

Ⅲ - B337

ジョイント要素の改良とその適用性

名古屋工業大学大学院 ○ 中田 慎一

名古屋工業大学 中井 照夫

山留め掘削問題や杭の支持力問題等の地盤と構造物の相互作用の解析を行う時、地盤材料や構造物の力学特性はもとより、境界面の力学特性(すべり特性)を妥当に評価することが大切である。このような境界面を表現するモデルとして、Goodman ら¹⁾によるジョイント要素が使われ、またより高次のジョイント要素が開発されている。しかし、一般にジョイント要素の節点は地盤やソリッド要素と節点を共有しており、ジョイント要素だけを高次にすることはできない。Kaliakin & Li^{2,3)}は Goodman らのジョイント要素の問題点を述べるとともに、節点を増やさずにその問題点を改良したモデルを提案している。ここでは、この Kaliakin & Li のモデルも問題点を有していることを示すと同時に、別の改良モデルを提案しその適用性について述べる。

1. ジョイント要素とその改良

Goodman らによる joint 要素(GTB 要素)¹⁾は、図-1 の節点 1~4 の節点変位($u_{x1} \sim u_{x4}$)および($u_{y1} \sim u_{y4}$)と節点力($f_{x1} \sim f_{x4}$)および($f_{y1} \sim f_{y4}$)の間で

$$\{f\} = [K_J]\{u\} \quad (1)$$

なる剛性マトリックスを作っている。しかし、この joint 要素では節点力が場所により大きく変化する時には、要素全体で平均な扱いをするため要素数をかなり多くする必要がある。このような問題点を改良するため Kaliakin & Li²⁾は、仮想的に節点(1,2)および(3,4)の中点に節点 5,6 を設け、(1,5,6,4)と(5,2,3,6)で各々 GTB 要素を作り、それらを重ね合わせ、以下のような合成した剛性マトリックスを作っている。

$$\begin{Bmatrix} f_a \\ f_b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{Jaa} & K_{Jba} \\ K_{Jba}^T & K_{Jbb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_a \\ u_b \end{Bmatrix} \quad (2)$$

ここに、 f_a, u_a は節点 1,2,3,4 の節点力および変位ベクトルを、 f_b, u_b は節点 5,6 の節点力および変位ベクトルである。Kaliakin & Li は(2)式から u_b を消去し、縮小化をはかって最終的に

$$\{\bar{f}_a\} = [\bar{K}_J]\{u_a\} \quad (3)$$

なる形の剛性マトリックスを得ている。ここに、 $\bar{f}_a$ は修正節点力ベクトル。しかし、(2)式の K_{Jbb} の行列式はゼロとなり、特別な場合を除いて(3)式は一義的に決まらない。すなわち、Kaliakin & Li の縮約された剛性マトリックスは一般性がないことになる。したがって、ここでは u_{xi}, u_{yi} ($i=1 \sim 6$)間に

$$\begin{aligned} u_{x5} &= \frac{u_{x1} + u_{x2}}{2} & u_{y5} &= \frac{u_{y1} + u_{y2}}{2} \\ u_{x6} &= \frac{u_{x4} + u_{x3}}{2} & u_{y6} &= \frac{u_{y4} + u_{y2}}{2} \end{aligned} \quad (4)$$

なる付帯条件を設け、(2)式の内部節点(5,6)の消去を行い、

$$\{\bar{f}_a\} = [\bar{K}_J]\{u_a\} \quad (5)$$

なる形で縮約された剛性マトリックスを与える。

2. 解析例

図-2 の(a),(b),(c)は Kaliakin & Li の例にならい、弾性ジョイント要素($ps=k_s * w_s$)の節点 1,2 を固定し節点 3 の x 方向に P なる節点荷重をかけた時の変形図である。GTB 要素では節点 4 で逆方向に $-2P/L * k_s$ の変位が生じており不自然であるのに対し、Kaliakin & Li の要素では節点 4 でもわずかな x 方向変位が生じており変形

キーワード：ジョイント要素、土と構造物の相互作用、弾性、弾塑性

連絡先(住所：名古屋市昭和区御器所町、電話・FAX：052-735-5485)

