

ISSN 0386—5878

土木研究所資料第2832号

土木研究所資料

鉄筋による斜面の補強効果に関する 実験的研究

平成2年2月

建設省土木研究所
砂防部急傾斜地崩壊研究室

Copyright © (1990) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

鉄筋による斜面の補強効果に関する 実験的研究

急傾斜地崩壊研究室 室 長 吉 松 弘 行

主任研究員 西 川 純 一

大 浦 二 朗

部外研究員 吉 岡 元 司

要 旨

鉄筋挿入工法の設計手法の確立を目的として、鉄筋挿入による地盤強度の増加について模型斜面を用いた実験を行なうことにより実施した。

今回の実験では、補強材の頭部工、挿入角度、配置密度の違いについて注目し、各々の実験での補強効果（地盤強度の増分）と補強効果に影響を及ぼす補強材の抵抗力の検討を行なった。

これらの実験により、補強材に頭部工を設置することにより、地盤強度が高まり、特にプレートを設置した場合には、地盤強度はプレート面積に比例して増加することがわかった。配置密度を変えることにより、地盤強度は変化するがそれは補強材の配置位置の影響を受ける。また、補強材の抵抗力のうち、軸力が補強効果に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

キーワード：鉄筋挿入工法、補強効果、補強材の軸力、頭部工、挿入角度、配置密度

まえがき

現在、自然斜面、切土斜面等において鉄筋を挿入することにより地山の強度を高める工法が発達し、その施工が増加してきている。この鉄筋挿入工法の設計の考え方は、補強材に引張力、または、せん断力の効果により地盤強度を高めるという考え方と補強部分を剛体として仮想擁壁を考える方法とがある。しかしながら、現状でのこの工法の設計方法は確立されているとはいえず、とりわけ鉄筋の引張力による効果を考える場合、極限つりあい法によりそれを求めているが、この工法では一般のアンカー工法のように鉄筋に積極的に力を加え、地盤の強度を高めるものではなく、地山の変形時に鉄筋に作用する力により、その時それに発生する引張力を考える必要があり、現状の方法にはその点についての課題が残されている。このため、実験的研究を中心として各所で基礎的研究を進めており^(1～5)、今回は模型斜面を用い、補強材の頭部工、挿入角度及び配置を変えた一連の実験を行なったので報告する。

目 次

まえがき

1. 実験概要

1. 1 実験目的	1
1. 2 実験装置	2
1. 3 実験材料	3
1. 4 実験方法	5
1. 5 実験ケース	7

2. 実験結果及び考察

2. 1 せん断応力による補強効果の比較

2. 1. 1 頭部工	10
2. 1. 2 挿入角度	14
2. 1. 3 配置密度	15

2. 2 補強材の抵抗力の内容

2. 2. 1 補強材の抵抗力	18
2. 2. 2 頭部工	22
2. 2. 3 挿入角度	24
2. 2. 4 配置密度	26

3. まとめ及び今後の課題

1. 実験概要

1.1 実験目的

当研究室では、鉄筋による補強効果について、鉄筋を地盤に挿入することにより地盤の物性値は変化せず、鉄筋と地盤の相互関係により補強効果が発揮され则认为、下記の内容について検討を進めている。

・補強効果の考え方

$$\tau = \sigma \cdot \tan \phi + C + R$$

(地盤強度) (補強効果)

τ : 補強地盤の強度 (kgf/cm²) , σ : 垂直応力 (kgf/cm²) , ϕ : 地盤の内部摩擦角 (°)

C : 地盤の粘着力 (kgf/cm²) , R : 鉄筋による地盤強度の増分 (kgf/cm²)

・補強効果の内容

- ①補強材の抵抗力, ②補強材と地盤の周面摩擦, ③補強材の挿入角度, ④プレートの支圧効果
⑤補強材の配置密度, ⑥地盤の物性の影響

これまで、自然斜面のうち表層土層と岩盤の二層構造を持つ斜面(図-1)を想定した実験を行ない、大型一面せん断試験機を用いた実験⁽⁶⁾により、補強効果は補強材の抵抗力のうち、補強材の引張力であるという結果を得た。また、中型一面せん断試験機を用いた実験⁽⁷⁾により、頭部プレートの支圧効果、地盤材料として砂質土、粘性土を用いることにより地盤の物性の影響について検討した。

今回は、模型斜面を用い、自然斜面のうち前述した二層構造を持つ斜面と均一層からなる斜面を想定した実験を行ない、補強材の頭部工、挿入角度及び配置密度についての影響を検討したので報告する。

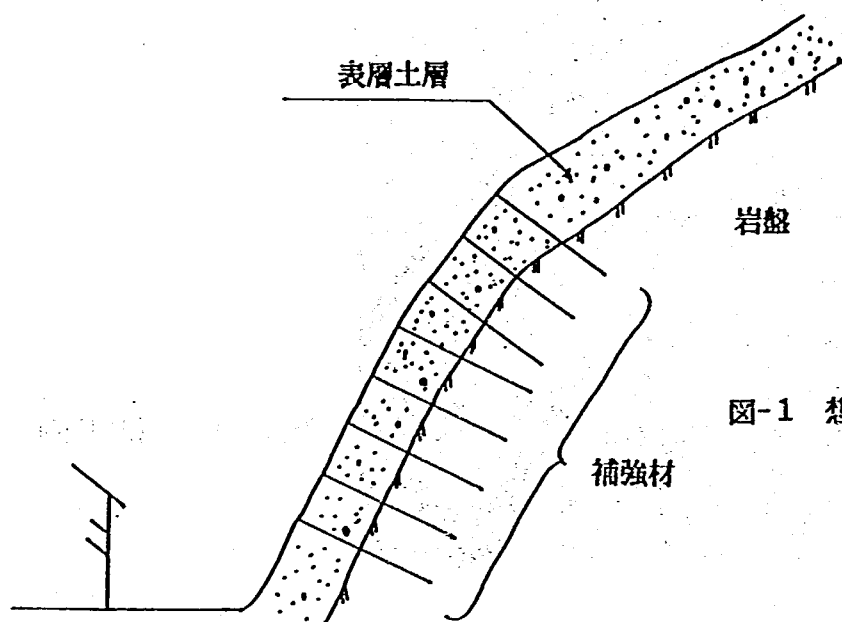


図-1 想定斜面の概要図

1. 2 実験装置

実験に用いた模型斜面を図-2, 写真-1に示す。

模型斜面は、鋼製材料により製作され、形状は高さ600mm, 幅500mm, 長さ2000mmであり、上部の載荷箱を4本のジャッキ(500kgf/本)で載荷できる構造となっている。また、片方の側面にはアクリル盤が取付けられ、実験中の砂の挙動が観察でき、斜面底部には試料砂を張付け、粗度をつけてある。

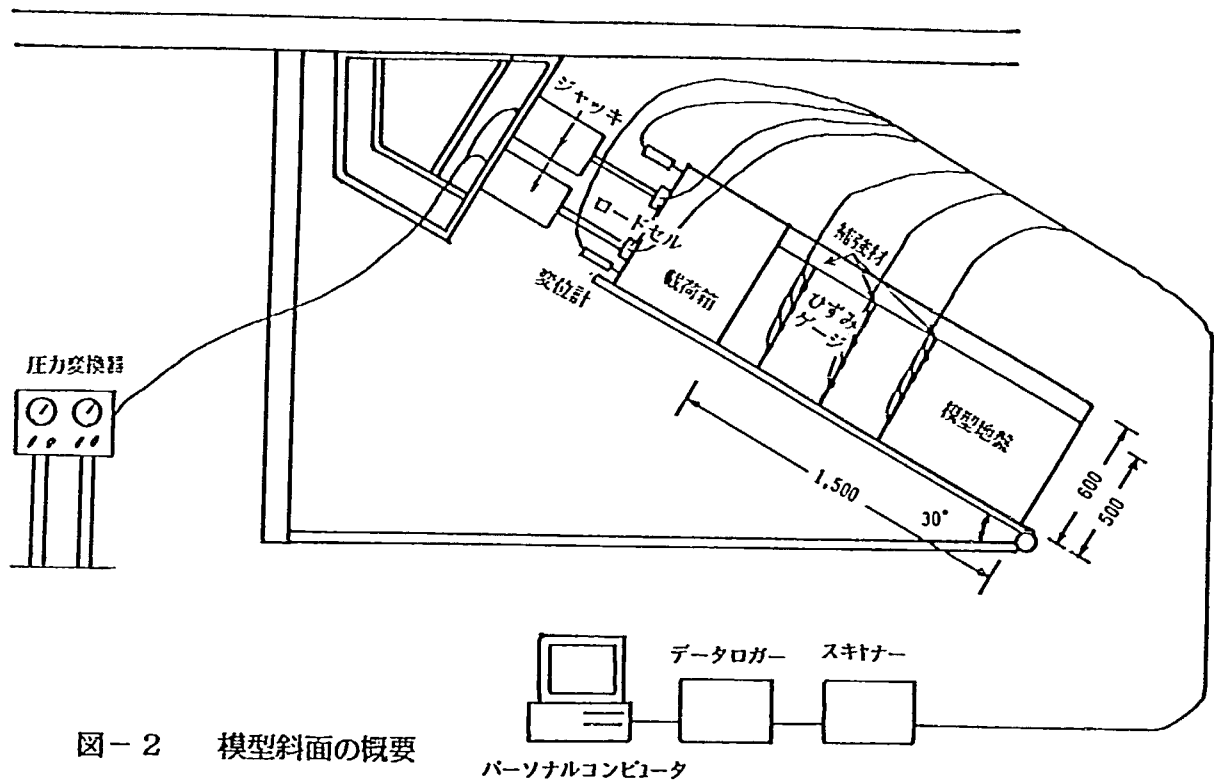


図-2 模型斜面の概要

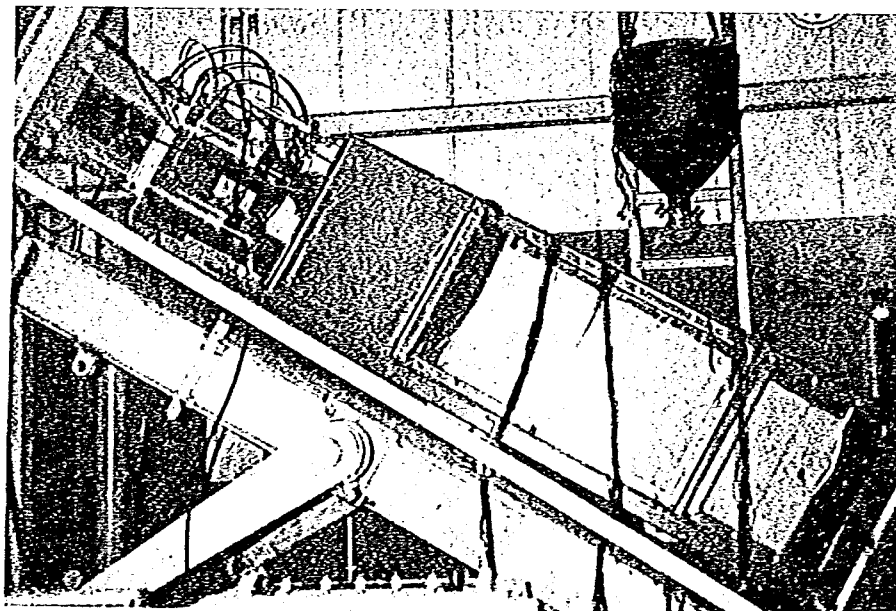


写真-1 模型斜面

1. 3 実験材料

1. 3. 1 補強材

補強材は、試験条件を考慮し、りん青銅棒（JIS H 3270）の $\phi 3\text{mm}$ を使用した。

- ・弾性係数 $E = 1.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
- ・引張り強さ $\sigma = 7500 \text{ kgf/cm}^2$

補強材は図-3に示す形状であり、補強材の曲げ応力、軸（引張り）応力を測定するため1本当り各々4箇所にひずみゲージ（KFG-1-C-1-11L30）を取付けてある。また、表面には周面の地盤との十分な摩擦をもたせるため接着剤により標準砂を付着させてある。

