

軟弱地盤に対する拡孔式アンカーの現地実験 Field test result of Under-reamed anchor in Soft ground

伏屋 行雄¹, 岩崎 玄之²

1 日特建設・名古屋支店・yukio.fuseya@nittoc.co.jp

2 日特建設・名古屋支店・haruyuki.iwasaki@nittoc.co.jp

概 要

本論文では平均 N 値 6 のシルト混砂層, 同 9 の粘土層に対し, $\phi 800\text{mm}$, 定着長 1.5m の拡孔式アンカーの適正を明らかにしている. 本施工に先立ち実施した引抜き試験の荷重-変位量曲線から, 砂質土においては, アンカー体周面の摩擦抵抗力の縁切れが発生する場合はあるが, 支圧抵抗力によりアンカー機能は正常に保たれることが証明された. このため拡孔式アンカーでは, 摩擦抵抗力を考慮しなくても, 支圧抵抗力だけで十分なアンカー効果を期待できると考える. 今回の現地実験により, 拡孔式アンカーの有効性が証明され, 緩いシルト混砂層, 粘土層に対しての仮設アンカー工法による山留め工の可能性が広がったと考える.

キーワード: 拡孔式アンカー, 引抜き試験, 支圧抵抗力, 摩擦抵抗力, 極限引抜き力

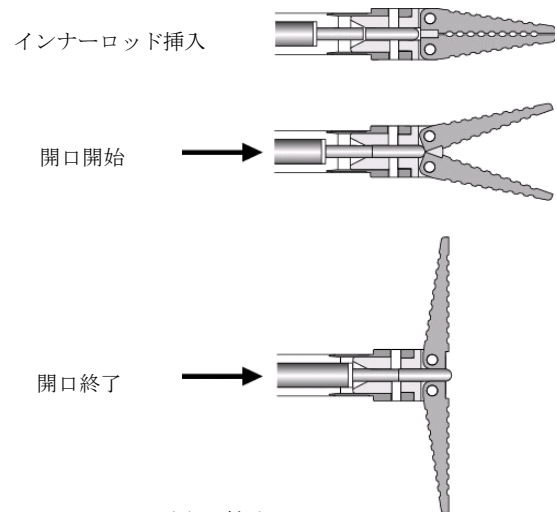
1. 結論

都市部で実施される大規模掘削工事では, 山留め工法としてグラウンドアンカー工法を採用する事例が多い. しかし N 値の小さい軟弱地盤に対しての施工事例は少ない^{1),2)}. その主な原因は以下の 2 点である.

- ①アンカー定着長部を軟弱層に設けた場合, 拘束力の不足のため, 低張力でアンカーに引き抜けが発生し, アンカー機能を発揮できない.
- ②地盤のクリープ変形量が大きく, 時間の経過に伴うアンカー機能の低下が著しい.

上記の問題を克服するため, 現在定着長部を拡孔し, アンカー体の周面摩擦抵抗力に加え, 支圧抵抗力によりアンカー機能を発揮する拡孔式グラウンドアンカー工法 (以下拡孔式アンカー) が開発されている. 現在 3 種類の工法が試行されている. しかしこれらの工法は, 確実な定着長部の拡孔造成が難しく, 出来型および造成したアンカーの機能に問題点も多く, 完成された工法とは言い難いのが現状である. さらに拡孔式アンカー工法を軟弱地盤に適用するには, 引抜き抵抗力の発生力学機構の点で不明な点が残されている. そのため, 施工に先立ち現地実験を実施し, 拡孔式アンカー機能の把握が必要となる^{3),4),5),6)}.

今回筆者らは機械的に定着長部を拡孔し, 要求性能を満足することの可能な拡孔式アンカー工法を導入し, 国道の拡幅工事に伴う山留め工事を実施した. さらに本施工に先立ち, アンカーの引き抜き試験を実施し, 拡孔式アンカーの定着機構について新しい知見を得ることができた.



図, 1 拡孔のシステム



写真, 1 拡孔ビットの詳細

2. 拡孔式アンカーの詳細

2.1 工法の特徴

今回採用した拡孔式アンカー工法は、拡孔専用ビットを、小型オイルポンプにより、地中で機械的に開口する方式を採用している。油圧の伝達は、ドリルパイプ内に挿入したインナーロッドにて行う⁷⁾。拡孔ビットの開口状況の確認は、ドリルパイプ内に挿入したインナーロッドの貫入量で行ない、50mmの貫入で完全にビットが開口する。図.1 にビット開口のシステムを、写真.1 に拡孔専用ビットの状況を示す。拡孔専用ビットは現在φ600mm、800mm、1200mmの3種類を用意し、必要なアンカー力に応じて使用している。

