地盤改良杭を利用した既設放水槽直下の立坑およびトンネル掘削施工

大成建設株式会社　　正会員○下野正人　佐藤将路　小杉勝之
日本原子力発電株式会社　　栗田道信　中谷耕一

１．はじめに　立坑やトンネルの掘削を行う場合，地山の硬軟や土被り等の条件によるが，周辺地山の緩みが発生する．その緩みが拡大し，特に掘削直上の構造物に対しては，沈下等の影響を与える可能性が高い．そのため，構造物の直下を掘削する場合，構造物の機能が損なわれないように対策を施す必要がある．本施工では，ジャッキ等により積極的に沈下を制御できるアンダーピニング工法よりも施工安全性が高く，管理コストを抑えることができる地盤改良杭による支持方法を採用した．本稿では，既設放水槽の沈下を極力抑えて上部構造物の健全性を確保しながら，直下の立坑およびトンネルを掘削した施工を報告する．

２．工事概要　当該工事は，発電所内の既設放水槽直下に，代替放水路として立坑およびトンネルを新築するものである．地盤条件と放水路トンネル（内径 6.2m）の断面図を図 1 に示す．

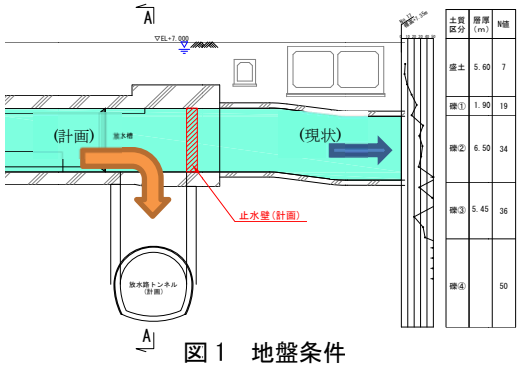

図 1　地盤条件

地盤は，地表面から 5.6m までは盛土，その下は砂礫となっている．放水槽直下で立坑位置にある砂礫層③やトンネル位置にある砂礫層④は，強風化花崗斑岩と土砂の混合物で構成されている．地山の自立性が高いことから，トンネル掘削方法として NATM（吹付，鋼製支保工）工法を採用した．当初，トンネルと既設放水槽との接続施工は，沈下対策としてジャッキ等により沈下の制御が可能なアンダーピニング工法案（図 2）を選択したが，仮受け状態が長期間にわたることから，施工中の地震や大雨等による影響や，その間の計測管理のコストアップ等が懸念されたため，施工安全性の向上や管理コストを抑える方法として，高圧噴射撹拌工法(図 3)による地盤改良杭により既設構造物を支持する方法に変更した．

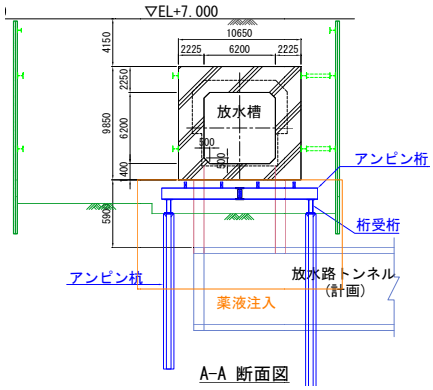

図 2　アンダーピニング工法

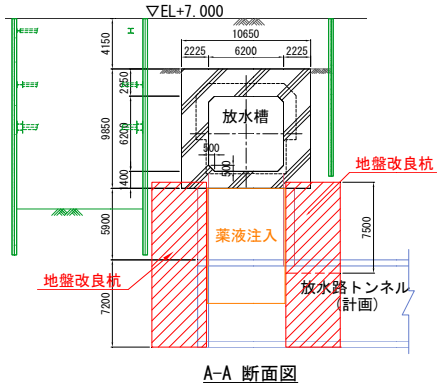

図 3　地盤改良杭工法

３．既設放水槽基礎および周辺地盤の安定性評価　先述したそれぞれの工法を適用した場合の放水槽の基礎および周辺地盤の安定性を FEM 解析により評価した．モデルは基礎（杭，地盤改良杭）および地盤に限定し，放水槽躯体のモデル化はしていない．各仕様は，アンダーピニング工法：杭 H414×405，主桁 3H-1000×400，地盤改良杭:qu=2000kN/m^2，改良径 3.5m とした．放水槽躯体の沈下量は，アンダーピニング工法では 12mm（図 4），高圧噴射撹拌工法では 5mm（図 5）と算定された．

