

新しい支圧型アンカーの提案とその支持機構

New proposed bearing anchor and its bearing mechanism of load distribution

瀬崎茂 (せさき しげる)
(株)日西テクノプラン技術部

浜野浩幹 (はまの ひろき)
松江工業高等専門学校名誉教授

平島健一 (ひらしま けんいち)
山梨大学医学工学総合研究科教授

Abstract

Under the basic experiments for the development of the bearing type anchor of a load distribution system, some new style anchor is adopted. We perform the check of the action by the laboratory and field experiments. The purpose using wedge form is to change anchor power into bearing force which acts to boring wall. Consequently, in mudstone bed, bearing anchor had 3 or 4 times bearing power compared to friction anchor, and bearing power was able to be distributed almost equally along the anchor.

Key words: Compressive strength, Stress distribution, (Load distribution), (Wedge), (Bearing strength)

要 約

本研究は荷重分散式支圧型アンカー開発のための基礎実験を行ったものである。ここで提案した新型アンカーの最大の特徴はアンカー体拘束具を可動式のくさび方式とした点であり、室内および現場実験によりその挙動や性能の確認を行った。くさび方式を使用する目的はアンカーから地盤に伝達される力(以下アンカー力という)をアンカー体側面(アンカー孔壁)にほぼ垂直に作用する力(以下支圧力という)に変換させ、かつ、くさびを等変位状態にして応力集中を減らしアンカー体周辺地盤への荷重分散を図ろうとするものである。その結果、軟質な泥岩では摩擦型アンカーの3~4倍の引抜き耐力が得られると共に、アンカー体沿いの支圧力をおおむね均等に分散させることができた。

キーワード: 圧縮強さ, 応力分布, (荷重分散), (くさび), (支圧力)

1. はじめに

アンカー型式は基本的に摩擦型と支圧型に区分される。図-1はアンカー体の破壊概念を示すもので、摩擦型はアンカー体沿いの付着や摩擦強度により、また従来の支圧型は摩擦および支圧力(支圧破壊に関連)によって引抜き耐力が得られることがわかる。

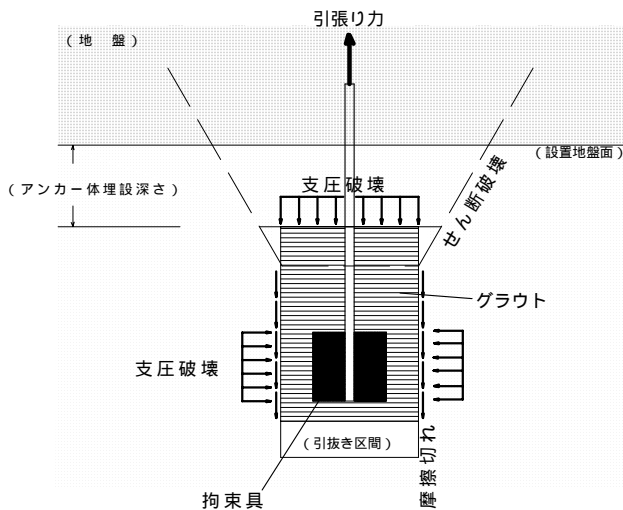


図-1 アンカー形式の破壊概念
(グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 P.108
図 6.13 より, 極限引抜き力に関する項目のみについて記載。一部加筆)

ここで、上記に示した摩擦型アンカーの引抜き抵抗力のひとつである“付着強度”は引張強度やせん断強度に支配され、また支圧型アンカーでは圧縮強度に支配されるものと考えられる。一般にこれらの強度比は大きく異なり、たとえばコンクリートでは圧縮強度を1とした場合、引張強度は1/10~1/14、せん断強度は1/4~1/5とされている²⁾。したがって圧縮力を利用する支圧型アンカーは引張り力やせん断力を利用する摩擦型アンカーより有利といえる。さらに摩擦型アンカー体は基本的に変位を許さないため、アンカー力を適正に地盤に分散させることができない。そのため応力集中によるアンカー体の局部破壊を生じやすい。

一方、支圧型アンカーも、従来のものは支圧力がアンカー体設置地盤面(解放面)方向に作用するため、アンカー体の埋設深さや埋設区間の節理等の発達状況によっては図-1に示すようなせん断破壊が懸念される。

筆者等の開発したアンカー体は、側方地盤の支圧力(図-1の支圧破壊)を利用し、合理的なアンカー長を確保するためのアンカー体の荷重分散機能を備えたものである。すなわち、アンカー体をくさび形の連続体として生成し、引張り方向への移動により、アンカー体のある点のくさびの径が大きくなる(拡径機能)ことを利用し、側方地盤への支圧力を増大させようとするものである。このことによって、アンカー体全長にわたって周辺地盤に荷重を分散(荷重分散機能)させることができるものである。

従来型アンカーの問題点を整理するとともに、この新型アンカーに関するこれまでの実験結果³⁻⁵⁾を基に、その支持機構について報告する。

2. 従来型アンカーの問題点

前述したように、アンカー形式には摩擦型と支圧型があり、それぞれ以下のような問題点を抱えている。

2.1 摩擦型アンカーの問題点

古くから指摘されている問題点として、アンカー体の周辺地盤への荷重分散ができないことと、極限引抜き力にばらつきが大きい点が挙げられる。極限引抜き力とは文献 1) によれば、地盤とアンカー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。

(1) 荷重分散について

本型式のアンカーはアンカー体の荷重作用点の違いから、引張型と圧縮型に区分され(図-2)、それぞれ荷重作用点側に応力が集中することが知られている⁶⁾。

そのため、極限引抜き力はアンカー体長を長くしてもこれに比例して大きくなり、設計荷重に応じたアンカー体長を合理的に算出することが困難である。

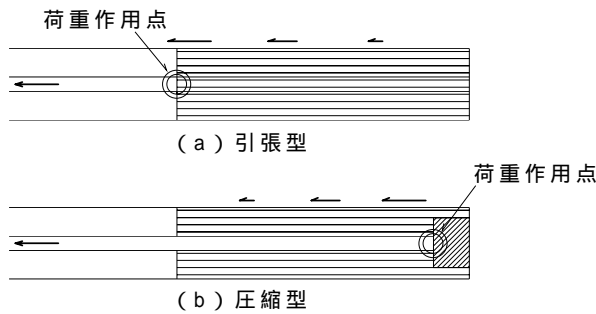


図-2 摩擦形式における区分



写真-1 アンカー孔壁の粘土化状況

(試験孔 No.1. 泥岩：一軸圧縮強さ $q_{tr}=1.1N/mm^2$. 66mm 掘削後、115mm でリーミング時に採取。粘土化面は 66mm 孔壁)

(2) 極限引抜き力のばらつきについて

表-1 は第三紀層の地すべり地帯で実施したアンカー基本試験結果(図-2(a))の一例である。本工事に先立ち現場毎に2本程度実施したものであるが、同一現場でも最大値に対して強度比 50~70% のものが5試料, 50%未満のものが3試料ある。全体では12現場中7現場で強度値に大きなばらつきが存在している。