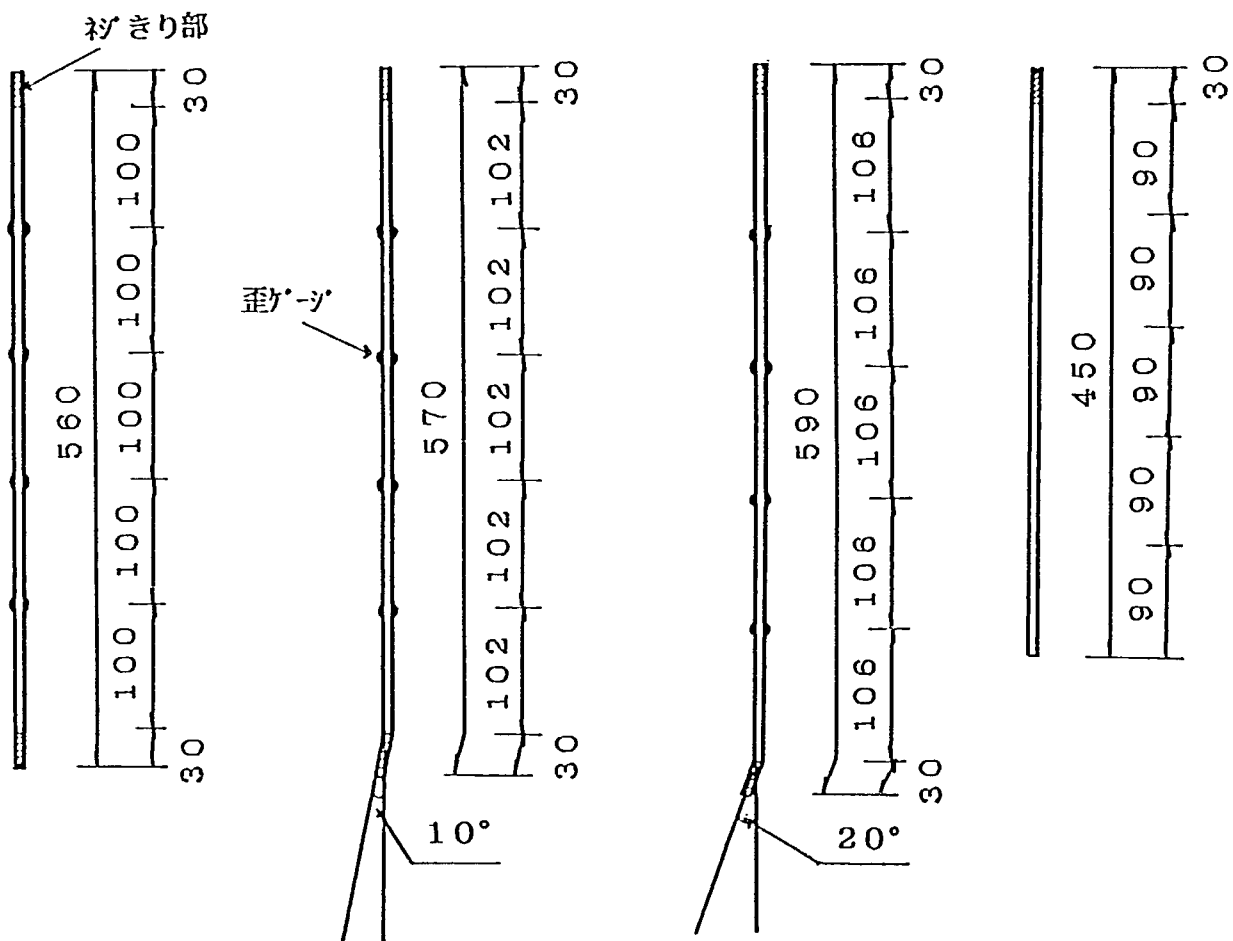


図-3 補強材の形状
及び歪みゲージの取り付け位置

1. 3. 2 地盤材料

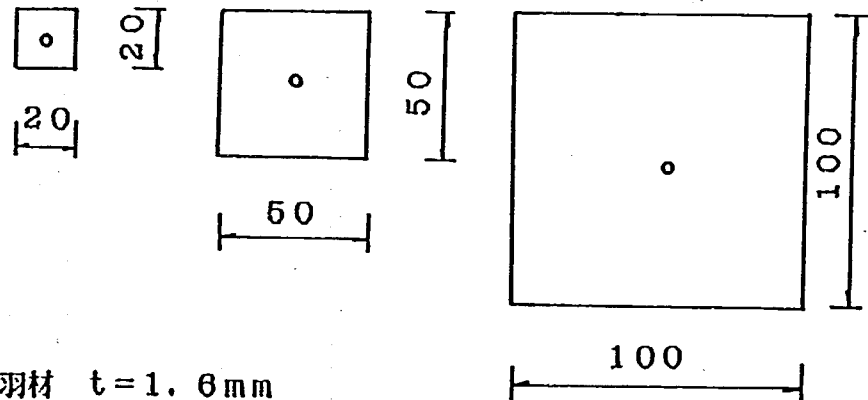
地盤材料は実験における繰返しの再現性、均一性を期待し、豊浦標準砂を使用した。物性値は次の通りである。

- ・真比重 $G_s = 2.64$
- ・粒度 標準網ふるい 300μ 以下 1%以下
 106μ 以上 95%以上
- ・三軸圧縮試験による土質定数 $\phi = 36^\circ$, $C = 0 \text{ kgf/cm}^2$

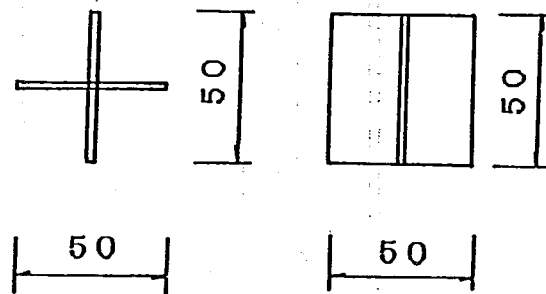
1. 3. 3 頭部工

本実験では頭部工のうち、支圧プレート、連結材及び羽材を用いた。その形状を図-4に示す。

頭部プレート t (厚) = 2.2 mm



羽材 $t = 1.6 \text{ mm}$



連結材 $t = 2.2 \text{ mm}$

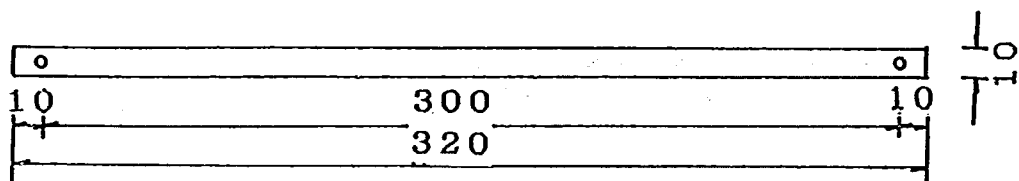
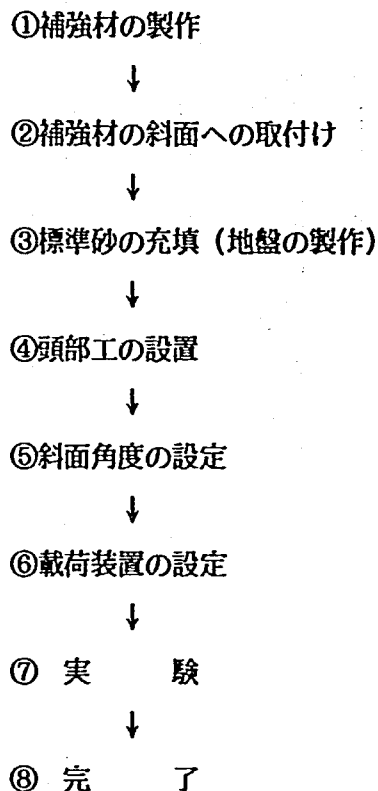


図-4 頭部工形状

1. 4 実験方法

1. 4. 1 実験方法

次に実験のフローを示す。



①補強材の製作

補強材は、1. 3. 1で示した通りであり、 $\phi 3\text{mm}$ のりん青銅棒を用い、所定の位置にひずみゲージを接着剤で貼付け、その後、補強材表面に標準砂を付着させる。

②補強材の斜面への取付け

補強材を斜面の所定の位置に設置する。設置角度は斜面に直角とする（挿入角度の実験では所定の角度に設置する）。

③標準砂の充填

補強材の設置後、標準砂をホッパーにより斜面上方70cmの高さから6～7kg/minの流量にて空中落下させることにより充填する。この時の密度は、1500kg/m³程度であり、相対密度（土質試験法：土質工学会）は70%程度と比較的密な状態である。

④頭部工の設置

標準砂の充填後、補強材の頭部に所定の頭部工をナットを用いて取付ける。この時頭部工と補強材の角度は直角である。補強材及び頭部工の設置状況は図-5に示すように、支圧プレートは各補強材頭部に地盤と密着するように取付け、連結材は各々の補強材頭部を縦方向につなぎ、羽材は補強材頭部に取付け地盤に埋め込んだ状態で設置してある。

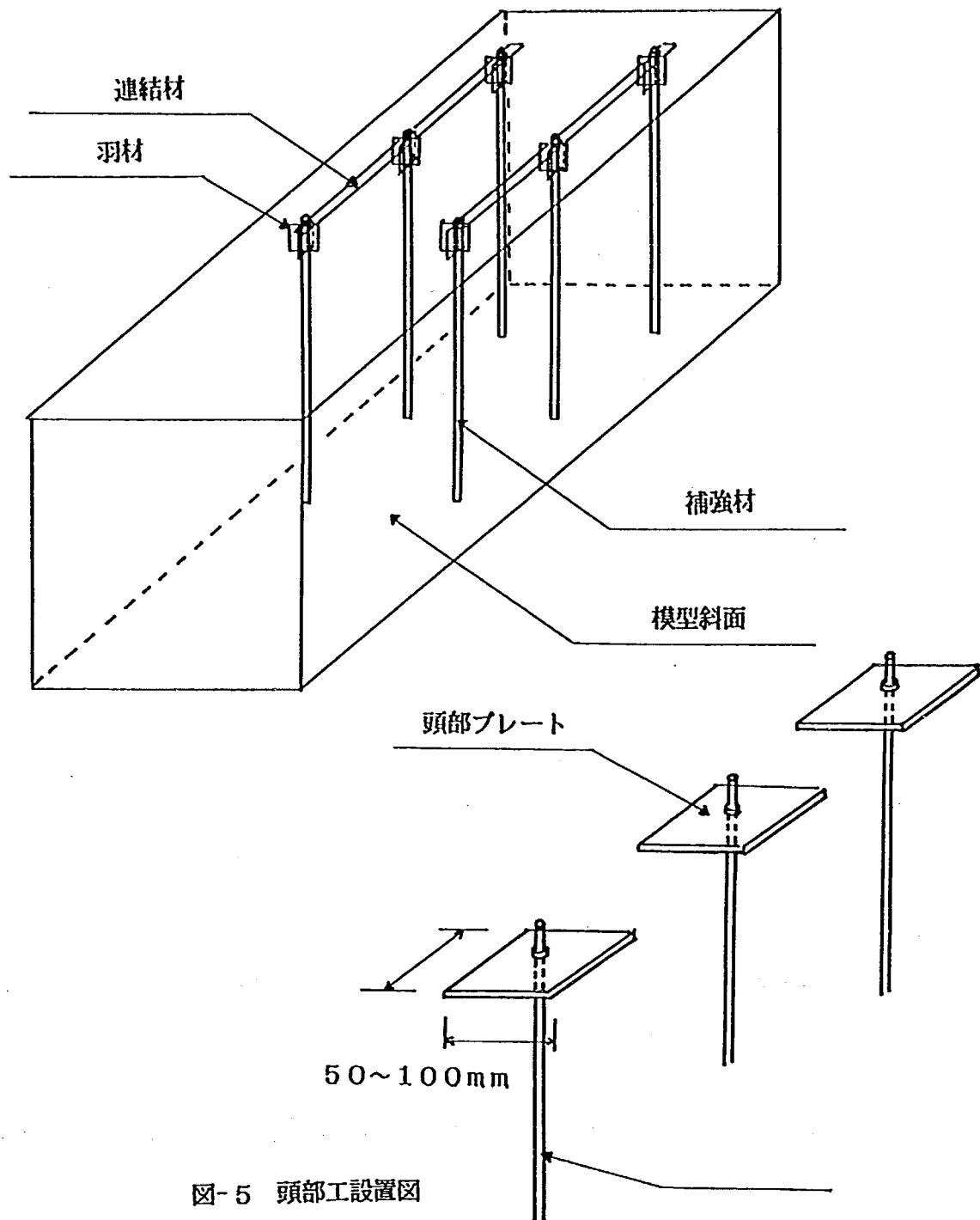


図-5 頭部工設置図

⑤斜面角度の設定

斜面角度を 30° に設定する。(本実験での斜面勾配はすべて 30° である)

⑥载荷装置の設定

斜面勾配設定後、载荷ジャッキ(4本)に各々载荷金具及びロードセルを取付け、载荷箱にセットする。

⑦実験

実験は、せん断速度 1.0mm/min の変位制御方式で行い、载荷重、载荷箱の変位、補強材のひずみ等について30秒間隔でスキャナー、データロガーを通してパーソナルコンピュータに収録する。

1. 4. 2 実験結果に用いる語句の説明

①せん断応力

載荷ジャッキに取付けた4個のロードセルによる計測値の合計をせん断面積（後述）で除した値である。

②せん断変位

載荷箱の変位量であり、載荷箱に取付けた2本の変位計による計測値の平均値である。

③補強効果

補強地盤（補強材を設置した地盤）の地盤強度の増分であり、補強地盤のせん断応力と無補強地盤のせん断応力の差である。ただし、頭部工について検討している項では、頭部工をつけない補強地盤のせん断応力との差である。

④補強材の軸力

補強材に貼付けたひずみゲージにより測定した軸ひずみに弾性係数と補強材の断面積を乗じた値である。

⑤補強材の曲げ応力

軸力と同様に曲げひずみに弾性係数と補強材の断面積を乗じた値である。

⑥補強材の軸力による応力

④で求めた1本の補強材の軸力に設置した本数を乗じ、この値をせん断面積で除した値である。

1. 5 実験ケース

実験ケースは表-1に示すように、無補強地盤1ケースと二層構造の斜面を想定し補強材の端部を固定した19ケース及び均一層の斜面を想定し補強材の端部を固定しない8ケースである。

端部を固定した実験は、補強材の頭部工を変えた実験11ケース、挿入角度を変えた実験3ケース、挿入本数を変えた実験5ケースであり、端部を固定しない実験は、頭部プレートの変えた実験3ケース、補強材の本数を変えた実験5ケースである。

各実験における補強材の平面的な配置を図-6に示す。

表-1 実験ケース

補強材端部を固定した実験

			補強材本数 (縦×横)
無補強地盤			なし
頭 部 工 を 変 え た 実 験	プレート の 大 き さ を 変 え た 実 験	プレートなし	3本×2本
		プレートなし	3本×2本
		2cm角	3本×2本
		5cm角	3本×2本
		10cm角	3本×2本
	羽 材		3本×2本
			3本×3本
	連 結 材		3本×2本
			3本×3本
	羽材+連結材		3本×2本
			3本×3本
挿入角度を 変えた実験	頭部 プレート 5cm角	-10	3本×2本
		+10	3本×2本
		+20	3本×2本
配置密度を 変えた実験	頭部 プレート 5cm角		3本×1本
			3本×3本
			1本×2本
			5本×2本
			5本×3本

