

現状におけるアンカー工法の問題点

日西テクノプラン 瀬崎 茂
 日西テクノプラン 小瀧辰人
 日西テクノプラン 池田靖彦
 松江高専名誉教授 浜野浩幹

1. はじめに

アンカー工法が永久構造物として施工されてから 20~30 年が経過する。この間、大きな問題点としてテンドン腐食による破断事故があり、対策として二重防錆等の徹底がなされたところである。

一方、経済性を考慮して 90mm 仕様のアンカーを設計したものの、施工サイドでは引抜け事故が多発するため、自主的に 115mm で掘削しているといった現状も浮かびつつある。経済性を優先するあまり品質面がおろそかになっている傾向が見られる。ここに、現状におけるいくつかの問題点について考察する。

2. アンカー体の構造上の問題点

浜野等¹⁻³⁾は摩擦型アンカーのアンカー体および周辺地盤の応力状態を計測することで、その支持機構を確認しており、これを基に同工法における問題点について考察する。

2.1 摩擦（引張）型アンカーにおける問題点

摩擦（引張）型アンカー（以下引張型という）は、アンカー体の拘束具として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の部材を用いる工法であり、材料費が安価で施工性もよいことを理由に最も普及している。

2.1.1 アンカー体及び周辺地盤の引張力

図 1 は泥岩地盤で実施した引張型アンカー体周辺地盤の応力状態を示すものであり、一様に引張り力が働いている。すなわち基本的にアンカー体周辺には摩擦力が働くのではなく、アンカー力は主としてアンカー体グラウトと定着地盤の付着強度（引張り力やせん断力）に支配されることがわかる。従って亀裂の発達した地盤などではその発達状況により容易に引き抜けやすい状況が想定され、基本的に定着システムとしては不安定な構造物と考えられる。

2.1.2 削孔径 90mm のアンカーが引き抜けやすい要因と対策

削孔径 90mm で設計されたアンカーは引き抜け事故が多いという苦情が聞かれることから、その要因について考察する。

写真 1 は鋼管（φ139.8mm, t=4.5mm, 長さ 2m）内で引張型アンカー体（長さ 1.5m）の引き抜き試験を行った例である。この試験ではグラウトと鋼管内壁が容易に剥離し、荷重 50kN で簡単に引き抜けた。これは、アンカー体に図 1 で示したような引張り力が働いているためと考えられる。

一般に削孔径 90mm の場合、設計荷重は 300~500kN 程度以下であり、定着長も 3m 程度と短くなることが多いと考えられる。設計荷重が小さいことは抑止土塊厚も薄く、テンドン全長も 7~10m と短いことが想定される。このような状態ではアンカー孔の曲がりほとんどなく、アンカー体には主として引張り力のみが働くことになり、写真 1 のような現象を生じやすいと考えられる。

ちなみに写真 2 はくさび型アンカー体の場合であり、孔壁方向にくさび力が働くことから荷重 450kN（引張型の 9 倍）で鋼管を

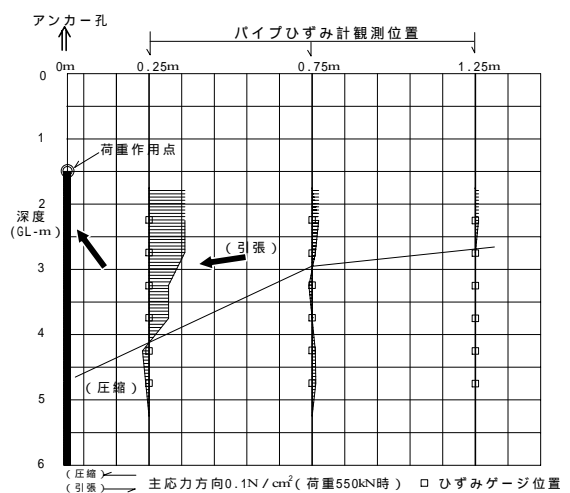


図 1 マサツ型アンカー体（引張）周辺地盤の応力図

泥岩（ $\sigma_c = 1.1\text{N/mm}^2$ ）露頭地盤で実施。定着長 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)。

