

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員 今村宏司
同 上 正員 ○ 菊池征也

1. まえがき

現在、広く行なわれているヒューム管推進工事における裏込注入は、そのほとんどがヒューム管内に設けられたグラウト注入孔を通して行なわれているが、トンネル内に作業者が入坑しての裏込めはヒューム管の内径が小さい場合には作業性が悪く、さらにトンネルが長くなると注入孔のボルトの取りはずしおよび接続の回数が増えるなどの施工上のいくつかの問題点があった。これらに対処するため、当所においてヒューム管推進工事の掘削、土砂の搬出、裏込注入等の工程について横坑内作業の無人化を図る方法を系統的に検討し、裏込注入はヒューム管のクラウン部の外側に布設した注入管を通して、立坑に設置した注入ポンプにより連続的に注入する方法を取りあげ、外径1435mmのシールド機とヒューム管($\phi=1200\text{mm}$, $\phi_0=1430\text{mm}$)による実験用トンネル工事のなかで、裏込注入工法の実用性について調査したものである。

2. 裏込注入工法の概要

当所において検討し取りあげられた裏込注入工法の概要を図-1に示す。本工法は発進立坑側に設置したグラウトミキサ、注入ポンプ、ウィンチと地山に布設される注入管のほか、先導金具、注入金具、接続ホース等により構成される。また本工法は1次裏込注入と2次裏込注入とに分け施工される。

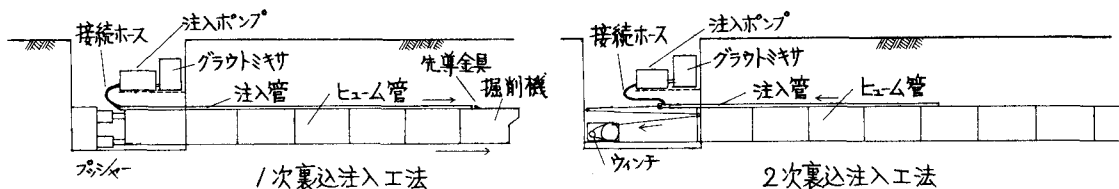


図-1 裏込注入工法概略図

1次裏込注入は、(i)ヒューム管推進において減摩効果を得ること、(ii)1次的に地山の崩壊を防ぐこと、を目的とし、ヒューム管の推進と同時に進行する。裏込材はベントナイト水溶液である。2次裏込注入はトンネル築造後、(i)ボイドを完全に充てんし地山のゆるみと沈下を防ぐこと、(ii)湧水に対する止水を図ること、を目的として行なわれ、裏込材としてセメントモルタル等が用いられる。注入はウィンチで注入管を徐々に引き抜きながら行なわれる。

3. 裏込注入実験

実験は本工法の実用化を図る目的で巨長50mのトンネルに後述の裏込材を注入し、約4ヶ月後に同トンネル上部を一部地表より開削し裏込状況の確認を行なった。実験に用いた裏込注入装置を表-1に示す。なお、裏込材の配合はヒューム管推進工事の上限値として150mを仮定して決定した。

1) 1次裏込注入材 注入材はベントナイト水溶液とし、山形産、250メッシュのベントナイトを使用した。濃度についてはベントナイト水溶液の粘度 μ と密度 ρ を実測することにより、運動粘性係数 $\nu(=\mu/\rho)$ を求め、さらに粘性液の直管内摩擦損失を

表-1 実験に用いた裏込注入装置

裏込注入装置	諸 元
グラウトミキサ	攪拌容量 200l
	攪拌軸回転数 600 r.p.m.
	原動機 モータ 5.5 KW
注入ポンプ	吐出量 105 l/min.
	吐出圧 max. 30 kg/cm ²
	原動機 モータ 7.5 KW
注入管	外径 50 mm ϕ
	内径 37 mm ϕ
	長さ 2450 mm
	材質 STMR-80 ボリングロッド材

