

粒度構成の異なる砂質土のせん断弾性係数が非線形性に与える影響に関する実験研究

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 阿部 忠

1. はじめに

我が国は 1995 年の兵庫県南部地震に代表とするような大規模な地震が頻繁に発生している。多くの市民生活が営まれている平野部の地盤は沖積層で構成されていることが多く、軟弱地盤は箇所が多く分布している。沖積層は砂質土などの粒状物体が多く含まれていることから、この地盤に地震などの強制水平振動が作用した場合、最大応答加速度や共振振動数の特定が困難な非線形振動応答となることから、地盤特性を考慮した耐震設計が難しいとされている。既往の研究では、粒度構成の異なる砂質土における非線形振動応答現象を実験により再現できることが明らかにされているが、非線形振動応答を支配する各パラメータについて言及されておらず、種々のパラメータを特定することは非線形振動応答を解明するうえで重要であると考えられる。

そこで本研究では、非線形振動応答を支配するパラメータのひとつであるせん断弾性係数に着目し、砂質土のせん断波伝播速度からせん断弾性係数を算出し、理論式に適用して非線形振動応答解析を行い、既往の研究結果¹⁾と比較して、粒度構成の違いが非線形振動応答特性に与える影響について考察する。

2. 実験概要

本実験に使用する粒状物体として取り扱う砂は珪砂 3 号および珪砂 4 号とする。なお既往の研究¹⁾に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 15 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

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)から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・最大密度のうちの最大密度である、豊浦標準砂 $1.62 \times 10^{-5} \text{N/mm}^3$ 、珪砂 3 号 $1.65 \times 10^{-5} \text{N/mm}^3$ 、珪砂 4 号 $1.62 \times 10^{-5} \text{N/mm}^3$ を用いた。

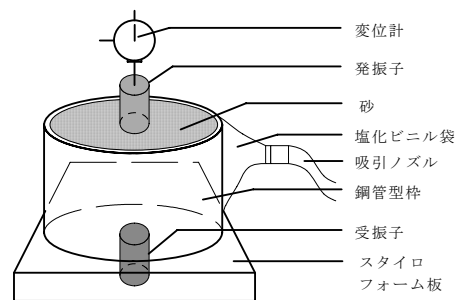


図-1 実験装置概略

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

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

表-1 より、内圧の減少に伴いせん断波速度が低下し、せん断弾性係数も減少しているのがわかる。これは内圧の減少に伴い、土粒子間の間隙が大きくなることからせん断波伝

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 V_s (m/sec)			せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)		
	珪砂3号	珪砂4号	豊浦標準砂	珪砂3号	珪砂4号	豊浦標準砂
0.09	193	194	214	62.1	62.3	75.6
0.08	192	193	213	61.4	61.7	74.9
0.07	190	190	211	60.3	60.1	73.5
0.06	187	188	207	58.4	58.3	70.7
0.05	183	183	202	55.6	55.7	67.3
0.04	176	178	195	51.6	52.6	62.7
0.03	168	171	186	47.1	48.6	57.1
0.02	157	161	176	40.9	42.9	51.1
0.01	149	147	158	37.0	36.0	41.2

キーワード 砂質土、非線形振動、せん断弾性係数

連絡先：〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1 TEL. 047-474-2499

播時間が長くなり、せん断波速度が低下したためにせん断弾性係数も減少したものと考えられる。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、粒径の細かい豊浦標準砂、硅砂4号、硅砂3号の順にせん断弾性係数が小さくなっており、細粒分が多く含まれる砂質土ほどせん断弾性係数の値が大きくなる傾向にあると考えられる。

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て共振曲線を求め、そ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

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

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

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

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 ：粒状構造体の最大ひずみ

のせん断弾性係数を豊浦標準砂 38.8 N/mm²、硅砂3号 34.6 N/mm²、硅砂4号 33.7 N/mm²として解析をする。まず、粒状物体の振動モデルを非線形フォクト体と仮定し、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。

