

土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの 開発に関する研究（その3）

— Expander Body Anchor —

共同研究報告書

平成21年12月

独立行政法人 土木研究所
ケミカルグラウト株式会社

Copyright © (2009) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの 開発に関する研究（その3）

－ Expander Body Anchor －

独立行政法人土木研究所	技術推進本部（施工技術）	主席研究員	小橋 秀俊
		前主席研究員	大下 武志
		主任研究員	宇田川義夫
		研究員	澤松 俊寿
		交流研究員	林 豪人
ケミカルグラウト株式会社	西日本支社 設計部	設計部長	佐藤 守
	首都圏支店 建築基礎部	工事課長	岩井田義夫

要 旨

用地制限のある掘削構造等の土留め支保工の工期短縮・コスト縮減を目的に、高耐力のアンカー技術である拡径型アンカー工法の開発を目的とし、独立行政法人土木研究所、ケミカルグラウト株式会社により、平成18年度から3ヵ年にわたり「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究（その3）」に関する共同研究を実施してきた。

本報告書は、アンカー体部を拡大させた拡径型アンカー工法の開発に向けて実施してきた共同研究の成果をとりまとめたものである。

キーワード：掘削構造、土留め、グラウンドアンカー、拡径型アンカー、引抜き

ま え が き

平成14年の「公共工事コスト構造改革プログラム」等において規格の見直し等によるコスト構造改革の推進が位置づけられている。これに伴い、掘削構造や土留・擁壁構造についても工期短縮・コスト縮減が望まれる。通常、掘削構造部を施工する際、山留め壁を構築し、切梁やグラウンドアンカーなどの支保工を併用するが、都市部等では、用地境界の問題でアンカー長を短くする必要のあることや、地盤が軟弱な場合にはアンカー長が極端に長くなるなどの問題がある。これらの問題を解決できる高耐力のアンカー技術を開発することにより、最小限の用地内で工期短縮・コスト縮減が可能となる。

そこで、高耐力のアンカー技術であるアンカー体部を拡大させた拡径型アンカー工法を開発することを目的に、独立行政法人土木研究所、ケミカルグラウト株式会社により、平成18年度から3年にわたり共同研究を実施した。

「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究（その3）」は、拡径型アンカーの引抜き特性に関する検討結果、袋状の薄い鋼板を用いた拡径型アンカー工法（Expander Body Anchor）の要素技術の検討結果等を取りまとめたものであり、以下により構成される。

- ・ 土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究―基礎的実験編―
- ・ 土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究（その3）―Expander Body Anchor―

本報告は、上記のうち「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究（その3）―Expander Body Anchor―」であり、袋状の薄い鋼板を用いた拡径型アンカー工法の要素技術等の検討結果や、設計・施工マニュアル等の研究成果を取りまとめたものである。なお、「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究―基礎的実験編―」は遠心場引抜き実験や実大引抜き実験により拡径型アンカーの引抜き特性について検討した結果を取りまとめたものであり、拡径型アンカーの基本的な引抜き特性についてはこちらを参照されたい。

目 次

第 1 部 工法開発	1
1. はじめに（工法概要）	2
2. グラウトとテンドンとの付着特性について	3
2.1 概要	4
2.2 既存データ	4
2.3 グラウトの設計基準強度と付着応力度の関係について	6
3. 基礎的実験結果と極限引抜き力算定のための提案式との関係性について	11
3.1 砂質土地盤における極限引抜き力の算定のための提案式	11
3.2 支圧抵抗力 P_p と摩擦抵抗力 P_s との比率について	12
4. おわりに	14
第 2 部 Expander Body Anchor 設計・施工マニュアル（案）	15

第 1 部 工法開発

1. はじめに（工法概要）

Expander Body Anchor は、薄い鉄板を折り畳んで作られた下図に示す、Expander Body 本体を土中の任意の深度および位置に設置し、セメントミルクによるグラウトを用いて加圧・膨張させ、この膨張した球根状のアンカー体にテンドンを定着させる、拡孔型アンカーの一種である。

球根状のアンカー体内にテンドンを定着させる残置式とそのアンカー体の外周にテンドンを配置する除去式の2種類があり、その特長は以下のとおりである。

（1）Expander Body Anchor の特長

①軟弱地盤に高耐力のアンカーが施工可能である。

軟弱地盤(粘性土 N 値 <15 砂質土 N 値 <30)に短いアンカー体長で高耐力のアンカーが施工できる、例えば、N 値 ≈ 30 の砂質土で1600kN/本(EB-825 使用)のアンカーが造成できる。

②アンカー長の短縮が可能である。

アンカー体長部が球根状であり、耐力が十分に見込めることから、従来の摩擦型アンカーに比べアンカー長を短くできる。

③除去アンカーの削減が可能である。

アンカー長が短くて済む分、狭い敷地内にアンカー体を収めることへの可能性を高めた。

④工期の短縮が可能である。

残置式の場合、鋼製チューブを用いることにより、直接打撃貫入でき、かつ注入作業は容易で別工程で施工できるので、施工速度に優れ、工期の大幅な短縮ができる。

⑤アンカー定着体の施工が確実である。

グラウト注入は、Expander Body 本体内に限定され逸散しないので、施工管理が容易であり、確実な施工ができる。

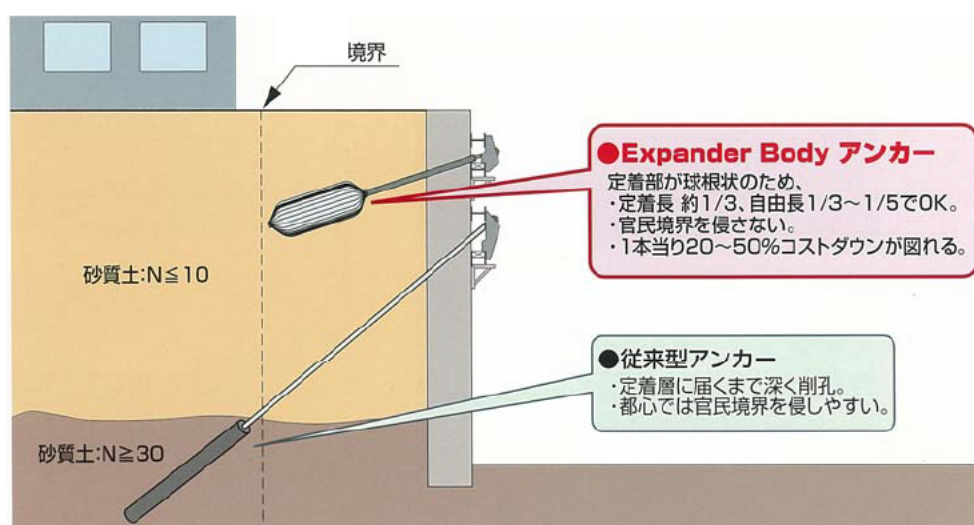


図 1.1 Expander Body Anchor の適用例

2. グラウトとテンドンとの付着特性について

2.1 概要

ここでは、(独)土木研究所(以降は、土研と略称する。)との共同研究である、「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究(その3)」の一環として、平成17年3月に実施された、「FLO-BONDにおけるグラウトとの付着試験」に関する試験データ(ケース1)および平成18年7月に当社の機材センターで実施された、EB本体に定着した実大付着試験データ(ケース2)とに基づいて、グラウトの設計基準強度と付着応力度との関係式について検証することとする。

2.2 既存データ

(1) ケース 1 : FLO-BONDにおけるグラウトとの付着試験に関する試験データ

表 2.1 試験時のグラウト圧縮強度

	目標値 18N/mm ² に対する 試験時のグラウト圧縮強度(N/mm ²)			目標値 24N/mm ² に対する 試験時のグラウト圧縮強度(N/mm ²)		
	1	2	3	1	2	3
供試体 No.	1	2	3	1	2	3
載荷荷重	33.3	32.9	33.5	45.5	42.2	47.5
圧縮強度 : σ_{ck}	17.0	16.7	17.1	23.2	21.5	24.2
平均値	16.9			22.9		

表 2.2 付着試験結果

	供試体 No.	自由端すべり 0.025mm		最大引抜力	
		荷重 (kN)	応力度 (N/mm ²)	荷重 (kN)	応力度 (N/mm ²)
目標強度 18N/mm ² グループ	1	12.4	2.34	14.2	2.67
	2	10.9	2.05	13.0	2.44
	3	12.1	2.28	13.5	2.53
	平均値	11.8	2.223	13.6	2.547
目標強度 24N/mm ² グループ	1	14.6	2.74	14.7	2.76
	2	14.8	2.77	14.9	2.79
	3	12.7	2.38	13.5	2.54
	平均値	14.0	2.630	14.4	2.697

※ 応力度=P/表面積

P : 荷重(kN) L : 供試体付着長(10cm) n : 素線数(側線 6 本)

d : 裸ストランド、エポキシストランドの素線径(いずれも 0.423cm とした)

表面積=(2/3)π dnL=(2/3)×π×0.423×6×10=53.2cm²

(2)ケース 2： EB 本体に定着した実大付着試験データ

表 2.3 実大付着試験結果

	試験最大荷重に対する結果	
	荷重 (kN)	応力度 (kN/mm ²)
グラウト圧縮強度 33N/mm ²	420	2.662

※ 応力度=P/表面積 EB-517 EHD5-3

P：荷重(kN) L：供試体付着長(150cm)

U：裸ストランド、エポキシストランドの見掛けの周長(10.52cm)

表面積=UL=10.52×150=1578cm²

2.3 グラウトの設計基準強度と付着応力度の関係について

ケース 2 において、ストランドは最大試験荷重(テンドンの降伏荷重×90%)まで載荷しても引抜ける兆候は見受けられなかったため、最大試験荷重を応力度算出用の荷重として採用した。

すなわち、この荷重は引抜けるまでの途中の荷重であることを考慮し、ケース 1 についても引抜けるまでの途中と考えられる「自由端すべり 0.025mm」の値を用いて関係式を導き出すものとする。

(1) ケース 1 における標準偏差値およびバラツキの算出

表 2.4 グラウトの圧縮強度および付着応力度一覧表

	供試体 No.	圧縮強度 σ_{ck} (N/mm ²)	自由端すべり 0.025mm	
			荷重 (kN)	応力度 (N/mm ²)
目標強度 18N/mm ² グループ	1	17.0	12.4	2.34
	2	16.7	10.9	2.05
	3	17.1	12.1	2.28
	平均値	16.9	11.8	2.223
目標強度 24N/mm ² グループ	1	23.2	14.6	2.74
	2	21.5	14.8	2.77
	3	24.2	12.7	2.38
	平均値	22.9	14.0	2.630

1) 目標強度 18N/mm² グループ

表 2.5 目標強度 18N/mm² グループの標準偏差

供試体 No.	①X _i (N/mm ²)	②X : 平均値 (N/mm ²)	(①-②) ²
1	2.34	2.223	0.01369
2	2.05	2.223	0.02993
3	2.28	2.223	0.00325
n=3			0.04687

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n=3} (X_i - X)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.04687}{3}} = 0.125(N/mm^2)$$

表 2.6 目標強度 18N/mm² グループのバラツキ

供試体 No.	①X _i (N/mm ²)	②X : 平均値 (N/mm ²)	③ ①-② (N/mm ²)	③/σ _n
1	2.34	2.223	0.117	0.936
2	2.05	2.223	0.173	1.384
3	2.28	2.223	0.005	0.040

以上より、供試体 No.2 のバラツキ(平均値からの離れ)が、1.384σ_nと最も大きくなるので、このグループにおけるバラツキ(安全率)は、Fs1=1.384 とする。

2)目標強度 24N/mm² グループ

表 2.7 目標強度 24N/mm² グループの標準偏差

供試体 No.	①X _i (N/mm ²)	②X : 平均値 (N/mm ²)	(①-②) ²
1	2.74	2.630	0.0121
2	2.77	2.630	0.0196
3	2.38	2.630	0.0625
n=3			0.0942

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n=3} (X_i - X)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.0942}{3}} = 0.177(N/mm^2)$$

表 2.8 目標強度 24N/mm² グループのバラツキ

供試体 No.	①X _i (N/mm ²)	②X : 平均値 (N/mm ²)	③ ①-② (N/mm ²)	③/σ _n
1	2.74	2.630	0.110	0.621
2	2.77	2.630	0.140	0.791
3	2.38	2.630	0.250	1.412

以上より、供試体 No.3 のバラツキ(平均値からの離れ)が、1.412σ_nと最も大きくなるので、このグループにおけるバラツキ(安全率)は、Fs2=1.412 とする。

(2)バラツキを考慮した付着応力度

表 2.9 バラツキを考慮した付着応力度

グループ	供試体 No.	圧縮強度 : xi (N/mm ²)	バラツキ (Fs)	付着応力度(N/mm ²)	
				測定値	有効値 : yi
18N/mm ²	1	17.0	1.384	2.34	1.691
	2	16.7	1.384	2.05	1.481
	3	17.1	1.384	2.28	1.647
24N/mm ²	1	23.2	1.412	2.74	1.941
	2	21.5	1.412	2.77	1.962
	3	24.2	1.412	2.38	1.686
33N/mm ²	1	33.0	(1.000)	2.662	2.662
	n=7				

※1 : 圧縮強度 33N/mm²については、試験結果が 1 データしかないものの引抜けた兆候がまったくないので、バラツキは「1.000」と仮定した。

※2 : 有効値=測定値/バラツキ(Fs)

(3) 回帰直線式の算定

上表中の圧縮強度： σ_{ck} と付着応力度の有効値： τ_b との関係性を直線回帰と捉え、関係式および相関係数を求めると以下のとおりとなる。

各係数 $A = 0.54454$ $B = 0.06063$
 相関係数 $r = 0.9098$

$$\tau_b = A + B \cdot \sigma_{ck} = 0.54454 + 0.06063 \cdot \sigma_{ck} \quad (N/mm^2) \quad \text{①式}$$

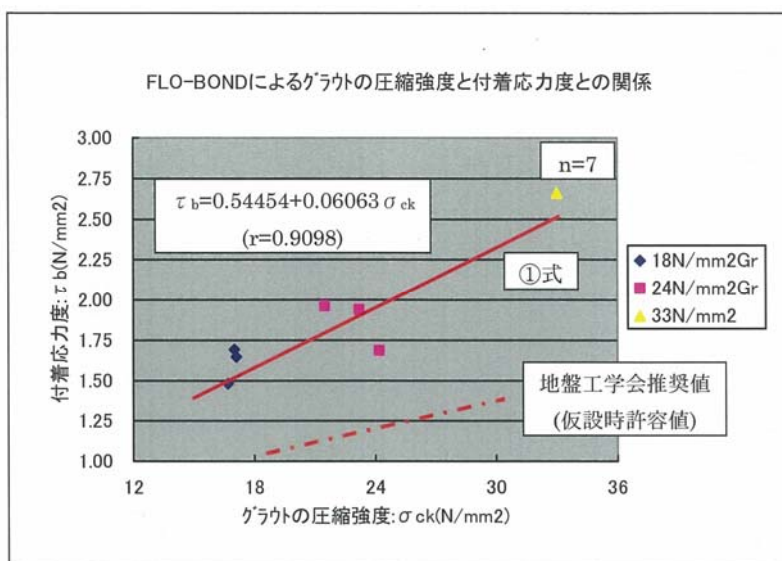


図 2.1 グラウトの圧縮強度と付着応力度との関係

データ数は、 $n=7$ と少ないものの、相関係数が $r=0.9098$ となり、直線回帰とした場合の相関性は良いものと考えられる。

(4)EB アンカーにおける FLO-BOND を用いた場合の許容付着応力度について

前葉の回帰直線式は、バラツキ(安全率)を考慮した付着応力度の有効値から算出したものであり、試験状況を勘案した場合、この式から求めた値は、短期の引抜き力に対する許容付着応力度、言い換えるならば、仮設時の許容付着応力度と捉えることができる。

すなわち、「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」の考え方に準じると、この回帰直線式から求めた値を仮設時の安全率($F_s=1.5$)で除することにより、永久時の許容付着応力度とすることが可能である。

そこで、今回の試験データから提案する許容付着応力度について、地盤工学会基準からの各許容値を参考にして下表にまとめる。

表 2.10 EB アンカーにおける FLO-BOND を用いた場合の許容付着応力度(目安値)

グラウト 設計基準強度 σ_{ck} (N/mm ²)	回帰直線式(①)からの 許容付着応力度(N/mm ²)		地盤工学会基準における 許容付着応力度(N/mm ²)		試験データから提案する 許容付着応力度(N/mm ²)	
	仮設	永久	仮設	永久	仮設	永久
18	1.64	(1.09)	1.00	—	1.50	(1.00)
24	2.00	1.33	1.20	0.80	1.80	1.20
30	2.55	1.70	1.35	0.90	2.00	1.35

※仮設時の許容付着応力度は、永久時の許容付着応力度に安全率($F_s=1.5$)を乗じたものとする。

上表より、回帰直線式(①)から求めた永久時の許容付着応力度は、地盤工学会基準における仮設時の許容値より大きいことがわかる。

よって、今回の試験データから提案する、EB アンカーにおける FLO-BOND を用いた場合の許容付着応力度のうち、永久については、地盤工学会基準における仮設の値を採用し、仮設については永久の値に安全率($F_s=1.5$)を乗じたものとする。

ただし、現段階では、データ数が $n=7$ と少ないことを考慮し、上表中の試験データから提案する、EB アンカーにおける FLO-BOND を用いた場合の許容付着応力度(着色部)は目安値として取り扱うものとする。

3. 基礎的実験結果と極限引抜き力算定のための提案式との関係性について

3.1 砂質土地盤における極限引抜き力の算定のための提案式

日本エキスパンダ・ボディ協会発行の **Expander Body Anchor** 技術資料に掲載されている、砂質土地盤における極限引抜き力の算定のための提案式は以下のとおりである。

・砂質土の場合

$$T_{ug} = P_p + P_s = 0.5 \cdot q_c \cdot A_p + \frac{q_c}{200} \cdot A_s$$

$$T_{ag} = \frac{T_{ug}}{F_s}$$

ここで、**Tug** : 極限引抜き力(kN/本)

Tag : 許容引抜き力(kN/本)

Pp : 支圧抵抗力(kN/本)

Ps : 摩擦抵抗力(kN/本)

qc : コーン貫入抵抗値

qc=392N*(kN/m²)(呼び径 EB-800 は、294N*を基本とする。)

*印 : 設定したアンカー体設置地盤の **Expander Body** 上部の平均 **N** 値とする。

Ap : **Expander Body** の支圧面積(m²)

As : **Expander Body** の周面積(m²)

Fs : 安全率(永久常時 : 2.5 仮設時 : 1.5)

上記の提案式は、チュボタリオフの杭支持力公式に準拠しているが、現在までの実証実験の結果では、その妥当性が確認されている。

3.2 支圧抵抗力 P_p と摩擦抵抗力 P_s との比率について

表 3.1 に各形式の Expander Body に対して、前葉の提案式を用いて算出した、支圧抵抗力と摩擦抵抗力の比率を示す。

また、表 3.2 に今回の基礎的実験の一つである、遠心場引抜試験で用いたアンカー一体の実大換算寸法を示す。

表 3.1 各形式の Expander Body に対する支圧抵抗力と摩擦抵抗力の比率一覧表

形式	注入後の各面積(m ²)		Tug (kN)	各抵抗力(kN)		比率 (P _p : P _s)
	A _p	A _s		P _p	P _s	
EB-517 (残置)	0.2	1.65	0.10825qc	0.1qc	0.00825qc	92 : 8
EB-512 (除去)	0.2	0.85	0.10425qc	0.1qc	0.00425qc	95 : 5
EB-825 (残置)	0.5	3.65	0.26825qc	0.25qc	0.01825qc	93 : 7
EB-815 (除去)	0.5	1.15	0.25575qc	0.25qc	0.00575qc	98 : 2

表 3.2 遠心場引抜試験におけるアンカー一体実大換算寸法一覧表

実験 ケース	支持方式	アンカー体径 D(mm)	アンカー体長 L _a (m)	拡径後の各面積(m ²)	
				A _p	A _s
1	支圧	φ 800	—	0.5	—
2	支圧+摩擦	φ 800	1.0	0.5	2.51
3	支圧+摩擦	φ 800	2.0	0.5	5.03
4	支圧+摩擦	φ 800	3.0	0.5	7.54

上表より、遠心場引抜試験で用いられたアンカー一体は、その実大換算径が D=φ 800mm であり、Expander Body Anchor の EB-800 に相当することがわかる。

また、アンカー体長は、ケース 3 が注入後の EB-825(L_a=2.1m)に近似であるが、その周面積は、試験アンカー一体の方が大きいことがわかる。

そこで、ここでは、ケース 3 に着目し、次葉の図 3.2.1 に示す「拡径型アンカーの遠心場引抜試験」¹⁾から得られた、「摩擦力と変位との関係図」において、支圧(ケース 1)に対する変位曲線が、変位軸とほぼ平行になる変位量 15mm の点を極限状態と捉え、支圧抵抗力 : P_p と摩擦抵抗力 : P_s の比率を試算し、EB-825 の比率と比較検討した。

その際の摩擦力は、比較する諸元を合わせるために、EB-825 の周面積に適合するように低減したものとした。

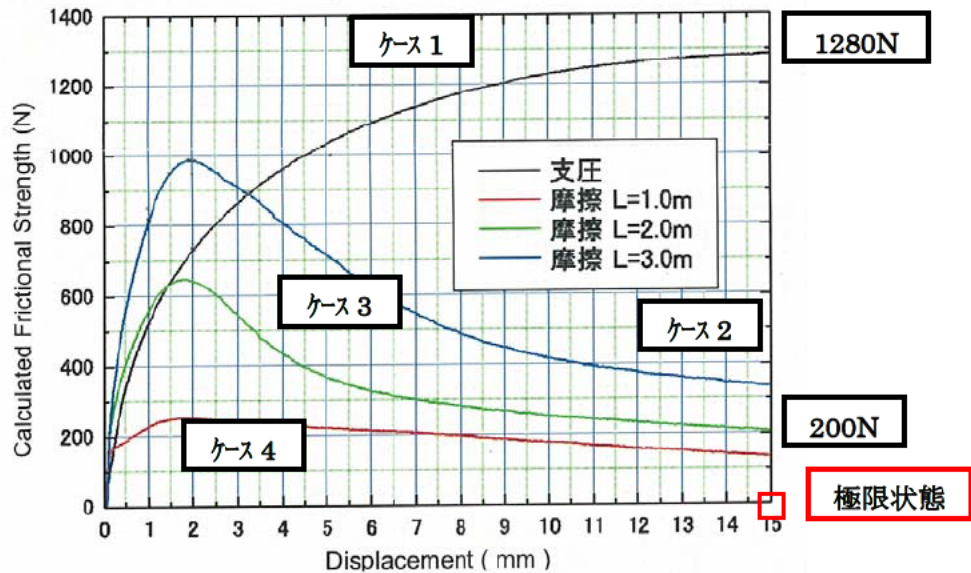


図 3.2.1 遠心場引抜試験結果からの摩擦力と変位との関係図

表 3.3 極限状態における摩擦力低減後の支圧抵抗力と摩擦抵抗力の比率一覧表

実験 ケース	摩擦力低減後の各応力(N)			比率 (Pp : Ps)
	Pp	Ps*	Tug	
3	1280	145	1425	90 : 10 (93 : 7)

*印：低減後の摩擦力 $P_s = 200 \times 3.65 / 5.03 = 145\text{N}$

カッコ()内は、EB-825 における提案式から求めた比率である。

以上の比較結果より、Expander Body Anchor の砂質土に対する極限引抜き力の提案式から算出した、EB-825 の支圧抵抗力と摩擦抵抗力の比率が「93 : 7」であるのに対して、遠心場引抜試験での実物換算のアンカー体寸法が EB-825 に近似なケース 3 での比率は「90 : 10」とほぼ同じであることがわかり、この関係性からも、この提案式の妥当性が窺えるものと考えられる。

4. おわりに

今回の共同研究は、平成 18 年 4 月 1 日から平成 21 年 3 月 31 日の間の 3 年間に渡って実施されたものであり、その目的は、掘割形式の開削工事において、近接する官民境界を越境することなく土砂地盤に定着できる、短いアンカー体長で構成される、拡孔型もしくは拡径型アンカーの設計・施工法の確立というものであった。

この **Expander Body Anchor** は、共同研究スタート時点で、開発国であるスウェーデンより、日本に技術導入されて約 20 年が経過し、その間、主に軟弱地盤での開削工事における山留め支保工として、実用に供され約 100 件近くの施工実績がある状態であった。

すなわち、この **Expander Body Anchor** は、この研究目的を勘案した場合、その要件を十分に満たすものであることより、その優位性が着目され今回の共同研究の対象となったものである。

