

2006年6月 NETIS No.CG-050001-V

2007年5月 建設技術審査証明(砂防技術)

くさび型アンカー工法設計施工指針

(改定第3版)



平成19年8月

くさび型アンカー工法研究会

建設技術審査証明書



技術名称：くさび型アンカー工法

技術登録 0701 号

(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。

(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減縮抑制を図る。
- (2) アンカー体に作用する応力の分散を図ることで、局部破壊を抑制する。

建設技術審査証明事業（砂防技術）実施要領に基づき、状況のあった「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、開発目標に關して審査した結果、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、 tendon にダグタイ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、長年にわたり耐久性を保持できると認められる。

自立柱においては、 tendon（高密度ポリエチレン製特殊樹脂加工とれた PVC 膜より製）はガラスを充填したポリエチレンパイプで被覆され、また各部は、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、長年にわたり耐久性を保持できると認められる。

(2) 構造性能（圧入方式）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、長年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、本工法はかけ傾れ、地すべり等の斜面安定対策工に適用であると認められる。

2. 審査証明の前提

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 島根県松江市東田町 1329-1

はじめに

くさび型アンカー工法は平成 19 年 5 月，財団法人 砂防・地すべり技術センターより建設技術審査証明（砂防技術）を取得しました．これに基づき設計マニュアルの一部見直しを行い，ここにその改訂版を発行することとしました．

(1) 技術審査の結果

審査機関：財団法人 砂防・地すべり技術センター

評価内容

「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」

付言として

「本工法は，アンカー体拘束具がくさび形状であることから，摩擦型アンカーとしては，より抵抗性能が発現されると考えられる」

(2) 主な改訂内容

アンカー体長の計算方法

追加試験等で得られた新知見の紹介

今後ともさらに技術改良を重ねてまいる所存ですので，関係者各位には引き続きご指導賜りますよう，よろしくお願い申し上げます．

平成 19 年 8 月

くさび型アンカー工法研究会

会長 田中 栄一

目 次

(はじめに)

第1章 くさび型アンカーの開発概念	1
1.1 摩擦型アンカーの問題点	1
1.2 解決策	2
1.3 技術審査証明内容	2
第2章 用語・記号	3
2.1 用語	3
2.2 記号	8
第3章 くさび型アンカーの支持機構と性能	9
3.1 アンカー体に求められる条件	9
3.2 アンカー体拘束具の構造	10
3.3 アンカー体の支持機構	13
3.3.1 アンカー体拘束具の引抜き変位と引抜き耐力の関係	13
3.3.2 アンカー体拘束具によるアンカー力の作用方向	14
3.3.3 アンカー体グラウトの亀裂状況	14
3.3.4 アンカー体周辺地盤の変形様式	16
3.3.5 アンカー体周辺地盤の変形範囲	17
3.3.6 アンカー体周辺地盤の変形量	18
3.3.7 アンカー力とくさび力の関係	21
3.3.8 設計荷重時のアンカー体周辺地盤に作用する応力	22
3.4 アンカー体の性能	23
3.4.1 アンカー体の荷重分散効果	23
3.4.2 アンカー体の引抜き耐力	24
3.4.3 超過荷重時の挙動	26
第4章 くさび型アンカーの設計	27
4.1 設計荷重と定着地盤の選定	27
4.2 設計の考え方	27
4.2.1 アンカー体の摩擦抵抗と引抜き耐力について	27
4.2.2 アンカー体長を求める方法	28
4.2.3 くさび型アンカー体の摩擦強度	29
4.3 摩擦強度に基づく設計方法	30
4.4 地盤反力度に基づく設計方法	31
4.4.1 設計上のメリット	31
4.4.2 くさび力の計算	31

4.4.3	アンカー体周壁における摩擦抵抗	31
4.4.4	アンカー体拘束具の引抜けに対する検討	32
4.4.5	アンカー体拘束具長の計算	32
4.4.6	アンカー体に負荷する応力の検討	32
4.4.7	拘束具埋設区間長	33
4.4.8	アンカー体長	33
4.4.9	地盤反力係数の求め方	33
4.5	アンカー体設計計算例	37
4.5.1	設計手順	37
4.5.2	設計条件	38
4.5.3	設計アンカー力の計算	39
4.5.4	摩擦強度に基づくアンカー体長の計算	40
4.5.5	地盤反力度に基づくアンカー体長の計算	42
4.6	経済性比較における留意点	44
4.6.1	摩擦強度について	44
4.6.2	アンカー孔径について	46
第5章 施工		49
5.1	施工手順	49
5.1.1	掘削	49
5.1.2	孔内洗浄	50
5.1.3	テンドンの組立加工	51
5.1.4	アンカー体設置手順	52
5.1.5	緊張・定着	54
5.1.6	充填注入	54
5.2	留意事項	54
第6章 試験		57
6.1	測定	57
6.1.1	一般	57
6.1.2	引抜き試験	57
6.1.3	多サイクル試験	58
6.1.4	1サイクル試験	60
6.2	地盤反力係数の求め方	61
6.2.1	測定データ	61
6.2.2	地盤拡径量の計算	63
6.2.3	地盤反力係数の計算	65
6.3	留意事項	66

第7章 材 料	69
7.1 掘削径	69
7.2 テンドン	71
7.2.1 規 格	71
7.2.2 テンドンの付着強度	72
7.2.3 スライダー内テンドンの所用定着長	72
7.2.4 テンドン固定試験	73
7.3 定着具	75
7.3.1 アンカーヘッド	76
7.3.2 くさび	76
7.3.3 アンカープレート	78
7.3.4 頭部ジョイント	78
7.3.5 オイルキャップ	79
7.4 アンカー体拘束具	79
7.4.1 スライダー	79
7.4.2 充填材	79
7.5 先端固定金具	80
7.5.1 連結調整金具	80
7.5.2 支圧プレート	81
7.5.3 グリップケース	81
7.5.4 キャップ	81
7.5.5 圧着グリップ	88
7.6 連結パイプ	83
7.7 グラウトホース	84
7.8 パッカー	85
7.9 グラウト材	85
第8章 防 食	87
8.1 ストランド	87
8.2 アンカー体	89
8.3 自由長部	91
8.4 アンカー頭部	91
付録 SI 単位系について	93
参考文献	95

(標準構造図 300Ws, 800Ws)

第1章 くさび型アンカーの開発概念

1.1 摩擦型アンカーの問題点

一般的なアンカーの定着方式には摩擦型，支圧型があり，現在最も普及しているのは摩擦型である．

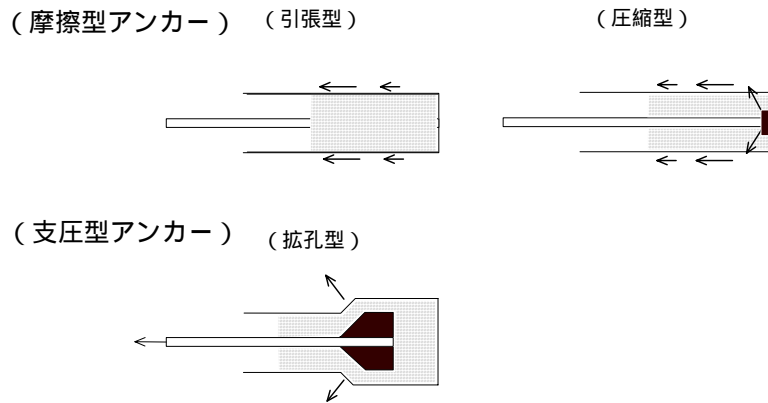


図 1.1 アンカー形式区分

しかし，これらには以下のような問題点がある．

- (1) 荷重分散
アンカー体の荷重分散が出来ないため，応力が集中する区間から破壊しやすい．
- (2) 合理的なアンカー体長の算出
摩擦型アンカーでは引抜き耐力がアンカー体長に比例しないため，合理的な設計が困難である．
- (3) アンカー体の剥離
摩擦（引張）型アンカーではアンカー体に引張力が働くため，これが剥離しやすい．

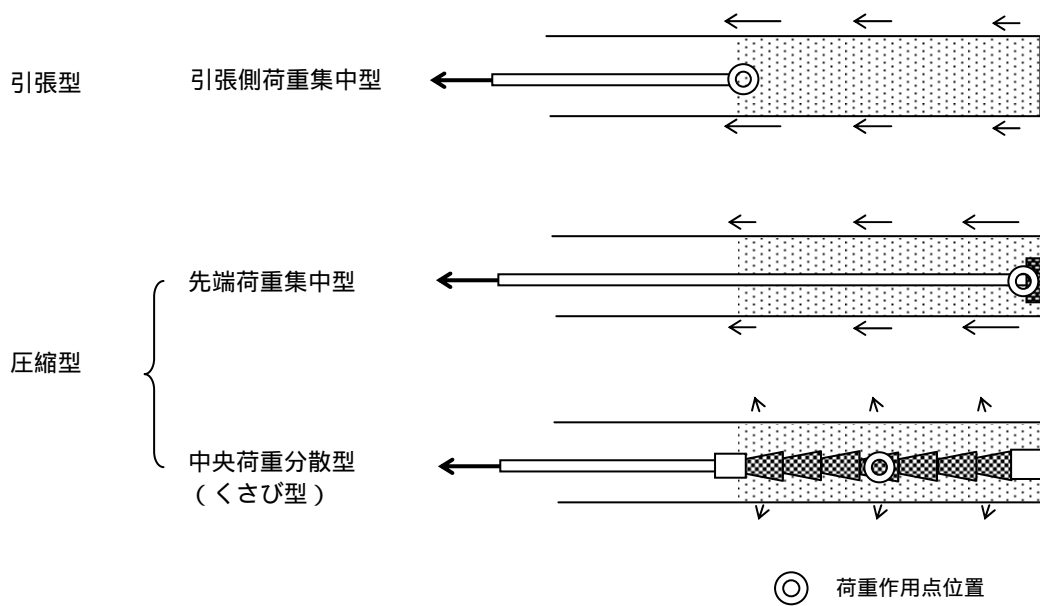


図 1.2 摩擦型アンカー体の応力状態

1.2 解決策

上記問題点の解決策として、

- (1), (2)に対しては、アンカー体に負荷する荷重をより均等に分散することが不可欠である。
 (3)に対しては、アンカー体に圧縮力が働くようにする必要がある。

くさび型アンカーは、アンカー体拘束具をくさびとすることで、アンカー体全体により均等な荷重分散を図るとともに、アンカー体に圧縮力をもたらすことで上記問題点を解決しようとするものである（図 1.2）。

1.3 技術審査証明内容（砂防技術・財団法人 砂防・地すべり技術センター）

現在使用されているアンカー形式は図 1.3 のように分類される。くさび型アンカーは荷重分散が可能な“摩擦-圧縮型アンカー”に位置づけられ、“がけ崩れや地すべり等の斜面安定対策工に適切である”として認定を受けた。また構造性能（支圧方式）の耐久性として、“長期にわたり支圧が保持できる”とされている。

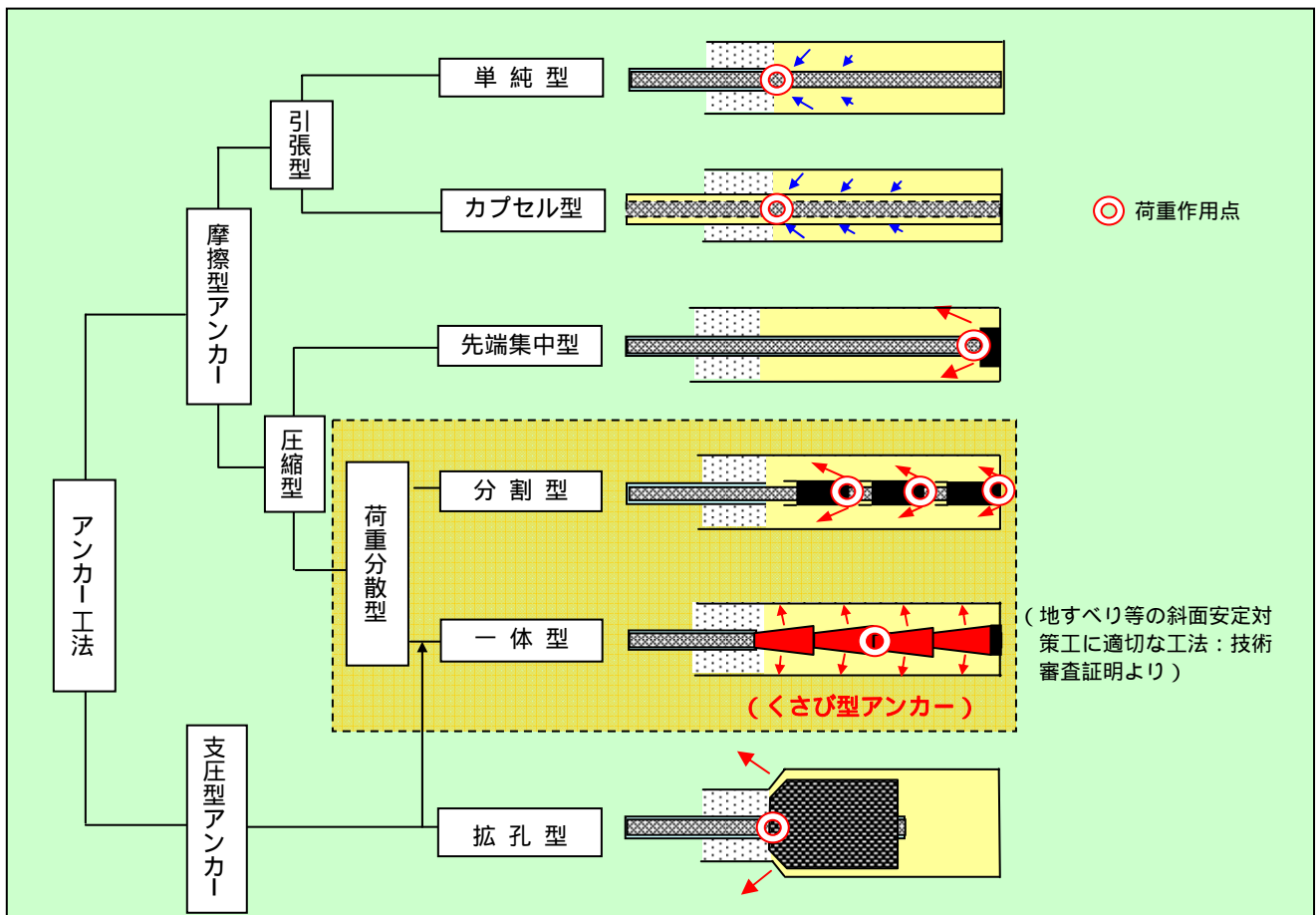


図 1.3 アンカー形式区分

第2章 用語・記号

本施工マニュアルで使用する用語は、次の地盤工学会基準に準拠する。

「グラウンドアンカー設計・施工基準」(JGS 4101-2000)

本基準は、地盤中に造成されるグラウンドアンカー（以下、単にアンカーということがある）、すなわち、永久アンカーと仮設アンカーの計画・調査・設計・施工・試験・維持管理に適用する。

2.1 用語

本基準で用いる主な用語は次のように定義する。

(1) グラウンドアンカー

グラウンドアンカーとは、作用する引張り力を適当な地盤に伝達するためのシステムで、グラウトの注入によって造成されるアンカー体、引張り部、アンカー頭部によって構成されるものである。

(2) 永久アンカー

永久アンカーとは、アンカーによって安定を図る永久構造物あるいは斜面等に用いるもので、腐食のおそれがある使用材料に対しては確実に防食・防錆を行ったものをいう。

(3) 仮設アンカー

仮設アンカーとは、工事中に仮設構造物等に加わる引張り力を地盤に加えて、その変位・変形量を抑制するために用いるもので簡易な防食・防錆を行ったもの、あるいはその必要がないものをいう。

(4) アンカー体

アンカー体とは、グラウトの注入により造成され、引張り部からの引張り力を地盤との摩擦抵抗もしくは支圧抵抗によって地盤に伝達するために設置する抵抗部分をいう。

(5) 引張り部

引張り部とは、アンカー頭部からの引張り力をアンカー体に伝達するために設置する部分をいう。

(6) アンカー頭部

アンカー頭部とは、構造物からの力を引張り力として引張り部に伝達させるための部分で定着具と支圧板からなる。

(7) テンドン

テンドンとは、引張り力を伝達する部材をいう。通常、PC 鋼線、PC 鋼より線、PC 鋼棒等、JIS あるいは学会の規格として認められたものが用いられている。

(8) アンカー自由長部シース

アンカー自由長部シースとは、テンドン自由長部の摩擦損失を防ぎ、かつ防食をはかるためのもので、フレキシブルなプラスチック管等が用いられる。

(9) アンカー体部シース

アンカー体部シースとは、アンカー体のテンドンの防食をはかるためのもので、筒状のもの等が用いられる。

(10) グラウト

グラウトとは、注入材あるいは注入材が固化したものをいい、セメント系グラウトと合成樹脂系グラウト等がある。

(11) アンカー体注入

アンカー体注入とは、アンカー体を地中で造成するために行うグラウトの注入をいう。

(12) 充填注入

充填注入とは、アンカー体の造成が終了した後行うグラウトの注入をいう。

(13) 定着具

定着具とは、テンドンのアンカー頭部で定着させる部材をいう。

(14) 支圧板

支圧板とは、定着具と台座あるいは構造物との間に設置される部材をいう。

(15) 台座

台座とは、テンドンの引張力を無理なく伝達させるため、支圧板と構造物あるいは地山との間に設ける部材をいう。

(16) 拘束具

拘束具とは、テンドンの変位を拘束あるいは抑制し、テンドンに加わる引張り力をアンカー体のグラウトに伝達するために使用する器具または装置をいう。

(17) アンカー長 (l_A)

アンカー長とは、アンカー全体の長さをいい、アンカー体長とアンカー自由長よりなる。

(18) アンカー体拘束具長 (l_a)

アンカー体拘束長とは、地盤に対して力の伝達が行われる拘束具の設置長さをいう。

(19) アンカー自由長 (l_f)

アンカー自由長とは、アンカー体からアンカー頭部のテンドン定着位置までの長さをいう。

(20) テンドン長 (l_s)

テンドン長とは、テンドンの全長をいい、テンドン拘束長、テンドン自由長および余長よりなる。

(21) テンドン拘束長 (l_{sa})

テンドン拘束長とは、テンドンに加わる引張り力をアンカー体のグラウトに伝達させるために必要な部分のテンドンの長さをいう。

(22) テンドン自由長 (l_{sf})

テンドン自由長とは、アンカー頭部に作用する引張り力を、アンカー体まで伝達させる部分のテンドンの長さをいう。

(23) 掘削長 (l_B)

掘削長とは、アンカー設置のために実際に掘削する全長をいう。

(24) アンカー孔径 (d_B)

アンカー孔径とは、削孔ビットの公称径をいう。

(25) 拡孔径 (d_E)

拡孔径とは、アンカー孔径を部分的に拡大する場合、あるいはアンカー体径を拡大する場合、その公称拡孔寸法をいう。

(26) アンカー体径 (d_A)

アンカー体径とは、アンカー体の直径をいう。

(27) アンカー傾角 (α)

アンカー傾角とは、アンカーと水平面とのなす角をいう。

(28) アンカー水平角 (θ)

アンカー水平角とは、構造物の基準とする鉛直面とアンカー打設方向の鉛直面のなす角をいう。

(29) アンカーの耐久性

アンカーの耐久性とは、アンカーあるいはその一部が腐食あるいは劣化に耐えられる性能をいう。

(30) 防錆・防食

防錆とは、鋼材の製造時の錆を除去すると同時に、錆が発生しないように工場で処置することをいい、防食とは、鋼材の錆が進行しないように処置することをいう。

(31) 防食用材料

防食用材料とは、アンカーに用いる鋼材の錆または腐食を防止するために使用する材料をいう。

(32) 頭部キャップ

頭部キャップとは、アンカー頭部定着具の保護と防食のために、これを覆うとともに防食用材料が充填でき、かつ管理点検時には取外しが可能なものをいう。

(33) アンカー試験

アンカー試験には、基本調査試験、品質保証試験およびその他の試験がある。

(34) 基本調査試験

基本調査試験とは、アンカーの設計のために実施するもので、引抜き試験と長期試験がある。

(35) 品質保証試験

品質保証試験とは、実際に用いるアンカーの全部または一部に対して行うもので、多サイクル確認試験、1サイクル確認試験のほか、定着時緊張力確認試験等がある。

(36) アンカー力 (P_0)

アンカー力とは、アンカーから地盤に伝達されている力をいう。

(37) 極限アンカー力 (T_u)

極限アンカー力とは、アンカーに終局限界状態の破壊が生じる力をいい、テンドンの極限引張り力、テンドンの極限拘束力およびアンカーの極限引抜き力のうち小さい方で決まる。

(38) テンドンの極限引張り力 (T_{us})

テンドンの極限引張り力とは、テンドンに用いる鋼材の JIS に定める引張り荷重、あるいは土木学会規格に定める連続繊維補強材の保証耐力等に相当するものをいう。

(39) テンドンの極限拘束力 (T_{ub})

テンドンの極限拘束力とは、テンドンあるいはテンドンに取り付けた拘束具とアンカー一体のグラウトとの間に生じている付着、摩擦もしくは支圧に終局限界状態の破壊が生じる力をいう。

(40) アンカーの極限引抜き力 (T_{ug})

アンカーの極限引抜き力とは、地盤とアンカー一体との間に生じている付着、摩擦もしくは支圧に終局限界状態の破壊が生じる力をいう。

(41) テンドンの降伏引張り力 (T_{ys})

テンドンの降伏引張り力とは、テンドンに用いる鋼材の JIS に定める降伏点から求められる荷重、または降伏点規格値を求めたときの荷重に相当するものをいう。

(42) 許容アンカー力 (T_a)

許容アンカー力とは、テンドンの許容引張り力、テンドンの許容拘束力およびアンカーの許容引抜き力のうち小さい方をいう。

(43) テンドンの許容引張り力 (T_{as})

テンドンの許容引張り力とは、テンドンの極限引張り力またはテンドンの降伏引張り力を、それぞれの安全率で除したもののうち小さい方をいう。

(44) テンドンの許容拘束力 (T_{ab})

テンドンの許容拘束力とは、テンドンの極限拘束力を安全率で除したものをいう。

(45) アンカーの許容引抜き力 (T_{ag})

アンカーの許容引抜き力とは、アンカーの極限引抜き力を安全率で除したものをいう。

(46) 設計アンカー力 (T_d)

設計アンカー力とは、許容アンカー力を超えない設計に用いるアンカー力をいう。

(47) セット量

セット量とは、テンドンを定着具に定着するときにテンドンが引き込まれる長さをいう。

(48) 緊張力 (P)

緊張力とは、テンドンに引張り力として与える力をいう。

(49) 初期緊張力 (P_i)

初期緊張力とは、アンカー頭部の緊張・定着作業を行うときに与えるテンドンの引張り力の最大値をいう。

(50) 定着時緊張力 (P_f)

定着時緊張力とは、アンカー頭部の緊張・定着作業が終了したときにテンドンに作用している引張り力をいう。

(51) 残存引張り力 (P_e)

残存引張り力とは、アンカーの供用時に作用しているテンドンの引張り力をいう。

(52) プレストレス力 (P_r)

プレストレス力とは、構造物の安定を目的として、テンドンに与える引張り力をいう。

(53) リラクゼーション

リラクセーションとは、テンドンのひずみを一定に保持したとき、応力または緊張力が時間とともに減少する現象をいう。

(54) クリープ

クリープとは、静的かつ一定の引張り力がテンドンに作用した場合、時間とともにアンカー体のグラウトとテンドンまたは地盤との接触面に生じる変位のことをいう。

(55) 責任技術者

責任技術者とは、構造物の所有者、発注者、設計者、施工者および維持管理者に所属するか、あるいは所定の手続きによって業務を代行する技術者のうち、アンカーに関するそれぞれの段階の仕事における諸問題を、常時監理または監督する立場にあるものをいう。責任技術者はアンカーに関する技術を理解するか、適切な専門家の助言を得て、諸問題を正しく判断して決定することが期待される。

以上の用語の一部を以下の図に示す。

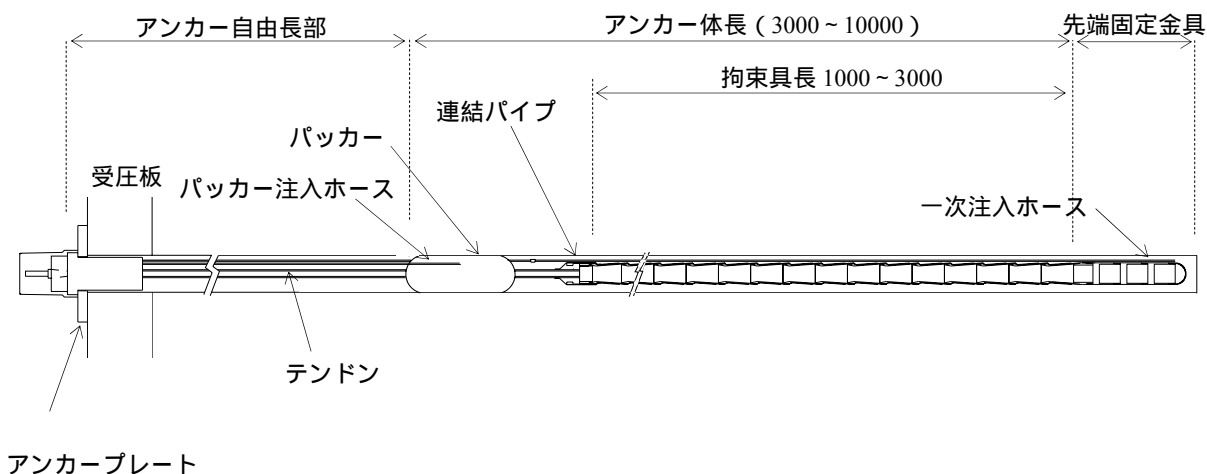


図 2.1 くさび型アンカーの構造図

2.2 記号

本マニュアルで用いる主な記号は次のように定める。

D	アンカー打設間隔	S	すべりに抵抗する力(= F_0T)
d_B	アンカー孔径	T	すべりを起こそうとする力
F_0	初期安全率		
f	摩擦係数, 安全率	$T(F_s-F_0)$	必要抑止力
F_s	計画安全率	T_{us}	引張強度
l	アンカー体長	T_{ys}	降伏強度
l_a	アンカー体拘束具長	U	見かけ周長
l_f	自由長	W	くさび力
l_{sa}	グラウトとアンカーテンドンとの付着から求まるテンドン拘束長	W_H	くさび水平力
		α	アンカー傾角
		β	すべり面傾斜角
P	緊張力	δ	各荷重段階の累積変位量
P_0	アンカー力	δ_e	各荷重段階の弾性変位量
P_a	設計荷重	δ_p	各荷重段階の塑性変位量
P_N	アンカーによる締め付け効果	θ	くさび頭頂角の 1/2
P_T	アンカーによる引き止め効果	σ'	有効応力
q_u	一軸圧縮強度	τ	アンカー体の周面摩擦抵抗
		τ_b	テンドンとグラウトの許容付着応力度

第3章 くさび型アンカーの支持機構と性能

くさび型アンカー工法は摩擦型アンカーの問題点を克服するために考案したものであり、その開発要件と特徴を示す。

3.1 アンカー体に求められる条件

安定した大きな引抜き耐力を得るには、アンカー体に負荷する応力の適正な分散を図り、実質有効長を長くする必要があり。

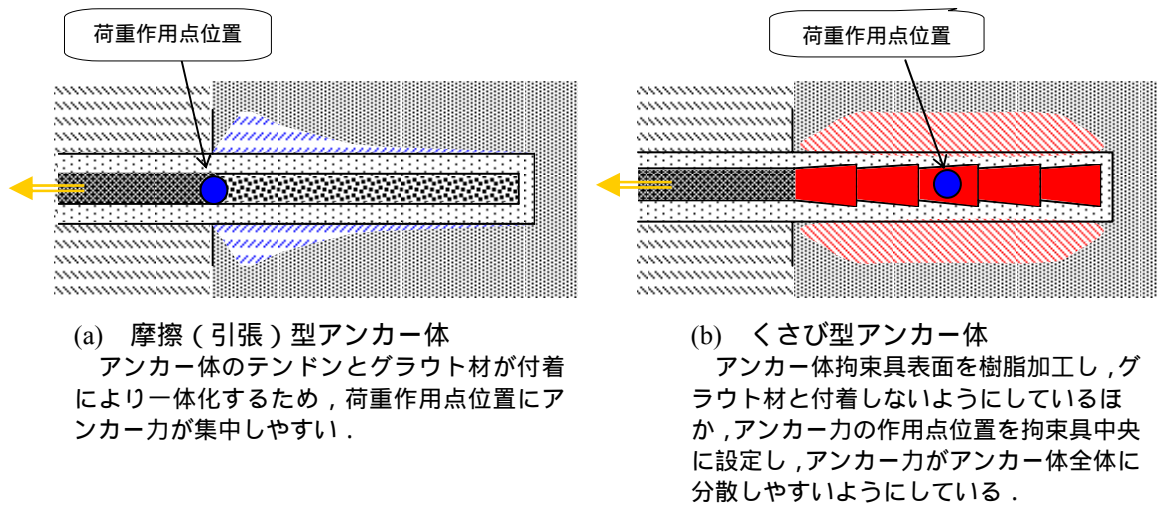


図 3.1 アンカー体におけるアンカー力の分布状況

また、特に摩擦（引張）型アンカーのように、アンカー体に引張り力が働くことは、これの剥離を助長する要因となりやすく、これを避けるにはアンカー体に圧縮力が働く構造とすることが望ましい。

