

山口大学工学部 正会員 三浦房紀
 京都大学大学院 学生員 岡室嘉泰
 京都大学防災研究所 正会員 土岐憲三

1. まえがき

筆者らは、2次元ジョイント要素を3次元へ拡張し、これを3次元有限要素法に導入して、動的な外力作用下における、構造物と地盤との間の滑動と剝離の問題について解析を行っている¹⁾。しかしながら、このジョイント要素は、ジョイント面を構成する4節点が変形後も同一平面上にあるという仮定を前提としているという不合理な点があった。また、その解析プログラムでは、ジョイント面の方向が限られており、任意の方向をもつ不連続面の解析は不可能であった。そこで、本研究は、これら2つの不備な点の改良を行い、その妥当性を簡単なモデルを用いて確認し、地盤-構造物系の非線形動的相互作用解析への適用性について検討したものである。

2. 3次元ジョイント要素の改良

2.1 剛性マトリクス 3次元ジョイント要素は、図-1に示すように、節点①～④および⑤～⑧で構成される2枚の平面からなる要素である。改良前のジョイント要素に対しては、これら2組の平面を構成する各々4つの節点が変形後も同一平面上にあるという仮定のもとに、

また、ジョイント面の応力を要素の中心で評価することによって、その剛性マトリクスが導かれている。

しかしながら、ジョイント面の節点変位は、ジョイント面とそれを形成する連続体の力学特性により定まるもののソリッド要素の変形にのみ依存すべきものである。従って、ジョイント面が変形後も同一平面上にあるという仮定のもとに導かれた剛性マトリクスは、ジョイント面に過剰な拘束を与えることになる。また、このように考えると、ジョイント面の応力も、要素の中心で評価するよりも、各節点の対(①と⑤, ②と⑥, etc)で評価する方が合理的であると考えられる。

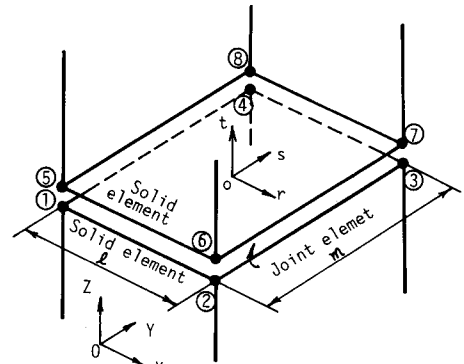


図-1 3次元ジョイント要素

このような考えから、ここでは図-2に示すように、ジョイント要素を各節点対の間に3方向のばね、 k_r , k_s , k_t を設けた要素とした。こうして得られたジョイント要素の剛性マトリクス $[k]_j$ は次式で与えられる²⁾。

$$[k]_j = \begin{bmatrix} [E]_j & -[E]_j \\ -[E]_j & [E]_j \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここに、小行列 $[E]_j$ は、その対角要素が次式で与えられる対角マトリクスである。

$$\text{diag.}[E]_j = \frac{lm}{4} (k_r \ k_s \ k_t \ k_r \ k_s \ k_t \ k_r \ k_s \ k_t \ k_r \ k_s \ k_t) \quad (2)$$

l, mは図-1に示すジョイント要素の2辺の長さである。

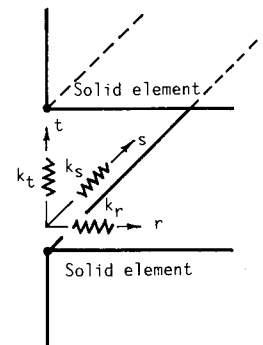


図-2 改良3次元ジョイント要素の考え方

2.2 構成関係 ジョイント要素の構成関係を

図-3に示す。図(a)はせん断方向、(b)は垂直方向で、基本的にはこれと同一様である。ただし、せん断方向に関しては、図中に破線を示したように、降伏後の応力降下量 $\Delta\tau$ の導入も可能とした。

2.3 座標変換 ジョイント要素の剛性マトリクスおよび構成関係は局所座標系 (r, s, t) で定義されるので、実際の解析に際しては全体座標系 (X, Y, Z) との座標変換を考慮しなければならない。そこで、図-4に示すような

3方向の座標軸の回転、即ち、 r 軸回りに β 、次にその状態で z 軸回りに γ 、最後に r 軸回りに α の回転を行うと、次式で与えられる座標変換マトリクス $[T]$ を得る。

