

# 建設技術審査証明（砂防技術）報告書

## くさび型アンカー工法

審査証明技術依頼者：株式会社 日西テクノプラン



平成19年5月

建設技術審査証明協議会 会員

財団法人 砂防・地すべり技術センター

## 序

「建設技術審査証明事業」は、「民間開発建設技術の技術審査・証明事業認定規定」(昭和62年7月28日建設省告示第1451号)が廃止(平成13年1月6日)されたことを受け、それまで建設大臣認定機関であった14公益法人にて設立した「建設技術審査証明協議会(以下「協議会」という)」において、「民間において自主的に開発された新しい建設技術の活用促進に寄与する」ことを目的として創設した事業である。

財団法人 砂防・地すべり技術センターは、「民間開発建設技術の技術審査・証明事業認定規定」により建設大臣認定を受け平成4年度より砂防技術・技術審査証明事業を行ってきており、現在は、協議会の一員として砂防技術に関する審査証明事業を実施している。

このたび、株式会社 日西テクノプランから「くさび型アンカー工法」に関して、審査証明の依頼があり、当センターでは「建設技術審査証明事業(砂防技術)実施要領(財団法人 砂防・地すべり技術センター)」に基づき審査を行った。

本報告書は、「くさび型アンカー工法」の技術紹介と活用促進を目的として作成されたものであり、審査証明に関わる技術内容について詳細に記載されている。

本報告書が、砂防技術の発展および活用促進に繋がることを切に願うものである。

平成19年5月

財団法人 砂防・地すべり技術センター  
理事長 池谷 浩

# 建設技術審査証明書



技術名称：くさび型アンカー工法

行審証第 0701 号

**(開発の趣旨)**

アンカー体とくさび形の拘束具で構築することで、アンカー体の引抜き耐力と耐久性の向上を図る。

**(開発目標)**

- (1) 摩擦（引張）型アンカー体に作用する引張り力を圧縮力に転換することで、アンカー体グラウト材の剥離抑制を図る。
- (2) アンカー体に作用する応力の分散を図ることで、同部破壊を抑制する。

建設技術審査証明事業（砂防技術）実定要領に基づき、依頼のあった「くさび型アンカー工法」の技術内容について下記のとおり証明する。

平成 19 年 5 月 16 日

建設技術審査証明事業（砂防技術）実施機関  
財団法人 砂防・地すべり技術センター

理事長

池谷 浩



## 記

**1. 審査証明の結果**

上記開発の趣旨、開発目標に照らして審査した結果、以下のとおりであった。

**(1) 材料性能の耐久性**

アンカー体については、テンドンにダグマイル製拘束具を取り付け、空腔部を高強度モルタルで充填することで保護されるので、長期にわたり耐久性を保持できると認められる。

内径芯においては、テンドン（高密度ポリエチレン系特殊樹脂加工されたPC鋼より鋼）はクリスを充填したポリエチレンパイプで被覆され、また首部は、ステンレス製キャップおよび防錆油により保護されており、長期にわたり耐久性を保持できると認められる。

**(2) 構造性能（施工方式）の耐久性**

本工法の定着部は、高強度セメントを使ったモデルのアンカー体により、長期にわたり支圧が保持できると認められる。

以上の結果から、本工法はかべ併れ、地すべり等の斜面安定対策工に適用できると認められる。

**2. 審査証明の取扱い**

くさび型アンカー工法（以下「本工法」という）は摩擦型アンカー（圧縮型）に分類される。本工法の材料制作は、適切な品質管理のもとに行われるものとする。また、設計・施工は「グラウンドアンカー設計・施工基準、解説」（地盤工学会）に基づき適正な管理のもとに行われるものとする。

**3. 審査証明の範囲**

審査証明は依頼者より提出された開発の趣旨、開発目標に対して設定したアンカーの材料性能、構造性能の範囲とする。

**4. 審査証明の詳細（別 添）**

**5. 審査証明の有効期限** 平成 24 年 5 月 15 日

**6. 審査証明の依頼者**

株式会社 日西テクノプラン

所在地 島根県松江市東三丁目329-1

# 「くさび型アンカー工法」

## 砂防技術・技術審査証明委員会 委員名簿

- |     |       |                               |        |
|-----|-------|-------------------------------|--------|
| 委員長 | 藤田 壽雄 | (社)日本地すべり学会                   | 理事     |
| 委員  | 奥園 誠之 | 九州産業大学工学部                     | 教授     |
| 委員  | 中村 浩之 | 東京農工大学大学院                     | 教授     |
| 委員  | 土屋 智  | 静岡大学農学部                       | 教授     |
| 委員  | 藤澤 和範 | (独)土木研究所土砂管理研究グループ<br>地すべりチーム | 上席研究員  |
| 委員  | 綱木 亮介 | (財)砂防・地すべり技術センター              | 斜面保全部長 |

## 目 次

<b>． 概 要</b>	
1. 対象技術	3
1.1 依頼者	3
1.2 技術の名称	3
1.3 技術の概要	3
2. 開発の趣旨	3
3. 開発目標	3
4. 技術審査の方法	4
5. 技術審査の前提	4
6. 技術審査の範囲	4
7. 技術審査の結果	5
8. 留意事項及び付言	5
<b>． 技術審査等の詳細</b>	
1 対象技術	9
1.1 技術の概要	9
1.2 技術の特徴	26
2. 開発の趣旨	30
3. 開発目標	31
4. 技術審査の方法及び各種試験，確認結果	32
4.1 アンカー体における圧縮力の発生	32
4.2 アンカー体の応力分散	34
4.3 定着部テンドンの固定試験	35
4.4 ストランドの性能確認	38
<b>． 詳細資料</b>	41

## . 概 要

## 概要

### 1. 対象技術

#### 1.1 依頼者

株式会社日西テクノプラン

代表取締役社長 田中 栄一

住所 島根県松江市東津田町 1329-1

#### 1.2 技術の名称

くさび型アンカー工法

#### 1.3 技術の概要

くさび型アンカー工法は、アンカー体にくさび形の拘束具を取り付けることで、アンカー体の拘束度を高めるとともに、アンカー体全体に、より均等な圧縮力をもたらすものである。

テンドンの自由長部は超耐候性 PC 鋼より線（高密度ポリエチレン系特殊樹脂加工）をガラスとポリエチレンシースチューブで被覆している。アンカー体部も樹脂加工を施したダクタイル製の拘束具を取り付けており、永久アンカー工法としての二重防食の要件を満たしている。

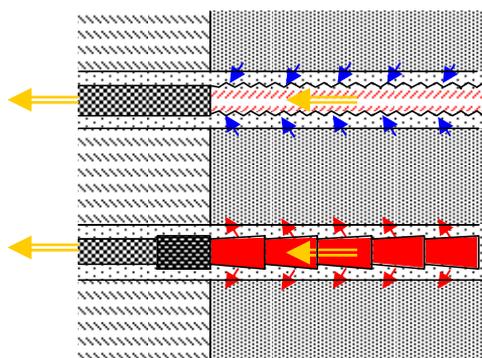
### 2. 開発の趣旨

アンカー体をくさび形の拘束具で構築することで、アンカー体の引抜き耐力と耐久性の向上を図る。

### 3. 開発目標

アンカー体の引抜き耐力と耐久性の向上を図るため、次の2点を開発目標とする。

- (1) 摩擦（引張）型アンカー体に作用する引張り力を圧縮力に転換することで、アンカー体グラウト材の剥離抑制を図る。



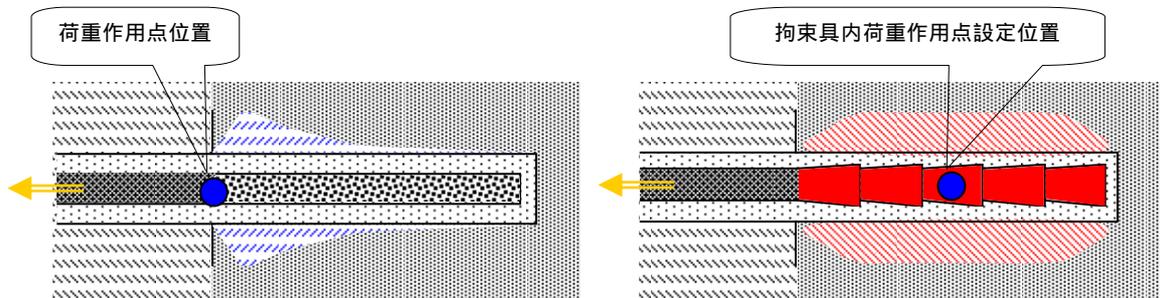
(a) 摩擦（引張）型アンカー体

アンカー体に引張力が働くため、テンドンとグラウト材、およびグラウト材と定着地盤との剥離が進行しやすい。

(b) くさび型アンカー体

アンカー体をくさび形の拘束具の連続体とすることにより、アンカー体とグラウト材、およびグラウト材と定着地盤との間に圧縮力が働き、従来の摩擦（引張）型アンカーに比べて、剥離の進行が抑制される。また、この圧縮力によりアンカー体と定着地盤との間に高い摩擦抵抗が得られることで、より確実な引抜き抵抗力が確保できる。

(2) アンカー体に作用する応力の分散を図ることで，局部破壊を抑制する．



(c) 摩擦（引張）型アンカー体

アンカー体のテンドンとグラウト材が付着により一体化するため，荷重作用点位置にアンカー力が集中しやすい．

(d) くさび型アンカー体

アンカー体拘束具表面を樹脂加工し，グラウト材と付着しないようにしているほか，アンカー力の作用点位置を拘束具中央に設定しているため，アンカー力がアンカー体全体に伝搬（応力分散）しやすい．

#### 4. 技術審査の方法

審査項目	主な調査・試験項目
(1) アンカー体における圧縮力の発生	・アンカー体周辺地盤の応力測定
(2) アンカー体の応力分散	
(3) 定着部テンドンの固定試験	・引張り試験
(4) ストランドの性能確認	・文献調査による

#### 5. 技術審査の前提

くさび型アンカー工法（以下「本工法」という）は摩擦型アンカー（圧縮型）に分類される．本工法の材料製作は，適切な品質管理のもとに行われるものとする．また，設計・施工「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」（地盤工学会）に基づき適正な管理のもと行われるものとする．

#### 6. 技術審査の範囲

審査証明は依頼者より提出された開発の趣旨・開発目標に対して設定したアンカーの材料性能，構造性能の範囲とする．

## 7. 技術審査の結果

開発の趣旨，開発目標に照らして審査した結果，本技術は以下のとおりであった．

### (1) 材料性能の耐久性

アンカー体については，テンドンにダクティル製拘束具を取り付け，空隙部を高強度モルタルで充填することで保護されるので，長期にわたり耐久性を保持できると認められる．

自由長においては，テンドン（高密度ポリエチレン系特殊樹脂加工された PC 鋼より線）はグリスを充填したポリエチレンパイプで被覆され，また頭部は，ステンレス製キャップおよび防錆油により保護されており，長期にわたり耐久性を保持できると認められる．

### (2) 構造性能（支圧方式）の耐久性

本工法の定着部は，高強度セメントを使ったモルタルのアンカー体により，長期にわたり支圧が保持できると認められる．

以上の結果から，本工法はがけ崩れ，地すべり等の斜面安定対策工に適切であると認められる．

## 8. 留意事項及び付言

アンカーの定着地盤は軟岩以上の固結度を有する地盤（一軸圧縮強度 1 MPa 以上）とする．設計，施工は，「くさび型アンカー工法設計施工指針」（平成 19 年 5 月）に基づき適正な管理のもとおこなわれるものとする．

なお，今回の技術審査の対象外であるが，本工法は，アンカー拘束具がくさび型の形状であることから，摩擦型アンカーとしては，より抵抗性能が発言され则认为られる．

## ・技術審査等の詳細

## ．技術審査等の詳細

### 1. 対象技術

#### 1.1 技術の概要

くさび型アンカー工法は、アンカー体にくさび形の拘束具を設置し、アンカー体の拘束度を高めることでアンカー体の引抜き耐力と耐久性の向上を図るものである。また拘束具表面に樹脂加工を施し、周囲のグラウト材との摩擦抵抗を減じることで、アンカー体の応力分散を容易にするものである。

##### 1.1.1 くさび型アンカー工法の構造と特徴

標準構造図を図 1.1 に示す。

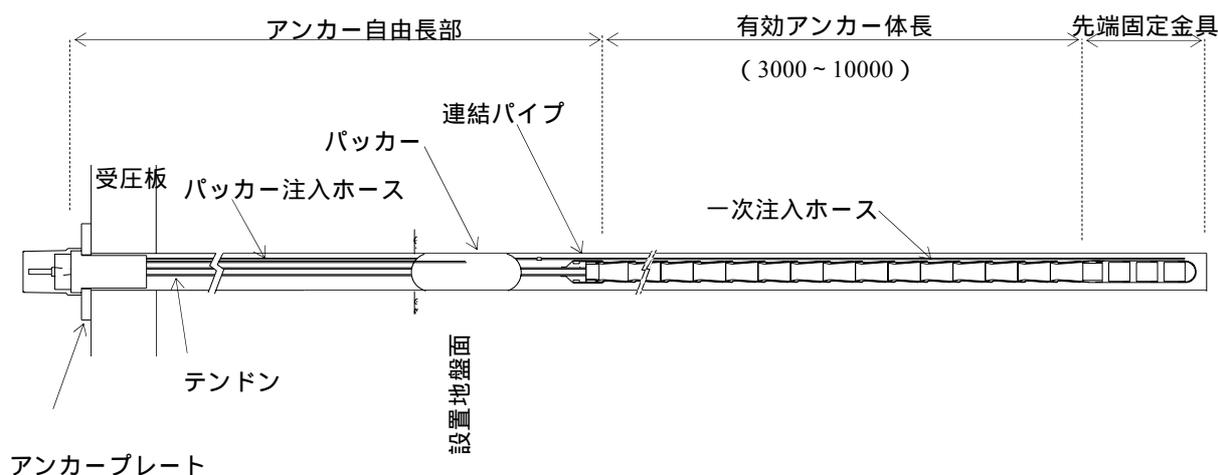


図 1.1 くさび型アンカー標準構造図

- (1) テンドンは全区間、超耐候性 PC 鋼より線（高密度ポリエチレン系特殊樹脂加工）を使用している。
- (2) 先端固定金具部は、テンドン端部を圧着グリッブと支圧プレートで固定し、これをステンレス（メッキ加工）製キャップおよび防錆油により保護している（2重防食）。

- (3) 定着部は、テンドンにくさび形をしたダクタイトル製拘束具（表面樹脂加工）を取り付け、空隙部を高強度モルタルで充填することで2重防食を図るとともに、拘束具全体が剛体となるように仕上げている。

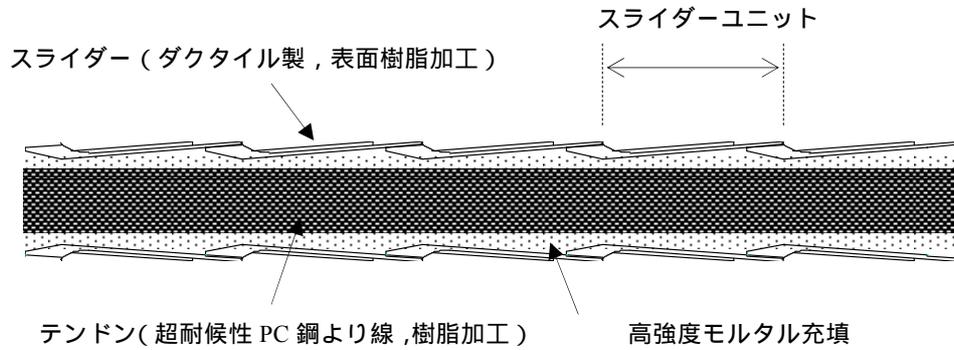


図 1.2 アンカー体拘束具縦断面

- (4) 定着部と自由長部の連結部には連結パイプを取り付け、空隙部に発泡剤を充填した後、熱収縮チューブを被覆し、全体を保護する（2重防食）。

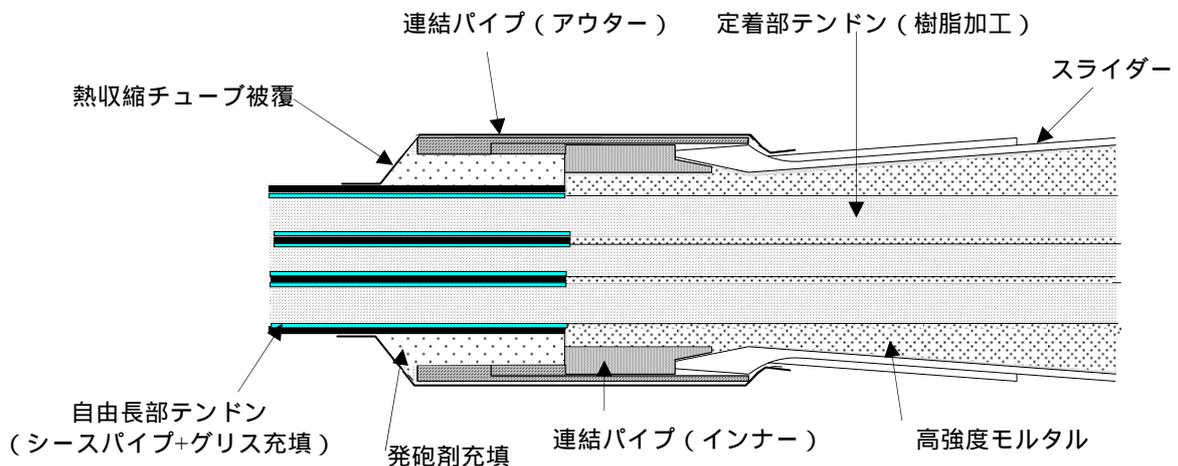


図 1.3 定着部と自由長部の連結構造

(5) 自由長部は、 tendon をグリスとポリエチレンパイプでシースしている（2重防食）。

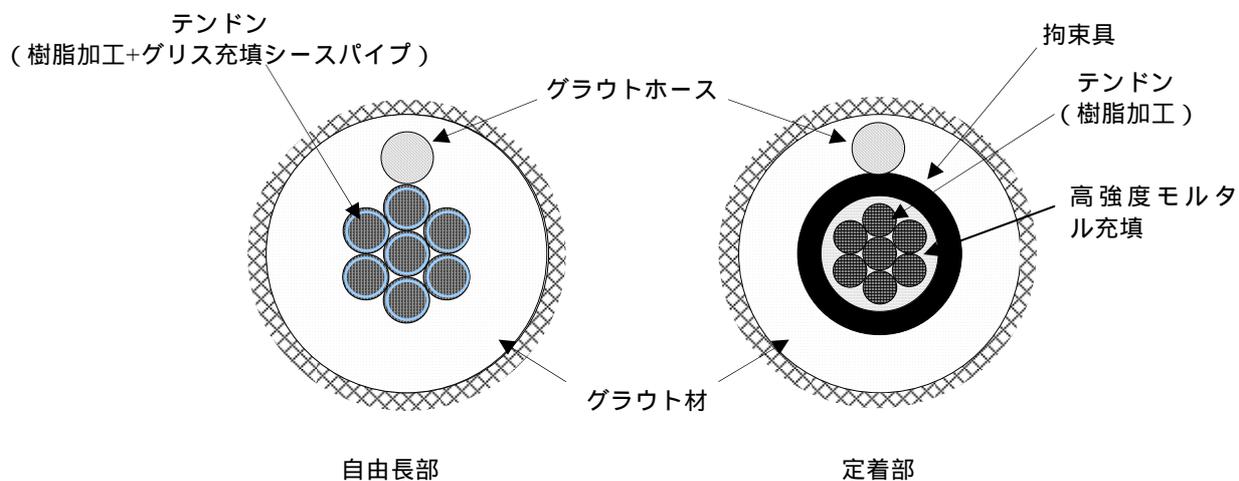


図 1.4 アンカー孔断面図

(6) アンカー頭部は、 tendon をアンカープレート、アンカーヘッド、くさびにより固定し、グリス、オイルキャップで保護する。頭部固定部と自由長部 tendon（アンボンド加工）の接続部は、頭部ジョイント（止水ゴムおよび止水材充填）により保護する（2重防食）。

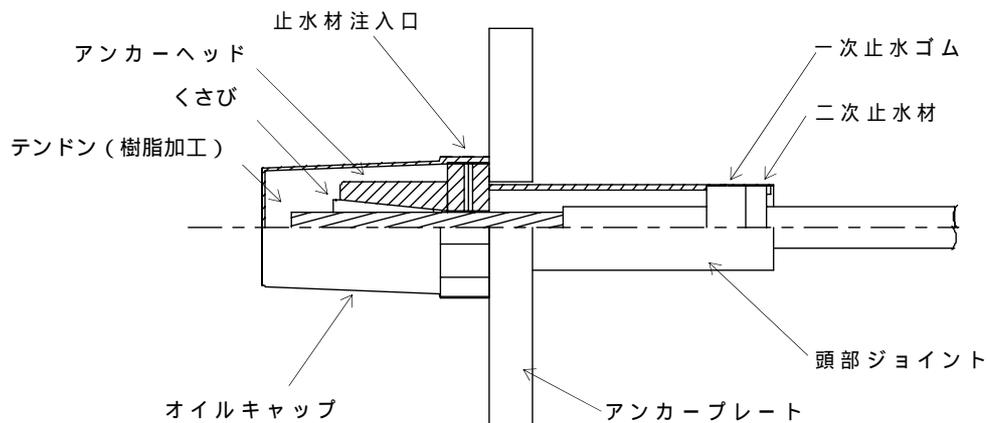


図 1.5 アンカー頭部構造図

## (7) 施工手順

施工手順は、アンカー体グラウトの加圧方法により、ケーシング方式（図 1.6）とパッカー方式（図 1.7）に区分される。

## （ケーシング加圧方式）

- 1 アンカー孔掘削，孔内洗浄
- 2 ケーシング挿入状態で，孔底よりグラウトホースを用いて注入（グラウトホースが先端に達していることを必ず確認する）
- 3 テンドン挿入
- 4 アンカー体埋設区間までケーシングを引抜き，グラウト圧入
- 5 ケーシング引抜き，養生

