

充填式シールド急曲線工法の施工

西松建設(株) 正会員 磯 陽夫
西松建設(株) 大川 隆司
西松建設(株) 伊藤謙一郎
西松建設(株) 正会員 高木 清

1. はじめに

シールドトンネルを急曲線施工する場合、余掘りによる地山の緩み防止と、シールド推進に対する地盤反力の確保のために、地上からまたは機内から地盤を改良する必要がある。しかし、地上からの地盤改良作業では周辺環境に与える影響が大きく、機内注入では工期の延長、工費の増大という問題がある。このような問題を解決するために、余掘り部およびテールボイド部にシールド機内とセグメントの裏込め注入孔から硬化しない充填材を掘進と同時に注入し、地山の緩みを防止する「充填式シールド急曲線工法」を財団法人下水道新技術推進機構と西松建設(株)が共同で開発した。本工法の施工実績は泥土圧シールドで2件、泥水式シールドで1件あるが、本報告では最初の実工事への適用となった「港区虎ノ門三丁目、愛宕二丁目付近再構築工事」での施工結果について述べる。

2. 工事概要

東京都下水道局の「港区虎ノ門三丁目、愛宕二丁目付近再構築工事」は、仕上り内径φ2,800mm、延長887mのトンネルを外径φ3,690mmの泥土圧シールドで構築するものである。当該工事の対象地盤は洪積世の東京第2粘土層、東京礫層、江戸川層の互層（N値は50以上）であり、土被りは15～19mである。

充填式シールド急曲線工法を施工する箇所は、曲線半径15m区間が4箇所、曲線半径25m区間が2箇所である。急曲線部のセグメント幅は300mmであり、袋付きセグメントと標準タイプセグメントの使用比率は、曲線半径15m区間では袋付：標準＝1：2で、曲線半径25m区間では袋付：標準＝1：4である。

3. 充填材の配合および管理基準値

今回工事で使用した充填材は「吸水性粘土鉱物＋高分子増粘材」である。使用した充填材の配合を表-1に示す。充填材の現場での品質管理は、作業性を考慮して、ミニスランプ試験とポケットペーン試験により行った。ミニスランプ試験は充填材の流動性を、ポケットペーン試験は充填材が地山の肌落ちを防止できる自立性を判断する目的で実施した。充填材の管理基準値を表-2に示す。

表-1 充填材の配合（m³当たり）

主材		助材	比重
吸水性粘土鉱物（kg）	水（kg）	増粘材（kg）	
313	863	4.7	1.18

表-2 充填材の管理基準値

試験名	管理基準値
ミニスランプ試験	5.0 ± 1.5 cm
ポケットペーン試験	0.3 ～ 0.6 kN/m ²

キーワード：シールドトンネル，急曲線，補助工法，充填材，袋付きセグメント

連絡先：〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間 2570-4 TEL(046)275-0055 FAX(046)275-6796

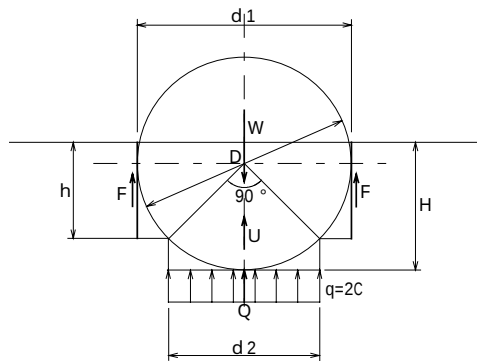


図 - 1 球体沈降試験図

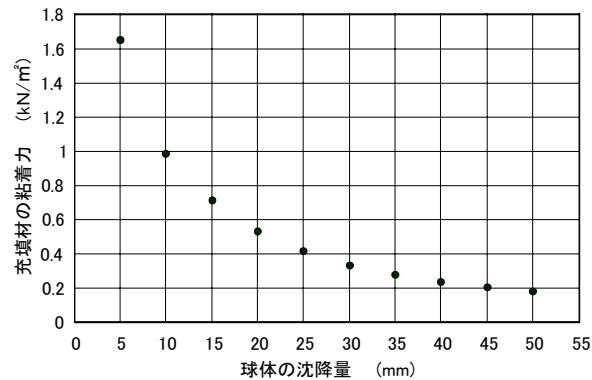


図 - 2 球体の沈降量と充填材の粘着力の関係

ポケットベーン試験はロッド先端に取り付けた十字翼（ベーン）を充填材の中に圧入し、緩速で回転せん断するときの最大抵抗値（トルク値）をダイヤル式の見盛盤の置針で読みとり、充填材のせん断強さに換算するものである。充填材が地山の肌落ちを防止できる自立性の管理基準値を設定する際、球体沈降試験結果を参考にした。球体沈降試験は独自に考案した試験で、礫に見立てた球体（アルミナボール、φ50mm、比重3.6）を充填材の表面に静置し、沈降量を測定するものである。球体沈降試験における球体の沈降量と充填材のせん断強さ（粘着力）の関係を次のように推定する。球体の密度を ρ_1 、直径を D 、沈降量を H 、付着抵抗深さを h 、付着抵抗直径を d_1 、球体支持直径を d_2 、充填材の密度を ρ_2 、充填材の粘着力 c とし、球体に作用する球体重量 W 、浮力 U 、付着抵抗 F 、支持力 Q の力の釣り合いを(1)式のように考える。

$$W - U = F + Q \quad \text{..... (1)}$$

$$\text{ここに、} W = 1/6 \times \pi \times D^3 \times \rho_1, \quad U = 1/6 \times \pi \times H^2 \times (3D - 2H) \times \rho_2$$

$$F = \pi \times d_1 \times h \times c, \quad Q = qA = 2c \times 1/4 \times \pi \times (d_2)^2$$

礫の脱落防止に必要な充填材の選定をする際、球体の1/2程度が充填材中に沈降した状態を保持できる充填材の比重、粘着力の値を基準値として採用する。図-1に球体沈降試験図、図-2に球体の沈降量と充填材の粘着力の関係を示す。球体沈降試験結果より、充填材の粘着力は0.3～0.6 kN/m²程度が適切であると判断した。

4．施工結果

シールド機（本工事ではマシン前胴部）からの充填材の計画注入量は、加圧による地山への圧入、切羽への回り込み等を考慮し、計画余掘り量の130%とし、セグメントからの計画注入量はテールボイド量の100%とした。充填材の平均実施注入量は、計画注入量に対して、余掘り部で147%、テールボイドで102%であった。充填材の注入管理は、圧力センサーを注入孔付近に設置し圧力管理を行った。また、袋付きセグメント間の充填材を裏込め材と置換する際の置換率は約70%であった。

地盤変状に関しては、第4急曲線部において多段式地中変位計により鉛直変位を計測した結果、最大隆起量1.37mm、最大沈下量0.57mmと地中変位は非常に小さかった。なお、他の曲線部における路面沈下量は最大3mmであり、本工法により地盤の緩みが防止されていることが確認された。また、坑内測量結果より、平面線形が保たれていることが確認され、袋付きセグメントが有用であることが分かった。

5．おわりに

市街地シールド工事における急曲線補助工法として、路上作業を伴わないため周辺環境に影響が無く、掘進工程にも影響を与えず地山の緩みを防止できる充填式シールド急曲線工法の有効性が実証された。本工法の施工にあたってご指導、ご助言を戴いた関係各位に深く感謝いたします。