

# 掘割構造の設計の体系化に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 17～平 20

担当チーム：施工技術チーム

研究担当者：小橋 秀俊、宇田川 義夫、  
澤松 俊寿

## 【要旨】

平成 14 年の「公共工事コスト構造改革プログラム」等において規格の見直し等によるコスト構造改革の推進が位置づけられている。掘割構造や土留・擁壁構造についても工期短縮・コスト縮減が望まれる。通常、掘割構造の仮設にはグラウンドアンカー工や切梁工が用いられるが、拡径型アンカー等の高強度のアンカー技術を開発することにより、最小限の用地内で工期短縮・コスト縮減が可能である。本研究では、遠心模型実験、実大実験により拡径型アンカーの引抜き特性について検討した。また、民間 3 グループと共同で、高強度のアンカー力を有する拡径型アンカー工法を開発し、その有効性を確認した。

キーワード：掘割構造、山留め、グラウンドアンカー、拡径型アンカー、引抜き

## 1. はじめに

従来、高架構造が一般的であった都心部の道路事情は、周辺環境への配慮やオープンスペースの有効利用のため、地下構造化、半地下構造化が進んでいる。一般に、掘割構造部を施工する際、山留め壁を構築して切梁やグラウンドアンカーなどの支保工を併用する。しかし、切梁工法では仮設の規模が大きくなりがちである。また、グラウンドアンカー工法では支持層に定着させる必要があるため、支持層が深いとアンカー長が極端に長くなり、用地境界内での施工が困難な場合が多い。そのため、従来のアンカーに比べて、短いアンカー長で比較的軟弱な地盤でも確実に支保できるアンカー工法の必要性は大きい。

拡径型アンカーは、図 1 に示すように自由長部に比べて先端の定着長部を拡大させたアンカー<sup>1)2)</sup>である。従来の摩擦型アンカーに比べて、周面の摩擦面積が増大するとともに、拡径部の支圧による引抜き抵抗が期待されることから、先に述べた用途として注目されている。

しかしながら、拡径型アンカーは、引抜き時の摩擦成分と支圧成分の複合的な挙動に不明な点が多く、明確な設計法が確立されていない。また、十分な引抜き試験データが蓄積されていないため、引抜き抵抗力の推定も困難である。

そこで、本研究では拡径型アンカーの引抜き特性を明らかにするために遠心模型実験、実大実験を

実施した。また、民間 3 グループと共同で拡径型アンカー工法を開発し、その有効性について検討した。

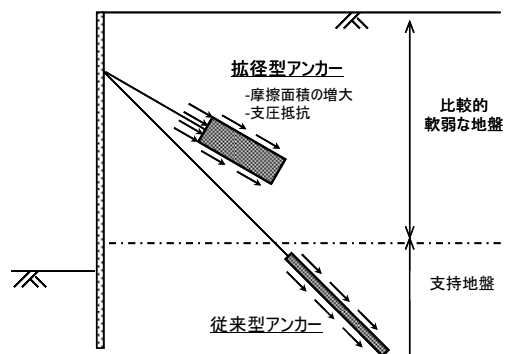


図 1 拡径型アンカーと従来型アンカー

## 2. 遠心場における拡径型アンカーの引抜き実験

### 2.1 拡径型アンカーの引抜き特性<sup>3)4)</sup>

以下の事項について検討することを目的に、拡径型アンカーおよびアンカープレート模型の遠心場における引抜き実験を実施した。

- ・ 摩擦抵抗と支圧抵抗の関係
- ・ 砂地盤および粘土地盤での引抜き挙動
- ・ 支圧面の形状が異なる場合の引抜き特性
- ・ アンカー体直径 $D$ 、土被り $H$ 、強度定数、アンカー傾角 $\alpha$ が異なる場合の引抜き特性に与える影響

#### (1) 砂地盤における拡径型アンカーの引抜き特性

砂地盤における拡径型アンカーの引抜き特性および摩擦抵抗と支圧抵抗の関係について検討するため

に、アンカー体直径Dが同一で長さLの異なる模型を用いて、鉛直引抜き実験を実施した。図 2にパラメータの解説図を示す。

アンカー体はアンカープレートと、拡径型アンカー体の箱抜き模型を鉛直に設置し、アンカー体上端まで空中落下法により地盤(豊浦砂)を作製した後、箱抜き模型を取り除き地盤内に空洞を設け、セメントミルクを流し込んで作製した。3日間養生した後、所定の土被りまで地盤を作製した。実験後に取り出したアンカー体を図 3に、実験条件を表 1に示す。

実験から得られた引抜き荷重-引抜き変位関係を図 4に示す。なお、図中の凡例に示すL=0mはアンカープレートを引き抜いた結果であり、アンカー体周囲の摩擦抵抗が極めてゼロに近いケースの結果で

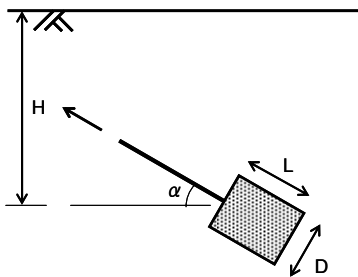


図 2 パラメータ解説図

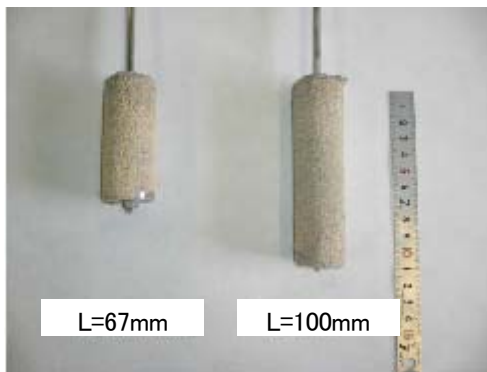


図 3 拡径型アンカーの模型 (セメントミルク)

