

I - B274 地中構造物に作用する側方流動荷重を抗力で扱う場合の留意点

（財）電力中央研究所 大友敬三

1. はじめに

地中構造物模型に作用する側方流動の荷重は側方流動の速度に比例的であることが既往の振動台実験によって確かめられている（大友，1997）．一方，液状化した地盤中においてパイプを横引きする実験においても，パイプに作用する抵抗力は速度依存性を示すことが認められている（Orense，1992）．これらの実験事実は，地盤が完全に液状化して泥水状になって流動すると地中構造物に作用する側方流動の荷重は抗力でモデル化することが可能なことを示唆している．抗力を適用する場合には液状化地盤が粘性流体としての特性を示していなければならない．本稿はこの点について若干の考察を加えた結果を報告している．

2. 液状化地盤の粘性の性質

液状化した地盤を砂粒子と間隙水の混合体と考える．この混合体が側方流動として移動すれば，土粒子と間隙水の間の相対運動，土粒子同士の衝突，あるいは混合体と構造物との接触などにより粘性抵抗が生ずると考えられる．粘性係数 η は，もともとは粘性流体のせん断応力 τ とせん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}$ の間の比例定数であり，

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \dots\dots\dots (1)$$

で表せる．さらに，

せん断応力とせん断ひずみ速度の関係を n 乗則に基づいて，表示すると式(2)のようになる
（Wilkinson and Chem, 1960）．

$$\tau = k \dot{\gamma}^n \dots\dots\dots (2)$$

ここで， n, k は定数である．みかけの粘性係数 η_a を式(3)で定義する．

$$\eta_a = \tau / \dot{\gamma} \dots\dots\dots (3)$$

したがって， η_a はまた，

$$\eta_a = k \dot{\gamma}^{n-1} \dots\dots\dots (4)$$

のように書ける． $k = \eta$ ， $n = 1$ の場合がニュートン流体のケースである．式(2)と式(4)のそれぞれを概略的に示すと，図-1のようになる．図-1(b)より $n = 1$ の場合はせん断ひずみ速度によらず，みかけの粘性係数は一定であり， $n \neq 1$ の場合では，みかけの粘性係数がせん断ひずみ速度によって変化することを示している．

