

兵庫県 正会員 ○中村 誠
 京都大学工学部 正会員 黒田勝彦
 京都大学工学部 学生員 田中義宏

1. はじめに

土構造物の施工において事前に予測した変形が出現し、施工が完璧に行なわれることは極めて困難である。この予測値と出現値との差異は技術者にとって重要な情報を与える。現在では現場観測から得た情報の処理が構造物の安全施工、また経済的な施工への鍵を握っていると言ってもよい。したがって今後の問題は、観測対象を何にするか、観測値をいかに処理してゆくかである。本研究では、矢板・切り梁りを用いた掘削工にモデルを採り有限要素法による施工のシミュレーションを通して掘削施工中に出現する特徴的な変位のピックアップを行なう。この変位について変位相互間の関係を調べる。また斜面安定解析により算定された安全率と変位との対応を行ない、その関係を定性的に考察する。

2. 解析モデル

有限要素メッシュモデルを図-1に示す。掘削は2mずつ数回にわたって施工される。矢板は掘削開始以前に深さ12mの位置にまで打設されており、切り梁りは図-2に示す過程で導入される。

土の応力-ひずみ関係としては、線形弾性体、非線形弾塑性体の2種類を使用した。弾性マトリクスの材料パラメータとして弾性係数 E とポアソン比 ν を採り、 E は粘性土の非排水せん断強度 C_u との関係により、一意的に定められている。非線形弾塑性体では各応力レベルにより接線弾性係数をDuncan & Changが示した次式で与えた。(E_t :接線弾性係数)

$$E_t = \left\{ 1 - \frac{R_f(1 - \sin\phi)(\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2Cc\cos\phi + 2\sigma_3\sin\phi} \right\} E_i \quad (1)$$

ここに E_i :初期接線弾性係数, σ_1, σ_3 :最大, 最小主応力, C, ϕ :土のせん断強度定数, R_f :土の応力-ひずみ関係の極限值 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ と破壊時の主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ とを関連づける定数。

(1)式により応力-ひずみ関係が非線形なものとなる。 E_i は線形弾性体の場合同様 C_u との関係において一意的に定められている。また任意の掘削段階において応力増分が負になった場合には、前段階での応力点から E_i と同じ傾きを持つ直線上を移動し、それ以後の応力状態が前段階の応力状態を越えるまでは弾性挙動をするものと考えている。

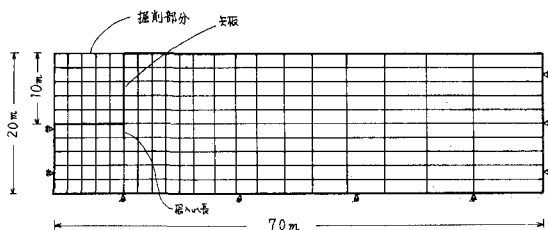


図-1. 有限要素法メッシュモデル

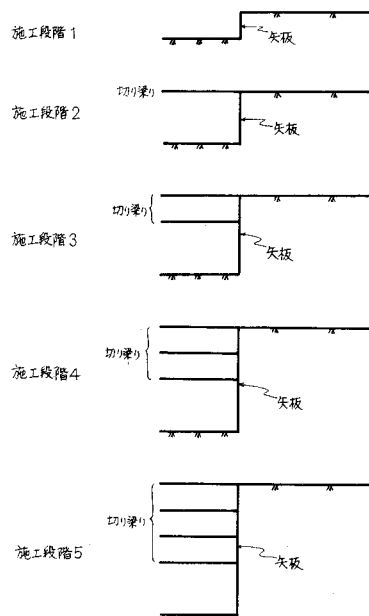


図-2. 各施工終了時の切り梁りの設置形状

この解析において非排水せん断強度 C_u の果たす役割は重要である。実際には C_u は地盤内で一様に分布している訳でなく、深さ方向に線形な平均値関数を持つ正規分布をしていると考えられている。この実際の状況をふまえて C_u の地盤内での分布形に次の3種のものを与えた。