補強材端部を固定しない実験

			補強材本数(縦×横)
頭 部 工	プレートの 大きさ を変えた 実験	2cm角	3本×2本
		5cm角	3本×2本
		10cm角	3本×2本
配置密度を 変えた実験		頭部 プレート 5cm角	3本×1本
			3本×3本
			1本×2本
			5本×2本
			5本×3本

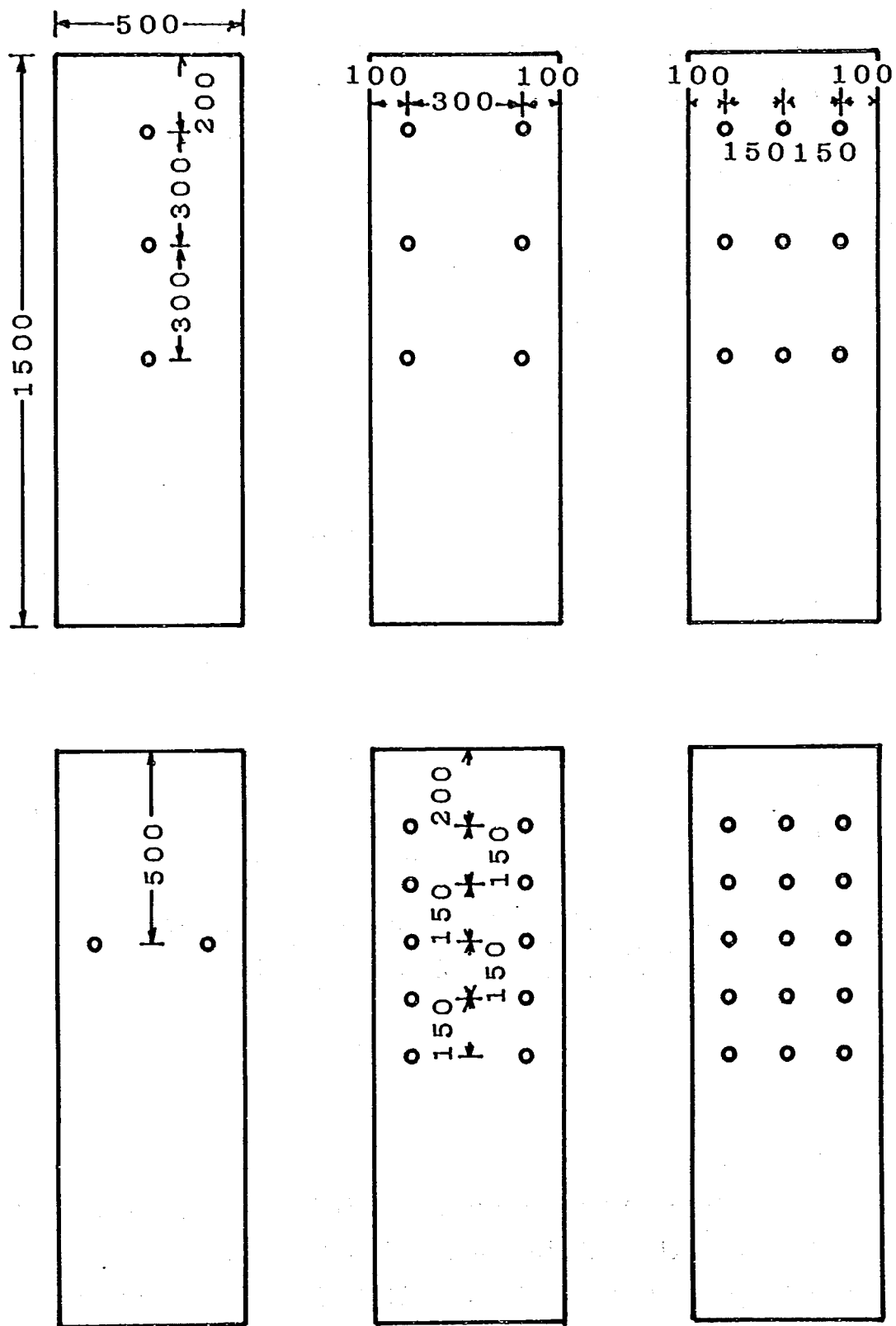


図-6 補強材の平面配置

2. 実験結果及び考察

2. 1 せん断応力の増分による補強効果

本実験では各ケースにおいて載荷箱の変位に伴い、模型地盤は変形をおこし、図-7に示すように載荷箱の下端付近から模型斜面の表面に向かってせん断面を形成するように挙動する。この長さが100cm程度であることから本実験におけるせん断面積は、

$$A = 50 \times 100 = 5,000 \text{ cm}^2$$

(幅) (長さ)

とした。

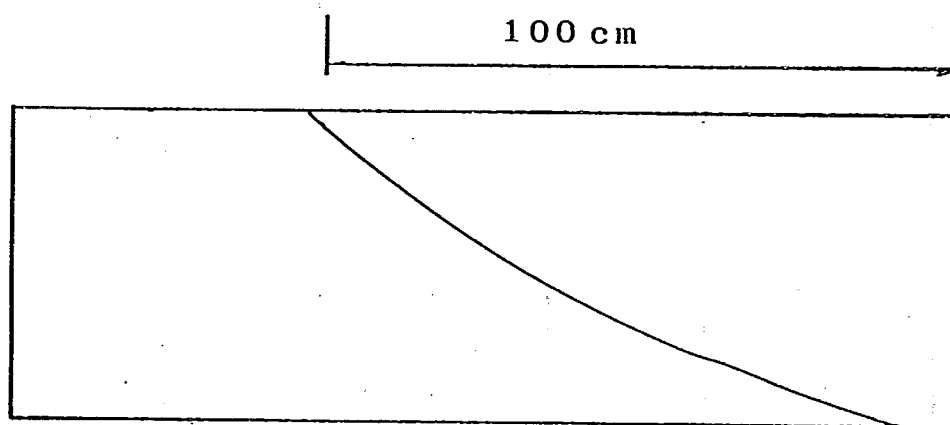


図-7 模型斜面の側面のアクリル板より測定した砂の動き
動きは側面に埋設したリボンにより測定し、
図中の線はせん断変位80mmに対応する。

2. 1. 1 頭部工について

頭部工のうち、頭部プレートの大きさを変えた実験では、頭部工を取付けないものと2cm角、5cm角、10cm角のケースについて比較した。補強材の配列は縦3本、横2本である。

補強材端部を固定したケースでは、無補強地盤と比較した場合、その同一変位時においてプレートを取付けたケースのせん断応力が増加していることがわかる。ただし、2cm角とプレート面積が小さい場合にはプレートを取付けない場合とせん断応力はほとんど等しくプレートによる効果はほとんどみられないが5cm角、10cm角とプレート面積を大きくするとせん断応力は大きくなる。

補強材の端部を固定しないケースでは、無補強地盤と比べて5cm角、10cm角のプレートを取付けた場合、そのせん断応力は若干大きくなっているが、端部を固定したものに対してその割合は小さい。

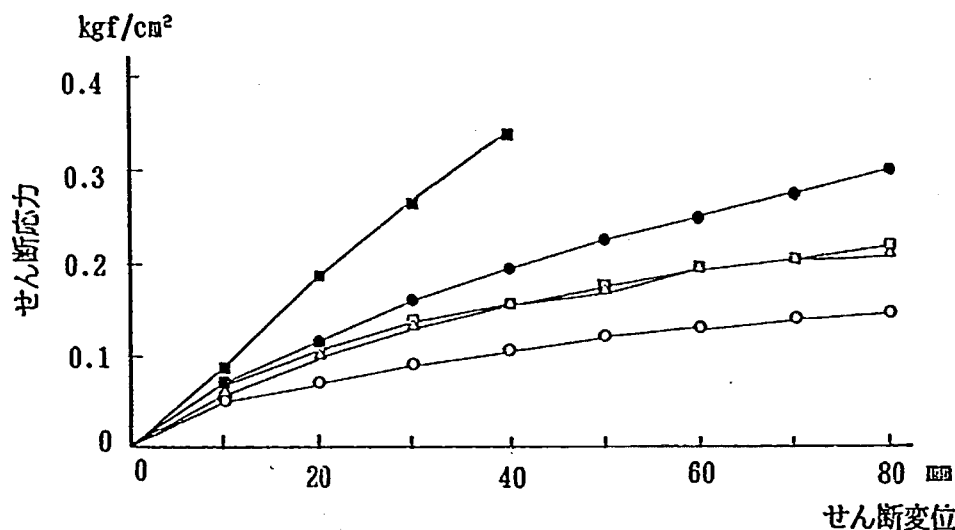


図-8 せん断変位とせん断応力の関係 -頭部プレートの大きさを変えた実験-
補強材の配置は縦3本、横2本、端部を固定している。
○無補強、△プレート無し、□2cm角プレート、●5cm角プレート、
■10cm角プレート

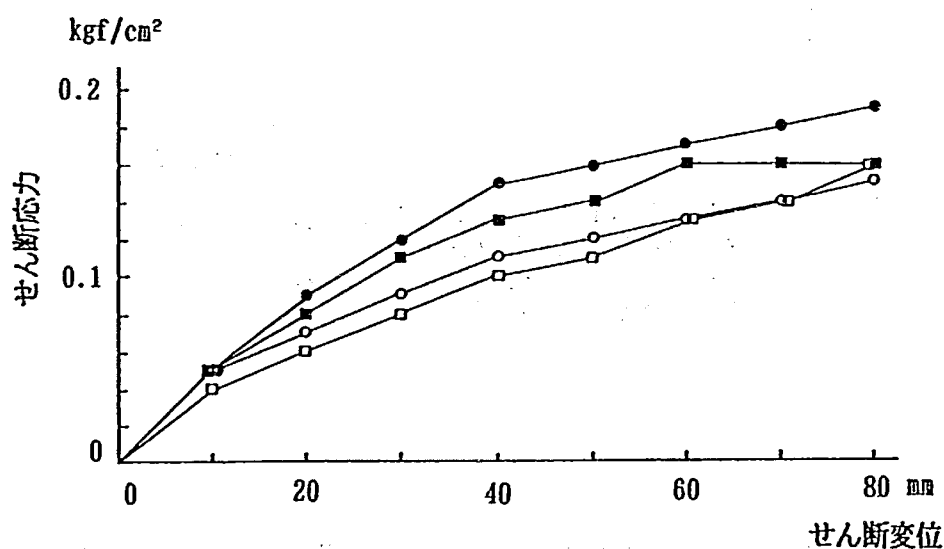


図-9 せん断変位とせん断応力の関係 -頭部プレートの大きさを変えた実験-
補強材の配置は縦3本、横2本、端部を固定していない。
○無補強、□2cm角プレート、●5cm角プレート、
■10cm角プレート

頭部プレートによる補強効果は、頭部にプレートを取付けたケースのせん断応力とプレートを取付けないケースのせん断応力の差で表わすことができる。プレートの大きさに対して同一のせん断変位における補強効果は、せん断変位が大きいところほど大きくなる傾向が図-8, 9よりみられる。

せん断変位40mmにおけるせん断面積と補強効果の関係を図-10に示す。

これより、プレートによる補強効果は2cm角と小さい場合にはみられないが、プレートが大きくなるにつれて補強効果は大きくなり、それは面積に比例する。

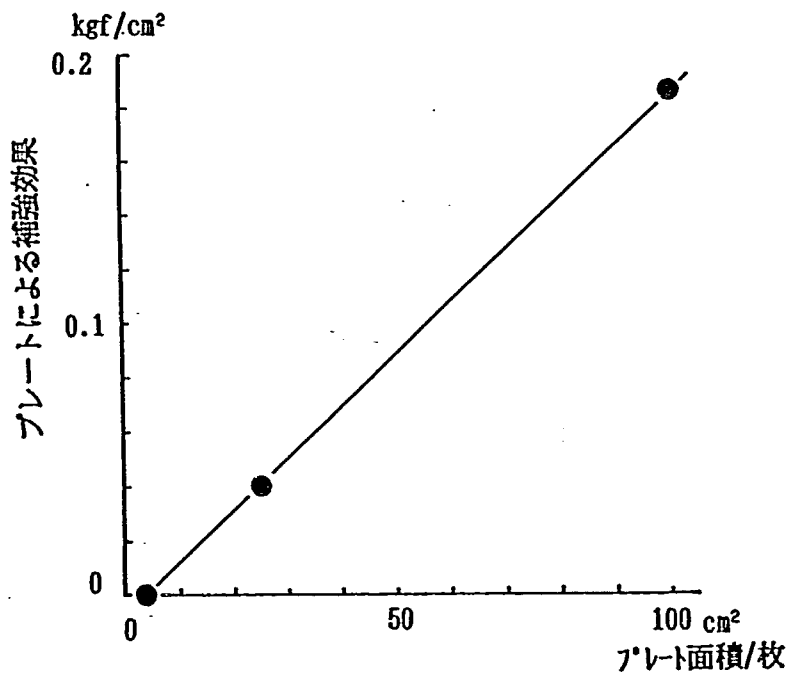


図-10 プレート面積とプレートによる補強効果の関係
せん断変位40mmにおける比較
プレートによる補強効果は各せん断応力からプレートをつけない場合のせん断応力を差し引いたもの