そこで、このような背景のもと、**Expander Body Anchor** の特性から、①グラウトとテンドンとの付着特性と②基礎的実験結果と極限引抜き力算定のための提案式との関係性について着目し、土木研究所で実施した、基礎的実験結果の一部を引用して工法開発業務を行ったところ、良好な成果が得られ報告書として取りまとめることができた。

この成果は、今後、**Expander Body Anchor** を実用に供する上で、非常に有益なものであると考えられる。

第2部 Expander Body Anchor 設計・施工マニュアル (案)

目 次

I .はじめに.....	18
II .Expander Body Anchorの概要.....	19
1.Expander Body Anchorとは	19
2.Expander Body Anchorの特長.....	22
3.Expander Body Anchorを構成する要素	23
3-1 Expander Body本体の形式および仕様.....	26
3-2 ソイレックスチューブ	27
3-3 引張り材使用可能本数	28
III.Expander Body Anchorの設計.....	29
1.設計に必要な基本事項.....	29
1-1 設計に必要な調査.....	29
1-2 与条件の整理.....	29
1-3 Expander Body Anchorの設計上の基本事項.....	30
a)アンカー体設置地盤の選定.....	30
b)Expander Body本体の選定	31
c)アンカー傾角	31
d)アンカー自由長	32
e)アンカー間隔	33
f)グラウトとテンドンとの許容付着応力度	33
g)極限引抜き力および許容引抜き力の算定	35
2.具体的な設計例.....	38
2-1 設計フロー	38
2-2 設計例	39
a)与条件の整理	39
b)アンカー体設置地盤の設定.....	39

c)使用するExpander Body本体および引張り材の選定	39
d)Expander Body Anchor設置条件の決定	39
e)極限引抜き力および許容引抜き力の算定	40
f)設計アンカー力およびアンカー間隔の算定	43
g)設計アンカー力の決定	43
h)テンドンの仕様の決定	43
i)テンドンの付着長の照査	44
j)構造物全体の安定計算例	44
III.Expander Body Anchorの施工	45
1.基本条件	45
2.施工手順	45
3.施工方法	48
3-1 残置式の場合	48
3-2 除去式の場合	49
4.主な施工機械	50
5.グラウトの標準配合および使用量	51
5-1 標準配合	51
5-2 使用量	51
6.仮設備	52
6-1 電力設備	52
6-2 給水設備	52
6-3 排水設備	52
6-4 プラント設備	52
6-5 テンドン加工場設備	52
7.施工管理	52
IV.参考資料	56

I.はじめに

本書は、平成18年4月1日から平成21年3月31日の間に実施した、独立行政法人 土木研究所 施工技術チーム(以下、「土研」と称する.)とケミカルグラウト株式会社(以下、「ケミカルグラウト」と称する.)との共同研究である、「掘割構造等の設計の体系化に関する研究」に伴う「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究(その3)」の成果について取りまとめた、「Expander Body Anchor」の設計・施工マニュアル(案)である。

この Expander Body Anchor は、アンカー体長が最大で 2.1m の一種の拡孔型アンカーであり、開発国であるスウェーデンより、日本に技術導入されて約 20 年が経過し、その間、主に軟弱地盤での開削工事における山留め支保工として、実用に供され約 100 件近くの施工実績がある。

また、今回の共同研究の目的は、掘割形式の開削工事において、近接する官民境界を越境することなく土砂地盤に定着できる、短いアンカー体長で構成される、拡孔型もしくは拡径型アンカーの設計・施工法の確立である。

すなわち、この Expander Body Anchor は、この研究目的を勘案した場合、その要件を十分に満たすものであることより、その優位性が着目され今回の共同研究の対象となったものである。

本マニュアルは、このような経緯に鑑み、日本エキスパンダ・ボディ協会編集の「グラウト加圧による拡孔型アンカー Expander Body Anchor 技術資料 平成14年6月」をベースにし、今回の共同研究において、土研およびケミカルグラウト両者で得られた研究成果を盛り込んで作成・編集したものである。

<参考文献および資料>

1) 拡孔型アンカーの遠心場引抜試験 グラウンドアンカー 引抜き試験 山留め

(独)土木研究所 正会員 ○小林悟史 大下武志 宇田川義夫

2) 支圧面形状が異なる支圧型アンカーの強度特性 グラウンドアンカー 引抜き試験 山留め

(独)土木研究所 正会員 ○小林悟史 大下武志 宇田川義夫

3) 複数の支圧板を有するアンカーの引抜試験 独立行政法人 土木研究所 正会員 ○小林 悟史 独立行政法人 土木研究所 正会員 大下 武志 独立行政法人 土木研究所 正会員 宇田川義夫 (株) フジタ 正会員 波田 光敬

4) F L O - B O N D におけるグラウトの設計基準強度と付着応力度との関係式について

平成20年5月15日 ケミカルグラウト(株)

5) 地盤工学会基準 グラウトアンカー設計・施工基準, 同解説(JGS4101-2000) 社団法人 地盤工学会

6) グラウト加圧による拡孔型アンカー Expander Body Anchor 技術資料 平成14年6月

日本エキスパンダ・ボディ協会

II. Expander Body Anchorの概要

1. Expander Body Anchorとは

Expander Body Anchor は、薄い鉄板を折り畳んで作られた下図に示す、Expander Body 本体を土中の任意の深度および位置に設置し、セメントミルクによるグラウトを用いて加圧・膨張させ、この膨張した球根状のアンカー体にテンドンを定着させる、拡孔型アンカーの一種である。

球根状のアンカー体内にテンドンを定着させる残置式とそのアンカー体の外周にテンドンを配置する除去式の2種類がある。当工法の施工手順の概要を図-I-1, 2に示す。



写真-I-1 Expander Body本体の形状例

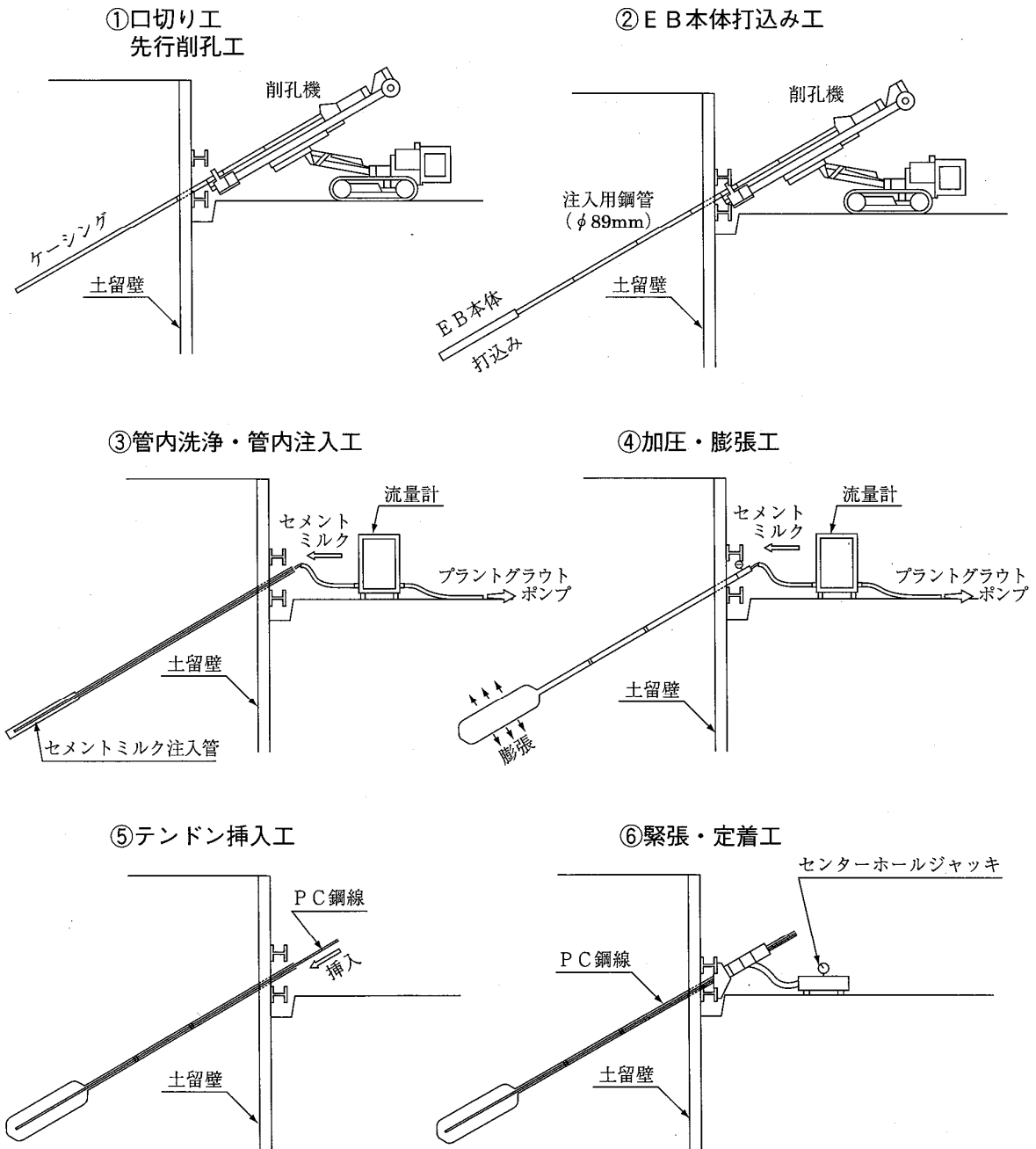


図-I-1 残置式の標準手順図

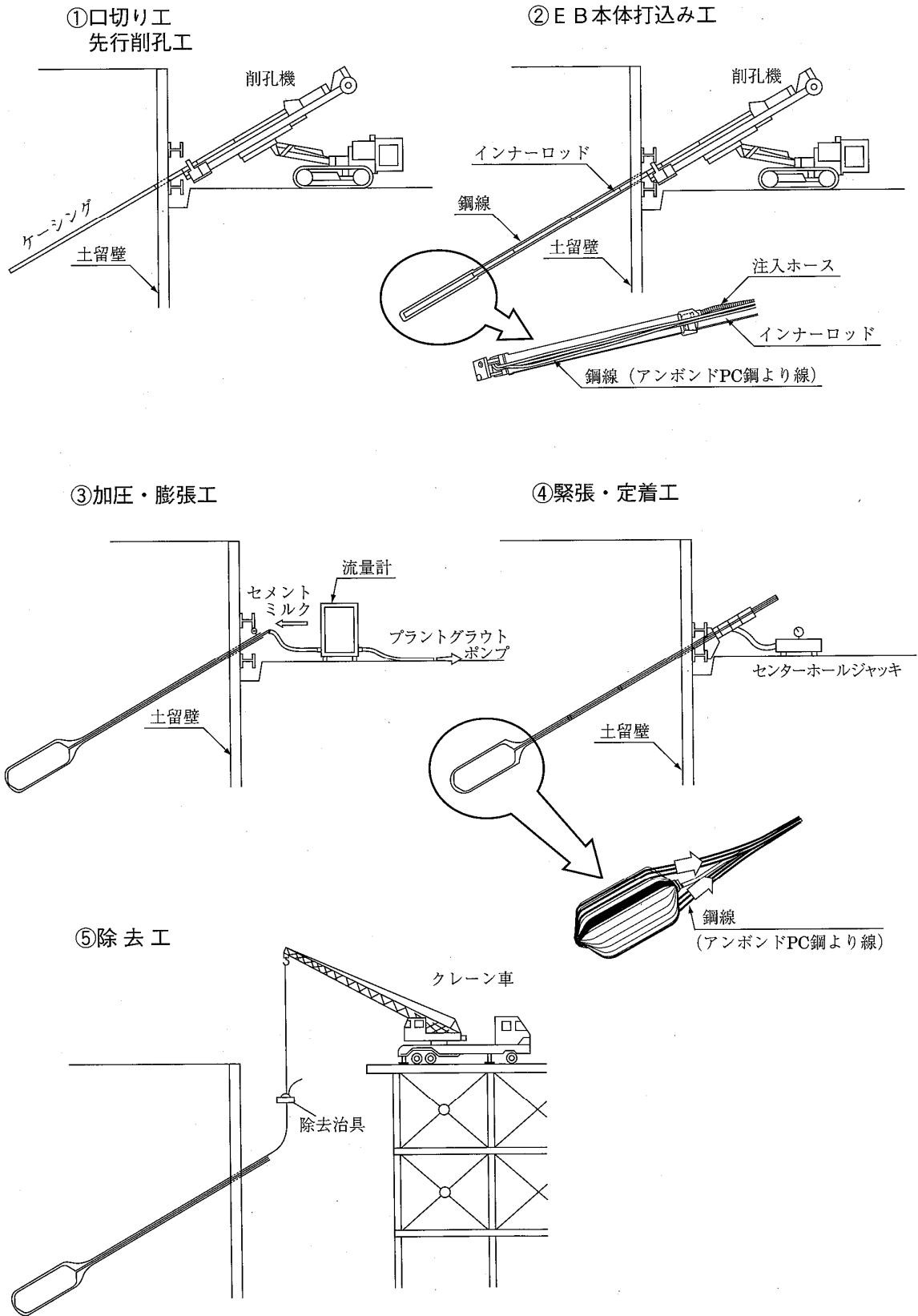


図-I-2 除去式の標準手順図

2. Expander Body Anchorの特長

Expander Body Anchorの特長は以下のとおりである。

①軟弱地盤に高耐力のアンカーが施工可能である。

軟弱地盤(粘性土 N 値<15 砂質土 N 値<30)に短いアンカー体長で高耐力のアンカーが施工できる。例えば、N 値≒30 の砂質土で 1600kN/本(EB-825 使用)のアンカーが造成できる。

②アンカー長の短縮が可能である。

アンカー体長部が球根状であり、耐力が十分に見込めることから、従来の摩擦型アンカーに比べアンカー長を短くできる。

③除去アンカーの削減が可能である。

アンカー長が短くて済む分、狭い敷地内にアンカー体を収めることへの可能性を高めた。

④工期の短縮が可能である。

残置き式の場合、鋼製チューブを用いることにより、直接打撃貫入でき、かつ注入作業は容易で別工程で施工できるので、施工速度に優れ、工期の大幅な短縮ができる。

⑤アンカー定着体の施工が確実である。

グラウト注入は、Expander Body 本体内に限定され逸散しないので、施工管理が容易であり、確実な施工ができる。

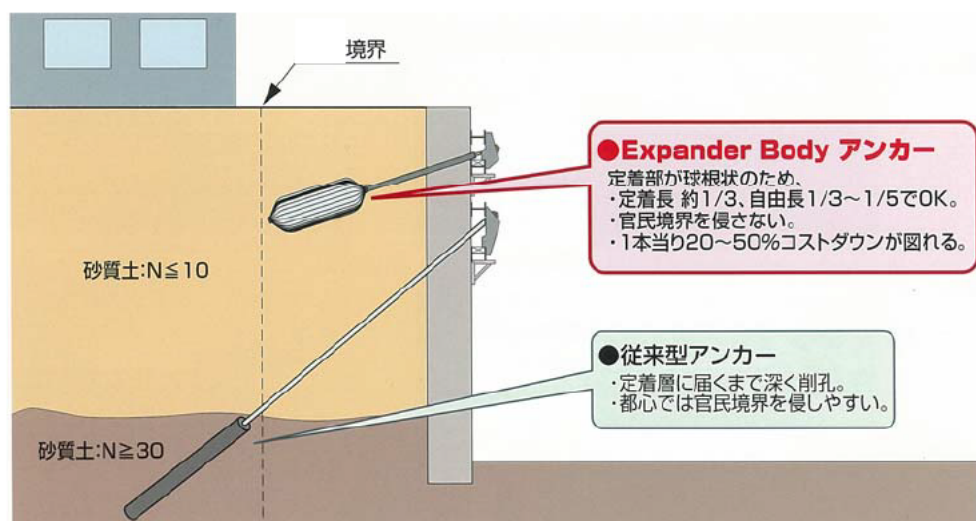
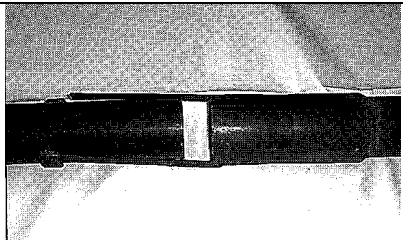



図- I -3 Expander Body Anchorの適用例

3.Expander Body Anchorを構成する要素

Expander Body Anchor は、下表に示すように 4 つの要素で構成されている。アンカー頭部およびテンドンは、一般に使用されているものを用いる。

表-I-1 Expander Body Anchorの構成要素一覧表

アンカー頭部		一般に供されている任意の工法	
テンドン		一般に市販されている、PC 鋼より線・アンボンド PC 鋼より線・エポキシ樹脂 PC 鋼より線・PC 鋼棒など	
自由 長 部	ソイレックス チューブ	簡易な継ぎ足しが可能なソイレックスチューブは、打ち込み、注入および防食の 3 つの目的で使用(残置式)	
	グラウトホース	Expander Body 本体に連結された耐圧グラウトホースを使用(除去式)	
アン カ ー 体 長 部	Expander Body	折り畳み式の長方形鋼管 最大圧力 5.0MPa 以下で、グラウトにより加圧・膨張させる。 膨張した Expander Body 本体の直径は、形式に応じて 500~800mm に拡孔される。 膨張後、規定のサイズと形状を持つ堅いアンカー体が形成可能	

次葉以降の図-I-4 に残置式、図-I-5 に除去式の Expander Body Anchor のイメージ図を示す。

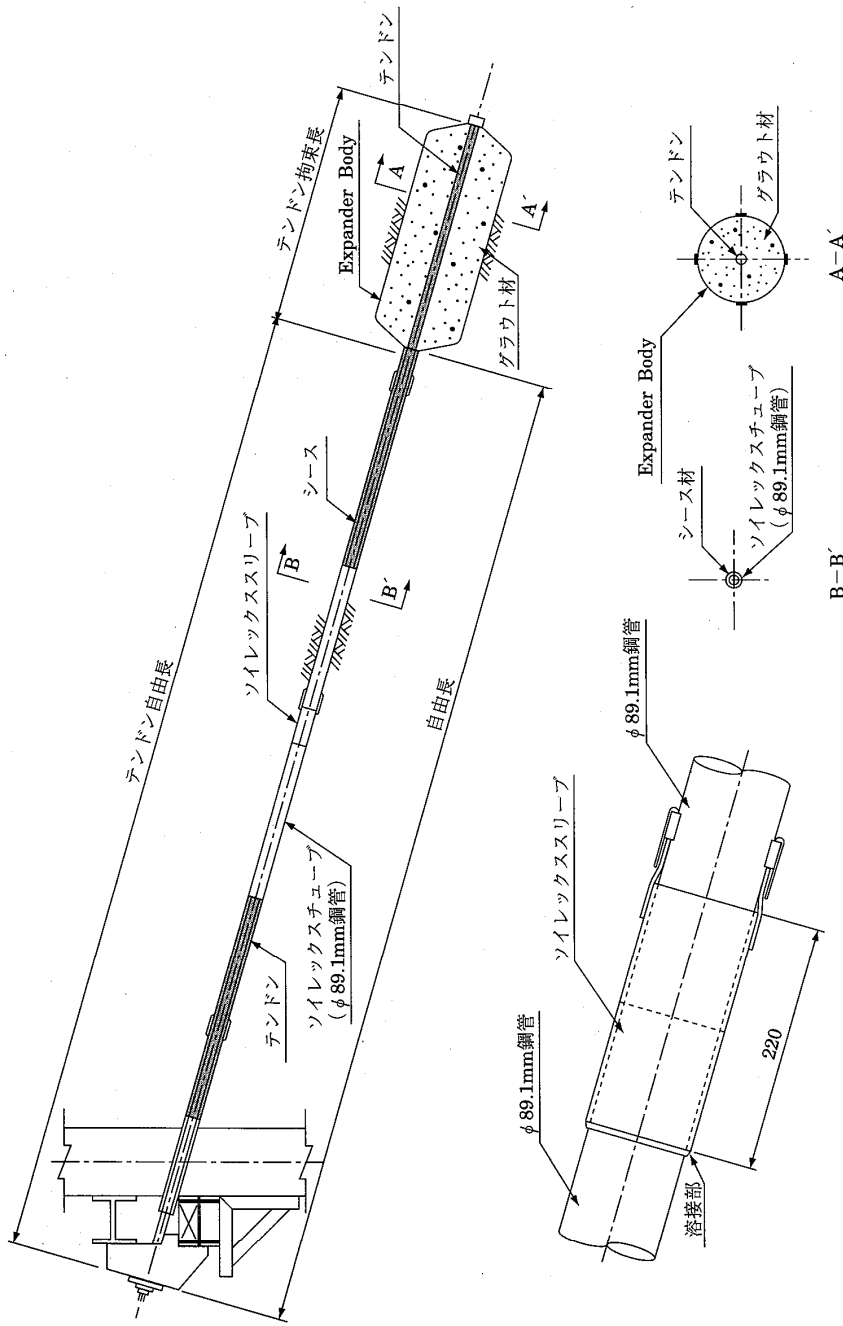
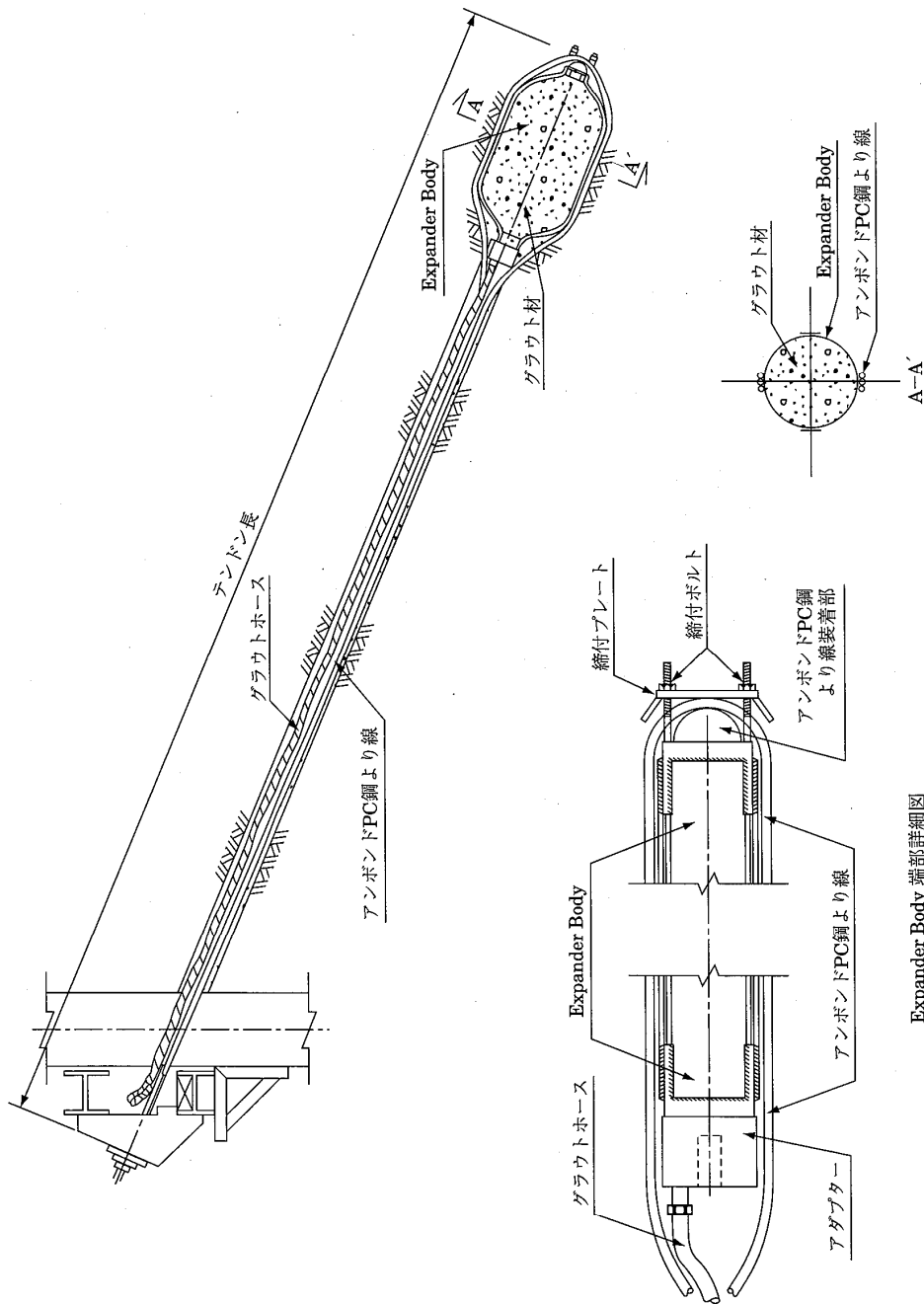