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結果を図-3および図-4に示す。本実験における硅砂3号および硅砂4号の粘性係数 G' および最大ひずみ γ_1 を砂の一般的な定数の範囲で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 とともに非線形振動応答実験による応答加速度曲線と計算により求めた共振曲線を近似させることが可能である。また、共振曲線には解が2つ以上存在する箇所があるが、計算過程による解のため、実際には起こりえず、実現象においてはこの付近で非線形振動応答特有のジャンピング現象が発生するとされており、いずれの砂質土も入力加速度が大きくなると共振曲線の非線形性が強くなることがわかる。

参考文献：1) 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」

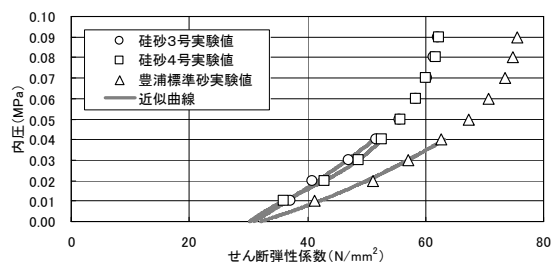


図-2 せん断弾性係数近似曲線

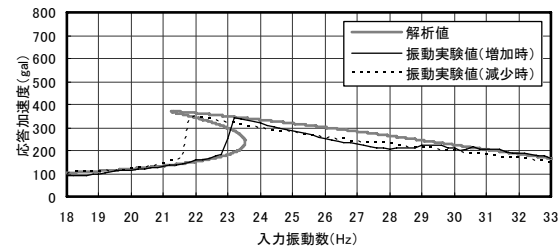


図-3 豊浦標準砂 (50gal)

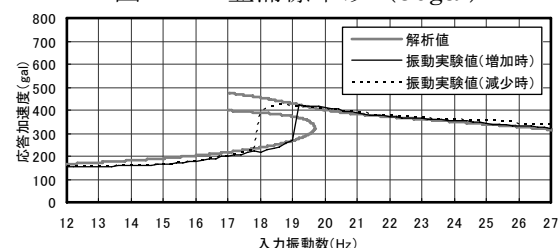


図-4 豊浦標準砂 (100gal)

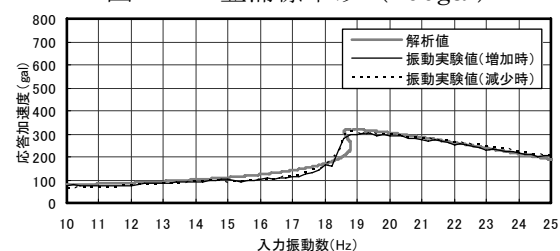


図-5 硅砂3号 (50gal)

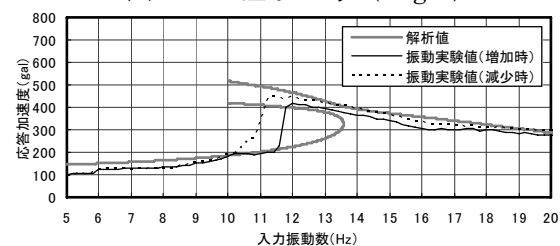


図-6 硅砂3号 (100gal)

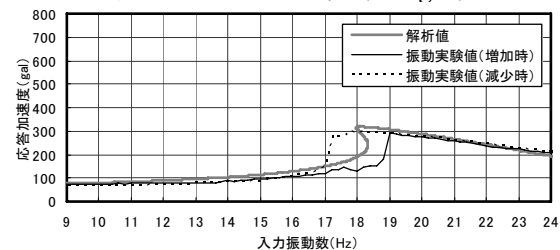


図-7 硅砂4号 (50gal)

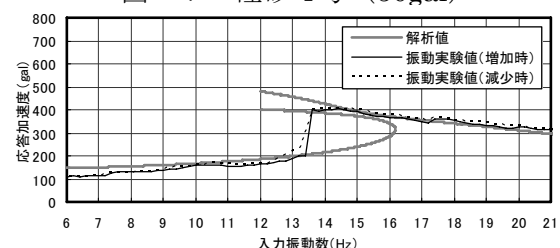


図-8 硅砂4号 (100gal)