本工法は確実にビットの開口が行えるため、その後の定着長部の拡孔精度は極めて高い。さらにビットの開口状況の確認が定量的に行えるため、施工中の管理が容易である。このため、ビットの開口不良による定着長部の出来型不足、それに伴うアンカー機能の不足等の事故の心配は無い。また掘り出し試験においても良好な出来型が確認されており、良好なアンカー効果も証明されている。写真.2 に掘り出しにより確認した拡孔部の状況を示す。

現在さらに拡孔径の大型化、被圧水以下での施工等に対応するための改良、改善が進められている。

2.2 拡孔式アンカーの施工手順

拡孔アンカーの施工手順を図.2 に示す。次の①～⑤の順で施工される。

① 軸部の削孔は回転力のみで行いアンカー体上端まで実施する。ドリルパイプ径はφ135mmである。

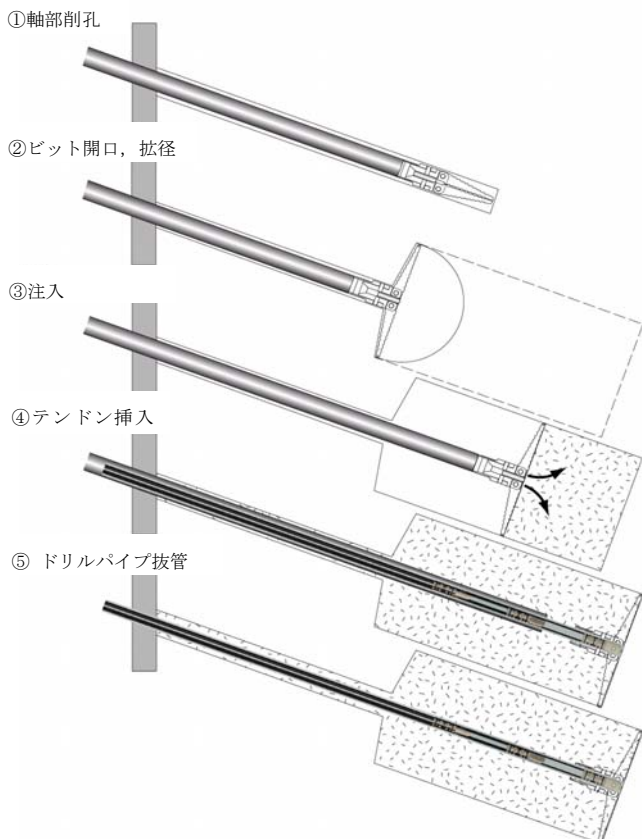


図.2 拡孔式アンカーの施工手順

- ② 拡孔用ビット開口およびアンカー体の拡孔は軸部の削孔終了後、ドリルパイプ内にインナーロッドを挿入、小型油圧ポンプでインナーロッドを加圧、拡孔ビットを開口の順で行なう。ビット開口後インナーロッドを回収し、アンカー体部の拡孔削孔を行なう。所定のアンカー体部の拡孔終了後、孔内を洗浄し、削孔スライムを除去する。さらにドリルパイプをアンカー体上端まで引上げ、アンカー体の出来型を確認する。
- ③ 注入作業は、ドリルパイプを孔底まで下げ、置換注入方式によりアンカー体部を孔底から注入する。注入中には拡孔ビットを回転し、拡孔部に均等にグラウトを充填させる。注入量の管理は流量計にて行い、アンカー体の拡孔部体積の1.2倍を目安として注入する。
- ④ テンドン挿入作業は、アンカー体先端で拡孔ビットを外した後、インナーロッドを引き上げ、テンドンを挿入する。
- ⑤ ドリルパイプ抜管作業の終了後グラウトの強度発現を確認する。その後テンドンにプレストレス力を与え、定着する。

3 地質状況および現地状況

3.1 地質状況

拡孔式アンカー引抜き実験の施工現場は、愛知県安城市の国道23号線藤井IC地点である。本地域は濃尾平野の東側に位置しており、当地域周辺は過去、陸水である東海湖時代～海進時代を経て現在の陸域となり、さまざまな地質環境を経、現在に至っている⁸⁾。このためGL-13m付近までは非常に軟弱なシルト質砂質土、粘性土が互層状に厚く堆積している。これらの軟弱層の平均N値は砂質土で6～20、粘性土で6～10程度である。全般に粘性土が優勢な地層構成となっている。

