

# グラウトの加圧注入が摩擦抵抗に及ぼす影響に関する実験的研究

## An experimental study about the influence of pressure grout injection gives to frictional resistance.

片山 直樹\* (株式会社日本海技術コンサルタンツ)

Naoki KATAYAMA\* (Nihonkai Technical Consultants CO.,LTD)

キーワード：グラウンドアンカー，グラウト，加圧注入，摩擦抵抗

Keywords : Ground anchor, Grout, Pressure Grout Injection, Frictional Resistance

### 1. 研究の背景と目的

グラウンドアンカー工は、自由長部とアンカー体部で構成される。アンカー体のグラウトは、一般に置換注入を行った後、加圧注入を実施する。この加圧注入は、孔壁の緩み回復や亀裂系への充填を目的としたものである<sup>1)</sup>。

一方、自由長部には防食機能の向上と孔壁周囲の地盤の緩みを抑えることを目的とした充填注入が行われる。

摩擦型アンカーにおいては、アンカー体部の周面摩擦力のみを考慮し、設計が行われるが、既往の研究結果では自由長部においても摩擦力が少なからず発現していることが示されており<sup>2)</sup>、極限アンカー力にも影響することが考えられる。

このため、厳密なアンカー設計を行うことを考えた場合、この自由長部の周面摩擦力も考慮する必要があると思われる。

加圧注入されたアンカー体の周面摩擦抵抗  $\tau$  については、1975年以前の加圧注入を行ったデータを基に作成された概略値が一般的であるが<sup>3)</sup>、無加圧の場合の  $\tau$  については参考値がないのが現状である。なお、無加圧グラウトを打設する切土補強土工法的设计では、前述の加圧注入の  $\tau$  を2割低減させた値を推定値とする場合もある<sup>3)</sup>。

グラウトの加圧注入に関する既往の研究では、加圧による地盤への浸透や割裂、アンカー体部の肥大効果に関するものがほとんどであり、加圧の有無による  $\tau$  の差異について論じた研究結果は、安江ら<sup>4)</sup>の研究を除いては、あまり見受けられない。

このような現状を踏まえ、本研究における実験では、グラウトの加圧の有無による  $\tau$  の変化を、モデル地盤における一面せん断試験により評価することを目的としている。

### 2. 実験の方法

#### 2-1. 実験概要

実験は、 $\phi 6\text{cm}$  のモデル地盤上にグラウトを打設した供試体を作成し、地盤とグラウトの境界部において一面せん断試験を実施し、せん断特性を求めることにより行う。供試体は、モデル地盤と

して砂地盤、粘土地盤、砂礫地盤を想定したものを作成し、その地盤の上部にグラウトを加圧または無圧により打設したものを用いる(図-1)。

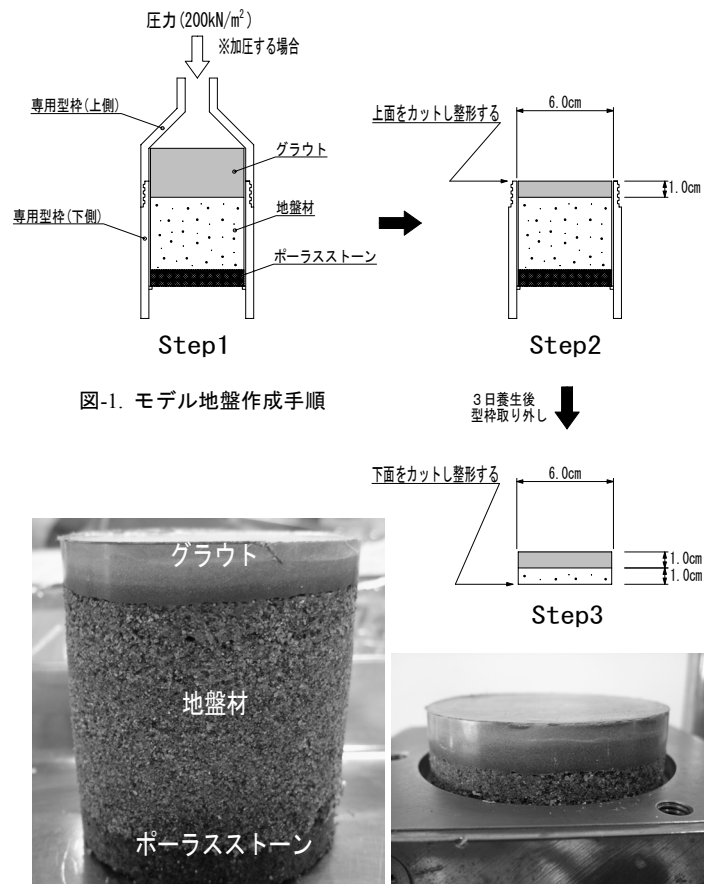


写真-1. 供試体状況 (型枠取り外し後)

