

Ⅲ-A154

遠心模型実験における砂地盤のせん断波測定について

西松建設技術研究所 正会員 今村 眞一郎 中央大学理工学部 正会員 藤井 齊昭
 西松建設技術研究所 正会員 町田 能章 西松建設技術研究所 正会員 萩原 敏行
 西松建設技術研究所 正会員 野本 寿

1. まえがき

本研究では、遠心模型地盤の動的特性を明らかにすることを目的として、遠心力場における弾性波速度の計測に関する基礎的な研究を実施している。本報文では、遠心力場において飽和地盤、乾燥砂地盤の非破壊試験として、弾性波速度の計測を振動台を利用する場合と圧電振動子を利用する場合の2つの方法で実施し、模型地盤の初期状態と繰り返し弱い振動を受けた地盤の弾性波速度の変化について検討したので以下に報告する。

2. 実験の概要

飽和砂・乾燥砂模型地盤の概要を各々対称断面図として、計測工とともに図-1に示す。実験には積層板型のせん断土槽（内：600×250×350mm）を用いた。模型地盤は、表-1に示す相馬砂を使用し、乾燥砂地盤は空中落下法、飽和地盤は水中落下法により各々相対密度が65%となるように作成した。飽和砂地盤の作成では相似則に基づき、粘性抵抗を高めたグリセリン水溶液を間隙水として用いた。なお、詳細な地盤作成方法、計測器の設置については別報^{1,2)}を参照されたい。

実験は、遠心加速度 392m/s^2 (40g) とし、地盤の初期状態における弾性波速度の計測は、振動台を使用して土槽底面に水平方向に表-2に示すパルス波を導入する方法と圧電振動子を用いて地盤内に振動を与える方法で行った。ここで初期状態とは土槽の底面から表面まで一様地盤とするが、現実には10mの層厚にわたり一様な密度をもつ地盤はまれであり、深さ方向に密度が増加する傾向が多い。そこで、模型地盤に表-3に示す弱い振動を加えた後の地盤の弾性波速度を調べ、初期状態のものと比較した。

3. 実験結果および考察

1) 模型地盤の初期弾性波速度

乾燥砂については、遠心加速度を20, 40, 50gと3種類に変化させ、弾性波速度に及ぼす拘束圧 $\sigma_m (= \sigma_v (1+K_0)/3)$ の影響について調べた。図示していないが、弾性波速度（以下、 V_s と呼ぶ）と遠心加速度を変化させて得られる拘束圧の変化との関係は、土槽の中心部（平均深さ130mm）で求めた V_s は、ほぼ σ_m の1/4乗に比例しており、柴田ら³⁾が行った要素試験結果や過去の実験結果^{1), 2)}とも整合がとれ妥当性が示された。しかし、土槽の浅い位置（平均深さ50mm）で求めた V_s はその傾向が必ずしも明確ではない。むしろ、同一の地盤にも関わらず浅い位置での V_s が、 σ_m の値がそれより高いであろう深い位置における V_s よりも大きい傾向にある。これは土槽の中心線上はもとより、側方の地盤においても同様で、振動台のパルス波ならびに圧電振動子でも同様な傾向であった。

一方、飽和地盤における深さ方向の V_s 分布を図-2に示す。その分布に多少のばらつきはあるが、深さ方向に対して V_s が大きくなる傾向にある。乾燥砂と比較しても飽和砂では有効応力が小さくなる分、 V_s の値も若干小さくなっている。また、浅い位置での V_s の値のばらつきが大きいことや相対的に大きめの V_s を与える傾向は乾燥砂と同様であった。さらに、Sweep試験で求めた地盤の平均弾性波速度 V_s ($V_s = 4 \cdot H \cdot f_0$, H : 層厚(10m), f_0 : 一次固有振動数(2Hz)) も示しているが、パルス波により求めた深さ方向の V_s 分布と比較しても妥当な値と考えられる。

