An Experimental Study on the Performance of
Prototype Polymer Grid Reinforced Embankments

Katuyuki Kutara, Public Works Research Institute, Ministry of Construction.

Hiroshi Miki, Public Works Research Institute, Ministry of Construction.

Kazuyuki Nakamura, Tokyu Construction Co., Ltd.

Tetsuhisa Minami, Tokyu Construction Co., Ltd.

Komei Iwasaki, Mitsui Petrochemical Industries, Ltd.

Jun Nishimura, Mitsui Petrochemical Industries, Ltd.

Naozou Fukuda, Fukken Chosa Sekkei Co., Ltd.

Masakazu Taki, Fukken Chosa Sekkei Co., Ltd.

This paper presents an experimental study on the performance of 6m high grid reinforced embankments, subjected to additional loading after construction. Additinal loading was applied by a surcharge of a 3m high filling, then submerging the structure in water, then rapidly lowering the water level outside the embankment.

The embankments were constructed with 1:1 slope using silty sand and instruments were used to monitor the deformation of the embankments as well as strain levels in the polymer grids.

On the basis of the mesured grid strain distribution during loading, the current design methods, such as the limit equilibrium method, and the critical safety factor where the reinforcement strains largely increase, were evaluated.

ポリマーグリッドを用いた実物大補強盛土の実験的研究

今報告は、高さ6mのグリッドで補強した盛土の載荷実験について述べたものである。実験は、ト高さ3mの鉛直盛土を用いて、上載荷重をかけた。引き続いて、盛土を湛水した後、その水位を急激に低下させた。盛土は、一割勾配で、盛土材にはシルト質砂を使った。実験中は、ポリマーグリッドのひずみと盛土の変形を計測した。計測したグリッドのひずみ分布から、極限平衡法を使った現行の設計法とグリッドのひずみが大きく増加した場合の限界安全率について評価した。

ポリマーグリッドを用いた実物大補強盛土の崩壊実験

建設省土木研究所 土質研究室 久楽勝行 三木博史
東急建設株式会社 中村和之 ○南 哲久
三井石油化学工業株式会社 岩崎高明 西村 淳
復建調査設計株式会社 福田直三 滝 昌和

1. まえがき

ポリマーグリッドを用いた補強盛土の合理的な設計法・施工法を確立するために、一連の実験と解析を行ってきた^{1),2),3)}。今回、昭和63年に建設省土木研究所内盛土実験棟に築造した、高さ6m、のり面勾配1:1.2の補強材間隔の異なる2種類の補強盛土を用いて、上載荷重の載荷から、緩速湛水、水位急降下までの苛酷な実験条件を与えて、盛土の安定性の变化を調査したので、その概要を報告する。

2. 実験方法

2.1 事前解析

昭和63年度に築造したのり面勾配1:1.2の盛土の安定性を、表-1に示すような強度定数 c, ϕ を用いて円弧すべり解析により計算すると、無補強時の安全率は1.714となる。今回は、この盛土の安全率をできるだけ下げることが目的として、以下の方法で実験を行うこととした。

- 1) 盛土のり面を1:1.2から1:1に切り直す。
 - 2) 5tf/m^2 の上載荷重により、無補強時の安全率を1.2程度まで下げる。
 - 3) 盛土を緩速で湛水後、土槽水位を急降下させ補強盛土の安全率が1以下となるようにする。
- ここで、補強盛土の安定解析は、円弧すべり解析(修正簡便法)を用い、補強材に働く力は式(1)に示すように分母側に入れて計算した。

$$F_s = (M_R + \Delta M_R) / M_D \quad \cdots (1)$$

表-1に計算に用いた盛土材の物性値を示す。また、補強材の設計引張り強さは、現行の設計法でよく用いられている破断強さの40%とした。計算の結果得られた安全率の推移の状況を図-1に示す。

写真-1 水位急降下実験状況

図-1 盛土の安全率の推移(事前解析)

