

岡山大学工学部 正会員 河野伊一郎
 阪神高速道路公団 正会員 ○ 藤井康男
 大本組 正会員 吉川昌宏

1. まえがき

近年、住宅の需要増加に伴い、平野部に限らず軟弱な埋立て地や山間部などの傾斜地の開発によって土地を造成することが多くなっている。特に、高盛土を施工するときしばしば問題となるのが斜面の破壊と変形（変位）である。すなわち、地盤中に破壊が連続して起こり明瞭な破壊面（すべり面）が発生する場合や大きい沈下または場所によって沈下量異なる、いわゆる不同沈下が生じたりすることが問題となっている。

ここではマサ土による高盛土地盤を対象としてモデル化し、材料試験のデータをもとに有限要素解析を行い、破壊と変位について斜面の安定性を検討した。その中でも特に変形係数の取扱いに重点をおき、応力状態に応じた弾性係数を導入する解析方法を試みた。

2. 解析方法

有限要素法とは、連続体を有限個の要素に分割し、それらの要素の中の変位あるいは応力を節点における変位の簡単な関数で近似し、これらを全領域について重ね合わせて、仮想仕事の原理や最小ポテンシャルエネルギーの原理を近似的に成立させるように節点変位を求めるものである。この有限要素法の理解に必要な弾性体の応力-ひずみ解析の基礎となる諸原理や種々の関係式などは省略する。

地盤の解析を行う場合、弾性領域内では弾性定数の定め方が重要である。なぜなら、土の初期応力状態がその後の地盤の力学特性を支配し、その後の応力状態の変化に応じて見かけの変形係数やポアソン比などが変化するからである。そこで、本研究では応力状態に応じた弾性係数の求め方について2通りの方法を検討している。

まず第一には、破壊規準にMohr - Coulombの式

$$\tau = C + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

を用いているが、 σ が負の領域、すなわち引張に対しては抵抗が弱いとして内部摩擦角を圧縮側の2倍とした。計算の結果得られた主応力とこの破壊規準によって各要素ごとに判定を行い、破壊していなければ最初に与えられた弾性係数を用い、もし破壊が生じたならば τ_f と主ひずみ ϵ_1 の交点Aと原点Oを結んだ直線の勾配を修正弾性係数 E' とし（図-1）、この値を用いて次の計算を行う。ここで τ_f とは、三軸圧縮試験における破壊時の主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ の値である。またポアソン比は弾性領域、塑性領域を問わず原地盤で0.2、盛土地盤で0.25の値を与えている。

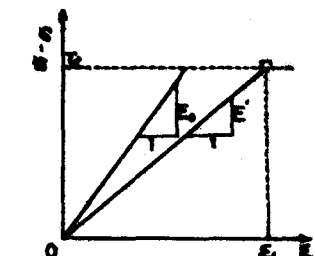


図-1 修正弾性係数の求め方(1)

三軸圧縮試験の結果からわかるように、応力-ひずみ曲線は側圧 σ_3 によって異なる（図-2）。一般の地盤についてはその位置によって側圧がちがうので同じ土でも場所によっては側圧 σ_3 に応じた弾性係数を与えることにする。まず最初に、初期弾性係数 E_0 を与えて計算を行い、主応力 σ_1, σ_3 と主ひずみ ϵ_1 を求め

