

I-175

柔な構造をもつ水力発電所水圧鉄管立坑部の設計について

○東北電力（株） 正員 小林 正典
東北電力（株） 大場 重徳
東北電力（株） 金子 誠司

1. はじめに

水力発電所の水圧鉄管は、その露出彎曲部において固定台を設置し、彎曲部に作用する種々の荷重に抵抗させるのが通例となっている。しかしながら、立坑部全体が土中に埋設される構造をもつ水圧鉄管系においては、上部彎曲部に設置された固定台が、立坑部の上端に付加されたおもりのような存在となり、固定台自重による地表面付近での沈下、あるいは地震時の滑動等により、立坑部の鉄管に対しても有害な応力を発生せしめる危険性がある。即ち、上部彎曲部に固定台を設けることにより、かえって立坑部においても鉄筋コンクリートを巻き立てることが必要となってくる。

本研究では、一級河川岩木川水系浅瀬石川で現在移設工事を行っている一の渡発電所を例にとり、従来の上部固定台方式にかわる、より合理性のある構造形式を模索し検討を試みた。一の渡発電所水圧管路立坑部周辺の地質はシルト質砂、シルト混り砂、および玉石混りシルト質砂よりなり、基盤は堅硬な砂質凝灰岩およびシルト質凝灰岩である（図-1）。

2. 立坑部補強方法の検討

立坑部上部彎曲部の固定台設置にかわる補強方法として、

Case 1：立坑部を鉄筋コンクリートで巻き立てる方式

Case 2：鋼管を土中に直埋設する方式

の2つを取り上げ、伸縮継手位置より下流側の水圧管路について、2次元FEMによる水圧管路-地盤系の解析を行い、常時（管内満水時）および地震時において立坑部に生じる断面力を比較した。解析にあたっては、管（管内水も含む）および地盤の自重の他に、彎曲部に作用する管内水による不均力、遠心力等の外力を考慮し、地震力は水平震度を0.12としている。図-2に曲げモーメント図を示す。Case 2の方が常時、地震時いずれにおいてもCase 1より曲げモーメントは小さい。地震時の下部彎曲部においては特に顕著である。Case 2においても土中支持層付近での曲げモーメントは大きい（305 t・m）が、

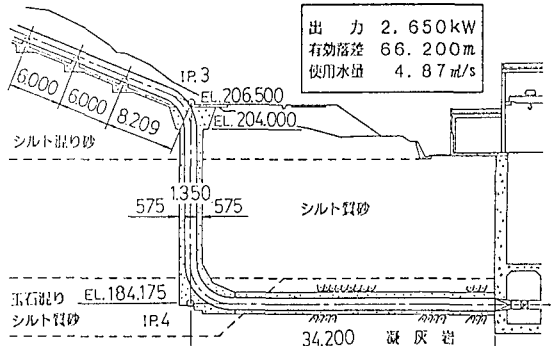


図-1 一の渡発電所立坑部概要図

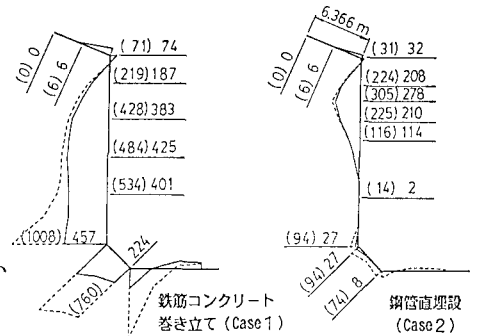


図-2 曲げモーメント図（1）

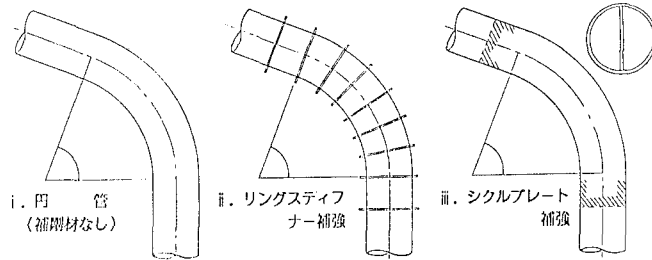


図-4 彎曲部の補強方法



図-3 曲げモーメント図（2）

表-1 上部彎曲部に生じる応力の最大値（単位 Kg/cm^2 ）

	円周方向応力	管軸方向応力	せん断力
リングスティフナー補強	930	664	290
シクルプレート補強	1422	1290	275
円管	2051	1203	920

