

項目	内容	原稿	
	はじめに	2008.9	
1.1 アンカー体の引抜き要因について	1.1.1 φ90mm 孔径のアンカーが抜けやすいのはなぜか？ その1 引張型はアンカー体に摩擦抵抗が働かない その2 アンカー体の有効定着長が標準長（3～10m）より短い	2008.9	
	1.1.2 テンドン一本引きの可否について	2007.8	
	1.1.3 所用グラウト厚について	2007.8	
	1.1.4 アンカー体グラウトのブリージングについて	2007.8	
	1.1.5 まとめてグラウトすることの弊害	2007.8	
	1.1.6 孔壁の粘土化は避けられない？	2007.8	
	1.1.7 地下水によるグラウトの劣化？	2007.8	
	1.1.8 定着地盤の選定について	2007.8	
	1.1.9 チェックボーリングを省くことの弊害	2007.8	
	1.1.10 アンカー体の荷重分散の必要性	2007.8	
	1.1.11 設計上の問題点	2008.9	
	1.2 アンカーの抑止効果	1.2.1 アンカーの締め付け効果が有効か否か	2007.8
	1.3 支持機構に関する問題点	1.3.1 支持機構と定着長について	2012.5
		1.3.2 摩擦型アンカー体における摩擦強度とは	2012.5
1.4 耐久性に関する問題点	1.4.1 定着地盤の強度特性とアンカー体の耐久性	2007.8	
	1.4.2 アンカー体グラウトの防食機能について	2007.8	
	1.4.3 テンドンの二重防食について	2007.8	
1.5 経済性比較における留意点	1.5.1 概算設計時における摩擦強度の設定方法について	2007.8	
	1.5.2 くさび型アンカーの摩擦強度について	2007.8	
	1.5.3 アンカー孔径について	2007.8	
	1.5.4 スペーサの必要性について	2007.8	
	1.5.5 ライフサイクルコストを考慮した経済性比較	2007.8	
1.6 グラウト関連	1.6.1 加圧方法による引抜き耐力への影響	2007.8	
	1.6.2 グラウト逸出対策	2007.8	
1.7 基本調査試験	1.7.1 試験体の構造	2007.8	
	1.7.2 引抜き荷重の判定基準について	2008.9	
1.8 工法変更時の留意点	1.8.1 工法変更の可否	2007.8	
	1.8.2 アンカー工法選定フローチャート（案）	2007.8	
	1.8.3 階層分析法 AHP による工法選定（意志決定）	2009.5	

(はじめに)

各国における仮設用アンカーの基準が作成されたのは、アンカー施工が実質的に本格化した1950年代から約20年経過した1970年代とされている(図-1)。

我が国でも1975年頃から地すべり対策等の永久構造物に本格的に採用されだしているが、この頃すでにアンカー工の機能低下に関する報告があったとされ、各種アンカーが開発され出した時期とも一致する。

一方、表-1は道路法面のアンカー(16地区55本、施工10年以上)の残存引張り力を測定したものであり、およそ1/3で設計荷重の50%以下となっている。

グラウンドアンカー(岩盤定着)の設計基準はアースアンカーで確立された技術に準じて設定されており、特にアンカー体の定着長と引抜き耐力が比例関係にないことが認識されているにも関わらず、これらをあまり重要視しなかったことが現状の耐久性に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

アンカー技術基準の見直し時期にきているものと考えられ、筆者等が行った研究事例や経験等を基に現状における問題点や改善案について提案する。

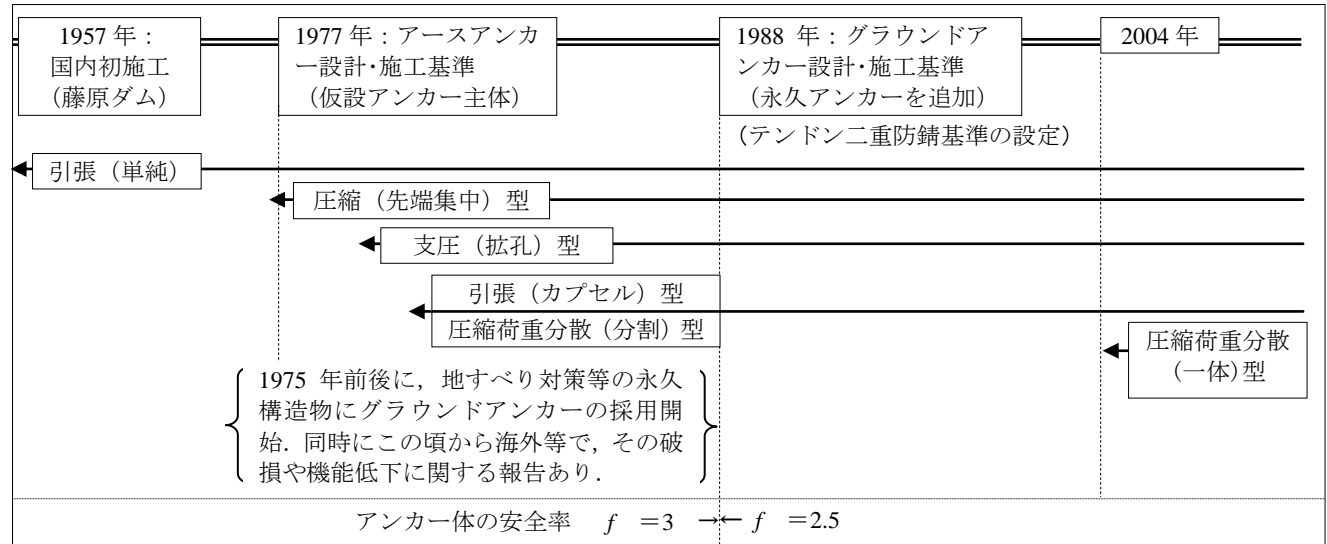


図-1 我が国アンカー工の工法開発と技術変遷概要

表-1 残存引張り力の変動

定着時緊張力に対する残存引張り力						
残存率 (%)	$P^*$ 以上	100以上かつ $P$ 以下	100~80	80~50	50~20	20~0
箇所数 (%)	8	3	10	14	13	7
	14.5	5.5	18.2	25.5	23.6	12.7
全数	55					

朝日和男他(1990):グラウンドアンカー工の長期安定性に関する現地調査,第25回土質工学会研究発表会,pp.1555-1556.

(※ $P$ :設計アンカー力)

# 1. アンカー工一般

## 1.1 アンカー体の引抜け要因について

### 1.1.1 孔径 90mm のアンカーが抜けやすいのはなぜか？

**その1**：引張型はアンカー体に摩擦抵抗が働かない

アンカー孔径 90mm であれば、設計荷重は 350kN/本程度以下と小さく、定着長はよほど軟質地盤でない限り 3m となる (表 1.1.1)。さらに定着長が短いため、通直性の高いアンカー孔が形成されやすい。

一方、摩擦 (引張) 型アンカーの場合、アンカー体および周辺地盤に引張り力が働くため (図 1.1.1)、このような状態でアンカー力を与えた場合、アンカー体には摩擦抵抗が働くことなく、容易に剥離し、引き抜けることが考えられる (図 1.1.2)。

表 1.1.1 アンカー孔径 90mm 時の定着長

設計荷重kN	$\tau$ N/mm <sup>2</sup>		
	0.3	0.6	1
100	3.0	3.0	3.0
200	5.9	3.0	3.0
300	8.8	4.4	3.0

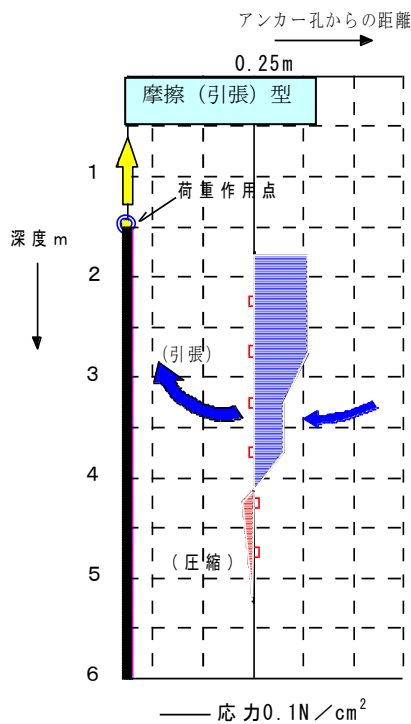


図 1.1.1 摩擦 (引張) 型アンカー体周辺地盤の応力状態

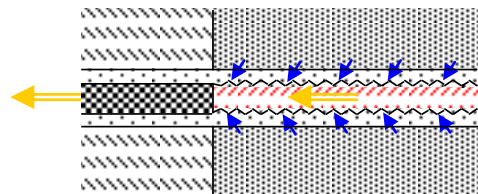


図 1.1.2 摩擦 (引張) 型アンカー体の剥離  
アンカー体に引張力が働くため、テンドンとグラウト材、およびグラウト材と定着地盤との剥離が進行しやすい。

## 1.1.2 テンドン一本引きの可否について

引張型アンカーにおいて PC 鋼より線 1 本引きで設計する例があるが、建築学会の基準では以下のように注意を促している。

多重より線を使用する場合、定着体部分については母材そのままの状態でするのではなく、いったんもとの PC 鋼より線の状態にほぐしてカゴ状に組み立てたり、定着体先端に金具などを取り付けるほうがよい。・・・建築地盤アンカー (P77～78)

写真 1.2.1～3 は PC 鋼より線の付着強度を求めるため、これの 1 本引きを行なったものである (φ12.7mm, 定着長 1m, グラウト材はエポキシ樹脂)。

本実験では荷重 195kN で引張材が 1cm 程度引抜けたが、グラウト材は破損せずに PC 鋼より線のより戻しにともなうすり抜けといった状態を示している (写真 1.2.3)。

こうした状況を防ぐには上記基準に従うか、テンドン構成を複数とする必要がある。

かつてはテンドン構成を 3 本以上と規定していた時期もあったようであり、現場サイドでも 1 本引きを避けるのが常識となっているが、現状の「グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 (地盤工学会)」には、このことが明記されていない。



写真 1.2.1 固定試験状況

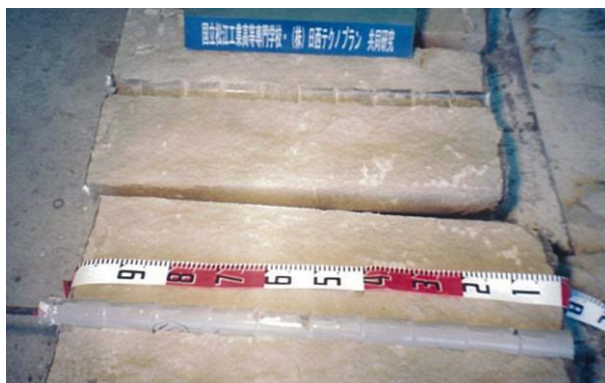


写真 1.2.2 試験体解体状況

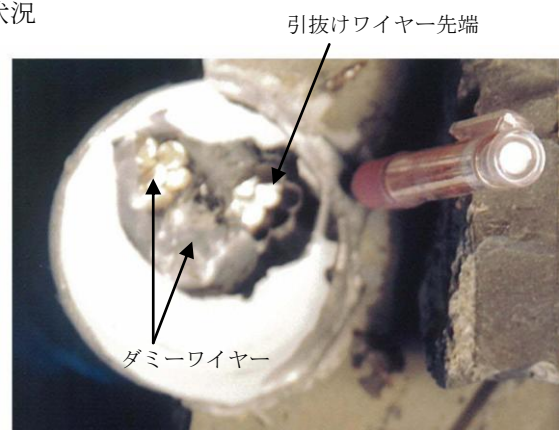


写真 1.2.3 ストランド先端の引抜け状況

### 1.1.3 所用グラウト厚について

アンカー体グラウトの目的は以下のように示されている。

注入は、アンカー体の造成をし、引張材頭部に働く緊張力を定着地盤に伝達させるとともに防錆機能の向上と定着地盤の強化を図るために行う。(グラウンドアンカー工法設計施工指針, グラウンドアンカー技術協会, P236)

そのグラウト被り厚は表 1.3.1 のように示されており、旧「グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説書」では **10mm 以上の被りが必要**とされていた。

近年、アンカー体をシースする方式の普及とともに、その規定が削除されているが、アンカー体の主な引抜き耐力は、グラウト材とテンドンあるいは周面壁との付着であり、テンドン等が周面壁と直接接している状態は、不適当といえる。

表 1.3.1 アンカー体のグラウト被り厚

文 献	グラウト被り厚に関して	備 考
グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説：地盤工学会	テンドンの引張り力が付着以外の方法でアンカー体に伝達されることが多くなったので、拘束具、 <u>拘束力</u> の考え方を導入した。	P31
	本基準では <u>グラウトと地盤が直接に接触することを条件としない</u> で、アンカー体のグラウトを確実にするための材料が介在することは認めることにした。	P35
	シースの外周と削孔壁との間隔を確保し、アンカー体注入で形成したグラウトと地山の接触面を通じて、テンドンの引張り力を確実に地山に伝達できるように設置する必要がある。	P40
	アンカー体は、セントライザーなど必要な材料を用いてテンドンが <u>孔の中央部になるように組み立てるものとする</u> 。	P76
	アンカー体にシースを使用する場合はテンドンとシース間およびシースと孔壁間の被りが必要である。セントライザーなどの部品を用いて適切なグラウトの被りが確保できるようにする。	P138 . 旧基準・同解説書では 10mm 以上.
災害手帳：建設省河川局 防災・海岸課監修	アンカー体は、防錆対策等の面から一般にグラウトの被りを十分 (10mm 以上) とする。	P358
新・斜面崩壊防止工事の設計と実例 参考編	10mm 以上	P214

