

# 先端拡大型補強材の土中引抜き抵抗と適用事例

伊藤秀行<sup>1</sup>・齋藤知哉<sup>1</sup>・小浪岳治<sup>2</sup>・林豪人<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 大日本土木株式会社 土木本部エンジニアリング部 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿六丁目16-6)

<sup>2</sup>正会員 岡三リビング株式会社 技術部 (〒108-0023 東京都港区芝浦四丁目16-23)

筆者らは地山補強土工法などに適用される先端拡大型補強材を開発し、各種補強土工事に適用してきた。先端拡大型補強材は先端拡大部において支圧抵抗が発揮され、周辺摩擦抵抗のみによる鉄筋などの補強材に比べて、大きな引抜き抵抗を有し効果を発揮する。今回、先端拡大部の構造仕様の見直しを図るとともに部材単価のコストダウンに向けて補強材の改良を進めた。そこで、拡大部を大きくした場合の引抜き抵抗力の検証を目的に実施した引抜き実験について報告する。また、適用範囲として地山補強土として適用される切土面の安定だけでなく、既設のブロック積み擁壁の補修や耐震補強などにも適用可能であり、数例の適用事例を紹介する。

**キーワード:** 切土, 補強土, 引抜き実験, 事例

## 1. はじめに

大規模な地震による道路や造成地の盛土斜面の崩壊に対して、効果的な対策工の提案が望まれている。筆者らは補強材先端に拡大部を有する補強材（先端拡大型補強材）を開発し、各種地山補強土工事に適用してきた<sup>1),2)</sup>が、先端拡大型補強材は周面摩擦抵抗力が小さい地盤においても、先端拡大部の支圧抵抗により斜面を安定させることができる。先端拡大部の支圧抵抗力の設計は拡大部の拡大径に比例するため、拡大部の拡大径を費用対効果および施工性の面から適切に大きくできれば、先端拡大型補強材の引抜き抵抗力がより大きく期待できる。そこで今回、効果的な拡大径を選定し、かつ、設計法との整合性を確認する目的で先端拡大型補強材の引抜き実験を実施したのでここに報告する。また、先端拡大型補強材の適用事例も合わせて紹介する。

## 2. 先端拡大型補強材の概要

図-1に先端拡大型補強材の概要図を示す。ここで示す寸法は今回の実験で得られた成果から決定された寸法である。本補強材のロッド部は中空ロッドを用いている。補強材の打設設置手順は、地盤を必要

長削孔後、本補強材および外鋼管を挿入し、専用の拡大機を用いて、外鋼管を押し本補強材を引張ることによって先端拡大部を拡大させる。拡大後外鋼管は撤去し、中空ロッドを利用して高压空気噴射により拡大部の土砂を除去する。その後同じく中空ロッドにより拡大部分より孔口に向けてグラウトを充填する。

本補強材の効果としては、拡大部の支圧抵抗力が単純に大きな補強材力として発揮されるだけでなく、拡大部の効果により、ロックボルトタイプの補強材

に対し補強斜面に確実にかつ、より大きな締め付け効果を与えられる。すなわちプレストレス効果と言えるが、補強斜面への定量的なプレストレス効果が期

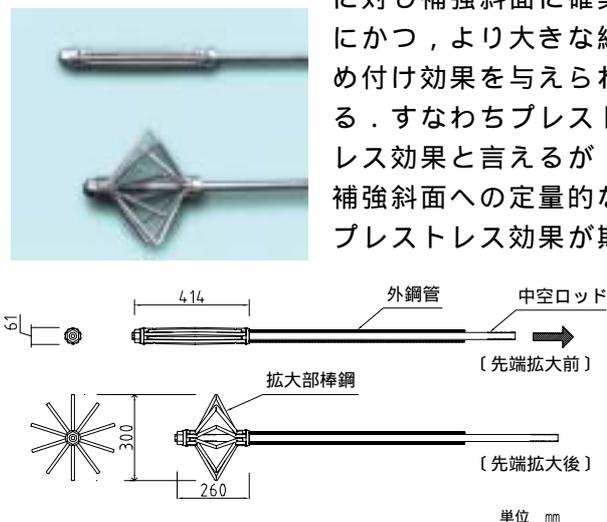


図-1 先端拡大型補強材概要図  
(上: 拡大前, 下: 拡大後)

