

本設地盤アンカー（永久アンカー）の開発（その2） （本設斜め地盤アンカーの開発）

Development of Permanent Ground Anchor (Part 2, Development of Inclined Ground Anchor)

武内 義夫*
Yoshio Takeuchi

小林 康之**
Yasuyuki Kobayashi

宮崎 啓一***
Keiichi Miyazaki

要 約

筆者らは、1990年5月に建築基礎に用いる本設地盤アンカー工法（鉛直アンカー）の開発を完了し、財団法人建築センターの研究委員会での技術審査を終了した。この開発経緯は、前報 vol. 14で報告を行っている。引き続き傾斜地における偏土圧による滑り、あるいは転倒防止等に有効に用いることが出来る本設斜め地盤アンカー工法（斜めアンカー）の開発を行い、1991年9月に財団法人建築センターの評定（BCJ-F640）を取得した。

開発にあたっては、斜めアンカーの仕様の検討および実大アンカーを用いた原位置試験を中心に行った。

原位置試験では砂れきおよび土丹（固結シルト）地盤の各層を定着地盤とした施工性試験・各種載荷試験等を実施し、本アンカーの施工管理方法の確立および力学特性を把握した。これらの試験を踏まえて、「本設斜め地盤アンカー工法設計・施工指針」をまとめ、実用建物への適用を可能にした。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 斜めアンカーの構造と種類
- §3. 原位置試験
- §4. おわりに

§1. はじめに

従来、建築構造物におけるグラウンドアンカーは、主に仮設構造体として用いられてきた。しかし、近年のアンカーの耐久性ならびに信頼性の向上にともない、本体構造物の一部として用い得る本設地盤アンカー（永久ア

ンカー）の研究開発が進められ、鉛直アンカーに関してはすでに実用に供され始めている。ところが斜めアンカーについては更に研究開発が必要とされている。このため筆者らは、鉛直アンカーに引き続き斜めアンカーの開発を行った。

永久アンカーの用途は広範囲にわたっている。例えば、鉛直アンカーでは地震力・暴風による基礎の浮き上がり防止、塔状建物・煙突・鉄塔などの転倒防止、水圧による建物の浮き上がり防止等が、また斜めアンカーでは傾斜地における偏土圧による滑り・転倒防止等に有効に用いることができる。

斜めアンカーをこのような目的で使用するためには、鉛直アンカーと同様に、構造物の使用期間中の耐久性と信頼性の確保が要求される。またこの条件を達成するための施工管理が重要な要素となっている。

鉛直アンカーと比較した場合、斜めアンカーは打設さ

*技術研究所先端技術研究課係長
**技術研究所先端技術研究課長
***技術研究所土木技術課係長

れる方向が重力の方向と異なるために、アンカー定着体とグラウトの被り厚さの確保が困難になる。また、削孔精度の確保やアンカー組立材の挿入性などの施工上の問題や、施工角度の違いによるアンカーの引抜き抵抗力の違いなどが考えられる。このため、被り厚さの確保のために、数種類のセンタライザーを考案した。

本報では、本設斜め地盤アンカーの開発と工法の確立に際して行った原位置試験の検討を中心に報告する。

§ 2. 斜めアンカーの構造と種類

斜めアンカーの構造は Fig. 1 に示したように、基本的には鉛直アンカーと同一であるが、アンカー定着部の定着体に対するグラウトの被り厚さを確保するためのセンタライザーが取り付けられる。

このアンカーは、アンカー頭部で引張り材（タイプル）に導入された緊張力が直接アンカー定着部下端に伝達され、圧縮力として定着体を介してグラウト、更に地盤へと伝達されるいわゆる圧縮型アンカーである。このため、アンカー体のグラウトには通常の引張型アンカーのような引張り力による亀裂が発生せず、耐久性にも非常に優れた機構になっている。

またアンカーと構造物との定着はネジ式定着工法であるため再緊張も容易に行える。更に、本アンカーは工場において製作・組立てを行うため高品質を確保できることも大きな特徴になっている。