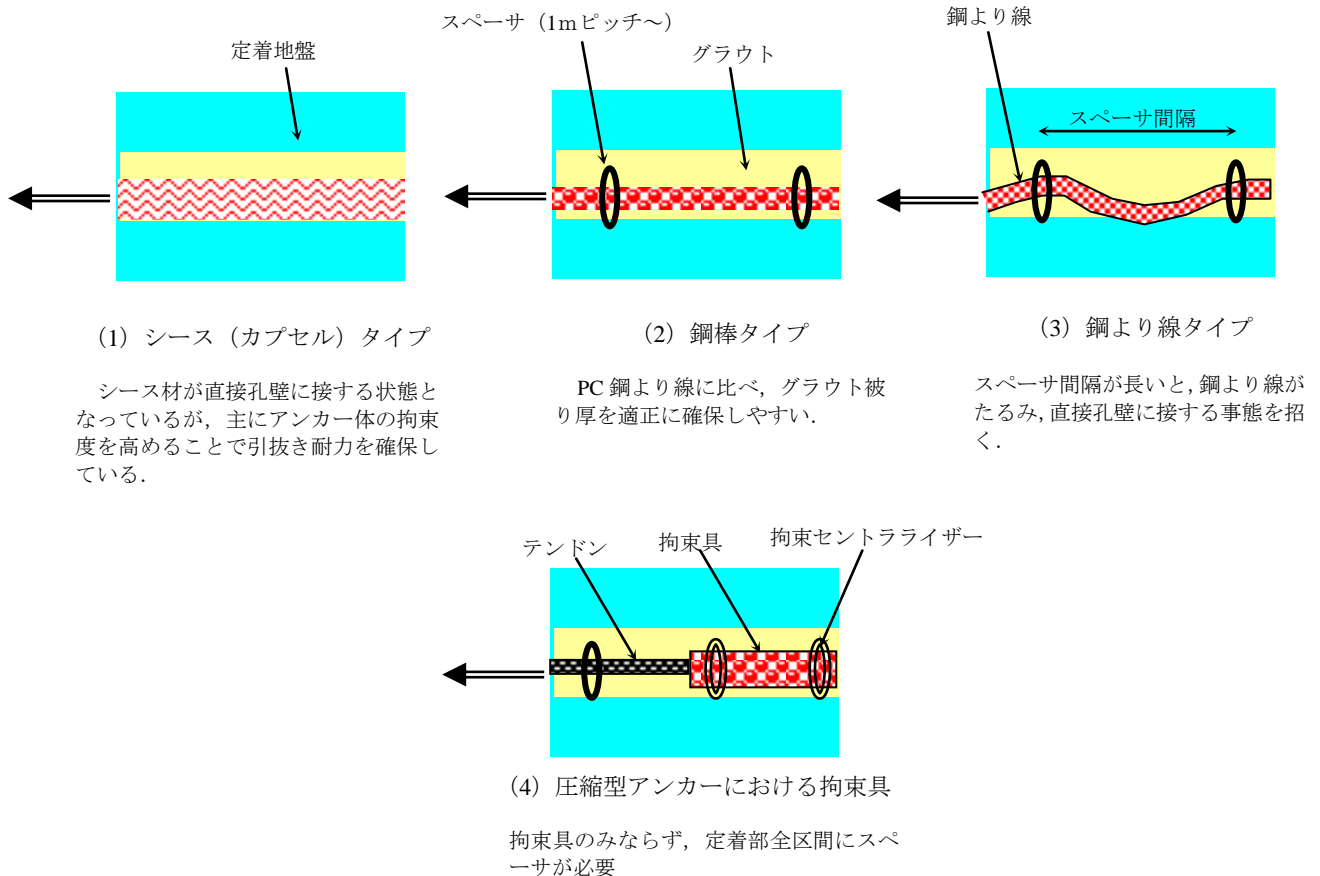


図 1.3.1 テンドン挿入状態とグラウト被り厚の関係

#### 1.1.4 アンカー体グラウトのブリージングについて

図 1.4.1 のように孔内水が形成されている状態で、孔底に達しない位置からグラウトした場合、写真 1.4.1 のようなブリージングをもたらす可能性がある。すなわち、急激なグラウトにより、孔底付近に孔内水を残したままセメントミルクがリターンし、養生期間中に徐々にブリージングすることが考えられる。

アンカー体位置でこのような状態が形成されれば致命的であり、あらかじめグラウトホースの長さを計測しておき、孔底に達したか否かを確認できるようにしておく等の対策が必要である。

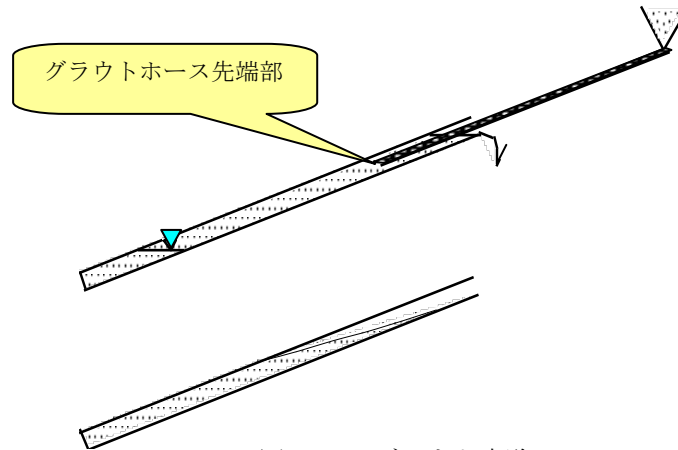


図 1.4.1 グラウト実験  
(上：グラウト直後，下：養生後)



写真 1.4.1 ブリージング状況

### 1.1.5 まとめてグラウトすることの弊害

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。

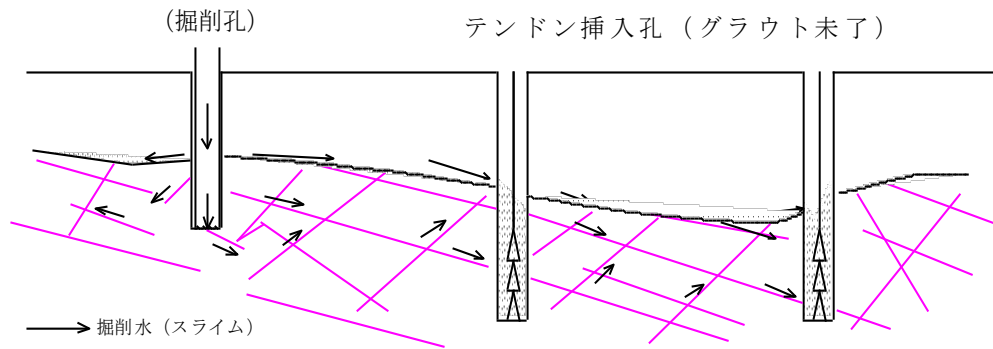


図 1.5.1 まとめてグラウトすることの弊害

### 1.1.6 孔壁の粘土化は避けられない？

写真は軟質な泥岩層において、コアボーリング（ $\phi 66\text{mm}$ ）後、 $\phi 115\text{mm}$ でリーミングした時に回収した削孔壁である。

表面には掘削時の循環水では簡単に落ちない程度の硬さを持つ粘土が付着しており、このような状態でグラウトを行ってもほとんど引抜き耐力が期待できない様相にある。

オペレータの技術やアンカー工に対する知識が工事の品質に大きく影響するケースであり、これらを前提とした設計、施工計画が重要となる。

一方、エア掘による削孔が行われるケースがあるが、泥岩等の含水比が高い地層では孔壁の粘土化が懸念される。

その他の地盤でも、地下水が適度に混入した場合、スライム等により孔壁が粘土化する恐れがあり、これを防ぐには高度な技術が必要と思われる。

定着地盤が多様な環境にあること、地上からは直接確認ができないことなどを考慮すれば、基本的には多量の循環水やエアを用いて、孔壁面の洗浄を考慮した掘削を行うことが重要であろう。



写真 1.6.1 摩擦型アンカーの引抜け要因となりやすいアンカー孔壁の粘土化状況（泥岩： $q_u=1.1\text{N/mm}^2$ ）



### 1.1.7 地下水によるグラウトの劣化？

次表は地すべり地で実施した基本調査試験結果であり、各現場とも2本程度を実施している。そのうち、D,H現場では2本中、1本が低荷重で引抜け、その摩擦抵抗は他孔の1/3程度と小さい。

低荷重で引抜けた孔で地下水検層を実施した結果、定着層内に有圧裂か水が確認され、アンカー体グラウトの劣化をもたらすなどの影響を及ぼしたと思われる。

その他、第4紀の砂礫層などでも、地下水がある場合は極端に摩擦抵抗が小さくなる傾向にあり、アンカー工における定着地盤の地下水対策は重要である。

表 1.7.1 摩擦型アンカー基本試験結果

年度	現場	試験 No	破壊荷重 kN	定着地盤の地質	摩擦抵抗 MN/m <sup>2</sup>	強度比 (%)	地下水の確認
55	A	1	392.0 以上	風化砂質頁岩	0.62	100	
55		2	274.4	風化砂岩	0.44	70 △	
57	B	1	470.4	砂岩～砂質頁岩	0.75	100	
57		2	431.2	頁岩	0.69	92	
57		3	78.4	砂岩～砂質頁岩	0.12	17 ×	
57	C	1	441.0 以上	頁岩	0.70	100	
57		2	235.2	頁岩	0.37	53 △	
58	D	1	539.0 以上	頁岩	0.86	100	
58		2	196.0	頁岩	0.31	36 ×	○
58	E	1	539.0	頁岩	0.86	100	
58		2	490.0	頁岩	0.78	91	
58	F	1	686.0 以上	砂質頁岩	1.09	100	
58		2	548.8	砂岩	0.87	80	
60	G	3	686.0	頁岩	1.09	100	
58		1	539.0	砂質頁岩	0.86	79	
60		4	392.0	頁岩	0.62	57 △	
58		2	392.0	砂質頁岩	0.62	57 △	
59	H	1	666.4 以上	砂岩	1.06	100	
59		2	245.0	頁岩	0.39	37 ×	○
60	I	4	637.0 以上	砂岩	1.01	100	
59		1	539.0	砂質頁岩	0.86	85	
60		3	539.0 以上	砂岩	0.86	85	
59		2	392.0	砂質頁岩	0.62	62 △	
59	J	1	441.0	砂質頁岩	0.70		
59	K	2	539.0	砂岩	0.86	100	
59		1	441.0	砂質頁岩	0.70	82	
59	L	1	686.0 以上	砂岩	1.09	100	
59		2	686.0 以上	砂岩	1.09	100	

(試験孔の定着長 2m, 定着径 100mm。

強度比：△50～70%, ×50%未満)

### 1.1.8 定着地盤の選定について

「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」では構造物の用途による定着地盤の選定基準について詳しくふれておらず，単に摩擦型アンカーの極限周面摩擦抵抗を地盤の種類や  $N$  値区分によって示しているのみである（表 1.8.1）。

これに対し，地盤工学ハンドブックでは定着地盤の選定基準を表 1.8.2 のように区分し，特に土木では岩盤を定着対象とするよう示している。

ちなみに，図 1.8.1 は引張り型アンカーにおけるアンカー体周面壁のせん断力を試算したものである。孔径 115mm，定着長 10cm，設計荷重 100～750kN の場合， $300\sim 2000\text{N/cm}^2$  となり，それ相応の強度をもつ地盤でなければならないことがわかる。

表 1.8.1 アンカーの極限周面摩擦抵抗

地盤の種類		摩擦抵抗(MN/m <sup>2</sup> )	
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

表 1.8.2 アンカー設計における留意事項（地盤工学ハンドブック P721 より抜粋）

アンカー用途	山留めアンカー	構造物の浮上り 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
定着地盤	○良質な地盤 ○一般に $N \geq 35$ の砂質土， $q_v \geq 250\text{kN/m}^2$ 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

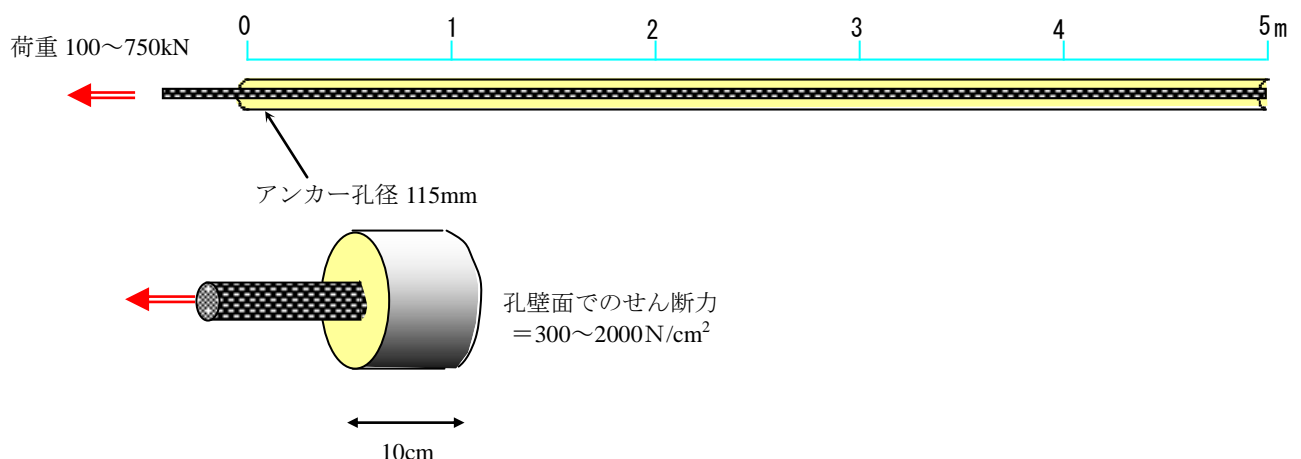


図 1.8.1 アンカー体周面壁に作用するせん断力

### 1.1.9 チェックボーリングを省くことの弊害

テンドンを現地で組み立てる方式の場合、事前のチェックボーリングが省かれることがある。すなわち、掘削時のスライム等から地質状況を判断して、1本ずつ掘削深度（テンドン長）を決定するものであるが、第三者に対する判定資料がスライムのみではあまりにも説得力に欠けるように思われる。