図-I-4 残置式Expander Body Anchorのイメージ図

[註] ソイレックスチューブとは、φ89.1mm鋼管とソイレックススリーブを組上げたものを言う。

φ89.1mmソイレックスチューブ接合部拡大図



Expander Body 端部詳細図

* 図中の右端が先端部であり
左側が肩部である。

図- I -5 除去式Expander Body Anchorのイメージ図

3-1 Expander Body本体の形式および仕様

Expander Body 本体の膨張過程を写真-I-2 に、また、形式および仕様を表-I-2 にそれぞれ示す。

写真の中の①が加圧注入を開始した初期段階であり、②が途中段階、③が最終段階の写真であり、EB 本体の中央部から膨張が始まり、それが先端部と肩部に進行してゆく様子がわかる。

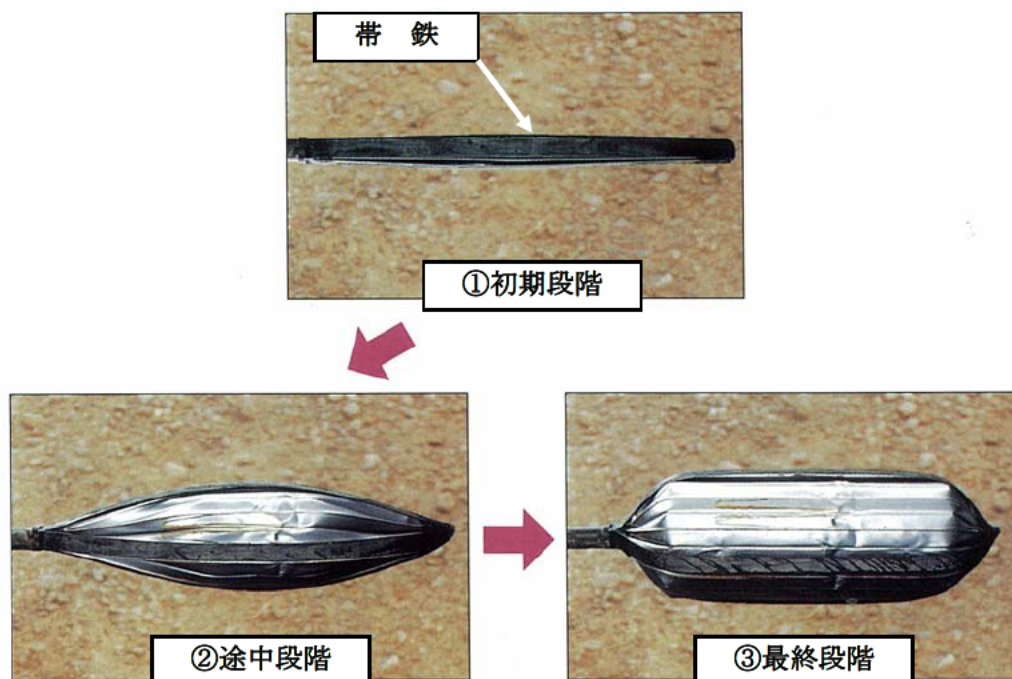


写真-I-2 Expander Body本体の膨張過程

表-I-2 Expander Body本体の形式および仕様

Expander Body		注 入 前					注 入 後				
呼び径	形式	長さ (m)	断面 (mm)	注入口 (mm)	質量 (kg)	最小 削孔径 (mm)	長さ ℓ (m)	直径 D (m)	支圧 面積 A_p (m^2)	周 面積 A_s (m^2)	体積 V (ℓ)
EB-500	EB-517 (残置)	1.7	□80	59×42	35	ϕ 115	1.5	0.5	0.2	1.65	220
	EB-512 (除去)	1.2	□80	59×42	26	ϕ 135	1.0	0.5	0.2	0.85	125
EB-800	EB-825 (残置)	2.5	□110	84×67	80	ϕ 135	2.1	0.8	0.5	3.65	845
	EB-815 (除去)	1.5	□110	84×67	54	ϕ 146	1.1	0.8	0.5	1.15	340

3-2 ソイレックスチューブ

ソイレックスチューブとは、 $\phi 89.1\text{mm}$ (肉厚 5.5mm)の鋼管とソイレックススリーブ(特殊接合部)から構成され、互いに工場溶接された一体のパイプを称したものである。

このソイレックスチューブは、打ち込み、注入用鋼管として使用されるが、これを用いることにより、継ぎ足しが早く効率のよい施工が可能である。

なお、ソイレックススリーブを含めたソイレックスチューブは、全て国産品である。図-I-6に、ソイレックススリーブのイメージ図を示す。

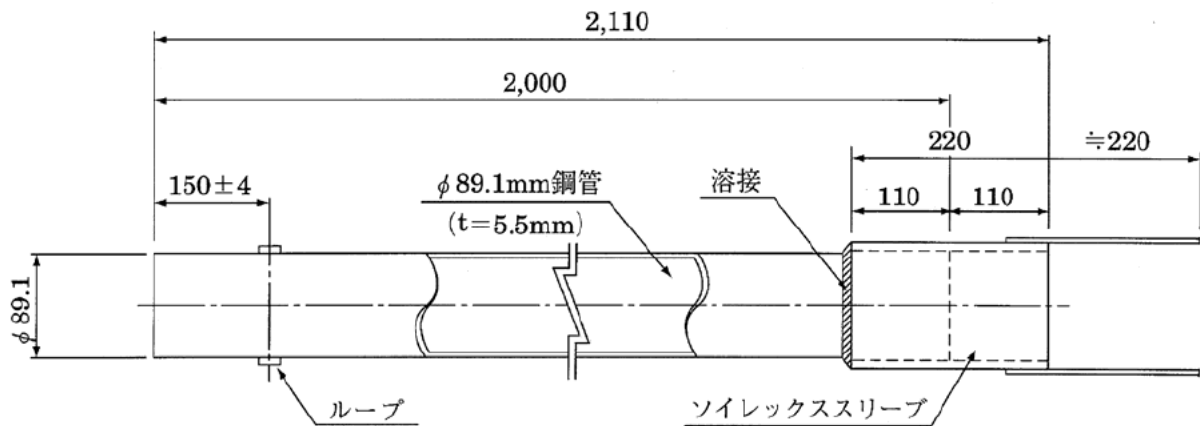


図-I-6 ソイレックスチューブ(長さ 2,000mmの場合)イメージ図

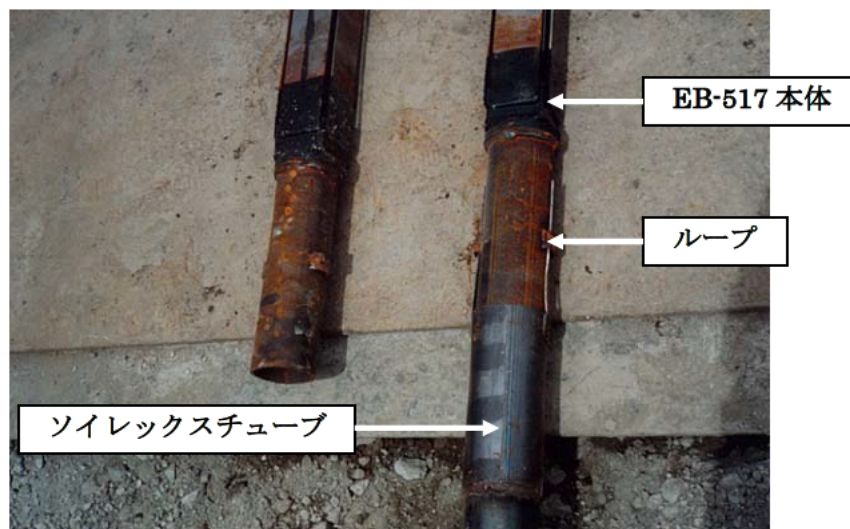


写真-I-3 ソイレックスチューブ継ぎ足し状況

3-3 引張り材使用可能本数

テンドンは、原則として JIS G 3536 に適合する PC 鋼より線、JIS G 3109 に適合する PC 鋼棒および異形 PC 鋼棒などを使用するものとする。

表-I-3 は、Expander Body 本体の種類により、挿入または装着出来る引張り材の本数を示す。

表-I-3 Expander Body本体の種類と挿入または装着出来る引張り材の本数一覧表

Expander Body 本体				引張り材
呼び径	形式	注入口サイズ (mm)	長さ (m)	最大本数×径 (本) (mm)
EB-500	EB-517 (残置)	59×42	1.7	注) 7×φ12.7, 5×φ15.2 6×φ12.7 1×φ32
	EB-512 (除去)	59×42	1.2	6×φ12.7, 6×φ15.2 (アンボンドPC鋼より線)
EB-800	EB-815 (残置)	84×67	2.5	注) 13×φ12.7, 11×φ15.2 12×φ12.7 1×φ36
	EB-825 (除去)	84×67	1.5	8×φ12.7, 8×φ15.2 (アンボンドPC鋼より線)

注) 上段：PC 鋼より線
中段：PC 鋼より線 (エポキシ樹脂塗布)
下段：PC 鋼棒

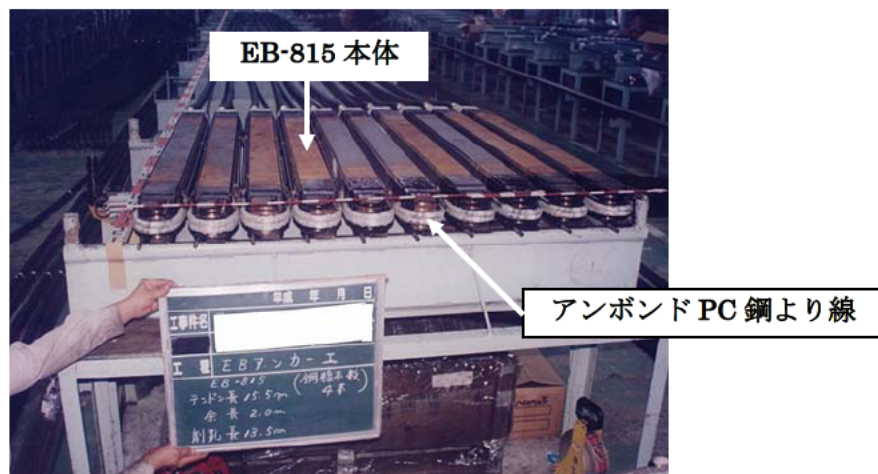


写真-I-4 アンボンドPC鋼より線装着状況

III. Expander Body Anchorの設計

Expander Body Anchor の設計法は、基本的には「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)」を参考に取りまとめるものとする。

ただし，Expander Body Anchor は，支圧型アンカー工法[※]に属するので，この点を重視し，設計に必要な基本事項と具体的な設計例について述べる。

また，テンドンとグラウトの許容付着応力度については，従来のストレートの摩擦型アンカーと異なり，Expander Body Anchor は，その特長(鋼製の袋状のアンカー体に土砂の混入がない，フレッシュなグラウトの塊の造成が可能など)から，現行の基準値よりも大きく取れることが，今回の研究成果より判明しているため，本マニュアルでは，これから得られた値を採用することとする。

※印：基本的にはアンカーの支持方式による分類では，支圧抵抗と周面摩擦抵抗を併せ持つ複合方式に属するが，支圧抵抗>周面摩擦抵抗となるので，支圧型アンカーと捉えている。

1.設計に必要な基本事項

1-1 設計に必要な調査

Expander Body Anchor は，Expander Body 本体を地盤中に設置し，グラウトにより加圧・膨張させる，いわゆる「拡孔型アンカー工法」である。

そのため，施工対象地盤の物性，特に締り具合などにより，直接打撃貫入が出来ない場合もあり，そのアンカーの施工地盤にも自ずと制約が生じる。

これらを判断する資料としては，計画地点の土質柱状図，N値，コーン貫入試験および各種力学特性試験結果が必要となる。

特に，地表面に近い盛土層(埋立層)ではレンガ塊，玉石，コンクリート塊が混入しているケースもあり，注意を要する。さらに，粘性土がアンカー体設置地盤となる場合には，上述した各資料のほか，圧密特性試験結果が必要となる場合もある。

1-2 与条件の整理

計画対象となる構造物の形状，地盤条件，アンカーの目的およびアンカーの施工条件をそれぞれ整理する。

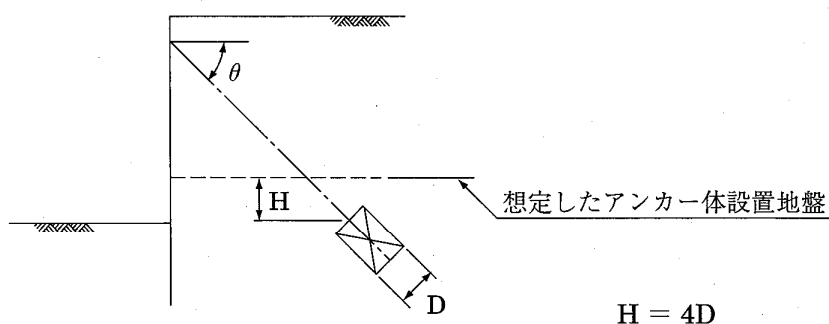
特に Expander Body Anchor は，グラウトにより強制的に加圧・膨張させる「拡孔型アンカー」であり，隣接する構造物の基礎形状や，官民境界などの立地条件および当アンカーが設置される敷地の将来計画についても，確認しておくことが必要である。

1-3 Expander Body Anchorの設計上の基本事項

a)アンカー体設置地盤の選定

Expander Body Anchor におけるアンカー体設置地盤は、N値<30の砂質地盤が最適であるが、事前に原位置で引抜き試験を実施し、諸特性を把握しておくことが望ましい。

アンカー体設置地盤は、N値がほぼ均質(均一)となる土質から選定されるが、その必要な層厚を図-II-1に示す。

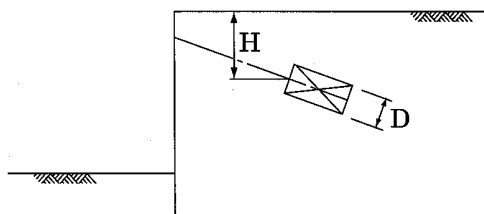


ここで、H：必要とするアンカー体設置地盤の厚さ

D：使用する Expander Body の膨張後の直径

図-II-1 アンカー体設置地盤の必要層厚イメージ図

また、アンカー体設置地盤が地表面付近に存在し、そこでもアンカー体の設置が可能となった場合には、その土被りが薄いと地表面方向に向かう受働破壊が発生する恐れがあるので、図-II-2に示す土被りが原則として必要である。



H：地表面からの距離

D：使用する Expander Body の膨張後の直径

図-II-2 Expander Body Anchorの最小土被りイメージ図

b) Expander Body 本体の選定

Expander Body 本体の仕様は、前項の表-I-2(P-9 参照)に示すとおりである。表-II-1 は砂質土地盤をアンカー一体設置地盤とした場合の平均 N 値と Expander Body Anchor の許容引抜き力(仮設時)との関係を示すものである。

したがって、計画しているアンカーの用途や設計アンカー力(Td)などを勘案しながら、表-II-1 を用いて、Expander Body 本体の選定を行う。

$$\text{設計アンカー力 (Td)} \quad Td = \frac{R \cdot t}{\cos \theta}$$

R : 支点反力 (kN/m)

t : アンカーピッチ (m)

θ : アンカー傾角 (°)

表-II-1 Expander Body Anchorの許容引抜き力(仮設時)一覧表

形 式	砂質土の平均 N 値		
	10	20	30
EB-517 (残置)	284	566	832*
EB-512 (除去)	273	545	642*
EB-825 (残置)	526	1050	1546*
EB-815 (除去)	501	856*	856*

(kN/本)

*印 : 引張り材(ϕ 12.7mm PC 鋼より線)の最大使用本数から算定した値である。

c) アンカー傾角

従来の摩擦型アンカー工法においては、グラウトのブリーディングおよび残留スライムによる影響を排除するために、アンカー傾角は水平面より $-5^\circ \sim +5^\circ$ の範囲を避けている。

山留め支保工を目的とした Expander Body Anchor のアンカー傾角は、アンカー打設位置とアンカー一体設置地盤との位置関係より求まるが、その角度は、従来の摩擦型アンカー工法の考え方に準じて、水平面より $-5^\circ \sim +5^\circ$ の範囲を避けることを原則とする。

d)アンカー自由長

Expander Body Anchor のアンカー自由長は、原則として 4.0m 以上もしくは、主働崩壊面以深までの長さとする。一般に主働崩壊面は、図-II-3 のように示されている。

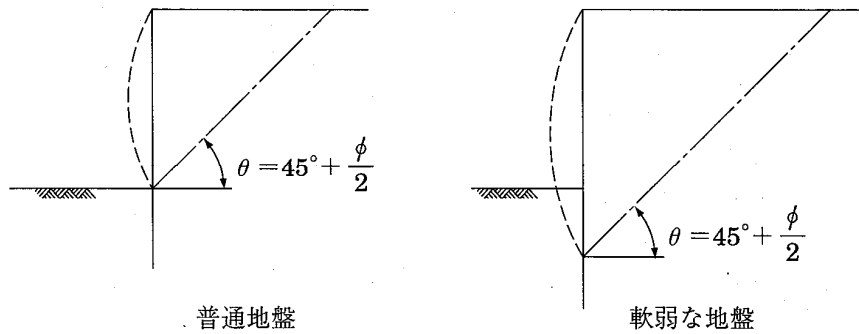


図-II-3 一般的な主働崩壊面に関するイメージ図

しかし、Expander Body Anchor 工法は、軟弱な地盤を対象とする可能性が高いので、アンカー自由長は図-II-4 に示すように設定する。

ただし、Expander Body Anchor は、支圧型アンカーの一種であることより、掘削深さが深く、多段式アンカーとなる場合などについては、円弧すべり計算などの手法を用いて、所定の安全率を満足する円弧の外側にアンカー体が配置されるように、アンカー自由長を決定する必要がある。

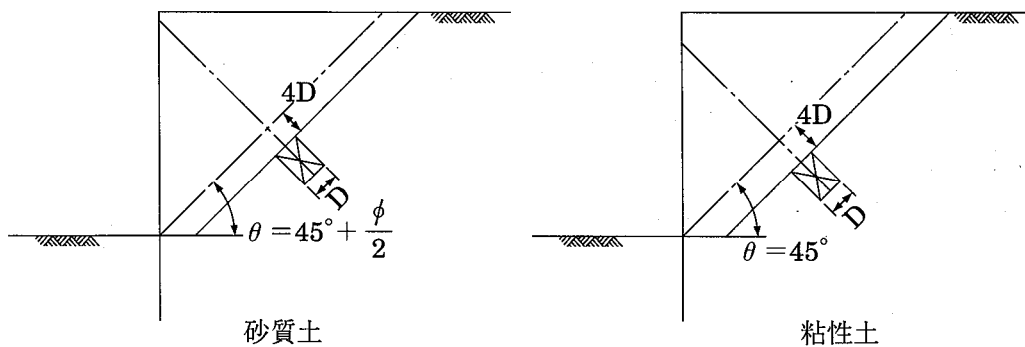


図-II-4 設計時における主働崩壊面からのEB本体の最小離れに関するイメージ図

e)アンカー間隔

Expander Body Anchor のアンカー間隔は，原則として表-II-2 に示す，最小間隔を満足するように配置計画を行うことを原則とする。

配置計画において，アンカー反力などの関係で，山留め壁側のアンカー間隔を最小間隔より狭くしなければならないケースが度々発生するが，その際には，Expander Body 本体の中心間隔が，この最小間隔を満足するように隣接するアンカーのアンカー傾角を互い違いにする千鳥配置にして，アンカー自由長を調整することで配置を可能にする方法もある。

表-II-2 Expander Body Anchorの最小間隔一覧表

アンカー体設置地盤	最小間隔 t _{min}
砂質土	3D
粘性土	4D

注) D : Expander Body 本体の注入後の直径

f)グラウトとテンドンとの許容付着応力度

Expander Body Anchor は，鋼製の袋状のアンカー体に土砂の混入がない，フレッシュなグラウトの塊の造成が可能であるなどの特長がある。

そこで，当工法におけるテンドンとグラウトの許容付着応力度については，従来のストレートの摩擦型アンカーと異なり，「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」の推奨値よりも大きく取れることが，今回の研究成果より判明しているため，本マニュアルでは，汎用性の高いPC鋼より線に関する成果を取りまとめた，表-II-3 の値を目安値として採用することとする。

表-II-3 Expander Body Anchorにおける許容付着応力度

用途	引張り材の種類	グラウトの設計基準強度 (N/mm ²)		
		18	24	30
仮設	PC鋼より線 PC鋼より線 (エポキシ樹脂塗布)	1.50	1.80	2.00
永久	PC鋼より線 PC鋼より線 (エポキシ樹脂塗布)	(1.00)	1.20	1.35

注)上表の数値に対する根拠については，巻末の参考資料-4「FLO-BONDにおけるグラウトの設計基準強度と付着応力度との関係について」を参照。

<参考-1>

(1) 共同研究成果(その1)

① φ12.7mmFLO-BOND*におけるグラウトの圧縮強度と付着応力度との関係⁴⁾

*印：エポキシ樹脂を塗布したPC鋼より線

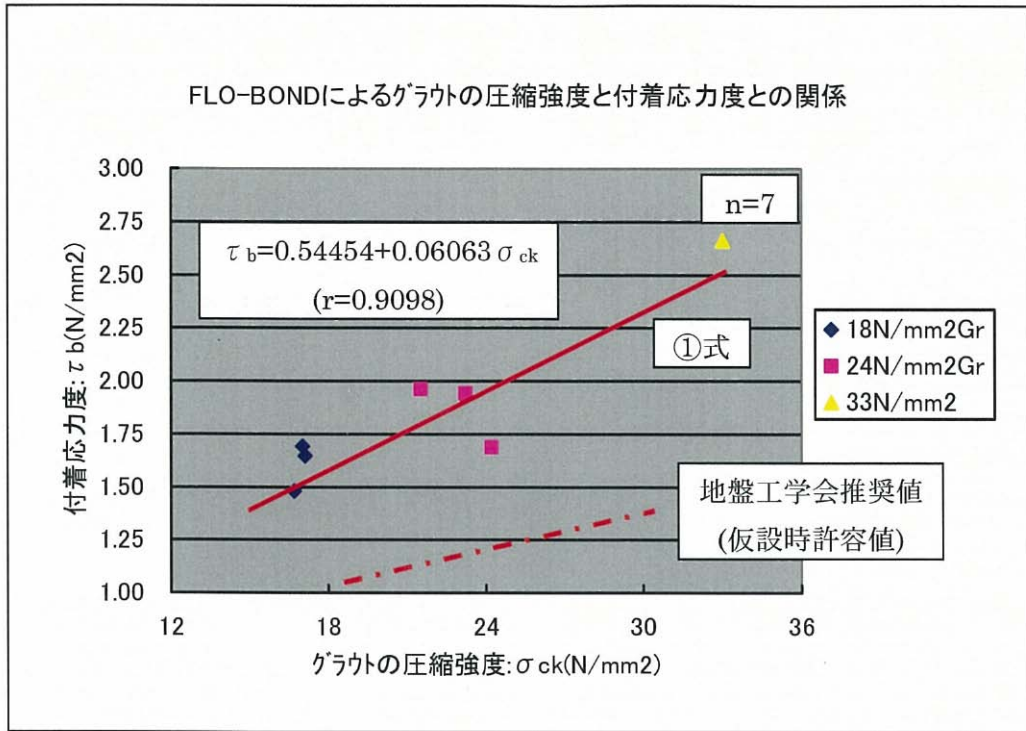


図-II-5 FLO-BONDによるグラウトの圧縮強度と付着応力度との関係グラフ

(2) 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⁵⁾からの抜粋

表-II-4 解説表-6.2 許容付着応力度 (N/mm²)

用途	グラウトの設計基準強度	18	24	30	40以上
	引張り材の種類				
仮設	PC鋼線 PC鋼棒 PC鋼より線 多重PC鋼より線	1.0	1.2	1.35	1.5
	異形PC鋼棒	1.4	1.6	1.8	2.0
永久	PC鋼線 PC鋼棒 PC鋼より線 多重PC鋼より線	—	0.8	0.9	1.0
	異形PC鋼棒	—	1.6	1.8	2.0

g) 極限引抜き力および許容引抜き力の算定

一般的な支圧型アンカー工法の引抜き力は、支圧体であるアンカー体が予定の拡孔形状に造成されているか否かという施工上の問題や、アンカー体設置地盤の不均一性などにより左右される傾向がある。

この Expander Body Anchor の設計・計画の際に、必要となる引抜き力は、基本的には「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)」に準じて、原位置において引抜き試験などを実施して決定することが望ましい。

しかし、設計・計画立案時点において、原位置での引抜き試験などが出来ない場合には、以下に示す提案式で算定することとするが、砂質土に比べ施工実績の少ない粘性土に関する提案式は現時点では参考とする。