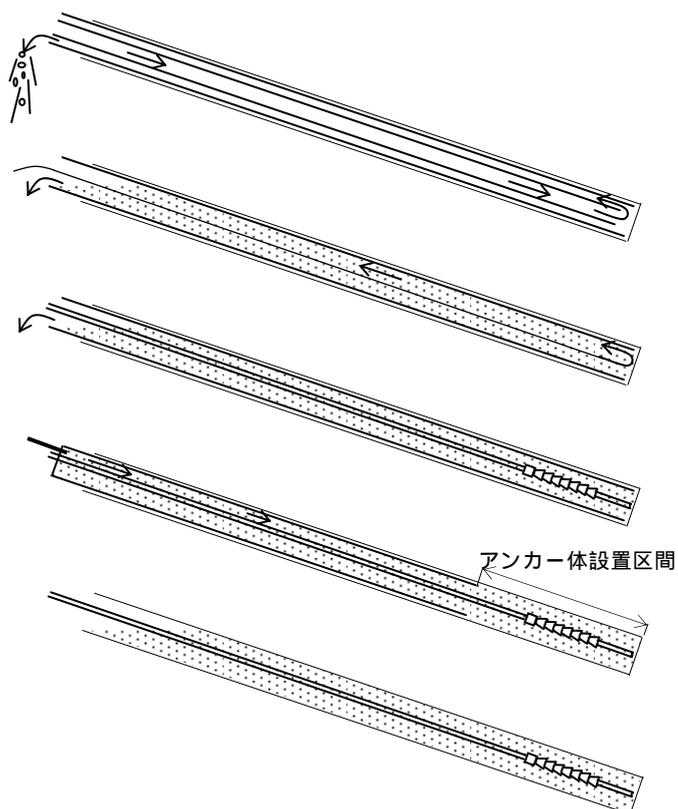


図 1.6 施工手順（ケーシング加圧）

## (パッカー加圧方式)

1 アンカー孔掘削，孔内洗浄

2 テンドン挿入

3 ケーシング引抜き(パッカー手前まで無回転で引抜く)，一次グラウト注入(孔口よりリターン確認)

4 ケーシング引抜き，パッカーグラウト注入，アンカー体グラウト圧入

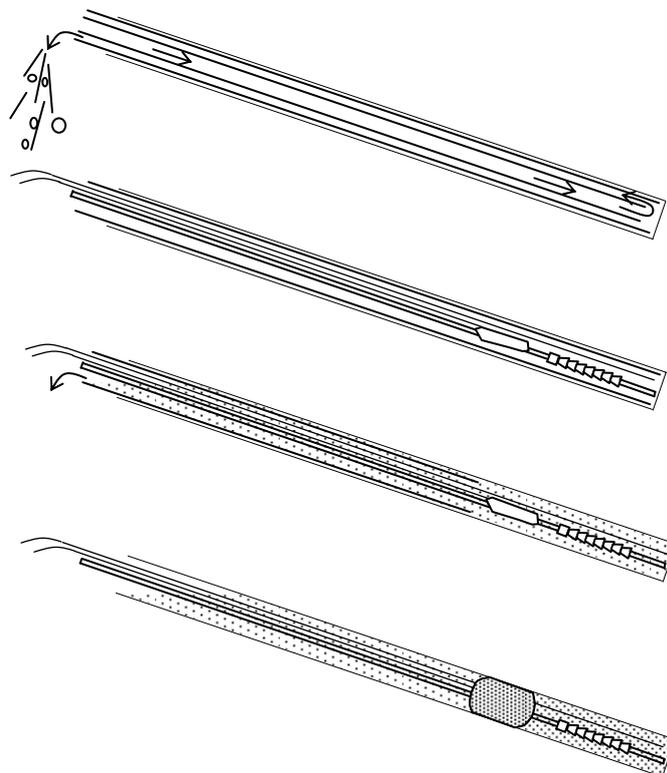


図 1.7 施工手順 (パッカー加圧)

## 1.1.2 くさび型アンカー工法の適用範囲

くさび型アンカーの定着対象は軟岩程度以上の固結度を有す地盤とする。

表 1.1 許容引張荷重の適用範囲

タイプ	許容最大荷重 (kN)			定着地盤の一軸圧縮強度 $q_u$
	永久 (常時)	永久 (地震) 時	仮設	
300Ws	343.8	445.5	372.5	1MPa 以上
800Ws	768.6	982.8	832.7	

表 1.1.1 定着地盤について (参考)

山留めアンカー	構造物の浮き上がり・転倒防止アンカー	地すべり防止アンカー 斜面安定用アンカー
仮設アンカー	永久アンカー	永久アンカー
良質な地盤 一般に $N = 35$ の砂質土, $q_u$ 250kN/m <sup>2</sup> の粘性土 (日本建築学会)	強固な地盤. 土木では岩盤が多い. 建築では一般に洪積層あるいはそれより古い地層	強固な地盤. 通常, 岩盤が多く, 過去に地すべりを生じていない地層. クリープ特性や風化・亀裂の程度に注意が必要.

(地盤工学ハンドブック, 1999.3, P.721 表 4.2.37 アンカー設計における留意事項より)

### 1.1.3 くさび型アンカーを構成する材料

(1) テンドン (SUPRO/NB, JIS G 3536)

テンドンはスープロストランド (熱可塑性樹脂を内部空隙に完全充填し, かつ, 同時に外面を完全被覆した完全防食の超耐候性 PC 鋼より線) を使用する。

表 1.2 スープロストランド規格

PC鋼より線 ( JIS G 3536 )						充填被覆材の仕様					
記号	標準径 (mm)	公称 断面積 (mm <sup>2</sup> )	単 位 量 (g/m)	引張 荷重 $T_{us}$ (kN)	降伏 荷重 $T_{ys}$ (kN)	被覆外 径		標準外 径		標準 単 位 量 (g/m)	
						厚 さ (mm)	高 さ (mm)	標準外 径 (mm)	公 差 (mm)		
								+	-		
7本よりB種 (SWPR7AN) (SWPR7BL)	12.7	98.71	774	183	156	0.4	0.15	13.8	0.4	0.2	819
19本より (SWPR19N) (SWPR19L)	17.8	208.4	1,652	387	330	0.4	0.15	19.1	0.6	0.2	1,723
	21.8	312.9	2,482	573	495	0.4	0.15	23.1	0.6	0.2	2,577

表 1.3 スープロストランドの許容荷重

システム	掘削径 mm	拘束具 外径 mm	ケーブル (径×本数) mm	シースパイプ径 (自由長部) mm	テンドン 呼名	引張荷重 $T_{us}$ kN	降伏荷重 $T_{ys}$ kN	許容荷重		
								永 久		仮 設
								常 時 $0.6T_{us}$	地震時 $0.9T_{ys}$	
300Ws	115	50	$\phi$ 12.7 × 1	18.5	20W	183	156	109.8	140.4	119.0
			$\phi$ 17.8 × 1	27.0	40W	387	330	232.2	297.0	251.6
			$\phi$ 21.8 × 1	30.0	60W	573	495	343.8	445.5	372.5
800Ws	115	67	$\phi$ 12.7 × 4	18.5	70W	732	624	439.2	561.6	475.8
			$\phi$ 12.7 × 5		90W	915	780	549.0	702.0	594.8
			$\phi$ 12.7 × 6		110W	1,098	936	658.8	842.4	713.7
			$\phi$ 12.7 × 7		130W	1,281	1,092	768.6	982.8	832.7

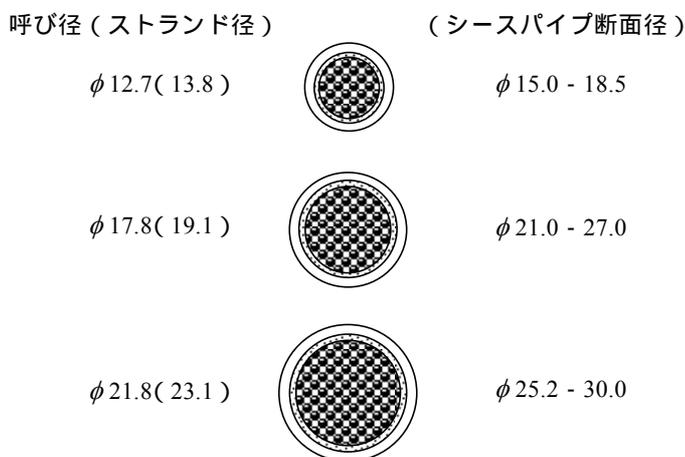


図 1.8 シースパイプ断面

(2) アンカー体拘束具 (FCD450-10, エポキシ粉体塗装)

アンカー体拘束具は図 1.9 のようなダクタイト製の円錐管を図 1.10 のように連結したものを使用する。

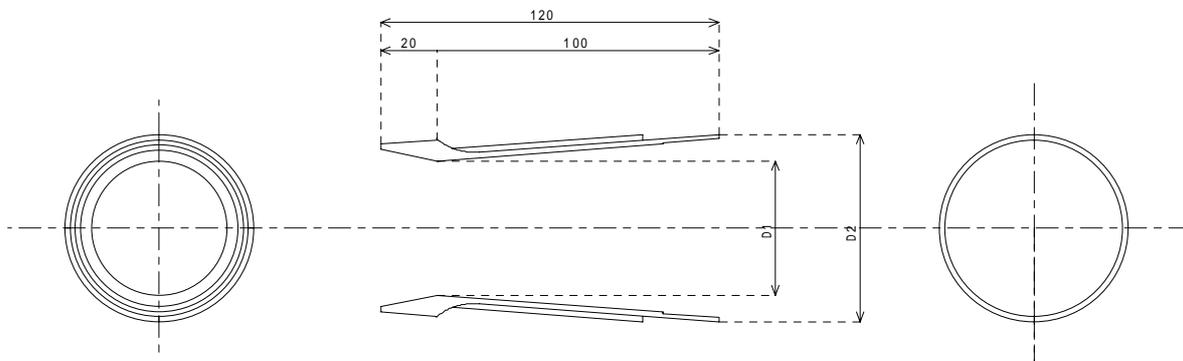


図 1.9 拘束具ユニット

表 1.4 拘束具ユニット

システム	$D_1$	$D_2$
300Ws	31	50
800Ws	48	67

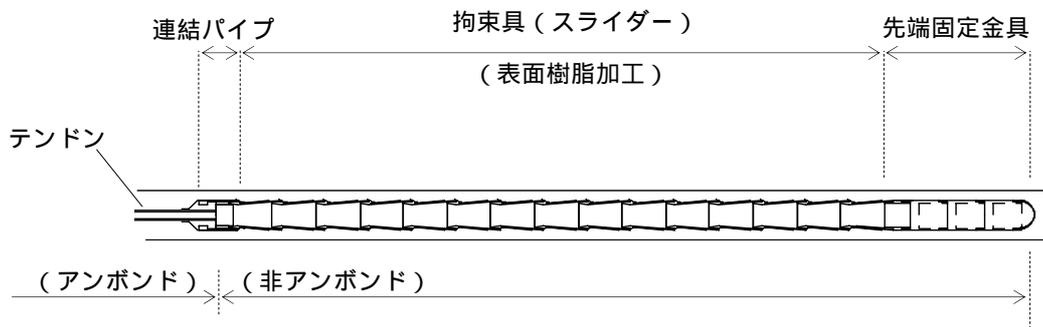


図 1.10 アンカー体拘束具構造図

アンカー体拘束具内の tendon と内壁との空隙部には高強度モルタル（デンカプレタスコ  
ン TYPE-1S）を充填する。

表 1.5 一般的性質

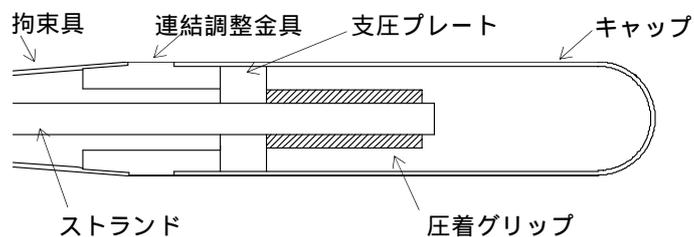
製品	種類	目標軟度	$W / (C+T)$	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )		1m <sup>3</sup> に必要な袋数
		$J_{14}$ 漏斗値 (秒)	(%)	水	材料	
プレタスコ ン TYPE-1S	一般 タイプ	6 ± 2	38.0	347	1,825	73

表 1.6 標準配合

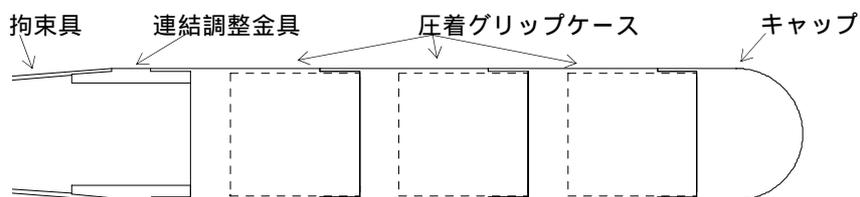
製品名	荷姿	セメント砂比 (C/S)	骨材粒径 (mm)	貯蔵期間
プレタスコ ン TYPE-1S	25kg 紙袋	1/1	1.2mm 以下	6ヶ月

### (3) 先端固定金具

tendon 先端部には PC 鋼より線端部の固定を目的とした先端固定金具を取り付ける。



(a) 300Ws 型



(b) 800Ws 型

図 1.11 先端固定金具構造図

### 1 連結調整金具（STKM13A，三価クロムメッキ）

連結調整金具は拘束具端部と先端固定金具を連結し，かつ支圧プレートを固定するために用いる．

表 1.7 連結調整金具

システム	$D_1$	$D_2$
300Ws	50	27
800Ws	67	54

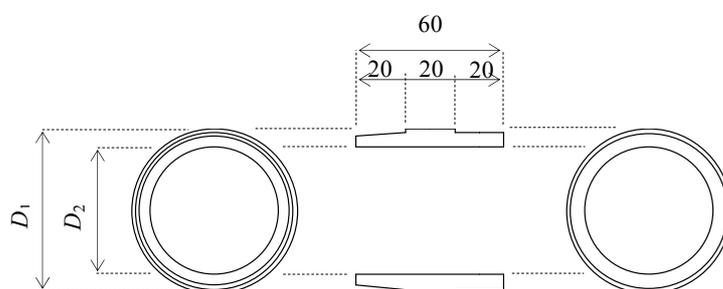


図 1.12 連結調整金具

### 2 支圧プレート（S45C，三価クロムメッキ）

支圧プレートは 300Ws 用テンドン（1 本引き）端部に取り付ける圧着グリップを固定するために用いる．

表 1.8 支圧プレート

テンドン	$D_1$	$D_2$
$\phi 12.7 \times 1$ 本	44	18
$\phi 17.8 \times 1$ 本	44	23
$\phi 21.8 \times 1$ 本	-	-

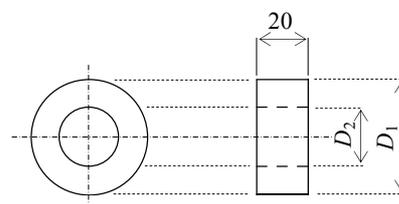


図 1.13 支圧プレート

### 3 グリップケース(800Ws 用, STKM13A, 三価クロムメッキ)

グリップケースは 800Ws 用テンドン端部の固定を目的とするもので, 空隙部は高強度モルタルを充填し, 防食性と拘束度を高める.

表 1.9 グリップケース

テンドン	有効長さ	径	支圧プレート厚	所用個数
$\phi 12.7 \times 4 \sim 6$ 本	65	67	20	2
$\phi 12.7 \times 7$ 本				3

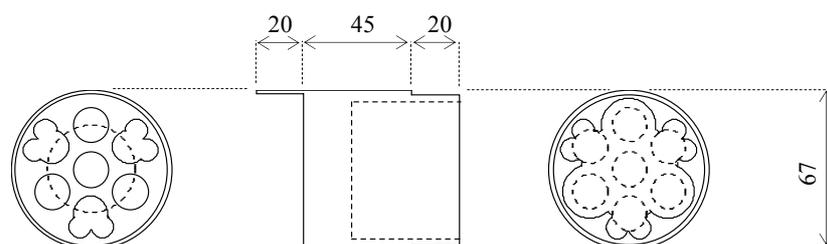
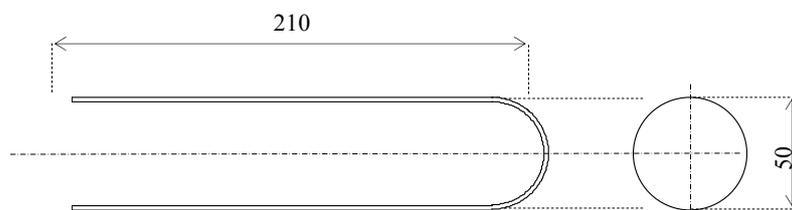


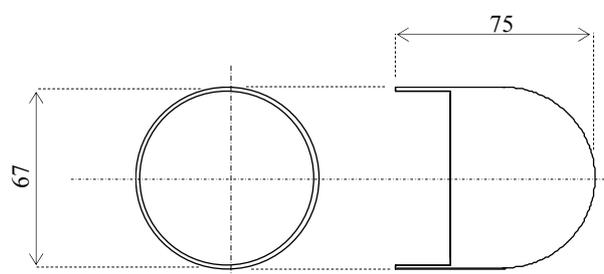
図 1.14 グリップケース

### 4 キャップ

キャップ内部のテンドンとの空隙部は高強度モルタルを充填し 防食性と拘束度を高める.



(a) 300Ws 用 (SUS304)



(b) 800Ws 用 (FCD450-10, 三価クロムメッキ)

図 1.15 キャップ

5 圧着グリップ (S45C, 亜鉛メッキ)

先端固定金具内のテンドン端部は圧着グリップを取り付け, 支圧プレートまたはグリップケース (図 1.11) を介して固定する.

表 1.10 圧着グリップ

システム	テンドン	$L$	$D$
300Ws	$\phi 12.7 \times 1$ 本	65	25.5
	$\phi 17.8 \times 1$ 本	110	35
	$\phi 21.8 \times 1$ 本	157	44
800Ws	$\phi 12.7 \times 4 \sim 7$ 本	65	22.6

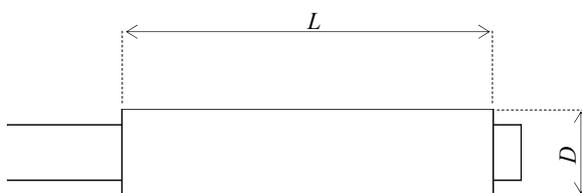


図 1.16 圧着グリップ

(4) 連結パイプ

定着部と自由長部との連結部には連結パイプを設け, テンドンとの空隙部に発泡剤を充填することで防食性を高める (図 1.3).

表 1.11 連結パイプ

システム	アウター			インナー		
	$L$	$D_1$	$D_2$	$L$	$D_3$	$D_4$
300Ws	90	35	50	40	31	46
800Ws		58	67		48	63

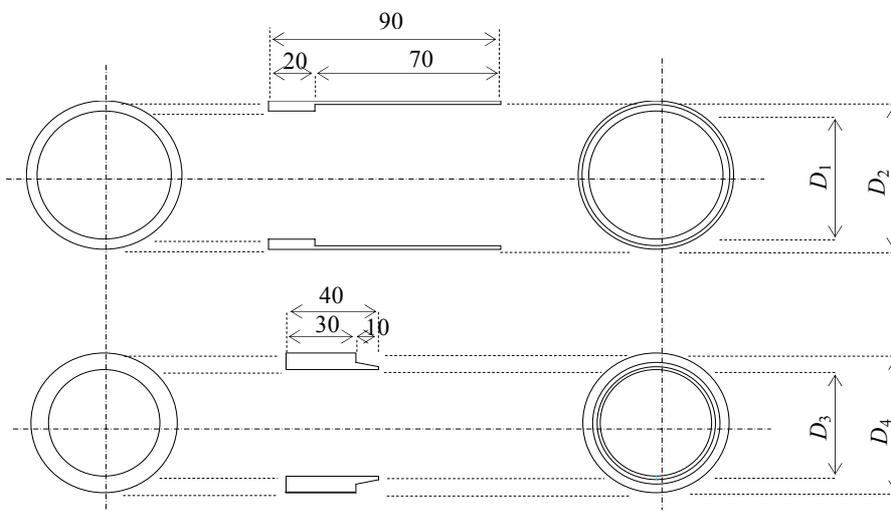


図 1.17 連結パイプ

## (5) 頭部定着部材

頭部定着部材によりアンカー頭部を固定するとともに，オイルキャップや頭部ジョイントによる防食を図る．

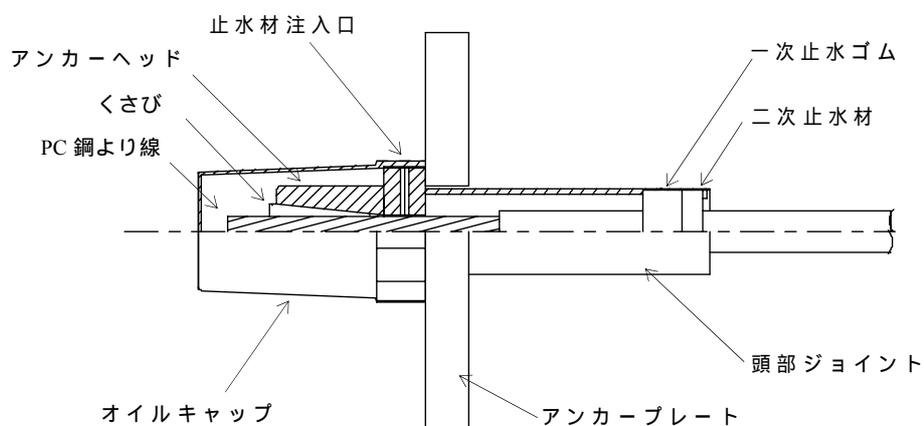


図 1.18 アンカー頭部構造図

## 1 アンカーヘッド (S45C, 亜鉛メッキ)

PC 鋼より線頭部はアンカーヘッドとくさび (図 1.20) を用いて固定する．

表 1.12 アンカーヘッド

より線構成	$\phi 12.7 \times 1$	$\phi 17.8 \times 1$	$\phi 21.8 \times 1$	$\phi 12.7 \times 4 \sim 7$
高さ (H)	50	60	75	50
孔配置				
外径 (D)	45	50	65	110
PCD				60

