

東京大学工学部 正員 石原 研 和
電力中央研究所 正員 国生 剛 治

まえがき

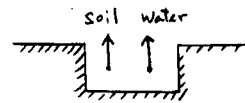
土質基礎工学の諸問題を finite element method を用いて解こうとする時の基本的な考え方の概略は切土を例にとりて以前に説明した⁽¹⁾。その後、ほとんど同じ手法が水中掘削の諸問題にもそのまま適用できることがわかったので、ここではこの問題を取り上げ、空中掘削の場合と比較対照しながら、考えてみることにする。水中掘削と称せられるものの中には、港湾諸施設の建設にともなうしゅんせつや運河掘削等の大規模な工事もあり、泥水トレンケや drilling mud を用いたボーリング等の小規模の掘削もある。これらの水中工事も段階をきりけて step-by-step に行われるので、cut の途中で地盤内に塑性域が発生するような場合には、施工過程をふまえて計算をいくつかの段階にわけ、何度も行う必要がある^{(1),(2)}。

(1) 切土による応力変化

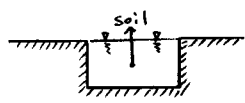
切土を行うとそれ以前にそこに存在していた initial stress が解放されるから、それに伴って地盤内に応力変化が起こる。これを計算で実現するには、切土が行われるであろう面に、以外に加わっていた力も、大きさが同じで方向が逆の力を外力として加えてやればよい。この外力は initial stress によてきまるから、initial stress の大きさおよびその方向によて、cut にともなう地盤の挙動が支配されることは言うまでもない。地盤が水浸している場合、この initial stress は有効応力と水圧とから成っている。従って除去すべき initial stress の種類によつて次の3つの場合を区別して考える必要がある。

- (i) 全応力掘削 …… 有効応力と水圧を加えた全応力を除去した場合、何も残っていないからこれは空中掘削に相当する。
- (ii) 有効応力掘削 …… 有効応力のみを除去した場合、静水圧は依然として加わっているから、これにより水中掘削の場合の解がえらる。
- (iii) 水圧掘削 …… 水圧を除去する計算では静水圧がのぞかれるから、これは揚水又は水位低下にともなう地盤の挙動を知るのに役立つ。池の水をくみ上げた場合、崩れ防止用の泥水とくみ上げた場合等の地盤の挙動を知るには、この方法を用いるとよい。ただし以上の考えは、揚水直線の問題に対してのみ有効であり、地下水位低下やアースダムの rapid drawdown の問題には適用できないことを知っておくべきである。

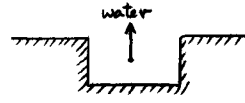
以上3種類の cut を図でわかりやすく示したものが図1の a), b), c), であり、各々の cut の際に除去すべき応力の水平および鉛直方向成分を示したのが表1である。この表から、一様に堆積した水平地盤



a) Total stress cut (open-air cutting)



b) Effective stress cut (underwater cutting)



c) Water pressure cut (pumping, dewatering)

Fig.1. Types of cuts

を cut する場合には initial stress が土の単位容積重量 γ と静止土圧係数 K_0 の値に大きく支配されることゝわかる。以上の考えは地盤を一本に cut する場合について成立するのである。step-by-step に cut して行く場合には地盤内に過剰間隙水圧が発生するので多少の訂正をする必要があるが考え方は基本的に同じである。

表1 掘削によって除去される応力系

	空中掘削	水中掘削	揚水
鉛直方向	$(\gamma' + \gamma_w)R$	$\gamma'R$	$\gamma_w R$
水平方向	$(K_0 \gamma' + \gamma_w)R$	$K_0 \gamma'R$	$\gamma_w R$

但し γ' : 土の水中重量, γ_w : 水の単位重量
 K_0 : 静止土圧係数, R : cut の深さ
 $\gamma = \gamma' + \gamma_w$: 土の単位重量

(2) 歪増分塑性論

金属塑性論の中にも、歪増分理論の基本
 的考え方は前述した施工過程にもとづいた step-by-step の計算と軌を一にするものである。今 n 番目の施工過程に着目して、その時の物体内の応力分布を σ_n とし、次の施工段階による力の変化を $\Delta\sigma_n$ 、歪の変化を $\Delta\epsilon_n$ とする。完全塑性体に対する歪増分理論によると、 σ_n が与えられた段階で $\Delta\sigma_n$ と $\Delta\epsilon_n$ が linear を関係にあると仮定すると、解の唯一性が証明される。つまり、与えられた物体が σ_n の応力状態にあり、この表面に更に $\Delta\sigma_n$ の外力が与えられた時には、物体内の応力状態 $\Delta\sigma_n$ が一意的に決まると言うことである。水没地盤を cut した直後では、地盤の挙動は非排水的といわゆる $\alpha = 0$ の状態にあり、土の強度は cohesion のみで表わされるから、この種の問題には金属塑性論が比較的抵抗なく使えたと考えよう。このように考えをもとづいて水中掘削の問題も若干計算してみた。

(3) 電子計算機のプログラム

計算に用いた finite element method の program は東大大学院山下清明氏作製のものに多少訂正したものである。計算の順序は図2の flow chart に示してある。まず initial stress から最初の cut ($Ncut = 1$) によって除去すべき joint の力を計算する。この力と大きさが同じで方向が逆のもの σ の joint に加えたと cut による応力変化が求まる。これを σ と初期応力に加え、新たな初期応力とする。次の cut をなくなる予定の joint を除去してありて 2 番目の cut へと進む。以上の手順をある n じめ指定してあった cut の段階だけくり返し行うわけである。計算の結果およびその検討については発表の時に詳しく述べよう。

参考文献

1. 石原, 国生 "切土による地盤の挙動の変化" 第4回土質工学研究発表会講演集 1969年6月
2. 杯正史, "岩盤力学に関する2,3の考察" 大塚 447号 1969年3月

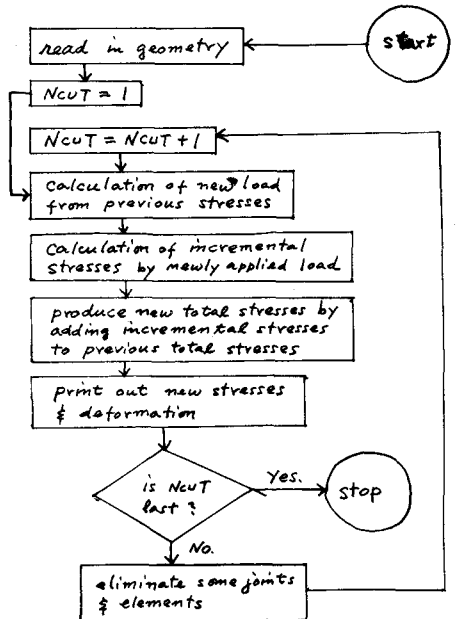


Fig. 2. Flow chart for successive cutting (Ncut: cutの順番を示す番号)