

(Ⅲ - 37) 立坑内の掘削過程をシミュレートする遠心実験方法について

宇都宮大学大学院 学生会員 ○大井 明
宇都宮大学工学部 正会員 上野 勝利
西松建設㈱ 正会員 藤井 利侑
宇都宮大学工学部 正会員 横山 幸満

1. はじめに 土圧のような土の自重が主役となる問題を実験的に扱うには、遠心模型実験が適しているが、土の特性は応力履歴によって変化するため、模型地盤の応力履歴は実際の掘削による応力履歴と合致するものでなければならない。そのため最近、遠心力場で施工過程を再現する実験手法の開発が活発に行われている¹⁾²⁾³⁾。円筒形立坑の掘削を再現した遠心模型実験の報告⁴⁾も既に幾つか見られるが、これらの方法では立坑締切り内にあらかじめ試料と同程度の単位体積重量に調整された流体を満たし、所定の遠心力場でその流体を排出することによって掘削過程を表現している。そのため、掘削前の水平土圧を適切に再現しているとは言い難い。そこで著者らは立坑締切り内の砂を負圧を利用して排出することにより、よりリアルに地盤の応力履歴と施工過程を再現する方法を試みたので報告する。

2. 立坑模型 本研究で使用した立坑模型の諸条件を表-1に、ゲージの貼付け位置を図-1に示す。深さ方向に3点、2対に貼付けたものを軸対称掘削の検証に用い、深さ方向に5点、1対に貼付けたものを本実験で用いた。また、立坑模型はカリレーションを行うことにより、応力とひずみの関係を明らかにしている。

3. 実験装置 3.1 試料容器 図-2に試料容器を示す。容器内部は三分割されており、Bの部分が実際に地盤を作成する部分、Cの部分が立坑模型内から排出された砂を溜めておく部分である(Aは未使用)。

3.2 掘削装置 図-3に本研究で開発した掘削装置を示す。吸引装置に圧縮空気を送り込むことにより、容器C側に圧縮空気が噴射され、容器B側の空気穴から大量の空気が吸い込まれることにより吸引力が生じて砂を排出するようになっている。従来の遠心模型実験装置内における掘削実験では、模型地盤と同程度の単位体積重量に調節された流体(ZnCl 溶液等)を排出することにより掘削を行っているが、本装置では模型地盤に用いている砂をそのまま排出することにより掘削を行うことができる。

4. 遠心模型実験 本研究で使用した砂は豊浦標準砂で

表-1 立坑模型諸条件

Material	Copper
Thickness t(mm)	0.25
Inner Diameter 2R(mm)	47.8
Young's Modulus E(kgf/cm ²)	1.32×10 ⁶
Poisson's Ratio ν	0.343

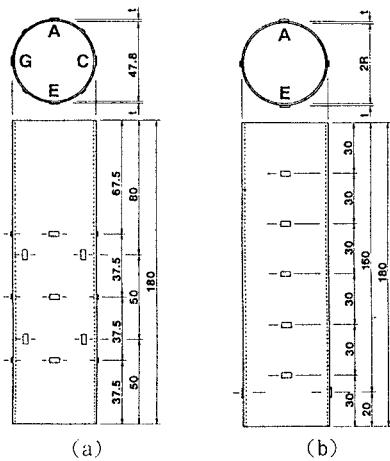
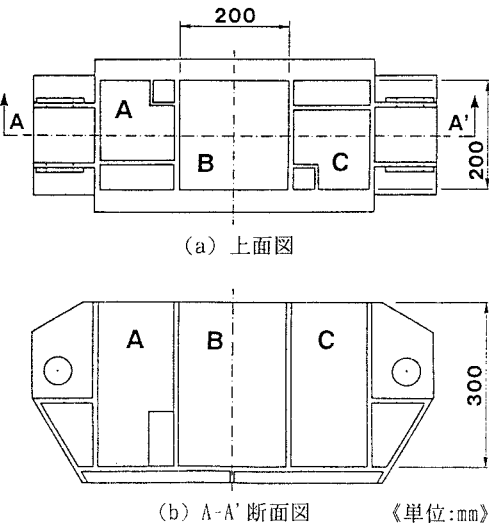


図-1 立坑模型・ゲージ貼付け位置



(b) A-A' 断面図 《単位:mm》
図-2 試料容器

ある。その物理的性質を表-2に示す。空中落下法により相対密度が $D_r=80\%$ になるように模型地盤を作成した。模型地盤の作成が終了した試料容器を遠心模型実験装置内に設置し、遠心加速度を100Gまで上げ、掘削を開始した。掘削を行う前には、土の密度変化および遠心加速度の上昇に伴い立坑模型に発生する変形を安定させるため、遠心加速度履歴⁵⁾を模型地盤に与えた。

