

III-PS 4 二次元遠心模型掘削装置の開発

東京工業大学 学生員○神田政幸

東京工業大学 正会員 末政直晃

“ 正会員 竹村次朗

“ 正会員 木村 孟

1. はじめに

これまでの遠心模型実験装置を用いた掘削実験は、遠心力場内で実際の掘削過程をシミュレートする事が非常に難しかったため、重力場で予め成形した模型掘削壁に対して、これに与える遠心加速度を徐々に増加させる方法や掘削部内に土と同じ単位体積重量の溶液が入ったゴムバッグを取り付け、溶液の水位を低下させる方法によって行われるものがほとんどであった。しかしながら、前者には地盤の応力履歴が明確でないこと、後者には地盤の初期応力状態が一次的でないことや掘削底面部まで及ぶ破壊現象を再現できないこと等の問題点がある。そこで今回新たに遠心力場内で地盤を二次元的に掘削し得る装置を開発し、その有効性を確認するために自立土留め壁を用いた不飽和砂地盤の掘削実験を行った。ここでは、模型掘削装置の仕様と実験結果について報告する。

2. 遠心模型掘削機について

模型掘削装置は、移動台車、掘削カッター及び排土ゲートからなっている（Fig.1(a)）。移動台車は、一對のリニアウェイレール上をモーターからタイミングベルトとボールネジを介して得られた推力によって水平移動し、掘削カッターと排土ゲートは、ウォームギヤを組み合わせたモーターによって上昇・下降することができる。使用したモーターは高精度の位置制御が可能な5相ステッピングモーターであり、その最大トルクは25 kgfcmである。移動台車に取り付けられた掘削カッターが土中に押し込まれた後、台車が水平に移動することによって土を削り取り、削り取られた土は排土ゲートより容器のオープンスペースに落とされる。排土ゲートは模型掘削機から鉛直壁を吊り下げた構造になっており、掘削によって地盤表面が下がるとそれに合わせて鉛直壁上面を下げるような仕組みになっている。掘削装置は遠心ピット外のパソコンによって遠隔操作され、掘削速度、長さ、深さなどの入力条件に従い自動制御される。遠心力場での発進・停止時には、モーターに加わる負荷を軽減するために、速度を緩やかに増加・減少させるような配慮がなされている。模型掘削装置の能力には、遠心加速度100g場において実際の掘削工事速度に対応するような目標値を設定した（Table 1）。しかし、現状では

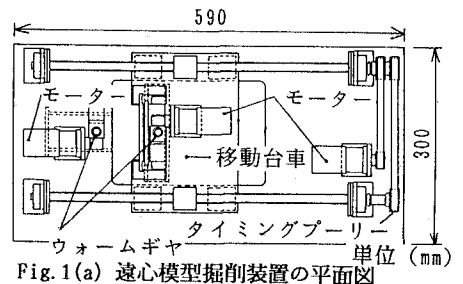


Fig.1(a) 遠心模型掘削装置の平面図

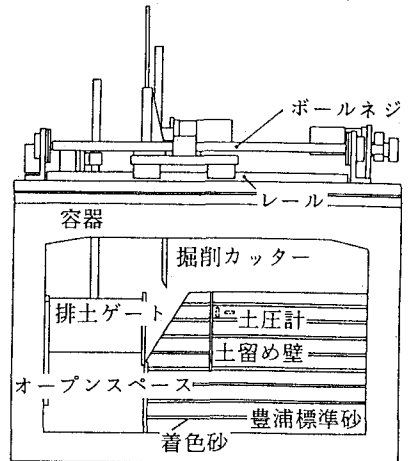


Fig.1(b) 模型掘削装置の立面図及び模型地盤

Table 1 遠心模型掘削機の目標値と現状値

	目標値			現状値	
	推力	最大速度	遠心加速度	最大速度	遠心加速度
台車	400kgf	4.0 mm/s	100g	2.0 mm/s	100g
カッター	1000kgf	0.4 mm/s		0.2 mm/s	70g
排土ゲート	1000kgf	0.4 mm/s		0.2 mm/s	50g