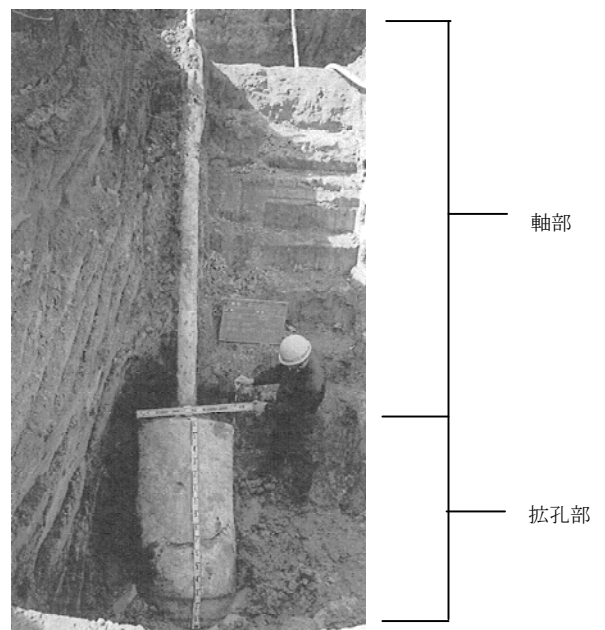
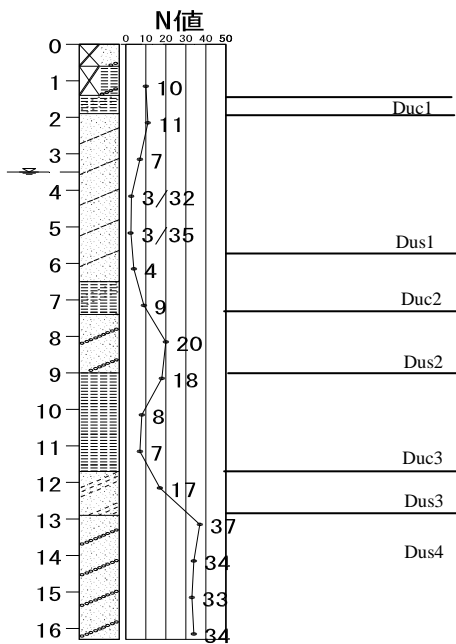


写真.2 造成された拡孔部の状況

表,1 各層の定数

区分	記号	平均 N 値	層厚 (m)	単位体 積重量 (kN/m ³)	粘着 力 (kN/m ²)	内部摩 擦角 (度)
シルト	Duc1	10	1.0	18.9	60	0
シルト混 砂	Dus1	6	2.5	17.0	0	31
粘土	Duc2	9	2.0	18.5	57	0
シルト混 砂	Dus2	20	1.0	19.0	0	34
粘土	Duc3	7	3.5	17.5	64	0



図,3 現地の地質状況

さらに GL-13m 以深では、N 値 30 以上の締まった砂層が出現する。本層は、当初設計で従来型アンカーの定着層とされていた。

図,3 に本地区周辺の模式柱状図を、表,1 に各層の土質定数を示す。

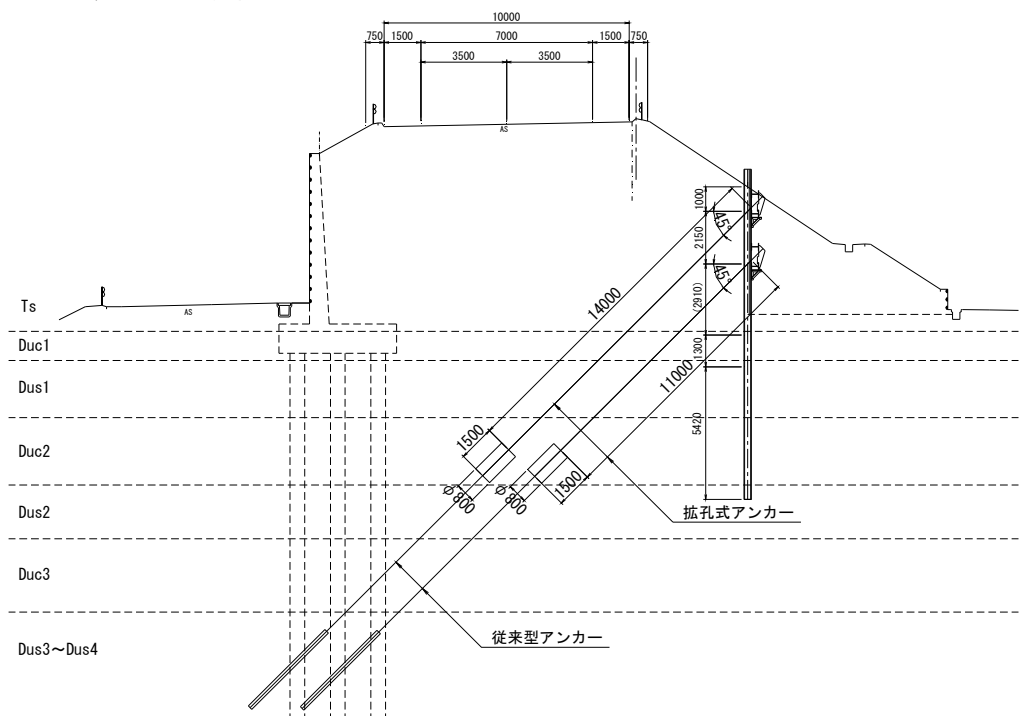
3.2 現地状況

国道 23 号線は岡崎市、名古屋市、四日市市を結ぶ幹線国道であり、近年の交通量の増加に伴い、四車線化工事が進められている。現国道は、緩い堆積物上に高さ 8~9m の盛土を行い、盛土上に造成されている。