待できれば、基本的に待ち受け型で地盤の変位を許容し、地盤の変位にともない補強効果を発揮するロックボルトタイプの補強材に対して、補強材1本当たり、より大きな効果で切土面を補強し、かつ、切土面の変位の抑制を期待できる。この点については別途研究を進めており、別の機会に報告したい。

### 3. 鉛直方向引抜き実験 - 拡大径の比較 -

#### (1) 実験概要

##### a) 実験土槽

実験は(独)土木研究所の土工実験棟実験土槽で実施した。土槽は幅5m深さ4mで、このうち下2mが砂質シルト、上2mが山砂で構成された均質地盤である。山砂の状態を表-1に示す。また、図-2に模式的にまとめた土槽内の実験条件に、簡易動的コーン試験結果Nd値を示す。

##### b) 実験ケース

実験に用いた先端拡大部の径は 220mm (従来型)、260mm、300mmの3種類とし(図-3参照)、それぞれロッド長1mで鉛直方向引抜き実験を行った。

260mmではロッド長2mも実施した。実験ケースを表-2にまとめる。なお、拡大径 220mm、260mm、300mmの面積比は1:1.51:2.03である。

##### c) 実験方法

図-4に引抜き試験の概要を示す。反力架台は補強材センターから片側40cm離し、油圧ジャッキにて荷重制御で引抜いた。荷重ステップは予測した引抜き荷重を約10ステップになるようにステップ荷重を設定し、各ステップで5分間荷重保持した。実験はグラウト充填1週後に実施し、実験中は補強材頭部で引抜き荷重Pと引抜き変位Sおよび地表面変位3点を測定した。

#### (2) 実験結果および考察

図-5 に各ケースの引抜き荷重P～ロッド頭部変位S関係を、図-6、図-7 にはそれぞれ極限荷重Puおよび降伏荷重Pyの算出例を示す。Pyは図-7(a)(b)のそれぞれの方法で算出した値の平均とした。得られたPy, Puを表-2中および図-8にまとめる。これより、拡大部のみグラウトおよび全グラウトのケースとも、拡大部の径が大きくなるほど引抜き抵抗力が大きくなることがわかる。しかし、表-3にまとめるように、拡大部の面積比ほどに降伏荷重も極限荷重も拡大径に応じて大きくなる。後述する拡大部の支圧抵抗力の設計法による設計値

表-1 土槽土状態

山 砂	
t (g/cm <sup>3</sup> )	1.698
(%)	10.8
d (g/cm <sup>3</sup> )	1.532
不飽和 c d (kN/m <sup>2</sup> )	22.1
不飽和 d (°)	34.4