設計因子となる摩擦抵抗にこのようなばらつきが存在することは実態⁷⁾として知られている。これらのばらつきは工事費に与える影響のみならず、場合によっては工法の変更を余儀なくされるなど、極めて重要視すべき問題である。

ばらつきの要因としては、アンカー孔壁の粘土化や地下水によるグラウトの劣化が考えられる。孔壁の粘土化は軟質岩で問題となることが多く、今回の実験でも写真-1のようにやや固めの粘土付着が確認された。通常の洗浄では落ちない固さであり、掘削技術等により地盤環境が大きく左右されやすいことが分かる。地下水に関しては、表-1の2現場でアンカー体設置地盤内に裂か水が確認され、低荷重で引抜け破壊している。

表-1 摩擦型アンカー基本試験結果

年度	現場	試験 Nb	破壊荷重 kN	定着地盤の地質	摩擦抵抗 MN/m ²	強度比 (%)	地下水の確認
55	楢山	1	392.0 以上	風化砂質頁岩	0.62	100	
55	楢山	2	274.4	風化砂岩	0.44	70	
57	山口	1	470.4	砂岩~砂質頁岩	0.75	100	
57	山口	2	431.2	頁岩	0.69	92	
57	山口	3	78.4	砂岩~砂質頁岩	0.12	17	x
57	石盛	1	441.0 以上	頁岩	0.70	100	
57	石盛	2	235.2	頁岩	0.37	53	
58	西辻山	1	539.0 以上	頁岩	0.86	100	
58	西辻山	2	196.0	頁岩	0.31	36	x
58	宇土手	1	539.0	頁岩	0.86	100	
58	宇土手	2	490.0	頁岩	0.78	91	
58	内の馬場	1	686.0 以上	砂質頁岩	1.09	100	
58	内の馬場	2	548.8	砂岩	0.87	80	
60	今岳	3	686.0	頁岩	1.09	100	
58	今岳	1	539.0	砂質頁岩	0.86	79	
60	今岳	4	392.0	頁岩	0.62	57	
58	今岳	2	392.0	砂質頁岩	0.62	57	
59	大久保	1	666.4 以上	砂岩	1.06	100	
59	大久保	2	245.0	頁岩	0.39	37	x
60	大黒川	4	637.0 以上	砂岩	1.01	100	
60	大黒川	1	539.0	砂質頁岩	0.86	85	
59	大黒川	3	539.0 以上	砂岩	0.86	85	
59	大黒川	2	392.0	砂質頁岩	0.62	62	
59	丹生川	1	441.0	砂質頁岩	0.70		
59	石倉山	2	539.0	砂岩	0.86	100	
59	石倉山	1	441.0	砂質頁岩	0.70	82	
59	寺浦	1	686.0 以上	砂岩	1.09	100	
59	寺浦	2	686.0 以上	砂岩	1.09	100	

(試験孔のアンカー体長 2m, 削孔径 100mm, 強度比: 50~70%, x 50%未満)

その他本質的なものと考えられるのが、図 - 3 の例である。これは後述するようにアンカー体（図 - 2(a)）周辺地盤のひずみを測定し、応力に換算したものであり、アンカー体沿いに 25cm 離れた地点でこれにほぼ垂直となる方向（図 - 4）の引張力が確認されている⁵⁾。前述したように地盤の引張強度は弱く、しかも多様な不連続面が発達することから、その組み合わせによってはアンカーの引抜き耐力にばらつきが生じやすいことが考えられる。

(3) 圧縮型アンカーについて

圧縮型アンカーは、アンカー体に圧縮力が働く構造であるため（図 - 2(b)）、摩擦や付着といったものの他に支圧強度による引抜き抵抗が期待される。そのため引張型よりは極限引抜き力において有利と考えられるが、アンカー体自体にくさびのような拡径機能がないため、その支圧強度も限定的なものと考えられる。これらについて

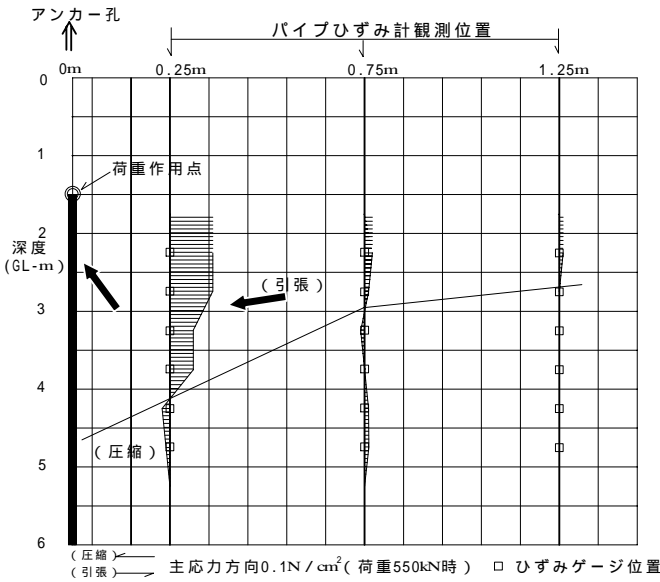


図 - 3 摩擦型アンカー体（引張型）周辺地盤の応力図
 泥岩 ($q_u = 1.1\text{N/mm}^2$) 露頭地で実施。アンカー体長 4.5m、アンカー孔径 115mm、鉛直方向。テンドン 15.2mm \times 5本。パイプひずみ計はVP40仕様、ゲージ間隔 50cm。設置区間 GL - 2.25 ~ 4.75m (計 6点/孔)

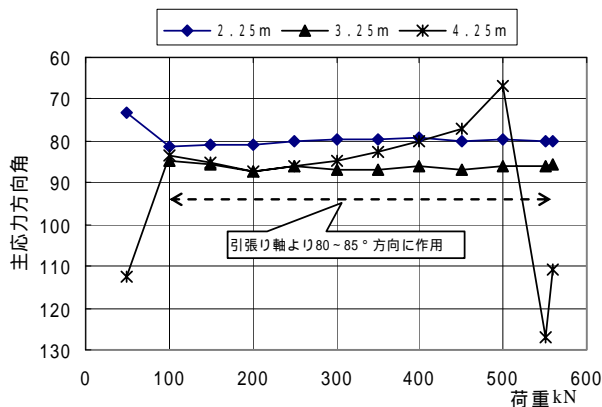


図 - 4 摩擦型アンカー体（引張型）主応力方向角
 (図 3 0.25m 地点の測定値。図 5 参照)

は今後実験等で確認が必要である。

2.2 拡孔式支圧型アンカーの問題点

従来の支圧型アンカーは図 - 6 のようにアンカー孔を拡径し、拡孔部分の支圧強度を利用するものである。この形式では拡孔部分にアンカー力が集中するため局部破壊を起こし、前述したようにアンカー体埋設区間の亀裂の発達状況等によっては図 - 1 に示したようなせん断破壊も懸念される。

