

グラウンドアンカー工の充填注入が及ぼす影響に関する実験的研究 ～新第三系泥岩地帯での例～

An experimental study about the influence of grouting the free anchor length.

片山 直樹* 大坂 理 浜崎 晃 (株式会社日本海技術コンサルタンツ)

Naoki KATAYAMA* Osamu OSAKA Akira HAMASAKI (Nihonkai Technical Consultants CO.,LTD)

キーワード：グラウンドアンカー，自由長，充填注入，地盤応力，ひずみ

Keywords : Ground anchor, Free anchor length, Grouting, Ground stress, Strain

1. 研究の背景と目的

グラウンドアンカー工（以下アンカー工）は一般に地盤工学会の基準書¹⁾に示される施工手順により造成される．この基準書では，アンカーの緊張・定着後に自由長部へ充填注入を行うことが標準となる．しかし受圧板設置後に充填注入を行うことが困難なことから，定着部の加圧注入から充填注入までが連続的に行われ，その後受圧板設置，緊張・定着が行われる．

この場合，定着部と自由長部には一連のグラウト柱体（以下グラウト柱）が出来上がり，緊張時には定着部の周面摩擦力に自由長部の周面摩擦力が付加された抵抗力が発現すると考えられる．

これまでアンカー工においては多様な研究が行われているが，この充填注入によるグラウト柱周面で発生する摩擦応力に関する研究事例は少ない．充填注入の有無による 2 本のアンカー引抜実験を行った事例²⁾では，充填注入が行われたアンカーの引抜力が充填注入無しのアンカーに対して約 1.5 倍の極限引抜力が実測されており，決して無視できない摩擦応力が発生するものと考えられる．アンカー工の設計時にはこの摩擦応力は考慮されおらず，施工と設計における概念の乖離があるといえる．

本論文では実地盤における実大実験により，グラウトの充填注入がアンカーの緊張力および周辺地盤に及ぼす影響を評価することを目的とする．

2. 実大実験の方法

2-1. 実験地概要

実験地は，新第三系の泥岩が分布する地区であり，同質岩による盛土（ $N=4 \sim 10$ 程度）が上位を 5m 程度覆っている箇所である．また，泥岩層は上位 5m 程度までは風化帯（ $N=20 \sim 40$ 程度）が分布する．泥岩は全体的に塊状無層理な状態であり，概ね均質な状態である．

なお，地表面から GL-10m 付近より現れる泥岩新

鮮層（ $N=50$ ）において引抜試験を行った結果， $=0.5 \text{ MN/m}^2$ の結果を得た．

2-2. アンカーの打設

アンカーの打設方向は鉛直下向きとし，充填注入の有無で 2 本打設した．以下，充填注入を行わないアンカーを Case-1，充填注入を行うアンカーを Case-2 とする．なお，Case-1 の自由長部は，ラッパ管使用長期保護材（NETIS 登録 No.CG-030013）によりグラウトを排出した．

