

海洋機器用モールドコネクタのひび割れ検証試験

中條 秀彦*¹ 青木 太郎*¹ 村島 崇*¹

10,000m級無人探査機「かいこう」の個別機器性能検証試験として平成7年度「モールドコネクタの性能検証及び安定性向上の検討」を実施した。1,275kgf/cm²加圧後にモールドコネクタの健全性を調査する目的で解体検査を行った。この時、一部のコネクタのネジ部にひび割れの発生が認められた。平成8年度は、このひび割れの原因追究を目的に圧力試験を実施した。その結果、コネクタ・ネジ部のひび割れは必要以上のトルクによる締め付け時に発生した可能性が高いことが判明した。また、Oリング使用時では規定トルクの1.3~1.4倍と規定トルクよりあまり余裕のない小さいトルクで発生することも判明した。ひび割れを起こしたコネクタは各ピン間の絶縁抵抗が極端に落ちている傾向があることも分かった。今回の試験からGlass reinforced epoxy製のモールドコネクタは厳密なトルク管理が必要であることが分かった。

キーワード：「かいこう」、モールドコネクタ、Oリング

Crack inspection test of molded connector for ocean device

Hidehiko NAKAJOH*² Taro AOKI*²
Takashi MURASHIMA*²

The 10,000m class ROV "KAIKO" used tow type connectors which were molded connectors and oil filled connectors. The Molded connector has 20,000 PSI maximum water pressure when operated under open face conditions. Its receptacle connector is made of glass reinforced epoxy. In the 1995 fiscal year, performance tests of each device for "KAIKO" was carried out. The test report name is "Performance Evaluation and Stability Improvement of Molded Connectors at Great Water Depth". We took the molded connectors apart and examined the parts after the 1,275kgf/cm² pressure test. There was a crack that was generated at the screw part of some connectors. In the 1996 fiscal year, the inspection test was carried out for the purpose of clearing up the cause of this crack. As a result, it was proven that the crack at the screw part of the connector was generated by tightening it over the recommended torque. When the case of the connector was tightened without the O ring, the torque which generated the crack was 2.5 times larger than the regulation torque. But, when the connector was tightened with the O ring, the torque which generated

* 1 深海開発技術部

* 2 Deep Sea Technology Department

the crack was only 1.3~1.4 times larger. It was also shown that in the connector which caused the crack, the insulation resistance between each pin of the connector tends to have fallen extremely. The test result proved that molded connectors made of glass reinforced epoxy were necessary for managing the torque exactly.

Key Words : ROV "KAIKO", molded connector, O ring

1 はじめに

海洋の最深部までの調査及び「しんかい6500」の救難を目的とした10,000m級無人探査機「かいこう」の開発は、いくつかの課題を克服しながら平成6年2月にマリアナ海溝最深部10,911mに到達し、すべての検査を終了した。その後「かいこう」は操作慣熟訓練のため、岸壁訓練・実海域試験を繰り返し行ってきた。

その期間を利用してシステムの機能及び信頼性の一層の向上を図るため平成7年度に「モールドコネクタの性能検証及び安定性向上の検討」¹⁾を実施した。その際、1,275kgf/cm²加圧後のモールドコネクタの健全性を調査する目的で解体検査を行った。コネクタのソケットを長手方向に半割に切断して検査を行った結果、一部のコネクタのネジ部にひび割れ（クラック）の発生が認められた。

平成8年度は、このひび割れが加圧時の応力集中によるものか、解体時に発生させてしまったものか、あるいは、取り付け時の応力集中により生じたものか等の原因究明を目的として圧力試験を実施した。

その結果、コネクタ・ネジ部のひび割れは必要以上のトルクによる締め付け時に発生した可能性が高いことが判明した。その際、Oリング未使用時のコネクタひび割れは規定トルク（カタログ値）の2.5倍で発生したのに対し、Oリング使用時（通常使用方法）では規定トルクの1.3~1.4倍と規定トルクよりあまり余裕のない小さいトルクでひび割れが発生することが判明した。また、ひび割れを起こしたコネクタは各ピン間の絶縁抵抗が極端に落ちている傾向があることも分かった。今回の試験からGlass reinforced epoxy製のモールドコネクタは厳密なトルク管理が必要であることが分かった。

2 ひび割れ検証試験

今回のひび割れ検証試験では「かいこう」で使用されているBrantner社のモールドコネクタ・レセプタク

ル：製品名VSG-BCLを用いて行った。このコネクタはGlass reinforced epoxy製のモールドコネクタで20,000PSI（約1,400kgf/cm²）まで耐えることができる。

ひび割れ検証試験は以下の流れで行い、すべての試験後に隣接する各ピン間の絶縁抵抗測定を実施した。

[検証試験要項]

① 締め付けトルク予備試験

② 締め付けトルク試験

規定トルク（カタログ値）にて締め付け

（Oリングなし）

規定トルク × 1.5倍 にて締め付け

（Oリングなし）

規定トルク（カタログ値）にて締め付け

（Oリングあり）

規定トルク × 1.5倍 にて締め付け

（Oリングあり）

③ 1,275kgf/cm²圧力試験（油圧、15分保圧）

モールドコネクタの最大取り付け規定トルク（カタログ値）は以下のようにになっている。

4芯コネクタ：100kgf/cm²

12芯コネクタ：150kgf/cm²

3 締め付けトルク予備試験

今回のひび割れ検証試験を行うにあたって、初めにコネクタの製造過程及び湿式試料切断機による切断時に問題がないかどうか調べた。

「かいこう」で使用しているモールドコネクタはBrantner社から三井造船（株）に納品され、そこで圧力試験等の適性検査を経たのち「かいこう」用コネクタとしてセンターに納品されている。今回、Brantner社から直接入手した物と適性検査を経た物とを検査したところ、適性検査を受けたうちの1つ、12芯コネクタ・ネジ部にひび割れを起こした物があった。また、コネクタを湿式試料切断機によって長手方向に切断し、切断の際にひび割れが発生しないか試験も行ったが、湿式試料切

