

I - 12

地盤の圧縮における載荷条件と局所変形の発達

東北大工学部	○学生員	得地 智信
東北大大学院工学研究科	正員	岩熊 哲夫
東北大大学院工学研究科	正員	後藤 文彦

1. まえがき

直接基礎下の地盤では実物大実験が行われているにも拘らず、その数値解析は半解析による対称載荷の計算が主で、文献¹⁾のような偏載荷重の影響等の数値解が少ない。そこで本研究では、文献²⁾によって定式化されたモデルを用い直接基礎が地盤に及ぼす影響と載荷条件の違いによる地盤の局所変形の発達について解析したい。

2. 構成モデル

文献²⁾によって定式化された構成モデルの基本的な式を列挙する。弾性部分は Hooke の法則に従い d^e とする。塑性部分は J_2 流れ理論に拘束圧依存性や体積変化の塑性成分を考慮し、さらに非共軸性を加えて

$$d_{ij}^p = \frac{1}{H} \left(\frac{\sigma'_{ij}}{2\bar{\sigma}} + \frac{\beta}{3} \delta_{ij} \right) \left(\frac{\sigma'_{kl}}{2\bar{\sigma}} + \frac{\alpha}{3} \delta_{kl} \right) \nabla_{kl} + A \left\{ \sigma'_{ij} - \frac{1}{2\bar{\sigma}_{kl}} \sigma'_{kl} \nabla_{kl} \sigma'_{ij} \right\} \quad (1)$$

とし、この材料が、Hill の局所不連続面の発生条件を満足した後この物性方向 n 方向に二重すべりメカニズムを持つモデルを導入し、式(1)にそのすべり機構によって発生する変形速度成分 d_m を加え、総変形速度 d は

$$d = d^e + d^p + d^m \quad (2)$$

で与えられるものとする。

3. 解析領域と押し込み板の設定

解析対象領域は図-1 の閉じた領域とし、要素数は 10680、節点数は 5441 で有限要素分割した。また、荷重や強制変位をかける押し込み板 B の部分は他の地盤要素より材料定数を 10^3 倍大きくし降伏しないようにした領域で近似してある。境界条件は底辺固定、左右端の水平方向固定、鉛直方向自由とした。

載荷方法は「変位制御」と「荷重制御」の「対称載荷」と「非対称載荷」、さらにそれらの複合形である対称+非対称の「複合載荷」（変位または荷重）の 3 種類行えるようにしてある。このときの押し込み板は基本的に水平方向は自由とした。特に偏載の場合には「変位制御」と「荷重制御」で異なる結果が得られる。

4. 解析例

この報号ではひとつの解析例として「荷重制御」での「対称載荷」と「非対称載荷」、「複合載荷」を取り上げる。この 3 パターンでの荷重沈下曲線を図-2 に示した。「非対称載荷」では図-2(a) での分布荷重を左端から $L = 0.5B$ 載荷させ、 $\phi = 0.5$ としたときの挙動とした。「複合載荷」では、沈下量レベルが $-S_m/B = 0.01$ まで「対称載荷」し、その後 $\phi = 0.5$ の「非対称載荷」を行った。さらに図-2 での白丸点は、地盤中で初めて微視すべりの発生条件式を満たしたときを表しており、四角点はグラフの勾配が最も小さい場所をプロットしており、局所化が集中したことにより除荷要素が増えたときに相当している。

微視すべり線が発生する沈下量レベルは $\phi = 1, 0.5$ でそれぞれ $-S_m/B \cong 0.018, 0.009$ であった。図-3 のように「対称載荷」 $\phi = 1$ では右端と左端の 2 方向に応力が分散されるのに対し、「非対称載荷」 $\phi = 0.5$ では図-4 のように一方向にすべり線が集中するため「非対称載荷」のほうが先にすべり線が発生する。さらにその後「対称載荷」に比べ「非対称載荷」は約 80% の支持力レベルであるがほぼ等しい勾配で伸びている。また、最も勾配がゆるくなる地点も「対称載荷」より「非対称載荷」のほうが小さい沈下量レベルで発生しており、「非対称載荷」では 2 度にわたり勾配が低くなる点が現れ、「局所化の集中による除荷要素の発生が激しいことがわかる。」この結果から模型実験を行っている文献¹⁾に報告された、偏心度の増加つまり ϕ を小さくすると支持力は低下することを定量的に数値解で確認できた。また「非対称載荷」の場合は沈下が 0.1 を越えたあたりで数値計算が進まなくなった。これは図-5 の状態で、局所部が円弧すべり線のようにつながったからだと予想される。

