

愛知工業大学 土木工学科 正・成田 国朝
愛知工業大学 土木工学科 正 大根 義男

§1. はじめに

近年、工学的諸問題に対する有限要素法の適用が徐々に定着化されてくるにつれ、より実際に近い精度良い解を追及する姿勢が高まり、これに伴って物性値に対する再認識が要求されるようになった。実験の応力～ひずみ曲線と双曲線やスプレイン関数などで近似し、より厳密な形で接線弾性率を取り入れようとする試みはその一例である。しかしながら応力～ひずみマトリクスを構成する他の弾性弾数、すなわちポアソン比については実験手法に確としたものがなく、また物性値としての意味や概念にも不明確な面が多い。

土は多かれ少なかれダイレイタンシー特性を示す材料であるが、この点から材料と変形特性を異にしポアソン比の概念を複雑にしているように考えられる。筆者らは先に土のポアソン比に関する実験結果を報告したが、^(1,2)ダイレイタンシー変形が顕著な砂質土ではポアソン比がせん断変形の進行とともに0.5を超えることが認められ、通常の概念では不合理のように感じられる。したがってこのような材料特性を有する構造物の解析に際しては、ポアソン比とは異なる物性値あるいは構成式の採用も考えなくてはならない。松岡のダイレイタンシー構成式を有限要素法に適用した柴田⁽³⁾の研究はその一例であるが、この種の問題にはまだまだ未解決の部分が残されているものと考えられる。この点に鑑み本研究は、三軸円筒供試体を対象とした非線形応力解析を行い、実験結果と照査しながら応力～ひずみマトリクスを構成するポアソン比の物性値としての意味に関して三議論するものである。なお数値計算に際しては名古屋大学大型計算機センターFACOM 230-60を使用したことを付記する。

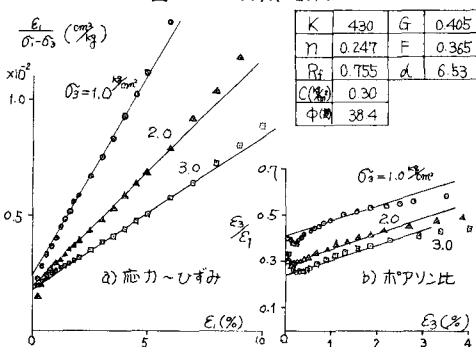
§2. 解析

本研究では前報⁽²⁾の実験結果のうち山村砂の $h=20\text{cm}$ 供試体に対する試験値を入力データとして使用する。また解析は主にKulhawy⁽⁴⁾が提唱する非線形解析法に従い、応力～ひずみ曲線を双曲線近似することにより接線弾性率および接線ポアソン比を定めることとする。図-1は実験値を双曲線関数で近似するために、a)は $\epsilon_1/\delta_1 - \delta_1 \rightarrow \epsilon_1$ 関係、b)は体積ひずみから定まる $\epsilon_3/\epsilon_1 \rightarrow \epsilon_3$ 関係で整理したものである。これらの関係が直線であれば双曲線関係が存在することと意味するが、図2は応力～ひずみ関係が初期から破壊域に至るまで直線性が良く保たれているのに対し、体積ひずみ関係は初期および破壊域以後の部分において直線からかなり大きくずれることがうかがわれる。しかし、とりあえず実験値に示すような双曲線近似が行われたものとして各種パラメータを決定すると図中の表のようになる。解析手順はまず、所要の拘束反を各要素の垂直応力に与えこれを初期応力とする。以後載荷面に微小鉛直変位を増分的に与え、各微小区間で定まる変位、ひずみ、応力の増分を前段階までで得られたtotal解に逐次加え合わせながら解析を進める。この場合載荷量は各段階で得られる載荷面を囲む要素の応力値から逆算して求められる。

§3. 数値計算結果および考察

図-2は応力～ひずみ関係に関する解析結果を示すものである。図において実線が実験曲線、破線がこれらを双曲線近似した場合の応力～ひずみ曲線である。○および●印で示した値は破線の双曲線を入力とした場合の解析結果であり、おのおの載荷面が半径方向に非拘束の場合(Smooth)と完全に拘束の場合(Rough)に対応する。こ

図-1 双曲線近似



ここでポアソン比の入力に当っては前記の双曲線関係を採用するのであるが、この場合各増分段階で指定される接線ポアソン比 ν_t が0.5を超えないことを条件として与えた(実際には解の発散を防ぐ意味で $\nu_t \leq 0.49$ とした)。

Smoothの場合は全要素内で一様ひずみ、一様応力状態が保たれるため、入力として与えた ν_t および ν_t と出力されたそれらの値は一致し、破壊は全要素で同時に生ずる。この結果○印で表わされた値はほとんど近似曲線上に載ることがわかる。図では多少のずれが見られるが、これは解析の増分区間の取り方による計算誤差と考えられる。

図-3は体積ひずみについて調べたものであり記号は前と同様である。図に見られるように初期部分については双曲線の近似度が比較的良好だが、ある軸ひずみを超えると急激に実験値との差が拡大することが知れる。Smooth, Roughに対する出力結果はいずれも体積ひずみが圧縮側に転じ、実験値や近似曲線のような膨張過程を示さない。これは、これらの解析において ν_t が0.5以下に抑えられたためである。この図において ν_t が0.5を超えるのは体積ひずみが圧縮の最下点(最大圧縮点)を過ぎてからである。したがってSmooth解はこの点までは近似曲線との一致が良いことがわかる。またRoughの場合は全般的に体積ひずみが圧縮側で大きくなることがわかる。なお図中に×印で示した値は試みに ν_t より大きい ν_t を考えた場合のSmooth解である。これによると体積ひずみは最大圧縮点を過ぎたのち膨張過程に入り、近似曲線とよくとらえていることが知れる。ただし図に示した範囲までは解析可能であるが、これを超えると応力、ひずみに不可解な不均衡が生じ信頼性がなくなる。

図-4は実験で得られた ν_t と主応力比 σ_1/σ_3 の関数で表わし(近似的に直線関係で)、これを入力データとした時の解である。これによるとSmooth解が軸ひずみの大きいところまで実験値を良く表現していることがわかる。またRough解も双曲線近似を使用した解(図-3)より全般的に実験値に近い値が得られている。このように0.5を超えるポアソン比を考慮することの良否は別として、 ν_t の導入に当っては双曲線近似を使用するより $\nu_t \sim \sigma_1/\sigma_3$ 関係を使用した方が、より実際に近い解が得られる場合もある。いずれの方法を採用するかは材料の種類や実験時の諸条件によると思われるが、ダイレイタンスは顕著な粒状材に対しては松岡の議論とも関連して $\nu_t \sim \sigma_1/\sigma_3$ 関係の適用が好ましいように考えられる。これらの点については今後さらに議論を進めていく考えである。

参考文献: 1) 大根地 (1976) 土木学会中部支部発表会 2) 大根地 (1976) 第11回土質工学研究発表会 3) 松岡 (1974) 土質学会論文集 4) 柴田 (1975) 土と基礎 263号 5) Kulhavy (1969) U.S. Army Eng. Waterways Experi. Sta. Corps of Eng.