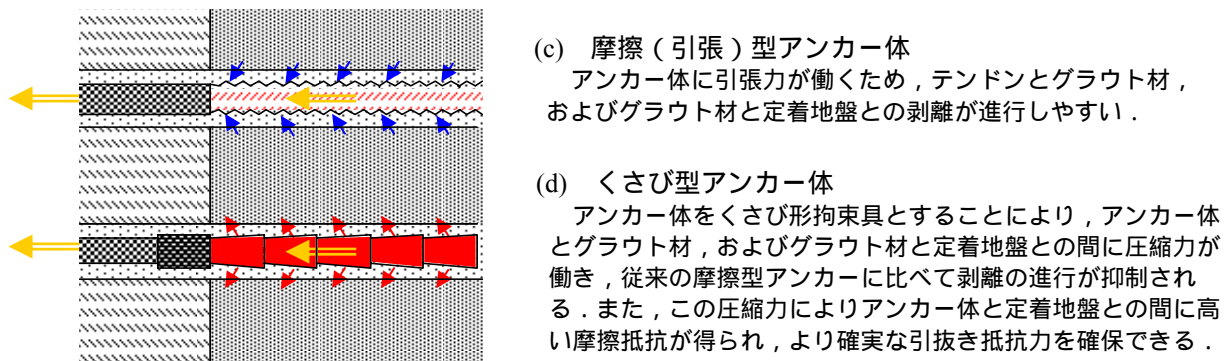


図 3.2 アンカー体に作用する応力の違い

3.2 アンカー一体拘束具の構造

アンカー体の荷重分散を図り、アンカー体に圧縮力をもたらすには、荷重を伝達するための拘束具をくさびとすればよい。

図 3.3 は拘束具の組み立て図であり、写真 3.1 は使用する拘束具ユニットである。

拘束具外壁はこれがグラウト材と付着することなくスムーズに変位できるよう樹脂加工を施す。拘束具の中は tendon を通したのち硬化材を充填することで全体が剛体になるようにする。荷重作用点位置を調整するため、各ストランドの引張り側はシース加工している。

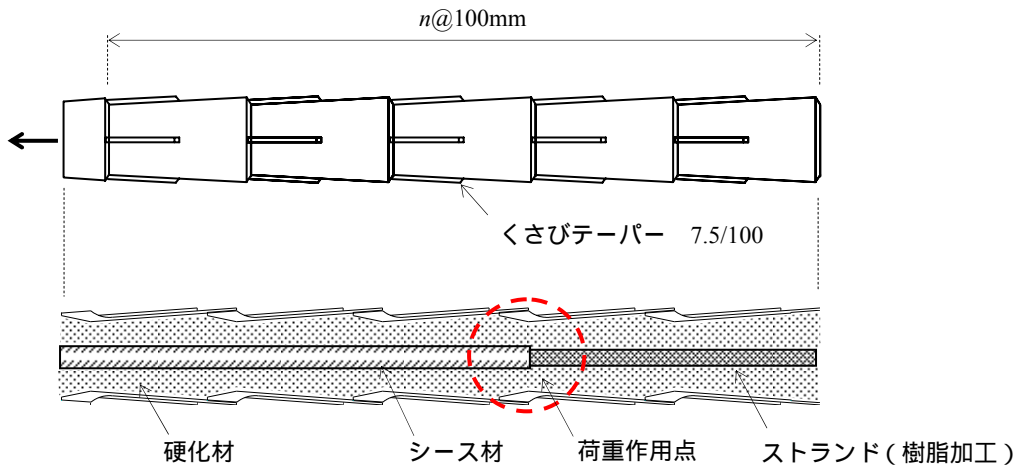


図 3.3 くさび型アンカー一体拘束具構造図



写真 3.1 拘束具ユニット

図 3.4 にアンカー体設置部の構造図を、写真 3.2～3.4 に拘束具の組立て状況を示す。

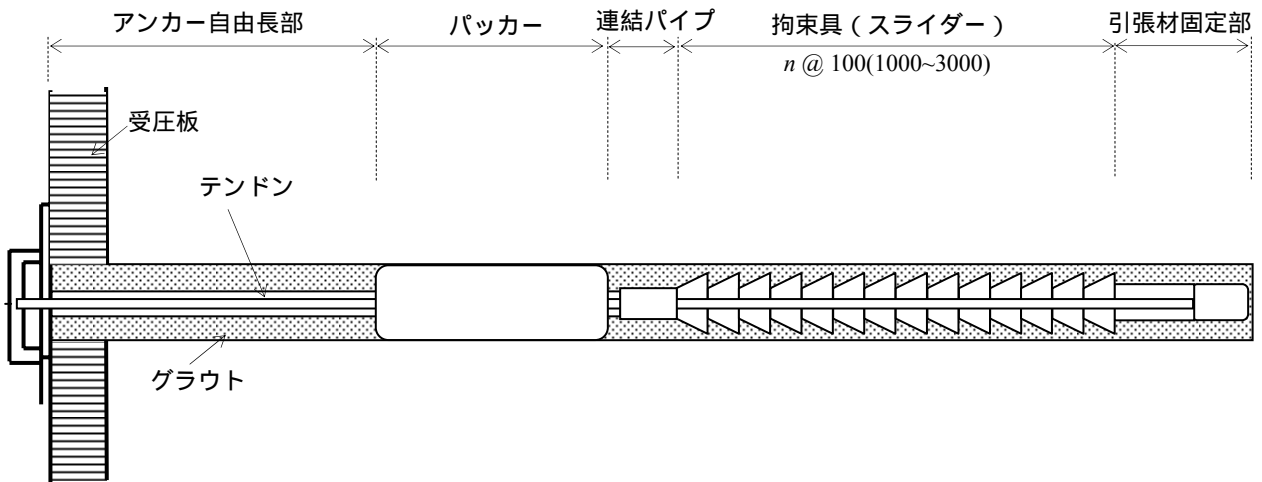


図 3.4 くさび型アンカー体設置部構造図



写真 3.2 アンカー体拘束具組立て状況 (300Ws 型)



写真 3.3 アンカー体拘束具先端固定金具 (300Ws 型)



写真 3.4 試験用アンカー体組立加工状況 (300Ws 型)

右：アンカー体拘束具とパッカー取り付け状況 (標準タイプ)

左：グラウト逸出対策として、アンカー体全体を布パッカーで被覆したもの

3.3 アンカー体の支持機構

3.3.1 アンカー体拘束具の引抜き変位と引抜き耐力の関係

- (1) アンカー体拘束具をグラウト材と付着しないように加工することで、
- (2) 周辺地盤へおよそ均等なくさび（圧縮）力を伝えることが可能となる（荷重分散）。
- (3) くさび力はアンカー力にほぼ等しく、その作用方向は孔壁面にほぼ直交することから、
- (4) くさび力と定着地盤の支圧強度に応じた摩擦抵抗が生じ、拘束具設置区間の平均的、安定した引抜き耐力が確保される。

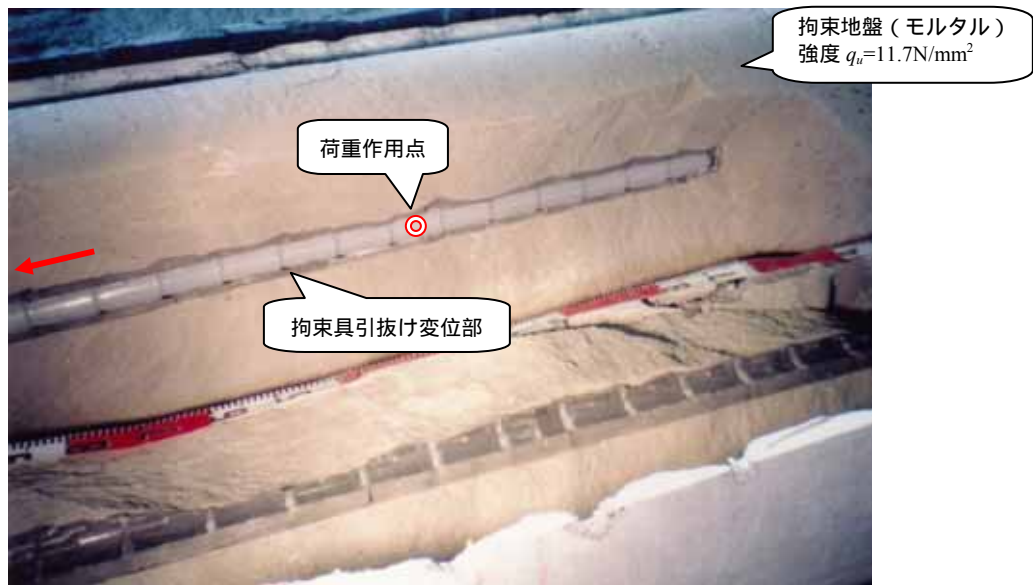


写真 3.5 アンカー体拘束具（くさび）の定着状況
（ $\phi 700\text{mm}$ のヒューム管内で測定したものを解体）

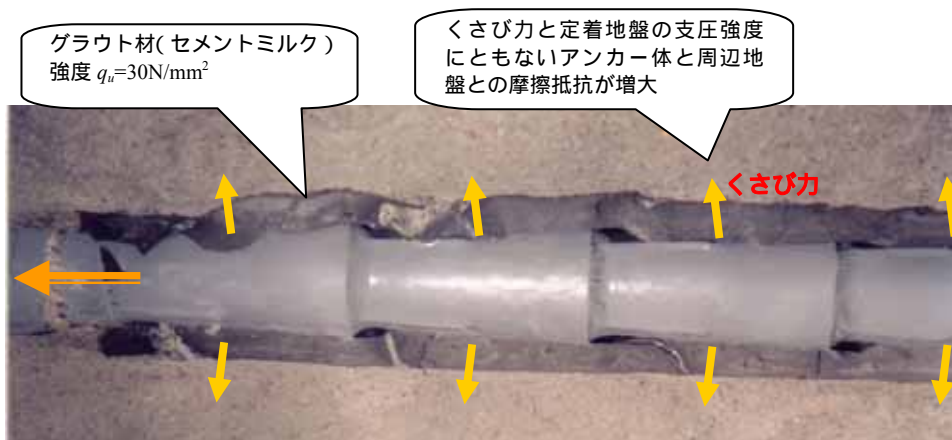


写真 3.6 定着部拡大写真：超過荷重 780kN 時状態，定着長 1.5m

3.3.2 アンカー体拘束具によるアンカー力の作用方向

図 3.5 はアンカー体応力の作用方向を測定したものであり、荷重初期段階ではアンカー引張り方向を基線に 70°前後の方向にアンカー力が作用するが、荷重 200kN 以降では、ほぼアンカー孔壁に直交する方向に転じている。

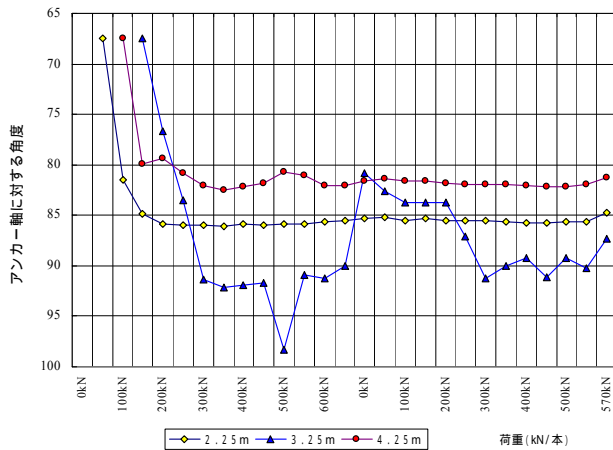


図 3.5 アンカー体主応力方向角
泥岩層内の、アンカー体より
50cm 離れた位置で測定

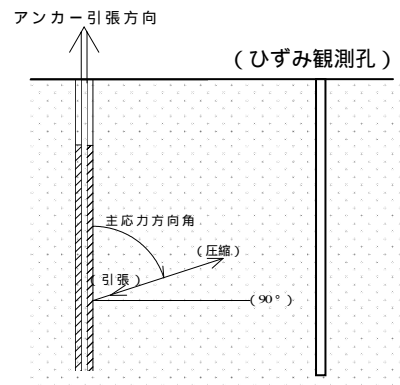


図 3.6 主応力方向角説明図

3.3.3 アンカー体グラウトの亀裂状況

写真 3.7, 3.8 はヒューム管 (φ700mm, 長さ 2,413mm) 内で実施したアンカー試験体を解体したものである。

これによれば、アンカー体における引張り亀裂間隔 (平均) は、摩擦 (引張) 型で 6.5cm であるのに対しくさび型で 20cm と少なく、アンカー体に負荷する応力状態 (摩擦 引張型; 引張方向主体, くさび型; 孔壁方向主体) の違いを明瞭に反映している。

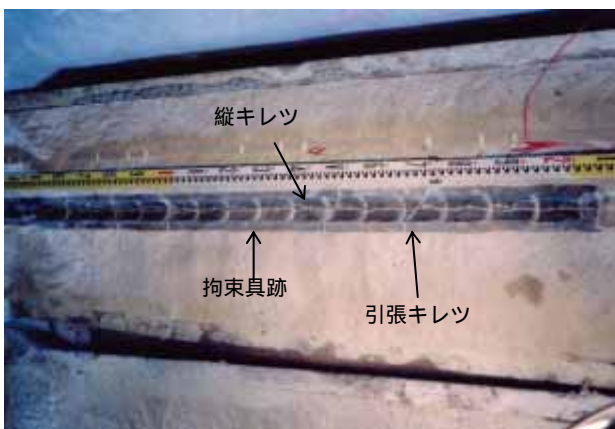


写真 3.7 くさび型アンカー体
(荷重 780kN)



写真 3.8 摩擦 (引張) 型アンカー体
(荷重 1,000kN)

また、写真 3.9～3.13 は溜め桧（1×1m）内で実施したアンカー試験体を解体したものである（荷重 700kN で溜め桧が破壊・写真 3.10）。これによれば、アンカー体には一方向にヘアクラックが認められるのみであり（写真 3.13）、実際の変形量（ダメージ）は極めて小さいことがわかる。



写真 3.9 引張試験状況



写真 3.10 溜め桧の破壊（700kN 時）



写真 3.11 溜め桧解体



写真 3.13 アンカー体断面



写真 3.12 アンカー体の取り出し

3.3.4 アンカー体周辺地盤の変形様式

図 3.7 は泥岩層 ($q_u=1.1\text{N/mm}^2$) 内で測定したアンカー体周辺地盤の応力状態を示すものであり、図 3.5 に示した応力の作用方向などから、定着地盤の変形形態は図 3.8 のように示される。すなわち、拘束具(くさび)の上下および側方地盤が拘束され、地盤変形が進行しにくい条件下にあることから、長期耐久性を確保するのに適している。

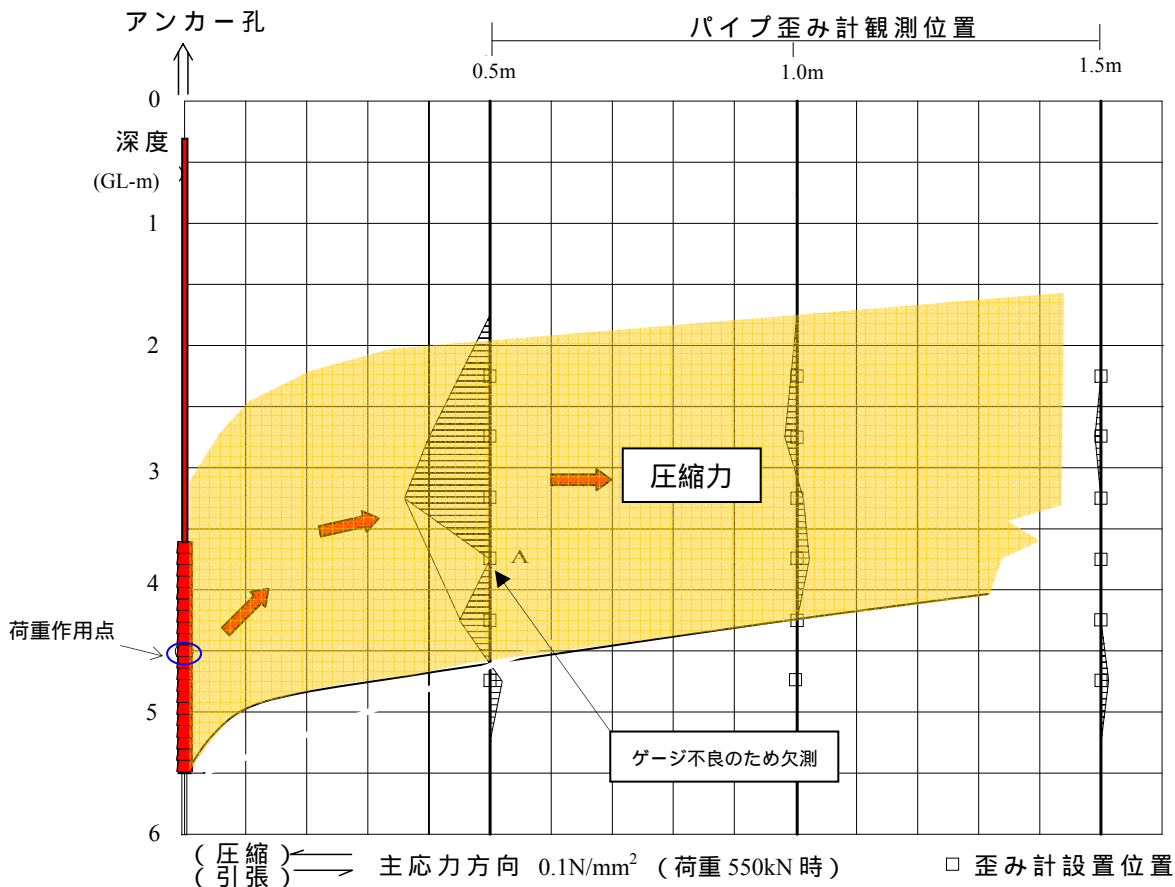


図 3.7 くさび型アンカー体周辺地盤の応力状態

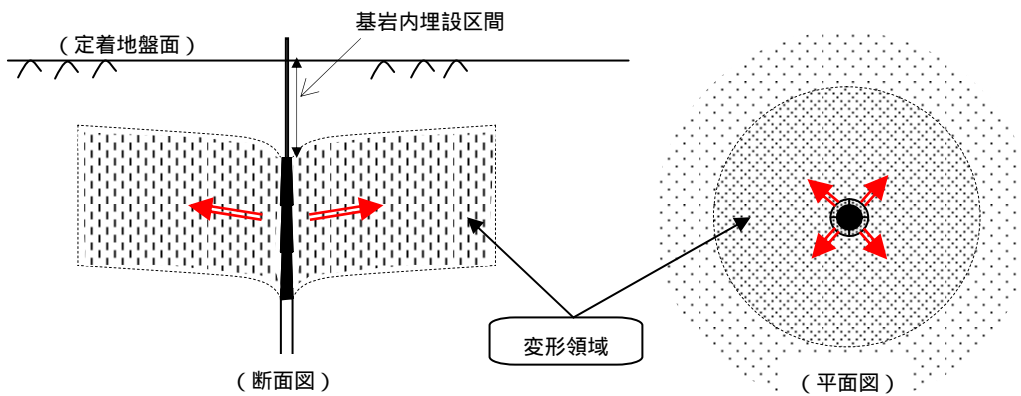


図 3.8 アンカー体周辺地盤の変形様式

3.3.5 アンカー体周辺地盤の変形範囲

図 3.9 は風化凝灰岩層内で測定したアンカー体周辺地盤の応力状態である。アンカー力が作用する区間の平均応力は図 3.10 のように示され、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。このように、アンカー体による主な変形領域は ϕ 40cm 程度の狭い範囲に限られる。

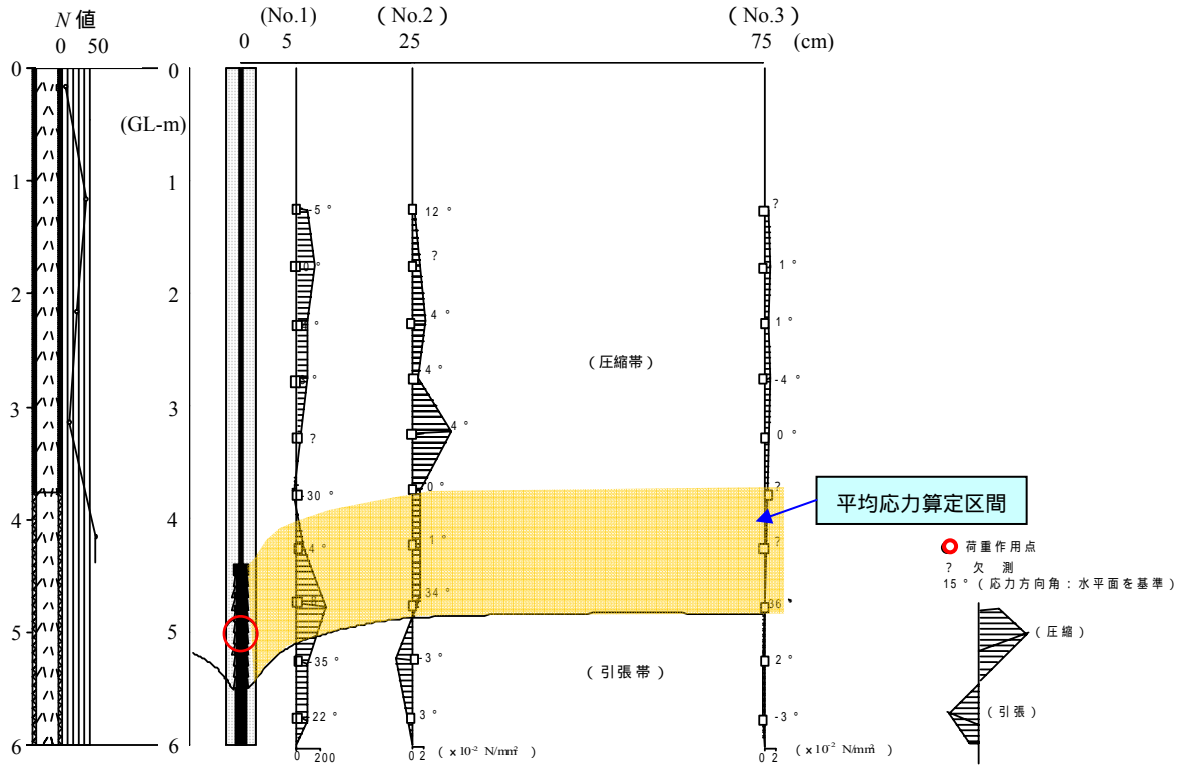
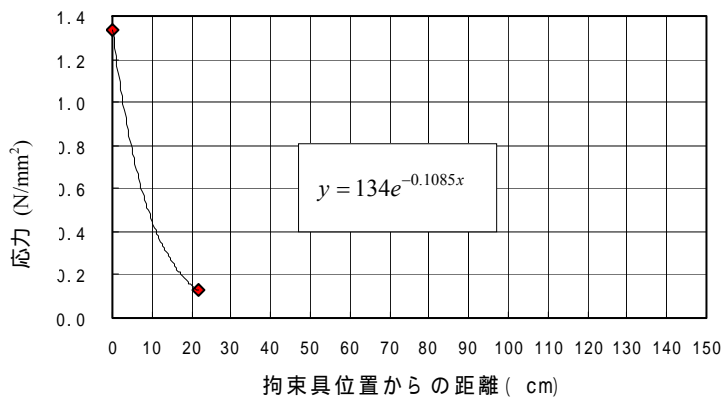


図 3.9 拘束具周辺地盤の応力実測値 (荷重 600kN/本時)

(本庄地区：風化凝灰岩 $q_u = 3.8\text{N/mm}^2$)



距離(m)	平均応力 (N/mm ²)
0	1.337
21.5	0.128
71.5	0.003

図 3.10 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 $q_u = 3.8\text{N/mm}^2$)

3.3.6 アンカー体周辺地盤の変形量

アンカー体周辺地盤の変形量を把握するための実験を行った（写真 3.15）。

(1) 供試体の厚さ

前述したように、アンカー体拘束具による変形範囲は拘束具より 20cm 程度以下と考えられることから、供試体の厚さを 30cm とした。

(2) 供試体の径

図 3.11 は摩擦(圧縮)型アンカー体の応力図であり、アンカー体を中心に $\phi 50\text{cm}$ の圧縮帯が形成されている。この時のアンカー孔径は $\phi 115\text{mm}$ であり、圧縮帯の範囲(径)はこれの約 5 倍におよんでいる。よって供試体の径は貫入棒 ($\phi 5.5\text{cm}$) の 5 倍以上確保するものとし、

$$5.5\text{cm} \times 5 = 27.5 \quad 40\text{cm}$$

とした。

(3) 供試体の拘束性

供試体の拘束度を高めるため、写真 3.14 のような内壁に突起を設けた円筒形の器(鋼製)に試料を詰めた。

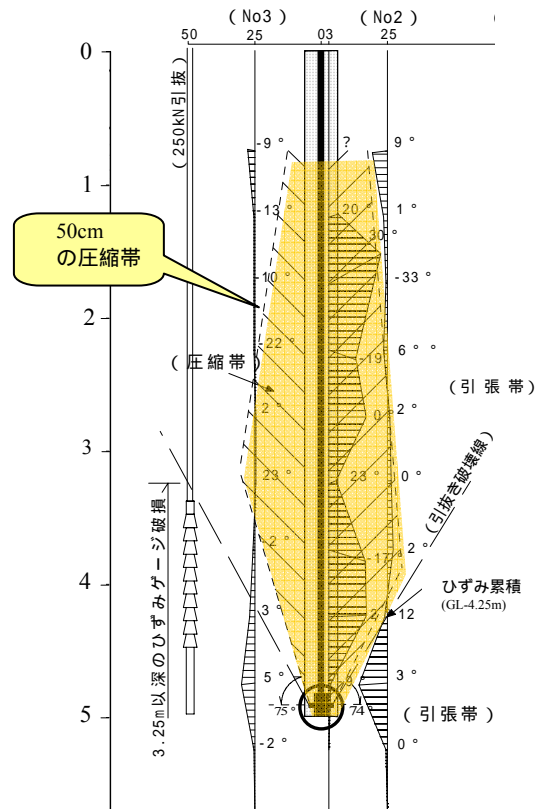


図 3.11 摩擦(圧縮)型アンカー体の応力図

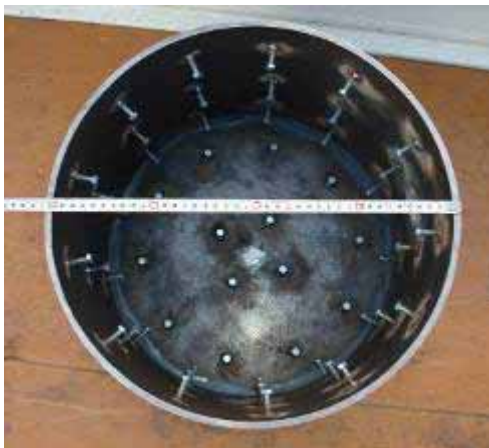


写真 3.14 試験体型枠
($\phi 40\text{cm}$, 高さ 30cm)

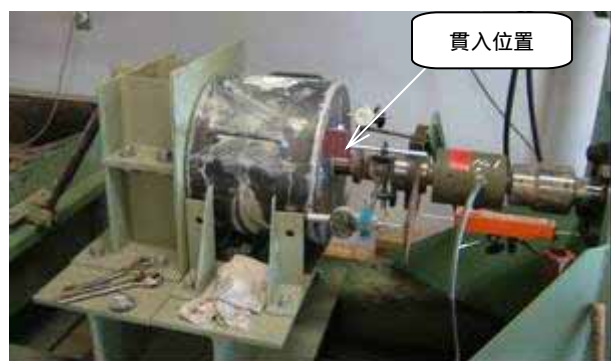


写真 3.15 試験体セット状況

(4) 供試体の強度

最も軟質な地盤を想定し、 $q_u=1\text{N}/\text{mm}^2$ とした。

(5) 最大試験荷重と荷重サイクル

・ 載荷面積 $A = r^2 \cdot \pi = 27.5^2 \times 3.14 = 2,370\text{mm}^2$

・ 最大試験荷重

設計荷重時最大応力 0.38N/mm^2 の 1.5 倍程度を想定した (P.22 表 3.3) .

$$p = 0.38 \times 1.5 \times 2370 \div 1000 = 13$$

表 3.1 試験荷重

定着地盤の一軸圧縮強度 N/mm ²	荷重載荷面積 A mm ²	最大試験荷重 A・σ kN
1	2370	1.3

(荷重サイクル)

0.2	0.4				
0.2	0.4	0.6			
0.2	0.6	0.6	0.8		
0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.3 (kN)

(6) 繰り返し載荷試験における荷重

(最大試験荷重) ←→ (最大試験荷重 × 1/2)

(7) 多サイクル試験による定着地盤の変形特性

図 3.12 は貫入棒を用いた載荷試験による荷重と変形量の関係を示すものであるが、荷重増とともに貫入量は抑制される傾向を示し、全塑性変位量も 0.065mm と小さい。このように、拘束地盤内では荷重に応じてある程度変形するものの、一方でこれにともなう地盤反力が高まるため、全体として変形量が抑制される。

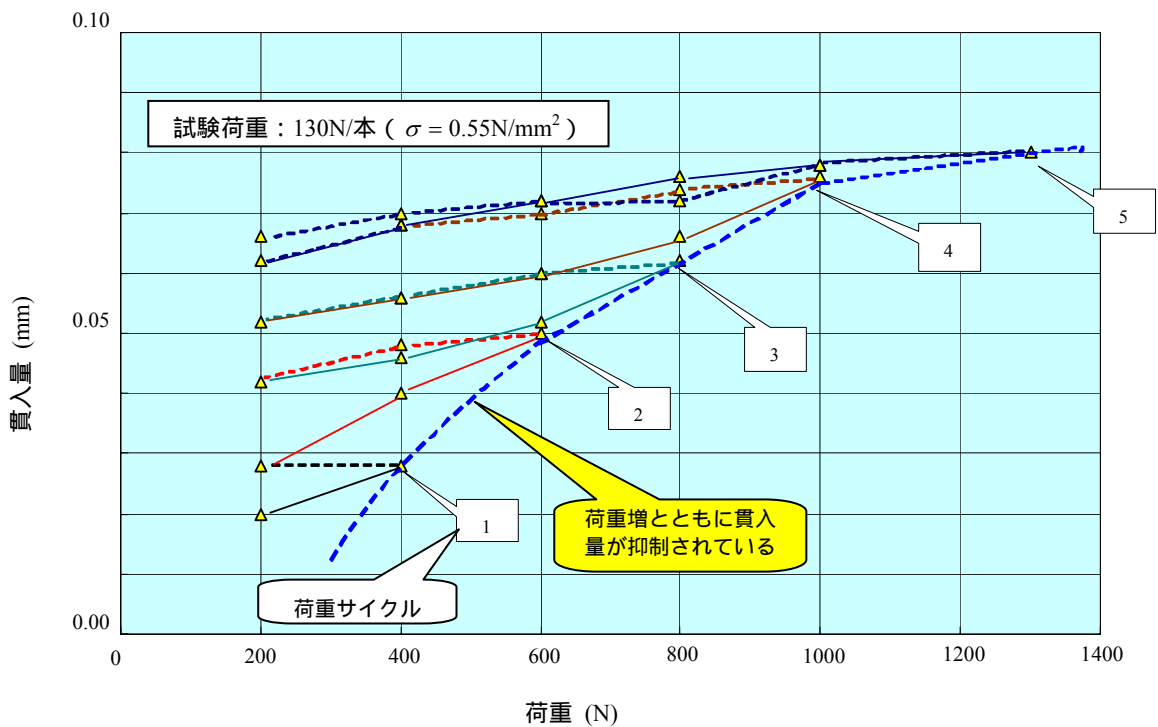


図 3.12 荷重 貫入量

(8) 繰り返し荷重 (50 回) による定着地盤の変形特性

上記多サイクル試験に続き繰り返し荷重試験を行った結果 (図 3.13), およそ荷重数 30 回までに約 0.01mm 程度の塑性変位が進行するものの, その後変位が抑制されている.

