

建設省土木研究所 ○船ヶ山敏彦

吉松 弘行

三井 宏人

大浦 二郎

1. はじめに

近年、切土斜面に鉄筋などの部材を挿入し、土と補強材との相互作用により、斜面全体の安定性や強度を高める方法が用いられるようになってきた。しかし、補強材による地盤補強のメカニズムや補強効果に及ぼす影響因子については研究が進んでいるものの、現在の設計手法にその成果が反映されているとは言えない。今回の実験では、それらの問題点を解明する基礎実験として図-1のような自然地山の崩壊形態を想定し、昭和61年度に行った実験結果を踏まえ、鉄筋挿入工法を用いた砂質地盤並びに粘性土地盤の補強効果の比較について、一面せん断試験機を用いて検討した。

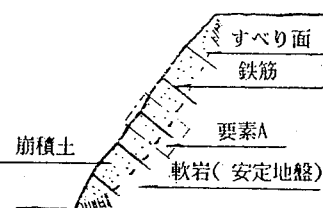


図-1 実験概念図

2. 実験装置並びに方法

実験装置は、図-2に示すように、①せん断箱、②補強材、③载荷装置、④計測装置に分けられる。

せん断箱は、上下箱とも(150×300×300mm)の大きさで、上箱には試料砂あるいは試料粘性土、下箱にはソイルセメントを充填する。補強材は、リン青銅を径の大きさによって3種類(φ3.0mm×300mm、φ4.5mm

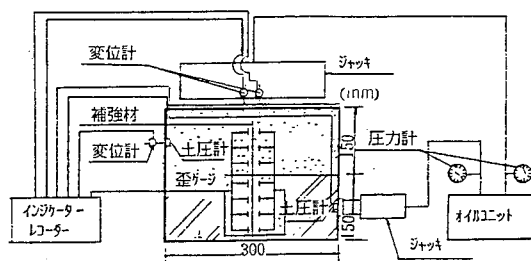


図-2 実験装置

×300mm、φ6.0×300mm)を用いた。計測装置は、圧力計、土圧

計、変位計、歪ゲージである。実験は、補強材のみ、補強材に砂付着したもの並びに補強材頭部にプレートをつけたものに分けて(表-1～3に示す)36ケース行った。実験に用いた試料砂、試料粘性土、ソイルセメントの物性値は、試料砂： $c=0.0\text{kgf/cm}^2$ 、 $\phi=47.0^\circ$ 、 $r=1.69\text{t/m}^3$ 、 $w=1.0\%$ 、 $e=0.61$ 、試料粘性土： $c=0.6\text{kgf/cm}^2$ 、 $\phi=33.0^\circ$ 、 $r=1.16\text{t/m}^3$ 、 $w=44.0\%$ 、ソイルセメント： $\sigma=90.7\text{kgf/cm}^2$ である。せん断速度は、試料砂： 1.0mm/min 、試料粘性土： 0.5mm/min であり、歪制御方式で行った。

表-1 実験ケース

実験種別	実験 No	鉛直応力	補強材	土質	実験ケース
1. 試験機特性試験 (Aシリーズ)	A-1				19-2
	A-2				
2. 無補強地盤のせん断試験 (Bシリーズ)	B-1	0.5(kgf/cm ²)		砂質土	69-2 (砂質土 69-2) (粘性土 69-2)
	B-2	0.75		砂質土	
	B-3	1.0		砂質土	
	B-4	0.5		粘性土	
	B-5	0.75		粘性土	
	B-6	1.0		粘性土	

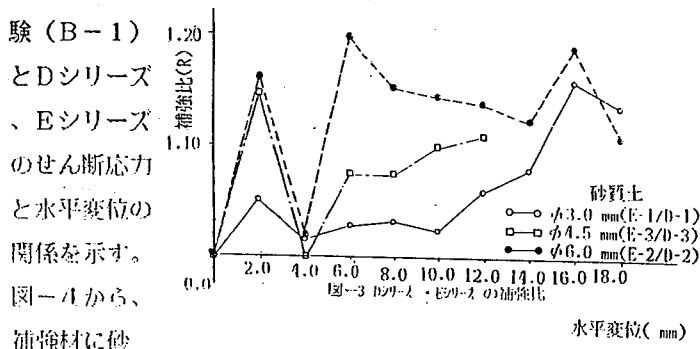
表-2 実験ケース

実験種別	実験No	鉛直応力	補強材	土質	実験ケース
1. 予備試験	c-1	0.75 (kg/cm ²)	φ9.0 mm l=300 mm 砂付着	砂質土	1
	c-2	0.75	φ9.0 mm l=300 mm (プレート 6×6)	砂質土	1
	c-3	0.75	φ9.0 mm l=300 mm (プレート 6×6)	砂質土	1
	c-4	0.75	φ9.0 mm l=300 mm (プレート 6×6)	砂質土	1

