# PS-7 CFRP掘削ライザーの継手構造に関する研究

海洋開発研究領域\*渡辺 喜保、高井 隆三、安藤 裕友海洋科学技術センター斉藤 昌勝東京大学鈴木 英之、稲崎 洋一(株) ジー エイチ クラフト斉藤 義弘

## 1. はじめに

ライザー管は海底を掘削するドリルパイプの 外側を包む管であり、その内側を特殊な泥水を 循環させることにより掘削屑を船上まで搬送す るためのものである。ライザー掘削はライザー レスに較べ、掘削孔の安定や外荷重がドリルパ イプに伝わりにくい等様々な利点が存在する。

現在日本では海洋底の科学調査のために、 2500m 級ライザー掘削船を建造しており、次の 段階として 4000m 水深における科学掘削を行 うためのライザーシステムの研究開発が行われ ている。石油掘削の分野ではライザー管は以前 から実用化されており、メキシコ湾においてラ イザー掘削システムの最大水深 2325m が樹立 されている。しかしながら 4000m という水深 は全くの未知の領域で、このような大水深でラ イザーシステムを稼動するには多くの技術的課 題が残されている。そのうち最も重要と考えら れるのがライザーパイプの軽量化である。深度 が大きくなるとスティール製のパイプの場合重 量が増加するため外乱との同調等が発生し、動 的挙動が悪化する。これに対し、複合材料、特 12 CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) はスティールに較べ高い比強度および比剛性が あり、軽量化が望める。コスト面からも、ライ ザー管の単価がスティール管に較べて大きくな るものの、軽量化に伴う上部テンショナーシス テムのコストダウンが見込める。

複合材料製ライザーの研究として、パイプ部分に関する積層構成や肉厚およびライザーとしての挙動の検討<sup>1)</sup>、eggタイプ継手の引張強度、内圧に対する強度および疲労強度の検討<sup>2),3)</sup>、eggタイプ継手の破壊強度の検討<sup>4)</sup>がある。ま

た、国外では、金属コネクターと複合材料との接合部にかみ合う複数の山を設けた構造(多重トラップロック構造)の設計に関する研究 5 およびライザー管の設計、製造、評価に関する研究 6 がある。しかしながら、多重トラップロック構造の設計や製造法の詳細はあまり記されてなく、設計コンセプトも明らかでない。

本研究では、多重トラップロック構造をもつ CFRP ライザーの設計コンセプトの明確化および最終的には 4000m 水深に耐え得る CFRP ライザーの開発を目的とする。 ここでは、類似の構造をもつ脚固定装置に関する一連の研究成果 7~10)を参考にして多重トラップロック構造をもつ CFRP ライザーの試設計を行い、実験模型を製作し、模型実験を行った結果、および実験値と有限要素解析値との比較を行うことにより、有限要素法の CFRP ライザー強度解析のためのツールとしての妥当性の検討を行った結果を報告する。ライザーの破壊のプロセスおよび試設計における強度と実際に要求される強度との比較等については、別の機会に報告する予定である。

#### 2. 実験

#### 2.1 模型の形状寸法および材料

図1に模型の形状寸法を示す。パイプ内径は現在使用されているスティール製ライザーの1/5程度、パイプ長さは端部の影響が無視しうる最小の長さとしてパイプ直径の3倍程度とした。基本パイプ部分は軽量化のためCFRPによる±20°の繊維方向をもつへリカル層で構成される。スティール製コネクターとCFRPパイプ部の接合部はかみ合う山の数7のトラップロック構造とする。

本研究では、多重トラップロック構造の基本的荷 重伝達機能を調べるため、かみ合う山は台形をベー スとした単純なものとした。スティールの山とかみ 合うCFRPへリカル層には半径方向力が発生する。こ の部分をフープ層で締めることにより、半径方向に 膨らもうとする変形を防止する構造とする。

