

鉄筋による斜面の補強土機構における 頭部プレートの効果

EFFECT OF TOP-PLATES ON MECHANISM OF SOIL-REINFORCEMENT OF CUT-OFF SLOPE WITH STEEL BARS

林 重徳*・落合英俊*・田山 聡***・坂井 晃**

By Shigenori HAYASHI, Hidetoshi OCHIAI, Satoshi TAYAMA
and Akira SAKAI

In order to investigate the effect of top-plates on mechanism of soil-reinforcement of cut-off slope with steel bars, pull-out tests employing top-plates with various sizes, and model tests simulating a sliding force acting on the cut-off slope, were performed.

From this experimental study, it was made clear that not only do the top-plates act as bearing plates for pull-out force, but also they play an important role in mobilization of friction force acting on the reinforcing bars. Thus, followings were concluded; Top-plates are indispensable to soil-reinforcement of cut-off slope with steel bars, and there exists an optimum size of top-plates for causing effectively the friction force on the bars.

はじめに

わが国において建設される高速自動車道は、山岳道路の時代に入ったといわれている。急峻な山岳地帯における建設工事では、標準とされている勾配で切土を行うと長大なり面となり、施工性及び経済性の点だけでなく安全管理や自然環境・景観の保全などの面でも多くの問題が生じる。Fig. 1 に示すように長大なり面を避けて標準より急な勾配で切土を行うためには、り面に適切な補強を施す必要がある。このような切土斜面の補強工法の1つとして、り面に鉄筋を挿入する補強土工法が注目されている。

この工法では、ロッドに積極的にプレストレスを与えて補強するアンカー工法とは異なり、切土による応力解放や地山のわずかな変位に伴ってもっぱら受働的に鉄筋に発生する引張力やせん断力などによって斜面の滑動に対する抵抗を補強しようとするものである。

この工法に関しては、室内せん断試験などによる土と補強材の相互作用の研究^{1)~3)}や、最近では、補強した斜面の模型実験^{4)・5)}および現地実験⁶⁾による検討が精力的に行われているが、補強材と土の相互作用としての補強土機構は、鉄筋の長さ、挿入角および挿入位置と間隔(補強密度)、ならびに鉄筋頭部およびのり表面の処理方法

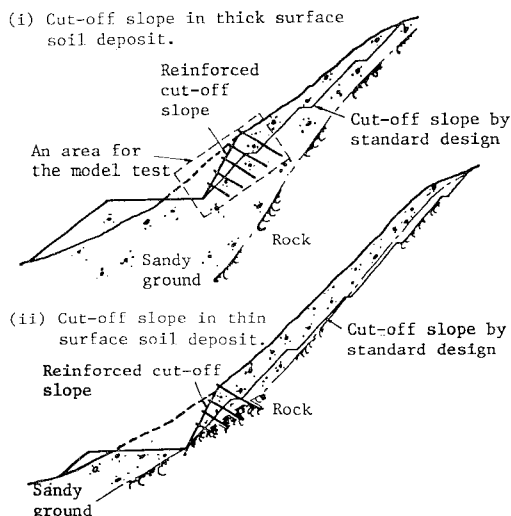


Fig. 1 Illustrations of cut-off slopes reinforced with steel bars

* 正会員 工博 九州大学助教授 工学部水工土木学科
(〒812/福岡市東区箱崎 6 丁目 10-1)

** 正会員 工博 九州大学助手 工学部水工土木学科
(同上)

*** 学生会員 九州大学大学院修士課程
(同上)

の違いなど多くの因子に支配されるものと考えられ、いまだ十分解明されているとは言えない。

また、これまでの模型実験の多くは(例えば^{4),5)}、斜面のり肩部に載荷する方法を採っており、自然斜面の切土のり面における補強土の機構といく分異なるものと考えられる。

本論文は、自然斜面の切土のり面における鉄筋による補強土工法において、その効果を支配する要因の1つである頭部プレートについて、その役割と大きさの影響を調べるために実施した補強材の引抜き試験、および切土斜面を想定した模型実験の結果をとりまとめたものである。

1. 補強材の引抜き試験

頭部プレート無しおよび種々の大きさのプレートを持つ補強材の引抜き試験を行い、引抜き抵抗における頭部プレートの寄与率ならびに補強材の周面に作用する摩擦抵抗の発現に対する頭部プレートの効果を調べた。

(1) 実験装置および方法

a) 実験土槽：Fig. 2 に実験装置の概略図を示す。土槽の側壁には厚さ 40 mm の透明なアクリル樹脂板を使用しており、両側面のアクリル板の内側には、砂との摩擦を軽減するためにシリコングリースを塗り、ラテックスラバーのメンブレンを張った⁷⁾。また底板には砂との摩擦が十分に発揮されるように砂を付着させた。

土槽底面には、引抜き抵抗によって補強材の周辺に発生する土圧分布を把握する目的で、図中に示すように6個の壁面土圧計を設置した。

b) 補強材と頭部プレート：補強材としては、直径 3 mm のリン青銅にアルアルダイトで砂を付着させたもの(直径約 4 mm)を用いた。また、補強材の軸力分布を測定するため、頭部から 5, 10, 15, 20 および 25 cm の5箇所にはひずみゲージが貼ってある。