斜めアンカーのタイプは Table 1 に示したように、引張り材（タイプル）の強度によって6種類ある。

センタライザーは削孔径および斜めアンカーのタイプによって、合成樹脂製のリング式、金属製のバネ式、地上からグラウトを注入して膨らませる弾力のある布製の

パッカー式の3種類があり、定着体の上部と下部に取り付けられる。なお、使い分けは Table 2 による。

§ 3. 原位置試験

3-1 試験概要

砂れきおよび土丹（固結シルト）地盤で実大の斜めアンカーを施工し、その施工性および力学特性等の試験を行った。砂れき地盤（試験サイトA）での試験は東京都青梅市で、土丹地盤（試験サイトB）での試験は神奈川県横浜市で行った。

試験サイトAは、過去に行った鉛直アンカー試験ヤードと同一の場所である。武蔵野台地西部で立川段丘の西縁に位置し、土層構成は立川ローム層、立川れき層、上総層群シルト層と層序を成している。

試験サイトBは多摩丘陵に位置し、造成地であるため本来表部に堆積している関東ロームが削られている。土層構成は凝灰質粘土層、三浦層群土丹層、三浦層群砂質土層と層序を成している。

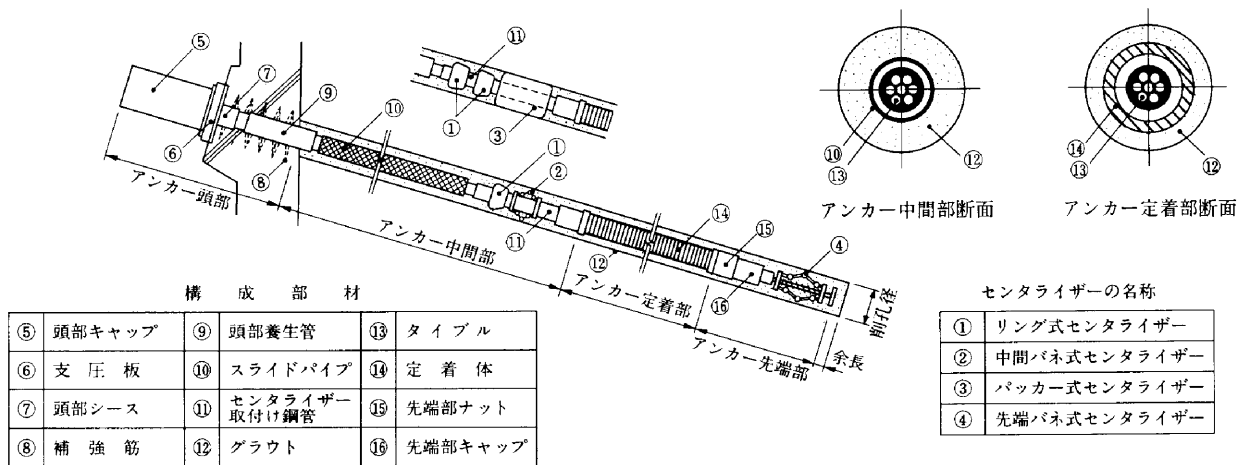
原位置試験に用いた斜めアンカーの仕様を Table 2 に、試験サイトAおよびBにおける力学特性試験体の配置断面および土質を Fig. 2, Fig. 3 に示す。

3-2 斜めアンカーの施工性試験

(1) 試験方法

斜めアンカーの標準的な施工方法を Fig. 4 に示す。試験アンカーの削孔はロータリーパーカッション方式で、削孔用水は清水を使用した。

施工性試験では、削孔精度、アンカー組立材の挿入性および施工能率等を調べた。またアンカー体の出来上がり状態を観察するため、オープンカット工法（試験サイトA）および深礎工法（試験サイトB）によってアンカ



(バネ式センタライザー、パッカー式センタライザーを用いた場合)