ある程度の調査がなされ、およその着岩深度が想定できる場合であれば、こうした方法も可能と思われるが、施工縦断沿いにほとんど地質情報がない場合（例えば花崗岩地帯のように深層風化やタマネギ状風化を残すような地層）では、スライムや掘削時のトルクのみで定着地盤層の判断はできないように思われる。

安全側を考えれば、過大な工事に陥りやすく、また基本調査試験位置が当該現場を代表するか否か、あるいは設計上安全側となるか否かの判断もできず、施工サイドとしては極めて不安な工事となりやすい（図 1.9.1）。

したがって、基本的には施工縦断沿いに適度な密度でチェックボーリングを行ない、全体の地質状況を把握する必要がある。そのうえで、相対的に脆弱な区間で複数の基本調査試験を行い、定着長等の詳細設計を行うべきである（図 1.9.2）。

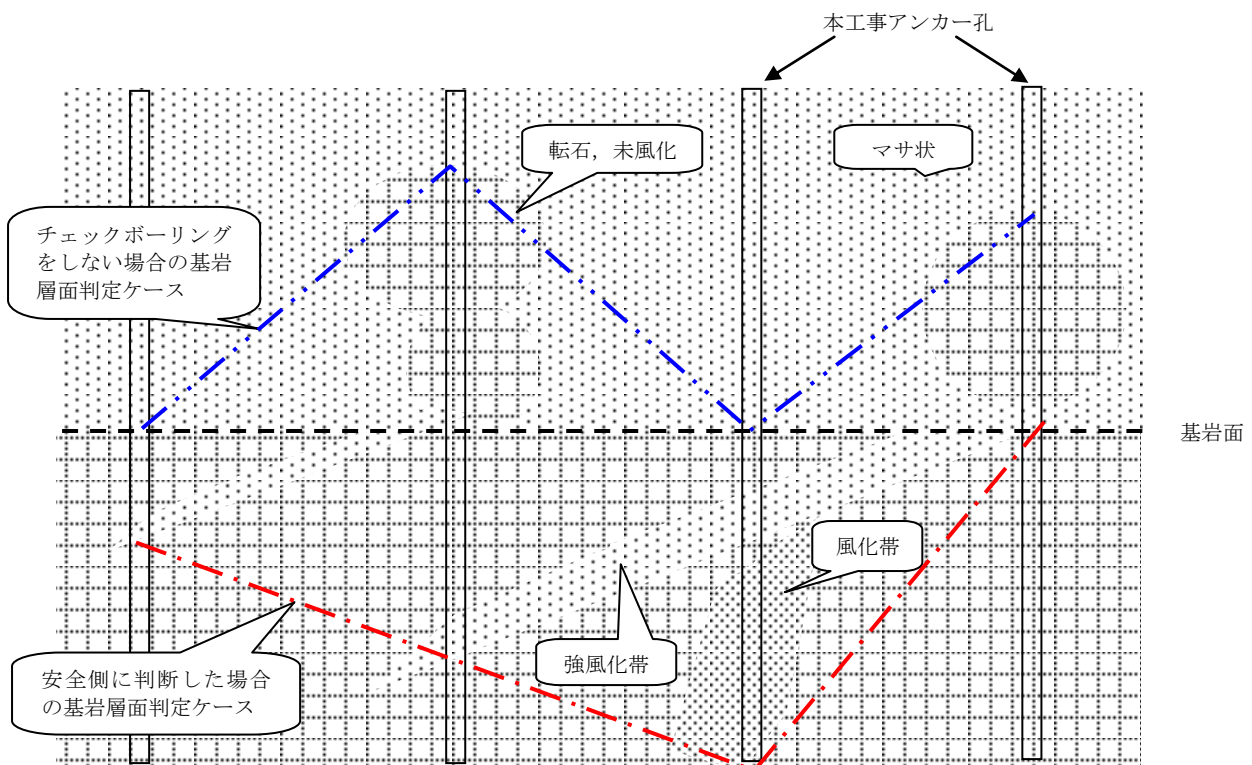


図 1.9.1 基岩層面を誤りやすいケース

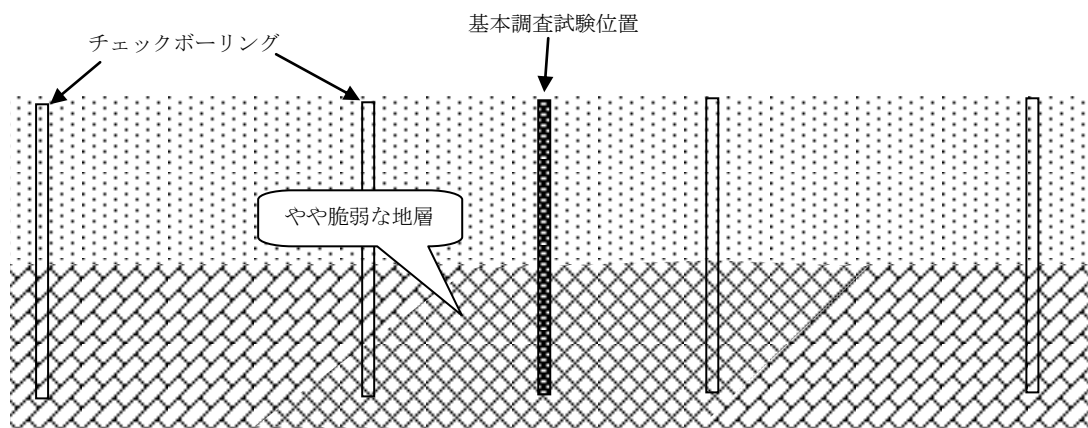


図 1.9.2 チェックボーリング結果による基本調査試験位置の選定

### 1.1.10 アンカー体の荷重分散の必要性

次図は風化凝灰岩層内 ( $q_u=3.8\text{Mpa}$ ) で実施したアンカー体周辺地盤の応力状態を測定したものである。

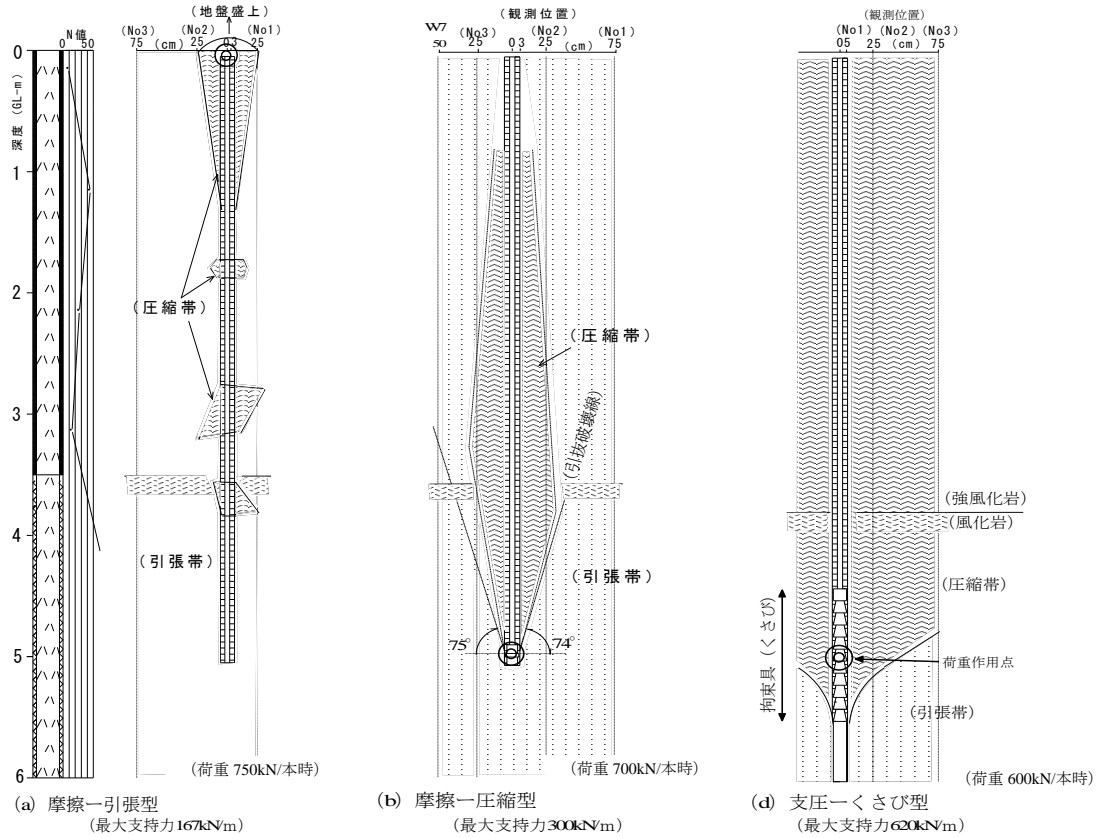


図 1.10.1 摩擦（引張）型

図 1.10.2 摩擦（先端圧縮）型

図 1.10.3 くさび型

摩擦（引張）型では全体に引張力が働いており（図 1.10.1），しかも荷重増とともに荷重作用点が深層部へ移動する様子をとらえている（図 1.10.4）。

すなわち，アンカー力が引張側から伝わり，アンカー体が徐々にクリープ変位していることを示すものであり，アンカー体に負荷する荷重が広範囲に分散され，局部に働く応力が軽減されれば，このような現象は抑制できるものと思われる。

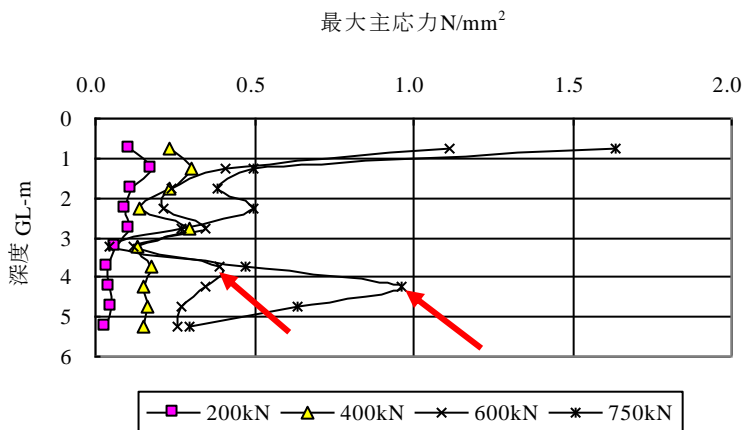


図 1.10.4 荷重別応力図—摩擦（引張）型

一方，摩擦（圧縮）型の場合は，アンカー体を中心に  $\phi 50\text{cm}$  程度の紡錘状の圧縮帯を形成しており（図 1.10.2），荷重作用点（アンカー体先端部）にはくさび型の 10 倍程度の引張力が働いている（図 1.10.5）。

このような荷重の集中は局部破壊を助長するものであり，特に軟質な地盤であれば，より均等な荷重分散が必要といえる。

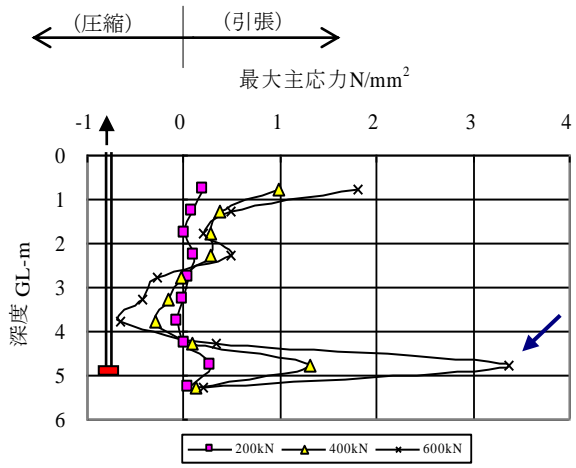


図 1.10.5 摩擦（先端圧縮）型：荷重別応力図  
（摩擦—圧縮型アンカー）

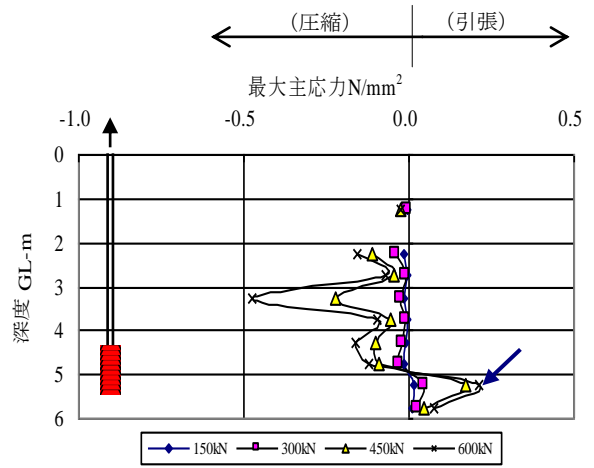


図 1.10.6 くさび型：荷重別応力図  
（くさび型アンカー）

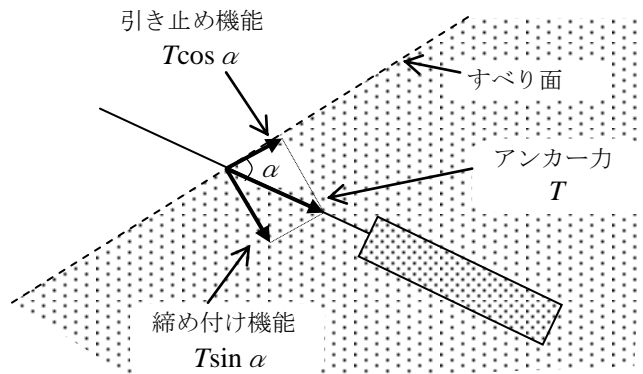
## 1.2 アンカーの抑止効果

### 1.2.1 アンカーの締め付け効果が有効か否か

アンカーによる抑止効果は以下のように示される。

(道路土工 P267 より)