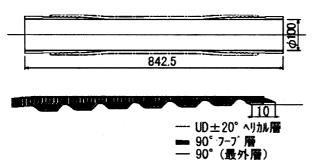


図 1.ライザー模型の形状寸法

#### 2.2 実験方法

実験は海上技術安全研究所の100トン試験機を利用して行われた。実験状況を図2に示す。

模型の上下端は90°方向の異なるピンをもつ冶具で試験機に結合することにより、曲げの発生を防止し、トラップロック構造部が破壊するまで0.05mm/minの速度で引張荷重を準静的に載荷し、荷重、変位および歪を10秒間隔で記録した。荷重は試験機の荷重計で検出した。変位は図3に示す位置の変位をレーザー変位計により計測することにより、パイプ中央部の相対変位および接合部を含む相対変位を求めた。また、歪は図4に示すように、パイプ長さ中央に3軸歪ゲージを貼付し、CFRP最外層の歪を計測した。また、スティール部の各谷に6枚、および各山に対応するCFRP最外層に7枚の単軸歪ゲージを軸方向に貼

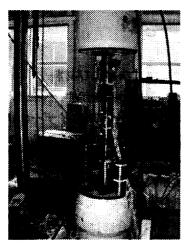


図 2.実験状況

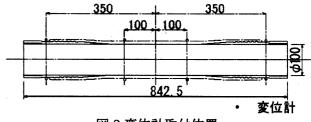


図 3.変位計取付位置

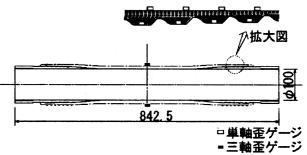


図 4.歪ゲージ貼付位置

付することにより、各山の分担加重を推定するため の歪を計測した。なお、歪ゲージはパイプ断面にお いて180°の間隔で2枚貼付し、平均値を求めた。

### 3. 有限要素法解析

模型の軸方向の対象性を考慮し、パイプ中央から軸方向の半分について2次元軸対称問題として解析を行う。スティールとCFRPの接続部で接触が予想される部分には接触要素を用いる。摩擦係数はゼロとした。境界条件はパイプ中央の対称軸上において軸方向の変位を拘束した。載荷は、冶具とのネジ結合部であるスティールパイプ内側の節点に、軸方向荷重を与えることにより行う。使用した要素は4節点軸対称要素および3節点軸対称要素である。材料物性を表1に示す。スティールについては、模型に使用した材料と同一の材料から採取した試験片による引張試験結果である。CFRPについては、模型に使用した炭素繊維およびマトリクスの材料定数を用いて積層材

表 1.解析に用いた材料定数

		フープ90°	ヘリカル20°		スチール
弾性係数	E1	894.80	8864.43		
(kgf/mm²)	E2	894.80	893.17	Ε	20300
	E3	13735.63	927.23		
	v 21	0.4003	0.1396	ν	0.29
	$\nu$ 31	0.2606	-0.0194		
	$\nu$ 32	0.2606	0.3634		
	G12	286.13	1711.09		
	G13	410.23	395.75	G	7868
	G23	410.23	300.72		

の材料定数を求めたものである。

#### 4. 比較および考察

試験模型は二体とも、上側の多重トラップロック 構造部が軸方向にずれることにより最終破壊にいた った。両試験模型の最大引張荷重は36.5tonfおよび3 4.5tonfで、差が小さい。このことから、両試験模型 の製造は適切に行われたと考えられる。両試験模型 において計測された変位および歪も同様な傾向を示 している。

図5および図6に、二体目の模型の変位および歪を示す。

図5は、CFRPのパイプ部200mm間隔の点の相対変位およびスティールとCFRPの接合部を含む700mm離れた点の相対変位の計測値と計算値が示されている。CFRPパイプ部の相対変位の計測値と計算値は良い一致を示しており、接合部を含む相対変位に関しては、接合部の複雑さを考慮すると、計測値と計算

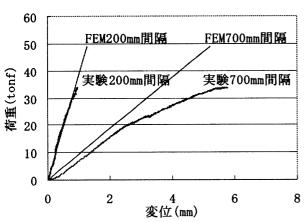


図 5. 相対変位の実験結果と解析結果の比較

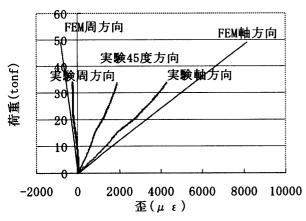


図 6. パイプ中央部歪の実験結果と解析結果の比較

値は良い一致を示しているといえる。

図6は模型軸方向中央における軸方向、周方向および斜め45°方向の歪の計測値と軸方向および周方向の歪の計算値が示されている。これらの計測値と計算値は比較的良い一致を示しているといえる。

