

掘削・盛土地盤の有限要素解析

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○西村 珠美
 名古屋工業大学 正会員 中井 照夫
 名古屋工業大学学部生 宇野 浩司

実地盤の応力・変形解析では、盛土や掘削問題で代表されるように、幾何的境界条件が施工のプロセスで変化する場合が多い。また多くの場合、幾何的境界条件の変化を含めて土と水の連成問題として扱う必要がある。ここでは、水理境界条件の変化を含めた盛土・掘削問題の解析法について述べる。

1. 盛土・掘削問題の有限要素解析法

Ghaboussi・Pecknold¹⁾, Hsi・Small²⁾の方法を参考に盛土あるいは掘削時の対象要素の節点力を求める方法について述べる。図-1に示すように、 x , y 方向に変位及び節点力を正にとり、土質力学の慣用に従い、応力、ひずみは圧縮側を正にとる。そして、要素内変位-節点変位マトリックスを N 、節点変位-ひずみマトリックスを B とすれば間隙水圧を考えない時、仮想仕事の原理より盛土・掘削時に加えるべき節点力 F は次式で与えられる。

$$F = \int (N^T \gamma) dV + \int (B^T \sigma) dV \quad (1)$$

ここに、掘削時には γ を $(-\gamma)$ で与え、盛土時には $\sigma=0$ として計算する。さて、一般には地盤は非弾性挙動を示し、水との連成を考える必要があるので、次式で盛土あるいは掘削要素の加えるべき節点力を与える。

$$F = \int (N^T \Delta \gamma) dV + \int (B^T \Delta \sigma) dV \quad (2)$$

ここで、 $\Delta \gamma$ あるいは $\Delta \sigma$ は盛土あるいは掘削過程で考えるべき単位体積重量と要素内応力である。そして、水との連成問題では $\Delta \gamma$ あるいは $\Delta \sigma$ は表-1で定義される量で与える。ここに、 γ_{sat} :土の飽和単位体積重量、 γ_t :土の単位体積重量、 γ_w :水の単位体積重量、 σ :全応力、 σ' :有効応力、 u :間隙水圧である。

2. 弾性解析による解析法の検証

図-1に示す一次元要素を用いて7つのケースについて検証した。ここでの解析では、 $\gamma_{sat}=2.0\text{tf/m}^3$ 、 $\gamma_t=1.8\text{tf/m}^3$ 、 $\gamma_w=1.0\text{tf/m}^3$ 、 $E=1000\text{tf/m}^2$ 、 $\nu=1/3$ として初期応力は単位体積重量を用いた自重計算より求めている。なお H は底面からの地盤高、 H_w は底面からの水位高を表す。

- (1) ケース 1 (盛土): $H=2\text{ m}$, $H_w=2\text{ m}$ の地盤に $H=4\text{ m}$ まで盛土 (要素③、④を発生)
- (2) ケース 2 (水中盛土): $H=2\text{ m}$, $H_w=4\text{ m}$ の水中地盤に $H=4\text{ m}$ まで盛土
- (3) ケース 3 (掘削): $H=4\text{ m}$, $H_w=2\text{ m}$ の地盤を $H=2\text{ m}$ まで掘削 (要素③、④を消滅)
- (4) ケース 4 (水中掘削): $H=4\text{ m}$, $H_w=4\text{ m}$ の地盤で H_w を変えず $H=2\text{ m}$ まで掘削
- (5) ケース 5 (土と水を同時に掘削): $H=4\text{ m}$, $H_w=4\text{ m}$ の地盤で $H_w=2\text{ m}$, $H=2\text{ m}$ まで掘削
- (6) ケース 6 (水位上昇): $H=4\text{ m}$, $H_w=2\text{ m}$ の地盤で $H_w=4\text{ m}$ まで水位が上昇
- (7) ケース 7 (水位降下): $H=4\text{ m}$, $H_w=4\text{ m}$ の地盤で $H_w=2\text{ m}$ まで水位降下

図-2にケース1～7の解析結果を示す。要素内応力、節点変位とも理論値と一致しており式(2)、表-1にもとづく要素節点力の評価が妥当であることがわかる(図中破線は変形前、実線は変形後の状態を表す)。なお解析では水位より上の要素では間隙水圧を考慮せず、水位より下の要素だけについて連成問題として扱う。以上ここでは検証のため最も簡単な弾性一次元問題の例を解いたが、非線形多次元問題にも同じ方法で適用可能である。非線形多次元問題の解析については当日結果を示す。

