補強土における拘束効果による補強メカニズムの考察

日本大学大学院 学生員 ○ 川口 陽
日本大学理工学部 正会員 巻内 勝彦
同 上 正会員 峯岸 邦夫

概要：

補強材がもたらす補強メカニズムの基本原理の一つに拘束効果がある。本研究では、補強土壁工法を対象に、拘束効果を設計上のパラメータとして導入すべく、理論的評価手法について考察を行った。

拘束効果について、疑似側圧および疑似粘着力による評価方法を提案し、理論的に検討を行った。検討結果より、土圧の軽減が定量的に算定可能であり、それに伴いすべり線位置の変化に影響がでることが分かった。また、実物大実験から得られたデータをもとに検討したところ、理論値と実験値はほぼ近似しており、提案する拘束効果の評価法は妥当であることなどが分かった。

A Consideration of Reinforcement Mechanism of Restraint in Reinforced Earth

by

Yo KAWAGUCHI, Katsuhiko MAKIUCHI & Kunio MINEGISHI

(College of Science & Technology, Nihon University)

Abstract：

A highly complex mechanism of soil reinforcement is not fully explicated so far. A restraint effect which is one of the major functions of reinforcement materials such as geosynthetics is discussed theoretically and experimentally for establishing a rational design in the case of a reinforced embankment construction with walls or panels.

An analytical estimation method using pseudo-confining lateral pressure and pseudo-cohesion is presented in this paper. It was found that the proposed method was able to estimate quantitatively the reduction of earth pressure behind the wall and moreover the decrease in the pressure was concerned in shifting its slip line. The sufficient reliability of the proposed calculation method was also confirmed from several full-scale experimental data.

補強土における拘束効果による補強メカニズムの考察

日本大学大学院 学生員 ○ 川口 陽
 日本大学理工学部 正会員 巻内 勝彦
 同 上 正会員 峯岸 邦夫

1. はじめに

補強土工法における種々の補強メカニズムの中の基本的作用として、拘束効果というものがある。これは土塊中にあるジオシンセティックス等の補強材の引張り抵抗により、土質材料の変形を拘束することにより発生する増強効果のことであるが、この効果については概念的に認知されてはいるものの、各工法の定量的設計パラメータとして導入するまでには至っていない。そこで本研究では、特に補強土壁工法を対象として、拘束効果の補強原理を説明し、土圧軽減効果とすべり線への影響を考察する。

2. 拘束効果

2-1. 基本概念

ここでは拘束効果の概念を、図2-1に示すような土質材料とジオシンセティックス補強材からなる複合体（円柱供試体）を例に考える。

複合体に上下方向から圧縮力を加えた場合、内包している土質材料には図2-2に示すような内部応力が発生する。この内部応力に抵抗しているのが補強材の引張り応力であり、図2-3

(a)に示すように、補強材の面方向に作用している。そこで、同図(b)に示すように、この引張り応力を面に垂直に作用する応力として置き換え、見かけの側圧と想定する。つまり、複合体は、図2-4に示すような仮想状態とみなせる。拘束効果は、この状態を基本概念として考察する。

図2-1 複合体

図2-2 内部応力

(a)

(b)

図2-3 複合体の応力の釣り合い

図2-4 拘束効果の基本概念

2-2. 拘束効果の評価

図2-4において、上下方向の圧縮力を σ_1 、見かけの側圧を σ_{ca} 、土質材料（粒状材料）の内部摩擦角を ϕ とし、このときの状態をモールの応力円で表示すると図2-5のようになる。このとき σ_{ca} は、幾何学的関係より次式で表される。

$$\sigma_{ca} = \sigma_1 \times \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad \dots \text{(式-1)}$$

ここで、図2-6に示すように、見かけの側圧をゼロとしたとき複合体には見かけの粘着力 c' が発現する。このとき c' は、幾何学的関係より次式で表される。

$$c' = \frac{\sigma_1}{2} \times \frac{1 - \sin \phi}{\cos \phi} \quad \dots \text{(式-2)}$$