施工例として、前述の表 - 1 に示した西辻山現場（昭和 58 年度）は摩擦型アンカーを計画したものの、所期の引抜き耐力が得られず、本工法により施工したものである。図 - 7 はその本工事における確認試験結果の一つであり、荷重 400kN までは自由長部テンダンの伸び変位は概ね理論伸び線に一致するが、これ以降は変位が急激に増大している。

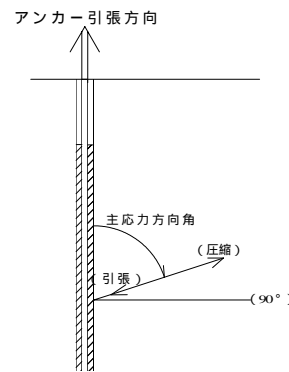


図 5 図 4 の主応力方向角の説明

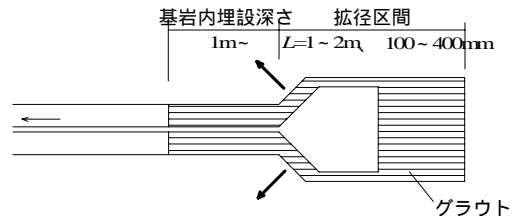


図 - 6 従来式支圧型アンカー体

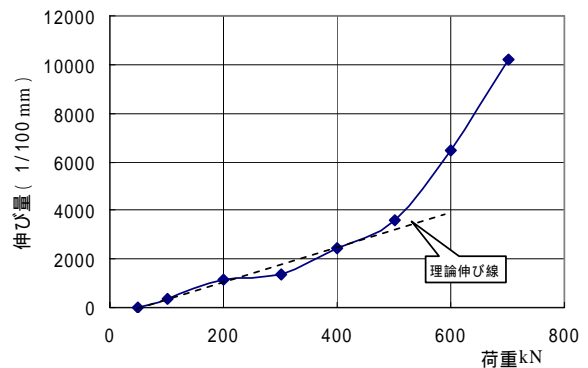


図 - 7 従来式支圧型アンカーの確認試験
 基岩内埋設深 3.9m (116mm)、拡径区間長 2.1m (156mm) 拘束具拡径前組み立て長 1.75m、拘束具拡径後長さ 670mm、拘束具拡径時 max167mm (拡径前 85mm)

これはアンカー体拘束具が設置地盤（アンカー引張り方向）に食い込んでいる状態を示すものである。施工した全本数の実測値を表 2 に示す。設計荷重 600kN に対する岩盤への食い込み量は 6～85mm（平均 46mm）に達している。全体にばらつきが大きいことは地盤が均一でないことを示し、食い込み量の大きさは、アンカー力が拡径部分に集中した結果と考えられる。このようなことから、本形式ではアンカー体上部（引張側）の地質条件を十分考慮した設計が必要と思われる。ちなみに本設計では軟岩であることから、アンカー体の基岩内埋設深さ 2.3m（図 - 6）を確保している。このように従来式の支圧型アンカーでは必ずしも基岩内掘削長が短くなるわけではない。また拡孔作業が複雑で工事費が割高となりやすい他、硬岩（ $q_u > 25\text{MPa}$ ）や亀裂の発達した地盤では拡孔作業自体ができないなどの欠点がある。

表 - 2 従来式支圧型アンカー体の塑性変位(mm)

Nb	塑性変位	Nb	塑性変位	Nb	塑性変位	Nb	塑性変位
1	59	6	85	11	30	16	77
2	66	7	39	12	20	17	69
3	14	8	6	13	75	18	78
4	22	9	10	14	40		
5	33	10	37	15	75		

平均 46

3. 荷重分散式支圧型（くさび型）アンカー

本工法は上記に示した従来型アンカーの欠点を克服するために考案したものであり、設計の考え方およびこれまでの実験結果に基づくアンカー体の挙動や性能について述べる。

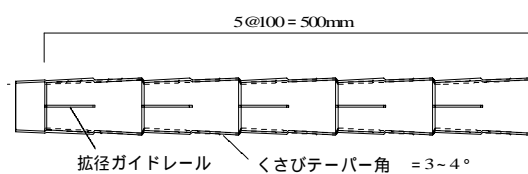


図 - 8 荷重分散式支圧型アンカー体拘束具（スライダユニット）構造図

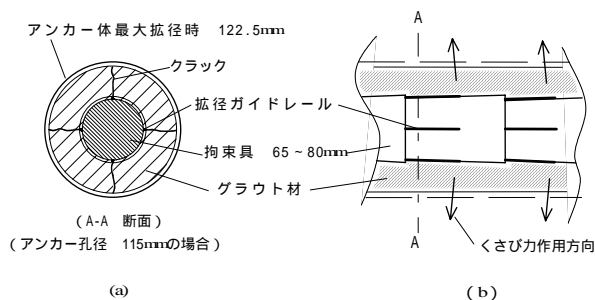


図 - 9 拘束具（くさび）作動時のアンカー体断面

3.1 アンカー体に求められる条件

安定した大きなアンカー力を得るためのアンカー体は、アンカー体側方地盤の支圧力を利用し、かつ荷重分散が可能なるものであることが必要である。すなわち、アンカー体引抜き抵抗に関連した地盤の強度特性には引張、せん断、圧縮があるが、そのうち圧縮強度がもっとも大きく、引抜き抵抗力としてはこれを利用すべきである。特にアンカー体の側方地盤は引張り側のものよりも拘束度が高く、この方向での支圧力を利用することは地盤の亀裂状況や孔壁の粘土化等の影響を受けにくく、有利と考えられる。

一方、軟岩などでは設計荷重に応じて圧縮応力を適度に軽減させる必要がある。そのためにはアンカー体の適正な荷重分散を図り、アンカー体の有効長を長くすることが不可欠である。

3.2 アンカー体拘束具の構造

アンカー体側方地盤への支圧力を利用するには荷重を伝達するための拘束具をくさび形とすればよく、また荷重分散を図るにはこれを等変位させればよい。図 - 8 は拘束具のユニットであり、長さ 10cm の円筒形のくさびを連結させ、外壁には等間隔に 4 個の拡径ガイドレールを取り付けている。このガイドレールは図 9 に示すように、拘束具とアンカー孔壁間に充填されるグラウト材を緊張初期段階で破断させ、拡径機能による周辺地盤へおおよしくさびの力（以下くさび力という。図 9(b)参照）、すなわち支圧力を確実に孔壁に伝えるためのものである。写真 - 2 は引張り試験後の様子を見るために室内実験したものを解体したもので、実際の設置状況である。また図 - 10 にアンカー体全体の構造図を示す。