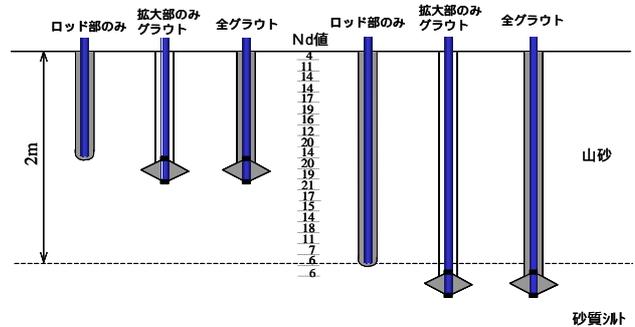


図-2 実験条件概要

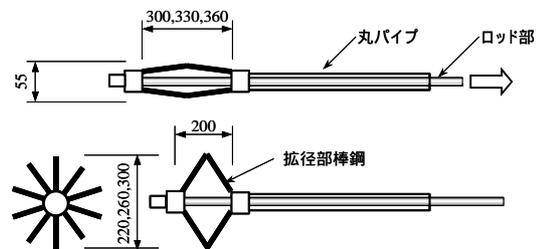


図-3 実験に用いた先端拡大型補強材概要

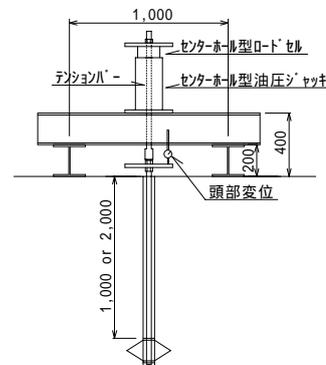


図-4 鉛直方向引抜き実験方法

表-2 実験ケースおよび実験結果

ケース	実験条件			引抜き実験結果	
	補強材	グラウト 充填状況	ロッド部 長さ(m)	降伏荷重 Py(kN)	極限荷重 Pu(kN)
Case.1	丸鋼	25.4	ロッド部のみ	5.63	7.71
Case.2	先端 拡大 型	220	拡大部のみ	10.28	16.26
Case.3		全	15.46	26.60	
Case.4		260	拡大部のみ	12.05	19.66
Case.5		全	16.56	29.48	
Case.6		300	拡大部のみ	13.26	25.38
Case.7		全	20.01	32.55	
Case.8		丸鋼	25.4	ロッド部のみ	13.58
Case.9	先端 拡大 型	260	拡大部のみ	8.70	22.02
Case.10		全	20.95	38.91	

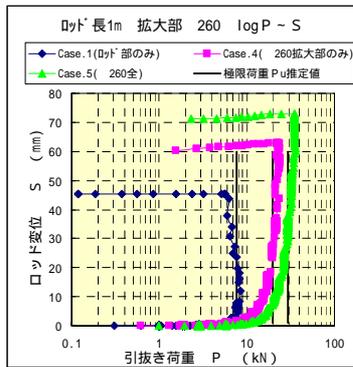
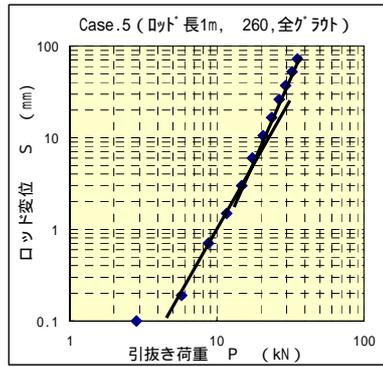
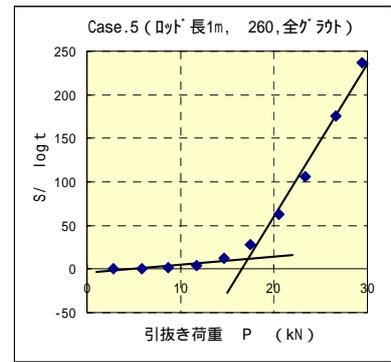


図-6 極限荷重  $P_u$  算出例  
(ロッド長 1m, 260)

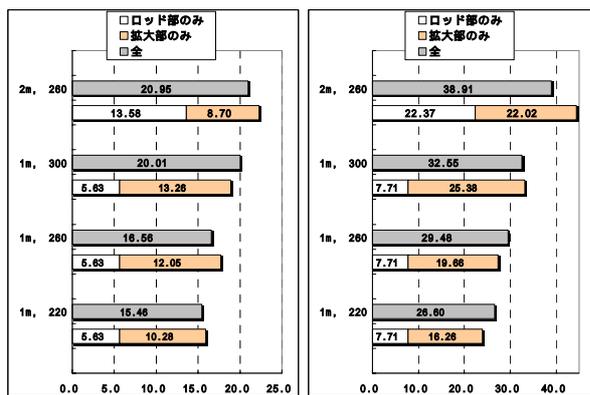


(a)  $\log P \sim \log S$



(b)  $S / \log t \sim P$

図-7 降伏荷重  $P_y$  算出例 (case.5)



(a) 降伏荷重  $P_y$  (kN)

(b) 極限荷重  $P_u$  (kN)

図-8 鉛直方向引抜き実験方法

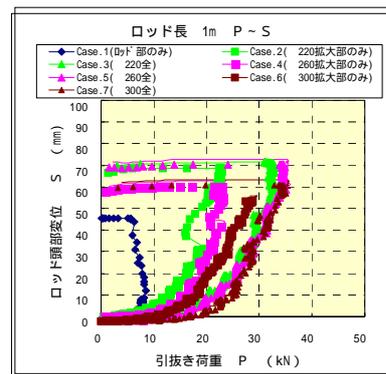
表-3 拡大部のみの荷重比率

拡大径 (mm)	220	260	300	
面積比率	1.00	1.51	2.03	
降伏	荷重 (kN)	10.28	12.05	13.26
	比率	1.00	1.17	1.29
極限	荷重 (kN)	16.26	19.66	25.38
	比率	1.00	1.21	1.56
設計値*)	荷重 (kN)	8.61	13.17	17.54

