

炭素繊維を用いた水圧鉄管の補強事例

東京電力株式会社 正会員 ○松本 正浩
 東京電力株式会社 依田 孝仁
 東京電力株式会社 正会員 村口 英之

1. はじめに

経年により水圧鉄管の板厚が減少し、管胴の平均応力が降伏応力の 65%を超える場合は、補修または取替について検討する必要がある。板厚減少区間が限定的な場合には、鋼製リングによる補強が行われている事例もあるが、山間部の急傾斜地における工事となることから、大規模な揚重設備や仮設が必要となる。また、鋼製リングの自重による応力増分も考慮しなければならない。

筆者らは、こうした不具合を解消するために炭素繊維を水圧鉄管に巻き付けて補強する方法を考え、板厚減少による応力超過が認められている水圧鉄管の補強に適用した。ひずみ計測の結果、設計どおりの補強効果が得られたことに加え、鋼製リング補強の場合に比べ約 35%の工事費縮減を図ることができた。

2. 水圧鉄管の板厚計測結果と補強区間の設定

板厚計測は図-1 に示す 14 箇所 (NO.1~NO.14) で実施されており、下流側 13.5mの区間 (NO.6~NO.11) の一部において、応力超過 (降伏応力の 65%を超過) が認められた。なお、水圧鉄管は大正 8 年に供用開始されており(経過年数 88 年)、材質は切り取り試験結果によると SS34 相当品と推定され、降伏応力は 166N/mm^2 である。

3. 炭素繊維補強工の設計

使用する炭素繊維は高弾性品とした(引張強度 $3,400\text{N/mm}^2$ 、弾性係数 $6.4 \times 10^5\text{N/mm}^2$ 、高強度品の方が剛性が小さいハンドリング性は良いが、炭素繊維の必要層数が 7 層に達する箇所もあるため、工事品質確保の観点から高弾性品を用いた。設計モデルは鉄管と炭素繊維からなる 2 重円筒とし、半径方向の釣合条件に基づき、式①~③のように定式化した。炭素繊維の必要層数は、鉄管応力が取替基準応力 107N/mm^2 ($166\text{N/mm}^2 \times 0.65\%$) を超えないように算定した結果、図-2 のようになった。

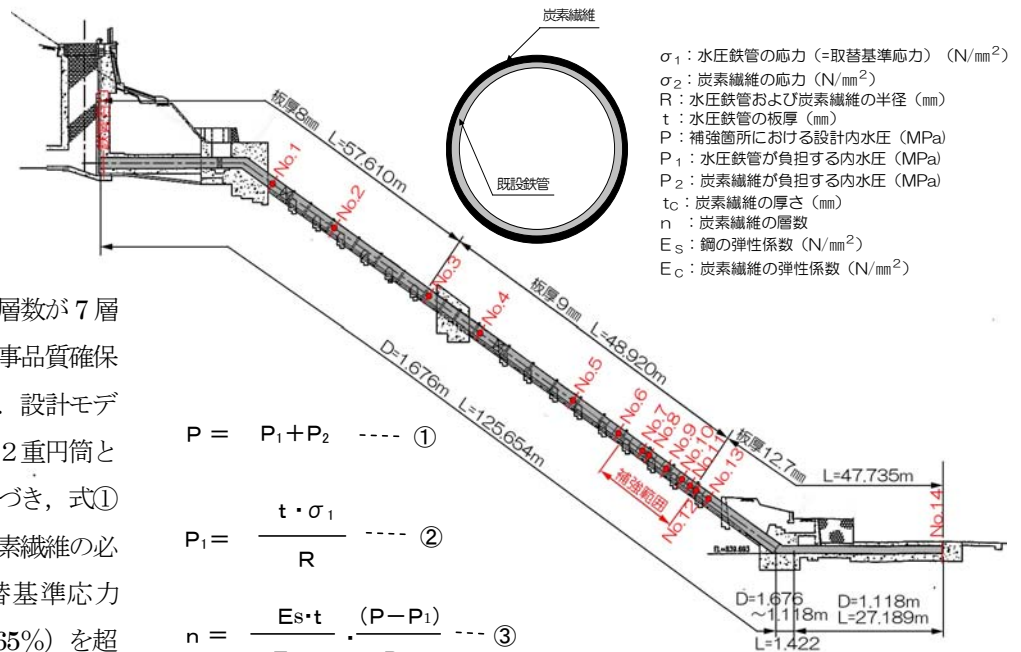


図-1 板厚測定箇所と設計モデル

なお、軸方向応力として、周方向応力のポアソン比相当分と連続ばりとしての断面力を考慮する必要があるが、応力を照査した結果、設計上のクリティカルは周方向応力であり、炭素繊維の必要層数は周方向応力のみで決定することとした。

4. 炭素繊維補強工の施工

炭素繊維の施工にあたっては、温度変化および電食への対策を考慮しておく必要がある。炭素繊維の線膨張係数は極めて小さく (設計上はゼロ)、温度変化が大きい場合には鉄管と炭素繊維が一体挙動しないことが考えられる。したがって、夏場に施工した場合には鉄管が膨張している状態で炭素繊維が巻き付けられるため、冬期になると鉄管だけが収縮し、炭素繊維