表 1 実験条件 (砂地盤)

相対密度 Dr(%)	土被り H	アンカー体径 D	アンカー体長 L
50	167mm (5.0m)	27mm (0.8m)	・アンカープレート ・33mm (1m) ・67mm (2m) ・100mm(3m)

( ) 内は実大換算寸法

ある。図よりアンカー体長が長いほど周面摩擦抵抗が大きいため引抜き荷重が大きくなる。図 5に、摩擦力はアンカー体長Lにかかわらず同一の引抜き変位において明瞭なピークがあり、その後荷重が減少している。これは、一般に知られている円柱体の摩擦特性と同様な傾向である。したがって、引抜きに伴い支圧力と摩擦力は互いに独立に抵抗力を發揮しており、拡径型アンカーの引抜き抵抗Pは次式のように表すことができると思われる。

$$P = P_{fric} + P_{bear} \quad (1)$$

ここに、 $P_{fric}$ は摩擦抵抗、 $P_{bear}$ は支圧抵抗である。図 5には、支圧荷重(L=0m)も併せて示している。摩擦力はピーク後、脆性的な挙動を示すのに対して、支圧力は引抜き変位の増加に伴い引抜き荷重が単調に増加している。

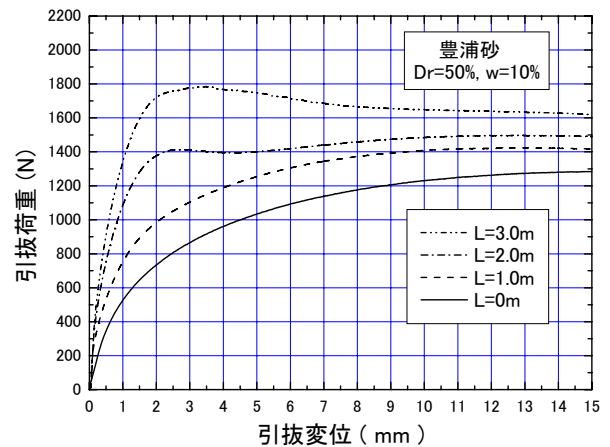


図 4 引抜き荷重-引抜き変位 (砂地盤)

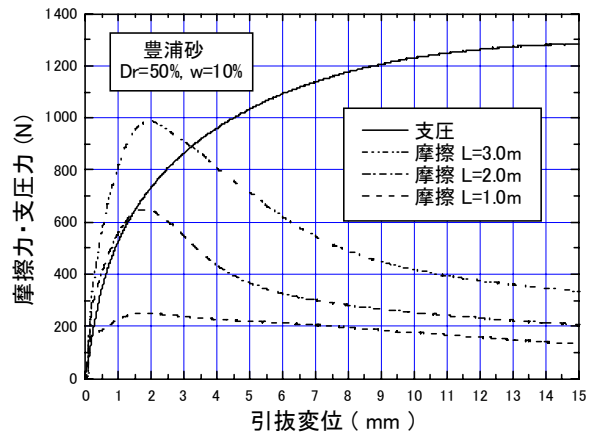


図 5 摩擦成分と支圧成分の比較 (砂地盤)

## (2) 粘土地盤における拡張型アンカーの引抜き特性

粘土地盤における拡張型アンカーの引抜き特性について検討するために、アンカー体直径  $D$  は同一でアンカー体長  $L$  の異なる模型を用いて、鉛直引抜き実験を実施した。

地盤材料にはカオリンクレイ ( $w_L=81.9\%$ 、 $w_p=30.5\%$ ) を用いた。比較的強度の大きな粘土地盤を作製するために、地表面の比排水せん断強度が  $12.3\text{kN/m}^2$  になるように地表面に上載荷重を載荷し、遠心加速度  $75G$  の遠心場で圧密させた後に、 $30G$  の遠心場において引抜きを実施した。三軸圧縮試験より算出したカオリンクレイの強度増加率 ( $C_u/P=0.23$ )、地盤作製過程における応力履歴および次式より、アンカー体中心の深さでの非排水せん断強度は  $22.8\text{kN/m}^2$  と推定される。実験条件を表 2 に示す。

$$\sigma_m' = \frac{1+2K}{3} \gamma' H' \quad (2)$$

$$C_u = \left( \frac{C_u}{p} \right) \sigma_m' \quad (3)$$

ここに、 $\sigma_m'$  は平均有効拘束圧、 $K$  は側圧係数、 $\gamma'$  は有効単位体積重量、 $H'$  はアンカー体中心の土被り深さ、 $C_u$  は非排水せん断強度、 $C_u/p$  は強度増加率である。なお側圧係数  $K$  は  $0.5$  としている。

表 2 実験条件 (粘土地盤)

強度増加率 $C_u/P$	土被り $H$	アンカー体径 $D$	アンカー体長 $L$
0.23	167mm (5.0m)	27mm (0.8m)	・5mm(アンカープレート) ・67mm(2m)