2) 加振後の弾性波速度

表-3に示すSA波を複数回与え、その前後で測定された深さ方向の V_s 分布を飽和砂地盤で代表して図-3に示す。なお、初期状態とはゆるぎめにした模型地盤に40gの遠心力を加えた状態、SA-1はSA波を1回、SA-2は続いてSA波をもう1回、SB-3はその後さらにSA波を加えた後の状態をそれぞれ示し、同条件で3回実施した。同一深さにつ

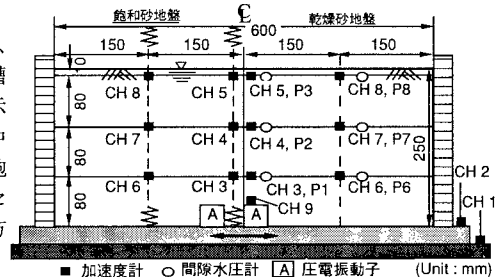


図-1 飽和地盤・乾燥砂模型地盤の概要

表-1 相馬砂の物理特性

土粒子密度 ρ_s	2.64
均等係数 U_c (g/cm ³)	1.45
最大間隙比 e_{max}	1.085
最小間隙比 e_{min}	0.678
初期間隙比 e_0	0.82
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.45
相対密度 D_r (%)	65

表-2 振動波形

	パルス波	Sweep
周波数	120Hz (実物換算3Hz)	50~250Hz
加速度(G)	0.5G (実物換算12gal)	
波数	1	—

表-3 振動波形（正弦波）

種類	項目	遠心場	実物相当
SA波 中規模地震 クラス	周波数	120Hz	3Hz
	加速度	2G	50gal
	波数		24波

キーワード：弾性波速度・せん断剛性・遠心模型実験・砂地盤（連絡先〒243-0303 神奈川県愛甲郡愛川町中津字桜台4054番地、西松建設（株）愛川衝撃振動研究所 TEL 0462-85-7101 FAX 0462-85-7104）

いて着目すると、初期状態の V_s と加振後の V_s を比較しても大きな違いが認められなかった。また、SA波を繰り返し与えることで V_s の値が増加する傾向を示すものもあるが、全体的にそれほど顕著な傾向といえない。また乾燥砂と比べ、飽和砂では有効応力が小さくなることから、 V_s の絶対値は乾燥砂の約1/2である。一方、乾燥砂では初期状態から最初のSA-1を除けば、振動が加えられる度に V_s の値は大きくなる傾向が窺われた。

3) 飽和砂地盤の動的応答解析と加振中の応答

飽和砂地盤ではSA波を複数回与えても V_s に顕著な違いが認められなかったことから、比較的密度が一樣に近い初期状態SA-1について、実測の弾性波速度を用いて動的解析プログラムSuper Flashによる弾性解析を行った。土槽中央部のch3, ch4, ch5における解析結果をSA-1、SA-3の応答加速度時刻歴と併せて図-4に示す。解析とSA-1の比較から、地表近くのch5を除き、ch3, ch4については、平均的にも解析と応答倍率がよく対応している。また解析から得られた共振周波数は2Hz付近であり、Sweep加振から得られたものと整合がとれていることから、弾性波をある程度の精度で計測できたと考えられる。つぎに、加振中の応答についてSA-1とSA-3で代表して考察する。

SA-1から地表面に近いほど加速度応答は減衰し、いわゆる液状化現象に至っていることが図より窺い知れる。即ち、SA波を加振する度に地表付近(G.L.-0.4m)のch5では加振の3波目あたりから地盤の剛性が低下し、かなり液状化に近い状態となっている。しかし、それより深い位置(G.L.-3.6m)のch5では加振の14波目あたりから急激に地盤の剛性が低下が認められるものの、まだ液状化には至っていない下層部(G.L.-6.8m)のch3では、上部層の剛性が低下する波数辺りから、むしろ応答倍率の上昇が見られる。SA-3（加振3回目）では、地表付近では、液状化がむしろ起き易くなっていることが加速度応答より知れる。ここで興味深いのは、繰り返し加振を受けても V_s には顕著な変化が見られないのに対して、加振に伴い深さによる応答加速度の違いが捉えられたことである。特に地表付近では、液状化現象に伴い地盤の物性値が微妙に変化していると考えられるが、 V_s は土の間隙率や土の密度の1/2乗に比例もしくは反比例していることから、僅かな密度変化などに対し、 V_s の感度は相当鈍いことが改めて実験的に確認することができた。また間隙水圧の応答については別報³⁾を参照されたい。

