

VI-38 レジンモルタル自動打設における混合比制御機能

NTTフィールドシステム研究開発部

大竹 昌志

NTTフィールドシステム研究開発部

正会員 ○土屋 正幸

NTTフィールドシステム研究開発部

龍神 勉

1. はじめに

施工環境の厳しい大都市では、小口径トンネルを経済的に施工するため、直径 1m 程度の小口径トンネルを長距離にわたって建設できるシールド工法の実用化が強く望まれている。このような小口径シールド工法では、狭い坑内での苦渋作業を伴い、従事する建設作業員の不足や高齢化の問題があり、トンネル工事の自動化による作業の省力化、エキスパート化が求められている。そこで NTT では、一般のシールド工法で用いられるセグメントを使用せず、新たに開発した早強性レジンモルタルを坑内で自動打設する方法により、トンネル掘進から覆工打設までの坑内作業を全自動化したエースモル 1200-M2 工法を開発した。ここでは、そのレジンモルタル自動打設における、レジンモルタルと硬化液を混合する混合比制御機能について報告する。

2. 混合比制御機能の検討

(1) 混合比制御の概要

混合比制御とは、レジンモルタルと硬化液の混合割合が一定値となるよう調節する技術であり、その比率がライニングに及ぼす影響としては、1. 5phr 以下では未硬化レジンが発生し 5. 0phr 以上では収縮率が大きくクラックが発生する。また最適混合比としては、2. 5phr～3. 5phr である。なお、混合比は以下の式で表わされる。

$$\text{混合比 (phr)} = \frac{\text{硬化液スポット流量 (cc/20s)} \times 1.2 \times 10^{-3}}{\text{モルタルスポット重量 (kg/20s)} \times 0.2} \times 100$$

(2) 制御方式の検討

(phr: レジンモルタル内樹脂重量に対する硬化液重量百分率)

(ア) 初期方式

混合比の制御方式としては、前スポット(1スポット20秒)のモルタル重量に対して 3.0phr になる様、硬化液量を次のスポットで吐出させる『前スポット追従制御』および、モルタル打設後半の打設量の伸びを抑えと同時に、モルタルフローに関係なく打設量を一定にする『コンプレッサの on-off 制御』とした。図-1 に初期の打設フローと図-2 に打設結果を示す。

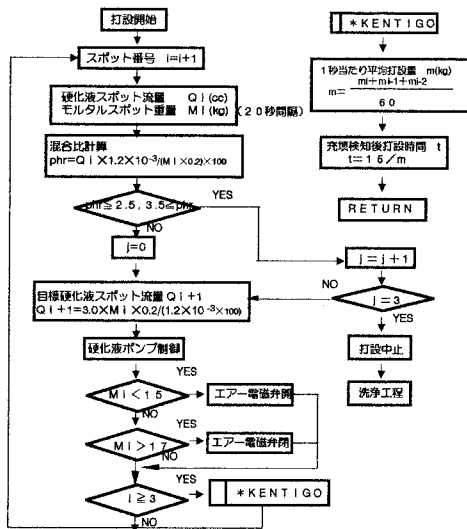


図-1 打設フロー（初期）

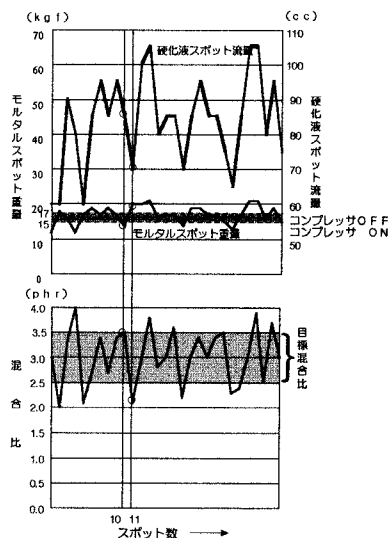


図-2 打設結果

(イ) 初期方式の問題点

初期方式の問題点としては、『前スポット追従制御』と『コンプレッサ on-off 制御』の 2 つの制御の整合性がとれずに混合比のバラツキが大きくなってしまいうことである。

図-2 の打設結果からもわかる通り、10 スポット目でモルタルスポット重量が 14 kgf (<15) となりタンクにエアが供給され、11 スポット目ではモルタルスポット重量が 20 kgf まで増加している。