・砂質土の場合

$$T_{ug} = P_p + P_s = 0.5 \cdot q_c \cdot A_p + \frac{q_c}{200} \cdot A_s$$
$$T_{ag} = \frac{T_{ug}}{F_s}$$

ここで、 T_{ug} : 極限引抜き力(kN/本)

T_{ag} : 許容引抜き力(kN/本)

P_p : 支圧抵抗力(kN/本)

P_s : 摩擦抵抗力(kN/本)

q_c : コーン貫入抵抗値

$q_c=392N^*(kN/m^2)$ (呼び径 EB-800 は、 $294N^*$ を基本とする。)

*印：設定したアンカー体設置地盤の Expander Body 上部の平均 N 値とする。

A_p : Expander Body の支圧面積(m^2)

A_s : Expander Body の周面積(m^2)

F_s : 安全率(永久常時 : 2.5 仮設時 : 1.5)

上記の提案式は、チュボタリオフの杭支持力公式に準拠しているが、現在までの実証実験の結果では、その妥当性が確認されている。

また、各形式の Expander Body に対して、この提案式を用いて算出した、支圧抵抗力と摩擦抵抗力の比率を求めてみると、この比率が、今回の共同研究で土研が豊浦砂を対象に実施した、「拡径型アンカーの遠心場引抜き試験」¹⁾の成果から得られた、極限状態*における支圧抵抗力と摩擦抵抗力の比率とほぼ同じような傾向を示すことが確認されている。(次葉の<参考・2>②および③参照)

すなわち、このことから上記の提案式の妥当性が窺えるものと考えられる。

*印：土研が実施した「拡径型アンカーの遠心場引抜き試験」¹⁾の論文中の図 4 において、支圧に対する変位曲線が、変位軸とほぼ平行になる変位量 15mm の点を極限状態と定義した。

<参考-2>

①粘性土の場合の極限引抜き力に対する提案式

$$T_{ug} = P_p + P_s = 10C_u \cdot A_p + \alpha \cdot C_u \cdot A_s$$

$$T_{ag} = \frac{T_{ug}}{F_s}$$

ここで、 T_{ug} : 極限引抜き力(kN/本) T_{ag} : 許容引抜き力(kN/本)

P_p : 支圧抵抗力(kN/本) P_s : 摩擦抵抗力(kN/本)

C_u : 粘着力(kN/m²)

A_p : Expander Body の支圧面積(m²)

A_s : Expander Body の周面積(m²)

F_s : 安全率(永久常時 : 2.5 仮設時 : 1.5)

α : 低減係数 $C_u \geq 50 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \alpha = 0.5$

$C_u < 50 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \alpha = 0.8$

②砂質土の場合の提案式における支圧抵抗力 : P_p と摩擦抵抗力 : P_s との比率について

表-II-5 各形式のExpander Bodyに対する支圧抵抗力と摩擦抵抗力の比率一覧表

形式	注入後の各面積(m ²)		Tug (kN)	各抵抗力(kN)		比率 (P_p : P_s)
	A_p	A_s		P_p	P_s	
EB-517 (残置)	0.2	1.65	0.10825qc	0.1qc	0.00825qc	92 : 8
EB-512 (除去)	0.2	0.85	0.10425qc	0.1qc	0.00425qc	95 : 5
EB-825 (残置)	0.5	3.65	0.26825qc	0.25qc	0.01825qc	93 : 7
EB-815 (除去)	0.5	1.15	0.25575qc	0.25qc	0.00575qc	98 : 2

③遠心場引抜試験から得られた支圧抵抗力 : P_p と摩擦抵抗力 : P_s の比率について

表-II-6 遠心場引抜試験におけるアンカー体実大換算寸法一覧表

実験 ケース	支持方式	アンカー体径 D(mm)	アンカー体長 La(m)	拡径後の各面積(m ²)	
				A_p	A_s
1	支圧	φ 800	—	0.5	—
2	支圧+摩擦	φ 800	1.0	0.5	2.51
3	支圧+摩擦	φ 800	2.0	0.5	5.03
4	支圧+摩擦	φ 800	3.0	0.5	7.54

前葉の表-II-6より、遠心場引抜試験で用いられたアンカー体は、その実大換算径が $D = \phi 800\text{mm}$ であり、Expander Body Anchor の EB-800 に相当することがわかる。

また、アンカー体長は、ケース 3 が注入後の EB-825 ($L_a = 2.1\text{m}$) に近似であるが、その周面積は、試験アンカー体の方が大きいことがわかる。

そこで、ここでは、ケース 3 について、下図に示す「拡径型アンカーの遠心場引抜試験」¹⁾ から得られた、「摩擦力-変位曲線」図において、支圧(ケース 1)に対する変位曲線が、変位軸とほぼ平行になる変位量 15mm の点を極限状態と捉え、支圧抵抗力 : P_p と摩擦抵抗力 : P_s の比率を試算し、EB-825 の比率と比較検討する。

その際の摩擦力は、比較する諸元を合わせるために、EB-825 の周面積に適合するように低減したものとす。

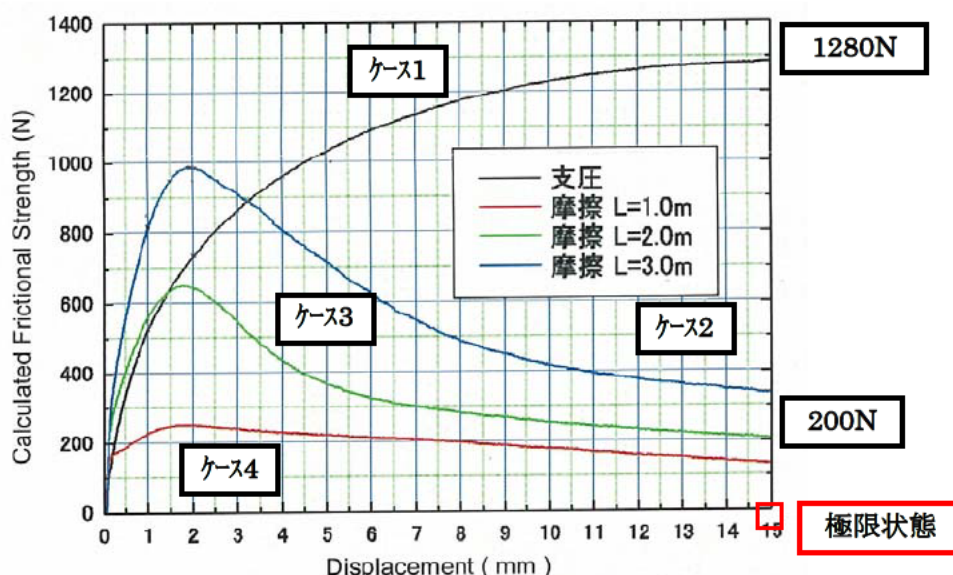


図 4 摩擦力-変位曲線

図-II-6 遠心場引抜試験における摩擦力-変位曲線図

表-II-7 極限状態における摩擦力低減後の支圧抵抗力と摩擦抵抗力の比率一覧表

実験 ケース	摩擦力低減後の各応力(N)			比率 ($P_p : P_s$)
	P_p	P_s^*	T_{ug}	
3	1280	145	1425	90 : 10

*印：低減後の摩擦力 $P_s = 200 \times 3.65 / 5.03 = 145\text{N}$

以上より、Expander Body Anchor の砂質土に対する極限引抜き力の提案式から算出した、EB-825 の支圧抵抗力と摩擦抵抗力の比率が「93 : 7」であるのに対して、遠心場引抜試験での実物換算のアンカー体寸法が EB-825 に近似なケース 3 での比率は「90 : 10」とほぼ同じであることがわかる。

すなわち、この結果からも、この提案式の妥当性が窺えるものと考えられる。

2.具体的な設計例

2-1 設計フロー

具体的な設計は、以下の設計フロー図に基づいて実施し、次葉以降に設計例を示す。ただし、以下の設計フローにおいて、で囲った項目の説明は省略する。

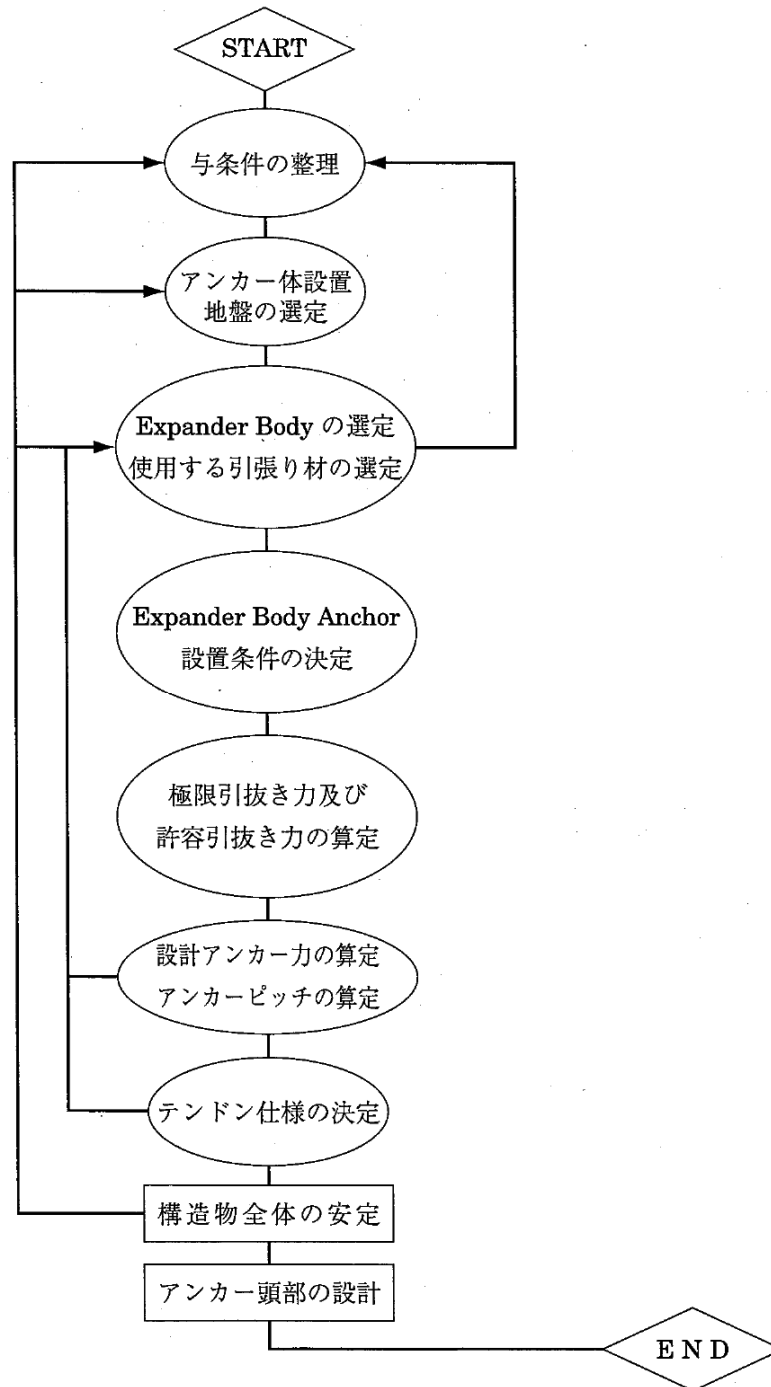


図-II-7 設計フロー図

2-2 設計例

a)与条件の整理

当該工事箇所の周辺地盤の土質柱状図および掘削断面は図・II-8 の設計断面図に示す。仮設山留め計算書によると、山留め壁はソイルセメント連続壁であり、応力材は H-396×199×7×11@1.0m という仕様となっている。

当該工事の条件のうち、構造物(地下躯体)の関係から、掘削深さが H=5.45m と浅いので、1 段アンカーとし、その深度は GL-1.5m とする。

また、アンカー位置における支点反力は、仮設山留め計算書より $R_1=122\text{kN/m}$ とする。

b)アンカー一体設置地盤の設定

アンカー一体設置地盤は、図・II-8 の土質柱状図より GL-4.2m 以深に堆積している、 $N \approx 10$ の砂質土とする。

なお、このアンカー一体設置地盤は層厚が十分厚く、全ての種類の Expander Body 本体を選定しても、所要の層厚を確保できるので、定着可能と考えられる。

c)使用する Expander Body 本体および引張り材の選定

Expander Body 本体は、支点反力が $R_1=122\text{kN/m}$ であること、およびアンカー一体設置地盤が $N \approx 10$ の砂質土であるという条件に基づいて、表・II-1 を参考にして、当該工事については EB-517(残置)を選定する。また、使用する引張り材は、一般的に広く用いられている $\phi 12.7\text{mm}$ の PC 鋼より線とする。

d)Expander Body Anchor 設置条件の決定

図・II-8 に示すように、土層構成および N 値を併記した掘削断面図(アンカー位置を含む)を作図し、1-3 a)項のアンカー一体設置深さに関する諸条件および d)項のアンカー自由長に関する記述を満足するようにアンカー傾角を決定する。

図・II-8 に、今回の土質条件および Expander Body 本体の仕様から決定した設置条件図を示す。

表・II-8 当該工事における Expander Body Anchor 設置条件

項目	数値
アンカー傾角： $\theta(^{\circ})$	30°
アンカー自由長： $L_f(\text{m})$	9.50
アンカー長： $L(\text{m})$	11.00

e) 極限引抜き力および許容引抜き力の算定

算定式は、1-3 f)項で記述した砂質土の場合のものを用いる。

$$T_{ug} = P_p + P_s = 0.5 \cdot q_c \cdot A_p + \frac{q_c}{200} \cdot A_s$$

$$T_{ag} = \frac{T_{ug}}{F_s}$$

- ・ EB-517 の仕様(表-I-1)より

$$\text{支圧面積} : A_p = 0.2 \text{m}^2 \qquad \text{周面積} : A_s = 1.65 \text{m}^2$$

- ・ アンカー一体設置地盤 $N \approx 10$ の砂質土より

$$\text{コーン貫入抵抗値} : q_c = 392 \text{N} = 392 \times 10 = 3920 \text{kN/m}^2$$

以上より、極限引抜き力(T_{ug})および許容引抜き力(T_{ag})は以下のとおりである。

- ・ 極限引抜き力

$$T_{ug} = 0.5 \times 3920 \times 0.2 + \frac{3920}{200} \times 1.65 = 424 \text{kN / 本}$$

- ・ 許容引抜き力

$$T_{ag} = \frac{424}{1.5} = 283 \text{kN / 本}$$

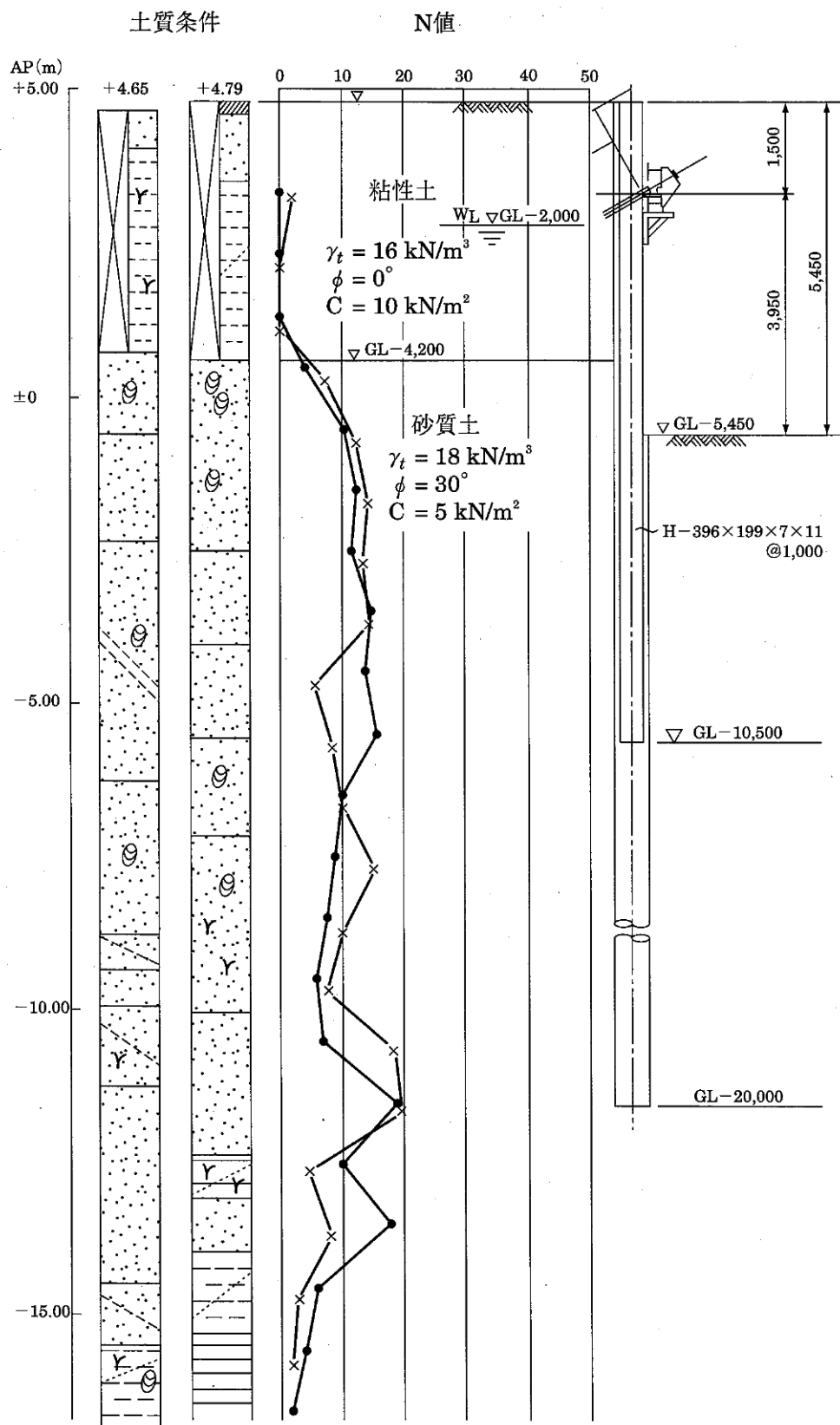


図- II - 8 設計断面図

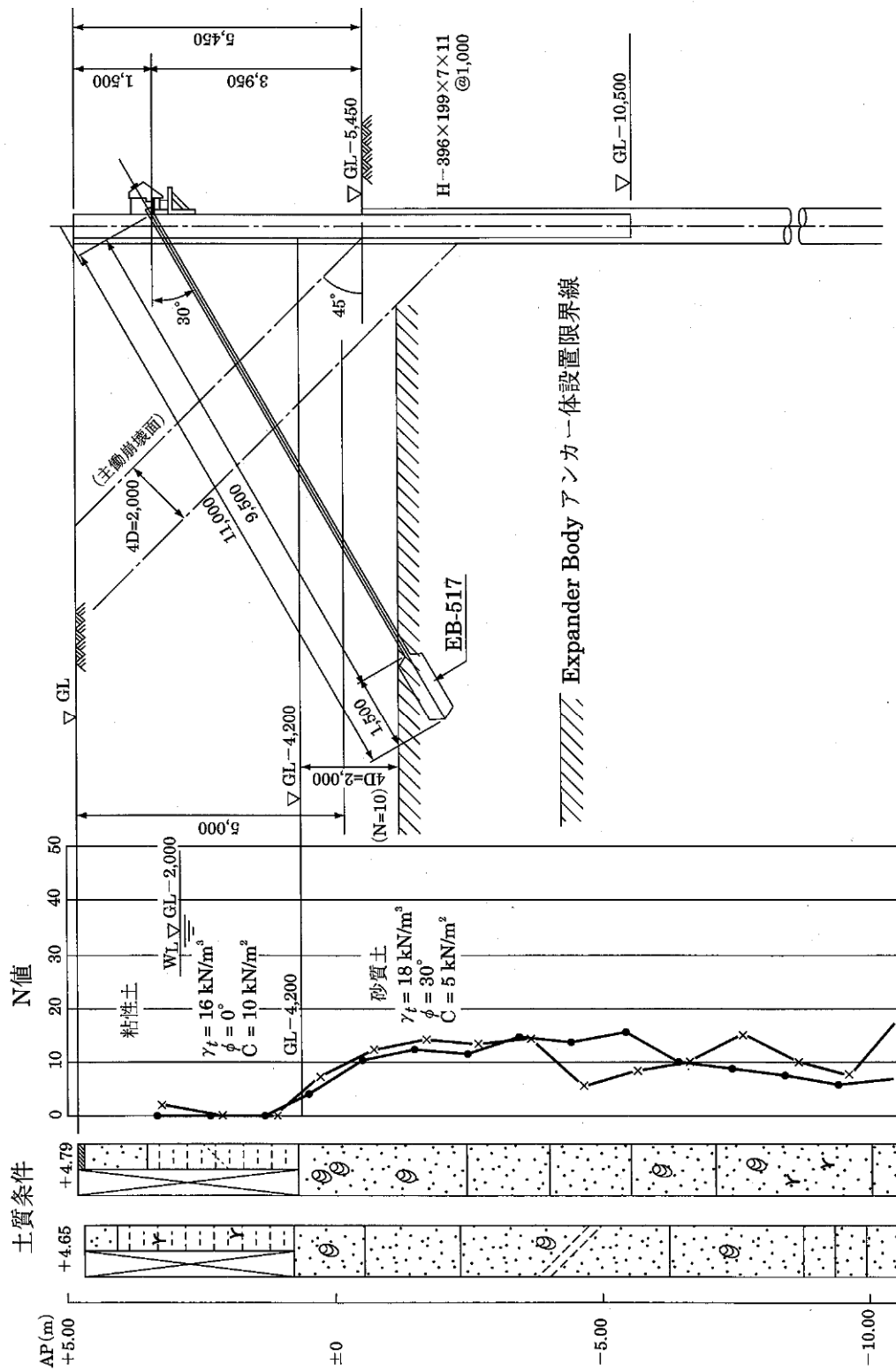


図- II - 9 EB-517 設置条件図

f)設計アンカー力およびアンカー間隔の算定

アンカー間隔(t)は、設計アンカー力(T_d)と前述した許容引抜き力(T_{ag})より計算上の間隔を算出し、1-3 e)項で記述した最小間隔と比較する。

$$T_d = \frac{R \cdot t}{\cos \theta}$$

$$T_{ag} = T_d$$

ここで、許容引抜き力 $T_{ag}=283\text{kN/本}$

支点反力 $R=122\text{kN/m}$

アンカー傾角 $\theta=30^\circ$

これらより

$$t = \frac{T_{ag} \cdot \cos \theta}{R} = \frac{283 \times \cos 30^\circ}{122} = 2.01\text{m}$$

$$\rightarrow t = 2.00\text{m} > 3D = 3 \times 0.5 = 1.5\text{m}^{*1}$$

*1 : EB-517 の最小間隔

g)設計アンカー力の決定

設計アンカー力(T_d)は、支点反力、アンカー間隔およびアンカー傾角より以下のとおりとなる。

$$T_d = \frac{R \cdot t}{\cos \theta} = \frac{122 \times 2.0}{\cos 30^\circ} = 282\text{kN/本} < T_{ag} = 283\text{kN/本}$$

h)テンドンの仕様の決定

テンドンを構成する引張り材は、 $\phi 12.7\text{mmPC}$ 鋼より線を用いるので、その時のテンドンの仕様は以下のとおりとなる。

- ・ $\phi 12.7\text{mmPC}$ 鋼より線の許容引張り力

引張荷重 $T_{us}=183(\text{kN/本})$

許容引張り力 $T_{as}=0.65T_{us}=0.65 \times 183=119\text{kN/本}$

- ・ $\phi 12.7\text{mmPC}$ 鋼より線の本数(n)

$$n = \frac{T_d}{T_{as}} = \frac{282}{119} = 2.4 \rightarrow 3\text{本} < 7\text{本}^{*2}$$