羽材、連結材、両者の複合及び頭部工を取付けないケースの結果のうち、配列が3本、横2本の場合を図-11、縦3本、横3本の場合を図-12に示す。

配列がいずれの場合においても頭部工を取付けない場合に比べて、羽材、連結材、両者の複合ともこの順にせん断応力が大きくなっている。ただし、縦横3本の場合においてはせん断変位が小さいうちは羽材のせん断応力が連結材より大きく、せん断変位が大きくなってから連結材のせん断応力が羽材のそれを上回っている。

羽材、連結材及び両者の複合による補強効果（これらの頭部工を取付けた場合のせん断応力から頭部工を取付けない場合のせん断応力を差し引いたもの）を図-13に示す。

補強材本数が、縦3本、横2本のケースについては羽材、連結材、両者の複合の順に補強効果は大きくなり、連結材による効果と頭部プレートによる効果はほぼ等しく、また、羽材と連結材の補強効果を足したものと両者の複合のそれはほぼ等しくなっている。

縦3本、横3本と補強材の本数を増やすことにより、頭部工による補強効果は高まるのが当然であるが連結材にみられるように本実験では、その効果が表れていない。

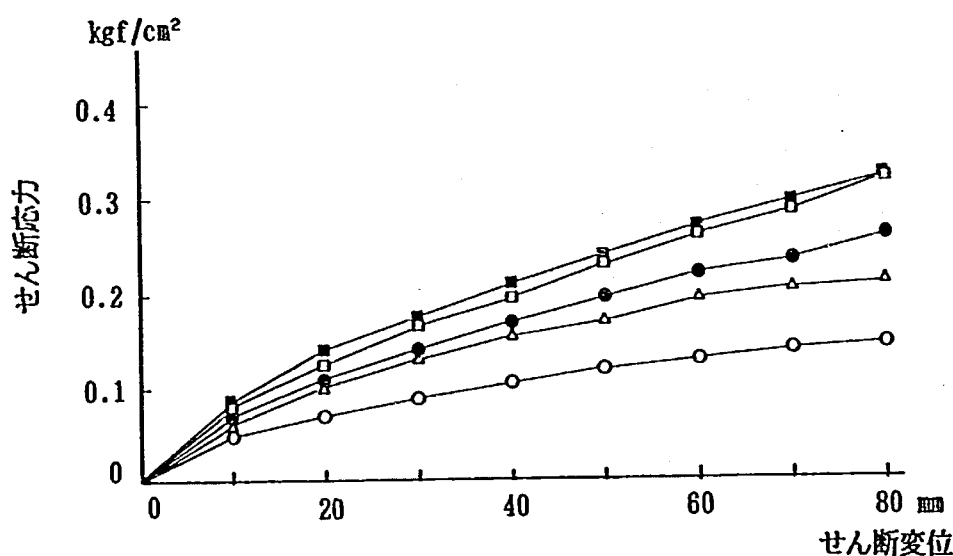


図-11 せん断変位とせん断応力の関係 -頭部工の種類を変えた実験-
補強材の配置は縦3本、横2本、端部を固定している。
○無補強、△頭部工無し、●羽材、□連結材、■羽材+連結材

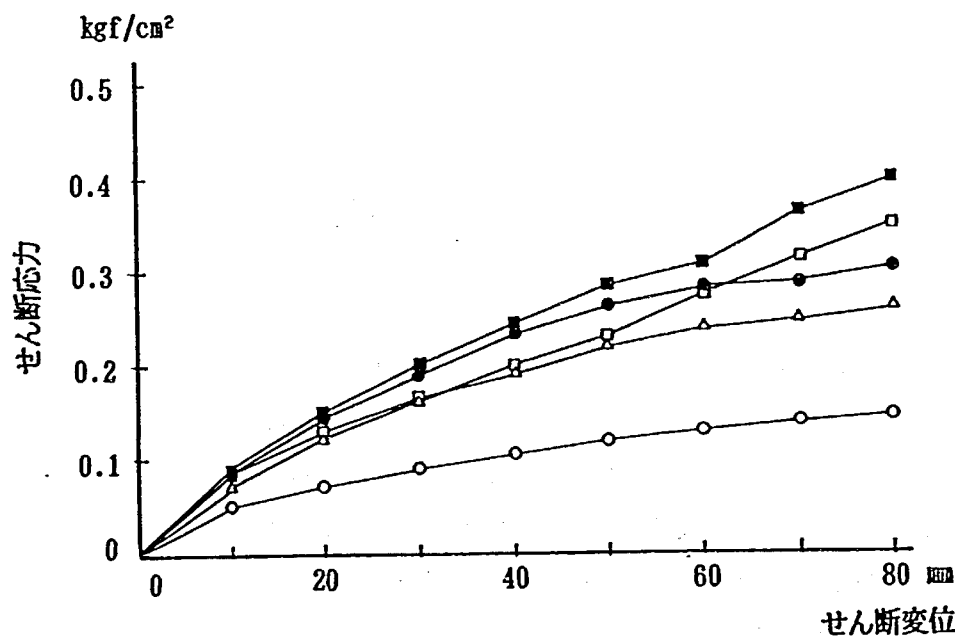


図-12 せん断変位とせん断応力の関係 -頭部工の種類を変えた実験-
補強材の配置は縦3本、横3本、端部を固定している。
○無補強、△頭部工無し、●羽材、□連結材、■羽材+連結材

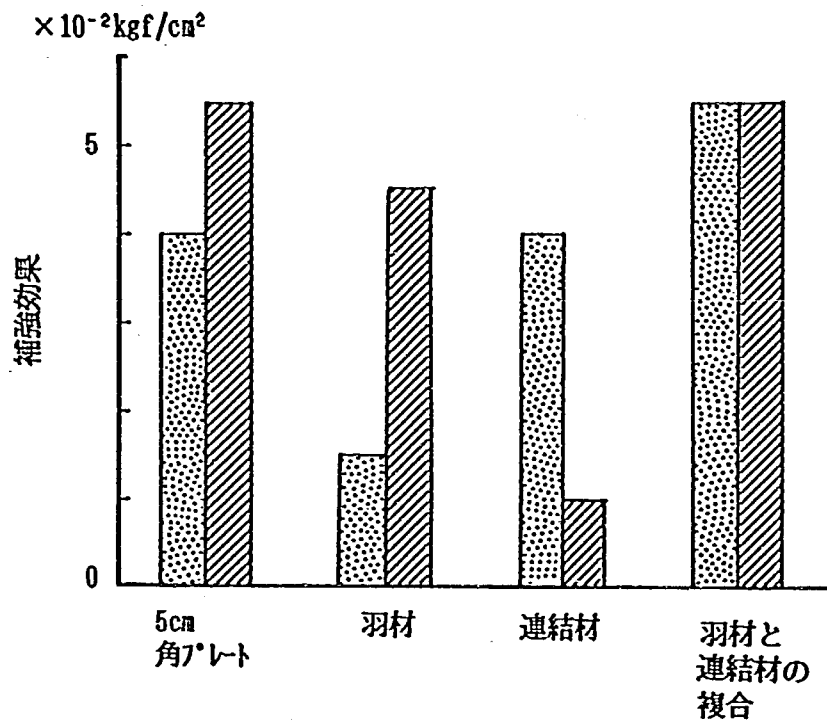


図-13 各頭部工の補強効果の比較
 左側:補強材縦3本、横2、右側:補強材縦3本、横3本
 補強効果はせん断変位40mmにおける頭部工を取り付けない
 ケースとのせん断応力との差

2. 1. 2 挿入角度

補強材の挿入角度を変えた実験では、斜面に対して補強材を直角に挿入したケースに比べて、上方（一方
 向）に10°，下方（+方向）に10°，20°と傾けたケースについて比較した。補強材の配置は縦3本、
 横2本である。

実験結果を図-14に示す。

各ケースのせん断応力について比較すると斜面に直角（0°）のケースが若干大きいことを除けば、-1
 0°，+10°，+20°のケースについては差はほとんどみられていない。

挿入角度による効果は、補強材が引張り補強材としてはたらく場合、挿入角度を斜面に対してその地盤に
 発生する最小主ひずみの方向へ配置することにより補強材の効果が発揮されと考えられている⁽⁸⁾。今回の
 実験では挿入角度による差がみられていない。これは補強材の端部を固定したことによる影響、挿入角度の
 差が小さかったことを等が考えられる。

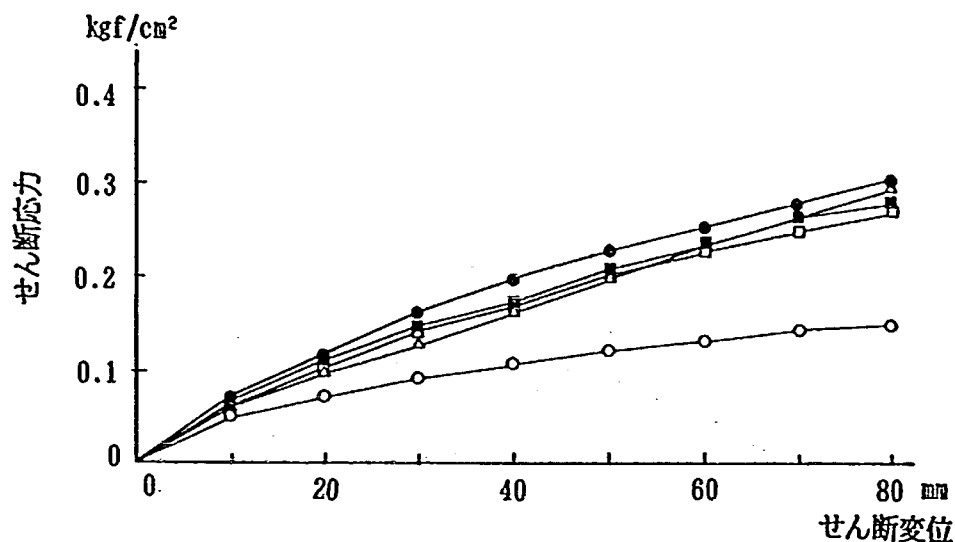


図-14 せん断変位とせん断応力の関係 -補強材の挿入角度を変えた実験-
補強材の配置は縦3本、横2本、端部を固定している。
頭部工は5cm角7°レート
○無補強、□-10°、●0°、■+10°、▲+20°

2. 1. 3 配置密度

補強材の配置密度の効果をみる実験では、縦方向を3本で横方向を1, 2, 3本と変えた実験、横方向2本で縦方向を1, 3, 5本と変えた実験について行なった。

配置密度を変えた実験は補強材の端部を固定したケース、固定しないケースからなる。

補強材の端部を固定したケースについての結果を図-15, 16、固定しないケースを図-17, 18に示す。

補強材の端部を固定したケースについては、補強材の本数を増やすほどせん断応力は増加している。端部を固定していないケースについてはせん断応力に顕著な差はみられていない。

補強材の端部を固定したケースのせん断変位40mmに対する補強材の本数とせん断応力の増分の関係を図-19に示す。

一定面積のなかに配置する補強材本数を増やすと、補強効果は増加するが、ある本数以上になるとその効果は頭打ちとなるという報告がある⁽⁹⁾。今回の配置密度に関する実験でも、図-19に示すように、補強材本数の増加にともない、補強効果は増加していくとともに、その効果は増え方がやや鈍っている。補強材9本のケースが10本のケースより補強効果が大きいように、この増え方には図-19にみられるような幅があることは、補強材の挿入位置の影響が表れていると考えられる。

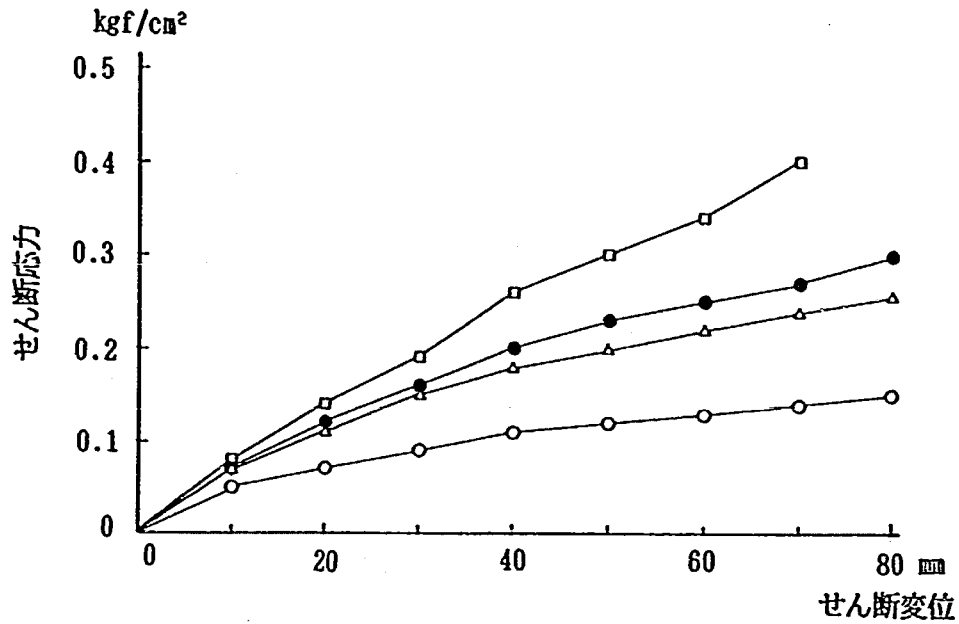


図-15 せん断変位とせん断応力の関係 -補強材の配置密度を変えた実験-
補強材の縦方向の配置本数が3本、頭部工は5cm角7°レート、端部を固定している。
○無補強、△横1本、●横2本、□横3本

