

圧力水路トンネルにおけるコンソリデーショングラウチングのモデル化に関する基礎的検討

東京電力（株） 正会員 小澤啓明，日比野悦久
 東電設計（株） 正会員 恒國光義，小野里和則，宮本岳人，瀬下雄一

1.はじめに

既設揚水発電所の圧力水路トンネルでは、トンネル覆工へのプレストレスの導入，掘削等により生じた緩み領域の岩盤変形特性と透水性の改良，周辺岩盤の不均質性の改良などを主な目的として，コンソリデーショングラウチングを実施している．ただし，そのグラウチング仕様は，主に既往地点実績等を基に定められており，その効果が覆工設計に必ずしも適切に反映されていないのが現状である．本稿ではコンソリデーショングラウチング注入時の覆工コンクリート挙動に着目し，グラウチングのモデル化とその効果の解析的反映について基礎的な検討を行ったものである．

2. 既往のグラウチング施工とグラウチング効果の評価

既設揚水発電所の圧力水路トンネルで実施されたコンソリデーショングラウチングについて，孔配置の代表的なものを図-1 に示す．覆工は 50～80cm の厚さの鉄筋コンクリート構造となっており，トンネルの内径は約 6～8 m である．このトンネル断面に対して，8 孔～14 孔（25.7°～45° 間隔）の削孔を行い，プレストレス導入効果を期待し，内水圧の 2 倍程度の圧力で覆工背面の岩盤内にセメントミルクを高圧で注入している．その注入範囲は，弾性波探査試験等から評価したゆるみ領域を対象としている．グラウチングによる覆工挙動の評価は，覆工を円形断面とし，背面に注入圧に相当する等分布荷重を作用させた状態で，弾性（厚肉円筒）理論に基づいて評価している．また，施工後には，コンバージェンスメーターなどによる内空変位を測定し（図-2），グラウチングによる覆工挙動ならびにプレストレス効果を確認している．

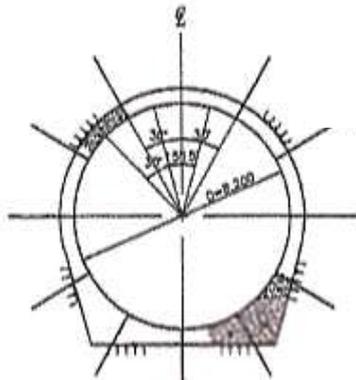


図-1 グ라우チングの孔配置の例



図-2 内空変位の測定例

3. グ라우チングのモデル化

コンソリデーショングラウチング注入時の覆工ならびに岩盤の挙動では，図-3 に示すように，注入したセメントミルクが岩盤中の亀裂（空隙）に充填され，さらに加圧されることで周辺岩盤全体の体積の増加が生じ，その結果，覆工が内側に変位するものと考えられる．一方，亀裂がセメントミルクで充填されることで，ゆるみ領域の変形特性や透水性が改良されるものとする．

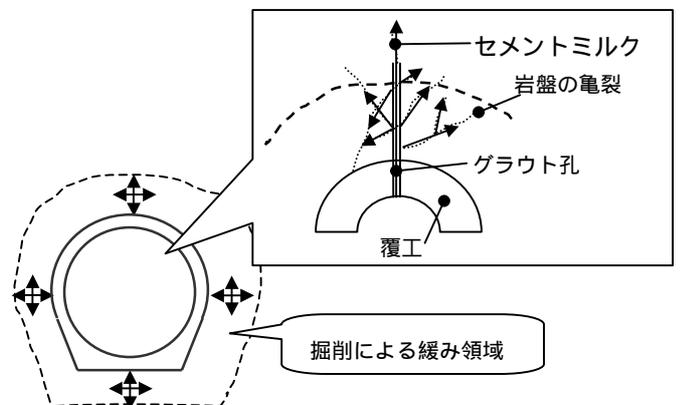


図-3 グ라우チングの概念図

キーワード：圧力水路トンネル，コンソリデーショングラウチング，プレストレス

連絡先：〒100-0011 東京都千代田区内幸町 1-1-3 TEL 03-4216-4259 FAX 03-3596-8574
 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 TEL 03-4464-5575 FAX 03-4464-5595

そこで、まず本検討では、グラウチング時の覆工挙動を現するために、覆工と岩盤の連成を考慮するとともに、グラウチングに伴う体積膨張を要素のひずみ増加という形で解析的に現するモデル化を考えた。