( ) 内は実大換算寸法

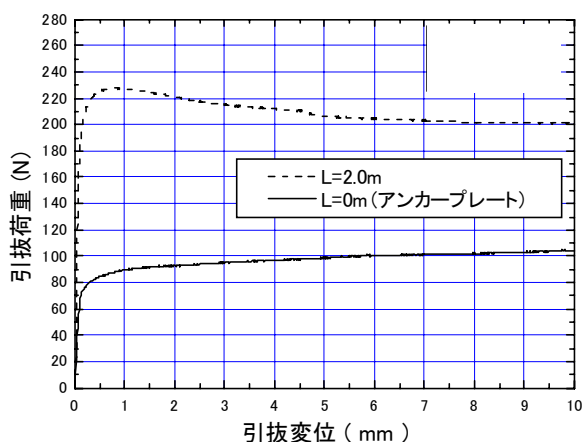


図 6 引抜き荷重—引抜き変位 (粘土地盤)

図 6 に引抜き荷重—引抜き変位関係を示す。砂地盤に比べて引抜き荷重が小さく、また降伏に至るまでの変形量も小さい。 $L=2\text{m}$  のケースの引抜き荷重から支圧荷重である  $L=0\text{m}$  の引抜き荷重を差し引いて摩擦抵抗を算出する。摩擦抵抗と支圧抵抗を図 6 に示す。定性的には砂地盤における引抜きの結果と同様な傾向である。しかし、支圧強度、摩擦強度とも砂地盤の実験ケースと比較すると 1 割程度であり、拡張型アンカーにおいても、従来の摩擦型アンカーと同様に粘土地盤への適用は難しいと考えられる。

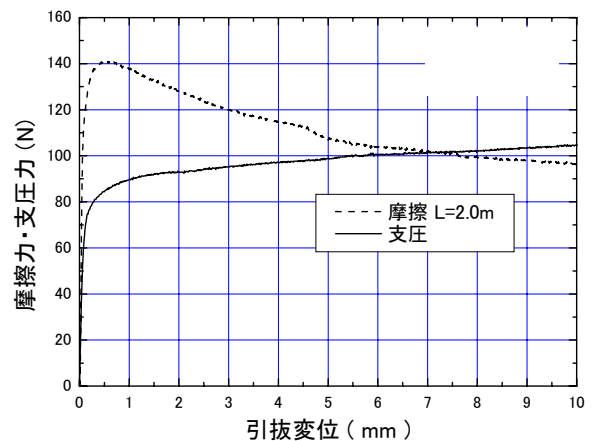


図 7 摩擦成分と支圧成分の比較 (粘土地盤)

## (3) 角の取れたアンカーの挙動

既往の拡張型アンカーの設計における引抜き力の算定は、アンカー体を円柱として、支圧面積 (円柱の断面) および摩擦面積 (円柱の周面) から、支圧強度と摩擦強度を算出している<sup>1)</sup>。しかしながら、図 8 に示すように、実際の拡張型アンカーには角が丸いものもあり、必ずしも完全な円柱体ではない。そのため、アンカー体の形状が円柱体でない場合の引抜き特性について検討するために、角がとれたアンカー体模型の鉛直方向への引抜き実験を実施した。

図 9 に示すような角がとれたアンカー模型を用いて、砂地盤において引抜き実験を行った。アンカー体の模型はアルミ製である。相対密度  $D_r$  と含水比  $w$  の異なる 3 種類の地盤条件について、R0、R5、R10 の模型を 2 本ずつ鉛直上方に引抜いた。実験条件を表 3 に示す。

図 10 に引抜き実験から得られた引抜き荷重—引抜き変位関係の 1 例として、相対密度  $D_r=100\%$  のケースの結果を示す。図より、アンカー体の角の形状に係わらず同様な傾向をしめしていることがわかる。

図 11 に、各ケースにおける、R0 と R5 および R10

の引抜き荷重の比較を示す。なお、引抜き荷重は引抜き変位量 5mm のときの値としている。全てのケースにおいて、円柱体である R0 に比べて、角がとれたアンカー体 R5、R10 の方が、引抜き荷重が大きいことがわかる。これは、支圧面端部における地盤

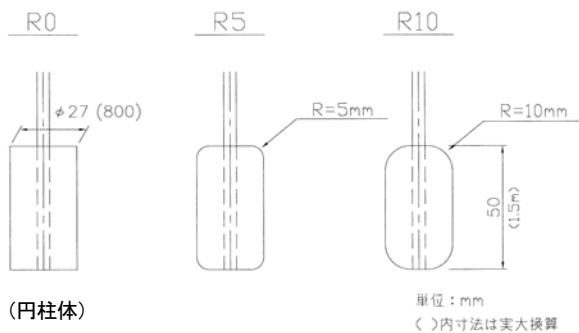


図 8 バルーン型の拡径型アンカー<sup>1)</sup>

表 3 実験条件 (角のとれたアンカー)

相対密度 Dr(%)	土被り H	アンカー体 径D	アンカー体 長L	角の形状
50, 70, 100	167mm (5.0m)	27mm (0.8m)	50mm (1.5m)	R0 R5 R10

( ) 内は実大換算寸法



(円柱体)

単位: mm  
( ) 内寸法は実大換算

図 9 アンカー体模型 (角の取れたアンカー)