キーワード：炭素繊維、CFRP、水圧鉄管、板厚減少、応力超過、取替基準応力

連絡先：〒230-8510 神奈川県横浜市長谷区江ヶ崎町4-1 TEL 045-394-6329 FAX 045-585-8650

維と鉄管の間に空隙が生じる可能性がある。こうした不具合を避けるため、施工は冬期間に行うこととした。また、炭素繊維と鉄管が接触していると電位差が生じることから、鉄管の腐食が促進されることが考えられる。対策として鉄管と炭素繊維の間にガラス繊維を一層巻き付けることとした。なお、ガラス繊維の力学的効果は期待しないこととしている。

ガラス繊維を一層巻き付けた後、レジソ下塗り→炭素繊維巻き付け(図-3)→ローラーによる脱泡→硬化待ち(2時間程度)を必要層数になるまで繰り返すこととした。ガラス繊維および炭素繊維は作業性を考慮して半円周分ずつ巻き付けることとし、継手長(重ね代)については、「(財)鉄道総合研究所、炭素繊維シートによる地下鉄RC柱の耐震補強—設計・施工指針」に基づき20cm以上としている。また、一般にはレジソとしてエポキシ樹脂が用いられているが、本工事は冬期の施工であり、エポキシ樹脂の可使温度が $+5^{\circ}\text{C}$ 以上であることを考慮すると、硬化時間の増大や施工品質の低下が懸念された。そこで、MMA樹脂(可使温度 -5°C 以上)を使用することとした。

炭素繊維は単体では 0.13mm /枚程度であるが、MMA樹脂を含浸させることで、CFRP(硬化した炭素繊維)の状態では 1mm /枚程度になる。本工事では、最大7層の炭素繊維巻き付けを行っているので、仕上りの全層厚(CFRPとしての厚さ)は 7mm 程度となっている。仕上がり外観としては、遠目からは塗装を施工したのと同様の外観であり、違和感はないことがわかる(図-4)。

5. ひずみ計測による設計の妥当性検証

炭素繊維の巻き付け層数が最大(7層)であるNO.10ブロックを対象として、ひずみ計測を行った(図-2)。ひずみゲージは鉄管および炭素繊維の表面にそれぞれ貼付し、位置は天・地・左・右の4箇所ずつとした。

計測の結果(天・地・左・右4箇所の平均値)、鉄管ひずみ、炭素繊維ひずみとも設計値とほぼ一致しており、設計どおりの補強効果が得られたことが検証できた(図-5)。

6. まとめ

炭素繊維による水圧鉄管の補強工法を採用したことにより、鋼製リング補強の場合と比較して約35%の工事費削減を図ることができた。また、リベット継手部からの漏水が低減する副次的効果もあった。

参考文献

- 1) 松本, 坂野, 金子: 炭素繊維を用いた水圧鉄管の補強に関する検討. 土木学会第58回学術講演会I-538, 2004
- 2) 松本, 境, 金子: 磁歪応力測定法による水圧鉄管の応力測定業務. 土木学会第58回学術講演会I-562, 2004
- 3) 金子, 松本: 炭素繊維を用いた水圧鉄管の補強. 電力土木NO.312, 2004
- 4) (財)鉄道総合研究所: 炭素繊維シートによる地下鉄RC柱の耐震補強—設計・施工指針一, 山海堂, 1997
- 5) 松本, 楠, 金子: 炭素繊維を用いた水圧鉄管の補強事例, 電力土木NO.345, 2010

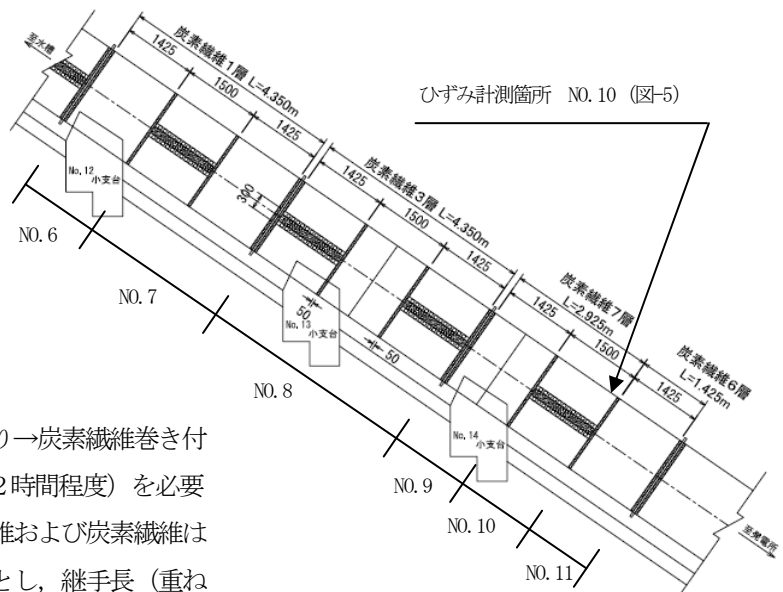


図-2 炭素繊維の必要層数の算定結果



図-3 炭素繊維の巻き付け



図-4 仕上がり状況

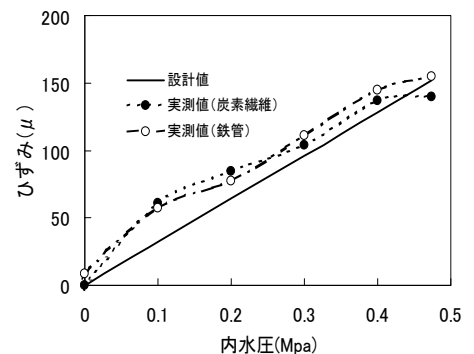


図-5 ひずみ計測による検証結果