

(Ⅵ－9) 水平高圧噴射攪拌工法の改良効果について

ハザマ土木本部設計第一部 正会員 ○寺内 伸
ハザマ土木本部設計第一部 正会員 肥後 嵩朗
常盤建設(株)東京支店 中島 浩平

1. はじめに

山岳トンネル工法において、都市NATMの増加やトンネルの大断面化に伴い、大規模でかつ積極的に地山改良を行うタイプの補助工法の採用が増加している。その中でも、切羽や天端の安定や地表沈下防止、近接構造物への影響緩和等を目的として採用される水平高圧噴射攪拌工法による先受け工が注目を集めている。

本報文では、それらの中で、周辺環境への影響を重視し切削時の地内圧管理や排泥管理機構を装備した新しい水平高圧噴射攪拌工法（メトロジェットシステム工法、以下MJS工法とする）について実施した実証実験結果概要を報告するものである。

2. MJS工法の概要

MJS工法は、図－1に示すような機構を備えた水平高圧噴射攪拌工法であり、主な特徴は以下のとおりである。

- ①地山切削はエア－併用の高圧改良剤（噴射圧 400～500kgf/cm²）で行う。
- ②専用の排泥管を装備しており、確実な排泥が可能である。
- ③孔内に圧力センサーを設置でき、切削・造成時の地内圧管理が可能である。
- ④多孔管を用いているため、切削および造成は揺動方式である。

3. 実験概要

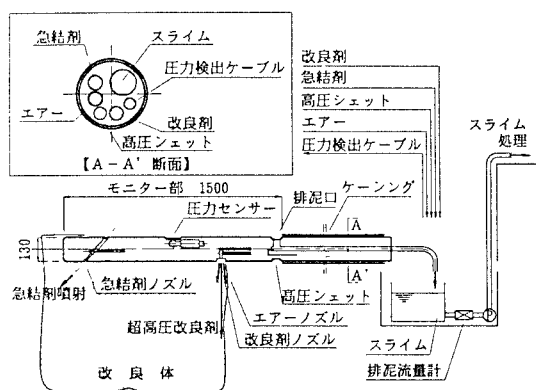
3-1. 実験の目的

今回実施した実験の主な目的は以下のとおりである。

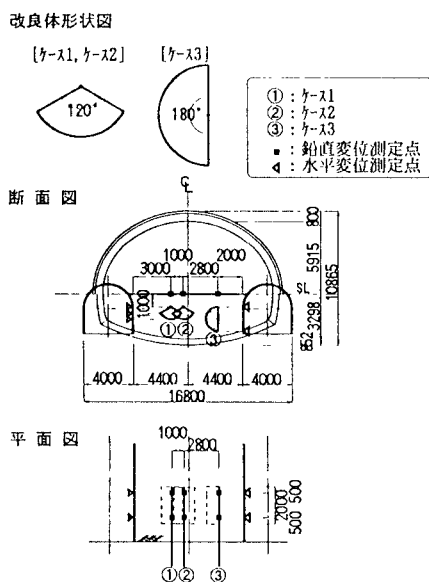
- ①比較的固結度の高い粘性土における改良効果の確認（エア－併用切削状況、残留エア－状況、出来形の確認）
- ②改良剤高圧噴射時の地内圧状況の確認
- ③施工時の周辺地山への影響評価

3-2. 実験方法

実験は、側壁導坑先進工法で施工中のトンネルの大背で実施した。対象地質はN値9～45（代表N値18）のシルトおよび砂質シルトで、比較的固結度は高い。噴射圧や揺動角度を変えて3本の改良体の造成実験を行い改良効果を確認するとともに、それぞれの実験完了時に上半盤や側壁導坑内に設けた測点の変位を計測し、周辺地山への影響を評価した。図－2に実験概要図を、表－1に実験ケースを示す。



