

粒度構成が異なる砂質土のせん断弾性係数が非線形振動応答に与える影響の研究

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 阿部 忠

1. はじめに

我が国は周期的に大規模な地震が発生する地震多発国である。これまでの地震により甚大な被害を受けた要因の1つとして、軟弱地盤として扱われる沖積層に市民生活を営む平野部が広く分布していることが挙げられる。この沖積層は砂質土などの粒状物体から形成されていることから、地震などの強制振動が作用すると、共振振動数や最大応答加速度の特定が困難な非線形振動応答となり、地盤特性を考慮した耐震設計をより困難なものとしている。既往の研究では、粒度構成が異なる粒状物体の非線形振動応答現象を再現することが可能であることが明らかとなっているが、非線形振動応答を支配する各パラメータには言及がされておらず、これら各パラメータの特定が非線形振動応答を解明するために重要であるとされている。

本研究では、粒度構成が異なる砂質土を用いて非線形振動応答と密接な関係にあるとされているせん断弾性係数を算出し、この係数を理論式に適用した非線形振動応答解析を行い、振動応答実験との整合性を検討して、粒度構成の違いが非線形振動応答に与える影響を考察する。

2. 実験概要

本研究で使用する粒状物体を構成する砂は粒径の異なる硅砂3号および硅砂4号とする。なお、既往の研究で使用された砂は山口県豊浦産の標準砂（以下、豊浦標準砂と称す）である。せん断波伝播時間はウルトラソニースコープ、試料の厚さはダイヤルゲージ式変位計により計測する。図-1に実験装置概略を示す。実験方法は、鋼管型枠内に試料を満たし塩化ビニル袋内を密閉後、真空にすることで負圧とし、せん断波発・受信子を砂面に接触させる。内圧を0.09MPaから0.01MPaまで0.01MPaずつ減少させながら、各内圧作用時のせん断波伝播時間および試料の厚さを計測する。この方法で各試料10回ずつ計測し、その平均せん断波速度からせん断弾性係数を得る。

3. 実験結果および考察

3-1 せん断弾性係数算出結果

各内圧作用時の平均せん断波速度および式(1)より求めたせん断弾性係数を表-1に示す。密度はJISA1224に規定されている砂の最小密度・最大密度試験による最大密度とし、硅砂3号 $1.65 \times 10^{-5} \text{N/mm}^3$ 、硅砂4号 $1.62 \times 10^{-5} \text{N/mm}^3$ 、豊浦標準砂 $1.62 \times 10^{-5} \text{N/mm}^3$ を用いた。

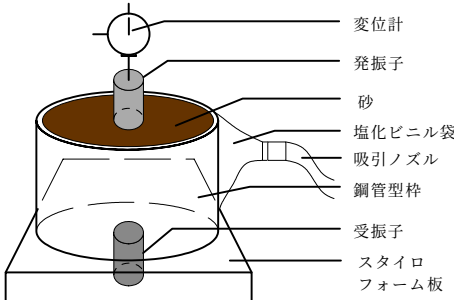


図-1 実験装置概略

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 G ₀ (N/mm ²)		
	硅砂3号	硅砂4号	豊浦標準砂	硅砂3号	硅砂4号	豊浦標準砂
0.09	186	192	214	58.4	60.8	75.9
0.08	185	191	213	57.8	60.1	74.9
0.07	184	188	211	56.8	58.7	73.3
0.06	181	186	207	55.1	56.9	70.8
0.05	176	181	202	52.2	54.0	67.1
0.04	169	175	195	48.3	50.6	62.6
0.03	162	168	186	44.2	46.6	57.2
0.02	149	158	176	37.4	41.4	51.5
0.01	141	145	158	33.6	34.6	41.6

キーワード：砂質土、非線形振動、せん断弾性係数、振動応答実験

連絡先：〒275-8875 千葉県習志野市泉町1-2-1 TEL. 047-474-2429

が作用する場合には、せん断弾性係数は一定の値に収束するものと考えられる。

次に、図－2に示す共振振動数とせん断弾性係数の関係よりせん断弾性係数が非線形振動応答に与える影響を検討する。これより、粒径の細かい豊浦標準砂の共振振動数が最も高く、硅砂4号、硅砂3号となっていることが確認できる。このことから、共振振動数およびせん断弾性係数は粒径に対する依存度が強く、粒径の細かい物質ほど剛性が強くなることからせん断弾性係数および共振振動数が高くなるということが推察される。

