

名古屋大学 川本 兆 万

関西電力 〇岩 永 建 夫

1. 結 言

地盤内の構造物におけるすべりや剥離の現象、地盤内に含まれる節理や亀裂などの不連続面の挙動やゆるみ現象などの解析には、不連続面を含む物体に対する有限要素法の適用が考えられる。不連続性の表現の一つは、それとはさむ節点間に joint element や linkage element と用いることであり、もう一つの方法は、仮想的な不連続面における力の伝達条件と変位の適合条件を規定して逐次計算を行なうものである。Goodman¹⁾は岩盤中のジョイントで生ずる相対すべり、摩擦抵抗などの力学的挙動を表現する一種の一次要素と誘導しており、Zienkiewicz²⁾はジョイントを引張りに抵抗しない細長い長方形の二次要素と近似している。ここでは、Goodmanのジョイント要素を用いて、擁壁裏込め土の主動土圧および岩盤斜面上のバスキング³⁾についての解析を行ない、ジョイント要素の適用上の問題点について検討した。

2. ジョイント要素の特性

図-1に示すように厚さが零であるような長方形要素を考える。この要素の単位長さあたりのジョイント剛性 $[k]$ により、ジョイントの上端(top)と下端(bottom)の相対変位ベクトル $\{w\}$ と単位長さあたりの荷重ベクトル $\{p\}$ が、つぎのように関係づけられる。

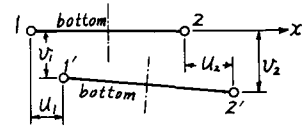
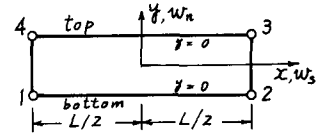


図-1

$$\{p\} = \begin{Bmatrix} p_t \\ p_n \end{Bmatrix} = [k] \{w\} = \begin{bmatrix} k_s & 0 \\ 0 & k_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w_s^{\text{top}} - w_s^{\text{bottom}} \\ w_n^{\text{top}} - w_n^{\text{bottom}} \end{Bmatrix}$$

上式で添字sおよびnはジョイントに対する接線方向および垂直方向の成分を表す。さらに、上下面の相対変位と要素の節点変位 $(u_1, v_1, \dots, u_2, v_2)$ で表わし、通常の二次元長方形要素の場合と同様に、これらの節点変位に因りて、ジョイント要素の剛性行列が求められる。

3. ジョイント定数

岩盤内に含まれる不連続面の挙動は、作用荷重、境界条件、形状だけでなく、構成するジョイントの詳細な状態、たとえば、剛性、強度、向きの分布、充填物や水の存在などに依存してくるため、モデル化された要素のジョイント定数を定量化することはかなり困難である。ジョイント定数としては、①ジョイント垂直方向の単位剛性 k_n 、②ジョイントに沿う単位剛性 k_s 、③ジョイントに沿うせん断強度(粘着力および摩擦角で表わされる)の3つが考えられる。これらは実験により直接測定されるべきものと思われるが、ジョイント定数を求めることを目的とした実験が少なく、これをいかにして今後さらに研究を続けなければならない。

4. 擁壁の変位にともなう土圧の計算

擁壁と裏込めの接触面における非線形な挙動と解析に導入するため、この部分にジョイント要素を入れ、ジョイント定数 k_s 、 k_n 、Sの3つ、 k_s のみが非線形挙動に参与するものとした。そして、せん断応力-変形曲線を双曲線近似し、 k_s の応力依存性を定めた。同時に裏込め土の構成方程式に対しても非線形性を考慮し、Duncan⁴⁾が示した式を用いて、土の接線変形係数 E_t として、

$$\text{負荷時: } E_t = [1 - R_f(1 - \sin\phi)(\sigma_1 - \sigma_3)/(2c \cos\phi + 2\sigma_3 \sin\phi)]^2 K p_a \left(\frac{\sigma_1}{p_a}\right)^n; \text{除荷, 再負荷時: } E_t = K u r p_a \left(\frac{\sigma_1}{p_a}\right)^n$$

