

III-537 三方向の高圧噴射により造成した逆T型固結体の形状について

株式会社フジタ 正会員 ○田口善文 波田光敬 香川和夫

1. はじめに

近年、都市部での地下利用がめざましく、トンネル等を安全かつ経済的に施工するための効率的な地山の補強や止水方法に関する技術開発が盛んである。都市NATMの分野においても切羽の安定や地表沈下を抑制するために薬液注入工法やプレライニング工法を使って切羽前方を補強する各種の補助工法が提案されている。薬液注入工法の中でも高圧噴射による薬液注入は、地盤を強制的に置換あるいは攪拌混合するために非常に確実で経済的な方法である。筆者らは薬液を三方向に高圧噴射させて造成した逆T型の改良固結体を都市NATMの補助工法に適用することを目的として、固結体の出来形を確認するために室内およびフィールド実験を行ってきた。¹⁾ 今回は固結体の厚みを増加させるために二連の噴射ノズルを備えた先端装置を使って実験を行った結果について報告する。

2. 実験概要

トンネルの切羽前方 $120^{\circ} \sim 180^{\circ}$ の範囲に逆T型固結体をアーチ状に連続して施工すると図-1のようになる。逆T型にすることにより土との複合体としてグランドアーチを形成しやすくなり、都市NATM等の補助工法として有効に機能すると考える。逆T型固結体はボーリングマシン等で水平方向に所定の深さまで削孔した後、ロッド先端の噴射装置の左右および上方の三方向から瞬結性の薬液を $100 \sim 200 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の圧力で高圧噴射しながら一定速度でロッドを引抜くことにより造成する。実験は大型土槽内に盛土した地盤と自然の地山で行った。実験装置および実験方法の詳細は既報¹⁾を参照されたい。土槽内に湿潤状態の山砂またはセメントを3%混合した山砂を盛土し十分に転圧した。自然地山の実験ではN値が50程度の砂質地山と $q_u = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の粘性土地山で行った。薬液は表-1に示すように水ガラス-セメント系の瞬結型を用い薬液温度 20°C で、ゲルタイムは40秒程度である。注入は2ショット方式を用い、薬液噴流のまわりにエアーを連行した。図-2に先端噴射装置の断面図を示す。タイプAは $\phi 60\text{mm}$ の先端装置に $\phi 3.0\text{mm}$ のノズルを三方向に合計三個付けたものである。また、今回の実験では固結体の厚みを増加させるためにタイプBの先端装置を用いた。タイプBは $\phi 89\text{mm}$ のロッドに $\phi 2.3\text{mm}$ のノズルを一方方向に付き40mmの間隔を開けて上下に二個、三方向で合計六個付けたものである。これら二種

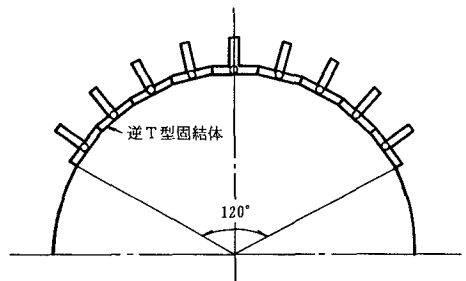


図-1 逆T型プレライニングの概念

表-1 薬液の配合

主剤 (ℓ)	硬化剤 (kg)
3号 水 : 水ガラス 1 : 1	微粒子 水 : セメント 1.68 : 1
薬液 1m^3 中、水ガラス 250 ℓ 、セメント 250kg 減水剤 2% 添加 ゲルタイム 40秒程度 (液温 20°C)	

