

# アンカー工法のグラウト加圧による地盤の割裂現象 (現場実験による粘性土の割裂圧)

## Fracturing of Ground by Grouting Pressure in Ground Anchor (Measurement of Fracture Pressure of Clayey Soil Ground by Field Tests)

齊藤 顕次*	小林 康之**
Kenji Saito	Yasuyuki Kobayashi
前川 一行***	熊谷 健洋****
Kazuyuki Maekawa	Takehiro Kumagae
平岡 博明*****	吉川 聡雄****
Hiroaki Hiraoka	Fusao Yoshikawa
明石 健*****	細川 勝巳*****
Takeshi Akashi	Katsumi Hosokawa

### 要 約

本報告は、グラウトの加圧による地盤の割裂現象を明らかにするために行ったローム層と砂礫層を対象とした注入グラウトの現場加圧実験のうち、ローム層の現場加圧実験について述べたものである。

ローム層では、グラウトの粘性が高いと地盤の割裂が生じるが、グラウトの粘性が低いとグラウトの脱水・濃縮が生じ、割裂は発生しない。地盤の割裂が生じる場合、森らによる粘性土の割裂圧の実験式は、今回のローム層に対しても成立した。さらに、グラウトの加圧による脱水状況はグラウトの加圧部分の圧力と流量の関係に顕著に現われることも明らかにした。

### 目 次

- §1. はじめに
- §2. 地盤概要
- §3. 実験方法
- §4. グラウトの注入状況
- §5. 割裂圧の計算
- §6. まとめ
- §7. おわりに

### §1. はじめに

摩擦型アンカーの支持機構は、アンカー体と地盤との摩擦抵抗に大きく依存しており、アンカー体形成時のグラウト加圧が摩擦抵抗に大きく影響を及ぼす。グラウトの加圧により、削孔によって生じた孔壁の弛みを回復して地盤を締め付け、アンカー体の周面と地盤との摩擦抵抗を高めることができる。また、砂質土や砂礫土では、アンカー体の実径を大きくしたり、グラウトの脱水により密実なアンカー体を得ることができる。しかし、グラウト加圧の際の注入圧が過大であると地盤が割裂してグラウトが地盤中に脈状に貫入する恐れがある。アンカーの定着地盤として通常は、 $N$  値が大きく硬い地盤が選ばれるが、定着部の強度がグラウトの加圧に対して十分でない場合や、十分な強度を有しても一時的に高い注入圧が定着部に作用する場合にはこのことが生じやすいと考えられる。注入による地盤の割裂は必ずしもアンカーに

\*技術研究所地質研究課長  
\*\*技術研究所先端技術研究課長  
\*\*\*技術研究所地質研究課副課長  
\*\*\*\*技術研究所先端技術研究課  
\*\*\*\*\*技術研究所地質研究課

対して悪影響を与えるわけではないが、割裂の発生により周辺地盤の安定性を損なう可能性がある。グラウト注入における加圧状況と加圧力の関係を知ることは、定着地盤の安定性を考える場合に有用であり、グラウト加圧による地盤の割裂現象を明らかにすることは、地盤アンカー工法の施工管理上、重要と考えられる。

ローム層と砂礫層を対象としたグラウト加圧現場実験を通じて、ローム層のグラウトによる割裂圧を求めたので、割裂圧の大きさや森らによる室内実験<sup>1)</sup>との比較検討結果について報告する。

### § 2. 地盤概要

Fig. 1 に、実験現場の土質柱状図を示す。GL-1.6~14.8mはN値5前後の関東ロームであり、17m以深はN値50以上の砂礫層である。

Table 1 に、一軸圧縮試験、透水試験等の結果を示す。静止土圧はLLT試験による。ローム層の一軸圧縮強さは1.0~1.5kgf/cm<sup>2</sup> (0.10~0.15MPa) である。透水係数は現場透水試験で3.5×10<sup>-5</sup>cm/sであった。