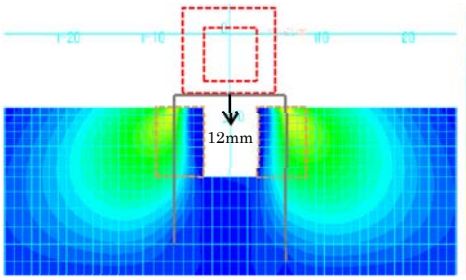

図 4　沈下量コンター図（アンピニ）

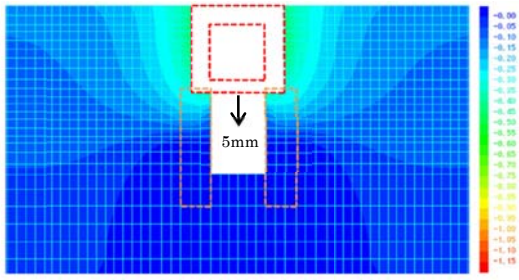

図 5　沈下量コンター図（地盤改良）

キーワード　高圧噴射撹拌工法，地盤改良杭，既設構造物，アンダーピニング工法，立坑・トンネル掘削，沈下管理
連絡先　〒914-0842　福井県敦賀市　大成・前田・間・塩浜共同企業体　ＴＥＬ0770-26-1370

4．地盤改良杭の仕様決定

①改良ピッチと改良径　当該地盤は，強風化花崗斑岩と土砂が混合された砂礫地盤であり，大きな玉石も見られる．地盤改良を行う地盤内に玉石等が存在する場合，地盤を切削する超高圧噴流が玉石に遮られ，その裏側が切削できず，部分的に改良できない可能性がある．地盤改良杭を計画するときは一般的に改良径を大きくし，大きな支持力を確保することで，計画本数を減らし，コストダウンを図るが，改良径が大きい場合は，未改良部分（図 6 左）の範囲も大きくなり，見かけの安全率だけでは考慮できない部分が発生する恐れがある．

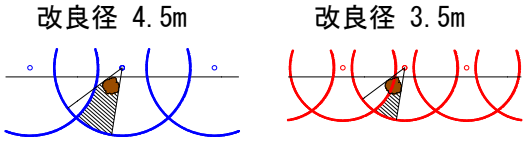

図 6　未改良範囲のイメージ図

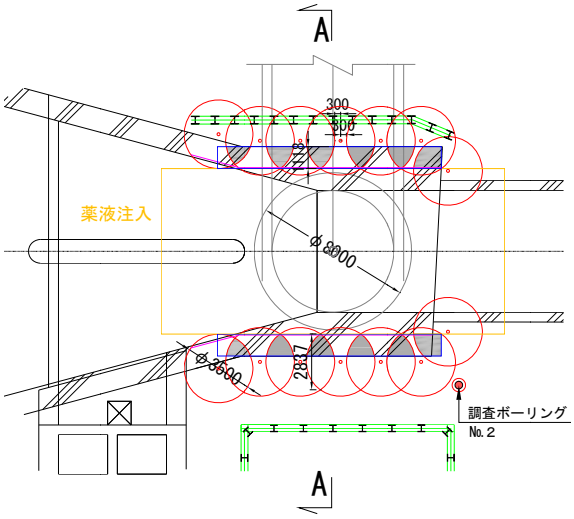

図 7　地盤改良杭配置（改良径 3.5m，14 本）

このことから，玉石が混入する地盤で未改良部を少なくする方策として，改良ピッチおよび改良径を小さくし改良本数を増やすことで，不良個所の発生確率を減少させた（図 6 図 7）．

②必要改良強度　図 8 に示す計画有効幅 L（= 1.118m）の場合で，改良体に作用する荷重は，放水槽の上載荷重 106.5kN/m，躯体荷重 1640.5kN/m，内水重量 390.8kN/m として，合計 2137.8kN/m となる．

