

# 新離散化モデルによる地盤基礎の極限解析 (その2)

## — 支 持 力 問 題 —

Limit Analysis of Soil and Rock Foundation by Means of New Discrete Models (2nd Report)

— Bearing Capacity Problem —

竹内 則雄\*・川井 忠彦\*

Norio TAKEUCHI and Tadahiko KAWAI

### 1. はじめに

土の支持力問題は安定問題の中の一つとして古くから極限解析の立場に立って研究されてきた。初期の支持力論の立場は、り線の概念に触れることなく土圧の釣り合いによるものであった。その後、り線の概念がRitterによって導入され基礎幅の影響等が支持力公式に取り入れられるようになった。極限解析ではり線を仮定し、そのり線に対する極限支持力を求めるため、変位に対する実用公式はあまり見られない。

一方、ここで用いるモデル(RBSM)も一般化された極限解析用のモデルであるため、あまり変位に対する信頼性はない。しかし、バネ定数の選び方次第ではある程度の解を得ることが可能であるし、荷重—変位曲線を描くことによって変位が急増するり線の状態を定性的に知ることも可能である。

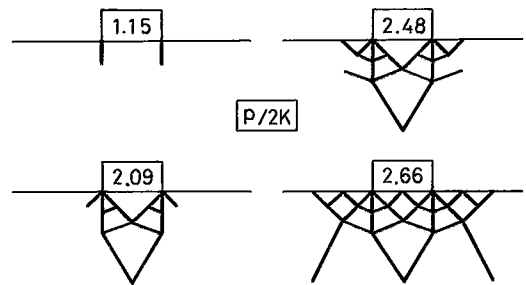
支持力問題で地盤構造がメカニズムになるのはまれで多くの立場局所的な破壊が生ずる。このような立場に立って考えると荷重—変位曲線から変位の急増するり線状態を読み取り、その時点で極限支持力を定義すれば合理的ではないだろうか。本論文はこのような立場に立って、支持力問題をRBSMにより解析したものである。

### 2. 浅い帯状基礎の支持力

数理塑性学を土の支持力問題に応用する理論がPrandtlによって与えられた。このときの仮定は、土を(c-φ)塑性体とし自重を考慮しないというものであった。都井<sup>5)</sup>はこの種の問題で内部摩擦角φ=0°の場合を解析しているが、このときのモデルでは回転角θが含まれていなかった。最終的なメカニズムを形成した段階での最高荷重はθの有無に関係なく同じになるがり線の発達過程は異なるようである。(図2・1)著者らはθの影響も考慮に入れ内部摩擦角が10°と20°の場合についても解析を試みた。その結果、内部摩擦角が10°~20°程度では正解

と良く合うのだが30°近くになると異なったり線を与えるようである。

Prandtlは自重の影響を無視したが、実際の地盤は初期地圧を含んでいる。Terzaghiは自重を考慮した支持力公式を与えているが、彼の仮定した基礎直下のクサビ状の主働域の形状は誤りであることが指摘されている。そこで著者らはクサビの形状を種々仮定して計算を試みた。図2・5はω=60°の時の要素分割図とω=30°, 60°の荷重変位曲線をプロットしたものである。—○—印はω=30°のまた—△—はω=60°の結果である。一般にωはω=π/4+φ/2であることが実験的にも知られており、また計算結果からもω=60°とした場合の方がり易かった。(最高荷重が小さい)ωの変化による最高荷重の変化をプロットしたものが図2・6に示してある。ω=60°程度で収束する傾向が見られ、実験的にいわれていること



Line Number	Shearing Stress(x K)		Normal Stress(x K)	
	Exact	Numerical	Exact	Numerical
1	-1.00	-1.00	-4.14	-4.31
2	⋮	⋮	-4.14	-4.31
3			-3.36	-3.51
4			-2.57	-2.66
5			-1.79	-1.80
6			-1.00	-1.00
7			-1.00	-1.00

図2・1 浅い基礎の支持力 (φ=0)

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報  
 が良くうかがえる。 きの深い基礎と呼ぶが、深い基礎の場合、根入れした部分