Fig.1 斜めアンカーの構造

Table 1 斜めアンカーの種類

アンカータイプ		F100TC	F130TC	F160TC	F200TC	F230TC	F270TC
規格引張荷重 T_{us} (tf)		95.0	126.0	165.1	190.5	222.3	258.5
規格降伏荷重 T_{ys} (tf)		83.3	110.4	144.4	166.9	196.0	226.2
最大有効緊張力 mP_e (tf)		59.8	79.3	103.9	119.9	140.0	162.8
多重よりPC鋼より線構成		7× φ11.1	7× φ12.7	7× φ15.2	19× φ 9.5	19× φ10.8	19× φ11.1
多重よりPC鋼より線 断面積 (mm ²)		519.3	691.0	970.9	1042.0	1323.9	1409.6
被覆多重よりPC鋼より線 断面図 (mm)							
定着体径 (mm)	塗装有	内径	φ 66.0		φ 92.0		φ 92.0
		外径	φ 87.0		φ118.0*		φ121.0
	塗装無	内径	φ 66.0	φ 65.1	φ 92.0	φ 92.0	φ 92.0
		外径	φ 87.0	φ 89.1	φ118.0*	φ121.0	φ123.0
削孔径 (mm)		φ170.0		φ170.0, φ216.0*			
センタライザー		リング式		削孔径φ170 先端バネ式 + パッカー式 または 先端バネ式 + 中間バネ式 削孔径φ216 リング式			

*鉛直アンカーと異なる値

Table 2 試験アンカー一覧

定着地盤	試験の種類	試験体記号	アンカータイプ	施工角度	アンカー長*	定着長	定着体センタライザー		削孔機	備考
							下部	上部		
砂れき地盤	削孔試験	SA-1	—	15°	(40.0m)	—	—	—	HDS-JL	削孔のみ
	施工性試験	SA-2	F100TC	15°	20.2m	6.0m	リング式	リング式	MKD-106	掘出し観察
		SA-3	F200TC	15°	20.8m	6.0m	バネ式	パッカー式	MKD-106	掘出し観察
	引抜き試験	SA-4	F270TC	45°	10.3m	1.0m	バネ式	パッカー式	MKD-106	
		SA-5	F270TC	30°	13.8m	1.0m	バネ式	パッカー式	MKD-106	
		SA-6	F270TC	15°	20.8m	1.0m	バネ式	パッカー式	MKD-106	
土丹地盤	削孔試験	SB-1	—	15°	(40.0m)	—	—	—	MCD-8	削孔のみ
	施工性試験	SB-2	F200TC	15°	20.8m	6.0m	バネ式	バネ式	MCD-8	掘出し観察
	引抜き試験	SB-3	F270TC	45°	10.3m	1.5m	バネ式	パッカー式	MCD-8	
		SB-4	F270TC	30°	13.8m	1.5m	バネ式	パッカー式	MCD-8	
		SB-5	F270TC	15°	20.8m	1.5m	バネ式	パッカー式	MCD-8	
	長期引張り試験	SB-6	F200TC	15°	20.8m	6.0m	バネ式	パッカー式	MCD-8	

注) 削孔径は全て170mmである。

*アンカー長：削孔面からアンカー組立材先端部キャップまでの長さをいう。

ただし、SA-1、SB-1は削孔長である。

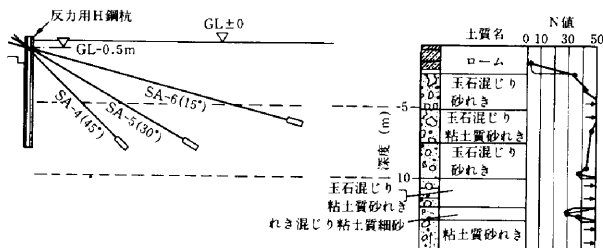


Fig.2 試験体配置断面(試験サイトA)

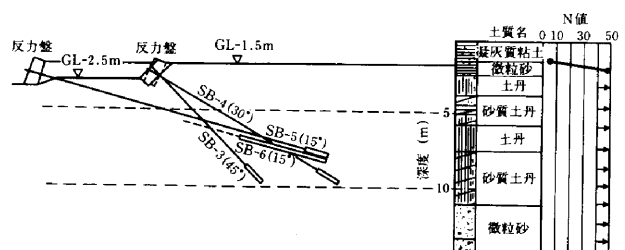


Fig.3 試験体配置断面(試験サイトB)