表-1 解析入力物性値

		盛土材	
		粘着力 tf/m^2	内部摩擦角
載荷実験	急速載荷	$C_{cu}=1.0$	$\phi_{cu}=27^\circ$
	緩速載荷	$C'=-1.0$	$\phi'=-32^\circ$
湛水過程	飽和	$C'=-1.0$	$\phi'=-32^\circ$
	不飽和	$C'=-1.0$	$\phi'=-32^\circ$
水位急降下後	飽和	$C'=-1.0$	$\phi'=-32^\circ$

$$\gamma_t=1.75\text{tf/m}^3 \quad \gamma_{\text{sat}}=1.90\text{tf/m}^3 \quad \gamma'=-0.90\text{tf/m}^3$$

2.2 実験ケース

図-3、図-4に今回実験した2ケースの補強盛土の正面図、断面図をそれぞれ示す。補強材の敷設仕様は、使用した実験盛土の当初の目的である“補強領域内部の安定の調査”から、補強材を十分長く敷設し、補強領域の外を通るすべりを発生させないようにして、補強材間隔を変えたものである。即ち、敷設間隔はケース1で150cm、ケース2で75cm、敷設長は限界すべり円の位置を考慮し6mとした。また、図-3に示すように、盛土幅は6m、両盛土間は1m幅の粘土層で縁切りをした。

2.3 盛土材と補強材

盛土材は、粗粒分70%の山砂である。また、補強材は、二軸延伸ポリマーグリッド(SS2)を使用した。表-2に補強材の物性、図-2に補強材の引張り特性を示す。

2.4 計測項目

計測は、次に示す5項目について行った。各計測項目の位置を図-5中ケース2の断面に示す。

1) ポリマーグリッドのひずみ

盛土内に敷設したポリマーグリッドにのり奥方向に50cm間隔で貼ったひずみゲージで計測した。

2) 盛土内及び天端の沈下

盛土内の沈下は、のり肩から1.4m位置に、高さ1.5m間隔で3箇所、盛土内に沈下板を設置した。盛土天端の沈下は、のり肩およびのり肩からそれぞれ0.9m 1.4m 2.3m離れた位置で計測した。

3) のり面の水平および鉛直変位

のり面変位は、ポリマーグリッド敷設位置に高さ1.5m間隔で鉛直および水平方向の変位を計測した。

4) 盛土内の水位

盛土内の水位は、図-5中に示す2箇所に水位計測用パイプを入れて計測した。

5) 実験土槽の水位

2.5 実験手順

図-6中に今回の実験工程を示す。

1) のり面の切り直し

表-2 補強材の物性

ポリマーグリッド	SS2
単位体積重量 ρ (kg/m ³)	320
引張り強度 σ (N/m ²)	1.5 2.8
ピーク時のひずみ ϵ (%)	8 7

図-2 補強材の引張り特性

図-3 実験盛土の正面図

図-4 実験盛土の断面図

盛土は、1:1勾配に切り直し、のり面は、敷設材と同種のポリマーグリッド（SS2）で巻込こんだ。また、湛水、水位急降下による土の抜け出し防止に、巻込み部内側に不織布を配した。

2) 上載荷重

高さ3mの鉛直載荷盛土を上載荷重とした。荷重はのり肩から40cm離れた位置から載荷枠を組んでかけた。載荷速度は、川砂(単位体積重量 1.45tf/m^3)を50cm/日で盛り、6日で $3\text{m}(4.35\text{tf/m}^2)$ とした。

3) 湛水・水位急降下

盛土の湛水は、実験土槽(20x20x6m)の水位を初日に0.75m上げた後、1.5m/日で上げて5.25mまでとした。数日間放置後、盛土の変形及びポリマーグリッドのひずみの上昇が落ち着いた後、7時間(平均 0.75m/hr)かけて水位を急降下させた。

