Earth pressure and deformation of retaining wall with polymer grid
reinforced soil backfill

Eiji OGISAKO	Shimizu Construction Co., LTD
Hidetoshi OCHIAI	Kyushu University
Shigenori HAYASHI	Kyushu University
Akira SAKAI	Saga University

ABSTRACT : An earth pressure acting on a retaining wall with polymer grid reinforced soil backfill and a deformation of the wall are analysed by the method which is capable of taking into account the displacement dependence property of the pull-out resistance of the polymer grid in soils. Two types of the wall systems, which are rigid and flexible, are analysed. The relationship between spacing and length of the polymer grid and the reduction effect of earth pressure and deformation of the wall is discussed.

概要：土中で引張力を受けるポリマーグリッドの引抜き抵抗の変位依存性を考慮できる解析手法を用いて、ポリマーグリッド補強土擁壁の土圧・変形解析を行ったものである。剛な壁体とたわみ性壁体の2つのタイプの壁体を対象とし、ポリマーグリッドの敷設間隔、敷設長と土圧および壁体変形の軽減効果の関係について検討を行っている。

ポリマーグリッド補強土擁壁の土圧と変形

清水建設(株) ○荻迫 栄治
九州大学 落合 英俊
九州大学 林 重徳
佐賀大学 坂井 晃

1. まえがき

ジオテキスタイルを用いた補強土工法は、高張力材料としての特性を生かして、軟弱地盤対策にかぎらず盛土法面の急勾配確保、擁壁に作用する土圧の軽減などに採用されている。しかし、補強土のメカニズムについては不明確な点が多く、また比較的剛な補強材と土との相互作用としての引抜き抵抗を変形を無視した観点でとらえることには問題がある。本研究は、ポリマーグリッドの引抜き抵抗機構を考慮したジョイント要素を用いた有限要素法による解析手法を用いて、ポリマーグリッドで補強した土留め擁壁の解析を行い、土圧および壁体変形の軽減効果について検討を行ったものである。

2. ポリマーグリッド補強土の解析手法

2.1 ポリマーグリッドの補強機構のモデル化

土中のポリマーグリッドは引張力を受けると、変位の進行に伴って引抜きと逆の方向に抵抗力を受ける。この引抜き抵抗の粘着力成分 s および摩擦成分 f は、いずれも図-1に示すように、上下2本の限界曲線の間に分布する¹⁾。

そこで、このようなポリマーグリッドの引抜き抵抗の変位依存性を考慮するために、本解析では、特定の不連続面の変形特性を表現できるジョイント要素と軸力のみが作用する平面トラス要素で表したポリマーグリッドを組み合わせることによって、ポリマーグリッドの補強機構のモデル化を行った^{2), 3)}。図-2にその有限要素モデルを示す。

また、土のモデル化に関しては、非線形弾性体(Duncan-Changモデル⁴⁾)と仮定し、次の接線弾性係数を用いた。

$$E_t = \left\{ 1 - \frac{Rf(1-\sin\phi)(\sigma_1 - \sigma_3)}{2c \cos\phi + 2\sigma_3 \sin\phi} \right\}^2 \cdot KPa \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n \quad (1)$$

ここで、 c, ϕ は土の粘着力および内部摩擦角、 σ_1, σ_3 は最大および最小主応力、 K, n, Rf は実験定数である。

図-1 引抜き抵抗係数の発現過程と範囲

2.2 ジョイント要素の適用法^{2), 3)}

ジョイント要素は鉛直剛性 kn とせん断剛性 ks の2つの剛性を有し、前者は圧縮力のみの伝達を表現し、後者はせん断変位に対するすべりを表わす。前節で示したように、土中のポリマーグリッドの引抜き抵抗係数はグリッドの節点変位に伴って変化する。従って、ジョイント要素のせん断剛性を一定とせず、せん断変位に伴って連続的に変化させることによって土中におけるポリマーグリッドの非線形的挙動を解析することができる。

ジョイント要素のせん断剛性 ks の決定には、引抜き抵抗の粘着力成分 s および摩擦成分 f の発現過程とその範囲を示した図-3の関係をを用いる。

ここに、 s および f が、それぞれ図-3の破線の領域内においてせん断変位 u の線形関数 ($s=nu$, $f=mu$) で表されるものとする、せん断応力は

$$\begin{aligned} 2\tau &= s + \sigma_n \cdot f \\ &= (n + \sigma_n \cdot m) u \end{aligned} \quad (2)$$

となり、ジョイント要素のせん断剛性 ks は次式で与えられる。

$$2ks = n + \sigma_n \cdot m \quad (3)$$

各変位に対する n , m の決定に際しては、その時の最大せん断変位 u_{max} の値によって図-3の3つの領域(I)(II)(III)に区分する。

(I) u_{max} がせん断変位 u_1 (上限界曲線と下限界曲線の収束点 s_r , f_r との交点におけるせん断変位)に達するまでの領域であり、 n , m の値は、原点から上限界曲線上の u_{max} の点を結んだ直線の傾きで与えられる。