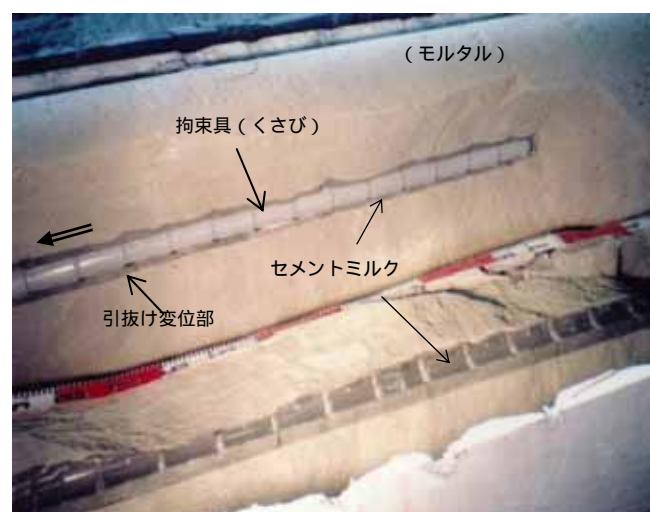


写真 - 2 くさび型アンカー体設置状況（ヒューム管 700mm 内で実施した室内実験より）

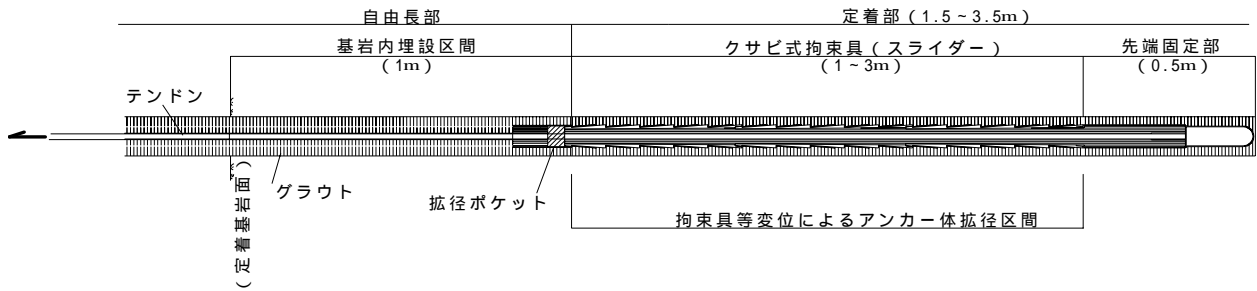


図 - 10 荷重分散式支圧型アンカー体構造図

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するようシー材が施してある。拘束具の中はテンドンを通したのちエポキシ樹脂を充填することで全体が剛体になるようにしている。

この状態でアンカー引張り力はテンドンを介して拘束具に伝わり、これが拡張ポケット内(図 - 10)に数 cm 程度スライドする。同時に拘束具外周に取り付けた拡張ガイドレール(図 - 8)が周囲のグラウト材を破断し(図 - 9)、この段階でくさび力がアンカー孔壁に伝わる仕組みとなっている。

3.3 アンカー体の挙動

(1) アンカー体拘束具の変位状況

図 - 11 はアンカー体の挙動を確認するための室内実験結果である。アンカー体(100mm)は拘束具(くさび 50~60mm, 長さ 1.5m)をセメントミルク($q_u=28.8\text{N/mm}^2$)で被覆したものとし、これを拘束管(ヒューム管 700mm, 高さ 2.43m, 管厚 50mm)内に設置し、

モルタル($q_u=11.7\text{N/mm}^2$)で固定した。テンドンはPC鋼より線 15.2mm(5本, 許容最大荷重 1000kN)を用いた³⁾。

その結果、荷重 780kN で拘束管が破壊(写真 - 3)し、拡張ガイドレール(図 - 8)に沿って4分割された。荷重作用点は拘束具(くさび)中央に設定しており、アンカー体内に設置したひずみゲージはこれを境に、アンカー体引張側で圧縮ひずみ、アンカー体先端側で引張ひずみを示している。拘束具の変位量は 24~27mm とおおむね均一であるが、引張側では圧縮変位のためやや小さくなっている(図 - 11)。拘束管(ヒューム管)の拡張量は直径 1~1.9mm(拘束管外周のクラック開口幅を積算して算出)であり、写真 3 に見られるようにアンカー体中央を中心に樽状の膨らみを示している。アンカー引張り力がくさび力としてアンカー体側方に変換された結果であり、およそ均等に荷重分散されていることが分かる。

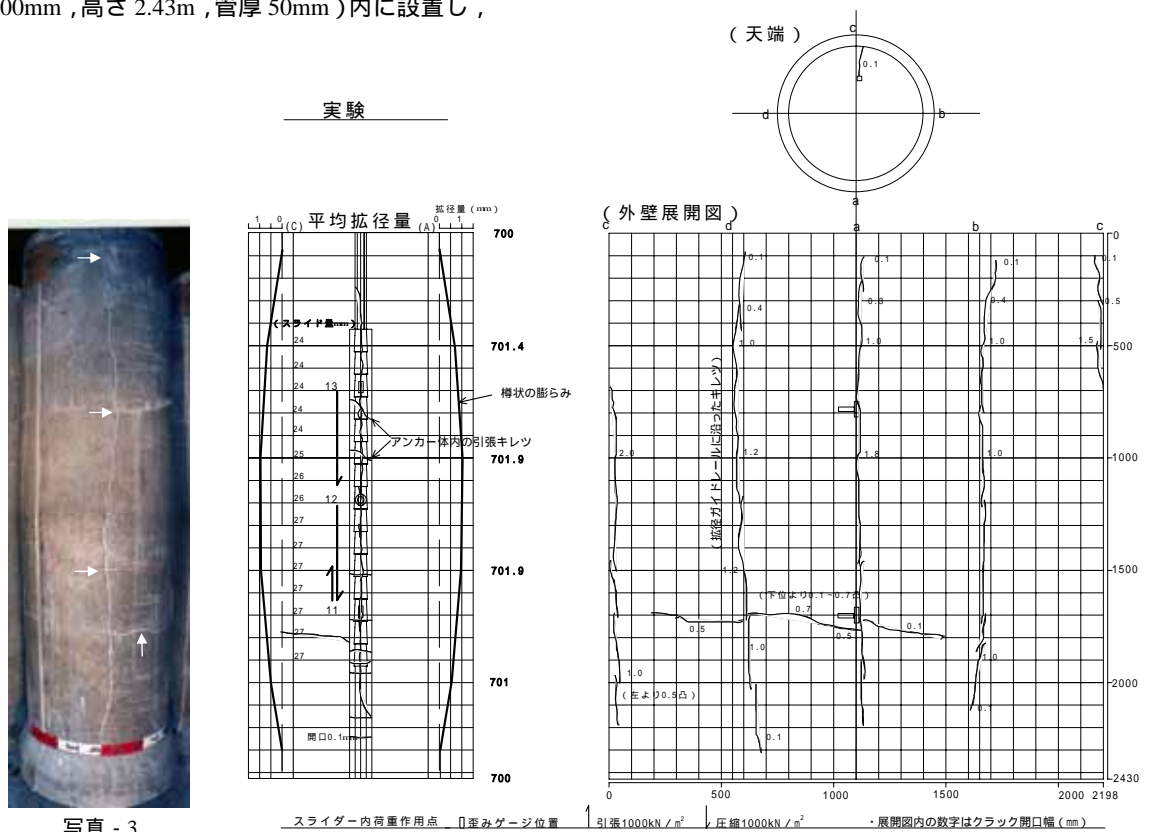


図 - 11 くさび型アンカー体変位状況

写真 4 はこのアンカー体を解体したものである。拡径ガイドレール沿いに縦亀裂がみられ、くさび力を荷重初期段階で拘束地盤に伝達させるという所期の目的を達成したと思われる。引張亀裂は平均 20cm ピッチであり、次に示す摩擦型アンカー体 (写真 - 5) の 1/3 程度と少ない。

