

VI-335

## 炭素繊維による水圧鉄管補強に関する実験的研究

関西電力(株) 正員 酒井 研二・関西電力(株) 正員 中岡 勇  
(株)ニチゾウテック 正員 船越 亘

1. はじめに 炭素繊維シート(以後、シートと呼ぶ)は、高強度、軽量で腐食に対する抵抗性が高いという特徴を持ち、各種土木構造物に対する新しい補強材料として注目されている。従来より、コンクリート製の橋脚・床版などの補強に多く採用されているが、最近では、鋼構造物への適用についても検討され始めている。本研究においては、既設鋼構造物の延命化の観点から、水力発電所の水圧鉄管を模擬して、シート補強した縮小モデル管を用いて破壊試験を含む水圧実験を実施した。また、測定結果を用いてシートによる補強効果についての定量的な検討を試みた。

## 2. 実験方法

2.1 使用材料 モデル管の補強に用いたシートの諸元を表-1に示す。また、モデル管に使用した鋼材は引張強度35kgf/mm<sup>2</sup>相当の軟鋼であり、応力測定対象部分の板厚は1.58mmである。

2.2 モデル管の形状種類 図-1に示すモデル管を4体製作し、それぞれ無補強管、シート1層補強管、シート2層補強管及びシート3層補強管とした。図中の1点鎖線は応力測定断面を示す。

2.3 実験方法 応力測定にはひずみゲージを用いた。ひずみゲージは2軸ゲージを使用し、円周方向と管長手方向のひずみを計測した。また、水重によりモデル管にたわみが発生することを防止するため、モデル管を直立させた状態で水圧実験を行った。

2.4 実験の種類 本研究において実施した実験は次の2項目である。(1)内圧試験 モデル管の鋼材が弾性域を超えない範囲の内圧を作らせた場合のシートによる補強効果を確認した。モデル管が、部分的に塑性変形をおこさない様に、本実験においては、最大12kgf/cm<sup>2</sup>まで加圧した。(2)破壊試験 モデル管の鋼材が塑性域を経て破壊に至るまでの間でのシートによる補強効果を確認した。

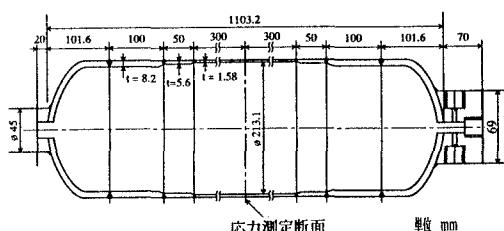


図-1 モデル管の形状

表-1 シートの諸元

繊維の種類	高強度カーボン
繊維目付(gf/m <sup>2</sup> )	300
繊維比重(gf/cm <sup>3</sup> )	1.82
設計厚さ(mm)	0.165
設計強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	35,500
設計弹性率(kgf/cm <sup>2</sup> )	2.35×10 <sup>4</sup>
破断伸度(%)	1.5

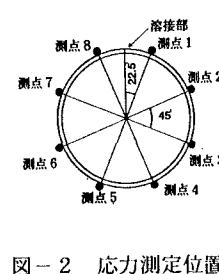


図-2 応力測定位置

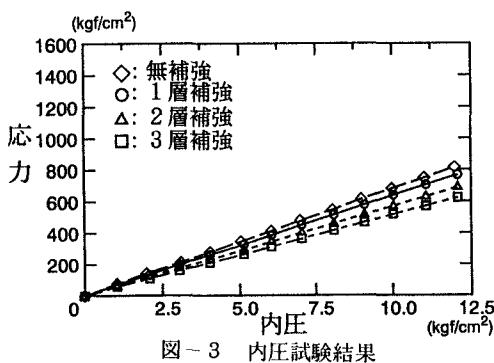
3. 実験結果 図-2の応力測定位置のうち、測点1、2及び7、8は、モデル管の長手方向溶接線の近傍であるので円周方向の曲げ変形等の影響により、他の測点とは異なる挙動を示した。従って、測定結果の評価においては、測点3～6における応力測定値の平均値を採用した。

## 3.1 内圧試験 図-3に内圧試験結果を示す。

シート層数が増加するに従い円周方向応力が低減している。即ち、シートがその層数に比例して内圧を分担していることがわかる。シートの内圧分担率は実測応力を(1)式に代入することにより算出できる。

$$\lambda_m = \frac{\sigma - \sigma'}{\sigma} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに  $\lambda_m$  ; 内圧分担率(実測値)  
 $\sigma$  ; 無補強管の円周方向応力  
 $\sigma'$  ; 補強管の円周方向応力