図,4 に現地の代表断面を示す。施工地点は、当初深部の硬質地盤に定着長部を設ける従来型の摩擦形式アンカー工法による山留め工が計画されていた。しかしアンカー



写真, 3 土留め工完成後の状況



図,4 代表断面

設置面の対岸に基礎杭を伴った土留め壁が存在することが判明した。このため、従来型の摩擦形式アンカーでは、基礎杭と干渉するため、基礎杭手前の軟弱層に定着長部を設置する拡孔式アンカーを採用した。以上により定着長部の土質は、平均 N 値 6 のシルト質砂層(Dus1)、および平均 N 値 9 の粘土層(Duc2)の軟弱層となる。これらの軟弱層では地山の拘束力が低く、極限引き抜き力の推定では、必要アンカー力を満足させるためには、水平間隔を 1.5m まで近づけなければならないこととなった。このため、隣接するアンカーの拡孔部どうしの離隔は 0.7m しか確保できず、近接アンカーとなり、群効果によるアンカー機能の減衰の発生する懸念が生じた。この事態を回避するため、定着長部の設置深度に差を設け、アンカー体の離隔が確実に 2.0m 以上となるように工夫した。

以上より拡孔式アンカーの施工数量は土留め段数 2 段で総計 78 本、施工延長は 901m となった。

また本施工に先立ち、試験アンカーによる引抜き実験を実施し、アンカー機能の検証を行った。

表,2 試験アンカーの諸元

	No,1 孔	No,2 孔	No,3 孔	No,4 孔
アンカータイプ	5-4	5-4	5-4	5-4
自由長 (m)	6.5	10.0	8.0	11.5
定着長 (m)	1.5	1.5	1.5	1.5
全長 (m)	8.0	11.5	9.5	13.0
有効土被り (m)	8.0	11.0	8.0	11.0
軸部削孔径 (mm)	135	135	135	135
拡孔径 (mm)	800	800	800	800
設計アンカー力(kN)	380.4	316.6	380.4	316.6
定着長部土質	Dus1	Duc1	Dus1	Duc2

4 拡孔式アンカーの引抜き試験

4.1 引抜き試験の内容

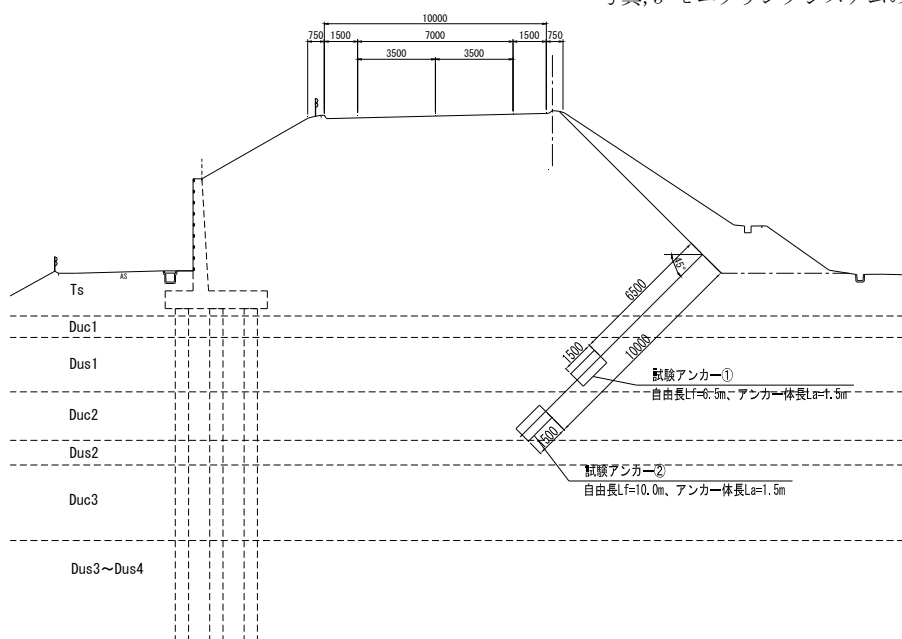
試験アンカーの設置断面を図,5 に、試験用テンドンの諸元を表,2 に示す。さらに写真,4 に試験状況を、写真,5 に計測に使用したモニタリングシステムを示す。