*2 : EB-517 に挿入出来る $\phi 12.7\text{mmPC}$ 鋼より線の最大本数

以上より、テンドンは、3- $\phi 12.7\text{mm}$ とする。

i) テンドンの付着長の照査

テンドン付着長の算定式

$$L_{sa} = \frac{T_d}{U \cdot \tau_{ba}} < L_a = 1.5m^{*3}$$

*3 : EB-517 の注入後の長さ

ここで、T_d : 設計アンカー力 282kN/本

U : テンドンの見掛けの周長 0.277m/本

テンドンを構成する PC 鋼より線の先端は素線状として周長の増大を図る

$$U = n(\pi \phi \times 7) = 3 \times (\pi \times 0.0042 \times 7) = 0.277m$$

τ_{ba} : 許容付着応力度 1500kN/m²(表-II-3 より)

$$L_{sa} = \frac{282}{0.277 \times 1500} = 0.68m < L_a = 1.5m \quad \text{O.K}$$

j) 構造物全体の安定計算例

以上の計算結果より、当該工事における Expander Body Anchor の形状・寸法図は、図-II-10 に示すとおりである。

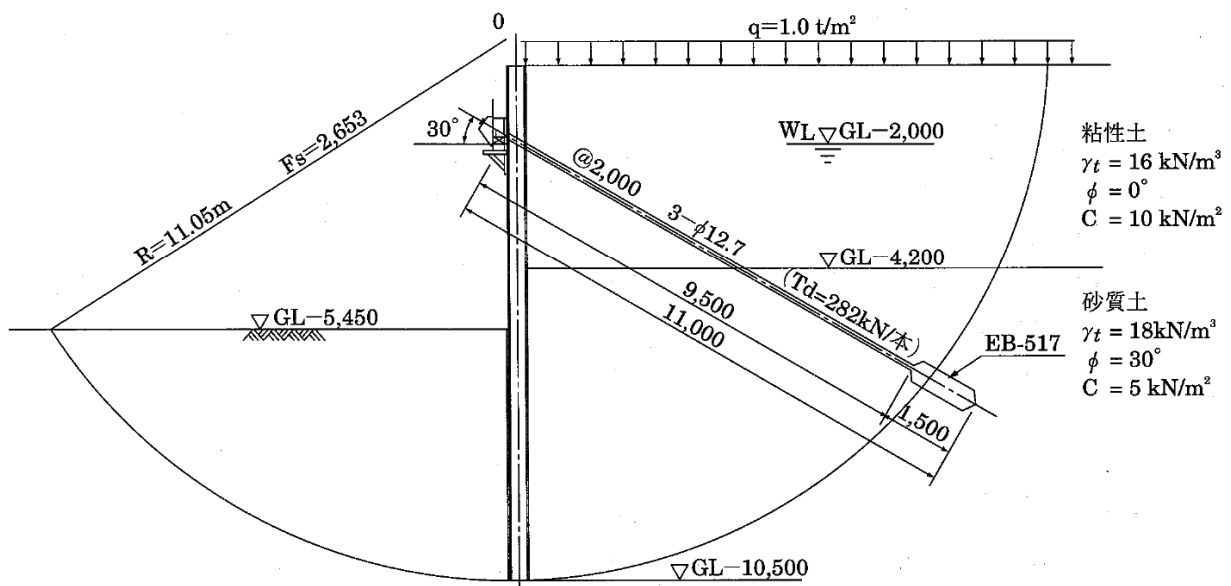


図-II-10 構造物全体の安定計算例

III. Expander Body Anchorの施工

1. 基本条件

Expander Body Anchor の設置は、打撃貫入を基本とする。しかし、除去式の Expander Body Anchor およびアンカー一体設置地盤までの間に、砂礫層や人口的に埋め立てられた障害物が介在する場合には、設置位置まで予めロータリーパーカッション方式で先行削孔を行い、その後 Expander Body 本体を挿入し打撃貫入する。

さらに、先行削孔を行っても孔壁が保持できず打込みが困難な地層や、山留め壁背面の地下水位が高く、土砂流出の可能性がある場合などは、Expander Body 本体を大孔径のドリルパイプ内に挿入する方法を採用せざるを得ないケースもある。

また、SMW 工法や地中連続壁工法などによる遮水型山留め壁の場合には、口切り工が必要である。なお、その際の口切り工および先行削孔の孔径の参考値を表-III-1 に示す。

表-III-1 最小口切り径および先行削孔径一覧表

Expander Body 形 式	本体断面寸法 (mm)	最小口切り径 (mm)	先行削孔径 (mm)
EB-517 (残置)	80×80	φ 135	φ 115 (φ 165)*
EB-512 (除去)	80×80	φ 135	φ 135 (φ 210)*
EB-825 (残置)	110×110	φ 165	φ 135 (φ 210)*
EB-815 (除去)	110×110	φ 165	φ 146 (φ 210)*

*印：カッコ()内の数値は孔壁が保持できない地層や土砂流出する場合の孔径の参考値を示す。

2. 施工手順

SMW 工法などによる遮水型山留め壁における、残置式の施工フローを図-III-1、除去式の施工フローを図-III-2 にそれぞれ示す。

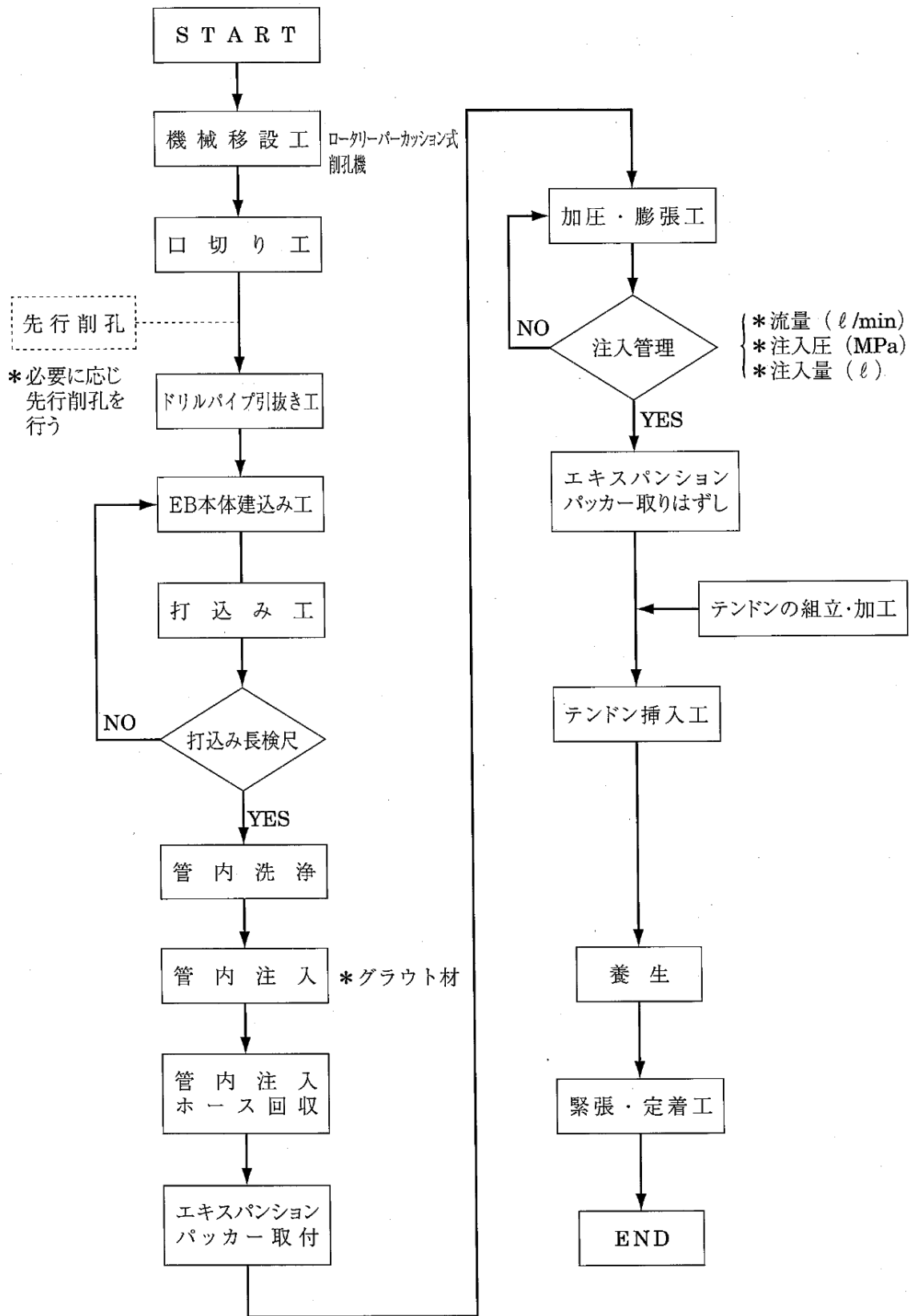


図-III-1 施工フロー(残置式)

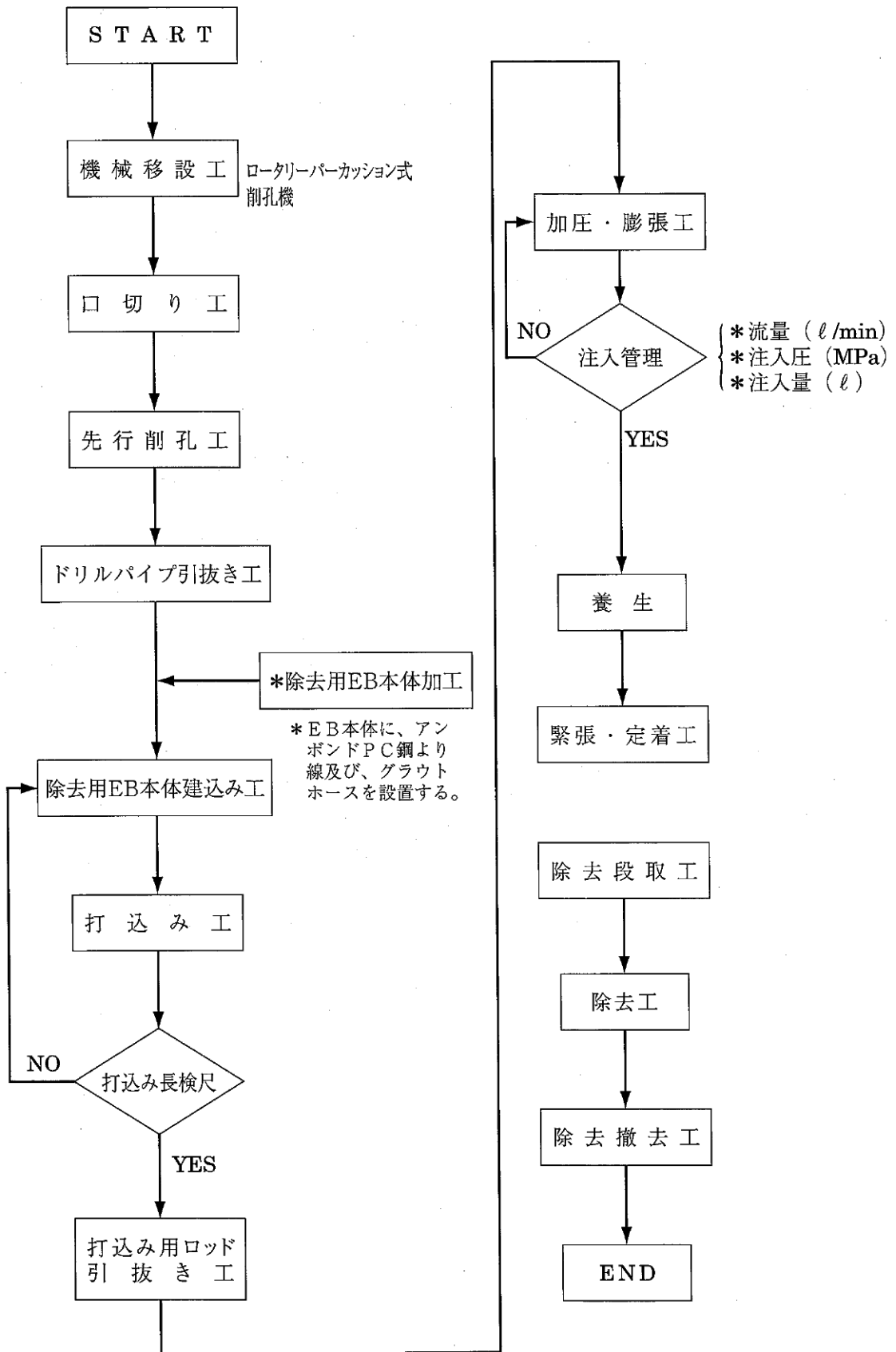


図-III-2 施工フロー(除去式)

3.施工方法

3-1 残置式の場合

(1)削孔機械移設工

Expander Body Anchor 打設位置に削孔機を移動させ、ガイドセルの高さ・方向を調整し、ドリルパイプに角度計を当て、計画アンカー傾角にセットする。

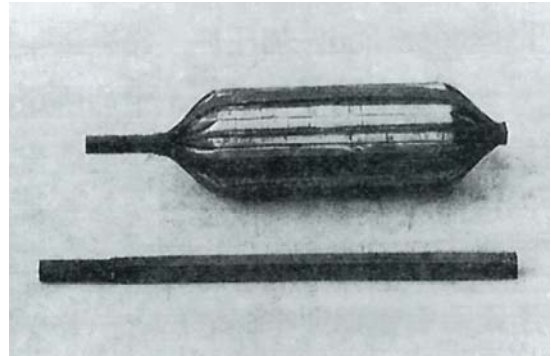


写真-III-1 Expander Body本体

(2)口切り工

口切り工は、所定の径(表-III-1)のドリルパイプを用いたロータリーパーカッション方式で行う。所定の深度まで口切り削孔完了後、ドリルパイプを引抜く。



写真-III-2 打込み工

(3) Expander Body 本体の建込み工

Expander Body 本体を口切りした孔内に建込む。

(4)打込み工

Expander Body 本体にソイレックスチューブを継ぎ足し、所定の深度まで打込む。打込み時は打撃のみとし、回転は加えないこととする。(写真-III-2 参照)

(5)管内の洗浄

打込み完了後、管内にグラウトホースを Expander Body 本体の底部まで挿入し管内の洗浄を行う。

(6)一次注入

管内洗浄後、洗浄水を排除するように、先端からグラウトし内部を充填する。口元から流出するグラウトの濃度が所定の濃度になるまで行う。充填後、グラウトホースは回収する。



写真-III-3 加圧・膨張工

(7)加圧・膨張工

管内注入完了後，ソイレックスチューブの口元にエキスパンションパッカーを取付けて別表(表-Ⅲ-3 および 4)に示す注入諸元に基づいて Expander Body の加圧・膨張を行う。

(写真-Ⅲ-3 および 4 参照)



写真-Ⅲ-4 自記記録式流量計

(8)テンドン挿入工

Expander Body 本体の加圧・膨張後，エキスパンションパッカーを取り外し，予め所定の長さ・本数に切断・組立加工したテンドンをソイレックスチューブを介して挿入する。

(9)緊張・定着工

グラウトの所定強度発現後に，試験アンカー箇所においてセンターホールジャッキを用いて，品質保証試験を行う。その後，緊張・定着を行う。

(写真-Ⅲ-5 参照)



写真-Ⅲ-5 緊張・定着工

3-2 除去式の場合

除去式の場合についても，基本的には残置式と同様に施工されるが，Expander Body 本体に予めテンドン(先端を U 字型に加工したアンボンド PC 鋼より線)とグラウトホースを装着したものを用いる。

(1)除去用 Expander Body 本体の加工

除去用の Expander Body 本体は，先端部に U 字型加工したアンボンド PC 鋼より線を固定する溝付プレートと肩部にグラウトホース取付け用の注入孔を有している。

そこで，それぞれの箇所にアンボンド PC 鋼より線やグラウトホースを取付けて，予めテンドンを組立・加工しておく。

(2)口切り工および先行削孔工

表-Ⅲ-1 に示す直径のドリルパイプで口切り後，所定の深度(基本的には設計アンカー長)まで先行削孔する。削孔完了後，ドリルパイプを引抜く。

(3) 建込み工

テンドンとグラウトホースを取付けた，除去用 Expander Body 本体を口切りした孔内に建込む。

(4)打込み工

Expander Body 本体に打込み用ロッドを装着し、それを継ぎ足しながら所定の深度まで打込みを繰り返す。

打込み時は、打撃のみとし回転は加えないこととする。作業終了後、打込み用ロッドを引抜き回収する。

(5)加圧・膨張工

Expander Body 本体に予め取付けられたグラウトホースを用いて、別表(表-Ⅲ-3 および 4)に示す注入諸元に基づいて Expander Body の加圧・膨張を行う。

4.主な施工機械

Expander Body Anchor の施工に使用する主な施工機械は、表-Ⅲ-2 に示すとおりである。

表-Ⅲ-2 主な施工機械一覧表

機械名称	仕様	動力	重量	備考
削孔機	ロータリー パーカッション式	75~110PS	3~10ton	スキッド又は クローラータイプ
送水ポンプ	300ℓ/min	18.2kW	0.7ton	口切り工用 先行削孔工用
グラウトポンプ	10~100 ℓ/min	7.5kW	0.36ton	
グラウトミキサー	横型 2層式	11.0kW	0.55ton	
流量計	モルタル用	—	—	
水中ポンプ	口径 80mm	3.6kW	0.06ton	
緊張ジャッキ	100ton 用	3.7kW	0.05ton	
キャリアクレーン		19PS	2.0ton	
高速カッター	PC 鋼より線 切断用	2.0kW	0.01ton	

5. グラウトの標準配合および使用量

5-1 標準配合

Expander Body Anchor の管内注入および加圧・膨張に用いるグラウトの標準配合表を表-III-3 に示す。

表-III-3 グラウトの標準配合表(1m³当り)

	ポルトランドセメント	水 (W/C)	混和材	備考
質量配合比	1	50~55%	セメント量 × 混和比	混和材は必要に応じて使用する
1m ³ 当りの配合	1,230kg	615~676		

5-2 使用量

Expander Body Anchor 1 本当りのグラウト使用量は、管内注入時と加圧・膨張時の合計で表すものとする。

a) 管内注入時の使用量(残置式のみ)

グラウトの管内注入量は、Expander Body Anchor の長さによって異なるので、1m 当りで表すものとし、その使用量は概ね 6.2 ℓ/m である。

b) 加圧・膨張時の使用量

加圧・膨張時の使用量は、Expander Body 本体の形式によって異なるので、表-III-4 に示すとおりである。

表-III-4 Expander Body本体の形式毎の加圧・膨張時のグラウト使用量一覧表

Expander Body 形式	全体積 (ℓ)	補足注入量の目安 (ℓ)	総注入量 (ℓ)
EB-517 (残置)	220	100	320
EB-512 (除去)	125	70	195
EB-825 (残置)	845	400	1,245
EB-815 (除去)	340	170	510

注) 全体積 : Expander Body 膨張完了時の体積

補足注入量 : Expander Body 膨張完了後に EB 本体の肩部からリークさせる量

総注入量 : 地盤状況などから必要に応じて、補足注入量を増量する場合もある。

6.仮設備

6-1 電力設備

電力は、動力用三相 200V を使用する。注入プラントでの必要電力量は、25kW/set を標準とする。ただし、先行削孔を行う場合は、45kW/set を標準とする。

6-2 給水設備

標準的な Expander Body Anchor の施工には、従来の摩擦型アンカーに較べ、大量の削孔水は必要としないものの、グラウトの混練時に大量に必要となるので、給水は原則として清水とする。

ただし、口切り工および先行削孔工でロータリーパーカッション方式を用いる場合には、1セット当たり 150ℓ/min の給水が必要となる。

6-3 排水設備

基本的には、作業床の山留め壁側に、約 1.0m(幅)×1.0m(深さ)の側溝を設ける。ただし、口切り工および先行削孔工を行う場合には、側溝内に溜まった使用済みの削孔水を水中ポンプで排水し処理する。

6-4 プラント設備

グラウトの混練・攪拌および圧送のための注入設備として 50m²以上を必要とする。ただし、施工条件によってはプラントと作業箇所との間に中継プラントを設けるものとする。

6-5 テンドン加工場設備

テンドンの加工場は、最小幅 5m、長さはテンドン長+5m を必要とする。

7.施工管理

Expander Body Anchor の施工管理手順について、図-III-4 に残置式、図-III-5 に除去式の手順をそれぞれ示す。

注入管理は、Expander Body Anchor の施工において、最も重要な項目であり、自記記録式の流量計を用いて、1本毎に加圧・膨張時の注入圧力・流量および総注入量を測定し、チャート紙に記録する。なお、注入状況記録の一例を図-III-3 に、加圧・膨張時の圧力の目安を表-III-5 に示す。

