

III-B 69

新しい鋼管補強高圧噴射フォアパイリングについての物質収支からみた一考察

大林組 正会員 二宮 正 松崎 利宣
日本基礎技術 小野寺 賢

1. はじめに

長尺先受け工（フォアパイリング）をはじめとした補助工法の発達により、山岳トンネル方式によるトンネルの施工は、飛躍的にその適用範囲を広げてきている。特に、切羽前方を効果的に先行支保するフォアパイリングは、トンネル大断面掘削を可能にし、大型機械導入による急速施工、掘削時の安全性、施工性向上に大きく貢献してきている。

その中で、鋼管補強高圧噴射フォアパイリング（テレビジェット工法）は、地山を高圧噴射改良しながら同時に鋼管打設を行うことができる信頼性の高い工法である。筆者らは、過去 2 回にわたり実証実験を実施し、施工システムの確認と施工仕様決定のための推定式の算定を行い、それらを踏まえ高速道路トンネル工事の坑口部において国内初の実工事を施工した。

ここでは、硬化材噴射量と排泥流量に着目し、物質収支からみた考察を試みた。

2. 工法の概要

当工法は通常ダブルロータリ削孔方式により以下の手順で施工する。

- ①必要な長さのバルクヘッド部を送水削孔する。（図-1）
- ②高圧噴射装置から硬化材を高圧噴射しながら、芯材鋼管（外管）と高圧噴射管（内管）を同時に回転圧入し、円柱状の改良体を手前から造成していく。
- ③造成完了後、内管を引き抜き、必要に応じて鋼管を利用した二次注入を行う。

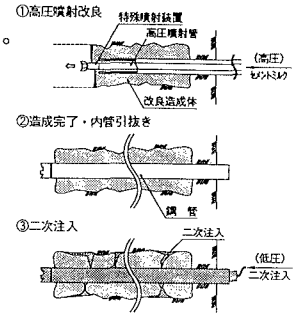


図-1 施工手順

以上の作業により、トンネル外周部に連続した剛性の高いアーチゾーンを形成し、トンネル切羽前方の地山を効果的に先受けする。

3. 物質収支の検討

硬化材と排泥水に関しての物質収支の検討の前に、土粒子の構成について整理すると、図-2の各々の体積および重量について、間隙比、間隙率等は以下のようにになっている。

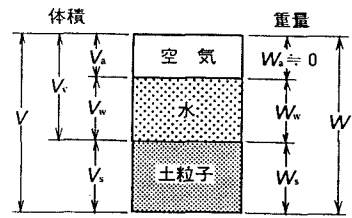


図-2 土粒子の構成

間隙比 (e) : $e = V_v / V_s$	含水率 (w') : $W' = W_w / W$
間隙率 (n) : $n = V_v / V$	土粒子比重 (Gs) : $G_s = W_s / V_s \gamma_w$
飽和度 (Sr) : $S_r = V_w / V_v$	土の単位体積重量 (γ) : $\gamma = W / V$
含水比 (W) : $W = W_w / W_s$	乾燥密度 (γ_d) : $\gamma_d = G_s \gamma_w / (1 + e)$

ここで、

造成速度 : v (m/min)	造成対象体積中の空気分体積 : V_{air} (m ³)	排泥中のセメントミルク分体積 : V_m (m ³)
造成径 : D (m)	造成対象体積中の土粒子分体積 : V_{sl} (m ³)	排泥中の土粒子分体積 : V_{so} (m ³)
造成時間 : t (min)	造成対象体積中の水分分体積 : V_{wl} (m ³)	排泥中の水分分体積 : V_{wo} (m ³)
セメントミルク噴射流量 : Q_1 (m ³ /min)	排泥流量 : Q_2 (m ³ /min)	
セメントミルク比重 : G_{milk}	排泥比重 : G_m	

とすると以下の (1) ~ (5) 関係式が成り立つ。

いま、舞子トンネルでの実証実験データをもとに (6) 式から求められる理論排泥流量と実測値を比較する。

舞子トンネルでの実験データは、表-1に示すとおりである。

表-1 舞子トンネル下半部トレビジェット実験データ

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case3'
土の乾燥密度: $\gamma_d(t/m^3)$	0.159	0.147	0.109	0.221	0.128	0.114	0.124
間隙比: e	0.413	0.413	0.413	0.413	0.413	0.413	0.413
含水比: w	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117
土粒子比重: G_s	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69
水の密度: $\gamma_w(t/m^3)$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
飽和度: S_r	0.781	0.781	0.781	0.781	0.781	0.781	0.781
排泥比重: G_m	1.72	1.66	1.73	1.8	1.89	1.76	1.71
セメントミルク比重: G_c	1.522	1.522	1.522	1.522	1.522	1.522	1.522
セメントミルク噴射流量: $Q_1(m^3/min)$	0.085	0.116	0.113	0.099	0.101	0.089	0.118
実測平均造径: $D(m)$	0.480	0.688	0.650	0.616	0.654	0.599	0.705
実測排泥流量: $Q_2'(m^3/min)$	0.051	0.063	0.067	0.081	0.067	0.065	0.063
造 成 速 度: $V_c(m/min)$	0.159	0.147	0.109	0.221	0.128	0.114	0.124
造 成 時 間: $t(min)$	34	34	43	29	47	44	51