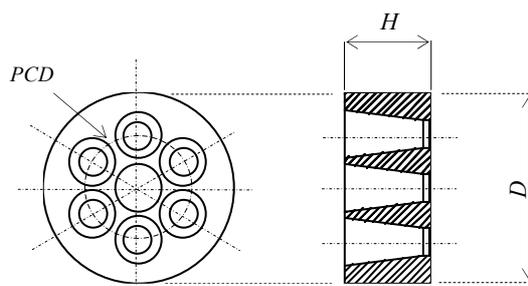


図 1.19 アンカーヘッド

## 2 くさび (SCM45, 亜鉛メッキ)

表 1.13 くさび

PC 鋼より線	$\phi$ 12.7(800Ws 用)	$\phi$ 12.7(300Ws 用)	$\phi$ 17.8(300Ws 用)	$\phi$ 21.8(300Ws 用)
$L$ (mm)	40.5	52	60	75
$D$ (mm)	26	28	36	44
形 状	二つ割	三つ割	二つ割	

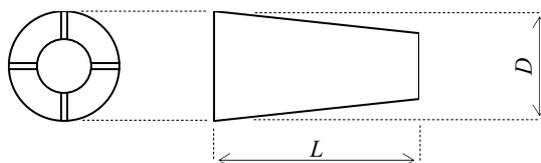


図 1.20 くさび

## 3 アンカープレート

アンカーヘッドの支圧板であり、大きさ、厚さ、抜き穴径は設計荷重や構造物に合わせて計算する。

表 1.14 アンカープレート(標準寸法)

項 目		20W	40W	60W	70W	90W	110W	130W
アンカープレート (標準寸法)	$L$ (mm)	200	250	300	300	350	400	400
	$D$ (mm)	62	62	62	103	103	103	103
	$t$ (mm)	28	28	28	28	32	32	32

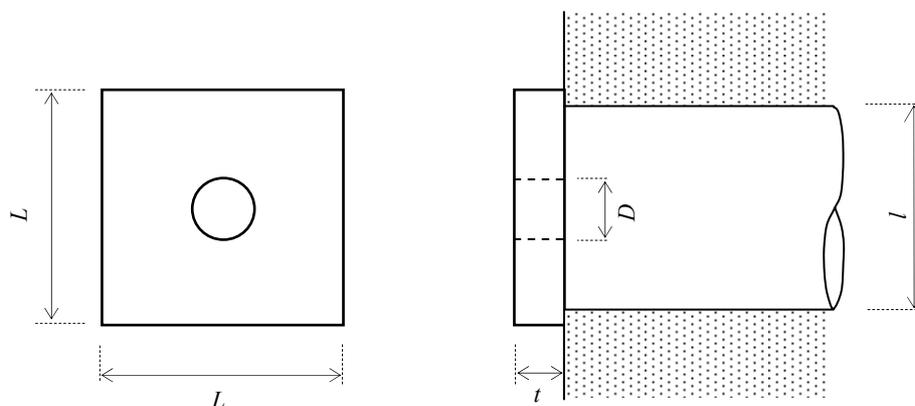


図 1.21 アンカープレート

## (6) 頭部保護材

頭部部材の防食を図るため、気密性の高い保護材を設ける。

## 1 オイルキャップ

テンドン頭部をオイルキャップで被覆し、内部にグリスを充填する。

表 1.15 オイルキャップ

テンドン仕様	型式	オイルキャップ							
		定着型				最緊張型			
		$L$	$D_1$	$D_2$	防錆油	$L$	$D_1$	$D_2$	防錆油
12.7, 17.8, 21.8 × 1本	M85	160	85	100	0.7kg	270	85	100	1.2kg
12.7 × 4 ~ 7本	M130	180	128	145	1.9kg	280	128	145	3.2kg

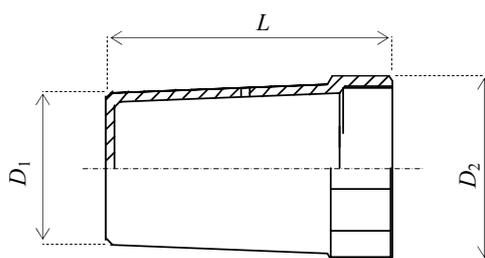


図 1.22 オイルキャップ

## 2 頭部ジョイント

頭部ジョイントは自由長部との連結部の防食を図るためのもので、テンドンとの隙間を止水ゴム等で閉塞し、内部にグリスを充填する。

表 1.16 頭部ジョイント

システム	シース・テンドン仕様
	シースパイプ外径 (より線構成)
300 W s	max $\phi$ 30 mm ( $\phi$ 12.7 × 1本, $\phi$ 17.8 × 1本, $\phi$ 21.8 × 1本 )
	800 W s
800 W s	max $\phi$ 55.5 mm ( 集合径 ) ( $\phi$ 12.7 × 4 ~ 7本 )

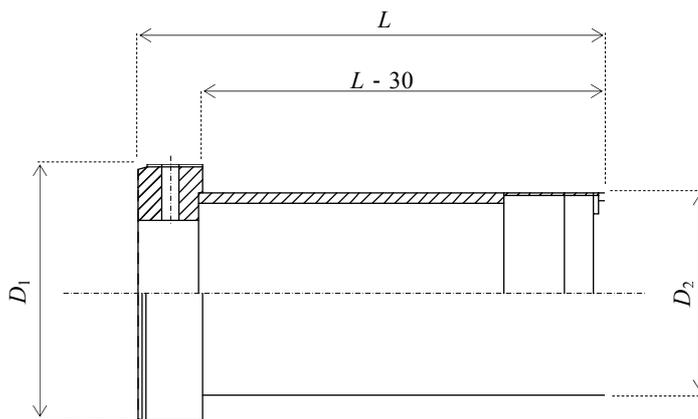


図 1.23 頭部ジョイント

## (7) グラウトホース

グラウトホースは一般用 PE 管を使用する．パッカーを用いた定着部のグラウトは扁平ホース（ネオデリコン）を使用し，一般用 PE 管とは連結金具（図 1.25）で連結する．

表 1.17 グラウトホース

名 称	グラウトホース	扁平ホース
	一般用PE管	ネオデリコン
呼 び 径	R13	19mm
サ イ ズ	21.5/16.0	20.5 (内径)
肉 厚	2.7mm	1.7mm
使用圧力	10 kgf/cm <sup>2</sup>	10 kgf/cm <sup>2</sup>
基準長さ	120m	50m/100m

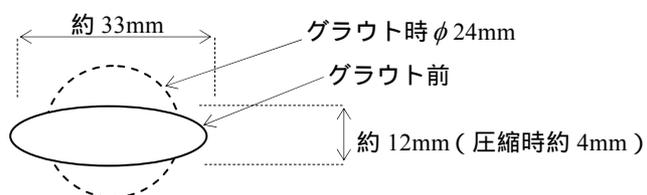


図 1.24 扁平ホース断面



写真 1.1 ネオデリコン荷姿

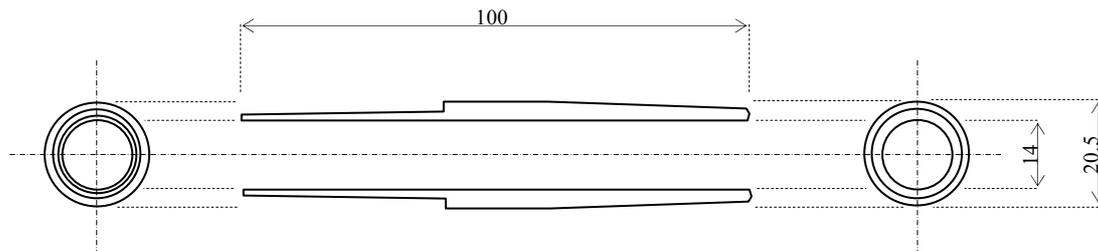


図 1.25 連結金具（一般用 PE 管 - ネオデリコン）

(8) パッカー

パッカーは機械的強度や化学的安定性はもとより，加圧グラウトによる伸縮率等が確認されたものを使用する．

表 1.18 フリクションパッカー仕様

形 状	シームレス（ニット）	
系 使 い	グラウンド680d×2本	パイル170d×1本
材 料	ポリプロピレン繊維（パイレン <sup>®</sup> ）	

表 1.19 パイレン R 基本性能

品 種	比 重	融 点	引 張 強 度	引 張 伸 度	耐 久 性	
	g/cm <sup>3</sup>		g/d	%	耐アルカリ性	耐酸性
680/120	0.91	165	6.5	28	良好	良好
170/20			5.3	40		

表 1.20 規格・寸法

種 類	FP100	折り巾 140mm	掘削径 φ100mm まで（95システム）
	FP125	折り巾 160mm	掘削径 φ125mm まで（118システム）
	FP150	折り巾 180mm	掘削径 φ150mm まで（132システム）
	FP200	折り巾 200mm	掘削径 φ200mm まで（165システム）

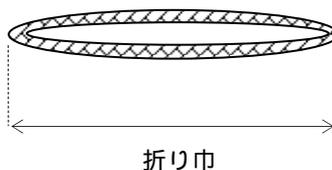


図 1.26 パッカーの折り巾

## (9) グラウト材

グラウト材は下記配合を標準とし、事前に試験練りによる一軸圧縮強度やフロー値の確認を行う。

表 1.21 セメントペーストの配合例

	ポルトランドセメント	水 ( $W/C$ )	混和材 (剤)	備 考
質 量 配 合 比	1	45 ~ 55 %	セメント量 × 混合比	混和材 (剤) は無収縮あるいは膨張性を有するものとし、必要に応じて使用する。
1m <sup>3</sup> 当たり配合	1,230 kg			

1.2 技術の特徴

近年、アンカー体を異形シース（ステンレス製ワインディングシースやポリエチレン等の波形シース）で被覆し、これの拘束度を高めることで引抜き耐力の増強を図る工法が増えている。またアンカー体の荷重分散を図るため、耐荷体に配力管を設けるなどの工夫もなされている。アンカー形式としては、前者が摩擦 - 引張型アンカー、後者が摩擦 - 圧縮型アンカーに区分される。

表 1.22 アンカー体の引抜き耐力増強や荷重分散を図る工法

アンカー体全体をシースする工法 (摩擦 - 引張型アンカーに区分)	アンカー体耐荷体の荷重分散を図る工法 (摩擦 - 圧縮型アンカーに区分)
SHS 工法, VSL 工法, PDG 工法	SSL-CE 工法, KTB-Cms 工法, SEEE-F・MA 工法

くさび型アンカーは、摩擦 - 圧縮型アンカーに分類され、定着部拘束具をくさび形とすることでアンカー体に圧縮力をもたらす。また拘束具表面は樹脂加工（= グラウト材との摩擦抵抗を減ずる）しており、アンカー体の応力分散を図りやすい構造となっている。

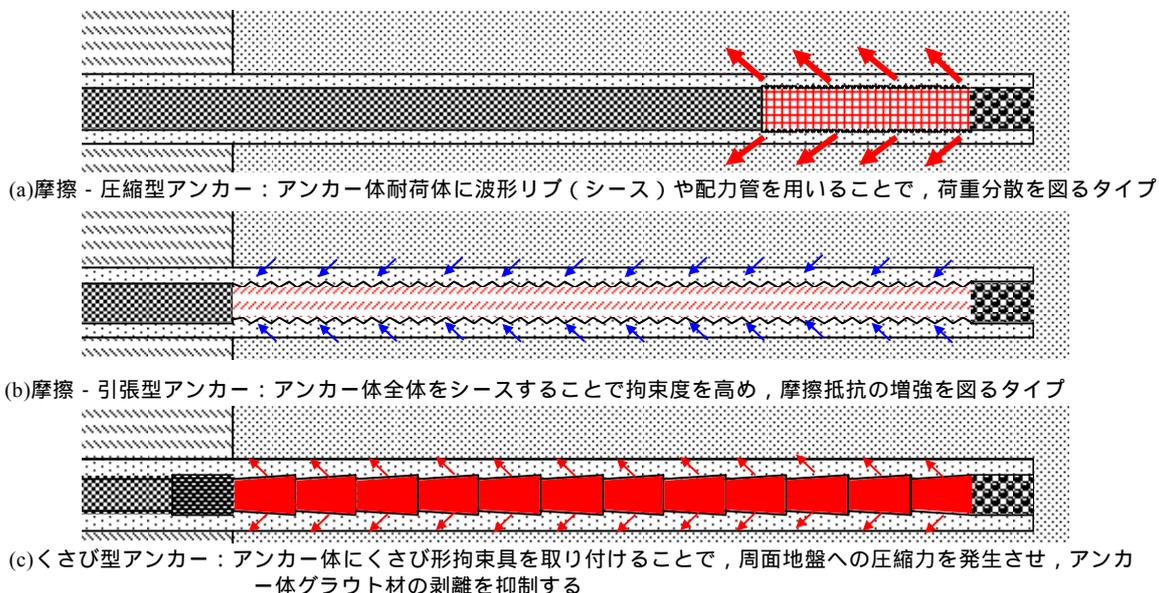


図 1.27 アンカー形式の比較

なお、アンカー力を周辺地盤に伝えるには拘束具内の tendon が確実に固定され、かつ拘束具自体も周囲のグラウト材等により確実に拘束される必要がある。

(1) 拘束具内 tendon の拘束方法

tendon は拘束具内に充填するグラウト材との付着等により拘束され ( 図 1.28 ), 所要の定着長は式(2.1)により求められる。

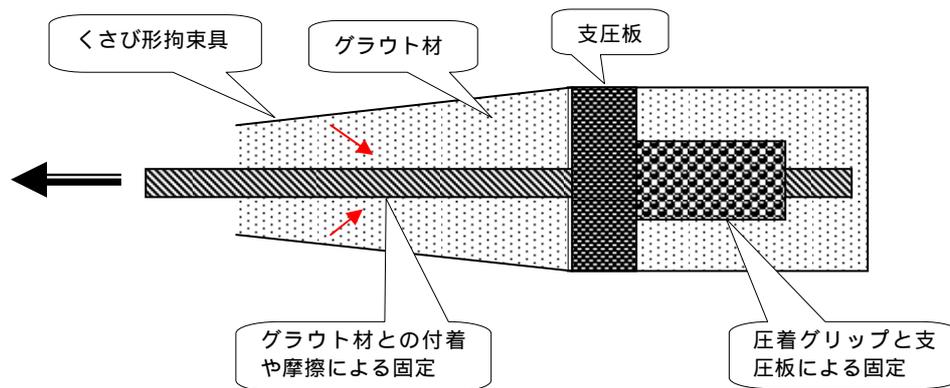


図 1.28 拘束具内 tendon の固定方法

$$l_{sa} = \frac{P}{U \cdot \tau} \quad (2.1)$$

ここに、 $l_{sa}$  : tendon 定着長

$P$  : tendon の降伏荷重

$U$  : tendon の見掛けの周長

$\tau$  : くさび形拘束具内の付着強度

## (2) 拘束具の固定方法

アンカー体拘束具はくさび形をなしており，アンカー力  $P_a$  にともない，グラウト材を介して周辺地盤にくさび水平力  $W_H$  が作用する．

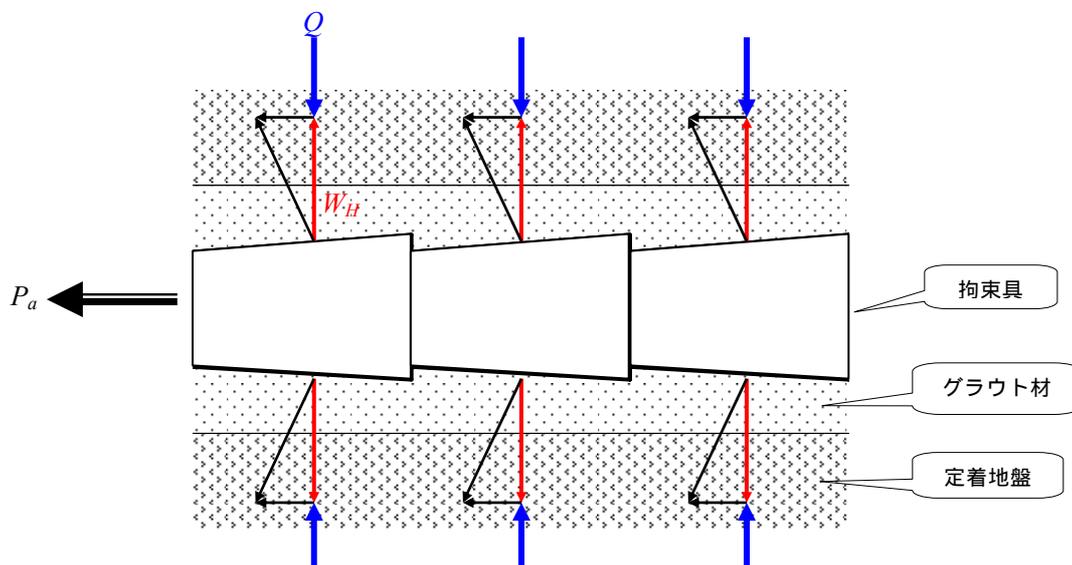


図 1.29 拘束具によってもたらされるくさび水平力  $W_H$  と地盤反力  $q$

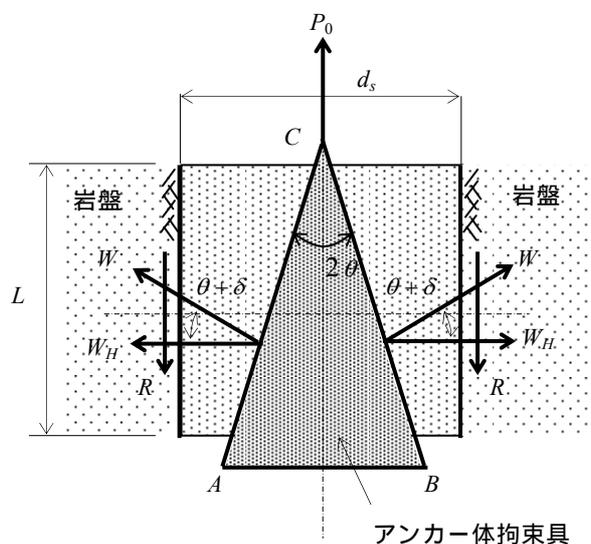


図 1.30 くさびの釣合い

実験より “ $P_a$   $W_H$ ” が確認されており (p.66 参照)，拘束具が引抜けないためには，周辺地盤の支持力  $Q$  との関係より，“ $Q > W_H$ ”を満たせばよい．表 1.23 は定着地盤の任意一軸圧縮強度と定着長およびアンカー体周辺地盤に作用する応力との関係を示すものである．これより，定着長を 3m 以上確保すれば，定着地盤に負荷する圧縮力は一軸圧縮強度の 10% 程度以下となり，拘束具を確実に拘束することができる．

表 1.23 任意荷重時の定着長とアンカー体周辺地盤に作用する応力

アンカー孔径  $\phi 115\text{mm}$ 

荷重 (kN)	$q_u$ ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma/q_u$										
	1		2		4		6		8		10	
100	6.9	1.4%	3.5	5.7%	3.0	7.7%	3.0	7.7%	3.0	7.7%	3.0	7.7%
200			6.9	2.9%	3.5	11.4%	3.0	15.3%	3.0	15.3%	3.0	15.3%
300					5.2	7.7%	3.5	17.1%	3.0	23.0%	3.0	23.0%
400					6.9	5.8%	4.6	13.0%	3.5	22.9%	3.0	30.7%
500		設計適用外			8.7	4.6%	5.8	10.3%	4.3	18.6%	3.5	28.6%
600							6.9	8.7%	5.2	15.4%	4.2	23.8%
700							8.1	7.4%	6.1	13.1%	4.8	20.8%

摩擦強度  $\tau = q_u/10$  として算出. $q_u$  : 定着地盤の一軸圧縮強度 $\sigma$  : 定着地盤に負荷するくさび応力

## 2. 開発の趣旨

くさび型アンカーは、アンカー体の引抜き耐力と耐久性の向上を図るために開発したものである。

### (1)アンカー体グラウト材の剥離抑制

従来の摩擦 - 引張型アンカーは、アンカー体に引張力が働くため、図 2.1(a)のように引張側より剥離しやすいことが懸念される。

これを避けるには、アンカー体周面地盤に圧縮力を作用させる必要がある。アンカー体拘束具をくさび形（図 2.1 b）とすれば、アンカー体へ圧縮力をもたらすことが可能となり、アンカー体グラウト材の剥離抑制効果が期待される。

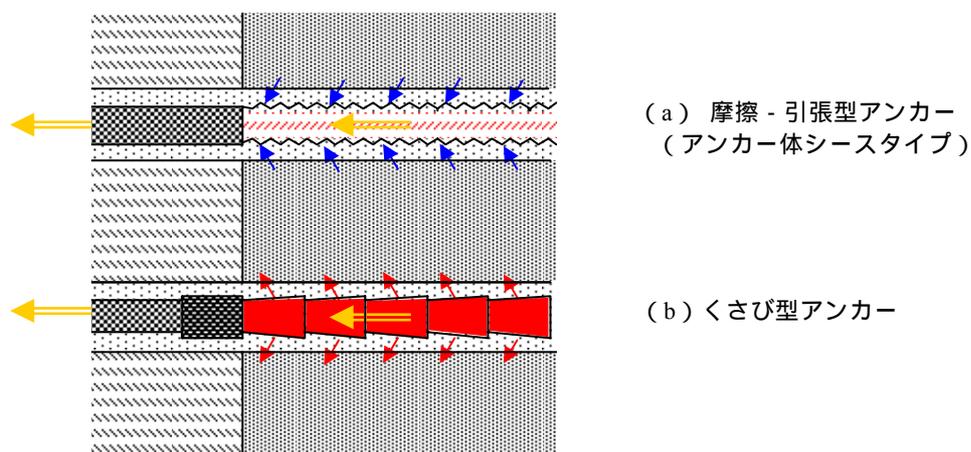


図 2.1 アンカー体に作用する応力方向

### (2)耐久性の向上

アンカー体の引抜き耐力や耐久性の向上を図るにはアンカー体の荷重分散が不可欠である。アンカー体拘束具表面を樹脂加工し、グラウト材との摩擦抵抗を減ずることができれば、アンカー力がアンカー体全体に伝搬しやすくなる。