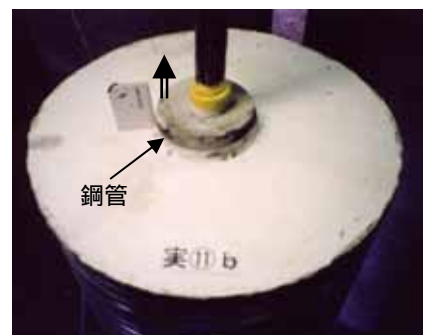


写真 1 摩擦（引張）型アンカー引抜け状況

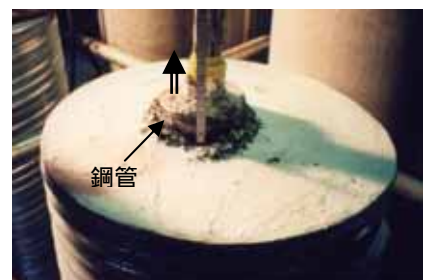


写真 2 くさび型アンカー引抜け状況

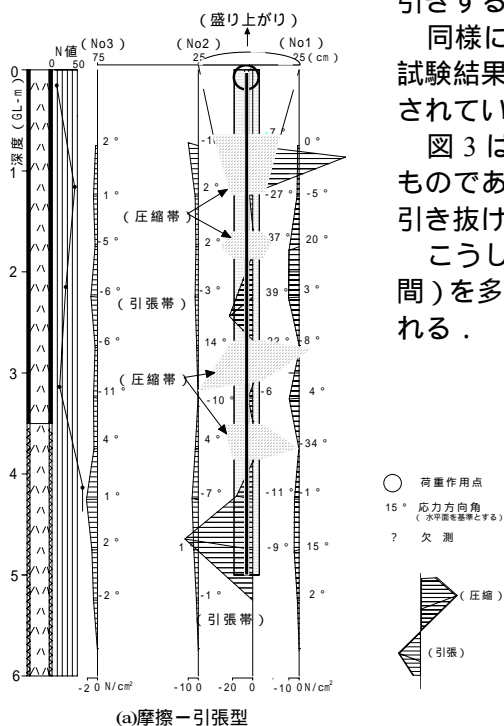


図2 摩擦（引張）型アンカー体の
応力測定図（荷重 750kN）

引きずるように引き抜けている。

同様に図2は風化凝灰岩層 ($q_u = 2.14\text{N/mm}^2$) 内で実施した引き抜き試験結果であり、摩擦力が期待される圧縮帯は局部的かつ不規則に形成されている。

図3はそのアンカー体より 25cm 離れた地盤内の応力状態を測定したものであり、荷重の増加共にアンカー体の荷重作用点位置が深層化 (= 引き抜け) している様子をとらえている。

こうした状況より、引張型アンカーの場合は圧縮帯 (= 摩擦力発揮区間) を多く確保するよう、定着長をできるだけ長くする必要性が認識される。

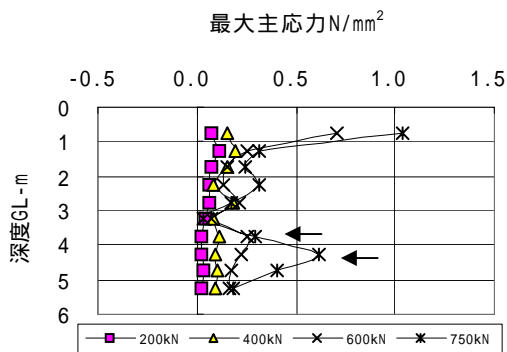


図3 図2に示したアンカー体より 25cm 離れた地盤内の応力状況

2.1.3 スtrand 1本引きの可否について

引張型アンカーにおいて PC 鋼より線を 1 本引きで設計される例があるが、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（PP.77～78）より

これを裏付ける実験として、PC 鋼より線の付着強度を求めるため、これの 1 本引き試験を行った（写真 3～5）。この場合は、荷重 195kN で引張材が 1cm 程度引き抜けたものである（12.7mm、定着長 1m、グラウト材はエポキシ樹脂。写真 5）。

問題となるのはその引き抜け形態であり、本実験ではグラウト材は破損せずに PC 鋼より線のより戻しにとまらず引き抜けといった状態を示している。こうした状況を防ぐには上記基準に従うか、 tendon 構成を複数とする必要がある。