3. 実験結果

3.1 盛土内沈下

図-6に、載荷から水位急降下実験中の盛土天端および盛土内の沈下の経時変化を示す。

載荷、湛水完了までは、沈下は比較的小さかったが、水位急降下開始と同時に沈下は急激に進行した。水位急降下終了時点での各沈下板間の層別の沈下は、同図中に示すように、ケース1では上層ほど大きいものに対して、ケース2では各層の沈下はほぼ一様であった。このことから、図中○で囲んだ範囲、即ちケース1ではのり肩を中心に奥行き1.4m 深さ3m程度の範囲が、

図-5 実験盛土計測断面図

図-6 盛土沈下の経時変化

大きく前面にはらみ出したために沈下が進行したのに対し、一方ケース2では、のり面のはらみ出しが比較的小さいことから、盛土全体が一様に沈下したと思われる。

3.2 盛土内水位の経時変化

図-7に実験土槽の水位急降下時の盛土内の水位の経時変化を示す。深さ5.25mの水位を7時間で水位を急降下させた結果、盛土内の残留水位は、3.5~4mで、盛土内には崩壊に十分な過剰間隙水圧が発生したと思われる。

3.3 盛土のり肩の変位

図-8にのり肩の鉛直・水平変位の変化を示す。盛土のり肩は、載荷終了まで、ほとんど変位はなくケース1、2ともに湛水によって数センチののり面に沿った変位が生じた後、水位急降下によって大きく変位した。その方向は、ケース2がのり面方向であるのに対して、ケース1では沈下が卓越した。

3.4 水位急降下終了時の盛土の変状

水位急降下終了時点の盛土変状を、盛土内のポリマーグリッドのひずみ分布と共に図-9に示す。両ケース共に、ポリマーグリッド間でのり面は大きくはらみ出した。この時、ポリマーグリッドに発生した最大ひずみは、両ケース共にひずみゲージの測定限度2%を超えた。のり面のはらみ出しは、ケース1で最大で38cm、ケース2で25cmと両ケースとも大きいものとなったが、補強材を多数敷設したケース2のほうが、のり面を拘束する効果が高かった。天端の沈下はケース1で最大40.3cm、ケース2で41.6cmと同程度であったが、ケース2は全体的に沈下しているのに対して、ケース1はのり肩近傍で、のり面のはらみ出しに伴って、局部的に大きく沈下が生じた。

3.5 ポリマーグリッドのひずみ分布

図-10に各実験時点のポリマーグリッドのひずみ分布を示す。ポリマーグ

図-7 盛土内水位の経時変化

□ ケース2 ○ ケース1

図-8 のり肩変位の経時変化

図-9 水位急降下後の盛土形状

リッドのひずみの初期値は、最下段のポリマーグリッドを敷設した後、盛土をまき出した時点と0とした。図中の水位急降下時の3点とは、事前解析でケース1の安全率が1.3から1.2になる時点（即ち土槽水位を急降下させて5.25mから4.5m、3.5m、3mまで低下した時点）を示す。湛水完了までに発生したひずみは、ケース1の最上層のポリマーグリッドを除けば両ケース共に平均で0.3%程度であった。水位急降下に伴い、ポリマーグリッドのひずみは、上層のポリマーグリッドから順に下層に向かって急激に増加して、水位急降下終了時点では各層のポリマーグリッドで2%以上になった。

4. 安全率と考察

現行の設計法で補強盛土の設計した場合、図-9および表-3中の水位急降下時で土槽水位4.5mの時計測結果より、安全率を1.3程度とっておけば、補強材に働くひずみは、0.3%程度で、低い応力レベルに保つことができる。また、図-2に示すように、補強材の設計引張り強さ（破断強度1.5t/mの40%）のひずみが1%に相当することから、0.3%程度のひずみは、設計引張り強さより十分小さいものとなり、長期的にも十分な安定性を確保できると思われる。