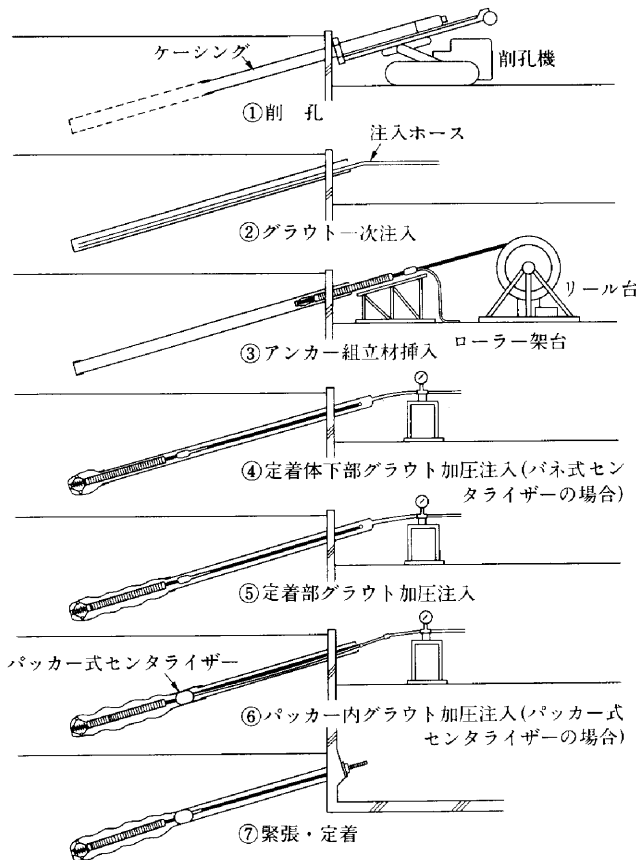


Fig.4 斜めアンカーの施工方法

Table 3 使用グラウトの配合

配合 (kg/m ³)				範囲および管理値		
セメント C	水 W	混和剤	W/C (%)	圧縮強度 σ_{28} (kgf/cm ²)	フロー値 (sec)	比重
1226	594	18.4	50	300以上	15以下	設計=0.04

注) 混和剤は NL-4000 を使用した。

Table 4 アンカー体の周長と直径

定着地盤	試験体 記号	周長 (mm)			直径 (mm)		
		最小	最大	平均	最小	最大	平均
砂れき地盤	SA-2	563	600	582	176	188	181
	SA-3	555	595	574	174	184	180
土丹地盤	SB-2	547	617	568	170	180	173

一を掘り出し、アンカー体の形状や周長を観察した。その後、定着部およびセンタライザー部を水平に切断し、断面の観察および定着体のグラウトの被り厚さ、センタライザーの効果などを調べた。なお、試験アンカーに使用したグラウトの配合を Table 3 に示す。

(2) 試験結果

① 削孔精度

斜めアンカー工法の適用範囲の最小施工角度15°(水平面向下向き)、最大削孔長40mで削孔し、その精度を確認した。なお、削孔径は170mmとした。試験サイトAにおける削孔試験 SA-1 では、N 値50以上の砂れき層が30m以上続くことを考慮して、高出力型の削孔機である HDS-JL 型ハイパックドリルを使用した。

削孔精度測定は、坑井傾斜測定システム(TV-ON-Line システム) を用いて 1m ピッチで行った。

測定の結果、40m 削孔した砂れき地盤での SA-1 の孔先端位置のずれおよび精度は、基準ラインに対して水平方向で削孔方向に向かって右へ335mm (1/119)、鉛直方向で上方に638mm (1/63) であった。同じく土丹地盤での SB-1 では、水平方向で右へ972mm (1/41)、鉛直方向で下へ782mm (1/51) であった。

② 周長および被り

試験サイトAにおける施工性試験体 SA-2 および SA-3 の2体、試験サイトBにおける SB-2 の1体、合計3体のアンカー体を掘り出し、出来上がり状況を観察した。いずれの試験体も施工角度15°、削孔長約21m、定着長6.0mとし、アンカータイプは SA-2 が F100 TC、SA-3 および SB-2 が F200TC とした。

それぞれのアンカー体定着部を 1m ごとに周長と直径を測定した。測定結果を Table 4 に示す。いずれも設計値(周長534mm、直径170mm)を上回った値となっている。砂れき地盤で掘り出した SA-2、SA-3 のアンカー体は、定着層が粘性土を含む砂れき層であったため、グラウトの地盤への浸透は顕著ではなく、アンカー体にれきなどの付着は比較的少なかった。土丹地盤で掘り出した SB-2 のアンカー体は、グラウトのみで形成されたほぼストレートな幹体であった。