多サイクル試験を通した全体の変形量は 0.075mm であり, これは設計変形量 1.5mm (P.59) のわずか 5% である.

試験時に負荷した応力 (0.57N/mm^2) は定着地盤の一軸圧縮強度 (1N/mm^2) の 57% である. 設計時の応力をこの程度以下に設定すれば, 定着地盤の長期耐久性に対する安全は確保できるものと判断される.

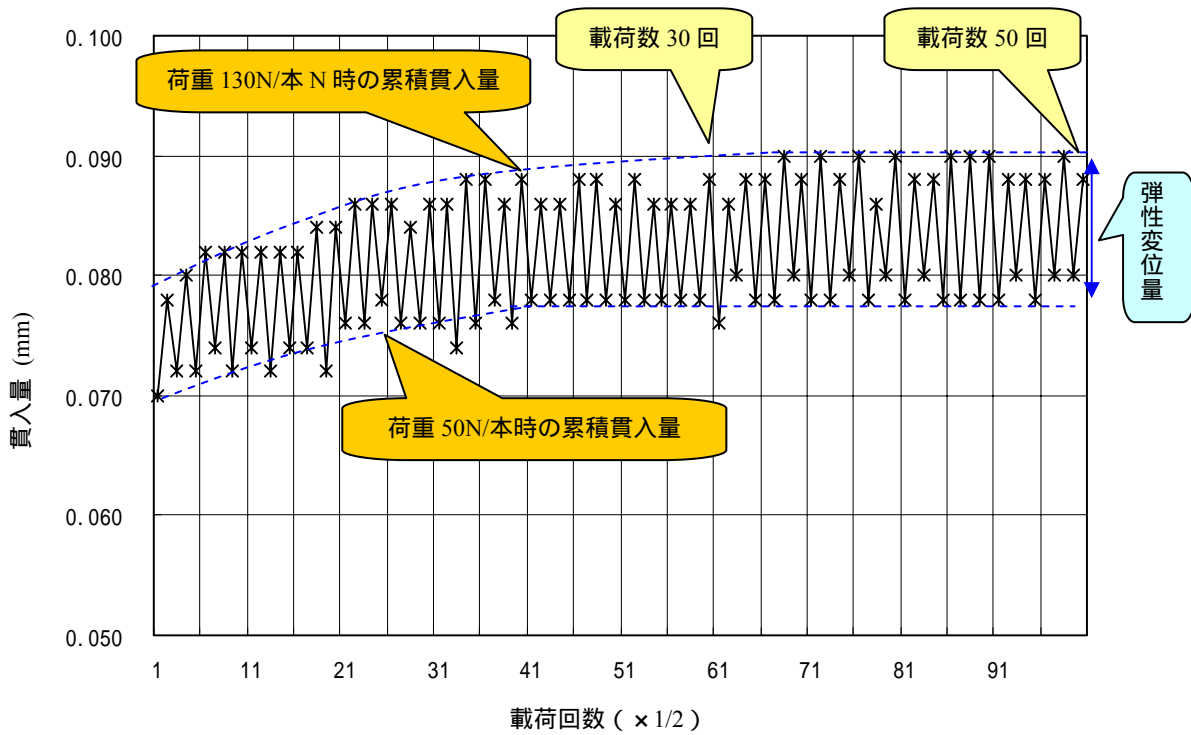


図 3.13 繰り返し荷重試験

3.3.7 アンカー力とくさび力の関係

表 3.2 は図 3.9 , 3.10 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 3.14 , 3.15 に示す .

表 3.2 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 ²)	くさび力 W (kN)	W/P_a	応力 (N/mm ²)	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		

図 3.14 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 3.15 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 .

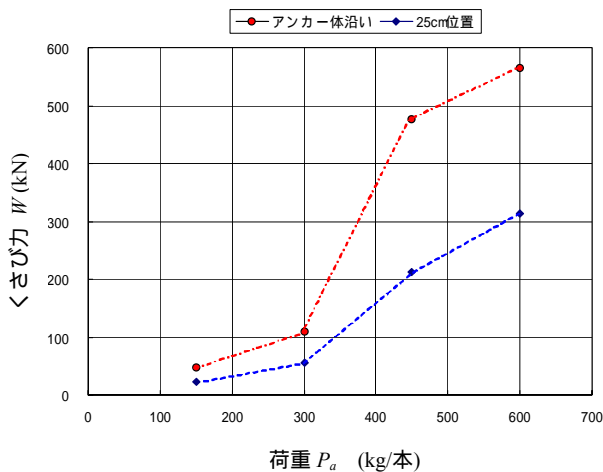


図 3.14 アンカー力とくさび力の関係
(本庄地区 : 風化凝灰岩 $q_u = 3.8\text{N/mm}^2$)

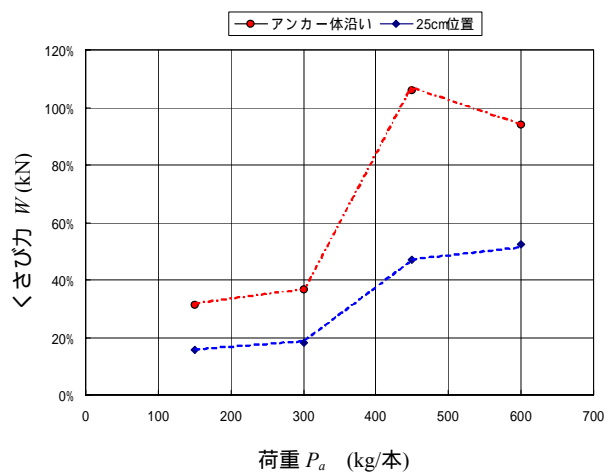


図 3.15 くさび力の伝達割合(くさび力/荷重)
(本庄地区 : 風化凝灰岩 $q_u = 3.8\text{N/mm}^2$)

3.3.8 設計荷重時のアンカー体周辺地盤に作用する応力

表 3.3 は設計荷重および地盤条件毎に定着長を求めたものである。この時のアンカー体に負荷する応力は定着地盤の一軸圧縮強度の 38%以下であり、定着地盤の強度が増すほどその負荷率は小さくなる。

表 3.3 定着地盤の強度とアンカー体長および応力の関係

アンカー孔径
66 mm

設計荷重 (kN)	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u
	1		2			4			6			8			10			
100	1.3	0.38	38%	1.0	0.48	24%	1.0	0.48	12%	1.0	0.28	5%	1.0	0.28	3%	1.0	0.28	3%
200	2.5	0.38	38%	1.9	0.51	26%	1.5	0.65	16%	1.3	0.41	7%	1.2	0.45	6%	1.2	0.47	5%
300	3.8			2.8	0.51	26%	2.2	0.65	16%	2.0	0.41	7%	1.9	0.45	6%	1.8	0.47	5%
400				3.8			3.0	0.65	16%	2.7	0.41	7%	2.5	0.45	6%	2.4	0.47	5%
500		(設計対象外)					3.7			3.3			3.1			2.9	0.47	5%
600							4.5			4.0			3.7			3.5		
700							5.2			4.7			4.3			4.1		

アンカー孔径
90 mm

設計荷重 (kN)	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u
	1		2			4			6			8			10			
100	1.0	0.28	28%	1.0	0.28	14%	1.0	0.28	7%	1.0	0.28	5%	1.0	0.28	3%	1.0	0.28	3%
200	1.9	0.30	30%	1.4	0.40	20%	1.1	0.51	13%	1.0	0.57	9%	1.0	0.55	7%	1.0	0.55	6%
300	2.8	0.30	30%	2.1	0.4	20%	1.6	0.51	13%	1.5	0.57	9%	1.4	0.61	8%	1.3	0.64	6%
400	3.7			2.8	0.4	20%	2.2	0.51	13%	2.0	0.57	9%	1.8	0.61	8%	1.7	0.64	6%
500	4.6			3.4			2.7	0.51	13%	2.4	0.57	9%	2.3	0.61	8%	2.2	0.64	6%
600							3.3			2.9	0.57	9%	2.7	0.61	8%	2.6	0.64	6%
700										3.4			3.2			3.0	0.64	6%

アンカー孔径
115 mm

設計荷重 (kN)	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u	q_u	σ	l/q_u
	1		2			4			6			8			10			
100	1.0	0.28	28%	1.0	0.28	14%	1.0	0.28	7%	1.0	0.28	5%	1.0	0.28	3%	1.0	0.28	3%
200	1.5	0.38	38%	1.1	0.51	26%	1.0	0.55	14%	1.0	0.55	9%	1.0	0.55	7%	1.0	0.55	6%
300	2.2	0.38	38%	1.6	0.51	26%	1.3	0.65	16%	1.1	0.72	12%	1.1	0.78	10%	1.0	0.82	8%
400	2.9	0.38	38%	2.2	0.51	26%	1.7	0.65	16%	1.5	0.72	12%	1.4	0.78	10%	1.4	0.82	8%
500	3.6			2.7	0.51	26%	2.1	0.65	16%	1.9	0.72	12%	1.8	0.78	10%	1.7	0.82	8%
600				3.2			2.6	0.65	16%	2.3	0.72	12%	2.1	0.78	10%	2.0	0.82	8%
700							3.0	0.65	16%	2.7	0.72	12%	2.5	0.78	10%	2.4	0.82	8%

q_u : 定着地盤の一軸圧縮強度 (N/mm²)
 σ : アンカー体応力 (N/mm²) … 設計荷重対応

表 3.3 において、定着地盤の一軸圧縮強度が 10N/mm² のケースについて図化すれば図 3.16 のように示され、アンカー体が利用する支圧領域は定着地盤の弾性領域の十分小さい範囲であることがわかる。

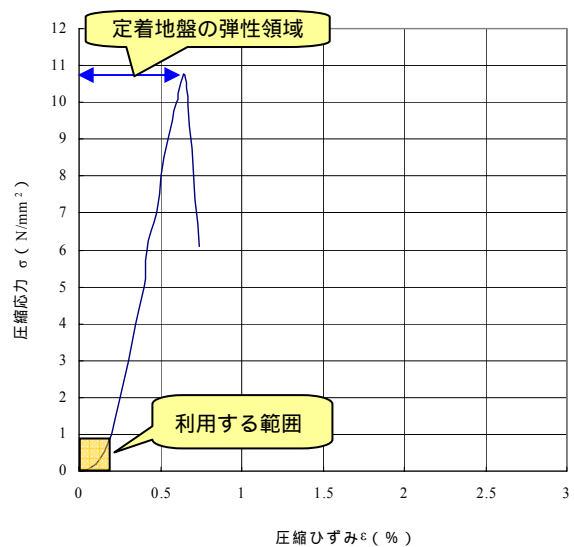


図 3.16 アンカー体が利用する弾性領域 (第三紀層砂岩 $q_u = 10\text{N/mm}^2$ の場合)

3.4 アンカー体の性能

3.4.1 アンカー体の荷重分散効果

(1) アンカー体周辺地盤の応力状態

図 3.17 はアンカー体周辺地盤の応力状態を測定したものである。摩擦（引張）型では周辺地盤に引張り力が働いているのに対し、くさび型では紡錘状の圧縮帯が形成されており、両者の支持機構の違いが明瞭に表れている。

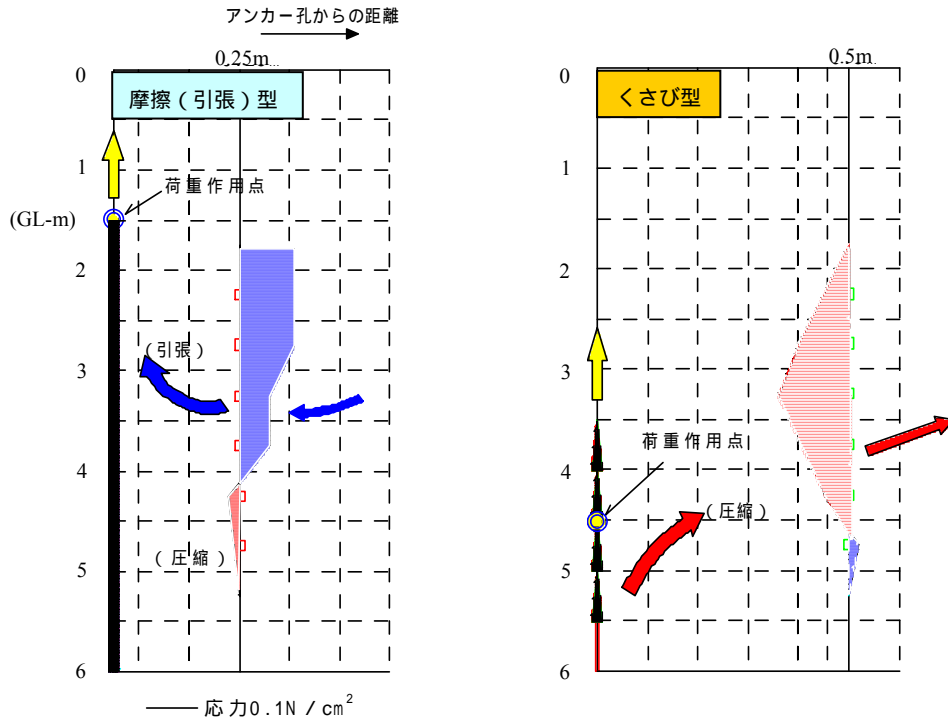


図 3.17 アンカー形式による応力状態の違い(1)
 (泥岩：一軸圧縮強度 $q_u=1.1\text{N/mm}^2$)

(2) 荷重分散効果

図 3.18, 3.19 は風化凝灰岩層内で実施したアンカー体より 25cm 離れた地盤の応力状態である。拘束具先端部における引張応力（荷重 600kN 時）は、くさび型の方が摩擦型の 1/10 程度（圧縮応力は 1/3 程度）と小さく、アンカー体の荷重分散効果が顕著に表れている。

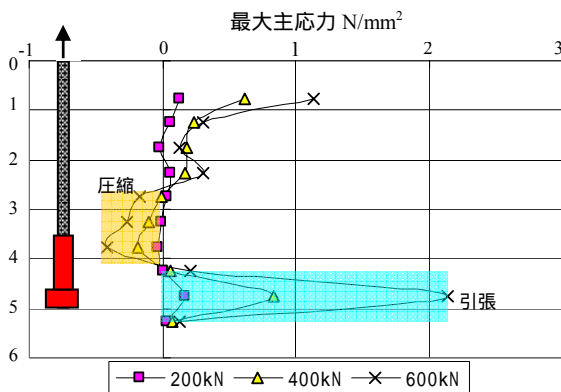


図 3.18 摩擦（圧縮）型

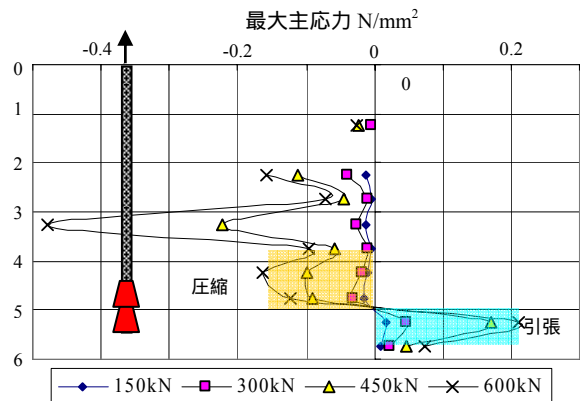


図 3.19 くさび型

3.4.2 アンカー体の引抜き耐力

(1) 室内試験

写真 3.16, 3.17 は鋼管 ($\phi 139.8\text{mm}$, 長さ 2m) 内で実施した引抜き耐力試験の状況である .

摩擦 (引張) 型 (写真 3.17) ではアンカー体に引張り力が主体的に働くため、アンカー体と鋼管内壁部が容易に剥離し、荷重 50kN で簡単に引き抜けた .

くさび型ではアンカー体に圧縮力が働くため、荷重 450kN で鋼管を引きずるように引き抜けた (写真 3.16) .



写真 3.16 くさび型



写真 3.17 摩擦型 (非拘束具)

(2) 現地試験

図 3.20 は摩擦型アンカー (引張型, 圧縮型) との比較を行ったものであり、引張型では周辺地盤に引張り力が働くため圧縮帯がほとんど形成されていない。すなわち、引張型は基本的に摩擦の働かない構造であることがわかる。

圧縮型では $\phi 50\text{cm}$ 程度の圧縮帯が形成され、最終的にこの外縁に沿って爆発的破壊音をともないながら引き抜けた。引張型が静的に引き抜け、地表面が $\phi 50\text{cm}$ の範囲で盛り上がりを示したのに対し、圧縮型では地表部の変位は認められず、定着地盤内の破壊にとどまるといった、破壊様式の違いも確認された。

これに対し、くさび型では拘束具以浅に幅広い圧縮帯が形成され、前 2 者との違いが明瞭である。ちなみに引抜き耐力は

引張型 (167kN/m) : 圧縮型 (300kN/m) : くさび型 (620kN/m) = 1 : 1.8 : 3.7
--

であり、くさび型の優位性が明らかである。

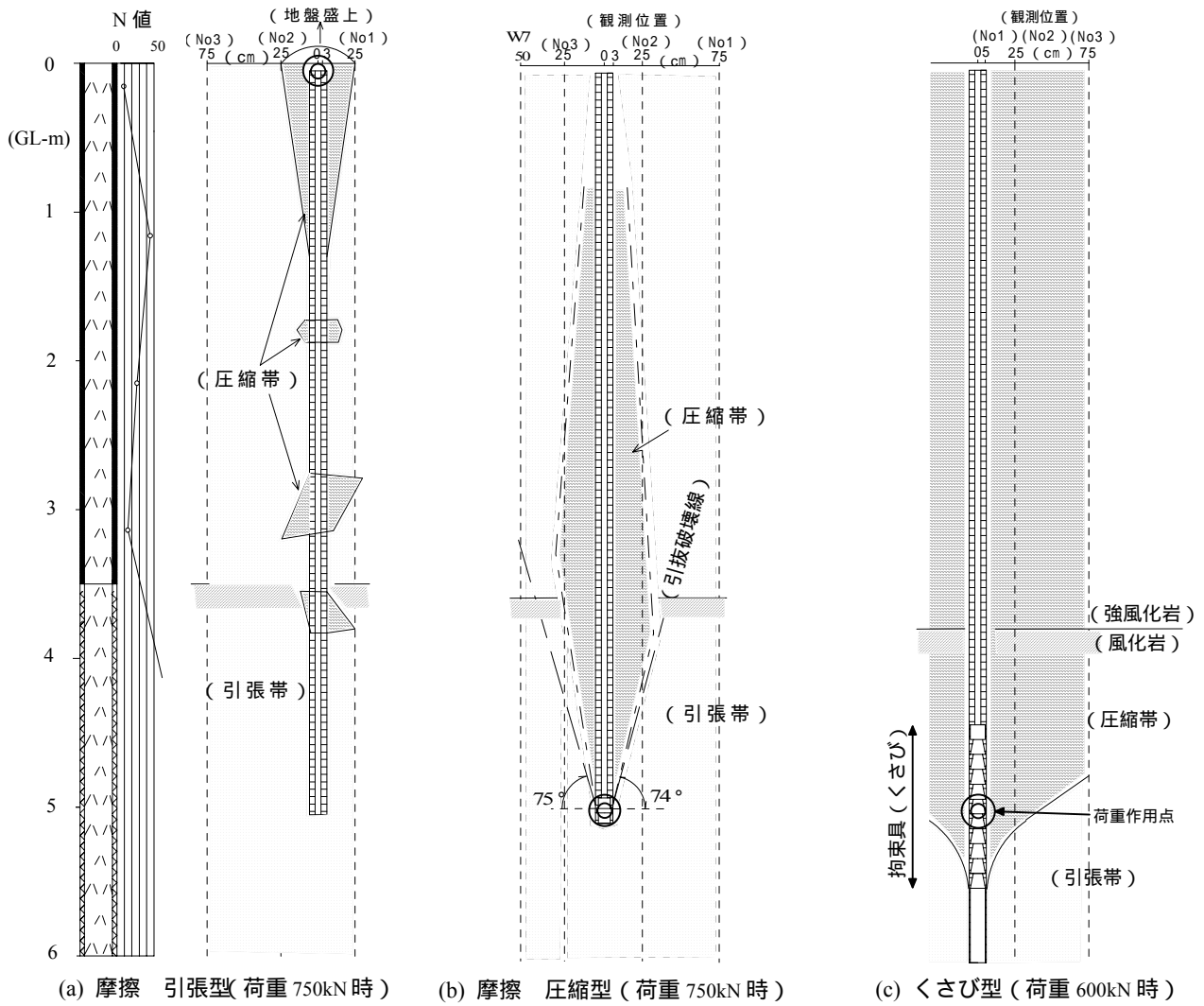


図 3.20 アンカー形式による応力状態の違い(2)
 (風化凝灰岩：一軸圧縮強度 $q_u=3.7\text{N/mm}^2$)

3.4.3 超過荷重時の挙動

図 3.21 は基本調査試験における引抜け状況であり，荷重 630kN でいったん引抜けたものの，引き続き載荷した結果，再び同様な引抜き耐力が得られている．

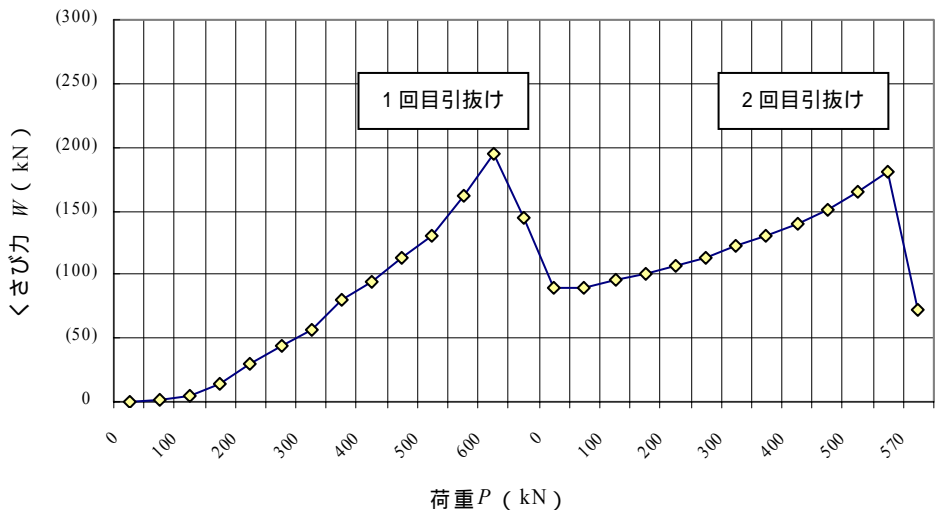


図 3.21 アンカー体の引抜け状況

これは，図 3.22 のような挙動によるものと判断される．すなわち，くさび型アンカーでは，アンカー体グラウトと拘束具が附着していないため，大きな引抜け変位後も，グラウトや周辺地盤のダメージが小さく，しかも周辺地盤の弾性機能が保持されているため，超過荷重時でも一気に引抜ける危険性は低い．

1 初期状態

2 引抜けにともなう周辺地盤の変形と引抜き耐力の増大

3 引抜き量 50mm 時に最大引抜き耐力が得られる．

4 上記を過ぎると拘束具ユニット（10cm 長）が急速にひとつ移動し，再び 2，3 と同様な引抜き耐力を発揮する．

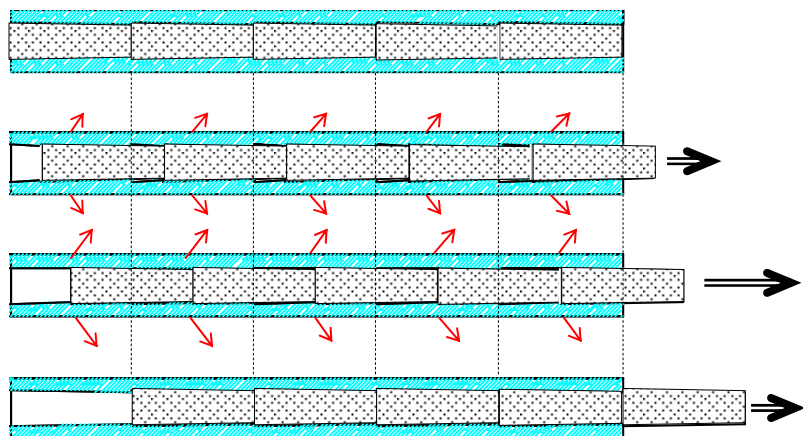


図 3.22 アンカー体の引抜けと引抜き耐力の関係

第4章 くさび型アンカーの設計

4.1 設計荷重と定着地盤の選定

くさび型アンカーの設計荷重は、定着地盤の不均一性を考慮して、最大設計荷重 768.6kN/本以下とする。

定着対象は長期耐久性を考慮して、軟岩程度以上の固結度を有す地盤とする。

表 4.1 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 4.1.1 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, $q_u = 250\text{kN/m}^2$ 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)

