

VI-70 水平ジェットグラウチング先受け工法（TOM-JET）における注入材の配合検討

飛島建設（株）技術本部 正会員 ○ 川端 康夫
正会員 猪俣 正
土木本部 正会員 市川 健作
福井 隆夫
牧田 耕一

1. はじめに

山岳トンネルで脆弱地山を掘削する際には、切羽の安定を確保するため予め切羽前方地山に対し何らかの先受け補強が必要とされる。TOM-JET工法は、通常のトンネルで用いる油圧さく岩機を使ってセメントなどの固化材を1.5または2ショットで高圧噴射し、脆弱地山を改良・安定化させる複数地質適応型の先受け工法である。

ここでは、本工法の経済性をより向上させることを目的に2ショット方式（円柱杭造成による改良ゾーンの構築：写真-1）における注入材の経済的な配合手法について、施工例及び実験的研究の結果を踏まえ検討を行う。



写真-1 TOM-JET工法

2. 検討概要

TOM-JET工法の施工手順を図-1、施工機械及び仕様を表-1、使用材料及び注入材の基本配合を表-2に示す。本工法は、通常の施工サイクルのなかで施工できる特徴を有しており、造成されたシェル構造物は、地山掘削時の切羽安定のため、12時間で10kg/cm²の強度が要求される。注入材は切削した地山を取込み硬化するため、同一配合でも対象地山の性質により、強度発現性状が異なる。ここでは、過去の施工例及び土質の種類、地山取込み率、注入材配合を要因とした実験的研究結果より、注入材の合理的な配合手法について検討した。

主要施工機械	施工仕様
①油圧さく岩機 （油圧制御装置組込み） ②特殊ロッド、スィベル ③注入ユニット （クワッドミキサー搭載）	①注入圧：200kgf/cm ² ②注入速度：90ℓ/min ③ロッド回転数：100rpm ④引抜き速度：0.6m/min

表-1 施工機械及び施工仕様

使用材料	（比重）	基本配合
A液	急硬材（フェノケス）2.90 ゲルタイム調整剤（セック）	ES=80kg/100ℓ 任意
B液	クワッドミキサー 3.02 高性能減水剤	W/C+BS =90% C=80kg/100ℓ 1.0%

表-2 使用材料及び基本配合

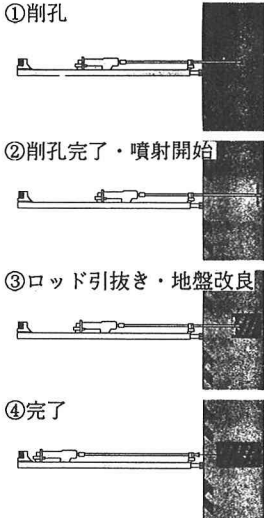


図-1 施工順序

3. 異なる地質条件による硬化体の強度発現性状

表-3に過去の施工例を示す。地山の種類は6種類で、粘土層から砂礫層と広い範囲の脆弱地山を対象とした。施工条件及び配合は、表-1、2による。

1) 地質及び含水比の影響

ローム、高液性粘性土のように粘土分を多く含む地山は、砂、礫を多く含む地山（シルト混じり砂礫（1）を除く）に比べ、強度が低い。これは、粘土が多く水分を含んでいること、粘土の組織構成上の特徴及び粘土が硬化体の中で塊状に存在し易いこと等が原因と考えられる。

表-3 施工実施例の一覧

施工地山の性質	地質の種類	火山灰質粘性土（ローム）	高液性粘性土	シルト混じり砂礫（その1）	シルト混じり砂礫（その2）	砂（単粒砂）	強風化閃緑岩（マサ土）
比重		2.609	2.698	2.706	2.724	2.730	2.667
現場密度（g/cm ³ ）		1.355	1.757	1.720	1.882	1.810	1.721
含水比（%）		88.0	33.0	7.7	12.1	8.6	11.5
構成	礫分	10.6	27.0	66.8	62.0	0	5.9
砂分		26.6	14.2	24.4	28.0	100	83.9
細粒分		62.8	58.8	8.8	10.0	0	10.6
N値		0~5	0~5	0~5	20	30~3	40
ゲルタイム（s）		80	30	120	30	30	30
杭径（cm）		30~40	40	80	30~4	30~5	30
地山取込み率（%）		—	27.0	83.4	27.0	45.0	7.3
強度（kgf/cm ² ）	6時間	2.3	—	—	4.0	3.5	4.0
	24時間	3.5	—	—	6.2	5.0	6.2
	7日	4.3	—	—	10.2	10.1	14.8
	28日	5.1	5.4	4.6	15.6	13.5	20.0