表－1 制御条件の変更

	コンプレッサ制御	エア－送給方法	硬化液制御
条件	on 18kgf/スポット未満 off 20kgf/スポットより大	流量絞り弁を配管に追し、 約80ℓ/minのエアー 量を1スポット（20秒） 連続供給 元圧4.5kgf/cm ²	前スポット追従制御 ＋ しきい値制御 （硬化液スポット流量の最大 値、最小値を与える）

しかし、11スポット目の混合比は、その硬化液吐出量を10スポット目の14kgfに合わせるため目標混合比を下回ることとなる。この原因としては、『前スポット追従制御』の長所はモルタルスポット重量の単純な増加に対して追従性が良いことであるが、『コンプレッサのon－off制御』を追加したため、モルタルスポット重量がある範囲内で変動したためと考えられる。

（ウ）原因分析及対策

上記の初期制御方式の問題点対策として『コンプレッサon－off制御』によりモルタルスポット重量が18kgf～20kgfの範囲から大幅にずれることがないため、硬化液スポット流量にもモルタルスポット重量の範囲に合わせた『しきい値』を設け混合比のずれる範囲を小さくする目的で、表－1に示す条件変更を実施した。その結果、混合比が目標範囲内に入る確率は、初期制御方式に比べ格段に高くなった。

① エア－送給方法について

制御方式を変更した結果は図－3の通りであるが、混合比が目標混合範囲に入る確率が初期制御方式に比べ、より高くなっている。これはコンプレッサからのエアー流量を320ℓ/minから80ℓ/minに絞ったことによる効果であると考えられる。すなわちエアー流量を減らすことによりコンプレッサがonになった後のモルタルスポット重量の増加が緩やかになったことにより、硬化液制御を行いやすくなったものである。

② 硬化液制御について

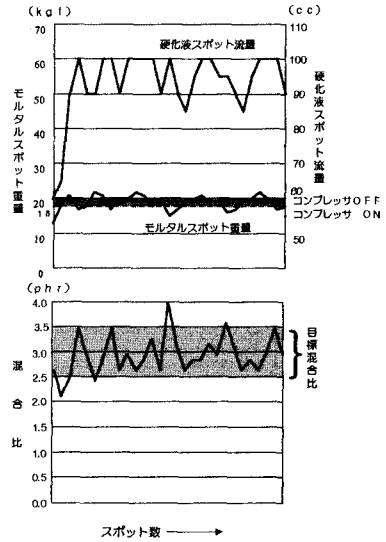
混合比制御の精度向上のため、硬化液スポット流量に『しきい値制御』を設けた。モルタルスポット重量が20kgfを越えた場合は、そのつぎのスポットではコンプレッサからのエアー供給が無くなるため、スポット重量が大きくなる可能性は少ない。従って、20kgfを越えた次のスポットで、前スポットに合わせて硬化液を吐出した場合、混合比が高くなりすぎる危険性が高い。そこで、硬化液最大スポット流量を20kgf/スポットに対応する100ccと設定することにより、コンプレッサがoffになった後のスポットで混合比が大きすぎるのを防ぐことが可能となった。

③ その他の制御について

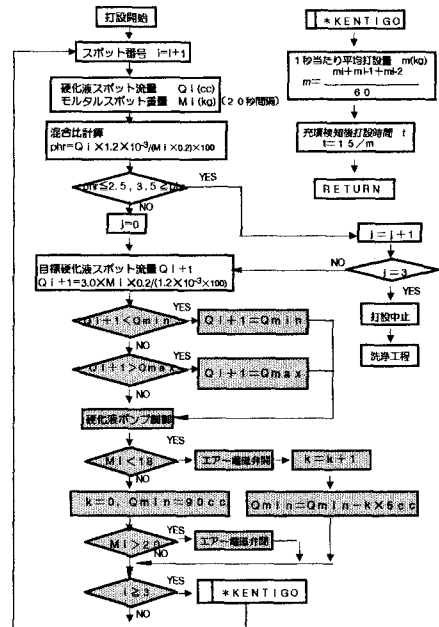
図－4に最終の打設制御図を示すが、硬化液流量計の誤差を考慮し、スポット混合比の計算にはシーケンサの命令値を使用することとしている。また、硬化液ポンプが故障した場合のインターロックとして、硬化液流量が40ccを下回った場合と120ccを上回った場合には、打設を中止する制御を加えた。

3. おわりに

今回、トンネル内径1.2m、総延長674mの横浜市内の下水道工事を完了し、混合比制御機能を含め、本工法の基本機能は十分有する事が実証できたと考える。今後は、より高機能化に向けさらなるシステムの機能評価および改良を実施する予定である。



図－3 打設結果



図－4 打設フロー（最終）