写真,4 引抜き試験状況



写真,5 モニタリングシステムの詳細



図,5 試験アンカー設置断面図

表, 3 各サイクルでの試験最大荷重

サイクル	初期荷重	1	2	3	4	5
最大荷重(kN)	60	115	230	340	460	571

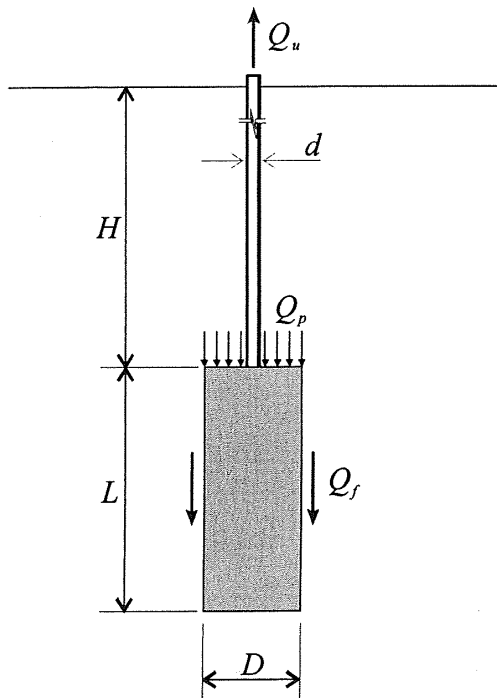
試験アンカーは本施工アンカーと同一方向とし、定着長部が確実に本施工アンカーの定着長部と一致するように設置した。設置位置はDus1層、Duc2層とした。試験本数はDus1層で3本、Duc2層にて1本、合計4本とした。

引抜き試験でのアンカー機能の判定手法は、載荷時のアンカー頭部変位量の計測により行った。そのさい頭部変位量は、反力装置から独立した梁に固定した変位計で直接計測した。また各試験荷重の載荷には、センターホールジャッキを使用した。さらに計測データの集積には自動モニタリングシステムであるLicosを用い、計測頻度2秒毎の精密計測を実施した。また各載荷段階の最大試験荷重は表,3に示す通り決定した。

4.2 極限引抜き抵抗力の推定法

拡孔式アンカーの周面摩擦抵抗力と支圧抵抗力の関係の概念図を図,7に示す。拡孔式アンカーでは、極限引抜き力は、アンカー体周辺に作用する周面摩擦抵抗力と、拡孔されたアンカー体の肩部に作用する支圧抵抗力の和として算出される⁹⁾。しかし両抵抗力が同時に作用する可能性は低く、どちらかを低減させて考える必要がある。

今回の推定では、支圧抵抗力には、Terzaghiの支持力式¹⁰⁾を用い、摩擦抵抗力の推定には、従来型摩擦アンカーの場合と同じ手法を用いた。そのさいDus1層は、細粒分が多いため、粘性土と仮定し、粘着力を考慮し、内部摩擦角を既往資料の50%まで低減した。



図, 7 拡孔式アンカーの概念図

極限引抜き抵抗力 Q_u は、次式で示される。

$$Q_u = Q_p + Q_f + Q_{fd} + W \text{ ----- (1)}$$

ここで Q_p : 支圧抵抗力, Q_f : 周面摩擦抵抗力, Q_{fd} : 軸部の摩擦抵抗力, W : アンカー体自重である。

(1) 式のうち Q_{fd} , W は無視できる程度の大きさであり, Q_p と Q_f は以下の通り算出される。

$$Q_p = (\alpha \cdot C \cdot N_c + \beta \cdot \gamma \cdot D \cdot N_r + 1/2 \cdot \gamma \cdot L_f \cdot N_q) \cdot A_p$$

$$Q_f = (\pi \cdot D \cdot L) \cdot \tau \cdot L$$

よって Q_u は(2) 式で表される

$$Q_u = (\alpha \cdot C \cdot N_c + \beta \cdot \gamma \cdot D \cdot N_r + 1/2 \cdot \gamma \cdot L_f \cdot N_q) \cdot A_p + (\pi \cdot D \cdot L) \cdot \tau \cdot L \text{ ----- (2)}$$

ここで D : アンカー体径(800mm), d : 軸部径(135mm), L_f : アンカー体設置深度(4.5m, 7.0m), L : アンカー体長(1.5m), τ : 極限周面摩擦抵抗力 (1.0C), γ : 単位体積重量(Dus1層 17kN/m³, Duc2層 18.5 kN/m³), C : 粘着力 (Dus1層 50kN/m², Duc2層 57 kN/m²) A_p : 断面積 (0.502 m²) α : 係数(1.3) N_c , N_r , N_q : 諸定数(表, 4)

各試験アンカー、および在来式アンカーの極限引抜き力、支圧抵抗力、摩擦抵抗力の算定結果を表,5に示す。従来式アンカーでは、支圧抵抗力は作用せず、引き抜き抵抗力は全て摩擦抵抗力に起因するものと考えた。

極限抵抗力は、シルト質砂層に比べ、粘土層がやや大きくなると予想された。また支圧抵抗力は、アンカー体の土被りにより差はあるが、摩擦抵抗の2.2~2.6倍と推定された。

