

## 粘性土の降伏応力決定法の一考察

琉球大学 学生会員 ○ 又吉 康之  
正会員 上原 方成  
正会員 原 久夫  
宮原 慶

## 1. はじめに

飽和粘土は正規圧密状態で弾塑性体として過圧密状態では弾性体として挙動し、過圧密状態（弾性）から正規圧密状態（弾塑性）の移行の際に降伏という現象が生じることはよく知られている。この飽和粘土の降伏時の応力、すなわち降伏応力を応力-ひずみ関係から実験的に求める方法は、標準圧密試験において荷重は鉛直方向、変形は一次元に限定されるような圧密に伴う降伏応力の決定法としては、間隙比 $e$ と平均有効応力 $p$ の関係をを用いる三笠の方法等が知られている。しかし三軸状態下において、三次元の応力変動に対応した降伏応力の決定法となるとあまり例がみられない。そこで、本文では今回は三軸状態下で各種の応力経路で繰返し载荷を行った実験データから得られた応力-ひずみ関係から、降伏応力を実験的に決定する方法について検討したのでここに報告する。

2. 降伏応力と応力-ひずみ曲線<sup>1)</sup>

飽和粘土の典型的な応力-ひずみ曲線を図2-1に示す。この図に示されるように、正規圧密状態では、弾塑性の挙動を示し、過圧密領域では弾性的挙動を示す。そして、弾性的状態と弾塑性状態との境界としての降伏点をこの曲線上で明確に決定しようとするには2, 3の不都合な問題がある。その問題点とは次のようなものである。

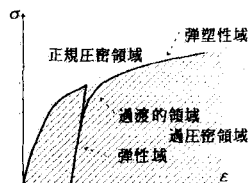


図2-1 応力-ひずみ曲線概念図

1) 特定の応力経路試験によっては、ある応力-ひずみ曲線上で降伏応力が明確に現れない場合があること。例えば、 $p$ -一定試験での平均有効応力  $p$ -体積ひずみ  $\epsilon_v$  曲線や、 $\eta$ の低い状態での $\eta$ -一定試験の偏差応力  $q$ -せん断ひずみ  $\gamma$  曲線などの場合がそれにあたる。

2) 弾性状態から弾塑性状態に移行する際には過渡的領域が存在し、その領域の範囲がそれぞれのケースにより違うことと、その過渡的領域のどこで降伏したとみなすか、という問題がある。

そこで本考察においては、降伏という概念を、弾性状態から弾塑性状態に移行する際の先に述べたような過渡的な期間を基本的に認めた上で、その過渡的領域内で塑性変形を十分に生じる点を降伏点と定めて次のような曲線について降伏応力を2つの方法で求めることにする。

① 偏差応力  $q$ -せん断ひずみ  $\gamma$  曲線

② 平均有効応力  $p$ -体積ひずみ  $\epsilon_v$  曲線

③ 応力比  $\eta$ - $k_m$  曲線 または 平均有効応力  $p$ - $k_m$  曲線

ここに $k_m$ は諸戸、川上(1974)の示した状態量であり次式で示される。

$$k_m = W/p = \int dW/p = \int d\epsilon_v + \int \eta \cdot dr \quad \dots \dots (2-1)$$

$$W = \int dW = \int p \cdot d\epsilon_v + \int q \cdot dr \quad W: \text{全仕事} \quad \dots \dots (2-2)$$

$\eta$ - $k_m$ 曲線または $p$ - $k_m$ 曲線を用いれば、特定の応力経路試験に対し降伏応力が定まらないことはなく、また圧密とせん断の効果が連成し合っ降伏が生じると考えれば、 $k_m$ から降伏応力を求めることは、利点が多いと思われる。また、ここでは先にも述べたように過渡的領域内で塑性変形を十分に生じる点としての降伏点を、①、②、③の応力-ひずみ曲線でそれぞれのひずみ成分が応力成分に対し最も急増する点であると仮定して、次節に述べるような2つの方法でその点を求めて、比較検討を行った。

## 3. 降伏応力決定法について

今回使用した2つの決定法の共通した基本的考え方は、応力-ひずみ曲線を2直線で近似し、それを利用して弾性-弾塑性の過渡的領域を求めるということである。次にその2方法について述べる。

(決定法1)<sup>2)</sup> 三浦・山本(1982)によれば降伏点を決定するための手段として座標スケールの選び方の影響が少なく、比較的簡単に降伏応力が求まり、合理的であると明らかにされた、図3-1で示すような応力-ひずみ曲線を算術目盛り上の最大曲率点で降伏応力を決定する方法。

