

SMWによる大深度円形立坑の設計と計測管理

梶垣 幸夫*
Yukio Higaki

1. はじめに

当工事では、掘削深さ27mの深いシールド立坑が、我が社では実績のないSMW工法による円形(内径φ13.0m)で計画された。また、盤ぶくれ対策にCJGによる底盤改良が計画されていた。

立坑施工にあたり、設計照査ならびに施工管理の観点から当初計画に対する再検討を実施し、いくつかの問題点を提起し、対策工を講じた。その結果、壁面の漏水および立坑の盤ぶくれも無く床付けする事が出来た。本報告では、SMWによる円形立坑の施工における補助工法の設計および立坑施工での留意点について述べる。

2. 原設計における問題点

(1)SMW壁の止水性

立坑を円形とした場合、円周方向に大きな圧縮応力が発生するため、ソイルセメントの圧壊に対する安全性および破壊部からの漏水の可能性について検討する必要がある。また、SMWの施工深度が37mと深いため、通常の施工精度ではSMWのラップ確保が出来ない箇所が出現し、止水性が低下することが考えられた。

(2)掘削底盤の盤ぶくれ

原設計では、掘削底面に造成径φ1800のCJG(改良厚さt=5.6m)による底盤改良が計画されていたが、その算定根拠が不明であった。さらに、改良対象土層にあるN≧50の砂礫層では、計画造成径の確保が出来ないと考えられた。

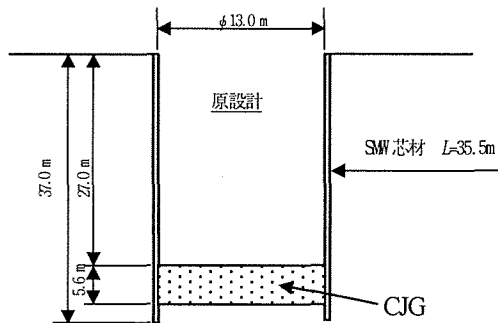


表-1 SMWの配合表

セメント	ベントナイト	水
280 kg	15 kg	600 kg

(3)芯材建込ならびに削孔精度

SMW壁の芯材長(L=36.5m)と削孔径(φ650)の関係では、パイプロハンマーを併用しても建込めない可能性があると考えられた。

3. 問題点に対する対策工

(1)SMW壁に対する対策工(図-1)

円周方向のソイルセメントに発生する圧縮応力が大きい($\sigma_c=1.0\sim 2.3N/mm^2$ の範囲)と考えられるSMWの背面に、GL-20mから土留壁先端部までの範囲を二重管ダブルパッカー工法の薬液注入を施工し、ソイルセメントの圧壊による止水性低下の危険性に対処することにした。

(2)盤ぶくれに対する対策工(図-1)

原計画のCJGによる改良に代え、シリカゾル系の高強度グラウト材による二重管ダブルパッカー工法による底盤改良とした。なお、改良深度もSMW下端から厚さ4.12mに変更し、所定の安全率を得ることとした。

(3)建込・削孔精度に対する対策工

N値が50を越える砂礫層なので、削孔精度を支配する先行削孔時に挿入式傾斜計を使用して、精度管理を行い、SMWの施工精度向上に努めることとした。

4. 対策工における事前調査

(1)土質調査ボーリングの追加

原設計時の土質柱状図が立坑の西側1ヶ所のみであったため、2ヶ所(立坑中心部と東側)で追加調査を行い、土質性状の目視確認と土層の傾斜状況を新たに確認し、改良範囲の設定に役立てた。

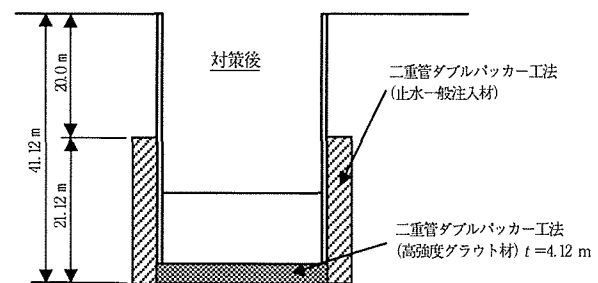


図-1 発進立坑薬液注入計画図

*関西(支) 芦屋シールド(出)