表-III-5 加圧・膨張時の圧力の目安値一覧表

対象地盤	圧力
粘土層	0.1~0.6MPa
シルト層	0.2~2.0MPa
砂層	0.5~3.0MPa

加圧・膨張時の最大注入圧力(MPa)の数値は、アンカー一体設置地盤の N 値のほぼ 1/10 であること

が、これまでの施工実績より推定できる。

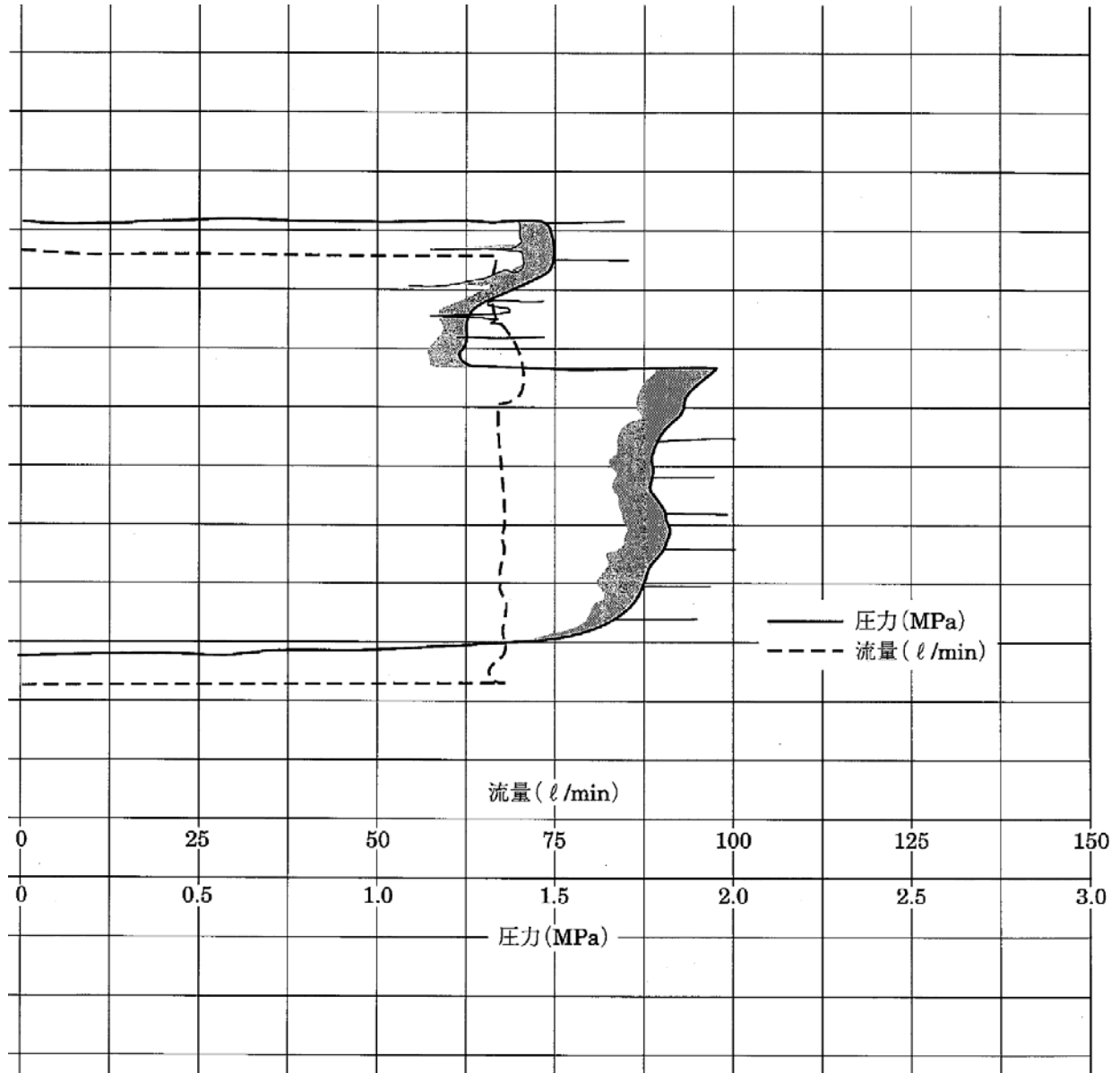


図-III-3 チャートによる注入状況記録の一例

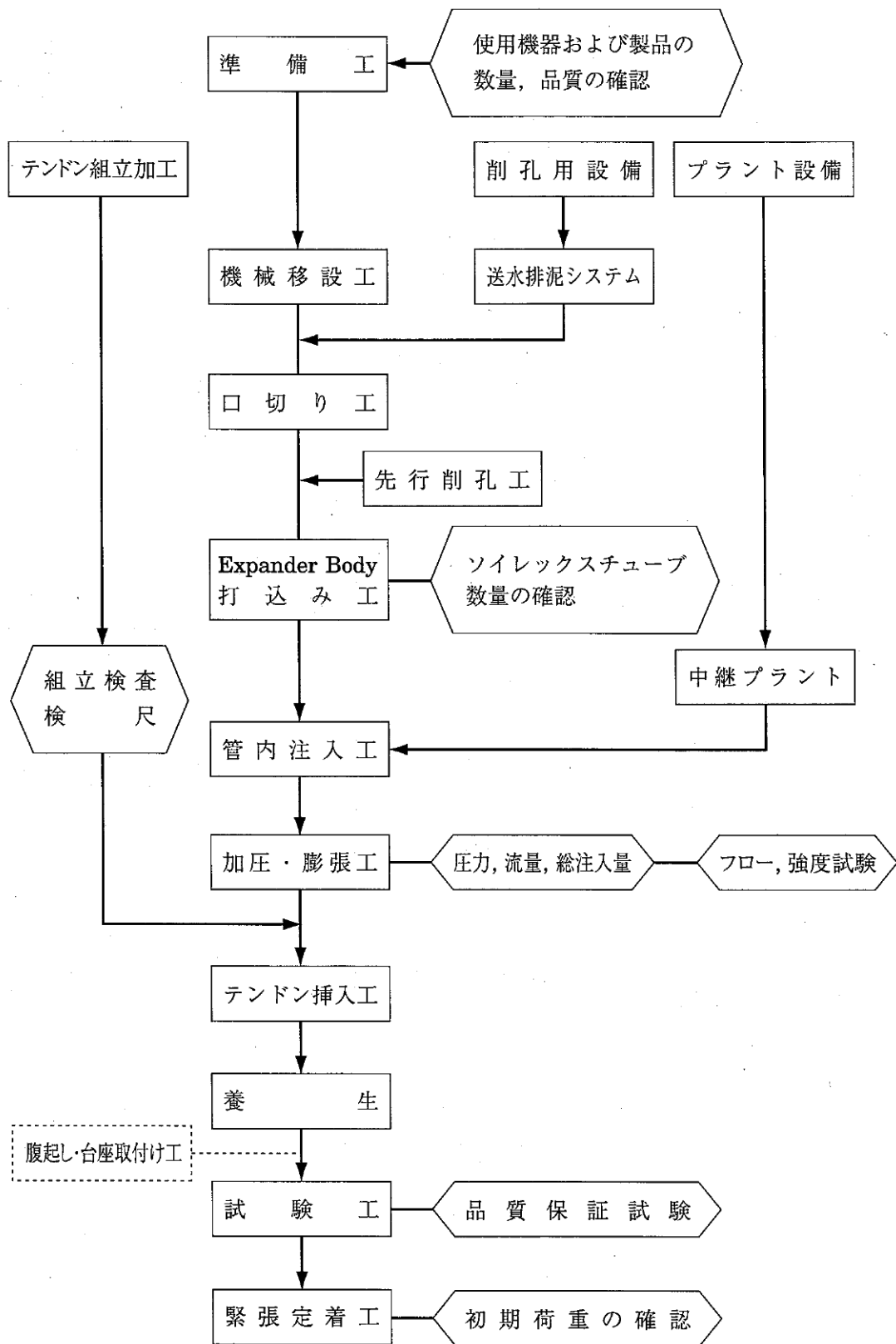


図-III-4 残置式の施工管理手順

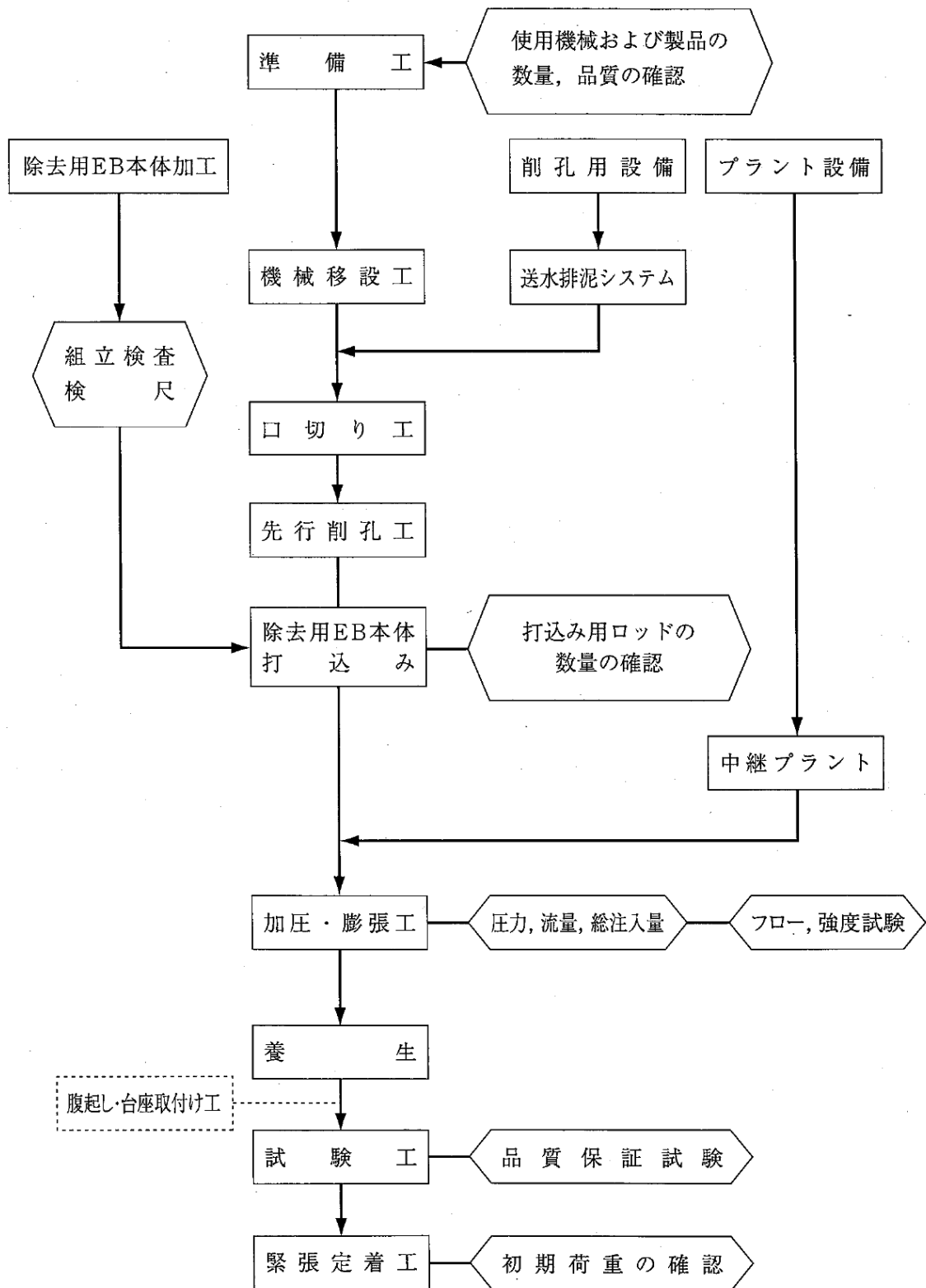


図-III-5 除去式の施工管理手順

IV.参考資料

1) 拡孔型アンカーの遠心場引抜試験 グラウンドアンカー 引抜き試験 山留め

(独)土木研究所 正会員 ○小林悟史 大下武志 宇田川義夫

2) 支圧面形状が異なる支圧型アンカーの強度特性 グラウンドアンカー 引抜き試験 山留め

(独)土木研究所 正会員 ○小林悟史 大下武志 宇田川義夫

3) 複数の支圧板を有するアンカーの引抜試験

独立行政法人 土木研究所 正会員 ○小林 悟史
独立行政法人 土木研究所 正会員 大下 武志
独立行政法人 土木研究所 正会員 宇田川義夫
株式会社 フジタ 正会員 波田 光敬

4) F L O - B O N D におけるグラウトの設計基準強度と付着応力度との関係式について

平成 20 年 5 月 15 日 ケミカルグラウト(株)

5) グラウト加圧による拡孔型アンカー Expander Body Anchor 技術資料 平成 14 年 6 月

日本エキスパンダ・ボディ協会

拡径型アンカーの遠心場引抜試験

グラウンドアンカー 引抜き試験 山留め

(独) 土木研究所 正会員 ○小林 悟史
 (独) 土木研究所 大下 武志
 (独) 土木研究所 宇田川義夫

1. はじめに

従来、高架構造が一般的であった都心部の道路事情は、周辺環境への配慮やオープンスペースの有効利用のため、地下構造化、半地下構造化が進んでいる。一般に、掘割構造部を施工する際、山留め壁を構築し、切梁やグラウンドアンカーなどの支保工を併用する。しかし、切梁工法では仮設の規模が大きくなるという問題が生じ、グラウンドアンカー工法では支持層に定着させる際、アンカー長が極端に長くなり、用地境界内での施工が困難なケースが生じる。そのため、従来のアンカーに比べて、短いアンカー長で確実に支保できるアンカー工法の必要性は大きい。

拡径型アンカーとは、自由長部に比べて定着長部を拡大させたアンカーのことをいう。従来型の摩擦型アンカーに比べて、摩擦面積が増大するとともに、支圧による引抜き抵抗力が期待されることから、先に述べた用途として注目されている。既に実用化されている拡径型アンカーは、地盤内で鋼製のバルーンを拡大させるもの¹⁾や定着長部で拡径削孔を行い、グラウトに置き換える工法²⁾があり、φ500~800mm程度のアンカー体を造成する。

拡径型アンカーは、摩擦体と支圧体の複合体として引抜き抵抗力を発揮するが、それらの摩擦効果、支圧効果が変位に応じてどのように発揮されるのかという点については、明らかになっておらず、明確な設計法も確立されていない。そこで、本研究では拡径型アンカーの基本特性を把握するため、遠心模型場において引抜き試験を実施した。本報では、拡径型アンカーのアンカー長を変えた鉛直引抜き試験の概要とその結果について報告する。

なお、本報告は「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究」として平成18年度から平成20年度にかけて、(独) 土木研究所と民間3グループで実施している共同研究の成果の一部である。

2. 実験概要

遠心試験装置は、(独) 土木研究所が所有する中型遠心試験装置を使用した。本試験装置は、回転腕長が3.5mであり、最大積載量1ton、最大140Gまでの遠心加速度を与えることができる。また、土槽上部にセットされるXYZ 載荷装置は、モーター制御により、遠心力場で3方向同時載荷が可能である。このような3方向に稼働できる載荷装置を用い、実験は次のような手順で行った。

まず、写真1に示すように、土槽内部にアンカー長を変えた拡径型アンカーのアルミ模型を鉛直に配置した。アンカー配置の詳細図を図1に示す。既往の設計法では、拡径型アンカーの群杭効果が生じる範囲は4D程度(Dはアンカー径)としている。そこで、本実験では、それぞれのアンカーが干渉しないように7D以上の十分なピッチを確保し、1つの土槽に計8本のアンカーを配置した。

アンカー模型体設置後、拡大部の天端まで地盤材料を投入した。用いた地盤材料は豊浦砂で、含水比をw=10%に調整した不飽和砂である。5cm層厚で投入を行い、相対密度がDr=50%になるように、均等に締固めを行った。

拡大部天端まで埋戻し後、アルミ製のアンカー模型体を引抜き、拡径部に芯材に固定されたアンカープレートを挿入し、セメントミルクを流し込んだ。写真2は実験後に取り出したアンカー模型体である。このように箱抜材を用い、セメントミルクに置き換えることで、実際のアンカー体を再現した。セメントミルク注入後、3日間の養生を行い、実大換算で5.0m相当の土被り高まで埋戻しを行った。



写真1 実験土槽

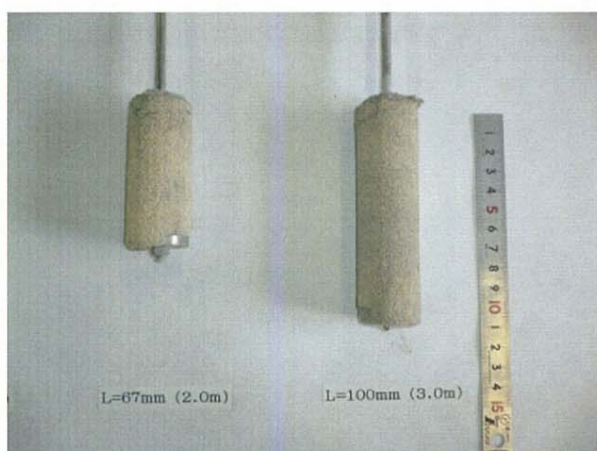
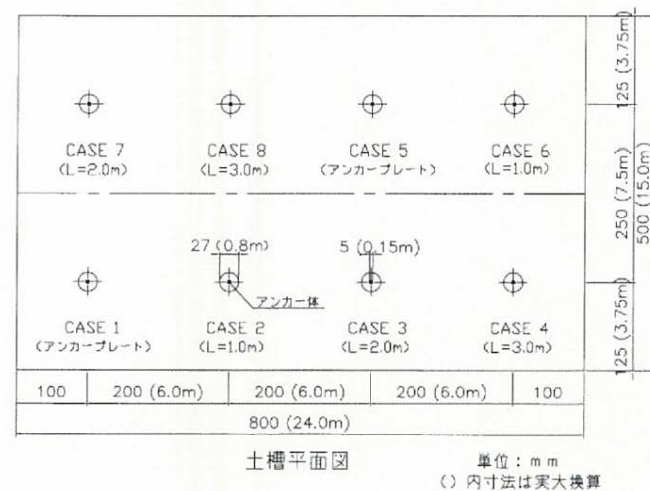
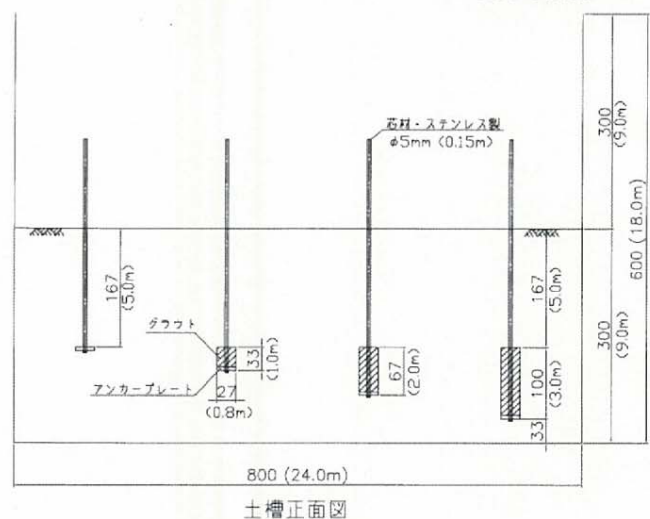


写真2 実験後のアンカー体



土槽平面図

単位: mm
() 内寸法は実大換算



土槽正面図

図1 模型構造図

遠心加速度は30Gに設定し、アンカー寸法は、実大換算でアンカー径 ϕ 800mm、アンカー長 $L=0\sim 3.0\text{m}$ に相当する寸法のものを作製した。本実験の仕様を表1にまとめる。

土槽作製後、遠心装置に設置し、XYZ 载荷装置を操作してアンカー頭部と载荷装置を固定した。载荷装置のアタッチメントには雌ねじを設けてあり、アンカー頭部の雄ねじにねじ込むことで固定を行っている(写真3)。その後、遠心加速度30Gを与え、遠心場において一定変位速度 0.01mm/sec で15mmまで引抜きを行った。引抜き後は、遠心を止めて、次のケースのアンカー頭部をつかみ、再度30Gで引抜き試験を行った。

表1 実験の仕様

実験条件		実験ケース	
遠心加速度	: 30G	ケース名	アンカー体
地盤条件		ケース1	アンカープレート(1)
地盤材料	: 豊浦砂	ケース2	L=1.0m(1)
相対密度	: 50%	ケース3	L=2.0m(1)
含水比	: 10%	ケース4	L=3.0m(1)
湿潤重量	: 15.9kN/m ³	ケース5	アンカープレート(2)
土被り高	: 5.0m相当	ケース6	L=1.0m(2)
载荷条件		ケース7	L=2.0m(2)
载荷方向	: 鉛直引抜	ケース8	L=3.0m(2)
载荷方法	: 変位制御		



写真3 引抜き試験

3. 実験結果と考察

地盤を完全に均質に作製することが困難なことから、地盤作製時の誤差が引抜強度に影響を及ぼすことが懸念された。そこで、実験の再現性を確認するため、同じ寸法のアンカーをそれぞれ2本ずつ引き抜くことにした。図2に代表としてアンカー長1.0mのケース2,6の引抜き試験結果を示す。傾向・極限荷重ともに概ね再現できていることが確認できた。

図3は、ケース1~4の荷重-変位曲線である。図より、アンカー長が長いほど大きな引抜強度を発揮しているのがわかる。また、その強度の違いは変形量に応じて異なり、変形が小さいうちは、強度の違いが大きく、変形が大きくなると各ケースでそれほど大きな違いはない。

ここでは、支圧と摩擦の複合体において、それらの荷重成分が分離できると仮定した。図4はケース2~4の引抜き荷重からケース1の引抜き荷重を差し引いたものである。先の仮定が成り立てば、純粋な摩擦成分とすることができる。一般に円柱体の摩擦試験の場合、明瞭なピークを示し、その後荷重が減少することが知られている。したがって、図4を見ると、支圧と摩擦は分離できると判断してよさそうである。

図4には、ケース1の支圧荷重も併せて載せている。支圧力に比べて、摩擦力は初期の勾配が大きく、初期変位を抑える上で重要である。しかし、ある程度変形した段階で摩擦が切れ、荷重が低下する。ケース4(L=3.0m)では、2mm変位時が荷重のピークであり、実大換算では、6cm変位時に相当する。

図5は、変位に応じた摩擦と支圧の荷重の分担比を見るために、図4で算出した摩擦力を支圧力で除したものである。変位が小さいうちは、摩擦力の分担が大きく、その大きさはアンカー長にほぼ比例している。そして、変位が大きくなると支圧力が支配的になる。拡径型アンカーは変形に応じて、支配的な荷重が摩擦力から支圧力に移行する変化点が存在する。図5に示すように、アンカー長を長くすることで、摩擦から支圧に移行する変化点の変位量を大きくできることがわかった。

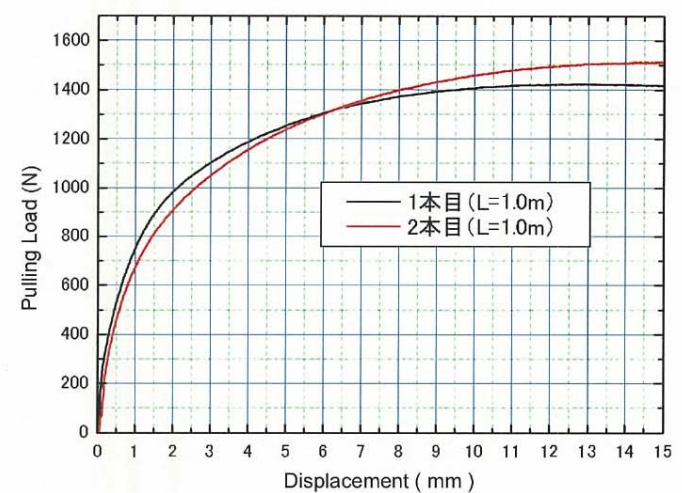


図2 再現性の確認

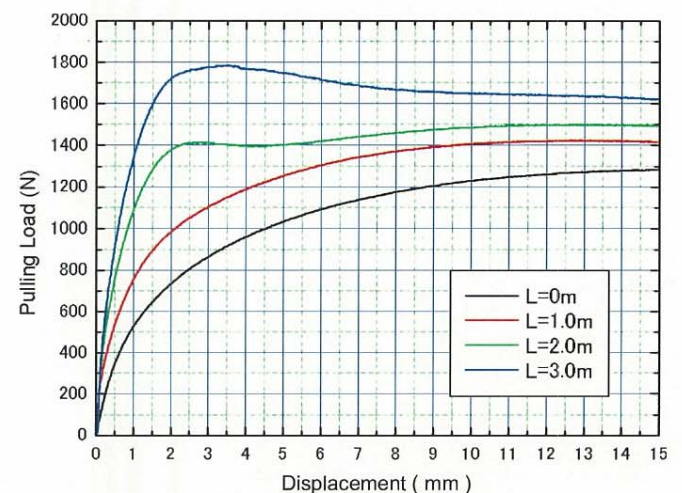


図3 荷重-変位曲線

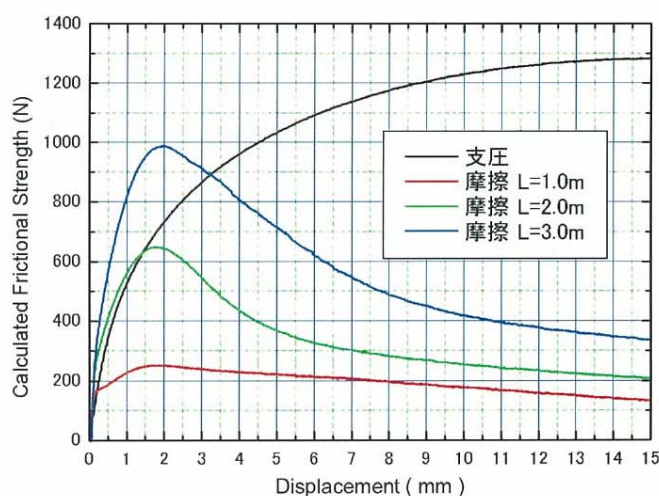


図4 摩擦力-変位曲線

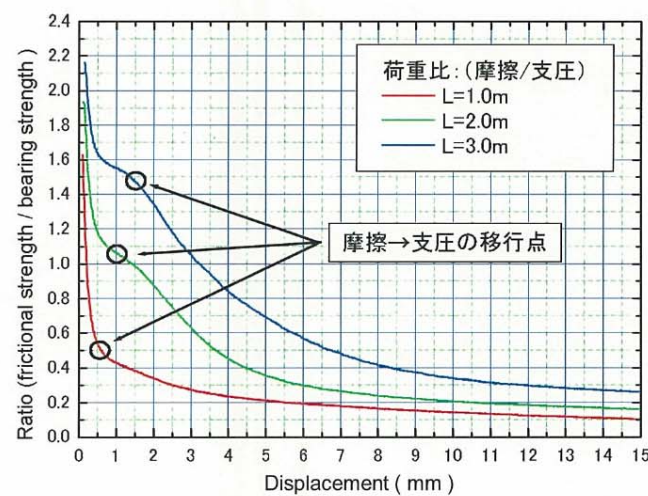


図5 摩擦と支圧の荷重分担比

参考文献

- 1) 日本エキスパンダ・ボディ協会:「Expander Body Anchor 技術資料」平成14年6月
- 2) 日特建設株式会社:「スプリッツアンカー工法 技術・積算資料」平成15年7月

複数の支圧板を有するアンカーの引抜試験

独立行政法人 土木研究所 正会員 ○小林 悟史
 独立行政法人 土木研究所 正会員 大下 武志
 独立行政法人 土木研究所 正会員 宇田川義夫
 (株) フジタ 正会員 波田 光敬

1. はじめに

掘割構造を施工する際の土留め支保工として、拡径型アンカーが注目されている。拡径型アンカーとは定着長部を拡大させることで、摩擦面積を大きくし、同時に支圧効果を期待するアンカー工法であり、従来の摩擦型アンカーでは施工できなかった土砂地盤への定着を目標としている。

著者らはこれまでに拡径型アンカーの基本特性を把握するため、実大規模の室内試験や遠心力載荷試験を実施した¹⁾²⁾。その結果、①支圧力は変形に伴い単調に強度が増加する。②摩擦力は明瞭なピーク強度が存在し、その後は脆性的な破壊形態を示す。③拡径型アンカーの荷重変形特性は、単純にこれら支圧成分と摩擦成分の和として表現できるということがわかった。

本報では、複数の支圧板を有するアンカーについて、実大規模の室内引抜試験を行い、引抜特性についての考察を行ったので報告する。本報告は、「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究」として平成18年度から平成20年度にかけて、(独)土木研究所と民間3グループで実施している共同研究の成果の一部である。

2. 実験の概要

アンカー模型体は、 $\phi 500\text{mm}$ のアンカープレートと PC 鋼棒で作製した。複数の支圧体の効果を検証するため、ここでは、支圧板を1箇所を設置したもの(ケース1)と2箇所を設置したもの(ケース2)について、引抜試験を行い比較を行った。支圧板を2箇所を設置したケース2では、それぞれの支圧板の荷重が干渉しないように十分な距離(2.5m=5.0D)を確保した。

引抜試験用の大型土槽として、(独)土木研究所のピット内に H 鋼でフレームを作製した(写真1)。最大引抜荷重を 800kN に設定し、引抜時の反力をピット端部のコンクリート壁に伝達する構造とした。土留め壁には横矢板を用いた。