定着体の被り厚さに関しては、定着体部分のアンカー体を約 1m ごとに切断し、1断面につき 8 方向についてのグラウトの被り厚さの測定を行った。これらの測定結果より、SA-2 では、最小30mm、最大57mm、平均42.6mmであり、SA-3 では、最小19mm、最大29mm、平均24mmであった。また SB-2 では、最小19mm、最大57mm、平均29mmであった。いずれの試験体も被り厚さの目標値である20mmをほぼ満足し、新しく開発したセンタライザーが被り厚さ確保に有効に機能し、耐久性が期待できることが確認された。

3-3 斜めアンカーの力学特性試験

(1) 試験方法

斜めアンカーは、施工角度の違いにより極限引抜き力に差が生じる可能性がある。このため Fig. 2, 3 に示し

たように、定着地盤が砂れき地盤の試験サイトAおよび土丹地盤の試験サイトBで、定着深さがほぼ同一地層に対して、施工角度が45°(SA-4, SB-3), 30°(SA-5, SB-4) および15°(SA-6, SB-5) の3種類、合計6体の斜めアンカーの引抜き試験を行った。これにより斜めアンカーの引抜き抵抗の性状を把握し、施工角度が極限引抜き力に与える影響の有無を調べた。なおアンカー中間部は、周辺地盤との摩擦を取り除くため、施工時にグラウトの水洗いを行った。いずれもアンカータイプはF270TCとし、定着長は砂れき地盤では1.0m、土丹地盤では1.5mとした。

また土丹地盤においては、地盤のクリープや引張り材（タイプル）のリラクセーション等によるアンカーの長期の安定性を見るため約2ヶ月間の長期引張り試験を行った。なお、長期引張り試験体SB-6では、実際の施工を考慮してアンカー中間部の水洗いは行っていない。施工角度は15°、アンカータイプはF200TCとし、定着長は

6.0mとした。

測定項目は、アンカー頭部荷重、アンカー頭部変位量、定着体のひずみ度等である。ひずみ度は定着体の上(①)、中(②)、下(③)の3断面に貼り付けた各々3枚のゲージの平均値である。

引抜き試験における載荷方法は、計画最大荷重をほぼ引張り材（タイプル）の規格降伏荷重 T_{ys} の0.9倍とし、初期荷重 P_0 は20tf (196kN)、1段階20tf (196kN) の多サイクル載荷（最大計画9サイクル）により引抜けるまで載荷した。また、長期引張り試験では、定着時緊張力を引張り材（タイプル）の規格降伏荷重 T_{ys} の0.8倍として、2ヶ月間の経時変化を調べた。なお事前に多サイクル載荷による確認試験を行った。

(2) 試験結果

引抜き試験では、砂れきおよび土丹地盤に定着したアンカーはすべて引抜けた。アンカー頭部荷重とアンカー頭部変位量を Fig. 5, Fig. 6 に、定着体のひずみ度分布