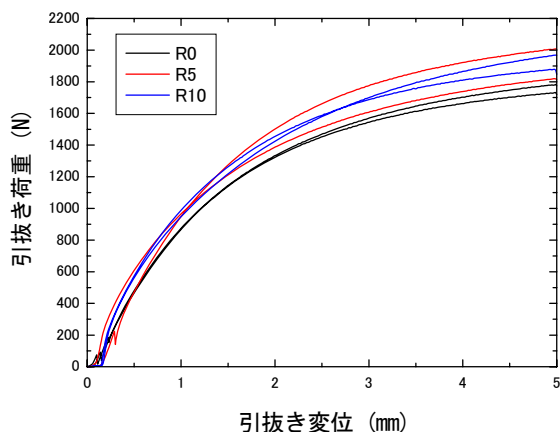


図 10 引抜き荷重—引抜き変位

の応力集中が低減されたことが理由として考えられる。

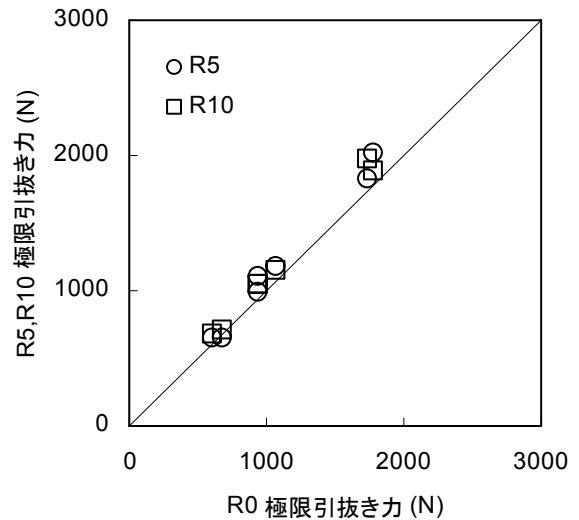


図 11 円柱形アンカー R0 と角のとれたアンカー R5, R10 の極限引抜き力の比較

#### (4) 拡径型アンカーの支圧挙動<sup>4)</sup>

前述のように拡径型アンカーの引抜き抵抗力は、摩擦抵抗成分と支圧抵抗成分の和で表すことができ、またそれらは互いに独立であることがわかった。引抜き抵抗力を摩擦抵抗成分に期待する従来のグラウンドアンカーにおいては、土質種別と N 値によって与えられる経験的な周面摩擦抵抗<sup>7)</sup>を用いて極限引抜き力を算出する。拡径型アンカーにおいてもこの値を用いて、拡径型アンカーの引抜き抵抗に占める摩擦抵抗成分を求めると考えられる。

支圧抵抗成分については鉄塔基礎等において、古くから多くの研究<sup>例えば 5)</sup>がなされているが、これらは鉛直上向きへの引抜きであるため、山留め等で水平に近い角度に引抜き力を発揮する必要がある拡径型アンカーにおいて適用できるものとは言いがたい。また、有限要素法による解析により、水平方向への引抜き特性が報告されている<sup>8)</sup>。しかし鉄塔基礎などの鉛直方向への引抜き载荷試験を実施した研究と比較し、解析結果を裏付ける水平方向あるいは斜め方向への引抜きに関する研究は少ない。そこで、支圧抵抗の特性を把握するために、アンカー体径 D、土被り厚 H、地盤密度 Dr、アンカー傾角  $\alpha$  をパラメータとして、砂地盤中に設置したアンカープレート<sup>7)</sup>の遠心場における引抜き実験を実施した。ここでは、アンカー体周面の摩擦抵抗を限りなくゼロにし

て純粋な支圧抵抗について検討するためにアンカープレート（厚さ5mm）を用いている。実験条件を表4に示す。

図12にアンカー傾角 $\alpha$ と極限引抜き力Pの関係を示す。なお、明瞭なピークを示さず極限に至らなかったケースについては、引抜き変位量50mmでの引抜き荷重を極限引抜き力とし、図中に上向きの矢印を合わせて示している。ここで、アンカープレートの鉛直下方向への引抜き（アンカー傾角 $-90^\circ$ ）は基礎の支持力問題と同義である。遠心模型実験と同条件の土被りH、直径D、強度定数について、道路橋示方書の極限支持力式<sup>9)</sup>から算出した支持力を図12に白抜きで示す。図より、アンカー傾角 $\alpha$ が小さいほど、また土被りHが大きいほど極限引抜き力が大きいことが分かる。

実験で得られた極限引抜き力Pを道路橋示方書の極限支持力式で算出した極限支持力 $P_{90}$ で除した $P/P_{90}$ とアンカー傾角 $\alpha$ の関係を図13に示す。道示式と比較して、 $\alpha=0^\circ$ で0.6倍、 $\alpha=30^\circ$ で0.4倍、 $\alpha=90^\circ$ で0.2倍程度となっている。山留めなどに用いるアンカーは $\alpha=0\sim 30^\circ$ 程度で打設されるため、鉄塔基礎の極限引抜き力（アンカー傾角 $90^\circ$ ）等の算定式を用いれば、安全側の値を得ることができると考えられる。一方で、基礎の支持力（アンカー傾角

表4 実験条件（アンカープレート）

プレート直径 D	アンカー傾角 $\alpha$	土被り H	相対密度 Dr
27mm(0.8m)	$0^\circ$	100mm(3.0m)	95%
	$30^\circ$	150mm(4.5m)	
	$45^\circ$	200mm(6.0m)	
	$90^\circ$	250mm(7.5m)	

