室内模型実験結果からジオコンポジットによる粘性土の
補強効果と排水効果を評価する方法

茨城大学 工学部 都市システム工学科 正会員 安原一哉
協和コンサルタンツ(株) 鈴木 宏幸
(株)ヒロセ 阿部 基雄

本文は、過去に著者らが行った粘性土に対するジオコンポジットの補強効果に関する室内支持力試験結果に基づいて、特にこのジオコンポジットの補強効果と排水・通水機能改善効果を表現するために、定性的なダイアグラムを提案することを目的としている。これらのダイアグラムをあわせて利用することによって、補強効果と排水効果を判断出来ることを示した。特に、この方法からジオコンポジットの上下に薄い砂層をサンドイッチ状に敷設することによって、(i) 剛性の改善に特に有効であること、(ii) 排水性能と通水性能ともに維持できることに関する有効性を強調した。

Diagrammatic Evaluation for Improvement of Reinforcement and Permeability in Cohesive Soils by Using Geocomposite

Kazuya Yasuhara (Ibaraki University), Hiroyuki Suzuki (Kyowa Consultants Co Ltd.) and Motoo Abe (Hirose Co Ltd.)

Abstract

Two diagrams are proposed to ensure the advantages of geocomposite on improvement of stability, stiffness and permeability of cohesive soils. The one is to plot the increase ratio in bearing capacity against the one in ground reaction coefficient, which was obtained from the results of model footing tests in the laboratory, and the other is to correlate the change in permeability with the one in transmissibility in geocomposite before and after model footing tests. It is emphasized from two diagrams that placement of thin sand layers above and under geocomposite enables to maintain permeability and transmissibility of geocomposite as well as gives rise to marked improvement of stability of cohesive soil embankment.

Keywords : Geocomposite/Cohesive soil/Bearing capacity/Drainage/Sand layer/Diagram

室内模型実験結果からジオコンポジットによる粘性土の補強効果と 排水効果を評価する方法

茨城大学 工学部 都市システム工学科 正会員 安原一哉
共和コンサルタンツ（株） 鈴木 宏幸
（株）ヒロセ 阿部 基雄

1. はじめに

粘性土盛土中にジオシンセティックスを敷設して盛土を安定化させる方法が古くから行なわれており、最近では設計法も提案されている¹⁾。しかし、補強効果と排水・通水機能改善効果の両方の機能を有するジオコンポジットについては、まだ、十分な検討がなされていない。

本文では、著者ら²⁾³⁾が過去に行った室内支持力試験結果に基づいて、特にジオコンポジットにおける上記2つの可能性を確かめてみた。そして、その補強効果と排水・通水機能改善効果を表現するために、

- 1) 補強効果：支持力試験による荷重・沈下曲線から、ジオコンポジットを敷設した地盤と敷設しない地盤における地盤反力係数比と支持力比関係
- 2) 排水・通水機能改善効果：支持力試験に使われたジオコンポジットの排水・通水試験から、試験に使用前の排水・通水性能で正規化してえられる透水係数比と通水機能比の関係

の2つをジオコンポジット適用による粘性土の補強・改善効果を表現するためのダイアグラムとして提案することを目的としている。これらのダイアグラムをあわせて利用することによって、補強効果と排水効果をともに備えた敷設方法を見出すことが出来ることを示した。特に、この方法から、盛土補強にジオコンポジットを適用するに当たっては、砂層をサンドイッチ状に敷設することの有効性を強調した。なお、本文では、1種類のジオコンポジットしか用いていないが、他のジオシンセティックスについても同様な検討を行って2つの効果を備えた適切な材料を客観的に選択できる可能性がある。

図-1 ジオコンポジットの構造

2. 軟弱地盤に適用したジオコンポジットの補強効果の評価方法

ここでいうジオコンポジットとは、図-1 に示したような補強、排水（通水）性能（時

として、逆の遮水機能の場合もありうる）及びフィルター機能をも備えた2つ以上の繊維材料を複合的に組み合わせられて作られたジオシンセティックスを指している。

2. 1 強度・剛性の評価-支持力試験における荷重・沈下曲線

通常、ジオシンセティックスを基礎地盤や盛土の補強に使うとき、(i)支持力増加、(ii)斜面破壊の安全率向上、(iii)土圧低減などが主目的で、「土の力学」の立場から言うと、これらはいずれも強度・破壊に関連するものばかりである。一方、変形については、(i)沈下低減、(ii)側方変位の抑制などがあげられるが、これに対する設計基準や評価基準は明確ではない。ここでは、ジオシンセティックスの補強を確認するためによく行われる支持力試験における荷重・沈下曲線においてこのことを考えてみる。

