

I-18

地盤材料におけるすべり面進展の解析

東京大学 学生員 本田 利器 J R東海 田村 勝博
 東京大学 正員 堀井 秀之 東京大学 正員 山口 栄輝

1. はじめに

従来、地盤の支持力問題に対しては、最終的に形成されるすべり面を仮定し、すべり土塊のつりあいを考えることにより、極限荷重を求めるといった方法がとられてきた。しかし、近年の研究により、瞬時に最終的なすべり面が形成されるのではなく、すべり面の形成は進行的な破壊現象であり、地盤が最大支持力を発揮するのは、すべり面が比較的短い段階においてであることが明らかにされた。また、地盤の支持力にみられる寸法効果の一要因としても、すべり面形成の進行性が考えられるようになってきている。このように、すべり面の形成を進行的な破壊現象としてとらえることは、現象に忠実であるということに加え、最大荷重とその寸法効果を正確に予測するという工学的観点からみても重要であるということが言われるようになってきている。

本論文では、このような背景をふまえ、すべり面の形成という破壊現象を、すべり面の進展のみに着目してモデル化し、解析結果を実験事実と比較することにより、このモデルの有効性を明らかにすることを目的としている。

2. 現象のモデル化

現象のモデル化については、次のように考えた。すべり面の形成にともなって生じる変形は十分局所化されており、地盤の挙動はほとんどの領域において弾性的であり、塑性変形はすべり面の近傍でのみ生じる。よって、地盤は、すべり面先端近傍に生じる塑性域を除いては、弾性体であると仮定し、また、すべり面はその近傍で生じる塑性変形を含め、変位の不連続面で置き換えた。

すべり面上での条件としては以下の2点を考えた。1点目は、すべり面上での変位のギャップは、せん断成分のみであるとする。また、2点目はすべり面上のせん断力 τ と圧縮力 σ が、内部摩擦角 ϕ 及び、粘着力 c をもちいて、 $\tau = \sigma \tan(\phi) + c$ と表される関係を満たすことである。

すべり面先端に生じる塑性域はその寸法が構造全体に比して十分小さい場合を考え、いわゆる小規模降伏の仮定を採用した。すなわち、クラック先端近傍の塑性域を無視し、材料挙動は全て弾性的であるとする。その帰結として応力拡大係数(この場合はモードIIの K_{II})が発生するが、すべり面は $K_{II} = K_{IIC}$ の条件を満足しながら進展するものと仮定した。ここで、 K_{IIC} は材料のすべり面進展に対する抵抗力を表している。

すべり面の進展する方向は、すべり面先端近傍の点に於て、すべり面先端近傍の点に於てすべり面の進展する面に作用する直応力 σ 、せん断力 τ を求め、 $\tau - \sigma \tan(\phi)$ の値が最大となる方向を選ぶこととした。

3. 解析対象及び解析方法

以上のようなモデル化を行って、解析を行う対象として、図1のような問題を考えた。半無限体上の浅い基礎に偏心荷重を作用する。ここでは、偏心量 e は、基礎幅を B として、 $e = 0.16B$ とした。また、偏心荷重であるため、すべり面は基礎の片側から一本のみ生じるものとする。簡単のため、粘着力、上載圧、土の自重は無視する。また、解析には、境界要素法を用いた。

4. 結果

以上にしたがって、内部摩擦角の異なる3つのケース($\tan(\phi) = 0.17, 0.34, 0.25$)について解析した結果を図2、3に示す。図2は得られたすべり面の形状を表している。図3はすべり面長が延びていくにしたがって、荷重がどのように変化するかを表したものである。この図から、すべり面が成長する過程においては、荷重はほぼ単調に減少していることが分かる。

