

トンネル補助工法 AGF における注入圧に着目した注入管理について

戸田建設(株)北陸支店 ○竹田 英樹
戸田建設(株)北陸支店 大原 宏敬

1. はじめに

田伏トンネル工事は一般国道8号系魚川東バイパスの道路トンネルであり、山裾をトンネル延長 $L=186\text{m}$ 、最大土被り 23.5m で通過する低土被りトンネルである。

本工事では、偏圧地形、低土被り、低強度風化礫岩層といった地形、地質条件のもとで、天端安定対策としてシリカレジンによる注入式長尺鋼管先受工法 (AGF) を採用した。

本論文は、AGF の注入圧力の上昇値に着目し、注入管理結果とトンネル天端の安定性の関係について報告する。また、当該地山での注入管理について、ひとつの提言を行うものである。

2. 当工事で採用した AGF の設計注入量と注入管理

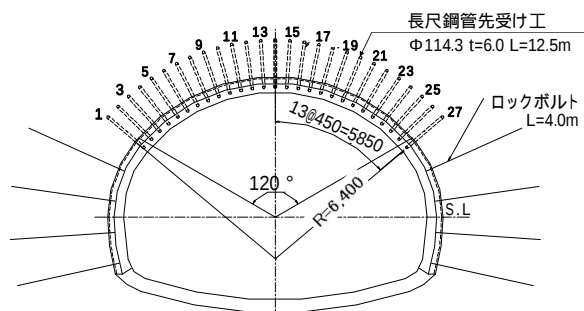


図2 AGF 施工パターン図

当工事の AGF 施工パターン図、設計注入量、注入管理フローをそれぞれ図2、表1、図3に示す。AGF の設計、施工管理は技術資料⁽¹⁾や過去の実績により実施した。

3. 土被り荷重と注入圧の関係

AGF 施工の結果、93%の割合で注入圧が管理上限値の初期圧+2.5MPa まで上昇せず、計画注入量まで注入を行う「定量注入」となった。ここで、AGF 中心部の土被り荷重と注入圧上昇値 ΔP (式(1)) との関係を示すと、図4、図5のようであり、相関係数 0.81 と両者に高い相関があることが判明した。なお、図中の ΔP は、注入ポンプ3台/本および27本/シフトの1シフト毎の平均値である。

$$\text{注入圧上昇値 } \Delta P = \text{最終圧 } P_e - \text{初期圧 } P_p \text{ ----- (1)}$$

ここに 最終圧 P_e : 設計注入量に達した時、または圧力上昇値が 2.5MPa に達した時の注入圧
初期圧 P_p : 5kg 程度注入した時の注入圧が安定した状態での注入圧

