

III-A 340 平面ひずみ圧縮試験による堆積軟岩の破壊時変形特性

東京大学大学院	学	○真栄城	徳泰
東京大学大学院	学	早野	公敏
東京大学生産技術研究所	正	佐藤	剛司
東京大学工学部	正	龍岡	文夫

はじめに：堆積軟岩地盤の破壊時挙動の検討のためには、その 10^{-6} の微小ひずみから残留時までの範囲で連続的に応力～ひずみ関係が必要となるが、せん断層の発生後から残留状態に至るまでの詳細な挙動はほとんど調べられていない。本研究では約200万年前に堆積した相模原台地西部のマイクロクラックの存在がほとんどなく、一様性が高い新第三紀上総層群の堆積軟岩地盤で深さ約50mでブロックサンプリングした試料を用いて、堆積軟岩のせん断層発生後の挙動を調べた。

実験方法：試料の軸変形を測定するために、左右2カ所に局所変形測定装置（LDT）を設置し、試料の水平変形を測定するために左右6カ所に非接触変位計（ギャップセンサー）を設置した（図1）。また、平面ひずみ状態を達成するために二枚の拘束板で試料を拘束した。

軸変形・水平変形と応力の関係：図2に典型的な軸ひずみ ϵ_1 と軸差応力 $q(=\sigma_1 - \sigma_3)$ の関係を示す。 $q=69.3\text{kgf/cm}^2$ のピーク付近までは、左右のLDTで測定した軸変形にはほとんど差はない。しかし q のピーク以後、 q の低下に伴ってせん断層を挟んでいるLDT2によって測定された軸ひずみ $\epsilon_{1(LDT2)}$ は増大しているが、せん断層を挟んでいないLDT1によって測定された軸ひずみ $\epsilon_{1(LDT1)}$ は減少している。これは、せん断層以外の部分は q の低下に伴って弾性除荷変形したのに対し、せん断層部分では塑性ひずみが増加したことを示している。同様にせん断層を挟んでいるギャップセンサー3・4、ギャップセンサー5・6で測定した水平ひずみ $\epsilon_{2(gap3,4)}$ と $\epsilon_{2(gap5,6)}$ の絶対値は q の低下に伴って増加しているが、せん断層を挟んでいないギャップセンサー1・2で測定した水平ひずみ $\epsilon_{2(gap1,2)}$ の絶対値は減少している（図3）。ただし、これらの実験では、 q のピークから残留状態の間では安定的にデータサンプリングをはできなかった。

せん断面に沿った横ずれ量 U_s とせん断層内部のダイレタンシー量 U_d の関係：図4のようなベクトル関係を用いて、LDTとギャップセンサーによって測定された軸ひずみの差と水平ひずみの差から、せん断面に沿った横ずれ量 U_s とせん断層内部のせん断層に垂直なダイレタンシー量 U_d をもとめた。図5に動員された摩擦角 $\phi_{mob} = \arcsin\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3}\right)$ と U_s の関係を示す。図6には二つの実験データを示す。 q のピークから残留状態に至るまで1mm程度せん断面に沿って横ずれし、せん断層に垂直に0.5mm程度ダイレタンシーを起こしている。また、残留状態になっても、ダイレタンシー量 U_d が増加し続けているが、これはせん断面に発生した凹凸面の影