実験に供するアンカーは，摩擦圧縮型アンカー（SEEE グラウンドアンカー F70UA）とし，削孔径 115mm，自由長 10.0m，定着長 3.0m とした．

なおこのアンカーの極限引抜力（ T_{ug} ）は 541.7 kN，テンダンの降伏点荷重（ T_{ys} ）は 608 kN である．

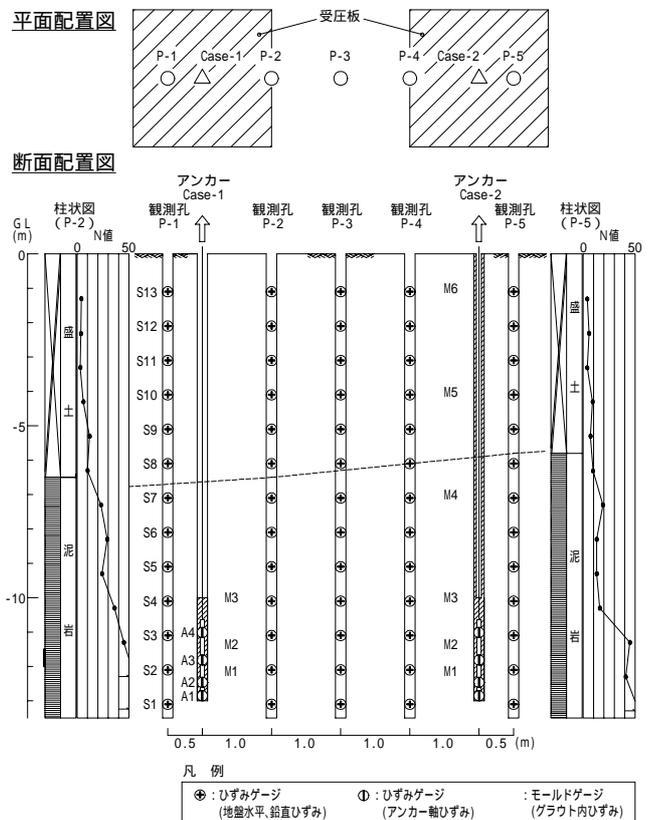


図-1. 実験概要図

2-3. ひずみゲージの設置

地盤のひずみ測定は、一般的な地すべり調査で用いられるパイプひずみ計を用い、アンカーの緊張に伴う地盤の水平方向へのひずみを測定した。また、ひずみゲージを貼付した塩ビ板(長さ 100mm 幅 30mm 厚さ 3mm) をパイプに取り付け、地盤の鉛直方向のひずみも測定した。

観測孔の周囲はベントナイトを配合した貧配合のセメントミルク ($q_u = 1000 \text{ kN/m}^2$) で充填し、周囲の地盤との力学的強度の連続性を持たせるように努めた。

アンカーについては、定着体にそれぞれ 4 箇所ひずみゲージを貼付し定着体の軸ひずみを測定した。また、アンカー体および自由長部のグラウト充填部分にはモールドゲージを配置し、グラウト内の圧縮応力を測定した。

各ひずみゲージの設置位置を図-1、設置箇所の概要を図-2 に示す。

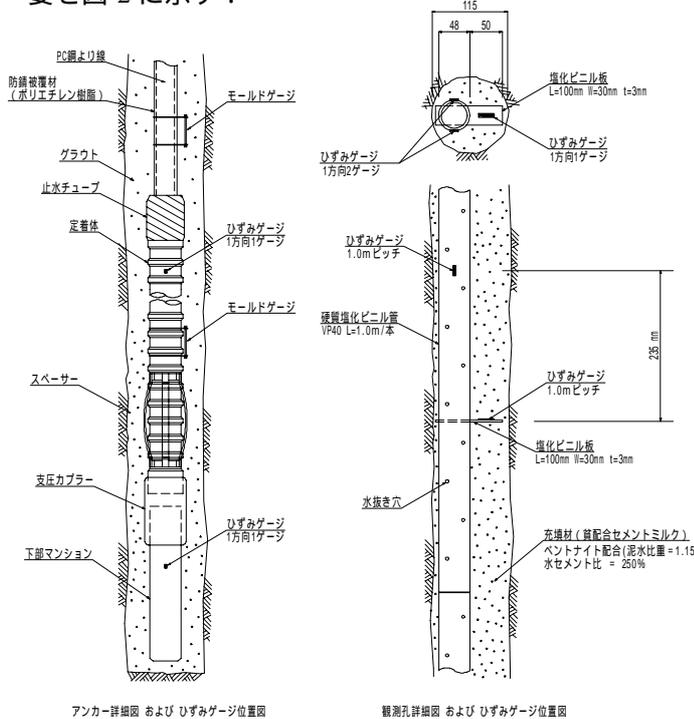


図-2. ひずみゲージ設置箇所概要図

2-4. 実験方法

充填注入の有無による 2 種類のアンカーについて多サイクル確認試験を行い、各載荷段階においてアンカーおよび周辺地盤に設置したひずみゲージのひずみを計測した。

多サイクル確認試験は初期荷重を 50kN とし、計画最大荷重である 500kN までを 6 サイクルとした。各サイクルの荷重は 100kN、160kN、230kN、310kN、400kN である。また、荷重保持時間は新規荷重段