実験は次の手順で行った。土槽内に地盤材料を 20cm 層厚ごとに投入し、締固めを行った。用いた地盤材料は山砂で、物性値を表1に示す。土槽の中間高さまで埋戻し後、アンカー模型体を水平に設置し、再度、土槽天端まで埋戻しを行った。埋戻し完了後、上載荷重として大型土のうを2段載荷した。これにより、アンカー一体には 4.0m 相当の土被り圧が作用している。実験の概要図を図1に示す。

表1 作成地盤の地盤定数

湿潤重量 γ_t	せん断抵抗角 ϕ	粘着力 c	平均N値
19.0kN/m ³	35°	20kN/m ²	11



写真1 大型土槽

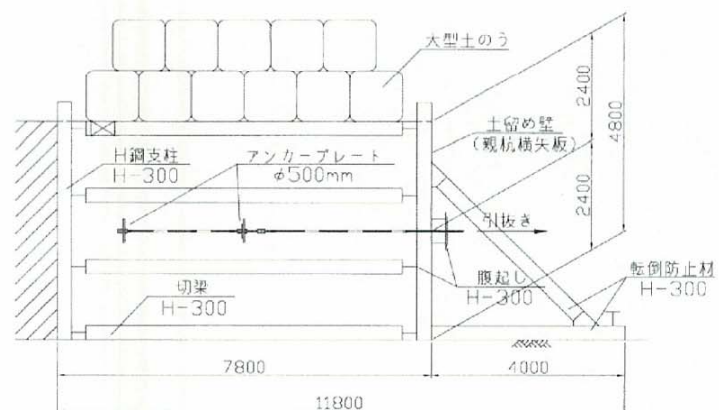


図1 実験概要図(ケース2)

キーワード：拡径型アンカー、引抜試験、掘割構造

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 (独)土木研究所 施工技術チーム Tel: 029-879-6759

3. 実験結果と考察

載荷は、地盤工学会基準³⁾に準じた多サイクル載荷とした。各サイクルごとの段階荷重を 60kN とし、荷重保持時間は、新規荷重時で 5 分、履歴内で 1 分とした。

図 2 は、ケース 2 の荷重変位曲線である。今回、実験を行っているアンカー体の構造は支圧のみのため、荷重の初期段階から塑性変形が発生しているのが特徴である。

図 2 に破線で示している曲線は各サイクルにおける荷重保持後の荷重と変位の関係をプロットしたものである。この曲線を骨格曲線と呼ぶことにし、ケース 1 とケース 2 の骨格曲線を比較したのが図 3 である。

図 3 を見ると、支圧箇所を 1 箇所から 2 箇所に増やすことにより、引抜強度が単純に 2 倍に増加しているのがわかる。

図 4 はケース 2 において、PC 鋼棒に貼り付けたひずみゲージの値から、前面側プレートと背面側プレートの荷重の分担比率を算出し、引抜変位量に対して整理したものである。変位が小さい段階では、前面側のプレートの受持ち荷重が大きいが、変形が大きくなるにつれて 2 枚の支圧板の分担比は 1 に近づいている。すなわち、それぞれのプレートが独立して強度を発揮していると言え、図 3 の結果を裏づけできる。

写真 2、写真 3 はケース 2 のアンカー体設置時、及び、引抜試験後の試掘時の写真を示している。地盤にスプレーでメッシュを施し、その動向から、支圧板周辺の地盤は前面側約 1.0m (=2.0D) の範囲にわたって球状に流動していることがわかった。

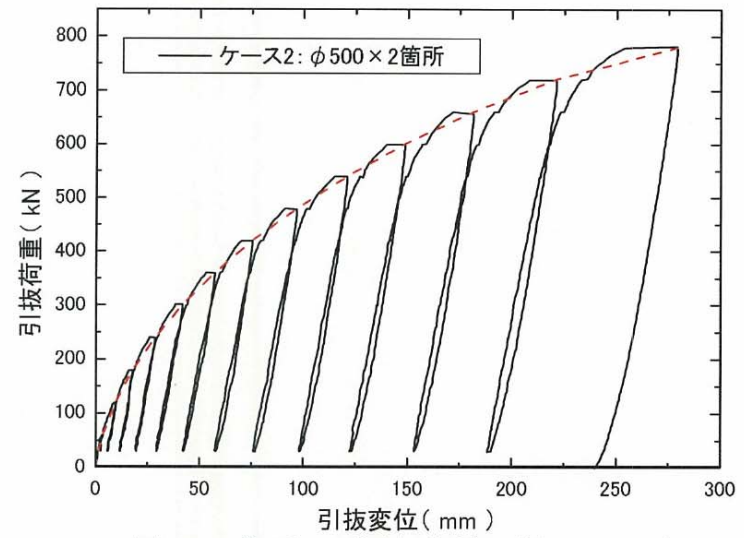


図 2 荷重-変位曲線 (ケース 2)

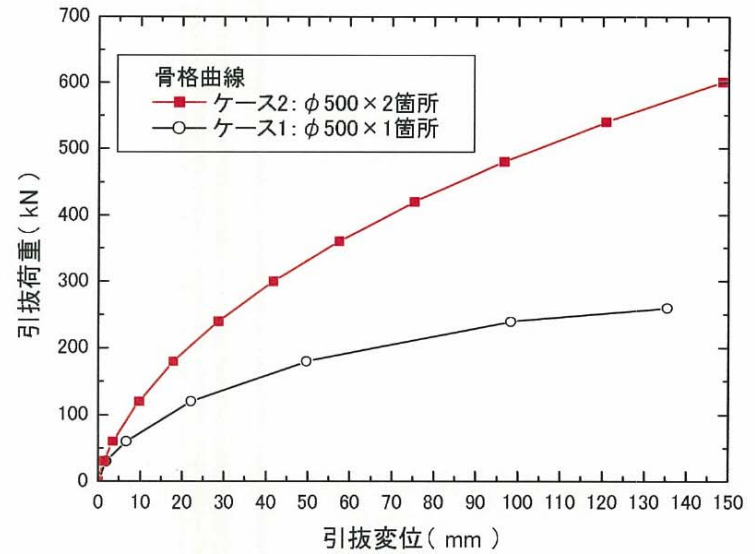


図 3 骨格曲線の比較

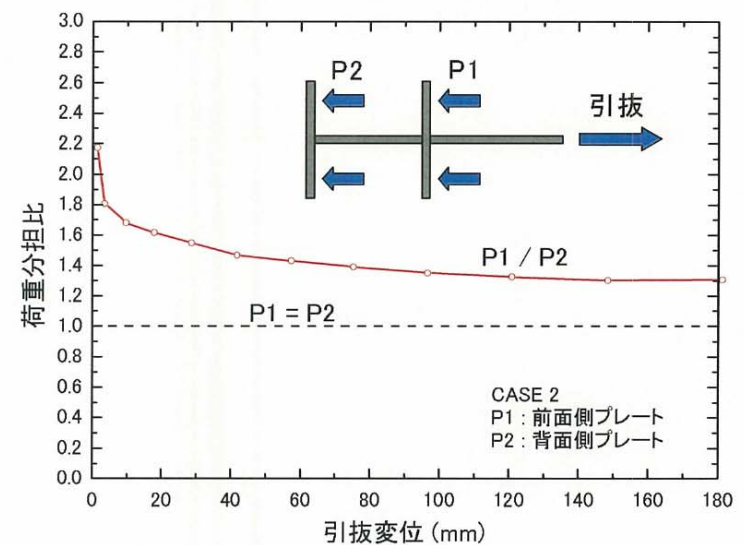


図 4 2 枚の支圧板の荷重分担比

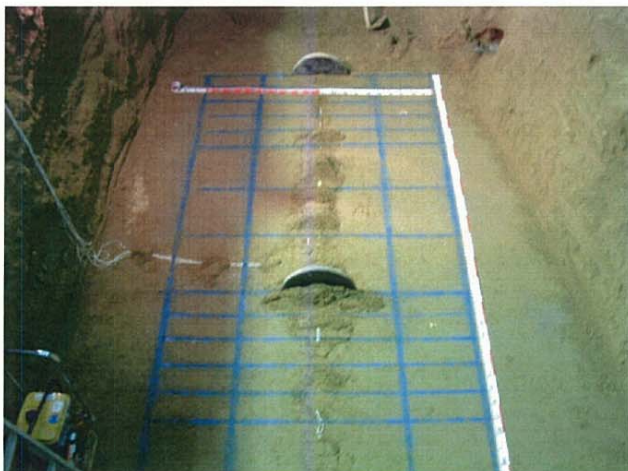


写真 2 アンカー体設置時 (ケース 2)

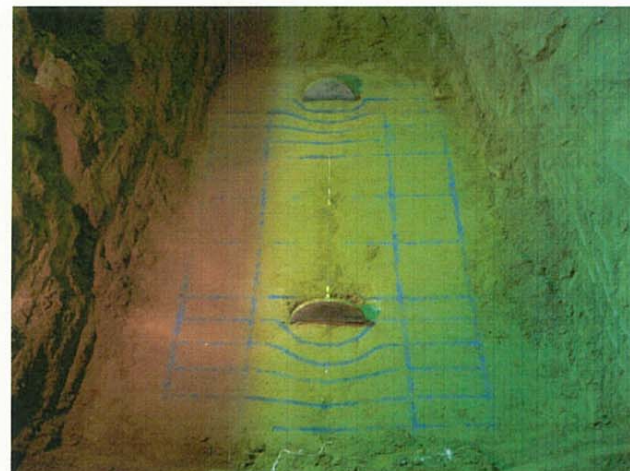


写真 3 引抜試験後 (ケース 2)

参考文献)

- 1) 小林・波田・大下：拵径型アンカーの大型土槽引抜実験、第 61 回土木学会年次学術講演会、2006.9
- 2) 小林・大下・宇田川：拵径型アンカーの遠心場引抜試験、第 42 回地盤工学研究発表会、2007.7 (投稿中)
- 3) グラウンドアンカーの設計施工基準・同解説、地盤工学会

支圧面形状が異なる支圧型アンカーの強度特性

グラウンドアンカー 遠心力模型実験 引抜き試験

(独) 土木研究所 正会員 ○小林 悟史
 (独) 土木研究所 大下 武志
 (独) 土木研究所 宇田川義夫

1. はじめに

掘割道路などの半地下構造物を建設するための土留め支保工として、切梁工法やグラウンドアンカー工法が広く用いられている。しかし、切梁工法では、仮設の規模、施工手間が大きいという問題があり、グラウンドアンカー工法では支持層の制約が大きいため、アンカー長が極端に長くなったり、用地境界の問題から計画そのものが困難なケースが生じる。そのため、短い定着長で、土砂地盤においても確実に支保できるアンカー工の必要性は大きい。

拡径型アンカーは、自由長部に比べて定着長部を拡大させた大口径アンカーであり、先に述べた用途として注目されている。拡径型アンカーに期待される引抜抵抗力は摩擦抵抗力と支圧抵抗力であり、これらの抵抗力は、引抜変位に応じてそれぞれ独立して発揮されることがわかっている¹⁾。

本研究では、支圧による地盤の変形メカニズムについて考察するため、土槽ガラス面において軸対象応力場を再現し、引抜き時の地盤の変形を観察した。さらに、支圧面形状が異なるアンカー模型体の引抜き試験を行い、その違いが引抜強度に与える影響について検証した。

なお、本報は「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究」として平成18年度から平成20年度にかけて、(独) 土木研究所と民間3グループで実施している共同研究の成果の一部である。

2. 地盤変形の観察

引抜き試験は遠心加速度30Gの遠心場において、鉛直引抜き試験を実施した。遠心試験装置は、(独) 土木研究所が所有する中型遠心試験装置を使用した。支圧抵抗時の地盤の変形を観察するために、図1、写真1に示すような実験土槽を作製した。アンカー模型体は円柱体を半割りにした構造であり、土槽ガラス面にて軸対象場を再現している。アンカー模型体の直径は既に実用化されている拡径型アンカー²⁾³⁾に倣い、実大換算でφ800mmとした。载荷は変位制御で行い、変位速度は0.01mm/sとした。载荷中は、引抜荷重と引抜変位を計測するとともに、遠心試験装置に取り付けたCCDカメラにより土槽の状況を逐次記録した。

図2は荷重-変位図であり、図3はCCDカメラによって撮影した地盤のメッシュの動向から地盤の変形の範囲を模式的に描いたものである。引抜きによる地盤の変形は、初期にはアンカープレート近傍の地盤が球状に圧縮される。その範囲はしだいに地表面へと発達し、最終的には写真1に示すようなコーン状のすべり線が発生し、地盤は流動状態になる。荷重は、地表面に変形の影響線が到達した時点で低下し、明瞭なすべり線が発生すると、定常状態に落ち着くことが確認された。

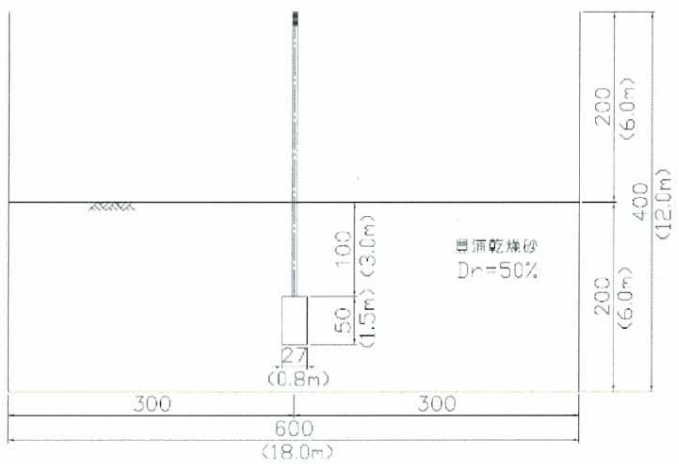


図1 土槽構造図

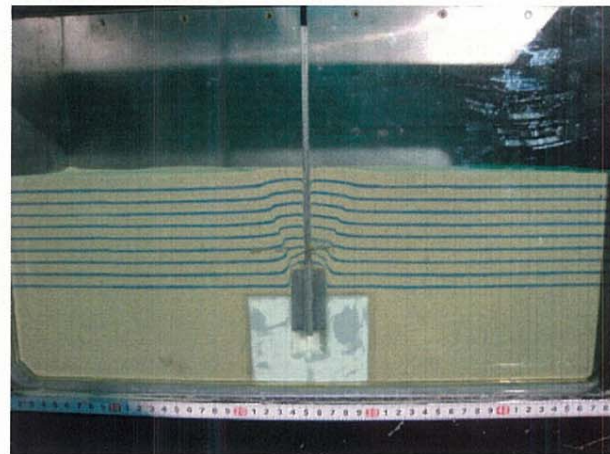


写真1 すべり線 (20mm 変位時)

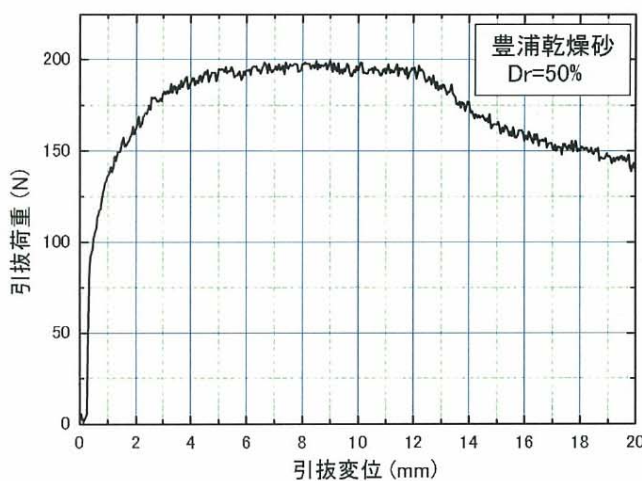


図2 荷重-変位曲線

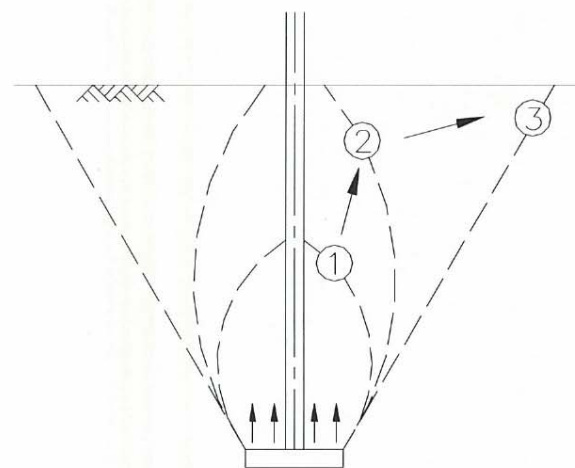


図3 地盤の流動範囲の遷移

流動時の引抜強度を表現するため、図4に示すモデル化を行った。引抜強度 T は、流動する土塊の重量とすべり線におけるせん断力の和として考えると、次の式が導出される。

$$T = \frac{\gamma H}{3} \pi (R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2) + \pi \frac{1+2K_0}{3} \frac{R_1+2R_2}{3} \gamma H^2 \tan \phi \quad (1)$$

ここで、第1項は土塊重量、第2項は拘束圧に依存した全せん断力である。式(1)に実験結果の引抜荷重 T と観察されたすべり線の半径を代入すると、逆算される内部摩擦角は $\phi=35$ 度となる。これは、一般的に知られている豊浦砂の値と同程度であり、モデルの妥当性が確認できた。

アンカー体の土被り高や地盤密度、飽和条件を変えたいくつかのケースを行った結果、このようなコーン状のすべり線が発達するのは、土被り高が 3.0m より小さいときであることがわかった。また、そのときの支圧面からの荷重分散角は 18 度~26 度で、地表面での影響円は最大でアンカー径の 4 倍程度であった。このことは、文献4)で郡杭効果を考慮する範囲を 4D と規定する項目と一致する結果である。

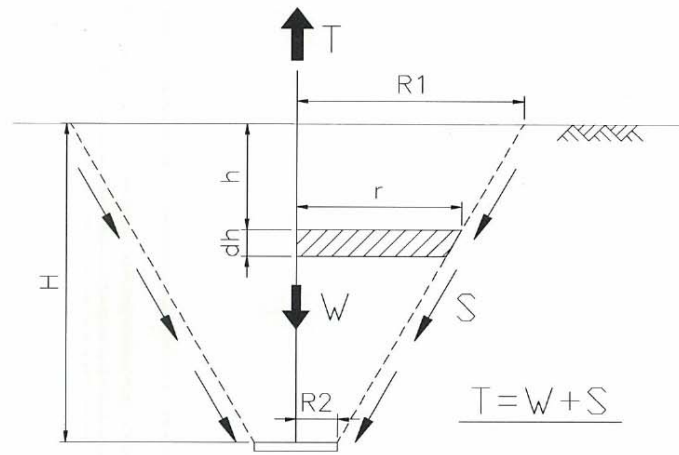


図4 地盤流動時の引抜モデル

3. 支圧面形状の違いが引抜強度に及ぼす影響

実用化されている拡径型アンカーは、必ずしも完全な円柱体ではない。そこで、図5に示すような角が取れたアンカー模型を作製し、断面積が同じであれば同様の支圧効果が得られるかの検証実験を行った。

アンカー模型体はアルミ製で、このような模型体を土槽内に埋設し、鉛直引抜試験を行った。実験は砂地盤で土被り高を実大換算で 5.0m 相当とし、地盤密度を変えたいくつかのケースを行った。図6,7は、各ケースにおいて、横軸に円柱体 (R0) の極限引抜力を、縦軸に角が取れた模型体 (R5, R10) の極限引抜力をプロットし、比較したものである。円柱体に比べて、角がとれたアンカー体の方が1割程度、強度が増加する傾向が見られた。これは、支圧力を発揮するせん断抵抗線がより深い位置から入るためと考えられる。

さらに、その応用として、図8に示すテーパ部を設けたアンカー模型体を作製し、引抜強度を比較した。荷重-変位関係を図9に示す。図9から支圧面側にテーパを設けたほうが大きな引抜強度が得られることがわかる。これは、先に述べたすべり線の位置が深くなるためということと、引抜きによって支圧部の拘束が大きくなることが要因と考えられる。

以上の結果から、設計時の支圧力の考え方としては、断面積が同じであれば、円柱体のモデルに置き換えて計算して差し支えないことが確認できた。

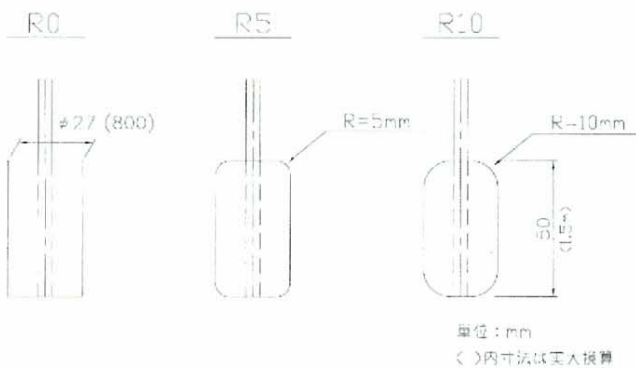


図5 角のとれたアンカー模型体

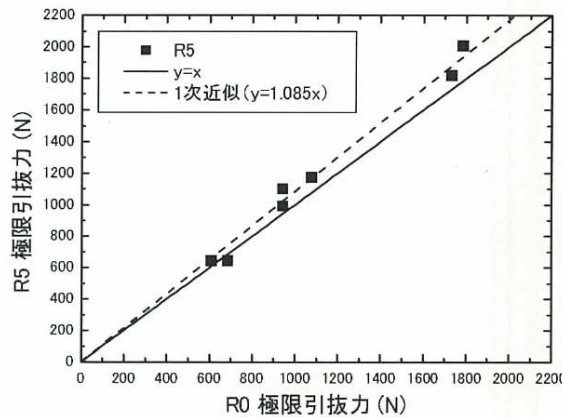


図6 極限引抜力の比較 (R5)

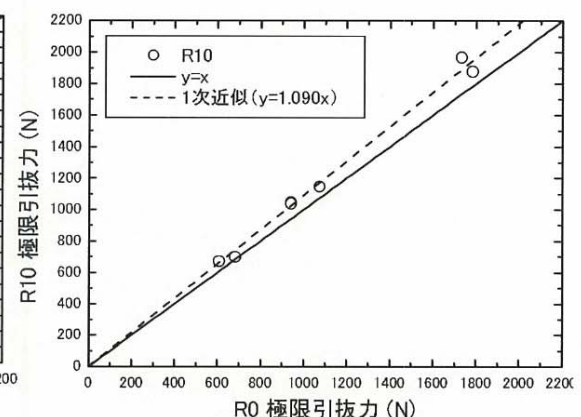


図7 極限引抜力の比較 (R10)

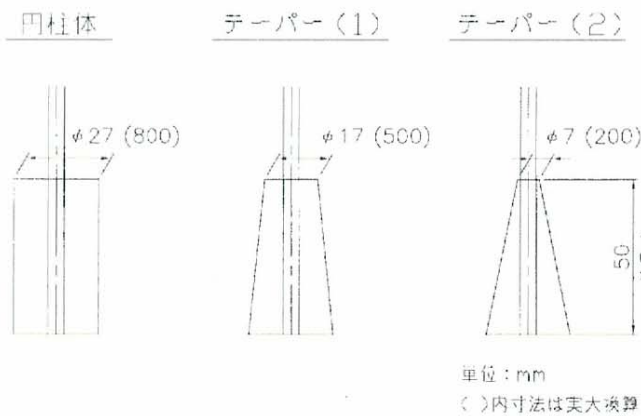


図8 テーパー模型体

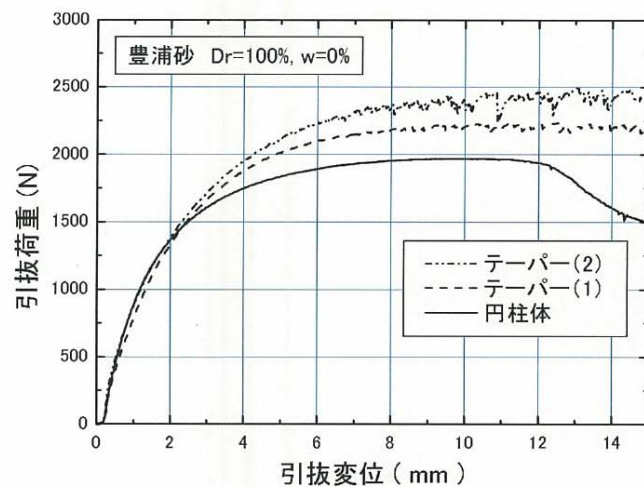


図9 荷重-変位曲線

参考文献

- 1) 小林・大下・宇田川：拡径型アンカーの遠心場引抜試験、第42回地盤工学研究発表会、2007.7
- 2) 日本エキスパンダ・ボディ協会：「Expander Body Anchor 技術資料」 2002.6
- 3) 日特建設株式会社：「スプリッツアンカー工法 技術・積算資料」 2003.7
- 4) 社団法人地盤工学会：「グラウンドアンカー設計施工基準・同解説」 2000.3

