基礎の支持力問題における分岐現象の有限要素解析

長岡技術科学大学 環境・建設系	正会員() 山川 優樹
東北大学工学部 土木工学科		木村 奈央
東北大学大学院 工学研究科	正会員	寺田 賢二郎
東北大学大学院 工学研究科	正会員	池田 清宏
東北大学大学院 工学研究科	学生会員	生出 佳

はじめに 1.

地盤の支持力実験では, 主働くさび形成, パンチング破壊, 円弧すべりなど, 様々な破壊形態が観察される. 本研究 では,支持力問題に関わる分岐現象や破壊形態,寸法効果などの諸問題について,数値解析による検討を行う.分岐解 析により,左右対称性な沈下から,非対称な円弧すべりへとモードが変化する現象が分岐現象であることを示す.また, 基礎幅を変化させた解析を行い,支持力に対する寸法効果は,変形形態の違いに起因することを示す.

地盤の支持力問題に関する分岐解析 2.

本研究では,有限変形弾塑性有限要素法による分岐解析を行った.解析モデルと境界条件について述べる.x方向(水 平)の幅 W = 500 cm , z 方向(鉛直下向き)の深さ H = 300 cm の解析領域(図─1)を設定し,2 次元平面ひずみ状 態として 4 節点要素を用いて分割した.境界条件は,底辺は固定境界,左右境界は鉛直方向のみ変位自由,水平方向に 固定とする.基礎(押し込み板)は幅 $B = 30 \,\mathrm{cm}$ として,単位基礎幅当たりq(kPa)の一様分布圧力で載荷する.基礎 と地盤との間は摩擦有りの粗な条件とする.地盤部分の材料定数は,粘着力 $\bar{c}=31.8\,\mathrm{kPa}$,内部摩擦角 $\theta=17.6^\circ$ とし た、基礎部分は弾性体としてモデル化した、なお、本研究では支持力問題の分岐現象を調べるため、左右対称性を仮定 した半領域解析では不十分であり、全領域モデルを用いる、



図-1 解析対象領域



変位大

解析で得られた荷重 - 沈下量関係を 図−2 に実線で示す . 点 A は最大荷重点である . 基本つり合い経路の解析過程で , 接線剛性行列の固有値の変化を調べた結果, 点 A, B において, それぞれ第1, 第2 最小固有値の符号が正から負に転じ ており,特異点(最大荷重点,あるいは分岐点)であることが確認された.特異点 A,B におけるゼロ固有値に対応する クリティカルな固有ベクトルは,それぞれ 図-3 のようであった.固有ベクトルは適切にスケーリングし,変位ノルム の大小をコンターで示した.最大荷重点(点A)では,それ以前と同様の左右対称モードである.これに対し,分岐点 (点 B) の分岐モードは, 分岐点以前の変形モードとは明らかに異なる左右非対称な円弧すべりを生じ, 基礎の左側にす べり土塊を形成して基礎が転倒するモードとなっている.図−2 では , 点 A を過ぎて荷重が減少に転じた後に , 点 B で 示す分岐点が存在し,これ以降,基本経路(O A B C)と分岐経路(O A B C')の2つのつり合い経路が 存在する.分岐経路では,基本経路よりも荷重の低下(荷重不安定挙動)が著しい.

地盤中のひずみ局所化の進展状況を調べる.基本経路,分岐経路のせん断ひずみ進展の様子を,それぞれ 図-4,5 に 示す.基礎沈下の進行に伴い,ひずみは基礎直下から周辺へと進展していき,最大荷重点の時点で既に左右対称な2つ の円弧すべりを形成している.基本経路では、その後も同様のモードでひずみが進展していく.最終段階では、基礎の 両縁端から鉛直下方へのパンチング破壊も明瞭である.一方,分岐経路では,分岐点以降,それまで保持していた左右 対称性を喪失し,2つのすべり面の一方だけが進行し,基礎が斜めに転倒していく.このように,分岐によって系の対称 性が失われ,破壊モードが変化する現象は,分岐解析を行うことにより初めて明らかとなる.

^{〒 940-2188} 新潟県長岡市上富岡町 1603-1, Phone: 0258-47-9638, FAX: 0258-47-9600 Key Words: 基礎, 支持力問題, 分岐解析, 破壊形態, 寸法効果



図-7 異なる基礎幅におけるひずみ分布(最大荷重時)の比較

基礎幅の変化による寸法効果 3.

基礎幅の変化による寸法効果について,数値解析により検討を行った.寸法効果の直接的な要因は,基礎寸法による破 壊形態の違いと考えられ,本研究でも特に破壊形態に着目する.前章と同じ解析モデルを用いて,基礎幅を $B = 15 \, \mathrm{cm}$ 、 30 cm, 45 cm, 60 cm の 4 種類に変化させた.ここでは,分岐経路上の左右非対称な破壊モードの解析を行っている.

図-6 に,荷重-沈下量関係を示す.基礎幅 B が大きいほど,曲線の初期勾配が緩やかになること,最大荷重値が小 さくなること,最大荷重時の沈下量は大きくなることなど,実験での典型的な挙動と同様の傾向を示している.

|基礎幅による , ひずみの進展状況の違いについて調べる . 各基礎幅について , 最大荷重時のせん断ひずみ分布を 図−7 |に示す.最大荷重時はまだ分岐前であるので, 左右対称な変形モードである.同図より, 基礎幅が大きいほど, 広範囲な ひずみの発生が確認できる.すなわち,基礎幅が小さい場合は,基礎直下付近で全般せん断破壊を示し,一方,基礎幅が 大きい場合は,大きな円弧すべりを形成する局部せん断破壊を示している.また $B=45\,\mathrm{cm},\,60\,\mathrm{cm}$ の場合には,基礎両 縁端から鉛直下方に破壊する、いわゆるパンチング破壊が明瞭となっている.これらの傾向も、実験で典型的に見られる 挙動と同様である.図−6 での基礎幅による荷重‐沈下量関係の変化は,こうした破壊形態の違いが原因と考えられる. 4. おわりに

本研究では,基礎の支持力問題の有限変形弾塑性有限要素解析を行い,すべり面形成を伴う破壊過程を追跡した.そ の結果,幾何学的な変形特性,進行性破壊,寸法効果といった,支持力問題の諸現象を再現することができた.

また、分岐解析を行うことにより、基本経路上の左右対称性を保持した基礎の沈下から、その対称性を喪失して左右 非対称な円弧すべりへと変形モードが変化する現象を分岐現象として捉えることができた.その結果として変形の局所 化が更に進展し、分岐経路では基本経路よりも荷重不安定挙動が顕著となることが確認された、更に、基礎幅の変化に 伴う荷重 - 沈下量関係や最大支持力,ならびに破壊形態に対する寸法効果の影響をよく表すことができた.

本研究では複雑な構成式を用いずに比較的単純な材料モデルを用いて、実現象を定性的によく表現することができた。 このことは、幾何学的非線形性とそれに伴う分岐現象の考慮の重要性を示すと同時に、高度な材料構成モデルの必要性 を示すものである、今後、材料特性の影響を考慮した定量的評価が必要である、