頭部プレートは、厚さ 2.5 mm のアルミ合金板より円盤を切出し、補強材の頭部にナットで装着した。用いた頭部プレートの直径は、 $D=1, 3, 5$ 、および 8 cm の4種類である。

c) 地盤の作成方法：模型地盤は、まず、補強材を土槽底板より外に約 40 cm 程出した状態で、所定の位置に垂直にセットした後、気乾状態の豊浦標準砂を用いて、空中落下法(落下高 90~94 cm)により作成した。作成された模型地盤の平均相対密度は約 82% で、比較的密な砂地盤である。砂投入後、頭部プレートを取り付け、補強材の変位を測定するためのダイヤルゲージをセットした。

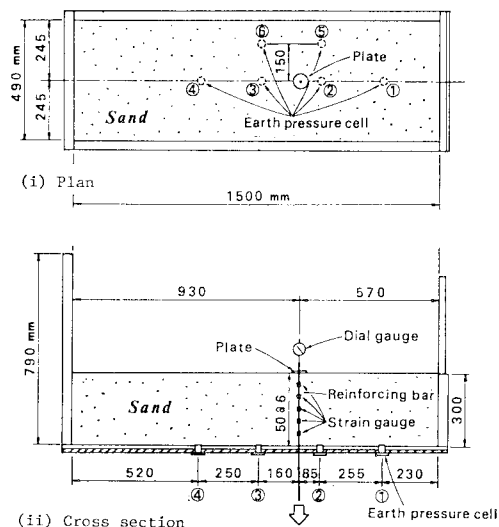


Fig. 2 Outline of apparatus for pull-out test

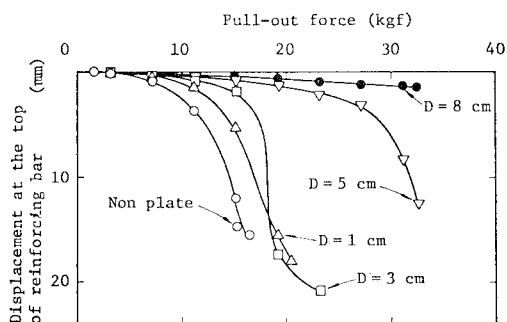


Fig. 3 Relationship between pull-out force and displacement at the top of reinforcing bar

d) 実験方法：実験は、土槽底板より外に出ている補強材の下端に、おもりを段階的に載せる荷重制御による下方への引抜き試験である。荷重は、1.6 kgf (15.7 N) から、32.6 kgf (319.5 N) までの、6~10段階とし、各段階の荷重を載荷した後、0.5, 1, 2, 3, 4, 5 分の補強材の軸力および変位と土槽底面の土圧を測定した。なお、以下に示す各測定値は、ほぼ定常状態となった載荷 5 分後に計測された値である。

また、この引抜き試験は、頭部プレート無しならびに直径 1, 3, 5, 8 cm の頭部プレートを装着した場合の 5 ケースについて実施した。

(2) 実験結果および考察

a) 補強材の変位と荷重：Fig. 3 は、補強材頭部の変位(沈下)量と引抜き荷重の関係を示したもので、平板載荷試験の沈下量~荷重曲線と類似した曲線となる。

プレート無しの場合に比べ、 $D=1$ cm および 3 cm の

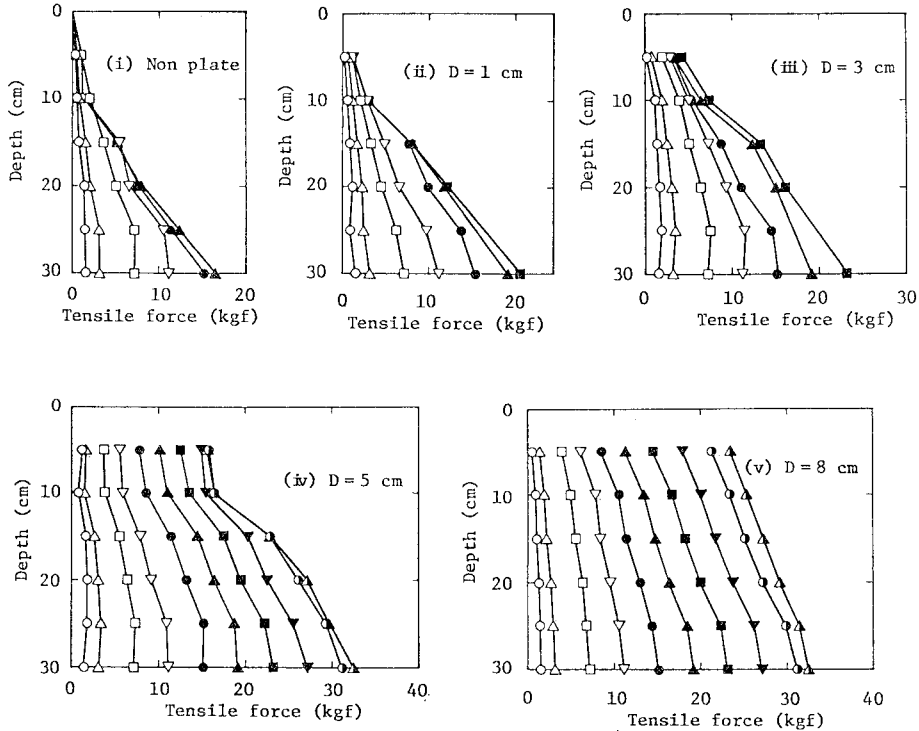


Fig. 4 Distributions of tensile force in reinforcing bar obtained by pull-out tests

