。まず、塩化ビニル袋内において鋼管型枠内に試料を満たして密閉後、真空ポンプにより塩化ビニル袋内の空気を吸引して、試料に負圧を作用させる。その後、ウルトラソニースコープのせん断波発・受振子を砂面に接触させてせん断弾性波を入力する。袋内の内圧を調整しながら 0.09MPa から 0.01MPa 間を 0.01MPa ずつ減少させ、各内圧時のせん断波伝播時間および試料の厚さを計測してせん断波速度を得る。この手順で各試料において 15 回ずつ計測する。

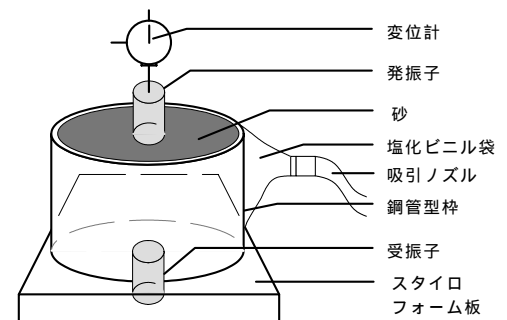


図 - 1 実験装置概略

3. 結果および考察

各内圧作用時における平均せん断波速度および、式 (1) により得たせん断弾性係数を表 - 1 に示す。

$$G_0 = \frac{V_s^2 \times \rho}{g} \times 10^3 \quad (1)$$

ここで、 V_s : せん断波速度 (m/sec) ρ : 砂の密度 (N/mm³) g : 重力加速度 (9.8m/sec²)

なお、密度は JISA1224 に定められた砂の最小密度・最大密度試験により推定した最大密度である、珪砂 3 号 1.64×10^{-5} N/mm³、珪砂 7 号 1.60×10^{-5} N/mm³、豊浦標準砂 1.62×10^{-5} N/mm³ を用いる。

表 - 1 より、各砂ともに内圧の減少に伴い、せん断弾性係数の値も減少していることがわかる。これは内圧の減少に伴い、砂粒子間の剛性が弱くなったために間隙が大きくなり、せん断波が伝播しにくく、せん断波速度が遅くなったためであると考えられる。また、図 - 2 より 0.09MPa 以上の内圧が作用する場合には、せん断弾性係数はほぼ一定の値に収束するものと考えられる。

さらに各砂を比較すると、珪砂 3 号・珪砂 7 号・豊浦標準砂の順にせん断弾性係数が大きくなっているこ

キーワード 砂質土、非線形振動、せん断弾性係数、振動応答

連絡先：〒275 - 8575 千葉県習志野市泉町 1 - 2 - 1 TEL. 047 - 474 - 2429

表 - 1 平均せん断波速度およびせん断弾性係数

内圧 (MPa)	せん断波速度 Vs(m/sec)			せん断弾性係数 Go(N/mm ²)		
	珪砂3号	珪砂7号	豊浦標準砂	珪砂3号	珪砂7号	豊浦標準砂
0.09	193	203	214	62	67	76
0.08	192	200	213	61	65	75
0.07	190	198	211	60	64	73
0.06	187	194	207	58	61	71
0.05	183	189	202	56	58	67
0.04	176	183	195	52	54	63
0.03	168	175	186	47	50	57
0.02	157	165	176	41	44	51
0.01	149	151	158	37	37	41

とがわかる。これは粒径に起因しているものと考えられ、粒径の細かい砂ほど、砂粒子間の間隙が小さくなり、せん断波が伝播しやすくなるため、せん断弾性係数の値も大きくなったものと考えられる。次に、実験で得たせん断弾性係数を共振曲線算出式に適用して得られた共振曲線の整合性を検討する。図 - 2 に示す近似曲線より非線形振動応答実験に用いた供試体の内圧 0.006Mpa 状態時のせん断弾性係数を珪砂 3 号 34.6N/mm²、珪砂 7 号 34.1N/mm²、豊浦標準砂 38.8N/mm²と推定し、解析を行う。まず、粒状物体の振動モデルが非線形フォークト体であると仮定し、粒状物体が一次振動モードに従って振動すると仮定した場合の基本方程式を整理して共振曲線算出式(2)を得る。

$$\eta^2 \left\{ \left(1 - \frac{3\eta^2}{16} - \xi^2 \right)^2 \right\} = P^2$$

$$\text{ここで、} \frac{\gamma}{\gamma_1} = \eta \quad \frac{G'}{G_0} \omega = 2h\xi \quad (2)$$

$$\frac{\rho}{G_0} \cdot \frac{L\rho\bar{P}}{G_0\gamma_1} = P \quad \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{L\rho\bar{P}}{G_0\gamma_1} = P$$

