

遠心模型地盤におけるサウンディング調査

西松建設技術研究所 正会員 野本 寿
西松建設技術研究所 正会員 今村眞一郎
西松建設技術研究所 正会員 萩原敏行

中央大学理工学部(現；大林組) 正会員 碓井眞一郎
中央大学理工学部 正会員 藤井齊昭

1. はじめに

筆者らは、遠心模型実験における模型砂地盤の動的応答特性に関する基礎的な研究を行っている。その中でも特に、地盤の初期状態、加振中、そして加振後における強度特性の把握に努めてきた。これは、今後の数値解析ならびに、模型実験の結果を実地盤に力学的に対応させる上で重要な課題として位置付けている。前報¹⁾では、遠心力場の模型地盤に振動台からパルス波を与える方法や模型地盤に予め埋設した圧電振動子を発振させる方法によって地盤中を伝わるせん断波速度 V_s を捉え、これより地盤の剛性に結びつけることを試みた。その結果、加振前後における地盤内の強度変化をせん断波速度 V_s から定量的に求めるには、①同一材料では、 V_s の感度は強度変化に比べて鈍い、②小型模型地盤では、 V_s を精度よく計測するための距離が十分取れない、などの問題点があることが判った。

そこで本報告では、超小型の電気式静的コーン貫入試験機を開発し、 V_s の計測と併行して遠心力場の模型地盤においてコーン貫入試験を行い、その試験機の開発概要、ならびに実験結果について考察したので以下に報告する。

2. 実験概要

(1) 遠心力場コーン貫入試験機の開発概要

遠心力場の模型地盤において行うコーン貫入試験では、①コーンの直径と試料粒径の関係、②土槽壁面の拘束による影響、③貫入速度の影響、④遠心加速度の大きさによる影響、などの問題点がこれまでに指摘されている。もっとも問題になるのは、コーンの直径 B と試料の平均粒径 D_{50} の関係である。Bolton ら²⁾は、コーンの直径と平均粒径の比 B/D_{50} が 28~85 の範囲では、コーンの貫入抵抗 q_c に全く影響がなかったことを示している。既往の研究^{2),3)}を参考に、筆者らが開発したコーンは、先端角 60° の鋼製で外径は 12mm ϕ 、先端部には市販の圧力センサーを取付けられる構造を有し、コーンを貫入するときの先端抵抗と同時に周面摩擦力も計測できる構造とした。このコーンの直径 B と実験に用いた砂の粒径 $D_{50}(=0.34\text{mm})$ の比 B/D_{50} は約 35 で、これは既往の研究の中でもごく一般的な値であった。また、本研究で用いたせん断土槽(内寸法 600×250mm)の中心線にコーンを設置すれば、壁面までの距離は 125mm(10.4B)で、これは既往の研究からみても壁面による拘束の影響は無視できると考えられた。新たに開発したコーン貫入試験装置を写真-1 に示す。小寸法のコーンではあるが、遠心力場では有効鉛直応力 σ_v' が大きくなるため、設計仕様では、コーン先端抵抗を最大 40MPa とした。コーンの貫入は、4 本の貫入ガイド支柱に沿って鉛直方向に行われ、引抜いた状態では水平移動も可能である。なお、貫入速度は、0.5~2.0mm/sec の範囲で任意に設定できるようにした。

(2) 実験方法

既往の研究からも、コーンの貫入速度や土槽壁面の影響などについては、かなり明らかにされているが、ここでは、開発したコーン貫入試験機の予備実験を兼ねて、前述の研究事例について検証を試みた。実験には気乾状態の豊浦砂を用い、振動実験用のせん断土槽に相対密度($Dr=85\%$)が一樣な模型地盤を空中落下法で作成した。比較的密な状態に詰められたこの模

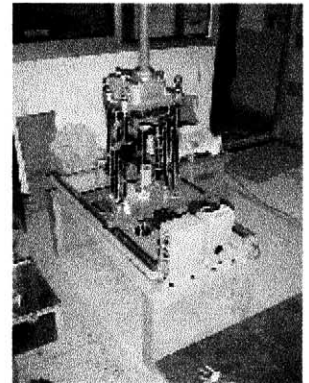


写真-1 コーン貫入試験機

表-1 振動波形

種類	項目	遠心場	実物相当
SA 波	周波数	150Hz	3Hz
	加速度	2G	40gal
	波数	30(sin 波)	
SB 波	周波数	150Hz	3Hz
	加速度	4G	80gal
	波数	60(sin 波)	

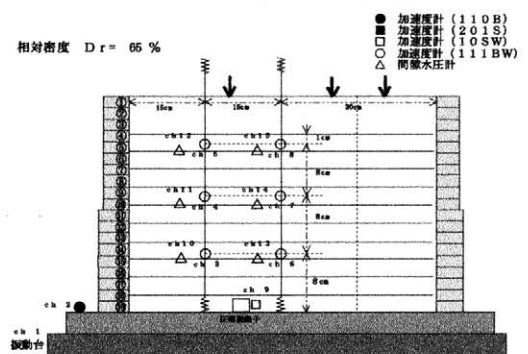


図-1 計測センサーの配置とコーン貫入位置

キーワード：弾性波速度・コーン貫入・遠心模型実験

〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 基礎工学研究室 Tel 03-3817-1800

型地盤に対し、50G の遠心力場で貫入速度による影響、土槽壁面による影響等を調べるためのコーン貫入試験を行った。

次に、振動実験では、せん断土槽内にできるだけ様な密度($Dr=65\%$)になるよう、注意深く作成された飽和砂地盤を 50G の遠心力場におき、表-1 に示す振動波形を模型地盤の底面から与えた。そして加振前後における地盤内の強度特性を調べるため、振動台からパルス波を与える V_s の計測とコーン貫入試験を行った。勿論、コーン貫入位置は計測センサーに影響の及ぼすことがないように、同一の土槽内で複数の貫入位置が相互に影響しない位置に定めた。せん断土槽内の計測センサー配置とコーン貫入位置(矢印)を図-1 に示す。