以上より拘束効果の評価は、見かけの側圧（以後、疑似側圧）及び見かけの粘着力（以後、疑似粘着力）により行う。

図2-5 応力円表示（見かけの側圧）

図2-6 応力円表示（見かけの粘着力）

3. 補強土壁工法への適用

3-1. 基本概念の適用

補強土壁工法における拘束効果を考察する場合は、内部応力と補強材の引張り応力の関係について、図3-1に示すように複合体断面の半分で考える。このとき内部応力は、水平土圧に相当し、補強材部分が壁面に、補強材引張り応力は盛土内に敷設された補強材の引抜き抵抗に相当する。

図3-1 基本概念の適用

そこで、補強土壁工法における拘束効果について、上記評価法による理論的な検討を行う。

3-2. 検討モデル

検討モデルは、図3-2に示すとおりである。

検討は、補強土壁を図3-3に示すように局所に分割して行う。着目する補強材 i までの深さを z_i 、局所 i までの深さを z_i' とする。

局所 i に作用しているのは、図3-4（a）に示すように、鉛直応力、水平土圧、補強材引張り応力である。そこで、補強材引張り応力を疑似側圧とした場合、局所 i には同図（b）に示すように、鉛直応力、水平土圧、疑似側圧が作用していることになる。

図 3-2 検討モデル

図 3-3 局所分割

図 3-4 局所に作用する力

3-3. 土圧軽減効果

まず水平土圧について、土圧係数は通常の補強土設計に従い、クーロン等による主動土圧係数 K_A を使い、壁面摩擦は考慮しないものとする。よって、局所 i に作用する水平土圧 p_i は、次式で表される。

$$p_i = \gamma \times z_i \times K_A \quad \dots \text{(式-3)}$$

次に、局所 i における疑似粘着力を考慮した場合の水平土圧 p_i' (壁背面土圧) は次式で表される。

$$p_i' = \gamma \times z_i \times K_A - 2 \times c' \times \sqrt{K_A} \quad \dots \text{(式-4)}$$

このとき、拘束効果による土圧軽減量 Δp_i は p_i と p_i' の差であるから、次式で表される。

$$\Delta p_i = p_i - p_i' = 2 \times c' \times \sqrt{K_A} \quad \dots \text{(式-5)}$$

3-4. すべり線への影響

土圧が軽減されたことによるすべり線への影響を考える。

(式-4) にある疑似粘着力パラメータを次式のような等価な土圧係数 K_A' に変換する。

$$p_i' = \gamma \times z_i \times K_A' \quad \dots \dots (式-6)$$

K_A は ϕ の関数であり、 K_A が K_A' に変化した場合、 ϕ も ϕ' に変化するものとする（ここで、 ϕ' は見かけの内部摩擦角とする）。すべり線は、図3-5に示すように、すべり角 θ により定まるから、内部摩擦角の変化に伴いすべり角も変化する。この拘束効果が及ぼす、すべり線への影響すなわち変化後のすべり角は次式で表される。

$$\theta' = \tan^{-1} \sqrt{\frac{p_i'}{\gamma \cdot z_i}} \quad \dots \dots (式-7)$$

図3-5 すべり線への影響

3-5. 検討結果

以上の検討結果から得られた補強効果による水平土圧（壁背面土圧）とすべり線の変化の概念を図3-6に示す。

図3-6 検討結果

同図から、補強材により水平土圧（壁背面土圧）は主働土圧よりも低下し、またすべり線についても主働崩壊線よりも壁側に近づいている。補強土壁の設計は、すべり線を境に主働領域と抵抗領域とに分け、抵抗領域中に敷設した補強材と土との摩擦力によって土圧に抵抗させるという考え方を採っている。よって、上述の拘束効果を設計上のパラメータとして導入した場合、土圧の軽減ならびに主働領域の縮小がなされるため、従来の設計に比べて合理的な設計になる。

4. 実験データからの検討（その1）

4-1. 実験概要

実験データは、建設省土木研究所、（財）土木研究センター、民間12社により行われた「ジオテキスタイル補強土壁の設計・施工法に関する共同研究」¹⁾の一部である。補強土壁の設計断面は図4-1に示すとおりで、壁面はコンクリートパネルである。