断機によるひび割れは発生しない事が確認された（写真1, 2）。

この事から、ひび割れは製造過程ではなく納品時の適性検査過程にひび割れの原因があると推定された。

次に締め付けトルク試験を行うにあたってその予備実験として、4芯と12芯の各コネクタをOリングなしの状態に直接圧力試験用の蓋に取り付け、ネジ部のひび割れ発生締め付けトルクを測定した。その結果、

4芯コネクタでは 250kgf/cm²

12芯コネクタでは 400kgf/cm²

においてそれぞれひび割れが発生した。ひび割れの発生トルクは4芯コネクタで規定トルクの2.5倍、12芯コネクタでは規定トルクの2.6倍においてひび割れが発生していた。ただし12芯コネクタでは締め付け400kgf/cm²時に滑るような手応えがあり、目視では分からないがこのときにひび割れが発生していると考えられた。

4 締め付けトルク試験

ひび割れの原因がコネクタ取り付け時の締め付けトルクにあるかどうかを調べるために「かいこう」用の適性検査を受けていないコネクタを製造元のBrantner社から直接、4芯コネクタ：計12個、12芯コネクタ：計6個を購入して試験を行った。

試験はまず4芯・12芯の各コネクタを下記の規定トルクと規定トルク以上で取り付ける（写真3）。

[取り付けトルク]

規定トルク : 4芯 : 100kgf/cm², 12芯 : 150kgf/cm²

規定トルク以上 : 4芯 : 150kgf/cm², 12芯 : 225kgf/cm²

(規定トルク×1.5倍)

その後各コネクタは取り外し水圧にて1,275kgf/cm² 1時間加圧した。試験後、隣接するピン間の絶縁抵抗を測りひび割れのコネクタへの影響を調べた。絶縁抵抗測定は各試験終了後3回を以下のとおり行った。

[絶縁抵抗測定]

第1回 : 水圧1,275kgf/cm² 1時間加圧後、50℃60分熱風オープン内乾燥後

第2回 : 第1回測定後、室内放置 約20時間後

第3回 : 第2回測定後、50℃60分熱風オープン内乾燥後

また製造時コネクタはネジ部寸法のバラツキが大きいためコネクタを圧力試験容器の蓋に取り付ける際、ダイスにてネジ部の再切削を行った。

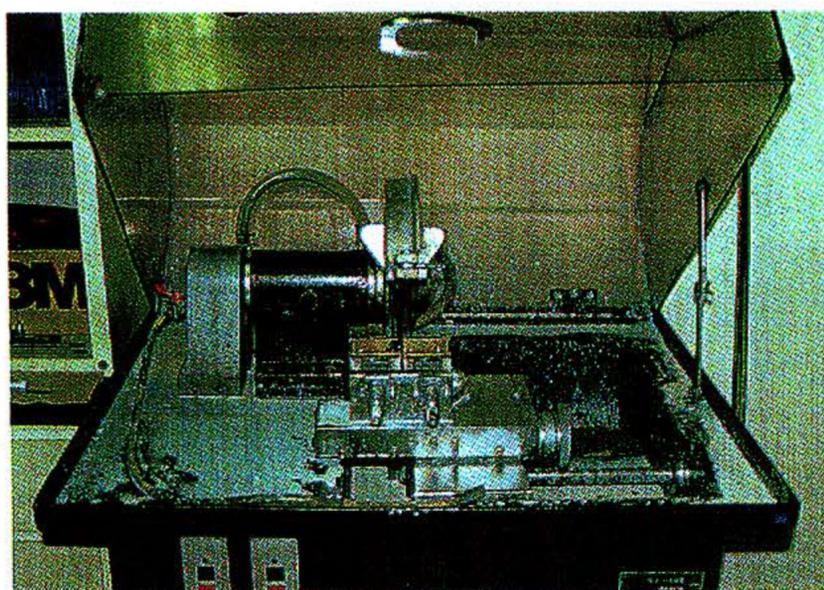


写真1 湿式試料切断機
Photo 1 wet cutting machine

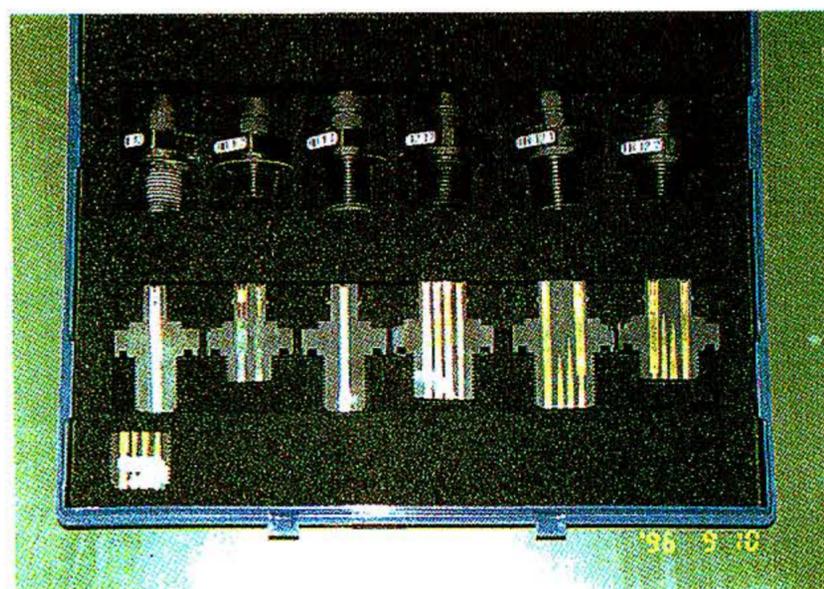


写真2 コネクタのカット、モデル
Photo 2 Connector cut models.