### 3. 開発目標

アンカー体の引抜き耐力や耐久性の向上を図るため、次の2点を開発目標とする。

#### (1)アンカー体への圧縮力の発生

アンカー体に作用する引張り力を圧縮力に転換することで、アンカー体グラウト材の剥離防止を図る。

すなわち、従来の摩擦 - 引張型アンカーでは、アンカー体に引張力が主体的に作用するため、アンカー体が剥離しやすい形態にある。これを避けるため、くさび型アンカーではくさび形の拘束具を用いてアンカー体に確実に圧縮力を作用させることを目標とする。

#### (2)アンカー体の応力分散

アンカー体の応力分散を図ることで、応力集中による局部破壊を抑制する。

すなわち、従来の摩擦型アンカーは、テンドンとアンカー体のグラウト材を付着により一体化せしめることで、アンカー力を周面地盤に伝達させる構造となっている。そのため、アンカー力がアンカー体全体に均等に伝達し難く、引抜き耐力がアンカー体長に比例して大きくなることが指摘されている。

これを解決するため、くさび型アンカーでは、グラウト材がアンカー体拘束具と付着しない構造とすることで、アンカー体全体にアンカー力が分散しやすくなるようにすることを目標とする。

#### 4. 技術審査の方法及び各種試験，確認結果

以下に示す性能確認のための調査，試験に基づいて審査した。

表 4.1 審査項目

審査項目	主な調査・試験項目
(1) アンカー体における圧縮力の発生	・ アンカー体周辺地盤の応力測定
(2) アンカー体の応力分散	
(3) 定着部テンドンの固定試験	・ 引張り試験
(4) ストランドの性能確認	・ 文献調査による

#### 4.1 アンカー体における圧縮力の発生

##### (1) 試験仕様

- 1 測定場所：島根県松江市古江地内（泥岩が露頭する造成地）
- 2 地質：泥岩（一軸圧縮強度  $q_u=1.1\text{N/mm}^2$ ）
- 3 測定時荷重：600kN/本
- 4 アンカー体の荷重作用点位置：引張側に設置（拘束具テーパ角  $4^\circ$ ）
- 5 観測孔位置図

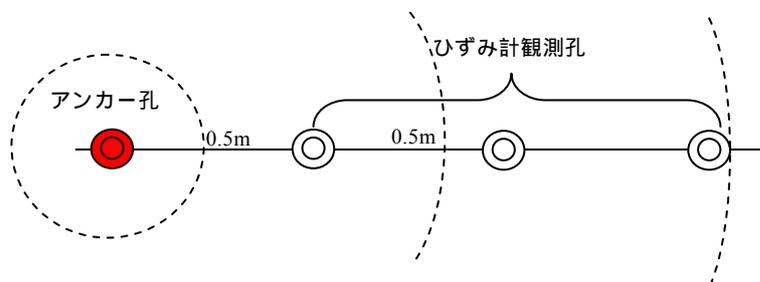


図 4.1 アンカー孔周辺地盤の応力状態観測孔配置図

## (2) 試験結果

図 4.2 は泥岩層内でのくさび型アンカー体周辺地盤の応力状態を測定したものであり、アンカー孔位置から 1.5m 離れた地点まで、確実に圧縮力が伝達されている。ただし、各ひずみ計観測地点での圧縮力は、引張り側が最大となる三角形分布となっている。

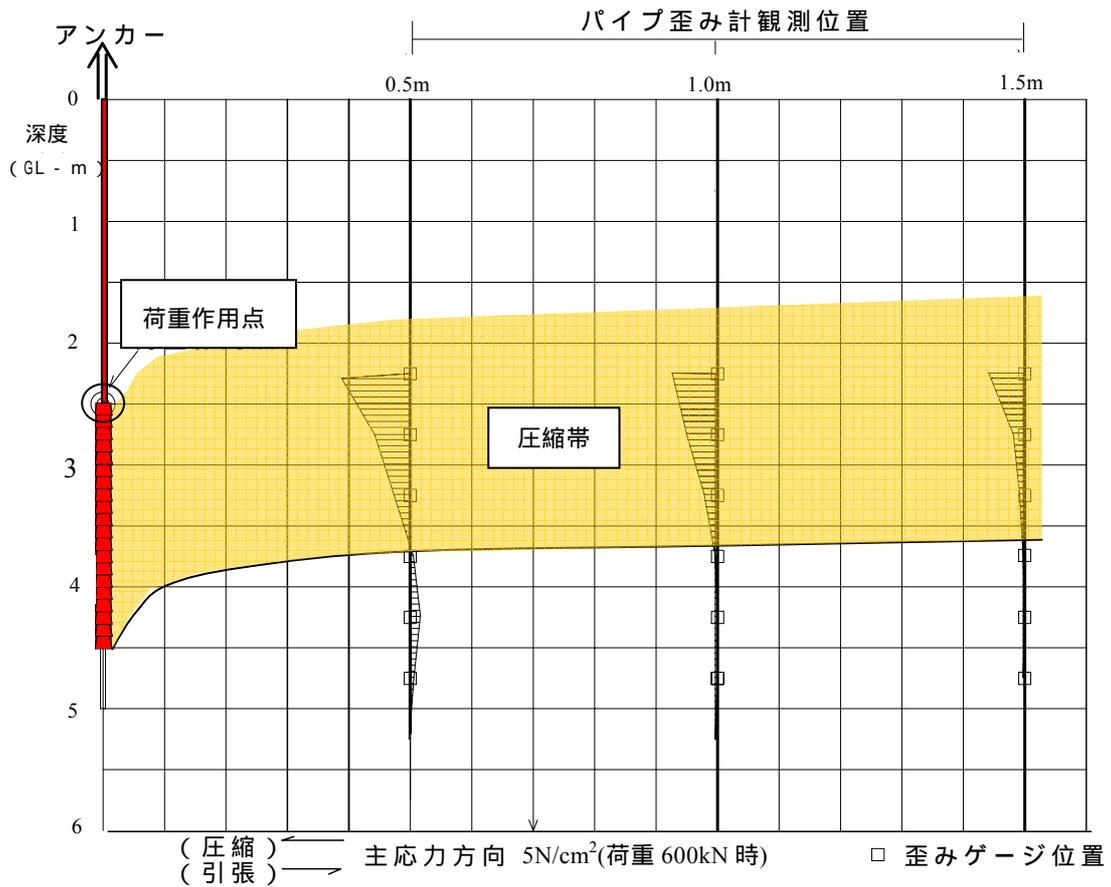


図 4.2 くさび型アンカー体周辺地盤の応力状態 (1)

## 4.2 アンカー体の応力分散

上記結果を踏まえて、アンカー体の荷重作用点位置をアンカー体中央に設定した状態で再試験した。

### (1) 試験仕様

- 1 測定場所：島根県松江市古江地内（泥岩が露頭する造成地）
- 2 地質：泥岩（一軸圧縮強度  $q_u=1.1\text{N/mm}^2$ ）
- 3 測定時荷重：550kN/本
- 4 アンカー体の荷重作用点位置：拘束具中央に設定（拘束具テーパ角  $3^\circ$ ）

### (2) 試験結果

アンカー体周辺地盤に紡錘状の圧縮帯が形成され、荷重作用点を引張り側に設定したものの（前出、図 4.2）より、適正な応力分散状態が確認された。

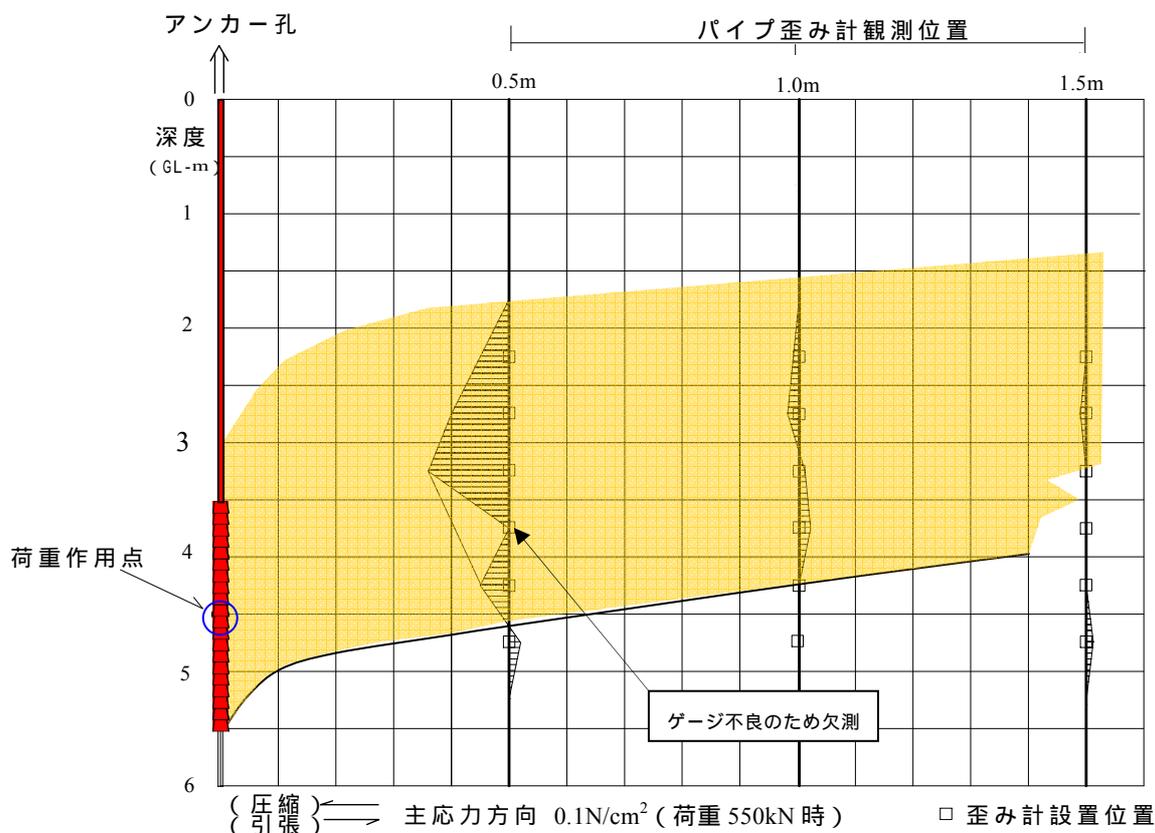


図 4.3 くさび型アンカー体周辺地盤の応力状態（2）

### 4.3 定着部テンドンの固定試験

くさび型アンカーの拘束具とテンドンは高強度モルタルで付着させることで一体化せしめている。さらに、これが剥離した場合でも、最終的にテンドン端部の圧着グリップで固定されるようになっている。これらの強度値を確認するため、グラウト材とテンドンの付着強度試験、およびテンドン端部の圧着グリップ引張強度試験を行った。

#### (1) 拘束具内テンドンの付着強度試験

テンドンは $\phi 12.7\text{mm}$ （スープロストランド）とし、グラウト材はエポキシ樹脂（エヌシーロード 310）と高強度セメント（タスコン 2000）を用いた（写真 4.3）。測定はアムスラー型万能試験機（写真 4.4,4.5）を用いた。



写真 4.3 試験体（拘束具とテンドンを固定した状況）  
（左 2 体が高強度セメント，右 2 体がエポキシ樹脂仕様）



写真 4.4 試験体セット状況



写真 4.5 引張り試験状況  
（アムスラー型万能試験機）

試験結果は表 4.2 のようであり、高強度セメントの方で高い強度が得られた。

表 4.2 付着強度試験結果

区 分	引抜き荷重 $P$ (kN)	付着強度 ( $N/mm^2$ )	備 考
エポキシ樹脂 No.1	25.0	4.8	養生不良、頭部が傾く、表面に気泡が多い。
エポキシ樹脂 No.2	33.8	6.5	表面に気泡が多い。
タスコ 2000 No.1	45.2	8.7	ブリージングなし
タスコ 2000 No.2	41.8	8.0	ブリージングなし

(付着強度の計算)

$$\tau = P / (\pi \cdot t_1 \cdot l)$$

$P$  : 引抜き荷重

$t_1$  : テンドン径 ( $\phi 12.7$  : 樹脂加工径 13.8mm)

$l$  : 拘束具 (スライダ) 内の定着長(120mm)

タスコ 2000 (No.2) の場合

$$\tau = 41800 / (\pi \times 13.8 \times 120) = 8.0(N/mm^2)$$

(2) 圧着グリップ引張試験

テンドン ( $\phi 12.7$ mm) の引張荷重は 183kN であり、いずれもこれを上回る強度が確認されている。

表 4.3 圧着グリップ引張試験 (旋盤にて切削)

No	圧着後の仕上がり寸法		引張試験			試験後の寸法	
	長さ (mm)	外径 (mm)	載荷荷重 (kN)	状況	合否	長さ (mm)	外径 (mm)
1	64.5	22.6	200	グリップ滑り	合格	64.0	23.0
2	64.8	22.6	195	183kN 以上	合格	64.0	22.85
3	64.3	22.6	190	183kN 以上	合格	63.7	22.8
4	64.7	22.6	190	183kN 以上	合格	64.3	22.8
5	63.9	22.6	190	183kN 以上	合格	63.3	22.8

表 4.4 圧着グリップ引張試験 (試作品)

No	圧着後の仕上がり寸法		引張試験			試験後の寸法	
	長さ (mm)	外径 (mm)	載荷荷重 (kN)	状況	合否	長さ (mm)	外径 (mm)
1	64.3	22.4	200	グリップ滑り	合格	63.9	22.8
2	64.8	22.5	190	183kN 以上	合格	64.2	22.7
3	64.9	22.5	190	183kN 以上	合格	64.6	22.7



写真 4.6 引張試験状況



写真 4.7 検査状況

#### 4.4 ストランドの性能確認

ストランドは超耐久性 PC 鋼より線 (SUPRO ストランド) を使用する。

スープロストランド：熱可塑性樹脂を内部空隙に完全充填し，かつ，同時に外面を完全被覆した完全防食の超耐候性 PC 鋼より線（スープロ協会資料より）

表 4.5 耐塩水性

薬品の種類		試験結果
酸 類	酢 酸 (50%)	
	酢 酸 (100%)	
	塩 酸 (20%)	
	塩 酸 (38%)	
	硫 酸 (30%)	
	硫 酸 (98%)	
	りん 酸 (75%)	
	マ レ イ ン 酸	
	過 酸 化 水 素 (30%)	
	次 亜 塩 素 酸	
	過マンガン酸カリウム	
アルカリ類	水 酸 化 ナ ト リ ウ ム	
	水 酸 化 カ リ ウ ム	
	炭 酸 ナ ト リ ウ ム	
塩 類	塩 化 ナ ト リ ウ ム	
有機溶剤・他	ク レ ゾ ー ル	
	グ リ セ リ ン	
	メ タ ノ ー ル	
	エ タ ノ ー ル	

各溶液に 100 時間（常温）浸漬後，膨潤・変色・変形等を観察  
 ほとんど変化なし，わずかに変化する  
 ある程度変化するので注意を要する

## (1) 水密性

NDS F 8701F (防衛庁規格) の水密試験に準拠した試験結果より, 水分の浸透は全く認められなかった。

表 4.6 水密性

保持時間	水圧(N/mm <sup>2</sup> )	試験品 No. (本数)	SUPRO/SB 15.2mm	SUPRO/SB 21.8mm
60分	1.96	No.1 ~ No.5 (5本)	水分浸透ゼロ	
	4.41	No.6 (1本)	水分浸透ゼロ	

## (2) 300万回フレッチング疲労試験

PC鋼材は全て健全, かつ, デビエータ部の被覆材には異常は全く認められなかった。

表 4.7 疲労試験

SUPRO/NM-19S15.2mm (B種)	
偏向部	鋳物+鋼製, PE保護管付
偏向角度	14° (左7°+右7°)
偏向部曲げ半径	3.0m
下限荷重	0.6Pu (1,129N/mm <sup>2</sup> )
上限荷重	1,178N/mm <sup>2</sup>
応力振幅	49N/mm <sup>2</sup>
偏向部垂直変位量	8.8mm
定着部 (FKK)	被覆材除去後クサビ定着

## ・ 詳細資料

1. くさび型アンカーの支持機構
2. アンカー体の応力分散
3. アンカー体拘束具におけるアンカー力の作用方向角
4. 超過荷重時におけるくさび型アンカー体の引抜き耐力
5. 特許出願
6. 参考資料

## 1. くさび型アンカーの支持機構

くさび型アンカーは、アンカー体拘束具をくさび形とすることで、アンカー体グラウトの剥離防止による耐久性の向上を図るほか、アンカー体拘束具がグラウト材と付着しないようにすることで、アンカー体の荷重分散を容易にすることを目標に開発したものである。

地震時等の設計を越える超過荷重に対しては、くさび機能による摩擦抵抗増強により、従来型アンカーより大きな引抜き耐力を発揮できる構造となっている。

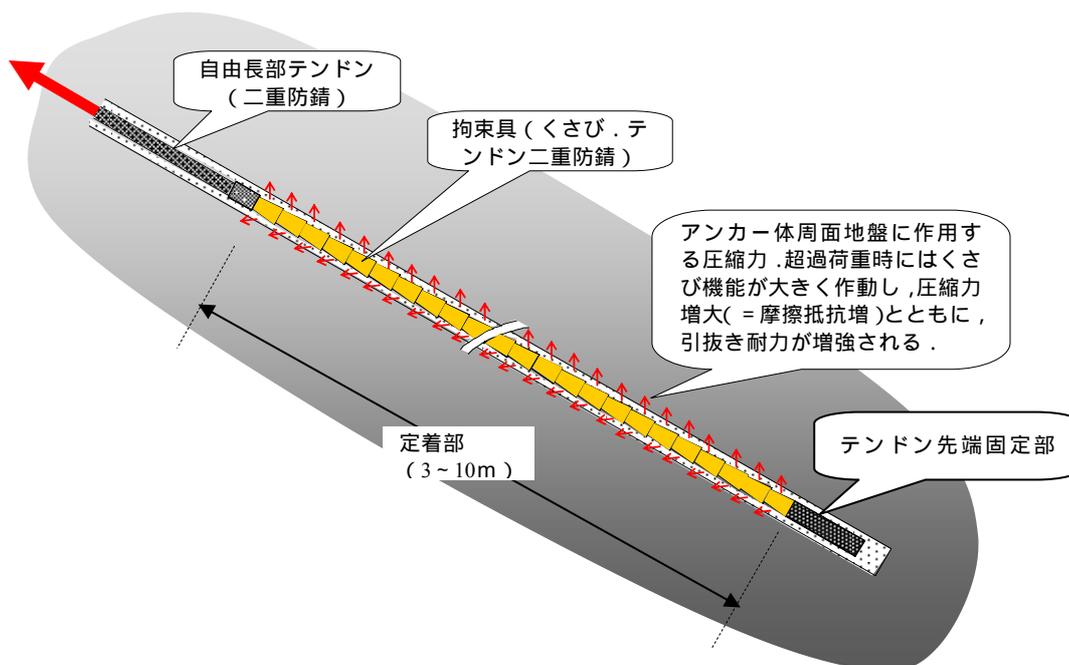


図 1.1 アンカー体支持機構概念図

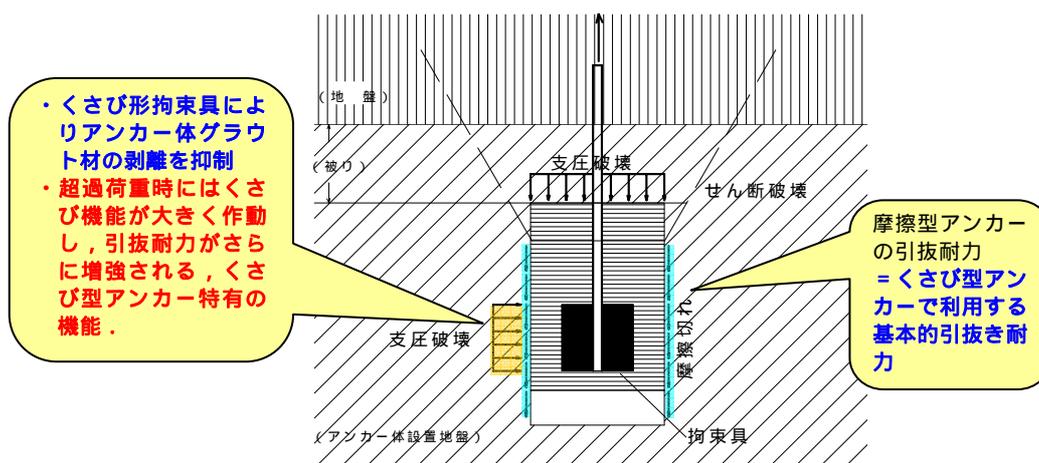


図 1.2 アンカー形式の破壊概念

(グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 P.108  
図 6.13 より, 極限引抜き力に関する項目のみについて記載。一部加筆)