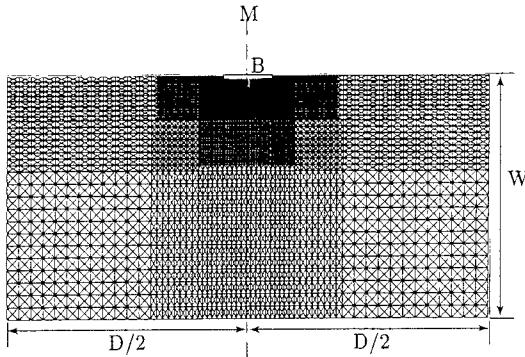


図-1 解析対象領域

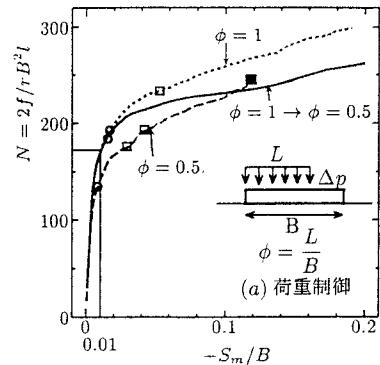


図-2 載荷方法の変化の違い

これに対し「複合載荷」の場合は、初期微視すべり発生時の沈下量レベルは「対称載荷」の時よりも若干低い $-S_m/B = 0.015$ であり、傾きも少しづつ緩やかに伸びた。その後その傾きは「非対称載荷」 $\phi = 0.5$ とは平行にならず、そのまま交差し、さらに抵抗は緩やかに伸びていった。その後の $-S_m/B = 0.20$ での図-6は「非対称載荷」の状態図-5と似てはいるが、円弧すべりにならないため荷重が上昇できたと考えられる。

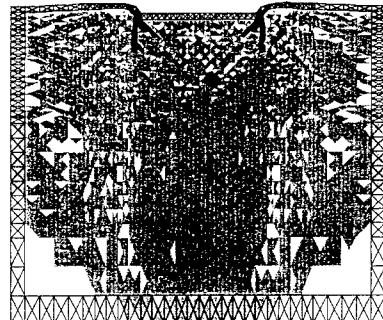


図-3 対称載荷 $-S_m/B = 0.06$

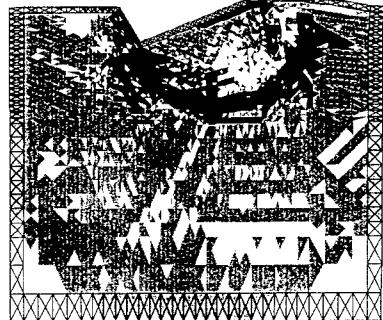


図-5 $\phi = 0.5$ 最終形

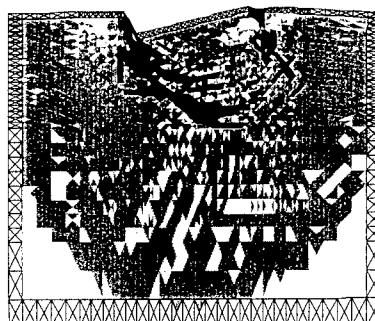


図-4 $\phi = 0.5, -S_m/B = 0.06$

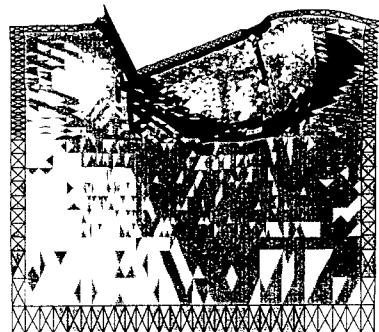


図-6 $\phi = 1 \rightarrow \phi = 0.5, -S_m/B = 0.20$

最終的に「複合載荷」では、載荷条件を変化させた後、低い支持荷重で沈下が進み終局状態に至った。よって最初から「非対称載荷」を加えたときより、グラフが傾いてからの支持荷重は小さく、ある程度沈下した後に偏心載荷を加えることは危険であり、十分の配慮が必要であることを示すことができた。

5. まとめ

偏心度が大きくなると支持力が低下することを確認できた。また載荷途中での偏心も、抵抗だけではなく終局強度も小さくする可能性が大きいことを示すことができた。

参考文献

- 1) 宮浦征宏、飯田和弘、川村志麻、三浦清一、木幡行宏：載荷条件の相違による構造物・地盤系の支持力特性の変化、地盤工学会技術報告集、北海道支部 40 号, pp227-236.
- 2) 白戸真大、岩熊哲夫：微視すべりを組み込んだ構成モデルとその大変形問題への応用、土木学会論文集、No. 598/I-44, pp.257-268, 1998.