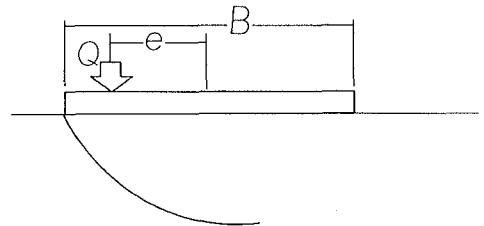


図1 偏心荷重の作用する浅い基礎と
基礎の片側から生じるすべり面

5. 考察

本ケースにおいては、単位奥行き当りの地盤支持力 Q は、 K_{IIC} と基礎幅 B を用いて、 $q = Q/(\sqrt{B}K_{IIC})$ と無次元化される。すなわち、基礎単位面積当りの地盤支持力は $Q/B = q \cdot K_{IIC}/\sqrt{B}$ と書ける。ここで、 q は計算によって得られる値であり、無次元量である。これは単位面積当りの地盤支持力が、基礎幅の $1/2$ 乗に比例するという寸法効果をもつということを意味する。

これを、森本[1]によって行われた実験結果と共に両対数で図4に示す。本モデルにより得られる寸法効果は、図の右上に示した傾きで表されている。図中の実験データは、規模の異なる2つのケースの単位面積当りの地盤支持力を比較したものである。この実験においては、砂地盤を用いているため粘着力はなく、上載圧もかけていない。また、規模の小さいケースについては、遠心力実験装置を用いて大きな重力加速度を加えることにより、土の自重の影響を排除している。すなわち、従来より地盤の支持力を求める際に用いられている Terzaghi の式において考慮されている3つの項の影響はどれも一致しているという条件下で行われた実験であり、純粋に寸法による効果のみを表しているといえるものである。このような寸法効果は、すべり面の形成を進展的破壊現象として捉えて初めて予測されるものであり、従来の考え方では導かれぬものである。

本論文では、すべり面の進展のみに着目した最も単純なモデルを提案した。解析結果より、すべり面の進展が荷重の減少段階に対応していること、及び、このモデルにより、寸法効果が再現されることなどが明らかになった。

今後の課題としては、塑性の直接的な取扱を含めた解析を行い、特にすべり面の形成やすべり面が十分発達していない段階の現象の再現を試みることがあげられる。

参考文献

- [1] 森本励, "砂地盤の基礎の支持力の寸法効果について", 修士論文, 東京大学 1990
- [2] 岡村弘之, "線形破壊力学入門", 培風館, 1976
- [3] 増田成利, "基礎地盤におけるすべり面進展の境界積分方程式法による解析", 修士論文, 東京大学 1989
- [4] 石原研而, "土質力学", 丸善株式会社, 1988

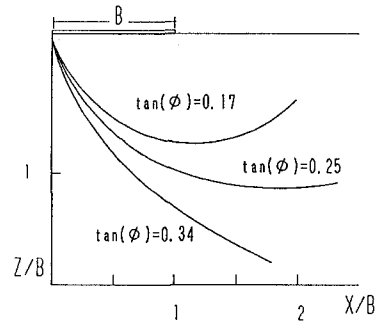


図2 すべり面の形状

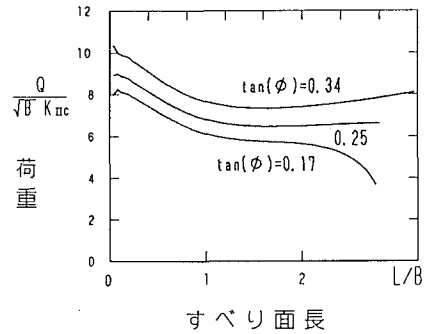
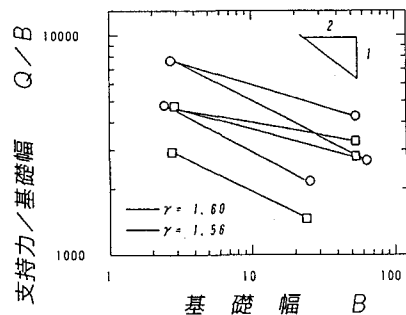


図3 すべり面長と荷重の関係



(実験データは、森本の実験データをもとに作成)

図4 寸法効果 実験値との比較