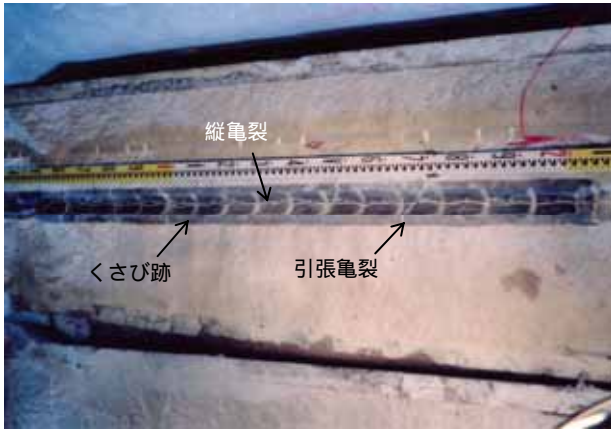


写真 - 4 くさび型アンカー体解体状況

一方、図 - 12 は摩擦型 (引張型) アンカーの場合であり、荷重 1000kN まで載荷したが、ヒューム管天端付近にヘアクラックが集中したのみである。試験体を解体した結果 (写真 - 5)、アンカー体には引張亀裂が 6.5cm ピッチと密に発生しており、アンカー体沿いに働く応力はアンカー引張方向が主体であることがわかる。

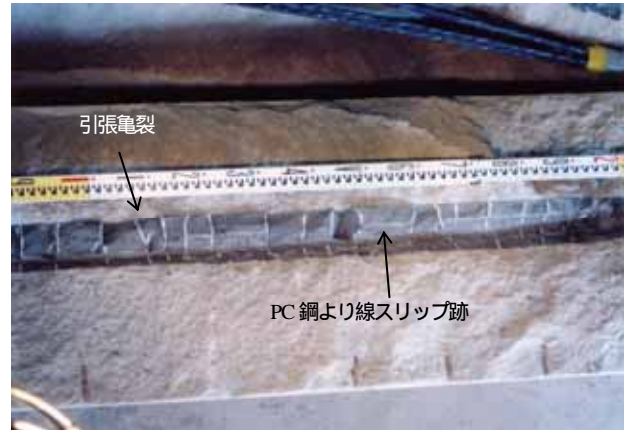


写真 - 5 摩擦型アンカー体解体状況

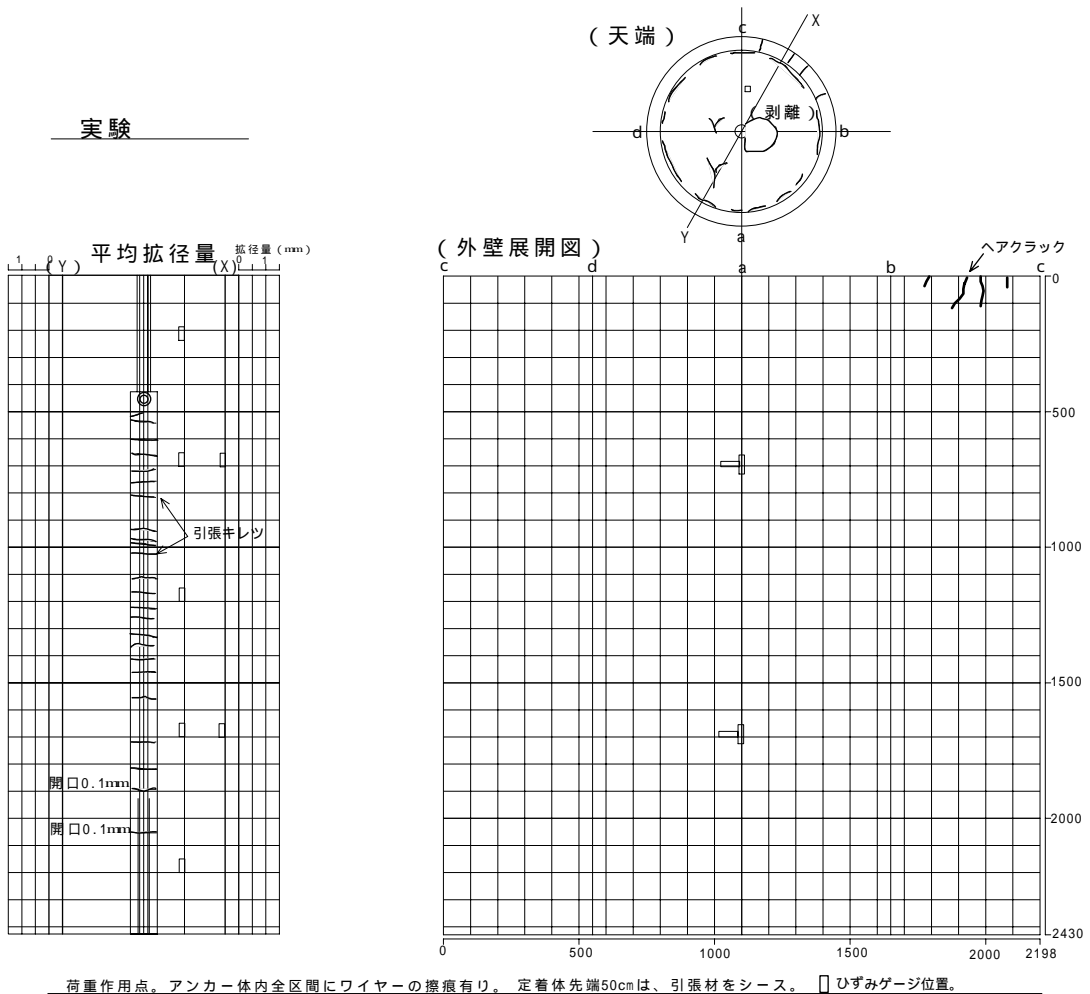


図 - 12 摩擦型 (引張型) アンカー体変位状況

(2) くさび効果の一例

写真 6, 7 は鋼管 (139.8mm, t=4.5mm, 長さ 2m) 内で行った引抜試験 (アンカー体長 1.5m) 状況である。本実験では鋼管内の摩擦係数が小さかったことから、摩擦型では荷重 50kN で鋼管内のアンカー体が簡単に引抜けた (写真 - 6)。しかしくさび型では、くさび力によりア

ンカー体と鋼管との間に大きな摩擦力が発生し、荷重 450kN (摩擦型の 9 倍) まで支持された。ただし鋼管を破断することができなかったためくさび力がこの外側に伝わらず、結果的に鋼管外側で摩擦あるいは附着による抵抗力がなくなり (以下摩擦切れあるいは附着切れという) 引抜けた (写真 - 7)。