( )内は実大換算寸法

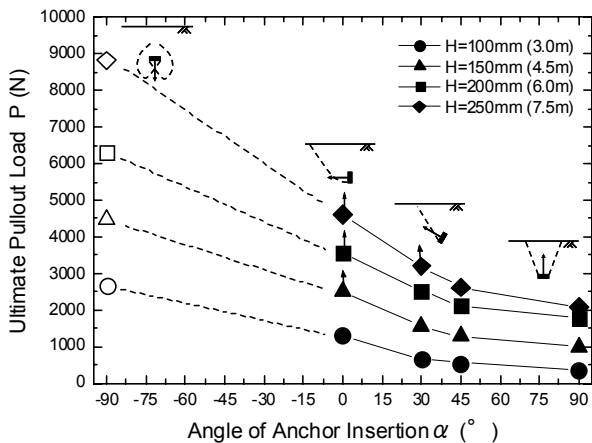


図12 アンカー傾角 $\alpha$ と極限引抜き力Pの関係

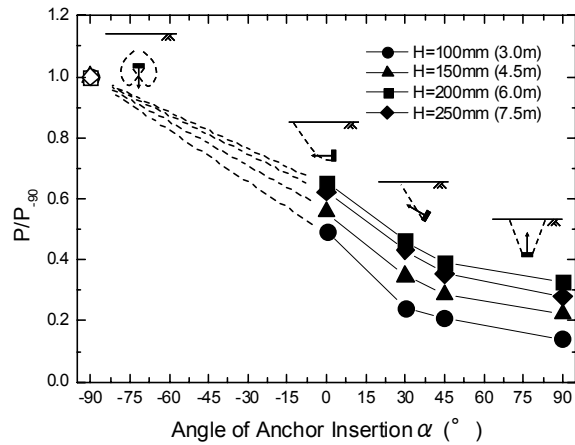


図13 アンカー傾角 $\alpha$ と $P/P_{90}$ の関係

$-90^\circ$ )の算定式を用いると危険側の値となると考えられる。

## 2.2 拡径型アンカーの実大引抜き実験<sup>10)</sup>

実大規模の拡径型アンカーの引抜き挙動について検討するために、直径0.5m、0.8mのアンカープレート、アンカー体直径0.5m、長さ3.0mの拡径型アンカー模型を盛土地盤中に設置し、水平方向（アンカー傾角 $0^\circ$ ）への引抜き実験を実施した。

幅5.0m、深さ4.2m、長さ15.0mのコンクリートピット内に、H鋼と横矢板により土留め工を作製し、土槽とした。

アンカー模型はPC鋼棒とコンクリート円柱体および円形のアンカープレート（厚さ30mm）から構成されている。コンクリート円柱体は、円柱形の型枠にコンクリートを打設・脱型した後に、周囲の粗度を高めるために川砂を貼り付けた（摩擦係数 $\mu$ 0.82）。図14にアンカー体模型の設置状況を示す。

地盤材料には山砂（ $D_{50}=0.15\text{mm}$ 、 $\phi=35^\circ$ 、 $c=20\text{kPa}$ ）を用い、締固め度 $D_c=95\%$ を目標に振動ローラーにより締め固めて地盤を作製した。簡易動的コーン貫入試験から推定した地盤の平均N値は10程度である。上載圧を大きくするために、地盤作製後に地表面に大型土のう（約10kN/個）を2段載荷した。

引抜きはグラウンドアンカー設計・施工基準、同解説の基本調査試験<sup>7)</sup>に準じ多サイクル試験とした。計画最大荷重600kN、増加荷重60kN、サイクル数10で、ジャッキを用いて荷重制御で実施した。表5に実験ケースを示す。

各ケースの荷重変位曲線を図15に示す。Case1、Case2のアンカープレートでは、引抜き変位の増加に伴い単調に荷重も増加している。これは遠心模型



実験と同様の傾向であり、支圧抵抗の特徴である。また、小さな土被り (H=4m) という条件において、Case2 の直径 800mm のアンカープレートでは、変位は大きいものの 800kN 程度の極限引抜き力が得られている。Case1 と Case3 を比較すると、引抜き変位量 25mm 程度までの荷初期では Case3 の方が大きな引抜き抵抗を示している。しかし、引抜き変位がさらに大きくなると、Case1 と Case3 で同程度の勾配になっていることがわかる。これは、遠心模型実験結果と同様に、摩擦抵抗は小さなひずみレベルでピークを示し、その後脆性的な挙動を示すのに対し、支圧抵抗は引抜き変位の増加に伴い引抜き荷重が単調に増加するためである。



図 14 アンカー体模型 (φ500×L3000)

表 5 実験ケース

	プレート直径 D	アンカー体長 L	土被り H
Case1	0.5m	アンカープレート	4m
Case2	0.8m	アンカープレート	4m
Case3	0.5m	3.0m	4m

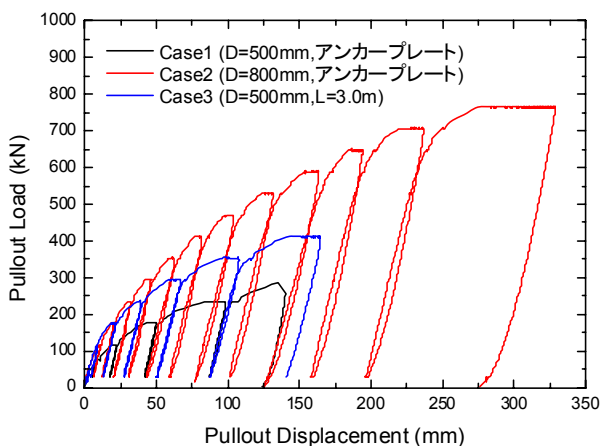


図 15 引抜き荷重-引抜き変位関係

### 3. 拡径型アンカー工法の開発

#### 3.1 共同研究の概要と目標

短いアンカー長で大きな引抜き抵抗力を有するアンカー工法の開発を目的として、民間 5 社、3 グループと共同研究を実施した (表 6)。本共同研究において開発する、アンカーに要求される性能は以下を目標とした。