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos\gamma\cos\beta & \sin\gamma & \cos\gamma\sin\beta \\ -\cos\beta\cos\gamma\sin\gamma - \sin\alpha\sin\beta & \cos\alpha\cos\gamma & -\cos\alpha\sin\beta\sin\gamma + \sin\alpha\cos\beta \\ \sin\alpha\cos\beta\sin\gamma - \cos\alpha\sin\beta & -\sin\alpha\cos\gamma & \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix}$$

ここに、

$$\sin\alpha = 2 \frac{z_0 - z_1}{m}, \sin\beta = \frac{z_5 - z_0}{\sqrt{(x_5 - x_0)^2 + (y_5 - y_0)^2 + (z_5 - z_0)^2}}, \sin\gamma = 2 \frac{y_5 - y_0}{l} \quad (3)$$

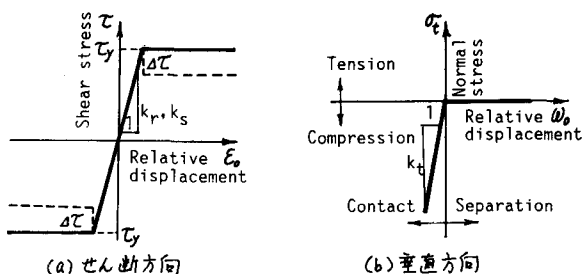


図-3 ジョイント要素の構成関係

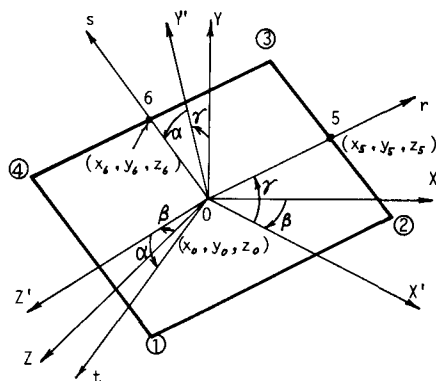


図-4 座標軸の回転

3. 改良ジョイント要素の動的問題への適用性の検討

図-5に示すような簡単なモデルを用いて、図-3で仮定したジョイント要素の構成関係が満足されているか否かの検証を行った。加振方向は、(a) 水平方向、(b) 上下方向とし、それぞれ図中の点Aにおけるせん断方向、垂直方向の相対変位と応力の関係を調べた。その結果をそれぞれ図-6(a)、(b)に示す。せん断方向に関しては、降伏応力を 150 t/m^2 ($C_2 = 150 \text{ t/m}^2$, $\phi_3 = 0^\circ$) とし、応力降下量はないものとした。両図から明らかなように、図-3で仮定した構成関係が満足されていることがわかる。応力降下のある場合についても別途計算されており、その場合も仮定した構成関係が満足されていることが認められている。

なお、地盤-構造物系の動的解析例については、発表当日にゆずる。

参考文献

- 1) 土岐三夫大竹: 三次元ジョイント要素による地盤-構造物系の非線形震動解析: 工学会論文報告集, No.322, 1982.
- 2) 周重: 3次元有限要素法による地盤-構造物系の非線形動的応答解析, 山口大学工学部卒業論文, 1985.

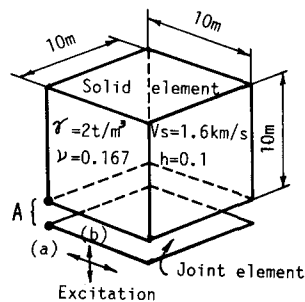
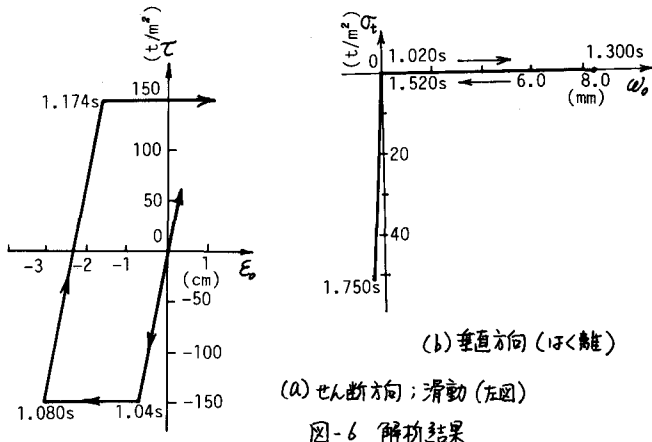


図-5 検証用解析モデル



(b) 垂直方向 (はく離)
(a) せん断方向; 滑動 (左図)

図-6 解析結果