階で 10 分間、履歴荷重段階で 2 分間を標準とした。

ひずみの測定は、各サイクルの荷重保持時間の開始と終わりで測定し、新規荷重段階では保持時間の中間時点(5分経過後)にも測定した。

3. 実験結果

3-1. 地盤ひずみ分布

各載荷段階における周辺地盤のひずみ分布状況を図-3 および 4 に示す。

図-3 は塩ビ管に貼付したひずみゲージから測定した地中応力の水平成分によるひずみ (ϵ_x) であり、図-4 は塩化ビニル板に貼付したひずみゲージから測定した地中応力の鉛直成分によるひずみ (ϵ_z) を示したものである。

なお、 ϵ_x はアンカー軸を基準とし、外側へ向かう方向を圧縮方向、内側へ向かう方向を引張方向とした。

(1) ひずみの水平成分 ϵ_x

Case-1 では全体的に地表面付近で荷重に伴うひずみの累積増加が認められた。観測孔 P-1、P-2 において、ひずみゲージ S13 が圧縮方向に最も大きく、その下位の S12 がそれに次いで大きい値を示しており、受圧板の押し込みによる地中応力の側方向への伝達状況が伺える性状を示している。

また、P-1 ではアンカー体直近の S2~S4 で S4 をピークとした引張応力によるひずみの累積が認められる。これはアンカー体の上方への変位に伴った周辺地盤の弾性挙動を示したものと考えられ、既往研究³⁾による摩擦圧縮型アンカーのアンカー体周辺地盤の応力状態と調和的である。

Case-2 でも、地表面付近での圧縮方向へのひずみの累積が顕著であり、Case-1 と同様な応力状況下にあることが伺える。P-5 の S13 においては、荷重 500kN 時にひずみ方向が反転しているが、地盤の破壊などによる局所的な応力方向の変化によるものと考えられる。

地盤の不均質性を考慮すると単純には比較できないが、ひずみ量としては Case-1 の方が全体的に大きく、比較的低い荷重で深部までひずみが到達していることから、Case-1 の方が締め付け効果が高い可能性が考えられる。