写真 - 6 摩擦型アンカー引抜け状況



写真 - 7 くさび型アンカー引抜け状況

3.4 アンカー形式による引抜き耐力の違い

(1) アンカー形式による引抜き耐力の比較

図 - 13, 14 は泥岩 ($q_u = 1.1\text{N/mm}^2$) 露頭地でおこなった摩擦型アンカーとの比較試験である。くさび型は荷重 560kN まで確実に支持されているが、摩擦型は荷重 200 ~ 300kN 以降では tendon 自由長部の理論伸び量を大きくうわまわる変位を示し、アンカー体に設置したひずみ

ゲージからは荷重 300kN 付近で附着切れ (図 - 15) が認められる。表 - 3 はこれまでの実験結果であり、くさび型アンカーの引抜き耐力は摩擦型 (図 2(a)) の約 3 倍程度を示している。これは掘削長、掘削径、施工本数等の削減につながり、くさび型アンカーは経済性の面でも有利といえる。

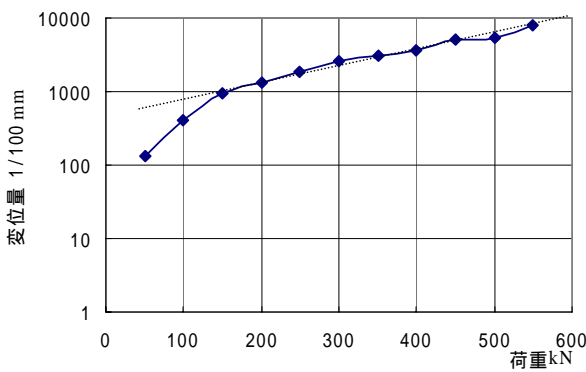


図 - 13 荷重 - 変位曲線

(くさび型: アンカー体長 2m。図中点線は直線性を表示。)

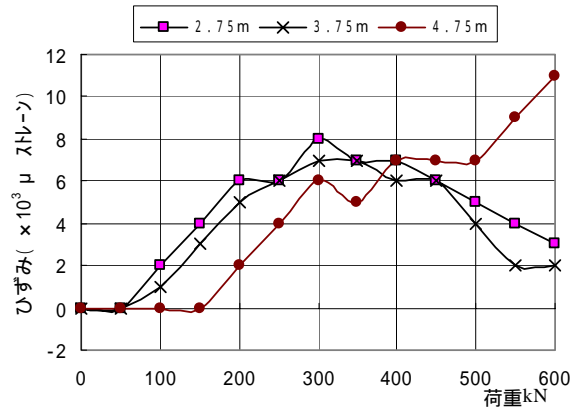


図 - 15 荷重 - ひずみ曲線

(図 - 3 の摩擦型アンカーにおいて、アンカー体より 25cm 離れた地盤内で測定したもの)

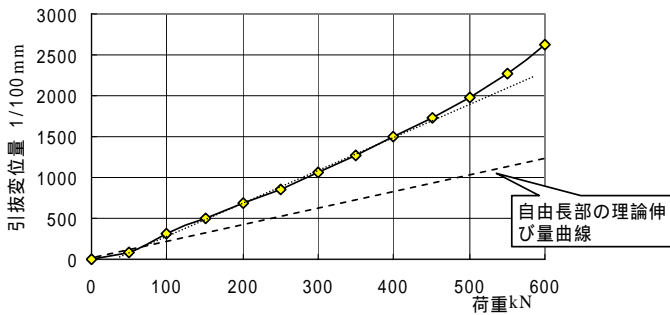


図 - 14 荷重 - 変位曲線

(摩擦型: アンカー体長 4.5m。図中点線は直線性を表示。)

表 - 3 くさび型アンカーの極限引抜き力

アンカー型式	試験 No	掘削長 m	掘削径 mm	定着長 m	クサビテーパ	破壊荷重 kN	1m 当たり極限引抜き力 kN/m	引抜き力比 %
クサビ型	1	5	115	2	5/100	620	310	100
	2	5	115	2	5/100	560	280	90
	4	5	115	2	7.5/100	610	305	98
	5	6	115	2	5/100	560	280	90
	6	5	115	2	7.5/100	420	210	68
	7	5	115	2	7.5/100	650	325	105
	平均						285	
摩擦型 (引張)	3	6	115	3	-	350	117	38
	8	5	115	4.5	-	300	67	22
平均							92	

は拘束具を孔壁に偏心させたもの。試験孔 No.5,6,7 は 1m 間隔に直線配置 (No.7 が中央孔)。極限引抜き力比は No.1 を基準としたもの。

(2) アンカー体設置地盤の変形量と引抜き耐力の関係

アンカー体設置地盤の変形量と引抜き耐力の関係を表 - 4 に示す。引抜き時の拘束具変位量(引抜き量)は No.1, 2, 5 で 60mm 前後となっている。No.4, 6, 7 では 86~99mm と大きくなっているが、実際には No.7 (図 - 16) のように、引抜き量 45mm 付近以降急激な地盤変位に転じている。

すなわち、図 - 17 に示すように、拘束具の引抜けにより支圧面積が減少するため極限引抜き力も減少する。一方で変形量(アンカー体拡径)が増大すれば極限引抜き力も増加する。よって理論的な最大値は引抜き量が 50% の時であり、上記引抜け現象はこれを裏付けるものといえる。

(3) アンカー体偏心による極限引抜き力への影響について

表 - 3 に示した試験 No.2 はアンカー体を孔壁に接する形でセットしたものであるが、極限引抜き力は他の試験結果と大差ない。すなわちくさび型アンカーの場合、アンカー体を孔内にセンタリングする必要性は低いといえる。

(4) アンカー孔間の引張亀裂発生について

従来の支圧型アンカーでは施工間隔を密にした場合、アンカー孔間に引張亀裂が発生する⁹⁾とされている。こ

表 - 4 くさび引抜き量と引抜き耐力

試験孔 No	テンド引抜き量 a (mm)	自由長部弾性変位量 b (mm)	くさびテーバー c	くさび引抜き量 a-b (mm)	アンカー体拡径量(半径) (a-b)・c (mm)	極限引抜き力 (kN)
1	72.1	13.8	5/100	58.3	2.9	620
2	73.5	14.8	5/100	58.7	2.9	560
4	78.0	16.7	7.5/100	61.3	4.6	610
5	122.4	23.4	5/100	99.0	5.0	560
6	97.0	11.1	7.5/100	85.9	6.4	420
7	115.4	17.3	7.5/100	98.1	7.4	650
平均				76.9	4.9	570

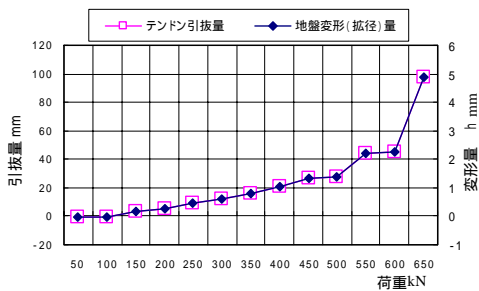


図 - 16 荷重 - 変形量 (試験 No.5 の場合)