締め付け機能：すべり面における垂直力を増加させ、せん断抵抗力を増大させる。  
引き止め機能：すべり滑動力を減殺する。



$$F_s = \frac{S + T \cos \alpha \cdot \tan \phi}{T - T \sin \alpha} \dots (1)$$

$F_s$  : 安全率  
 $S$  : すべりに抵抗する力  
 $T$  : 滑ろうとする力  
 $\phi$  : 内部摩擦角

図 2.1.1 グラウンドアンカー工の 2つの機能  
(道路土工 P267 図 3-54 参考)

経済性を重要視する観点から式 (1) に示すように、両方の機能を期待して設計するケースがある。しかし、締め付け効果に関しては表 2.1.1 のように記載されており、特殊なケースを除き無視するのが妥当といえる。

地すべりの場合であれば、一般に受圧版を設置する地表部は崩積土等のルーズな地層で構成されている場合が多く、長期荷重による地盤沈下は避けられない。あるいはアンカー体の塑性変位 (=引き抜け) は避けられない状態にあり、したがって締め付け効果を期待することは現実的でない (瀬崎茂・池田靖彦・浜野浩幹：摩擦型アンカーの問題点，地すべり学会研究発表会講演集,2008,8)。

また、地すべり末端部では締め付け効果が期待できるとする文献もあるが、すべり面に地下水が連続する場合、締め付け力が過剰間隙水圧に置き換わることも想定されるため、必ずしも適当ではないように思われる。

締め付け効果を考慮したアンカー工の被災例が紹介されることがあり、こうしたことの影響が懸念される。

表 2.1.1 締め付け効果について

締め付け機能が発揮されることを期待する場合	<ul style="list-style-type: none"> <li>○すべり面の勾配が急かつすべり面の位置が比較的浅い場合が多い</li> <li>○初期緊張力は100%を採用する場合が多い。</li> </ul>	道路土工 P268
地すべり安定解析への締め付け用アンカー力の導入について	<ul style="list-style-type: none"> <li>○どの程度斜面の安定度に寄与するか明らかでないのでこの項を無視するのが安全と思われる。</li> <li>○締め付け用アンカーでは荷重低下による再緊張の必要性もでてくる。</li> </ul>	地すべり防止技術研修テキスト (上巻 P264~266)
締め付け効果について	<ul style="list-style-type: none"> <li>○定着部の岩のクリープ等によって緊張力が減少すると考えられるので、永久構造物では無視する場合がある。</li> <li>○想定すべり面の末端部等土塊の体積が増加すると考えられる部分については締め付け効果を見込んでも差し支えないであろう。</li> </ul>	新・斜面崩壊防止工事の設計と事例 (本編) P250
締め付け用アンカーとして利用できる地盤条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>○移動土塊がプレストレスをかけたとき大きな圧密、圧縮変形をしないこと</li> <li>○移動土塊が粘性土や場合によっては崩積土、亀裂に富んだ風化岩盤で構成されるような地すべり地には無理である。</li> <li>○すべり面深度が深い場合には締め付け効果の期待は難しい。</li> <li>○すべり面深度が比較的浅い、主として岩盤地すべりでは摘要が可能である。</li> </ul>	砂防・地すべり設計事例 P243~244
締め付け効果について	<ul style="list-style-type: none"> <li>○アンカー力が受圧版を介して、地盤のアーチ作用に打ち勝ってすべり面にまで及んだ時に初めて締め付け力が有効化するわけで、ごく浅い地すべりの場合を除いては、一般に期待できない。</li> </ul>	地すべり工学 P831

# 1.3 支持機構に関連する問題点

## 1.3.1 支持機構と定着長について

(引張型の場合)

図 3.1.1 は風化凝灰岩層 ( $q_u=3.8\text{Mpa}$ ) 層内で実施した引き抜き試験におけるアンカー体周辺地盤の応力状態を測定したものであり、引張型ではアンカー体に引張力が主体的に働くため、摩擦抵抗がほとんど発揮できない定着システムであることがわかる。

図 3.1.4 ではこの時の荷重増ともなう荷重作用点の深層化をとらえており、定着長が短ければ容易に引抜け破壊することがわかる。

このことから、引張型ではある程度アンカー体長を長くするほか、孔曲がり等により所用の摩擦抵抗を確保できるようにする必要性が感じられる。(文献ではまっすぐに穿孔するよう記載されているが、摩擦抵抗を確保する上では誤りである)。

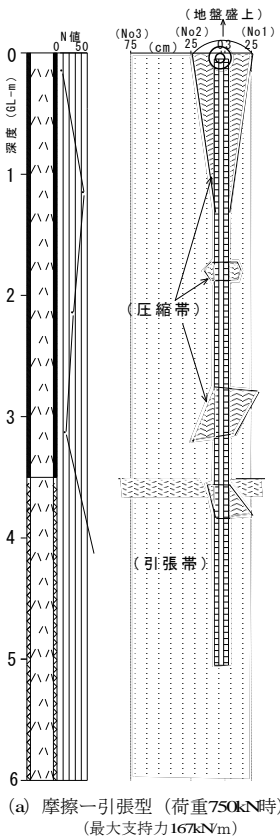


図 3.1.1 摩擦（引張）型

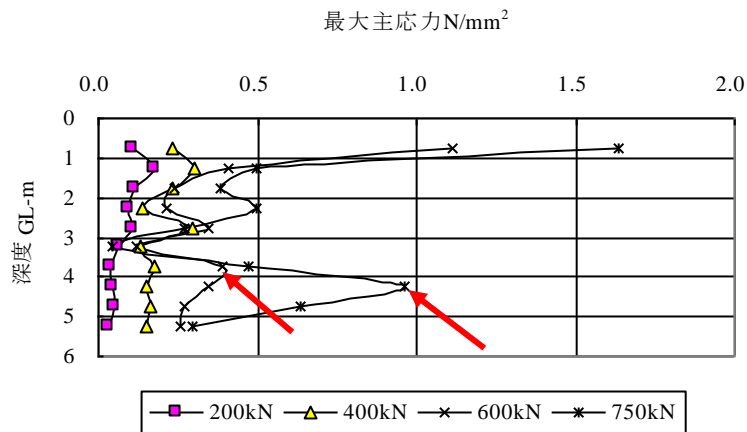


図 3.1.2 荷重別応力図—摩擦（引張）型

(圧縮型の場合)

同様に、圧縮型ではアンカー体沿いに  $\phi 50\text{cm}$  程度の紡錘状の圧縮帯の形成が確認された。最終的にこれの外縁に沿って爆発的破壊音をとめない引き抜けたが、地表部に肉眼的に変位は認められず、定着地盤内部の破壊に留まっている (図 3.1.3)。

この時の応力状態は図 3.1.4 のようであり、荷重作用点は一定し、引張型に比べ安定した支持状態を示している。ただし、アンカー体先端部の引張応力は、引張型の 10 倍程度と大きい。

したがって、圧縮型の場合はあまり定着長を長くすべきではない。

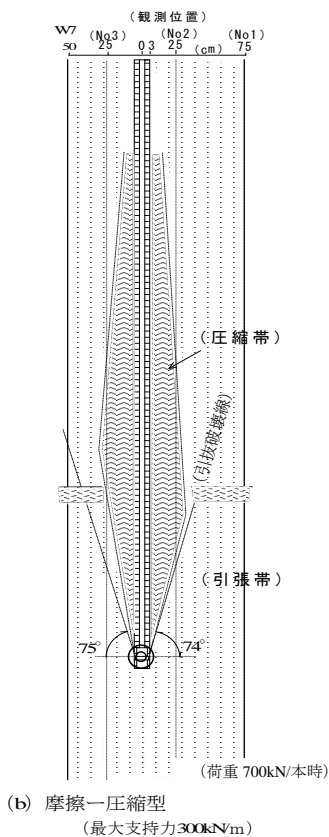


図 3.1.3 摩擦（先端圧縮）型

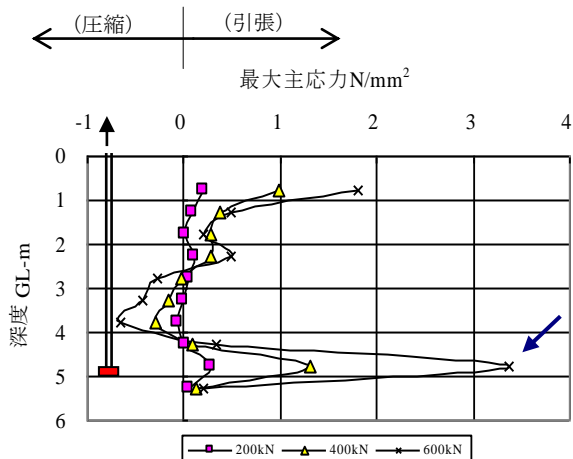


図 3.1.4 摩擦（先端圧縮）型：荷重別応力図  
(摩擦—圧縮型アンカー)

### 1.3.2 摩擦型アンカー体における摩擦強度とは

「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」によれば、「アンカーの極限引抜き力とは，地盤とアンカー体との間に生じている付着，摩擦，支圧あるいはこれらの複合に終局限界状態の破壊が生じる力をいう」としている。

基本調査試験による摩擦強度の算出が，引抜き荷重をアンカー体の付着面積で除したものとなっており，実態としては複合的な引抜き抵抗値を反映するものと解釈される。

一方，図 3.2.1 は摩擦（引張）型アンカー体周辺の応力状態を実測したものであり，概して引張力を主体に，所々不規則に圧縮力が働いている。

これを上記定義に当てはめれば，主に付着を主体に所々不規則に摩擦抵抗の働くアンカーシステムといえる。

摩擦（圧縮）型では， $\phi$  50cm 程度の紡錘状の圧縮帯が形成されており（図 3.2.2），摩擦や支圧抵抗を主体としたアンカーシステムといえる。

この場合はアンカー体先端部に応力が集中（図 3.2.4）するため，軟質地盤などではいたずらに定着長を長くできないことに留意する必要がある。

現状ではアンカー形式や支持機構を考慮することなく設計を行っているが，これらについて早急に整理すべきであることを強調したい。

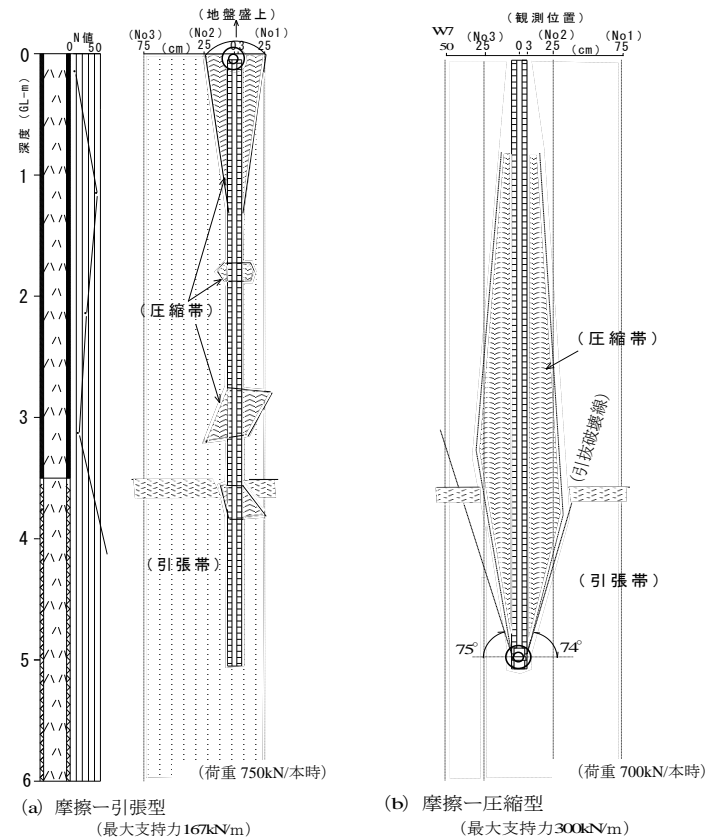


図 3.2.1 摩擦（引張）型

図 3.2.2 摩擦（先端圧縮）型

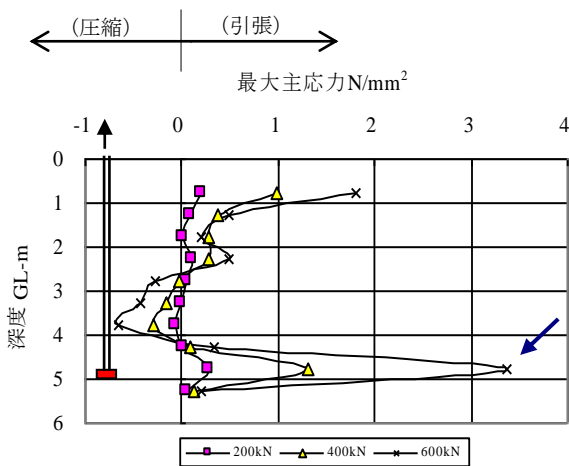


図 3.2.3 摩擦（先端圧縮）型：荷重別応力図  
（摩擦—圧縮型アンカー）

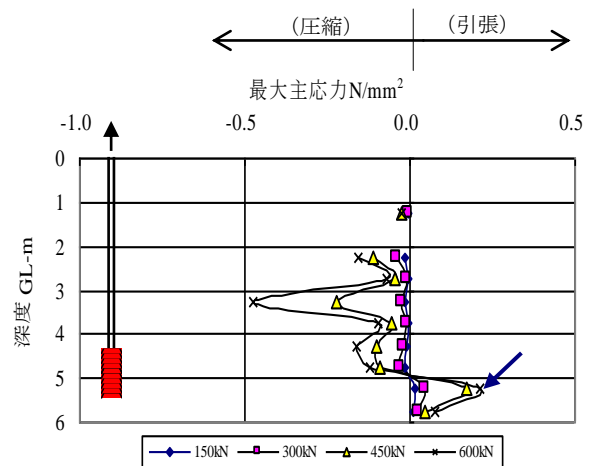


図 3.2.4 くさび型：荷重別応力図  
（くさび型アンカー）



## 1.4 耐久性に関する問題点

### 1.4.1 定着地盤の強度特性とアンカー体の耐久性

アンカー体が利用する定着地盤の引抜き耐力は圧縮、引張、せん断あるいはこれらを複合した抵抗値である。

図 4.1.1 はアンカー形式における破壊概念例であり、アンカー体で利用すべきはもっとも大きな抵抗値が期待できる圧縮強度である。

しかも、一般に定着地盤には層理面等の多様な不連続面が発達することから、できるだけ拘束された位置のものが望ましく、アンカー体側方地盤の支圧強度を利用するくさび型アンカーはもっとも理想的といえる。