表,4 諸定数 N_c , N_r , N_q 一覧

ϕ	N_c	N_r	N_q
0	5.3	0.0	3.0
5	5.3	0.0	3.4
10	5.3	0.0	3.9
15	6.5	1.2	4.7
20	7.9	2.0	5.9
25	9.9	3.3	7.6
28	11.4	4.4	9.1
32	20.9	10.6	16.1
36	42.2	30.5	33.6
40	95.7	114.0	83.2

表,5 極限引抜き力、支圧抵抗力、摩擦抵抗力の算定結果

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	従来式	
対象土質	Dus1	Dus1	Dus1	Duc2	Dus1	Duc2
土被り (m)	8.0	11.0	8.0	11.0	—	—
支圧抵抗力 (kN)	415	455	415	504	—	—
摩擦抵抗力 (kN)	188	188	188	188	31	36
極限引抜き力 (kN)	603	643	603	692	31	36

5 実験結果と考察

5-1 荷重-変位量曲線

各孔の荷重-変位量曲線を図6に示す。各孔とも設計アンカー力に対しては十分なアンカー機能を発揮していたが、事前に想定した極限引抜き力を下回る結果となった。各孔の状況は以下の通りである。

1) No.1 孔 (Dus1)

第3～第4サイクルへの昇圧中432.5, 460.3, 474.4kN, において瞬間的な荷重の降下, アンカー頭部変位量の急増が発生した。その後460kNにて載荷荷重は一定となったが, 変位量の増加が続き, アンカーに引き抜け発生の可能性があると考えられた。このため一度初期荷重まで降圧した後, 再度第4サイクルまでの昇圧を行ったところ, 変位量の増加は収束傾向が認められた。さらに第5サイクルまでの昇圧を試みたところ546.3kNにて急激な荷重の降下, 変位量の増加が発生した。第5サイクルでは, 571kN までの昇圧は可能であったが, 変位量の増加が著しく, アンカーに引抜けが発生していると判断した。

また荷重-変位量曲線の傾きから判断すると, 第3サイクルまでの変位量の傾きと第4サイクルでの変位量の傾きはほぼ同一傾斜であり, 弾性的な挙動を示している。このため極限引抜き力は, 第4サイクルの最大荷重である460kNと考えた。この荷重は, 事前の推定値である603kNの76%であった。

2) No.2 孔 (Dus1)

第3サイクル最大荷重(340kN)保持中に荷重の急激な降下, 変位量の急増が確認された。この現象は数秒で収束し, 荷重は降下前の状態に復旧する。さらに試験を継続し, 最大荷重(571kN)の載荷も可能であり, 変位量の増加は認められなかった。荷重-変位量曲線も弾性的挙動を示し, このためアンカー機能は健全であると判断した。

以上より本試験アンカーの極限引抜き力は試験最大荷重である571kNと考える。この荷重は, 事前の推定値である643kNの89%であった。

3) No.3 孔 (Dus1)

荷重の急激な降下は認められず荷重-変位量曲線は弾性的挙動を示した。また塑性変位量も11.13mmと小さく, 本試験アンカーのアンカー機能は極めて高いと考える。

以上より本試験アンカーの極限引抜き力は試験最大荷重である571kNと考える。この荷重は, 事前の推定値である603kNの95%であった。

4) No.4 孔 (Duc2)