写真-2. 供試体セット状況

#### 2-2. 実験供試体の作成

供試体は、専用型枠の底部に厚さ 1cm のポーラスストーンを敷き、その上に地盤材を詰め作成した(写真-1)。

砂地盤による供試体は、鳥取砂丘砂を水洗いしたものを専用型枠に入れ、水を加えながら締め固め、密な地盤を作成した。

粘土地盤による供試体は、島根県産の来待砂岩の粉体に加水して作った粘土を用いた。粘土を型枠に突き固めながら充填し、十分密な状態となるようにして地盤を作成した。

砂礫地盤による供試体は、前述の鳥取砂丘砂に花崗岩の細礫（φ2~4.75mm に調整）を重量比で1:1の割合で混ぜ、均質化したものを用い、砂地盤同様に水締めし密な状態とした。

使用した地盤材の粒度特性を図-2に示す。

これらのモデル地盤の上部に、グラウト（早強セメント W/C=0.5, フロー値 15±3 秒）を流し込み、加圧する場合としない場合で2種類作成した。

この時、グラウトを加圧する場合は、グラウト打設後に電動エアポンプにより加圧を行った。加圧力は地盤の種類に因らず 200 kN/m<sup>2</sup> とし、圧力保持時間は1分間とした<sup>4)</sup>。

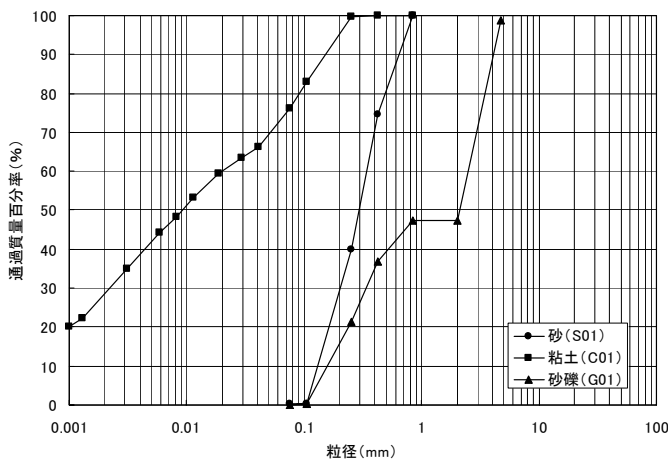


図-2. 地盤材の粒径加積曲線

### 2-3. 一面せん断試験

モデル地盤のグラウトを3日間養生した後、一面せん断試験（JGS0561）を行った。

型枠から取り出した供試体は、一面せん断試験機にセットするために、地盤部分を1cmの厚さにカットし、供試体全体の厚さを2cmに整形した。

一面せん断試験は全ての地盤材において定圧試験によるものとし、垂直応力を数パターン変化させて試験を行った。圧密過程で変位量が十分落ち着いた後、せん断変位速度を0.2mm/minでせん断を行った。

## 3. 実験結果

### 3-1. 地盤材の強度特性

モデル地盤自体の強度特性を把握するために、それぞれの地盤材においても一面せん断試験を行った。その結果を表-1および図-3に示す。なお、砂地盤（S01）については粘着力が認められた結果となったが、これは供試体の含水比が16%程度の含水状態であったため、見かけの粘着力が発現したためと考えられる。

表-1. 地盤材の強度特性

地盤材	粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	せん断抵抗角 $\phi$ (°)	含水比 $w$ (%)
砂 (S01)	17.8	41.9	16.0±2.0
粘土 (C01)	10.4	22.4	23.0±0.5
砂礫 (G01)	0.0	62.8	16.0±2.0