(2) ひずみの鉛直成分 ϵ_z

Case-1 では、各観測孔において地表面付近でのひずみ量の変化が著しい。

P-1 では、低荷重時に S12~13 で下向きの応力状態にある性状を示すが、荷重 310kN よりひずみの

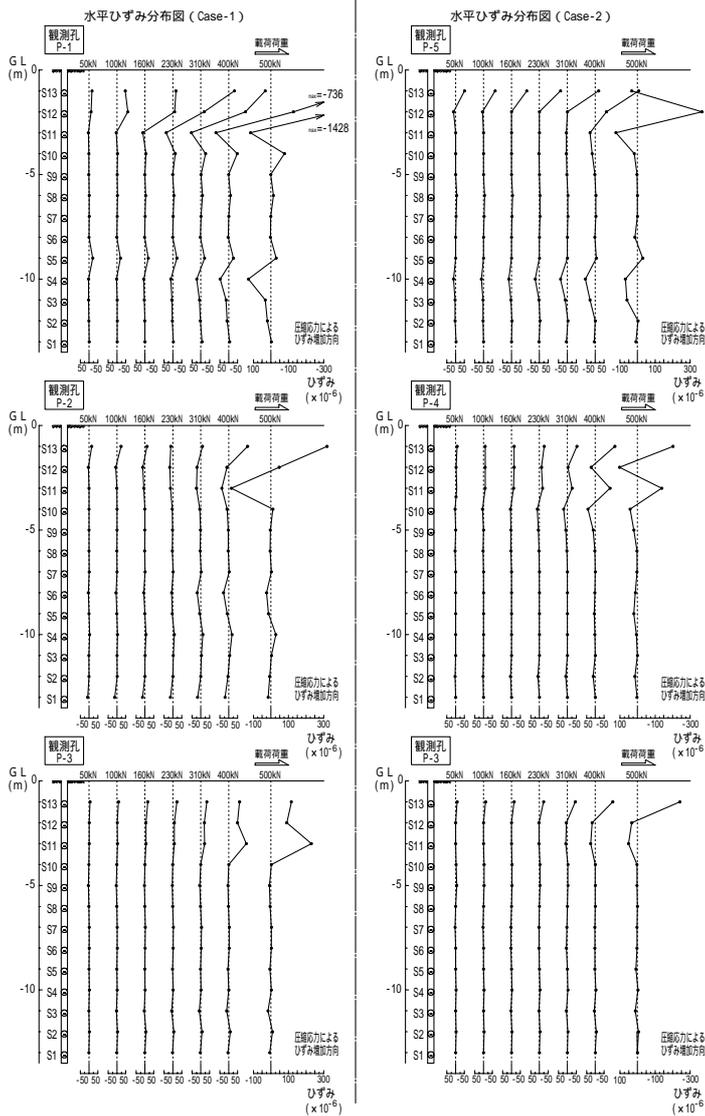


図-3. 周辺地盤の水平ひずみ分布 (ϵ_x)

累積方向が反転し上向きとなる。一方で、その下位の S9～S10 では下向きのひずみの累積を示している。

これらのひずみ分布は、受圧板の締め付けにより地盤が下方へ圧縮された状態を表したものと考えられ、鉛直ひずみの方向の反転は、地盤の破壊による応力の作用方向が変化したことによるものと推察される。

また、アンカー体周辺のひずみゲージでは、P-1 の S2 と S5 で上向き、S3 と S4 で下向きの応力状態を示す。アンカー体周面に摩擦応力が働き、地盤が弾性状態である場合、アンカーの上方への変位に伴い周辺地盤には上向きの応力が発生する。このことを踏まえると、S3 と S4 のひずみは周辺地盤の不均質性に起因する局所的なイレギュラーである可能性が考えられる。