を用いる。ここに、 K , K_{ur} は無次元定数、 n は剛性係数、 ϕ は内部摩擦角、 c は粘着力である。

高さ3m、横8mの地盤領域の前面と剛な擁壁で支えられた解析モデルを考へ、これを節点数250で、192個の4辺形の isoparametric linear element に分割し、壁と裏込めとの接触面および地盤底面と28個のジョイント要素に分割した。平面ひずみ状態を考へ、非線形性も考慮するために10ステップの荷重増強法を用いたが、ここでは、裏込め土が初期応力場から主軸状態に移行するように、剛な壁体が底面を中心にして前方へ回転する場合について解析を行った。解析に用いた材料定数、壁摩擦角、変位量等を示すと、表1のようである。擁壁裏込めの地表沈下曲線および壁面に作用する土圧分布の変化状態の代表例の結果を示すと、図2~5のようである。壁面がなめらかな場合には、壁面に沿うべりが認められ、土圧分布はクローン式によるものとよく一致するが、壁面の摩擦が大きいときには、地表沈下の最大の位置は壁面より後退し、土圧分布はクローン式によるものよりわずかに大きくなる。解析上問題になるのは、擁壁下部隅角部の応力集中の取り扱いや、計算ステップとジョイント定数および非線形性の程度などの関連などである。

5. 岩盤斜面上のバンキングの変形挙動 盛土と岩盤との間にジョイント要素を考慮し、この部分の剛性から

にせん断強度が盛土の応力および変形状態に及ぼす影響について検討した。詳細は省略し、全巻目の中とする。

- 1) R.E. Goodman et al: Proc. ASCE, 94, SM3(1968)67-71.
- 2) O.C. Zienkiewicz: 1970 Ann. Meeting. AEG, (1970) 141-67.
- 3) J.M. Duncan et al: Proc. ASCE, SM5(1970) 1629-52.

表-1
a) ジョイント要素:

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
壁と土の摩擦角 ϕ	0.1	0.1	24	24	34	24
剛性係数 K	1.0	1.0	40000	40000	75000	40000
剛性係数 K_{ur}	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
G/K_{ur}	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
セグメント θ	24	24	24	24	24	24
ジョイント要素						
K_I	75000	75000	75000	75000	75000	75000
n	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
R_f	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
壁土の変位量 $\times 10^3$	3.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
壁の回転量 $\times 10^3$	1.0/1000	3.33/1000	2.27/1000	3.33/1000	2.75/1000	3.33/1000
回転中心	壁後面	"	"	"	"	壁後面より1m

b) 裏込め: $\phi = 34^\circ$, $c = 0 \text{ t/m}^2$, $K = K_{ur} = 3600$
 $n = 0.804$, $R_f = 0.977$, $\nu = 0.35$
 初期応力場: $\gamma = 1.5 \text{ t/m}^3$, 土圧係数 = 0.43

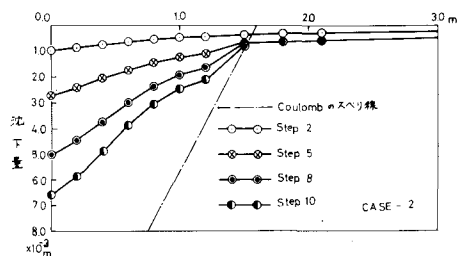


図-2

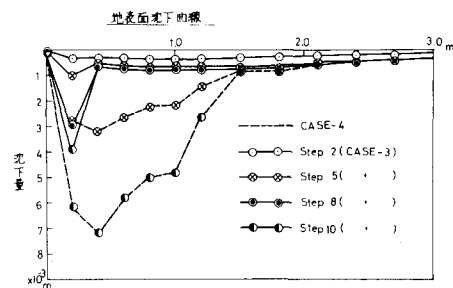


図-3

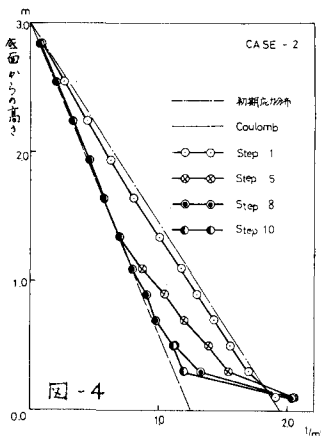


図-4

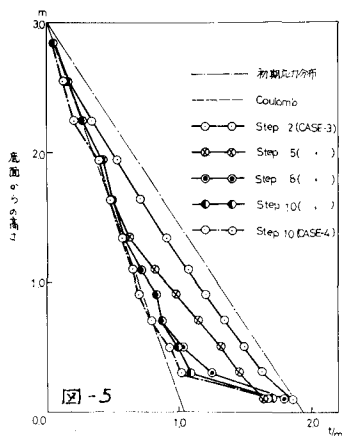


図-5

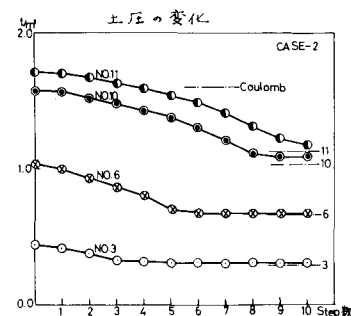


図-6