定着地盤の目安となる一軸圧縮強度の推定方法として次式を提案する(“ N 値及び c ” 考え方と
利用 P.83 図 4.14, 地盤工学会, 2002” に示す実測値より)。

$$q = N / 40 \quad (\text{N/mm}^2) \quad (4.7)$$

これより 1Mpa の目安としては“ N 値 40”となる。

4.2 設計の考え方

4.2.1 アンカー体の摩擦抵抗と引抜き耐力について

くさび型アンカーはくさび機能をもつ拘束具が作動することで、アンカー体と周面地盤との間に高い摩擦抵抗 (R) が発生する仕組みとなっている(図 4.1)。すなわち、アンカー体の摩擦抵抗はくさび水平力に周面壁との摩擦係数を乗じることで求められ、定着地盤の反力が十分確保されておれば、摩擦抵抗が不足することによる引抜けは生じない(4.4.4 項参照)。

一方、従来の摩擦型アンカーにおける引抜き耐力とは、アンカー体グラウトと周面地盤との付着を主

とし、これに摩擦等を含めた複合的な引抜き抵抗力を反映するものであり、この点においてくさび型アンカーとは幾分異なる。

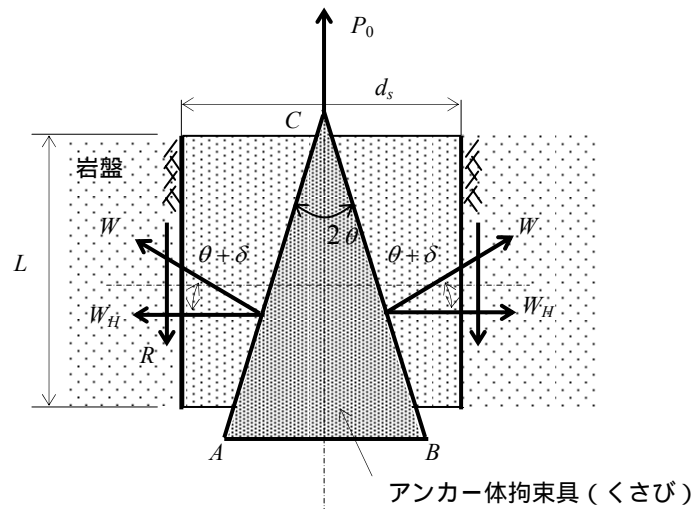


図 4.1 アンカー体の力関係

4.2.2 アンカー体長を求める方法

くさび型アンカー体長(拘束具設置区間)はアンカー体の摩擦強度および地盤反力度の二つの観点から求めることができる。

- (1) 摩擦強度 τ_w による：極限引抜き耐力をアンカー体表面積で除したものを摩擦強度とし、式(4.1)に従って求める方法(4.3項参照)

$$l_{a1} = \frac{f P_a}{\pi d_B \tau_w} \quad (4.1)$$

ここに、 l_{a1} ：摩擦強度に基づくアンカー体長(拘束具設置区間)

f ：安全率(=2.5)

d_B ：アンカー孔径

P_a ：設計荷重

τ_w ：くさび型アンカーにおける摩擦強度

- (2) 地盤反力度 q による：アンカー体周辺地盤に負荷する応力と地盤変位から地盤反力係数(地盤反力度)を求め、式(4.2)に従って求める方法(4.4項参照)

$$l_{a2} = \frac{a f P_a}{\pi d_B q} \quad (4.2)$$

ここに、 l_{a2} ：地盤反力に基づくアンカー体長(拘束具設置区間)

a ：修正係数(=2)

f ：安全率(=2.5)

d_B ：アンカー孔径

P_a ：設計荷重(くさび水平力)

q : 地盤反力度 ($=k \cdot r$)

k : 地盤反力係数

r : 拘束具によってもたらされる最大有効地盤変位量 0.375cm

4.2.3 くさび型アンカー体の摩擦強度 τ_w

式(4.2)を変形すれば式(4.3)となり, (q/a)が式(4.1)の摩擦強度 τ_w に対比される.

$$l_{a2} = \frac{a f P_a}{\pi d_B q} = \frac{f \cdot P_a}{\pi \cdot d_B \cdot q/a} \tag{4.3}$$

ここで $l_{a1} = l_{a2}$ とすれば,

$$\tau_w = \frac{q}{a} = \frac{k \cdot r}{2} = \frac{k \times 0.375}{2} = 0.1875k \tag{4.4}$$

地盤反力係数 k と定着地盤の一軸圧縮強度 q_u の関係は, 現地試験より

$$k = 256.95 \text{Ln}(q_u) + 508.38 \tag{4.5}$$

式(4.4)と式(4.5)より

$$\tau_w = 48.2 \text{Ln}(q_u) + 95.3 \tag{4.6}$$

一方, 摩擦強度の目安として式(4.7)がある (砂防・地すべり設計実例 P.248, (財)砂防・地すべり技術センター) .

$$\tau = q_u / 10 \tag{4.7}$$

これらの関係は図 4.2 のように示され, くさび型アンカー体で発揮される摩擦強度 τ_w は従来型アンカーで用いる摩擦強度より 2~7 倍大きく, 特に軟質地盤ほど差が顕著となる傾向を示す.

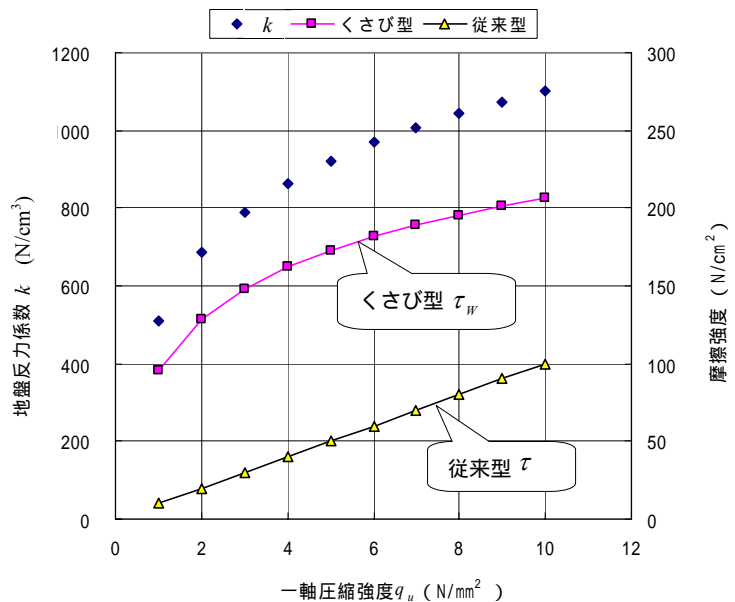


図 4.2 一軸圧縮強度 q_u と地盤反力係数 k および摩擦強度の関係

4.3 摩擦強度に基づく設計方法

(1) アンカー体拘束具長

アンカー体拘束具長は式(4.1)より求める。

$$l_a = \frac{f P_a}{\pi d_B \tau_w}$$

ここに、 l_a ：アンカー体拘束具長（1～3m）

f ：安全率（=2.5）

d_B ：アンカー孔径

P_a ：設計荷重

τ_w ：くさび型拘束具における摩擦強度

拘束具によりアンカー体と周面地盤との間にアンカー力に匹敵するくさび力が作用するため、従来型アンカーよりはるかに大きい摩擦強度が発揮される。現地試験により決定することを原則とするが、概算段階では式(4.6)を利用する。

$$\tau_w = 48.2 \ln(q_u) + 95.3$$

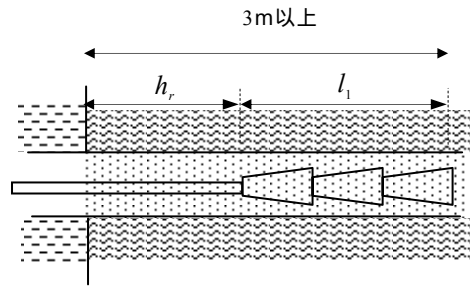


図 4.3 アンカー体長計算図

(2) アンカー体周辺地盤に負荷する応力の検討

アンカー体周辺地盤に負荷する応力 σ は式(4.8)で求め、その値が定着地盤の一軸圧縮強度 q_u の 1/3 以下となるよう、拘束具長を調整する。

$$\sigma = \frac{P_a}{\pi \cdot d \cdot l_a} \cdot \frac{q_u}{3} \tag{4.8}$$

(3) 拘束具埋設区間長 h_r

定着地盤の支圧強度を確実に確保するため、埋設区間長 h_r は 1m 以上とする（図 4.3）。

(4) アンカー体長（ $l = 3 \sim 10m$ ）

アンカー体長 l が 3m 以上となるよう、埋設区間長 h_r を調整する。

$$l = l_1 + h_r \text{ (m)} \tag{4.9}$$

(5) テンドンとグラウト材との付着による引抜けの検討について

テンドン先端部は圧着グリップと支圧板で固定しており、テンドンが単独で引抜けるおそれはない。

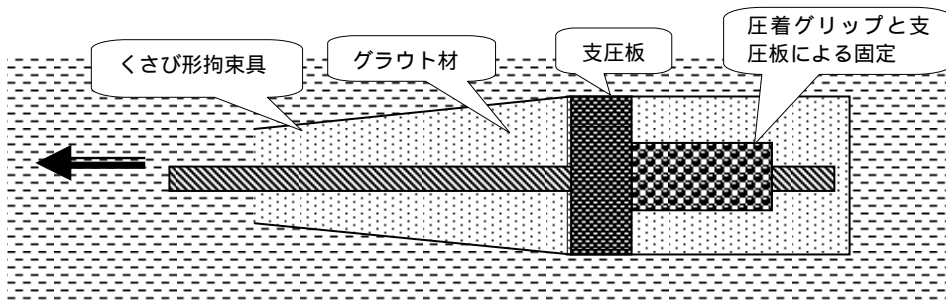


図 4.4 拘束具内テンダンの固定方法

4.4 地盤反力度に基づく設計方法

4.4.1 設計上のメリット

地盤反力度に基づく方法は摩擦強度に基づくものより、アンカー体長を合理的に決定できる利点がある。すなわち、摩擦強度による方法では、現地試験で極限引抜き耐力に達しない限り、極限摩擦強度を把握することができない。これに対し地盤反力度による方法では、荷重と定着地盤の変形量から設計値を得ることができるため、必ずしも極限引抜き耐力を確認する必要はなく、より合理的（経済的）な設計とすることができる。

4.4.2 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

$$\text{くさび力: } W = \frac{P_0}{2 \sin(\theta + \delta)} \quad (4.10)$$

$$\text{くさび水平力: } W_H = W \cos(\theta + \delta) = \frac{P_0}{2} \cot(\theta + \delta) \quad (4.11)$$

ここに、 θ : くさび頭頂角 = $ACB/2$, δ : 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。

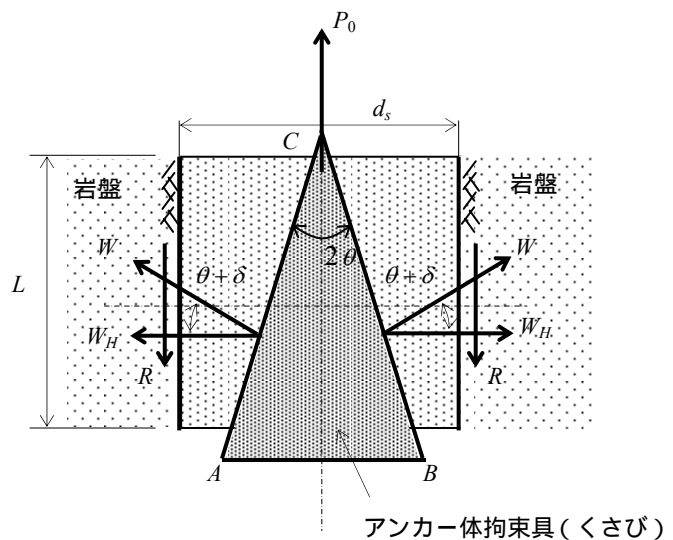


図 4.1 くさびの釣合い(再掲)

4.4.3 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

$$R = f \cdot W_H = f \cdot \frac{P_0}{2} \cot(\theta + \delta) \quad (4.12)$$

ここに

$$f = \tan \phi \quad (4.13)$$

ϕ は岩盤の基本摩擦角である。

4.4.4 アンカー体拘束具の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、アンカー体周壁の摩擦抵抗 R に対して

$$P_0 \geq 2R \quad (4.14)$$

でなければならない。ゆえに、式(4.12)より

$$\tan(\theta + \delta) \geq \tan \phi \quad (4.15)$$

$$\therefore \theta + \delta \geq \phi \quad (4.16)$$

ここに、 θ はくさび頭頂角の $1/2$ 、 ϕ は岩盤の基本摩擦角 (°) であり、壁面摩擦角 δ 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 θ を決めれば、アンカーは引抜けに対して安全である。

4.4.5 アンカー体拘束具長の計算

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

$$W_H \leq \frac{1}{f} \pi d_B l_a q \quad (4.17)$$

ここに、 d_B : アンカー孔径、 l_a : 拘束具長 (1~3m)、 q : 地盤反力度 ($=k \cdot r$)、 k : 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

$$l_a \geq \frac{f W_H}{\pi d_B q} \quad (4.18)$$

したがって、拘束具長は、修正係数 a を掛けて

$$l_a = \frac{a f W_H}{\pi d_B q} \quad (4.19)$$

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なため設計荷重 P_a で置き換える。

$$l_a = \frac{a f P_a}{\pi d_B q} \quad (4.20)$$

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。

4.4.6 アンカー体に負荷する応力の検討

アンカー体に負荷する応力 σ は式(4.8)で求め、その値が定着地盤の一軸圧縮強度 q_u の $1/3$ 以下となるよう、拘束具長を調整する。

$$\sigma = \frac{P_a}{\pi \cdot d \cdot l_a} \leq \frac{q_u}{3}$$

4.4.7 拘束具埋設区間長 h_r

定着地盤の支圧強度を確実にするため、埋設区間長は1m以上とする(図4.3)。

4.4.8 アンカー体長 ($l=3\sim 10\text{m}$)

アンカー体長 l が3m以上となるよう、埋設区間長を調整する(式(4.9))。

$$l = l_1 + h_r \quad (\text{m})$$

4.4.9 地盤反力係数の求め方

以下に地盤反力係数 k の求め方の例を示す(詳細は「第6章 試験」の項参照)。

(手順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4.5)。

(手順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4.2)。

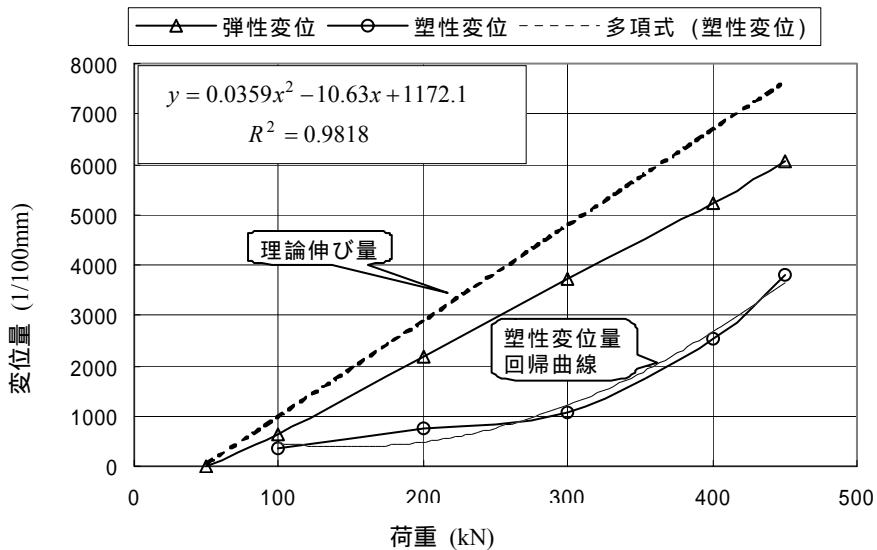


図4.5 荷重 - 弾性変位・塑性変位曲線

表 4.2 引抜け量（塑性変位）測定値

荷重 kN	塑性変位量 L mm	地盤拡径量 h cm	有効応力 N/cm^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 ΔL : 荷重 - 塑性変位曲線の回帰式より算出 (図 4.5)

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 $n = 10$ ヶ (= 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

(手順 3) 荷重 - 地盤拡径量, 引抜け量の関係図を作成する(図 4.6)。

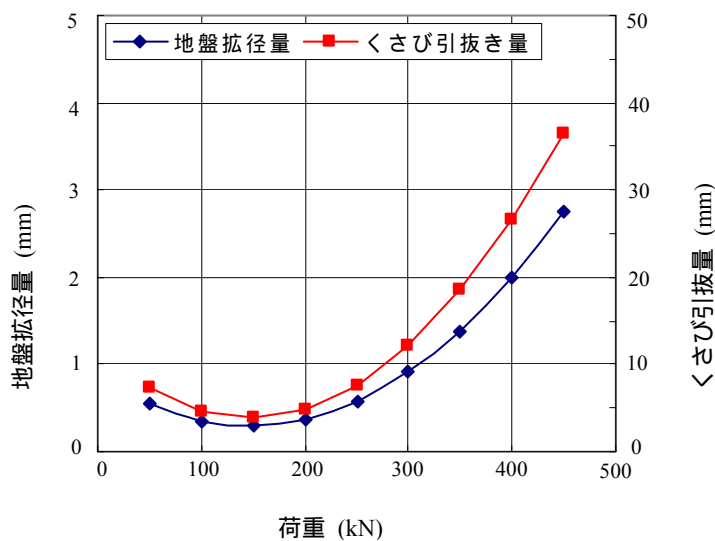


図 4.6 地盤拡径量, くさび引抜け量 - 荷重曲線

(手順4) 図4.6より、荷重200kNまではこれに応じた地盤変位を示しておらず、主に摩擦強度により指示されている状態と判断される。よって荷重250kN以降のデータを用いて、**地盤拡径量 - 有効応力曲線図**を作成する(図4.7)。この図に示す回帰直線の勾配が求める地盤反力係数である ($k=982.8\text{N/cm}^3$)。

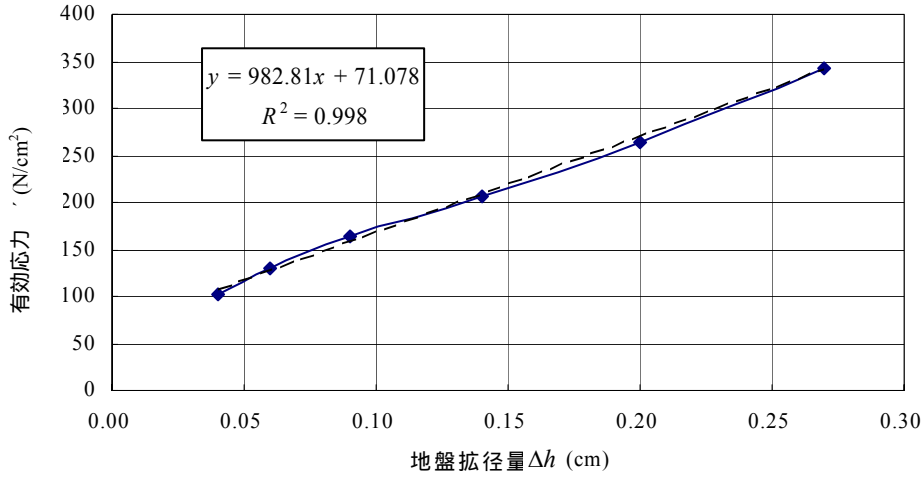


図 4.7 地盤拡径量 - 有効応力曲線

これまで得られた地盤反力係数の値を表4.3に示す。

表 4.3 地質別地盤反力係数

現場	No	定着長	引抜き耐力	一軸圧縮強度	地盤反力係数	アンカー孔径	掘削方向	定着地盤の地質	グラウト加圧方法	備考	
		m	kN	q_u (N/mm ²)	k (N/cm ³)	ϕ (mm)					
本庄	1	1.0	640	2.14	807	115	鉛直	風化凝灰岩	不圧	アンカー体をパッカーで被覆	
	2	1.0	580		775	135					
	3	1.0	500		593	135					
古江	1	2.0	560	1.06	537	115	鉛直	泥岩	不圧		
	2	2.0	560		564	115					
	3	2.0	620		615	115					
	4	2.0	610		435	115					
	5	2.0	650		392	115					
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					
	3	2.0	1000以上		981	115					
平田細原	1	0.5	550	7.90	1100	115	斜孔	砂岩	不圧	RQD = 0 ~ 10, ロータリーボーリング掘削	
	2	1.0	870		991	115					
	3	1.5	890		768	115					
	1'	0.5	310		1452	66			斜孔	パッカー	RQD = 0
	2'	1.0	445以上		1110	66					RQD = 12
	3'	1.5	445以上		974	66					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, ロータリーパーカッション掘削	
	2	1.0	750	8.30	958	115					斜孔

RQD：岩盤の評価に用いられる指数で、1mあたりの10cm以上のコア長さを百分率で表示したもの。

掘削方法：魚瀬現場はロータリーパーカッション、その他はロータリーボーリングによる。

RQD 区分

非常に良い	90 ~ 100%
良い	75 ~ 90%
普通	50 ~ 75%
悪い	25 ~ 50%
非常に悪い	0 ~ 50%

[参考] 表 4.3 よりアンカー体設置地盤の一軸圧縮強度と地盤反力係数の関係が図 4.8 のように得られ、任意の一軸圧縮強度に対する地盤反力係数を求めることができる。

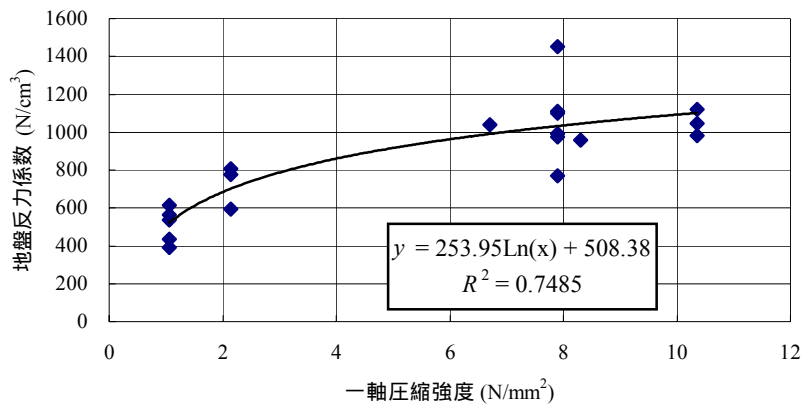


図 4.8 一軸圧縮強度 - 地盤反力係数関係図

注 1) ただし、さらに多くのデータを取得して精度を上げる必要があるため、現時点では、図 4.7 の方法により地盤反力係数を求める。

注 2) ボーリングコア等で一軸圧縮強度値を求められない場合、概略設計値の目安として表 4.4 を提案する。なお、これに基づく基本調査試験を行い、得られた地盤反力係数 k により詳細設計を行うものとする。

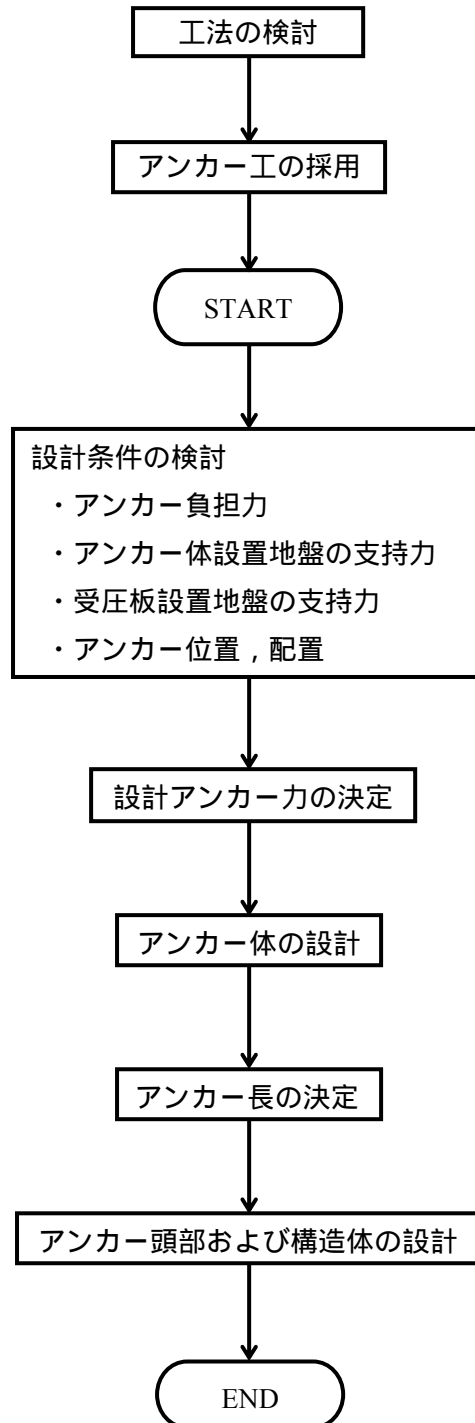
表 4.4 一軸圧縮強度 (参考値)

地 質		一軸圧縮強度 q_u (N/mm ²)	備 考
第四紀層等固結度の低い地層		$q_u = \frac{N}{40}$	N : 標準貫入試験値
新第三紀層	泥岩層	1 ~	地すべりの多発する軟質な地層
	砂岩層	10	亀裂の少ない安定した地層
上記以外	強風化岩層	1 ~ 3	硬い岩芯を残さず、概ね粘土化した地層
	風化岩層	6	硬い岩芯を残すが脆弱部を多く介在し、所々礫状コアとなる地層
	弱風化 ~ 未風化層	10 ~	亀裂等の少ない安定した地層

4.5 アンカー設計計算例

4.5.1 設計手順

標準的な設計手順を次に示す。



4.5.2 設計条件

設計条件を次のように仮定する。

表 4.4 設計条件

No.	条件	記号	値	単位
1	すべりを起こそうとする力	T	3 000	kN/m
2	アンカー打設地点のすべり面傾角	β	8	°
3	アンカー打設間隔	D	2	m
4	施工段数	n	2	段
5	アンカー打設傾斜角	α	20	°
6	アンカー材とすべり面のなす角度	$\alpha + \beta$	28	°
7	アンカー孔径	d_B	115	mm
8	計画安全率	F_S	1.2	
9	初期安全率	F_0	1.0	
10	設計荷重	P_a		kN/本
11	アンカー力	P_0		kN/m
12	アンカーによる締め付け効果	P_N		kN/m
13	アンカーによる引き止め効果	P_T		kN/m
14	アンカー自由長	s	20	m
15	定着地盤の一軸圧縮強度	q_u	6	N/mm ²

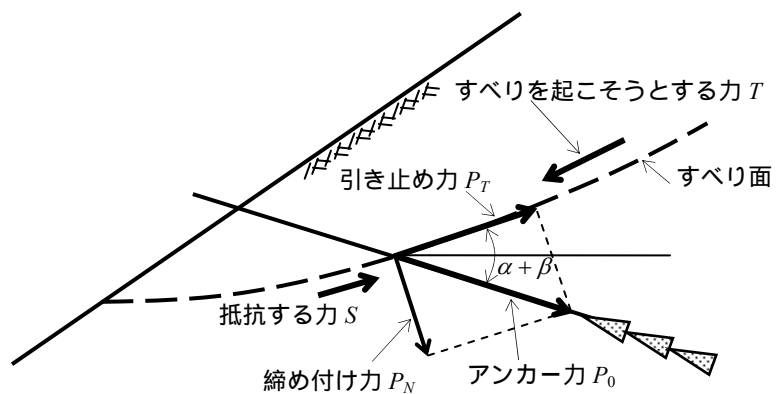


図 4.9 アンカーによる抑止機能

4.5.3 設計アンカー力の計算

(1) 必要アンカー力の計算

締め付け力を地すべりに抵抗する力とみなし、引き止め力をすべろうとする力を減じる効果とみなすと、必要アンカー力 P_0 は

$$F_s = \frac{[\text{すべりに抵抗する力}] + P_0 \sin(\alpha + \beta) \tan \phi}{[\text{すべろうとする力}] - P_0 \cos(\alpha + \beta)}$$

$$\therefore P_0 = \frac{F_s [\text{すべろうとする力}] - [\text{すべりに抵抗する力}]}{F_s \cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta) \tan \phi}$$

ここで、引き止め効果の場合、 $P_0 \sin(\alpha + \beta) = 0$ とみなすと、必要アンカー力は以下のように計算できる。

$$P_0 = \frac{T(F_s - F_0)}{F_s \cos(\alpha + \beta)} = \frac{600.0}{1.20 \times \cos(28.00)} = 566.3 \quad (\text{kN/m})$$