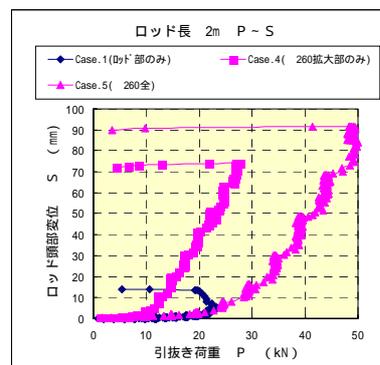
\*) 引抜きに対する安全率=1と考え、極限荷重に対応

に比較すると各拡大径とも実験値の方が大きい。すなわち、拡大径が小さいほど設計値に対して過大な結果が得られている。これは鉛直方向への引抜きという実験方法の影響が考えられる。

一方、Case.9 (ロッド長 2m 260) では  $P_y$  が Case.4 (ロッド長 1m 260) に比べて小さい。これは、ロッド長 2m では拡大部が山砂の下の砂質シルトに位置してしまった影響によると思われる。Case.9 の  $P_u$  は Case.4 と同等以上となっており、 $P_y$  は拡大部近傍の土質に影響を受け、 $P_u$  は拡大部前面部分のもう少し広い範囲の土質に影響を受けることが推察される。また、ロッドのみの周面摩擦抵抗は、ロッド長 1m と 2m で  $P_y$  で約 2.5 倍、 $P_u$



(a) ロッド長 1.0m



(b) ロッド長 2.0m

図-5 P ~ S 関係

で約 3 倍となった。すなわち、今回は鉛直方向への打設引抜き実験であったため、土被り厚さもしくは深さ方向の土性の違いが影響していると考えられる。そしてどの条件においても、 $P_y$ 、 $P_u$ ともロッド部のみの摩擦抵抗と拡大部の実験結果を足し合わせたものがすべてグラウトしたものの実験結果に概ね一致することが確認できた。

### (3)まとめ

今回の実験により、拡大径が大きくなるほど支圧抵抗も大きくなることが確認でき、拡大径 300mm とすることが効果的である。

#### 4. 水平方向引抜き実験 - 設計法の検証 -

##### (1) 実験方法

実験は鉛直と同じく(独)土木研究所の土工実験棟実験土槽に作成した斜面(勾配 1:0.3)に径 65mm, 長さ 2400mm の削孔を斜面に対し直角に行い, 先端拡大部の土被りが 1m となるように補強材を挿入して先端拡大部を専用ジャッキを用いて拡大させた。先端拡大部の径は 300 である。拡大後セメントミルク(W/C=50%)を注入し, 7 日間養生した後, 油圧ジャッキを用いて荷重制御で引抜き試験を実施した。8 ステップで事前に予測した引抜き抵抗力に到達するようにステップ荷重を設定し, 各ステップで 5 分間荷重を保持した。実験中は補強材頭部で引抜き抵抗力 P と引抜き変位 を計測し, 引抜き変位 が 50mm に達する段階で試験を終了した。図-8 は引抜き試験の概要である。実験地盤は山砂と山砂にセメントを 1% 混合した改良土との 2 種類とした。実験地盤の土質定数を表-4 に示す。試験では先端拡大部へ作用する鉛直応力  $\sigma_v$  が引抜き抵抗力 P へ及ぼす影響を調べるため, 斜面上部に鉄板を載せ, 上載荷重の調節を行った。実験ケースを表-5 に示す。なお, 土とグラウトとの極限周面摩擦力は, 同じ地盤において拡大部のない丸鋼を用いた補強材(削孔径 65mm, 長さ 2000mm)による引抜き試験によって求めた。

##### (2) 実験結果および考察

図-9は実験での引抜き抵抗力 P と引抜き変位 の関係であり, 先端拡大型補強材の引抜き抵抗力は, 丸鋼を用いた補強材の引抜き抵抗力より大きいことがわかる。また丸鋼を用いた補強材は引抜き変位 の小さな段階で引抜き抵抗力のピークが現れるのに対し, 先端拡大型補強材の引抜き抵抗力のピークは明確に現れず漸増している。そこで, ここでは試験から得られた先端拡大型補強材の極限引抜き抵抗力 P<sub>u</sub>は, 引抜き抵抗力