一方 Case-2 では、P-5 においては地表面より下

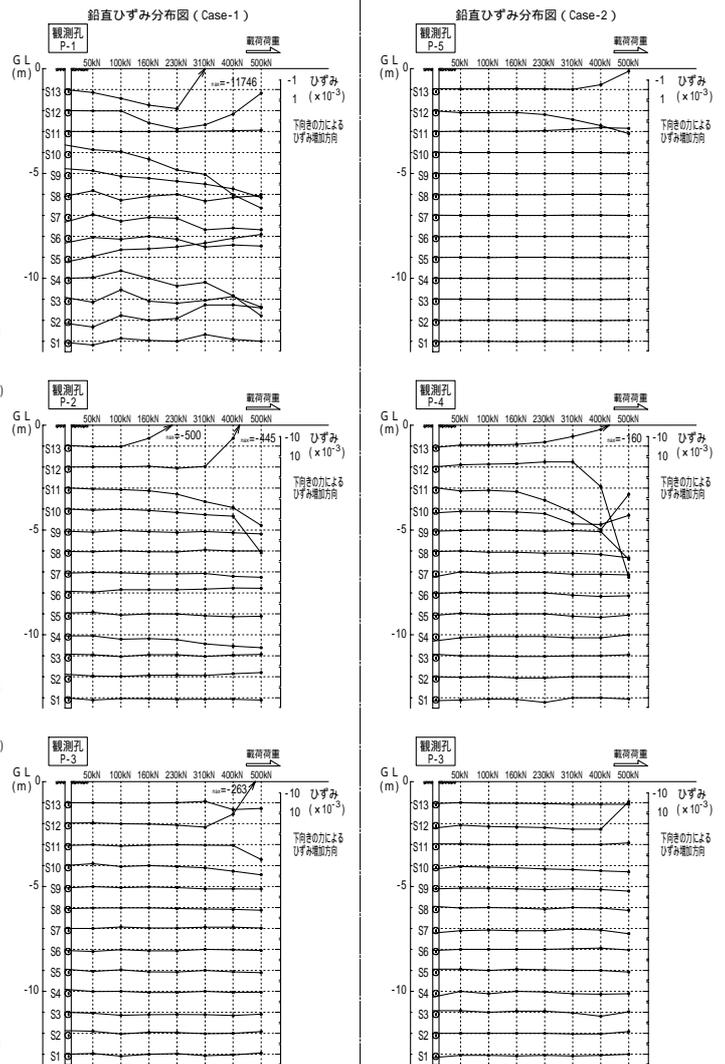


図-4. 周辺地盤鉛直ひずみ分布 (ϵ_z)

2m 程度までしかひずみが表れず、アンカー体周辺においてもひずみが表れない結果となった。

P-4 においては S10～S13 にひずみが集中し、高荷重時に地盤破壊によると思われるひずみ方向の反転が一部で認められる他は、全体的に下向きの応力に伴うひずみが認められた。