G_0 : せん断弾性係数、 G' : 粘性係数、 L : 粒状物体の高さ、 ρ : 粒状構造体の密度、 ω : 入力振動数、 $\bar{P}$: 入力加速度、 γ_1 : 粒状構造体の最大ひずみ

底面応答ひずみパラメータ η を応答加速度に、振動数パラメータ ξ を入力振動数にそれぞれ換算することにより共振曲線を得る。ここで、既往の研究により得られている豊浦標準砂の近似結果を図 - 3 および図 - 4 に示す。本実験における珪砂 3 号および珪砂 7 号の粘性係数 G' および最大ひずみ γ_1 を適宜に仮定することにより、図 - 5 から図 - 8 に示すように入力振動数 50gal および 100gal とともに共振曲線算出式による結果と非線形振動応答実験による結果を近似させることが可能であることが分かった。

参考文献：

山田 雄児、平成 18 年度 日本大学生産工学部学術講演会 「性質が異なる粒状物体のせん断弾性係数と非線形振動応答との関係に関する研究」

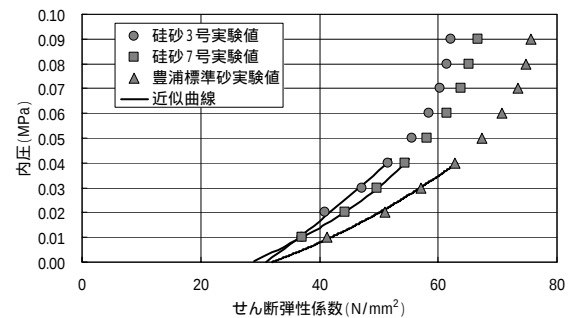


図 - 2 せん断弾性係数近似曲線

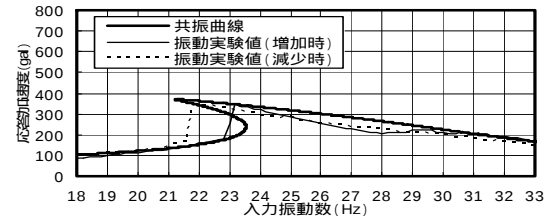


図 - 3 豊浦標準砂 (50gal)

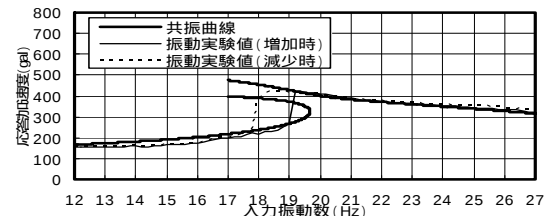


図 - 4 豊浦標準砂 (100gal)

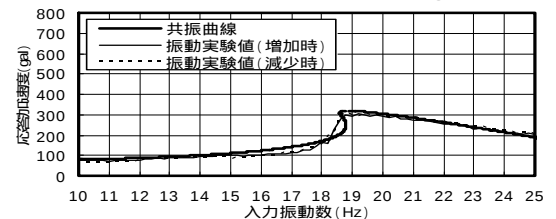


図 - 5 珪砂3号 (50gal)

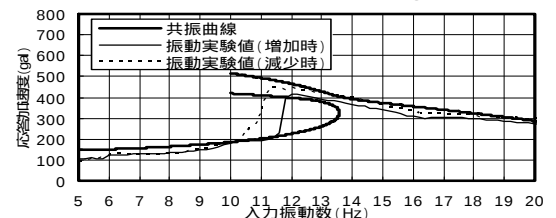


図 - 6 珪砂3号 (100gal)

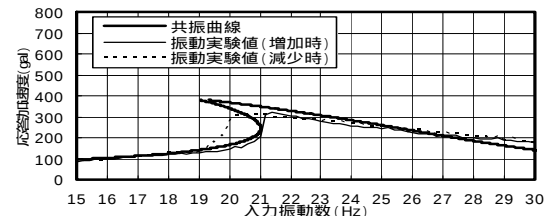


図 - 7 珪砂7号 (50gal)

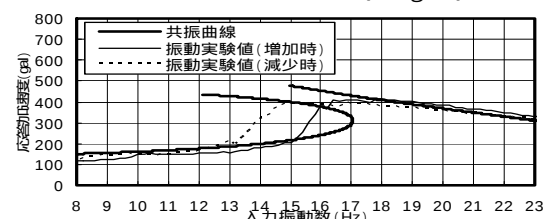


図 - 8 珪砂7号 (100gal)