## 2. アンカー体の応力分散

アンカー体の応力分散に関する実験結果を示す。

### 2.1 室内実験

#### (1) 実験方法

拘束管（ヒューム管φ700mm）内部に設置したアンカー体を引抜き試験後に解体し、アンカー体の応力分散状況を確認した。

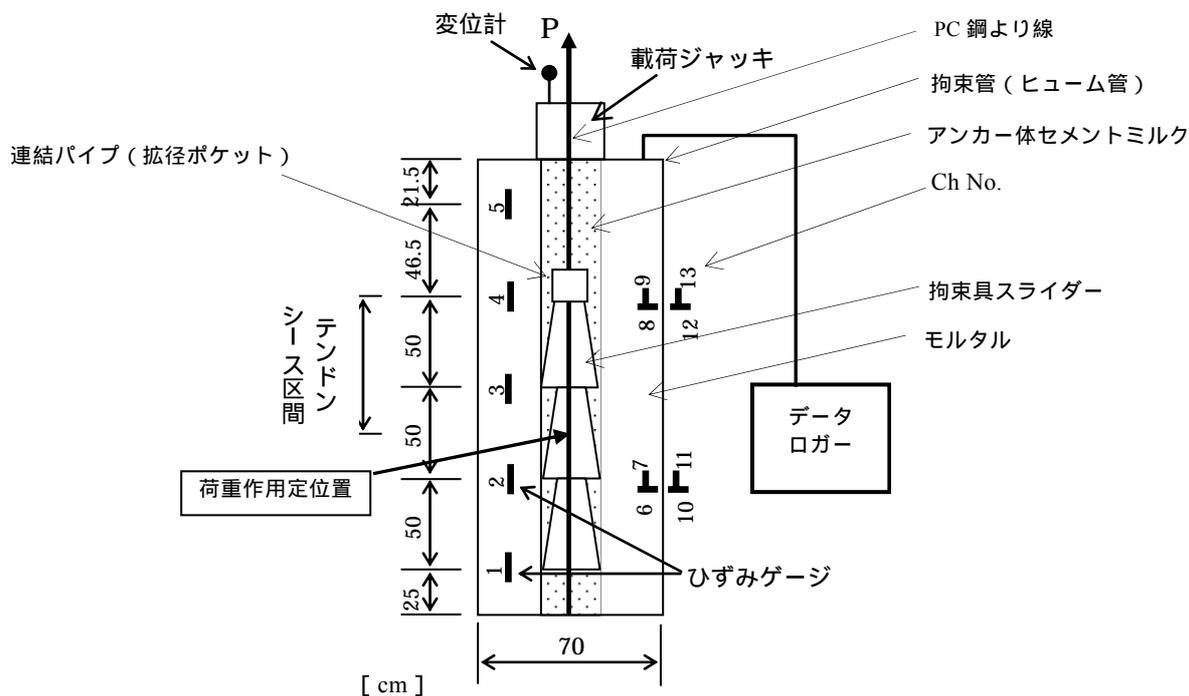


図 2.1 実験装置（実験 No.1）



写真 2.1 アンカー体と歪み計設置状況

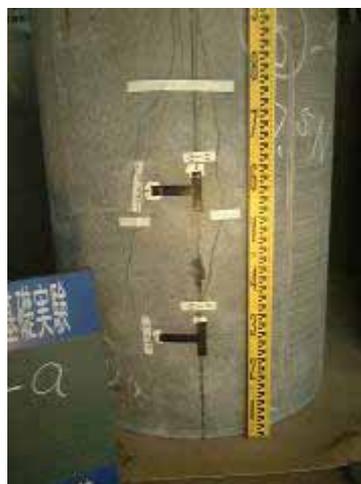


写真 2.2 ヒューム管外壁の歪み計設置状況

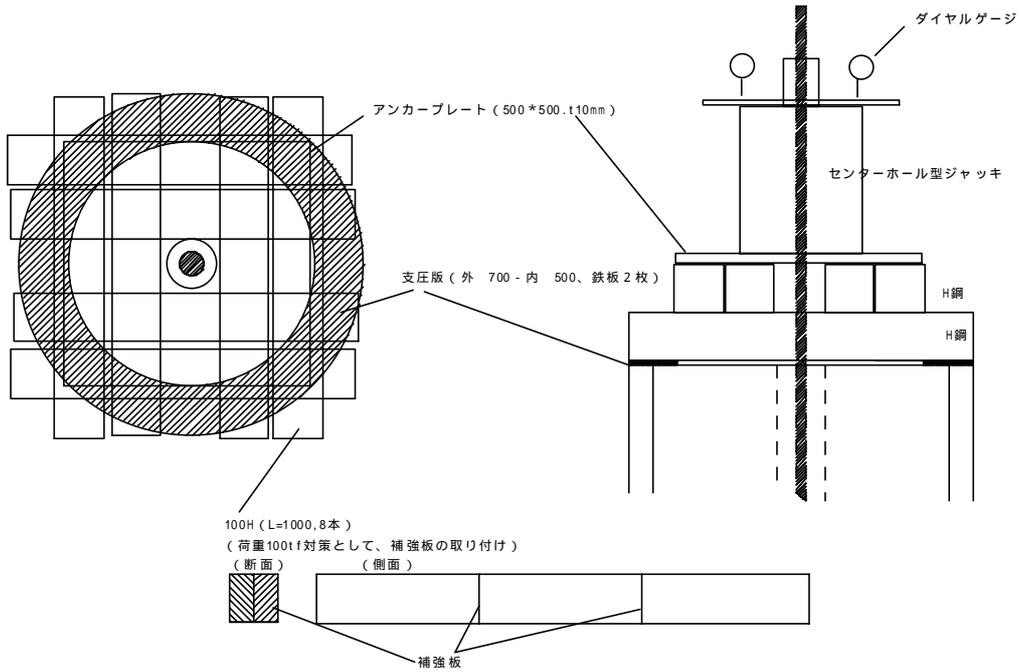


図 2.2 荷重装置

(2) 実験項目と数量

表 2.1 実験項目

No.	目的	実験構造				
		アンカー体径 (mm)	スライダ長 (cm)	スライダ表面加工	スライダ内引張り材シース区間	充填材 (モルタル) の圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
	アンカー支持力と荷重分散状況の確認	100	150	オイル+シース材	1/2	11.7
	スライダ表面の摩擦係数とくさび力の関係把握	100	150	シース材のみ	1/2	11.7
	パッカー使用の可否、孔壁粘土化の影響確認	100	150	オイル+シース材	1/2	11.7
	摩擦型アンカー試験との対比	100	摩擦型	引張り材どぶ漬け	なし	11.7
a	荷重作用点と支持力の関係把握 (実験 含む)	100	150	オイル+シース材	なし	11.7
b		100	150	"	全シース	11.7
a	定着地盤の一軸圧縮強度と支持力の関係把握	100	10	オイル+シース材	なし	7
b		100	10	"	なし	11.7
c		100	10	"	なし	12.3
d		100	10	"	なし	17.6
	定着体のセンタリング効果確認	100	10	オイル+シース材	なし	7
a	定着体長と支持力の関係把握	100	20	オイル+シース材	1/2	7
b		100	30	"	"	7
c		100	40	"	"	7
a	定着体径と支持力の関係把握	150	10	オイル+シース材	なし	7
b		200	10	"	なし	7
c		250	10	"	なし	7
c	エポキシ樹脂と引張り材との附着強度確認		100	オイル+シース材	なし	11.7
b			100	"	なし	11.7
a	鋼管内での引抜き耐力の確認	130.8	150	オイル+シース材	1/2	11.7
b		130.8	摩擦型	引張り材どぶ付け	なし	11.7

(3) アンカー体拘束具構造

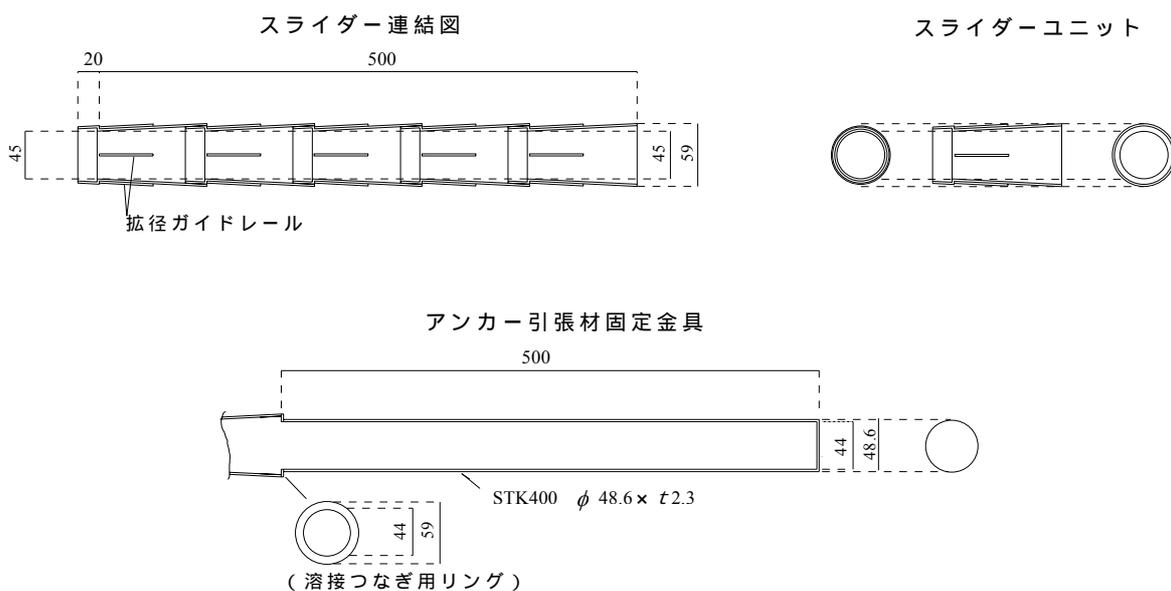


図 2.3 実験用拘束具（スライダー）



写真 2.3 拘束具（スライダー）ユニット



写真 2.4 先端固定金具



写真 2.5 製品化した拘束具（スライダー）



写真 2.6 拘束具組み立て状況



写真 2.7 熱収縮チューブ被覆



写真 2.8 熱収縮チューブ加工

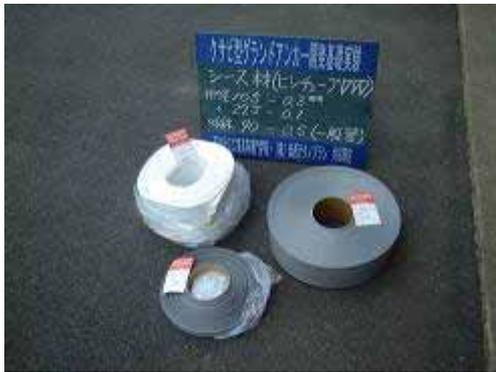


写真 2.9 熱収縮チューブ



写真 2.10 拘束具内に引張材を挿入し、エポキシ樹脂で固定



写真 2.11 使用エポキシ樹脂



写真 2.12 ヒューム管内にアンカー体と歪計を設置後、モルタル充填

#### (4) 実験結果

写真 2.13 は表 1 に示した実験 No.1 試験体の解体状況であり，拘束具の引抜け状況は写真 2.14 のようである．

- ・アンカー体長 1.5m (  $\phi$  100mm )
- ・試験荷重 780kN/本・・・拘束管 ( ヒューム管 ) が破壊したため中止
- ・アンカー体荷重作用点位置・・・拘束具中央

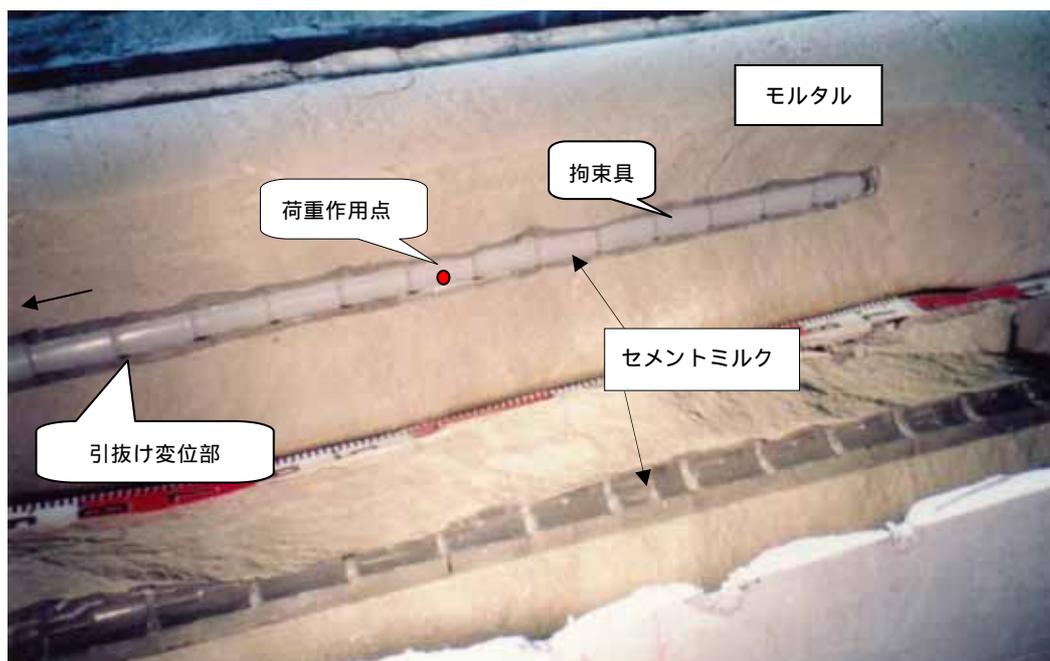


写真 2.13 アンカー体解体状況

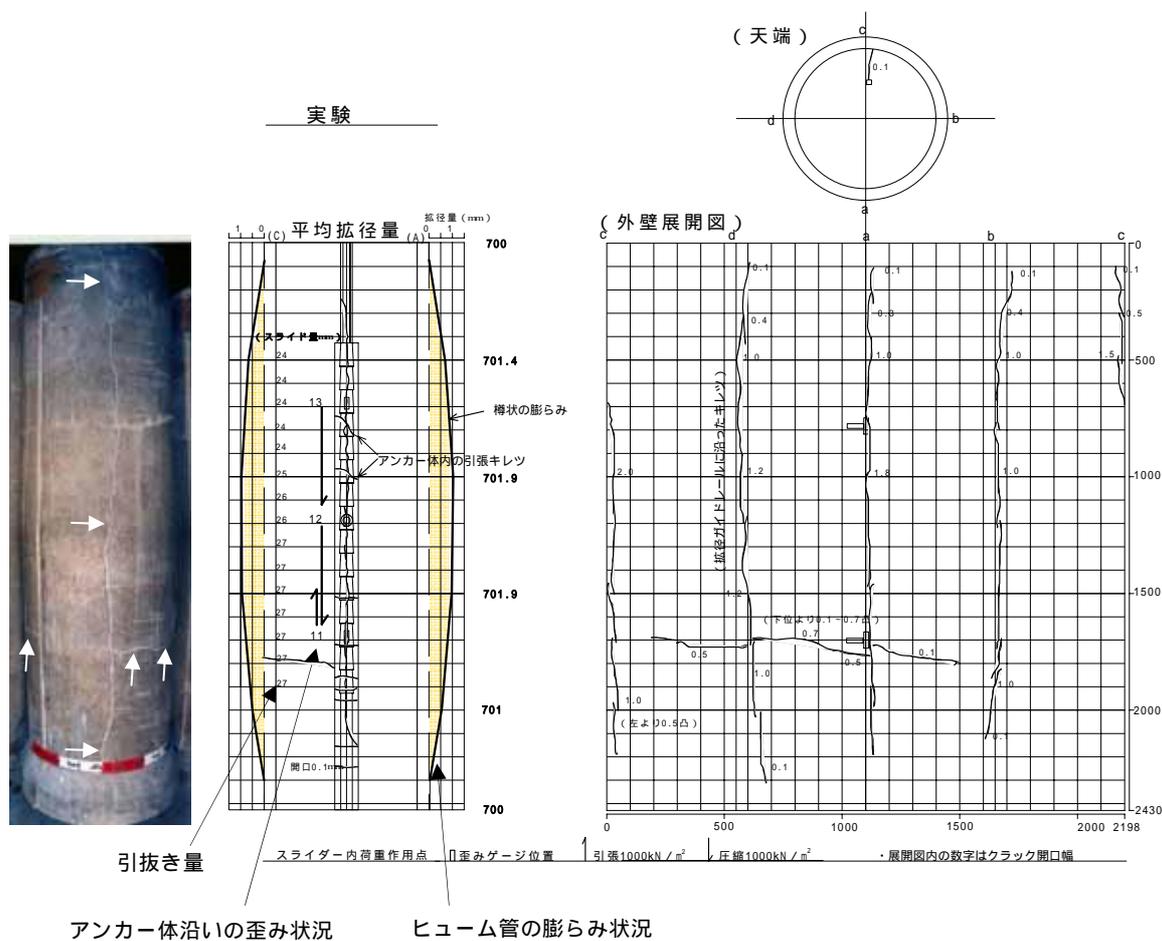


写真 2.14 拘束具引抜け状況

拘束具の引抜け量は図 2.4 に示すように，

- ・ 引張側 24mm
- ・ 中央（荷重作用点位置）26mm
- ・ 拘束具先端位置 27mm

であり，引張側でやや圧縮傾向を示しているものの，概ね均等な変位を示している．すなわち，アンカー体拘束具はくさび機能を有しており，その引抜け量に応じて拘束具設置区間全般にわたり，アンカー力が分散されるものといえる．



## 2.2 軟質な泥岩層内での実験

### (1) 実験方法

泥岩の山を切り取った造成地で、図 2.5 のような配置で引抜き試験を行い、アンカー体の応力分散状況を確認した。

#### (実験仕様)

- ・ 定着地盤の地質：新第三紀古江層泥岩 ( $q_u = 1.1\text{N/mm}^2$ )
- ・ アンカー方向：鉛直
- ・ アンカー孔径： $\phi 115\text{mm}$
- ・ テンドン：PC 鋼より線  $\phi 15.2\text{mm} \times 5$  本
- ・ アンカー体グラウト強度  $\sigma_c = 26.7\text{N/mm}^2$
- ・ 歪計：50cm ピッチ

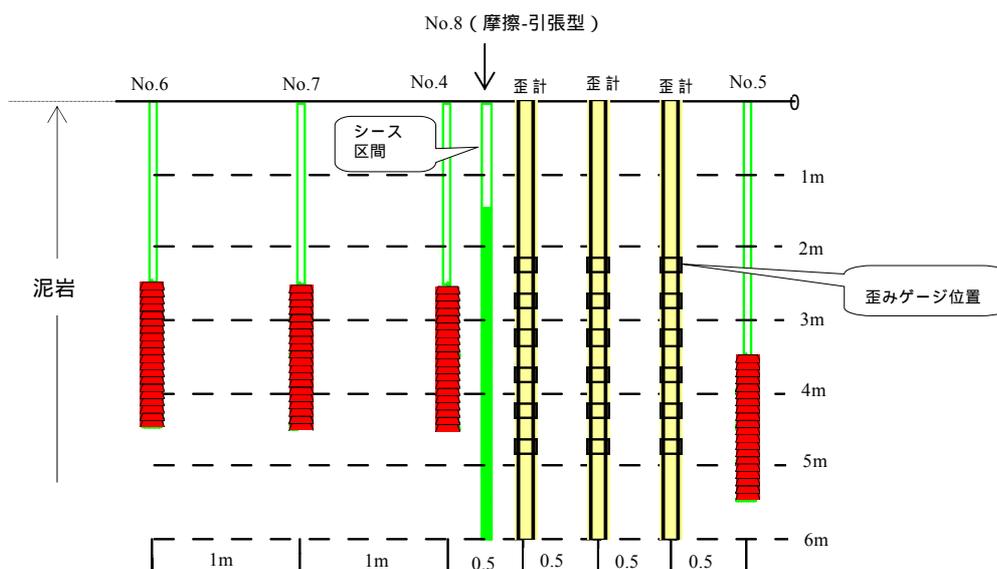


図 2.5 アンカー体設置断面図

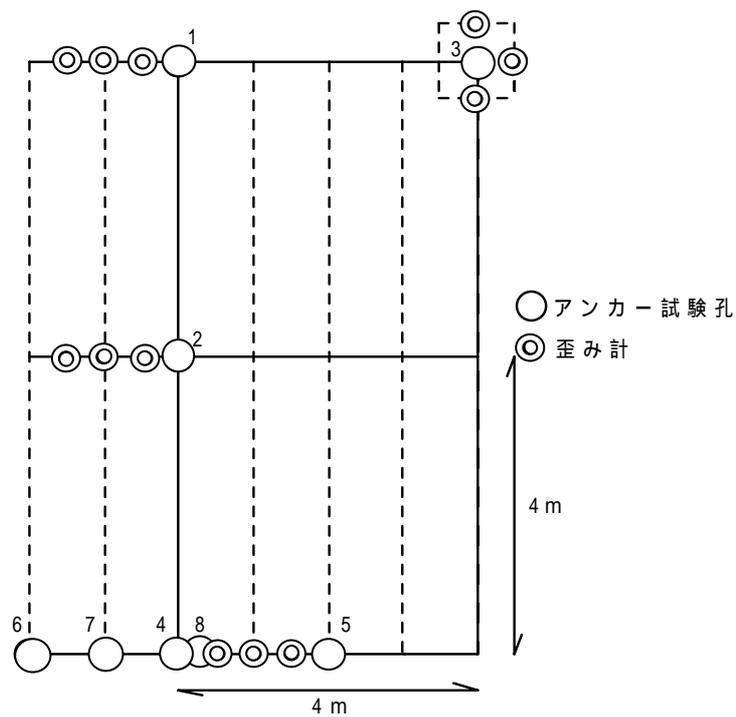


図 2.6 試験孔配置図

## (2) 実験数量

表 2.2 古江地区実験数量

アンカー形式	試験 No	掘削長 m	定着長 m	くさびテーパー	引抜荷重 kN/本	極限支持力 kN/m
くさび型	1	5	2	5/100	620	310
	3	5	2		560	280
	5	6	2		560	280
	4	5	2	7.5/100	610	305
	6	5	2		420	210
	7	5	2		650	325
	平均					
摩擦-引張型	2	6	3	-	350	117
	8	5	4.5	-	300	67
	平均					92

## (3) 実験結果

図 2.7, 2.8 はアンカー体側方地盤の応力状態を測定したものであり, 荷重作用点を拘束具の引張側に設定した場合 (図 2.7) はこれをピークとした三角形分布をなすが, 拘束具の中央に設定した場合 (図 2.8) は紡錘状の分布形態を示すことが確認された. これを踏まえて, アンカー体の荷重作用点は拘束具中央に決定した.