図7に模型下側のスティール部谷底6箇所に貼付した歪の計測値と計算値との比較を示す。谷1とは、模型長さ中央から数えて一番目の谷である。発生した歪の小さい谷1の計測値と計算値は若干差があるが、

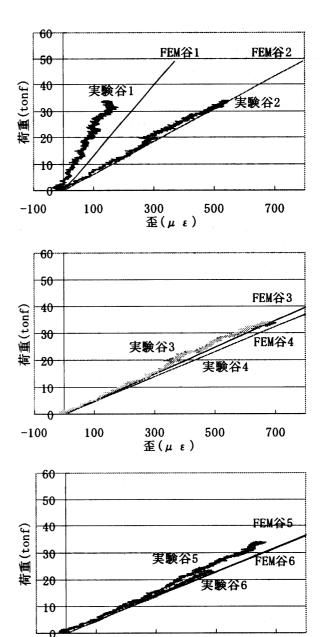


図7. スティール部谷歪の実験結果と解析結果 の比較

歪(με)

500

300

700

100

-100

谷2~谷6の計測値と計算値は良い一致を示している ことがわかる。

以上より、ここに示していない各山の歪計測値を 含め、ライザー継手の挙動を詳細に求めるためのデ ータが得られたといえる。また、ここで使用した有 限要素解析モデルはCFRPライザー継手構造解析に 有効なツールであるといえる。

# 5. 結論

多重トラップロック構造をもつCFRPライザーの 設計コンセプトの明確化のためCFRPライザーの試 設計、実験模型の製作、模型実験および有限要素解 析を行い、以下の結論を得た。

- 1. ライザーの挙動の詳細を知るための、各谷および山に対応する歪のデータを取得した。
- 2. 有限要素解析モデルはCFRPライザー継手構造 解析に有効なツールとなりうる。

最後に、貴重な情報の提供をしていただいた三井 造船(株)の今北昭彦氏および日本海洋掘削(株) の市川祐一郎氏に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- A. Imakita, S. Ishida, A. Tanaka: "Comparative Evaluations on Application of Advanced Composite Materials to Drilling Risers, OMAE, 1997.
- 2) 今北昭彦、永田一成、石田成幹、松下久雄:" CFRP製パイプ構造の強度特性"、三井造船 技法No.164,1998.
- 今北昭彦、松下久雄: "CFRP製パイプ構造 の強度特性(第2報) "、三井造船技法No. 168,1999.
- 4) 北裕史: "複合材料製ライザー管継手の破 壊シミュレーション"、東京大学工学部環 境海洋工学専攻修士論文、1999.
- Mamdouh M. Salama, Jagannathan Murari, Donald D. Baldwin, Ove Jahnsen, Thor Meland, "Design Consideration for Composite Drilling Riser", Offshore Technology Conference, 1999.

- 6) Douglas B. Johnson, Donald D. Baldwin, J. Randy Long, "Mechanical Performance of Composite Production Risers", Offshore Technology Conference, 1999.
- 7) 渡辺喜保、吉田宏一郎: "ジャッキアップ リグの脚固定装置の歪分布および最終強 度"、日本造船学会論文集第161号、PP.281 -292,1987.
- 8) 渡辺喜保、吉田宏一郎: "ジャッキアップ リグの脚固定装置用ラック歯の歯元歪およ び疲労強度"、日本造船学会論文集第162 号、PP.509-516.1987.
- 9) 渡辺喜保、吉田宏一郎: "ジャッキアップ リグの脚固定装置用ラック歯の接触部強 度"、日本造船学会論文集第163号、PP.376 -384,1988.
- 10) 渡辺喜保: "ジャッキアップリグの脚固定 装置の設計について"、日本造船学会論文 集第174号、PP.767-775,1993.