図-2 は粘性土地盤の支持力試験において、(a)ジオシンセティックスを敷設した場合と(b)敷設しない場合の荷重・沈下曲線を模式的に示したものである。ジオシンセティックスの敷設のない水平地盤の荷重・沈下曲線(a)がジオシンセティックスの敷設によって曲線(b)の様に変化したとき、以下の2つを補強効果のインデックスとする³⁾。

$$\text{i) 支持力改善インデックス: } R_q = q_{ur}/q_{un} \quad (1)$$

$$\text{ii) 剛性改善インデックス: } R_K = K_{ir}/K_{in} \quad (2)$$

ここで、 K_{ir}/K_{in} はそれぞれ補強前後の地盤反力係数である。図-2 のような荷重・沈下曲線でピークが見られないことがしばしばあるが、このような場合は、図-2 沈下/荷重幅比 (S/B) がある値になるとき（たとえば、 $S/B=0.3$ ）²⁾に相当する $2q/\gamma B$ における q の値を持って支持力 q_f とする方法が考えられる。

こうして定義された支持力改善と剛性改善効果のどちらが有効に発揮されているかを判断することはこの種の材料を使って粘性土基礎地盤や粘性土盛土の設計施工の指針に成り得ると判断される。このような判断の下に整理した以下に示す $R_q \sim R_K$ 図表を“補強効果判定ダイアグラム”と呼ぶことにする。

図-2 支持力比～沈下比曲線の模式図

表-1 実験で使用了土の物性

密度: ρ_s (g/cm ³)	2.687
液性限界: W_L (%)	93.9
塑性限界: W_P (%)	65.2
塑性指数: I_p	28.7
実験時含水比: w (%)	69~70

2. 2 粘性土盛土補強を対象とした支持力模型実験におけるジオコンポジットの補強効果

これまで行ってきたジオシンセティックスを敷設した補強盛土に対する支持力模型実験（使用した土の物性を表―1、試験条件を図―3、図―4）から得られた荷重・沈下曲線（図―5、図―6、図―7）から図で示した“補強効果判定ダイアグラム”による方法にしたがって補強前後の支持力比と地盤反力係数比を求め、 $R_q \sim R_K$ 関係としてプロットすると図―8、図―9 が得られる。これから以下のようなことが指摘出来る。

図―3 試験条件A

図―4 試験条件B

図―5 ジオシンセティックスの補強効果

図-6 補強効果に及ぼす砂層の影響

(a) 水平地盤を想定した試験

(b) 盛土を想定した試験

図-7 ジオコンポジットの補強効果

(a) 試験条件A

(b) 試験条件B

図-8 支持力比と地盤反力係数の関係

図-9 支持力試験結果から得られた支持力比と地盤反力係数の関係

- 1) 無補強を基準にすると、不織布より複合不織布（ジオコンポジット）のほうが支持力、剛性とも改善効果が見られる。
- 2) 複合不織布（ジオコンポジット）の上下層に薄い砂層を設置することによって、支持力・剛性とも著しく増加している。これに対し、不織布では、顕著な効果が見られない。このことは、不織布に較べて複合不織布の材料自身の大きな剛性²⁾が砂層の存在で著しく発揮されたのかもしれない。また、過去の軟弱地盤の支持力改善試験結果から考えて、砂と材料とが一体となった複合体としての曲げ剛性も寄与しているかもしれない²⁾。いずれも確かめて結論する必要がある。
- 3) 一方、含水比の高いスラリー上からいったん先行圧密させて形成された関東ロームでは、先の締め固め関東ロームと同様に、複合不織布の改善効果（特に剛性改善効果）は顕著である。しかし、砂層敷設によると、今度は支持力増加に寄与していることがわか

図-10 ジオコンポジット補強盛土中の動水勾配

図-11 透水試験全体図

図-12 通水試験全体図

る。図—8 と図—9 とを較べてみると、砂層併用の効果が異なっているが、後者の場合、スラリー状の関東ロームの先行圧密が十分行き届いていないためと推測される。このことから高含水比粘性土ほど、圧密（排水）の促進がジオコンポジットによる改善効果の決め手になることが推測される。

- 4) 実験シリーズCにおける、水平地盤と盛土斜面敷設の場合の複合不織布の改良効果を較べてみると、砂層の効果は上記（2）の通りであるが、不織布に較べて顕著な剛性改善効果が見られる。このことは、両方の材料自身の曲げ剛性の差に起因しているためではないか、と思われる。