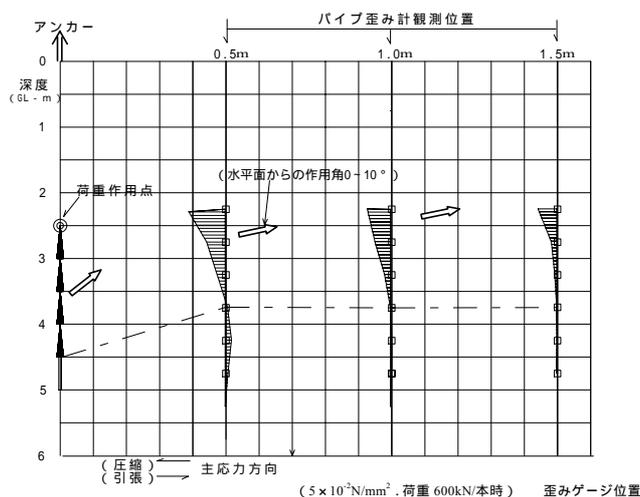


図 2.7 アンカー体側方地盤の応力状態 (1)  
(実験 No.4, くさびテーパ7.5/100, 荷重 610kN/本)

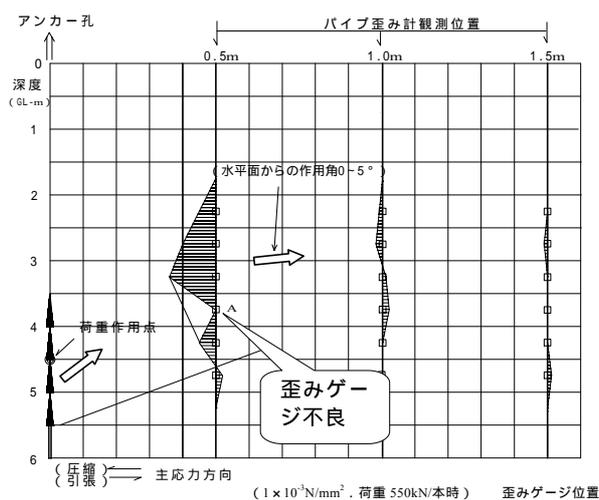


図 2.8 アンカー体側方地盤の応力状態 (2)  
(実験 No.5, くさびテーパ5/100, 荷重 560kN/本)



写真 2.15 引抜き試験状況



写真 2.16 アンカー一体拘束具(No.1)  
(非拘束具タイプ No.2 との比較試験)



写真 2.17 くさび型アンカー一体拘束具  
(No.1 試験体)



写真 2.18 定着地盤の泥岩  
(掘削 2 日後のスレーキング状況)

## 2.3 脆弱な風化凝灰岩層内での実験

### (1) 実験方法

風化凝灰岩の斜面脚部を切り取った造成地で、図 2.9、2.10 のような配置で引抜き試験を行ない、アンカー体の応力分散状況を確認した。

#### (実験仕様)

- ・ 定着地盤の地質：風化凝灰岩 ( $q_u = 3.8\text{N/mm}^2$ )
- ・ アンカー方向：鉛直
- ・ アンカー孔径： $\phi 115\text{mm}$
- ・ テンドン：PC 総ネジ異形棒鋼  $\phi 36$
- ・ 歪計：50cm ピッチ

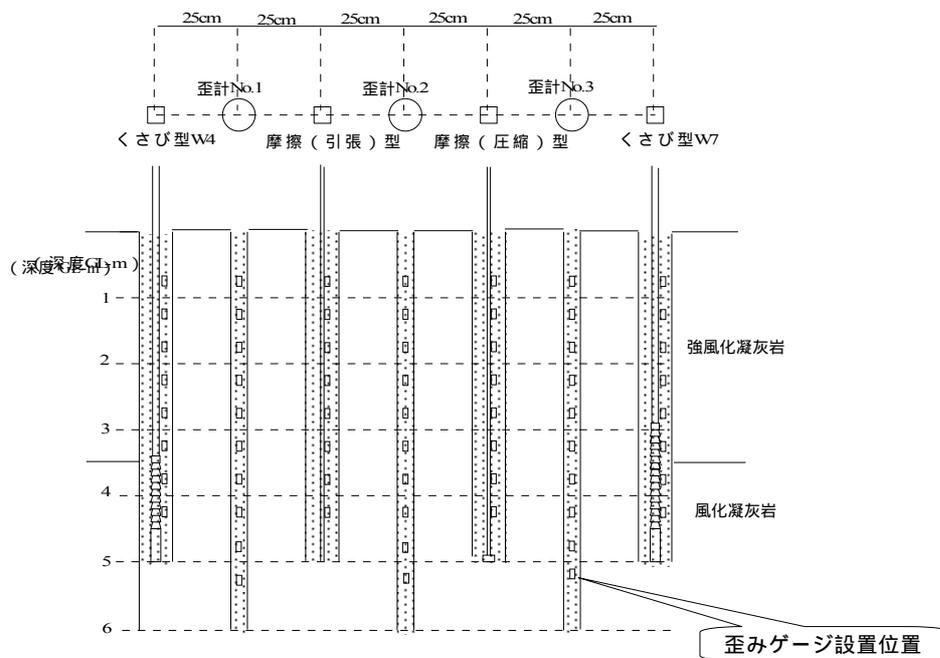


図 2.9 試験孔配置図

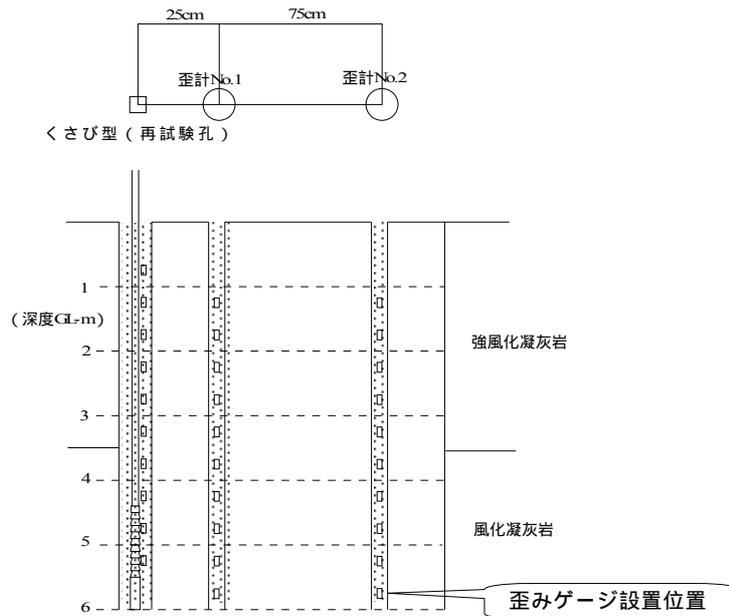


図 2.10 くさび型アンカー(再試験孔)

(2) 実験数量

表 2.3 本庄地区実験数量

アンカー形式		掘削長 m	定着長 m	くさびテーパー	引抜荷重 kN/本	極限支持力 kN/m
くさび型		6	1	7.5/100	620	620
摩擦型	非拘束具タイプ型	5	1.5	-	250	167
	圧縮型	5	1.5	-	450	300

(3) 拘束具構造図

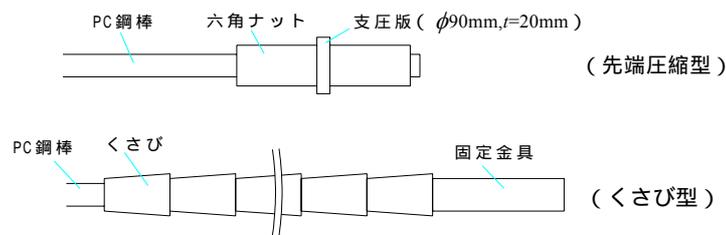


図 2.11 拘束具構造図

図 2.12 ~ 図 2.14 はそれぞれ、摩擦（引張）型、摩擦（先端圧縮）型、くさび型の各アンカー一体の応力状態を測定したものである。これによれば、摩擦（引張）型では全般に引張力が働いており、摩擦抵抗が十分に働かない様相にある。

これに対して、摩擦（圧縮）型およびくさび型では、確実に圧縮力が働いており、摩擦抵抗を發揮できる状況にある。

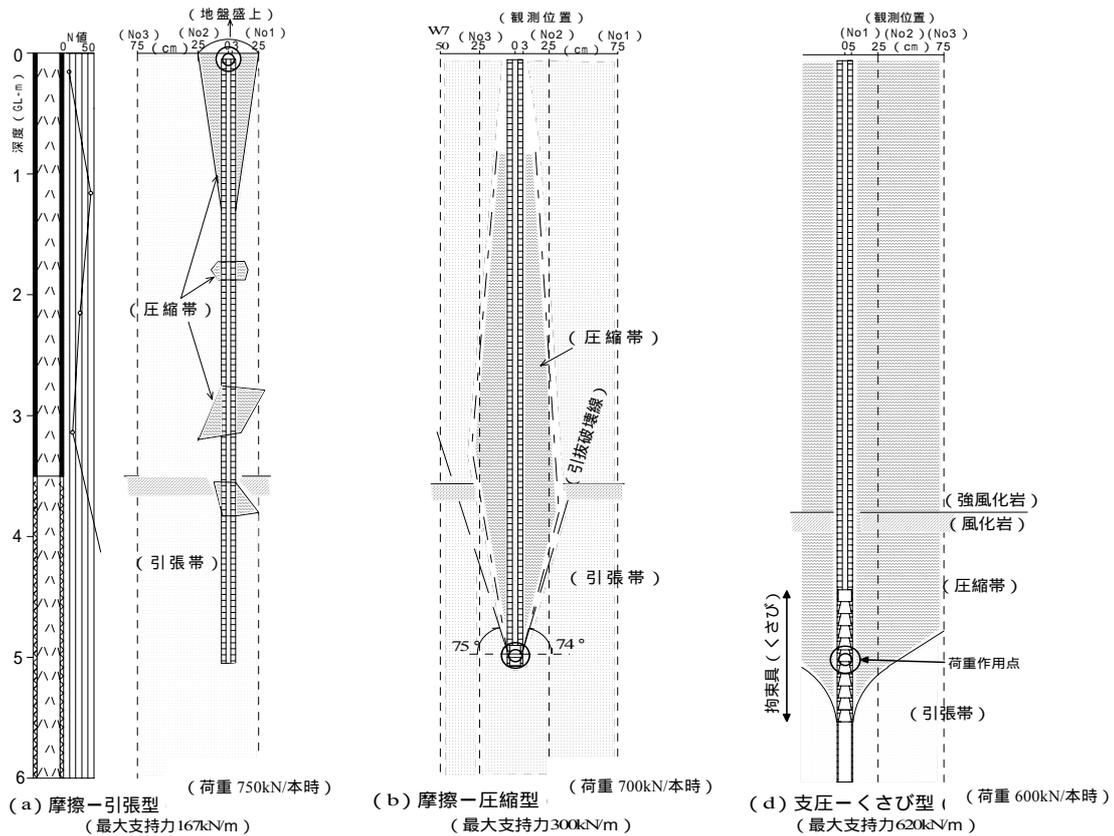


図 2.12 摩擦（引張）型

図 2.13 摩擦（先端圧縮）型

図 2.14 くさび型

一方、図 2.15, 2.16 は摩擦（圧縮）型およびくさび型の深度別の応力状態（各アンカー体より 25cm 離れた地盤内）を比較したものである。摩擦（先端圧縮）型ではアンカー軸沿いに  $\phi 50\text{cm}$  程度の圧縮帯が形成され、アンカー体先端部 (GL - 4.75m) に引張力 ( $3\text{N/mm}^2$ ) が集中しているのに対し、くさび型ではアンカー体先端部を除き、全体に圧縮力が働いている。特に拘束具付近の応力 ( $0.2 \sim 0.3\text{N/mm}^2$ ) が摩擦（先端圧縮）型の 1/10 程度と小さいことは、拘束具による応力分散効果として評価できる。

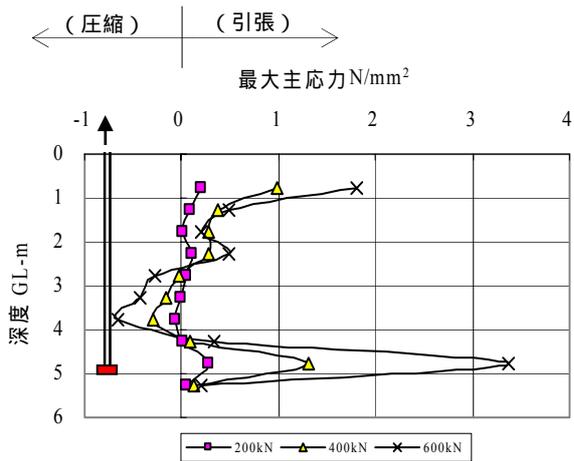


図 2.15 摩擦（先端圧縮）型：荷重別応力図

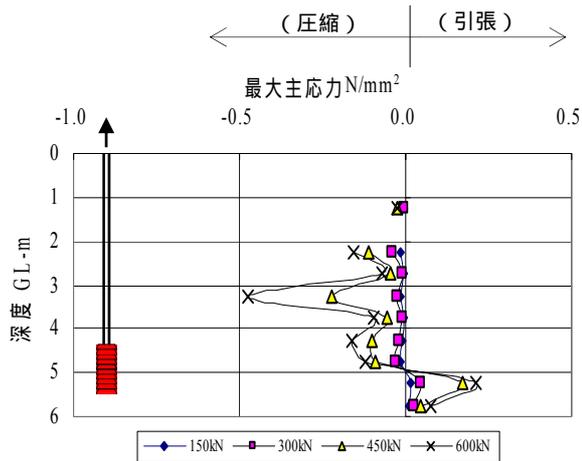


図 2.16 くさび型：荷重別応力図



写真 2.19 作業全景



写真 2.20 歪み計挿入



写真 2.21 アンカー体検尺

### 3. アンカー体拘束具におけるアンカー力の作用方向角

図3.1はアンカー体拘束具における主応力方向をアンカー体より50cm離れた地盤内で測定(2.2節 図2.5におけるアンカー試験孔No.5対象)したものであり、荷重100~200kN以降、主応力方向はアンカー孔壁にほぼ直角する方向に作用している。

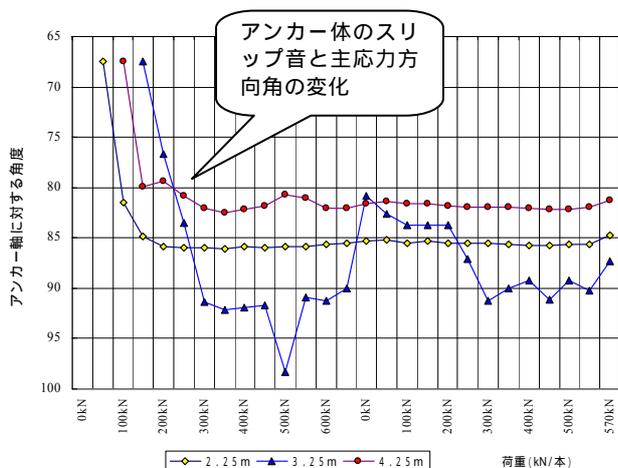


図 3.1 アンカー体主応力方向角

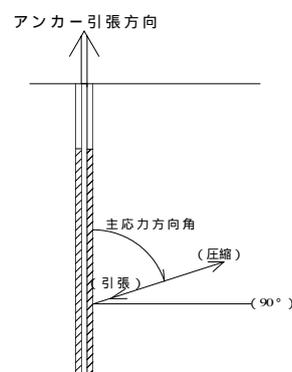


図 3.2 アンカー体主応力方向角説明図

## 4. 超過荷重時におけるくさび型アンカー体の引抜き耐力

超過荷重により、くさび機能が大きく作動した場合のアンカー体の力関係は以下のように示される。

### 4.1 アンカー体の力関係

#### 4.1.1 くさび力の計算

アンカー力  $P_0$  によって生じるくさび力  $W$  を求める。図 4.1 において

$$\text{くさび力： } W = \frac{P_0}{2 \sin(\theta + \delta)} \quad (4.1)$$

$$\text{くさび水平力： } W_H = W \cos(\theta + \delta) = \frac{P_0}{2} \cot(\theta + \delta) \quad (4.2)$$

ここに、 $\theta$ ：くさび頭頂角 =  $ACB/2$ 、 $\delta$ ：壁面摩擦角 =  $2/3 \cdot \phi$ 。

ここで、くさびが  $P_0$  の方向に移動すると、くさびは岩盤に対して主働土圧の関係にある。したがって、くさび力  $W$  の傾斜角は  $CA$ 、 $CB$  の法線に対して主働土圧の傾斜角になっている。

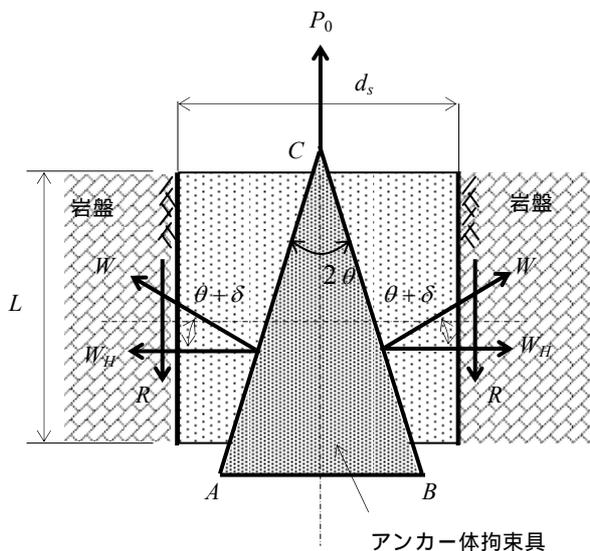


図 4.1 くさびの釣合い

#### 4.1.2 アンカー体周壁における摩擦抵抗

アンカー体と岩盤との摩擦係数を  $f$  とすれば、アンカー体壁摩擦抵抗  $R$  は

$$R = f \cdot W_H = f \cdot \frac{P_0}{2} \cot(\theta + \delta) \quad (4.3)$$

ここに

$$f = \tan \phi \quad (4.4)$$

$\phi$  は岩盤の基本摩擦角である。

#### 4.1.3 アンカー引抜けに対する検討

くさびが抜けないための条件は、アンカー力  $P_0$  が、アンカー体壁摩擦抵抗  $R$  に対して

$$P_0 \geq 2R \quad (4.5)$$

でなければならない。ゆえに、式(3.3)より

$$\tan(\theta + \delta) \geq \tan \phi \quad (4.6)$$

$$\therefore \theta + \delta \geq \phi \quad (4.7)$$

ここに、 $\theta$  はくさび頭頂角の  $1/2$ 、 $\phi$  は岩盤の基本摩擦角( $^\circ$ )であり、壁面摩擦角  $\delta$  を  $\delta = 2/3 \cdot \phi$  にとるものとすれば、 $\theta \geq \phi/3$  を満足するように頭頂角  $\theta$  を決めれば、アンカーは引抜けに対して安全である。

#### 4.1.4 くさび型アンカー体長の計算

##### (1) アンカー体長の計算

上記検討から、アンカー体が引抜けないためには、図 4.1 に示すくさび水平力に見合うだけの地盤反力  $q$  を確保すれば良い。

くさび水平力を  $W_H$  とすれば、所要支持力は有効支圧面積に地盤反力度を掛けたものを安全率で割った値以上でなければならない。すなわち

$$W_H \leq \frac{1}{f} \pi d_B l_a q \quad (4.8)$$

ここに、 $d_B$  : アンカー孔径、 $l_a$  : 有効アンカー体長、 $q$  : 地盤反力度 ( $= k \cdot r$ )、 $k$  : くさび地盤

反力係数,  $r$ : 最大有効地盤拡径量 (くさびテーパ量の2分の1),  $f$ : 安全率 (=2.5).

これより

$$l_a = \frac{f W_H}{\pi d_B q} \quad (4.9)$$

したがって, アンカー体長は, 修正係数  $a$  を掛けて

$$l = \frac{a f W_H}{\pi d_B q} \quad (4.10)$$

で求めればよい。ただし, くさびの水平力  $W_H$  を測定することは困難であり, また概ね  $W_H$   $P_a$  の関係が確認されていることから, 設計荷重  $P_a$  で置き換える。

$$l = \frac{a f P_a}{\pi d_B q} \quad (4.11)$$

ここに,  $a$ : くさび変位と有効支圧面積の関係からアンカー体長を求めるための係数 (=2.0) である。ただし, ここでのくさび地盤反力係数  $k$  はアンカー力  $P_0$  を用いたものを使用している。

**修正係数  $a$  について:** アンカーの極限支持力は拘束具の引抜け長さが 50mm (= くさびユニット長さの 1/2) の時であり, この状態を確保する

## (2) くさび地盤反力係数 (砂岩 $q_u=6.70\text{N/mm}^2$ の例)

式(4.11)に示すように, くさび型アンカー体長は地盤反力度を用いて求めることができる。地盤反力度は, くさび地盤反力係数に拘束具によってもたらされる地盤変形量を乗じて求めることができる。従って定着地盤のくさび地盤反力係数  $k$  が分かれば定着長を決定することができる。以下くさび地盤反力係数の求め方を示す。

1. 現地基本調査試験より, 各荷重のテンドン変位量を測定し, 荷重-弾性変位・塑性変位曲線を作成する (図 4.2)。
2. 荷重-塑性変位曲線の回帰式より, 各荷重のテンドン (= 拘束具) 引抜け量を求め, これを基に拘束具の有効支圧面積, 拘束具周辺地盤の拡径量, 有効応力を求める (表 4.1)。

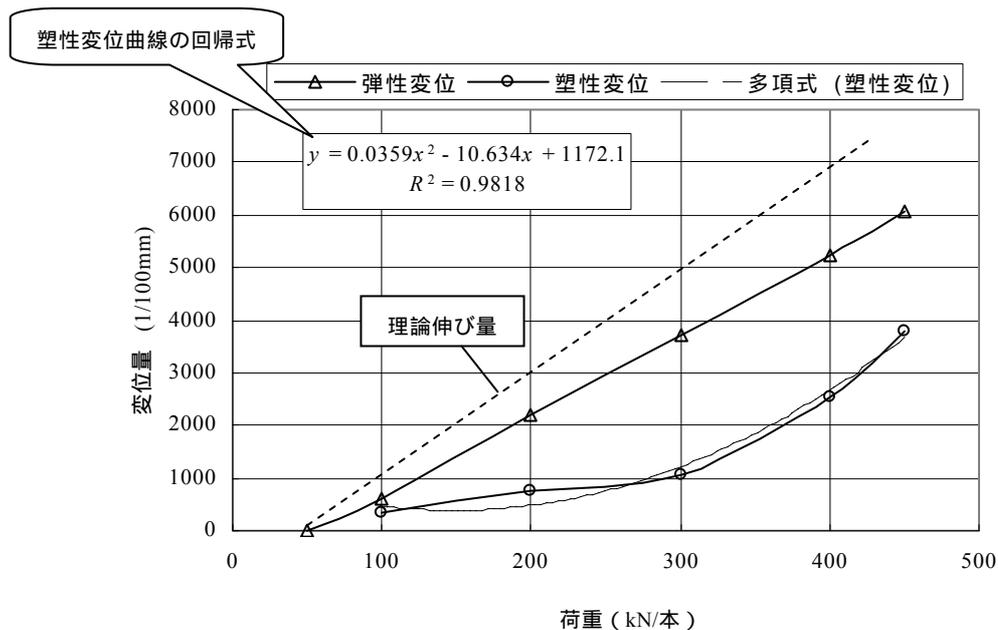


図 4.2 荷重 - 弾性変位・塑性変位曲線

表 4.1 引抜け量 (塑性変位) 測定値

荷重 kN/本	塑性変位量 $L$ mm	地盤拡径量 $h$ cm	有効応力 $N/mm^2 (\times 10^{-2})$
50	7.3	0.05	26.0
100	4.7	0.04	50.6
150	3.8	0.03	75.3
200	4.8	0.04	101.4
250	7.6	0.06	130.5
300	12.1	0.09	164.7
350	18.5	0.14	207.2
400	26.6	0.20	263.0
450	36.6	0.27	342.3

記号等に対する説明は次の通りである。

塑性変位量  $\Delta L$  : 荷重-塑性変位曲線の回帰式より算出 (図 4.2)

有効支圧面積 :  $A = d_B \pi n \cdot (10 - \Delta L)$

$d_B$  : アンカー孔径

$n$  : くさびユニット数 (くさびユニット長 10cm)

上記例では  $n = 10$  ケ (= アンカー体長 1m)

地盤拡径量 :  $\Delta h = (7.5/100 \cdot \Delta L)$

有効応力 :  $\sigma' = P/A$

$P$  : 緊張力

3. 荷重-地盤拡径量，引抜き量の関係図を作成する（図 4.3）.