- ・ N 値 4 程度 (粘性土)、10 程度 (砂質土) : 地下水 (自由水) あり
- ・ 設計アンカー力 400kN 程度 (極限耐力 600kN 以上)
- ・ 仮設アンカー

表 6 共同研究の体制

	共同研究の相手方	工法概要
その 1	日特建設(株)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 開閉可能な削孔ビットによるアンカー体部の削孔</li> <li>・ 袋材を用いたアンカー体</li> </ul>
その 2	三信建設工業(株) 大日本土木(株) 岡三リビック(株)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンパクショングラウチングを用いて、アンカー体を圧入造成</li> </ul>
その 3	ケミカルグラウト(株)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鋼製の袋材を用いたアンカー体</li> </ul>

#### 3.2 共同研究 (その 1) <sup>11),12)</sup>

##### (1) 工法概要

アンカー体は直径 800mm、アンカー体長 2,000mm を標準としている。

地盤中に拡径型アンカーを造成するために、図 16 に示すような開閉可能な削孔ビットを用いる。アンカーの軸部 (非拡径部) は閉じた状態で、拡径部は開いた状態で削孔する。また拡径部の削孔後はビットを閉じることにより、ビットを回収し繰り返し使用することができる。

その後、拡径した孔内にアンカー体としてポリエステル製の袋体と tendon を挿入する。袋体の中にセメントミルクを注入し、袋体を膨らませてアンカー体を作製する。袋体は地盤との付着を高めるため



図 16 削孔ビット (左: 閉じた状態、右: 開いた状態)

に、セメントミルクが滲み出しやすい材質のものを用いている。また、袋体を用いることにより、確実なアンカー体の造成、地下水があってもセメントペーストが稀釈されないなどの利点がある。

## (2) 施工実験

コンクリートピット内（6×6×12m）に作製した模擬地盤において施工実験を実施した。地盤は山砂を締め固めて作製したN=10～15程度のもので、アンカーは鉛直方向に打設した。アンカー体は直径0.8m、アンカー体長2.0m、土被り5.0mとした。

削孔後、アンカー体（袋体と tendon）を挿入し、セメントペーストの注入を行った。

アンカー体を養生した後、アンカー体を掘り出し、出来形を確認した。アンカー体の出来形を図17に示す。アンカー体の頭部付近は肩部もしっかりできており、直径0.8mを確保できている。アンカー体長は削孔した長さL=2.0mに対して、1.7～1.8m程度しかできていなかった。これは削孔時にスライムが十分に排出されていなかったため、孔底にスライムが堆積してしまったためと考えられる。よって施工をする場合は0.2m程度余堀を行うことによって十分な出来形が確保できると考えられる。またアンカー体表面に袋体からセメントペーストがにじみ出たものが固結しており、地盤とアンカー体との摩擦力も期待できる。



図17 アンカー体の出来形

## (3) 引抜き実験

施工実験で造成した拡径型アンカーの引抜き実験を実施した。図18に引抜き荷重—引抜き変位関係を示す。極限引抜き力は826kNであり、N値10程度の砂地盤において共同研究の目標値600kNを満足していることがわかる。

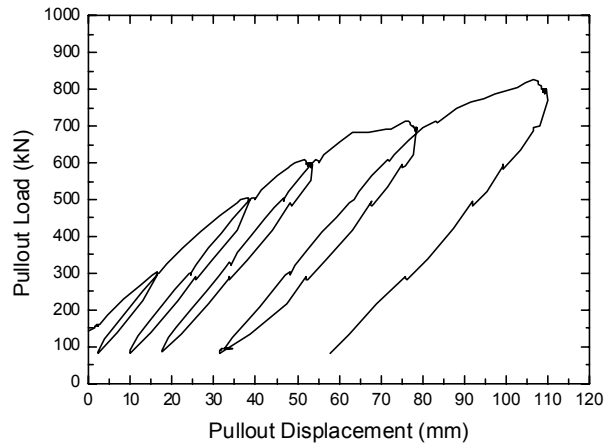


図18 引抜き荷重—引抜き変位

## 3.3 共同研究（その2）<sup>13),14)</sup>

### (1) 工法概要

本工法は、図19に示すようにコンパクショングラウティング工法<sup>15)</sup>（以下、CPGという）により地盤中に加圧注入することで造成されるグラウト体を有し、その奥部に同様の手法により削孔径以上の径に膨張させることができる袋材を有した耐荷体を配置したアンカー工法である。グラウト体は直径0.7m程度であり、周辺の摩擦抵抗に加え支圧抵抗が期待でき、一般の摩擦型アンカーに比べて大きな引抜き抵抗が発揮される。また、アンカー体は加圧注入によって地盤を押し拡げて造成されるため、周辺地盤が締め固められて、地盤との摩擦抵抗力が強化される。耐荷体はポリエステル製の袋材を用いることで出来形を安定化しつつ太径化できるため、耐荷体からグラウト体へ広い受圧面積での引張り力の伝達可能である。