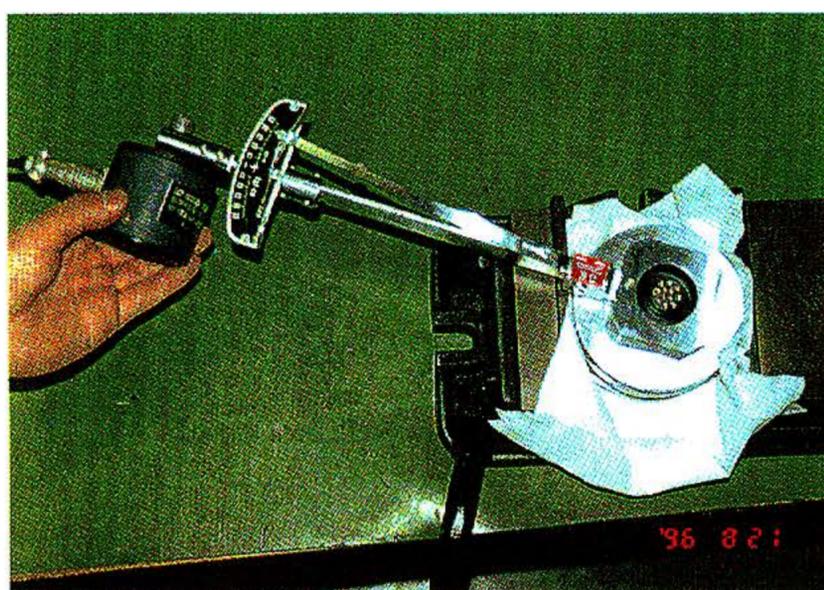


写真3 トルク、レンチを使用したコネクタの締め付け
Photo 3 The connector is tightening used the torque wrench

4.1. 4芯コネクタ試験結果

表1, 2に4芯コネクタのOリング「なし」「あり」の各状態における各規定トルクにおいて締め付けたときの絶縁抵抗変化を示す。表中の○は5,000MΩ以上の絶縁抵抗があり正常な状態を示し、隣接する各コネクタピン間の絶縁は加圧前はすべて5,000MΩ以上あった。

試験の結果、4芯コネクタは規定トルクで締め付けた場合はOリング「なし」「あり」とともに各ピン間の絶縁抵抗は3回の測定において5,000MΩ以上あり正常であった(表1)。

しかし、規定トルクの1.5倍のトルクで締め付けたときはOリング「あり」と「なし」の場合に違いが生じた。Oリングを付けて規定トルクの1.5倍(150kgf/cm²)で締め付けるトルク試験において試料の1つ、4芯コネクタ・ネジ部にひび割れが発生した。このひび割れを起こしたコネクタは、試験前5,000MΩ以上あった隣接

表1 4芯ソケットレセプタクル(Oリングなし)における絶縁抵抗測定結果

Table 1 The measurement result of the insulation resistance in 4 pins socket receptacle not used a O ring.

100kgf/cm² (規定トルク) 締め付け品 (試料No. H8. 4-3)

【単位: MΩ】

	第1回測定	第2回測定	第3回測定
1-2間	○	○	○
2-3間	○	○	○
3-4間	○	○	○
1-4間	○	○	○

・○は 5,000 MΩ以上

150kgf/cm² (規定トルク×1.5倍) 締め付け品 (試料No. H8. 4-8)

【単位: MΩ】

	第1回測定	第2回測定	第3回測定
1-2間	○	○	○
2-3間	○	○	○
3-4間	○	○	○
1-4間	○	○	○

・○は 5,000 MΩ以上

表2 4芯ソケットレセプタクル(Oリングあり)における絶縁抵抗測定結果

Table 2 The measurement result of the insulation resistance in 4 pins socket receptacle used a O ring.

100kgf/cm² (規定トルク) 締め付け品 (試料No. H8. 4-3)

【単位: MΩ】

	第1回測定	第2回測定	第3回測定
1-2間	○	○	○
2-3間	○	○	○
3-4間	○	○	○
1-4間	○	○	○

・○は 5,000 MΩ以上

150kgf/cm² (規定トルク×1.5倍) 締め付け品
(試料No. H8. 4-8: ひび割れ発生)

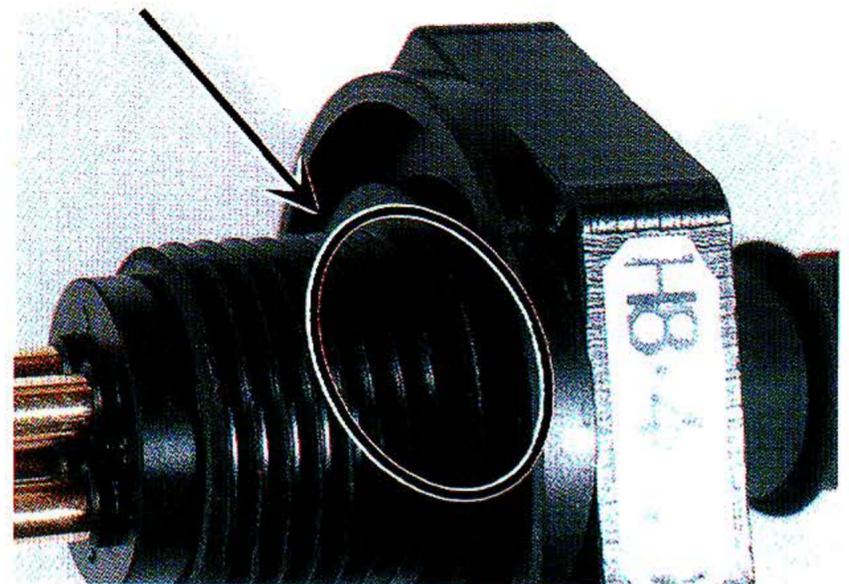
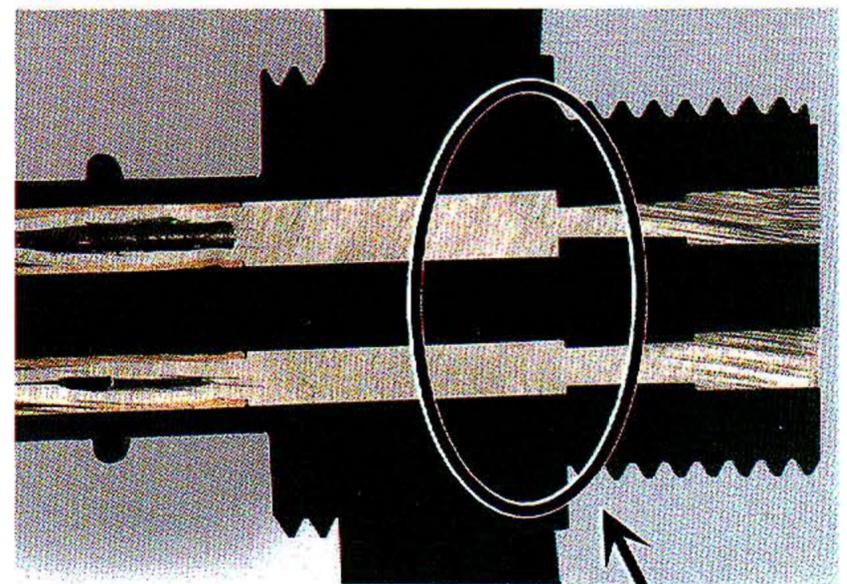
【単位: MΩ】