第5サイクル昇圧時, 最大荷重に到達せず557.9kNにて荷重の急激な降下と頭部変位量の急増が始まった。このため初期荷重まで降圧し, 試験を終了した。塑性変位

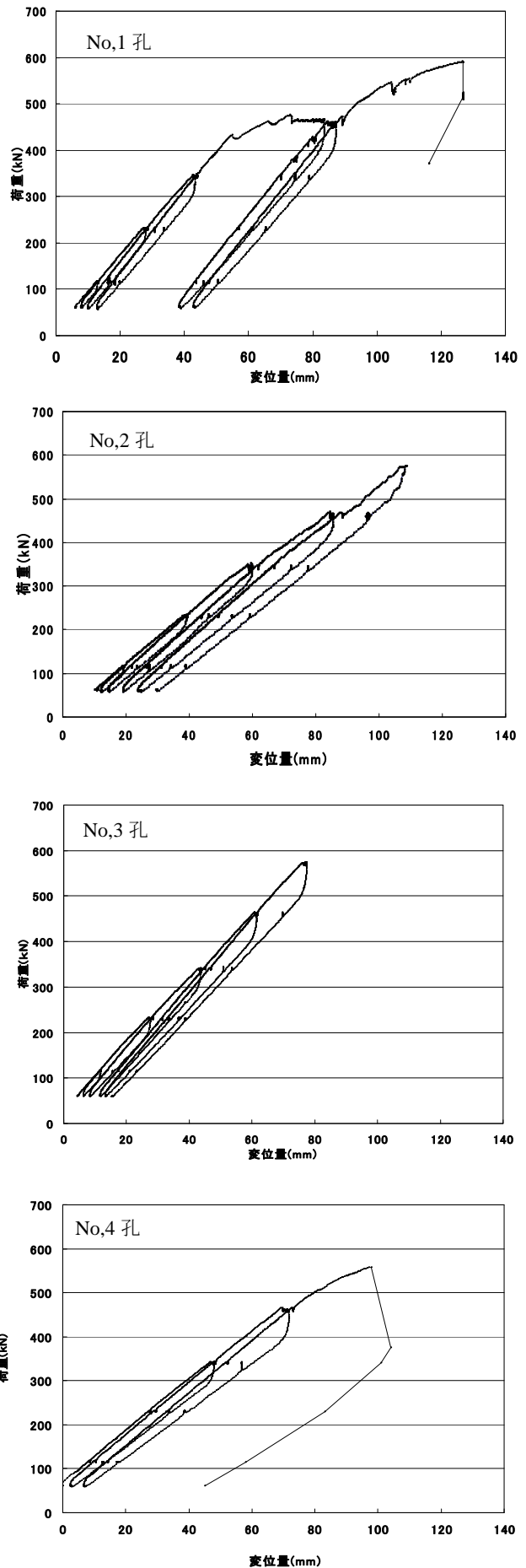


図6 各孔の荷重-変位量曲線

量も急増しており、アンカーに引抜けが発生したと判定した。以上より極限引抜き力は荷重の急激な降下と頭部変位量の急増が始まった 557.9kN と考える。この荷重は、事前の推定値である 692kN の 81% であった。

また第 4 サイクル荷重保持中に、No.1,2 孔と同様な短時間の荷重の急激な降下、変位量の急増が確認された

極限引抜き力は全孔事前の予想値を下回った。この原因は、摩擦抵抗力と支圧抵抗力が同時に作用しないことに起因すると考える。このため Terzaghi の支持力式を用い極限引抜き力を算定する場合、摩擦抵抗力を考慮せず、

5-2 摩擦抵抗力の縁切について

No.1, 2, 4 孔において昇圧中、荷重保持中に載荷荷重の急激な低下、および頭部変位量の急増が同時に発生した。この載荷荷重の減少は 20 秒以内で収束し、急激な低下発生前の状態に復旧する。各孔での詳細は、以下の通りである。

1) No.1 孔 340~460kN 昇圧時

載荷荷重の急激な低下は 432.5, 460.3, 474.4, および 546.3kN の 4 回にわたり発生した。その際の荷重-変位量曲線の詳細を図 7 に示す。荷重低下量は 5~25kN, 変位増加量は 0.2~2.3mm 程度であり、継続時間は 30 秒以下である。載荷荷重の低下は、極めて短時間に発生、収束しており、さらにアンカー機能も短時間に回復し、アンカーに引抜けは発生していない。

以上より載荷荷重の急激な低下は、アンカー体周面での摩擦抵抗力の縁切れによるものと考えられる。またアンカー機能の回復も短時間で発生しており、摩擦抵抗力の縁切れ発生直後に、支圧抵抗力の発現が始まり、アンカー機能が保たれているものと考えられる。

また最初に確認された荷重の急激な低下時 (432.5kN) での周辺摩擦抵抗力 (τ 値) を算出すると、 $\tau=0.114\text{MN/m}^2$ となる。この値は N 値と土質から推定した砂質土 (N=10) での値とほぼ一致している。

2) No.2 孔 340kN 荷重保持時

同孔での荷重-変位量曲線を図 8 に示す。荷重の急激な低下は、340kN 荷重保持中に頻繁に発生している。継続時間は No.1 孔と同様に、20 秒以下の場合が多い。また載荷荷重の低下も、極めて短時間に発生している。さらにアンカー機能も短時間に回復し、アンカーに引き抜けは発生していない。