モードとしてはおかしくない。しかし、Kaliakin & Li も述べているように、等分布荷重を作用させた時の変形量は理論値の4倍になる。一方、提案要素でも節点4でわずかな-x方向の変位が生じるが、モードはGTB要素よりはかなり改善されており、等分布荷重を作用させた時も変形量は理論値と一致する。Kaliakin & Li要素では後述する弾塑性解析⁴⁾では一般性がないため解析できないことも付け加えておく。軸対称問題および弾塑性問題への適用をみるため、図-3のソリッド要素にはさまれた円筒ジョイント要素の解析結果を図-4(a),(b)に示す。ここに、節点力 Q_1, Q_2 を増分的に与える($\angle Q_1 = \angle Q_2 = 6.28319 \text{tf}$)とともに強制変位 d_1, d_2 も増分的に与えている($\angle d_1 = \angle d_2 = 2.0 \times 10^{-4} \text{m}$)。また、 $k_s = k_n = 1.0 \times 10^6 \text{tf/m}^2$, $\delta = 20^\circ$ とする。弾塑性の性質はもとよりGTB要素とも解析結果は一致しており、軸対称および弾塑性問題へも適用可能なことがわかる。

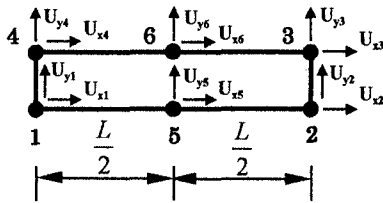


図-1 joint要素の説明図

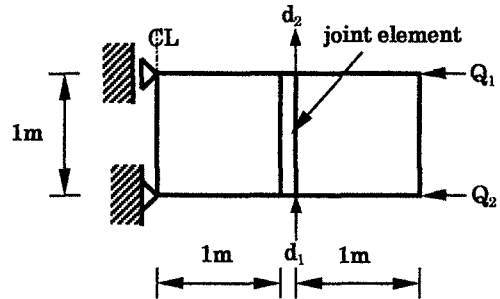


図-3 円筒ジョイント要素の解析モデル

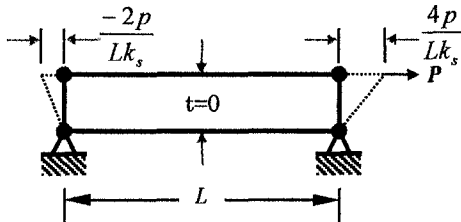


図-2(a) GTB要素による解析結果

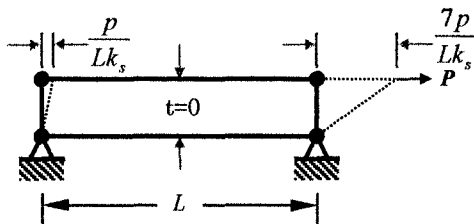


図-2(b) Kaliakin & Li要素による解析結果

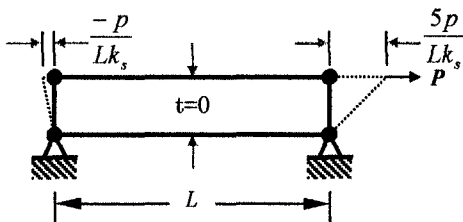


図-2(c) 提案モデルによる解析結果

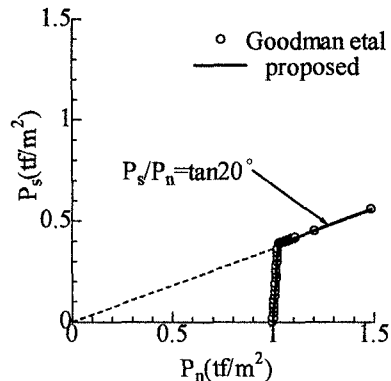


図-4(a) $P_n \sim P_s$ 図

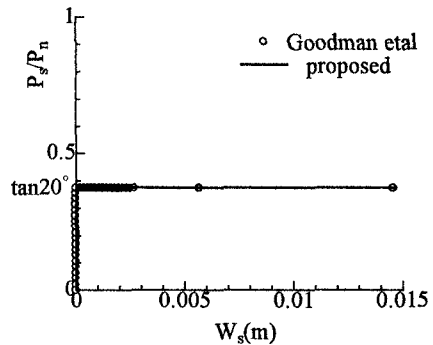


図-4(b) $W_s \sim P_s/P_n$

【参考文献】 1)Goodman, Taylor & Brekke (1968) : Proc. ASCE, Vol.94, SM3, 637-659. 2)Kaliakin & Li (1995) : Computer & Geotechnics, Vol.17, 225-252. 3)Li & Kaliakin (1994) : Proc. IACMAG, Vol.2, 1367-1370. 4)Nakai (1985) : S & F, Vol.25, No.3, 98-112.