ゲートと容器間で生じる摩擦がその原因であり、これらの摩擦の軽減が今後の課題と考えている。

3. 自立土留め壁を用いた不飽和砂地盤の掘削実験について

不飽和砂地盤は、豊浦標準砂を容器内に空中落下させた後、底部より水をゆっくりと浸潤・排出させること

によって作成した。地盤の間隙比は0.66であり、遠心載荷後の含水比は約2%であった。地盤内には厚さ3mm、長さ12cmのアルミ製の模型土留め壁及び6本の土圧計がそれぞれ所定の位置に埋設されており、地盤前面には地盤の変形を観測するために、着色した豊浦砂層を深さ2cm間隔で敷き並べている。排土ゲート側の地盤を約50°の斜面に成形した後、容器に模型掘削装置を取り付け、これを遠心模型装置に搭載し（Fig.1(b)）、50gの遠心加速度場で掘削実験を行った。掘削模型実験の条件を対応する原型のものと併せてTable 2に示す。

地盤の掘削状況をPhoto.1～3に示す。Photo.1は7cm掘削時のものであり、掘削カッターが地盤をほぼ水平に削り取っていく様子を示している。10cm掘削時には（Photo.2）、土留め壁が前方に倒れ込み、約80°の主働滑り面が形成された。受働領域に支えられたため、それ以上の崩壊には至らなかったが、壁前方3cmの地点からさらに2cm深く地盤を掘削すると（Photo.3）、土留め壁は完全に転倒した。また、実験より得られた水平・鉛直土圧と掘削深の関係を図3に示す。尚、今回の土圧計測は直径6mmの小型土圧計を用いたため比較的粒径の大きな砂地盤の土圧の絶対量を正確に測定することは難しいが変化の傾向は捉えることができる。掘削深が増加するにつれて掘削側の鉛直土圧（EP4）は明らかに減少するが、水平土圧（EP3）は破壊直前まではほぼ一定であり、破壊点直前で増加しはじめ破壊点では水平土圧が鉛直土圧を上回り受働破壊を生じていることがわかる。土留め壁背面側では掘削深の増加に伴う主働化によって、壁面近傍の水平土圧（EP1）は低下しているが、壁面から離れた地点の水平土圧や鉛直土圧（EP5、6）はほぼ一定値となっている。

4. あとがき

今回新たに開発した模型掘削装置は、遠心模型装置内でより現実に近い形で掘削状況を再現できる装置であり、50gの遠心力場においても正確に動作することが確かめられた。しかし、現状では掘削速度がかなり小さいことや高遠心加速度場では鉛直動作が不能になることなどの問題も多く、今後は特に鉛直移動装置に高速化、耐遠心加速度の向上を目的とした改良を加え、100g場における粘土地盤の模型掘削実験を試みる予定である。

Table 2 掘削条件

	Model	Prototype
掘削深さ/1step	1cm	0.5m
掘削長さ	12cm	6.0m
掘削時間/1step	4min	7day

（但し、遠心加速度 50G）

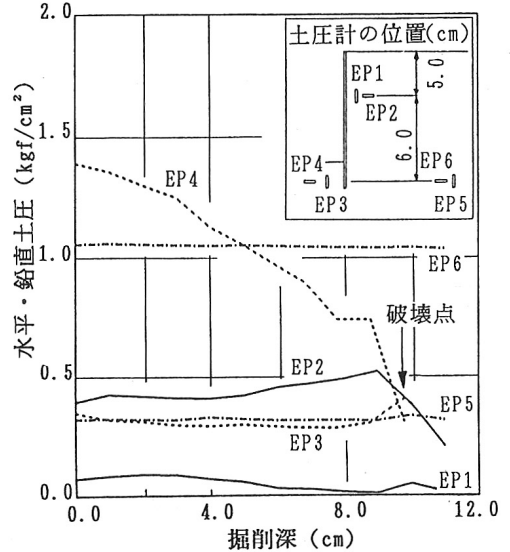


Fig.2 地盤内の水平・鉛直土圧と掘削深の関係



Photo.1 地盤の破壊状況 (step 7)

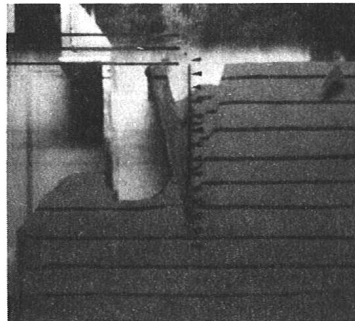


Photo.2 地盤の破壊状況 (step10)

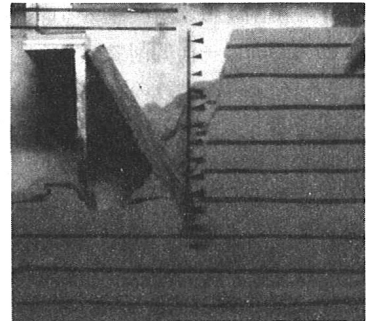


Photo.3 地盤の破壊状況 (step11)