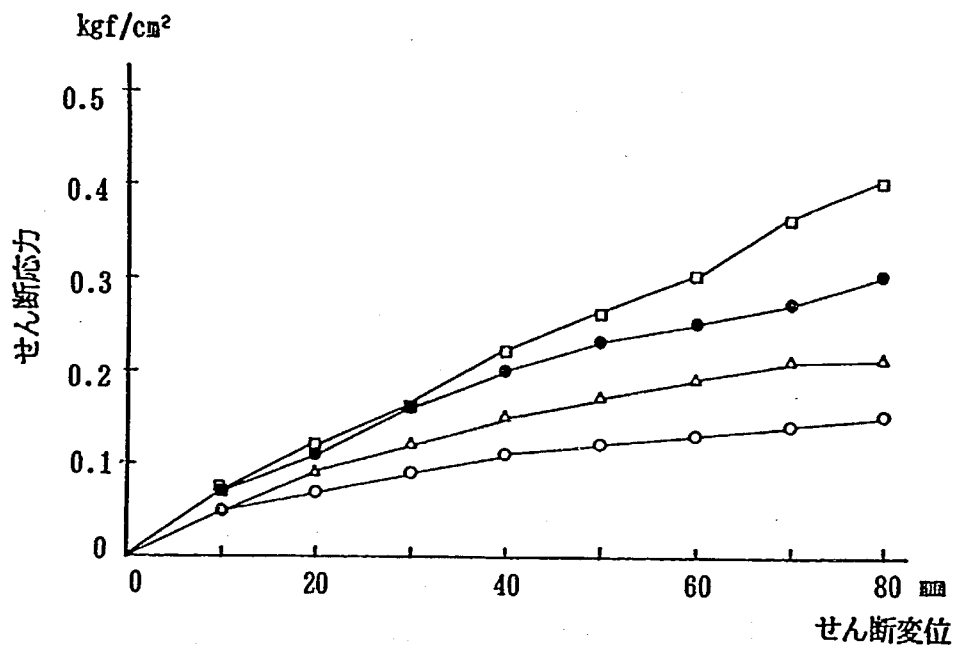


図-16 せん断変位とせん断応力の関係 -補強材の配置密度を変えた実験-
補強材の横方向の配置本数が2本、頭部工は5cm角7°レート、端部を固定している。
○無補強、△縦1本、●縦3本、□縦5本

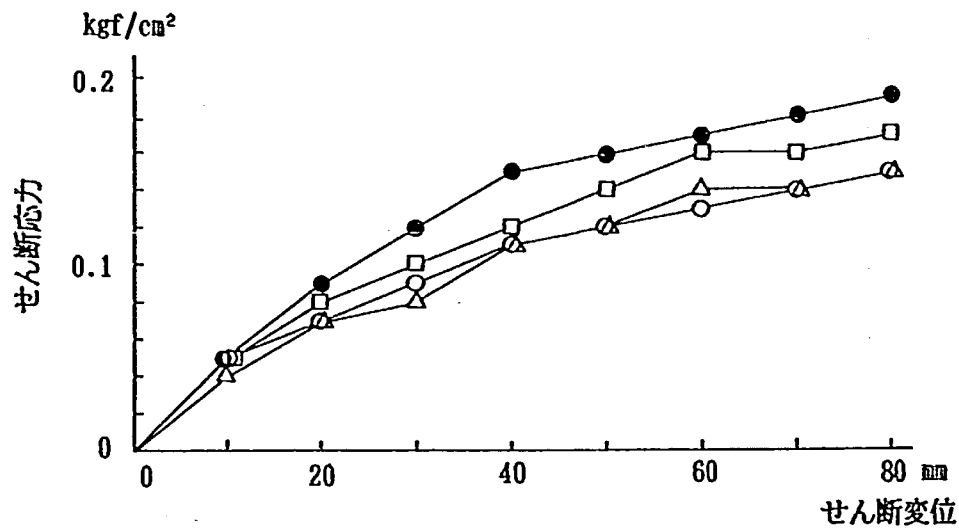


図-17 せん断変位とせん断応力の関係 —補強材の配置密度を変えた実験—
補強材の縦方向の配置本数が3本、頭部工は5cm角プレート、端部を固定していない。
○無補強、△横1本、●横2本、□横3本

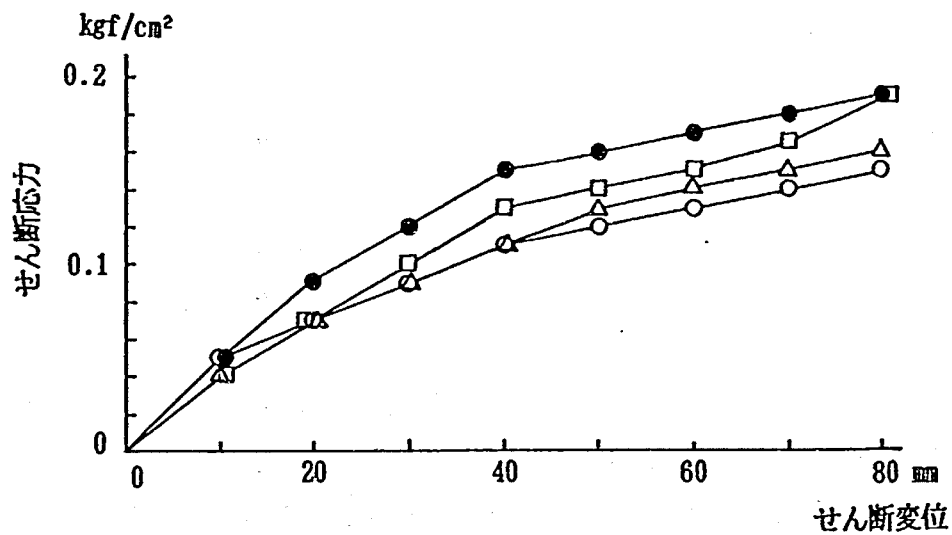


図-18 せん断変位とせん断応力の関係 —補強材の配置密度を変えた実験—
補強材の横方向の配置本数が2本、頭部工は5cm角プレート、端部を固定していない。
○無補強、△縦1本、●縦3本、□縦5本

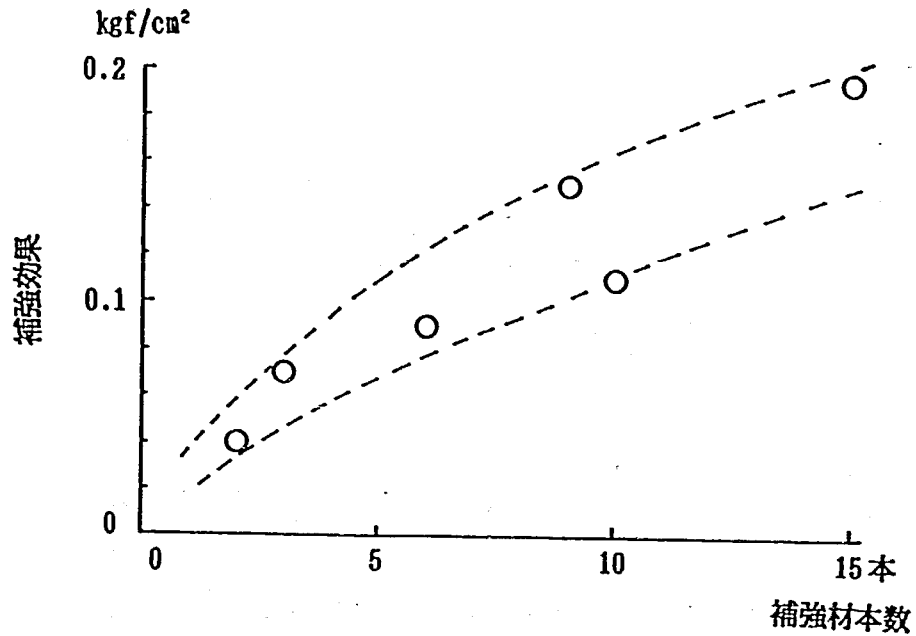


図-19 補強材の挿入本数と補強効果の関係 (端部固定)
補強効果はせん断変位40mmにおける無補強のせん断応力との差

2.2 補強材の抵抗力の内容

2.2.1 補強材の抵抗力

模型斜面に設置した補強材は、地盤のせん断変位の進行に伴って変形する。その斜面の変形時に、補強材に発生する力が地盤強度を増加させることになる。

本実験では、補強材に張り付けたひずみゲージにより軸ひずみと曲げひずみを測定している。

せん断変位に対するこの各々のひずみから求めた補強材の軸力、曲げモーメント図を図-20、21に示す。

補強材の端部を固定したケースでは、斜面の上部に近い補強材ほど軸力、曲げモーメントは大きくなっており、また各々の値は補強材の下端に近いほど大きくなっている。端部を固定しない実験では、各々の補強材の軸力は斜面の位置の影響はあまりみられず、ほぼ同様な値を示している。しかし、各々の補強材の最大軸力が発生する位置については、曲げモーメント図からもみられるように斜面上方の補強材から下方のそれに向かって補強材の上部に移動している。このことは、無補強実験でのすべり線の位置からも説明される。

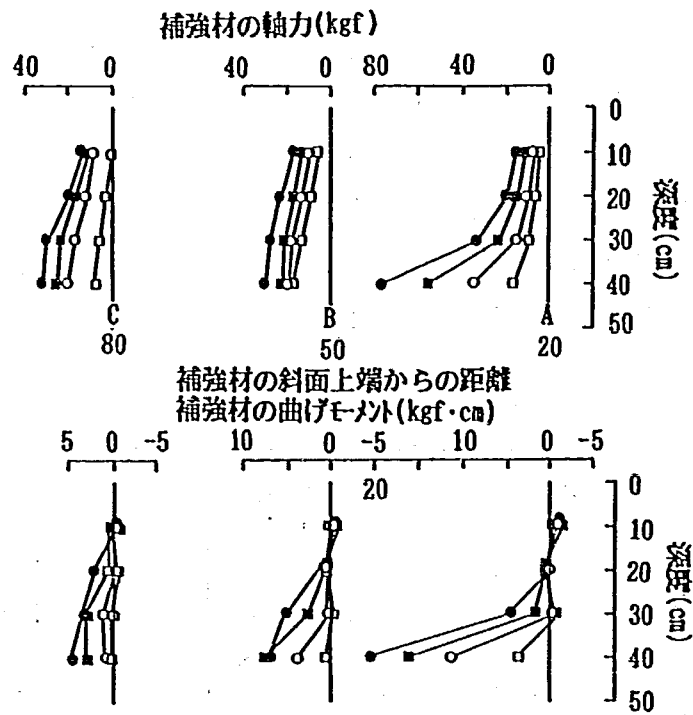


図-20 補強材の軸力と曲げモーメント
(端部を固定した実験、補強材の配置は縦3本、横2本
頭部工は5cm角7°レート)

□せん断変位20mm
○せん断変位40mm
■せん断変位60mm
●せん断変位80mm

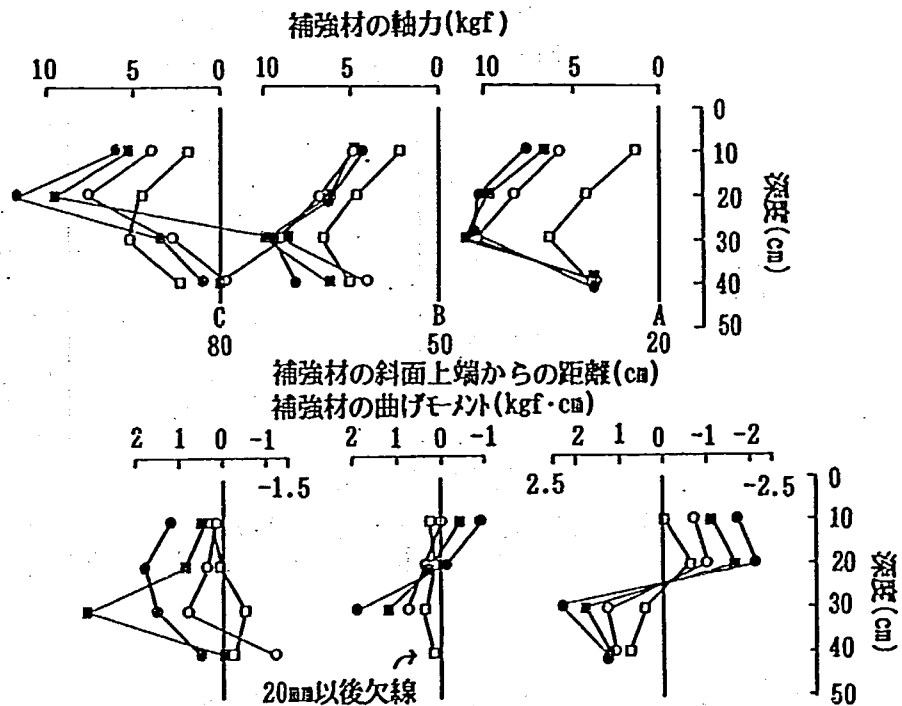


図-21 補強材の軸力と曲げモーメント
(補強材の端部を固定しない実験、補強材の配置は縦3本、横2本
頭部工は5cm角7°レート)

□せん断変位20mm
○せん断変位40mm
■せん断変位60mm
●せん断変位80mm

補強材の軸力と曲げモーメントから求めたせん断抵抗力（図-20、21参照）を、せん断変位40mmでA（載荷箱に最も近い補強材）の補強材について比較したものを図-22に示す。

補強材の端部を固定した実験では、せん断面に近い補強材の端部で軸力が最大になると考えられるが、最下端の値は測定されておらず、単純に比較できないが、端部を固定しないケースに見られるように、軸力に対するせん断抵抗力の割合は非常に小さくなっている。このことはせん断応力の増分（補強効果）において補強材の軸力による抵抗力の割合が大きいと考えられる。