	第1回測定	第2回測定	第3回測定
1-2間	100	○	○
2-3間	100	○	○
3-4間	100	300	○
1-4間	100	○	○

・○は 5,000 MΩ以上

する各ピン間の絶縁抵抗が、水圧試験後の第1回目の測定では絶縁抵抗値が100MΩとたいへん低下していた。その後3回目の測定の際(水圧試験後約24時間後)、すべてのピン間の絶縁抵抗は5,000MΩ以上に戻った(表2)。ひび割れを発生していない4芯コネクタの場合、試験後の絶縁抵抗測定はすべて5,000MΩ以上あり正常であった。

また、図1にひび割れを起こした4芯コネクタ試料No. H8. 4-8を含めた締め付け時のグラフを示す。Oリングを付けたとき、「あり」の状態では約130kgf/cm²(規定トルクの1.3倍)のトルクにおいてひび割れが発生した。しかし、予備実験においてOリング「なし」の状態での4芯コネクタは約250kgf/cm²(規定トルクの2.5倍)のトルクをかけるとネジ部にひび割れ発生が目視で確認されており、その差、約100kgf/cm²下回っていた。



外見写真

写真4 ひび割れを起こした4芯コネクタ

Photo 4 4 pins connector which caused the crack.

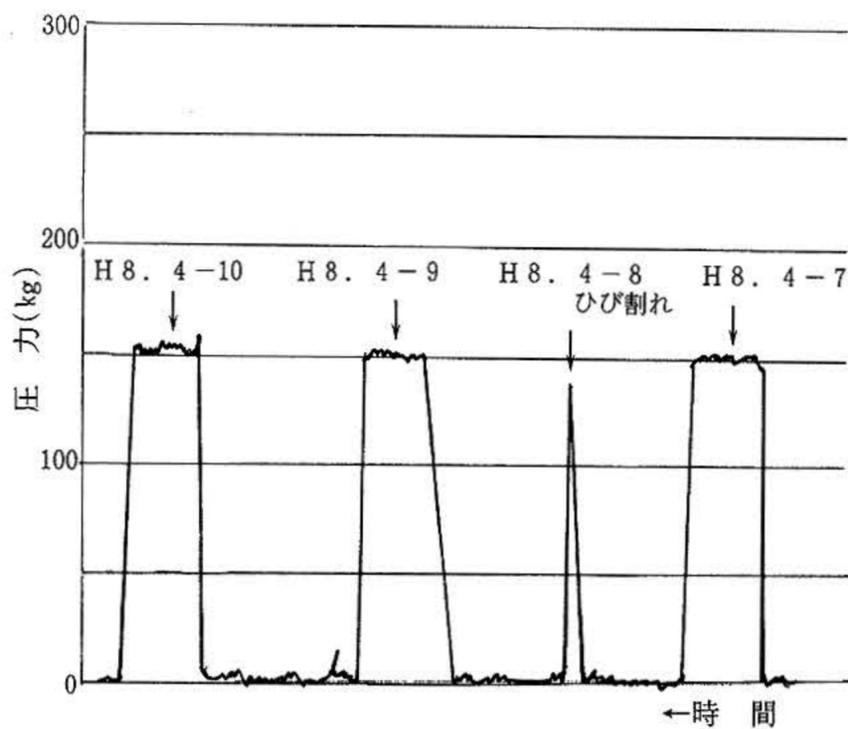


図1 4芯ソケットレセプタクル締め付けトルクグラフ
Oリングあり, 規定トルク×1.5 (150kgf/cm²)にて締め付け

Fig. 1 Tightening torque graph of 4 pins socket receptacle connectors used a O ring which tightened 1.5 times as large as the regulation torque (150kgf/cm²)

表3 4芯ソケットレセプタクル(Oリングなし)における絶縁抵抗測定結果

Table 3 The measurement result of the insulation resistance in 12 pins socket receptacle not used a O ring.