全体的に、Case-1 では地盤内に大きなひずみが伝達されているが、Case-2 では地表面付近を除きほとんどひずみは検出されず、明瞭な差が認められる。

3-2. アンカー軸力分布

定着体のひずみから換算した定着体軸力分布を図-5 に示す。グラフの縦軸は圧縮側を正とした。

いずれのケースも先端部付近で大きな圧縮力が発生しており、摩擦圧縮型アンカーの性状を表している。ケースの違いによる軸力分布の差は少な

く、緊張時の定着体への軸力伝達状況はほぼ同じ状況であったと考えられる。

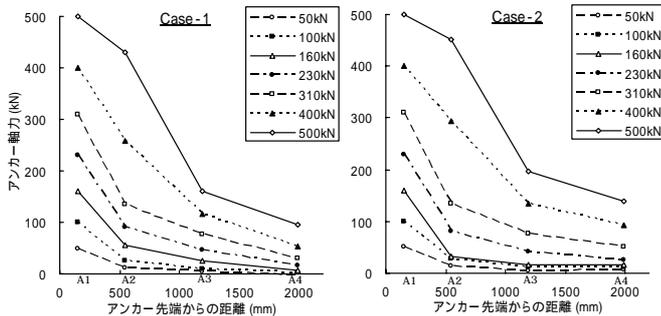


図-5. アンカー定着体軸力分布

3-3. グラウト内の圧縮力分布

アンカー体および自由長部におけるグラウト柱に設置したモールドゲージからは圧縮側のひずみが検出された。ひずみから換算した圧縮力の分布を図-6に示す。

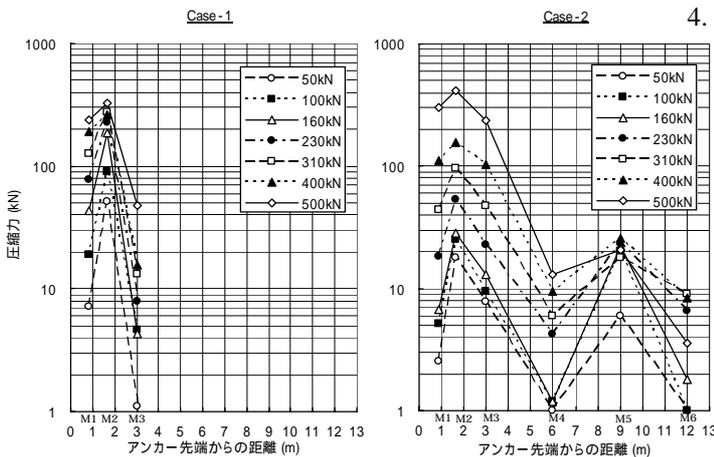


図-6. グラウト圧縮力分布

アンカー体の圧縮力は、荷重 400kN までは相対的に Case-1 の方に高い圧縮力がみられるが、荷重の増加に伴う圧縮力の増加率は Case-2 と比べ小さい。また、500kN 載荷時においては、Case-2 の方が大きい圧縮力を示す傾向が認められた。特にこの傾向が顕著に現れたゲージ M2 における圧縮力の推移を図-7に示す。

図-7より、Case-1 では圧縮力の増加が低荷重時から見られ、その増加率もほぼ一定である。一方、Case-2 は載荷荷重に応じた指数関数的な圧縮力の増加をみせ、500kN 載荷

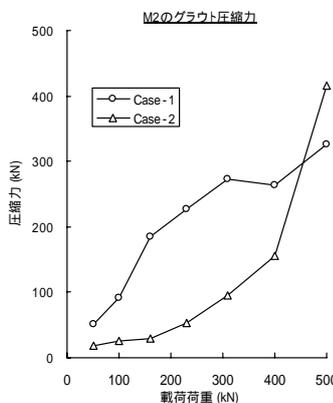


図-7. グラウト圧縮力の違い

時には Case-1 の圧縮力を上回る。これは、Case-2 では自由長部のグラウト柱周面に摩擦応力が発現し、本来アンカー体のみで受け持つ荷重が分散した影響によるものと考えられる。

また、Case-2 の自由長部中央のモールドゲージ M5 に着目すると、アンカー体とは対照的に早期から大きな圧縮力が発現しており、荷重が増すにつれ圧縮力の増加率が低下する。

これらのことから、低荷重時には自由長部周面で摩擦応力が大きく、荷重の増加に伴い自由長部周面は摩擦切れを起こし、摩擦応力の発現位置が深部へ遷移する性状であったことを示しているものと考えられる。

なお、M5 で大きな圧縮力が働いた要因としては、この深度付近が盛土層との境界付近であることを考慮すると、ルーズな盛土からの側圧を受け摩擦応力が大きくなったことが考えられる。

4. まとめと今後の課題

この実験により得られた知見を以下にまとめる。

- ・ 水平・鉛直ひずみ (ϵ_x および ϵ_z)の分布から、Case-1 の方が相対的に地盤の締め付け効果が高い可能性が示された。
- ・ 鉛直ひずみ (ϵ_z)の分布ではCase-2 におけるアンカー直近のひずみが極めて少い。このことから、自由長部のグラウト柱の有無が摩擦応力や受圧板の締め付け力の地盤伝達メカニズムに違いを及ぼす可能性が示された。
- ・ Case-2 は摩擦応力が自由長部のグラウト柱周面にも発現し、その摩擦応力の伝達は摩擦引張型アンカーのように上部から下部へ向かい遷移する性状である可能性が示された。

今後は、上記の効果・性状が地すべり抑止工におけるアンカー工に対し、及ぼす影響を評価する必要がある。

また、これらの効果・性状がアンカー工において普遍的なものであるかを確認するために、泥岩以外の地質条件における実大実験、および均質なモデル地盤における模型実験等を行う予定である。

以上

参考文献

- 1) 地盤工学会 (2000): グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 (JGS4101-2000), 地盤工学会, p.130, p.143
- 2) 安藤 (2002): グラウンドアンカー工事・アンカー体注入加圧方式による引張部の拘束除去技術, 第11回調査・設計・施工技術報告会, 地盤工学会中部支部ほか, pp.39 - 42
- 3) 瀬崎ほか (2005): アンカー形式による支持力機構と支持力の違い, 第44回日本地すべり学会研究発表会講演集, 日本地すべり学会, pp.271 - 274