3. 実験結果および考察

(1) 乾燥砂地盤におけるコーン貫入試験

土槽壁面の影響について調べた実験結果を図-2 に示す。これは土槽の中央と壁面から 5cm の位置で、それぞれコーンを貫入したものである。図-2 より、壁面から 5cm では壁の影響を強く受け、中央部の貫入抵抗より約 35% も高い値を示すことが判った。また、図-2 から模型地盤への貫入深さと貫入抵抗の関係はほぼ直線関係を示していることが判る。これは模型地盤が一様に作られ、貫入抵抗 q_c は鉛直方向の有効応力 σ_v' に比例していることを表している。さらに、図示していないが、貫入速度による違いも全く認められず、これらの結果は、既往の研究^{2),3)}とも整合性が確認され、新しく開発したコーン貫入試験機の妥当性が示された。

(2) 飽和砂地盤におけるコーン貫入試験と V_s の計測

(1)の結果を踏まえて、加振前後の模型地盤で行った、いわゆるサウンディング調査の結果について述べる。せん断波速度 V_s とコーン貫入抵抗 q_c の違いが際立っているものとして、ここでは敢えて、表層部が不飽和になっている同一地盤で得られた、深さ方向の V_s 分布と q_c 分布をそれぞれ図-3、図-4 に示す。図-3 より地盤底部ほど V_s が大きくなっていく傾向は窺えられるが、表-1 に示した SA 波の繰り返し入力や SB 波を入力することによる V_s の違いは明確にあらわれなかった。

一方、図-4 では初期状態と SA 波を 1 波加えた後の地盤における深さ方向の貫入抵抗値、および SA 波を数回繰り返し加えた後に SB 波を加えた地盤の貫入抵抗値が示されている。この結果、図-3 の V_s ではみられなかった繰り返し加振による影響を q_c の変化として明確に捉えることができた。

次に、図-5 は、地表面まで十分に飽和された地盤で得られたコーン貫入試験の結果である。この地盤は、前述した不飽和地盤と密度の違いは殆どなく、深さ方向の V_s 分布は図-3 とほぼ同じであった。それに対し、深さ方向の q_c 分布は図-4 と明らかに違い、 q_c の値は鉛直有効応力 σ_v' に敏感であることが判る。特に、加振後のコーン貫入試験では、貫入抵抗値 q_c はほぼ直線的に増加していた。

4. おわりに

本研究では、新しく開発した遠心力場コーン貫入試験機の妥当性を示すとともに、コーン貫入試験の結果から模型地盤内の不均一性をはじめとして、弾性波速度の計測だけでは捉えることのできなかった加振前後の地盤の強度変化についても明らかにすることができた。今後も積極的にコーン貫入試験を取り入れ、遠心模型地盤の品質管理にも役立てていきたい。

【参考文献】1)今村ら:遠心模型実験における砂地盤のせん断波測定について,土木学会第 54 回年次学術講演会発表会,pp.308-309,1999 2)M.D.Bolton et al. : Review of miniature soil probes for model tests, Proc.of 11th South East Asia Geotechnical Conf., 1993, Singapore. 3)J.T.Van der Poel et al. : A preparation technique for very homogenous sand models and CPT research, Proc. Centrifuge 98, 1998, Tokyo.

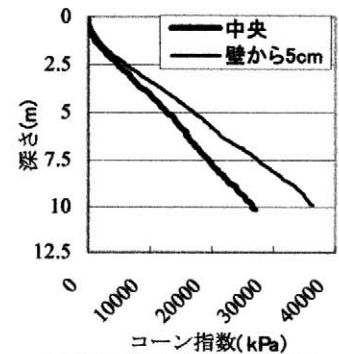


図-2 壁面の拘束による影響

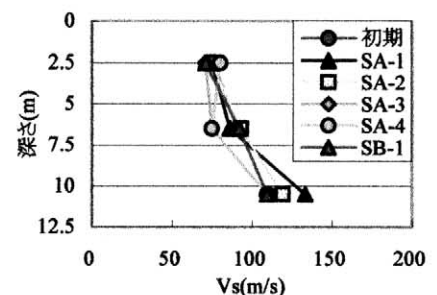


図-3 V_s の深さ方向分布

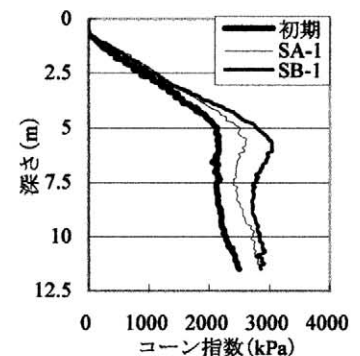


図-4 コーン貫入抵抗値

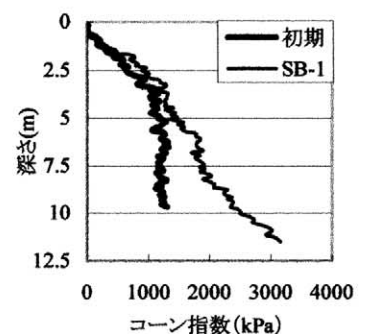


図-5 コーン貫入抵抗値