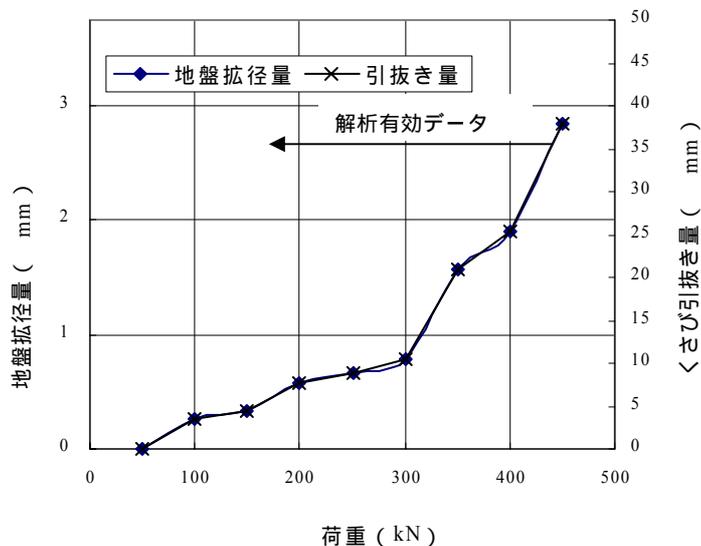


図 4.3 地盤拡径量・くさび引抜き量 - 荷重曲線

4. これまでの実験より，くさび機能は荷重 100～200kN/本以降に大きく作動することが確認されており，これ以降のデータ（図 4.4）を用いて地盤拡径量 - 有効応力曲線図を作成する（図 4.4）.

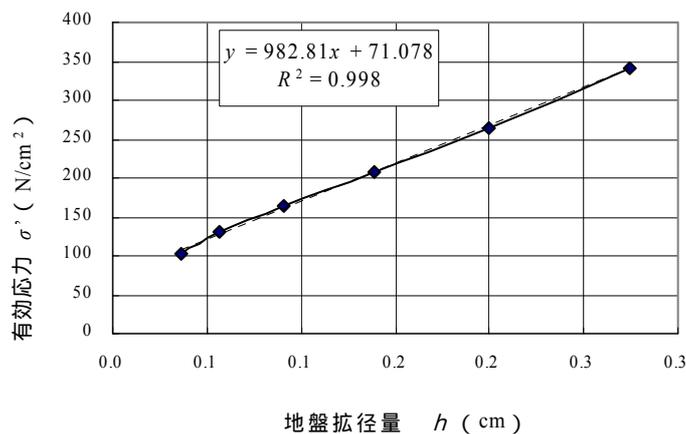


図 4.4 地盤拡径量 - 有効応力曲線

この図に示す回帰直線の勾配が求めるくさび地盤反力係数である ( $k=982.8\text{N/cm}^3$ ).

現在まで行った実験でのくさび地盤反力係数を表 4.2 に示す .

表 4.2 地質によるくさび地盤反力係数の値

現場	No	定着長 m	引抜き耐力	一軸圧縮強度 $q_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	地盤反力係数 $k$ (N/cm <sup>3</sup> )	アンカー孔径 (mm)	掘削 方向	定着地盤 の地質	グラウト 加圧方法	備 考
本庄	1	1.0	640	2.14	807	115	鉛直	風化凝灰岩	不圧	アンカー体をバッカーで被覆 アンカー体をバッカーで被覆
	2	1.0	580		775	135	鉛直			
	3	1.0	500		593	135	鉛直			
古江	1	2.0	560	1.06	537	115	鉛直	泥岩	不圧	
	2	2.0	560		564	115	鉛直			
	3	2.0	620		615	115	鉛直			
	4	2.0	610		435	115	鉛直			
	5	2.0	650		392	115	鉛直			
来待	1	1.0	1000以上	10.35	1048	115	鉛直	砂岩	不圧	RQD = 90
	2	1.5	1000以上		1122	115	鉛直			
	3	2.0	1000以上		981	115	鉛直			
平田 細原	1'	0.5	550	7.90	1100	115	斜孔	砂岩	不圧	RQD = 0 ~ 10 , ローター ボーリング掘削
	2	1.0	870		991	115	斜孔			
	3	1.5	890		768	115	斜孔			
	1'	0.5	310		1452	66	斜孔		バッカー	RQD = 0
	2'	1.0	445以上		1110	66	斜孔			RQD = 12
	3'	1.5	445以上		974	66	斜孔			RQD = 10
魚瀬	1	1.0	800	6.70	1040	115	斜孔	砂岩・頁岩	ケーシング	RQD = 30 ~ 40 , ローター バーカッション掘削
	2	1.0	750	8.30	958	115	斜孔			

表 4.2 より , アンカー体設置地盤の一軸圧縮強度とくさび地盤反力係数の関係が図 4.5 のように得られる .

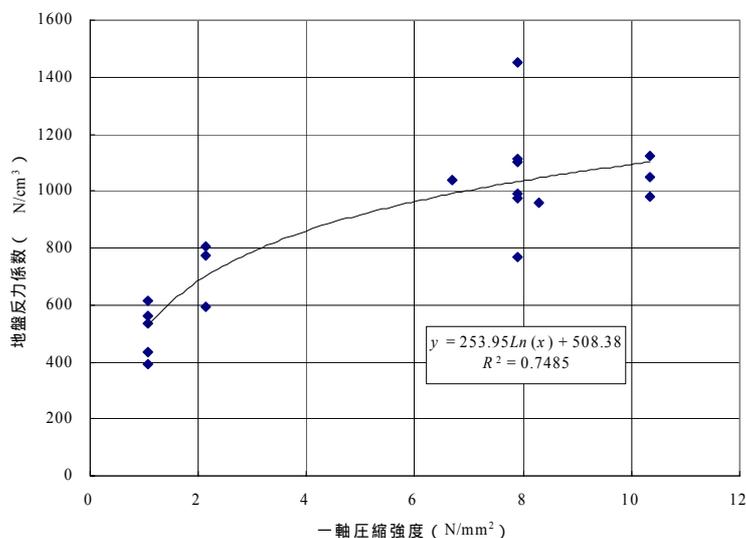


図 4.5 一軸圧縮強度 - くさび地盤反力係数関係図

これより , 任意の一軸圧縮強度に対するくさび地盤反力係数を求めることができるが , 今後多くのデータ収集により精度を高める必要がある .

### 4.1.5 アンカー体に作用するくさび応力について

図 4.6 はアンカー体周辺地盤への応力の伝達状況を測定したものであり、アンカー力が作用する区間の平均応力は図 4.7 のように示される。これによれば、アンカー体から 20cm 程度離れた地盤ではほとんどアンカー力が伝わっていないことが分かる。

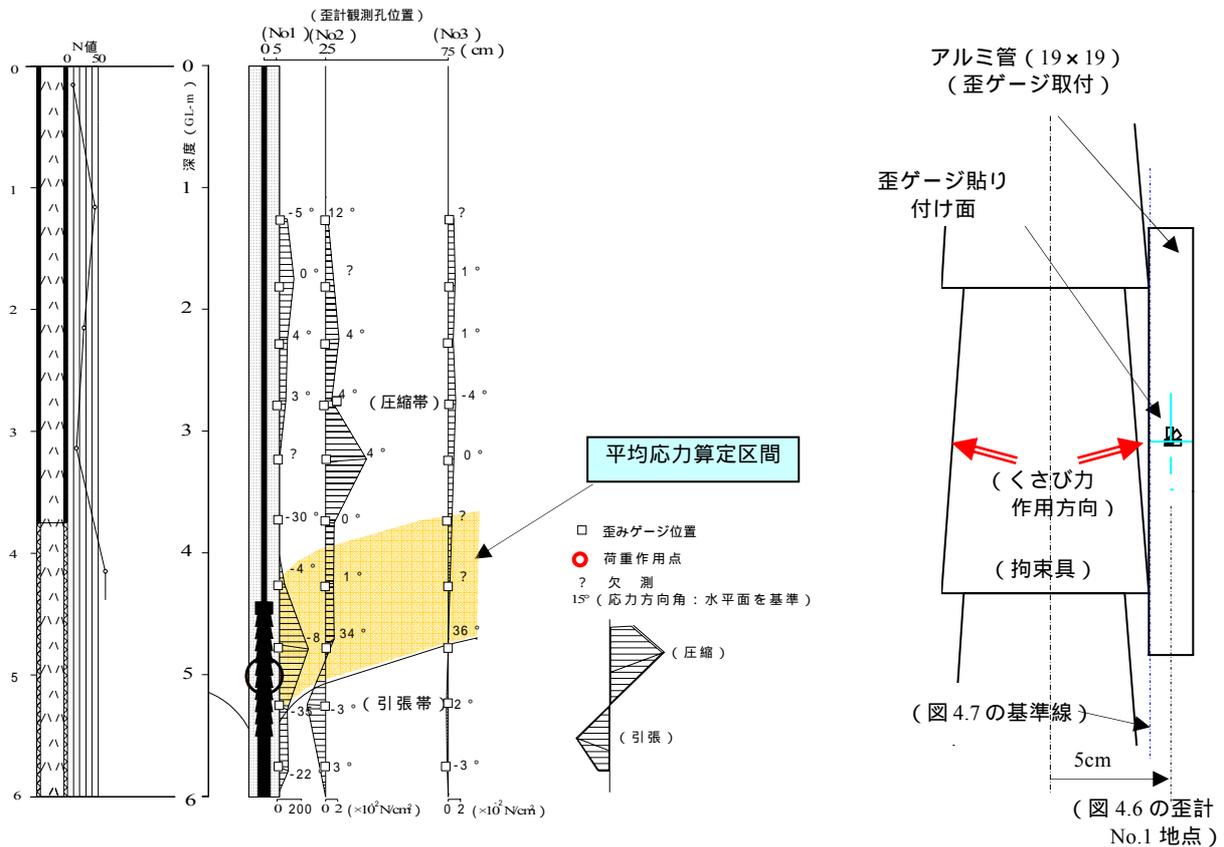
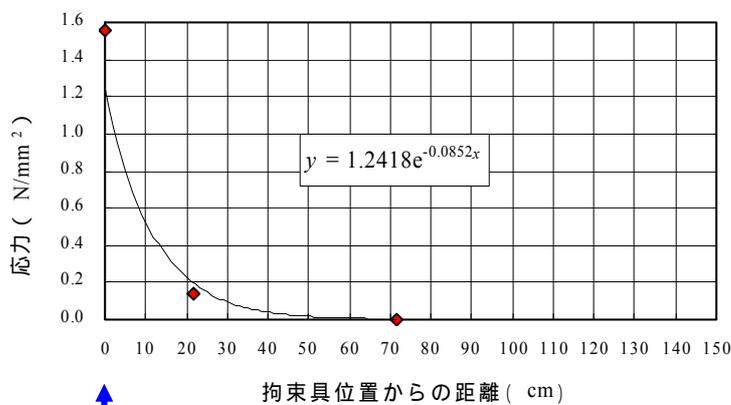


図 4.6 拘束具周辺地盤の応力実測値 (荷重 600kN/本時)  
(本庄地区：風化凝灰岩  $q_u = 3.8\text{N/mm}^2$ )

図 4.6-1 歪みゲージ設置図



(図 4.6-1 の基準線位置)

距離 (cm)	平均応力 ( $\text{N/mm}^2$ )
0	1.560
21.5	0.144
71.5	0.003

図 4.7 拘束具周辺地盤の応力実測値 (荷重 600kN/本時)  
(本庄地区：風化凝灰岩  $q_u = 3.8\text{N/mm}^2$ )

表 4.3 は図 4.7 に示したアンカー体周辺地盤に働くくさび力を算出したものであり、これを図化したものを図 4.8, 4.9 に示す。

表 4.3 アンカー体周辺地盤のくさび力

荷重 $P_a$ (kN/本)	深度GL-m	アンカー体沿い			25cm位置		
		応力 (N/mm <sup>2</sup> )	くさび力 $W$ (kN)	$W/P_a$	応力 (N/mm <sup>2</sup> )	くさび力 $W$ (kN)	$W/P_a$
150	4.25	0.05	41	27%	0.01	24	16%
	4.75	0.21			0.02		
300	4.25	0.15	96	32%	0.03	55	18%
	4.75	0.46			0.04		
450	4.25	0.54	414	92%	0.14	212	47%
	4.75	2.10			0.13		
600	4.25	0.60	491	82%	0.23	314	52%
	4.75	2.53			0.17		

(くさび力の計算例)

アンカー体沿いのくさび力について、

- ・アンカー体沿いの平均応力  $(0.60 + 2.53) / 2 = 1.565$  N/mm<sup>2</sup> (図 4.7)
- ・拘束具長 100cm
- ・拘束具中心から歪みゲージまでの距離 5cm (図 4.6-1 参照)
- ・くさび力  $W$

$$W = (5 \times 2) \times \pi \times 100 \times (1.565 \times 100) = 491 \text{ kN}$$

図 4.8 より、くさび力は荷重 400kN/本以降で大きくなっており、荷重初期段階では主に摩擦抵抗が主体的に働いていることを示すものと思われる。

図 4.9 はアンカー力がくさび力としてどの程度周辺地盤に伝わったかを示すものであり、アンカー体沿いの場合、荷重初期段階ではアンカー力の 30%程度であるが、荷重 400kN/本 ~ 600kN/本では概ねアンカー力がそのままくさび力として伝わっていることがわかる。

アンカー体より 25cm 離れた地盤内では、荷重 400kN/本 ~ 600kN/本の段階でもアンカー力の 50%程度となっている。

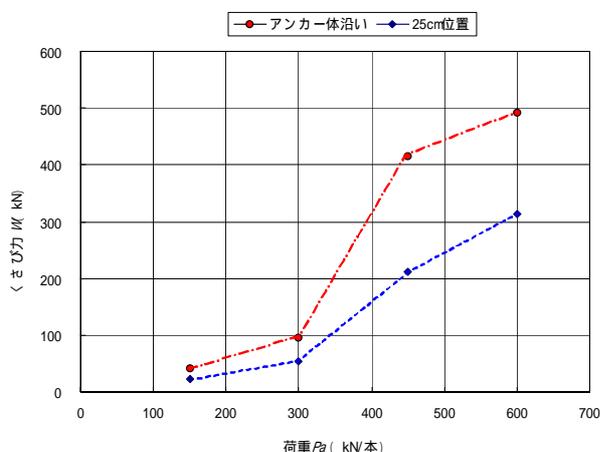


図 4.8 アンカー力とくさび力の関係

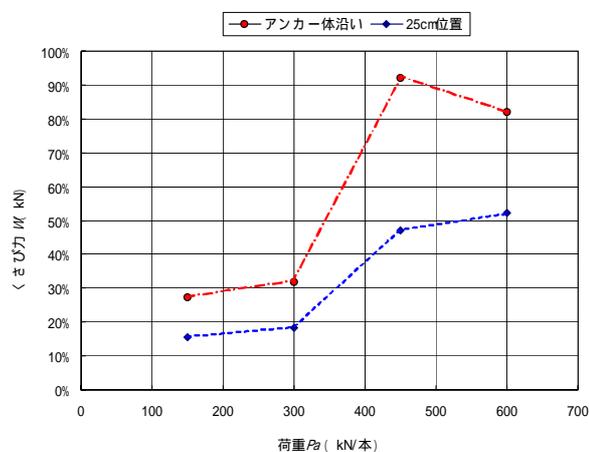


図 4.9 くさび力の伝達割合 (くさび力/荷重)

#### 4.1.6 極限引き抜き耐力の比較

拘束具を持たない摩擦-引張型アンカーとの引き抜き耐力比較試験を行った。

##### (1) 室内実験

###### 1 試験仕様

鋼管 ( $\phi 139.8\text{mm}$ ) 内に tendon をセットし、空隙部をセメントミルクで充填した。これをダクタイル管内にセット後、周囲をモルタルで充填した。定着長はくさび型、摩擦-引張型とも 1.5m、引張材は PC 鋼より線  $\phi 15.2\text{mm} \times 5$  本とした。

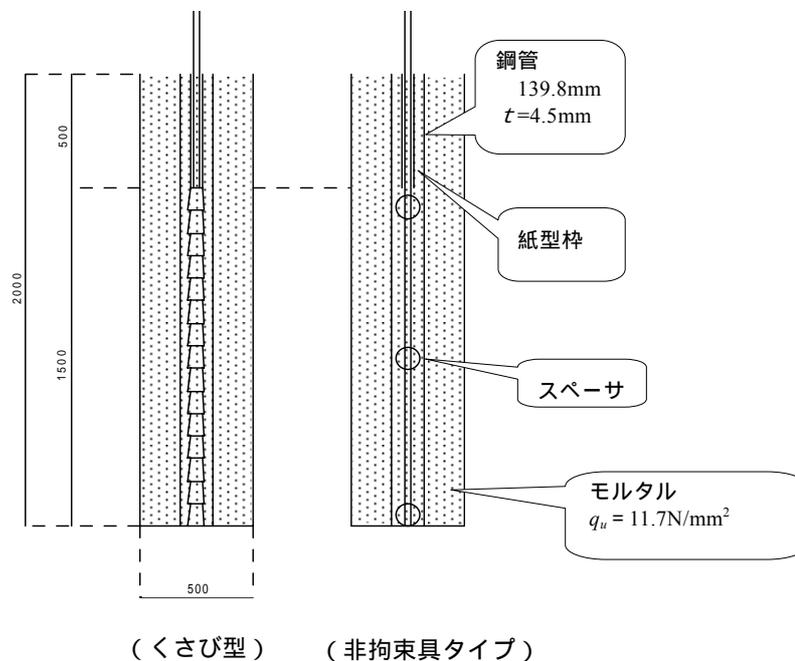


図 4.10 鋼管内での引き抜き試験

###### 2 試験結果

鋼管内での引き抜き耐力の比較は表 4.4 のようであり、くさび型は荷重 450/本で鋼管外壁に沿って引抜けたのに対し (図 4.10, 写真 4.1), 摩擦 - 引張型では荷重 50kN で簡単に引抜けており (図 4.11, 写真 4.2), くさび形拘束具による摩擦抵抗増強効果が認められる。

表 4.4 引抜き耐力比較試験結果（鋼管内で実施）

アンカー形式	試験 No.	定着地盤の地質	一軸圧縮強度 $q_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	定着長 m	極限引抜き耐力 kN/本	1m 当たりの引抜き耐力 kN/本	平均支持力比（摩擦-引張型を基準）
くさび型	11a	モルタルを充填したダクタイル管（500mm）に鋼管（ $\phi$ 139.8mm, $t=4.5$ mm）を埋設し，内部にアンカー体を造成	11.7（鋼管外部のモルタル）	1.5	450	300	9
摩擦（引張型）	11b	$\phi$ $\phi$		1.5	50	33	1

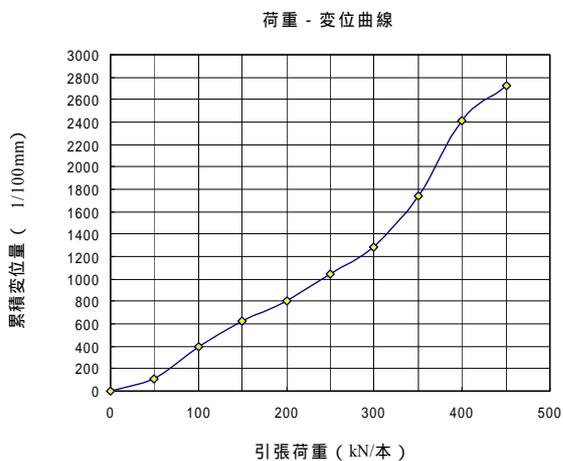


図 4.11 荷重 - 変位曲線（くさび型）

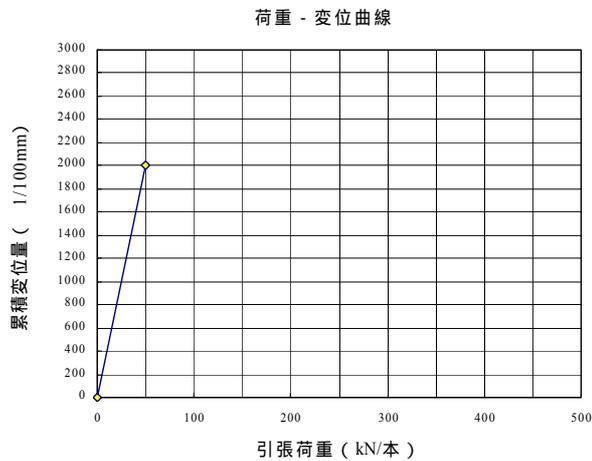


図 4.12 荷重 - 変位曲線（摩擦 - 引張型）



写真 4.1 くさび型



写真 4.2 摩擦 - 引張型

#### 4.1.7 泥岩層内での実験

地すべりが多発する軟質な泥岩層内で、摩擦 - 引張型アンカーとの引抜き耐力の比較試験を行った。

##### 1 実験仕様

定着地盤：泥岩  $q_u = 1.1\text{N/mm}^2$

掘削方向：鉛直

掘削長：5～6m

掘削径： $\phi 115\text{mm}$

定着長：2m（くさび型）、3～4.5m（摩擦 - 引張型）、

引張材：PC 鋼より線  $\phi 15.2\text{mm} \times 5$  本

##### 2 試験孔設置図

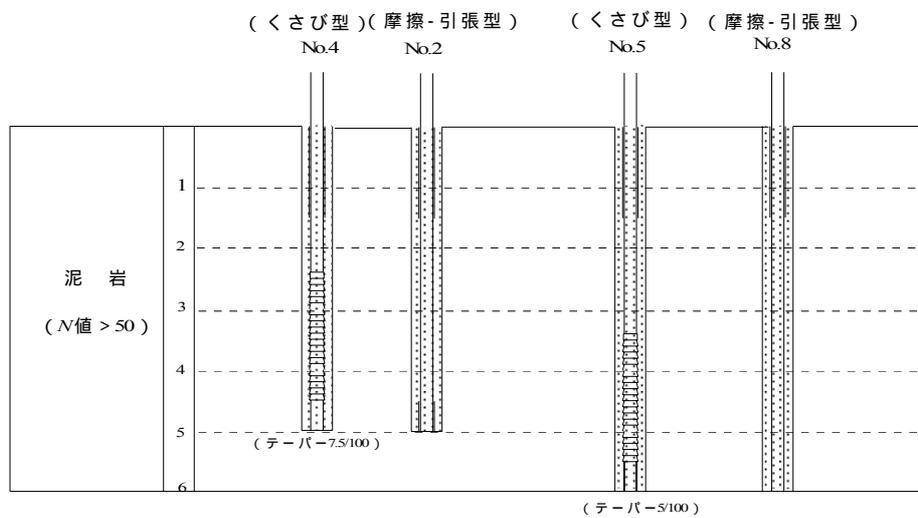


図 4.13 試験孔設置標準図(古江地区)

