

PS-34 フレキシブル積層管の断面解析に関する研究

海洋開発系 * 高橋一比古、正信聡太郎、金田 成雄
構造基盤技術系 田中 義久
J-DeEP技術研究組合 前田 克弥

1. はじめに

海洋開発に用いられるフレキシブル積層管は、主として管部材（樹脂製）と螺旋部材（鋼製）の積層により構成されるが（図 - 1）、引張・曲げ・圧力等、様々な外力を受けた時に鋼製の螺旋部材に生じる局所応力を精度良く推定することが設計上 / 安全性評価上重要となる。当所では H24 年度までに、フレキシブル積層管の剛性や局所応力を評価する断面解析プログラム LAYCAL を開発・販売しているが、H25 年度は、積層管が曲げを受けた時に螺旋部材に生じる多軸応力や相当応力を評価する機能を追加し、パイプモデルの曲げ試験結果と比較することによりその有効性を検証したので、以下に概略を紹介する。

2. 積層管の断面解析プログラム LAYCAL

2.1 プログラムの概要

LAYCAL は、主として管（または芯）部材と螺旋部材の積層により構成される各種のフレキシブル積層管（ワイヤーロープも可）を対象として、構造力学的な解析（主として Costello の理論¹⁾）に基づく計算式により曲げ剛性・軸剛性・捩り剛性を求め、任意の軸力・曲げモーメント・内外圧条件下において各部材に生じる応力や積層管全体の軸方向歪・曲率等を計算すると共に、任意の平均応力および定振幅繰返し応力下における鋼部材の疲労寿命を簡便に解析するプログラムである。

一般的なフレキシブル積層管の積層構造は図 - 1 に示す通りで、構造の詳細は内側から順に以下の通りである。

インターロック管（Carcass）

外圧等により管の断面が潰れないようにするための鋼製内管。可撓性が大きく、曲げ剛性は無視できる。

圧力内管（Pressure sheath）

内部流体を閉じ込めるパイプ。PA 等の樹脂製。

圧力補強条（Pressure armors）

巻き角を大きくした鋼製螺旋条で、主として内外圧を受け持つ。

軸力補強条（Tensile armors）

巻き角を小さくした鋼製螺旋層で、主として軸力を受け持つが、積層管が曲げを受けると曲げ・捩り応

力が生じる。

外部シース（Outer sheath）

海水の侵入を防ぎ、内部構造を保護する。曲げ剛性に大きく寄与する。PA、PE などの樹脂製。

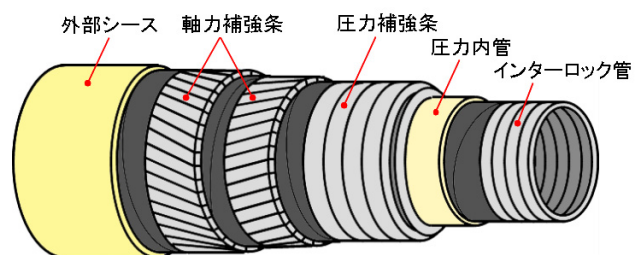


図 - 1 フレキシブル積層管

2.2 軸力補強条に生じる多軸応力

フレキシブル積層管が曲げを受けると、螺旋状の軸力補強条には 2 軸の曲げおよび捩りによる多軸応力場が生じる（図 - 2）。応力の種類や大きさは中立軸に対する螺旋の位置（角度）や補強条に外側から巻き付けるテープの作用等によって種々変化するため、簡易的な推定式などにより精度良く推定することはこれまで困難であった。そこで、今回は LAYCAL にこれらの多軸応力および相当応力を算出する機能を付与し、パイプモデルの曲げ試験による実データと比較することにより、その有効性を検証した。

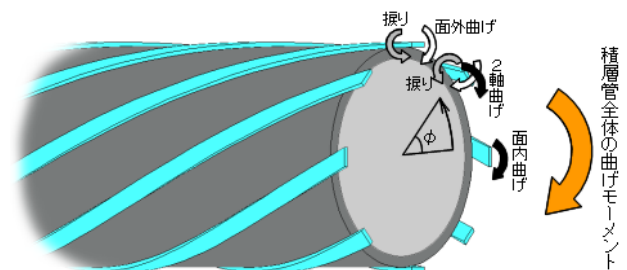


図 - 2 積層管の曲げにより軸力補強条に生じる多軸応力場

3. パイプモデルの曲げ試験および LAYCAL の検証

3.1 パイプモデルの構成

曲げ試験に用いたパイプモデルの積層構成を表 - 1

に示す。パイプの最外径は約 180 mm である。第 5 層と第 7 層が本研究の主対象である螺旋巻きの鋼製軸力補強条である。なお、第 8 層の軸力補強条包帯（樹脂テープ）については、無い場合とある場合の両方について実験を行い、その影響を調べた。