(2) 設計荷重の計算

設計荷重 P_a は、以下のように計算できる。

$$P_a = \frac{P_0 D}{n}$$

$$= \frac{566.3 \times 2.00}{2} = 566.3 \quad (\text{kN/本})$$

(3) テンドン規格

次表より、設計荷重 566.3kN を満足するテンドンとして、800Ws (110W, 658.8kN) を選定する。

表 4.5 くさび型アンカー構成表

システム	掘削径 (mm)	テンドン呼名	ケーブル(径×本数) (mm)	許容荷重 kN(0.6 T_{us})
300Ws	115	20W	φ 12.7×1	109.8
		40W	φ 17.8×1	232.2
		60W	φ 21.8×1	343.8
800Ws	115	70W	φ 12.7×4	439.2
		90W	φ 12.7×5	549.0
		110W	φ 12.7×6	658.8
		130W	φ 12.7×7	768.6

4.5.4 摩擦強度に基づくアンカー体長の計算

(1) アンカー体拘束具長

アンカー体と周面地盤との摩擦強度より

$$l_a = \frac{f P_a}{\pi d_B \tau_w} \quad (4.1)$$

ここに、 l_a ：アンカー体拘束具長(1～3m) f ：安全率 (=2.5 . 表 4.6) d_B ：アンカー孔径 (=115mm) P_a ：設計荷重 566.3kN q_u ：定着地盤の一軸圧縮強度 6N/mm² (600N/cm²)

$$\frac{q_u}{3} = 2.0 \quad (\text{N/mm}^2)$$

 τ_w ：くさび型アンカーにおける摩擦強度 (基本調査試験によるが、概算値は式(4.6)を使用)

$$\tau_w = 48.2 \text{Ln}(q_u) + 95.3 = 181 \quad (\text{N/cm}^2)$$

表 4.6 極限引抜き力に対する安全率

		安全率
仮設アンカー		1.5
永久アンカー	(常時)	2.5
	(地震時)	1.5～2.0

グラウンドアンカー設計・施工基準 同解説 P.113
(平成 15 年 8 月 26 日版 地盤工学会)

式 (4.1) より

$$l_a = \frac{2.5 \times 566300}{\pi \times 11.5 \times 181} = 217 \text{ (cm)} \quad 2.2\text{m (20cm 括約, } l_a = 1 \sim 3\text{m)}$$

(2) アンカー体に負荷する応力 σ の検討 (式(4.8)より)

$$\sigma = \frac{P_a}{\pi \cdot d_B \cdot l_a} = \frac{566300}{3.14 \times 11.5 \times 220} = 71.3 \quad (\text{N/cm}^2) \quad (q_u/3 = 200 \text{ N/cm}^2)$$

(3) アンカー体長 (式(4.9)より)

$$l = l_a + h_r = 2.2 + 1.0 = 3.2 \text{ (m)} \quad (3.0\text{m})$$

(4) 設計結果

表 4.7 設計計算結果

設計諸元		設計条件		
設計荷重	566.3kN/本	定着地盤の 一軸圧縮強度	6N/mm ²	ボーリングコアによる実測値等
アンカー孔径	115mm	アンカー体拘束具 による摩擦強度 τ_w	181N/cm ²	(換算式) $\tau_w = 48.2Ln(q_u) + 95.3$ より
拘束具長	2.2m			
拘束具埋設区間長	1.0m			
アンカー体長	3.2m			
アンカー自由長	20.0m			
アンカー掘削長	23.0m			

4.5.5 地盤反力度に基づくアンカー体長の計算

(1) アンカー体拘束具長

アンカー体拘束具長は次式より求める。

$$l_a = \frac{a f P_a}{\pi d_B q} \tag{4.20}$$

ここに、 l_a ：アンカー体拘束具長，

a ：修正係数，

f ：安全率 (=2.5)，

d_B ：アンカー孔径 (115mm)，

P_a ：設計荷重 (くさび水平力 W_H を測定することが困難なため、設計荷重 P_a で代用)，

q ：地盤反力度 (= $k \cdot r$)，

k ：地盤反力係数，

r ：最大有効地盤変位量 0.375cm (くさびを 50mm 引抜いたときの地盤拡径量に相当)。

表 4.8 極限引抜き力に対する安全率

		安全率
仮設アンカー		1.5
永久アンカー	(常時)	2.5
	(地震時)	1.5 ~ 2.0

グラウンドアンカー設計・施工基準 同解説 P.113
(平成 15 年 8 月 26 日版 地盤工学会)

(2) 地盤反力係数 k (詳細は 6.2 項参照)

図 4.10 のくさび引抜き量から地盤拡径(量)を求め、これと有効支圧区間の応力の関係から地盤反力係数 $k (= \sigma / \Delta h)$ (N/cm³) を求める (図 4.11)。

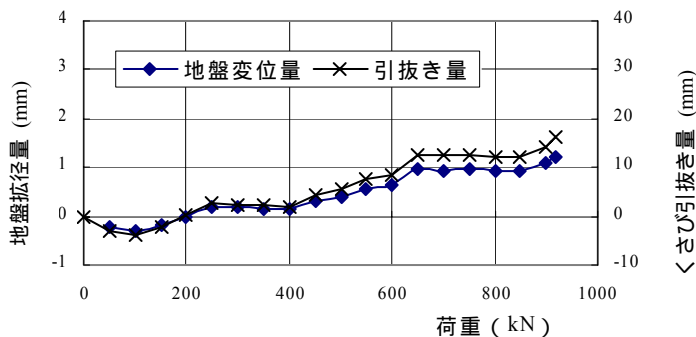


図 4.10 荷重 - 地盤拡径量・くさび引抜き量曲線

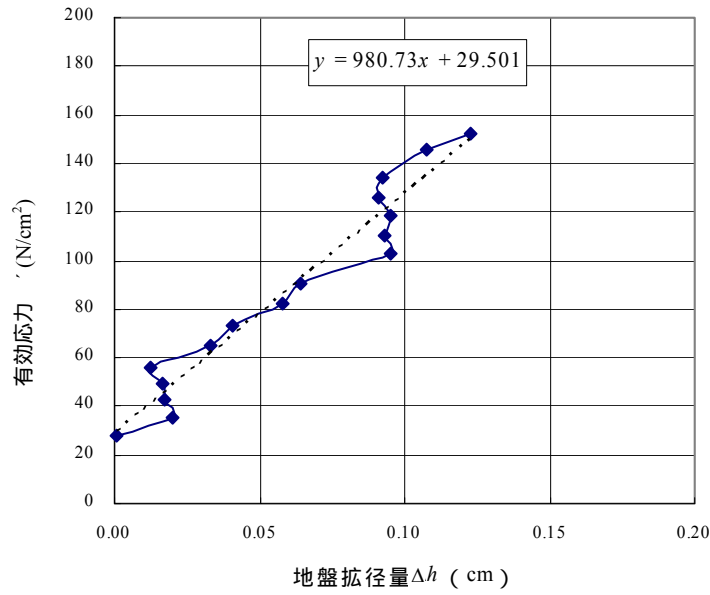


図 4.11 地盤拡張量 - 有効応力曲線

(3) アンカー一体拘束具長 (式(4.20)より)

$$l_a = \frac{2 \times 2.5 \times 566300}{\pi \times 11.5 \times (980.73 \times 0.375)} = 213 \text{ cm} \quad 2.2\text{m} \text{ (20cm 括約, } l_a = 1 \sim 3\text{m)}$$

(4) アンカー一体に負荷する応力 σ の検討 (式(4.8)より)

$$\sigma = \frac{P_a}{\pi \cdot d_B \cdot l_a} = \frac{566300}{3.14 \times 11.5 \times 220} = 71.3 \text{ (N/cm}^2\text{)} \quad (q_u/3 = 200 \text{ N/cm}^2)$$

(5) アンカー一体長 (式(4.9)より)

$$l = l_a + h_r = 2.2 + 1.0 = 3.2 \text{ (m)} \quad (3.0\text{m})$$

(6) 計算結果

表 4.9 設計計算結果

設計諸元		設計条件		
設計荷重	566.3kN/本	地盤反力係数 k	980.73N/cm ³	現地試験より
アンカー孔径	115mm			
拘束具長	2.2m			
拘束具埋設区間長	1.0m			
アンカー一体長	3.2m			
アンカー自由長	20.0m			
アンカー掘削長	23.0m			

4.6 経済性比較における留意点

4.6.1 摩擦強度について

従来式摩擦型アンカーとの経済比較を行う場合の留意点として、摩擦強度 τ の取り扱いがあり、現地試験を行わない段階での推定方法は以下のように行う。

摩擦強度の推定方法

くさび型アンカー（摩擦強度による設計）の場合：式(4.6)より

$$\tau_w = 48.2Ln(q_u) + 95.3$$

従来式摩擦型アンカーの場合：表 4.10 または式(4.7)より

$$\tau = \frac{q_u}{10}$$

従来式摩擦型アンカーに用いる摩擦強度として表 4.10 があるが、これに関して「グラウンドアンカー施工のための手引書（社団法人日本アンカー協会），P.110」では以下のような指摘を行っている。

要約内容

(1) この表は 1975 年以前の試験データを基に作成されたものである。

(2) 実際のアンカー体径は、地盤によっては削孔径より大きくなることが確認されているが、表の値は、削孔径に基づいたアンカー体表面積によって計算されたものである。
過大値を与える。

(3) 地下水位下での施工など周面摩擦抵抗が減少するような条件におけるアンカーの適用も近年増加しており、さらに我が国の地盤は平面的にも深度方向にも変化が大きいため、このような場合に単純に表の値より設定するのは難しい。よって表の値の適用は、引抜き試験計画時の目安として、また設置地盤が十分に把握できる場合の仮設アンカーの設定値に限定すべきである。

(4) 表 4.10 にかかわらず、蛇紋岩や第三紀の泥岩などは、周面摩擦抵抗が小さいことがある、注意を要する地質である。

(斜字および下線は加筆したもの)

表 4.10 アンカーの極限周面摩擦抵抗

地盤の種類		摩擦抵抗(MN/m ²)	
岩盤	硬 岩	1.50 ~ 2.50	
	軟 岩	1.00 ~ 1.50	
	風化岩	0.60 ~ 1.00	
	土 丹	0.60 ~ 1.20	
砂礫	N 値	10	0.10 ~ 0.20
		20	0.17 ~ 0.25
		30	0.25 ~ 0.35
		40	0.35 ~ 0.45
		50	0.45 ~ 0.70
砂	N 値	10	0.10 ~ 0.14
		20	0.18 ~ 0.22
		30	0.23 ~ 0.27
		40	0.29 ~ 0.35
		50	0.30 ~ 0.40

グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説
(JGS 4101-2000) P.117 地盤工学会

一方，図 4.12 は日本の地すべり地における 1,325 個の試料についての，現場における直接引抜き試験と室内試験の両方の値を示したものであり，例えば頁岩では $0.2 \sim 1.1 \text{N/mm}^2$ ($0.2 \sim 1.1 \text{MN/m}^2$) の幅広いばらつきがある．表 4.10 の軟岩あるいは風化岩の値と比べ過小であり，上記(3, 4)の指摘を裏付けるものである．

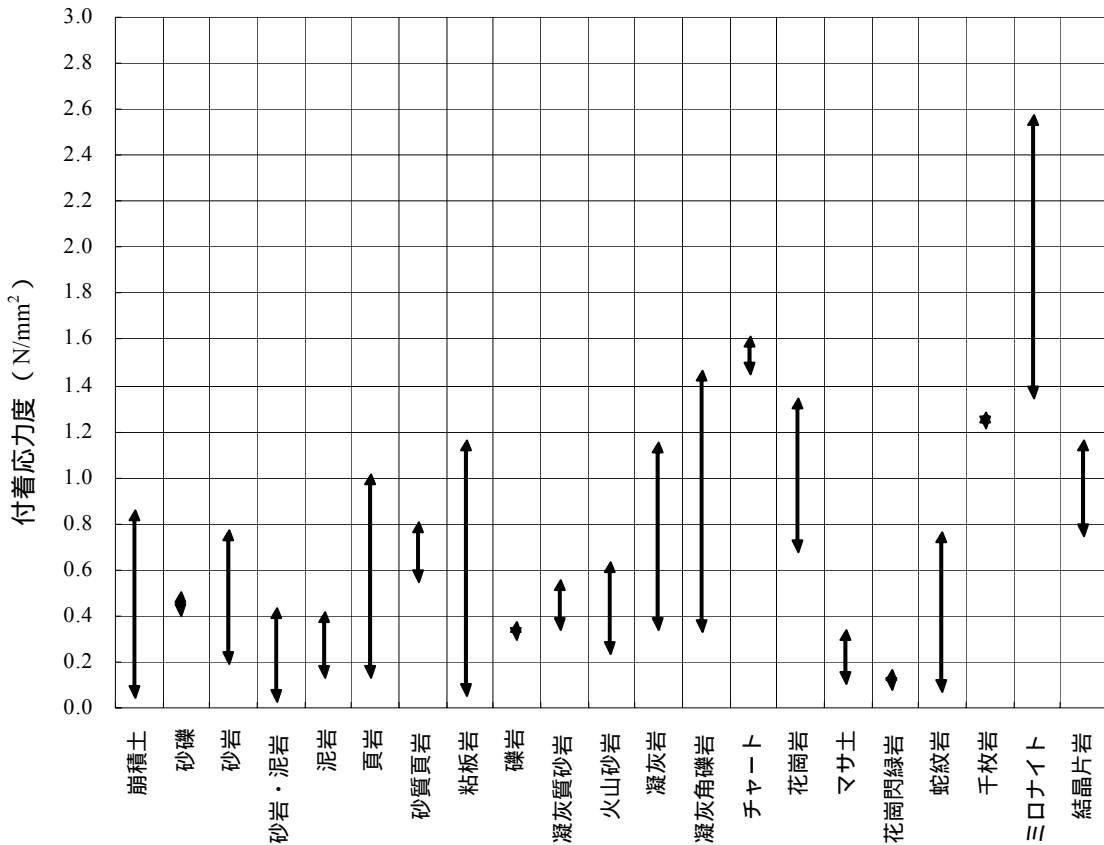


図 4.12 岩種と付着強度

「申植潤，地すべり工学 最新のトピックス ，P.354 図 15.3」より転記

したがって，従来型アンカーに用いる摩擦強度 τ の推定基準として以下のように提案する． τ

従来型アンカーに用いる摩擦強度 τ は式(4.7)から推定する．

同一地盤でもばらつきが大きいことから，硬い安定した地盤でもせいぜい $\tau = 1 \text{N/mm}^2$ とし，地盤調査が十分でない場合は，脆弱層の存在を考慮し， $\tau = 0.6 \text{N/mm}^2$ 程度とする．

4.6.2 アンカー孔径について

(1) 従来式摩擦型アンカーの場合

(財)日本アンカー協会等では、以下の理由から最小孔径を 115mm 以上とすることを提案している。

- (1) テンドンの被り厚が小さくなると極端に引抜き抵抗力が低下する。
- (2) テンドン挿入時の最低クリアランスを 10mm としている。

テンドンの被り厚については表 4.11 のような指針があり、およそ 20mm 以上を求めている。これを確保するにはスペーサやセントライザー等を用いて、テンドンをアンカー孔中央部に浮かせる状態でセットしなければならない。

表 4.11 テンドンの被り厚

引用文献	指針内容	備考
急傾斜地崩壊防止工事技術指針	10mm 以上	「斜面崩壊防止工事の設計と実例（参考編），国交省河川局砂防部監修，P.214，1996」より
Deutsche Industrie-Norm：DIN-4125,1976	最小 2cm	「斜面崩壊防止工事の設計と実例（参考編），国交省河川局砂防部監修，P.160，1987」より
スイス	一般に 20mm 以上	
アメリカ	最低 1.3cm	

すなわち、φ90mm 掘削の場合は（図 4.13）

$$(\text{テンドン径} = \text{ケーシング内径 } 69) - (\text{グラウト被り厚}(10+10) + \text{クリアランス } 10) = 39\text{mm}$$

となり、全区間アンボンドシース等による二重防食を条件とする場合は、PC 鋼より線は 1 本引きとなる。この場合定着部に拘束具を設けることになり、上記径に収めるのは実質不可能である。よって、二重防食を満たす摩擦型アンカーは最小孔径 115mm が必要となる。

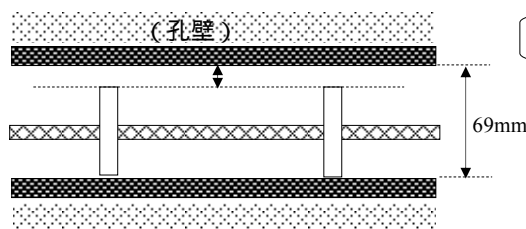


図 4.13 φ 90mm 掘削の場合

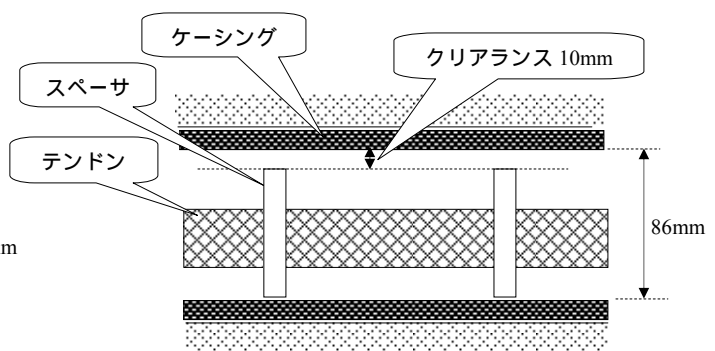


図 4.14 φ 115mm 掘削の場合

(2) くさび型アンカーの場合

くさび型アンカーの場合，アンカー体のグラウトは拘束具と定着地盤との間詰め材の役割を期待するものであり，従来式摩擦型アンカーのように，スペーサ等によりグラウト厚を確保する必要はない．

すなわち，図 3.2 に示すように，例えば摩擦（引張）型ではアンカー体に引張力が働くため，テンドンと周面地盤との間にグラウト材が十分確保されていないと，アンカー体が容易に剥離する危険性がある．これに対し，くさび型では，拘束具（＝くさび）により周面地盤に圧縮力が働くため，孔壁と周面地盤との空隙がグラウト材で確実に充填されておればよい．

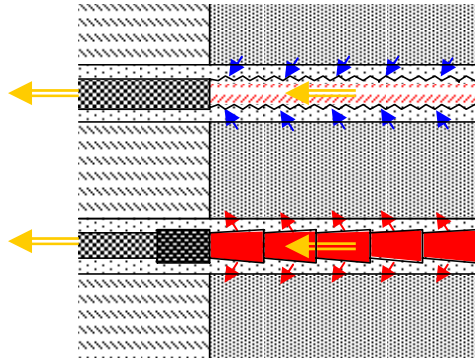
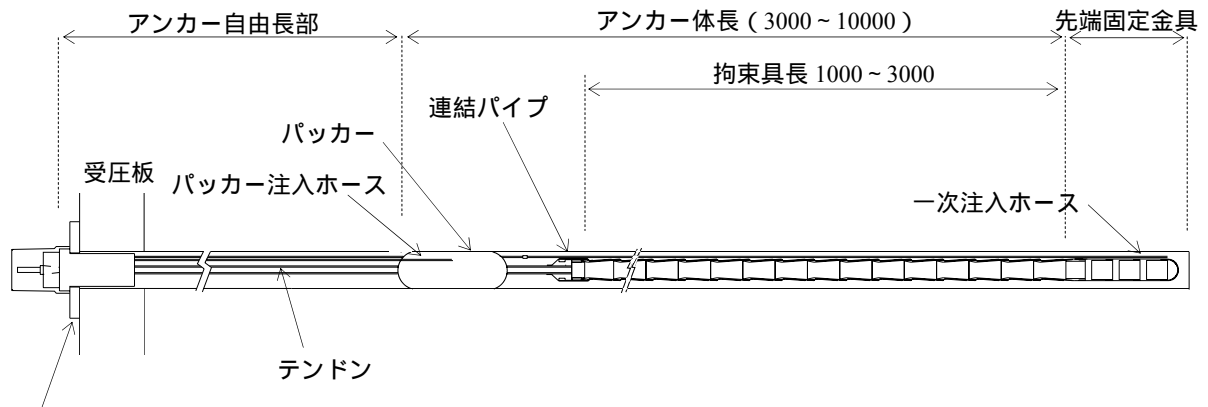


図 3.2 アンカー体に作用する応力の違い（再掲）

第5章 施工

5.1 施工手順



アンカープレート

図 5.1 くさび型アンカー標準構造図

5.1.1 掘削

- (1) アンカー孔は設計書に示された位置・アンカー孔径・長さ・方向等に基づき、造成するアンカー体の周辺地盤を乱さない方法で直線性を保ちながら掘削する。
- (2) 計画されたアンカー体の安全性を確保するため、掘削時の湧・漏水や孔壁の粘土化、崩壊等に対して常に留意する。

(注意事項)

アンカー孔壁とアンカー体拘束具間の空隙は確実にグラウトで充填されている必要があり、この要件が満たされない場合には別個の対策が必要である。

例えば、湧・漏水地盤ではアンカー体全区間（図 5.5 参照）をパッカーで包み、この中にグラウトすることでアンカー体拘束具周辺部の間詰めを確実にする方法が考えられる。

孔壁が粘土化しやすい地盤では、孔内洗浄を十分に行う等の処置が必要である。

- (3) 掘削等による孔壁のゆるみが避けられない場合は、パッカーを用いた加圧グラウトにより、これを補強する。

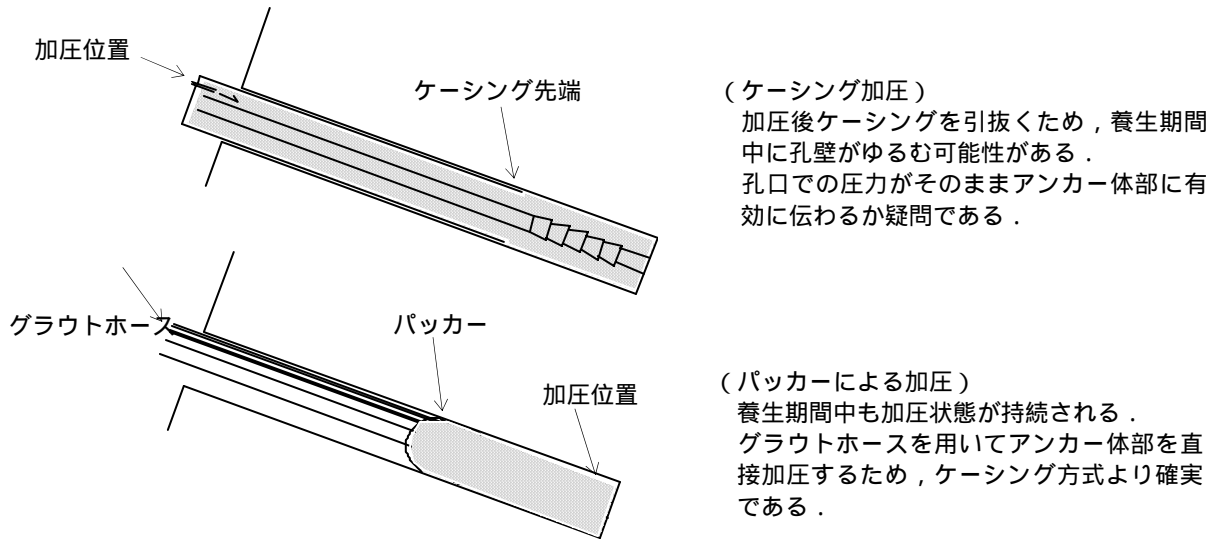


図 5.2 グラウト加圧方法

5.1.2 孔内洗浄

- (1) 孔内洗浄はエアリフト等により確実にを行う。
- (2) 特に孔底付近に残るスライムの排除に万全を期す。

(注意事項)

下図のように、各孔ともテンドンを設置後まとめてグラウトするといったような作業手順とした場合、掘削孔から隣接孔(既テンドン設置孔)にスライムが流入する危険性がある。この場合、設置済みのテンドンがスライムを被るため、その後に行われるグラウトが有効に機能しないといった事故を招きやすい。そのため、各アンカーはテンドン挿入と同時に一本ずつグラウトするのが鉄則である。

The diagram shows two vertical holes in a rock. The left hole is labeled '(掘削孔)' (drilling hole) and the right hole is labeled 'テンドン挿入孔(グラウト未了)' (tendon insertion hole, grouting incomplete). Pink arrows indicate the flow of '掘削水(スライム)' (drilling water/sludge) from the drilling hole into the adjacent hole. The sludge is shown coating the tendon in the adjacent hole.