(II) u_{max} が u_1 を越える場合で、 u_{max} を生じたジョイント要素のせん断抵抗は、残留抵抗 τ_r の値を示すものとする。また、 u_{max} 以下のせん断変位に対する s , f は、上限界曲線上の点を折り返し点とした傾き $\pm n$, $\pm m$ の2本の直線で与えられる。

(III) u_{max} がせん断変位 u_2 (領域(II)において原点を通る直線が下限界曲線に接するときの最大せん断変位)を越える場合で、せん断変位に対する s , f の値は、領域(II)と同様に2本の直線で与えられるが、原点を通る直線は u_{max} の値に関わらず、 $u_{max}=u_2$ のときの直線とする。

以上のように、ジョイント要素の非線形性は、3つの領域区分に対して表した比較的簡単なせん断剛性 ks の最大せん断変位 u_{max} 依存性によって表される。

図-2 ポリマーグリッドの補強機構のモデル化

図-3 ジョイント要素のせん断剛性 ks の決定法

3. ポリマーグリッド補強土擁壁の解析

3. 1 解析モデルおよび解析手順

前節で述べた、土中のポリマーグリッドの引抜き抵抗機構を評価し得る解析法を用いてポリマーグリッド補強土擁壁の有限要素法解析を行った。

本解析では2つのタイプの擁壁について解析した。1つは剛な壁で壁の変形が完全に拘束され K_0 状態に対応する場合であり、他の1つは柔な壁でその変形が壁の下端を除いて許される場合である。図-4は、解析ケースを示したものである。擁壁高さは $H=6.0\text{m}$ である。モデル1は無補強のケースで、モデル2~6はそれぞれポリマーグリッドの敷設間隔 h が 2.0, 1.5, 1.0, 0.75 および 0.5m のケースであり、敷設長 L は 6.0, 4.5, 3.0m の3種類である。ポリマーグリッドの端部は壁に固定されている。

図-4 解析ケース

図-5は解析モデルの一例で $h=2.0\text{m}$, $L=6.0\text{m}$ で壁が柔な場合である。壁のモデル化に際しては、柔な場合は梁要素としてモデル化し、剛な場合は左側面の各節点を完全に固定とした。ジョイント要素は土とポリマーグリッドの境界面のみならず、不連続面を生じる土と擁壁の境界面にも用いた。

図-5 解析モデル(Model-2, 柔な壁)

裏込め土は海砂であり、土のモデルとしては Duncan-Changモデルを用いた。表-1にそのパラメータを示す。使用したポリマーグリッドは一軸延伸グリッドである。柔な壁の物性は、 $1.0\text{m} \times 1.0\text{m} \times 0.18\text{m}$ 程度のコンクリートパネルを金具で結合して作られたとの仮定の下に決定した。解析に用いたポリマーグリッドと壁の物性値を表-2に示す。ジョイント要素の鉛直剛性はそれぞれ圧縮側 $kn_1=10^6 \text{ kN/m}^3$, 引張側 $kn_2=10^{-2} \text{ kN/m}^3$ であり、土と擁壁の境界面に用いたジョイント要素のせん断剛性 ks は一定値 10 kN/m^3 である。

解析は、層厚50cmごとに盛り立てられ、裏込

表-1 土質パラメータ

γ (kN/m^3)	C (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)	K	n	R_f	ν
17.1	0	35	1000	1.0	0.9	0.333

表-2 ポリマーグリッドおよび擁壁の物性値

	E (kN/m^2)	A (m^2)	I (m^4)
ポリマーグリッド	1.65×10^6 *	0.0012	—
擁壁	2.45×10^6	0.18	4.86×10^{-4}

* 初期値

め終了後 10kN/m^2 の様な上載圧が載荷されるという工程をシミュレートするために、各盛り立てのステップごとに土の自重による変形解析を行った。また、計算は土とポリマーグリッドの境界面に用いたジョイント要素のせん断剛性 k_s とトラス要素のヤング率 E が所定の収束条件を満足するまで行われた。

3.2 解析結果

(1) 剛な壁

壁が剛で、その変形が完全に拘束されている場合、裏込めおよび上載圧載荷後の壁に作用する土圧の分布は、図-6に示す通りである。無補強の場合、発生する土圧の分布はほぼ台形分布となる。補強した場合、補強材の敷設間隔が大きいと、補強された部分の土圧のみが、減少しているだけであるが、補強材の数を増し、敷設間隔 h を小さくすると、擁壁の全域にわたって発生土圧は減少する。