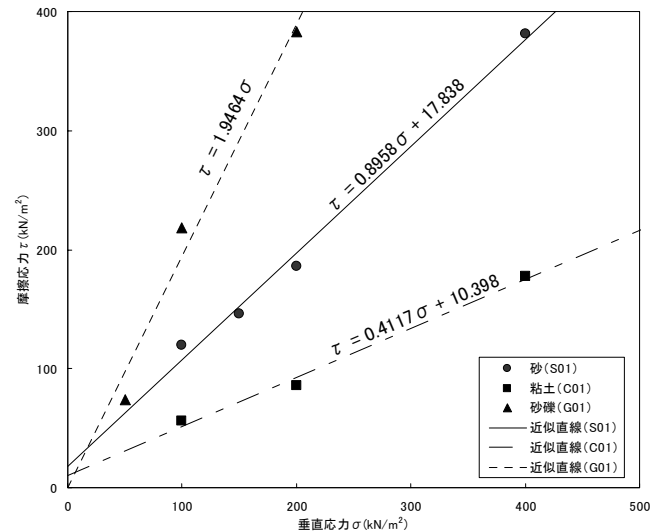


図-3. 各地盤材の一面せん断試験結果

### 3-2. 摩擦応力の違い

#### (1) 砂地盤の場合

砂地盤における一面せん断試験の定圧せん断強さ（ピーク値）を図-4にまとめる。なお、本論ではせん断定圧強さを、各供試体のグラウトと地盤材の間で発現する摩擦応力と評価する。

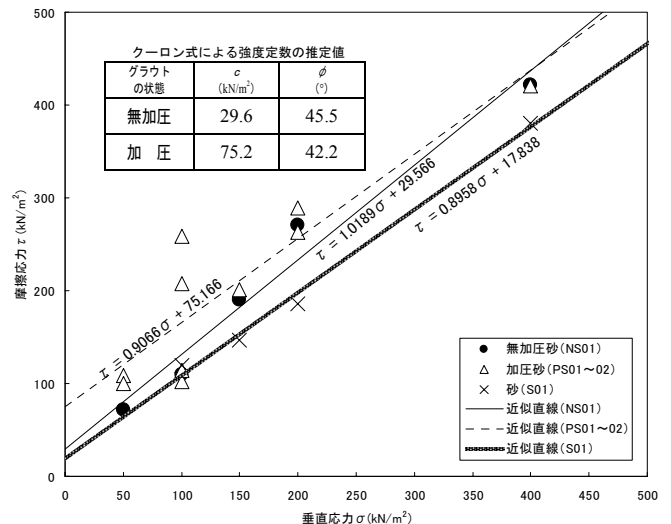


図-4. 砂地盤における摩擦応力

全体的にはグラウトを加圧した場合の方が若干大きい $\tau$ が発現する結果といえ、垂直応力が低圧時ほどその差が大きい傾向が認められた。垂直応力 $\sigma=100\text{kN/m}^2$ の場合は値のばらつきが大きく、最大

で $\tau$ に約2.4倍の差が認められた。その他の垂直応力時には、加圧供試体の $\tau$ は若干大きい程度であり、1.5倍程度までの増加が認められた。

$\sigma=100\text{kN/m}^2$ 時の $\tau$ の増加については、加圧によるグラウトの局所的浸透で、せん断面に凹凸がついた影響によるものと考えられる(写真-3)。

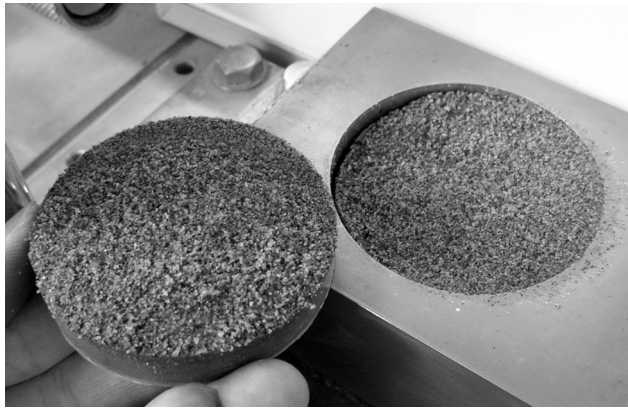


写真-3. 試験後のせん断面の凹凸

試験後の供試体の砂部分にフェノールフタレイン溶液を吹付け、セメントのアルカリ分浸透状況を確認したが、加圧と無加圧とでは大きな差がなく、ほとんどアルカリ分の浸透は見られなかった。