また、シートがモデル管と完全に一体化して理想的な状態で内圧を分担する場合の内圧分担率の計算値は、(2)式の如く算出される。

$$\lambda_c = \frac{N \cdot t_r \cdot E_r}{t_s \cdot E_s + N \cdot t_r \cdot E_r} \quad \cdots (2)$$

ここに  $\lambda_c$  ; 内圧分担率(計算値)  $N$  ; シート層数  
 $t_s$  ; 鋼の板厚  $t_r$  ; シート1層当りの厚さ  
 $E_s$  ; 鋼の弾性係数  $E_r$  ; シートの弾性係数  
 $(2100000 \text{kgf/cm}^2)$   $(2350000 \text{kgf/cm}^2)$

内圧  $12 \text{kgf/cm}^2$  時の各モデル管の円周方向応力の実測値、内圧分担率の実測値及び内圧分担率の計算値を表-2に示す。実測応力より算出した内圧分担率  $\lambda_m$  は、常に計算値  $\lambda_c$  より小さい値であるが、シート層数が増加するに従い、計算値に近づくことがわかる。また、今回の実験結果によると、シート層数が3層の場合、計算値の90%程度の内圧分担率が期待できることがわかる。

**3.2 破壊試験** 図-4に破壊試験結果を示す。シート層数が増加するに従い円周方向ひずみに対応する内圧が増加することがわかる。即ち、弾性域内と同様に塑性域から破壊に至る間においてもシートによる補強効果があることを示している。

なお、図中の最高内圧については、無補強管と1層補強管の値がほぼ等しくなっている。これは、管内圧が最高になる前に1層補強管のシート重ね合わせ部が剥離して無補強管と同じ状態で最高内圧になったためである。2層補強管及び3層補強管の場合はシート重ね合わせ部の剥離がおこらなかつたので最高内圧も増大している。図-5は、図-4における補強管の内圧と無補強管の内圧の比(内圧向上率)を示したものである。ひずみが増加するに従い、抵抗し得る内圧がより一層高くなることがわかる。即ち、弾性範囲内においてよりも塑性範囲において管の変形量が大きくなる程、シートの補強効果が向上することを示している。

**4. シート補強管の設計計算** 今後、既設または新設の水圧鉄管に対しシートによる補強を実施する場合、シートによる内圧分担を期待することは十分可能であるものと考えられる。本研究での実験結果によるとシート層数3層にて鉄管補強を実施した場合、鉄管の弾性域内において、計算値の9割程度の内圧分担を期待して設計計算に反映させることは合理的であるといえる。しかし、実際に設計計算にシートによる補強効果を期待する為には、次の4点を明確にすることが必要である。(1)シート補強の施工精度の違いによる補強効果のバラツキ、(2)鉄管板厚及び鉄管径と補強効果の関係、(3)使用するシートの種類、接着剤の種類及びシート層数と補強効果の関係、(4)シート補強効果の経年変化 これらを明確にし、各種の補強条件に対する補強効果を定量的に把握することにより、既設鉄管については、シートによる延命対策を施すことができる。また、新設鉄管については、より安全かつ経済的な水圧鉄管の設計・製作が可能となる。

**5. 結論** シートを用いて水圧鉄管を補強することにより、水圧鉄管の弾性範囲内においては、シート3層補強時には、計算値の9割程度の内圧分担をシートに期待することが可能である。また、設計計算においても設計水深を未補強管よりも高く見積ることが可能となる。今後、さらに検討を続け、シート補強管の実用化をめざしたいと考える。

表-2 内圧分担率

	無補強	1層補強	2層補強	3層補強
円周方向応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	817	769	689	625
内圧分担率の 実測値 $\lambda_m$ (%)	-	5.9	15.7	23.5
内圧分担率の 計算値 $\lambda_c$ (%)	-	10.5	18.9	26.0
$\lambda_m / \lambda_c$	-	0.56	0.83	0.90

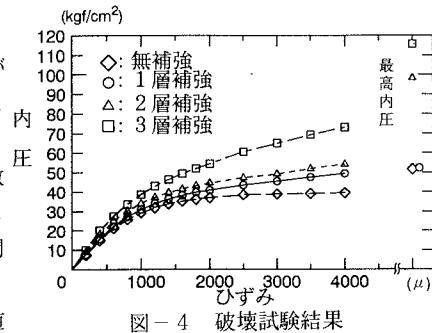


図-4 破壊試験結果

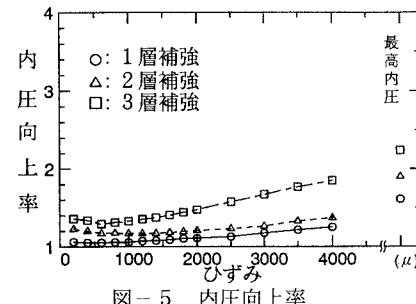


図-5 内圧向上率