表 - 1 パイプモデルの積層構成（内側から）

| No. | 項目 | 材料 |
|-----|----------|--------|
| 1 | インターロック管 | ステンレス鋼 |
| 2 | 座床防止層 | 布テープ |
| 3 | 内管 | 樹脂チューブ |
| 4 | 磨耗防止層 | 樹脂テープ |
| 5 | 軸力補強条 | 高張力鋼 |
| 6 | 磨耗防止層 | 樹脂テープ |
| 7 | 軸力補強条 | 高張力鋼 |
| 8 | 軸力補強条包帯 | 樹脂テープ |

3.2 試験方法

軸力補強条に生じる多軸応力を測定するため、外側（第 7 層）の軸力補強条に面内曲げ・面外曲げ・捩り測定用の各種歪ゲージを貼付した。

曲げ試験は図 - 3 に示すような弓形曲げ試験とし、牽引荷重を適宜増減させながら、パイプ中央部の曲率ならびに軸力補強条の各種歪を計測した。



図 - 3 パイプモデルの弓形曲げ試験

3.3 試験結果および LAYCAL との比較

図 - 4 は、第 8 層の樹脂テープ包帯を設けなかった場合について、パイプ中央断面・第 7 層の軸力補強条の各位置におけるミーゼスの相当応力を、実験値と LAYCAL による推定値の双方で比較したものである。なお、同図には参考のため汎用構造解析コード MARC による推定値も付け加えてある。横軸の ϕ はパイプ断面における位置（図 - 2）を示しているが、各位置とも実験値と推定値の相関は良好であった。

次に図 - 5 は、第 8 層の樹脂テープ包帯を巻きつけ

た場合について、図 - 4 と同様に相当応力の比較を示したものであるが、この場合も実験値と LAYCAL による推定値の相関は良好であった。図 - 4 と図 - 5 を比較すると、樹脂テープ包帯で軸力補強条を抑えつけることにより、各位置における相当応力が増大することがわかる。

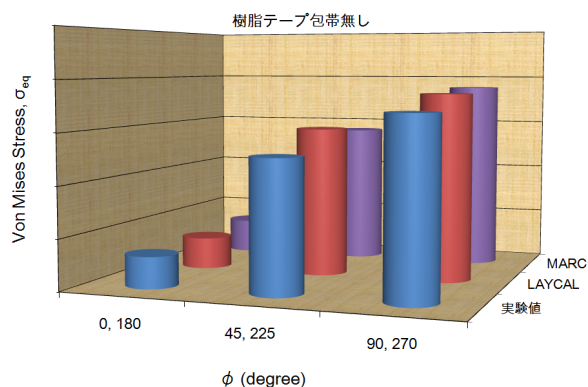


図 - 4 軸力補強条に生じる相当応力（包帯無し）

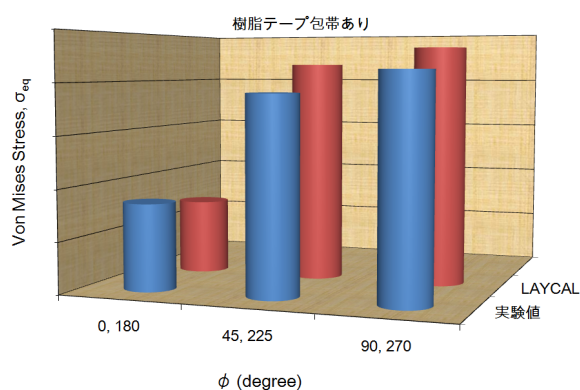


図 - 5 軸力補強条に生じる相当応力（包帯あり）

4. まとめ

積層管の断面解析プログラム LAYCAL に、軸力補強条に生じる多軸応力および相当応力を評価する機能を追加し、パイプモデルの曲げ試験を通じてその有効性を確認した。

謝辞

パイプモデルの製作および曲げ試験の実施に関し、古河電気工業株式会社の山口武治氏ならびに眞鍋博紀氏には多大なるご協力を賜りました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) George A. Costello, Theory of Wire Rope (Second Edition), Mechanical Engineering Series, Springer (1997).