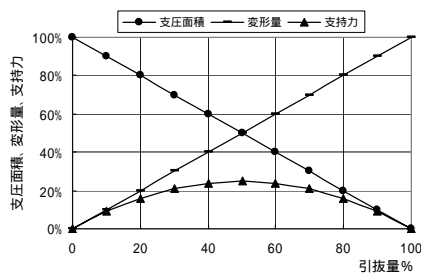


図 - 17 地盤変形量と極限引抜き力の関係図

れを確認するため、試験 No.5, 6, 7 で 1m ピッチに実施したが、中央の No.7 が低荷重で引抜ける現象は認められなかった。後述するアンカー体設置地盤の応力分布図 (図 - 19) では、適正に荷重分散がなされた場合の影響圏は軟質な泥岩で 1m 程度以下である。したがって十分なアンカー体長の確保と荷重分散がなされれば、アンカー孔間の引張亀裂破壊は生じないものと判断される。

3.5 アンカー体の荷重分散

(1) アンカー体の荷重分散形態

くさび型アンカー体(長さ 2m)の荷重分散状況を図 - 18, 19 に示す。これはアンカー体設置孔よりそれぞれ 0.5m, 1m, 1.5m 離れた直線上の地点にひずみ観測孔を設け、アンカー体によってもたらされる主応力(くさび力)とその作用方向角を測定したものである。なおひずみ計は 3 軸ゲージとし、塩化ビニール管 (VP40) に 50cm ピッチに貼り付けたものを用いた。アンカー体周辺地盤ではいずれも圧縮状態にあり、荷重作用点の違いでその分布形態が異なる。すなわち、作用点がアンカー体の引張り側(頭部)の場合は、これを頂点とした三角形分布(図 - 18)を示し、作用点がアンカー体中央の場合はこれを中心とした紡錘状の分布形態をなしている(図 - 19)。

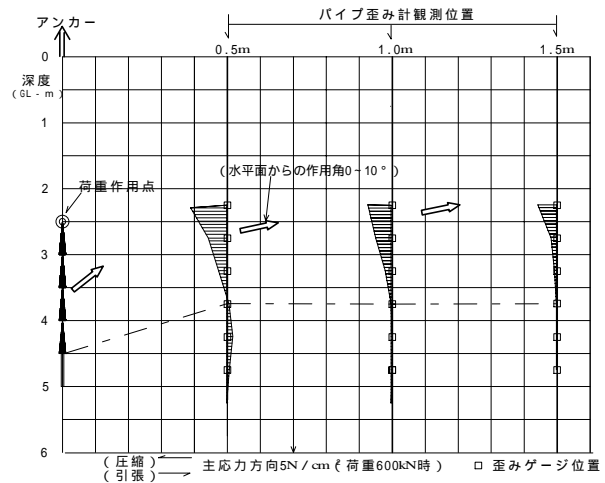


図 - 18 アンカー体応力分布(1)
(アンカー体頭部に荷重作用点。くさびテーバー角 4°)

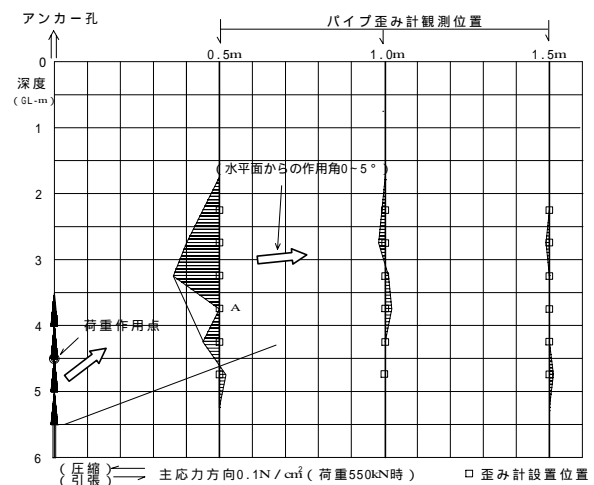


図 - 19 アンカー体応力分布(2)
(アンカー体中央に荷重作用点。くさびテーバー角 3°。
図の A 点はひずみゲージ損傷)

(2) アンカー体の主応力方向

くさび型アンカー体は荷重 100~200kN で拘束具(くさび)が滑動(スリップ音発生)し始めることから、この段階でくさび機能が発揮されるものと考えられる。

アンカー体の主応力は、当該荷重以降アンカー引張軸から 80~90° の方向(アンカー孔壁に対して上向き 0~10°)にほぼ一定して作用していることが認められる(図-20)。

3.6 アンカー体の耐久性

(1) アンカー体設置地盤のくさび応力と変形量

図-21 はアンカー体拘束具(長さ 2m)を 58mm 引抜いた時のくさび応力とこれにともなう地盤の変形量の関係を示すものであるが、両者は直線関係をなし、この間に地盤破壊は認められない。

(2) アンカー体および周辺地盤の耐久性

アンカー体拘束具(写真-2)は、極限引抜き力を越える荷重が作用した場合、くさび単位(長さ 10cm)毎に引き抜けるようになっている。図-22 はくさび単体が引抜ける時の状況を測定した例であり、引抜け後も同じようなアンカー力(あるいはくさび力)を示している。すなわち、アンカー体は地盤反力によって引抜き耐力が維持されており、拘束具が可動することによるアンカー体および設置地盤の破壊といった様子はみられない。

(3) アンカー体グラウトの亀裂について

前述したように、くさび力を荷重初期の段階で確実に周辺地盤へ伝達させるため、アンカー体のグラウト材に

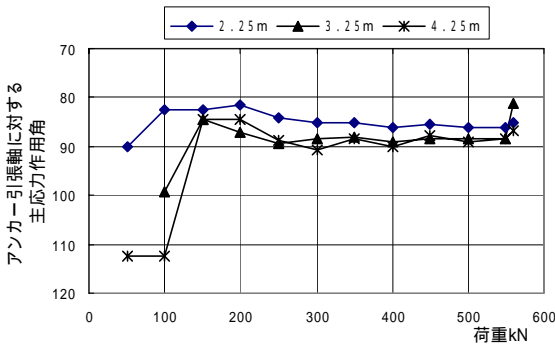


図-20 くさび主応力方向(泥岩 $q_u = 1.1\text{N/mm}^2$)
(アンカー体長 2m, 荷重作用点は拘束具中央)

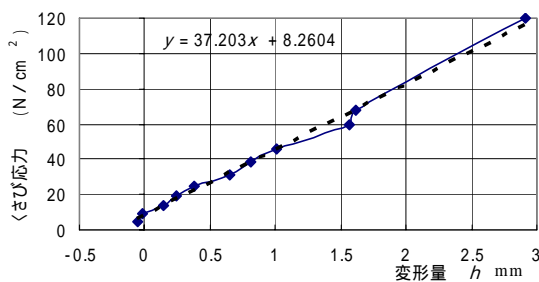


図-21 くさび応力 - 変形量曲線(泥岩 $q_u = 1.1\text{N/mm}^2$)