3. 深い帯状基礎の支持力

一般に根入れ ( $D_f$ ) が載荷幅 ( $B$ ) に比べて大きいと

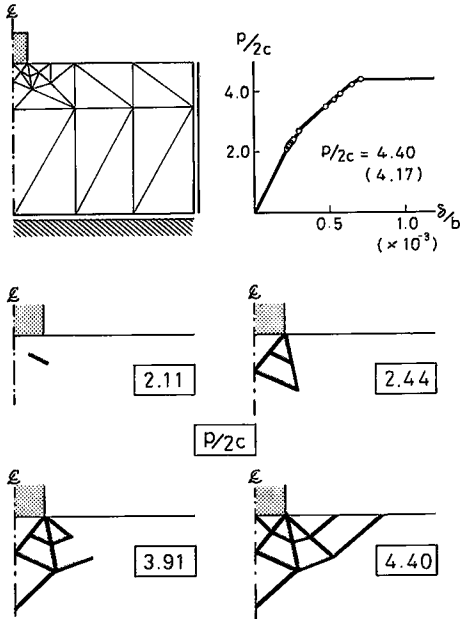


図2・2 浅い基礎の支持力 (自重無視  $\phi = 10^\circ$ )

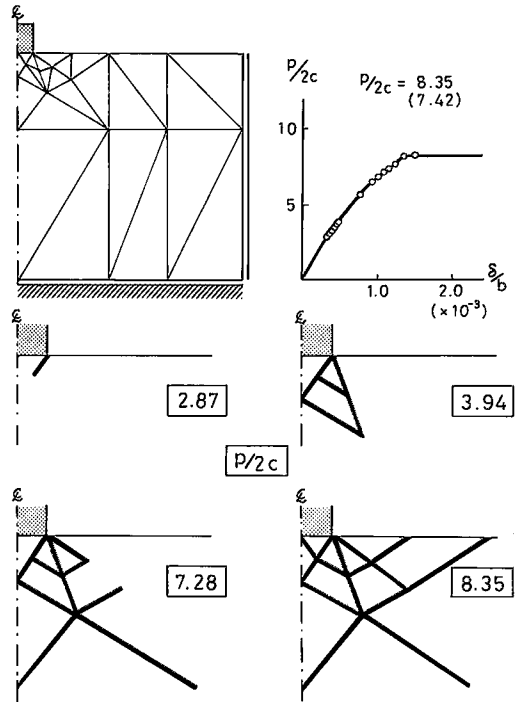


図2・3 浅い基礎の支持力 (自重無視  $\phi = 20^\circ$ )

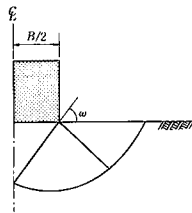


図2・4 表面基礎のびり線

$E = 1.0 \times 10^4 \text{ t/m}^2$   
 $\nu = 0.3$   
 $\gamma = 1.75 \text{ t/m}^3$   
 $C' = 1.0 \text{ t/m}^2$   
 $\phi' = 30^\circ$

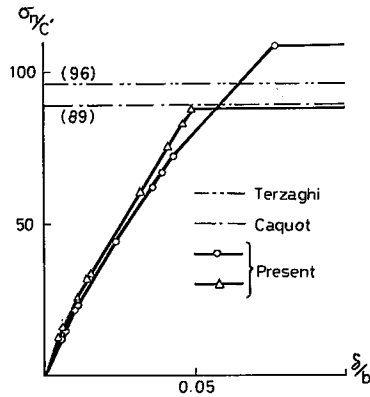
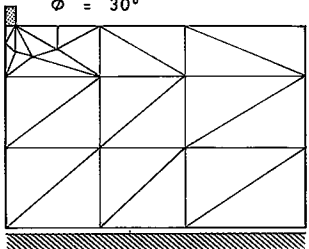


図2・6 自重を考慮した時のびり線と最高荷重

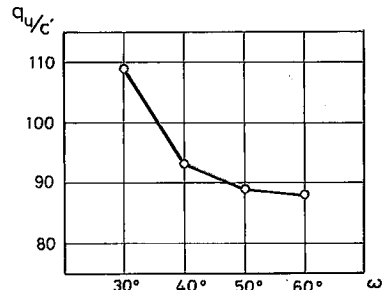
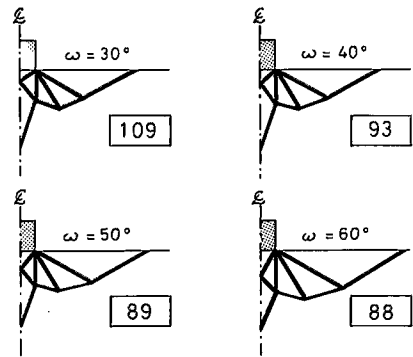


図2・5 浅い基礎の支持力 (自重考慮)

研究速報

の周辺摩擦の影響が大きい。Meyerhof は深い基礎の支持力公式を Terzaghi と同様な形で与えているが、Terzaghi と異なり、根入を部分のり線も考慮している。深い基礎の支持力公式で問題になるのが  $\theta$  の決定であるが、当然  $\theta$  の値によっては最高荷重も異なる。

