

III-236 地盤の不安定破壊およびすべり破壊機構について

埼玉大学工学部 浜島良吉 井関晴夫

1. まえがき

構造物における不安定破壊現象、例えば棒、板等の分岐座屈や、殻、アーチ等におられる飛心撓り不安定破壊、さらにこれらの構造物においては最大荷重に達する以前に分岐座屈を生じ耐力を低下させる場合がある。こうした不安定破壊現象は材料の非線形性のみならず幾何学的非線形性をも考慮に入れ、右つり合い時点において安定なつり合いであるか、不安定なつり合いであるかを判定しなくてはならない。

本研究において地盤の支持力変形問題においても同様の不安定現象の存在についての検討をおこなひ、合わせて、こうした地盤の破壊の基本がすべりに基因するものであることを明らかにする。

2. 地盤の支持力実験値のバラツキについて

地盤の支持力実験をおこなう場合、まず問題になるのは実験結果がかなり大きなバラツキを有することである。これらのバラツキの原因として種々の imperfection の影響が考えられる。それには異方性、偏心、間隔比の影響等が考えられるが他に載荷板の固定度の影響が考えられる。図-1はアーチの中央に荷重が作用した場合の荷重変形曲線であり、A点において分岐座屈が生じ、非対称な変形様式となりA-Cの荷重変形曲線(分岐経路)となる。これに対し対称な変形モードのみを考えた場合その荷重変形曲線はO-B-Cとなる。しかしアーチに初期変形が存在するとその荷重変形曲線は分岐経路O-A-Cに漸近するようになる。構造物においては必ずや何らかの imperfection が考えられるのでこうした分岐経路は荷重変形曲線の上限と考えられよう。地盤の支持力実験においても、その結果が大きくバラツキとはこうした imperfection によるものと考えられるのでこうした分岐点および分岐経路を求めることが重要な意味を持つこととなる。

実際、載荷板に荷重をかけてやくと載荷板の傾斜が観測され、それに伴い支持力が急速に低下するが、この載荷板の傾斜が観測される点も分岐座屈点と理解されよう。

こうした観点より、本研究では図-2に示されるように載荷板を剛な状態および回転自由な状態と考え、この2種類について多数の実験をおこなった。その結果、固定および自由の場合共に大きなバラツキがみられる。ここで First Cycle 及び Second Cycle Sand は水洗いした豊浦標準砂りオリ1回及びオリ2回目の使用のものであり、Air Dry Sand, Absolute Dry Sand は炉乾燥後大気中に放置したもので純粋状態を保持したものである。ここで純粋状態の砂で間隔比をコントロールすることにより実験値のバラツキは少くなる。図-3は $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ の場合において偏心量を変えた図であり、異方性及び偏心量が支持力値に大きな影響を及ぼすことがわかる。ここで偏心量 $e=0$ の場合について Fix, Free の2種類の実験をおこなった。この支持力値は両者共ほぼ一

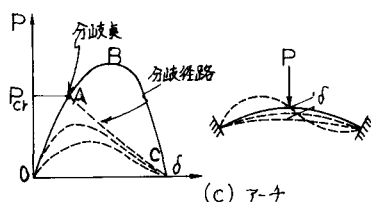
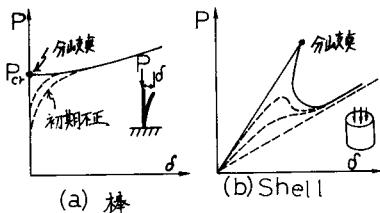


図-1 各種の不安定破壊と初期不正の事例

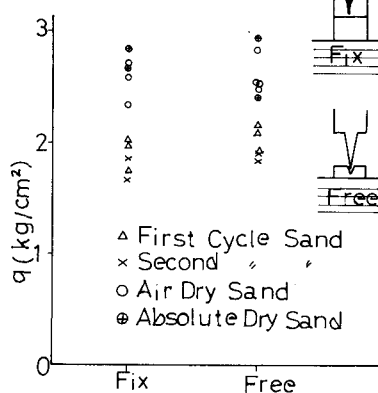


図-2 支持力に対する実験値のバラツキ

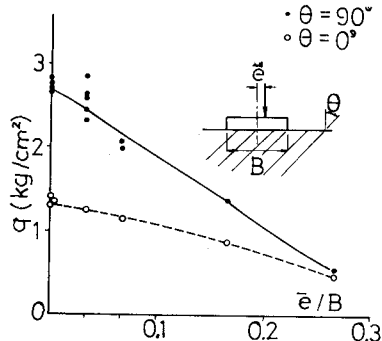


図-3 偏心量の変化による異方性・地盤の支持力

致することになった。これは shell の場合 (図1.b) に示されるように層厚が最も最高荷重と一致する場合に相当する。図-4は Fix, Free の載荷状態の場合について θ を $0^\circ \sim 90^\circ$ まで変化した場合の支持力であり、両者は $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ の2点を除いて一致している。しかし両者共、 $\theta = 25 \sim 30^\circ, \theta = 43 \sim 48^\circ$ 近傍において支持力の低下がみられる。これはすべりに帰因するものと推定され、Fix と Free の状態においてはすべり破壊形状が異なるといえる。実際の地盤においては土のほとんどが異方性地盤であり、しかも何らかの imperfection を有していることから、こうした載荷状態の違いによる支持力値の違いに十分注意する必要がある。