安全率が1.2程度になると、この安全率に対応する土槽水位が3.0m時点の結果が示すように、補強材に発生するひずみは、補強材の設計引張り強さに相当する1%を越えるものが多く出てくる。しかし、この場合においても、盛土の鉛直変位は25cm（即ち鉛直ひずみ4.2%程度）で、盛土の破壊ひずみには至っていない。

補強盛土の安全率が1程度となる水位急降下終了時点では、各層のポリマーグリッドに発生するひずみの最大は2%を越え、盛土の沈下量は40cm、即ちひずみで7%と盛土の破壊ひずみに近く達したものと思われる。

図-9 ポリマーグリッドのひずみ分布

表-3 安全率と盛土の変位の推移一覧

		載荷前	載荷後	湛水後	水位急降下			
					水位4.5m	水位3.5m	水位3.0m	水位0m
無補強	安全率	1.52	1.23	1.31	1.26	1.19	1.15	0.94
ケース1	安全率	1.62	1.32	1.38	1.32	1.24	1.20	0.97
	補強材の ひずみ(%)	max0.45% ave0.10%	max0.73% ave0.15%	max1.14% ave0.29%	max1.26% ave0.32%	max1.68% ave0.50%	max2%以上 ave1.0%以上	max2%以上 ave1.3%以上
	盛土の沈下 とひずみ(%)	0cm 0.0%	6.6cm 1.1%	12.9cm 2.2%	17.6cm 2.9%	21.9cm 3.7%	25.0cm 4.2%	36.9cm 6.2%
ケース2	安全率	1.70	1.38	1.44	1.38	1.30	1.26	1.01
	補強材の ひずみ(%)	max0.38% ave0.12%	max0.51% ave0.19%	max0.78% ave0.29%	max0.92% ave0.32%	max1.65% ave0.55%	max2%以上 ave1.0%以上	max2%以上 ave1.3%以上
	盛土の沈下 とひずみ(%)	0cm 0.0%	8.1cm 1.4%	14cm 2.3%	14.9cm 2.5%	21.7cm 3.6%	25.6cm 4.3%	41.7cm 7.0%

5. まとめ

補強盛土の設計法と設計安全率の妥当性を検証する目的で、実物大の盛土を使って、上載荷重の載荷から緩速湛水、水位急降下までの過酷な実験条件を与えた崩壊実験を実施した。

事前解析で求めた各時点の設計安全率と実験中の盛土の変状およびポリマーグリッドのひずみから、次のような結果を得た。

- 1) 補強材の設計引張り強さを破断強度の40%と仮定した円弧すべり計算に基づいて、現行の設計法で設計した場合、安全率が1.3程度以上では、補強材のひずみも小さく保つことができた。
- 2) 安全率が1.2程度になると、補強材の設計引張り強さに対応する1%のひずみを越える箇所が多く出てきたが、盛土の破壊ひずみには至らなかった。
- 3) 水位急降下終了時点では、補強盛土の安全率は1程度まで下がり、各層のポリマーグリッドに発生するひずみの最大は2%を越え、盛土の沈下量は40cmで、ひずみで7%となって盛土の破壊ひずみに近くは達したが、盛土全体としては安全率1程度を保って、すべり破壊を生じなかった。

以上のようなことから、補強材の設計引張り強さを破断強度の40%と仮定した、円弧すべり計算に基づく現行の設計法を考えた場合には、安全率として1.2～1.3程度を確保することが望ましいと思われる。

<参考文献>

- 1) 三木他4名：ポリマーグリッドを用いた盛土補強工法の開発（その1）、第一回ジオテキスタイルシンポジウム発表論文集pp.77-82, 1986.12.
- 2) 久楽他6名：ポリマーグリッドを用いた盛土補強工法の数値解析、第二回ジオテキスタイルシンポジウム発表論文集pp.42-48, 1987.12.
- 3) 三木他2名：ポリマーグリッドを用いた実物大補強土壁実験の数値解析、第24回土質工学研究発表会講演集pp.1867-1868, 1989.6