ケース	$\Delta \gamma$	$\Delta \sigma$
ケース 1 (盛土)	γ_t	0
ケース 2 (水中盛土)	$\gamma_{sat} - \gamma_w$	0
ケース 3 (掘削)	$-\gamma_t$	σ
ケース 4 (水中掘削)	$\gamma_w - \gamma_{sat}$	σ'
ケース 5 (土と水を同時に掘削)	$-\gamma_{sat}$	σ
ケース 6 (水位上昇)	$\gamma_{sat} - \gamma_t$	$-u$
ケース 7 (水位降下)	$\gamma_t - \gamma_{sat}$	u

表-1. 盛土・掘削過程で考慮する単位体積重量と要素内応力

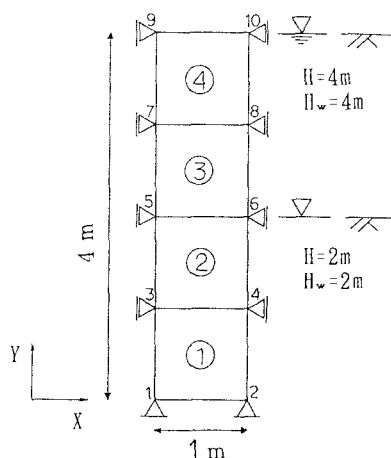


図-1. 有限要素メッシュ

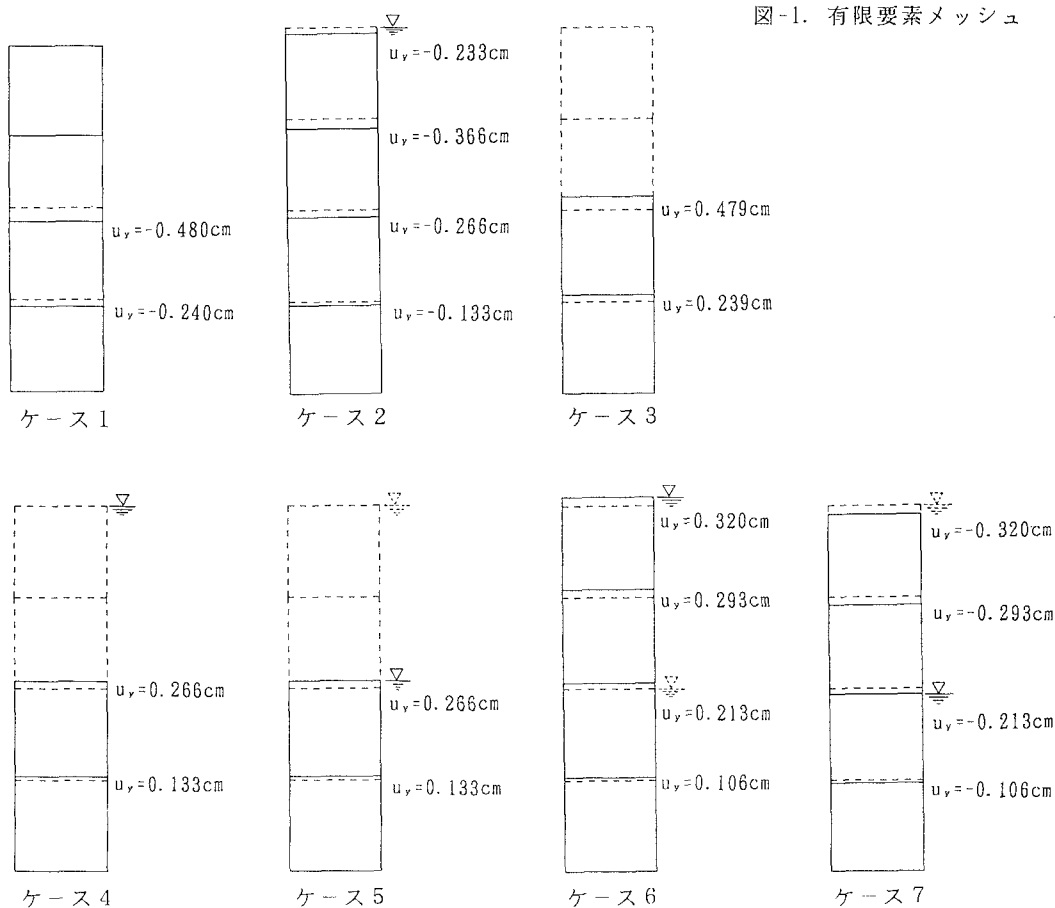


図-2. 変形図

参考文献

- 1) J. Ghaboussi and D.A. Pecknold, 'Incremental finite element analysis of geometrically altered structure', Int. J. Numer. Methods Eng., 20, 2051-2064 (1984)
 2) Hsi, J.P. and Small, J.C., 'Simulation of excavation in a poro-elastic material', Int. J. Num. Anal. Meth. Geomechs. 16, 25-43 (1992)