*：地山の取込み率は、体積百分率

2) 地山状態及び強度の影響

今回の施工例では、シルト混じり砂礫（1）、マサ土を除き、地山取込み率が27～45%の範囲となっている。シルト混じり砂礫（1）の地山取込み率が大きくなった原因は、地山の状態（空隙大）とゲルタイムの長さにあると考えられる。注入液の硬化が遅れたため、地山材料が注入液から分離・沈殿し、液が他へリークしたことで注入液の相対的な量が減少したと考えられる。このため、硬化体の強度が小さくなったものと推定され、ゲルタイムの適切な設定が必要とされる。マサ土での取込み率が小さくなったのは、地山強度が高く、切削土量が少ないことが原因と考えられるが硬化体の強度に影響はない。

4. 各種要因が硬化体の強度発現性状に与える影響

土質、地山取り込み率、配合の種類が強度発現性状に与える影響を確認するため、注入材と地山材料を2軸強制練りミキサーで混合した室内試験と表-3中のシルト混じり砂礫（2）の模擬地山を対象としたフィールド実験を実施した。

1) 室内試験の結果

室内試験は、表-4、図-2の水準で実験を実施した。図-3、図-4に実験結果を示す。粘土は、他の2種の材料に比べ強度が低く、施工例の結果を反映している。砂礫は、地山取込み率による強度の差が少なかったのに対し、粘土混じり砂礫、粘土は、取込み率の増加に伴い強度が低下した。また、ES/Cが40/80で粘土を混入した配合では12時間で20 kgf/cm²を下回っていた。

2) フィールド実験の結果

フィールド実験では、表-5に示す4種類の配合で杭体を造成し、各々の強度発現性状について確認した。実験結果を図-5に示す。ESの量を減らすことで硬化体の強度は低下するが、今回の検討地山ではどの配合も設計強度を満足していた。また、セメントの増量が強度に与える効果も確認できた。

今回実施した杭体全8本の造成により、強度の変動係数は最大で21.5%と推定され、不良率は2.3%とした場合、目標強度は設計強度に対し50%程度の割増しが必要と考えられる。配合決定にあたっては、12時間で15～20 kgf/cm²の強度が要求される。

5. まとめ

以上の結果より以下のことが確認できた。

- 1) 対象地山が粘土地山の場合は富配合（ES/C = 80/80）、砂礫地山の場合は貧配合（ES/C = 40/80）、その他の地山では地山取込み率を30～50%と仮定し、配合検討を行う。
- 2) 12時間での目標強度を15～20 kgf/cm²とし、室内試験、実機試験の結果を踏まえ、注入材の配合を決定する。

今回の検討を進めるに当たって、多大の御協力を頂いた電気化学工業㈱の川内、有水両氏に謝意を表します。

表-4 室内試験の実験条件

対象土 (3種)	①粘土	②砂礫	③粘土混じり砂礫 (①:②=1:4混合)
比重 含水比	2.609 54%	2.710 2%	2.692 7%
地山取込み率 (%)	30、50、70、3種		
注入材比 ES/C (kg)	40/80、80/80、2種 各々注入液100ℓ中の重量		

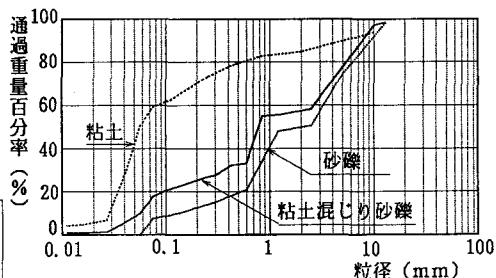


図-2 対象土の粒度分布

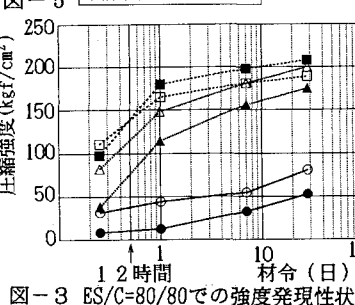
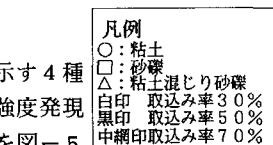


図-3 ES/C=80/80での強度発現性状

図-4 ES/C=40/80での強度発現性状

表-5 フィールド実験の条件

対象土	表-3シルト混じり砂礫 (2)
注入材比 ES/C (kg)	80/80、60/80、 40/80、40/120 (4種)

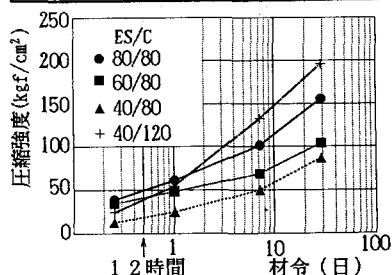


図-5 各種配合での強度発現性状