しかし、加圧供試体については、加圧後のグラウトは脱水し、かなり粘性の高い状態を呈しており(写真-4)、加圧による水分の浸透はあったものと推察される。



写真-4. 加圧後のグラウト状況

## (2) 粘土地盤の場合

粘土地盤における一面せん断試験の定圧せん断強さ(ピーク値)を図-5にまとめる。

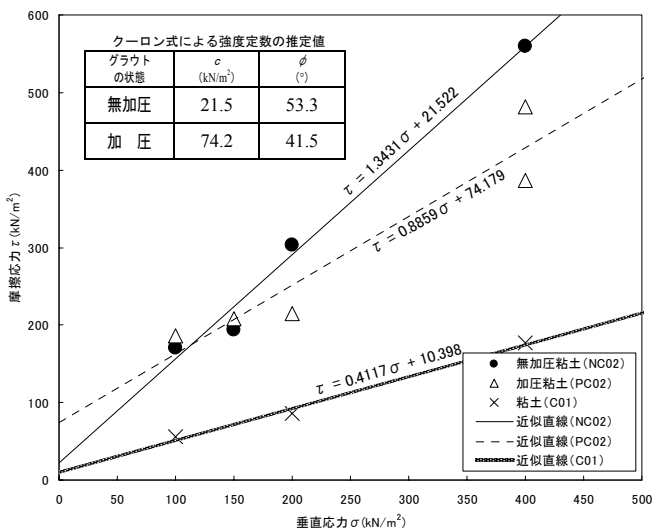


図-5. 粘土地盤における摩擦応力

今回の実験結果では、 $\sigma$ が $200\text{kN/m}^2$ よりも低い場合には加圧の有無の差異はあまり認められなかったが、高い場合には $\tau$ のばらつきが大きく、無加圧供試体の方が $\tau$ が大きい結果となった。

一面せん断試験後の供試体の粘土部分にフェノールフタレイン溶液を吹付けたが、アルカリ分の浸透はみられなかった。また、加圧供試体の加圧後のグラウトは砂地盤ほどではないが、若干の脱水が確認できた。

## (3) 砂礫地盤の場合

砂礫地盤における一面せん断試験の定圧せん断強さ(ピーク値)を図-6にまとめる。なお、砂礫地盤では地盤材自体の $\phi$ が高く、一面せん断試験機の荷重計の許容量を越えるため、 $\sigma=200\text{kN/m}^2$ より高い垂直応力での試験は行えなかった。

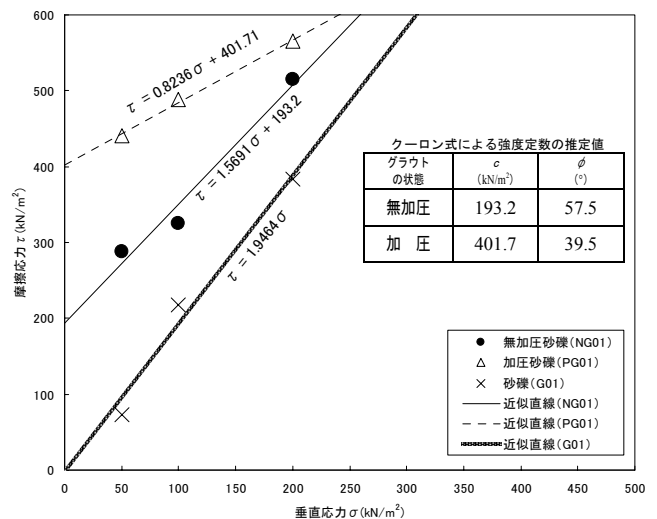


図-6. 砂礫地盤における摩擦応力

砂礫地盤における実験結果では、加圧と無加圧による $\tau$ の差異が明瞭に認められ、全体として加圧した場合の $\tau$ が高い結果となった。砂地盤の結果と同様に、垂直応力が低圧時ほどその傾向が顕著にみられ、最大で約1.5倍程度の差がみられた。

また、加圧後のグラウトはかなり脱水された状態にあり、グラウトのみで自立が可能な状態であった(写真-5)。また、砂礫部分へのアルカリ分の浸透状況を調べたところ、地盤材端部から2cm程度内部まで浸透した状況であった(写真-6)。



写真-5. 加圧後のグラウト状況



写真-6. アルカリ分の浸透状況(黒い部分がアルカリ浸透範囲)

### 3-3. グラウトの一軸圧縮強度の違い

加圧注入の供試体においてグラウトの脱水が認められ、特に砂地盤、砂礫地盤での脱水が著しくみられた。この脱水作用がグラウトの強度に及ぼす影響をみるために、一軸圧縮試験（JIS A 1216）を行った。

試料は、早強セメント（早強セメント W/C=0.5、フロー値 18 秒）を、砂地盤を詰めた専用型枠に注入・加圧し脱水させたものと、脱水させないものを 2 個ずつ供試体を作成し、2 日養生後に圧縮試験を行った。試験結果を図-7 に示す。

