

粒状物体の粒度構成が非線形振動応答に及ぼす影響について

日大生産工（院） 山田 雄児 日大生産工 木田 哲量
日大生産工 澤野 利章 日大生産工 阿部 忠

1. はじめに

近年、相次ぐ大地震の発生により各地で甚大な被害が生じている。地震による被害は建造物の耐震性に加え、周辺の地盤条件によって様相が異なるが、我が国の平野部の地盤は沖積層などの軟弱な地盤であることが多く、これまで地震による被害が拡大してきた要因の一つであるとされている。特に、砂質土のような粒状物体により構成される地盤は地震などの外力による強制振動を受けた場合、非線形の振動応答を示すことから共振振動数や最大応答加速度の特定が困難となるなどの問題があり、危険視される地盤である。そのため、地震時における砂質土層の振動応答を解明することは重要な課題であるとされる。

そこで本研究では、粒度構成の異なる4種類の砂質土を用いて砂質土層を想定した供試体を作製し、油圧式二軸振動台により強制水平振動を作用させた時の応答加速度の測定を行う。これより、砂質土層の粒度構成の差異が共振振動数や最大応答加速度などに及ぼす影響を考察し、地盤特性を考慮した耐震設計を行う上での基礎的なパラメータを得ることとする。

2. 実験概要

本実験に使用する砂質土は、一般に建材として使用されている珪砂3号、珪砂5号、珪砂7号および山口県豊浦産の標準砂（以下、豊浦標準砂と称す）の4種類とする。各種砂の最小密度・最大密度を表-1に、粒度試験により得た

表-1 各種砂の密度

	最小密度(g/cm ³)	最大密度(g/cm ³)
珪砂3号	1.40	1.67
珪砂5号	1.35	1.65
珪砂7号	1.29	1.63
豊浦標準砂	1.42	1.65

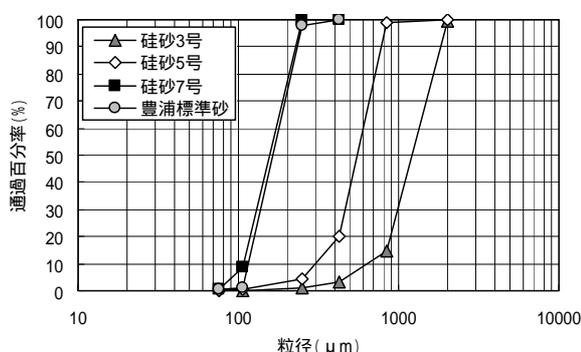


図-1 粒径加積曲線

粒径加積曲線を図-1に示す。なお、珪砂の粒径は号数が大きくなるにつれて小さくなる。

2-1 供試体

供試体は一段ずつ独立しているせん断面300mm×300mm、高さ10mmの軽量溝鋼製の型枠を上下間に直径15mmの鋼球のベアリングを挟みながら積み上げることにより、上下間の拘束を低減し、せん断振動を生じやすい構造としている。また、型枠の内側にゴムシートを取り付けて砂の流出を防止する。この型枠を高さ410mmとなる26段積み上げて各種砂を400mmの高さまで投入したものを供試体とする。なお、計測中に砂層高さが変化しないよう本実験の最

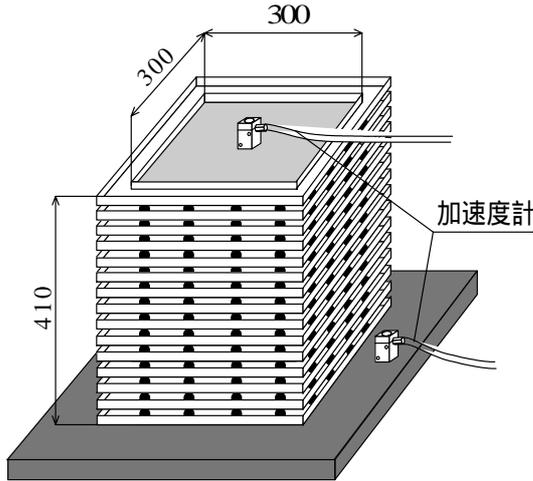


図 - 2 供試体概要

大入力加速度 150gal で十分に締固めた後、計測を行う。供試体概要を図 - 2 に示す。

2 - 2 実験方法

作製した供試体は油圧式二軸振動台上に固定し、強制水平振動を与える。強制水平振動は入力加速度を 50gal、100gal、150gal の一定に保ちながら、入力振動数を 0.2Hz 刻みに増加・減少させて応答加速度の測定を行う。なお、入力加速度は供試体底板に設置した加速度計により、応答加速度は供試体砂上表面の加速度計により計測する。