場合の降伏荷重は、それぞれ 30% および 60% 程度増大しているが、 $D=5$ cm の場合には、180% 近く増大しており、 $D=5$ cm では、頭部プレートの影響が顕著である。

b) 補強材の張力分布: Fig. 4 (i)~(v) は各実験ケースにおいて、補強材に発生した張力の分布を示す。ここで、深さ 30 cm の位置の引張力は、载荷した引抜き力と等しい。これらの張力分布では、傾きが緩い部分ほどその部分で付加される摩擦抵抗が大きいことを意味している。

頭部プレート無しおよび $D=1$ cm の場合、深さ 5 cm の張力は、かなり小さく引抜き荷重が増加してもあまり変化はみられないが、10 cm 以深の張力には顕著な増加がみられる。ところが、頭部プレートが $D=3, 5$ および 8 cm のケースでは、深さ 5 cm の張力にも引抜き荷重の増加に伴い、明瞭な増加傾向が認められる。これは、 $D=3$ cm 以上になると、頭部プレートが引抜き力に対して有効な支圧板としての効果を発揮するためである。中でも $D=5$ および 8 cm の場合、張力分布の傾きは、引抜き荷重が増大してもほぼ平行に移動しており、引抜き荷重の増加分は、大部分頭部プレートの支圧力の増加に依っていることが分かる。一方、 $D=3$ cm の場合、引抜き荷重の増加に伴って張力分布の傾きは、順次緩やかになっており、補強材の全長に亘って次第に大き

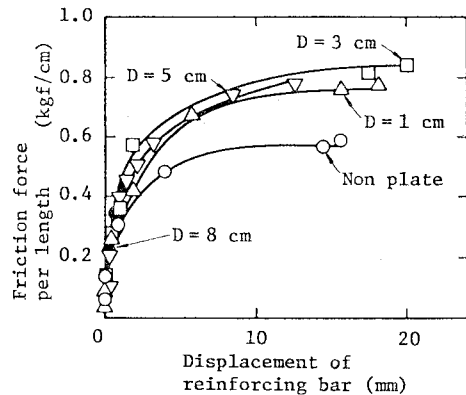


Fig. 5 Relationship between friction force acting on reinforcing bar and displacement of reinforcing bar

な摩擦抵抗が発現している様子がうかがえる。すなわち、この実験では頭部プレートは、 $D=3$ cm の場合に、補強材の全長にわたって、摩擦抵抗を発揮させる効果を示すと言える。

c) 補強材の変位と摩擦力: 次に Fig. 5 は、補強材の変位と単位長さ当りの摩擦力の関係を示したものである。単位長さ当りの摩擦力は、Fig. 4 の各荷重段階における張力分布を直線で近似し、その傾きとして求めたものである。頭部プレート無しおよび、 $D=1, 3, 5$ cm

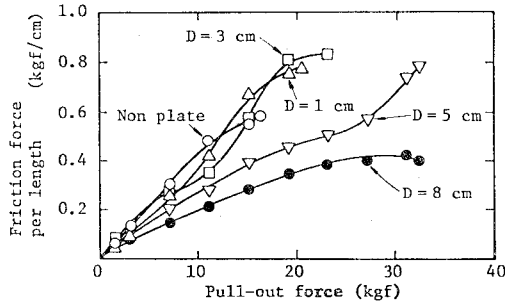


Fig. 6 Relationship between friction force acting on reinforcing bar and pull-out force

の各ケースとも、摩擦力は補強材の変位に伴って増加するが、8~10 cmの変位ではほぼ一定値となる。また、 $D=3$ cm のケースが最も大きな摩擦力を発揮しており、その値は頭部プレート無しのケースに比べて約1.4~1.6倍となる。

d) 引抜き荷重と摩擦力：Fig. 6は、補強材に作用する単位長さ当りの摩擦力を、引抜き荷重に対してプロットしたものである。プレート無しおよび $D=1, 3$ cm の3つのケースと、 $D=5, 8$ cm の2つのケースを比較すると、等しい引抜き荷重に対して、前者の各ケースで発現した摩擦力は、後者の場合の1.5~2.0倍と大きい。これは、頭部プレートの径が $D=5$ cm 以上になると、引抜き荷重に対する抵抗成分のうちプレートの支圧力が、補強材周面に発現する摩擦力よりも卓越するためである。

e) まとめ：鉄筋を挿入した斜面における土塊の動きと補強材に作用する力、および引抜き試験によって明らかになった頭部プレートの役割と効果を、模式図として、Fig. 7に示す。斜面に挿入された引張補強材は、滑動土塊の動きに伴って、相対的に不動地山の側へ引抜かれる形となる。この現象を、より単純な形で取り出

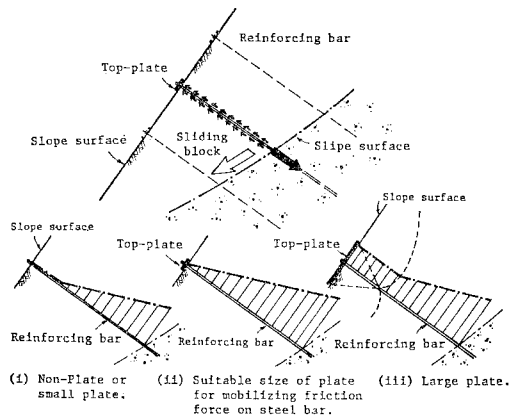


Fig. 7 Illustration of effects of top-plates on reinforcement of cut off slope with steel bars

し、頭部プレートの役割と効果を調べたものが、本章で示した補強材の引抜き試験であり、斜面における補強土効果に及ぼす頭部プレートの影響として調べたものが、次章の模型実験である。本章の引抜き試験の結果より、頭部プレートの有無と大きさの効果は、Fig. 7に示す(i)~(iii)の3つのタイプに要約される。