3. 軟弱地盤に適用したジオコンポジットの排水・通水の評価方法

前述のように、ジオコンポジットに期待される機能は、支持力・剛性の改善とともに、排水・通水機能の賦与である。しかしながら、粘性土の補強のために敷設された場合、ジオコンポジットに限らず、織布、不織布を含めて共通する課題は、細粒分による目詰まりが材料の排水・通水機能を低下させる事実である。このことを避けるために、ジオコンポジットの上下層に砂や礫による粒状層を設けることが考えられる。こうすることにより、図—10 に示すように、動水勾配の急激な変化を避けることができ、従って、細粒分がジオコンポジット中に進入することを妨げることができると考えられる。図は、シリーズⅢの支持力模型試験（この場合の関東ロームの含水比は、平均して、初期に約70%、飽和度をあげるために通水後135%、先行圧密後125%であった）を終了したのち、試験装置を解体した後で、ジオコンポジットを取り出し透水試験と通水試験ができるような形

図—13 透水・通水機能低下の関係

にカットして試験を行った結果をまとめたものである。透水試験と通水試験は図—11 と図—12 に示す簡易なものであるが、図—13 に示した試験結果によれば、

- i) 敷設前に較べると、敷設後のジオコンポジットの通水機能は、透水機能に較べると、著しく低下していること、及び、
- ii) ジオコンポジットの上下に薄い砂層を敷設した後の試験結果では、敷設前に較べて通水性能と透水性能とも大きく低下していない、すなわち、砂層の敷設によって材料の通水・透水機能をかなり維持できることがわかる。

4. まとめ

- 1) 粘性土盛土に水平敷設されるジオコンポジットは、支持力と剛性をあげると共に、通水と排水の機能も有するのでこれらが有効に発揮される敷設方法を考える必要がある。

そのための一つの方法として、ジオコンポジットの上下層に薄い砂層を敷設することによって、①支持力・剛性を上げるとともに、②透水・通水機能の低下を防ぐことが出来ることが分かった。

2) これらの小型模型実験結果から得られる荷重・沈下曲線から決められる支持力増加比と地盤反力係数増加比関係にプロットすることによって補強のメカニズムを理解できる事を示した。

3) 支持力試験終了後のジオコンポジットに対して行った透水試験と通水試験から得られる両者の機能の変化の様子を判断するために、敷設前後のジオコンポジットの透水係数比と通水係数比関係にプロットしてその変化の様子から盛土中に敷設することによって、①透水性能と通水性能のどちらの低下が顕著か、②砂層を敷設することによってこれらをどの程度改善出来るかを調べた。その結果、

i)敷設前に較べると、敷設後のジオコンポジットの通水性能は、透水性能に較べると、著しく低下していること、

ii) ジオコンポジットの上下に薄い砂層を敷設した後の試験結果では、敷設前に較べて通水・透水機能とも大きく低下していない、すなわち、砂層の敷設によって材料の通水・透水機能をかなり維持できること

が分かった。

4) 以上から、支持力増加比と地盤反力係数増加比関係と透水係数比と通水係数比関係の2つをジオコンポジット適用による粘性土の補強・改善効果を表現するための定性的なダイアグラムとして利用する事が出来る。そして、これらのダイアグラムをあわせて利用することによって、補強効果と排水効果をともに備えた敷設方法を見出すことが出来ることを示した。特に、この方法から砂層をサンドイッチ状に敷設することによって

i)剛性の改善に特に有効であること

ii)排水機能と通水機能ともに維持できること

が明らかになった。

引用文献

- 1)宮田喜壽：ジオテキスタイルを排水材として用いた粘性土盛土の安定化に関する研究、九州大学学位請求論文、1999.2.
- 2)Hirao, K. et al: The effect of bending stiffness of geotextiles on bearing capacity improvement of soft clay, Proc. Intn'l Symp. Earth Reinforcement Practice, Fukuoka, Japan, Vol. 1, 1996.
- 3)安原一哉・棚橋由彦・平井由彦・平尾和年：粘性土補強材料として求められるジオコンポジットの特性、ジオシンセティックス論文集、第14巻、pp. 277-283, 1999.12.
- 4)棚橋由彦・陶山健太・平井由彦・西村 淳・永嶋洋政・安原一哉：ジオコンポジットを用いた補強盛土模型実験による排水・補強効果の把握、ジオシンセティックス論文集、第14巻、pp. 244-253, 1999.12.