(2)SMW造成体の配合計画

先行削孔時に、現地土砂を採取して試験練りを行い、一軸圧縮試験の結果($q_u=2.0\text{N/mm}^2$)からソイルモルタルの配合を表-1のように決定した。

(3)高強度グラウト材の確認

調査ボーリングで採取した現地土砂で高強度グラウト材の改良体を作成し、表-2に示すとおり当現場に適することを確認した。

5. SMW施工時の管理

(1)先行削孔の施工

$\phi 650$ にて芯材建込箇所を全孔先行削孔し、約5本に1ヶ所の割合で、挿入式傾斜計によって鉛直度を確認して、精度の良いSMWの造成に役立てた。

(2)削孔径の確保

砂礫層における削孔であるためオーガー、ロッドに鉄筋を溶接して先細りしないように削孔径を確保した。

(3)パイプロハンマーの使用

芯材建込時に、2方向からトランシットで芯材の鉛直度を確認した。鉛直精度1/150を確保できないところは、油圧パイプロハンマーを使用して建込んだ。立坑掘削時に、鉛直精度の悪いものが数本見られたが、鉄板等で補強の措置を行った。

6. 薬液注入時の施工管理

(1)揚水試験

SMW施工前後および薬液注入完了後、立坑内に井戸を設置し、揚水による地下水位の変化およびその内外の連動状況を測定して、立坑の遮水性を確認した。測定結果は表-3に示すとおりである。また、立坑外の観測孔では、揚水中に水位の変動は見られなかった。

(2)現場透水試験

薬液注入完了後、SMW背面部改良ゾーン内の深度と、SMW壁下端の深度でボーリングを行い、改良体の透水係数を求めた。その結果、透水係数は $k=5.45\times 10^{-6}\text{cm/s}$ で、透水性としては低く、ほぼ目標とする数値が得られた。

(3)孔内水平載荷試験

底盤部において、改良された部分を削孔してその孔壁面に載荷し、変形量と加圧力の関係から変形係数を求めた。そして求めた変形係数と一軸圧縮強度の値から、改良体が目標とする地盤強度を有する事を下式より確認した。

$$q_u = E/105 = 3.11 \text{ N/mm}^2 > 3.00 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{目標強度})$$

7. 立坑掘削時の施工管理

(1)地下水位の変動観測

立坑付近の3本の既設井戸において、地下水の変動を監視したが、季節的变化以外に立坑掘削時では変動は見られなかった。

表-2 シラクソルUFの試験結果

試験内容	結果	適合条件
一軸圧縮試験	$q_u=4.01 \text{ N/mm}^2$	$> q_u=2.5 \text{ N/mm}^2$

表-3 透水試験結果

事前	$5.38 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$
SMW施工後	$8.94 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$
薬液注入完了後	$4.05 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$

(2)周辺地盤の変動観測

立坑背面の注入範囲外の位置に、ボーリングマシンによりSMW下端の36.5mまで削孔し、アルミガイド管を建込み傾斜計挿入孔を設けた。

掘削時毎にローラー型傾斜計を挿入して水平変位量を測定したが、初期において地表面近くに変位は見られた他はほとんど変化はなかった。

また、レベル測量においても立坑・基地周辺を測定したが、沈下は見られなかった。

(3)リング支保工応力の測定

掘削段階毎に、支保工にひずみ計を2ヶ所ずつ設置し、支保工の発生応力を測定した。また、温度計を設置して大気温度を測定し、温度変化による計測器の自然変動および支保工部材の自然変動を把握した。

測定の結果、掘削の進捗に伴い、支保工の軸力は、それぞれ予測する値にほぼ近づいたが、床付けが完了しても収束するまでには、徐々に伸びつづけ約半年間かかった。

(4)リリーフパイプの施工

立坑掘削の8次掘削完了時に、GL-31m付近の粘性土層存在の確認および掘削床付け下部からの湧水量の確認のため、立坑内よりGL-34mまで削孔し、スリット状の塩ビパイプをケーシングパイプ内に挿入した。その後は、底部からの水の侵入も無く無事に床付けする事が出来た。

8. おわりに

今回の施工では、計画段階から現場施工の工程に合わせて、設計の見直しがスムーズに行われ、順調に工事を進めることが出来た。本報告が、今後の円形SMW立坑工事の参考となれば幸いである。最後に、本工事において数多くのご指導、ご協力を頂いた関係各位に厚くお礼申し上げます。