図－1 MJS工法の機構図



図－2 実験概要図

表-1 実験ケース

実験ケース	揺動角度(度)	造成長(m)	噴射圧力(kgf/cm ²)
1	120	3.0	400
2	120	3.0	500
3	180	3.0	400

表-2 改良体の出来形および強度

実験ケース	造成長(m)	平均造成長(m)	一軸圧縮強度(7日)(kgf/cm ²)	備考
1	3.0	0.80	10.4	平均 30.7 上部空隙あり
2	3.0	0.80	24.4	
3	3.0	0.63	57.3	

4. 実験結果とその考察

(1)改良体出来形状況

表-2に示すように、ケース1、2においては、80cm程度の改良半径が確保できた。本トンネルで採用されているエアーを用いない水平高圧噴射攪拌工法の場合、同様の噴射圧で改良半径が30cmであることを考えると、エアー併用による切削効果は十分にあると判断される。また、改良体の接合状況も良好であった。

ケース3の場合は、揺動角度 180° の縦半円形の切削に対し残留エアーがどのような影響を及ぼすか確認を行った。改良半径はケース1、2とほぼ同様であったが、上部エアーの排出が行われず、これがエアー溜まりとなって予想通り空洞が発生した。改良は当初予定の約 2/3程度（空洞率約32%）に留まった。しかし、このエアー溜まりによる空洞は、①隣接して施工される改良剤による充填、②施工角度や切削方向の工夫によるエアー滞留のない施工方法、③エアー強制排出法の開発等によって解決できると考えられる。

また、各ケースとも切削面および改良体と地山との境界面は滑らかな形状をしており、既設構造物に対する近接施工にも十分対応できると思われる。

(2)改良体強度

改良体の強度は、表-2に示すようにケース毎にかなりばらつきはあるものの、平均して約30kgf/cm²（7日強度）である。地山の比較的硬質なシルト層の一軸圧縮強度が約 7kgf/cm²であることを考えると、先受け工としては十分な改良効果を示している。

(3)切削時の地内圧状況

各ケースの切削時の地内圧状況を表-3に示す。瞬間的には 2.7kgf/cm²の圧力を記録しているものの、ほぼ 0.3~0.8kgf/cm²程度である。このことから、噴射圧は 400~500kgf/cm²と高圧であるが、排泥管理等を十分実施すれば、地内圧は非常に小さいことがわかる。

(4)周辺地山の変位状況

各ケースの終了時に、上半盤（削孔位置より約1mの離れ）および両側壁導坑内側壁（削孔位置より 2~3mの離れ）の変位を計測した。上半盤における鉛直変位は最大3mmの隆起、導坑における水平変位は最大0.7mmと、各値とも非常に小さな値を示し、切削時に周辺地山に与える影響は非常に小さいものであると判断できる。

5. おわりに

今回の実験により、MJS工法は山岳トンネルにおける先受け工として十分に期待できる補助工法であることが確認された。また、従来の水平高圧噴射攪拌工法に比較し、地内圧管理のもとに確実性の高い改良体の造行が行えるため、近接施工や土被りの薄い区間での施工にも十分対応できるものと考えられ、水平高圧噴射攪拌工法の適用範囲が拡大するものと思われる。

本実験では、基礎的効果の確認を実施しただけであり、現在開発を進めている施工能力向上のためのトンネル専用機の開発や、円形改良体造成のための各種開発等が必要であると考えられる。

表-3 切削時の地内圧計測結果 (kgf/cm²)

実験ケース	計測時の改良長(m)						備考
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	
1	0.3~0.7	0.3~1.3	0.3~2.7	0.3~0.5	0.3~0.5	0.3~0.5	平常圧力 0.3~0.6
2	0.3~0.5	0.5~1.7	0.5~1.7	0.5~0.8	0.3~0.8	0.3~0.8	
3	0.3~0.6	0.3~0.7	0.3~0.8	0.3~0.7	0.3~0.5	0.3~0.5	

・ 0.8~1.5kgf/cm²は10秒以内、1.5~2.7kgf/cm²は5秒以内の瞬間的なものである。