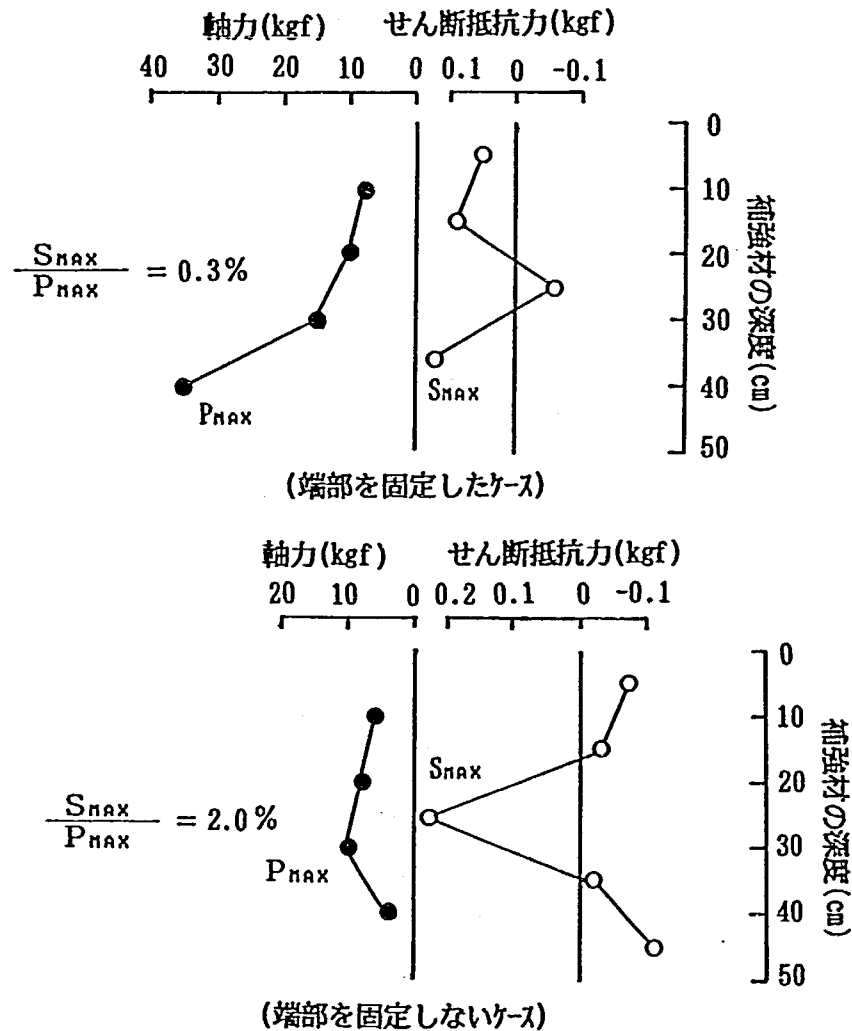


図-22 補強材の軸力とせん断抵抗力
値はせん断変位40mmに対してのものである。

補強材の端部を固定したケースと固定していないケースの補強効果（各せん断応力から無補強のケースのせん断応力を差し引いた値）と補強材の軸力について比較したものを図-23に示す。

ここでの、補強材の軸力は各補強材の最大軸力を足し合わせたものである。

補強効果と軸力の増加傾向は、各々のケースにおいて比例関係を示している。端部を固定したケースではせん断変位の進行に伴い補強効果、補強材の軸力は増加しているが、端部を固定していないケースではせん

断変位40mm以後それらの増加はみられない。

次に補強効果に占める補強材の軸力の割合について検討する。

ここでは、補強材の軸力が地盤強度の増分に及ぼす効果として、補強材の軸力による応力について考える。軸力による応力は、図-23に示した補強材の軸力を斜面のせん断面積(5,000cm²)で除した値である。

補強材の軸力による応力と補強効果の比の関係を図-24に示す。

端部を固定したケースでは、せん断変位初期についてばらつきがみられるが、それ以後せん断変位の進行に影響されず、軸力による応力と補強効果の比は一定の傾向を示す。端部を固定しないケースについても同様の傾向を示している。このことは、補強材の軸力を算定することができれば、補強効果を推定することができる可能性を示唆している。

補強材の軸力による応力が補強効果に占める割合は、各々のケースとも低い値となっているが、これは端部を固定したケースでは、端部での軸力が計測されていない点、固定していないケースでは、補強材の定着部が短いため、軸力の値が小さくなったと考えられる。この点については、再度適当な実験を行なうことにより確認することが必要であり、今後の課題とする。

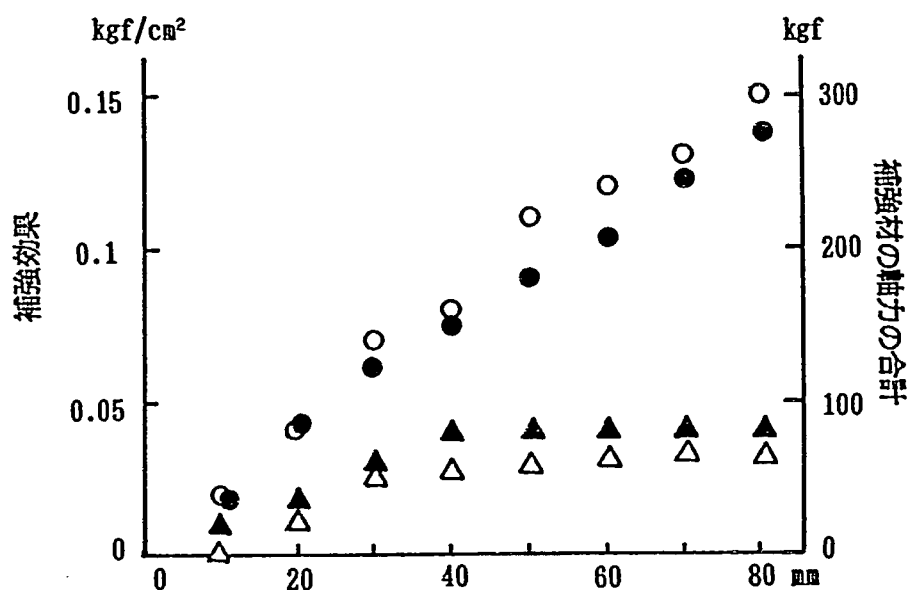


図-23 補強材の端部を固定したケースとしないケースの比較
 各々のケースでの補強材の配置は縦3本、横2本、
 頭部工は5cm角7°レート
 補強効果は各せん断応力から無補強のケースのせん断応力を
 差し引いた値
 ○固定したケースの補強効果
 ●固定したケースの軸力
 △固定しないケースの補強効果
 ▲固定しないケースの軸力

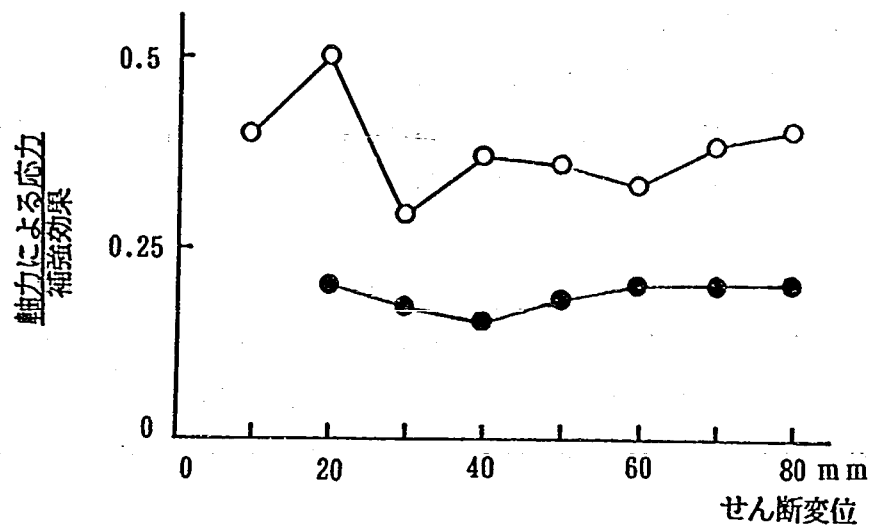


図-24 せん断変位と、軸力による応力と補強効果の比の関係
○縦3本、横2本、頭部工は5cm角 7° プレート (端部を固定した実験)
●縦3本、横2本、頭部工は5cm角 7° プレート (端部を固定しない実験)

2. 2. 2 頭部工

補強効果に寄与する補強材の抵抗力のうち軸力を取り上げ、それと補強効果の関係について検討する。
ここでの補強材の軸力は各補強材の最大軸力を足し合わせ、列数を乗じて算出したものである。

頭部工のプレートの大きさを変えたケースの実験結果のうち、補強材の端部を固定したケースを図-25、固定しないケースを図-26に示す。

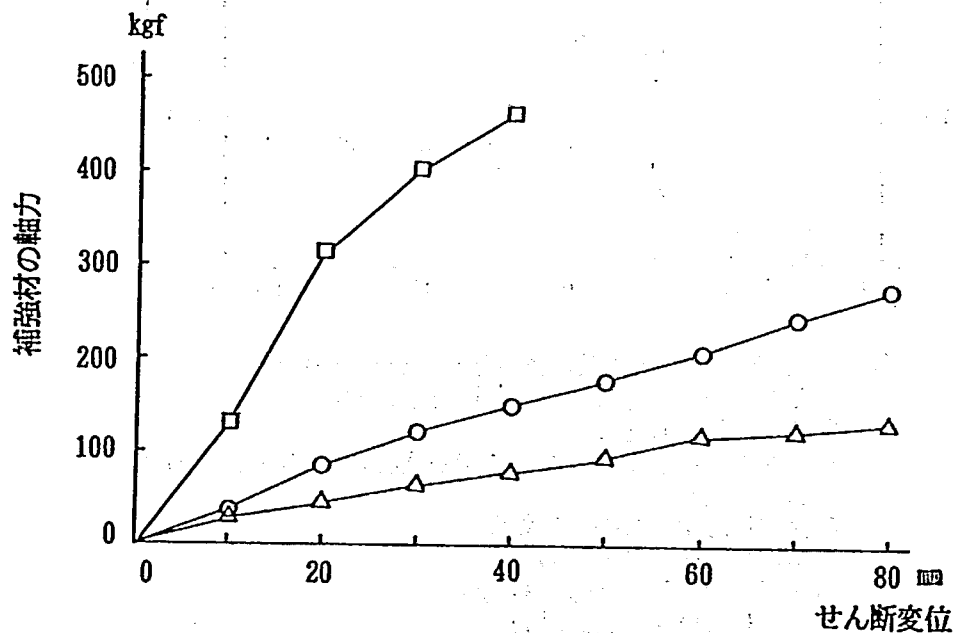


図-25 せん断変位と補強材軸力の関係 ー頭部工を変えた実験ー
補強材の配置は縦3本、横2本、端部を固定している。
△2cm角プレート、○5cm角プレート、□10cm角プレート

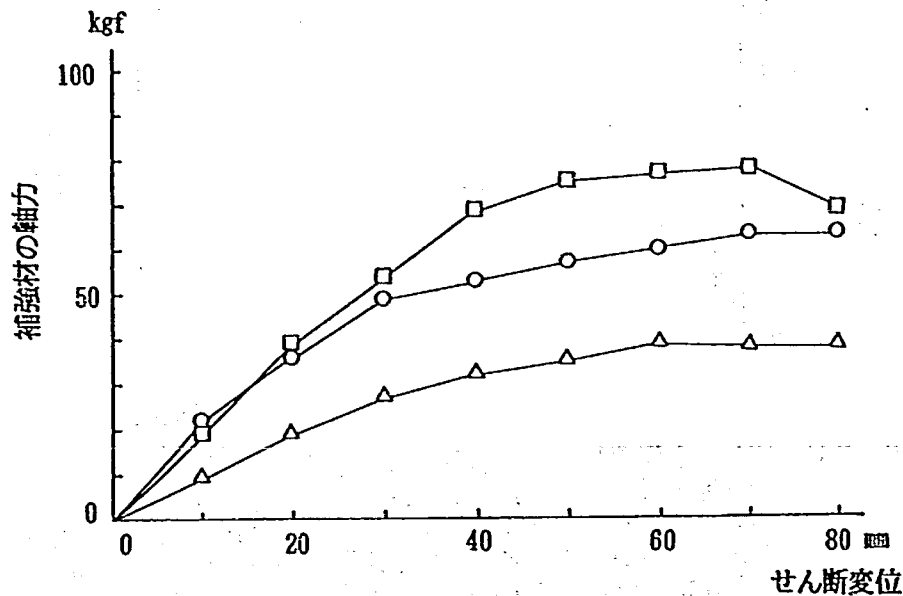


図-26 せん断変位と補強材軸力の関係 —頭部工を変えた実験—
補強材の配置は縦3本、横2本、端部を固定していない。
△2cm角プレート、○5cm角プレート、□10cm角プレート

プレートの大きさを変えた場合、せん断変位の進行に伴い補強材の軸力は増加し、同一の変位に対してプレートが大きいほどその増加は顕著である。また、端部を固定した実験では、プレートの大きさによる軸力の差はせん断変位初期より現われ、固定していない実験では固定した場合に比べ、せん断変位が進行してからである。

せん断変位40mmにおけるプレート面積と補強材の軸力の関係を図-27、28に示す。

これよりプレートが大きいほど補強材の軸力は大きく、それはプレート面積に比例していることがわかる。また端部を固定していないケースでは5cm角プレートのせん断応力の増分が10cm角のそれを上まわっているが、軸力の増加の割合と補強効果の増加の割合もほぼ一致する傾向がみられる。

