

I - 41

壁面ひずみ法による導水路覆工の応力解析について

東北電力株式会社 正会員 古関淳志

1. はじめに

導水路の健全性を評価するとき、定期的な点検においては主に覆工に発生しているクラックに着目し、体系化されたパターンに準じて改修の要否判断を行う。外力の影響が強いと思われる変形あるいは進行を伴うクラックについては、直ちに改修が必要と判断されるが、同時に発生原因を明らかにする必要がある。通常、巻厚・強度・内視鏡調査等のデーターからその原因を推定するとともに覆工の安定性を評価する。

今回、山形支店管内・立谷沢川第二発電所導水路において、比較的簡便に覆工表面の応力を測定できる「壁面ひずみ法」¹⁾を採用して現状の応力解析を行い、その信頼性をチェックするため数値解析を行った。

これら一連の測定・解析により導水路の安定性を確認できたことから、以下にその内容について報告する。

2. 対象水路の特徴と水路周辺の地質岩盤状況

調査測定対象である立谷沢川第二発電所（最大出力 11,000kw）の導水路は、総延長約 6.8km、最大土盛り約 200m で、水路形状は直径 3.0m（二重巻部 2.5m）の馬蹄形断面、覆工厚は 15～80cm（平均的に 25～40cm）である。導水路内にはクラックが多く存在するが、通常の導水路では横断方向のクラックが圧倒的に多いのに対し、ここでは約 8 割が縦断方向である。一般に、鉛直土圧が外力の主方向として覆工に作用するときには、弾性論では覆工内側のアーチ天端で引張り力（開口性）が、アーチ両肩部で圧縮力（圧挫性）が生じると解析されるが、ここでは開口性の縦断クラックがアーチ両肩部に集中しているという特徴がある。このような変状の対策として、昭和 10 年代の建設当時からこれまで繰り返し改修工事が実施されてきた。

既存資料および地質調査の結果、周辺地山は変質作用を受けた暗緑色の玄武岩溶岩および同質の凝灰角礫岩が主体をなす。また、本導水路沿いには断層群に並行した破砕部を有する岩盤が分布し、その構成岩石には膨張性粘土鉱物が多く含まれていることが判明した。

3. 壁面ひずみ法による応力測定結果

測定方法の概要は以下のとおりである。詳細は文献¹⁾を参照された。1) 測定すべきコンクリート壁面を研磨した後に 1 組のロゼットゲージ（45°間隔で 4 枚セット）を接着する。〔写真-1〕 2) 養生後、ひずみゲージを接着した壁面位置の応力を周囲から解放させ、ひずみ変位量（解放ひずみ）を求める。3) 二軸感度試験により各ひずみゲージの感度係数を算出し、解放ひずみと感度係数により覆工壁面の二次元応力を決定する。

測定位置は、No.1 および No.2 の 2 断面とし、1 断面あたり 7 個所の測定を行った。周辺地山の岩盤状況は、両地点とも別途実施したボーリング調査より凝灰角礫岩が確認されている。測定断面付近での覆工変状は、No.1 断面で両肩部に開口性の縦断クラックが認められ、No.2 断面は二重巻施工されておりクラック変状は殆ど認められない。また、両測定断面ともに覆工の天端背面には空隙が確認されている。トンネル位置での土盛りは、No.1 で 140m、No.2 で 120m である。

No.1 で得られた測定結果を図-1 に示す。この応力状態の特徴は、天端と両側壁下部で圧縮、両肩と両スプリングラインで引張りの応力状態となっている。圧縮応力の大きさは 1.57～0.74MPa、引張り応力の大きさは



写真-1 ひずみゲージ接着状況

は $-0.72\sim-0.31\text{MPa}$ である。これは、坂本氏ら²⁾により報告されている模型実験の結果のうち、天端背面に空隙を有し、横から荷重を受けたときの応力状態と調和的である。今回確認されている天端背面の空隙の存在と膨張性地山の性状と整合する結果が得られたものと思われる。

一方、覆工の健全性の観点から応力の大きさに着目すると、今回得られている平均的な覆工コンクリートの強度（一軸圧縮強度： 22MPa ，引張り強度： -2.6MPa ）は、測定された覆工の応力より大きく、当断面での覆工の安全性は保たれているものと判断される。

4. 数値解析結果

今回得られた覆工の応力状態の信頼性をチェックするため、FEM 弾性計算による掘削解析を行った。覆工に作用する外力は、当地点での自重による地圧を計算し、この応力状態の主応力方向と覆工に作用する解放率をパラメータとして何ケースかの計算を行った。コンクリートおよび地山材料の物性は、今回の調査で得られた地山区分と各物性値をモデル化した。

その結果、図-2 に示すように測定値に近い外力の条件としては、水平に主応力方向を有し、応力の解放率が自重計算による地圧の5%（地圧の水平成分： 0.13MPa ，鉛直成分： 0.04MPa ）のとき、覆工の応力状態が測定値と調和する値となった。これは、覆工に作用する水平成分の地圧が卓越していることを示唆する結果となる。

5. おわりに

水力発電所の信頼度の維持および効率的な運用に取り組んでいるなかで、導水路の点検・調査・改修業務は従来から保守部門において最も重要なものとして実施されてきており、なかでも健全性の評価・判定については今後一層、技術向上と合理化を図っていく必要がある。

今回、壁面ひずみ法による健全度評価手法について、数値解析結果との照合から信頼性を実証し、作業工程あるいは測定費用面でも有利であることを確認した。

また、一連の調査・解析から、覆工両肩部にトンネル軸方向に連続する2条のクラックがみられる場合は、その区間の覆工の天端裏側には空洞が存在する可能性が高いという知見も得られたことは、今後の導水路点検保守業務に十分参考になるものと考えられる。

なお、壁面ひずみ法は応用地質株式会社横山幸也氏らにより開発された手法であり、調査解析に協力いただいた関係各位に謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 横山幸也，村上弘行，勝山明雄：応力測定によるライニングコンクリートの健全度評価について，第22回岩盤力学に関するシンポジウム，講演論文集，pp66～70. 1990.2
- 2) 坂本容，志水義彦，横山幸也，村上弘行：模型実験によるトンネルライニングの健全度評価法の検討，第25回岩盤力学に関するシンポジウム，講演論文集，pp196～200. 1993.2

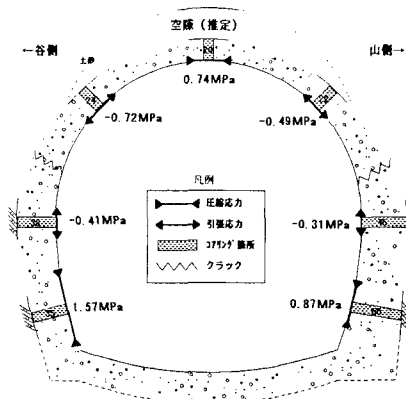


図-1 壁面ひずみ法による応力測定結果 (No. 1)

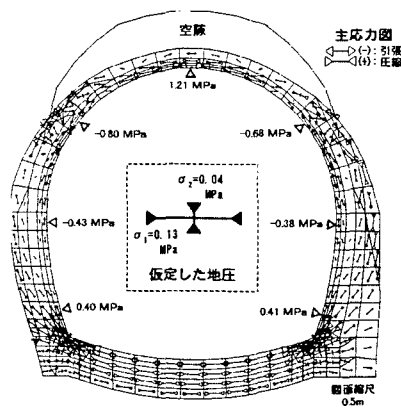


図-2 数値解析による応力解析結果 (No. 1)