

VI-39

高浸透性ウレタン圧入式フォアパイリングの開発

(株)大林組 土木技術本部 志賀孝和、居相好信、○藤沢 薫
 東海ゴム工業(株) 化成建材部 宇田信也、小柳 博

1. はじめに

ウレタン圧入式フォアパイリングは、フォアパイリング用中空ボルトを打設した後に2液成分のウレタン薬液を地山の限定された範囲に1.5ショット方式で圧入して地山改良を行うもので、山岳トンネルの補助工法として切羽の自立しない崖錐・砂層等の未固結地山に広く使用されている。

しかし、比較的締まった砂層等ではウレタンの粘性が高いため等により十分な浸透圧入が行われなかったり、圧入圧の上昇によりウレタンが口元や隣孔にリークするなど品質上の問題があった。

ここでは、新たに開発した高浸透性ウレタンHPU (High Permeation Urethane) 圧入式フォアパイリングの試験結果について述べる。尚、試験は、標準品ウレタンTBUでも同時に行っている。

2. 試験概要

2-1 ウレタンの仕様

表-1にウレタンの仕様を示す。高浸透性ウレタンHPUは、標準品に比べA液の粘性が極端に低いのが特徴である。

表-1 TBUとHPUの仕様

ウレタン名	配合比率A:B	粘度A:B	比重	硬化速度	自由発泡倍率	地山発泡倍率
T B U	1 : 3	40cP:40cP	1.22	60±10秒	10±2倍	4倍
H P U	1 : 1	6cP:40cP	1.13	53±10秒	7±2倍	4倍

2-2 試験施工

試験施工は、洪積層砂質土（大阪層群）のトンネルで行った。試験内容は、以下の通りである。

(1) 圧入状況（圧入速度、圧入圧力、圧入量、圧入範囲）の比較

(2) 地山改良効果の比較

①未改良土の室内土質試験（密度、粒度、含水比、3軸CD、透水）

②改良土の室内岩石試験（密度、1軸、超音波、3軸UU、透水）

2-3 試験結果

(1) 圧入状況

試験圧入は、30kg/本の定量圧入と最大15kgf/cm²の圧力管理圧入を一定圧入速度で行った。表-2に圧入結果を示す。この結果から、高浸透性ウレタンHPUは標準品ウレタンTBUに比べ3kgf/cm²程度低圧で地山に圧入することが確認された。

表-2 ウレタン圧入結果

ウレタン名	定 量 圧 入（圧入量30kg/本）			圧力管理 最大圧力(15kgf/cm ²)		
	初期圧力	最大圧力	圧入速度	初期圧力	圧入量	圧入速度
T B U	4.0kgf/cm ²	10.0kgf/cm ²	4.2L/min	4.0kgf/cm ²	38.5kg	4.2L/min
H P U	1.0kgf/cm ²	6.3kgf/cm ²	4.2L/min	1.0kgf/cm ²	54.6kg	4.2L/min

(2) 地山改良効果

改良土は、圧入終了後に周辺を掘削して圧入状況と改良範囲を確認した。高浸透性ウレタンHPU30kg/本の改良範囲は、幅0.9m×高0.4m×長1.0mと標準品ウレタンTBUと同程度であった。

未改良土の室内土質試験結果と改良土の室内岩石試験結果を表-3、4に示し改良効果について以下に述べる。

- ①湿潤密度から改良により密度が増加したことが認められる。
- ②強度定数についてみると、特に粘着力が地盤改良により著しく強度増加していることが認められる。
- ③変形係数も改良土は、未改良土に比べて大きく得られており、改良効果が明らかである。
- ④透水係数から未改良土と改良土では、約4オーダーの違いがあり、透水性地盤から難透水性地盤に変化したことが明らかである。

表-3 未改良土土質試験結果

比重	2.67
自然含水比	59 %
粒度分布 礫 砂 粘土・シルト	4 % 94 % 2 %
均等係数	2.18
最大粒径	4.75 mm
湿潤密度	1.83 g/cm ³
間隙率	36.7 %
粘着力	0.14 kgf/cm ²
内部摩擦角	42 °
変形係数 *1	617 kgf/cm ²
透水係数	2.3×10^{-2} cm/s

表-4 改良土岩石試験結果

項 目	T B U	H P U
湿潤密度	1.92 g/cm ³	1.98 g/cm ³
1軸圧縮強度	79.1 kgf/cm ²	73.1 kgf/cm ²
静弾性係数	8400 kgf/cm ²	8160 kgf/cm ²
ポアソン比	0.41	0.41
粘着力	26.0 kgf/cm ²	20.0 kgf/cm ²
内部摩擦角	34.0 °	33.5 °
変形係数 *2	16700 kgf/cm ²	10600 kgf/cm ²
VP	1.05 km/s	0.71 km/s
VS	0.60 km/s	0.48 km/s
動弾性係数	16800 kgf/cm ²	10100 kgf/cm ²
透水係数	9.95×10^{-6} cm/s	8.18×10^{-6} cm/s

*1：3軸CD試験結果 変形係数 E_{50} ($\sigma_3=0.5$ kgf/cm²)

*2：3軸UU試験結果 変形係数 E_{50} ($\sigma_3=1.0$ kgf/cm²)

3. 圧入ポンプ

高浸透性ウレタンHPUは、A液の粘性が低い。したがって粘性の異なる2液を1.5ショット方式で圧入するために、ダイヤフラム式ポンプを用いた高浸透性ウレタン専用の圧入ポンプを開発した。

4. まとめ

高浸透性ウレタンの圧入式フォアパイリングは、砂質土のトンネルの補助工法として十分な効果がある。さらに、標準品ウレタンと比較して改良効果・改良範囲において遜色ないものであった。

現在砂質土のトンネルで高浸透性ウレタンを使用しているが、圧入中に隣接孔等へウレタンがリークするトラブルが減少した。

今後、地山状況に応じてウレタンを選択する必要があると考える。