

サクシオンに等価な有効拘束圧の三次元空間表示について

徳島大学 工学部	正	山上 拓男
阪神コンサルタンツ	正	植田 康宏
中電技術コンサルタント	正	土田 章仁
徳島県	正	○旭 仁史

1. まえがき： 河川堤防やアースダムに典型例のみられる浸透水と土の相互作用場に対して、水の流れと応力・変形を同時に考慮した連成ないし非連成解析で対処せんとする研究が試みられている。その場合、自由水面より上方の不飽和域のサクシオンが土の力学特性に及ぼす影響はほとんど考慮されていないのが現状であろう。本研究の終局目的は、近似的にせよサクシオンの及ぼす効果を取り込んだ浸透下の応力・変形解析法を構築せんとするところにある。すでに筆者らは、非線形弾性解析への導入を前提とした、主応力差(σ)－軸ひずみ(ϵ)曲線のスプライン関数表示を媒介とするサクシオンに等価な有効拘束圧($\Delta P'$)の近似的評価法を提案している¹⁾。しかしながら、任意の一組の飽和度(S_r)と拘束圧(P')に対する $\Delta P'$ の値を評価するまでには至っていなかった。また、スプライン関数は、データ点の間隔によっては'over-shoot' (不自然な曲線のゆらぎ)を起こすという欠点を持つ。そこで今回、新たにAkimaのSmooth Curve Fitting Method²⁾とSmooth Surface Fitting Method³⁾を用いた $\Delta P'$ の評価法及びこの $\Delta P'$ を S_r と P' の関数として三次元空間表示する手法を検討したのでここに報告する。

2. サクシオンに等価な有効拘束圧の評価とその三次元空間表示： はじめに筆者らが提案する通常の三軸圧縮試験に基づいた $\Delta P'$ 評価法の基本概念を要約すると、“注目している不飽和供試体の $\sigma - \epsilon$ 曲線に最もよくfitする曲線を、種々の P' を用いて三軸圧縮試験を行った結果の飽和供試体の $\sigma - \epsilon$ 曲線群の中から選び出し、そのときの P' の差を求めるとこれが $\Delta P'$ である”とするものであった。詳細については文献4)を参照されたい。ところで、注目している不飽和供試体の $\sigma - \epsilon$ 曲線に最もよくfitする曲線を飽和供試体の $\sigma - \epsilon$ 曲線群の中から選び出す過程において、任意の P' に応じた $\sigma - \epsilon$ 曲線の形状が一般表示されていなければならない。飽和供試体の $\sigma - \epsilon$ 曲線群は、 $\sigma - \epsilon$ 座標系に、さらに P' を1つの座標軸として加え三次元的に表わすことができる。これを図-1に示す。この図-1の曲線群を P' をパラメータとして一般表示することは、この曲線群を用いてなめらかな曲面をつくることと等価である。このようにすれば、数種の P' のもとで得られた実験曲線から任意の P' に応じた $\sigma - \epsilon$ 曲線を推定することができ、結局サクシオンの定量的評価が可能となる。本研究で用いた $\Delta P'$ 評価の手順は、文献1)で用いた手順と同様である。ただし、文献1)では $\sigma - \epsilon$ 関係を示すデータ点間の補間に3次スプラインを、また、図-1の曲線群の曲面化に際して双3次スプラインを用いたが、ここでは、前者に対して

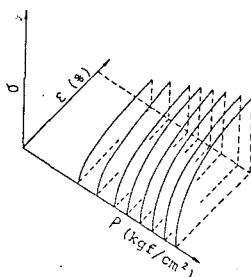


図-1 三次元空間における $\sigma - \epsilon$ 曲線群

AkimaのSmooth Curve Fitting Methodを、後者にSmooth Surface Fitting Methodを採用した。Smooth Curve Fitting Methodは、平面内に与えられたデータ点を補間、またはなめらかな曲線でfitさせるための手法である。この手法によれば、スプライン関数によるデータ点の補間の際にしばしば生じる'over-shoot'を起こすことがない。また、Smooth Surface Fitting Methodは、Smooth Curve Fitting Methodを三次元に拡張したものである。さて、村田らの報告⁵⁾の中に、一定の P' のもとではある特定の S_r のときに、不飽和土の強度がピークに達する結果が示されている。いいかえると、 P' 一定の条件下では、 $\Delta P'$ と S_r の関係は、ピークをもつ曲線になる。そして、当然のことながら P' が変化すれば $\Delta P' - S_r$ 関係も変化する。したがって、 $\Delta P'$ は S_r と P' の関数であると考えられる。このような $\Delta P' - S_r - P'$ 関係を何らかの方法で関数表示しておけば、本研究の終局目的である非連成応力・変形解析への $\Delta P'$ の導入の際に好都合である。そこで、限られた