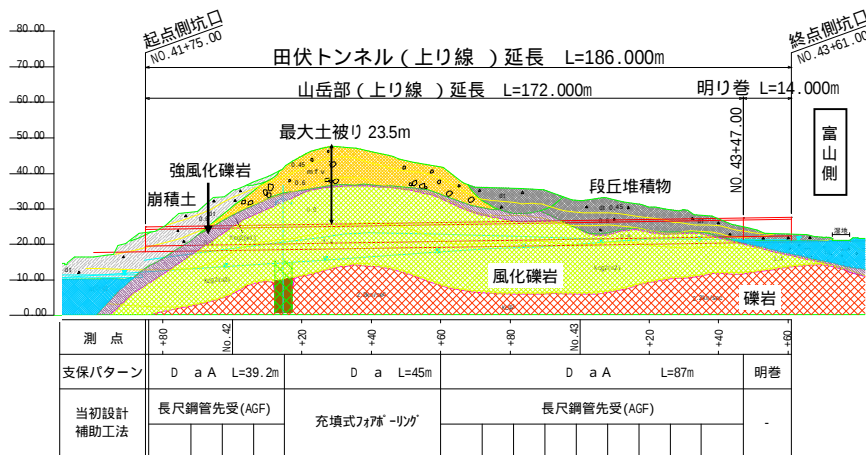


図1 田伏トンネルの地質と補助工法

表1 AGF の設計注入量

1シフト当りの施工本数	P	27本
1本の改良径	D	45cm
AGF鋼管外径	d1	114.3mm
AGF鋼管内径	d2	102.3mm
削孔径	dv	125mm
インサート管外径	di	80mm
1本の改良長	L	12.5m
間隙率	n	35%
充填率	α	95%
ウレタン率	U	45%
注入率 $\lambda = n \times \alpha \times U$	λ	15%
損失率	β	5%
比重	ρ	1.34
発泡倍率	F	4倍
設計注入量	Q	120kg/本

設計注入量 $Q = Q1 + Q2 + Q3$
 $Q1$: 地山注入量 $= f(D, L, dv, \lambda, \beta, \rho, F)$
 $Q2$: 鋼管外注入量 $= f(d1, dv, \beta, \rho, F)$
 $Q3$: 鋼管内注入量 $= f(d2, di, \beta, \rho, F)$

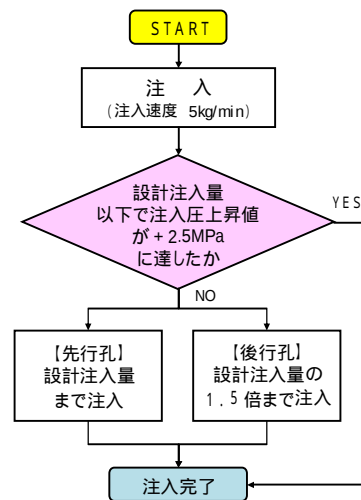


図3 注入管理フロー図

キーワード トンネル、補助工法、AGF、シリカレジン、注入管理

連絡先 〒920-0981 石川県金沢市片町2-2-15 北国ビル 戸田建設(株)北陸支店土木部 TEL 076-231-4738

一方、トンネル横断方向の土被り変化と AGF 一本毎の ΔP (ポンプ 3 台の平均値) との関係を示すと図-6 のようになる。AGF 一本毎においても、注入圧がその施工位置の土被りに大きく関係していることが分かる。

4 注入圧上昇値 ΔP と天端安定性との関係

図 6 中の AGF シフトは、中央(天端)から右側にかけての ΔP が 0.5MPa 以下と極めて低い。この部位は、天端の肌落ちや小規模崩落が頻繁に発生する強風化帯であり、補足注入の目的で注入式フォアボーリングを追加している。このように地山状況によって ΔP が変化し、表 2 に示す 0.5MPa 未満の部位では、地質が不安定であった。

表 2 地質不良部位の ΔP

シフト名	天端不良箇所	不良箇所の ΔP
AGF	天端～右側	0.45 Mpa
AGF	天端～右側	0.09 Mpa
AGF	天端～右側	0.18 Mpa
AGF	天端部周辺	0.21 Mpa