平成 20 年 5 月 15 日

F L O - B O N D におけるグラウトの設計基準強度と付着応力度との関係式について

ケミカルグラウト(株)

1. はじめに

ここでは、(独法)土木研究所(以降は、土研と略称する。)との共同研究である、「掘割構造等の設計の体系化に関する研究」の一環として、平成 17 年 3 月に実施された、「F L O - B O N D におけるグラウトとの付着試験」に関する試験データ(ケース 1)および平成 18 年 7 月に当社の機材センターで実施された、EB 本体に定着した実大付着試験データ(ケース 2)とに基づいて、グラウトの設計基準強度と付着応力度との関係式について検証することとする。

2. 既存データ

(1) ケース 1 : F L O - B O N D におけるグラウトとの付着試験に関する試験データ

表-2.1.1 試験時のグラウト圧縮強度

	目標値 18N/mm ² に対する 試験時のグラウト圧縮強度(N/mm ²)			目標値 24N/mm ² に対する 試験時のグラウト圧縮強度(N/mm ²)		
	1	2	3	1	2	3
供試体 No.	1	2	3	1	2	3
載荷荷重	33.3	32.9	33.5	45.5	42.2	47.5
圧縮強度 : σ_{ck}	17.0	16.7	17.1	23.2	21.5	24.2
平均値	16.9			22.9		

表-2.1.2 付着試験結果

	供試体 No.	自由端すべり 0.025mm		最大引抜力	
		荷重 (kN)	応力度 (N/mm ²)	荷重 (kN)	応力度 (N/mm ²)
目標強度 18N/mm ² グループ	1	12.4	2.34	14.2	2.67
	2	10.9	2.05	13.0	2.44
	3	12.1	2.28	13.5	2.53
	平均値	11.8	2.223	13.6	2.547
目標強度 24N/mm ² グループ	1	14.6	2.74	14.7	2.76
	2	14.8	2.77	14.9	2.79
	3	12.7	2.38	13.5	2.54
	平均値	14.0	2.630	14.4	2.697

※ 応力度=P/表面積

P : 荷重(kN) L : 供試体付着長(10cm) n : 素線数(側線 6 本)

d : 裸ストランド、エポキシストランドの素線径(いずれも 0.423cm とした)

表面積=(2/3)πdnL=(2/3)×π×0.423×6×10=53.2cm²

(2)ケース 2： EB 本体に定着した実大付着試験データ

表-2.2.1 実大付着試験結果

	試験最大荷重に対する結果	
	荷重 (kN)	応力度 (kN/mm ²)
グ ラウト圧縮強度 33N/mm ²	420	2.662

※ 応力度=P/表面積 EB-517 EHD5-3

P：荷重(kN) L：供試体付着長(150cm)

U：裸ストランド、エポキシストランドの見掛けの周長(10.52cm)

表面積=UL=10.52×150=1578cm²

3. グラウトの設計基準強度と付着応力度の関係について

ケース 2 において、ストランドは最大試験荷重(テンドンの降伏荷重×90%)まで載荷しても引抜ける兆候は見受けられなかったため、最大試験荷重を応力度算出用の荷重として採用した。

すなわち、この荷重は引抜けるまでの途中の荷重であることを考慮し、ケース 1 についても引抜けるまでの途中と考えられる「自由端すべり 0.025mm」の値を用いて関係式を導き出すものとする。

(1) ケース 1 における標準偏差値およびバラツキの算出

表-3.1.1 グラウトの圧縮強度および付着応力度一覧表

	供試体 No.	圧縮強度 σ_{ck} (N/mm ²)	自由端すべり 0.025mm	
			荷重 (kN)	応力度 (N/mm ²)
目標強度 18N/mm ² グループ	1	17.0	12.4	2.34
	2	16.7	10.9	2.05
	3	17.1	12.1	2.28
	平均値	16.9	11.8	2.223
目標強度 24N/mm ² グループ	1	23.2	14.6	2.74
	2	21.5	14.8	2.77
	3	24.2	12.7	2.38
	平均値	22.9	14.0	2.630

1) 目標強度 18N/mm² グループ

・標準偏差値

供試体 No.	①X _i (N/mm ²)	②X : 平均値 (N/mm ²)	(①-②) ²
1	2.34	2.223	0.01369
2	2.05	2.223	0.02993
3	2.28	2.223	0.00325
n=3			0.04687

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n=3} (X_i - X)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.04687}{3}} = 0.125(N/mm^2)$$

・バラツキ

供試体 No.	① X_i (N/mm ²)	② \bar{X} : 平均値 (N/mm ²)	③ $ \text{①}-\text{②} $ (N/mm ²)	③ / σ_n
1	2.34	2.223	0.117	0.936
2	2.05	2.223	0.173	1.384
3	2.28	2.223	0.005	0.040

以上より、供試体 No.2 のバラツキ(平均値からの離れ)が、 $1.384\sigma_n$ と最も大きくなるので、このグループにおけるバラツキ(安全率)は、 $Fs1=1.384$ とする。

2)目標強度 24N/mm²グループ

・標準偏差値

供試体 No.	① X_i (N/mm ²)	② \bar{X} : 平均値 (N/mm ²)	(①-②) ²
1	2.74	2.630	0.0121
2	2.77	2.630	0.0196
3	2.38	2.630	0.0625
n=3			0.0942

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n=3} (X_i - \bar{X})^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.0942}{3}} = 0.177(\text{N/mm}^2)$$

・バラツキ

供試体 No.	① X_i (N/mm ²)	② \bar{X} : 平均値 (N/mm ²)	③ $ \text{①}-\text{②} $ (N/mm ²)	③ / σ_n
1	2.74	2.630	0.110	0.621
2	2.77	2.630	0.140	0.791
3	2.38	2.630	0.250	1.412

以上より、供試体 No.3 のバラツキ(平均値からの離れ)が、 $1.412\sigma_n$ と最も大きくなるので、このグループにおけるバラツキ(安全率)は、 $Fs2=1.412$ とする。

(2)バラツキを考慮した付着応力度

グループ	供試体 No.	圧縮強度 : xi (N/mm ²)	バラツキ (Fs)	付着応力度(N/mm ²)	
				測定値	有効値 : yi
18N/mm ²	1	17.0	1.384	2.34	1.691
	2	16.7	1.384	2.05	1.481
	3	17.1	1.384	2.28	1.647
24N/mm ²	1	23.2	1.412	2.74	1.941
	2	21.5	1.412	2.77	1.962
	3	24.2	1.412	2.38	1.686
33N/mm ²	1	33.0	(1.000)	2.662	2.662
	n=7				

※1：圧縮強度 33N/mm²については、試験結果が1データしかないものの引抜けた兆候がまったくないので、バラツキは「1.000」と仮定した。

※2：有効値=測定値/バラツキ(Fs)

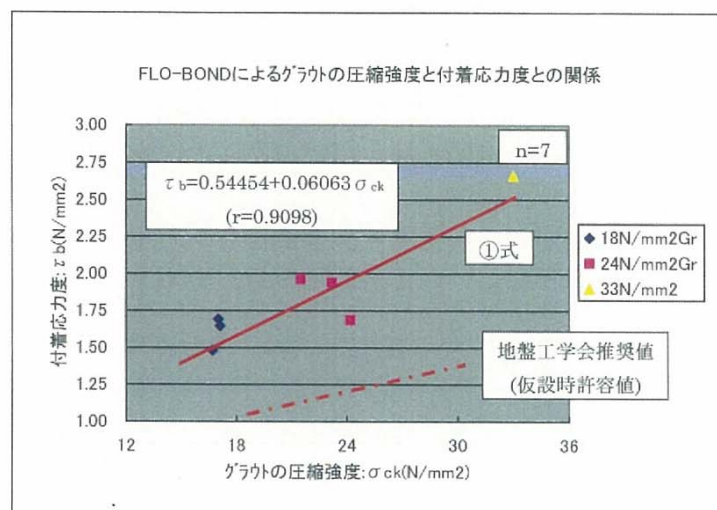
(3)回帰直線式の算定

上表中の圧縮強度 : xi と付着応力度の有効値 : yi との関係を直線回帰と捉え、関係式および相関係数を求めると以下のとおりとなる。

$$\text{各係数} \quad A = 0.54454 \quad B = 0.06063$$

$$\text{相関係数} \quad r = 0.9098$$

$$\tau_b = A + B \cdot \sigma_{ck} = 0.54454 + 0.06063 \cdot \sigma_{ck} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \text{①式}$$



データ数は、n=7 と少ないものの、相関係数が $r=0.9098$ となり、直線回帰とした場合の相関性は良いものと考えられる。

(4)EB アンカーにおける FLO-BOND を用いた場合の許容付着応力度について

前葉の回帰直線式は、バラツキ(安全率)を考慮した付着応力度の有効値から算出したものであり、試験状況を勘案した場合、この式から求めた値は、短期の引抜き力に対する許容付着応力度、言い換えるならば、仮設時の許容付着応力度と捉えることができる。

すなわち、「地盤工学会基準 グラウトアンカー設計・施工基準,同解説」の考え方に準じると、この回帰直線式から求めた値を仮設時の安全率($F_s=1.5$)で除することにより、永久時の許容付着応力度とすることが可能である。

そこで、今回の試験データから提案する許容付着応力度について、地盤工学会基準からの各許容値を参考にして下表にまとめる。

表-3.4.1 EB アンカーにおける FLO-BOND を用いた場合の許容付着応力度(目安値)

グラウト 設計基準強度 $\sigma_{ck}(N/mm^2)$	回帰直線式(①)からの 許容付着応力度(N/mm^2)		地盤工学会基準における 許容付着応力度(N/mm^2)		試験データから提案する 許容付着応力度(N/mm^2)	
	仮設	永久	仮設	永久	仮設	永久
18	1.64	(1.09)	1.00	—	1.50	(1.00)
24	2.00	1.33	1.20	0.80	1.80	1.20
30	2.55	1.70	1.35	0.90	2.00	1.35

※仮設時の許容付着応力度は、永久時の許容付着応力度に安全率($F_s=1.5$)を乗じたものとする。

上表より、回帰直線式(①)から求めた永久時の許容付着応力度は、地盤工学会基準における仮設時の許容値より大きいことがわかる。

よって、今回の試験データから提案する、EB アンカーにおける FLO-BOND を用いた場合の許容付着応力度のうち、永久については、地盤工学会基準における仮設の値を採用し、仮設については永久の値に安全率($F_s=1.5$)を乗じたものとする。

ただし、現段階では、データ数が $n=7$ と少ないことを考慮し、上表中の試験データから提案する、EB アンカーにおける FLO-BOND を用いた場合の許容付着応力度(着色部)は目安値として取り扱うものとする。

以上

FLO-BONDにおけるグラウトとの付着試験について

神鋼鋼線工業株式会社

低グラウト強度時におけるFLO-BONDとグラウトとの付着強度を確認するため引抜き試験を実施した。

1. 供試体

PC鋼材 : FLO-BOND ϕ 12.7mm

グラウト : セメントペースト (配合を表1に示す)

表1 グラウトの配合

	早強セメント	混和剤 NL4000	水
重量配合比	1	0.023	0.5
1m ³ あたり配合	1193.6kg	27.5kg	596.8kg

2. 試験方法

日本コンクリート工学協会引抜き試験法案に従い、250kN縦型引張試験機を用いて図1の方法で初滑荷重(ストランドがグラウトに対して0.025mmすべった時点での荷重)及び最大荷重(ストランドがグラウトに対して1mmすべった時点までの最大荷重)を測定した。なお、試験はグラウト圧縮強度の目標値18N/mm²、及び24N/mm²の2水準にて実施した。その際のグラウトの圧縮強度(テストピース3体の平均)を表2に、試験状況を別紙写真1~8に示す。

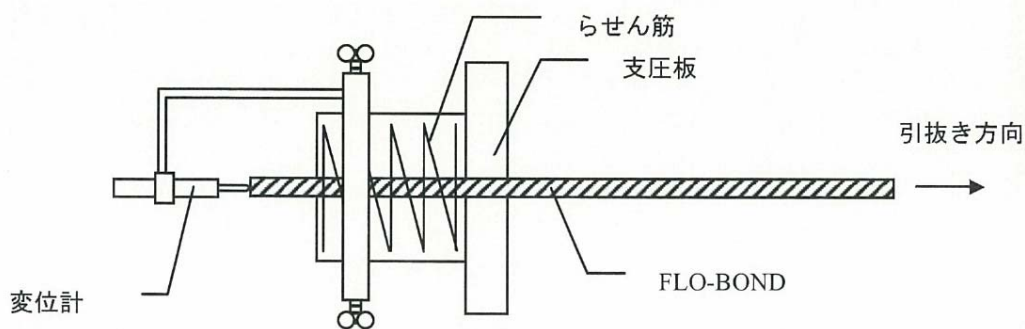


図1 引抜き試験概略図

表2 試験時のグラウト強度

	目標値 18N/mm ² にて試験時の グラウト圧縮強度(N/mm ²)			目標値 24N/mm ² にて試験時の グラウト圧縮強度(N/mm ²)		
	載荷荷重(kN)	33.3	32.9	33.5	45.5	42.2
圧縮強度	17.0	16.7	17.1	23.2	21.5	24.2
圧縮強度平均値	16.9			22.9		

3. 試験結果

試験の結果を表 3 に示す。FLO-BOND の付着強度は、地盤工学会基準の許容付着応力度を十分満足するものであった。

表 3 付着試験結果

		自由端すべり 0.025mm	最大引抜力		
		荷重 (kN)	応力 (N/mm ²)	荷重 (kN)	応力 (N/mm ²)
17N/mm ² 時	1	12.4	2.34	14.2	2.67
	2	10.9	2.05	13.0	2.44
	3	12.1	2.28	13.5	2.53
	平均値	11.8	2.22	13.6	2.55
23N/mm ² 時	1	14.6	2.74	14.7	2.76
	2	14.8	2.77	14.9	2.79
	3	12.7	2.38	13.5	2.54
	平均値	14.0	2.63	14.4	2.70

※ 応力=P/表面積

P:荷重(kN) L:供試体付着長(10cm) n:素線数(側線6本)

d:裸ストランド、エポキシストランドの素線径(いずれも 0.423cm とした)

表面積=2/3 π dnL=2/3 × π × 0.423 × 6 × 10=53.2cm²

注)参考として地盤工学会基準の許容付着応力度を表 4 に示す。

表 4 地盤工学会基準許容付着応力度

引張り材の種類		グラウト 設計基準強度 (N/mm ²)				
		18	24	30	40 以上	
仮設	PC 鋼線 PC 鋼棒 PC 鋼より線 多重 PC 鋼より線	1.0	1.2	1.35	1.5	
	異形 PC 鋼棒	1.4	1.6	1.8	2.0	
	永久	PC 鋼線 PC 鋼棒 PC 鋼より線 多重 PC 鋼より線	—	0.8	0.9	1.0
		異形 PC 鋼棒	—	1.6	1.8	2.0



写真1 グラウト 17 N/mm² 付着試験前供試体

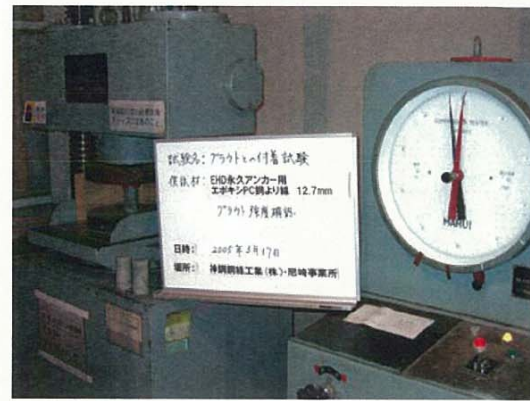


写真2 グラウト強度確認試験



写真3 グラウト 17 N/mm² 時付着試験状況



写真4 グラウト 17 N/mm² 付着試験後供試体



写真5 グラウト 23 N/mm² 付着試験前供試体



写真6 グラウト強度確認試験



写真7 グラウト 23 N/mm² 時付着試験状況



写真8 グラウト 23 N/mm² 付着試験後供試体

機材センターで行った許容付着応力度について

実施場所：機材センター

日時：H18.7.11 エキスパンダボディーアンカー注入
：H18.7.12 注入材の圧縮強度試験
：H18.7.13 引抜き試験

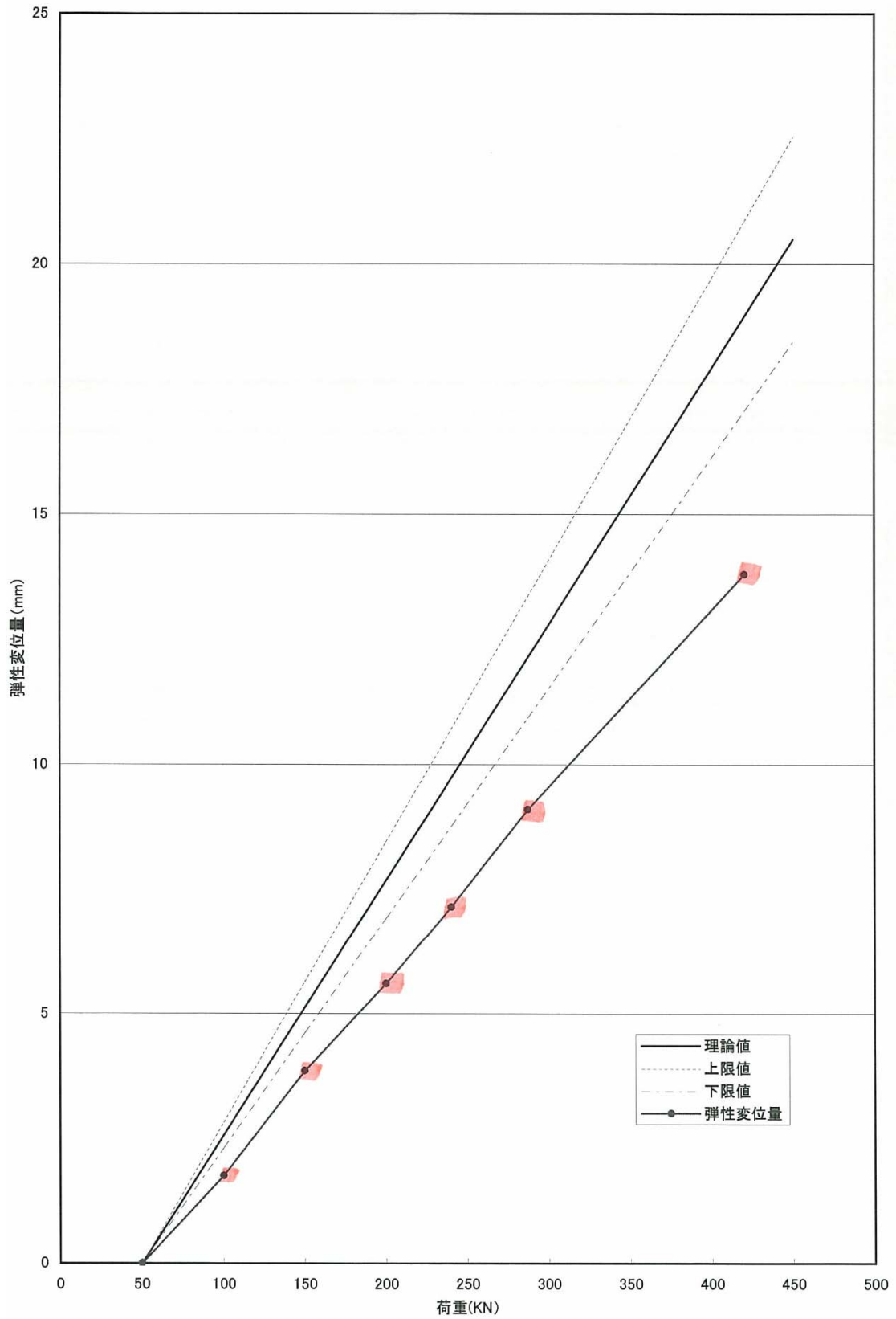
試験体：EB-517

テンドン仕様：（クサビまで余長込み）自由長 2,800mm アンカー体長 1,500mm
E=193.6N/mm EHD-3

テンドンの極限拘束力

- ・ 420KN までテンドンに載荷し、引抜けなかったため、テンドンの極限拘束力を 420KN とする。
- ・ テンドンの許容拘束力 $420 \div 1.5 = 280\text{KN}$
- ・ 見かけの周長 105.2mm より
許容付着応力度 $\tau_{ba} = (280 \times 1000) / (1500 \times 105.2) = \underline{1.77\text{N/mm}^2}$
手引き書では 40 N/mm^2 以上で $\underline{1.5\text{ N/mm}^2}$
 $1.77/1.5 = 1.18$ 倍

(圧縮強度試験 $\sigma^1 = 31\text{ N/mm}^2$)



グラフ ① 荷重～弾性変位量曲線

緊張試験データシート






ジャッキ受圧面積

94.25 cm²

荷重	ゲージ読み	時間	頭部変位	弾性変位量	塑性変位量	EB軸変位	横方向離れ	縦方向離れ
50	5.3	0	0.00					
	0.0	1	0.00					
	0.0	2	0.00			0		
100	10.6	0	4.25					
	0.0	1	4.25					
	0.0	2	4.25					
	0.0	3	4.45					
	0.0	4	4.45					
	0.0	5	4.45			4	-6	0
50	5.3	0	2.85					
	0.0	1	2.70					
	0.0	2	2.70	1.75	2.70	3	-6	0
100	10.6	0	4.65					
	0.0	1	4.65					
	0.0	2	4.65					
150	15.9	0	38.15					
	0.0	1	40.35					
	0.0	2	40.85					
	0.0	3	41.70					
	0.0	4	42.20					
	0.0	5	42.45			40	-2	3
100	10.6	0	41.65					
	0.0	1	41.65					
	0.0	2	41.65					
50	5.3	0	38.60					
	0.0	1	38.60					
	0.0	2	38.60	3.85	38.60	39	2	3
100	10.6	0	40.95					
	0.0	1	40.95					
	0.0	2	40.95					
150	15.9	0	45.00					
	0.0	1	46.00					
	0.0	2	46.50					
200	21.2	0	67.95					
	0.0	1	68.50					
	0.0	2	68.55					
	0.0	3	68.80					
	0.0	4	69.15					
	0.0	5	69.50			60	4	2
150	15.9	0	68.50					
	0.0	1	68.50					
	0.0	2	68.50					
50	5.3	0	64.00					
	0.0	1	63.90					
	0.0	2	63.90	5.60	63.90	60	7	4
150	15.9	0	67.35					
	0.0	1	67.35					
	0.0	2	67.35					
200	21.2	0	70.50					
	0.0	1	70.70					
	0.0	2	70.80					
240	25.5	0	87.30					
	0.0	1	89.75					
	0.0	2	90.55					
	0.0	3	91.05					

	0.0	4	91.45					
	0.0	5	92.20			81	4	3
150	15.9	0	89.95					
	0.0	1	89.95					
	0.0	2	89.95					
50	5.3	0	85.05					
	0.0	1	85.05					
	0.0	2	85.05	7.15	85.05	81	9	5
150	15.9	0	88.35					
	0.0	1	88.35					
	0.0	2	88.35					
240	25.5	0	93.50					
	0.0	1	94.05					
	0.0	2	94.05					
287	30.5	0	129.75			117	17	8
240	25.5	0	129.40					
150	15.9	0	125.50					
50	5.3	0	120.65	9.10	120.65	116	11	8
150	15.9	0	125.50					
	0.0	1	125.50					
	0.0	2	125.50					
240	25.5	0	130.05					
	0.0	1	130.15					
300	31.8	0	137.65					
	0.0	1	139.05					
	0.0	2	137.15					
	0.0	3	139.65					
	0.0	4	139.80					
	0.0	5	139.85					
350	37.1	0	157.60					
	0.0	1	159.35					
	0.0	2	160.15					
	0.0	3	161.25					
	0.0	4	161.90					
	0.0	5	162.15					
	0.0	6	162.25			146	21	14
400	42.4	0	177.40					
	0.0	1	179.45					
	0.0	2	180.20					
	0.0	3	181.00					
	0.0	4	181.50					
	0.0	5	182.05					
420	44.6	0	187.35					
	0.0	1	189.20					
	0.0	2	193.50					
	0.0	3	198.20					
	0.0	4	206.50					
240	25.5	0	201.65					
	0.0	1	201.65					
50	5.3	0	192.70					
	0.0	1	192.70	13.80	192.70	200	25	50

引抜き試験状況写真

引抜き試験前	引抜き試験後
	
	
注入材一軸圧縮強度試験	
 <p> 一軸圧縮強度試験 試料番号: 27.0 試験日: 2014.05.20 ① 34.2 MPa ② 27.0 MPa ③ 29.8 MPa ④ 30.1 MPa </p>	

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.400 December 2009

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754