225kgf/cm² (規定トルク×1.5倍) 締め付け品 (試料No. H8. 12-5)

	[単位: MΩ]		
	第1回測定	第2回測定	第3回測定
1-2間	50	○	○
2-3間	200	○	○
3-4間	100	○	○
4-5間	50	○	○
5-7間	70	○	○
6-7間	50	○	○
7-8間	20	○	○
8-9間	10	○	○
9-10間	50	○	○
10-11間	100	○	○
11-12間	10	○	○
1-8間	30	○	○
2-9間	20	○	○
3-9間	200	○	○
4-10間	50	○	○
5-10間	50	○	○
6-11間	20	○	○
7-11間	30	○	○
9-12間	10	○	○
1-9間	20	○	○
3-10間	200	○	○
5-11間	50	○	○
7-12間	30	○	○
1-12間	20	○	○

○は 5,000 MΩ以上

写真4にひび割れを起こした試料No. H8. 4-8の断面カット写真と外見からコネクタ・ネジ部のひび割れの様子が分かりやすい他の4芯コネクタ(試料No. H8. 4-10)の拡大写真を示す。ひび割れはネジ部の付け根から内部のピンにまでひびが入っている事がよく分かる(写真4 断面カット写真)。また、ひび割れは目視では大変小さいため確認が難しいがネジ部の付け根に入っていることが分かる(写真4 外見写真)。

4.2 12芯コネクタ試験結果

表4, 5に12芯コネクタのOリング「なし」「あり」の状態における規定トルク×1.5倍(225kgf/cm²)で締め付けたときの絶縁抵抗変化を示す。表中の○は5,000 MΩ以上の絶縁抵抗があり正常な状態を示し、コネクタの絶縁は加圧前はすべて5,000 MΩ以上あった。

試験結果は、コネクタを規定トルク(150kgf/cm²)で締め付けたときOリング「あり」の状態における絶縁抵抗測定結果はすべて5,000 MΩ以上あった。

しかし、規定トルクの1.5倍のトルクで締めたときはOリング「あり」と「なし」の場合に違いが生じた。Oリングを付けて規定トルクの1.5倍(225kgf/cm²)で締め付けるトルク試験において試料の1つ、12芯コネクタ・ネジ部にひび割れが発生した。ひび割れが発生した12芯コネクタの絶縁抵抗試験結果は第1回目の隣接するピン間の値が5~10 MΩと加圧前の5,000 MΩ以上から極端に低下していた。2回目以降(約20時間後)の測定ではすべて5,000 MΩと正常な値に戻っていた(表5)。ひび割れを起こしたコネクタの第1回目測定時の絶縁抵抗値が極端に落ちている傾向は4芯のときと同じであった。

このひび割れを起こした試料No. H8. 12-5コネクタは規定トルク×1.5倍での締め付けトルクで試験をしており、その試験過程;締め付けを行わず水圧だけかけた初期状態(表3)⇒Oリング「なし」の状態における締め付けトルク:規定トルク×1.5倍の状態(表4)⇒Oリング「あり」の状態における締め付けトルク:規定トルク×1.5倍の状態(表5)の各試験後の絶縁抵抗変化経過を見てみると、徐々に絶縁抵抗が下がっていく傾向が読みとれる。これはひび割れが徐々に進行していったものと考えられる。

また、図2にひび割れを起こした12芯コネクタ試料No. H8. 12-5を含めた締め付け時のグラフを示す。Oリングを付けたとき、「あり」の状態では約220kgf/cm²(規定トルクの1.46倍)のトルクにおいてひび割れが発生した。しかし、予備実験においてOリング「なし」

の状態での12芯コネクタは約400kgf/cm²（規定トルクの2.6倍）のトルクをかけるとトルクレンチが滑るような感触があり、その際に内部にひび割れが発生したと思われる。その差、約180kgf/cm²下回っていた。

写真5にひび割れを起こした試料No. H 8. 12-5の断面カット写真と外見からコネクタ・ネジ部のひび割れの様子を拡大写真で示す。ひび割れはネジ部の付け根と上部の両方から内部のピンにまでひびが入っている事がよく分かる（写真5 断面カット写真）。また、ひび割れは目視では大変小さいため確認が難しいがネジ部の付け根全周に入っていることが分かる（写真5 外見写真）。

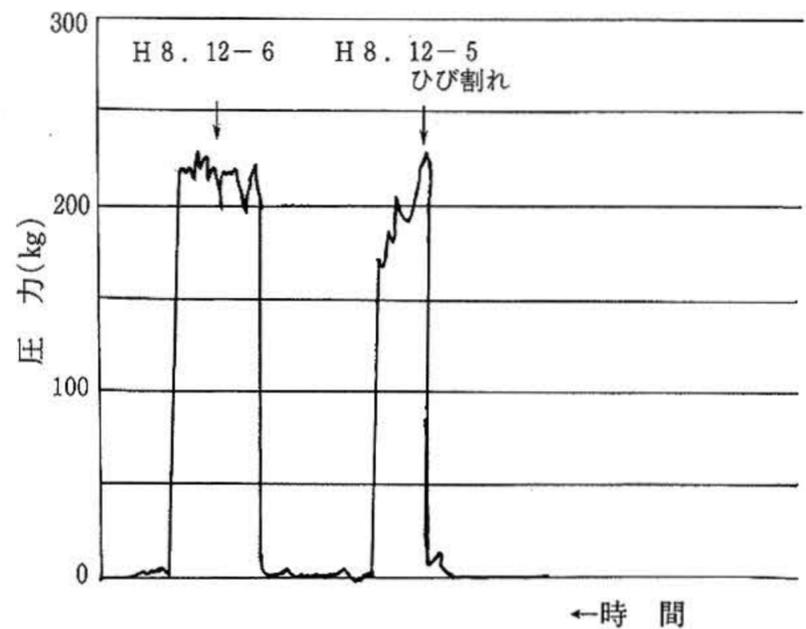


図2 12芯ソケットレセプタクル締め付けトルクグラフ
Oリングあり、規定トルク×1.5（225kgf/cm²）にて締め付け

Fig. 2 Tightening torque graph of 12 pins socket receptacle connectors used a O ring which tightened 1.5 times as large as the regulation torque (225kgf/cm²).

表4 12芯ソケットレセプタクル（水圧試験のみ）における絶縁抵抗測定結果

Table 4 The measurement result of the insulation resistance in 12 pins socket receptacle after the high pressure test.