表-4 実験土槽土質特性

土質特性	山砂	改良土
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.14	18.07
(%)	13.9	14.3
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	15.05	15.81
$c_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	12.8	-
$\phi_u$ (°)	34.2	-
$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	-	66.0

表-5 実験ケース

Case	上載荷重	土質
A-1	0 kN/m <sup>2</sup>	山砂
A-2	26.1 kN/m <sup>2</sup>	
A-3	52.2 kN/m <sup>2</sup>	
B-1	0 kN/m <sup>2</sup>	改良土
B-2	26.1 kN/m <sup>2</sup>	
B-3	52.2 kN/m <sup>2</sup>	

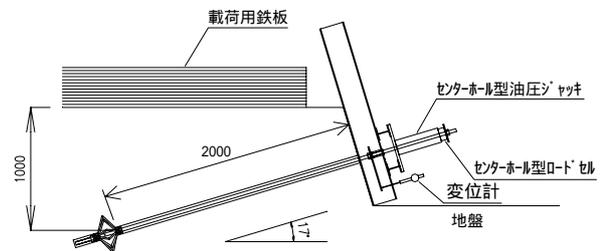


図-8 水平方向引抜き実験概要図

P の対数値と引抜き変位 の関係に対し双曲線近似を行い, その漸近線の値とした。双曲線近似の結果は図-9 に示した。図-10 は, 先端拡大型補強材の設計引抜き強度 P<sub>d</sub> と試験から得られた極限引抜き抵抗力 P<sub>u</sub> である。ここでの設計引抜き強度 P<sub>d</sub> は, 次式に示す先端拡大部での支圧抵抗力と, ロッド部での土とグラウトとの周面摩擦力との和である。

$$P_d = \tau \cdot \pi \cdot D \cdot L + (c \cdot N_c + N_q \cdot q_p) \cdot A_p \quad (1)$$

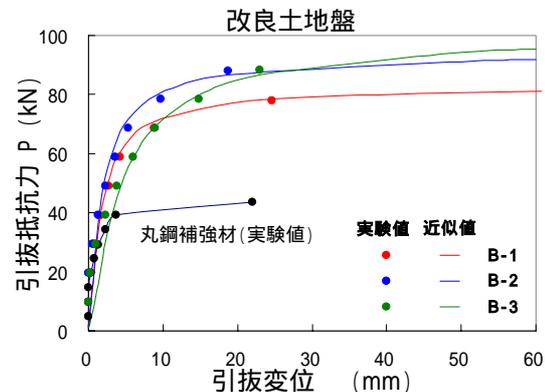
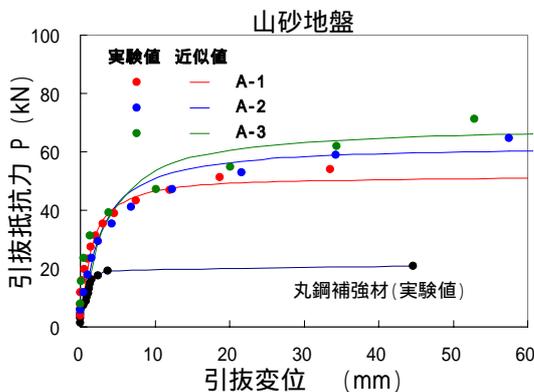


図-9 引抜き抵抗力と頭部引抜き変位

ここで、 $f$  は土とグラウトとの極限周面摩擦力、 $D$  はグラウト直径、 $L$  は補強材長さ、 $c$  は土の粘着力、 $q_p$  は先端拡大部での水平拘束圧、 $N_c$  および  $N_q$  は支持力係数、 $A_p$  は先端拡大部の投影面積（引抜方向）である。山砂、改良土の2種類の土質条件における極限引抜抵抗力  $P_u$  は、支圧抵抗力と周面摩擦力の和である設計引抜強度  $P_d$  を上回る結果となった。また上載荷重の増加にともない、実験で得られた極限引抜抵抗力  $P_u$  は増加することがわかる。このことは、先端拡大部での水平拘束圧  $q_p$  の増加にともない設計引抜強度  $P_d$  が増加する傾向に等しい。