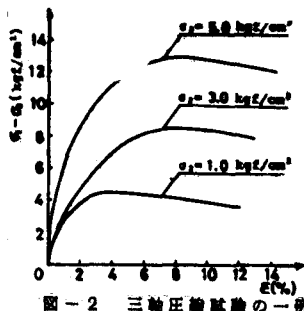


図-2 三軸圧縮試験の一例

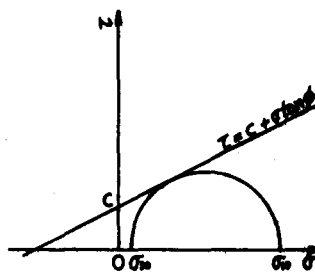


図-3 破壊時のモールの応力円

Mohr-Coulomb の破壊基準を用い、得られた σ_3 を σ_{30} として応力円が式(1)に接する時、すなわち破壊時の主応力 σ_{10} と主ひずみ ϵ_{10} を求める(図-3)。次に、各要素について ϵ_1 と ϵ_{10} を比較し、 $\epsilon_1 > \epsilon_{10}$ ならばその要素は破壊しているものとし、破壊時の主応力差 $(\sigma_{10} - \sigma_{30})f$ と主ひずみ ϵ_1 の交点 S と原点 O を結んだ直線の勾配を、また破壊が生じていない領域に対しては、 $(\sigma_{10} - \sigma_{30})f$ と破壊時の主ひずみ ϵ_{10} の交点 R と原点 O を結んだ直線の勾配を修正弾性係数として次の計算を行った(図-4)。またポアソン比は弾性領域で原地盤に 0.2、盛土地盤に 0.25、塑性領域では両者とも 0.4 の値を与えている。

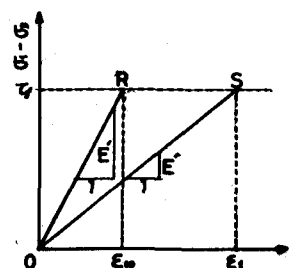


図-4 修正弾性係数の求め方(2)

3. 解析例とその結果

解析に用いたデータは粒度試験、三軸圧縮試験、締固め試験などに基づいている。三軸圧縮試験の結果から、粘着力 $c(\text{kgf/cm}^2)$ 、内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$ を求め、初期弾性係数 $E_0(\text{kgf/cm}^2)$ は E_{90} の値を用いている。ここで E_{90} は破壊時の主応力差 τ_f の 1/2 の点における割線係数を用いている。これらの E_0 、 C 、 ϕ の値は、締固め度が 90% と 95%、さらに含水量が自然状態と飽和状態の

場合についてそれぞれ求めているが、これらのデータについては省略する。そこで本研究では盛土地盤の 1 断面に対して上述したデータを組み合わせ、施工条件によるちがいか土中水(飽和領域)の有無を想定して解析を行った。図-5 に解析で用いた盛土地盤の要素分割と破壊状況の 1 例を示す。

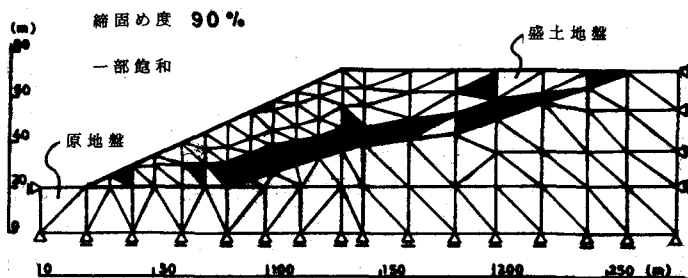


図-5 地盤の要素分割と破壊状況

破壊に関しては、含水量が自然状態(約 4% 前後)の場合は初期弾性係数や締固め度のちがいによらずほぼ安定していたが、土中水を想定した飽和領域は破壊も生じやすく、締固め度が 90% の場合は破壊領域も生じやすく、すべり面が発生する可能性が大きかった。

一方、変位量も含水状態の影響が大きく、飽和領域が多いほど変位量も多く、さらに初期弾性係数の値によってその差が激しかった。また、弾性係数を修正し計算を繰り返したところ、破壊領域が少ない場合は変位量の変化も小さかったが、破壊領域が多くなると弾性係数が大きく変化するためその変化が激しかった。

また、盛土斜面の法尻付近の側方変位量と頂部における沈下量に着目してみたところ、破壊領域が多い場合ほど沈下量に対する側方変位の割合が大きいという結果を得た。

4. あとがき

本文では紙面の関係で解析に用いた土質条件やそれに伴って生じる破壊や変位の状況について記すことができなかった。

この解析を行うにあたっては土中水についても検討したわけであるが、それはただ単にその領域では弾性係数、粘着力、内部摩擦角の値が低下した場合を考えただけであつたため、ごく常識的な結果しか得られなかった。しかし、実際には土中水が存在すればその流れが問題となり、動水勾配に応じた浸透力や聞けき水圧なども作用するはずだし、圧密現象も問題となってくる。先に述べたように弾性係数は主応力、特に σ_3 の値に応じて値が異なるものである。したがって、解析を行ううえで初期の応力状態を知ることが非常に重要となってくるため、その分野での研究を進め、さらに上述した浸透流問題や圧密問題などを考慮して解析を行えば、さらに詳しい挙動が推測できるであろう。