高圧噴射撹拌のみで支持する場合，L = 1.182m の場合に必要な支持力 q_{req} は，$q_{req} = q / 2L = 2137.8 /(2\times 1.118) = 956.1 kN/m^2$ となる．よって，改良体の必要一軸圧縮強度 $q_{u(req)}$ は安全率 Fs = 2.0[1] として，$q_{u(req)} = 956.1\times Fs = 956.1\times 2.0 = 1912.2\ kN/m^2 < q_u = 2000 kN/m^2$ よって，地盤改良杭の改良強度は $2000 kN/m^2$ とした．

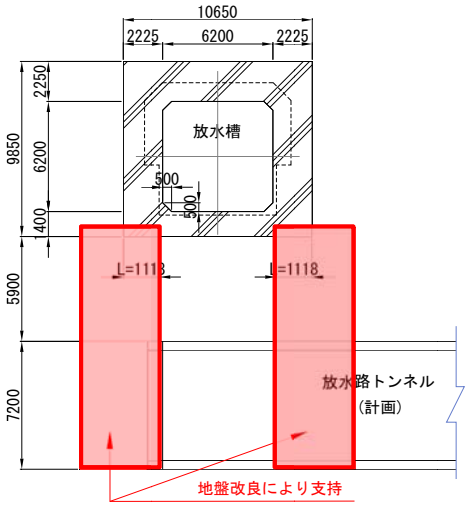

図 8　支持力評価モデル

5．掘削方法と計測管理結果

図 9 に示すように，放水槽直下の立坑掘削では，導坑（3m×3m）を施工して，ライナープレートおよびリング支保工（H100）により，放水槽下を高さ 3m 程度（φ8000）の先行掘削を行った．その後，トンネル側から掘削して立坑下の掘削部に接続し，トンネル側に掘削土を搬出しながら，リング支保工と吹付で 10m 掘り下げた．このときの放水槽躯体の絶対沈下量は最大で 4mm（相対沈下量 1mm 程度）で，ほぼ全体に沈下した結果となり，FEM 解析結果の 5mm を下回る結果となった．また，放水槽躯体上部や底板下（立坑天端）には，亀裂等はなく，コンクリート構造物として健全性を確認できた．

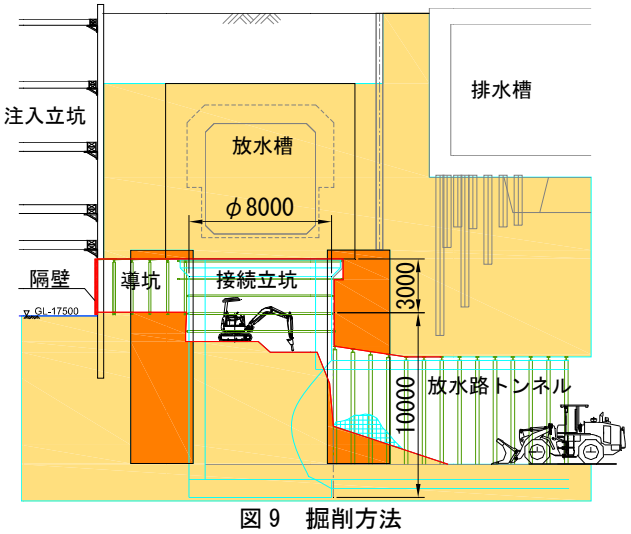

図 9　掘削方法

6．まとめ

これまでほとんど実績のない[2] 地盤改良杭での地盤沈下を抑制して、既設構造物直下を掘削する方法は、施工安全性を向上する上で有用性を示せた．これは地盤の特性を十分調査した結果であり，当該地盤が比較的固く安定していることが工法変更の大きな理由の一つとなった．今後，実際の掘削方法をシミュレーションし，沈下量の予測解析との比較を行い，同類工法の検討に反映させたい．

参考文献　1）JEP 技術・標準積算資料　JEP 工法協会
2）アンダーピニング工法設計・施工マニュアル　新アンダーピニング工法等研究会