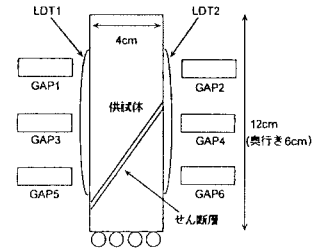


図1 変位計設置位置

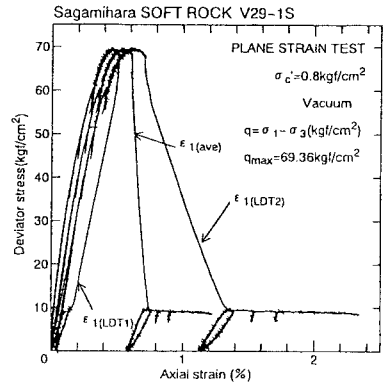


図2 軸ひずみ～軸差応力

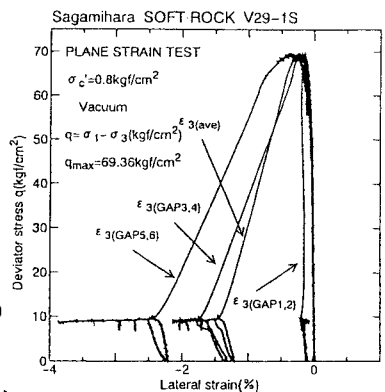


図3 水平ひずみ～軸差応力

響によるものと考えられる。

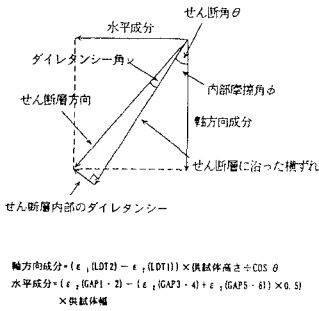


図4 ベクトル関係

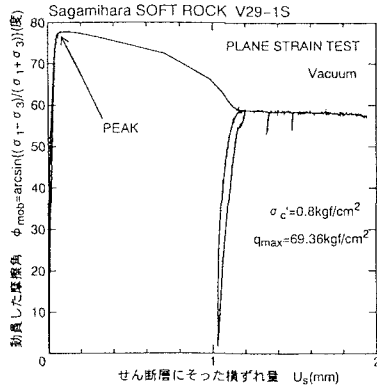


図5 動員された内部摩擦角
～横ずれ量

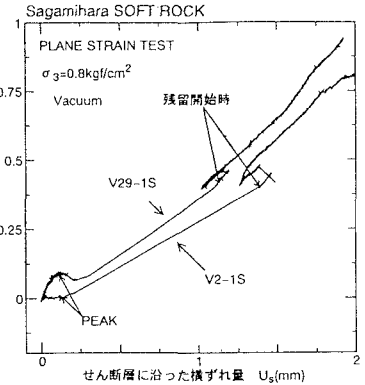


図6 横ずれ量～ダイレタンスー量

動員された摩擦角 ϕ_{mob} とダイレタンスー角 ν_{mob} : 図5を見ると q のピーク付近で ϕ_{mob} は約 80° 付近にまで達し、残留状態では約 60° 付近で安定している。平面ひずみ状態での豊浦砂の ϕ_{mob} は残留状態での約 35° と比べると大きな値である。また $\nu_{mob} = \arctan(dU_s/dU_a)$ の式を用いてダイレタンスー角 ν_{mob} を求めてみた(図7)。増分 $dU_s \cdot dU_a$ の値を小さくとした場合は ν_{mob} はせん断面の小さな凹凸の影響によって激しく変動し(図7直線)、増分 $dU_s \cdot dU_a$ の値をある程度大きくとした場合には約 30° で比較的安定した(図7白丸)。残留時の $\nu_{mob} = 30^\circ$ は豊浦砂の場合(ほぼ 0°)と比べて大きな値である。残留応力状態での ϕ_{mob} と ν_{mob} の関係と $\phi_s = \arctan(\tau_n / \sigma_n) = \arctan\{(\sin \phi_{mob} \times \sin 2\theta) / (1 - \sin \phi_{mob} \times \cos 2\theta)\}$ (図4参照) と ν_{mob} の関係を図8に示す。これらの値の関係は豊浦砂の一つの平面ひずみ試験での関係や多くの試験でのピーク時での関係と類似している³⁾。つまり、明確にせん断面が形成されているのに残留時の ϕ_{mob} の値が大きいのは、 ν_{mob} がゼロでない大きな値であるからだと言える。

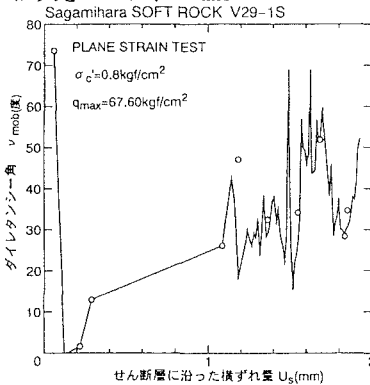


図7 ダイレタンスー角～横ずれ量

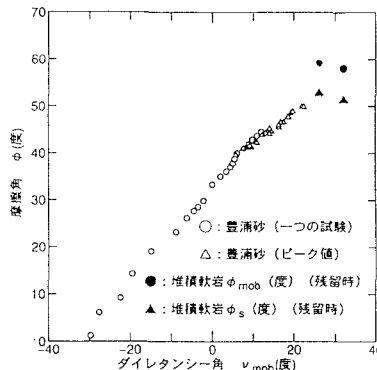


図8 堆積軟岩と豊浦砂の内部摩擦角
とダイレタンスー角の比較

結論: ①ピーク以後は、せん断層以外では荷重低下に伴ってリバウンドを起こして弾性的に軸方向に膨張し、水平方向に収縮する。②せん断層発生時から残留状態に至るまで、1mm程度せん断層に沿って横ずれし、せん断層の内部では0.5mm程度せん断層に垂直に膨張する。③堆積軟岩は残留状態に達しても、せん断層内部のせん断層に垂直なダイレタンスーが続き、大

きな摩擦角を示す。堆積軟岩の残留時の内部摩擦角 ϕ_{mob} とダイレタンスー角 ν_{mob} の関係は豊浦砂のピーク時の関係と類似している。

参考文献: 1) 佐藤剛司・早野公敏・真栄城徳泰・龍岡文夫(1996):「軟岩の平面ひずみ圧縮試験法の開発」: 本土木学会。2) 金有性・龍岡文夫(1992):「堆積軟岩の三軸圧縮試験におけるせん断層の発生」: 土木学会第47回年次学術講演会。3) 土の強さと地盤の破壊入門(p60~71):土質工学会。4) 真栄城徳泰(1996):「平面ひずみ圧縮試験による堆積軟岩の破壊時変形特性」: 東京大学卒業論文。