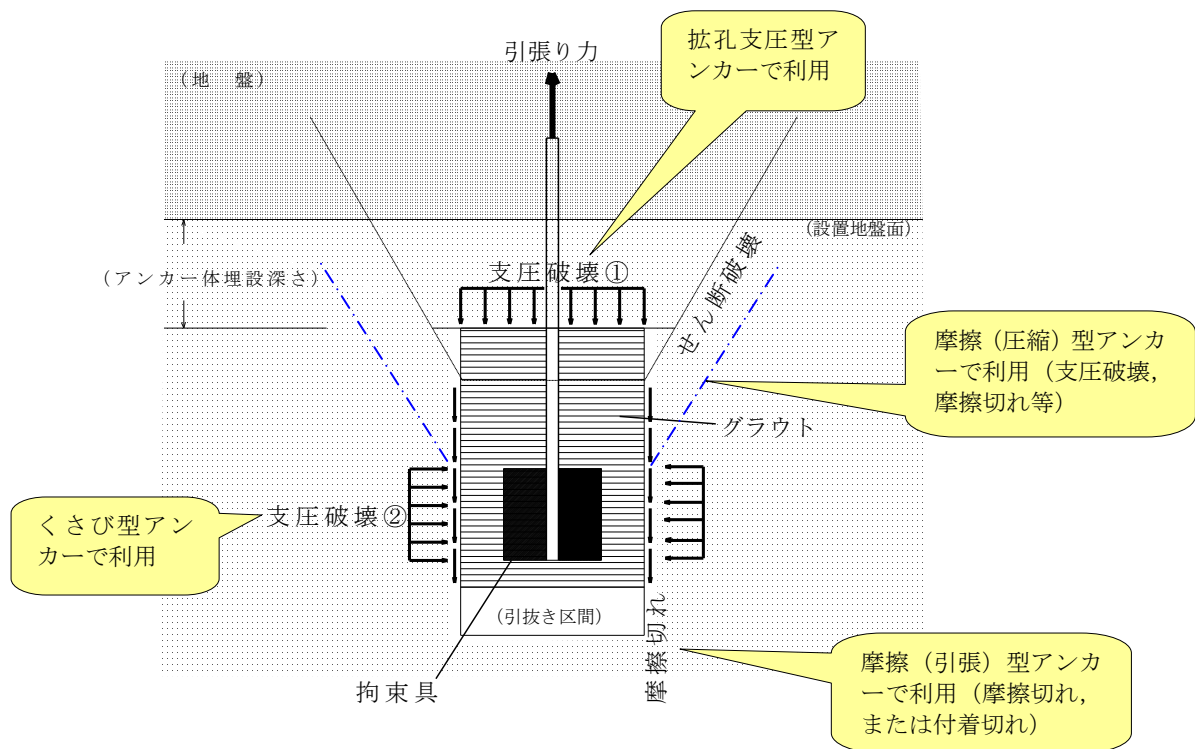


図 4.1.1 アンカー形式の破壊概念例  
「グラウンドアンカー設計・施工基準」同解説より転記・加筆

## 1.4.2 アンカー体グラウトの防食機能について

従来の「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」では，アンカー体グラウト材を防食材料のひとつにカウントしていたが，近年これが削除（あるいは条件付）となっている。

これは写真に示すように，アンカー体に亀裂が入ることが認識されたことや，テンドンの被り厚の確実な確保や自由長部グラウト材の逸出などが考慮された結果と思われる。

また，アンカー体グラウトをパッカー等で確実に加圧注入すれば，図 4.2.1 のように周辺部の地下水脈等を閉塞し，テンドン等の防食機能増強効果が期待される。

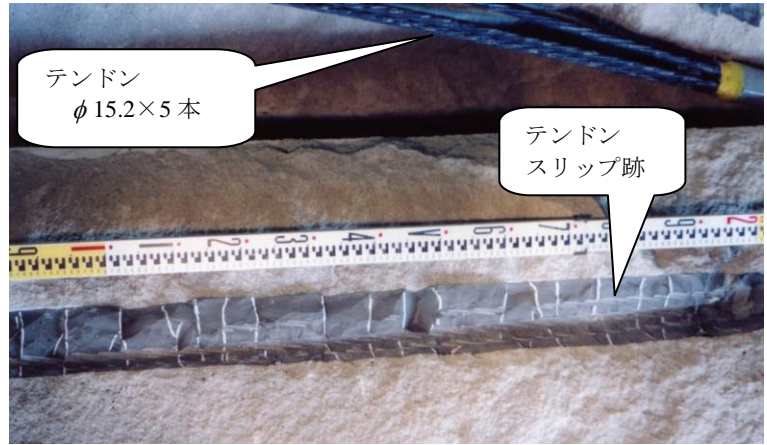


写真 4.2.1 摩擦（引張）型アンカー体クラック  
(荷重 1000kN，アンカー体長 1.5m，クラック間隔平均 6.5cm)  
(圧縮型でも同様にクラックが入ることが確認されている)

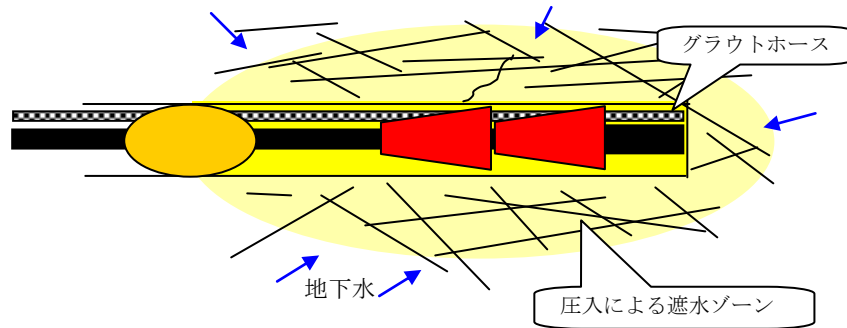


図 4.2.1 アンカー体グラウトの加圧効果

なお，テンドンの防食性を高めるには，施工中の損傷も考慮し，二重防性とすることが望ましく，そのためには，全区間アンボンドシースとするか，カプセル型のアンカー体とするなどの対応が必要である。

テンドンを樹脂加工のみとする場合は，テンドン挿入時にケーシング等で損傷を与えないようにしなければならない（図 4.2.2）。

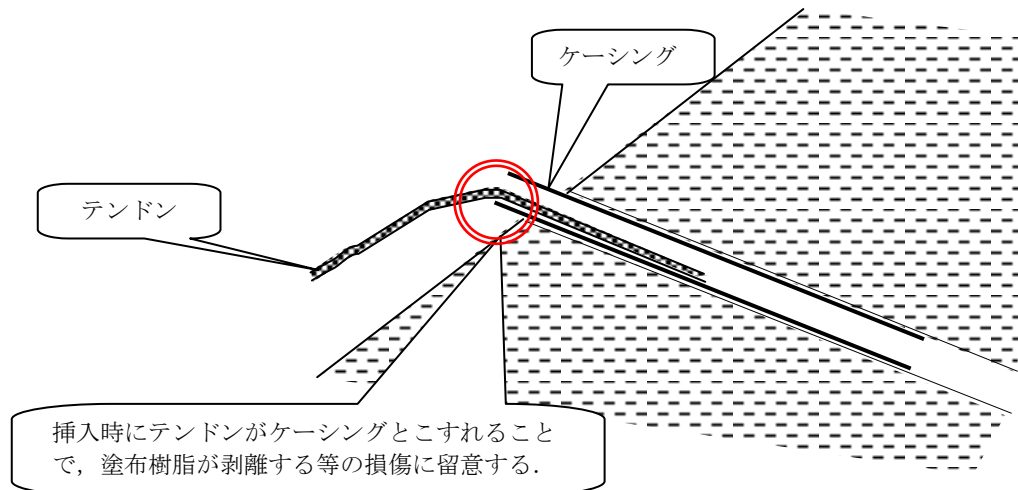


図 4.2.2 テンドンを損傷するケース

### 1.4.3 テンドンの二重防食について

従来の「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説書」では、二重防食（永久アンカー）を明記していた。

しかし近年これが削除され、次表のように防食の機能が保証されればよいというスタンスに変わっている。

防食位置	条 件
アンカー体	(1)防食が必要なテンドンは、アンカー体部シースなどに収め、その内部をグラウトや防食用材料で充填するか、あるいはその他の方法で確実な防食を行う。 (2)シースとテンドンの間に隙間が存在するとテンドンが腐食する恐れがあるので、隙間がないように施工するものとする。
引張り部	(3)アンカー自由長部シースとその他の防食材料との組み合わせにするか、あるいはその他の方法で確実な防食を行う。 (4)防食材料はテンドンの伸びを拘束しないものとする。 (5)自由長部のグラウトは孔壁周囲の地盤の緩みを抑えるとともに、自由長部の防食機能を増加させることも期待できる。 (6)防食材料は一定の被り厚を持つように完全に充填すること

これらを踏まえた留意点を整理すれば以下のようになる。

- テンドンは、実質、現場で引きずることが多いため、これの損傷を防ぐよう、挿入前の状態で全体を二重防食加工とすることが望ましい。
- 上記 (2) より、テンドンをシース材で被覆する場合は、防錆油等で隙間を充填することが基本となる。
- 上記 (5)、(6) より、自由長部のグラウト材は、現実的に防食材料として期待すべきではない。

## 1.5 経済性比較における留意点

### 1.5.1 概算設計時における摩擦強度の設定方法について

摩擦型アンカーの設計に用いる摩擦強度として表 5.1.1 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）、P110」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 <u>1975 年以前の試験データ</u> 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。 → <u>過大値を与える</u> 。	
(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 <u>単純に表の値より設定するのは難しい</u> 。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 <u>仮設アンカーの設定値に限定すべきである</u> 。	
(4)表 4.10 にかかわらず、蛇紋岩や第三紀の泥岩などは、 <u>周面摩擦抵抗が小さいことがある</u> 、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 5.1.1 アンカーの極限周面摩擦抵抗

地盤の種類		摩擦抵抗(MN/m <sup>2</sup> )	
岩盤	硬岩	1.50~2.50	
	軟岩	z 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

さらに「斜面崩壊防止工事の設計と実例 —急傾斜地崩壊防止工事技術指針—，本編 P181~182，建設省河川局砂防部監修」でも，以下のように明記している。

「この表の  $\tau_u$  の値はほとんどが加圧型アンカーの引抜き試験によって求められた値であり，無加圧型アンカーの  $\tau_u$  を推定する場合には表 5.1.1 をそのまま使うことは避けるべきであり，いづらか  $\tau_u$  を小さく推定する必要がある。」

一方，図 5.1.1 は日本の地すべり地における 1325 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 5.1.1 の軟岩あるいは風化岩の値と比べ過小であり，上記(4)等の指摘を裏付けるものである。

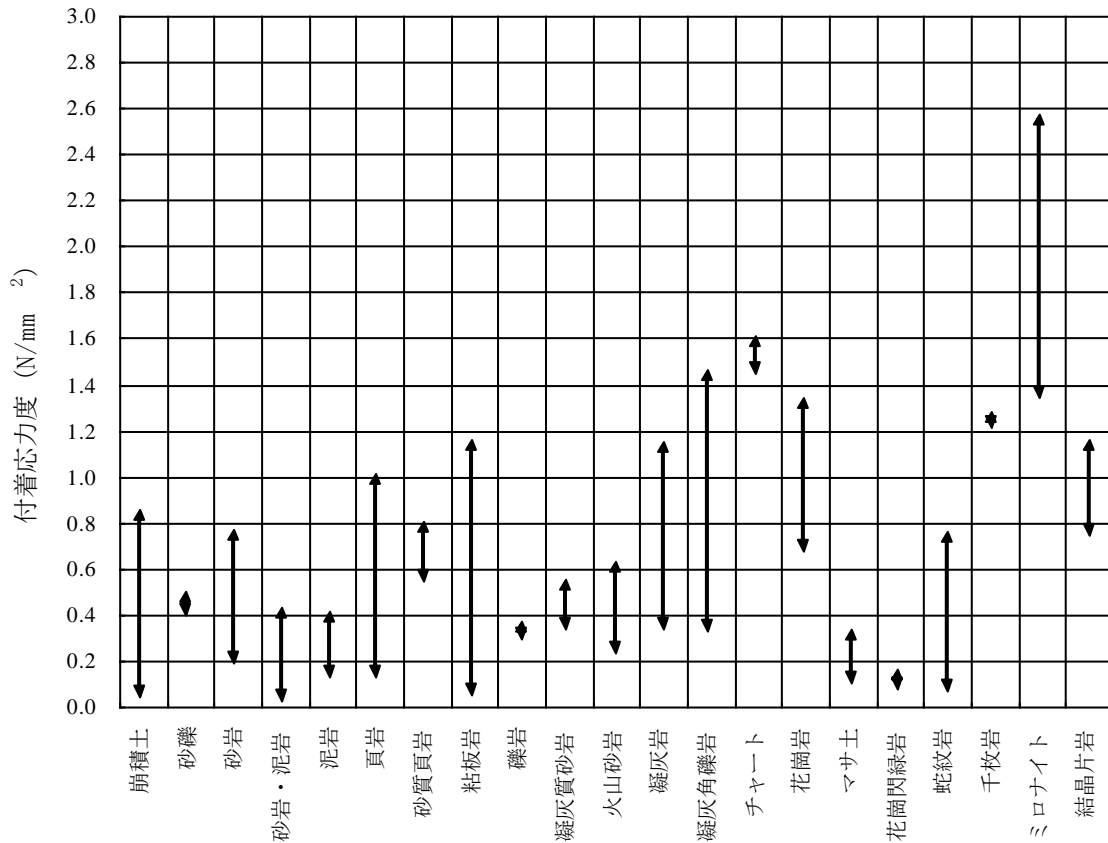


図 5.1.1 岩種と付着強度

「申植潤，地すべり工学—最新のトピックス—，P354 図 15.3」より転記

以上より，摩擦強度 $\tau$ の推定基準として，筆者らの経験から以下のように提案する。

- 摩擦（引張，圧縮）型アンカーに用いる極限摩擦強度 $\tau$ は次式より推定する（砂防・地すべり設計実例 P247～248，（財）砂防・地すべり技術センター）。