→ 掘削水(スライム)

図 5.3 隣接孔へのスライム流入

5.1.3 テンドンの組立加工

- (1) テンドンは設計仕様に基づき，工場組立て加工とする．
- (2) アンカー体の加圧グラウトをパッカー（1 m）で行う場合は，下図による．

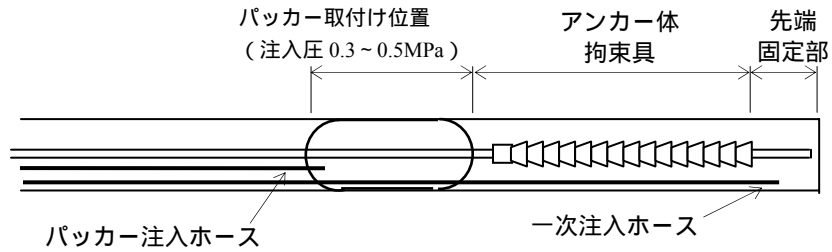


図 5.4 加圧用パッカー取付け図



写真 5.1 パッカー取り付け状況（300Ws 型アンカー）
 スライダー部分のグラウトホースは扁平ホース
 （ネオデリコンφ19mm）仕様

- (3) グラウト材の漏出対策として，アンカー体をパッカーで構築する場合は下図による（現場取り付け）．ただしこの場合のパッカー布厚は薄いものとする（ノンリークパッカー等）．

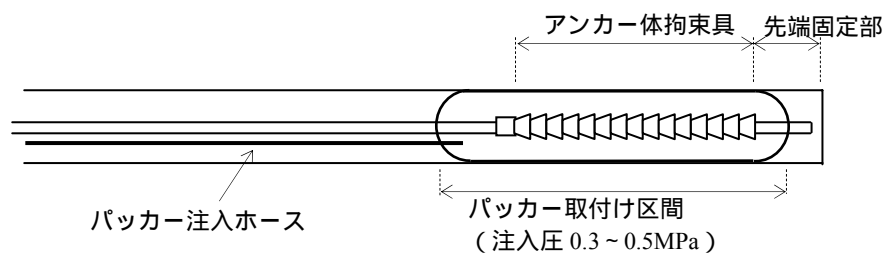


図 5.5 アンカー体全体をパッカーで包む場合の取付け図

5.1.4 アンカー体設置手順

(1) パッカーを併用する場合

- 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)，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

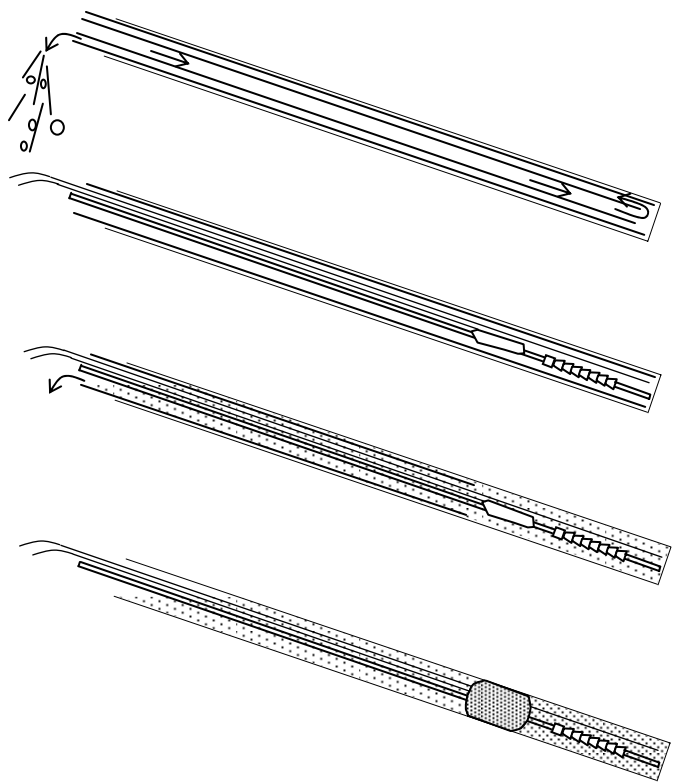


図 5.6 パッカー併用時の施工手順

(注意事項)

作業手順 2 の段階でグラウトを行った場合，パッカー位置でグラウト材が固化(写真 5.2)し，テンドン回収不能といった事故を起こす危険性がある．これはケーシング引抜きにともない，グラウト材がケーシング内を下降し，パッカー位置で脱水，固化することによる．

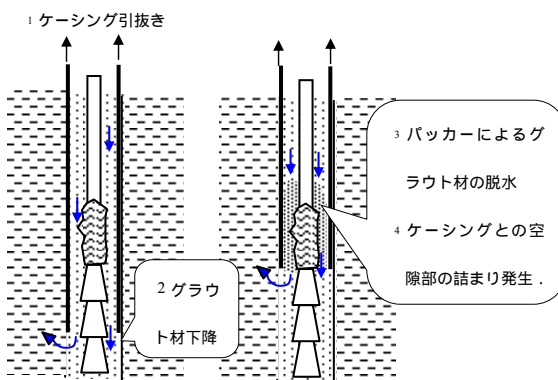


写真 5.2 パッカー位置でケーシング内のセメントミルクが脱水，固化した状況

(2) パッカーを使用しない場合

- 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

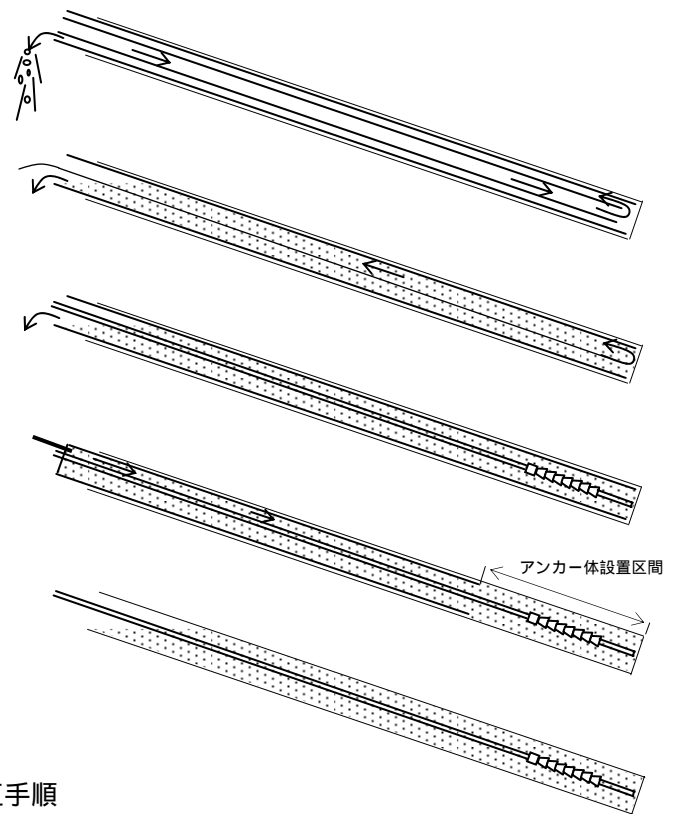


図 5.7 施工手順

(注意事項)

作業手順 2 において，図 5.8 のように孔内水がある状態で孔底に達しない位置からグラウトした場合，写真 5.3 のようなブリージングをもたらす可能性がある。

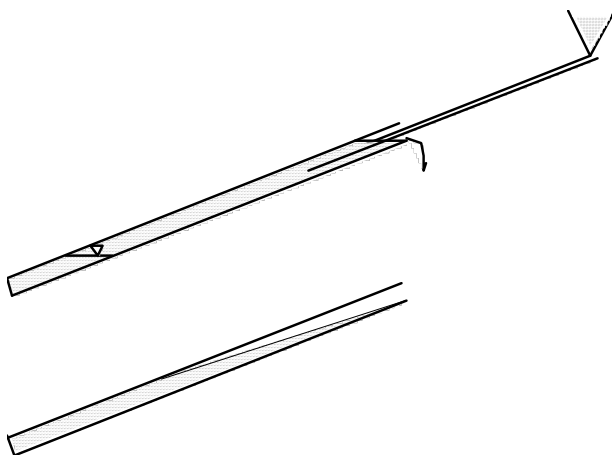


図 5.8 グラウト実験
(上：グラウト直後，下：養生後)



写真 5.3 ブリージング状況

(3) スレーキングを起こしやすい地盤での作業工程

スレーキングを起こしやすい地盤等では、アンカー体設置地盤の掘削とテンドン挿入およびグラウト作業を連続して行う。

5.1.5 緊張・定着

所定のグラウト強度を確認した後、品質保証試験によりアンカーの安全性を確認し、最終的に所要の荷重で緊張・固定する。

5.1.6 充填注入

充填注入はアンカー体を造成した後に、アンカー自由長部の周囲やアンカー頭部背面において空隙充填と保護のために行う。仮設アンカーでは必要に応じて実施する。

5.2 留意事項

(1) アンカー体グラウトの圧入について

くさび型アンカー体のグラウトは拘束具とアンカー孔壁間の間詰めにより、くさび力を確実に地盤に伝達させるためのものである。孔壁のゆるみがかげられない地盤等ではパッカーを用いてアンカー体のグラウトを加圧状態で養生することが望ましい。

(2) パッカーの取り付け方法

パッカーによる圧入が失敗する原因に、グラウト漏出、パッカーの破損、パッカーの拡径不足などがある。

① グラウト漏出防止対策

パッカー取り付け断面は凹凸があるため、止水ボンド等を用いて漏出を防ぐ（写真 5.4～5.6）。



写真 5.4 止水ボンド充填



写真 5.5 番線による固定



写真 5.6 テープによる固定

2 パッカー破損防止対策

テンドン挿入中にグラウトホース先端がパッカー布を介して孔壁にこすれることでこれを破損するケースがある。これを防ぐには図 5.10 のようにホース先端は鋭角な断面とした上で、テンドンに固定しておくなどの処置が必要である。

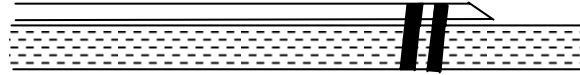


図 5.9 パッカー内グラウトホース取り付け図

3 パッカーの拡径

テンドン挿入時に、パッカーのタルミをとるためにビニールテープ等で固定することが行われるが、図 5.11 のようにこれがパッカーにくい込むように残り、結果として孔壁との間に隙間を形成し、グラウト区間の閉塞が不十分となることがある。これを防ぐには写真 5.7 のようにテープに切れ目を入れ、パッカーの拡径と同時にこれを容易に破断させるなどの処置が必要である。

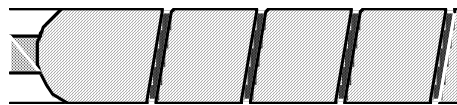


図 5.10 グラウト漏出原因の例



写真 5.7 ビニールテープの切れ目加工

第6章 試験

試験は「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説：地盤工学会」に基づいて行う。

6.1 測定

6.1.1 一般

アンカーの設計および施工にあたり基本試験（引抜き試験）を実施し，アンカー体の極限支持力を求める。施工されたアンカーに対しては以下のような品質保証試験を行ない，アンカー体の安全性を確認する。

- (a) 多サイクル試験：施工数量の5%かつ3本以上。
- (b) 1サイクル試験：上記以外のアンカー全数。

6.1.2 引抜き試験

(1) 荷重方法と計測項目

- (a) 初期荷重は計画最大荷重の約0.1倍とする。
- (b) 荷重段階は初期荷重から計画最大荷重までの間を5～10段階にわけ，荷重制御による多サイクル方式で荷重する。計画最大荷重で破壊しない場合は再度初期荷重の段階から引抜けるまで荷重する。ただし，この場合の最大荷重はテンドンの強度特性等を考慮して定める。
- (c) 各サイクルの荷重では，アンカー体を設置する地盤の種別，荷重段階に応じた一定の時間，荷重を保持できることを確認する。
- (d) 各荷重段階における計測は，荷重・変位量・時間等について行う。

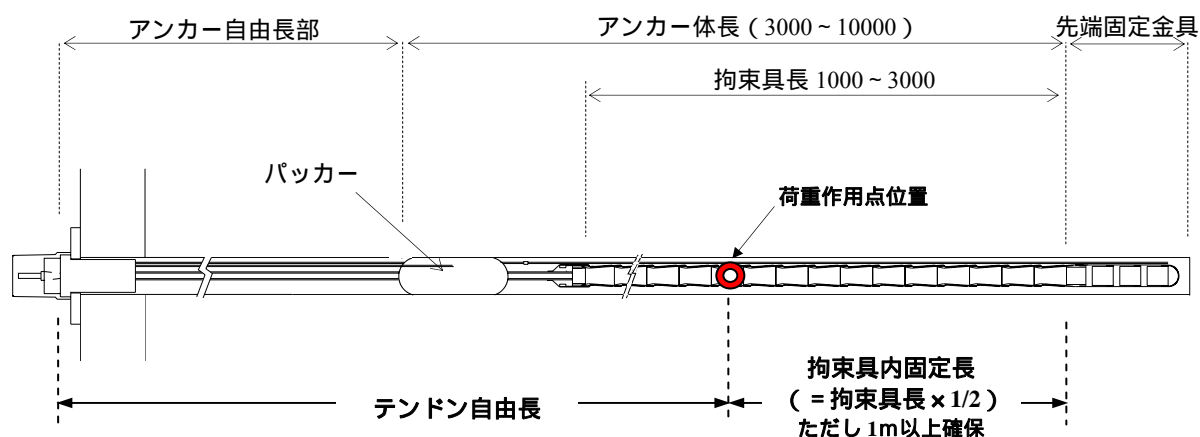


図 6.1 テンドン自由長区間

(2) 試験結果の整理と判定

アンカー頭部における荷重 - 変位量曲線，荷重 - 弾性変位量曲線，荷重 - 塑性変位量曲線を作成し，理論伸び量との対比等により極限引抜き力を判定する．

(極限引抜き耐力の判定基準)

理論的な極限引抜き力は拘束具の塑性変位量が 50mm の時得られるが，現場ではおよそ 50～60mm を越えた段階で急激な引抜けに至る．

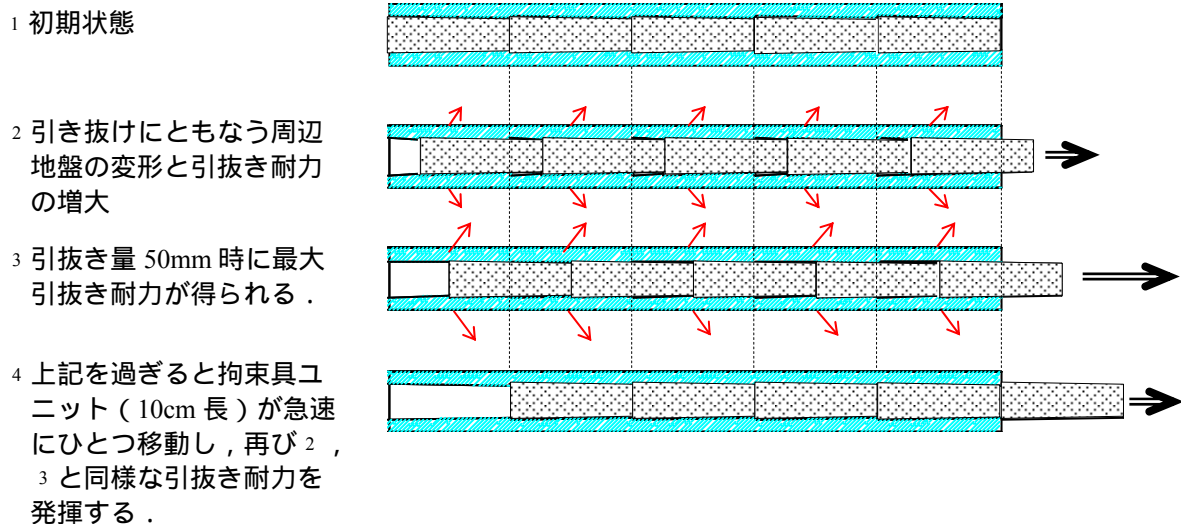


図 3.22 アンカー体の引抜けと引抜き耐力の関係

(3) 摩擦強度

くさび型アンカー体の摩擦強度 τ_w は次式による．

$$\tau_w = \frac{P_0}{\pi \cdot d_B \cdot l_a} \quad (6.1)$$

ここに， l_a ：引抜き試験時のアンカー体拘束具長

d_B ：アンカー孔径

P_0 ：アンカー体引抜け時（または塑性変形量 50mm 時）のアンカー力

6.1.3 多サイクル試験

(1) 載荷方法と計測項目

- (a) 計画最大荷重は tendon の強度特性等を考慮して定める．
- (b) 初期荷重は計画最大荷重の 0.1 倍とし，引抜き試験に準じた方法で載荷と除荷を繰り返す．
- (c) 計測項目は引抜き試験に準ずる．

(2) 試験結果の整理

試験結果は引抜き試験に準じて行い，理論伸び量等を基準に可否を判定する．

(3) 許容変位置の基準

許容変位置は拘束具の塑性変位置に基づき決定する．最初に，地盤反力度に基づくアンカー体拘束具長は式(4.2)で求められる．

$$l_{a2} = \frac{a f P_a}{\pi d_B q}$$

ここに， l_{a2} ：地盤反力度に基づくアンカー体長（拘束具設置区間）

a ：修正係数

f ：安全率（=2.5）

d_B ：アンカー孔径

P_a ：設計荷重（くさび水平力）

q ：地盤反力度（ $=k \cdot r$ ）

k ：地盤反力係数

r ：拘束具によってもたらされる最大有効地盤変位置 0.375cm

式(4.2)より安全率 2.5 に対する定着地盤の変位置は，

$$l_{a2} = \frac{a f P_a}{\pi d_B q} = \frac{a \cdot P_a}{\pi \cdot d_B \cdot k \cdot r / f} = \frac{a \times P_a}{\pi \times d_B \times k \times 0.375 / 2.5} = \frac{a \times P_a}{\pi \times d_B \times k \times 0.15}$$

これに対する拘束具の塑性変位置 Δl は，拘束具のテーパー（7.5/100）より

$$\Delta l = \frac{0.15 \times 100}{7.5} = 2(\text{cm})$$

すなわち，塑性変位置が 2cm に達した段階で，アンカー体周辺地盤が 0.15cm 変位置（拡径）し，設計荷重を支持できることとなる．

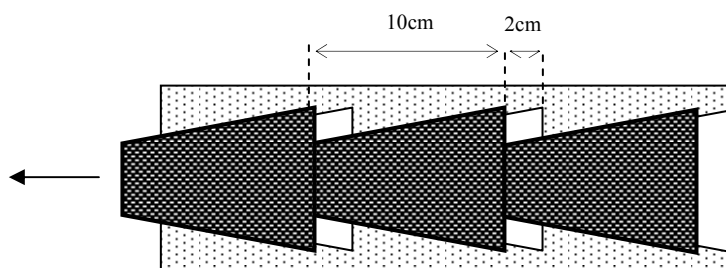


図 6.3 拘束具の許容塑性変位置

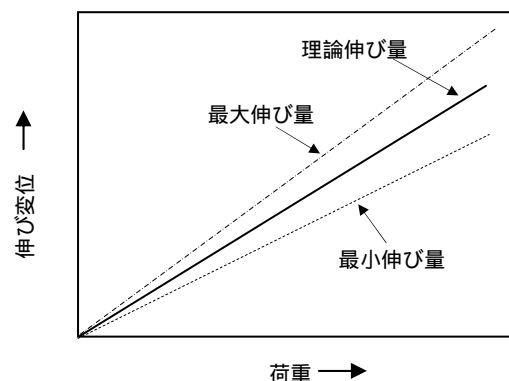


図 6.2 荷重 弾性変位置

一方、この状態に至るための初期拘束具設置長を確保するための補正係数 a' は

$$a' = \frac{10}{10-2} = 1.25$$

実際には、安全側として $a=2$ としており、安全率 f' に換算すれば

$$f' = \frac{a}{a'} = \frac{2}{1.25} = 1.6$$

よって、式(4.2)における実質安全率 F は

$$F = f' \cdot f = 1.6 \times 2.5 = 4.0$$

安全率 $F=4.0$ 相当の地盤変位量 r は

$$l_{a2} = \frac{F \cdot P_a}{\pi d_B q} = \frac{P_a}{\pi \cdot d_B \cdot k \cdot r / F} = \frac{P_a}{\pi \times d_B \times k \times 0.375 / 4.0} = \frac{P_a}{\pi \times d_B \times k \times 0.09375}$$

これに相当する塑性変位量は

$$\Delta l = \frac{0.09375 \times 100}{7.5} = 1.25 \text{ (cm)}$$

以上より、アンカー一体拘束具における塑性変位量は以下のように整理される。

設計上の塑性変位量 1.25cm (アンカー一体半径方向の地盤拡径量 0.9mm)
 許容塑性変位量 2.0cm (アンカー一体半径方向の地盤拡径量 1.5mm)
 (= 拘束具の最大引抜け長 50mm に対して安全率 2.5 が確保できる変位量)

6.1.4 1 サイクル試験

(1) 载荷方法と計測項目

- (a) 計画最大荷重は多サイクル試験に準ずる。
- (b) 初期荷重は計画最大荷重の 0.1 倍とし、計画最大荷重まで载荷した後、初期荷重まで除去する 1 サイクル方式とする。
- (c) 計測項目は引抜き試験に準ずる。

(2) 試験結果の整理と判定

判定は多サイクル試験に準ずる。

6.2 地盤反力係数の求め方

実際の測定例を基に、地盤反力係数の求め方を示す。

6.2.1 測定データ

(1) 試験仕様

試験機 : ロータリーボーリング

掘削長 : 15m

アンカー孔径 : $\phi 115\text{mm}$

掘削方向 : 鉛直

アンカー体長 : 2m

定着地盤の地質 : 均一で亀裂の少ない凝灰質砂岩 (第三紀出雲層群層布志名層)。

一軸圧縮強度 $q_u = 10.35\text{N/mm}^2$ 。

(2) 荷重サイクル (kN)

荷重サイクルは以下のように行う。

(1) 0 \rightleftharpoons 50 \rightleftharpoons 100 \rightleftharpoons 150 \rightleftharpoons 200

(2) 0 \rightleftharpoons 100 \rightleftharpoons 150 \rightleftharpoons 200 \rightleftharpoons 250 \rightleftharpoons 300 \rightleftharpoons 350 \rightleftharpoons 400

(3) 0 \rightleftharpoons 100 \rightleftharpoons 200 \rightleftharpoons 300 \rightleftharpoons 350 \rightleftharpoons 400 \rightleftharpoons 450 \rightleftharpoons 500 \rightleftharpoons 550 \rightleftharpoons 600

(4) 0 \rightleftharpoons 100 \rightleftharpoons 200 \rightleftharpoons 300 \rightleftharpoons 400 \rightleftharpoons 500 \rightleftharpoons 550 \rightleftharpoons 600 \rightleftharpoons 650 \rightleftharpoons 700 \rightleftharpoons 750 \rightleftharpoons 800

(5) 0 \rightleftharpoons 100 \rightleftharpoons 200 \rightleftharpoons 300 \rightleftharpoons 400 \rightleftharpoons 500 \rightleftharpoons 600 \rightleftharpoons 700 \rightleftharpoons 750 \rightleftharpoons 800 \rightleftharpoons 850 \rightleftharpoons 900 \rightleftharpoons 950 \rightleftharpoons 1000

(初期荷重の設定 : 計画最大荷重の 0.1 倍とすることを基本とするが、本試験では 0kN に設定した)

(3) 測定データ

表 6.1 のように、各荷重段階のテンドンの変位量を測定する。

表 6.1 測定データ (単位: 1/100mm)

荷重kN	読み値	たりかえ	区間変位量	累積変位量	弾性変位量	塑性変位量	備考
0	0		0				
50	-5		5	5			
100	-252		247	252			
150	-721		469	721			
200	-1270		549	1270	1265	5	
150	-1028		-242	1028			
100	-485		-543	485			
100	-110		-375	110			
0	-5		-105	5			
100	-614		614	619			
150	-1138		524	1143			
200	-1581		443	1586			
250	-2068		487	2073			
300	-2566		498	2571			小音(ドン)
350	-3095		529	3100			
400	-3581		486	3586	3416	170	
350	-3465		-116	3470			
300	-2984		-481	2989			
200	-2010		-974	2015			
100	-1056		-954	1061			
0	-165		-891	170			
100	-604		604	774			
200	-1642		1038	1812			
300	-2604		962	2774			
350	-3107		503	3277			
400	-3649		542	3819			
450	-4119		470	4289			
500	-4650		531	4820			
550	-659		659	5479			
600	-1178		519	5998	5140	858	
550	-1039		-139	5859			
500	-722		-317	5542			
400	816		-816	4726			
300	1810		-994	3732			
200	2788		-978	2754			
100	3806		-1018	1736			
0	4684		-878	858			
100	-646		646	1504			
200	-1616		970	2474			
300	-2539		923	3397			
400	-3531		992	4389			
500	-4531		1000	5389			
550	-5017		486	5875			
600	-432		585	6460			
650	-956		524	6984			
700	-1505		549	7533			
750	-2103		598	8131			
800	-524		524	8655	7440	1215	
750	-416		-108	8547			
700	-219		-197	8350			
600	731		-950	7400			
500	990		-990	6410			
400	2007		-1017	5393			
300	3063		-1056	4337			
200	4045		-982	3355			
100	1038		-1038	2317			
0	2140		-1102	1215			
100	-762		762	1977			
200	-1728		966	2943			
300	-2650		922	3865			
400	-3670		1020	4885			
500	-4600		930	5815			
600	-977		977	6792			
700	-1988		1011	7803			
750	-2483		495	8298			
800	-2749		266	8564			
850	-3184		435	8999			
900	-3714		530	9529			
920	-4046		332	9861	8222	1639	
850	-4015		-31	9830			
800	-3948		-67	9763			
700	-3189		-759	9004			
600	-2024		-1165	7839			
500	-989		-1035	6804			
400	28		-1017	5787			
300	1103		-1103	4684			
200	2171		-1068	3616			
100	3152		-981	2635			
0	4148		-996	1639			

各荷重サイクルの弾性変位量: 荷重サイクルごとに, 最大荷重から初期荷重まで除荷した時のテンドンの変位量
(=各最大荷重時の累積変位量 - 初期荷重まで除荷した時の累積変位量)

各荷重サイクルの塑性変位量: 荷重サイクルごとに, 初期荷重まで除荷した時の累積変位量

6.2.2 地盤拡径量の計算

(1) 累積変位置 - 荷重曲線

表 6.1 より累積変位置 - 荷重曲線を作成する (図 6.4) . 同図では荷重 920kN までに引抜けは認められない .

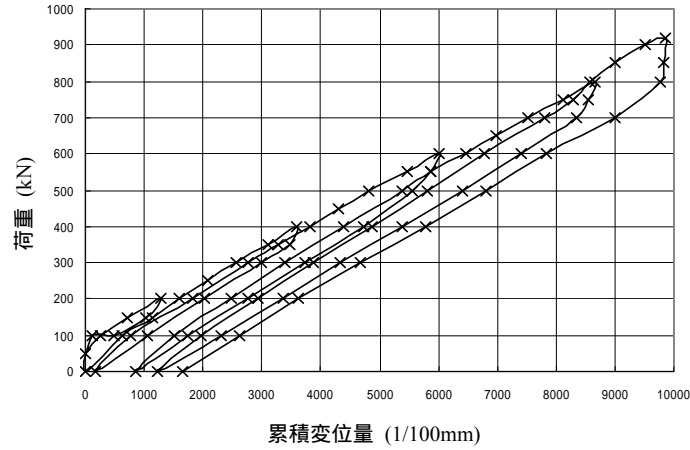


図 6.4 変位置 - 荷重曲線

(2) 荷重 - 弾性変位・塑性変位曲線

同様に表 6.1 より荷重 - 弾性変位・塑性変位曲線を作成する (図 6.5) . 同図では弾性変位は理論伸び量に沿った変位を示し , 塑性変位は荷重 400kN 以降顕著となる傾向にある .

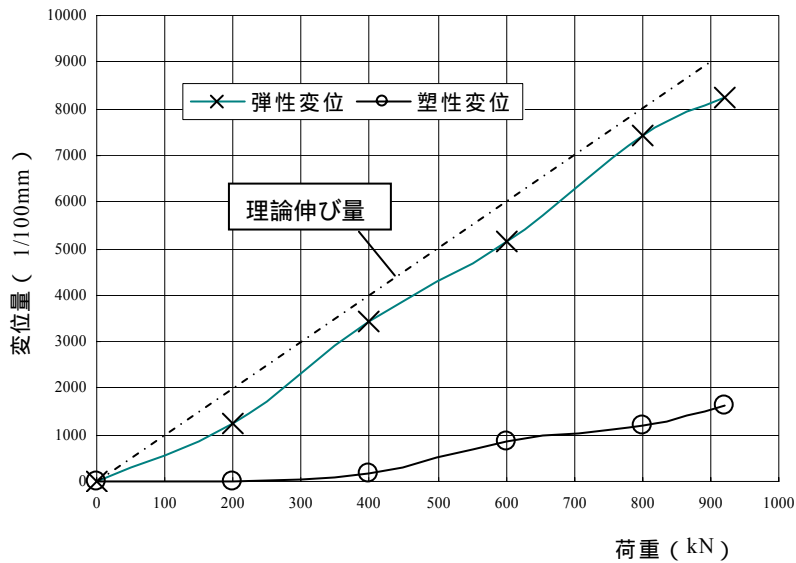


図 6.5 荷重 - 弾性変位置量・塑性変位置量曲線

(3) 荷重ごとの引抜け量

塑性変位量をアンカー体拘束具の引抜け量とみなし、各荷重における引抜け量を求める。ここでは、図 6.5 に示した塑性変位量の回帰式を用いて(図 6.6)

$$\Delta L = 0.002P^2 + 0.0167P - 40.096 \quad (6.2)$$

ここに、 ΔL ：引抜け量 (= 塑性変位量)

P ：アンカー力

である。

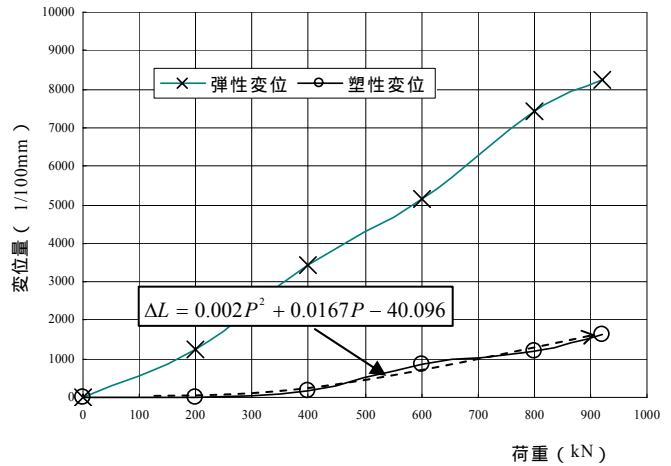


図 6.6 荷重 - 弾性変位量・塑性変位量

(4) 各荷重におけるアンカー体周辺地盤の拡径量，有効支圧面積，有効応力

式(6.2)より荷重ごとの引抜け量を求め、これを基にアンカー体周辺地盤の拡径量やアンカー体の有効支圧面積および有効応力を求める(表 6.2)。

(a) 地盤拡径量

地盤拡径量は

$$\Delta h = \Delta L \frac{7.5}{100} \quad (6.3)$$

ここに、7.5/100：くさびテーパー。

(b) 有効支圧面積 A

有効支圧面積は

$$A = \pi d_B n(10 - \Delta L)$$

ここに、 d_B ：アンカー孔径，

n ：スライダユニット

($L=10\text{cm}$)数

ΔL ：引抜き長。

(c) 有効応力 σ'

有効応力は

$$\sigma' = \frac{P_a}{A}$$

ここに、 P_a ：アンカー力。有効応力はくさび水平力 W_H を用いて計算すべきであるが、測定が困難なため、便宜的にアンカー力 P_a で代表する。そのため有効応力 σ' として区分する。

表 6.2 地盤拡径量とくさび有効応力

荷重 kN	塑性変位量 (=引抜け量) ΔL mm	地盤 拡径量 Δh mm	有効指圧 面積 A cm	有効応力 σ' N/cm ²
0	-0.4	0.00	7251	0
50	-0.3	0.00	7247	7
100	-0.2	0.00	7235	14
150	0.1	0.00	7217	21
200	0.4	0.00	7191	28
250	0.9	0.01	7158	35
300	1.4	0.01	7117	42
350	2.1	0.02	7070	50
400	2.9	0.02	7015	57
450	3.7	0.03	6953	65
500	4.7	0.04	6884	73
550	5.7	0.04	6807	81
600	6.9	0.05	6724	89
650	8.2	0.06	6633	98
700	9.5	0.07	6535	107
750	11.0	0.08	6429	117
800	12.5	0.09	6317	127
850	14.2	0.11	6197	137
900	15.9	0.12	6070	148
920	16.7	0.13	6017	153