表-2 下部彎曲部に生じる応力の最大値（単位 Kg/cm^2 ）

	円周方向応力	管軸方向応力	せん断力
リングスティフナー補強	757	405	46
シクルプレート補強	843	378	38

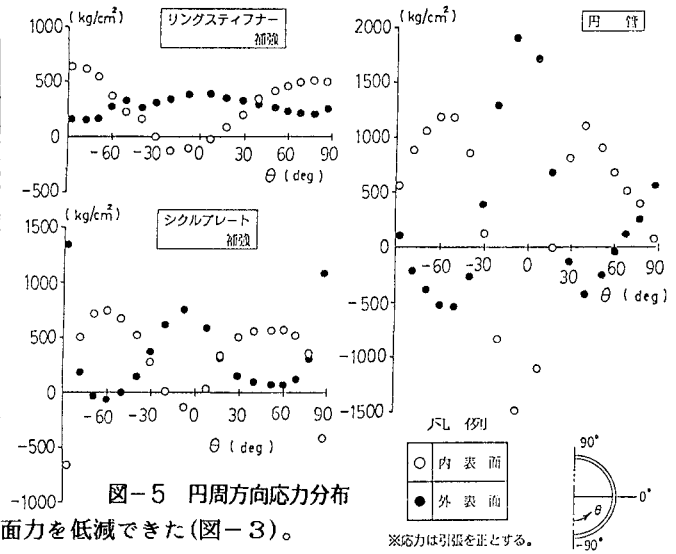


図-5 円周方向応力分布

伸縮継手位置を上流側に移すことにより断面力を低減できた（図-3）。

3. 彎曲部補強方法の検討

立坑部を鋼管直埋設とする場合に問題となる立坑部上下彎曲部補強方法の検討は、三角形薄肉シェル要素を用いたFEM解析により行った。解析にあたっては、管（管内水も含む）の自重および設計水頭より得られた内水圧による不均力力を考慮している。

彎曲部の補強方法としては、彎曲部の管厚を直管部より厚くし、補剛材を変えた3種類の方法、即ち、

- i. 円管（補剛材なし） ii. リングスティフナー補強 iii. シクルプレート補強

をとり上げ（図-4）、管に発生する応力を求めた。図-5には各補強方法についての彎曲部同一断面における円周方向応力分布を、表-1、2には彎曲部に発生する応力の最大値を示す。円周方向応力分布についてみると、円管においては $\theta = 0^\circ$ 付近、シクルプレート補強においてはプレートと管胴本体との接合部で極めて大きな値を示すことが認められ、リングスティフナー補強が応力的には最も有利であると言える。振動や管内水量の変動により引き起こされる疲労、更には保守管理上の問題等を考慮に入れると、彎曲部の補強方法はリングスティフナー補強によるものが最も優れていると考えられる。

4. 露出部に設ける伸縮継手と立坑部埋戻し材について

固定台を設置する従来の方式に比べ、露出部鉄管に生じる変位は大きく（FEM解析によれば伸縮継手部の変位は1.5～1.6 cm）、また角変位も伴うと考えられるため、管軸および角変位に対応できるMMH伸縮継手（メカニカル・ミッド・ジョイント）のドレッサータイプを設けることにした。水圧管での採用は我が国では初めてである。また、立坑部埋戻し材は、変形係数を周辺地盤に合わせたベントナイト混入コンクリート（ベントナイトを混和材に用いたコンクリート）を採用し、立坑部の柔な構造としての特性を十分に生かせるようにしている。

5. おわりに

以上の検討結果を図-6にまとめて示す。本構造形式は従来型式より3割程度の工事費を低減できることが認められた。

本研究においては、電力中央研究所の沢田義博氏、中村秀治氏、松浦真一氏より御協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

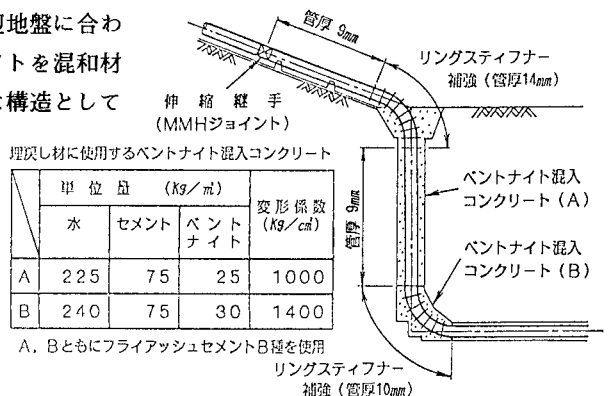


図-6 一の渡発電所立坑部検討結果概要図