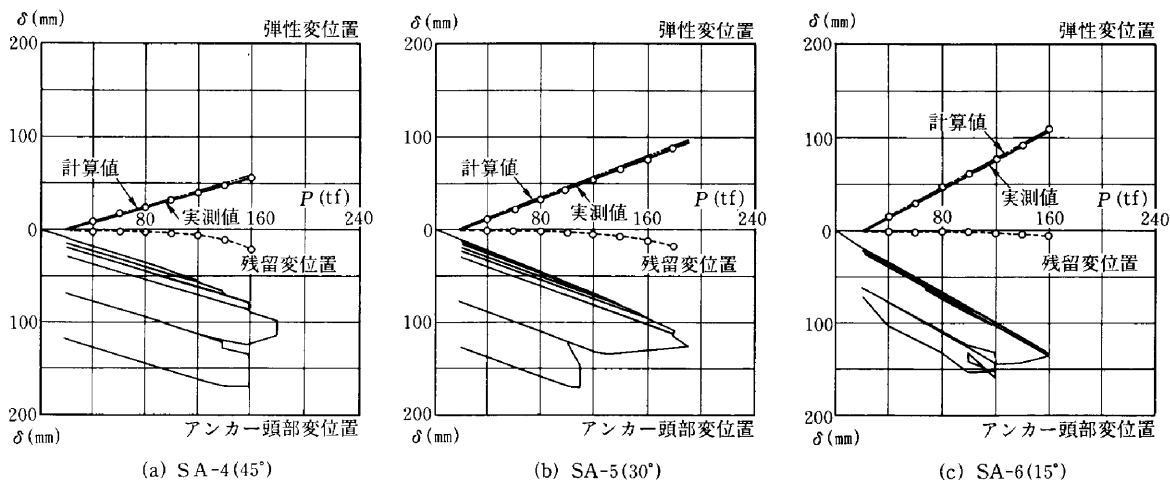


Fig.5 アンカー頭部荷重－変位関係（試験サイトA）

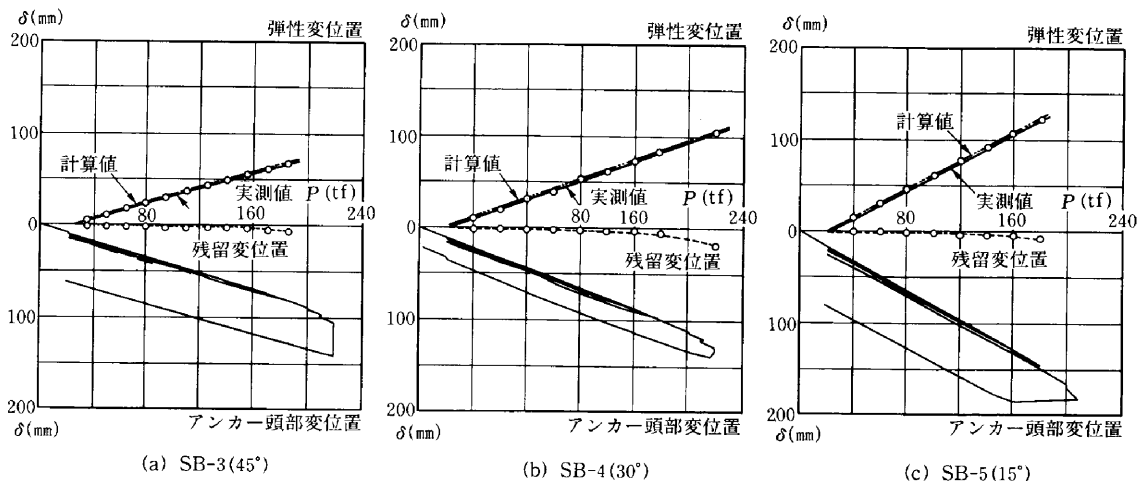


Fig.6 アンカー頭部荷重－変位関係（試験サイトB）

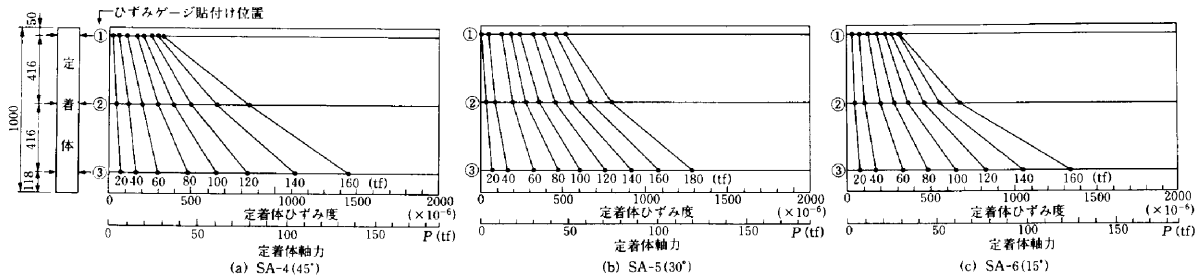


Fig.7 定着体のひずみ度分布 (試験サイト A)

