クーロンの破壊基準を適用する面の方向と摩擦比の関係

首都大学東京都市環境学部 正会員 吉嶺 充俊

これまでに、3次元応力状態における等方非粘着性物質(C=0)の破壊基準として、

$$(\alpha + \beta + 1) (\alpha \sigma_1^2 + \beta \sigma_2^2 + \sigma_3^2) = (R^2 + 1) (\alpha \sigma_1 + \beta \sigma_2 + \sigma_3)^2$$
[1]

$$\alpha = (\sigma_3/\sigma_1)^k, \quad \beta = (\sigma_3/\sigma_2)^k$$
^[2]

を提案している¹⁾. ここで σ_1 , σ_2 , σ_3 はそれぞれ最大・中間・最小主応力成分, *R*は破壊時の摩擦比, *k*はクー ロンの破壊基準を適用する基準面(*R*が発揮される面)の方向パラメータである. この方向パラメータ*k*は応 力空間内での破壊応力面の形状を表すパラメータにもなっている. たとえば, *k*=0のときは基準面は3種応力 成分方向すべてに対して等しい角をなす正八面体面であり破壊基準[1][2]は拡張フォンミーゼス基準に一致し, π 平面上での破壊応力条件は真円である. *k*を大きくしていくと σ_1 および σ_2 方向と基準面のなす角度が小さく なって行き,同じ*R*に対しても π 平面上での破壊応力条件の形状はひしゃげて次第に正三角形に近づいてくる. *k*=1では基準面は空間滑動面(SMP)となって破壊基準[1][2]は松岡・中井の基準に一致する.

破壊基準[1][2]のモデルパラメータ(強度定数)は $R \ge k \circ 2 \circ 0$ である. これら 2 $\circ 0$ パラメータを実験から求めるためには、いろいろな 3 次元応力条件でのせん断試験を行って破壊時の主応力成分 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ の組み合わせを観測した上で、いろいろな k に対する R の値を式[2]および[1]から計算してみて、R のばらつき(標準偏差など)を最小とする kを決定してやればよい. このようにして、いくつかの既往の実験結果について強度定数 $R \ge k$ を決定してみた. 実験試料はすべて細粒分を含まない非粘着性のきれいな砂であり、シミュレーションにあたっては材料強度の等方性を仮定している. 図1はモントレー砂の排水せん断試験²⁾で観測された π 平面上の破壊応力条件(記号)と破壊基準[1][2]によるモデル化(実線)である. 密なモントレー砂ではk=0.629としたときに中間主応力係数を変化させて実施した7回の実験結果から計算される Rの標準偏差が最小値0.030となり、そのときのRの平均値は1.132であった. また、緩いモントレー砂ではk=0.467としたときにRの標準偏差が最小値0.038となり、そのときのRの平均値は0.724であった. 同様にして、富士川砂の排水せん断試験結果³⁾および豊浦砂の非排水せん断試験⁴⁾における残留応力比状態についてもフィッティングを行い、図2と図3に示すように、最適値としてそれぞれ(k=0.500, R=0.791)および(k=0.287, R=0.581)を得た.

ここで得られた4つの摩擦比RとそのRが発揮される面の傾きを表すパラメータkの組み合わせを見ると、 Rが大きいほどkも大きい傾向があり、両者の関係は $\mathbf{2}$ 4に示すように試料の種類や密度によらず、ほぼ

k = 0.582 R

[3]

という線型関係にあることがわかる. もし[3]を採用すれば提案する破壊基準の強度パラメータは摩擦比 R ただ1つとなる. そこで前述の4種類の実験結果について破壊基準[1][2][3]を適用してそれぞれの摩擦比 R の最適値を改めて求めたところ,図5に示すようなシミュレーション結果を得た. なお,[3]のような関係は試料の粒径や粒度分布などの条件によって異なることも考えられるので,さらに多様な材料について破壊基準を適用する面の方向と摩擦比の関係を調べるとともに、その物理的な意味を考える必要があろう.

参考文献: 1) 主応力成分に対していろいろな方向を持つ面に関するクーロン基準, 吉嶺充俊, 土木学会第 59 回年次学術講演会, III-168, pp.335-336, 2004. 2) Lade, P.V. and Duncan, J.M. (1973) Cubical triaxial tests on cohesionless soil, Soil Mechanics and Foundations Division. Journal of ASCE, Vol. 99, No. SM10, pp. 793-812. 3) Yamada, Y. and Ishihara, K. (1979) Anisotropic deformation characteristics of sand under three dimensional stress conditions, Soils and Foundations, Vol. 19, No. 2, 79-94. 4) Yoshimine, M., Ishihara, K. and Vargas, W. (1998) Effects of principal stress direction and intermediate principal stress on undrained shear behavior of sand, Soils and Foundations, Vol.38, No.3, 177-186.

連絡先 〒192-0937 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京都市環境学部都市環境学科 TEL 0426-77-2773

キーワード 砂,破壊基準,せん断強さ,摩擦比



図5 摩擦比と基準面の方向の相関を考慮したいろいろな砂の統一的な破壊基準