3. 地盤の支持力変形解析

地盤の支持力及び変形解析において材料の非線形性は勿論、幾何学的非線形性を考慮する必要がある。図-5は穴開き板の弾塑性解析結果であり、有限変形理論によるものと耐力力値小さく出ていること、注意が必要である。図-6は砂とガラス玉を互層に積った平面ひずみ実験結果と計算結果の比較である。実験結果においては $\theta = 30^\circ$ 近傍において支持力値が最低となるが計算結果はこうした形状を表わすことが出来た。しかし材料の softening を考慮に入れているにもかかわらず、実験結果に合致する最大荷重以後の荷重の低下がみられず、最高荷重に達した後はほぼ同じ支持力値のままで変形が追いつけず計算不能となる。

図-7は $\theta = 34^\circ$ の場合における弱面層 (ガラス玉層) の破壊 (softening を生じている要素) を示しており、こうした弱面層のすべりにより支持力値が $\theta = 0^\circ$ の場合より小さくなる。次に図-8は $\theta = 30^\circ, 60^\circ$ の異方性地盤を突き替むことにより得られた等方性 (土に近い) 地盤の荷重変形曲線であるが、材料の softening, no-tension 解析、さらに幾何学的非線形性を考慮して解析しているにもかかわらず荷重変形曲線は、実験に合致するピーク荷重後の落ち込みがみられない。こうした現象を表わすためには、すべりを考慮した解析方法の導入が必要と思われる。

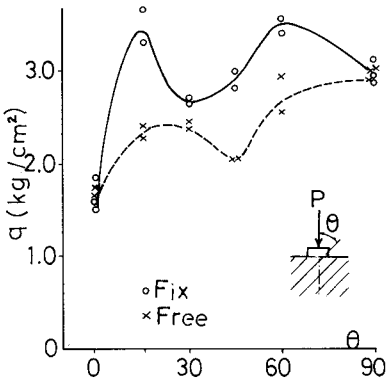


図-4 載荷状態の違いによる異方性地盤の支持力

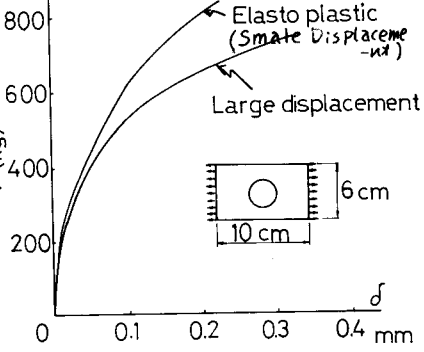


図-5 幾何学的非線形性を考慮した解析

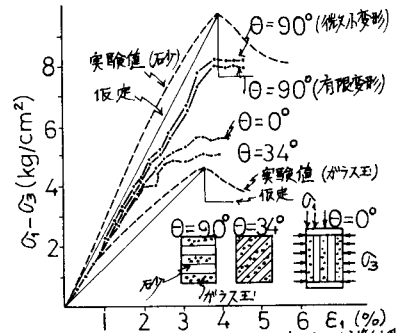


図-6 砂、ガラス玉の互層状態の三軸試験と計算結果

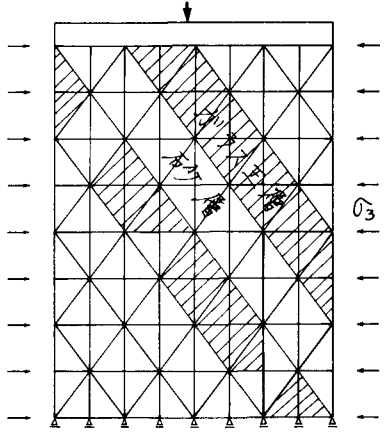


図-7 弱面層 (ガラス玉層) の破壊

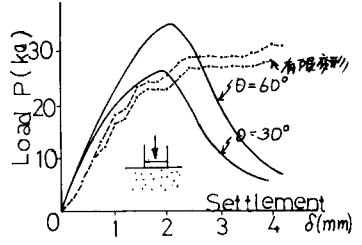
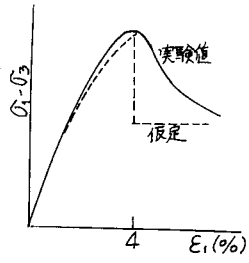


図-9 支持力に対する実験値と計算値の比較