水圧試験のみ試験品（試料No. : H 8. 12-5）

【単位：MΩ】

	第1回測定	第2回測定	第3回測定
1-2間	○	○	○
2-3間	○	○	○
3-4間	○	○	○
4-5間	○	○	○
5-7間	○	○	○
6-7間	○	○	○
7-8間	○	○	○
8-9間	○	○	○
9-10間	5,000	○	○
10-11間	○	○	○
11-12間	○	○	○
1-8間	3,000	○	○
2-9間	○	○	○
3-9間	○	○	○
4-10間	○	○	○
5-10間	○	○	○
6-11間	○	○	○
7-11間	○	○	○
9-12間	○	○	○
1-9間	1,000	○	○
3-10間	○	○	○
5-11間	○	○	○
7-12間	○	○	○
1-12間	2,000	○	○

○は 5,000 MΩ以上

表5 12芯ソケットレセプタクル（Oリングあり）における絶縁抵抗測定結果

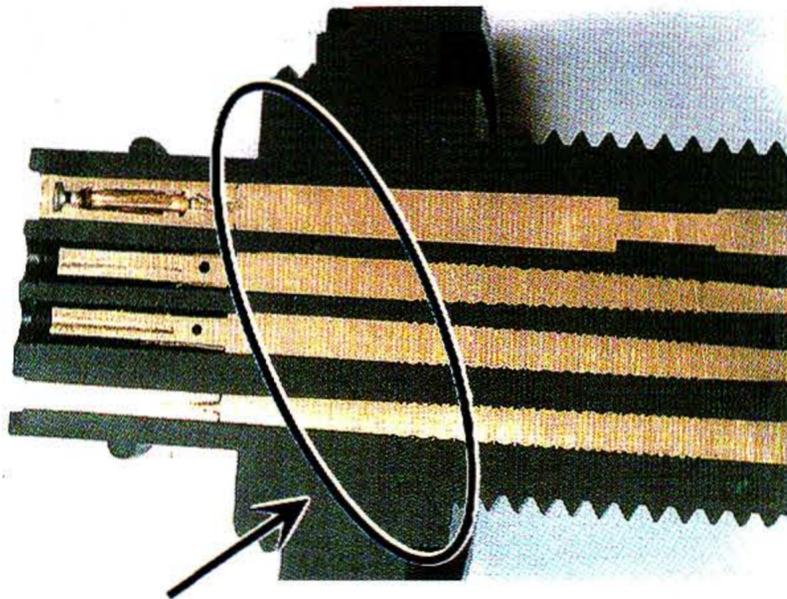
Table 5 The measurement result of the insulation resistance in 12 pins socket receptacle used a O ring.

225kgf/cm²（規定トルク×1.5倍）締め付け品
（試料No. H 8. 12-5：ひび割れ発生）

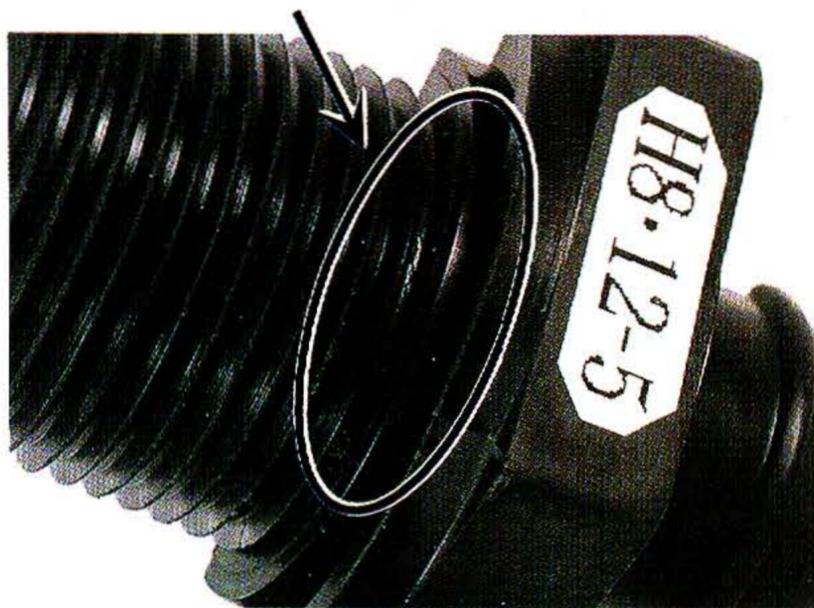
【単位：MΩ】

	第1回測定	第2回測定	第3回測定
1-2間	20	○	○
2-3間	10	○	○
3-4間	10	○	○
4-5間	10	○	○
5-7間	10	○	○
6-7間	10	○	○
7-8間	10	○	○
8-9間	10	○	○
9-10間	10	○	○
10-11間	5	○	○
11-12間	10	○	○
1-8間	10	○	○
2-9間	10	○	○
3-9間	20	○	○
4-10間	10	○	○
5-10間	10	○	○
6-11間	5	○	○
7-11間	10	○	○
9-12間	10	○	○
1-9間	20	○	○
3-10間	20	○	○
5-11間	10	○	○
7-12間	10	○	○
1-12間	10	○	○

○は 5,000 MΩ以上



断面写真



外見写真

写真5 ひび割れを起こした12芯コネクター
Photo 5 12 pins connector which caused the crack.