6.2.3 地盤反力係数の計算

表 6.2 より、荷重ごとの地盤拡径量とくさび引抜き量は図 6.7 のように示される。

設計荷重対応の地盤拡径量 0.9mm (=くさび引抜き量 12.5mm) には荷重 800kN 時に達している。また許容拡径量 1.5mm (P.53～54) には荷重 920kN 時でも達していない。

拘束具長は 2m であり、当地盤 ($q_u=10.35\text{N/mm}^2$) であればこの程度の荷重を支持させることができるものといえる。

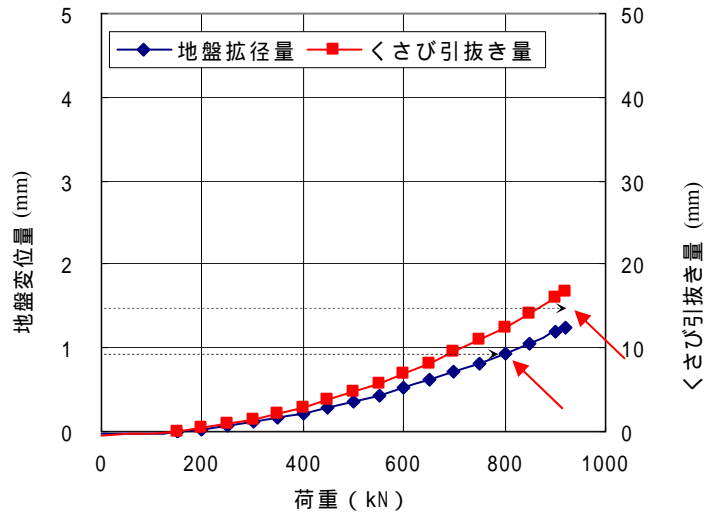


図 6.7 荷重 - 地盤拡径量・くさび引抜き量曲線

地盤反力係数は地盤拡径量と有効応力 σ' の関係 (図 6.8) から求められる。同図では相関性を考慮して、表 6.2 の荷重 250kN 以降のデータを用いており、同回帰曲線の勾配が地盤反力係数 (kN/cm^3) である。ちなみに、本試験の場合、荷重 250kN まではほとんど引抜き変位を生じておらず、解析対象外となる。また、これまでの実験結果からも、荷重 100～200kN 以降で拘束具が作動する傾向が確認されており、おおむねこれ以降の荷重データが対象になるものといえる。

- 解析データ採用範囲 -

荷重 100～200kN 以降で、塑性変位量が 50mm までのデータを用いる。

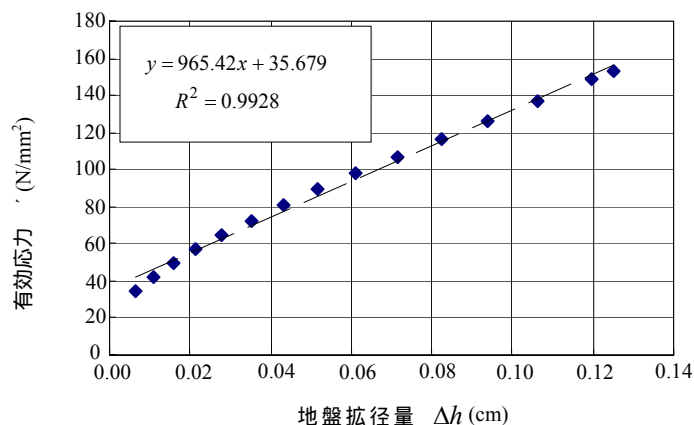


図 6.8 地盤拡径量 - 有効応力曲線

6.3 留意事項

(1) 基本試験時の仕様

アンカー孔の掘削方法の違いにより、孔壁のゆるみ状況が異なることが考えられるため、基本調査試験の掘削方法（掘削機械）、アンカー孔径、アンカー体長、アンカー傾角は本工事で予定されているものと同一仕様とする。

(2) 試験時のアンカー体長

図 6.9 は同一地盤でアンカー体拘束具長を変えて行った場合の地盤反力係数であり、拘束具長が長くなるほど地盤反力係数が小さくなる傾向にある。これは図 6.10 に示すように、拘束具長が短いほど両端で発生するせん断抵抗の影響を受けやすいことによるものと考えられる。よって基本調査試験時のアンカー拘束具長は当初設計仕様とすることが望ましい。

また図 6.9 より、アンカー体グラウトを加圧した場合と加圧しない場合では、前者が 20%程度大きな地盤反力係数を示しているため、アンカー体はパッカーを用いて確実に加圧することが望ましい。

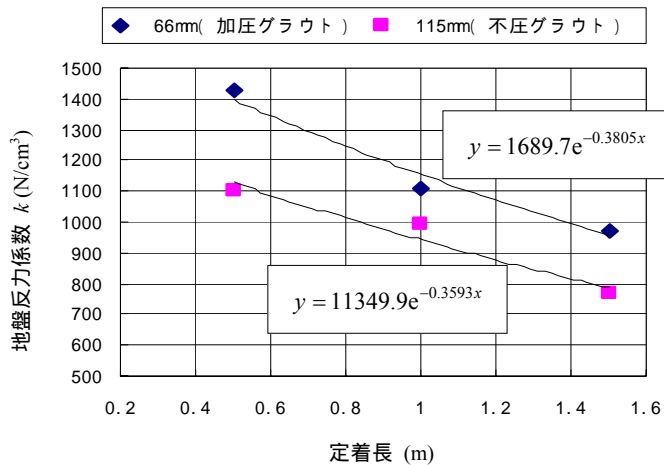


図 6.9 定着長と地盤反力係数（平田細原）

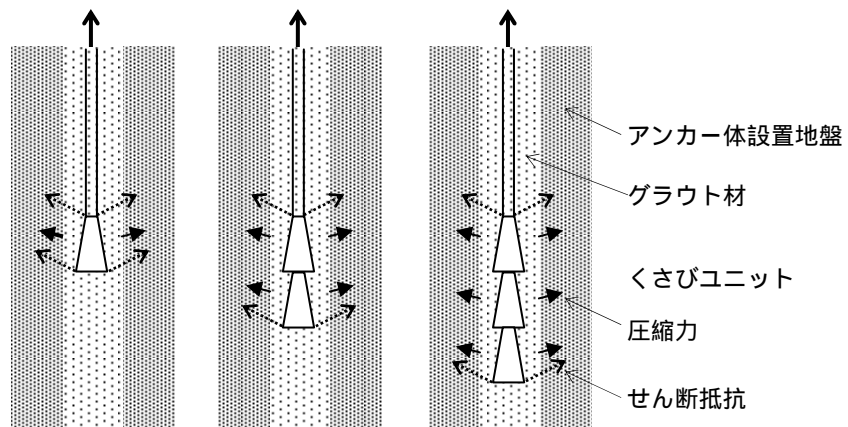


図 6.10 地盤反力係数とせん断抵抗の関係

(3) 基本調査試験時における拘束具頭部（連結パイプ）の処理方法

アンカー体設置地盤の地盤反力係数を求めるには拘束具（スライダー）の引抜け変位が 5cm 程度必要である。そのため、連結パイプより引張り側のテンドンには布等で連結パイプ径以上に増厚し（図 6.11）、拘束具に余分な引抜け抵抗が働かないようにしておく必要がある。

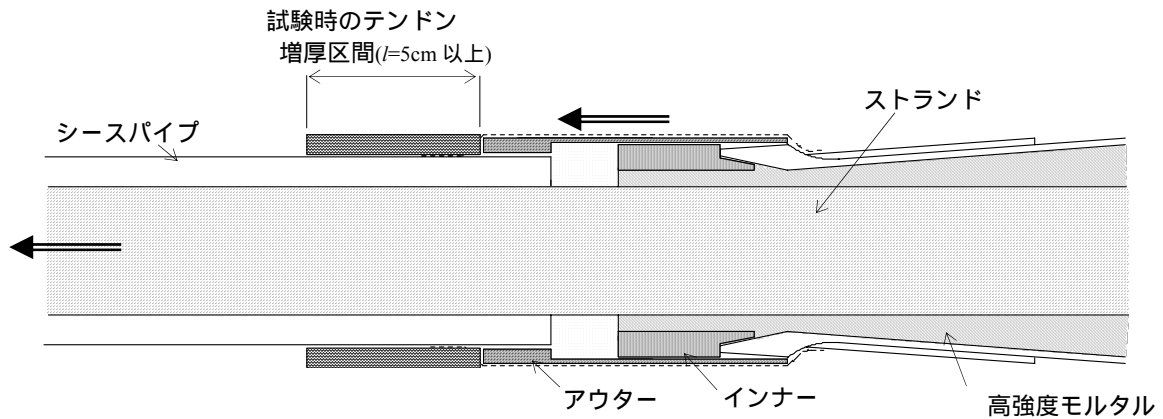


図 6.11 基本調査試験時における連結パイプ位置の処理方法

(4) ダイヤルゲージの取り付け位置について

基本調査試験の場合、極限引抜き力に至った段階でアンカー体拘束具が 50mm 程度急激な引き抜けを生ずることがある。そのため、ダイヤルゲージ等の計測器具は基本的に図 6.12 のように内側に設置しておくものとする。

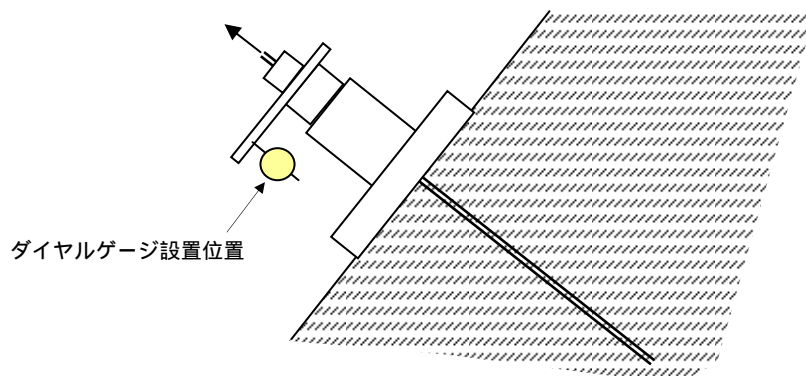


図 6.12 ダイヤルゲージ取り付け位置

第7章 材料

アンカー体拘束具は 300Ws 型と 800Ws 型の 2 種類，設計荷重 768.6kN/本以下とする。

表 7.1 材料総括表

システム 呼称	300Ws			800Ws			
	20W	40W	60W	70W	90W	110W	130W
ストランド	$\phi 12.7 \times 1$ 本	$\phi 17.8 \times 1$ 本	$\phi 21.8 \times 1$ 本	$\phi 12.7 \times 4$ 本	$\phi 12.7 \times 5$ 本	$\phi 12.7 \times 6$ 本	$\phi 12.7 \times 7$ 本
アンカーヘッド	D	45	50	65	110		
	H	50	60	75	50		
くさび	D	52	60	75	40.5		
	L	28	36	44	26		
アンカープレート	(抜き穴径等，構造物に合わせた計算が必要)						
頭部ジョイント	D ₁	85			130		
	L	232			232		
オイルキャップ	D ₁	85			128		
	D ₂	100			145		
	L	160 (再緊張型270)			180 (再緊張型280)		
スライダー	D ₁	31			48		
	D ₆	50			67		
	L	120 (有効長100)					
先端固定金具 (連結調整金具含む)	D	50			67		
	L	309.5			272		319.5
連結パイプ	D	50			67		
	L	90					

7.1 掘削径

掘削径は表 7.2 に示す値を基準に，現場状況に応じてこれ以上のものを選定する。

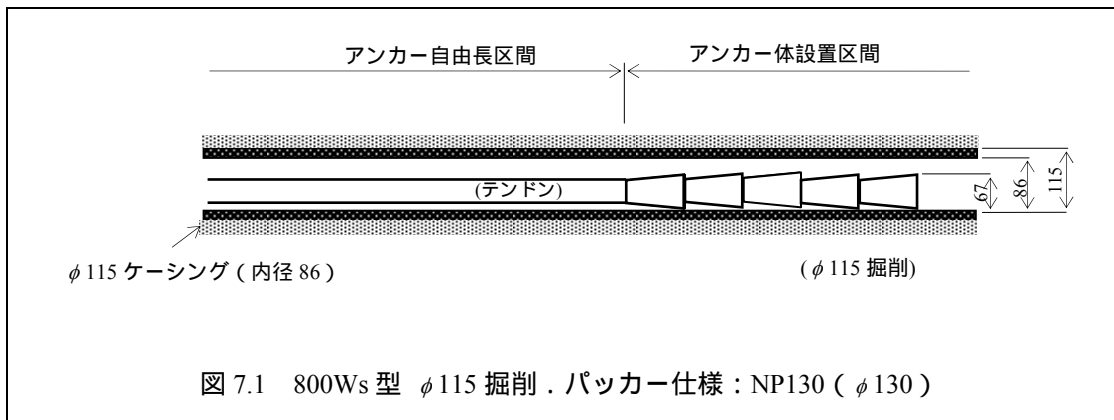
表 7.2 掘削径

システム	掘削径 mm	ケーシング内径 (プロロング) mm	拘束具 外径 mm	テンドン 呼名	ケーブル (径×本数) mm	シース パイプ 径 mm	グラウトホース取り付け径		パッカー取付径
							アンカー体部 (扁平ホース) mm	自由長部 (一 般用PE管R13) mm	自由長部 mm
300Ws	66以上	69	50	20W	12.7×1	19.0	60.0	max55.5	max60
				40W	17.8×1	27.0			
				60W	21.8×1	34.0			
800Ws	115以上	86	67	70W	12.7×4	19.0	77.0	max66	max76
				90W	12.7×5				
				110W	12.7×6				
				130W	12.7×7				

(掘削方法)

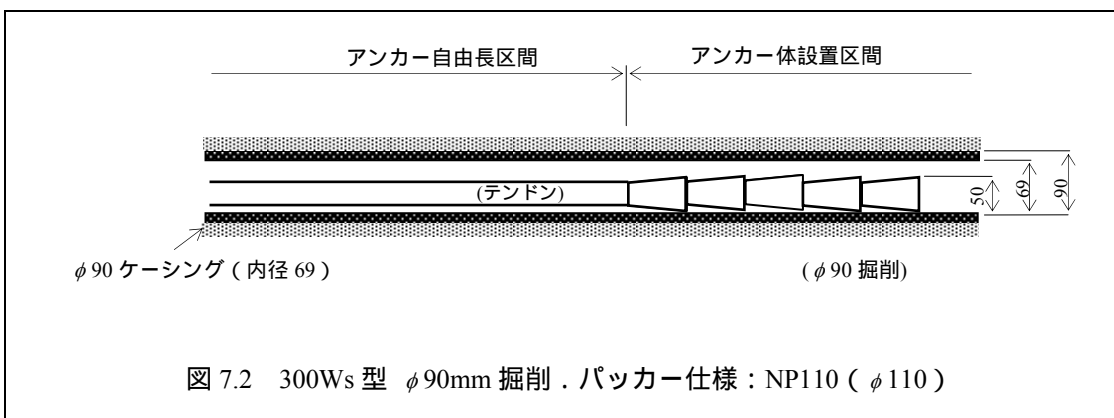
800Ws 型：掘削径 $\phi 115\text{mm}$ 以上とする。

ロータリーパーカッション（二重管掘削）仕様

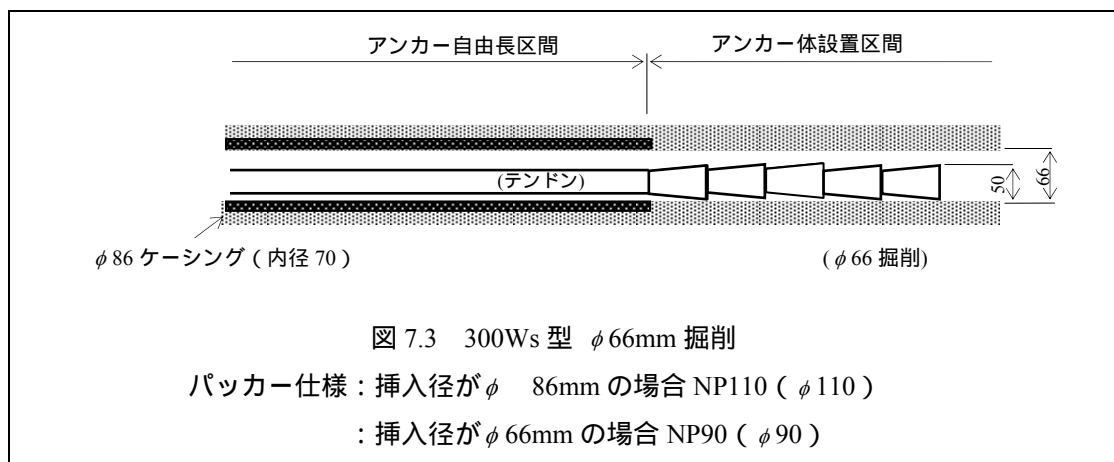


300Ws 型：掘削径 $\phi 66\text{mm}$ 以上とする。

φ 90mm ロータリーパーカッション（二重管掘削）仕様



φ 66 ロータリーボーリング仕様



7.2 テンドン

7.2.1 規格

表 7.3 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 ²)	単位 質量 (g/m)	引張 荷重 T_{us} (kN)	降伏 荷重 T_{ys} (kN)	被覆 厚さ (mm)	リブ 高さ (mm)	被覆外径			標準 単位 質量 (g/m)
								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 7.4 許容荷重 (kN)

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 $0.65T_{us}$ kN
								常時 $0.6T_{us}$ kN	地震時 $0.9T_{ys}$ kN	
300Ws	66以上	50	12.7×1	19.0	20W	183	156	109.8	140.4	119.0
			17.8×1	27.0	40W	387	330	232.2	297.0	251.6
			21.8×1	34.0	60W	573	495	343.8	445.5	372.5
800Ws	115以上	67	12.7×4	19.0	70W	732	624	439.2	561.6	475.8
			12.7×5		90W	915	780	549.0	702.0	594.8
			12.7×6		110W	1,098	936	658.8	842.4	713.7
			12.7×7		130W	1,281	1,092	768.6	982.8	832.7

呼び径 (ストランド径)

(シースパイプ断面径)

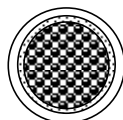
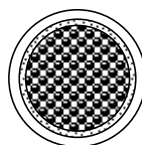
 ϕ 12.7 (13.8) ϕ 15.5 - 19.0 ϕ 17.8 (19.1) ϕ 21.0 - 27.0 ϕ 21.8 (23.1) ϕ 25.2 - 34.0

図 7.4 シースパイプ断面

7.2.2 テンドンの付着強度

スライダー（ $l=120\text{mm}$ 、プレタスコン TYPE-1S 充填）内で実施したテンドン（スープロストランド）の付着強度試験結果は表 7.5 の通りである。

表 7.5 付着強度

区分	破壊荷重 kN	付着強度 N/mm^2	備 考
No.1	45.2	8.7	ブリージングなし
No.2	41.8	8.0	ブリージングなし



写真 7.1 供試体



写真 7.2 アムスラー万能試験機による引張り試験

7.2.3 スライダー内テンドンの所要定着長

所要の定着長は次式で計算する。

$$l_{sa} = \frac{P}{U \cdot \tau}$$

ここに、 l_{sa} ：テンドン拘束長

P ：テンドンの降伏荷重

U ：テンドンの見掛けの周長

τ ：付着応力度：実験より $8\text{N}/\text{mm}^2$

表 7.6 に示すように基本試験時の最大荷重（＝降伏荷重×90%）に対して、41～77cm の定着長があれば、アンカー力を保持できることとなる。よって安全側としてスライダー内の定着長は最低 1m とし、テンドン端末に圧着グリップを取り付ける構造とする（P.80、図 7.12 参照）。

表 7.6 テンドン定着長

テンドン 呼称	直径 (cm)	見かけの周長 (cm)	降伏荷重 × 90% (N)	所用拘束長 (cm)
φ 12.7	1.38	4.33	140,400	41
φ 17.8	1.91	6.00	297,000	62
φ 21.8	2.31	7.25	445,500	77

7.2.4 テンドン固定試験

拘束具（800Ws）内テンドンの固定状況を確認するための引抜き試験を行った。

（試験仕様）

テンドン構成：スープロストランドφ12.7×7本

拘束具内のテンドン定着長：1m

拘束具内充填剤：モルタル（デンカプレタスコン TYPE-1S）

最大試験荷重：750kN（拘束管破壊のため中止）



写真 7.3 試験状況



写真 7.4 解体状況

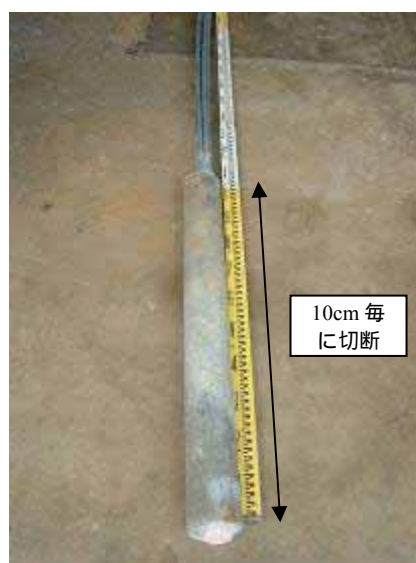


写真 7.5 試験体回収

(解体状況) : 各断面とも充填材の剥離等は認められなかった .



写真 7.6 スライダー先端より No.1,2,3



写真 7.7 スライダー先端より No.3,4,5



写真 7.8 スライダー先端より No.6,7,8



写真 7.9 スライダー先端より No.8,9,10

7.3 定着具

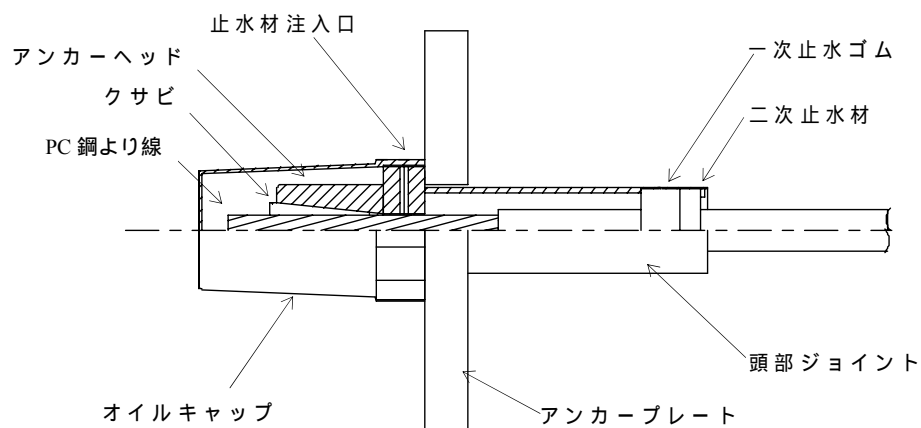


図 7.5 アンカー頭部構造図

7.3.1 アンカーヘッド (S45C 機械構造用炭素鋼, 亜鉛メッキ)

表 7.7 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

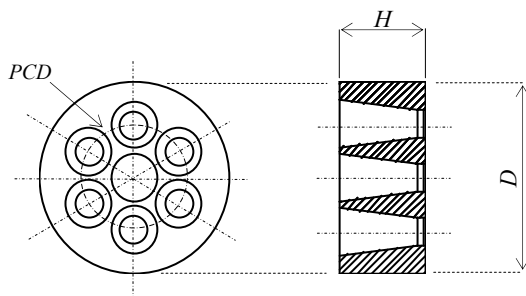


図 7.6 アンカーヘッド

7.3.2 くさび (SCM45 クロムモリブデン鋼, 亜鉛メッキ)

表 7.8 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	

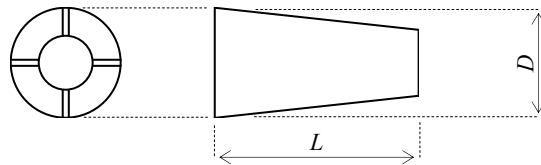


図 7.7 くさび

7.3.3 アンカープレート (SS400 一般構造用圧延鋼, 亜鉛メッキ)

永久構造物には溶融亜鉛メッキされたものを標準とする。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。

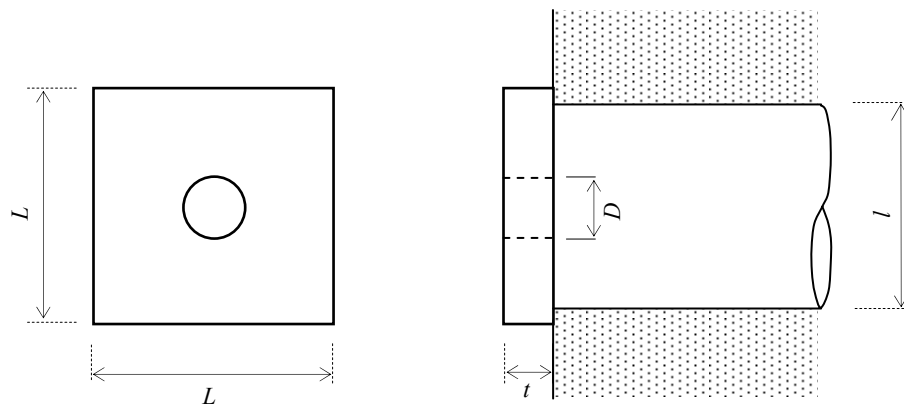


図 7.8 アンカープレート

アンカープレートの標準寸法を次に示す。

表 7.9 アンカープレート

項目	呼名	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

また、アンカープレートの照査は次のように行う。

(1) コンクリート支圧応力度

$$\text{アンカープレート支圧面積}(A) : A = L \times L - \frac{\pi}{4} \times l^2 \quad (\text{mm}^2)$$

ここに、 L : アンカープレート幅、 l : 受圧板抜き穴径

$$\text{支圧応力度}(\sigma_c) : \sigma_c = \frac{T_d}{A} \quad (\text{N/mm}^2) \quad 10.5\text{N/mm}^2 (=0.5 f'_{ck})$$

ここに、 T_d : 設計アンカー力、 $f'_{ck} = 24\text{N/mm}^2$: コンクリート設計基準強度

(2) アンカープレート応力度

$$\text{曲げモーメント}(M) : M = \frac{T_d}{4} \times \frac{l - e}{2} \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

ここに、 e : アンカーヘッド外径

$$\text{断面係数}(Z) : Z = \frac{(L - D) \cdot t}{6} \quad (\text{mm}^3)$$

ここに、 D : アンカープレート抜き穴径、 t : アンカープレート厚

$$\text{曲げ応力度}(\sigma) : \sigma = \frac{M}{Z} \quad (\text{N/mm}^2) \quad 140\text{N/mm}^2$$

$$\text{せん断力}(S) : S = T_d \quad (\text{kN})$$

$$\text{せん断面積}(A_s) : A_s = \pi \cdot e \cdot t \quad (\text{mm}^2)$$

$$\text{せん断応力度}(\tau) : \tau = \frac{S}{A_s} \quad (\text{N/mm}^2) \quad 80\text{N/mm}^2$$

7.3.4 頭部ジョイント (SS400, 亜鉛メッキ)

表 7.10 頭部ジョイント

システム	シース・テンドン仕様	形状		
	シースパイプ外径 (より線構成)	D_1	D_2	L
300Ws	max 30mm (12.7×1本, 17.8×1本, 21.8×1本)	106	60.5	95
800Ws	max 55.5mm (集合径) (12.7×4~7本)	130	95	100

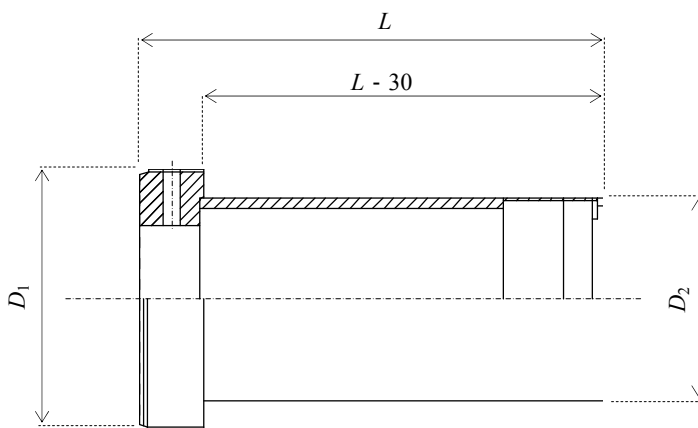


図 7.9 頭部ジョイント

7.3.5 オイルキャップ (ALC)

表 7.11 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				再緊張型			
		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	108	125	1.2kg
12.7×4~7本	M130	180	128	145	1.9kg	280	130	150	3.2kg