補強材による土圧の低減率をポリマーグリッドの敷設間隔に対して整理した結果が図-7である。ここで、土圧の低減率 R_p は次式によって表される。

$$R_p = 1 - P_g / P_0 \quad (4)$$

ここで、 P_g 、 P_0 はそれぞれ補強時および無補強時の壁面に作用する合土圧である。また、敷設間隔 h は擁壁高 H で一般化し、図-7の横軸にはその比をとっている。同図から、ポリマーグリッドの敷設間隔が小さくなる程、また敷設長が長くなる程、補強による土圧の低減効果が大きくなっていることがわかる。ただし、 $L/H=0.75$ と $L/H=1.0$ の結果には大差がなく、従って、ポリマーグリッドの敷設長には土圧低減に寄与する合理的な長さが存在するものと思われる。また、総敷設長 L_t

図-6 剛な壁に作用する土圧分布

図-7 土圧低減率とポリマーグリッド敷設間隔の関係(剛な壁)

図-8 土圧低減率とポリマーグリッド総敷設長の関係(剛な壁)

(=敷設枚数 $n \times$ 敷設長 L)を擁壁高さ H で無次元化した Lt/H と土圧の低減率 R_p との関係は、図-8のようになる。同図によれば、敷設長 L/H が小さい方が大きい場合に比べて、同じ総敷設長 Lt/H に対する土圧低減率は大きく、短い補強材を密な間隔で敷設しても土圧の低減に十分効果的であると言える。

(2) 柔な壁

壁が柔で、その変形が許される場合、裏込めおよび上載圧載荷後の壁に作用する土圧および壁の水平変位は、図-9および図-10に示すとうりである。無補強の場合の土圧の解析値は壁の上部で極めて小さく、この場合の壁の水平変位が大きいことと対応している。同図からわかるように、補強材によって壁の変形量のみならず、土圧の最大強度も減少している。

図-11は、裏込めおよび上載圧載荷後の土の破壊状況を示したものである。無補強の場合、壁上部の壁面に近い部分の土要素の多くが破壊状態に達しており、破壊した要素の分布はすべり面に対応していると考えられる。また、補強材を敷設することにより、破壊領域は次第に減少する。

図-12は、壁が柔な場合の土圧の低減率 R_p と一般化されたポリマーグリッドの敷設間隔 h/H との関係を示したものである。ここで、柔な壁の場合、コンクリートパネルの部材断面は、パネルに作用する土圧強度によって決定することから、(4)式における P_g 、 P_0 はそれぞれ補強時および無補強時に壁に作用する土圧の最大強度とした。補強による土圧低減効果の傾向は、剛な壁の結果(図-7)と類似している。

図-13は、壁が柔な場合の土圧の低減率 R_p と一般化されたポリマーグリッドの総敷設長 Lt/H との関係を示している。壁が柔な場合、必ずしも敷設長 L/H が小さい程、同じ総敷設長 Lt/H に対する土圧低減効果が大きいとは言えない。

図-14は、柔な壁の水平変位の低減率を h/H に対して整理した結果である。ここで、低減率 R_δ は次式で表される。

$$R_\delta = 1 - \delta_g / \delta_0 \quad (5)$$

図-9 柔な壁に作用する土圧分布

図-10 柔な壁の水平変位分布

図-11 破壊状況図

ここで、 δg , δg_0 はそれぞれ補強時および無補強時の壁の最大水平変位である。土圧と同様に、ポリマーグリッドの敷設間隔が小さく、敷設長が長い程、壁の水平変位は減少しており、また、変位の低減に寄与する合理的な敷設長の存在がうかがわれる。

4. 結論

本研究では、土中におけるポリマーグリッドの引抜き抵抗機構を表現するための解析手法を用い、ポリマーグリッドで補強した土留め擁壁の解析に適用した。解析結果から、ポリマーグリッドで補強することにより、壁面に作用する土圧や壁の水平変位が低減され、そして、それらの低減に寄与する合理的な敷設長が存在することが明らかになった。

参考文献

- 1) 林重徳・山内豊聡・落合英俊・孫純鐘：土中におけるポリマーグリッドの引抜き抵抗機構，土と基礎，VOL.33，NO.5，pp.21～26，(1985)。
- 2) H. Ochiai and A. Sakai：Analytical method for geogrid-reinforced soil structures, Proc. 8th Asian Regional Conf. on SMFE, pp.483～486，(1987)。
- 3) 坂井晃・落合英俊・林重徳：ジオグリッドを用いた補強土の変形解析法，土質工学会論文報告集，VOL.27，NO.3，pp.147～155，(1987)。
- 4) Duncan, J.M. and Chang, C.Y.：Nonlinear analysis of stress and strain in soils, J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE, SM5, pp.1629～1653，(1970)。

図一 12 土圧低減率とポリマーグリッド敷設間隔の関係(柔な壁)

図一 13 土圧低減率とポリマーグリッド総敷設長の関係(柔な壁)

図一 14 壁面変位の低減率とポリマーグリッド敷設間隔の関係