

ジオグリッド補強土における拘束効果とダイレタンシー

九州大学大学院 学○金重 正浩

九州大学大学院 F 落合 英俊 正 安福 規之

九州大学大学院 正 大嶺 聖 正 山田 正太郎

1. はじめに ジョグリッド補強土の補強効果は、一般的にジョグリッドに作用する引張力に起因する引張補強効果のみ考慮して評価されることが多い。著者らはこれまでの研究で、引張補強効果以外の効果として拘束効果の存在を確認している¹⁾。この効果は、土の内部摩擦角やジョグリッドの形状などに依存する拘束効果パラメータという指標を用いて評価できることを示している¹⁾。現在、拘束効果を考慮した設計法の確立を目指して、拘束効果パラメータを合理的に決定するための方法を提案することが課題となっている。本研究では、補強土に対して外的及び内的になされる仕事を考察することでダイレタンシーと拘束効果パラメータを関連付け、具体的に拘束効果を評価する方法を提案する。

2. これまでの研究における拘束効果の評価方法¹⁾ 著者らは、図-1 に示す補強土構造物の一部分を想定した実験を行い、補強効果を評価してきた。この実験は、ジオグリッドに作用する引張力を一定に制御した条件下で、豊浦標準砂で作製した補強土の一部を強制的にせん断するものである。その時のせん断面上の垂直応力 σ_n とせん断応力 τ (図-1 参照)の関係の代表的な結果を図-2 に示す。これより、補強土の場合 τ - σ_n 関係は引張補強効果による見かけの粘着力を有する直線となっていることが分かる。また、傾きは無補強土より大きいことが分かる。この結果に基づいて τ - σ_n 関係の模式図を描くと図-3 のようになる。

無補強土の τ - σ_n 関係は、原点を通り傾きが $\tan\phi$ の直線となる。一方、補強した場合は、引張補強効果としての切片 c_T を有し、無補強の場合よりも傾きが増加した直線となっている。この傾きの増加分がここで言う拘束効果と考えることができる。著者らは、拘束効果を設計に導入するために次の考え方を提案した。無補強土のせん断強度を τ_0 、補強土のせん断強度を τ_R とすると、次のように表される。

$$\text{無補強土: } \tau_0 = \sigma_n \tan\phi \quad (1)$$

$$\text{補強土: } \tau_R = \tau_0 + C_T + \beta\sigma_n \tan\phi \quad (2)$$

ここで、式(2)において、 ϕ は内部摩擦角、 σ_n はすべり面上の垂直応力、 β は拘束効果パラメータを表している。ここで、式(2)右辺第3項は拘束効果を考慮した項であり、 $\beta \tan\phi$ は拘束効果発現の度合いを表している。

3. ダイレタンシーと拘束効果パラメータの関連性 本研究では、拘束効果を、ジオグリッドを敷設することでその周辺土塊の自由な変形を抑制し、結果として補強土の平均化した拘束圧を見かけ上増加させる効果と考えている。つまり、拘束効果はせん断過程のダイレタンシーと深く関連していると考えられる。この考えから、式(2)に示される拘束効果パラメータ β を合理的に決定するために、無補強土と、補強土を平均化して考えた要素を想定し、外的及び内的になされる仕事を考察することで、拘束効果とダイレタンシーを関連付ける。

ここでは簡単のため、単純せん断モードを考える。図-4 に示すように、垂直応力 σ_n の下である要素にせん断力 τ が加わると、せん断ひずみ増分 $d\gamma_y > 0$ 、垂直応力成分による鉛直ひずみ増分 $d\varepsilon_y > 0$

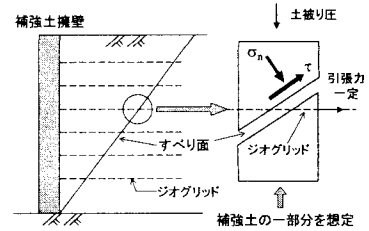


図-1 想定地盤

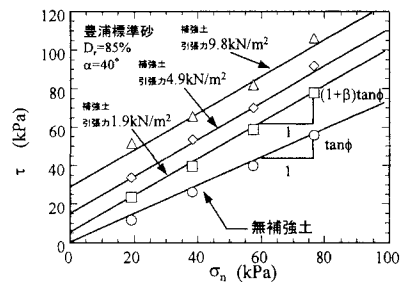


図-2 すべり面上の垂直応力とせん断応力

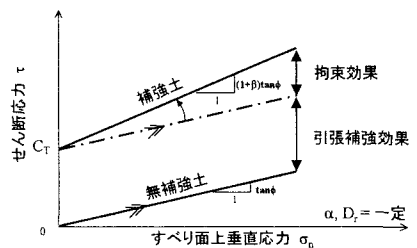


図-3 実験結果の模式図

が生じる。このときの応力ひずみ関係が図-4 のようなとすると、この要素中の外力によってなされる仕事増分は次のように与えられる。

$$dW = \sigma_n \cdot d\epsilon_y + \tau \cdot d\gamma_{xy} \quad (3)$$

この仕事増分は、せん断変形に起因する土粒子間の摩擦作用などによって消散されると考える。

ここで、拘束効果を考慮しない一般的な補強土における内部仕事の消散式が、次のように表現できると仮定する²⁾。

$$dW_{non-c} = \sigma_n \sqrt{(\tan \phi_c' \cdot d\gamma_{xy})^2 + (d\epsilon_y)^2} \quad (4)$$