数の実測データをもとに、 $\Delta P'$ - S_r - P' 関係の三次元空間表示を試みた。以下にその手順を簡単に述べておく。まず、同じ P' の下で、各々異なる適当な S_r を有する数本の不飽和供試体の三軸圧縮試験を行い、その結果から、それぞれの S_r での $\Delta P'$ の値を評価する。この操作を数種の適当な P' について行う。つぎに、各 P' ごとに、評価された $\Delta P'$ と S_r の関係を示す曲線を求める（図-2参照）。そして、これを P' をパラメータとして一般表示する。すなわち、図-2の $\Delta P'$ - S_r 関係を表す曲線群を用いて $\Delta P'$ なめらかな曲面をつくる。この曲面は、 $\Delta P'$ - S_r - P' 関係を表す曲面であり、これを用いれば、任意の一组の S_r と P' に対する $\Delta P'$ の値が評価可能となる。本研究では、 $\Delta P'$ の評価のときと同様、 $\Delta P'$ - S_r 関係を示すデータ点間の補間にSmooth Curve Fitting Methodを、そして、それら曲線群の曲面化の際にSmooth Surface Fitting Methodを採用した。

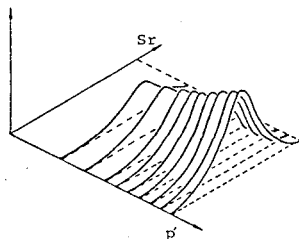


図-2 三次元空間における $\Delta P'$ - S_r 曲線群

3. 適用例： 今回、供試体試料として豊浦標準砂を用いた。そして、すべての供試体に対して三軸圧縮排水非気試験を行った。このときの、それぞれの供試体の飽和度、

側圧、初期間隙比及び破壊時の主応力差の値を表-1に示す。そして、これらの実験結果をもとに、 $\Delta P'$ の評価を行った。この結果を表-2に示す。

次に、表-2の結果を用いて前節で述べた手順で、

$\Delta P'$ - S_r - P' 関係の三次

元空間表示を試みた。その結果得られた曲面を図-3に示してある。また、図-4は $\Delta P'$ - S_r - P' 関係における $\Delta P'$ の等高線である。図-3を見ると $\Delta P'$ は S_r に対してピークをもつ曲線であることがわかる。この傾向は、村田らの報告と一致している。

また、現実には側圧が大きくなる程 $\Delta P'$ の値も大きくなると考えていたが、図-3、4を見る限りでは $\Delta P'$ の値はほぼ一定となっている。これは、表-2からわかるように、 $\Delta P'$ の値が全般的に小さく、それらの値の間で有意の差がでなかったためと思われる。今後はマサ土のようなサクシヨンの効果が大きい材料で検討する必要がある。

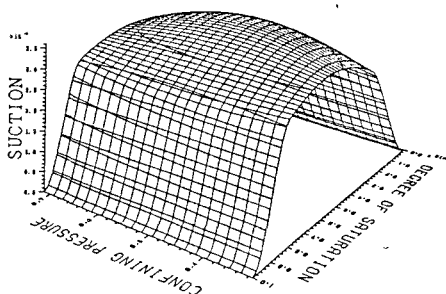


図-3 $\Delta P'$ - S_r - P' 曲面

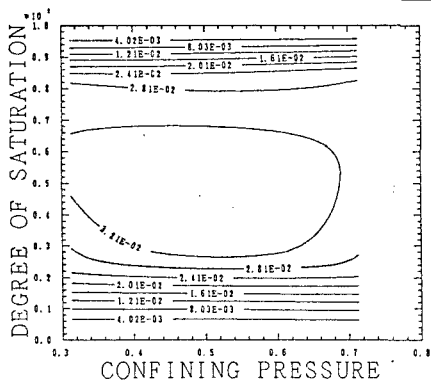


図-4 $\Delta P'$ の等高線

表-1 三軸圧縮試験時の諸数値

側圧 P' (kgf/cm^2)	飽和度 S_r (%)	初期間隙比 e_0	$(\sigma_1 - \sigma_3)_r$ (kgf/cm^2)
0.313	25.8	0.624	1.708
	49.7	0.612	1.740
	80.0	0.610	1.731
	100.0	0.614	1.591
0.513	29.6	0.610	2.678
	47.9	0.607	2.676
	81.9	0.608	2.653
	100.0	0.612	2.528
0.713	25.6	0.612	3.555
	54.7	0.617	3.555
	82.4	0.607	3.551
	100.0	0.611	3.414
0.913	100.0	0.611	4.450

表-2 評価された $\Delta P'$

側圧 P' (kgf/cm^2)	飽和度 S_r (%)	$\Delta P'$ (kgf/cm^2)
0.313	25.8	0.027
	49.7	0.033
	80.0	0.029
0.513	29.6	0.034
	47.9	0.036
	81.9	0.027
0.713	25.6	0.028
	54.7	0.031
	82.4	0.028

4. あとがき： $\Delta P'$ - S_r - P' 関係を三次元空間表示することで、任意の S_r と P' に対する $\Delta P'$ を評価する手法を確立した。今後は、 $\Delta P'$ を導入した非連成応力・変形解析法を構築しなければならない。

〔参考文献〕 1)山上ら：第39回中四土木学会, pp. 199-200, 昭和62年。 2)Akima, H. : J. of the ACM, Vol. 17, No. 4, pp. 589-602, 1970。 3)Akima, H. : Comm. of the ACM, Vol. 17, No. 1, pp. 26-31, 1974。 4)山上ら：第38回中四土木学会, pp. 251-252, 昭和61年。 5)村田ら：第36回中四土木学会, pp. 165-166, 昭和59年。