3. 実験結果

3-1 補強材の摩擦条件を変えた場合の補強効果

補強材の摩擦条件を変化させた場合の補強効果について説明する。図-3に水平変位と補強比の関係を示す。図-3から補強材に砂付着した場合の試験（Eシリーズ）は、補強材に砂を付着しない場合の試験（Dシリーズ）と比較し、補強効果は大きいことがわかる。また、水平変位の増加に対し、補強材径が同じでも砂を付着した補強材の方が、補強効果が大きいことがわかる。図-4に、基本試験（B-1）



とDシリーズ、Eシリーズのせん断応力と水平変位の関係を示す。図-4から、補強材に砂付着した場合の試験（Eシリーズ）並びに補強材のみの試験（Dシリーズ）は無補強地盤の試験（B-1）に対し補強効果がみられる。補強効果は、補強材に砂付着した試験（Eシリーズ）が一番高く、次に補強材のみ（Dシリーズ）の順である。この傾向を検討する為、補強材のみの試験（Dシリーズ）と補強材に砂付着した試験（Eシリーズ）の補強比を水平変位の変化に対し求め比較する。図-5に引抜き試験から求めた摩擦角（ ϕ ）を示す。補強材のみでは、 $\phi=12.5^\circ$ 、砂付着した場合は、 $\phi=58.0^\circ$ である。したがって、補強材表面の摩擦係数を大きくすることにより補強効果が增大することがわ

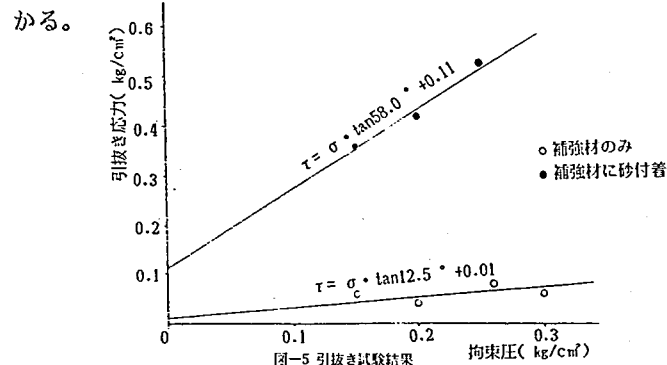
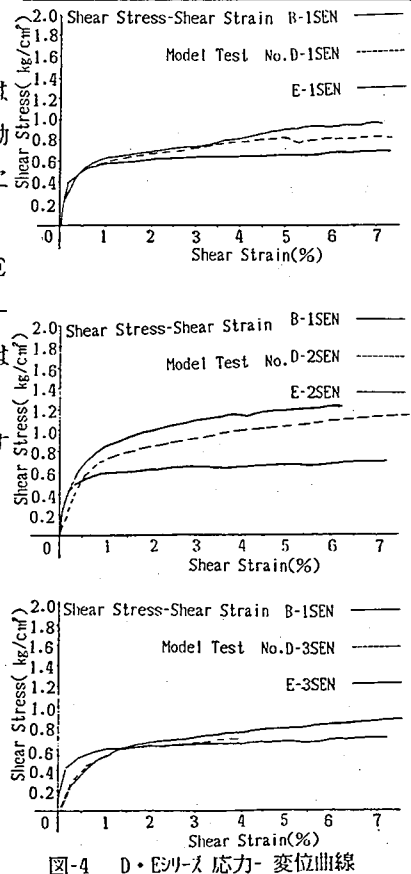