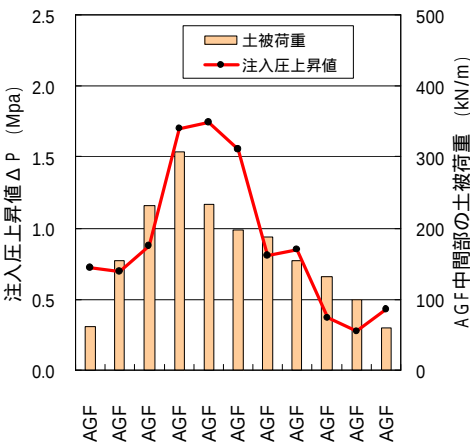


図 4 AGF の注入圧上昇値 ΔP

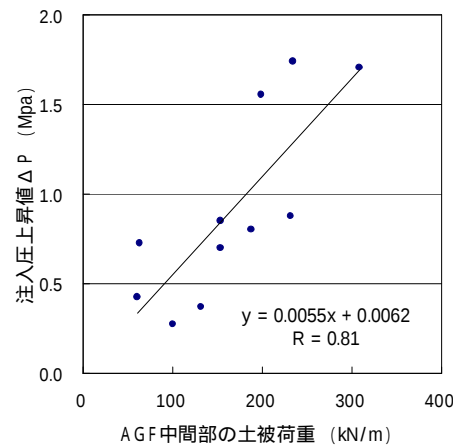


図 5 土被荷重と ΔP との相関

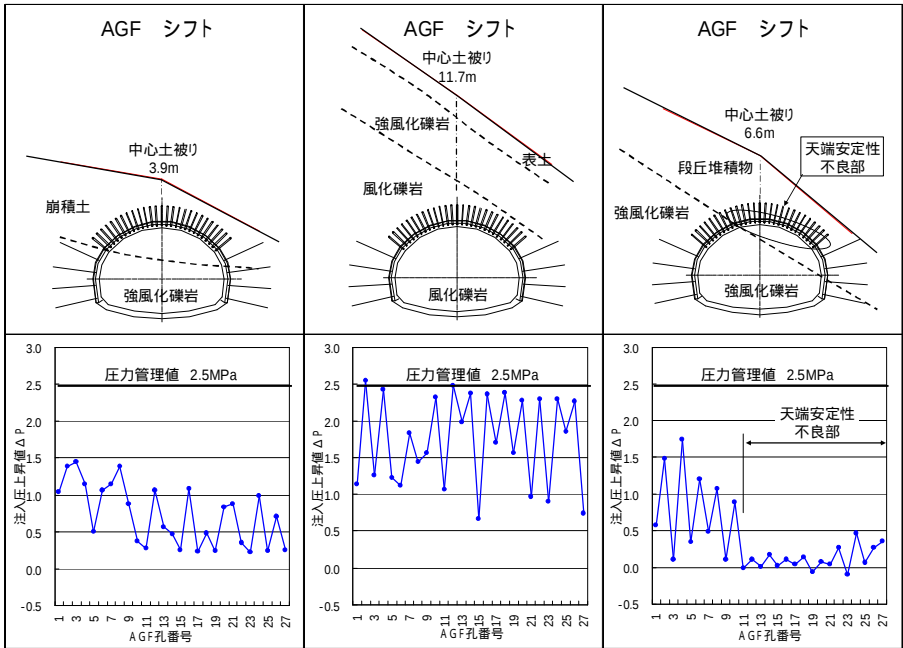


図 6 トンネル横断方向での土被りと注入圧上昇値との関係

5 . AGF 注入管理に関する考察

今回の地形・地質条件下における AGF 注入管理について、次のことが言える。

- 1) 地山の固結度や強度などに支配される天端安定性を評価する上で、注入圧上昇値 ΔP は重要な指標となる。
- 2) 強風化礫岩では、注入圧上昇値 $\Delta P = 0.5\text{MPa}$ が天端安定性の一つの目安となる。 ΔP が 0.5MPa 以下の場合、設計注入量(注入率 λ)の見直しや補足注入の実施を視野に入れた施工管理が、安全性を確保するために重要である。

なお、 ΔP と対比する指標として、地山強度比または一軸圧縮強度 q_u を採用することが妥当であるが、未固結地山のために q_u を測定することができない条件では、土被り荷重を採用することが有効であると考えられる。

6 . おわりに

現在、各トンネルで行っている注入管理は、「定量定圧管理」が多い。しかし、天端安定効果をより確実にするためには、注入量について柔軟な考えを持ち、注入圧上昇値と天端安定性に着目して、注入量や注入管理フローにフィードバックさせることが望ましいと考える。特に注入圧の上限管理値を設定するだけでなく、注入圧下限管理値(初期圧 + 0.5MPa)を設定し、注入量設定の判断基準とすることが有効と考える。

参考文献

- (1) 注入式長尺先受工法 (AGF 工法) 技術資料 (五訂版) —AGF 工法の考え方とその適用—
2006 年 12 月 6 日 ジェオフロンテ研究会