次に、各載荷段階における  $t$  時間内での引抜変位増分を  $\Delta u$  とし、 $t$  間の対数値の差を  $\log t$  とし、 $\Delta u / \log t \sim P$  関係のグラフの折れ点での引抜抵抗力を実験で得られた降伏引抜抵抗力  $P_y$  とした。この関係は杭の引抜試験における降伏荷重の判定に用いられる方法の一つである<sup>3)</sup>。図-11 は山砂地盤および改良土地盤での先端拡大部における鉛直応力  $\sigma_v$  と降伏引抜抵抗力  $P_y$ 、極限引抜抵抗力  $P_u$  および設計引抜強度  $P_d$  の関係である。降伏引抜抵抗力  $P_y$  は極限引抜抵抗力  $P_u$  の 0.60~0.85 倍となった。このことから、設計引抜強度  $P_d$  の 1/2 程度での引抜変位は、実用上小さい範囲に抑えられると考えられる。したがって、設計引抜強度  $P_d$  の安全率を 2.0 にすることが提案できる。

### (3)まとめ

異なる2種類の地盤に水平打設した先端拡大型補強材の極限引抜き抵抗力は、先端拡大部の支圧抵抗力と補強材の摩擦抵抗力の合計である設計引抜き強度を上回る結果となり、引抜き抵抗力の評価方法の妥当性が確認できた。また、降伏引抜き抵抗力は極限引抜き抵抗力の0.60~0.85倍となることを確認し、引抜き安全率2.0を提案した。今後は実現場での引抜き試験を行い、さらに精緻なデータを得て補強土構造物としての安定性を評価する所存である。

## 5. 適用事例

### (1)ブロック積み擁壁補強工事

本事例は東北地方の急傾斜地対策工事に適用されたものであり、写真-1にあるように、民家のすぐ裏手にあるブロック積み擁壁（勾配 1:0.4）の補修工事である。民家からの距離はブロック積みのり尻部で 1.7m しかなく、この補修に当たり主にはこの施工条件に対して補強材長が短くできる先端

