

III-667

軟弱地盤の掘削に伴う底部地盤の変形挙動について

応用地質株式会社 正 重信 純
同 上 正 塚元伸一

1. はじめに

下部に被圧帯水層を有する軟弱な粘性土地盤では、掘削の進行に伴い、底部地盤が膨れ上がる（ヒーピング）現象がしばしば見られるが、この変形挙動については未解明な点が多い。今回、このような地盤で、掘削に伴う底部粘性土層の変形挙動と、下部帯水層の水圧変化を同時に計測する機会を得た。

本報文では、この計測結果を紹介するとともに、粘弾塑性FEM解析結果を踏まえ、底部地盤の変形挙動について考察した結果を述べる。

2. 地盤特性と工事・計測概要

当地区の地盤は、図-1に示すように粘性土層、下部砂層及び火山灰土層で構成されている。粘性土層の自然含水比は110%，粘着力は $1 \sim 2.5 \text{ tf/m}^2$ であり非常に軟弱である。下部砂層のN値は10～20とゆるいものの、透水係数は $3 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ であり、透水性は良好である。また、火山灰土層の透水係数は $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ であり、砂層に比べ難透水層である。さらに、下部砂層、火山灰土層とともに地下水位はG.L.-0.5m付近にあり、いずれも被圧状態にある。

掘削工事は、約5000m²のヤード内において、矢板で砂層の止水対策を行った後、3段階（T.P+1.0m, 0.0m, -1.0m）に分けて行った。今回は、底部粘性土層のヒーピング量を測定するための沈下素子タイプの層別沈下計と、下部砂層の水圧を測定するための電気式の間隙水圧計を用いて計測を行った。

3. 計測結果及び考察

(1) 計測結果

図-2, 3に、No.1, 2地点でのT.P-1.0m付近に埋設した沈下計によるヒーピング量と下部砂層の水圧の経時変化について示す。No.1地点は、No.2地点に比べ、粘性土層の層厚が2m程度厚く、下部砂層の分布深度が2m程度深い条件下にある。

両者の計測結果から、掘削に伴う底部粘性土層の変形挙動と下部砂層の水圧変化の特徴を比較し、以下に示す。

- ① 各地点とも掘削に伴い、水圧は徐々に低下している。
- ② 水圧変化が鈍化傾向にあるT.P+1.0m掘削時において、両地点での変形挙動は異なっている。すなわち、No.1地点では、掘削直後に変位は隆起方向に増大したが、その後はほぼ収束している。一方、No.2地点では、掘削直後から変位はクリープ的に増加する傾向が見られる。
- ③ 掘削が進むにつれ、水圧の低下量は増大し、変位も急増している。No.2地点では、T.P ±0.0mの掘削段階で、底部破壊に伴うボイリングが発生し、地下水の流出による水圧の急激な低下が見られた。

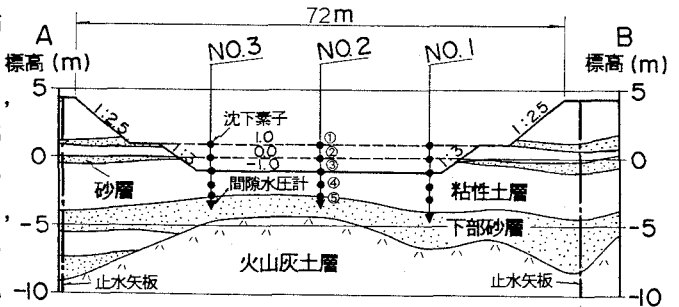


図-1 掘削横断面図及び計器配置図

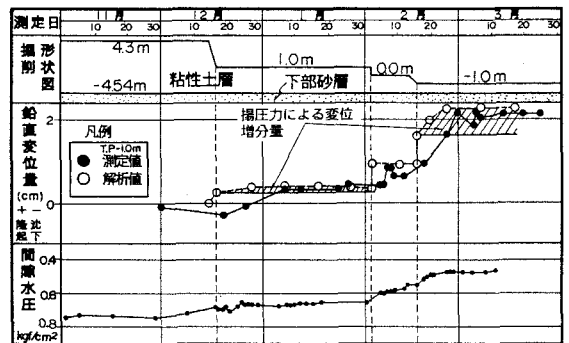


図-2 ヒーピング量と水圧の経時変化図 (No.1 地点)