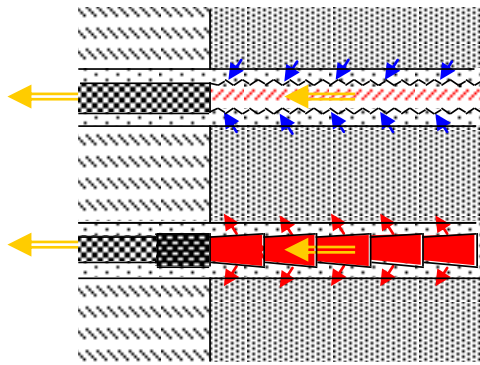
$$\tau = \frac{q_u}{10}$$

$q_u$ ：定着地盤の一軸圧縮強度

- なお $q_u$ の値は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 $q_u \leq 10\text{Mpa}$ とし，
- 地盤調査が十分でない場合は，脆弱層の介在を考慮し， $q_u \approx 6\text{Mpa}$ 程度とする。
- 本工事に先立ち，現地引抜き試験結果に基づく摩擦強度を用いて詳細設計を行う。

## 1.5.2 くさび型アンカーの摩擦強度について

くさび型アンカーの場合は、アンカー体と定着地盤との間に圧縮力が働くため、これと定着地盤の反力に応じた摩擦抵抗が得られ、その推定値は実験式 (5.1.1) より求めることができる。



### (c) 摩擦（引張）型アンカー体

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

### (d) くさび型アンカー体

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

図 5.2.1 アンカー体に作用する応力の違い

#### —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

$$\tau_w = 48.2Ln(q_u) + 95.3 \quad (5.1.1)$$

$q_u$  : 定着地盤の一軸圧縮強度

○従来式摩擦型アンカーの場合

$$\tau = \frac{q_u}{10} \quad (5.1.2)$$

### 1.5.3 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 5.3.1 のような指針があり、およそ 10mm 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 5.3.1 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, 1986」より
スイス	一般に 20mm 以上	
アメリカ	最低 1.3cm	

すなわち、 $\phi$  90mm 掘削の場合は (図 5.3.1)

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

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。

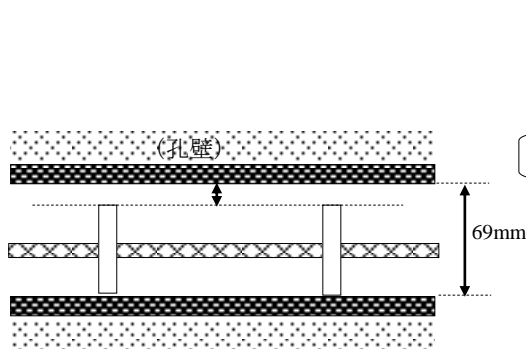


図 5.3.1  $\phi$  90mm 掘削の場合

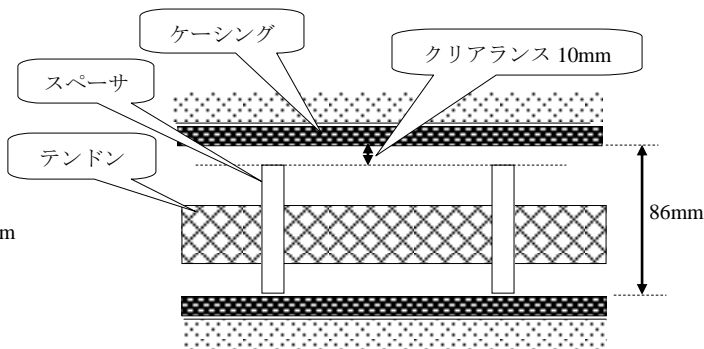


図 5.3.2  $\phi$  115mm 掘削の場合

#### (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 5.3.3 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。

したがってスペーサ等が不要なため、従来型アンカーより小口径化しやすい。

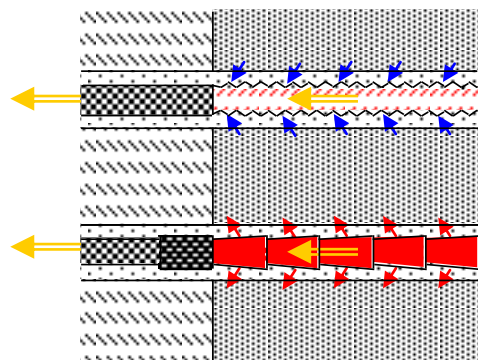


図 5.3.3 アンカー体に作用する応力の違い

## 1.5.4 スペーサの必要性について

「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」では，テンドンの機能について，

アンカー力を地盤に伝える重要な機能を有する部材であり，グラウトを介してその機能が発揮される．このため，テンドンや拘束具などがアンカー体中央部にあり，グラウトとの十分な付着力や拘束力を発揮させることが重要である．したがって，アンカー体は，セントライザーなど必要な材料を用いてテンドンが孔の中央部になるように組み立てるものとする．

としている．

実際にはテンドン挿入時のクリアランス（10mm 以上）が必要であり，テンドンを孔の中央部に設置することはできないが，上記趣旨からすれば所用のグラウト厚が必要といえる．

近年の「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」では，このことについて数値的なものを示していないが，「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」では 10mm 以上としている．

図 5.1.1～2 は各アンカー形式におけるアンカー体設置状況であり，これらについて上記を踏まえた留意点を示す．

### (1) 引張型（図 5.4.1）

テンドンとグラウト材が一体化することで周辺地盤にアンカー力を伝える形式であり，テンドンが直接孔壁に接する場合，これらの機能を発揮することはできない．そのため，スペーサピッチはテンドンが弛まないよう，密に設置する必要がある．

### (2) 圧縮型（図 5.4.2）

テendonは全区間シーすされており，先端部に取り付けた拘束具を介してアンカー力を伝える形式である．

引張型と同様に，セントライザーやスペーサでグラウト被り厚を確保する必要がある．

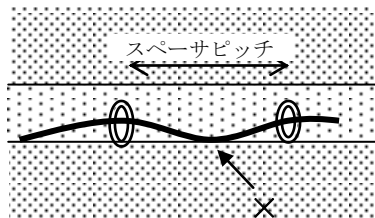


図 5.4.1 引張型

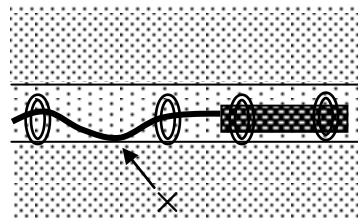


図 5.4.2 圧縮型



### 1.5.5 ライフサイクルコストを考慮した経済性比較

現状における工法選定には、一般に経済性の比較を優先するケースが多く、しかも単に材料費や掘削費、仮設費等、当面の経費のみを考慮する場合がほとんどである。

しかし構造物のメンテナンス費増大が懸念される現状において、長期耐久性をも考慮する必要性が感じられる。

具体的には以下のようなケースが考えられる。

工法	当面の工事費	構造物の寿命	1年当たりの経費	判定
A	1億円	40年	250万円	長期的には、B工法に劣る
B	1.2億円	50年	240万円	長期的にみれば、最も安価
C	1.5億円	60年	250万円	当面の工事費A工法の1.5倍と割高であるが、1年当たりでは変わらない。

構造物の寿命については明確にできない点があるが、上記例からは、わずかな経費差であれば、より品質の高いアンカーを選定すべきと考えられる。

アンカー工が本格的に施工されてから30年程度が経過しており、そろそろこうした点に配慮すべき時期にきているものと思われる。

## 1.6 グラウト関連

### 1.6.1 加圧方法による引抜き耐力への影響

アンカー体グラウトの加圧方法には、ケーシング方式とパッカー方式があり（図 6.1.1），その違いを確認するための比較実験を行った。

（試験条件）

- ・定着地盤：強風化安山岩層内（N 値≒30）
- ・定着長：2m
- ・テンドン：PC 鋼より線（ $\phi 12.7\text{mm} \times 5$  本）

その結果、荷重 400kN 時の塑性変位量は、ケーシング方式の 14mm（図 6.1.1）に対して、パッカー方式では 11mm（図 6.1.2）と小さく、後者の方が引抜き耐力に優れている傾向が伺える。

その要因として、以下のように考えられる。

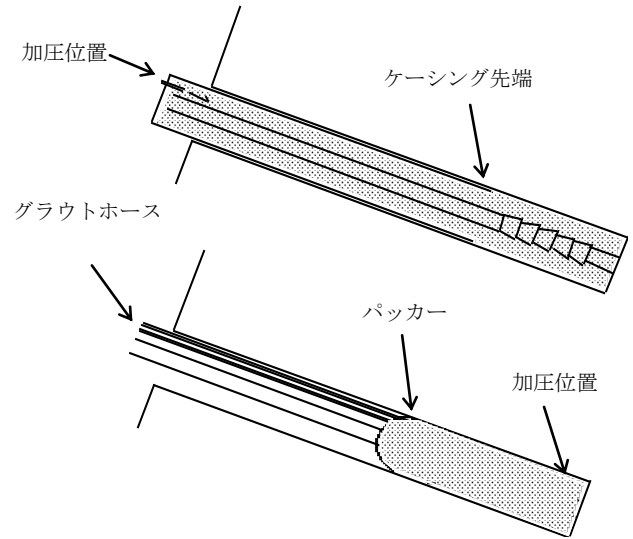


図 6.1.1 アンカー体グラウトの加圧方法

加圧方法	加圧位置の違い	養生期間中の違い
ケーシング	ケーシングを用いて孔口から数十メートル離れた位置に加圧するため、中途での圧力のロスが見込まれる。	不圧状態のため、養生期間中の緩みが懸念される。
パッカー	グラウトホースを用いてアンカー体位置で直接圧入するため、圧力ロスが少ない。	加圧状態のため、安定したグラウトが形成できる。

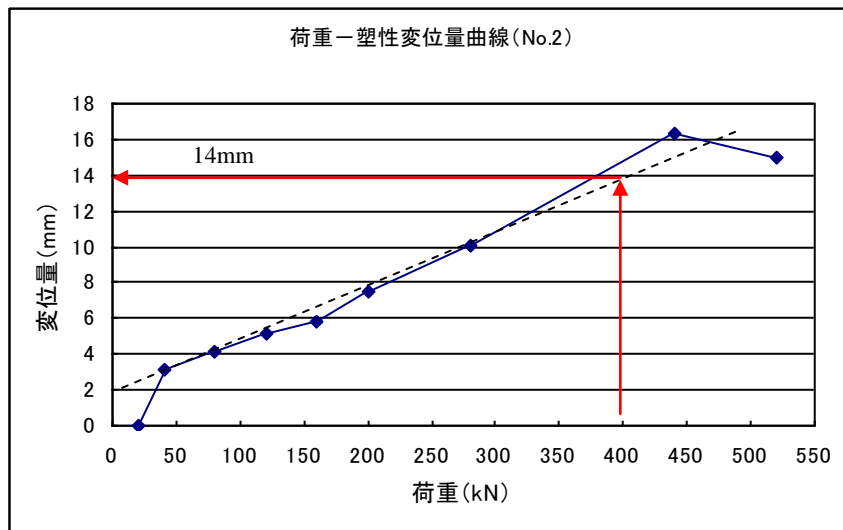


図 6.1.1 ケーシング加圧

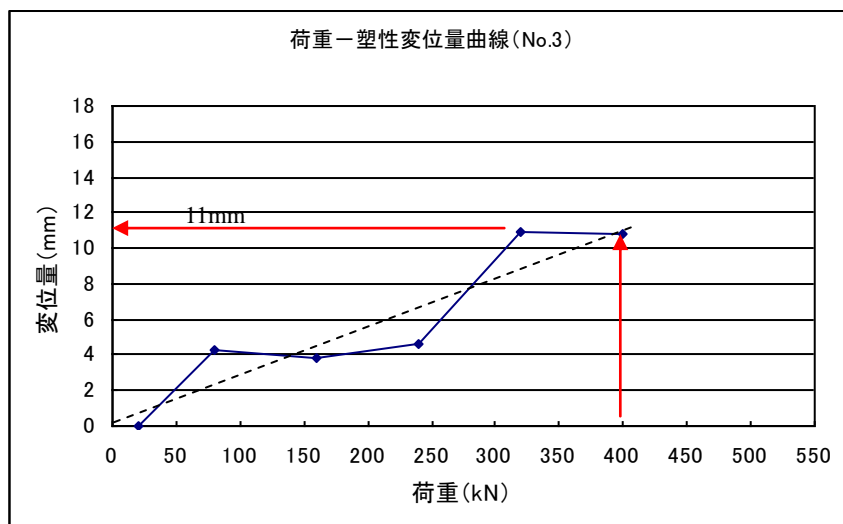


図 6.1.2 パッカー加圧

## 1.6.2 グラウト逸出対策

グラウト逸出対策として、アンカー体をパッカーで被覆する方法があるが、引張型（図 6.2.1）では、アンカー体に引張力が働くため、定着地盤との間に布等が介在すれば、引抜き抵抗の減少をもたらすことにつながる。