ϕ_c' は限界状態における内部摩擦角である。式(4)はせん断ひずみと体積ひずみの両方の項が含まれており、修正カムクレイの消散式と同じ特性を有するものとなっている。

次に拘束効果を考慮した場合を考える。拘束効果は、ジオグリッドを敷設することでその周辺土塊の自由な変形を抑制し、その結果として見かけ上の拘束圧を増加させる効果と解釈している。つまり、拘束効果はせん断による体積ひずみの変化を抑制する効果である。そうすると、拘束効果を考慮した補強土における内部仕事の消散式は、 $d\epsilon_y = 0$ と考えることができ、結果として、次のように表現できる。

$$dW_r = (\sigma_n + \Delta\sigma_n) \sqrt{(\tan \phi_c' \cdot d\gamma_{xy})^2} \quad (5)$$

$\Delta\sigma_n$ は拘束効果による見かけ上の垂直応力の増分である。そして、式(5)と式(2)の $\Delta\sigma_n$ と $\beta\sigma_n$ は等しいと考えることができるので、次のように表現できる。

$$dW_r = (\sigma_n + \beta\sigma_n) \sqrt{(\tan \phi_c' \cdot d\gamma_{xy})^2} \quad (6)$$

ここで、式(3)の外力による仕事増分は、内部で消散されなければならない。すなわち、式(3)は内部仕事の消散式を表す式(4)と式(6)と、それぞれ等価でなければならない。したがって、この関係に基づいて式(4)と式(6)から β について整理すると次式を得る。

$$\beta = \sqrt{1 + \left(\frac{d\epsilon_y}{\tan \phi_c' \cdot d\gamma_{xy}} \right)^2} - 1 = \sqrt{1 + \left(\frac{\tan \psi}{\tan \phi_c'} \right)^2} - 1 \quad (7)$$

また、式(7)は図-4 に示すひずみ増分のモール円からダイレタンシー角 ψ と関連付けたものである。これによって、拘束効果パラメータは、限界状態における土の内部摩擦角とダイレタンシー角の関数として表現できたことになる。ここで一つの目安として式(7)に、考えられる限界状態として、 $\phi_c' = 30 \sim 38(\text{deg.})$ 、 $\psi = 0 \sim 30(\text{deg.})$

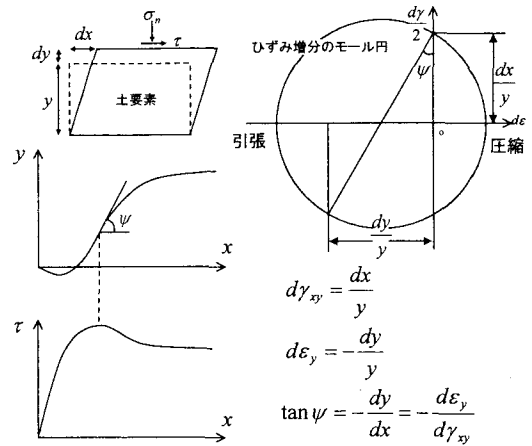


図-4 単純せん断モードにおけるダイレタンシー角

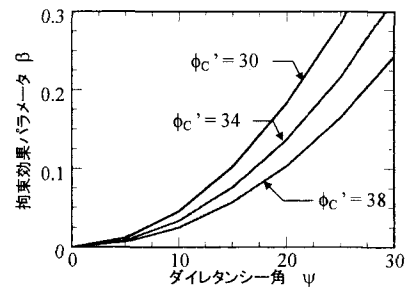


図-5 拘束効果パラメータとダイレタンシー角 (計算値)

を代入し、 β を求めた(図-5 参照)。その結果、概略 $\beta = 0 \sim 0.3$ の範囲となった。これは、これまでの実験的検討で得られた結果と良い対応を示している。

4. まとめ

- ① 拘束効果による見かけの拘束圧増分を考慮した補強土内部の消散式を示した。これを用いて、拘束効果を限界状態における土の内部摩擦角とダイレタンシー角の関数として表す手法を導いた。
- ② 提案式に土の内部摩擦角 $\phi_c' = 30 \sim 38(\text{deg.})$ とダイレタンシー角 $\psi = 0 \sim 30(\text{deg.})$ の値を代入して、拘束効果パラメータ β を算出した。その結果、概略 $\beta = 0 \sim 0.3$ の範囲となった。これは、これまでの実験的検討で得られた結果と良い対応を示している。

【参考文献】1) 河村ら、ジオグリッド補強土の拘束効果と補強材形状について、ジオシンセティックス論文集第13巻, pp.306-315, 1998

2) N.Yasufuku, H.Ochiai, M.Kaneshige, Confining Effect in Geogrid-Reinforced Soil related to Soil Dilatancy, Geo Asia 2004 in Korea (投稿中)