(2) 考察

1) 下部砂層の水圧の低下について

水圧が低下した要因としては、①応力解放による要因、②漏水による要因の2ケースが考えられたが、応力解放に伴う砂層の変位は認められなかったことから、②の要因が有力と考えた。すなわち、掘削に伴い、砂層から掘削底面に向かって水が移動することにより、水圧が低下していったものと考えた。このことは、ボイルの法則により掘削後の砂層の水圧を試算した結果と、計測値がほぼ同様の値であったことから裏づけられた。

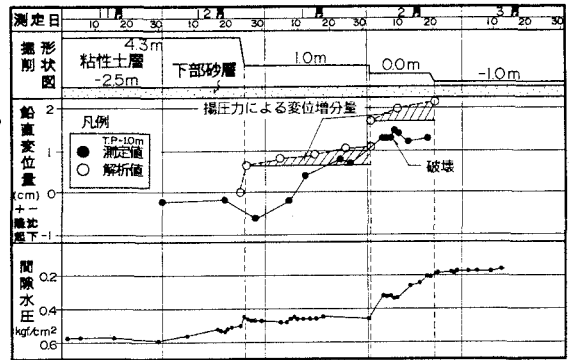


図-3 ヒービング量と水圧の経時変化図(No. 2地点)

2) 両地点の変形挙動の違いについて

掘削の進行に伴い、両地点の変位が増加したことは、応力解放によるリバウンドの影響と考えられるが、No. 1地点のT.P.-1.0m掘削時やNo. 2地点の掘削時に見られたように、変位がクリープ的に増加したことは、粘性土層底面に作用する揚圧力の影響が付加されたものと考えた。そこで、この点を検証するため、表-1に示す物性値を用いて粘弾塑性FEM解析を行った。

解析は、①掘削による応力解放のみを考

表-1 解析入力物性値一覧表

考慮したケースと、②ケース1に加え、粘性土層の底面に下部砂層の水圧を段階的に負荷したケースの計2ケースとした。	ポアソン比 ν	圧縮係数 λ	膨張係数 κ	破壊応力比 M	せん断弾性係数 G (tf/m ²)	透水係数 k (cm/s)
	0.4	0.547	0.109	0.898	82	1.0×10^{-6}

前述した図-2、3に解析値を示す。図に示す解析値(○印)はケース2の値を示したもので、斜線部分は揚圧力のみによる変位増加量を示している。測定値と解析値は定量的にみて必ずしも一致しているわけではないが、巨視的にみるとほぼ同様の変形挙動を示している。すなわち、No. 1地点でのT.P.-1.0m掘削前までの変位は大半が応力解放によるものであり、T.P.-1.0m掘削時に発生する変位やNo. 2地点でのそれは揚圧力の影響が大きいという結果が得られ、前述の変形挙動に対する考え方が裏付けられた。これらのことは、底部粘性土層の厚さが薄くなるほど揚圧力の影響を大きく受けることを意味しており、掘削に伴う変形挙動の違いは、底部粘性土層の重量と揚圧力との不均衡によって生じた現象であるものと推察される。

4. 底部地盤の安定性の評価

No. 2地点で見られた底部破壊は、ヒービング量の測定結果やFEM解析結果により、底部粘性土層の重量と揚圧力との不均衡によって生じたものと結論づけたが、この点に着目し、底部地盤の安定性の評価を行った。図-4に下部砂層の揚圧力と底部粘性土層の土被り荷重の関係を示す。T.P. ± 0.0 m掘削時では、 $W < U_w$ の関係が得られ、揚圧力による底部地盤の安定性は、その重量と下部砂層のもつ水圧との力のつり合いで評価できることがわかった。

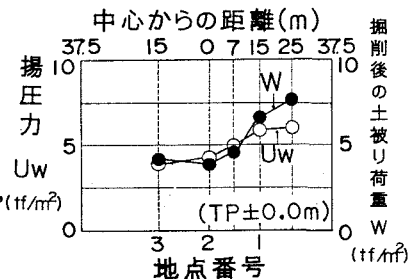


図-4 揚圧力と土被り荷重の関係
(T.P. ± 0.0 m掘削時)

5. むすび

今回得られた結果をまとめ、以下に示す。

- ① 下部砂層の水圧の低下現象は、掘削に伴う応力解放によるものではなく、底面に向かって水が移動していくことによるものと考えられる。
- ② 掘削に伴う底部地盤の変形挙動は、底部粘性土層の厚さによって異なり、掘削深度が浅い場合は応力解放によるリバウンドが主体となるが、掘削の進行に伴い、その厚さが薄くなってくると揚圧力によるヒービングの影響を受ける。