すなわち、頭部プレートが無しあるいは小さい場合、補強材ののり表面近くの部分には、ほとんど摩擦力は作用しない。一方、頭部プレートが十分大きく支圧板としての効果が卓越する場合、プレート直下のある深さまでの土は拘束され、補強材との相対変位が非常に小さいため、補強材と土との摩擦力はほとんど発生しない。したがって、補強材ののり表面近くから全長に亘って、摩擦力を最大限に発生させるためには、頭部プレートの大きさに、ある適切な値が存在すると言うことができる。

2. 補強した斜面の模型実験

鉄筋を挿入し補強した斜面の補強土機構に及ぼす頭部プレートの役割と効果を、模型斜面によって調べたものである。特に、Fig. 7に示すように引張補強材の状態を単純化した前章の引抜き試験の結果より明らかになった頭部プレートの効果が、複数に挿入される模型斜面においても有効に発揮されるか否かを調べたものである。

(1) 実験装置および方法

a) 実験土槽：Fig. 1の(i)に示すような厚い土砂層の補強された切土斜面において、滑動しようとする力が働く破線で囲まれた部分を想定して、実験土槽を作製した。Fig. 8に示す実験装置の概略図のように、滑動力は、地山斜面に平行に土槽側方より载荷される。

土槽は、引抜き試験と同一のもので、側壁面の摩擦が

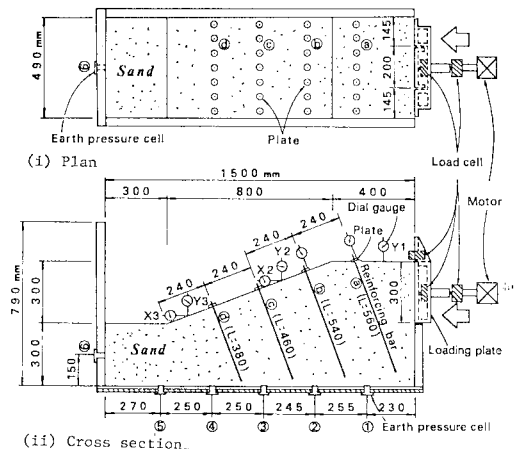


Fig. 8 Outline of apparatus for model test

軽減されており、精度の良い平面ひずみ状態の実験が可能である。底板および載荷板面には、砂との摩擦が十分に発揮されるように砂を付着させた。

また、土圧計は、補強された斜面の土中の応力状態を把握できるように、土槽底面に5個と載荷板の対面壁に1個設置した。

b) 載荷装置：載荷（載荷板：幅49×高さ30cm）は、モーターにより変位制御（0.5mm/min）で行い、モーターの先に付けられたロードセルによりトータル載荷重を測定した。この荷重には壁面摩擦の影響等も含まれるため、Fig. 9に示すように2個のロードセルを載荷板内に取り付け、載荷板の中3分の1（幅20×高さ30cm）に働く鉛直力およびせん断力を測定した。

c) 補強材：補強材としては、引抜き試験同様、 $\phi 3$

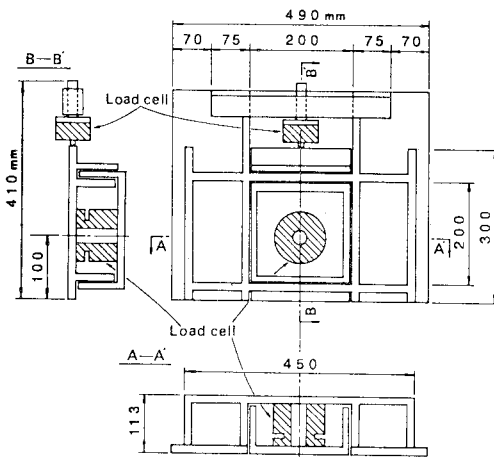


Fig. 9 Details of loading plate

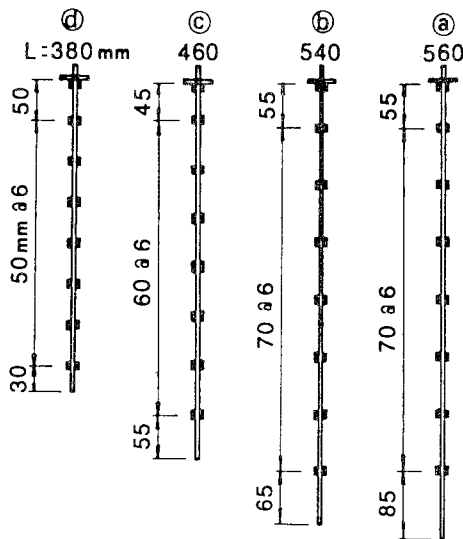


Fig. 10 Reinforcing bars stuck strain gauges for measuring axial force

mm のリン青銅の表面にアラルダイトで砂を付着させたもの（約 $\phi 4$ mm）を用いた。補強材の挿入位置は Fig. 8 に示す (a)~(d) の4段に設定する。各段の中央の補強材には、軸力分布を測定するために、Fig. 10 に示す位置にひずみゲージを貼った。ひずみゲージは各測点に2枚ずつ対称の位置に貼り、曲げによる出力を打ち消し、軸力だけが測定されるように配線した。

d) 斜面の作成方法：模型斜面は、引抜き試験同様、豊浦砂を用いて空中落下法により作成した。この際補強材の周辺で密度が不均一になるのを避けるため、補強材の挿入方向が鉛直方向となるように土槽を傾けて砂を投入した。砂投入後、土槽を水平にもどして表面を成形し、頭部プレートを取り付けてダイヤルゲージをセットした。作成された模型地盤の状態は引抜き試験の場合とほぼ同じであり、比較的密な地盤である。

e) 計測項目と記録：計測項目と測定点は、前述の載荷装置に取り付けたロードセルによって検出される荷重3点、土槽の底面および壁面に設置した壁面土圧計によって測定される土圧6点、載荷板と斜面および補強材の変位量9点および補強材に貼付したひずみゲージによる軸力32点（8ヶ所 \times 4本）、の合計4項目、50点を基本とした。

