

武蔵工業大学大学院

○中田隆博

武蔵工業大学土木工学科

片田敏行

武蔵工業大学土木工学科

中里由樹

武蔵工業大学土木工学科

神山光男

1. まえがき

過去の地震被害調査の結果を見ると、液状化が起り易い地盤は飽和した緩い砂層地盤とされている。つまり地盤の飽和度と相対密度が大きく関係してくる。実際の砂層地盤は、様々な飽和度や相対密度を有している。したがって、完全液状化までに至らないかもしれないが、飽和度が低かったり相対密度が高いために、地震動により軟化程度で終る場合も考えられる。しかしながら、飽和度や相対密度の違いによる地盤の応答特性は未解明な部分が多い。それは、現在行われている室内実験で飽和地盤を対象としている場合が多いからである。現実には不飽和状態で様々な相対密度の砂層地盤を扱わなければならない場合が多い。それゆえ、飽和地盤を含め、不飽和地盤についても地震時における砂層地盤の応答特性を明らかにする事が重要なことと考えられる。

そこで、本研究は液状化に大きく影響を及ぼし砂層地盤の応答特性を支配すると思われる飽和度と相対密度に着目し、砂層地盤の応答特性を明らかにしようとしたものである。すなわち、種々の飽和度と相対密度を有する供試体をつくり、実復元力を用いた地震応答解析を行う。この結果より、飽和度・相対密度と応答特性の関係を考察しようとするものである。

現在液状化予測として、標準貫入試験により得られたN値や粒径分布等を用いる方法が一般に使われている。これに対して、本研究で試みるような飽和度や相対密度と地盤の応答特性の関係が定量的に明らかにできれば、現場から得られる飽和度と相対密度を用いて、不飽和状態や液状化を含めた簡易的な地盤応答特性の推定が可能だと思われる。

従来の有効応力法による数値解析ではすべて飽和地盤を対象としている。これは、不飽和砂の非線形復元力特性や間隙水圧上昇過程を表す数学モデルが明らかにされていないためである。そこで本研究では片田らによって提案された、プログラム制御オンライン実験方法を用いることにする。この方法により実復元力を用いて表層地盤の非線形震動解析を行い、完全液状化状態まで地盤破壊の様子を把握する事ができる。本来、表層地盤は多自由度系で表さなければいけないが、本研究では研究の第1段階として1自由度系で表層地盤をモデル化する。

2. 解析方法及び解析装置

2-1. 解析方法及び解析手順

図-1に解析方法のフローチャートを示す。標準砂を用いて種々の飽和度と相対密度の供試体を作成する。これを用いて実復元力による応答解析を行う。この時、供試体の飽和度と相対密度を様々に変えることにより、地盤応答特性との関係が解析される。

実験で用いる供試体の相対密度(Dr)は、密詰(Dr>65%)、やや密詰(35%<Dr≤65%)、緩詰(Dr≤35%)の3種類とする。実験により得られた最大応答加速度を用いて加速度応答倍率を算出し、3つに分類された相対密度について飽和度との相関性を見る。

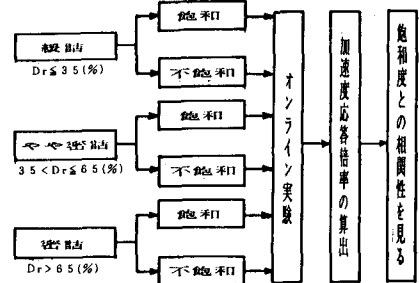


図-1 解析方法のフローチャート

2-2. 解析装置

解析装置は実復元力を得るための振動三軸試験機と応答計算をするためのマイクロ・コンピュータ (PC9801F2) の2つから成っている。1自由度系振動方程式は線型加速度法を用いてプログラムした。得られた応答変位を D/A コンバータを用いてアナログ化し、振動三軸試験機に強制変位として加えられる。それによって得られた反力を A/D コンバータを用いてデジタル化し、それをマイコンに取り入れ次のステップの応答計算に用いる。実験装置の構成は図-2のようになる。なお、解析装置の説明の詳細については参考文献(1)、(2)を参照していただきたい。