このようなモデルを導入することで、グラウチングによる覆工挙動評価において、ゆるみ領域と基岩の変形特性の影響を定量的に考慮することや、各グラウト孔の影響範囲（グラウチング範囲）などをパラメータとした場合の覆工挙動の評価が可能となると考えられる。このことは、周辺岩盤の影響やプレストレス効果を定量的に考慮したグラウチング仕様の設定にも繋がるものと考えられる。

4. 解析的検討

以下では、コンソリデーショングラウチング注入時における覆工挙動に着目し、本手法による解析的な検討を行った。検討断面は、表-1に示すような既設圧力水路トンネルの代表的なものを想定し、覆工と岩盤を平面歪要素でモデル化しFEM解析を実施した。掘削時のゆるみ領域は、想定した地点の弾性波探査結果を参考にして覆工周辺に一樣に1mと設定し、グラウチングはこのゆるみ領域内の亀裂にのみ注入されるものとした。このとき、グラウチング注入による覆工背面岩盤の膨張（亀裂填充効果）は、ゆるみ領域に対応する要素のひずみ増加で考慮しており、想定地点において2MPaでグラウチングを実施したときの内空変位(1.6mm)を再現するようにした。周辺岩盤のゆるみ領域の亀裂分布が一樣で、かつ均等にセメントミルクが注入されたと仮定した場合の解析から得られた覆工の変形図と、覆工円周方向の応力分布をそれぞれ図-4と図-5に示す。図-5には、従来、グラウチング効果の評価で用いられている厚肉円筒理論を用いて計算したときの覆工応力も記載している。グラウチングによって覆工は内側に変位するが、覆工に発生する応力は、従来の厚肉円筒理論で評価していたような全断面圧縮状態にはならず、インバートとスプリングラインの下では覆工形状の影響により引張応力が発生する結果となった。

表-1 検討条件

項目	数	値
覆工形状	馬蹄形	
	内径	8.2m
	巻厚	55cm
弾性係数	覆工	2,500,000N/mm ²
	岩盤	500,000N/mm ²
ポアソン比	覆工	0.20
	岩盤	0.25

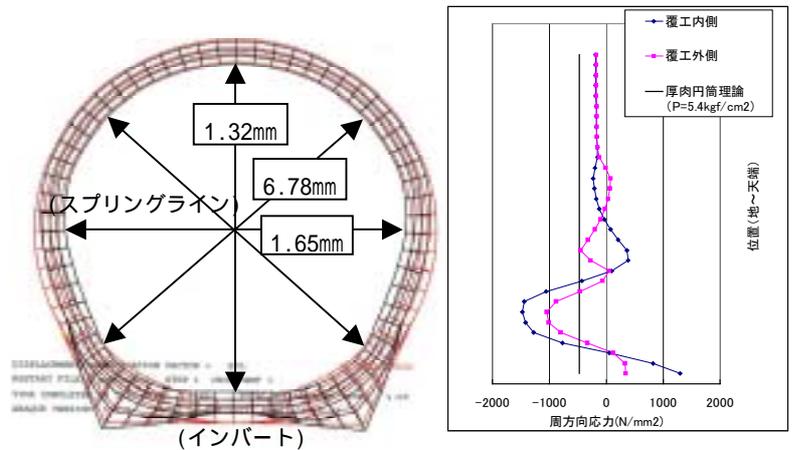


図-4 覆工の変形図と 図-5 覆工方向の応力の分布
内空変位

5. おわりに

本検討では、従来から圧力水路トンネルで実施されているコンソリデーショングラウチングについて、セメントミルクの注入による岩盤の体積膨張を再現したモデル化を考えた。また、このモデルで覆工背面一樣と仮定したゆるみ領域に対して均一なグラウチングを行った場合の解析も実施した。その結果、グラウチングによって覆工は水路内側に変位する挙動を示すが、覆工形状の影響によって局所的には覆工に引張応力が発生する結果が得られ、従来の厚肉円筒理論では評価できない挙動が生じる可能性があることが明らかになった。今後は、本手法によりグラウチング時覆工挙動計測結果シミュレーションを実施し、本手法の検証を定量的に行うとともに、この岩盤内の亀裂填充によるひずみ増加という現象をミクロ的に着目し、岩盤と亀裂を組み合わせた要素を考え、その要素の体積変化を亀裂の空隙変化によって表すことで、空隙と変形特性、あるいは、空隙と透水性の関係とマイクロモデルで構築し、変形特性や透水性の改良効果を表現することも将来的に目指している。