3 . 結果および考察

図 - 3 ~ 図 - 6 に硅砂 3 号、硅砂 5 号、硅砂 7 号、豊浦標準砂を用いた供試体の入力振動数と応答加速度の関係を示す。これより、すべての供試体において入力加速度が大きくなるにつれて共振振動数が低振動数域に移行する砂の材料特性による現象を確認できる。ここで、硅砂 3 号を除く供試体では、入力加速度の増加に伴って共振振動数はほぼ比例して低下しているのに対し、硅砂 3 号は入力加速度 50gal から 100gal の増加において大幅な低下が見られる。これは、土粒子の粒度構成に依存していると考えられ、硅砂 3 号の 80% 以上は粗砂で構成されているため砂の締固め状態が悪く、このような応答を示したものと予想される。また、ほとんどの供試

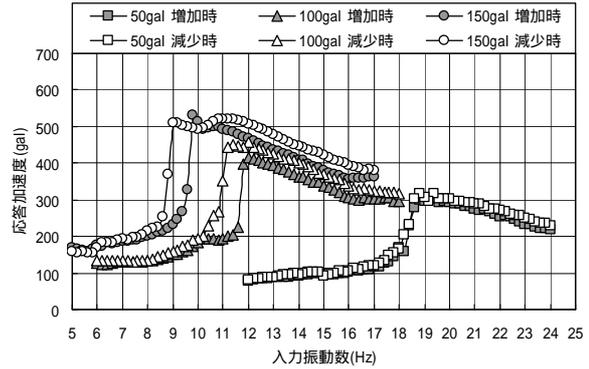


図 - 3 硅砂 3 号

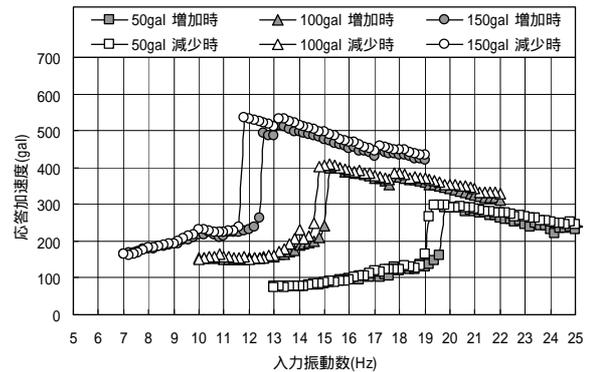


図 - 4 硅砂 5 号

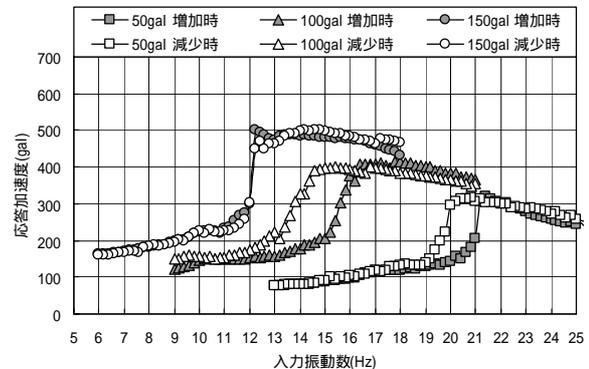


図 - 5 硅砂 7 号

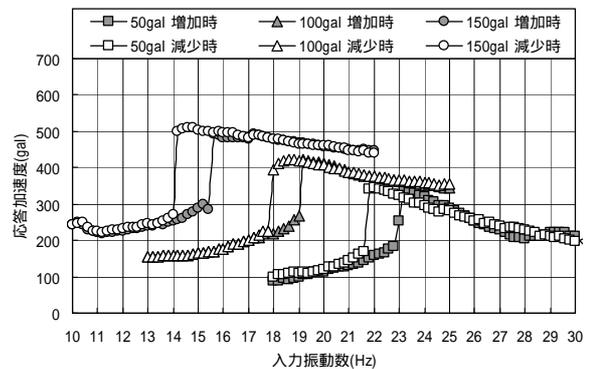


図 - 6 豊浦標準砂

表 - 2 ジャンピング現象が生じる振動数

	ジャンピング現象が生じる振動数(Hz)								
	50gal			100gal			150gal		
	増加時	減少時	差	増加時	減少時	差	増加時	減少時	差
珪砂3号	18.2	18.6	-0.4	11.6	11.2	0.4	9.6	9.0	0.6
珪砂5号	19.6	19.4	0.2	15.0	14.8	0.2	12.4	11.8	0.6
珪砂7号	21.0	20.0	1.0	15.4	14.4	1.0	12.0	12.2	-0.2
豊浦標準砂	22.8	21.6	1.2	19.0	17.8	1.2	15.4	14.0	1.4