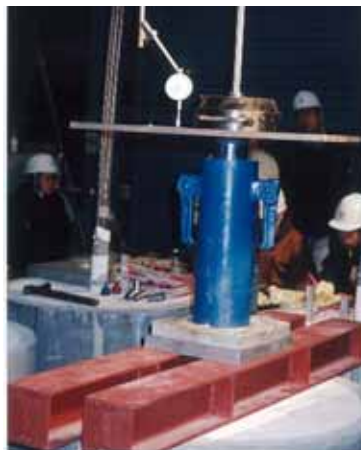


写真3 固定試験状況

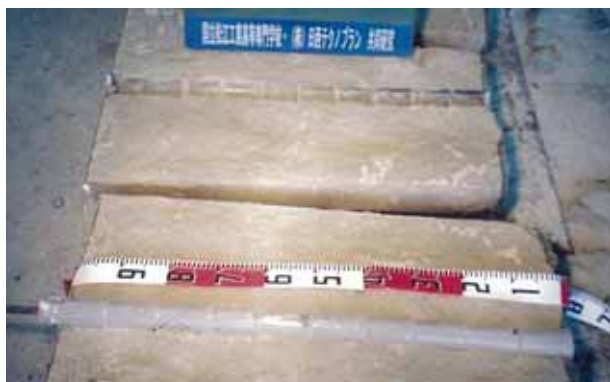


写真4 試験体解体状況



写真5 Strand先端の引抜け状況

2.2 摩擦（圧縮）型アンカーにおける問題点

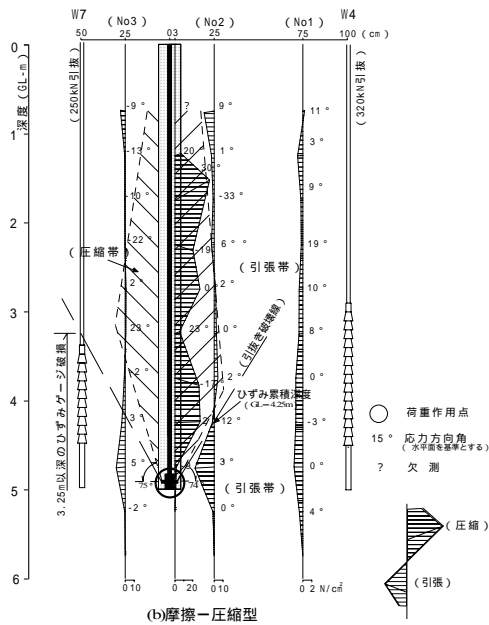


図4 摩擦（圧縮）型アンカー体の応力測定図(荷重 600kN)

2.3 アンカー体グラウトの被り厚と引き抜き試験の仕様

2.3.1 グラウトの目的と所要厚さ

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。(文献 11, P.236)

そのグラウト被り厚は表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が、アンカー体をシースする方式の普及とともに、テンドンの被りが確保されていればこれを確実にするためのシース材等が孔壁との間に介在することを認める方向に変わっている。ただし表1に示すように同解説書のP.76, P.138ではシースと孔壁間のグラウト確保を求めており、必ずしも一貫した表現とはなっていない。

表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、拘束力の考え方を導入した。	P.31
	本基準ではグラウトと地盤が直接に接触することを条件としないので、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。	P.35
	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。	P.40
	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。	P.76
災害手帳：建設省河川局 防災・海岸課監修	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。	P.138 . 旧基準・同解説書では10mm以上
	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)とる。	P.358

図4は図2と同様の位置で実施した摩擦（圧縮）型アンカー（引張型とは逆に、荷重作用点がアンカー体先端に位置する方式。以下圧縮型という）の引き抜き試験結果である。アンカー体を中心に50cm程度の紡錘状の圧縮帯が形成されており、荷重作用点付近の破断角は水平面より74~75°（先端部破断面内角30°）であった。

図5に示すように荷重作用点に応力が集中し、最終的に荷重720kNで爆発的破壊音を伴い引き抜けたが、文献などに示されている漏斗状の破壊形態とはなっておらず、地表に肉眼的変位も認められなかった。

こうした引き抜き破壊を防ぐため、“圧縮型では地山が不均一な層や緩い層をなす場合は拘束具を長くするなどの処置が必要になることがある”¹⁰⁾とされている。すなわち引張型とは逆に、圧縮型では設計荷重に応じて定着長を長くすることは避ける必要がある。

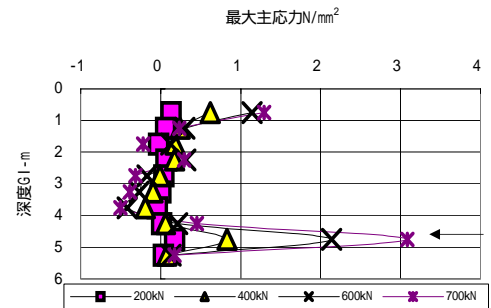


図5 図2に示したアンカー体より25cm離れた地盤内の応力状況

2.3.2 グラウト厚の実態と引き抜き試験の仕様について

各工法のグラウト被り厚（メーカー公表構造図より算出）は表2のようになり、アンカー体をシースする方式を除き、十分なグラウト厚が確保されているのはF、G工法以外にはない。