図3・2は内部摩擦角  $\phi=0^\circ$  として  $\theta$  の値を変えて計算したものである。 $C_a$  は根入れ部の摩擦を考慮した場合 ( $C_a=c$ ) とそうでない場合 ( $C_a=0$ ) を示している。り線のパターンとしては  $\theta=26.6^\circ$  のケースが最も良いと思われる。そこで、 $\theta$  の変化による最高荷重の変化をプロットしてみた (図3・3) 周辺摩擦を考慮した方が、当然最高荷重も高くなっているがどちらにせよ  $\theta=26.6^\circ$  のケースが最も小さな値を示している。

さて、さらに根入れが深くなると、ますます構造がメカニズムを形成しにくくなり、先端破壊の様相が表れる。もちろん最高荷重に対する周辺摩擦の影響も大きくなる。

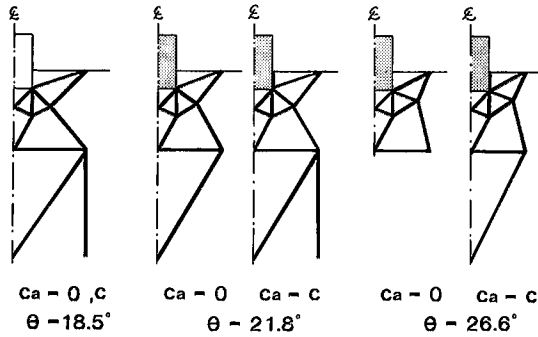


図3・2 比較的深い基礎の支持力 ( $D_f/B = 0.5$ )

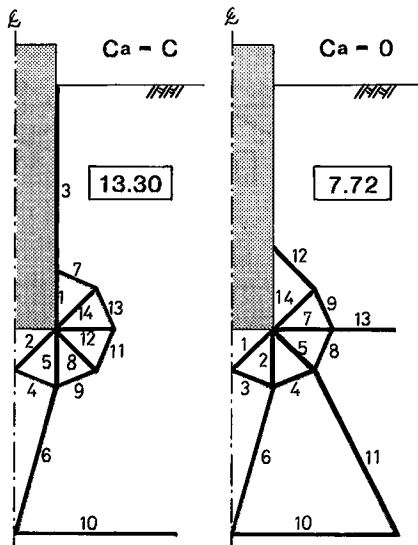


図3・4 深い基礎の支持力 ( $D_f/B = 3$ )

そこで、根入れ幅比 ( $D_f/B$ ) が3の場合について計算を行ってみた。図3・4 はり線とその順番、また最高荷重を画いたものである。周辺摩擦を考慮した場合とそうでない場合ではり線の発生の方が異なるが、どちらの場合も基礎直下が初めに破壊するようである。そこで、図3・5に示すような荷重—変位曲線を書いてみた。周辺摩擦を考慮した場合で7番目のり線が生じた時、周辺

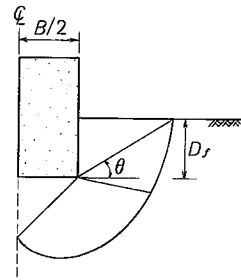


図3・1 比較的深い基礎のり線

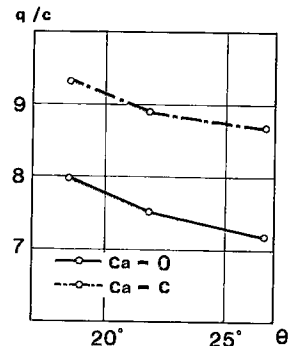


図3・3  $\theta$  の変化による最高荷重 ( $D_f/B = 0.5$ )

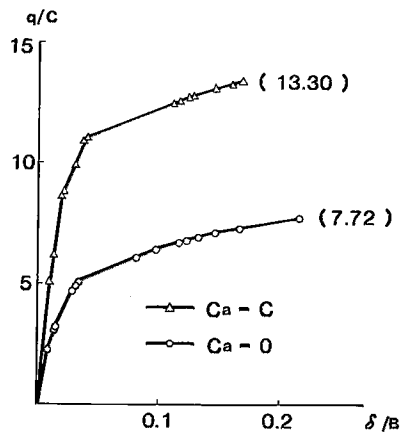


図3・5 深い基礎の荷重—変位曲線 ( $D_f/B = 3$ )