5 Oリングについて

ひび割れの原因を探るために異なるトルクでコネクターを締め付け、試験を行ってきた。その際、Oリングの有無においてひび割れの発生トルクに異なる結果が出た(写真6)。

[ひび割れ発生トルク]

4芯コネクターの場合

Oリング「なし」: 250kgf/cm²

Oリング「あり」: 130kgf/cm²

12芯コネクターの場合

Oリング「なし」: 400kgf/cm²

Oリング「あり」: 240kgf/cm²

ひび割れの発生トルクは4芯、12芯ともにOリングを使用しないときよりも使用していたときの方が小さなトルクでコネクター・ネジ部にひび割れが発生していた。

そこでOリングが潰されることによって生じる荷重測定を行った。

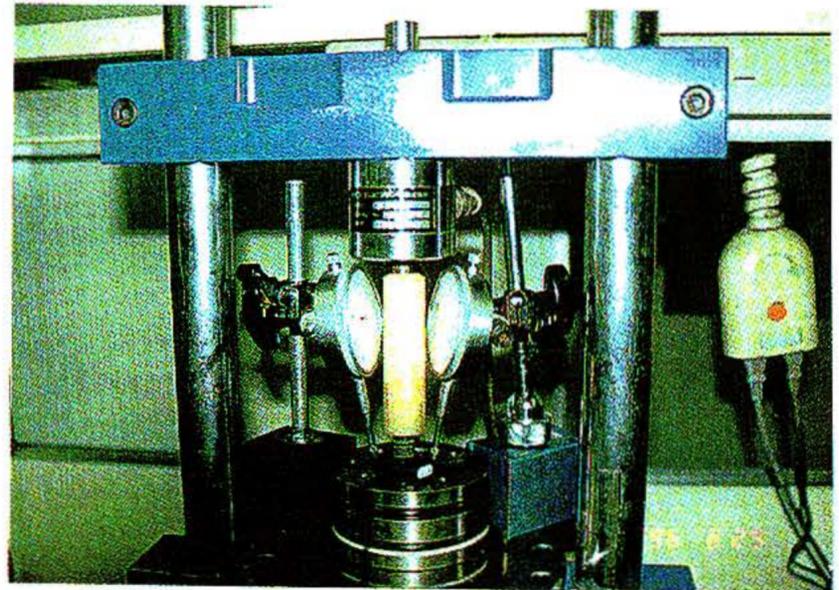


写真6 Oリングつぶ代測定
Photo 6 load test for the O-ring.

表6 Oリングつぶし代荷重測定結果
Table 6 The load test result of a O-ring.

4芯ソケットレセプタクル

[単位: mm]

荷重(kg)	0	10	20	30	40	50	60	70
\bar{X}	0	0.295	0.515	0.585	0.60	0.60	0.60	0.60

12芯ソケットレセプタクル

[単位: mm]

荷重(kg)	0	10	20	30	40	50	60	70
\bar{X}	0	0.245	0.45	0.55	0.59	0.59	0.59	0.59

5.1 Oリングつぶ代試験

測定はコネクターにOリングを付けコネクターを上から荷重をかけ、その時の荷重とコネクターと蓋との隙間を2ヶ所に取り付けたダイヤルゲージ(最小目盛1/100mm)により測定した。

[使用Oリング]

4芯 No. 213 (φ3.53)

12芯 No. 213 (φ3.53)

ニトリルゴム, 硬度70°

結果を表6に示す。表中の \bar{X} はコネクターと蓋との隙間の2ヶ所の平均値を示している。Oリングは4芯、12芯とも荷重40kg以上かけても隙間は約0.60mm以上は縮まらない事が分かった。

6 圧力試験

これまでコネクター・レセプタクル単体について試験を行ってきたが今回はプラグ・コネクターを付けOリン

表7 4芯コネクタの1250kgf/cm²加圧試験後の絶縁抵抗測定結果(油圧)

Table 7 The measurement result of the insulation resistance in 4 pins socket receptacle after the 1250kgf/cm² pressure test.

4芯ソケットレセプタクル
100kgf/cm² (規定トルク) 締め付け品 (試料No. H8. 4-5)

【単位: MΩ】			
	第1回測定	第2回測定	第3回測定
1-2間	○	○	○
2-3間	○	○	○
3-4間	○	○	○
1-4間	○	○	○

・○は 5,000 MΩ以上

150kgf/cm² (規定トルク×1.5倍) 締め付け品
(試料No. H8. 4-7: ひび割れ発生)

【単位: MΩ】			
	第1回測定	第2回測定	第3回測定
1-2間	9	100	300
2-3間	8	300	4,000
3-4間	10	3,000	○
1-4間	6	2,000	○

・○は 5,000 MΩ以上

グも使用して実際に使用する形での圧力試験(油圧1,250 kgf/cm², 15分保圧)を行った。試験に際し, 各ピンは直列に配線し, 試験中の接触抵抗を測定²⁻³⁾した。結果を表7, 8に示す。

4芯コネクタでは締め付け時, 規定トルクで取り付けられたコネクタにおいて, 絶縁抵抗は5,000MΩ以上あり, 正常な値を示した(表7)。

しかし, 締め付け時, 規定トルク×1.5倍(150kgf/cm²)で取り付けられた4芯コネクタにおいては, 130kgf/cm²(3試料平均)のトルクでひび割れが発生した。通常, 我々は, ひび割れに気付かずに使用している可能性がある。このため, ひび割れを起こしたコネクタをそのまま蓋に取り付けて, 圧力試験を行った。この結果は, ひび割れが発生したコネクタの絶縁抵抗は加圧前5,000MΩ以上あった値が第1回目の測定時には6~10MΩと極端に下がり, 2回目, 3回目の測定では絶縁抵抗値が徐々に元に戻る傾向があった(表7)。

12芯コネクタでは締め付け時, 規定トルクで取り付けられたコネクタではひび割れは発生しなかったが, 絶縁抵抗測定において加圧前の5,000MΩ以上の値より小さい隣接するピン間が存在した。その後の2回, 3回目の絶縁測定時(加圧後約2時間後)までには徐々に元に戻っていく傾向があった(表8)。

しかし, 締め付け時, 規定トルク×1.5倍(225kgf/cm²)で取り付けられたコネクタにおいては, 225kgf/cm²のトルクでひび割れが発生した。ひび割れが発生したコネクタの絶縁抵抗は他のひび割れが発生したコネクタ

表8 12芯コネクタの1,250kgf/cm²加圧試験後の絶縁抵抗測定結果(油圧)

Table 8 The measurement result of the insulation resistance in 4 pins socket receptacle after the 1250kgf/cm² pressure test.