- (1)地盤内で一様に分布している。
- (2)地盤内で深さ方向に線形に分布している。
- (3)地盤内で正規分布している。

C_u が深さ z の一次関数で示されるとし、 C_u の地盤内平均が3.0 ton/m^2 となるよう傾きを変え2種の係数を選んだ。

3. 変位相互間の関係

掘削工における特徴的な変位として掘削底面中央部の地盤のふくれあがり（盤ぶくれ） δ_b 、矢板の最大変位 δ_s 、地表面の最大沈下 δ_p を採用した。これらの値を次式によって無次元化し、それぞれの関係を調べている。

$$\bar{\delta}_b = \delta_b \cdot E / H \cdot C_u, \quad \bar{\delta}_s = \delta_s \cdot E / H \cdot C_u, \quad \bar{\delta}_p = \delta_p \cdot E / H \cdot C_u \quad (2)$$

ここに $\bar{\delta}_b, \bar{\delta}_s, \bar{\delta}_p$ は正規化された無次元数、 H は掘削深さを示している。

$\bar{\delta}_b$ と $\bar{\delta}_p$ の関係を2種の土の応力-ひずみ関係について図-3、図-4にあげる。これらの間には線形な関係が認められる。 $\bar{\delta}_s$ と $\bar{\delta}_b, \bar{\delta}_p$ との間にも線形関係が認められるが、この場合は矢板の支持方法により傾き、切片とも変化している。それぞれ線形回帰分析によれば高い相関係数が得られた。

4. 安全率と変位の関係

それぞれの掘削段階の安全率 F を円弧すべりで $\phi=0$ 法により算定し、 F と $\delta_b, \delta_s, \delta_p$ の対応を行なった。図-5、図-6に示すようにこれらには双曲線で近似されると考えられる関係が存在している。3種の変位と安全率との対応の中では δ_b と F との関係が $F=1$ の近傍で切り取られる曲線が長かった。このことは3種の変位の中で盤ぶくれが情報としての価値がいちばん高いことを表わしていると考えられる。その他詳細については講演時にゆずる。

5. まとめ

本研究では掘削施工中に出現する変位相互間の関係、安全率と変位との対応からその情報としての重要度を考察した。特に盤ぶくれは掘削工を代表する変位であることを確認できたと考えられる。今後は現場で得られた実測データとの対比において研究を進める方向が望まれるだろう。測定方法の精度等の追求も要求されていく問題である。

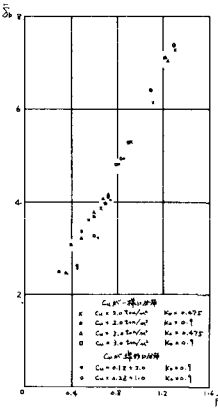


図-3. 正規化した盤ぶくれ $\bar{\delta}_b$ と沈下 $\bar{\delta}_p$ の相関図（線形弾性体）

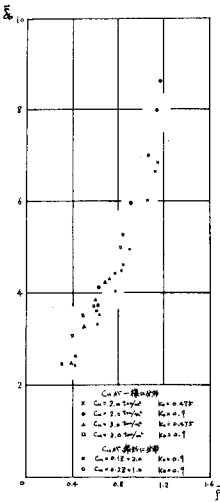


図-4. 正規化した盤ぶくれ $\bar{\delta}_b$ と沈下 $\bar{\delta}_p$ の相関図（非線形弾塑性体）

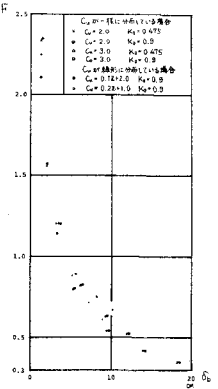


図-5. 安全率と盤ぶくれの関係（線形弾性体）

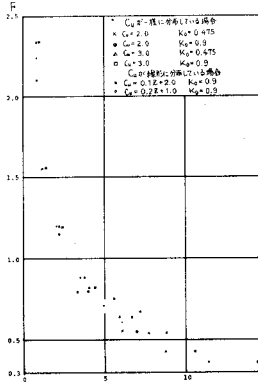


図-6. 安全率と盤ぶくれの関係（非線形弾塑性体）