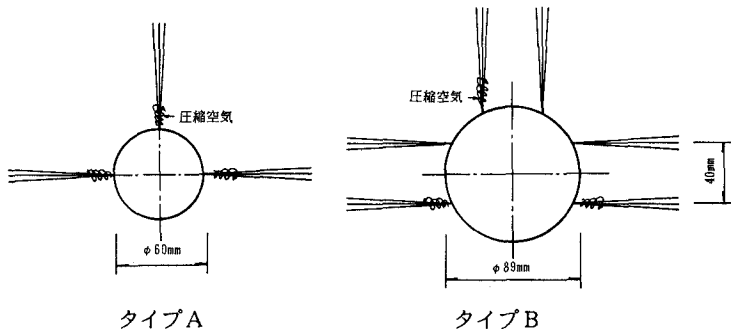


図-2 先端噴射装置

類の先端装置は140 ℓ/minの流量に対してポンプ圧力が100kgf/cm²となる。

3. 実験結果

写真-1は先端噴射装置にタイプAを用いた時の砂質土地山の実験における逆T型固結体の出来形状を示す。固結体は図-3に示すように斜線で示す薬液の攪拌混合部と浸透部に大別されるが、今回行った実験では地盤の粒径が比較的小さいために浸透部は1~2cm程度となっている。表-2はタイプAの先端装置を用いた時の各注入地盤に対する逆T型固結体の攪拌混合部の平均厚さの一覧を示す。表はポンプ圧力100kgf/cm²、引抜速度50cm/minの場合である。山砂の場合、地盤が軟らかいために平均厚みが10cm以上であるが、ソイルセメントでは厚さが8~9cmと薄くなる。砂質土および粘性土地山においては攪拌混合部と浸透部の厚さがさらに薄くなる。また、地盤が固い砂質土地山では逆Tの根元部分の厚さが極端に薄くなっており、地盤との複合体として機能させるためにはこの部分を頑強にすることが必要であると考え。一方、出来形を厚くするためにロッドをゆっくり引抜くと薬液のロスとスライム量が増加し不経済となる。固結体の厚みを増加させるためにタイプBの先端装置を使用して、同一の地盤で実験を行った結果を表-3に示す。表はポンプの圧力100kgf/cm²、引抜速度75cm/minの場合であり、前述のタイプAの実験より引抜速度が遅い。山砂およびソイルセメント地盤ではさほど変化は見られないが、地盤が比較的固い砂質地山でも10cm前後の厚さが確保でき、写真-2に示すように逆Tの根元部分も厚くなることが分かる。

4. まとめ

逆T型固結体の厚みを増加させるために二連噴射の先端装置を用いて高圧噴射実験を行い、固結体の形状について調べた。その結果、二連のノズルにすることにより逆T型固結体の平均の厚みおよび根元部分が厚くなり、トンネルの補助工法として使用した場合でも土との複合体として有効に機能することが期待される。現在、逆T型プレライニングの補強効果および設計定数を検討するために模型実験、数値解析を行っているところである。

参考文献：1) 田口，香川，酒向：高圧噴射注入実験による改良固結体の特性について，第46回土木学会年講，1991

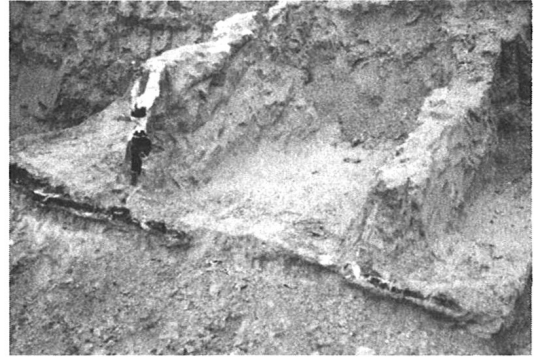


写真-1 造成された逆T型固結体

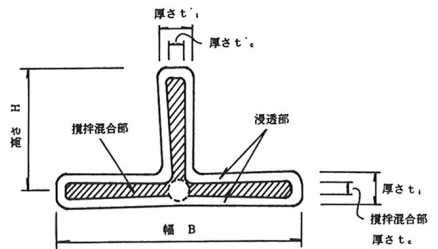


図-3 逆T型固結体の断面図

表-2 逆T型固結体の平均厚み
(先端装置タイプA、引抜速度50cm/min) 単位 (cm)

注入対象地盤	山 砂	ソイルセメント	砂質地山	粘性土地山
平均厚さt。	13	8	4.5	6
平均厚さt'。	—	9	4	8

表-3 逆T型固結体の平均厚み
(先端装置タイプB、引抜速度75cm/min) 単位 (cm)

注入対象地盤	山 砂	ソイルセメント	砂質地山
平均厚さt。	14	10	10
平均厚さt'。	14	9	8

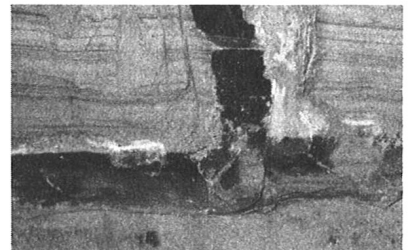


写真-2 逆T型根元部（タイプB）