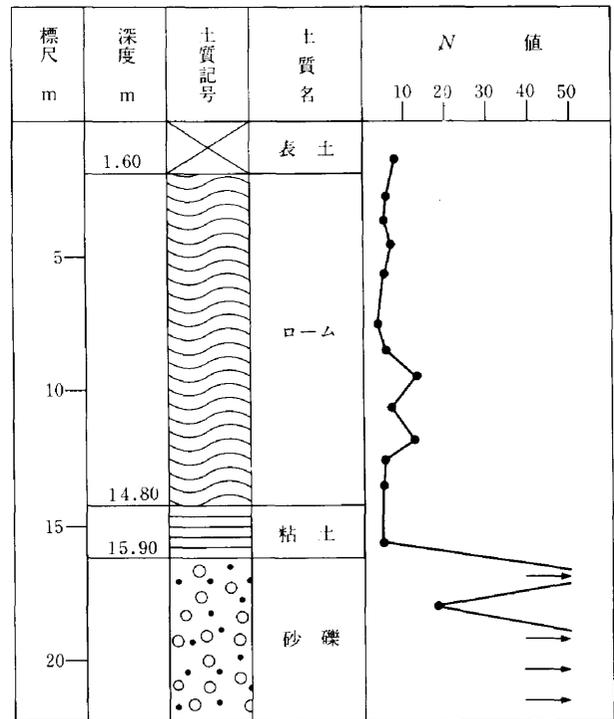


Fig.1 実験現場土質柱状図

### § 3. 実験方法

加圧実験は、加圧注入の深度と注入材の種類を変えて実施した。削孔深度や注入材の種類などをTable 2に示す。P1, P7, P9, P10は、予備実験としてグラウト加圧時の注入圧などを測定したものであり、A2を除くA3~A6は深礎による掘り出し調査で加圧状況を確認したものである。注入材は、水、グラウトA、グラウトBの3種類である。グラウトAとグラウトBの性状をTable 3に示す。グラウトBは、グラウトAに増粘剤を添加して、グラウトの粘性を増大させたものである。実用のグラウトでは、Pロートによるフロー値は12秒前後であり、グラウトAに近い場合が多い。

後であり、グラウトAに近い場合が多い。

なお、注入状況をわかりやすくするため、グラウトに用いるセメントには白色セメントを使用した。

Table 1 土質概要

深度 (m)	土質	静止土圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	湿潤密度 (t/m <sup>3</sup> )	一軸圧縮強さ (kgf/cm <sup>2</sup> )	N 値	透水係数 (cm/s)
5.0	ローム	0.27			4	3.51×10 <sup>-5</sup> (GL-6.9m)
6.3	ローム		1.365	0.989~1.040		
8.3	ローム		1.452			
12.3	ローム		1.432			
13.0	ローム	0.20			5	
14.3	ローム		1.439	1.260~1.480		

Table 2 加圧注入材

実験 No.	掘削孔底深度 (m)	注入材
P1	9.0	水
P7	6.0	グラウトA
P9	12.0	グラウトA
P10	15.0	グラウトB
A2	14.0	水
A3	6.1	グラウトA
A4	14.2	グラウトA
A5	6.1	グラウトB
A6	14.4	グラウトB

Table 3 グラウトの性状

グラウト種別	1バッチ当りの配合				比重	フロー値 (秒)	ブリージンク率 (%)	粘性 (cp)	一軸圧縮強さ (材令35日) (kgf/cm <sup>2</sup> )
	白セメント (kg)	減水剤 NL-4000 (kg)	増粘剤 アスカグリーン (g)	水 (kg)					
グラウトA	200	4.0	—	96	1.85	11.1	1.21	56 (44)	472
グラウトB	200	4.0	800	116	1.74	33.7	0	3200 (2700)	280

