

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。図-1に一の渡発電所水圧管路立坑部の概要図を示す。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、基盤は砂質凝灰岩およびシルト質凝灰岩である。

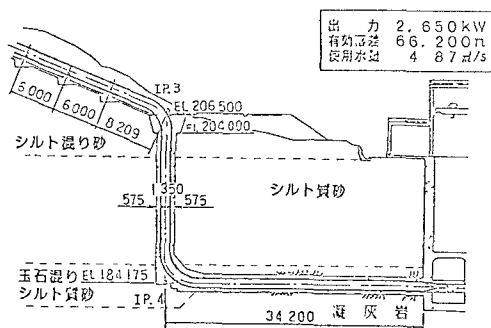


図-1 一の渡発電所立坑部概要図

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、

i. 立坑部を鉄筋コンクリートで巻き立てる方式(ケース1)

ii. 鋼管を土中に直埋設する方式(ケース2)

の2つをとり上げ、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平均力、遠心力等の外力を考慮し、地震力としては水平震度を0.12としている。図-2に断面力のうち曲げモーメントを示す。ケース2の方が常時、地震時いずれにおいてもケース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。ケース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、伸縮継手の位置を上流側に移すことにより、図-3に示すように断面力を低減することができた。

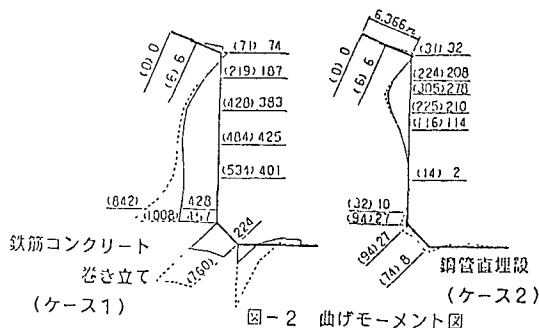


図-2 曲げモーメント図

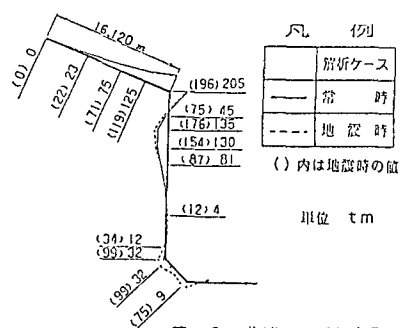


図-3 曲げモーメント図

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の彎曲部の補強方法の検討は、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平均力を考慮している。

まず、上部彎曲部の補強方法としては、管厚がいずれも14mmの、

- 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 (図-4に示す)

をとり上げ、管に発生する応力を求めた。表-1には彎曲部に発生する応力の最大値を、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る。振動や管内水量の変動により引き起こされる疲労を考慮に入ると、リングスティフナー補強によるものが応力的には最も有利であると考えられる。

	円周方向応力	管径方向応力	せん断応力
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-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	管径方向応力	せん断応力
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

表-2 下部彎曲部に生じる応力の最大値 (単位 Kg/cm^2)

次に、下部彎曲部の補強方法としては、管厚がいずれも10mmの、

- i. リングスティフナー補強 ii. シクルプレート補強

をとり上げた。表-2には彎曲部に発生する応力の最大値を示す。

本研究でとり上げた補強方法のうち、シクルプレート補強は変形を最も小さく抑えることができる。しかしながら、発生する応力および保守管理の面で問題があり、彎曲部の補強方法は上下ともリングスティフナー補強 (管厚は上部彎曲部が14mm、下部彎曲部が10mm) によるものが妥当であると考えられる。

4. 最終検討

立坑部を鋼管直埋設とし、立坑部上下彎曲部をリングスティフナー補強とするいわゆる柔構造形式について、その管厚を、

- i. 直管部を 9mm ii. 上部彎曲部を14mm iii. 下部彎曲部を10mm

として、前出の2次元FEM解析を行い、最終的な検討を試みた。その結果、断面力については、この値をもとに水門鉄管技術基準に従って求めた必要管厚が上記の管厚を十分下回ること、地表付近での立坑部背後地盤の水平方向応力については図-6に示すように受働土圧以下であり、所要の支持力が期待できると考えられること、更に、伸縮継手部の伸縮量については1.5~1.6cmであり、許容値を下回ること等が認められた。尚、立坑部の埋戻し材としては、構造形式の性質上、変形係数が周辺地盤のそれに近い値となるようにすることが望ましく、ベントナイト混入コンクリートとすることが有効であると考えられる。また、工事費を概算した結果、本構造形式は従来形式より3割程度の経済性向上が期待できる。

5. おわりに

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。

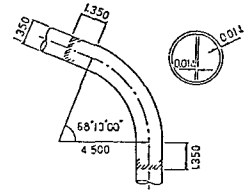


図-4 シクルプレート補強 (上部彎曲部)

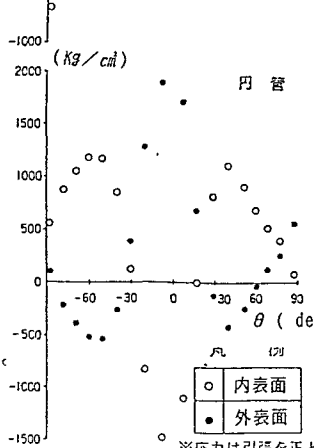
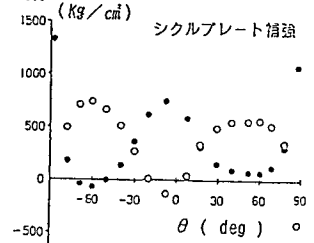
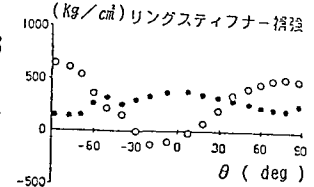


図-5 上部彎曲部 円周方向応力分布

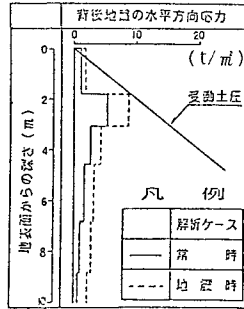


図-6 立坑部背後地盤の水平方向応力