しかし、一般に引き抜き試験時のアンカー体（長さ1~2m）は定着部引張材にスペーサ等を取り付けた状態で実施されており、グラウト被り厚は十分確保された状態にある。これはスペーサ等を取り付けないで実施する場合より大きな値を得る可能性があり、その場合、工法によっては本工事でのアンカー体の安全率が不足するといった危険性を招くことになる。

従って引き抜き試験時のアンカー体は構造や支持機構が供用アンカーとできるだけ同一となるように設定することが重要といえる。

表2 グラウトの実態

工法	荷重区分 kN	アンカー体テ ンドン最大径 mm	セントラライザ ー（スペーサ） 径 mm	同左、取り 付けピッチ	最小グラ ウト厚 mm	積算ソフトに おける削孔径 mm	クリア ランス mm	備 考
A	549	58	なし		0(シース 外壁)	90	11	コルゲートシー ス付
	769	75				115	11	
	1318	95				135	11	
B	329	?	(59)	1.5m	0-?	90	10	拘束具なし
	769		(76)			115	10	
	1318		(96)			135	10	
C	439	77	なし		0(シース 外壁)	116	10	波形シース付
	769	87				135	19	
	1318	97				146	27	
D	157	38.1-46	66	?	0-14	90	3	拘束具使用・テ ンドン最大径は 定着体と支圧カ ブラー部を表 示・拘束具区 間以外はスペー サなし。
	232	45.0-52			0-10.5			
	297	48.6-54			0-8.7			
	344	50.8-61			0-7.6			
	428	54.0-63			0-6			
	580	65.0-73	83		0-9	115	3	
	672	70.0-80			0-6.5			
	769	73.0-81			0-5			
	1008	79.5-95			0-11.75			
	1163	81.0-101			0-11			
E	549	?	60	?	0-?	90	9	拘束具なし
	878		76			115	10	
	1318		90			135	16	
F	269	23	60	?	18.5	90	9	鋼棒
	344	26	80		27	115	6	
	520	32	80		24	115	26	
G	156	64	83	?	9.5	115	3	拘束具使用・拘 束具以外での定 着部スペーサ計 画有り。
	549	81.6	105		11.7	135	1	
H	470	53.4	59	1.5m以内	0-2.8	90	10	拘束具なし
	940	58.4	76		0-8.8	115	10	
	1409	58.4	96		0-18.8	135	10	
	1879	58.4	113		0-27.3	146	10	

クリアランス：ケーシング内径とアンカー材最大径との差

2.4 アンカー削孔径について

削孔径に関しては表3のような記載がなされており、挿入時クリアランスを10mm以上とするほか、テンドンに鋼棒を使用する以外は最小孔径115mmとするよう求めている。

しかし、表2ではD、F、G工法でメーカーが提案する削孔径では十分なクリアランスが確保できず、トラブル発生等による品質低下を招く危険性ははらんでいる。

表3 削孔径に関する記載例

文献	掘削径に関して	備考
グラウンドアンカー施工のための手引書：日本アンカー協会	削孔費を安くするために無理に削孔径を小さくすると、テンドンの被りが小さくなって、極端に引き抜抵抗が低下する。基準・同解説の解説中の削孔径90mmはもっとも単純なPC鋼棒等に適用するものと考えた方がよい。	P.103
	削孔径90mmで施工できるとされている永久アンカー工法は最大径で59mm程度あり、(ケーシング内径63~69mmとの)クリアランスは4~10mmと非常に小さい。協会では最低のクリアランスを10mmとしており、この程度のクリアランスでは挿入不能やケーシング抜管時にテンドンの共上がりが起こりやすく(中略)最小削孔径は115mmとしている。	P.140
グラウンドアンカー設計・施工例：地盤工学会	90mmの削孔径でのトラブル事例が報告されており採用は避けた方が良いため、90mmの記述は削除している。	P.207 工法編の目次

3. 設計上の問題点

3.1 永久アンカーの定着地盤について

グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説書では，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なく，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。特に脆弱地盤等では多様な引き抜け要因が想定されることから，上記摩擦抵抗値を基にアンカー体を計画したもの，低荷重で引き抜けるといったトラブルをもたらすことがある。

ちなみに，地盤工学ハンドブックでは定着地盤の選定基準を表4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。こうしたことから，脆弱地盤での定着はより慎重な対応が必要といえる。

