

III-446 剛塑性有限要素法による支持力解析に於けるモデル化について

鹿島建設(株) 正員 沖見 芳秀 右近 八郎 吉清 孝

1. はじめに

地盤の極限解析手法として、近年、上界定理に基づいた剛塑性有限要素法が提案¹⁾され実用化されつつある。本法は、弾塑性有限要素法に比し簡便であり、又通常の提案式に比べ適用性が高く実用的な手法であると言える。しかしながら、求まる解は上界値であり、メッシュ分割等のモデル化が不適切であれば、有意に設計上危険側の解を与えることが予想される。そこで、モデル化による解への影響を示すとともに、特異点のモデル化及びアダプティブ法の適用により、解を改善することが出来たので報告する。

2. 数値解析

2-1 メッシュ分割と特異点処理

図1に示すモデルAを基本モデルとし、その各要素を4等分、16等分したモデルをそれぞれB,Cとする。(右側面・底面、固定。左側面、鉛直ローラ。)この3モデルに対し、基礎を柔・剛の条件で求めた支持力係数 N_C を図2に示す。分割を細かくすれば解析解(正解)に近づいていくが、収束が遅く、特に基礎を剛とした場合には、かなり危険側の解を与えることが分かる。この種の支持力問題では、基礎下端に特異点が生じる事が知られており、この特異性を表現出来る可容速度場(即ちメッシュ分割)を設定することにより解がより“正解”に近づく事が期待出来る。そこで、図3に示すメッシュ分割を基礎下端に導入する。本分割は、線形破壊力学²⁾で用いられた事があり、同一座標で自由度の異なる節点を持つ四角形(見掛け上三角形)要素から成っている。このメッシュを用い上記解析を行った結果を図4に示す。また、モデルCでの速度場を図5に示す。本分割を用いると、かなり粗いメッシュ分割から非常に“正解”に近い解が得られる事が分かる。

2-2 解析領域

剛塑性有限要素法では、解析領域全体が塑性化し塑性流動していると仮定されている。したがって、実際には塑性化しない領域をモデルに含めると誤差の一因となる可能性がある。図6に示す比較的広い領域のモデルについて解析を行った。同図中には、汎用解析プログラムADINAにより求められた塑性域($N_C=5.138$ 時)を示した。本モデルでは、塑性化しない領域をかなり広く含むが、 $N_C=5.154$ が求められ十分な精度を有している。

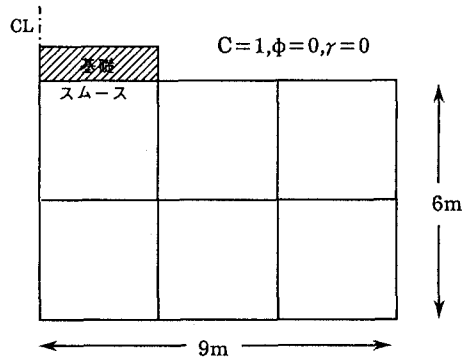


図1 基本モデル(A)

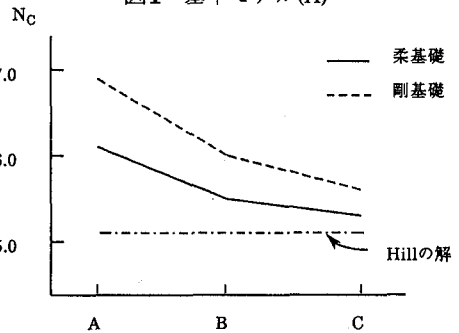
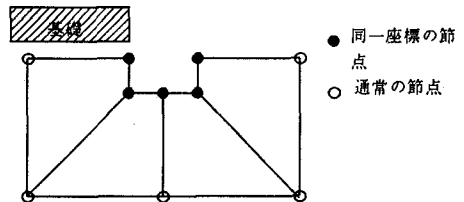
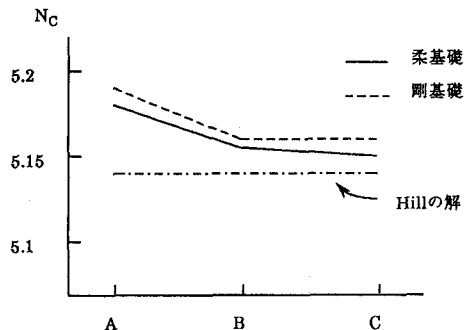
図2 支持力係数 N_C 

図3 特異点処理

図4 支持力係数 N_C (特異点処理有り)