この原因は、No.1 孔と同様に、摩擦抵抗力の縁切れであり、縁切れ発生後直ちに支圧抵抗力の発現が始まるためと考える。

3) No.4 孔 340kN 荷重保持時

第 5 サイクル (571kN) への昇圧中、465.93kN 載荷時に

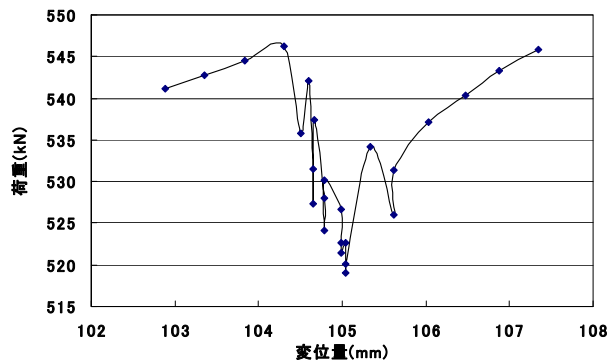


図 7 No. 1 孔での荷重低下時の詳細

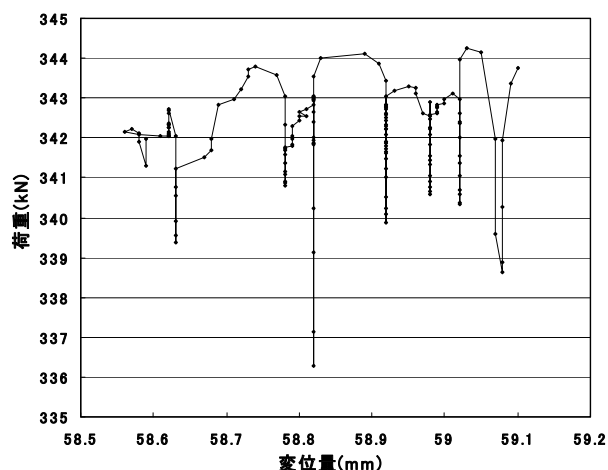


図 8 No. 2 孔での荷重低下時の詳細

No.1,2 孔と同様な荷重の急激な降下、変位量の急増が確認された。継続時間は 10 秒間ときわめて短時間であり、荷重の低下量は 6.64kN, 変位量の増加は 0.16mm と少量であった。このためアンカー機能は正常であると判定した。荷重の急激な降下の原因は、摩擦抵抗力の縁切れであり、その後の支圧抵抗力の発現により、アンカー機能は維持されている。

以上の荷重-変位量曲線の計測値から判断すると、支圧効果を発揮する拡孔式アンカーにおいては、載荷中に摩擦抵抗力の縁切れによる荷重の急激な低下、および変位量の増加が発生する事例がある。この事例により、拡孔式アンカーでは摩擦抵抗力と支圧抵抗力が同時に作用しないことが証明された。またこの場合、摩擦抵抗力の低下が発生した後ほぼ同時に支圧抵抗力が発現し、アンカー機能を維持するものと考えられる。

6. まとめ

今回の現地試験で明らかとなった点を要約すると、以下の通りである。

- 1) 定着長部を拡孔した $\phi 800\text{mm}$, 定着長 1.5m の拡孔式アンカーは平均 N 値 6 のシルト質砂層、および平均 N 値 9 の粘土層に対し、充分なアンカー機能を発揮できる。

- 2) 拡孔長を 1.5m とした場合の極限引抜き力は平均 N 値 6 のシルト質砂層にて 460~571kN, 平均 N 値 9 の粘土層にて 557.9kN と推定される。これらの実測値は、想定値の 76%~95%であった。
- 3) 拡孔式アンカーでは、摩擦抵抗力と支圧抵抗力が同時に作用することは無く、拡孔式アンカーの極限引抜き力を推定する場合、摩擦抵抗力を考えず、支圧抵抗力だけで考えるべきである。
- 4) 拡孔式アンカーでは、載荷中に摩擦抵抗力の縁切れが発生する可能性があるが、その場合でも直後に支圧抵抗力が発現し、健全なアンカー機能が保たれる。
- 5) 拡孔式アンカーは、軟弱層に対する山留め架工として極めて有効であり、従来型の摩擦形式アンカーでは施工不能であった地盤に対しても十分なアンカー機能を発揮できる。

謝辞

本報告をまとめるにあたり、現場実験サイトの提供と、貴重なご助言を頂きました国土交通省名四国道事務所・西三河出張所、山旺建設株式会社、丸洋建設株式会社の関係各位に御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 玉野富雄:現場計測に基づくアースアンカーを用いた鋼矢板土留めの事例研究, 土木学会論文集, 第 332 号, 127-136, 1993
- 2) M.Murakami,YukiY.,TamanoT.:Performace and analysis of anchored sheet pile wall in soft ciay. *Proceedings of the 6th International Conference on Numerical Methods in Geomechanics*,1341-1346,1988
- 3) Hus,S.T.and Liao,H.J.:Uplift behavior of cylindrical anchors in sand. *Canadian Journal of Geotechnic*,35(1), 70-80,1998
- 4)Das,B.M.,ShinE.C.,Dass,R.N.and OmarM.T.:Suction force below plate anchors in soft clay. *Marine Georesources and Geotechnology*, Vol.12,71-81,1994
- 5) 玉野富雄, 植下協, 結城庸介, 村上仁, 福井聡: 打設状態がアースアンカーの引抜き抵抗力に及ぼす影響, 土と基礎, 30(4),13-18,1982
- 6) 金岡正信, 玉野富雄, Nguyen,H.Q.: 摩擦形式加圧アンカーの引抜き抵抗力に関する模型実験, 地盤工学会論文報告集, 43(3),117-129,2002
- 7) 日特建設株式会社: スプリッツアンカー設計・積算資料, 2003
- 8) 社) 土質工学会中部支部: 最新名古屋地盤図, 15-20, 1988
- 9) 社) 地盤工学会: グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説, 112-114, 2000
- 10) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 119-124, 1990