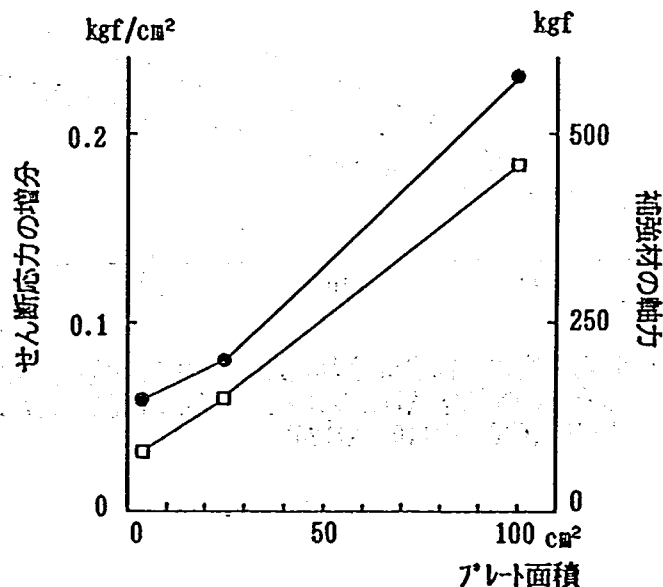


図-27 プレート面積とせん断応力の増分と補強材の軸力の関係
—頭部工(プレート)を変えた実験—(端部固定)
●せん断応力の増分(せん断変位40mmにおける補強材地盤のせん断応力から無補強地盤のせん断応力を差し引いたもの)。
□せん断変位40mmでの各補強材の最大軸力の合計

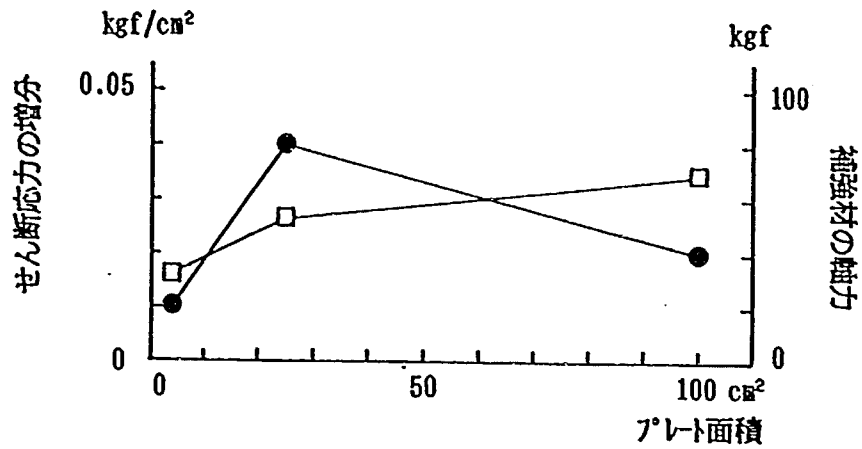


図-28 プレート面積とせん断応力の増分と補強材の軸力の関係
 -頭部工（プレート）を変えた実験-（端部不固定）
 ●せん断応力の増分（せん断変位40mmにおける補強材地盤のせん断応力から無補強地盤のせん断応力を差し引いたもの）
 □せん断変位40mmでの各補強材の最大軸力の合計

2. 2. 3 挿入角度

補強材の挿入角度を斜面に対して -10° 、 0° 、 $+10^\circ$ 、 $+20^\circ$ と変えたケースの実験結果を図-29に示す。

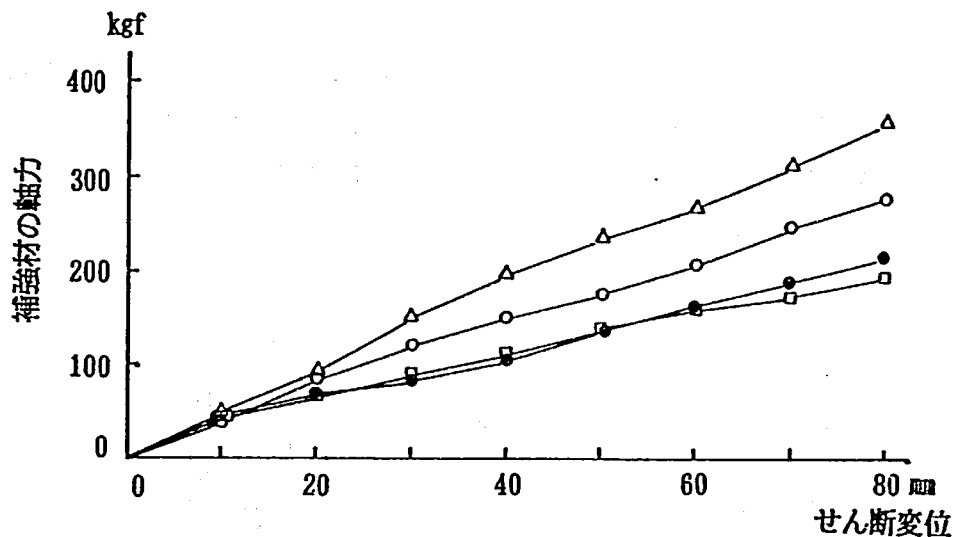


図-29 せん断変位と補強材軸力の関係 -挿入角度を変えた実験-
 補強材の配置本数は縦3本、横2本、頭部工は5cm角7°プレート
 △-10°、○0°、□+10°、●+20°

補強材の軸力は、斜面に対して上方に 10° 傾けたケース（ -10° ）の値が大きく、斜面に下方に傾けたケースの軸力は小さくなっている。補強材を引張り補強材として考えた場合、前述したように斜面に対し

て下方に傾けることにより、補強材の軸力が大きくなり補強効果が高まることが知られている。今回の実験では、斜面に対して上方に傾けたケースの軸力が大きく、下方に傾けたケースの軸力は小さい値となっている。補強材の曲げモーメントも同様に斜面の上方に傾けたケースほど大きくなっている（図-30）。このことは補強材の端部が固定されたような状態であれば、せん断過程において補強材の軸力の発生は、曲げの影響を受けるのではないかと考えられる。

補強材の挿入角度とせん断応力の増分、補強材の軸力の関係を図-31に示す。

補強材が圧縮方向に変形することにより軸力が大きくなっていると考えられる -10° のケースを除けば、補強材の挿入角度に対して補強材の軸力とせん断応力の増分はほぼ比例関係を示している。

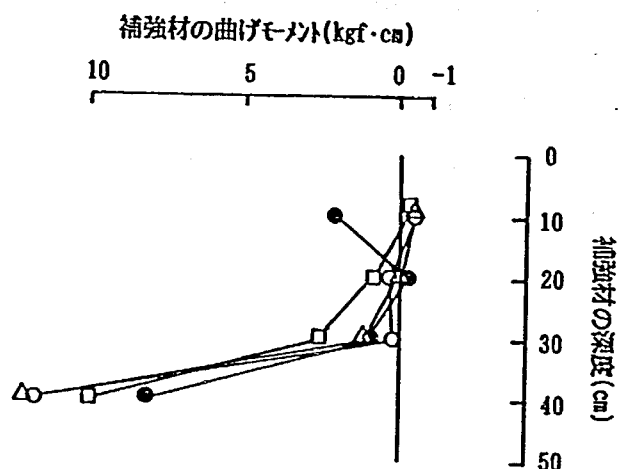


図-30 挿入角度を変えた実験での補強材の曲げモーメントの比較
補強材は載荷箱に最も近い位置のものであり、せん断変位40mmの値である。
 $\Delta -10^{\circ}$ 、 $\bigcirc 0^{\circ}$ 、 $\square +10^{\circ}$ 、 $\bullet +20^{\circ}$

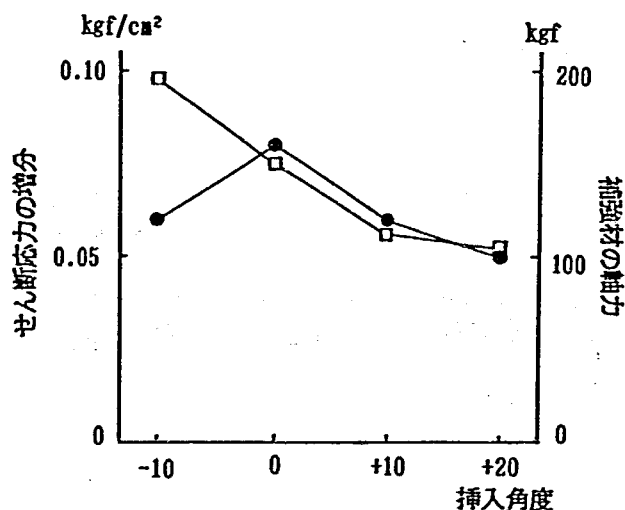


図-31 補強材の挿入角度とせん断応力の増分と補強材軸力の関係
—挿入角度を変えた実験—
●せん断応力の増分（せん断変位40mmにおける補強材地盤のせん断応力から無補強地盤のせん断応力を差し引いたもの）
□各補強材の最大軸力の合計

2. 2. 4 配置密度

補強材の配置密度を変えた実験のうち、補強材の端部を固定したケースの実験結果を図-32、33、固定しないケースの実験結果を図-34、35に示す。

補強材の軸力は、単位面積当りの本数で考えた場合、本数を増やすほど単位面積当りの軸力は増加するが、そのとき1本当りの軸力は減少するという報告がある⁽¹⁰⁾。

本実験においても、単位面積当りの補強材の本数を増やすと図-32～図-35にみられるように補強材の軸力は増加している。本数を増やした場合の1本当りの軸力の変化についてははっきりとした結果は得られていない(図-36)。

この実験でのせん断応力の増分とその時の補強材の軸力の関係を図-37(端部を固定したケース)、図-38(端部を固定しないケース)に示す。

これからみられるように、単位面積当りの補強材の本数を増やした場合、本数の増加に伴い補強材の軸力は増加しているが、せん断応力の増分にみられるような補強材の位置による影響は、縦3本、横3本(固定したケース)が推定値(ひずみゲージが一部欠損)ではあるが、顕著にみられず、補強材の本数に比例した増加傾向を示している。

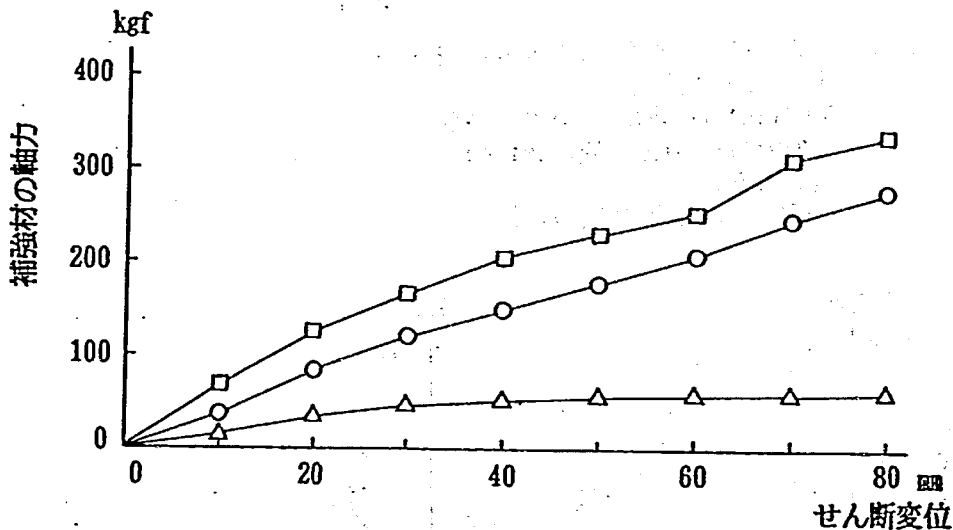


図-32 せん断変位と補強材軸力の関係 —補強材の配置密度を変えた実験—
補強材の縦方向の配置本数が3本、頭部工は5cm角プレート、端部を固定している。
△横1本、○横2本、□横3本

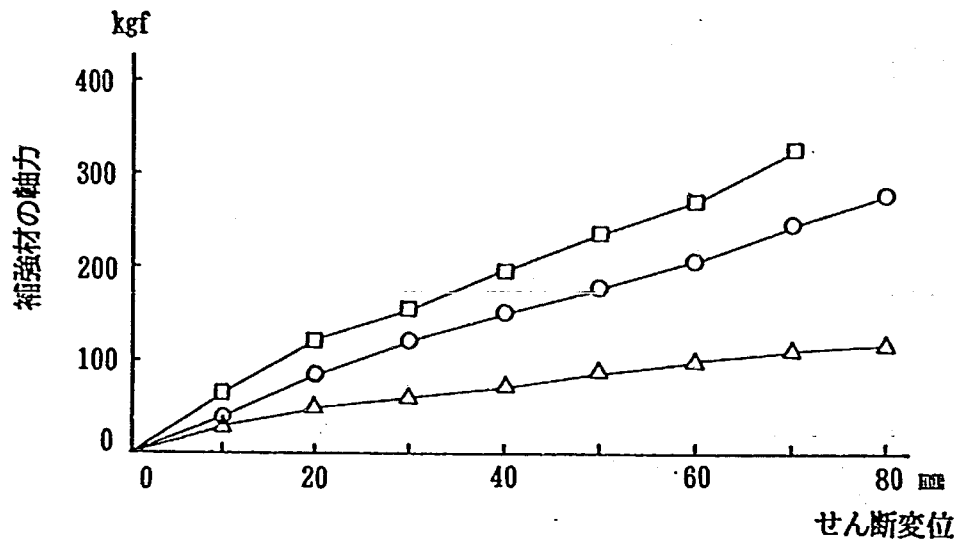


図-33 せん断変位と補強材軸力の関係 —補強材の配置密度を変えた実験—
横方向の配置本数が2本、頭部工は5cm角プレート、端部を固定している。
△縦1本、○縦3本、□縦5本