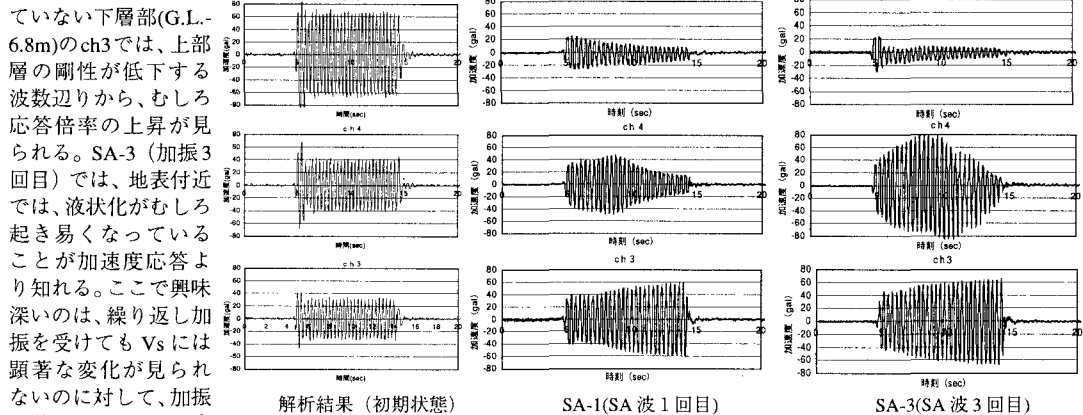


図-4 実測値と解析の応答加速度時刻歴の比較

えられたことである。特に地表付近では、液状化現象に伴い地盤の物性値が微妙に変化していると考えられるが、 V_s は土の間隙率や土の密度の1/2乗に比例もしくは反比例していることから、僅かな密度変化などに対し、 V_s の感度は相当鈍いことが改めて実験的に確認することができた。また間隙水圧の応答については別報³⁾を参照されたい。

4. まとめ

- 1) 土槽の中央部では明らかに V_s が、平均有効応力 σ_m の1/4乗に比例する傾向が認められたが、土槽の浅い部分ではこの傾向が認められなかった。この原因を明らかにするためには、土槽上層部での水平方向 V_s についても計測し鉛直方向の V_s との関係を明らかにする必要がある。
- 2) パルス波、圧電振動子、Sweep加振のいずれで求めた V_s もほぼ同程度であり、この V_s の値は妥当な値であった。
- 3) 乾燥砂では中震程度の加振により、地盤内の V_s が加振ごとに増加していく傾向がみられたが、飽和砂では明確な傾向が認められなかった。

今後は、圧電振動子の小型化や改良を加えた実験を行い、定量的に V_s を求める予定である。

【参考文献】 1) 上野ら：動的遠心模型実験における飽和地盤のせん断剛性の測定，土木学会第53回年次学術講演会発表会，pp.350-351，1998。 2) 松井ら：せん断履歴を考慮に入れた地盤作成，土木学会第54回年次学術講演会発表会，1999(投稿中)。 3) 柴田ら：砂質土の弾性波速度に関する研究，京大防災研年報，第13号B，pp.168-191，1970。

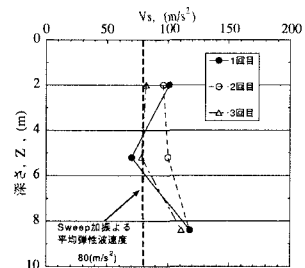


図-2 深さ方向の V_s 分布（飽和砂）

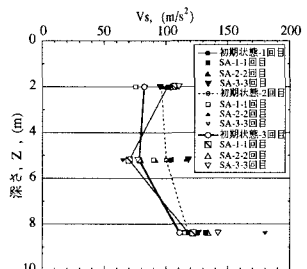


図-3 加振による V_s の深さ方向の変化（飽和砂）