グラウト材がパッカー内から漏出し、孔壁と付着するから問題ないとする考え方もあるが、布材が消滅しない限りこれの影響は避けられないとするのが妥当であろう。

ただし、実際には上記方法で所用の引抜き耐力が得られており、その解釈として、アンカー体の引抜き耐力が“付着”ではなく、孔壁の凹凸等に基づく摩擦や支圧等の抵抗を主体としているものと考えられる。この場合、これらは計算できない要素であることから、アンカー体の品質にはばらつきが生じやすいことが懸念される。

くさび型の場合は、くさび力が孔壁にほぼ直交する方向に作用するため、パッカー布の介在は問題とならない。ただし、布が厚ければその分アンカー体の変位量が大きくなるため、できるだけ薄い材質のものを使用する必要がある。

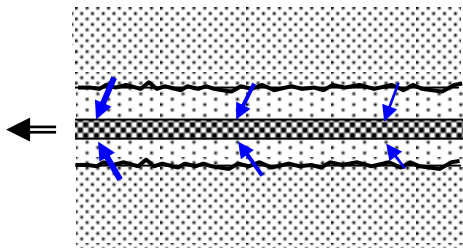


図 6.2.1 引張型

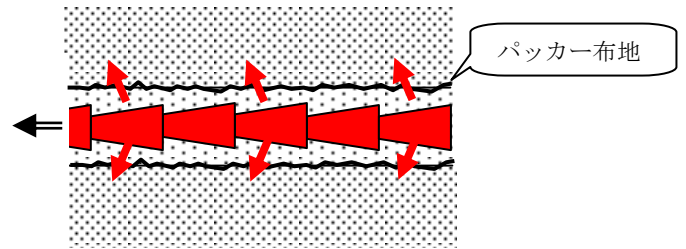


図 6.2.1 くさび型



写真 3.2.1 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

## 1.7 基本調査試験

### 1.7.1 試験体の構造

現状におけるアンカー形式には引張型、圧縮型、支圧型、くさび型があり、基本調査試験時の試験体構造は、計画されている工法に沿ったものでなければならない。

特に引張型と圧縮型では、定着長の算出式が同じであることから、同一仕様でなされるのが一般的であるが、次図に示すように、アンカー体の応力状態が異なることから、当然ながら区別すべきである。

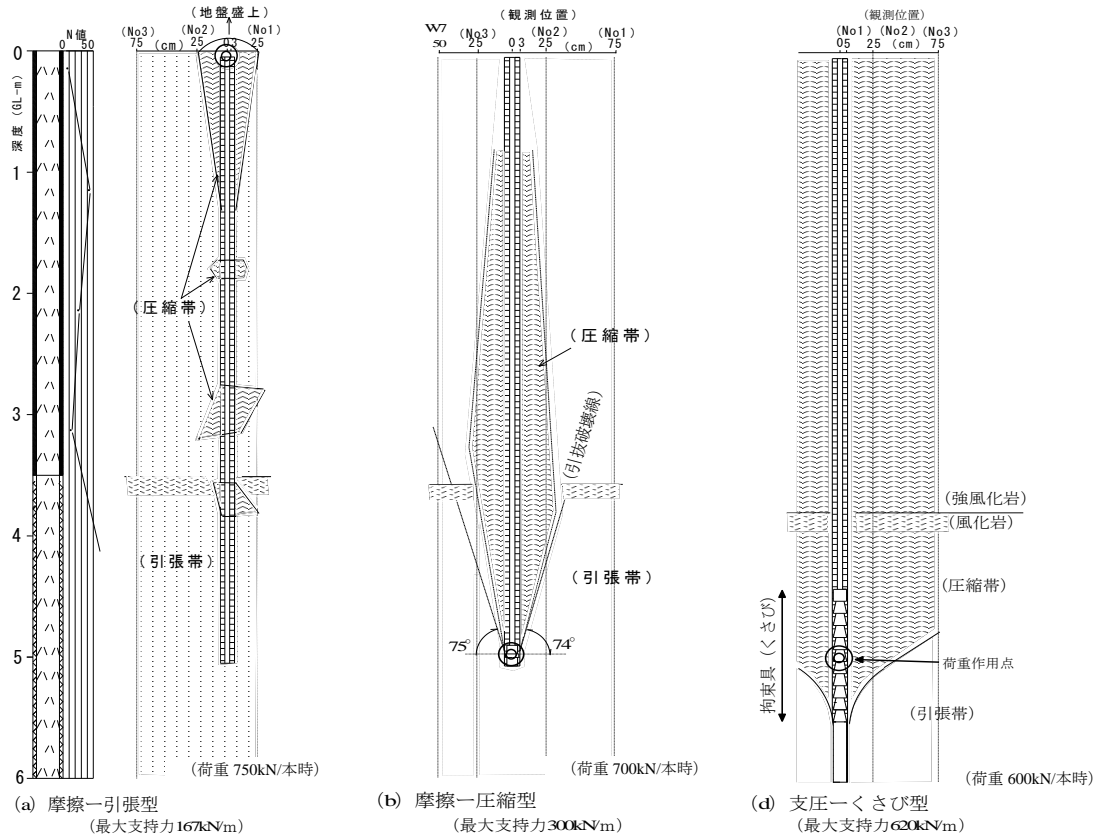
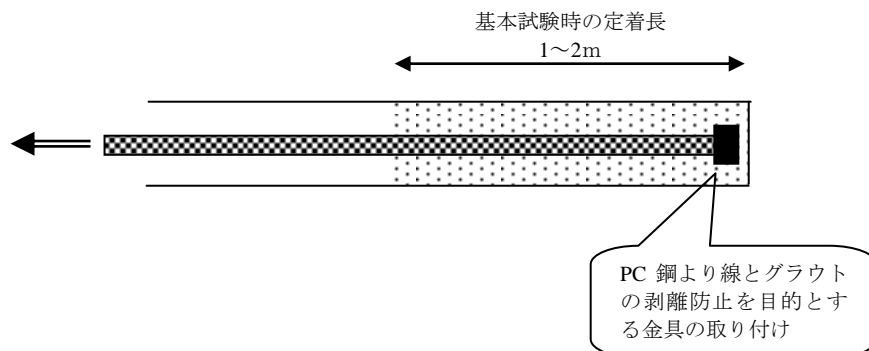


図 7.1.1 摩擦（引張）型

図 7.1.2 摩擦（先端圧縮）型

図 7.1.3 くさび型

あるいは、基本調査試験では定着長を 1~2m と短くすることから、PC 鋼より線を用いる場合、これとグラウト材の剥離を防止するため、先端部に固定金具を取り付けるケースがあるが、この場合は、厳密に言えば圧縮型アンカーに近似した仕様となることを考慮する必要がある。



### 1.7.2 引抜き荷重の判定基準について

地盤工学会の基準書 (p159) によれば、荷重—変位量曲線 (図 7.2.1) が完全に下向きになった時点 (あるいは荷重—塑性変位量曲線の勾配が急激に下向きになった時点) の荷重値を極限引き抜き耐力とするよう示している。しかし現場での実測によれば、理論伸び量曲線から乖離し始める荷重段階においてアンカー体周辺地盤ないでの荷重作用方向に大きな変化がみられ、アンカー体の降伏状態に達したものと判断される。特に永久構造物として設計する場合は長期耐久性が問題となることから、この段階をもって極限引き抜き耐力とすべきである。

アンカー形式	圧縮型	引張型
引抜き荷重 (図 7.2.1 より)	720kN	820kN
アンカー力作用点位置 (図 7.2.2 より)	荷重 700kN まで、一定	荷重増とともに深層化 (=引抜状態)
アンカー力作用方向角 (図 7.2.3 より)	荷重 300 kN 以降徐々に低角度化するが、特に荷重 450kN, 600kN でやや大きく変化している。	荷重 250kN 以降、方向角が乱れる。
理論伸び量曲線から乖離する荷重 (図 7.2.1 より)	荷重 450kN	荷重 250kN
降伏荷重の判定 (図 7.2.1 より)	荷重 450kN	荷重 250kN

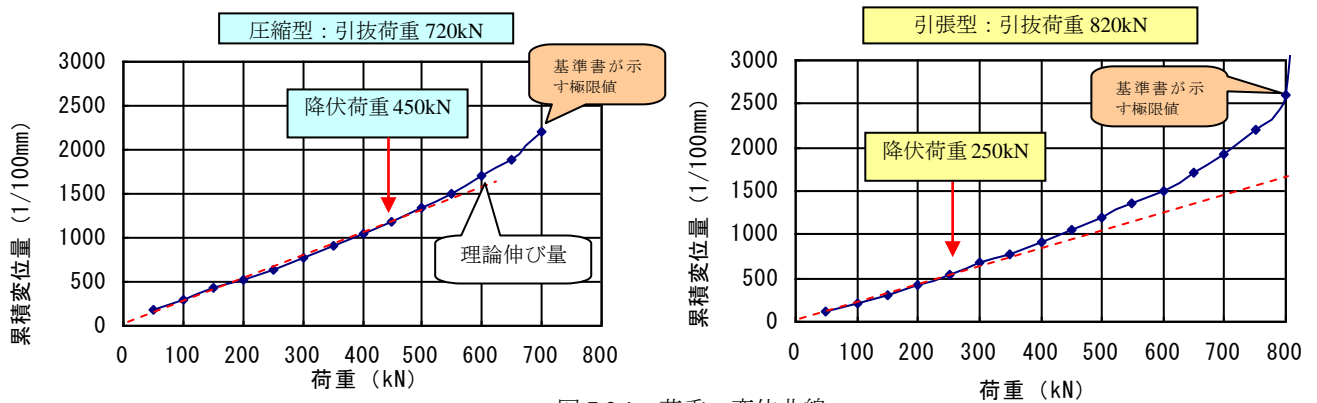


図 7.2.1 荷重—変位曲線

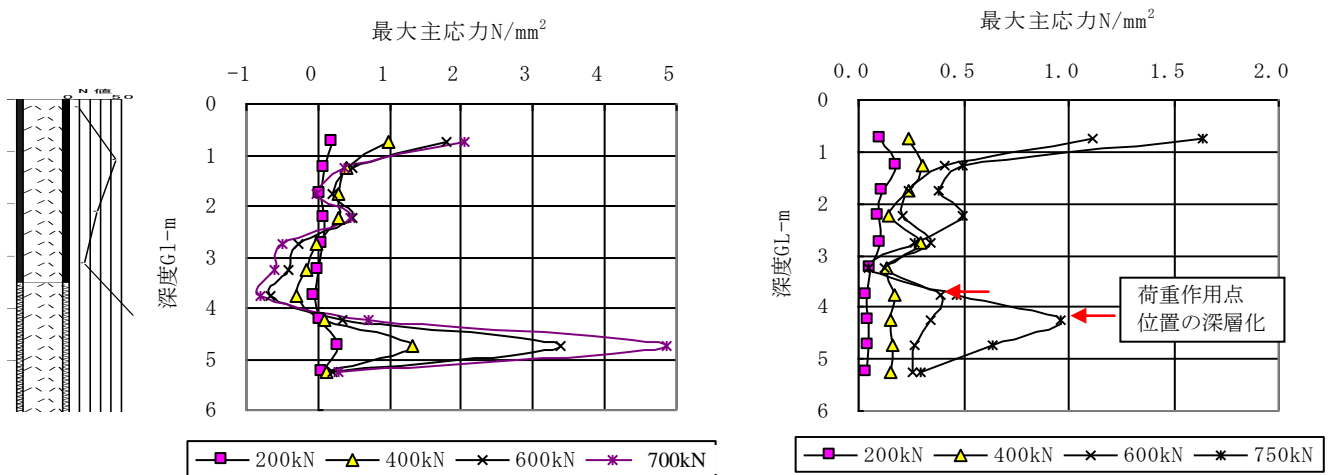


図 7.2.2 荷重—変位曲線

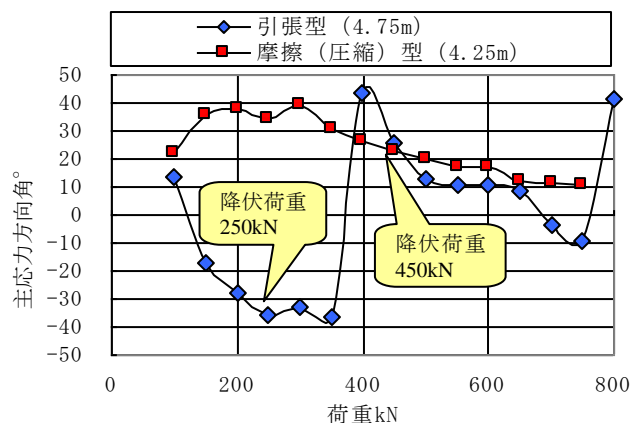


図 7.2.3 荷重—歪み曲線

## 1.8 工法変更時の留意点

### 1.8.1 工法変更の可否

設計と同等以上であれば工法の変更が認められるのが一般的であるが、その場合、設計主旨を無視することはできない。例えば、当面の経済性より品質を優先し、ライフサイクルコスト（メンテナンス）の削減を考慮する場合などがあり、具体的考え方として、以下の例があげられる。

