

1. まえがき

筆者は繰り返しせん断時の砂の応力ひずみ曲線をモデル化するために、骨格曲線として双曲線を、履歴ループとしてMasing則を基に骨格曲線を二倍に引き伸ばしたものを、採用して来た。ところがこの方法では、排水繰り返しせん断時に、応力振幅一定ならひずみ振幅も一定となり、実験的事実に合わない。本稿ではこの点を改良したモデルを提案する。

2. 実験結果

図1は中気抜き試験装置により得られたゆい豊浦砂($D_r = 46\%$)の応力振幅一定排水繰り返し試験の結果である。これを見ると繰り返し回数と共にひずみ振幅が小さくなっており(硬化)、その原因はせん断定数の増大にある。第一、第三サイクルの割線せん断定数を比べると 6193 kPa から 16760 kPa まで2.7倍に増加したが、その間、密実化の影響 $(2.17 - e)^2 / (1 + e)$ は、1.041 から1.065にしか増えていない(e は間隙比)。同様の現象は密実豊浦砂($D_r = 93\%$)についても得られている(図2)。

3. 硬化モデル

仮に砂の応力ひずみ曲線を双曲線で近似すれば、割線定数 G と微小ひずみ時のせん断定数 G_t との関係は

$$G = G_t (1 - \tau/\tau_s) \quad (1)$$

で与えられる。応力振幅で一定の排水せん断ではせん断強度 τ_s も一定だから、 G と G_t は比例する。ゆえに実験的に G の増加特性を調べ、モデルの中では同じ特性を G_t に付与することができる。

図3は、割線定数 G がその初期値 G_{ini} (図1で直線OAの傾き)に對しどのくらい増加したか、を調べたものである。縦軸は比 G/G_{ini} であり、図1で過程A→Bに注目すれば、この比は(ABの傾き)/(OAの傾き)に等しい。 G と G_t は比例するから、縦軸は G_t の増加を表わす。と見てよい。一方横軸は、累積した単位体積当たりのせん断仕事 W_s であり、過程A→Bについては、その始点Aでの値を用いている。本図の $G/G_{ini} \sim W_s$ 関係をそのまま $G_t/G_{ini} \sim W_s$ 関係として採用し、せん断時に載荷方向が逆転する毎に、それ以前に累積した W_s に応じて G_t を変更し、次の過程の計算に使用す、というのが今回のモデルである。

図3の $G/G_{ini} \sim W_s$ 関係を次式で近似する。

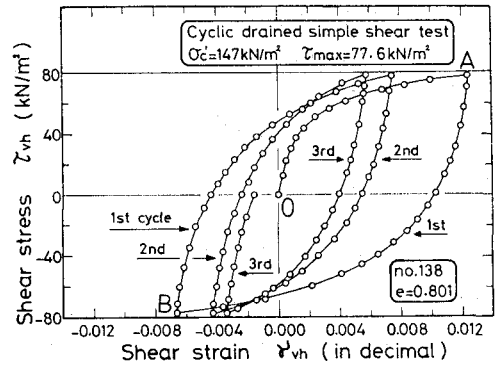


図1 ゆい豊浦砂の繰り返し排水せん断

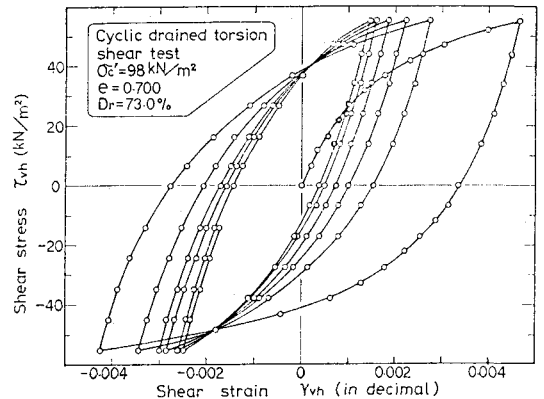


図2 密実豊浦砂の繰り返し排水せん断

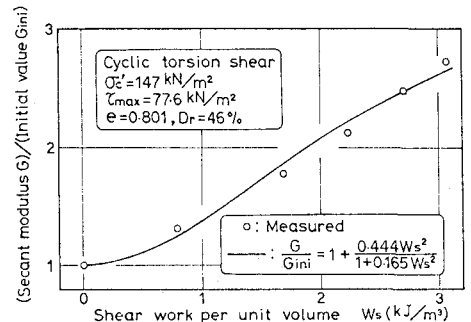


図3 砂の硬化とせん断仕事の関係

$$\frac{G}{G_{ini}} = 1 + \frac{A \cdot W_s^2}{1 + B \cdot W_s^2} \quad (2)$$

この式は、(i)累積したせん断仕事が無視できる時には、 G がほとんど増大しない、(ii)共振試験のように繰り返し回数が非常に大きくなると、 G が一定値に収束する事を考慮し、 $W_s \rightarrow \infty$ の時に G/G_{ini} も収束する、という特性を持っている。図3のデータについて最小自乗法で A, B を計算したところ、 $A = 0.444, B = 0.165$ を得た。