体において、共振振動数付近で応答加速度が急激に増加または減少するジャンピング現象が発生していることが確認できる。ジャンピング現象による応答加速度の変化量は入力加速度が大きくなるにつれて増加していることから、入力加速度の増加に伴い非線形性が強まっていると考えられる。

表 - 2 に各供試体におけるジャンピング現象が発生した時の入力振動数を示す。これより、ほぼすべての供試体においてジャンピング現象が発生する振動数は、入力振動数の増加時の方が高い値を示していることがわかる。また、入力振動数の増加時と減少時の差を比較すると、珪砂3号および珪砂5号に対し、珪砂7号および豊浦標準砂の方が大きくなっている。これは、珪砂7号および豊浦標準砂は粒径が小さいため、供試体中の土粒子の数も増加することから、より入力振動数の増減に係わる非線形性が現れたものと推測される。

図 - 7 および図 - 8 は、各供試体における入力加速度と最大応答加速度の関係を入力振動数の増減別に示したものである。各砂の差異には最小密度・最大密度の違いと粒径の分布がある。しかし、それぞれの入力加速度に対する最大応答加速度は一定の傾向を示していないことから、密度および粒径分布の差異は応答加速度には影響しないと推測される。

図 - 9 および図 - 10 は、各供試体における入力加速度と共振振動数の関係を入力振動数の増減別に示したものである。これより、入力振動数の増加時および減少時ともに、全体的な傾向

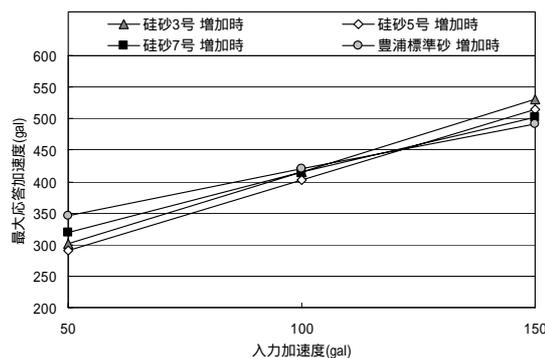


図 - 7 最大応答加速度（増加時）

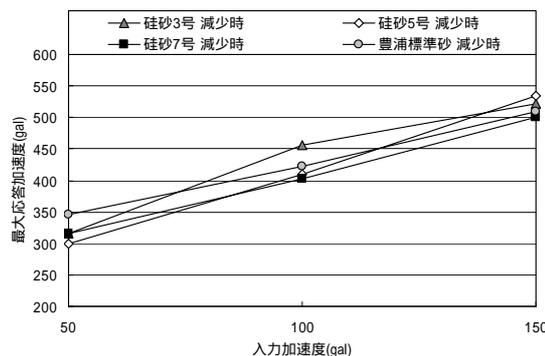


図 - 8 最大応答加速度（減少時）

として共振振動数は豊浦標準砂、珪砂7号、珪砂5号、珪砂3号の順に高い値を示している。これは、供試体を構成する砂質土の粒径の関係とほぼ一致しており、土粒子の粒径が小さいほど締固め状態が良好となるため、共振振動数も高い値を示すと考えられる。なお、豊浦標準砂と珪砂7号はほぼ近似した粒度構成であるが、豊浦標準砂の共振振動数の方が高い値を示している。これは、砂質土粒子の表面状態や粘着性の差異によるものと考えられ、せん断弾性係数などが影響していると推測される。