摩擦を無視した場合で6番目のり線が生じた時から変位が急増する。これを図3・4とてらし合わすとはば基礎直下が破壊すると変位が急増し許容沈下量とてらし合わす必要があることを示している。

このように、荷重-変位曲線とり線図を見比べて、危険な状態を想定する使い方も可能である。

#### 4. 浅い円形基礎の支持力

単一の円形基礎の場合、軸対称塑性問題として取り扱うことが可能である。従来、簡易法的取り扱いが Terzaqi らによって与えられてきたが軸対称塑性論的立場からも研究が行われた。ある種の仮定のもとで塑性応力が双曲型の方程式になるということより差分的にも解が求められている。この場合、帯状基礎に比べてり線の範囲が小さくなるが、これは実験的にも確かめられている。しかし一般的に軸対称塑性問題の支持力公式を与えるのはむずかしい。

そこで、RBSM要素についても軸対称要素を開発し、この種の問題に適用することを考えてみた。図4・1は表面基礎の場合の例である。降伏条件としては内部摩擦角を零とし、せん断力が一定値  $c$  を越えたら、せん断バネを切断するという方法をとった。また、接触面における摩擦は考慮していない。り線の発達過程が図4・1に示されている。この例からも理解されるように帯状基礎における Prandtl の解よりむしろ Hill の解に近い状態のり線が発達する。この例では11番目のり線が生じた後も、構造はメカニズムとならず、徐々にまわりが破壊をしてゆくようである。内部摩擦角は零としているが、このときの極限支持力が Meyerhof によって与えられている。また差分法により解かれており、図4・1の下図はそれらの解と本法による解を比較したものである。一点破線が最大支持力、二点破線が平均支持力、三点破線が Meyerhof の解を与えている。軸対称問題の場合、半径方向の座標が積分に含まれている。したがって精密な計算には数値積分が必要であるが、通常、平均座標値を用いる。そのため、ある程度要素分割を細分する必要があるが、そのような誤差を考慮すると良好な結果が得られていると考えられる。

#### 5. む す び

支持力問題における基本的問題を取り上げて考察を行った。地盤問題の場合、初期地圧に解が左右されがちであるが、このモデルの利点は演算時間の短いことであり、種々の初期地圧を仮定して何通りもの計算を経済的に行うのも可能である。また、根入れの深い場合、周辺摩擦の影響は多大なものである。RBSMはバネという概念を

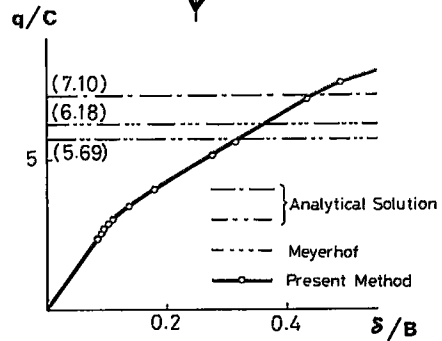
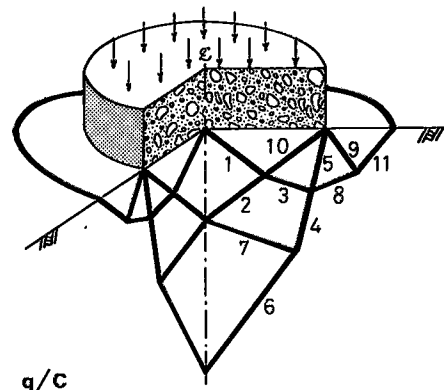


図4・1 軸対称場の基礎の支持力

用いているため、摩擦係数も簡単に導入できる利点がある。

RBSMにおける変位解の精度はバネ定数の選定に依存しあまり信頼できないが、荷重-変位曲線とり線図を画くことにより、変位の急増するり線の状態を定性的に知ることができる。特に深い基礎のように構造全体がメカニズムになることが少ないケースの問題では有効であろう。

(1980年4月21日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 最上：“土質力学” 技報堂(1964)
- 2) 土質工学会編：“土質工学ハンドブック” 技報堂(1965)
- 3) 竹内・川井：“新しい離散化モデルを用いた土と岩盤の極限解析” 土木年講概要集(1979)
- 4) 川井・竹内：“土および岩盤力学への新しいアプローチ” シミュレーション技術研究会論文集, 1979. 6. 35-40(1979)
- 5) Kawai, T. and Y. Toi : "A new element in discrete analysis of plane strain problems", J. of "Seisan Kenkyu", Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, 29. 4. 204-207 (1977)
- 6) 竹内・上田・川井：“新しい離散化モデルによる軸対称問題の解析” 生産研究 32. 6. 297-300 (1980)