4. 多重非弾性バネモデルへの適用

筆者は、主応力軸の回転する場合の土の応力ひずみ関係を計算するため、図4のようなモデルと考案している(昭和59年土木学会年報 pp. 21)。これは、多数の非弾性バネ(双曲線形バネ力~変形関係を持つ)でつながれた中央の作用点に外力を加えてその変位を計算し、外力と変位の関係が二次元場のせん断応力とひずみの関係に等しい、とするものである。このモデルに使われているバネ各々に、前項で提案した硬化法則(式12)を適用してみた。それぞれのバネが破れた変形仕事に応じて、載荷方向が逆転する度に、そのバネ定数を増加させて行く、と考えている。

図5は、図1に示した両振り繰り返し排水せん断を、多重非弾性バネモデルにより計算したものである。繰り返し載荷によって砂の硬化して行く様子がよく再現されている。

図6は、片振りの繰り返し排水せん断を計算した例である。このような場合、繰り返しによってひずみが一方に漸増する現象が実験的に知られているが、同じ現象がモデルによっても再現された。

5. あとがき

ここで提案した硬化モデルは、かなり有効なものである。但し、基となる実験データが、図2のように僅か3サイクルしか繰り返しを含まない。これはせん断仕事を測定するためには刻々の応力、ひずみを記録する必要があり、速度の遅い静的試験に頼らざるを得ないからである。今後の方針としては、計測を自動化し、周期10秒程度の動的試験を行なって、少なくとも数十サイクルに亘るせん断定数と仕事の関係を調べたい、と思っている。

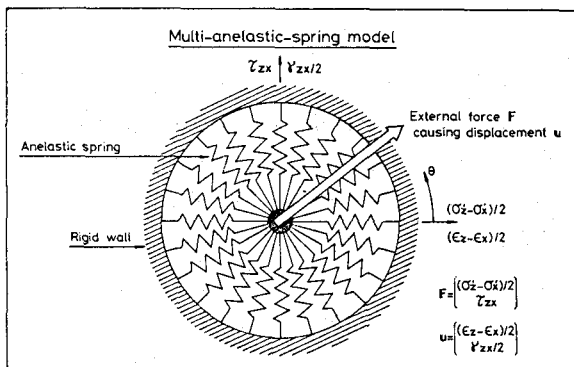


図4 多重非弾性バネモデル

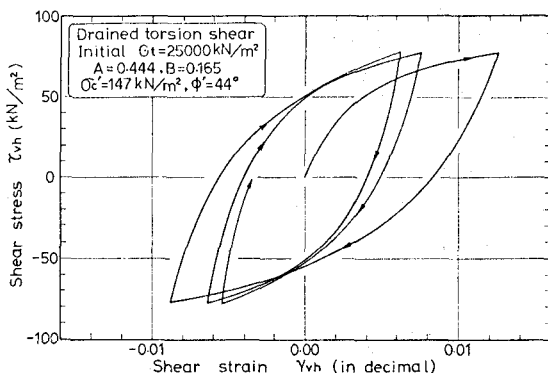


図5 両振り排水繰り返しせん断 (計算例)

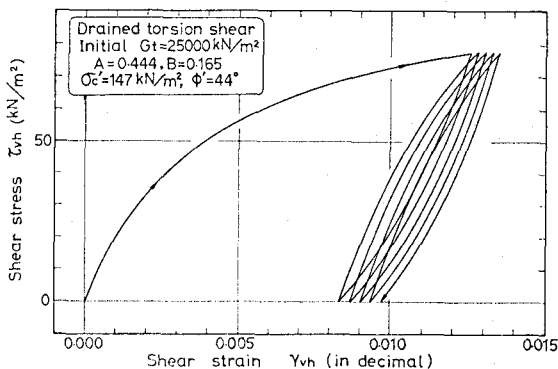


図6 片振り排水繰り返しせん断 (計算例)