記録は、一定速度で変位させた載荷板の変位を基準として、変位量1.0mm毎に計測し、連動するマイクロコンピュータに記録させた。また、測定量はすべて読み取りし記録に要した時間のズレを補正した後、必要に応じてXYプロッターによって作図出力させる。

この外、地盤の変位状況およびすべり線の発生状態を観察するために、土槽の両側面のアクリル樹脂板とラバーメンブレンには、縦横いずれも50mm間隔にマジックペンによる細線を入れ、載荷板変位10mm毎に側面より写真撮影を行った。また、載荷終了後観察されたすべり線に沿って、アクリル樹脂板に着色ビニールテープを貼り、撮影記録した。

f) 実験ケース：頭部プレートの効果と大きさの影響を調べる斜面の模型実験においては、補強材の本数を、Fig. 8 に示すように (a)~(d) の位置4段に各々7本、計28本とした。実施した実験ケースは、前述の引抜き試験の結果を参考にして、総ての補強材の頭部に、プレートを着けないケースNP、および直径3cmと5cmのプレートを装着したケースTP-3、TP-5、ならびに基準となる無補強状態の合計4ケースである。

(2) 実験結果および考察

a) 載荷板に作用する応力：載荷板の内部ロードセルによって検出された載荷板に働く鉛直応力と載荷板変位の関係を、Fig. 11 に示す。無補強の場合に比べて補強

材を挿入した3つのケースは、いずれも1.4~2.3倍の値を示しており、十分な補強土効果が認められる。また、無補強のケースでは、変位20mm以降鉛直応力の増加がみられないのに対し、補強した3ケースでは、20mm以降の変位においても、鉛直応力が增大している。この増加傾向は、補強した3ケースの中でも、TP-3のケースが最も大きく、次いで直径の大きなプレートを用いたTP-5およびプレートを用いないNPの順となっており、この実験規模と材料の場合、斜面の補強効果は、直径3cm程度の頭部プレートを装着したとき、最も顕著であると言える。

次に、Fig. 12は、載荷板に働くせん断応力と載荷板変位の関係を示す。せん断応力を測定するロードセルの初期接触の不良によると考えられるTP-5の場合を除くと、NPとTP-3のケースのせん断応力は、7mm程度の変位までは無補強の場合とほぼ等しい。しかし、無補強のケースでは、変位10mm以降ほとんどせん断応力

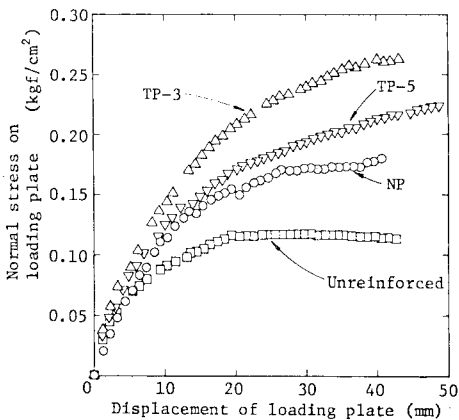


Fig. 11 Relationship between normal stress on loading plate and displacement of loading plate

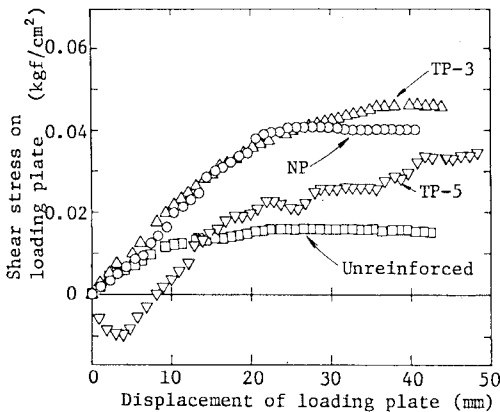


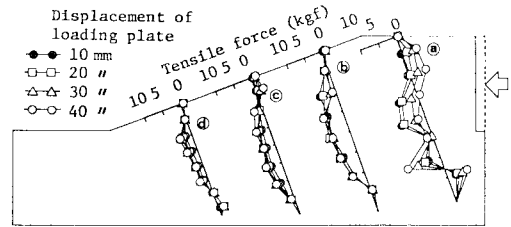
Fig. 12 Relationship between shear stress on loading plate and displacement of loading plate

の増加がみられないのに対し、NPとTP-3の場合、25~30mmの変位まで増加しており、25mm変位では無補強のケースの約2.5倍にも達する。これは、後述するように補強土効果によって、斜面の変位と土塊のすべり方向が上向きに変化する挙動と対応するものである。