意図的にクラックを発生させ分割する必要がある。この場合、基本的にグラウト材はくさび力を地盤に確実に伝えるための間詰め材であり、クラックは問題とはならない。

アンカー体の劣化防止は拘束具(くさび)によるアンカー体設置地盤の変形量を 1.5mm(半径方向)程度に規制することで可能と考えられる。すなわち、アンカー体を設置地盤面から 1m 程度以上埋設し、この間をグラウト(圧入)で閉塞すれば(図-10)、周辺部の地下水の動きは抑制され、仮に浸水した場合でもテンドン等の部材に防食を施しておくことで、これらの劣化防止が可能である。ただし、耐久性は今後の課題であり、追跡調査による確認が必要である。

3.7 アンカー体の設計

アンカー体の設計では、これが引抜けないためのくさびテーパ角()の決定と、アンカー体周辺地盤の所要反力の確保が必要である。

(1) 拘束具(くさび)が引抜けないための条件

設計アンカー力 T_d とくさび水平力 W_H の関係は図-23 および次式で示される⁴⁾。

$$W_H = \frac{T_d}{2} \cdot \cot(\alpha + \delta) \dots \dots \dots (1)$$

ここに W_H : くさび水平力, T_d : 設計アンカー力, α : くさびテーパ角, δ : 基本摩擦角, ϕ : 壁面摩擦角($\phi = \frac{2}{3} \cdot \delta$) である。

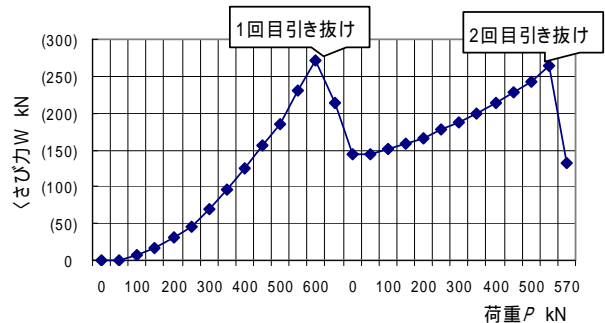


図-22 アンカー体の繰り返し引き抜き状況
(設置地盤は泥岩: $q_u = 1.1\text{N/mm}^2$ 。くさび力は図-18に示すアンカー体より 1m 地点の平均主応力より求めた。)

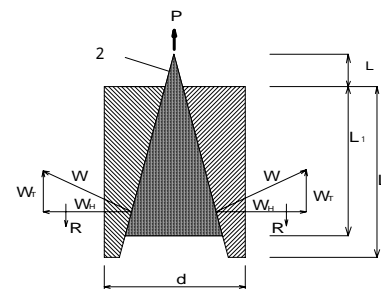


図-23 くさび力関係
(文献 8 p381 図 16.12 に加筆)

P : 引張り力, W_f : くさび接線力, W : くさび力, R : アンカー体周壁における摩擦抵抗, L : くさび長, L_1 : 有効支圧区間長, L_2 : くさび引抜け長

くさびが抜けないためのテーパー角 θ は、図 - 23 より

$$W_H < R$$

$$W_H \cdot \tan(\theta + \delta) < W_H \cdot \tan \phi$$

$$\theta + \delta = \theta + \frac{2}{3}\phi < \phi$$

$$\therefore \theta > \frac{\phi}{3}$$

通常の岩盤であればその基本摩擦角は概ね $> 25^\circ$ であり、したがってテーパー角 $< 8^\circ$ とすれば、十分な支圧力が確保される限り拘束具（くさび）が抜けることはない。ちなみに本実験では $3 \sim 4^\circ$ としている。

(2) アンカー長の算出

くさび型アンカーのアンカー長は式(2)で示される。

$$l = \frac{a \cdot f \cdot W_H}{\pi \cdot d \cdot q} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 l : 有効アンカー長 (図 - 23 の L_1 に相当)、 a : 補正係数、 f : 安全率、 d : アンカー孔径、 W_H : くさび水平力、 q : 地盤反力度 ($k \cdot r$)、 k : 地盤反力係数 (= $1/h$ 図 - 21 参照)、 r : 最大有効地盤変位量である。なおくさび力 W_H は、設置地盤の基本摩擦角 ϕ 等により変化するため、正確に把握することが困難である。よって実際にはこれを引張り力 P に置き換えて求めることになる。また最大有効地盤変位量 r は拘束具を構成する各くさび (10cm 長) テーパー量の 1/2 とする。これは前述 (図 17) したように、くさびの引抜き量が各くさび長さ (L) の 1/2 の時に最大のくさび力が得られることによる。したがって有効定着長 L_1 を確保するための補正係数 a は 2 となる。

(3) くさびが作動するための条件

これまでの実験 (アンカー体設置地盤: 泥岩。 $q_u = 1.1\text{N/mm}^2$) より、くさびが作動するためにはアンカー体引抜き抵抗として 100 ~ 200kN が必要であることが分かっている。そのため、十分な摩擦抵抗が得られない地盤では、これを確保するためにアンカー体の埋設深さを多くするなどの対策が必要である。

4 おわりに

アンカー体拘束具をくさび形とすることで、アンカー体の荷重分散とアンカー体側方地盤の支圧力を利用したアンカー体を構築することが可能となった。

荷重分散はアンカー体中央 (荷重作用点) をピークとした紡錘状のものであるが、アンカー体全体にわたってより平均的な引抜き耐力を得るのに有効である。アンカー体側方地盤はアンカー体引張り側よりも拘束度が高く、この方向での支圧力を利用すれば、より安定した大きな引抜き耐力が期待される。

これらを利用したくさび型アンカー体は、泥岩 ($q_u = 1.1\text{N/mm}^2$) での引抜き耐力が摩擦型 (引張型) の 3 倍程度得られ、アンカー体の性能、品質はもとより、経済性の面でも大幅な向上が期待される。

今後は多様な地質条件でのデータ収集を図り、永久構造物としての信頼性を構築していきたい。

参考文献

- 1) 地盤工学会 (2000): 地盤工学会基準 グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 (JGS4101 - 2000), p.51.
- 2) 土木施工編集委員会 (1990): 解説土木用語集第二版, p.35.
- 3) 瀬崎 茂・浜野浩幹 (2004): くさび型アンカーの支持機構, 第 39 回地盤工学会発表会講演集, pp.1601 ~ 1602.
- 4) 小瀧辰人・瀬崎 茂・浜野浩幹 (2004): くさび型アンカーの支持力と応力分布, 地すべり学会第 43 回研究発表講演集, pp.189 ~ 192.
- 5) 瀬崎 茂・峯谷 正・新原博史・池田康彦・浜野浩幹 (2004): くさび型アンカーの特長, 全地連技術 e フォーラム講演集, No.84.
- 6) 地盤工学会 (2000): 地盤工学会基準 グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 (JGS4101 - 2000), pp.102 ~ 104.
- 7) 申 植潤 (1995): 地すべり工学 - 最新のトピックス, 榊山海堂, pp.353 ~ 355.
- 8) 申 植潤 (1995): 地すべり工学 - 最新のトピックス, 榊山海堂, pp.380 ~ 385.
- 9) 申 植潤 (1995): 地すべり工学 - 最新のトピックス, 榊山海堂, p.361.

(原稿受理)