(注) 1バッチ：グラウトA≒160ℓ  
グラウトB≒180ℓ

粘性 ( ) 内数値は混合1時間後の測定値を示す。

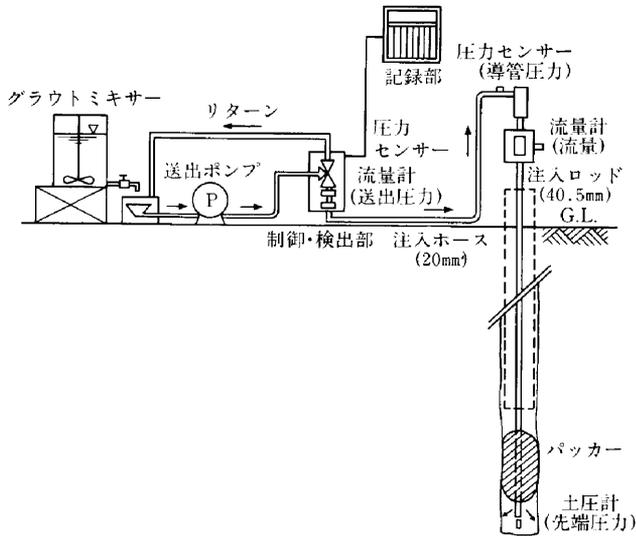


Fig.2 加圧実験装置の概要

Fig. 2 に加圧実験における装置の概要を示す。

グラウトの加圧方法は以下のとおりである。

まず、加圧を実施する所定の深度まで削孔 (径115mm) した後、円筒形のラバー製のパッカー (ラバー長約700mm) を削孔底から1m上の位置に挿入した。一次注入として、まず所定の注入材を削孔した加圧部分 (長さ1m, 直径115mm) を含む削孔部分に満し、パッカー内に注水加圧してパッカーを膨らませてグラウトの上向きの逆流を阻止した後、二次注入としてグラウトの加圧を行なった。これによってグラウトは削孔底からパッカーまでの長さ1mの区間にわたって加圧されることになる。二次注入は、圧力および流量制御が可能な注入ポンプを用いて、送出圧力を毎分0.5~1.0kgf/cm<sup>2</sup>(0.10~0.15MPa) ずつ徐々に増加させたが、圧力が増加しない場合は注入流量を徐々に増加させた。加圧部には、圧力計を挿入して加圧中の圧力変化を測定した。加圧力の大きさは、Fig. 2 に示す送出ポンプの「送出圧力」、ケーシングの上端部分の「導管圧力」、加圧部の「先端圧力」の3カ所で測定した。

§ 4 . グラウトの注入状況

Table 4 に、各注入実験における注入圧、二次注入量等をまとめて示す。表中の送出圧力および導管圧力については、加圧部分までの深度によるヘッド差を補正せずに実測値をそのまま示している。

注入状況はグラウトの種類によって大きな違いが認められた。水およびグラウト B では、二次注入量が100ℓ前後と多い。ローム層の透水性から判断すると、水やグラ

Table 4 グラウトの加圧状況

実験 No.	注入材	二次注入量 (ℓ)	注入圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )			注入状況
			送出圧力	導管圧力	先端圧力	
P 1	水	110	1.5	—	1.2	割裂
P 7	グラウトA	15	2~11	—	4~0	グラウト脱水
P 9	グラウトA	4	2~4	—	5~1	グラウト脱水
P 10	グラウトB	90	2~7	—	4	割裂
A 2	水	134	0.8	0.4	2	割裂
A 3	グラウトA	19	4~16	3~16	7~3	グラウト脱水
A 4	グラウトA	12	4~15	3~14	9~4	グラウト脱水
A 5	グラウトB	125	4~8	1.5	2	割裂
A 6	グラウトB	130	7~10	3	4	割裂

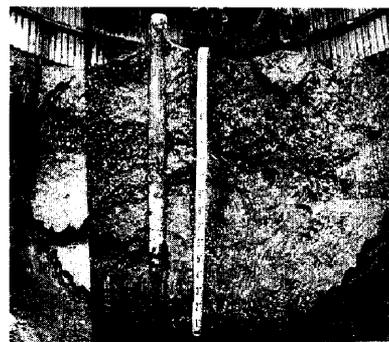


Photo 1 A5の加圧状況 (割裂発生, グラウト B)