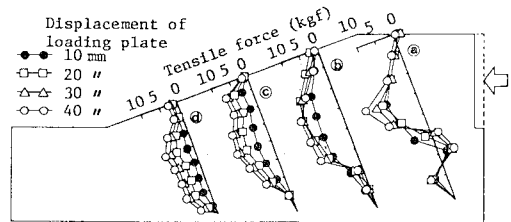
b) 補強材に発生する張力分布: Fig. 13は、載荷板の変位10, 20, 30, 40mmにおいて補強材に発生した軸力の分布を示したものである。各ケースとも④の位置の補強材の張力分布にばらつきがみられるのは、この補強材が載荷板に近いためその剛性の影響によりかなりの曲げ応力を受けているためと考えられる。

頭部プレート無しの場合、⑥、⑦、および⑧の位置の補強材には、載荷板の変位10mm以降張力の増加は、ほとんど認められない。したがって、Fig. 11および12に示した載荷板に作用する応力の増加のうち、変位10mm以降の増分のほとんどは、④の補強材によってもたらされていると考えられる。

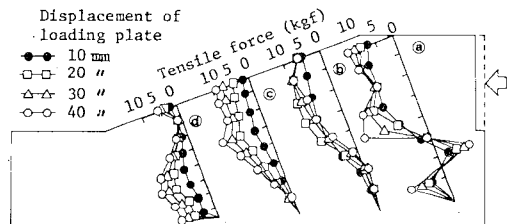
一方、直径3cmの頭部プレートを装着したTP-3の場合、⑥、⑦、⑧の補強材にはいずれも、載荷板の変位に伴う張力の増加がみられ、変位40mmでは、NPに比べて2~3倍の張力が発生している。とくに、載荷板



(i) In case of NP



(ii) In case of TP-3



(iii) In case of TP-5

Fig. 13 Distributions of tensile force in reinforcing bars obtained for model tests

変位の進行につれて、斜面肩部(㉔ および ㉕)の補強材張力は十分発揮されたまま、補強土効果が次第にのり先部(㉖ および ㉗)の補強材に拡大されており、斜面と4段の補強材が一体として極めて有効に機能している様子を伺うことができる。

また、直径5cmのプレートを用いたTP-5のケースでは、プレート直下の張力の発生および増加とそれに伴う摩擦力の発生が特徴的である。しかも、㉔の補強材は、載荷板の変位20mm以降では、むしろ張力が減少しており、プレートに作用した支圧力によって引抜かれた状態にあると考えられる。さらに、これらの張力分布の形状より、Fig. 15に示す主なすべり線の外に、補強材㉔と㉖の間で主すべり線から別れて㉖補強材の上1/3を通り㉔の頭部に至る二次的なすべり線が発生しているものと推測できる。

c) 斜面の変位と発生するすべり線：載荷板の変位に伴って生じた斜面の変位Y-1およびX-3の変化を、Fig. 14にとりまとめる。載荷板近傍の地盤の垂直方向の変位を代表するY-1の変化には、無補強と補強の違いだけでなく、頭部プレートの影響が良く現われている。頭部プレート無しのNPおよび直径3cmのプレートを用いたTP-3のY-1変位はいずれも、載荷板応力に補強効果が顕著になりはじめる載荷板変位7~8mm

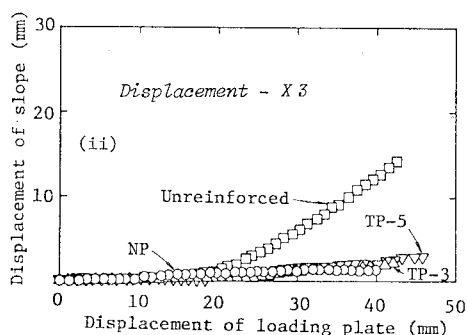
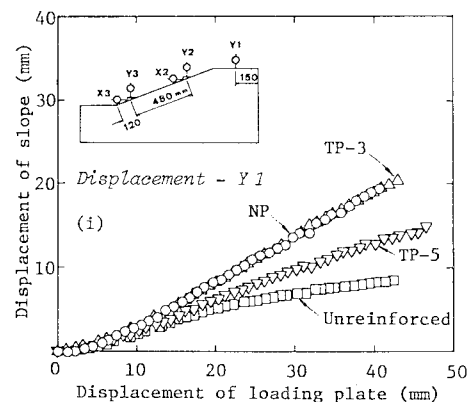


Fig. 14 Displacement of slope with displacement of loading plate

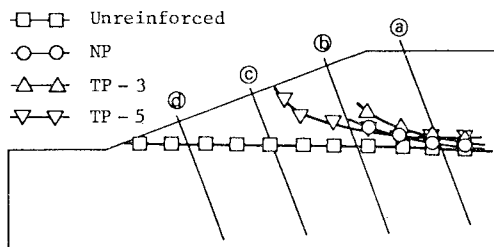


Fig. 15 Observed slip lines in each case

位から、TP-5や無補強の場合に比べて明らかに増大し始め、以降その差は拡大するが、NPとTP-3の両者はほぼ近似した傾向を示す。一方、のり先部の水平方向変位を示すX-3の動きは、無補強のケースですべり線が顕在化する載荷板変位22~23mm以降、急激に増大するが、補強材を挿入している他の3ケースでは、大きな変位の増加はみられない。

次に、載荷板を40数mm変位させた時、土槽の側面より観察された主すべり線の形状を、Fig. 15に示す。無補強の場合のすべり線は、載荷板下端から斜面のり先に向かってほぼ水平に発生しているが、補強した3ケースでは、すべり線は上向きに変えられており、前述した斜面変位の特徴と一致している。特に、載荷板応力に見られるように補強土効果の最も大きいTP-3の場合、この傾向は顕著である。