(決定法2) 図3-2に示すように、応力-ひずみ曲線を過渡的領域内のある区分点で弾性域、弾塑性域の2つの部分に分け、それぞれの部分を最小二乗法で直線近似し、この2直線の交角 $\alpha$ の2等分線を求める。このような操作を過渡領域内のいくつかの区分点について繰り返して行い、その区分点が2等分線上にあるような場合の2つの近似直線の交点を降伏点とみなす方法。この方法は数値計算のみによって降伏点を決定するので、スケールによらないという利点を持つが、十分な数の測定データを必要とする。

#### 4. 結果および適用例

先に述べた2方法を用いて、1つの応力経路上で繰返し載荷を行った平均有効応力一定せん断試験、応力比一定異方圧密試験、および排水せん断試験のそれぞれについて求めた降伏応力と過去最高応力の比較を図4-1、図4-2に示す。図4-1は $\eta-k_m$ 、または $p-k_m$ 曲線を用いたもので、図4-2は $p-\varepsilon_v$ 、または $q-\gamma$ 曲線を用いたものである。両図とも、方法1を黒印で、方法2を白印でプロットした。

この両図から分かるように方法1よりも方法2での推定値の方が過去最高応力点に近く、方法1は方法2より推定値が高くなることが分かる。また、推定値は使用する曲線によってあまりかわらないが、 $p-\varepsilon_v$ 、または $q-\gamma$ 曲線上で方法1を用いた場合方法2より高い推定値が得られることが多かった。これは、 $p-\varepsilon_v$ 、または $q-\gamma$ 曲線よりも、 $\eta-k_m$ 、または $p-k_m$ 曲線のほうが過渡的領域が明瞭に現れるためだと推測される。そして、試験種類による顕著な差はみられないが、応力レベルの低い場合には両方法とも推定値が過去最高応力よりも高くでることがわかる。これは塑性ひずみの発生が少ないような低い応力状態で繰返し載荷を行うと、図4-3に示されるように処女曲線の勾配が大きいため過渡的領域の応力が過去最高応力よりも大きくなるためだと推測される。この差は算術目盛りを用いる方法1の方がスケールによらない方法2よりも大きい値となった。これらの結果より降伏曲面の概形を求める場合、方法1、2のいずれも十分適用できると推測され、特に方法2はスケールの影響や個人差のない点で方法1よりも優れていると思われる。

#### 参考文献

- 1) 安福規之(1990): "広範な応力域における異方圧密砂の降伏特性と弾塑性式に関する研究", 山口大学学位論文
- 2) 三浦哲彦, 山本紀之(1982): "粒子破碎領域における砂の降伏曲線について", 土木学会論文報告集 No. 326, PP. 83-90

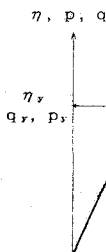


図3-1 降伏点の決定法1

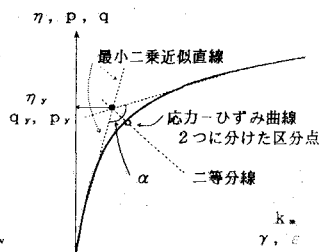


図3-2 降伏点の決定法2

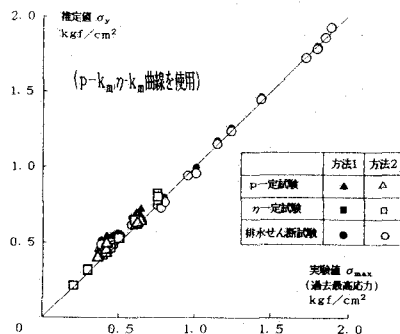


図4-1 実験値(過去最高応力)と決定法による推定値の比較

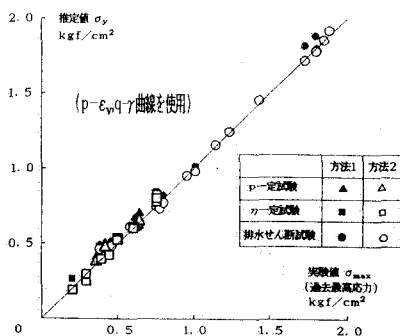


図4-2 実験値(過去最高応力)と決定法による推定値の比較

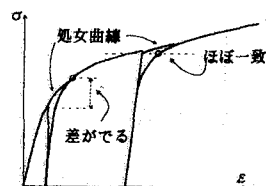


図4-3 処女曲線が $\sigma_y$ の推定値に与える影響