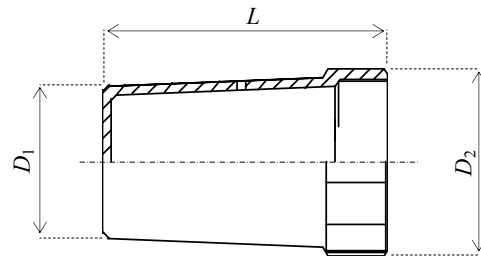


図 7.10 オイルキャップ

7.4 アンカー体拘束具

7.4.1 スライダー (FCD450 - 10 ダクティル, エポキシ樹脂粉体加工)

表 7.12 スライダーユニット

システム	D_1	D_2
300Ws	31	50
800Ws	48	67

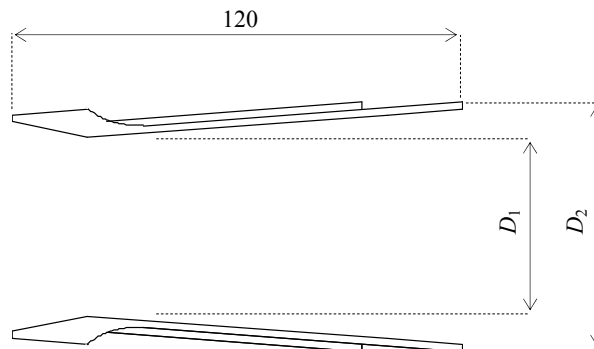


図 7.11 スライダーユニット

7.4.2 充填材

充填材：デンカプレタスコン TYPE-1S

表 7.13 一般的性質

製品	種類	目標軟度 J_{14} 漏斗値 (秒)	W / (C+T) (%)	単位重量 (kg/m ³)		1m ³ に必要な袋数
				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 7.14 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

7.5 先端固定金具

テンドン先端部にはストランド端部の固定を目的とした先端固定金具を取り付ける。

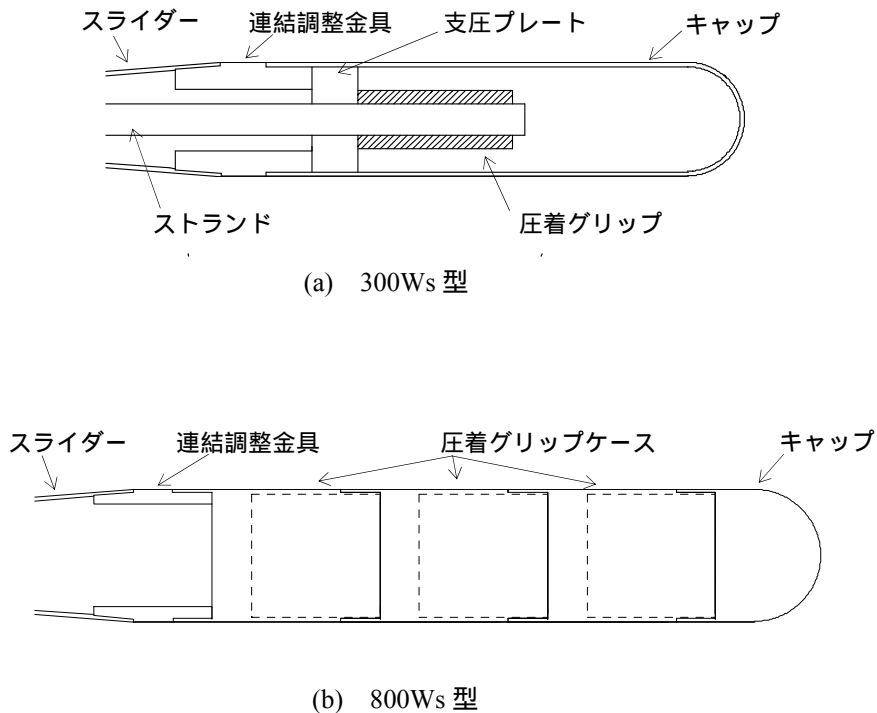


図 7.12 先端固定金具構造図

7.5.1 連結調整金具 (STKM 13A 機械構造用炭素鋼鋼管, 継目無, 亜鉛メッキ)

表 7.15 連結調整金具

システム	D_1	D_2
300Ws	50	27
800Ws	67	54

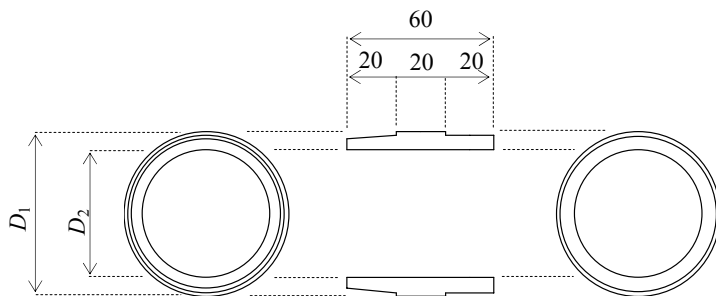


図 7.13 連結調整金具

7.5.2 支圧プレート (300Ws用, S45C, 亜鉛メッキ)

表 7.16 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	-	-

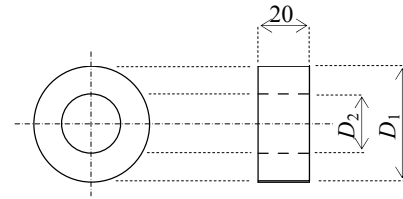


図 7.14 支圧プレート

7.5.3 グリップケース (800Ws用, STKM 13A, 三価クロムメッキ)

表 7.17 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

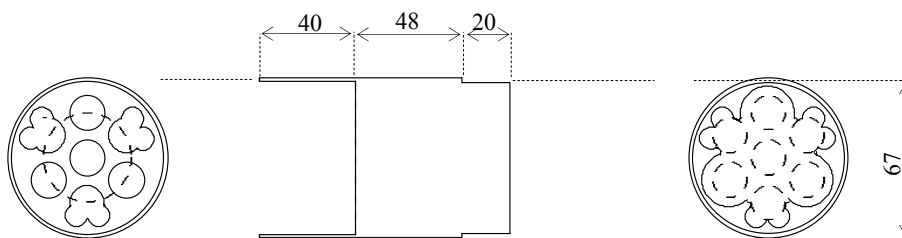
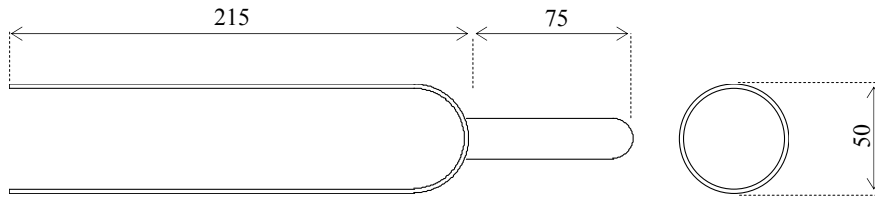


図 7.15 グリップケース

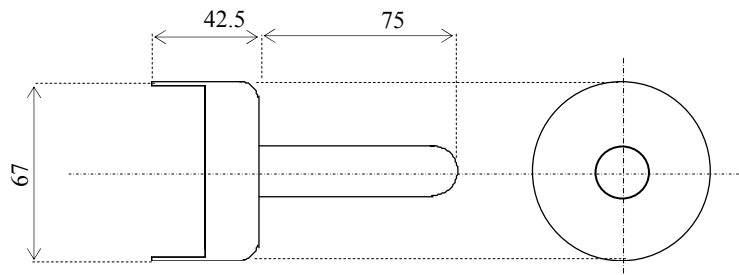
7.5.4 キャップ (FCD450-10, 三価クロムメッキ, SUS304)

表 7.18 キャップ

システム	長さ	径
300Ws	210	50
800Ws	55	67



(a) 300Ws 型 (SUS304)



(b) 800Ws 型 (FCD450-10)

図 7.16 キャップ

7.5.5 圧着グリップ (S45C, 亜鉛メッキ)

表 7.19 圧着グリップ

システム	テンドン	L	D
300Ws	12.7×1本	65±3	25.5
	17.8×1本	110±3	35
	21.8×1本	157±3	44
800Ws	12.7×4~7本	65±3	22.5

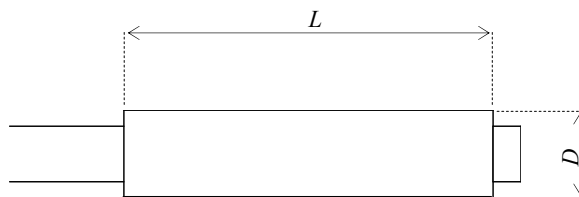


図 7.17 圧着グリップ

7.6 連結パイプ(STKM 13A , 三価クロムメッキ)

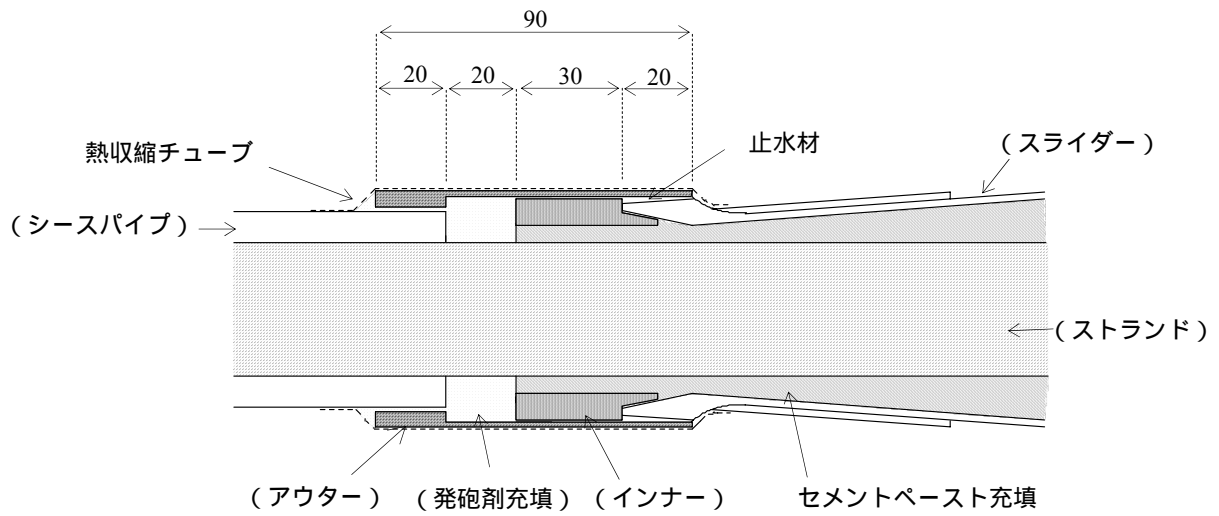


図 7.18 連結部構造図

表 7.20 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		59	67		48	63

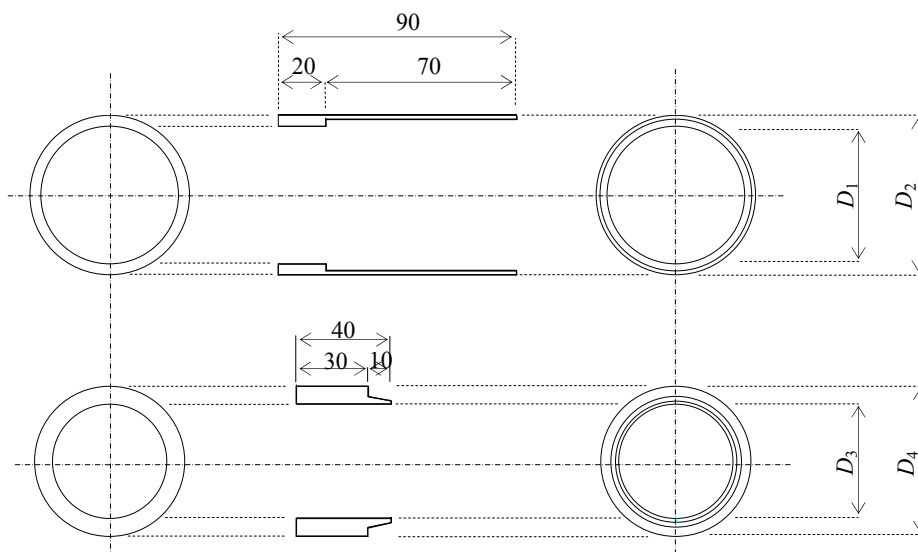


図 7.19 連結パイプ

7.7 グラウトホース（連結金具）

表 7.21 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 ²	10 kgf/cm ²
基準長さ	120m	50m/100m

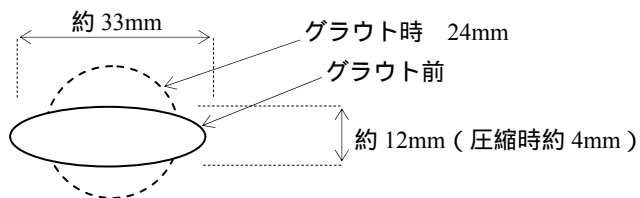


図 7.20 扁平ホース断面



写真 7.10 ネオデリコン荷姿

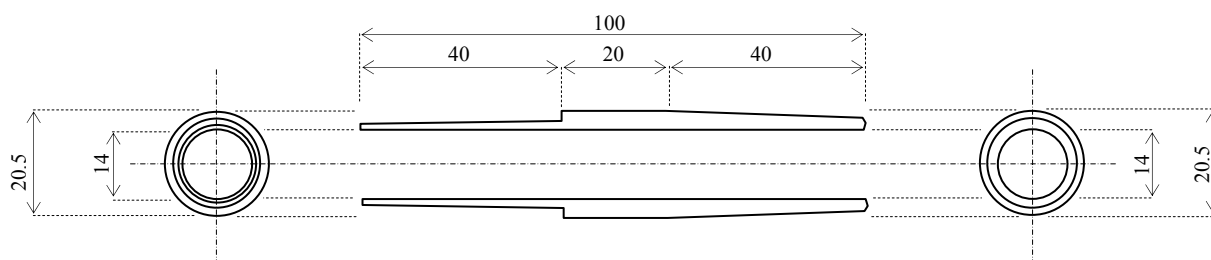


図 7.21 連結金具（一般用 PE 管 ネオデリコン）

7.8 パッカー

表 7.22 ノンリークパッカー仕様

形 状	筒状シームレス
織 維	dtex 1100 d 990
材 料	ポリエステルマルチフィラメント
融 点	264℃

表 7.23 規格・寸法

種 類	NP90	折り巾 142mm	ロックボルト (自然経 90mm)
	NP110	折り巾 170mm	90システム (" 110mm)
	NP130	折り巾 204mm	115システム (" 130mm)
	NP150	折り巾 235mm	135システム (" 150mm)

膨らみ経は加圧注入0.3Mpaでの膨らみ経最大値を示します。

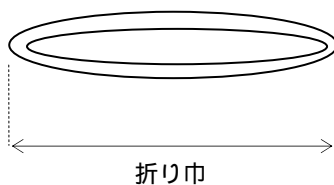


図 7.22 パッカーの折り巾

7.9 グラウト材

表 7.24 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) は必要に応じて使用する。
1m ³ 当たり配合	1,230 kg			

第8章 防食

永久アンカーとしての機能を維持できるよう、各部材は防食加工を施す。

8.1 ストランド

ストランドは超耐久性 PC 鋼より線 (SUPRO ストランド) とする。

(スープロ協会資料より)

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

表 8.1 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 8.2 水密性

保持時間	水圧(N/mm ²)	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 8.3 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 ²)
上限荷重	1,178N/mm ²
応力振幅	49N/mm ²
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

8.2 アンカー体

- (1) スtrand（高耐久ポリエステル系硬質樹脂加工）はスライダー内に通し，空隙部にセメントペーストを充填することで二重防錆とする．
- (2) スライダーはダクタイト（FCD450-10）とし，表面はエポキシ樹脂粉体加工とする．

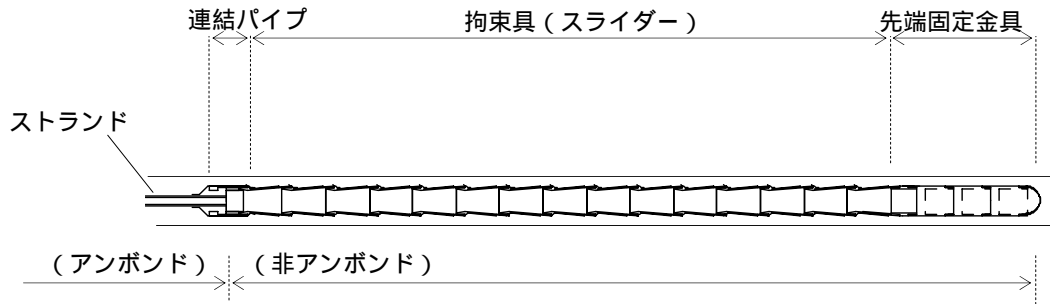


図 8.1 アンカー体構造図

- (3) 先端固定金具部分は tendon 端部を圧着グリップで固定しグリップケースおよびキャップで被覆する．キャップ内等の空隙部はセメントペーストを充填し，二重防錆とする．
- (4) キャップはダクタイト（FCD450-10 三価クロムメッキ，または SUS304 ステンレス鋼）とする．連結調整金具は機械構造用炭素鋼鋼管（STKM 13A，亜鉛メッキ）とする．支圧板は機械構造用炭素鋼（S45C）とし，亜鉛メッキによる防食加工を施す．

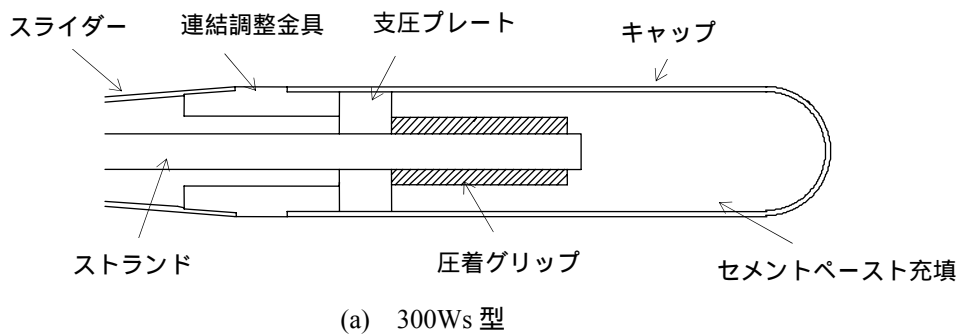


図 8.2 300Ws 型 固定金具構造図

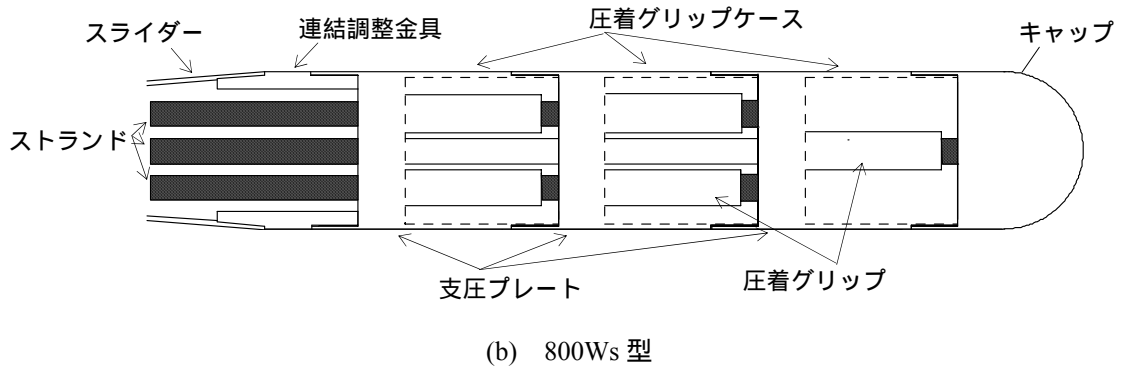


図 8.2.1 800Ws 型固定金具構造図

- (5) 拘束具頭部は tendon を連結パイプで被覆し，空隙部に発泡剤を充填することで二重防錆とする．
- (6) 連結パイプは機械構造用炭素鋼鋼管（STKM 13A，継目無，三価クロムメッキ）とし，熱収縮チューブで被覆する．

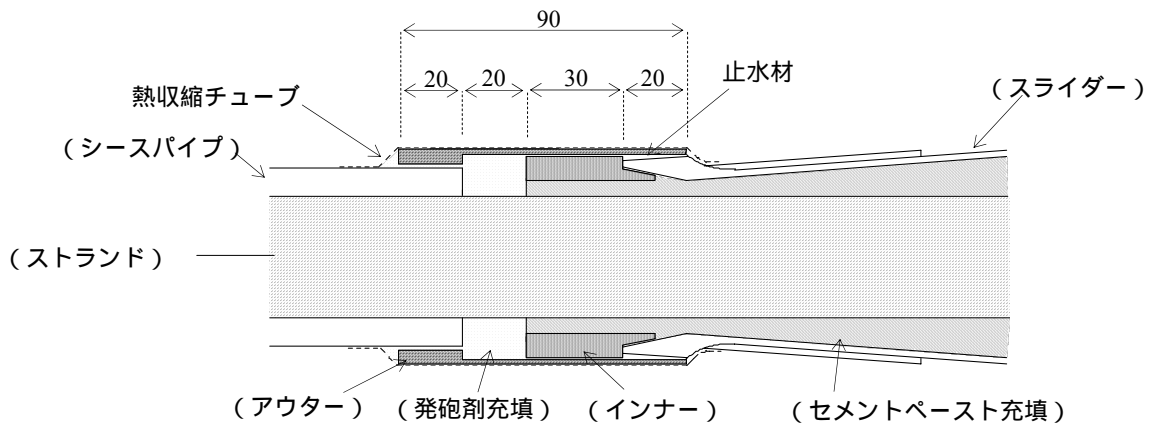


図 8.3 連結金具構造図

8.3 自由長部

- (1) 自由長部 tendon はアンボンド加工を施し，二重防錆とする．

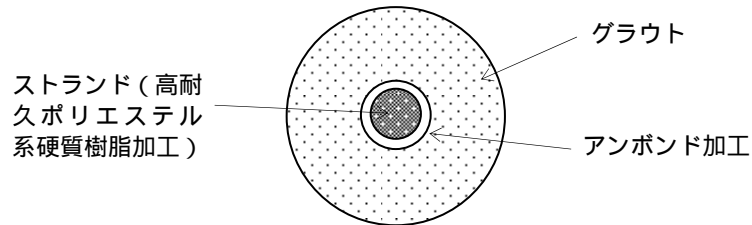


図 8.4 自由長部断面

8.4 アンカー頭部

- (1) ストランド (高耐久ポリエステル系硬質樹脂加工) は頭部ジョイント(SS400，亜鉛メッキ)を介してくさびで固定し，グリスを充填したキャップで保護する．
 (2) キャップは耐腐食性に優れたアルミ製(ALC)とする．
 (3) アンカープレート (SS400) はメッキ加工とする．

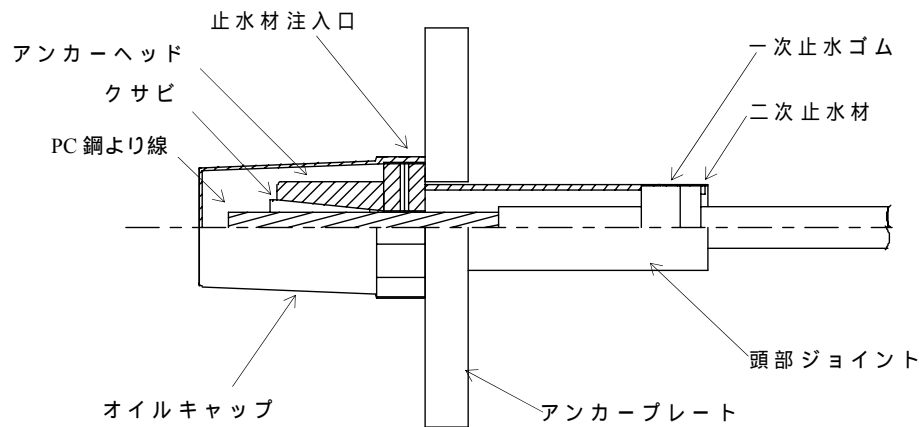


図 8.5 アンカー頭部構造図 (再掲)

付録 SI 単位について

SI 単位では kg (力), m (長さ), s (時間)を基本の単位とする .

運動の第二法則 : 力 (N) = 質量(kg) × 加速度(m/s²) ⇔ 力の単位に N を用い, 1N = 1kg × 1m/s² とする .

圧力 : 単位面積当たりの力 ⇔ 1N/m² = 1 Pa, 1 kN/m² = 1 kPa

1. SI 単位系

	使用する単位	備考
質量	Mg, kg, g	t (ton)は使用しない
長さ	m, mm, μm	cm は使わないのが原則
面積	km ² , m ² , mm ²	
体積	m ³ , mm ³	
力, 圧力, 応力, 変形係数, せん断構成率	MN/m ² , kN/m ²	重力の加速度を考慮した N が含まれる

2. 工学単位と SI 単位

	工学単位系	SI 単位系
力	1kgf	9.81N
圧力	1kgf/cm ² =10tf/m ²	98.1kN/m ² =98.1kPa=0.0981MPa
	1tf/m ²	9.81kN/m ² =9.81kPa=0.00981MPa
単位体積重量	1gf/cm ³ =1tf/m ³	9.81kN/m ³
粘性係数	1g/cm·s	0.1N·s/m ² =0.1Pa·s
仕事	1kgf·m	9.81N·m

	工学単位	SI 単位	
水の密度 ρ _w	1 kg/cm ³ (Mg/m ³)	1000kg/m ³	地盤工学では常に kg/cm ³ を使用する
水の単位体積重量 γ _w	1gf/cm ³ = 1tf/m ³	9.81kN/m ³	密度に重力の加速度を乗じて求める
重力加速度		g = 9.81m/s²	
単位体積重量		γ (kN/m ³) = 9.81 ρ (g/cm ³ または Mg/m ³)	

参 考 文 献

- 1) 地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（JGS4101-2000），2000．
- 2) 地盤工学会：地盤工学ハンドブック，（株）報光社，1999．
- 3) 地盤工学会：地盤調査法，1995．
- 4) 山田 邦光，他：グラウンドアンカー工法設計施工指針，森北出版，2000．
- 5) 日本アンカー協会：グラウンドアンカー標準施工マニュアル，2004．
- 6) 土木施工編集委員会：解説土木用語集第二版，三海堂，1990．
- 7) 全国地質調査業協会連合会：新版ボーリングポケットブック，1995．
- 8) 土質工学会：岩の工学的性質と設計・施工への応用，1995．
- 9) 土質工学会：岩の調査と試験，1994．
- 10) 申 潤植：地すべり工学 - 理論と実践 - ，山海堂，1989．
- 11) 申 潤植：地すべり工学 - 最新のトピックス - ，山海堂，1995．
- 12) 日本建築学会：建築地盤アンカー設計施工指針・同解説，丸善，2001．
- 13) J.A.Hudson（川本 脩万他訳）：岩盤工学の基礎，オーム社，1991．
- 14) 三木 幸蔵：岩盤力学入門，鹿島出版会，1997．
- 15) 竹本 喜一，三刀 基郷：接着の科学，講談社，2002．
- 16) 藤井 哲雄：防錆の科学，工業調査会，2002．
- 17) 岡本 舜三編：土木技術者のための岩盤力学，土木学会，1966．
- 18) 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．
- 19) 瀬崎 茂，浜野 浩幹：クサビ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．
- 20) 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．
- 21) 佐竹 亮一，瀬崎 茂，和田 淳史，浜野 浩幹，他：クサビ型アンカー開発の基礎的実験，土木学会全国大会，2004.9．
- 22) 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．
- 23) 瀬崎 茂：荷重分散式支圧型（クサビ型）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．
- 24) 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．
- 25) 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．
- 26) 2005.7．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．
- 27) 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．
- 28) 瀬崎 茂：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支部「協会便り」（第 16 号），2005.11．
- 29) 浜野 浩幹，瀬崎 茂：くさび型アンカー工法，理工図書，2006.5．
- 30) くさび型アンカー工法建設技術審査証明報告書，砂防・地すべり技術センター，2007.5．

(執筆 者)

浜野 浩幹 松江工業高等専門学校名誉教授(工学博士)

瀬崎 茂 株式会社日西テクノプラン常務取締役(技術士)

(開発スタッフ：株式会社日西テクノプラン技術部)

赤山 一成， 小瀧 辰人， 峯谷 正， 新原 博史， 池田 靖彦

(共同研究)

松江工業高等専門学校

山梨大学医学工学総合研究科

くさび型アンカー工法

設計・施工マニュアル

2005年 11月	初 版 発 行	(300部)
2006年 5月	改訂第2版第1刷発行	(300部)
2006年 8月	改訂第2版第2刷発行	(400部)
2007年 8月	改訂第3版第1刷発行	(500部)
2007年 9月	改訂第3版第1刷発行	(500部)

編集・発行 くさび型アンカー工法研究会
事務局 島根県松江市東津田町 1329-1
株式会社日西テクノプラン内
TEL : 0852-22-1163
FAX : 0852-22-2113