3-2 振動応答実験との整合性の検討

実験で得たせん断弾性係数を理論式に適用した共振曲線を求め、その整合性を検討する。振動応答実験で用いた供試体の内圧を砂の単位体積重量より求め、その時のせん断弾性係数を表－2に示す。まず、粒状物体の振動モデルを非線形フォークト体と仮定し、一次振動モードの基本方程式より共振曲線算出式(2)を得る。

$$\eta^2 \left\{ \left(1 - \frac{3\eta^2}{16} - \xi^2 \right)^2 + 4h^2\xi^2 \right\} = P^2 \quad (2)$$

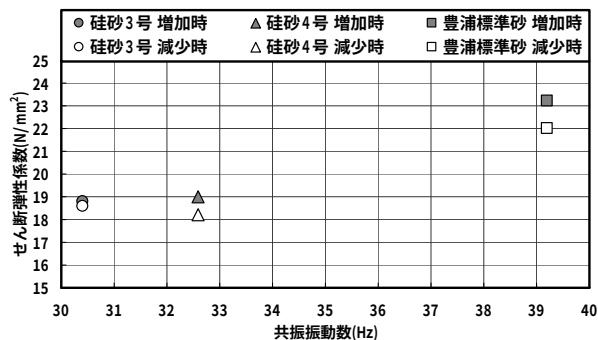
$$\text{ここで、} \frac{\gamma}{\gamma_1} = \eta \quad \frac{G'}{G_0} \omega = 2h\xi$$

$$\frac{\rho}{G_0} \cdot \frac{4L^2}{\pi^2} \omega^2 = \xi^2 \quad \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{L\rho\bar{P}}{G_0\gamma_1} = P$$

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 ：粒状構造体の最大せん断ひずみ

底面応答ひずみパラメータ η を応答加速度、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。既往の研究により得られている豊浦標準砂の共振曲線を図－3に示す。粘性係数 G' および最大せん断ひずみ γ_1 を適宜に仮定することにより、図－4および図－5に示すように、粒度構成の異なる砂質土を用いた場合においても計算により求めた共振曲線を振動応答実験結果にほぼ近似できていることが確認できる。また、各砂質土の共振曲線における共振振動数付近において解が2つ以上存在する箇所があるが、これは計算過程における解としてのみ生じ、実際の現象では起こらず、この付近において非線形振動応答現象特有のジャンピング現象が発生するとされている。さらに、粒径が細くなるほど共振振動数が高くなる傾向にあり、表－2に示した供試体状態内圧におけるせん断弾性係数も豊浦標準砂が最も大きいことから本共振曲線より粒径が細かいほど非線形性が強くなり、粘性減衰パラメータに対する依存度が強くなるということが推察される。

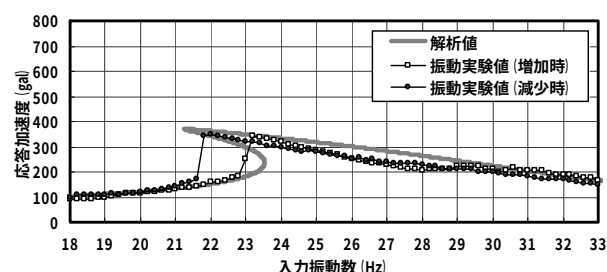
参考文献：熊膳和也、粒度構成が異なる粒状構造体の非線形せん断振動応答に関する研究、日本大学大学院生産工学研究科修士論文、2004、pp.10-18



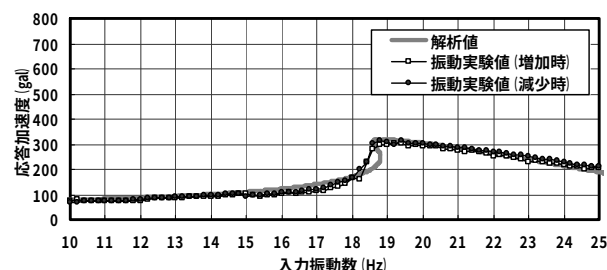
図－2 せん断弾性係数と共振振動数の関係

表－2 解析諸条件

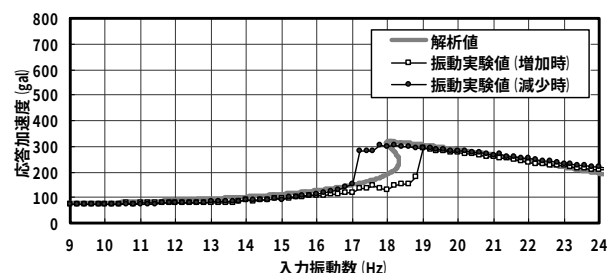
	供試体の内圧 (MPa)	せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)
硅砂3号	0.00654	30.4
硅砂4号	0.00648	32.6
豊浦標準砂	0.00647	39.2



図－3 豊浦標準砂共振曲線



図－4 硅砂3号共振曲線



図－5 硅砂4号共振曲線