3 試験結果

泥岩での引抜き試験結果は表 4.5 のようであり、くさび型の方が摩擦（引張）型より 3 倍程度の引抜き耐力を確認しており、くさび形拘束具による摩擦力増強効果として認められる。

表 4.5 引抜き耐力比較試験結果

アンカー形式	試験 No	定着地盤の地質	一軸圧縮強度 $q_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	定着長 m	極限引抜き耐力 kN/本	1m 当たりの引抜き耐力 kN/本	平均支持力比（摩擦-引張型を基準）
くさび型	1	泥岩	1.1	2	620	310	3.1 (平均 285)
	3				560	280	
	4				610	305	
	5				560	280	
	6				420	210	
	7				650	325	
摩擦（引張型）	2			3	4.5	350	117
	8	300	67				

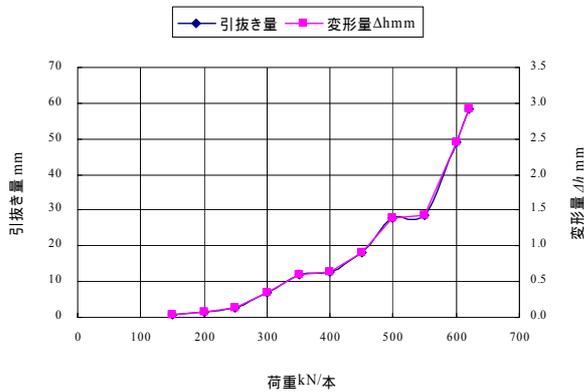


図 4.14 No.1 (くさび型：テーパ-5/100)

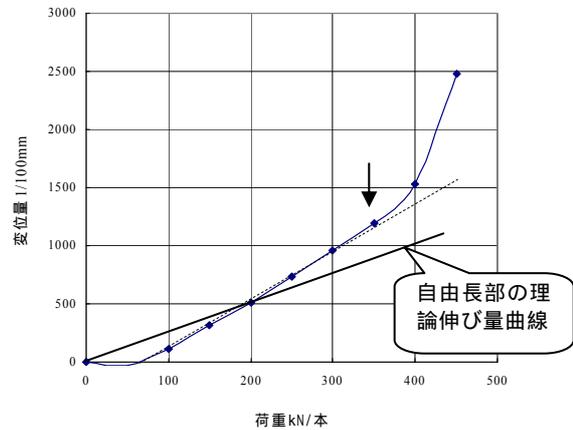


図 4.15 No.2 (摩擦-引張型)

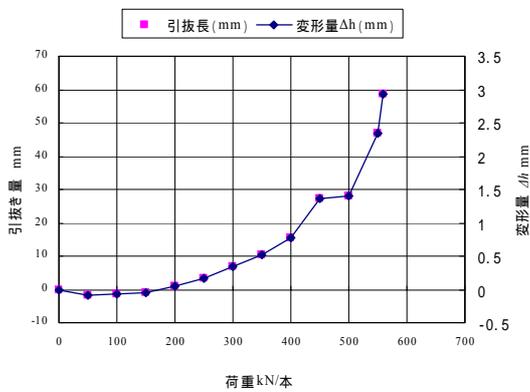


図 4.16 No.3 (テーパ-5/100)

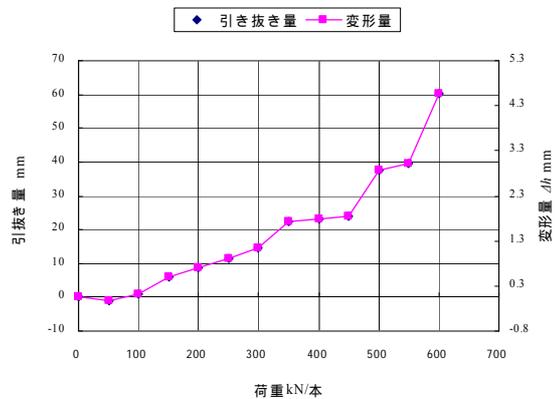


図 4.17 No.4 (テーパ-7.5/100)

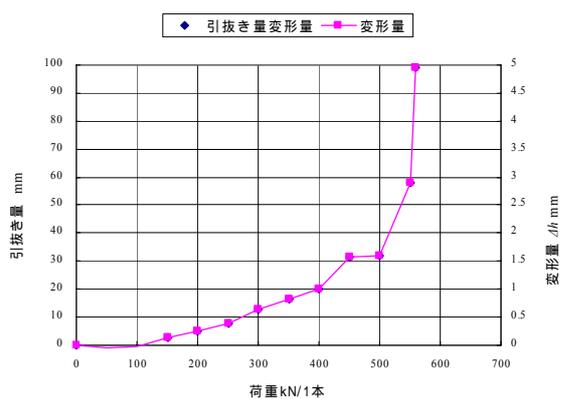


図 4.18 No.5 (テーパ-5/100)

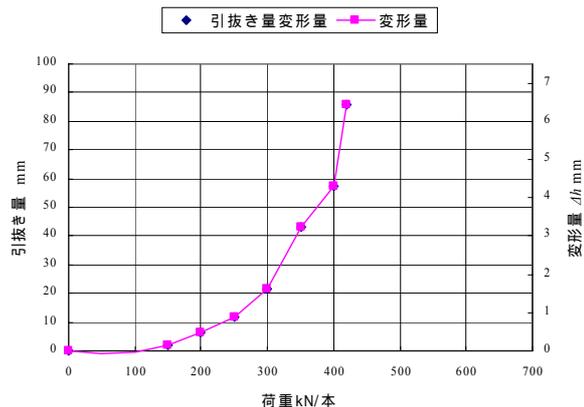


図 4.19 No.6 (テーパ-7.5/100)

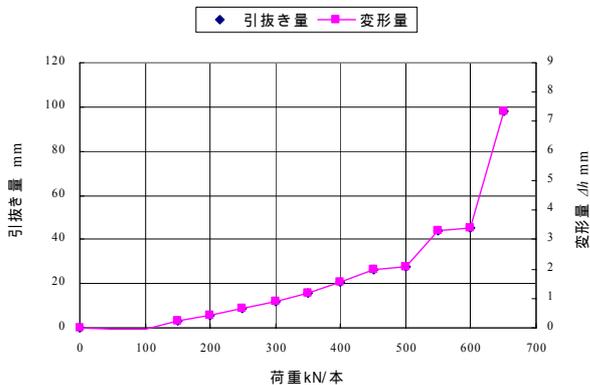


図 4.20 No.7 (テーパ-7.5/100)

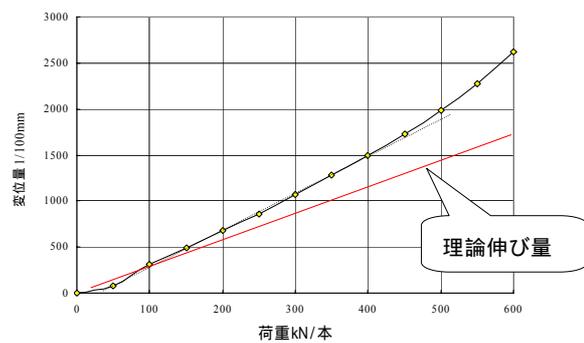


図 4.21 No.8 (摩擦-引張型)

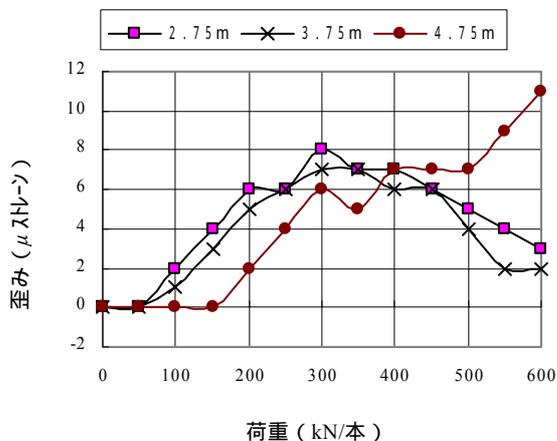


図 4.22 No.8 摩擦 (引張) 型アンカー体沿いの歪み状況

[摩擦 (引張) 型の引抜き荷重について]

図 4.21 では全般に理論伸び量を上回る変位を示し、荷重 400kN/本付近からはグラフが上昇カーブを描くなど、アンカー体の降伏を示唆している。

一方、図 4.22 はアンカー体沿いの歪み状況を測定したものであり、すでに荷重 200 ~ 300kN/本付近より、歪み累積に乱れが認められる。よって少なくとも荷重 400kN/本付近で降伏したものと判断される。

#### 4.1.8 凝灰岩層内での実験

ボーリングコアが礫混じり土となる脆弱な風化凝灰岩層内で、摩擦（引張）型との引抜き耐力の比較試験を行った。

##### 1 実験仕様

定着地盤：風化凝灰岩（ $q_u = 3.8\text{N/mm}^2$ ， $\text{RQD} = 0$ ）

掘削方向：鉛直

掘削長：5～6m

掘削径： $\phi 115\text{mm}$

定着長：くさび型 1m，非拘束具型 1.5m

引張材：PC 総ネジ異形棒鋼  $\phi 36\text{mm}$ ，5m/本

##### 2 試験孔設置図

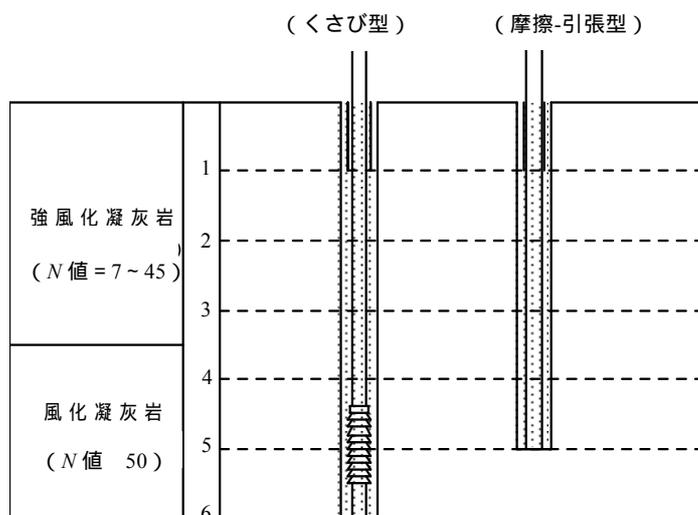


図 4.23 試験孔設置標準図（本庄地区）

### 3 試験結果

風化凝灰岩層内での引抜き試験結果は表 4.6 のようである。

くさび型は摩擦 - 引張型の 3.7 倍の引抜き耐力を確認しており、室内実験および泥岩層内での実験と同様に、摩擦(引張)型より全般に大きな摩擦抵抗が得られることが確認された。

表 4.6 引抜き試験結果(風化凝灰岩)

アンカー形式	試験 No	定着地盤の地質	一軸圧縮強度 $q_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	定着長 m	極限引抜き耐力 kN/本	1m 当たりの引抜き耐力 kN/本	平均支持力比(摩擦-引張型を基準)
くさび型	1	風化凝灰岩	3.81	1	620	620	3.7
摩擦(引張型)	2			1.5	250	167	1

#### くさび型アンカー

図 4.24 のように、荷重 620kN/本で急激に引抜けたが、アンカー体より 25cm 離れた地盤の応力状態(図 4.25)からは、荷重 600kN/本までに荷重作用点が変わるようすは見られない。

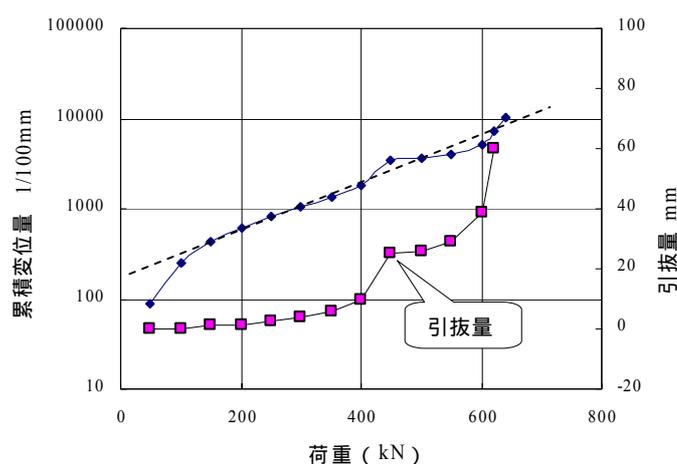


図 4.24 荷重 - 変位曲線(くさび型:テーパ-7.5/100)

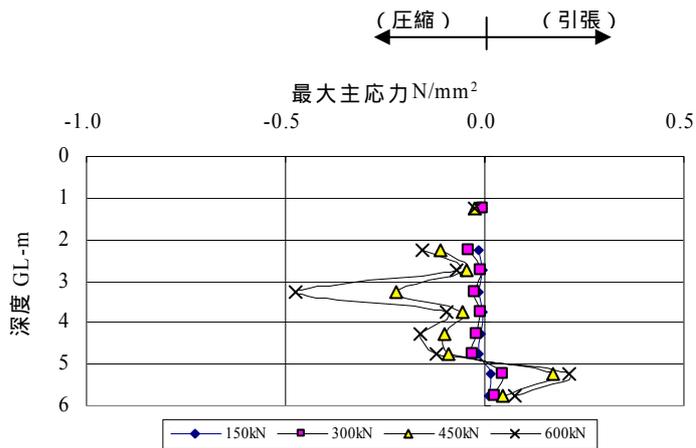


図 4.25 荷重別主応力曲線（くさび型，テーパ7.5/100）

**摩擦 - 引張型アンカー**

これに対し，摩擦（引張）型では荷重 250kN/本付近より理論伸び量曲線から乖離する変位を示し（図 4.25），荷重別主応力曲線（図 4.26）では荷重 400kN/本以降，徐々に荷重作用点が深層化する傾向を示している．

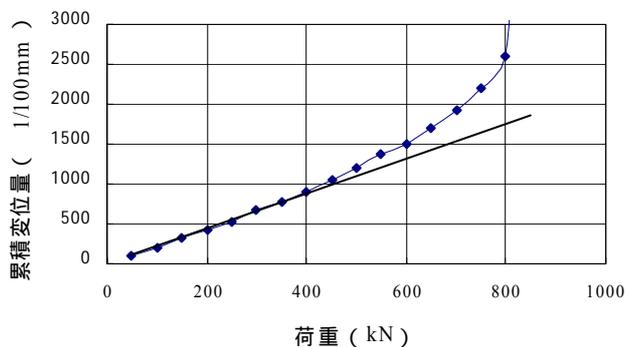


図 4.26 荷重 - 変位曲線（摩擦 - 引張型）

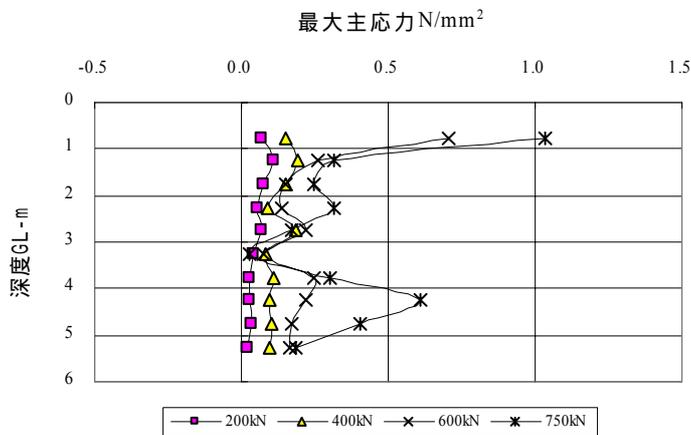


図 4.27 荷重別主応力曲線（摩擦 - 引張型）  
（アンカー体より 25cm 離れた地盤内）

さらに、荷重 - 主応力方向角曲線図（図 4.28）によれば、摩擦（引張）型は荷重 250kN/本以降、主応力方向角が大きく乱れており、上記状況（図 4.26, 4.27）を裏付ける結果となっている。これに対し、くさび型では引抜け（荷重 620kN）に至るまで、主応力方向角に乱れが無く、安定した定着状態を示している。

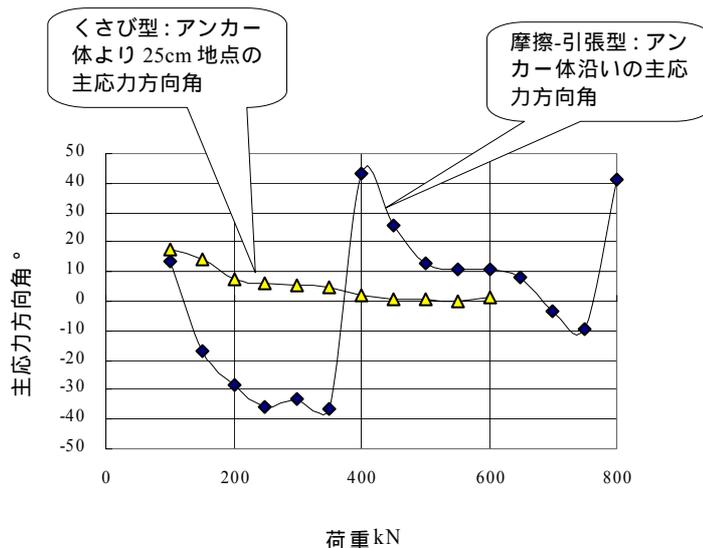


図 4.28 荷重 - 主応力方向角曲線

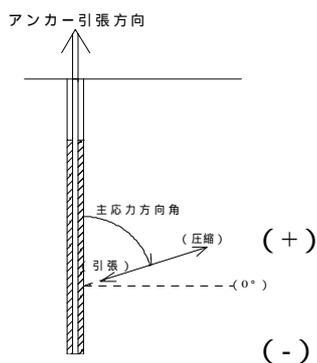


図 4.29 主応力方向角説明図

## 5. 特 許

- ・ 公開中：特許公開 2005-48469
- ・ 発明の名称：アンカー支持体
- ・ 出願人：株式会社日西テクノプラン
- ・ 発明者：瀬崎茂（同社内）
- ・ 識別番号：303030955

## 5. 参考資料

### (著 書)

1. 浜野浩幹・瀬崎茂：くさび型アンカー工法，理工図書（2006.5）.
2. 浜野浩幹・瀬崎茂：くさび型アンカー工法 - 設計・施工マニュアル - ，くさび型アンカー工法研究会，2005.11 .

### (論 文)

3. 瀬崎 茂，浜野 浩幹，平嶋 健一：新しい支圧型アンカーの提案とその支持機構，地盤工学会論文報告集，2005.10 .

### (研究発表)

4. 和田 淳史，瀬崎 茂，佐竹亮一，浜野 浩幹：クサビ型アンカーの支持力に関する実験的検討，土木学会中国支部 第 56 回研究発表会，2004.5 .
5. 瀬崎 茂，浜野 浩幹：くさび型アンカーの支持機構，第 39 回地盤工学会研究発表会，2004.7 .
6. 小瀧 辰人，瀬崎 茂，浜野 浩幹：くさび型アンカ - の支持力と応力分布，地すべり学会第 43 回研究発表会講演集，pp.189～192，2000.8 .
7. 佐竹 亮一，瀬崎 茂，和田 淳史，浜野 浩幹：くさび型アンカー開発の基礎的実験，土木学会全国大会，2004.9 .
8. 瀬崎 茂，峯谷 正，新原 博史，池田 靖彦，浜野 浩幹：くさび型アンカーの特徴，全地連技術 e フォーラム講演集，No.84，2004.9 .
9. 瀬崎 茂：荷重分散式支圧型（くさび型）アンカーの紹介，中国地質調査業協会島根県支部「協会だより」（第 15 号），2004.11 .
10. 瀬崎 茂，小瀧 辰人，峯谷 正，浜野 浩幹：支圧型アンカー（くさび方式）の設計方法，第 40 回 地盤工学会研究発表会，2005.7 .
11. 瀬崎 茂，小瀧 辰人，峯谷 正，浜野 浩幹：アンカー形式による支持機構と支持力の違い，日本地すべり学会 第 44 回研究発表，2005.8 .
12. 池田 靖彦，瀬崎 茂，浜野 浩幹：アンカー体の荷重分散方法，地すべり対策技術フォーラム，2005.10 .

### (報 文)

13. 荷重分散式支圧型（くさび型）アンカーの紹介，中国地質調査業協会島根県支部「協会だより」，pp.13～16，2004.11.
14. くさび型アンカー工法の設計 アンカー体長に関する地盤反力係数の実態と対応 ，中国地質調査業協会島根県支部「協会だより」，pp.19～22，2005.11.
15. くさび型アンカー工法，土木技術，2006.5 .