既往の研究¹⁾では、同一種類の砂質土の粒度構成を調整した供試体において、共振振動数と最大密度の関係は最大密度が増加するにつれて共振振動数は低くなると報告されており、最大密度も共振振動数に影響を与える要素の一つであるとされている。そこで、珪砂3号、珪砂5号、珪砂7号の共振振動数と最大密度の関係について検討する。図-11に入力振動数の増加時、図-12に入力振動数の減少時における各珪砂を用いた供試体の共振振動数と最大密度の関係を示す。これより、各珪砂においても入力振動数の増加時、減少時ともに最大密度が高くなるにつれて共振振動数が低下する傾向を示していることが確認できる。また、各珪砂の最大密度の差異は微小なものであるにも関わらず、この傾向が明確に現れているため、最大密度は微小な差異であっても共振振動数に影響を及ぼしていると考えられる。

4. まとめ

粒度構成が異なる砂質土層においても粒状物体特有の砂の材料特性による現象やジャンピング現象など非線形振動応答を確認できた。

各砂の最大応答加速度は一定の傾向を示していないことから、砂質土の最小密度・最大密度および粒径分布は応答加速度に影響しないと考えられる。

共振振動数は砂質土の粒径が小さいほど、締固め状態が良好となるため高くなる。また、粒径だけでなく最大密度やせん断弾性係数などに大きく影響されることが考えられる。

参考文献

- 1) 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.94-96
- 2) 熊膳和也：粒度構成が異なる砂質土層の非線形せん断振動応答に関する研究、第37回日本大学生産工学部学術講演会、2004、pp.5-8

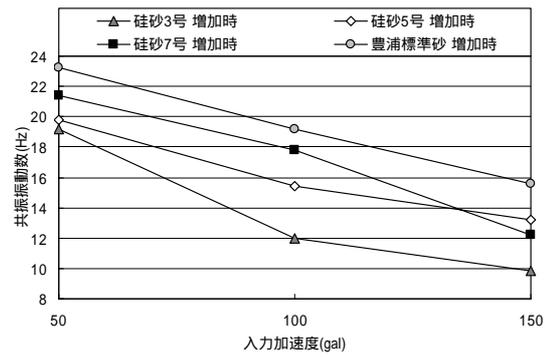


図-9 共振振動数（増加時）

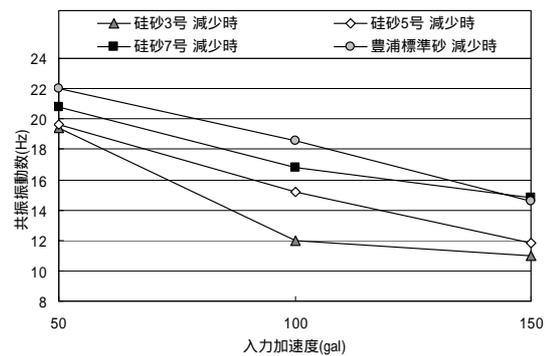


図-10 共振振動数（減少時）

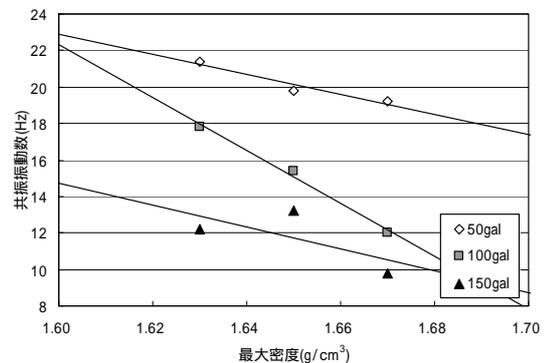


図-11 共振振動数と最大密度（増加時）

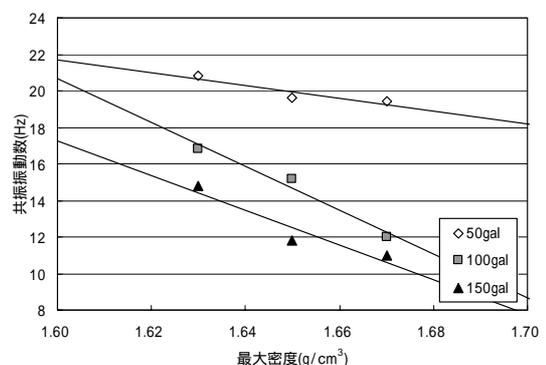


図-12 共振振動数と最大密度（減少時）