

日本大学理工学部 正 員 中 山 晴 幸

日本大学大学院 学生員 黒 瀬 真 利

1. はじめに

初期の土粒子構造がせん断時の変形特性に及ぼす巨視的応答については、すでにいくつかの例を報告している¹⁾が、それら巨視的応答を微視的な観点から見直してみると、土の変形特性および強度特性が異方性を示す因子として、初期の土粒子配向構造とせん断時の主応力方向の変化を挙げることができよう。この2つの因子がせん断時における土粒子の動き、それに伴うせん断ゾーンの差といった微視的な挙動を引き起こし、巨視的には変形特性や強度の違いとして現れてくるものと考えられる。

本研究は巨視的な応答である変形、強度特性を土粒子の再配列・回転あるいは、せん断ゾーンの差といった微視的動きから説明しようとするもので、せん断前後の供試体を電子顕微鏡（以下SEMと略す）で撮影・観察し、巨視的な応答と対応づけたものである。なお、実験方法については前報¹⁾と同様なので省略する。

2 巨視的応答について

水平変位Dとせん断応力 τ との結果を図-1に示した。これによると、(+)供試体は初期に明確なピークを持ち、その後急激に軟化して残留強度へと移行しているが、(-)供試体については(+)ほど明確なピークは見られずに、最大強度付近を維持しながら3~4mmほど変位した後に緩やかに残留強度へと移行している。しかも強度は(+)に比較して低い値である。0°供試体については、せん断方向と配向方向が一致していることから、他の供試体に比べかなり低いせん断強度を示している。最終的には、各供試体の残留強度がほぼ一定値へ落ち着いていることがわかる。

3 せん断中の土粒子再配向について

図-2には、+45°供試体について、せん断過程におけるせん断面付近の土粒子再配列の様子をp e dの平均配向角度と配向度Mによって示した。図中楕円形の長軸は、SEMによる観察により求めた平均配向角度の方向を示している。せん断前の供試体はそれぞれ設定した配向方向にp e dが配向し、その配向度は約60%である。せん断が進行すると、+45°供試体はせん断面方向に再配列して配向度が徐々に高くなり、最終的には約70%程度に達する。この再配列は、約4mmの変位で観察した時点から8mmまであまり変化が見られないことから、再配列はピークから軟化過程までの1mm~2mmの間ですでに終了しているものと考えられる。一方、-45°供試体は、ピークから軟化する時点の4mm程度までの間に配向度が約30%程度まで低くなり、しかも土粒子は約90°回転しているようである。その後変位が4mm以上になるにつれて、配向度は高くなり、最終的にはせん断面に沿ってp e dが配向するために、ほぼ+45°供試体と同様な配向度になる。このように、(+)供試体と(-)供試体とでは明らかにせん断中の土粒子再配列の様子が異なり、-45°供試体ではせん断面付近のp e dが180°回転するために、せん断によって影響される範囲が大幅に異なる。

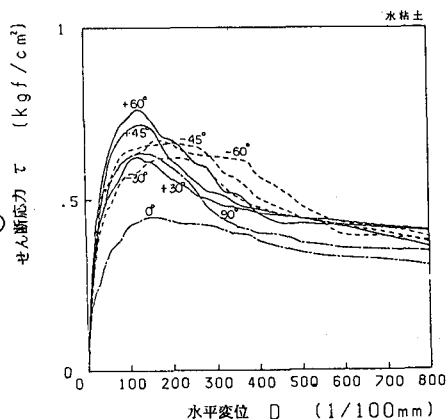


図-1 せん断応力~水平変位関係

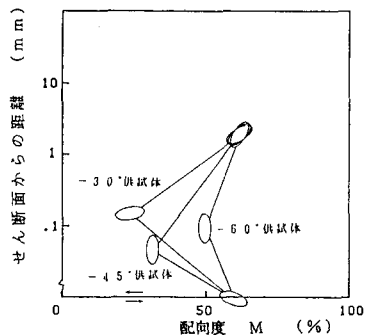


図-2 せん断面からの距離と土粒子の平均配向角度および配向度M

4. せん断によって影響される範囲

図-3は(-)供試体がせん断によってどの程度の範囲まで $p e d$ の再配列があるかをSEMによって観察した結果を示している。同じく図中の楕円形の長軸は $p e d$ の平均配向度である。これによると、せん断による影響はせん断面から約 $\pm 1 \sim 2 \text{mm}$ 程度まで及んでいるようで、せん断ゾーンとしては $2 \sim 4 \text{mm}$ の幅を持つようである。