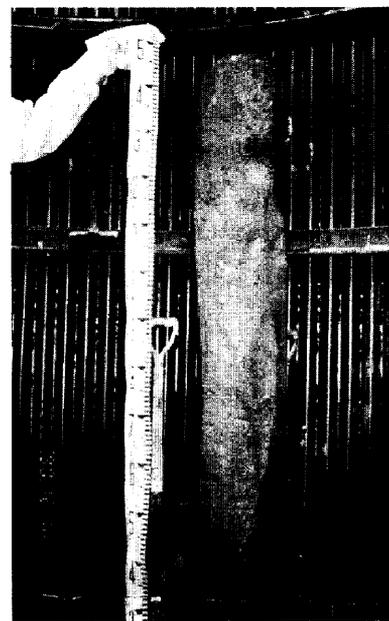


Photo 2 A3の加圧状況 (グラウト A)

ウトの浸透は困難なので、二次注入は地盤内を割って注入される、いわゆる割裂注入にならざるを得ない。

Photo 1 は、A5 の注入状況を示したもので、割裂が発生していることがわかる。孔壁の左右方向に鉛直の割裂面が形成され、固結体は厚さ10~20mm、直径2m以上の

円盤状に大きく広がっていた。一方、グラウト A を用いた A3, A4 では、二次注入量が 10ℓ 前後と小さく、送出圧力を増加させてもグラウトはほとんど注入されなかった。Photo 2 は、A3 の注入状況を示したもので、割裂による脈状貫入は発生せず、削孔径より若干大きめの直径約 130mm の円柱状の固結体が認められた。

注入状況がグラウトの種類によって異なる理由としては、グラウトの脱水・濃縮作用が考えられる。グラウト A の粘性(フロー値)は、水とグラウト B の間にあるが、増粘剤を添加したグラウト B と違って加圧によるグラウトの脱水が生じやすい。Table 5 は固結体の密度の測定結果を示したものである。グラウト A の固結したときの密度増加率はグラウト B の 2 倍になっており、グラウト A では脱水・濃縮作用により、固結体の密度が大きくなっていることを示している。

Table 5 固結体の密度

実験 No.	土質	注入材	グラウト密度 (t/m <sup>3</sup> )	固結体密度 (t/m <sup>3</sup> )	注入状況	グラウト密度増加率 (%)
A 3	ローム	グラウト A	1.85	2.22	グラウト脱水	20.0
A 4	ローム	グラウト A	1.85	2.22	グラウト脱水	20.0
A 5	ローム	グラウト B	1.74	1.92	割裂	10.3
A 6	ローム	グラウト B	1.74	1.82	割裂	4.6

(注) グラウト密度増加率 =  $\frac{\text{固結体密度} - \text{グラウト密度}}{\text{グラウト密度}} \times 100$

グラウトの脱水の有無は圧力と流量の関係からも推定できる。Fig. 3 および Fig. 4 は A3 (グラウト A) および A5 (グラウト B) における圧力と流量の関係を示したものである。Fig. 3 では、二次注入開始後の約 2 分間で流量と先端圧力、送出圧力および導管圧力が増加し、流量のピーク値を過ぎてからは先端圧力が減少するが送出圧力および導管圧力は増加している。さらに流量が零に近くなってから急激な先端圧力の減少と送出圧力および導管圧力の増加が見られる。最初の圧力と流量の増加はグラウトが浸透可能な間隙に浸透することを示し、その後、圧力の増加と流量の減少でグラウトの浸透が困難になっていることを、そして最後にグラウトの脱水が生じていることを示していると解釈できる。したがって、Fig. 3 はグラウトの脱水が生じているときの圧力と流量の関係を示しているものであるといえる。

Fig. 4 では、圧力の増加とともに急激に流量が上昇し、その後、先端圧力はほぼ一定の圧力を保ちながら流量のみが変動している。これは割裂によるグラウトの脈状貫入を示しているものと考えられる。