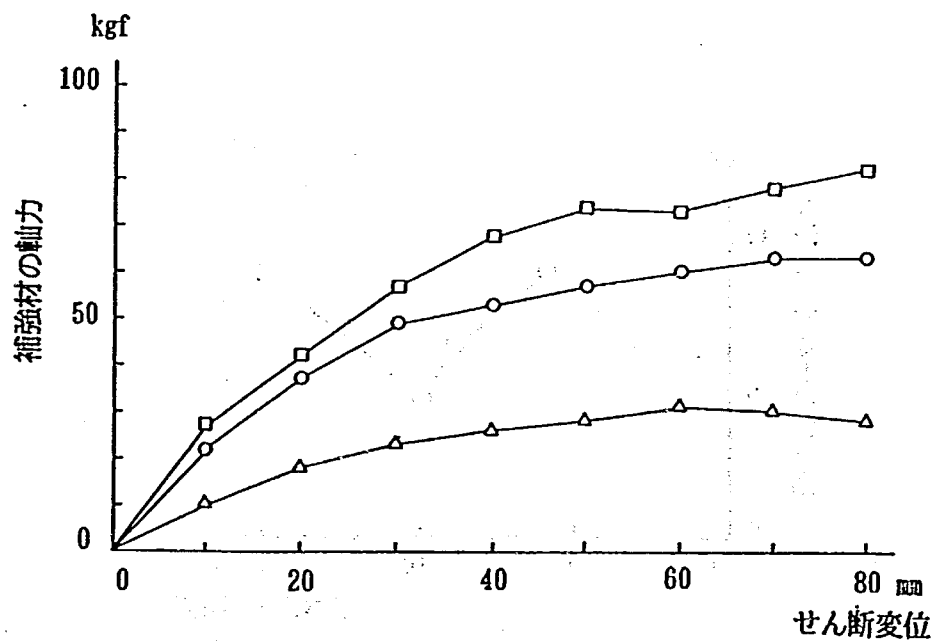


図-34 せん断変位と補強材軸力の関係 —配置密度を変えた実験—
補強材の縦方向の配置本数が2本、頭部工は5cm角プレート、端部を固定していない。
△横1本、○横2本、□横3本

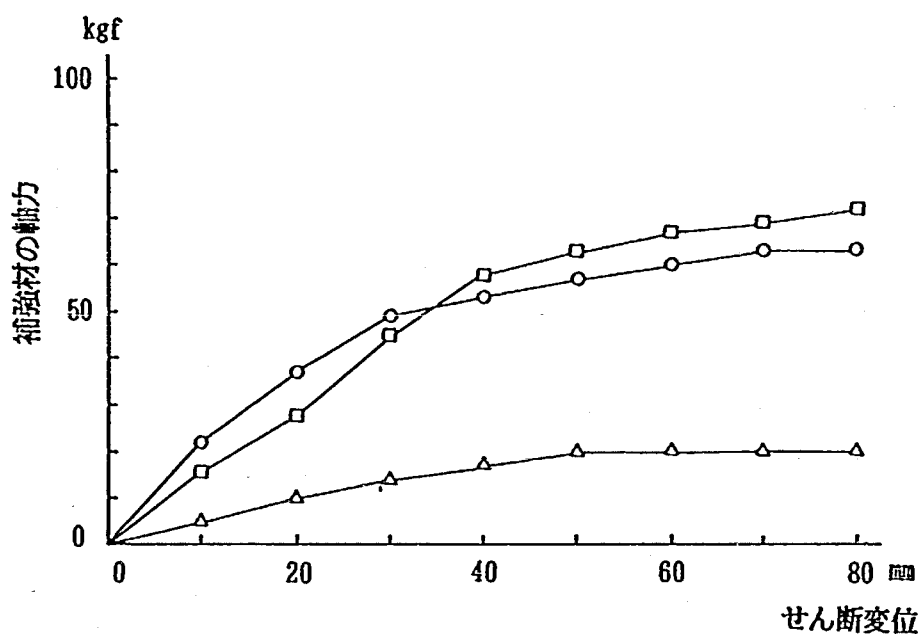


図-35 せん断変位と補強材軸力の関係 —配置密度を変えた実験—
補強材の横方向の配置本数が2本、頭部工は5cm角プレート、端部を固定していない。
△縦1本、○縦3本、□縦5本

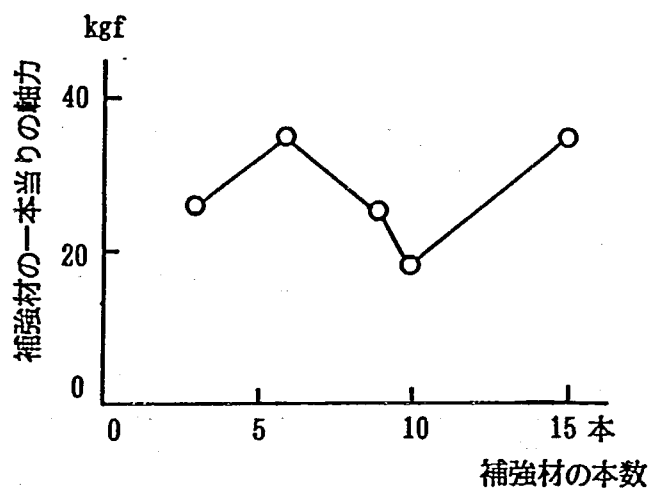


図-36 補強材の本数と一本当りの軸力
軸力はせん断変位40mmでの
上流側に設置した補強材の最大
軸力である。

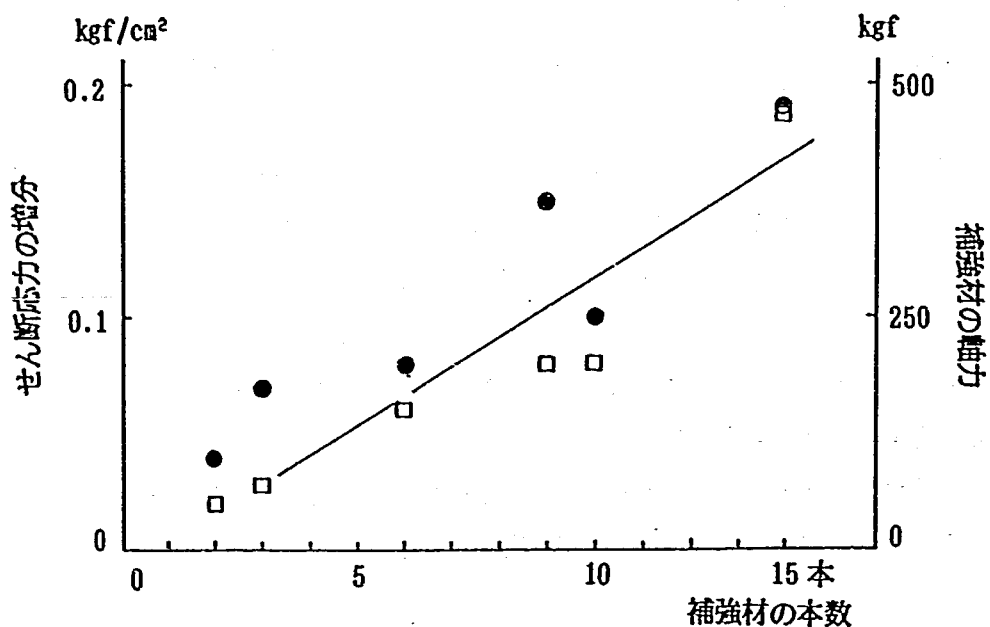


図-37 補強材の本数とせん断応力の増分と補強材の軸力の関係
 -補強材の配置密度を変えた実験- (端部固定)
 ●せん断応力の増分 (せん断変位40mmにおける補強地盤のせん断応力から無補強地盤のせん断応力を差し引いたもの)
 □各補強材の最大軸力の合計

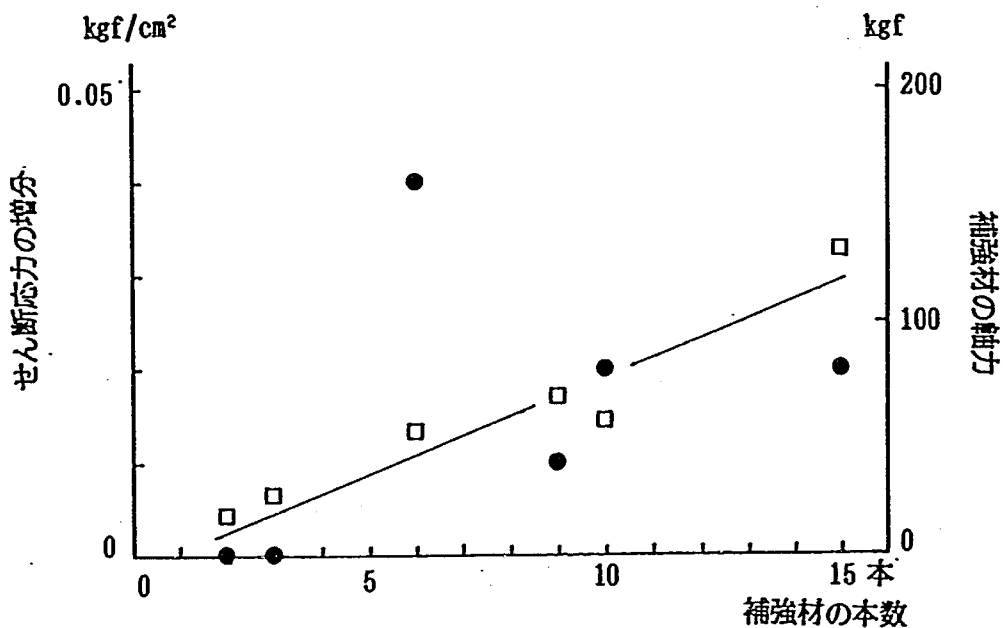


図-38 補強材の本数とせん断応力の増分と補強材の軸力の関係
 -補強材の配置密度を変えた実験- (端部不固定)
 ●せん断応力の増分 (せん断変位40mmにおける補強地盤のせん断応力から無補強地盤のせん断応力を差し引いたもの)
 □各補強材の最大軸力の合計

3. まとめ及び今後の課題

今回の実験で、頭部工、挿入角度、配置密度を変えた場合の補強効果について検討し、以下のことがわかった。

①補強材頭部に、プレート、連結材等を設置することにより、補強効果が高まり、プレートを設置した場合、補強効果はプレート面積に比例し、それは補強材の軸力と対応する。

②補強材の配置密度を変えた場合、補強効果は本数を増やすことにより高まるが、その配置位置によって変化すると考えられる。また補強材の本数を増やすことにより、単位面積当りの軸力は増加する。

③補強効果と軸力の関係は、せん断変位に係わらず一定の比例関係を示し、軸力を算定することにより補強効果を推定できると考えられる。

今後、鉄筋挿入工法の設計方法の確立を行なうに当り、地盤の変位をどう取り扱うか、地盤の変位に対する補強材の軸力の算定方法について、適当な実験を行なうことにより検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 龍岡文夫ほか：鉄筋による砂斜面の補強法に関する室内実験1～XI、生産研究、36巻10号、1984年～37巻9号、1985年
- 2) 山内豊ほか：鉄筋による切土斜面の補強効果に関する実験研究、第1報～第4報、第20回土質工学研究発表会、pp1357～pp1372、1985年
- 3) 落合英俊ほか：鉄筋による切土斜面の補強効果に関する実験研究、第5報～第7報、第21回土質工学研究発表会、pp1449～pp1460、1986年
- 4) 落合英俊ほか：鉄筋による切土斜面の補強効果に関する実験研究、第8報～第10報、第22回土質工学研究発表会、pp1379～pp1390、1987年
- 5) Jewell.R.A and Worth.C.P.:Direct Shear Tests on Reinforced Sand,Geotechnique,Vol.37,No.1,pp53～pp68,1987
- 6) 吉松弘行ほか：大型せん断実験による鉄筋挿入工の効果の検討、土木技術資料、30巻4号、土木研究センター、pp204～210、1988年
- 7) 吉松弘行ほか：鉄筋挿入による斜面補強工法に関する一面せん断試験、土木研究所資料、2626号、1988年
- 8) 土質工学会編、補強土工法、p42、1987年
- 9) 龍岡文雄ほか：引張り補強材による砂の補強についての基礎的研究、土と基礎、31巻9号、土質工学会、pp11～19、1983年
- 10) 土質工学会編、補強土工法、p45、1987年

鉄筋による斜面の補強効果に
関する実験的研究

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2832号
平成2年2月(1990)
吉松弘行, 西川純一
大浦二郎, 吉岡元司

キーワード: 鉄筋挿入工法, 補強効果, 補強材の軸力, 頭部工, 挿入角度,
配置密度

要旨 鉄筋挿入工法の設計手法の確立を目的として, 鉄筋挿入による地盤強度の増加につ
いて模型斜面を用いた実験を行なうことにより実施した。
今回の実験では, 補強材の頭部工, 挿入角度, 配置密度の違いについて注目し, 各々の実験
での補強効果(地盤強度の増分)と補強効果に影響を及ぼす補強材の抵抗力の検討を行なった。
これらの実験により, 補強材に頭部工を設置することにより, 地盤強度が高まり, 特にプレ
ートを設置した場合には, 地盤強度はプレート面積に比例して増加することがわかった。配置
密度を変えることにより, 地盤強度は変化するがそれは補強材の配置位置の影響を受ける。ま
た, 補強材の抵抗力のうち, 軸力が補強効果に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
急傾斜地崩壊研究室 御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2832号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印