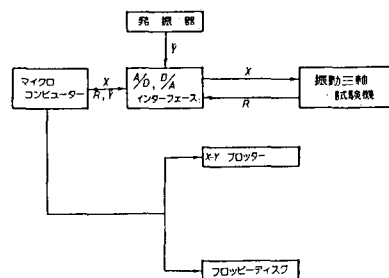


図-2 実験装置の構成

3. 地盤のモデル化

地盤は研究の第1段階として1自由度系でモデル化を行ない、固有振動数 2Hz、減衰定数 0.1 とした。今回、入力波は正弦波 (1Hz) を使い、その最大加速度を 100gal とした。また、実験で用いる供試体は高さ 10cm、直径 5cm で、その応力状態は $\sigma_1 = \sigma_3 = 1.5 \text{ kgf/cm}^2$ とし、試料砂には豊浦標準砂 (比重 $G_s = 2.63$ 、 $e_{\min} = 0.619$ 、 $e_{\max} = 0.993$) を用いた。

4. 解析結果及び考察

供試体の飽和度の違い (ゆる詰、やや密詰、密詰) 及び飽和度の違いと加速度応答倍率との関係を図-3、4、5に示す。

各図を見ても明らかなように、相対密度・飽和度と加速度応答倍率との間に、ある程度の相関性が見られ、緩詰状態の飽和度約 65% 以下の供試体の場合にはほとんど液状化しなかった。緩詰の場合、飽和度が大きくなると加速度応答倍率が減少する傾向にある。その理由は、液状化により剛性が低下したためと思われる。ゆる詰、やや密詰、密詰の場合、飽和度の大小にかかわらず加速度応答倍率はほぼ一定の値を示している。この理由として考えられるのは、相対密度が大きいと飽和の場合でも液状化が起りにくいいため、供試体の状態がさほど変化しなかったためであろう。

5. あとがき

本研究は、飽和度や相対密度の違いが表層地盤の応答特性に及ぼす影響を実復元力を用いた応答解析手法により明らかにしようと試みたものである。その結果加速度応答特性についてある程度の相関性が見られることが明らかになった。今回、入力波として正弦波を用いて実験を行なったが、今後実地震波を用いて実験を行ないたい。

参考文献

- (1) 片田、他：マイコンを用いたプログラム制御オンライン実験方法により得られる液状化砂の非線形復元力特性、第19回土質工学研究発表会講演集、PP539～540、昭和59年6月
- (2) 片田、他：飽和砂層を含む多層地盤の実復元力を用いた非線形波動解析、土木学会論文集、昭和60年4月

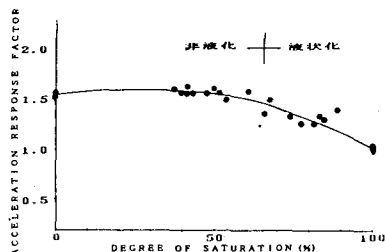


図-3 緩詰の飽和度と加速度応答倍率の関係

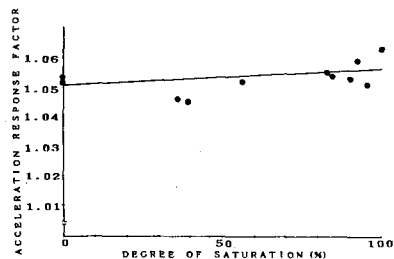


図-4 やや密詰の飽和度と加速応答倍率の関係

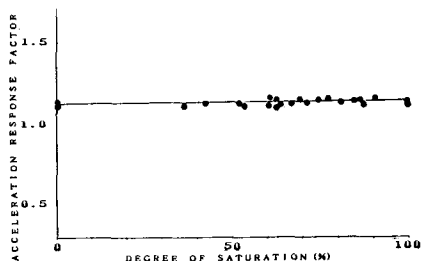


図-5 密詰の飽和度と加速度応答倍率の関係