このような斜面変位やすべり線の発生状況および前述した補強材の張力分布などから、補強土機構を考察すると、NPおよびTP-3の場合にはともに、滑動土塊部からアンカー部まで補強材全長に亘って、発生する周面摩擦力によって主として機能している。他方、TP-5の場合は、滑動しようとする土塊の中の補強材にはほとんど周面摩擦力が発生しておらず、斜面は、頭部プレートの支圧力による先端山留めとアンカー部の周面摩擦力によって主として補強されていると言うことができ、頭部プレートの大きさによって、補強土の機構がいく分変化するものと考えられる。

d) 土圧の発生状況：Fig. 8に示した㉔および㉕の位置に設置した壁面土圧計による土圧と載荷板変位の関係を、Fig. 16に示す。無補強の場合に比べて補強された場合の土槽底面の土圧は、載荷板の変位に伴って、まず増加した後減少する傾向を示す。これは、補強材の挿入によって剛性が増加した地盤も、変位の進行に伴って発現する補強材周面の摩擦力によって、補強材周囲の地盤が引き上げられるような状態になるためである。特に、頭部プレートを有するTP-3およびTP-5のケースにおける載荷板寄り㉔および㉕の土圧は、Fig. 16の(i)に示されるように、その変化が著しい。

Fig. 16の(ii)は、載荷板の対面の土槽壁面に作用

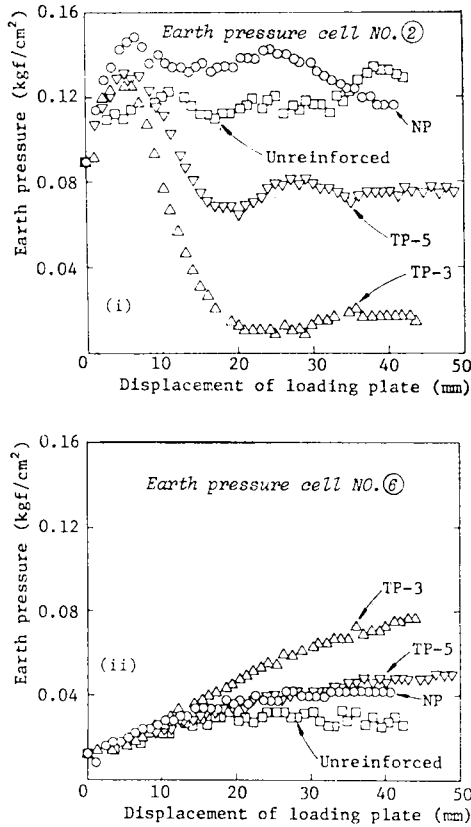


Fig. 16 Measured earth pressures with displacement of loading plate

した土圧であり、Fig. 10 に示した載荷板に作用する鉛直応力の発現パターンと類似した傾向が読み取れる。すなわち、斜面の補強土効果は、載荷板対面に働く土圧の違いに現われるといえる。

次に、Fig. 17 は、無補強のケースと直径 3 cm および 5 cm の頭部プレートを装着した場合について、載荷板の変位が 10, 20, 30, 40 mm のときに測定された土圧分布を示したものである。無補強の場合、載荷板の変位に伴って発生する土圧は、初期土圧より大きく、のり面中央部に位置する ③、④ の土圧増加が顕著であるが、対面壁の ⑥ の土圧増加は小さい。一方、補強土効果が最も良く現われている TP-3 の場合、載荷板変位 10 mm の段階で ①、② の土圧には初期土圧より低下がみられるが、③～⑥ の土圧は、初期土圧より約 1.5～2.0 倍に増加している。さらに変位が進行すると、②～⑤ の土圧は急激に低下するが、対壁面の ⑥ の土圧は、前述したように増加し、40 mm 変位の段階では、初期土圧の約 6 倍にも達している。また、TP-5 の場合、① および ② の土圧の変化は、TP-3 のケースほど小さくなく、④、⑤ の土圧は、載荷板変位が 10 mm 以上となってもむしろいく分増加している。対面壁の ⑥ の土圧増加も

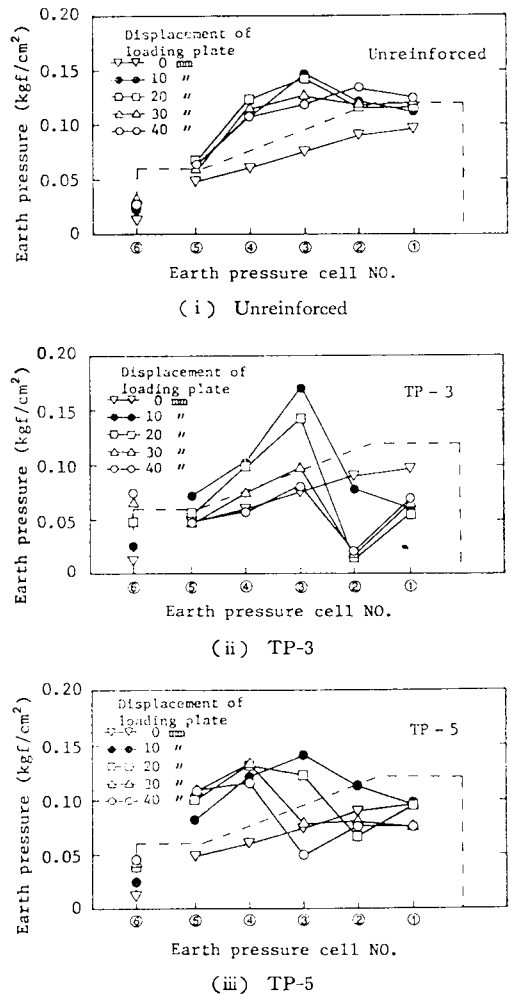


Fig. 17 Distributions of measured earth pressures

少なく、40 mm 変位の段階で初期土圧の約 3 倍程度である。

まとめ

以上の補強材の引抜き試験および斜面の模型実験の結果より、鉄筋による斜面の補強土機構に及ぼす頭部プレートの効果とその大きさの影響をとりまとめると、次のとおりである。