求める理論式(1)~(3)と注入ポンプの吐出能力
により10%濃度(10% cc)とした。(表-2)

$$(1) Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$(2) f = \frac{64}{Re} \quad (\text{但し } Re < 2100 \text{ のとき})$$

$$(3) H = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

ここに、 Re ；レイノルズ数 V ；管内平均

流速 D ；管径 ν ；粘性液の運動粘性係数 f ；摩擦損失係数 H ；損失水頭 L ；管長 g ；重力加速度

2) 2次裏込注入 注入材はセメント、フライアッシュ、ベントナイト、砂、水とし、その配合は1：1：0.1：1：1.5(重量比)とし、この配合で粘度 μ と密度 ρ を実測し、1次裏込注入材と同様に理論式(1)~(3)により、管内摩擦損失による損失水頭 H を求め水圧に換算したところ、 $\mu = 4.38 \text{ ポイズ}$ 、 $\rho = 1.57$ で損失水頭 $H = 1.084$ を得、管長 $L = 150 \text{ m}$ のとき、 $H = 163 \text{ m}$ となり、水圧換算で 16.3 kg/cm^2 であった。また圧縮強度は 23.4 kg/cm^2 と推定されたので、本配合で注入を行なった。

3) 実験調査項目および調査方法

① ヒューム管推進時におけるベントナイト水溶液による減摩効果…… 巨長50mトンネル掘進において前半30mは1次裏込注入をせずにヒューム管を推進し、後半に注入(10%濃度ベントナイト水溶液)を行なった。注入による推力の低減を減摩効果とし、推力はジャッキに圧力変換器を取りつけ、ジャッキ圧から換算した。

② 注入管の最大引拔力…… 2次裏込注入は注入管を引抜きながら行なうため、この最大引拔力を調査した。計測はウィンチワイヤに5Ton用ロードセルを挿入し行なった。

③ 裏込状況確認調査…… トンネル築造後、開削して裏込状況、注入量、ボイド量について観察調査した。

4. 実験結果および考察

1) 減摩効果

ジャッキ推力について調査したグラフを図-2に示す。推進長と共にジャッキ推力はほぼ直線的に増加し、推進長(L m)とジャッキ推力(P_{ton})の回帰式を求めれば、ベントナイト注入前では $P_1 = 2.03L + 30.79$ 注入後では $P_2 = 1.57L + 31.21$ となり、1次裏込注入を行なうことにより、単位推進長当りの所要推力は約77%となり、23%の減摩効果が得られた。

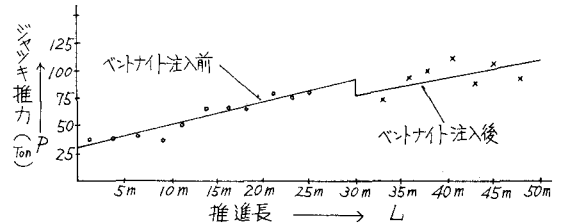


図-2 推進長とジャッキ圧との関係

2) 注入管の最大引拔力

トンネルの地山に布設された50.2mの注入管の引拔力は、初期の最大引拔力3.9tonであった。その後の引拔力は小さく、49.8mで1.5ton(約30% kg/m)であった。

3) 裏込状況確認調査

2次裏込注入は計算上のテールボイド量 $0.759 \text{ m}^3/50 \text{ m}$ に対しロス率約30%を見込み $1.0 \text{ m}^3/50 \text{ m}$ (=1000 l)を注入した。掘削により裏込状況を確認したところ、ヒューム管肩部の裏込め厚さは平均5.1mmであった。(図-3) したがってヒューム管の推進によって拡大された実際のボイド量は $1.05 \text{ m}^3/50 \text{ m}$ と推定され、ロス率30%を見込めば、注入量は計算値の80%増とする必要があると思われる。

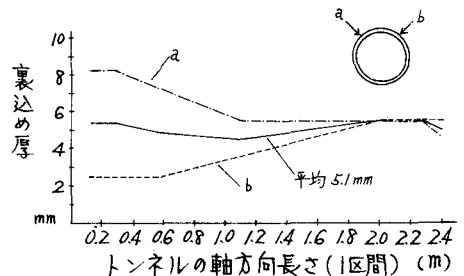


図-3 ヒューム管肩部の裏込め厚さ

以上の結果、本工法による裏込注入は良好な結果が得られた。今後は本工法において裏込材の種類とその配合、注入圧等について検討を進める予定である。