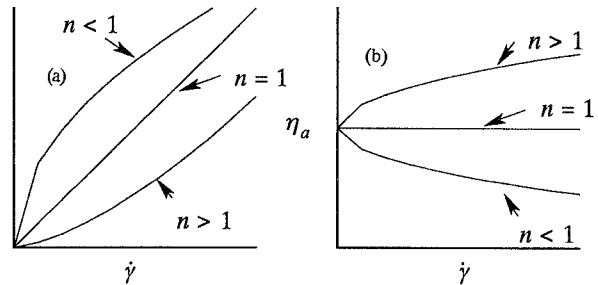


図-1 n 乗則に基づく粘性特性の概念
(a) τ と $\dot{\gamma}$ の関係，(b) η_a と $\dot{\gamma}$ の関係

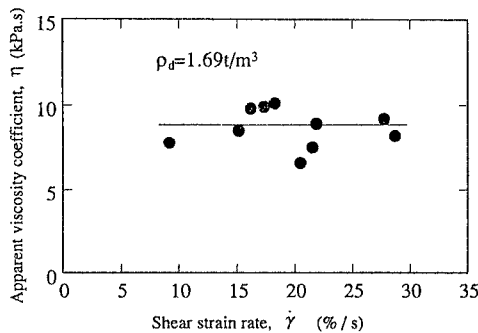


図-2 Zhan(1994) による粘性特性

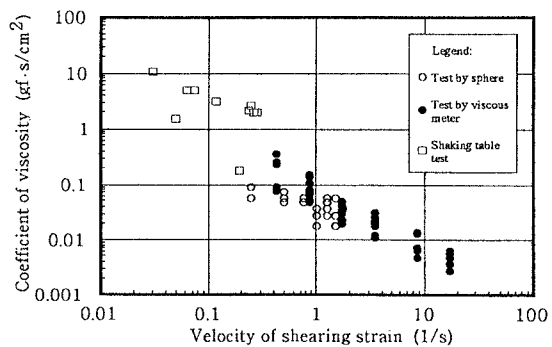


図-3 川上ら（1994）による粘性特性

キーワード：地中構造物，液状化，側方流動，粘性，抗力

〒270-11 我孫子市我孫子1646 電話 0471-82-1181 FAX 0471-84-2941

$n = 1$ の場合については、図-2に示すZhang(1994)の実験によって示されている。一方、 $n < 1$ の場合に相当するような結果は図-3に示す川上ら（1994）の実験で与えられている。しかしながら、 $n > 1$ となるような実験結果は現状では示されていない。Zhang(1994)の実験データは、非排水繰返し3軸試験結果に基づいている。一方、川上ら（1994）の実験データは、液状化砂中の球引上げ実験、回転式粘度計、振動台実験などから得られたものである。これらの方法では、液状化した砂をいわば攪乱している。このような実験方法の違いが図-2と図-3のような結果になったと考えられる。

$n < 1$ となる場合は、液状化した地盤において土粒子骨格と間隙水からなる骨格構造がせん断とともに次第に破壊されることを意味している。せん断速度が速いと破壊された骨格構造が再配列される時間的余裕がないので、みかけの粘性はせん断ひずみが速度とともに次第に減っていくと考えられる。逆に、 $n > 1$ となる場合は骨格構造がいわば膨張する状態である。少なくとも、ゆるい砂地盤が完全液状化した条件においては、このケースは生じないと思われる。

3. 抗力

図-4のように粘性の性質を持つ混合体の流れの中に外径 D の円柱状の地中構造物（たとえば、杭）が置かれた状態を考える。速度の方向と直角方向の速度分布を $u(y)$ とする。ここで、 $u(y)$ は地中構造物から充分離れた距離 H で平均流速 U に達すると仮定する。この条件では、

$$u(y) = (Hy - y^2/2) / \eta \quad \text{..... (5)}$$

が成立つ。一方、平均流速は

$$U = \int_0^H u(y) dy / \int_0^H dy \quad \text{..... (6)}$$

で評価できる。混合体中のせん断応力は

$$\tau = \eta du/dy \quad \text{..... (7)}$$

だから、式(5)～式(7)から、抗力 f （単位長さあたりの力）はみかけの粘性係数を用いて

$$f = \alpha \eta_a UD / H \quad \text{..... (8)}$$

で表すことができる。ここで、 $\alpha = 1/6$ である。一方、

$\eta_a = k \dot{\gamma}^{n-1}$ において、 $k = \eta$ とおけば、

$$f = \alpha \eta (U/H)^n D \quad \text{..... (9)}$$

が得られる。

ここで、 $n = 1$ の場合と $n < 1$ の場合について式(9)による抗力を比較してみる。ここでは、簡単のため、 η, H, D などはすべて単位量とし、 U のみを変化させた。 $n = 1$ の場合と $n < 1$ の場合の抗力を U に対して示すと図-5のようになる。 $n = 1$ の場合は当然、速度に正比例して抗力は増加する。一方、 $n < 1$ の場合は速度に対して漸増する傾向を示す。これらの関係と図-1を対応させることは、抗力が作用している際の液状化地盤の粘性の性質の評価に役立つと考えられる。

4. まとめ

液状化地盤の粘性の性質に関する既往の実験データの特性を分析し、これらと抗力の対応関係を明確にした。

参考文献

川上ほか（1994）：第29回土質工学研究発表会，pp.819-822，大友（1997）：土木学会論文集（投稿中），Orense（1992）：東京大学学位論文，Wilkinson and Chem(1960)：Non-Newtonian Fluids, Pergamon Press., Zhan(1994)：Soils and Foundations, Vol.34, No.4, pp.51-65.

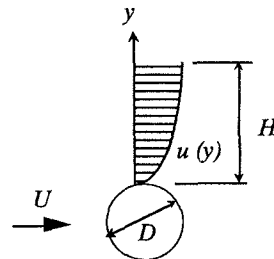


図-4 地中構造物に対する混合体の作用

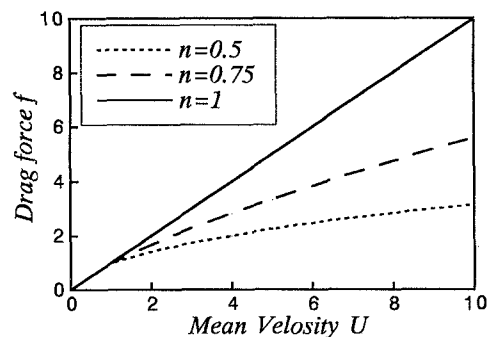


図-5 抗力と速度の関係