4-2. 理論値と実験値の比較

検討項目は、壁背面土圧とすべり線への影響である。検討するにあたり、補強土壁を補強材敷設数を考慮し、図4-2に示すように、6個の局所に分割する。

壁背面土圧について、理論値と実験値の比較を行ったものが図4-3(a)である。壁面高さが1m以上、つまり局所2～6においては両者は近似しており、上記の拘束効果の理論的検討の妥当性がうかがえる。局所1については、最下端が固定され、他の局所とは変位拘束条件が異なっているために同図のような結果になったと考えられる。

またすべり線について、理論値と補強材最大引張り応力が作用している位置を比較したものが同図(b)である。補強材の最大引張り応力作用位置においてすべりが発生していると考え、すべり線への影響についても当拘束効果の評価法は適用できるといえる。

図4-1 設計断面

図4-2 局所分割

(a) 壁背面土圧

(b) すべり線

図4-3 理論値と実験値の比較

5. 実験データからの検討（その2）

5-1. 実験概要

実験データは検討（その1）と同様、建設省土木研究所、（財）土木研究センター、民間12社により行われた「ジオテキスタイル補強土壁の設計・施工法に関する共同研究」¹⁾の一部である。補強土壁の設計断面は図4-1に示すとおりで、壁面はコンクリートブロックである。

5-2. 理論値と実験値の比較

検討項目は、壁背面土圧である。検討するにあたり、補強土壁を補強材敷設数を考慮し、検討（その1）と同様に、6個の局所に分割する。このときの理論値と実験値の比較を行ったものが図5-1であるが、両者の差異は大きい。これはコンクリートブロックが、その自重によりブロック間の摩擦が大きく、各局所に拘束効果以外の補強効果（例えば壁面剛性）が作用しているためであると考えられる。このことより補強土壁の壁面工の剛性が補強効果に及ぼす影響について、拘束効果を検討することにより評価可能であるということがわかる。

図5-1 理論値と実験値の比較

6. 実験データからの検討（その3）

6-1. 実験概要

実験データは、岡三興業株式会社、山口大学工学部により行われた「ジオテキスタイルを用いた垂直補強土壁工法について」²⁾の一部である。補強土壁の設計断面は図6-1に示すとおりで、壁面はコンクリートパネルである。

図6-1 設計断面

図6-2 局所分割

6-2. 理論値と実験値の比較

検討項目は、壁背面土圧である。検討するにあたり、補強土壁を補強材敷設数を考慮した場合、図6-2 (a) に示すように8個の局所に、壁面パネル数を考慮した場合、同図 (b) に示すように4個の局所に分割する。両者についての理論値と実験値の比較を行ったものが図6-3である。同図中において (a) より (b) の方が、つまり、壁面パネルの形状を考慮して検討を行った方が理論値に近似している。このことより、補強土壁の壁面パネルの形状が補強効果に影響を及ぼすということが分かり、またその程度については、拘束効果を検討することにより評価可能であるということがわかる。

図6-3 理論値と実験値の比較

7. 結論

本研究により得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 拘束効果は、疑似側圧および疑似粘着力により評価できる。
- (2) 当拘束効果評価法を補強土壁工法に適用した場合、水平土圧の軽減量を算定でき、またすべり線への影響を求めることができる。
- (3) 拘束効果を設計上のパラメータとして導入することにより、従来よりも合理的な設計が可能となる。
- (4) 当拘束効果評価法により、補強土壁工法の壁面形状および壁面剛性が補強効果に及ぼす影響を考察することができる。

【引用文献】

- 1) 田尻，塚田，山本，落合，土橋：壁面工の種類を変えたジオテキスタイル補強土壁の実物大崩壊実験の比較，第10回 ジオシンセティックスシンポジウム発表論文集，pp. 37～46，1995年
- 2) 小浪，丸山，江口，村田，山本，木村：ジオテキスタイルを用いた垂直補強土壁工法について，第7回 ジオテキスタイルシンポジウム発表論文集，pp. 21～27，1992年