- ① 頭部プレートの効果として、支圧力効果および補強材に作用する摩擦力の発現効果がある。
- ② 頭部プレートが大きい場合、支圧力効果が卓越するが、補強材の周面摩擦力は著しく低下する。
- ③ したがって、斜面の補強土機構としての引抜き抵抗は、頭部プレートの支持力と補強材表面の摩擦力の単純な重ね合わせではなく、それらの相互作用に

よって発揮されるものである。

- ④ 土被りの薄い地表面近くの土塊を拘束し、引張り補強材の全長に亘って摩擦力の発現を最も効果的に促すには、頭部プレートに適当な大きさが存在する。本実験の場合、その大きさは直径 3 cm 程度である。
- ⑤ 補強材を引張り材として十分機能させるためには、頭部プレートは不可欠である。

謝 辞

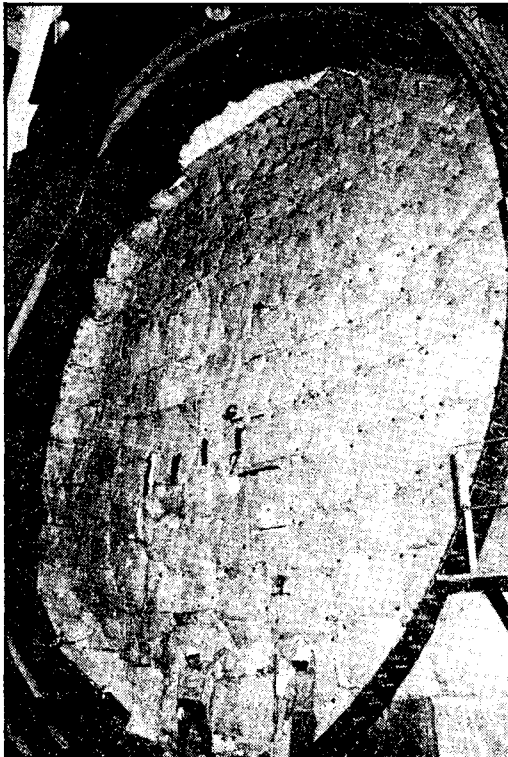
本研究を進める上で、前九州大学工学部山内豊聡教授（現九州産業大学教授）には、多大のご援助を、また東京大学生産技術研究所龍岡文夫助教授には貴重なご助言をいただいた。また、この研究は、日本道路公団福岡建設局からの受託研究として実施されているものであり、実験装置の製作は九州大学工学部手島義純、中島通夫両氏の、実験は、藤崎裕司（現大分県）、古賀浩（現福岡県）および野上嘉久（現福岡県）各氏の労力によるところ大である。

以上の関係各位に、深甚なる謝意を表す次第である。

参 考 文 献

- 1) Jewell, R.S.: Some Effects of Reinforcement on the Mechanical Behaviour of Soils, Ph.D. Thesis, Cambridge Univ., 1980.
- 2) Juran, I., Shaffiee, S., Schlosser, F., Humert, P. and Guenot, A.: Study of Soil-Bar Interaction in the Technique of Soil Nailing, Proc. 8th European Conf. on Soil Mech. & Found. Eng., Helsinki, 1983.
- 3) 龍岡・金藤・三木・生原・浜田・佐藤：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，Vol. 31, No. 9, 1983年。
- 4) 浜田・龍岡・森平：鉄筋による斜面の補強模型実験（第2報），第19回土質工学研究発表会，1984年。
- 5) 石堂・永吉・堀・大東・下谷・黒瀬：補強材で強化された斜面の安定に関する模型実験（その2），土木学会西部支部研究発表会，1985年。
- 6) 奥園・奥原・長尾・上原・印南：鉄筋による補強斜面の載荷試験—打設鉄筋長の補強効果への影響—，第20回土質工学研究発表会，1985年。
- 7) 生原・龍岡：砂の模型支持力実験における側壁面条件の影響，第19回土質工学研究発表会，1984年。

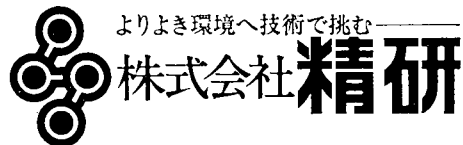
(1985.7.22・受付)



11.22m シールド機発達防護

安全・確実・無公害 (地盤凍結工法)

- ★あらゆる土質に対応できる
- ★優れた強度が期待できる
- ★安定した工程管理ができる
- ★高水圧下での施工実績がある。
- ★凍上沈下は管理・施工で対応できる



本社 技術研究所 大阪市南区瓦屋町2丁目11番6号(オートセンタービル)
〒542 ☎06-(768)-5031(大代)

東京支店 東京都千代田区九段南2丁目2番5号(九段ビル)
〒102 ☎03-(262)-3241(代)