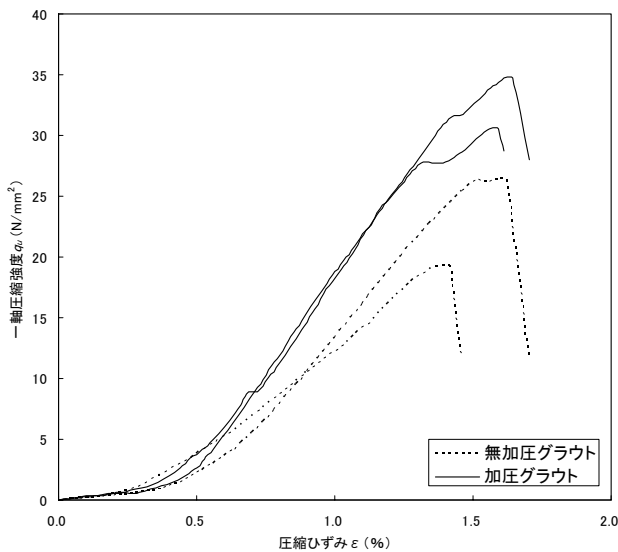


図-7. グラウトの一軸圧縮試験結果

圧縮試験の結果、無加圧グラウトの一軸圧縮強度は  $q_u=26.42, 19.95$  (平均  $23.19$ )  $\text{N}/\text{mm}^2$  に対し、加圧グラウトは  $q_u=34.86, 30.64$  (平均  $32.75$ )  $\text{N}/\text{mm}^2$  と約 1.4 倍強度が高い結果となった。

また、試験後の供試体の含水比を計ったところ、無加圧グラウトは平均 27.5% に対し、加圧グラウトは平均 20.2% と低い状態であった。

### 4. まとめと今後の課題

本実験では 3 種類のモデル地盤においてグラウトを加圧もしくは無加圧の状態で作成した供試体を作成し、それについて一面せん断試験を行い、発現する摩擦応力の違いを検討した。

本実験により、以下のことが明らかとなった。

- 1) 砂地盤においては、グラウトの加圧により若干ではあるが  $\tau$  が増加する傾向がみられた。また 2 つの供試体については、加圧によるグラウトの局所的浸透部と思われる凹凸がせん断面にみられ、その影響で  $\tau$  が大きくなったと考えられる。
- 2) 粘土地盤においては、グラウトの加圧による  $\tau$  の影響がほとんどみられなかった。

- 3) 砂礫地盤では、加圧注入によるグラウト（アルカリ分）の浸透が最も著しく、 $\tau$  の増加も顕著にみられた。
- 4) 全ての地盤材の結果において、垂直荷重が低圧時での  $\tau$  が加圧試料の方が高い傾向がみられた。これは、加圧によるグラウトと地盤材間の付着力の強化が生じたためと考えられる。
- 5) グラウトを加圧した場合、砂礫、砂、粘土の順で強い脱水作用がみられた。砂地盤で加圧・脱水させたグラウトは、無加圧のグラウトより  $q_u$  で約 1.4 倍強度が高い結果となった。また、加圧し脱水したグラウトの方が  $q_u$  値に差が少ないことから、加圧注入は密実な均質なグラウトとする効果がある可能性が示された。

今回の実験では、砂礫地盤以外においてはグラウトの浸透現象は顕著にはみられなかったが、上記 4) に示すように、加圧によりグラウトと地盤材の付着力が強化される傾向が認められた。

加圧によりグラウトが地盤内に浸透しない場合でも、グラウトが地盤材の表面の凹凸に深く食い込むことで、付着力が強まった可能性が考えられる。この付着力の増加は、摩擦応力  $\tau$  をクーロン式により  $c$  成分と  $\phi$  成分に分解した時の  $c$  値の増加として現れるものと考えられる。今回の実験結果からは、加圧により  $c$  値が約 2.1~3.5 倍増加することが明らかとなった。

実際の地盤では亀裂や弱部などを包含しており、不均質性を有している。そのため、加圧時のグラウトの浸透や付着力増加の程度は、今回の実験結果のみからは判断できないものとする。

しかし、加圧注入による摩擦応力の増加についての本質的な部分を、本実験のような均質なモデル地盤を用いて明らかにすることは、重要なことと考える。

今後は、実験の供試体数を増やし、より確実性のある研究結果とする必要があると考える。

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.140
- 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) 日本道路公団 (2002) : 切土補強土工法設計・施工指針, 日本道路公団, p.33
- 4) 安江ほか (1980) : 斜面安定に用いるアンカー工, 第 25 回土質工学シンポジウム