表-3 実験ケース

実験種別	実験NO	鉛直応力	補強材	土質
1. 厚板型実験 (補強材のみ)	D-1	0.5(kg/cm²)	φ3.0 mm, l=300mm	砂質土
	D-2	0.5	φ6.0 mm, l=300mm	砂質土
	D-3	0.5	φ4.5 mm, l=300mm	砂質土
2. 厚板型実験 (補強材に砂付着)	E-1	0.5	φ3.0 mm, l=300mm	砂質土
	E-2	0.5	φ6.0 mm, l=300mm	砂質土
	E-3	0.5	φ4.5 mm, l=300mm	砂質土
	E-4	0.5	φ3.0 mm, l=300mm	粘性土
	E-5	0.5	φ6.0 mm, l=300mm	粘性土
	E-6	0.5	φ4.5 mm, l=300mm	粘性土
3. プレート型実験 (プレート大きさの変化)	F-1	0.5	φ12 cm×2 cm	砂質土
	F-2	0.5	φ14 cm×4 cm	砂質土
	F-3	0.5	φ16 cm×6 cm	砂質土
	F-4	0.5	φ12 cm×2 cm	粘性土
	F-5	0.5	φ14 cm×4 cm	粘性土
	F-6	0.5	φ16 cm×6 cm	粘性土
4. プレート型実験 (補強材径の変化)	G-1	0.5	φ4.5 mm, l=300mm	砂質土
	G-2	0.5	φ6.0 mm, l=300mm	砂質土
5. プレート型実験 (補強材径の変化)	H-1	0.5	φ3.0 mm, l=300mm	砂質土
6. せん断強度の確認 (補強材のみ)	I-1	0.75	φ6.0 mm, l=300mm	砂質土
	I-2	1.00	φ6.0 mm, l=300mm	砂質土
7. せん断強度の確認 (補強材に砂付着)	J-1	0.75	φ6.0 mm, l=300mm	砂質土
	J-2	1.00	φ6.0 mm, l=300mm	砂質土
8. せん断強度の確認 (プレート径の変化)	K-1	0.75	φ6.0 mm, l=300mm	砂質土
	K-2	1.00	φ6.0 mm, l=300mm	砂質土



3-2 補強材頭部にプレートを設置した場合の補強効果

図-6に摩擦効果の実験とプレート型の実験の水平変位とせん断応力の関係を示す。図-6(a)の砂地盤の水平変位とせん断応力の関係からプレート型実験と摩擦型実験は、ほぼ同様の傾向を示しプレート型、摩擦型のせん断強度は同じ値であった。図-6(b)の粘性土地盤の水平変位とせん断応力の関係においては、プレート型実験と摩擦型実験を比較すると、プレート型実験の方が摩擦型実験よりせん断強度が大きい。摩擦型実験とプレート型実験のせん断強度から、補強比を求めると摩擦型実験に対しプレート型実験の方が、1.5 倍の強度の増加である。

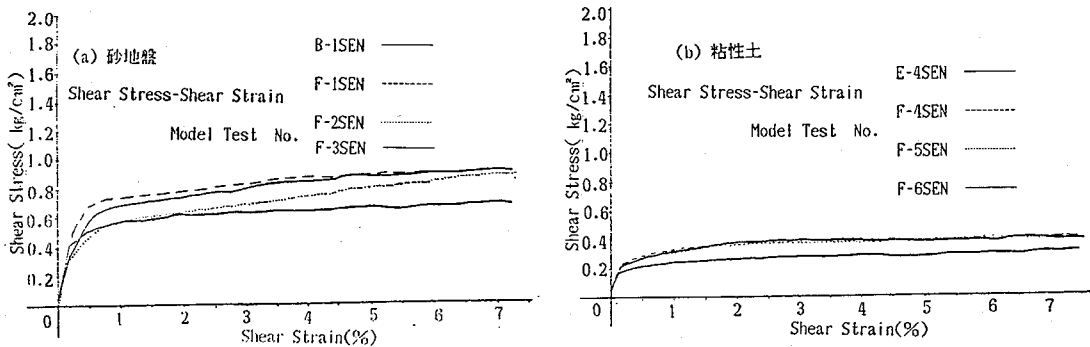


図-6 応力-変位曲線

3-3 補強地盤の地盤強度

補強地盤における地盤破壊強度についてベクトルカーブを用いて説明する。ベクトルカーブは、一面せん断試験においてせん断中の補強地盤内の応力を応力摩擦系にプロットし、これらの点を結ぶことにより応力の変化状況を見るものである。一面せん断試験の場合、一般に垂直応力が一定で行われるので、せん断応力と垂直応力の関係は、図-7に示すABになりせん断ひずみが増加するのに従いせん断応力が増加し、モールクーロンの破壊規準で土が破壊する

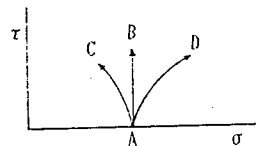


図-7 一面せん断試験におけるベクトルカーブ

図-8にD-2試験のベクトルカーブ、図-9にE-2試験のベクトルカーブを示す。図中、垂直応力は載荷垂直応力(0.5kg/cm)に補強材発生軸力から求めた垂直応力の増分を加えたものを用いた。