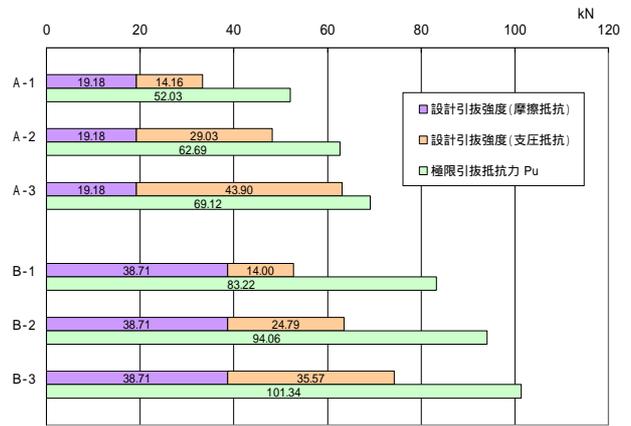


図-10 設計引抜き強度と極限引抜き抵抗力

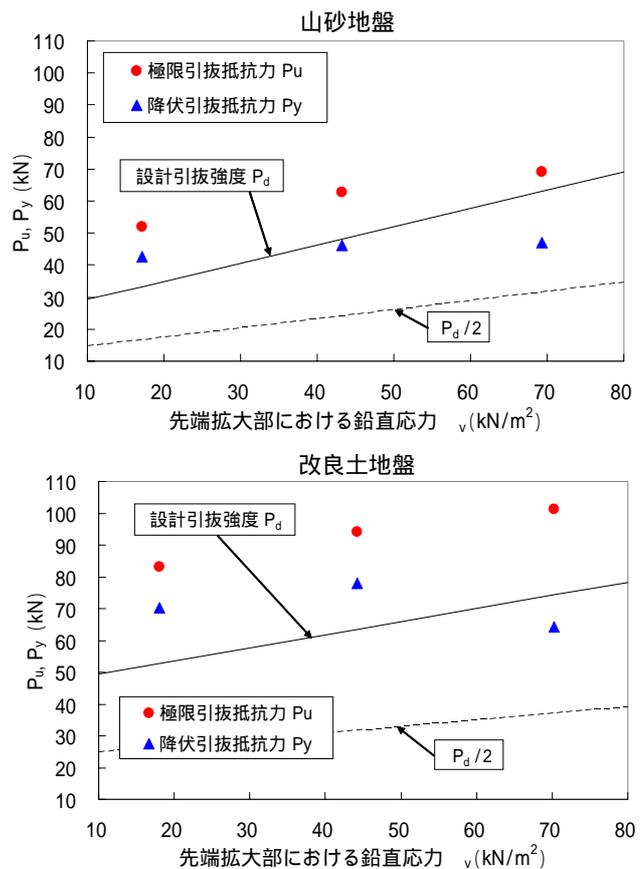


図-11 先端拡大部における鉛直応力と極限引抜き抵抗力・降伏引抜き抵抗力

拡大型補強材が採用された。先端拡大型補強材にしても必要長さは上3段が 2.5m、下3段が 2.0m 必要であり（図-12）、下から2段分はロッドを分割タイプとしている。先端拡大型補強材の施工完了後、ブロック積みの表面は厚さ 30cm の張りコンクリートを打設した（張りコン内の鉄筋と先端拡大型補強材を連結して一体化）。この事例のように、今後は、古くなった石積みやブロック積み擁壁の補修あるいは耐震補強などに関し、先端拡大部の効果から適用が見込まれるのではないかと考えられる。

## (2) 護岸係留設備補修工事

本事例は護岸改修工事の一環として、護岸へのボートの係留設備の補強増築工事に適用されたものである。ボート係留時に作用する横方向の力を護岸の隔壁に受け持たせる構造としているが、この隔壁を先端拡大型補強材で補強した。ロックボルトタイプのグラウトと地盤の摩擦抵抗だけよりも、先端に拡大部を持つ構造が引抜けに対し高い信頼性を確保できる点が評価されたものである。

## (3) ブロック積み擁壁補強工事

本ブロック積み擁壁の補強工事は、のり面工に40cm×40cmのFRP製格子状枠を用いた。このブロック積み擁壁は築後約30年たっており、近年、ブロック間の目開きが目立ってきたため、先端拡大型補強材と格子状枠によりブロックを締め付けるようにして補修補強した事例である。



写真-1 事例(1) 施工状況および完成後

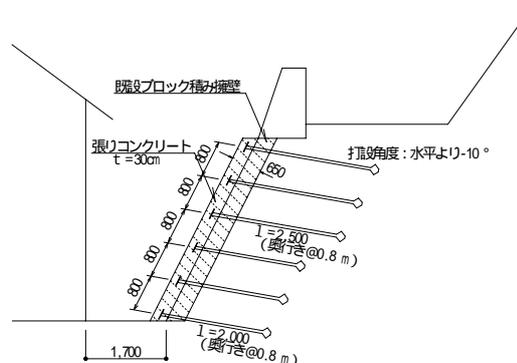


図-12 事例(1) ブロック積み擁壁補修工事断面図

## 6. おわりに

先端拡大型補強材の改良により（拡大径 220 300），先端拡大部の支圧抵抗力を従来より約2倍見込めるようになった。これにより、鉄筋などのロックボルトタイプの補強材に対して補強材の配置ピッチをとばすことができ、コスト的にも施工性も大きな効果が見込める。また、補強材の長さを短くすることも可能であり、明確な特徴をもった補強材と言える。今後は、実地盤での引抜き抵抗力の検証やデータの蓄積、および、先端拡大部の特徴を生かした地盤へのプレストレス効果などについても研究を進めたいと考えている。

## 参考文献

- 1)大倉浩二，齊藤知哉，山田貴史，片岡昌裕：「先端拡大部を有する補強材の補強効果」，地山補強土工法に関するシンポジウム発表論文集，地盤工学会，pp.241～246，1996.7.
- 2)大倉浩二，齊藤知哉，山田貴史，伊藤秀行：「先



写真-2 事例(2) 施工状況および完成後



写真-3 事例(3) 着手前および施工完了後

- 端拡大部を有する補強材の現場適用」，土と基礎 Vol.44, No.10，地盤工学会，pp.27～28，1996.10.
- 3)社団法人地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説，2002.