個々に詳しく観察すると、3種類の供試体はせん断面ではほぼ同じ平均配向角度で $60 \sim 70\%$ と高い配向度を示しており、図-2同様高い配向度で再配列していることがわかる。

-45°供試体について注目すると、せん断面から上方に行く

につれて配向方向角度が垂直方向に近づき、配向度が低くなっている。さらに上方にいくと初期構造に近い配向角度で高い配向度を示すようになる。この様子は図-4のせん断面と $p e d$ のなす角の頻度分布図を参照するとわかりやすい。せん断面での配向方向は、 0° より+方向へ少しズレてはいるがかなり配向度は高いことが分かる。せん断面より 0.05mm 上方では、 90° 付近の頻度が少し高い値を示し、全体的に頻度は低い。このことは、ある範囲に配向していた $p e d$ が回転を起こしたために乱れていることを表しているものと考えられる。さらに上方の 2mm では、初期配向構造の -45° 付近に高い頻度を示し、初期構造が保持されているものと考えられる。したがって、この場合のせん断ゾーン

はかなり幅が広いものであると考えられる。それに対して(+)供試体のせん断ゾーンは $10 \sim 100 \mu \text{m}$ 程度と比較にならないほど狭く、図に示すことができないほどの違いがある。このような微視的挙動の違いが巨視的な応答に対してかなり大きな影響を与えているものと考えられる。

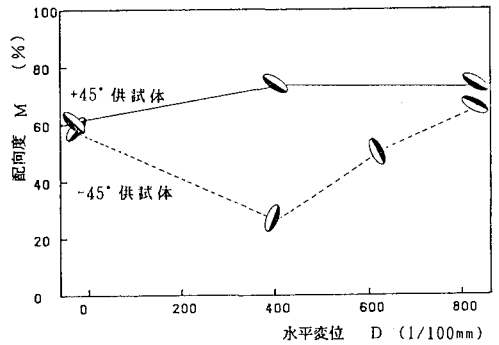
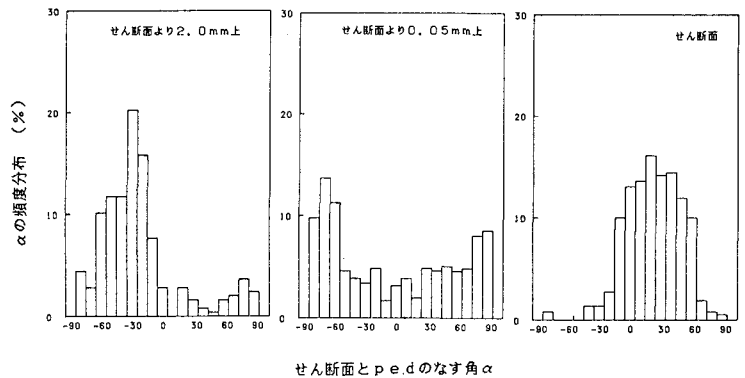


図-3 せん断中の $p e d$ の平均配向方向と配向度M



せん断面からの位置の差による α の頻度分布

5. 微視的挙動と巨視的な応答について

このような微視的挙動が、巨視的な応答すなわちせん断特性に対してどのような関係にあるかを対応させて考えてみると、次のようになる。(+)供試体として+45°供試体についてみると、巨視的な応答については2で述べたように初期に高いピーク値を示し、その後は急激にせん断応力が低下する。せん断変位 4mm 程度で再配列の終了を示しているのは図-2で示した土粒子の動きと一致し、また初期の高いピーク値と急激な低下については、せん断によって生じる $p e d$ の再配向が、非常に狭いせん断ゾーンではほぼ同時期にいっせいに起きるためであると考えられる。次に、-45°供試体については、明確なピークを持たずに最大強度付近を維持し、その後緩やかに軟化して残留強度に落ち着いている。これも同じく図-2,3に示されているような土粒子の動きと一致している。とくに最大強度付近をしばらく維持するのは、 $p e d$ が回転をするために図-2に示したように広いせん断ゾーンを必要とし、そのために分散的な強度を発揮するためであろう。微視的挙動である土粒子の動きや、せん断ゾーンの幅が巨視的な応答である変形・強度特性とよく対応することがこれで説明できるようである。

参考文献：1)たとえば、中山・和田、構造異方性をもつカオリン粘土のせん断特性；19回土質工学会研究発表会