### (2) 施工実験

削孔機を用いての、一連の施工性の確認、土被りの大きい状態での袋体の拡径状況とグラウト体の出来形の確認、実機を用いて打設したアンカーの引抜き

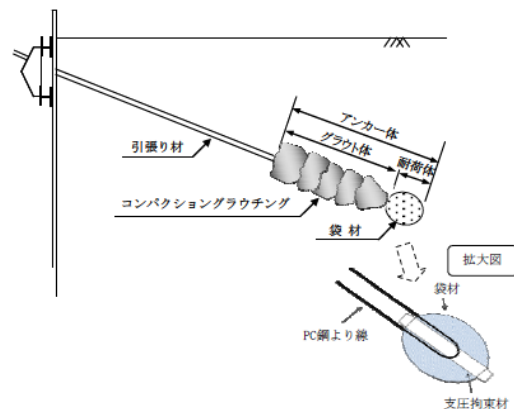


図19 工法概要図

き耐力の確認を目的として、施工実験を実施した。

土木研究所構内の原地盤を対象とし、鉛直方向にアンカーを造成した。アンカー体の定着地盤は、N値5程度のシルト層であった。アンカー体は、直径0.5m 袋材を用いた対荷体の長さ0.8m、グラウト体2m、土被り6.7mを目標に施工した。

図20にアンカー体の出来形を示す。袋材を有した耐荷体が十分に拡径しており、またグラウト体も想定した形状になっていることを確認した。



図20 アンカーの出来形（左：アンカー体、右：耐荷体）

### (3) 引抜き実験

施工実験で造成した拡径型アンカーの引抜き実験を実施した。図21に引抜き荷重-引抜き変位関係を示す。図より、大きな荷重レベルまで弾性的な挙動を示していることがわかる。780kNで鋼線の破断により終局状態に至っており、アンカー体の引抜き抵抗力はこれ以上であったと考えられる。

N値5程度の土砂地盤に対して、2.0mと短いアンカー一定着長で目標値600kNを満足しており、共同研究の目標を達成できていると考えられる。

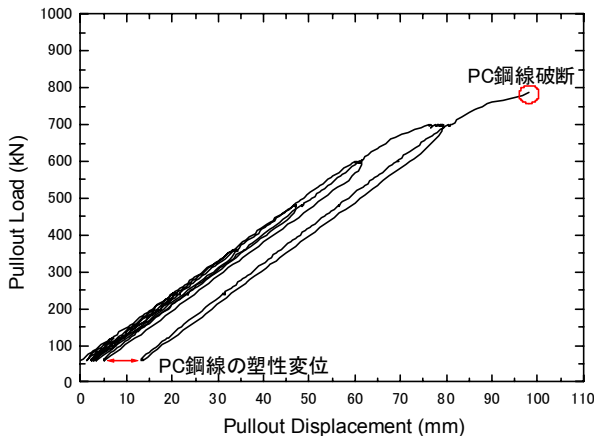


図21 引抜き荷重-引抜き変位

## 3.4 共同研究（その3）

### (1) 工法概要

本工法は、図22に示すように袋状の薄い鉄板を折り畳んで作られたアンカー体を土中に設置し、グラウトを加圧注入することにより、膨張させて球根状のアンカー体を造成し、その内部に tendon を定着させるものである<sup>1)</sup>。スウェーデンで開発され、日本に導入されてから約20年間、軟弱地盤での開削工事における山留め支保工として用いられている。

アンカー体は直径が0.5~0.8m、長さが1.0~2.0mである。

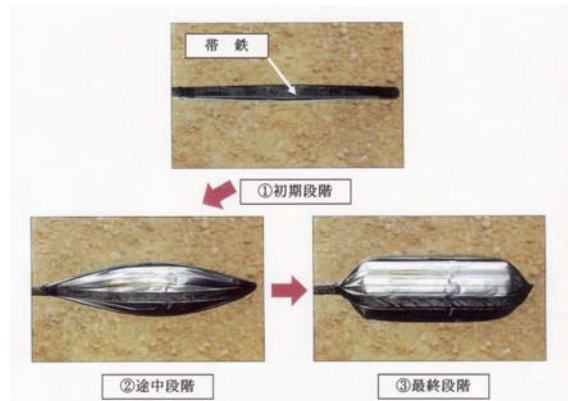


図22 薄い鋼板を用いた袋状のアンカー体<sup>1)</sup>

### (2) tendon とグラウトの付着特性

通常のアンカーは、グラウトに削孔した土砂が混入し、フレッシュなグラウトと比較して tendon とグラウトの付着強度が低下すると考えられる。これに対し本工法は、鋼製の袋状のアンカー体に土砂の混入がないため、フレッシュなグラウトと tendon との付着強度を期待できることから、従来のアンカーと比較しグラウトの強度を小さくすることができると考えられる。そこで、土砂混入のないグラウトと tendon の付着強度を把握するために、図23に示すような装置を用いて tendon の引抜き実験を行った。グラウトの圧縮強度は17および23N/mm<sup>2</sup>とし、 tendon にはエポキシPC鋼より線 (φ12.7mm) を用いた。図24に引抜き実験から得られたグラウトの圧

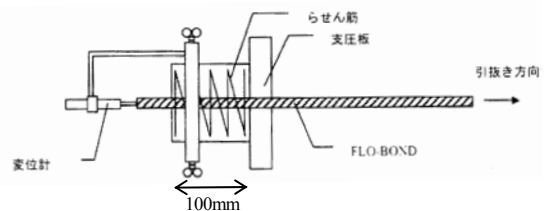


図23 tendon の引抜き実験装置



縮強度と付着応力度の関係を示す。図より、地盤工学会基準<sup>7)</sup>と比較して大きな付着強度が得られている。この結果をもとに、本工法におけるテンドンとグラウトの付着強度の目安値を提案した。