Fig. 3 にも見られるように、グラウトの脱水によって先端圧力はかなり特異な動きを示すので、先端圧力と流

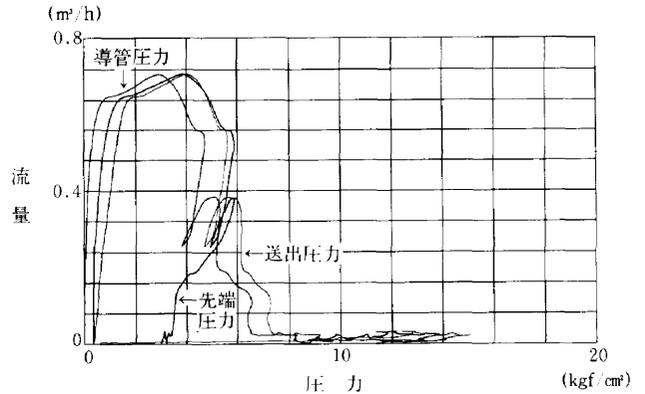


Fig.3 A3の圧力と流量の関係

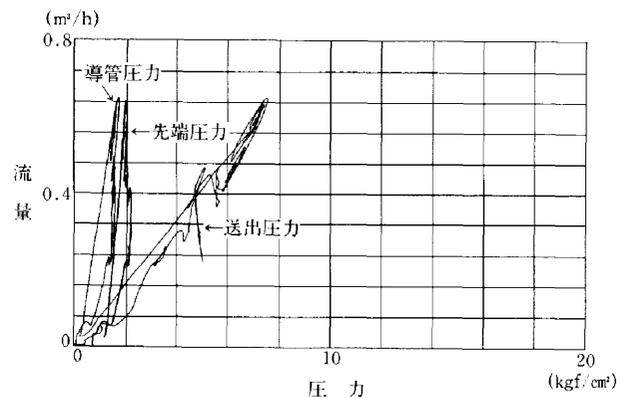


Fig.4 A5の圧力と流量の関係

量の関係からグラウトの脱水の有無を判断することが可能である。

グラウトの加圧状況はグラウトの種類によって大きく異なり、加圧によってグラウトの脱水や地盤の割裂が生じる。脱水が生じると加圧部分のグラウトが濃縮され、加圧自体が困難になる。Table 2 に示したように実験結果から、一般に用いられているような配合のグラウトを今回のようなローム層に用いるとこの現象が生じることは明らかであろう。グラウトの脱水は加圧部分のグラウトの硬化後の強度を高める役割を果たしているが、その他に今回の実験では、加圧部分のグラウトの濃縮によって加圧力が地盤に作用せず、地盤の割裂をしにくくする役割も果たしていることがわかった。

### § 5. 割裂圧の計算

森らは、室内実験により粘性土の割裂圧が式(1)で示されることを明らかにしている<sup>1)</sup>。

$$P_f = \sigma_3 + [2.8 - \{1 / (0.1F - 0.3)\}] q_u \quad (1)$$

ここに、

$P_f$ : 割裂圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)       $\sigma_3$ : 地盤の拘束圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$F$ ：注入材のフロー値（秒）  $q_u$ ：地盤の一軸圧縮強さ（kgf/cm<sup>2</sup>）

割裂が生じた場合の先端圧力をローム層の割裂圧とみなして、その大きさを式(1)で示した割裂圧の大きさと比較することにした。式(1)の拘束圧  $\sigma_3$  は水平方向の変位が完全に拘束された状態を考えているので静止土圧の値を用いることが適当であると考えられる。計算に当っては LLT 試験による静止土圧の値からローム層の静止土圧係数  $K_0$  を逆算して求め、深度別に静止土圧を計算してその値を用いた。LLT 試験による静止土圧と湿潤密度を Fig. 5 に示す。静止土圧の測定値は Fig. 5 の○印に示すように上部と下部とでは値が逆転しており、図中に示す○印の位置での静止土圧係数を求めると、 $K_0=0.40$  および  $0.11$  の値が得られたので、ローム層の静止土圧係数として  $K_0=0.40$  を採用した。Fig. 6 は、ローム層の一軸圧縮強さを示したもので図中の○印は測定値を示す。土質概要を考慮して  $GL-8.3m$  を境にして、点線