表-1のデータより上記の7つのケースに対する、理論排泥流量を(6)式より求めると表-2のようになる。

表-2 ケース別理論排泥流量と実測値との比

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case3'
理 論 排 泥 流 量: $Q_2(m^3/min)$	0.083	0.112	0.110	0.094	0.098	0.087	0.115
Q_2'/Q_2	0.615	0.562	0.607	0.646	0.582	0.749	0.550

表-2でわかるように、実測排泥流量(Q_2')は理論排泥流量(Q_2)の0.55~0.75の割合で少なくなっているのがわかる。この原因として、以下の様なことが考えられる。

- ①噴射されたセメントミルクが改良造成体を造成する以外に逸出することがほとんどない。
- ②二重管削孔で内管と外管の間から回収される排泥をスイベルを介して計量測定しているが、当工法の宿命である“外返し”現象が機構上どうしても生じる。

以上のことより、 Q_2'/Q_2 を当工法の機構上の特性値として捉え、排泥効率係数 E_m を考える。

表-2のデータから一般化した排泥効率係数の値を求めるためには、作業量による重みづけを行うのが妥当と考え、ここではセメントミルクの噴射量に着目して重みづけを行い、 E_m を求める。

$$E_m = \frac{\{\text{ケースごとの } (Q_2'/Q_2) \times \text{セメントミルク噴射量}\} \text{の総合}}{\text{セメントミルク噴射量の合計}} = 0.61$$

分母は、 $0.615 \times 0.085 \times 34 + 0.562 \times 0.116 \times 34 + 0.607 \times 0.113 \times 43 + 0.646 \times 0.099 \times 29 + 0.582 \times 0.101 \times 47 + 0.749 \times 0.089 \times 44 + 0.550 \times 0.118 \times 51 = 17.803$

分子は、 $0.085 \times 34 + 0.116 \times 34 + 0.113 \times 43 + 0.099 \times 29 + 0.101 \times 47 + 0.089 \times 44 + 0.118 \times 51 = 29.245$

4. まとめと今後の方向

ここでは、当工法の排泥機構上の特性値として排泥効率係数 E_m を考え、算出した。この排泥効率係数が値として信頼性を確保できれば(6)式より施工中の排泥流量から造成体の大きさが推定でき、施工管理に生かせることになり、今後更に検討を重ねて行きたいと考える。

最後に、本実験のご指導を頂いたジェオフロンテ研究会 長友成樹会長、実験場所をご提供頂いた本州四国連絡橋公団第一建設局舞子工事事務所にお礼申し上げます。

4. 参考文献

- 1) 八尋 暉夫・吉田 宏・西 謙治：ウォータージェットを利用した地下工法、鹿島出版会、1983
- 2) 二宮 正・守屋 洋一・中原 徹：鋼管補強高圧噴射式フォアパイリング（トレビジェット工法）の実証実験、第21回日本道路会議論文集、1995.10
- 3) 二宮 正・守屋 洋一・中原 徹・高田 徹：新しい鋼管補強高圧噴射式フォアパイリングの実証、土木学会トンネル工学研究発表会論文・報告集、1995.11
- 4) 二宮 正・守屋 洋一・松崎 利宣・小野寺 賢：新しい鋼管補強高圧噴射式フォアパイリングの実証工事、第31回地盤工学研究発表会論文集、1996.7
- 5) ジェオフロンテ研究会：トレビ工法技術資料、1994.12

$$V_{air} = \{ (\pi D^2 / 4) \times v \} \times n \times (1 - S_r) \dots \dots \dots (1)$$

$$G_m = \frac{G_{milk} \cdot V_m + G_s \cdot V_{so} + V_{ro}}{V_m + V_{so} + V_{ro}} \dots \dots \dots (2)$$

$$Q_2 \times t = V_m + V_{so} + V_{ro} \dots \dots \dots (3)$$

$$Q_1 \times t = V_m + V_{air} + V_{s1} + V_{r1} \dots \dots \dots (4)$$

$$V_{so} = V_{s1}, V_{ro} = V_{r1} \dots \dots \dots (5)$$

式(1)、(3)、(4)、(5)および

$$S_r = \frac{V_r d (1+e)}{e \cdot \gamma_w} \text{より}$$

$$Q_2 = Q_1 - \frac{D^2 \times \pi \times v \times e \times (1 - S_r)}{4 (1+e)} \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 $G_{milk} = 1.522$ $V_{ro} = V_{ro} - G_s \cdot V_{so}$

式(2)、(3)より

$$V_{so} = \frac{(G_m - G_s) Q_2 t}{1.522 + (0.522V - 1) G_s} \dots \dots \dots (7)$$

$$V_m = Q_2 t - \frac{(1+e) G_s}{1.522 + (0.522V - 1) G_s} Q_2 t \dots \dots \dots (8)$$