図-8、図-9、から補強地盤の垂直応力とせん断応力の関係は、無補強地盤の破壊規準まで垂直応力の増分が無く、せん断応力が増加する。しかし、無補強地盤の破壊規準を超えるとD-2試験、E-2試験とも垂直応力の増加があり、せん断力も増加する。その後、垂直応力の増加が大きくなりせん断応力も増加する。また無補強地盤の破壊規準を超え

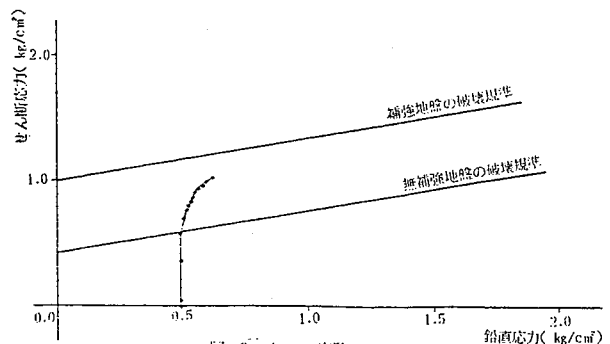
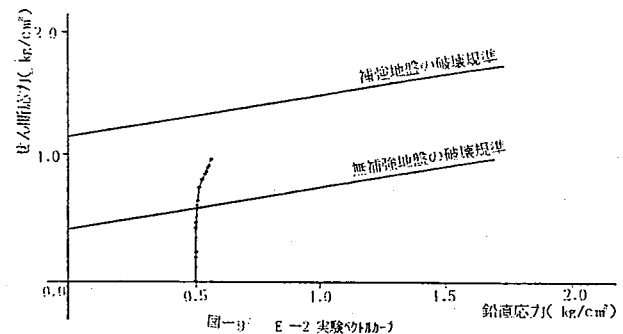


図-8 D-2 実験ベクトルカーブ

るせん断応力時の各実験の水平変位は、P-2試験が0.9%~1.0%、E-2試験が0.72%~0.99%であり、無補強地盤の破壊変位以降(=0.80%)に補強材挿入効果が発現している。最終的には、補強地盤の見かけの破壊規矩までせん断応力が増加し補強地盤が破壊すると考えられる。



4. まとめ

今回以の実験において特に注目すべき点を以下に述べる。

- (1) 補強地盤の補強効果に影響を及ぼす大きな要因は、補強材表面の摩擦条件である。また、地盤別の補強地盤の補強効果は、砂地盤(内部摩擦角(ϕ)の大きい地盤)で大きく、粘性土地盤(内部摩擦角(ϕ)の小さい地盤)小さい。
- (2) 補強材頭部にプレートを設置することにより補強効果は大きくなる。特に、粘性土地盤で水平変位の小さい時でも補強効果は高い。この理由は、砂地盤で摩擦効果が大きく水平変位が小さい時、補強材周辺の摩擦が切れずプレートの効果が発揮されないが、水平変位が大きくなるとプレート効果が発揮されるためと考えられる。一方、粘性土地盤では、補強材表面の摩擦が砂地盤より小さく、砂地盤より小さい水平変位で摩擦効果が切れ、プレート効果が発揮される。

- (3) 補強地盤の地盤強度は、見かけ上無補強地盤強度より大きくなると

考えられる。今回の実験においては、表-2に示す結果が得られた。

表-2から無補強地盤の地盤強度に対する補強地盤の地盤強度の増加は、補強材のみ、摩擦型補強材、頭部プレート補強材の各実験とも内部摩擦角(ϕ)の変化がなく見かけの粘着力(Δc)の増分があると考えられる。

表-4 地盤強度の変化

実験ケース	地盤強度
無補強地盤	$\tau = 0.41 + \sigma \cdot \tan 19^\circ$
補強材のみ	$\tau = 1.00 + \sigma \cdot \tan 19^\circ$
補強材(砂付着)	$\tau = 1.14 + \sigma \cdot \tan 19^\circ$
プレート設置	$\tau = 1.05 + \sigma \cdot \tan 19^\circ$

参考文献

- (1) 土質工学会：土質基礎工学ライブラリー29 補強土工法、昭和61年5月
- (2) 浅井涌太郎他：鉄筋による斜面補強に関する一面せん断試験、昭和62年度砂防学会研究発表会概要集 p 72~P75、昭和62年5月
- (3) 吉松弘行、三井 宏人、大浦 二期、船ヶ山敏彦：鉄筋による斜面補強工法に関する研究、土木研究所 資料第2568号 昭和63年2月
- (4) 吉松弘行 船ヶ山敏彦：鉄筋挿入工法による斜面の安定、ベース設計資料 4月号、昭和63年4月