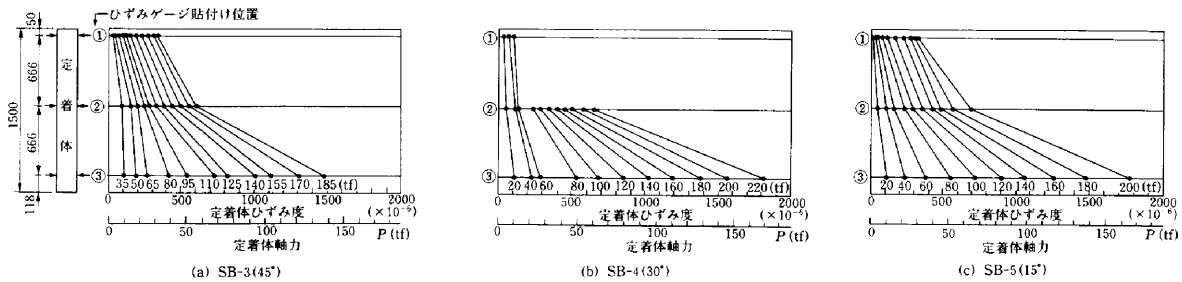


Fig.8 定着体のひずみ度分布 (試験サイト B)

Table 5 アンカー体と地盤の摩擦応力度の最大値

定着 地盤	試験体 記号	施工 角度	方法-1		方法-2		方法-3		方法-4	
			τ_{gmax1} (kgf/cm ²)	アンカー 頭部 荷重 (tf)	τ_{gmax2} (kgf/cm ²)	アンカー 頭部 荷重 (tf)	τ_{gmax3} (kgf/cm ²)	最 大 荷 重 P_{max} (tf)	τ_{gmax4} (kgf/cm ²)	最 大 荷 重 P_{max} (tf)
砂 れ き 地 盤	SA-4	45°	— (29.7)*1	— (160)	— (27.3)	— (160)	31.2 (27.7)	180 (160)	19.3 (17.1)	180 (160)
	SA-5	30°	27.7	186	22.1	186	32.2	186	19.9	186
	SA-6	15°	32.1	160	24.6	160	27.7	160	17.1	160
土 丹 地 盤	SB-3	45°	— (26.8)*1	— (185)	— (14.7)	— (185)	27.5 (23.1)	220 (185)	19.5 (16.4)	220 (185)
	SB-4	30°	36.7	220	*2	—	27.5	220	19.5	220
	SB-5	15°	— (33.2)*1	— (200)	— (18.9)	— (200)	26.2 (25.0)	210 (200)	18.6 (17.7)	210 (200)

(方法-1)：定着体のひずみ度測定結果から、定着体とグラウトは同一ひずみ度であると仮定して、定着体ひずみ度の各測定位置間の差から求める方法で、測定位置間を①～②間、また②～③間とする方法。

(方法-2)：(方法-1)と同様に、測定位置間を①～③間とする方法。

(方法-3)：アンカー頭部荷重の最大値をアンカー体表面積で除して求める方法で、アンカー体表面積を求める際の定着長を定着体長と仮定する方法。

(方法-4)：(方法-3)と同様に、定着長を定着体下端からパッカー式センタライザー上端までの距離と仮定する方法。

注*1) SA-4, SB-3, SB-5 試験体は定着体に貼り付けたひずみゲージが最大荷重に達する前に破断し、最大荷重時のひずみ度は測定できなかった。そのため、これらの表にはひずみ度が測定できた荷重までの最大値とその時のアンカー頭部荷重を () 内に示した。

注*2) SB-4 試験体の測定点① (定着体上部) でのひずみ度は、アンカー頭部荷重が60tfのときまでしか測定されなかった。

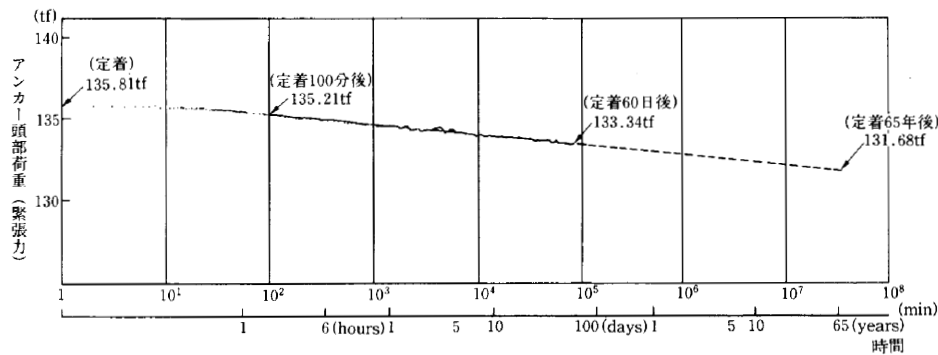


Fig.9 アンカー頭部荷重の経時変化(SB-6)