5. 実験結果 5.1 排出順序の検討 立坑締切り内の砂がどの部分より排出されているかを、4種類の着色砂を立坑締切り内に層状に配置し重力場で検討した。紙幅の関係上図示しないが、その結果、掘削は模型地盤表面から始まっていることが分かり、これにより、本装置は実際の掘削工事をより良く再現していた。

5.2 軸対称性の検討 図-1(a)に示す立坑模型を用い、立坑の変形が軸対称に起きていることを遠心場で検討した。その結果を図-4に示す。90°位置の異なるA-EとC-Gでの変形は良く一致しており、変形は軸対称に起きていることが分かる。この結果を考慮し、計測点数に制限があるため、本実験では図-1(b)に示す立坑模型を使用した。

5.3 本実験結果 図-5に本実験より得られた掘削深さとひずみの関係を示す。ひずみが発生する位置は掘削と共に深い位置に変化するものの、掘削点よりも深い位置ではほとんどひずみは発生しない。これは締切り内の土によって立坑の変形が拘束されており、掘削実験では流体でなく土を用いることが必要であることを示している。

6. おわりに 本研究では遠心模型実験装置内で実際の掘削工事をより良く再現できる掘削装置を開発することができた。今回、本実験に関しては、 $t=0.25\text{mm}$, $2R=47.8\text{mm}$ の結果のみ報告したが、今後は、肉厚や内径を変えて同様な実験を行っていく予定である。

【参考文献】 1) T. Kimura et al. (1994): Excavation in soft clay using an in-flight excavator, Centrifuge 94, pp. 649-654 2) T. Nomoto et al. (1994): A miniature shield tunneling machine for a centrifuge, Centrifuge 94, pp. 699-704 3) A. de Nicola and M. F. Randolph (1994): Development of a miniature pile driving actuator, Centrifuge 94, pp. 473-478 4) P. V. Lade et al. (1981): Modeling of deep shafts in centrifuge tests, Proc. of 10th ICSMFE, Vol. 1, pp. 683-691 5) 中富(1993): 過圧密砂地盤の支持力特性ならびに圧縮性状に関する研究, 宇都宮大学修士論文。

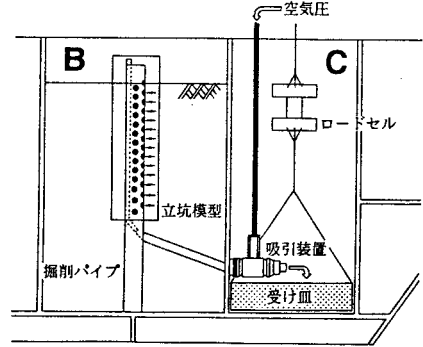


図-3 掘削装置

表-2 試料(豊浦標準砂)の物理的性質

Density ρ_s (g/cm ³)	2.650
Maximum Dry Density γ_{dmax} (gf/cm ³)	1.650
Minimum Dry Density γ_{dmin} (gf/cm ³)	1.343
Uniformity Coefficient U_c	1.402
Coefficient of Curvature U_c'	1.036

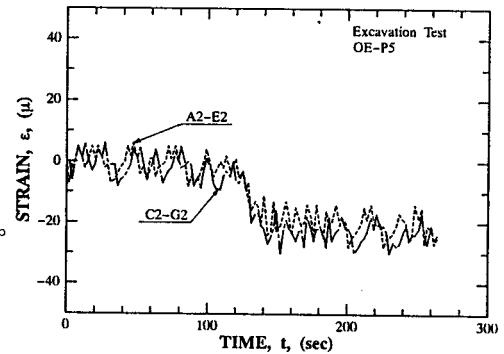


図-4 軸対称性の検討

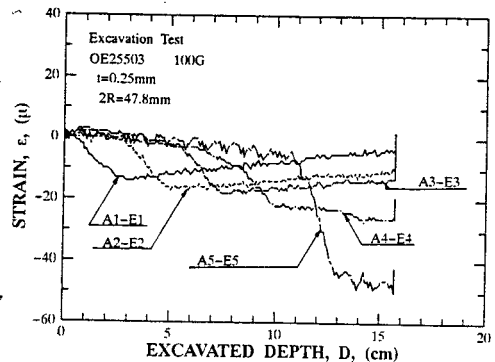


図-5 掘削深さとひずみの関係