2-3 アダプティブ法

メッシュ分割方法による影響を見る為、弾性FEM解析で用いられるアダプティブ法の適用を試みる。剛塑性有限要素法では、可容速度場の中でエネルギー消散率を最小とする速度場が解である。この解が“正解”である時、応力の釣合いを満足する。また、消散エネルギーは、体積歪みを零とし、係数として掛かる相当塑性歪み速度を定数と見なせば、偏差応力の二次形式で表現出来る。そこで、剛塑性有限要素法で求まる不連続な応力値より連続した応力場を近似し、偏差応力の差のエネルギーノルムを誤差指標³⁾とし、その誤差を分散させるようメッシュを移動⁴⁾する。図7に原モデル、図8に5回メッシュ移動を行ったモデルによる速度場を示す。支持力係数はそれぞれ、 $N_C=3.73, 3.36$ であり10%程解が改善されている。

3. まとめ

特異点を表し得るメッシュ分割を行った剛塑性有限要素法では、分割数、分割領域にそれほど依存すること無く、改善された解が得られることが分かった。又、更に解を改善したい場合には、アダプティブ法が有効である。

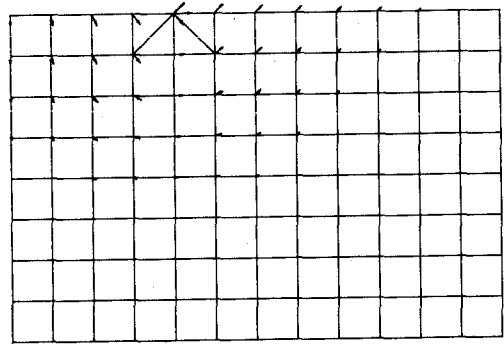


図5 速度場(モデルC)

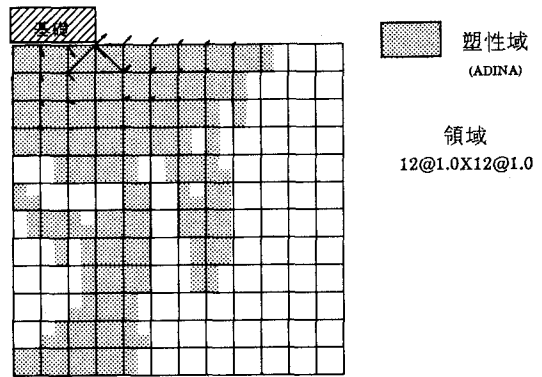


図6 速度場(広領域)

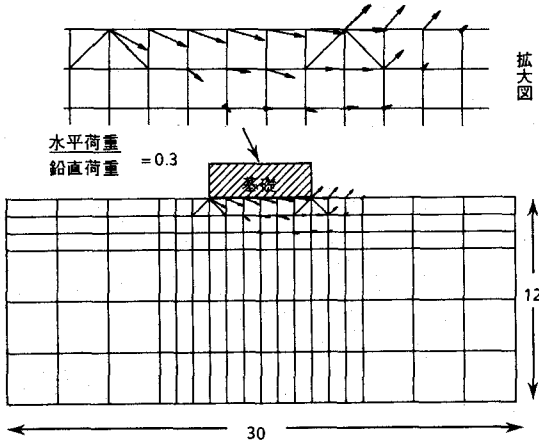


図7 速度場(原メッシュ)

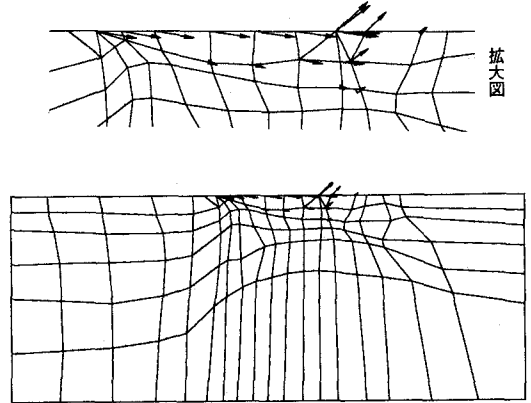


図8 速度場(改良メッシュ)

[参考文献]

- 1) Tamura, T., Kobayashi, S. and Sumi, T., "Limit analysis of soil structure by rigid plastic finite element method", Soils and Foundations, vol. 24, No. 1, pp. 34-42, 1984
- 2) Levy, N., Marcal, P.V., Ostergren, W.J. and Rice, J.R., "Small scale yielding near a crack in plane strain: a finite element analysis", Int. J. Fract. Mech., 7, pp. 143-157, 1967.
- 3) Zienkiewicz, O.C. and Zhu, J.Z., "A simple error estimator and adaptive procedure for practical engineering analysis", Int. J. Numer. Meths. Eng., vol. 24, pp. 337-357, 1987.
- 4) Diaz, A.R., Kikuchi, N. and Taylor, J.E., "A method of grid optimization for finite element methods", Comput. Meths. Appl. Mech. Eng., 41, pp. 29-45, 1983