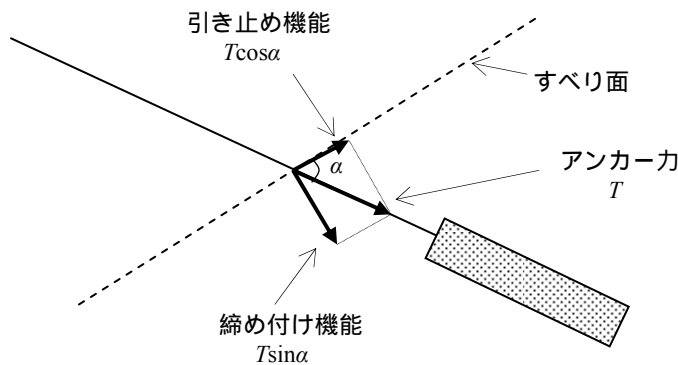
表4 アンカー設計における留意事項(地盤工学ハンドブックP.721より抜粋)

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 35の砂質土, q_u 250kN/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	強固な岩盤. 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

3.2 アンカー機能の評価について

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 P.267 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。



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

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

図6 グラウンドアンカー工の2つの機能
(道路土工 P.267 図3-54 参考)

現状では経済性を重要視する観点から式(1)に示すように，引き止め機能と締め付け機能の両方の機能を期待して設計する例が増えている。しかし締め付け効果に関しては表4のように記載されており，特

殊なケースを除き締め付け効果を見捨てるのが妥当といえる。仮に締め付け効果が期待できるとした場合は、密な荷重管理が必要であり、ライフサイクルコストにおいて必ずしも安価な設計とはならない。

表4 締め付け効果に関する記載内容

締め付け機能が発揮されることを期待する場合	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 初期緊張力は100%を採用する場合が多い。	道路土工 P.268
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	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見捨てるのが安全と思われる。 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。	地すべり防止技術研修テキスト（上巻 PP.264～266）
締め付け効果について	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。 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でも差し支えないであろう。	新・斜面崩壊防止工事の設計と実例（本編）P.250
締め付け用アンカーとして利用できる地盤条件	移動土塊がプレストレスをかけたとき大きな圧縮、圧縮変形をしないこと 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。 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。 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。	砂防・地すべり設計実例 PP.243～244
締め付け効果について	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。	地すべり工学 P.831

4. 終わりに

摩擦型アンカーにおいて、一般に地山がよい場合は圧縮型、悪い場合は引張型が適しているといわれている¹⁰⁾。すなわち、裏を返せば、地山がよい場合に定着長の短い引張型を設計したり、地山が悪い場合に定着長の長い圧縮型を設計することは、引き抜け事故を招く危険性が高いことを示すものであり、第2.1、2.2項に示した実験結果はこれらを裏付けるものといえる。

さらに“アンカーの定着耐力の大きさは地盤条件、定着長の長さ、定着体の構造、施工方法などによって大きく左右されるので、理論的に明解にその耐力を算定することができないのが現状である”¹¹⁾とされていることから、定着機構に関してさらなる研究が必要といえる。少なくとも第2.1、2.2項に示した実験結果からは、アンカー形式毎に定着長の算出方法を変える必要があり、より合理的な設計を可能にするには、くさび型アンカー¹⁻³⁾のようなアンカー体の荷重分散と拘束された地盤の支圧強度を利用したアンカー形式が適当と考える。

参考文献

- 1) 浜野浩幹・瀬崎茂，くさび型アンカー工法，理工図書，2006.5。
- 2) 瀬崎茂・浜野浩幹・平島健一，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。
- 3) 瀬崎茂・浜野浩幹，アンカー形式による支持機構と支持力の違い，第44回地すべり学会講演集，2005.8。
- 4) 日本道路協会，道路土工法面工・斜面安定工指針，1999。
- 5) 建設省河川局砂防部，新・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，1996。
- 6) 地すべり対策技術協会，地すべり防止技術研修テキスト（上巻），1984。
- 7) 砂防・地すべり技術センター，砂防・地すべり設計実例，砂防・山海堂，1988。
- 8) 申植潤，地すべり工学—理論と実践—，山海堂，1988。
- 9) 日本建築学会，建築地盤アンカー設計施工指針・同解説，2001。
- 10) 菅浩一，アンカー設計手法について（全国特定法面保護協会・日本アンカー協会技術講習会資料），2005.12。
- 11) グラウンドアンカー技術協会，グラウンドアンカー工法設計施工指針，森北出版，2000。
- 12) 日本アンカー協会，グラウンドアンカー施工のための手引書。
- 13) 全日本建設技術協会（建設省，河川局防災・海岸課監修），災害手帳，1999。
- 14) 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，平成18年度版。
- 15) 地盤工学会，地盤工学ハンドブック，1999。

以上