

VI-8 水力発電所におけるコンクリート製埋設水圧管の採用検討

東北電力株式会社 土木建築部 正会員 嶋田 祥一

1. はじめに

従来の水力発電所の埋設水圧管は、トンネル内部に鉄管を据付け、鉄管で内圧を負担させる構造が一般的であるが、高水圧下での鉄管板厚の増大や、鉄管据付時の施工性確保のための余掘り増加などにより、多額の工事費を要しているのが実状である。今回、鉄管を省略し、岩盤と鉄筋コンクリートで内圧を負担するコンクリート製埋設水圧管について、鉄筋コンクリートの材料非線形を考慮した FEM 解析を用いて、技術的・経済的評価を行ったので、その概要を報告する。

2. 概要

FEM を代表とする数値解析による手法は従来設計法と比較して、①地山の不均質性や異方性を考慮可能、②支保部材は棒要素・梁要素・ソリッド要素等のモデル化が可能、③任意点の変形や応力の出力が可能等、様々な利点があげられる。しかし、線形 FEM 解析は、モデル全体の挙動を解析するには向くが、ひび割れのような局所的な挙動を再現することは困難であった。今回はこれらの弱点を改善するために、非線形 FEM 解析を採用することとした。これはコンクリートの物性、鉄筋の機械的性質を要素に取り込むとともに、鉄筋とコンクリートの付着特性をテンションスティフニング効果（曲げひび割れ発生後も鉄筋とコンクリートの付着によりコンクリートは平均的に引張力を受け持つ効果）として、鉄筋コンクリート要素の中に取り込むものである。非線形 FEM を採用することにより、現実により近い条件でモデル化できること、鉄筋とコンクリートの付着特性を考慮することにより局所的なコンクリートのひび割れの挙動を再現できること、そのため将来のメンテナンスも視野に入れた合理的な構造設計を実現できることが可能となる。

(1) 検討ケース

モデル地点の水圧管路の縦断面図を図-1 に示す。水圧管路の内径は $\phi 2.5\text{m}$ であり、周辺地盤が粗粒玄武岩 (Do) の箇所を断面 1、火山礫凝灰岩 (Tb) の箇所を断面 2 とし検討を行った。岩盤物性値を表-1 に、断面毎の設計内水圧を表-2 に示す。鉄筋は SD295、コンクリートの設計基準強度は $f_{ck}=21\text{N/mm}^2$ 、コンクリートのひび割れの許容値を 0.1mm （コンクリート標準示方書【構造性能照査編】2002 年）とした。

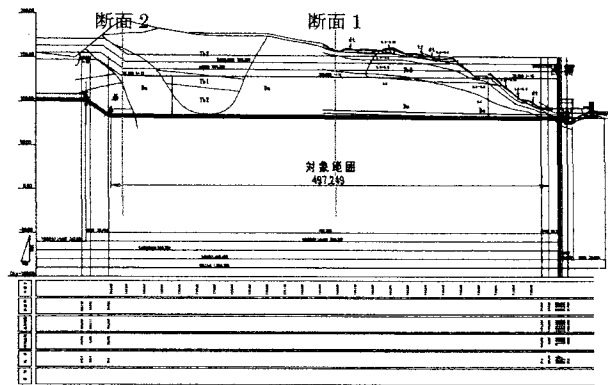


図-1 モデル地点水圧管路縦断面図

表-1 岩盤物性値

岩種	変形係数 $E(\text{kN/m}^2)$	ポアソン比 μ	単位体積重量 $\gamma(\text{kN/m}^3)$
粗粒玄武岩	1.43×10^7	0.31	33
火山礫凝灰岩	2.03×10^6	0.26	21

表-2 設計内水圧

位置	静水圧 (MPa)	水撃圧 (MPa)	設計内水圧 (MPa)
断面1	0.937	0.320	1.257
断面2	0.916	0.230	1.146

(2) 解析結果

図-2 のとおり、断面 1 は設計内水圧を作用させても（荷重倍率 1.0）、周辺地盤が比較的堅硬（C_M級）であることから発生応力は引張強度まで達しておらず、弾性挙動を示していることがわかる。よって、モデル地点において周辺岩盤が粗粒玄武岩 Do のような硬岩の場合は、コンクリート製埋設水圧管を採用することが可能である。

一方、断面 2 は設計内水圧に達する前に（荷重倍率 0.72）、引張りによるひび割れの領域が広範囲に進展してしまい、鉄筋コンクリートがテンションスティフニング効果を失い、その機能を果たさなくなった。よって、モデル地点において周辺岩盤が火山礫凝灰岩 Tb のような中硬岩の場合は、採用は困難と考えられる。

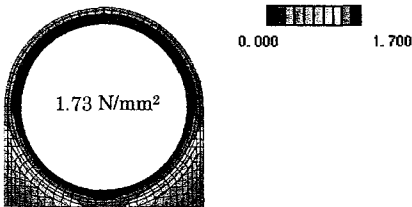
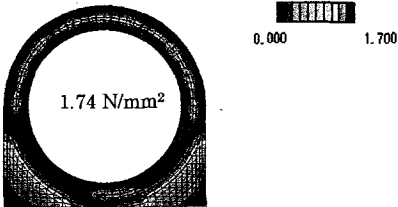
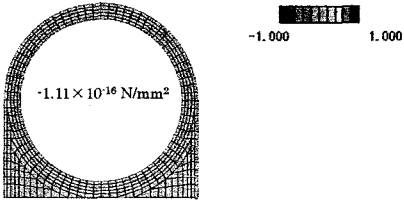
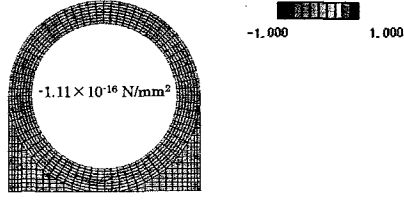
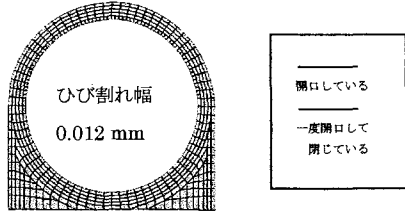
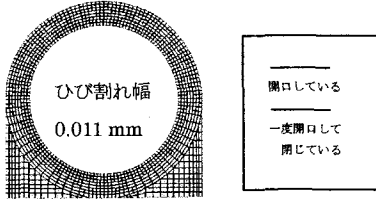
岩種	粗粒玄武岩 Do（断面 1）	火山礫凝灰岩 Tb（断面 2）
仕様	T=250mm,SD295,D25@200（最小鉄筋量）	t=400mm,SD295,2×D32@200
荷重倍率	1.0	0.72
最大主応力		
最小主応力		
ひび割れ状況		
鉄筋応力	21N/mm²	27N/mm²

図-2 解析結果

3. おわりに

今回モデル地点では、粗粒玄武岩（Do）級の比較的堅硬な岩盤においては鉄管を省略し、周辺地山に内水圧を負担させるコンクリート製埋設水圧管を採用可能であることが判明した。また、モデル地点において鉄管を省略した場合、工事費については約 20%低減、工期については約 10%短縮できることが試算された。

今後は実用化に向けた詳細検討、および、メンテナンスの観点から、本技術を導入した場合に想定される課題・対策を検討していくこととする。

以 上