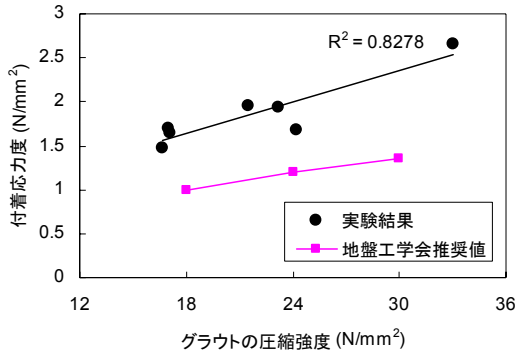


図 24 圧縮強度と付着強度の関係

#### 4. まとめ

掘割構造等において最小限の用地内で工期短縮・コスト削減を可能にする技術として拡径型アンカーに注目し、拡径型アンカーの引抜き特性について検討すべく、遠心模型実験および実大実験を実施した。また、民間5社と共同で拡径型アンカー工法を開発した。以下に得られた知見を示す。

- ・ 拡径型アンカーの引抜き抵抗力は、摩擦抵抗成分と支圧抵抗成分の和で表すことができる。しかし、両者が極限を示すひずみレベルは異なり、両者の極限同土を足すと、過大な引抜き力を与える。
- ・ 粘土地盤においては、砂地盤に比べ引抜き抵抗力がかなり小さく、土留めの支保としての適用は困難である。
- ・ アンカー体の形状が円柱体の場合と比較して、角が取れた形状のほうが大きな引抜き抵抗を示す。
- ・ 支圧抵抗はアンカー傾角によって大きくことなる。拡径型アンカーを山留め等に用いる場合、鉄塔基礎等の鉛直上方への極限引抜き力算定式を用いれば、安全側の値を得ることができると考えられる。一方で、基礎の支持力の算定式を用いると危険側の値となる。
- ・ 実大規模の引抜き実験において、摩擦抵抗と支圧抵抗に関して遠心模型実験と同様の傾向が得られた。また、土被り 4m で直径 800mm のアンカープレートを引き抜いた結果、800kN 程度の極限引抜き力が得られた。
- ・ 袋材を用いた拡径型アンカー工法および CPG を用いた拡径型アンカー工法の施工・引抜き実験を

実施した。その結果、両者ともに土中に所定の出来形のアンカー体を造成でき、また 600kN を超える極限引抜き力を発揮することを確認した。

#### 参考文献

- 1) 日本エキスパンダ・ホディ協会：「Expander Body Anchor 技術資料」, 2002.
- 2) 日特建設株式会社：「スプリッツアンカー工法技術・積算資料」, 2003.
- 3) 小林, 大下, 宇田川：「拡径型アンカーの遠心場引抜き試験」, 第 42 回地盤工学研究発表会, 2007.7
- 4) 林, 澤松, 宇田川, 小橋：「傾角の違いによる支圧型アンカーの引抜き強度特性」, 第 44 回地盤工学研究発表会, 2009.8 (投稿中)
- 5) A.Balla：「The resistance to breaking out of Mushroom Foundations for Pylons」, Proceedings of 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol 1, pp.569-576, 1961.
- 7) (社)地盤工学会：「地盤工学会基準 グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説」, (社)地盤工学会, 2000.3
- 8) R.S.Merifield and S.W.Sloan：「The ultimate pullout capacity of anchors in frictional soils」, Canadian Geotechnical Journal, 43: 852-868, 2006.
- 9) (社)日本道路橋会：「道路橋示方書・同解説□下部構造編」, 2002.3
- 10) 小林, 波田, 大下：「拡径型アンカーの大型土槽引抜き実験」, 第 61 回土木学会年次学術講演会, 2006.9
- 11) 菅, 三上, 岡崎, 外崎：「回収可能な削孔ビットを用いた拡径型アンカーの施工」, 第 44 回地盤工学研究発表会, 2009.8 (投稿中)
- 12) 岡崎, 三上, 菅, 外崎, 澤松：「実物大モデルを用いた拡径型アンカーの引抜き試験」, 第 44 回地盤工学研究発表会, 2009.8 (投稿中)
- 13) 森脇, 小浪, 伊藤, 宇田川：「圧入型拡径アンカー工法の開発(その1) —工法概要と施工試験—」, 第 64 回土木学会年次学術講演会, 2009. (投稿中)
- 14) 小林, 和田, 伊藤, 澤松：「圧入型拡径アンカー工法の開発(その2) —引抜き試験—」, 第 64 回土木学会年次学術講演会, 2009. (投稿中)
- 15) 沿岸技術研究センター：「液状化対策としての静的圧入締固め工法技術マニュアル-コンパクトシロウチング工法-」, 2007.

## **Study on the Systematization of Semi-underground Structure Design**

In response to the 2002 Structural Reform Program for Public Work Costs, it has become necessary to reduce the cost and construction period of semi- and underground structures using conventional sheet piles and u-shaped or box-shaped retaining walls. Development of high-strength anchors (for instance, diameter-expanded anchor) solves these problems. Centrifuge model tests and full-scale test were conducted to reveal the pullout property of diameter-expanded anchor. The diameter-expanded anchors were developed in cooperation with five private organization companies, and their effectiveness was confirmed.

**Key Words:** *semi- underground structure, earth retaining, ground anchor, diameter-expanded anchor, pullout*