工法変更ケース		変更の可否	判定条件
摩擦型と支圧型の選定	支圧型を摩擦型へ	×	長期耐久性を考慮した設計の場合。
引張型と圧縮型の選定	先端圧縮型を引張型へ	×	引抜き耐力の耐久性を考慮した設計の場合。
単純型とカプセル型の選定	カプセル型を単純型へ	×	引抜き耐力の向上や防食性を考慮した設計の場合。
荷重分散型と非分散型の選定	荷重分散型を非分散型へ	×	引抜き耐力の耐久性を考慮した設計の場合。
支圧方式の選定	くさび型を拡孔型へ	×	応力分散による長期耐久性を考慮した設計の場合
認定工法の選定	例えば、斜面对策に適切であると認定された工法を他工法へ	×	斜面对策を目的とした設計の場合。
特殊地盤における選定	特殊地盤での耐久性に優れた工法を他工法へ	×	特殊地盤での耐久性を考慮した設計の場合
防食加工における選定	二重防食型を単純型へ	×	施工中の tendon 損傷等を考慮し、防食機能の確保に万全を期した設計の場合。

工法変更の可否を上記条件に従い判定すれば、次表のように示される。

#### (1) アンカー形式による区分

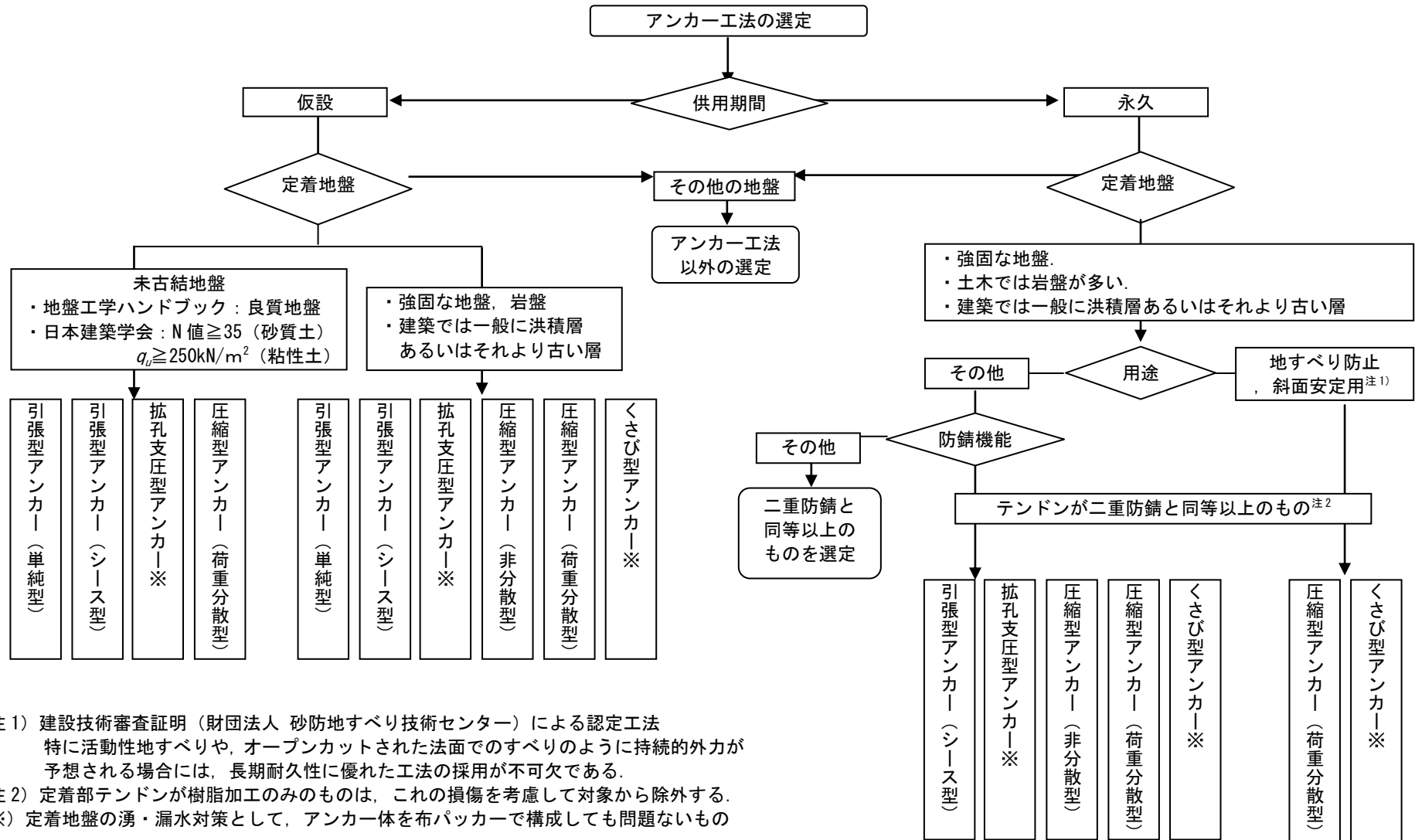
設計されたアンカー形式			特 徴	工法種類	他工法への変更					
					摩擦型				支圧型	
					引張型		先端圧縮型		拡孔型	くさび型
					単純型	カプセル型	非分散型	荷重分散型		
摩擦型	引張型	単純型	○一般に軟質地盤に適するといわれている。 ○ただし、定着長が短い場合は附着切れしやすいため、できるだけ長くし、摩擦抵抗を確実に確保する必要がある。 ○上記に関しては極めて高度な技術力が求められる。	多い	○	○	○	○	○	○
		カプセル型	○アンカー体の拘束度を高めることで、引抜き耐力を増強すると同時に、アンカー体の防食機能を高めることができる。	多い	×	○	○	○	○	○
	先端圧縮型	非分散型	○一般に硬質地盤に適するといわれている。 ○軟質地盤において、設計荷重に応じて定着長を長くしても、先端部より順次局部破壊する危険性がある。 ○上記における定着長の制限については、今後の研究が必要である。	多い	×	×	○	○	○	○
		荷重分散型		わずか	×	×	×	○	○	○
支圧型	拡孔型		○定着地盤を拡孔し、その拡孔部の支圧強度により支持力をえる。 ○拡孔部分に応力が集中するため、地層の硬軟や亀裂等の発達状況を考慮することが重要となる。	わずか	×	×	×	×	○	○
	くさび型		○アンカー孔の孔壁部の支圧強度を利用し、かつ荷重分散が可能。 ○孔壁部の支圧強度は、拡孔型に比べ拘束度が高いため、安定した支持力を得られやすい。	わずか	×	×	×	×	×	○

#### (2) 使用目的、使用環境等による区分

選定条件	工法種類	他工法への変更
地すべり等斜面安定対策に適切な工法 (主に荷重分散型工法)	数種類	不可
酸性地盤等に耐える工法	わずか	不可

## 1.8.2 アンカー工法選定フローチャート（案）

工法選定は所要の品質確保が第一であり、経済性比較はこれを踏まえたものでなければならない。



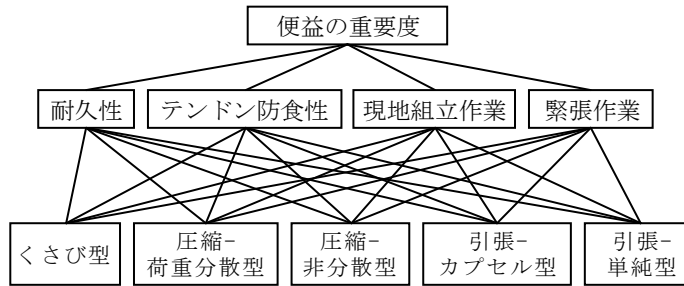
注1) 建設技術審査証明（財団法人 砂防地すべり技術センター）による認定工法  
特に活動性地すべりや、オープンカットされた法面でのすべりのように持続的外力が  
予想される場合には、長期耐久性に優れた工法の採用が不可欠である。  
注2) 定着部テンドンが樹脂加工のみのものは、これの損傷を考慮して対象から除外する。  
※) 定着地盤の湧・漏水対策として、アンカー体を布パッカーで構成しても問題ないもの

### 1.8.3 階層分析法 AHP による工法選定（意思決定）

現在イニシャルコストを優先した工法選定が行われているが、品質やライフサイクルコストを加味すれば、耐久性に優れた工法が最も優位となる。

## 1 便益の評価

### (1) 要素の階層区分



### (2) 重要度の尺度

重要度の尺度	1	3	5	7	9
	同じくらい	やや重要	かなり重要	非常に重要	極めて重要

### (3) 要素間の重み付け

要素比較

	耐久性	防食性	緊張作業	現地組立
耐久性	1	3	7	9
防食性	1/3	1	7	9
緊張作業	1/7	1/7	1	3
現地組立	1/9	1/9	1/3	1

- ・ **耐久性**：建設技術審査証明にて斜面对策に適切であると認定を受けた工法を評価する他、長期耐久性試験結果（1年経過）等を反映。
- ・ **防食性**：二重防錆のものを評価。
- ・ **緊張作業**：ナット方式を評価、複数の緊張作業を要するものは低評価（メンテナンス作業含む）
- ・ **現地組立作業**：工場加工のものを評価

### (4) 各要素における工法間の重み付け

耐久性

	くさび型	圧縮-荷重分散型	圧縮-非分散型	引張-カプセル型	引張-単純型
くさび型	1	2	3	7	9
圧縮-荷重分散型	1/2	1	3	5	7
圧縮-非分散型	1/3	1/3	1	5	7
引張-カプセル型	1/7	1/5	1/5	1	3
引張-単純型	1/9	1/7	1/7	1/3	1

防食性

	くさび型	圧縮-荷重分散型	圧縮-非分散型	引張-カプセル型	引張-単純型
くさび型	1	2	2	1	5
圧縮-荷重分散型	1/2	1	1/2	1/3	5
圧縮-非分散型	1/2	2	1	1/2	5
引張-カプセル型	1	3	2	1	5
引張-単純型	1/5	1/5	1/5	1/5	1

緊張作業

	くさび型	圧縮-荷重分散型	圧縮-非分散型	引張-カプセル型	引張-単純型
くさび型	1	2	1/3	1	1
圧縮-荷重分散型	1/2	1	1/5	1/2	1/2
圧縮-非分散型	3	5	1	3	3
引張-カプセル型	1	2	1/3	1	1
引張-単純型	1	2	1/3	1	1

現地組立

	くさび型	圧縮-荷重分散型	圧縮-非分散型	引張-カプセル型	引張-単純型
くさび型	1	3	1	2	3
圧縮-荷重分散型	1/3	1	1/3	1/2	1
圧縮-非分散型	1	3	1	2	3
引張-カプセル型	1/2	2	1/2	1	2
引張-単純型	1/3	1	1/3	0.5	1



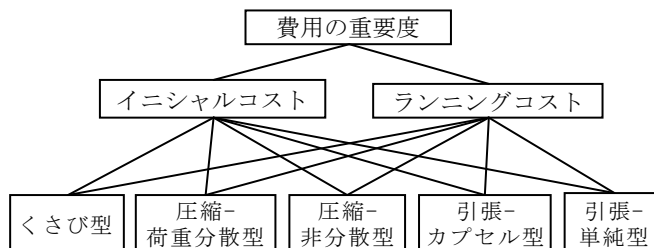
(5) 工法別便益評価

便益の評価

	耐久性	防食性	緊張作業	現地組立	W	$x_B$	順位
くさび型	0.429	0.295	0.156	0.313	0.550	0.358	1
圧縮-荷重分散型	0.290	0.143	0.081	0.099	0.328	0.217	2
圧縮-非分散型	0.184	0.196	0.451	0.313	0.081	0.215	3
引張-カプセル型	0.063	0.319	0.156	0.176	0.041	0.159	4
引張-単純型	0.033	0.047	0.156	0.099		0.050	5

2 費用の評価

(1) 要素の階層区分



(2) 要素間の重み付け

要素比較

	イニシャルコスト	ランニングコスト
イニシャルコスト	1	2
ランニングコスト	1/2	1

- ・イニシャルコスト：材料，掘削，定着費
- ・ランニングコスト：耐久性に優れるものを評価

(3) 各要素における工法間の重み付け

イニシャルコスト

	くさび型	圧縮-荷重分散型	圧縮-非分散型	引張-カプセル型	引張-単純型
くさび型	1	2	1	1/2	1/5
圧縮-荷重分散型	1/2	1	3	1	1/3
圧縮-非分散型	1	1/3	1	1/3	1/5
引張-カプセル型	2	1	3	1	1/4
引張-単純型	5	3	5	4	1

ランニングコスト

	くさび型	圧縮-荷重分散型	圧縮-非分散型	引張-カプセル型	引張-単純型
くさび型	1	2	3	7	9
圧縮-荷重分散型	1/2	1	3	5	7
圧縮-非分散型	1/3	1/3	1	5	7
引張-カプセル型	1/7	1/5	1/5	1	3
引張-単純型	1/9	1/7	1/7	1/3	1

(4) 工法別費用評価

費用の評価

	イニシャルコスト	ランニングコスト	W	$x_C$	順位
くさび型	0.244	0.429	1.333	0.612	1
圧縮-荷重分散型	0.079	0.290	0.667	0.299	4
圧縮-非分散型	0.137	0.184		0.306	3
引張-カプセル型	0.137	0.063		0.225	5
引張-単純型	0.402	0.033		0.558	2

耐久性の良いものほど優先度が高い

3 費用対便益に基づく工法選定

	便益の重要度	1/(費用の重要度 $x_C$ )	便益/費用	順位
くさび型	0.358	1.634	0.219	1
圧縮-荷重分散型	0.217	3.339	0.065	2
圧縮-非分散型	0.215	3.272	0.066	3
引張-カプセル型	0.159	4.440	0.036	4
引張-単純型	0.050	1.793	0.028	5