Table 6 残留緊張力および緊張力の減少量

経過時間	定着時緊張力 (tf)	残留緊張力 (tf)	減少量 (tf)	見かけのレラクセーション量 (tf)
2ヶ月(実測)	135.81	133.34	2.47 (1.8%)	1.91 (1.4%)
65年(推定)		131.68	4.13 (3.0%)	3.08 (2.3%)

() は、定着時緊張力に対する割合

を Fig. 7, Fig. 8 に示す。

砂れき地盤における極限引抜き力は SA-6 (15°) が 160tf (1568kN) と SA-4 (45°) の180tf (1764kN) および SA-5 (30°) の186tf (1823kN) と比べて若干低下しているが、Fig. 2 の試験体配置断面にも示したように、SA-6 の定着位置は他の2体より約2m浅く、またこの層は粘性土を多く含んでいたためと考えられる。

土丹地盤における SB-3 (45°), SB-4 (30°), SB-5 (15°) の極限引抜き力は、210~220tf (2058~2156kN) でほぼ同じであった。

次にアンカー体と地盤の摩擦応力度の最大値 τ_{gmax} について、Table 5 に示す (方法-1) ~ (方法-4) により検討を行った。(方法-1, 2) は定着体のひずみ度測定結果より算出し、(方法-3, 4) はアンカー頭部荷重より算出を行った。なおグラウトの弾性係数は、 $1.50 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ ($1.47 \times 10^4 \text{ MPa}$)、有効断面積は、施工性試験結果より砂れき地盤では 156.47 cm^2 、土丹地盤では 117.56 cm^2 とした。

Table 5 の結果より、 τ_{gmax} の値は砂れきおよび土丹地盤において、それぞれ施工角度45°、30°および15°の3つの試験体間で明確な差は認められなかった。ただし(方法-1) ~ (方法-4) の解析手法の違いによる結果では差が認められ、(方法-4) が低めの値を示す傾向にあるのがわかった。

また、土丹地盤で行った SB-6 の長期引張り試験結果のアンカー頭部荷重の経時変化を Fig. 9 に示す。図中の定着100分後と2ヶ月後の測定値を結ぶ直線 (実線と

破線) により、65年後の残留緊張力を推定し、定着2ヶ月後および65年後の残留緊張力ならびに緊張力の減少量などをまとめると Table 6 のようになる。なお見かけのレラクセーション量とは、緊張力の全減少量から反力盤の変位に起因する減少量を除いたもので、引張り材(タイプル)のレラクセーションおよびアンカー体と定着地盤のクリープに起因するものである。この結果より65年後の残留緊張力は、定着時緊張力の97%と予測された。

§4. おわりに

本設斜め地盤アンカー工法を確立するため実施した、施工性試験および力学特性試験を中心に開発経緯を報告した。これらの結果に基づき、「本設斜め地盤アンカー工法設計・施工指針」をとりまとめ、(財)日本建築センターの評定を取得した。今後は鉛直アンカーと同様に、実際の設計、施工を通じてデータの収集充実に努めたいと考えている。なお、この一連の研究は当社を含めて、安藤建設(株)、(株)鴻池組、住友建設(株)、(株)銭高組、東海興業(株)、戸田建設(株)、(株)フジタ、三井建設(株)、(株)エスイー (旧新構造技術(株))、構造工事(株)、日特建設(株)および日本基礎技術(株)との共同研究として行ったものである。

参考文献

- 1) 西松建設：PTC本設地盤アンカー工法設計・施工指針，平成2年。
- 2) 西松建設：PTC本設斜め地盤アンカー工法設計・施工指針，平成3年。
- 3) 有山峰夫ほか：圧縮型本設地盤アンカー工法に関する研究(その1~その3)，第25回土質工学研究発表会，pp.1541~1548，1990。
- 4) 小林康之ほか：圧縮型本設地盤アンカー工法に関する研究(その4~その8)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1655~1664，1990。
- 5) 山本和博ほか：圧縮型本設斜め地盤アンカー工法に関する研究(その1~その3)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1511~1516，1991。