のように一軸圧縮強さの大きさを上下に分けて割裂圧の計算に用いた。

Table 6 に割裂圧の計算に用いた数値の一覧と、式(1)を用いて算定した割裂圧の大きさを示す。

Table 6 割裂圧算定結果一覧表

実験 No.	先端圧力測定深さ (m)	注入材	拘束圧 $\sigma_3$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	フロー値 $F$ (s)	一軸圧縮強さ $q_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	式(1)による割裂圧の計算値
P 1	8.4	水	0.46	8	1.37	1.6
P 7	5.4	グラウトA	0.29	10	1.01	1.7
P 9	11.4	グラウトA	0.63	9	1.37	2.2
P10	13.4	グラウトB	0.75	30	1.37	4.1
A 2	13.4	水	0.75	8	1.37	1.8
A 3	5.4	グラウトA	0.29	11	1.01	1.9
A 4	13.4	グラウトA	0.75	12	1.37	3.1
A 5	5.35	グラウトB	0.29	34	1.01	2.8
A 6	13.35	グラウトB	0.74	40	1.37	4.2

Table 4 と Table 6 から実験において割裂が生じた場合を見ると、割裂圧の計算値は先端圧力の計測値とほぼ一致しており、先端圧力が式(1)で与えられる割裂圧に達すると実地盤においても割裂が発生することが明らかとなった。また、グラウトの脱水が地盤に割裂を発生させずに、割裂圧より大きい先端圧力の上昇をもたらしていることも明らかである。

§ 6. まとめ

ローム層を対象としたグラウトの加圧実験により、地盤の割裂現象について得られた主な結果は次の通りである。

- (1) 今回対象としたローム層では、地盤の透水性があまり小さくないので、フロー値12秒前後の実用のグラウトでは加圧部においてグラウトの脱水が生じて、加圧部での加圧自体が困難になり、割裂が発生しなかった。
- (2) グラウトの脱水が生じない状態でグラウト加圧が可能なる場合には、先端圧力が式(1)で与えられる割裂圧に達すると、地盤に割裂が発生した。
- (3) グラウトの脱水や地盤の割裂等、グラウトの加圧状況を把握するためには、加圧部での圧力と流量の管理が必要である。

§ 7. おわりに

本実験は早稲田大学理工学部、森麟教授、建設省建築研究所 田村昌仁博士の御指導のもとに行ったもので、田村博士には多大な御指導を賜った。ここに深く感謝の意を表すものである。

参考文献

1) A. Mori, M. Tamura, and Y. Fukui: Fracturing pressure of soil ground by viscous materials, Soil & Foundations, 1990, No.3.

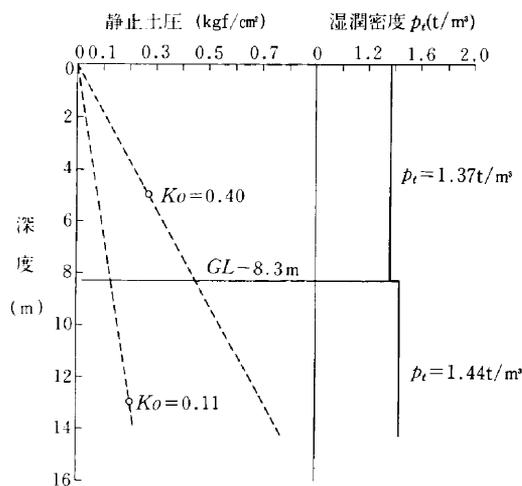


Fig.5 LLT 試験による静止土圧と湿潤密度（ローム層）

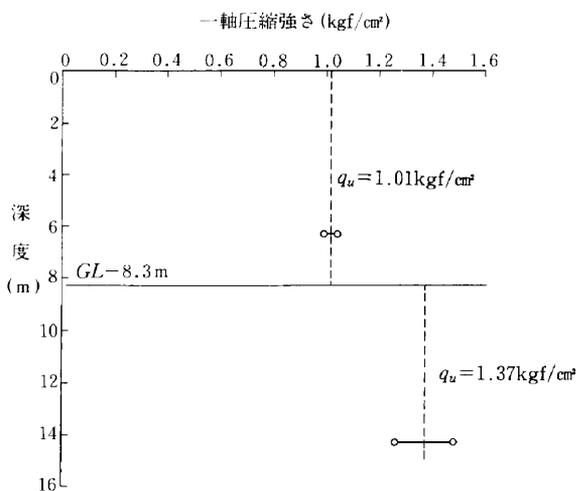


Fig.6 一軸圧縮強さの分布（ローム層）