150kgf/cm² (規定トルク) 締め付け品 (試料No. H8. 12-4)

【単位: MΩ】			
	第1回測定	第2回測定	第3回測定
1-2間	500	2,000	○
2-3間	50	100	100
3-4間	200	○	○
4-5間	200	500	1,000
5-6間	200	○	○
6-7間	○	○	○
7-8間	○	○	○
8-9間	○	○	○
9-10間	100	100	1,000
10-11間	100	100	1,000
11-12間	500	1,000	○
1-8間	2,000	4,000	○
2-9間	100	500	○
3-9間	90	500	5,000
4-10間	200	3,000	○
5-10間	500	1,000	○
6-11間	1,000	○	○
7-11間	○	○	○
9-12間	100	300	○
1-9間	200	1,000	○
3-10間	100	300	300
5-11間	○	1,000	○
7-12間	○	○	○
1-12間	100	200	500

・○は 5,000 MΩ以上

225kgf/cm² (規定トルク×1.5倍) 締め付け品
(試料No. H8. 12-5: ひび割れ発生)

【単位: MΩ】			
	第1回測定	第2回測定	第3回測定
1-2間	10	50	70
2-3間	10	10	3,000
3-4間	20	200	1,000
4-5間	50	100	2,000
5-6間	50	100	400
6-7間	30	100	200
7-8間	200	○	○
8-9間	30	200	○
9-10間	5	30	300
10-11間	2,000	○	○
11-12間	400	1,000	○
1-8間	30	200	200
2-9間	50	30	300
3-9間	20	20	500
4-10間	30	100	3,000
5-10間	30	3,000	○
6-11間	10	200	500
7-11間	200	500	500
9-12間	200	500	1,000
1-9間	5	70	300
3-10間	20	30	1,000
5-11間	100	100	100
7-12間	200	500	○
1-12間	30	70	100

・○は 5,000 MΩ以上

の傾向と同様に加圧前5,000MΩ以上あった値が第1回目の測定時には5~30MΩと極端に下がった値がかなりあり、2回目、3回目の測定では徐々に元に戻る傾向があった。この徐々に戻る傾向は、同じ12芯のコネクターにおいてひび割れを起こした物と起こしていない物とでは、回復傾向の速度と第1回目の絶縁抵抗測定時の値が極端に下がっている違いがあった(表8)。

7 まとめ

表9に今回のひび割れ検証試験の一覧を示す。表中の○は試験を行ったことを、×は試験を行わなかった事を示す。また、各試験の段階で「クラックあり」と示されている時点で、その試料コネクターがひび割れを起こしたことを示している。圧力試験(油圧1,275kgf/cm², 15分間)の試験項目で発生したひび割れはすべて取り付け時の物であって、圧力によるひび割れは発生しなかった。

今回の試験では、締め付けトルクが規定トルク×1.5倍の場合には4芯、2個・12芯、4個ともに、試験を行ったすべてのコネクターについて取付時にひび割れが発生した。また、規定トルク(カタログ値)で締め付けを行った物はひび割れは発生しなかった。

これら今回の試験よりコネクター・ネジ部に発生したひび割れは締め付け時の必要以上のトルクによって起こった可能性が高い。

また、ひび割れを起こしたコネクターは試験前は5,000MΩ以上ある絶縁抵抗が加圧後、数10MΩとかなり低下している傾向にあるとともに、その回復傾向はひび割れを起こしてないコネクターと比べて遅い傾向があった。

なお、ひび割れの発生はOリングを使用すると使用しないときと比べてかなり小さなトルクでひび割れが発生することが判明した。

[ひび割れ発生トルク]

4芯コネクターの場合(規定トルク:100kgf/cm²)

Oリング「なし」:250kgf/cm²

Oリング「あり」:130kgf/cm²

12芯コネクターの場合(規定トルク:150kgf/cm²)

Oリング「なし」:400kgf/cm²

Oリング「あり」:240kgf/cm²

今回の試験では上記のように4芯、12芯ともOリングを使用する通常の使用状況では、ほぼ規定トルク(カタログ値)の1.3~1.4倍程度のトルクでコネクター・ネジ部にひび割れが発生した。

この違いは、Oリングつぶ代試験において、Oリングは荷重40kg以上かけても隙間は約0.60mm以上は縮まらない

表9 ひび割れ検証試験一覧

Table 9 The connectors list of the crack verification test.

試験項目 コネクタNo.	絶縁 測定	断面カット (初期)	締め付けトルク (O'リングなし)	絶縁 測定	締め付けトルク (O'リングあり)	絶縁 測定	圧力試験 (油圧) 1250kgf/cm ² 15分間	絶縁 測定	備考
H8-4-1	×	○異常なし	×	×	×	×	×	×	カット
H8-4-2	×	○異常なし	×	×	×	×	×	×	
H8-4-3	○	×	○	○	○	○	○	○	規定トルク
H8-4-4	○	×	○	○	○	○	○	○	
H8-4-5	○	×	○	○	○	○	○	○	
H8-4-6	○	×	○	○	○	○	○	○	
H8-4-7	○	×	○	○	○	○	○	○	規定トルク
H8-4-8	○	×	○	○	○	○	○	○	×1.5
H8-4-9	○	×	○	○	○	○	○	○	クラックあり
H8-4-10	○	×	○	○	○	○	○	○	クラックあり
H8-4-11	○	×	—	—	—	—	—	—	未使用品
H8-4-12	○	×	—	—	—	—	—	—	として
H8-4-13	○	×	—	—	—	—	—	—	残す
H8-12-1	×	○	×	×	×	×	×	×	クラックあり カット
H8-12-2	×	○異常なし	×	×	×	×	×	×	
H8-12-3	○	×	○	○	○	○	○	○	規定トルク
H8-12-4	○	×	○	○	○	○	○	○	
H8-12-5	○	×	○	○	○	○	○	○	規定トルク
H8-12-6	○	×	○	○	○	○	○	○	クラックあり ×1.5
H8-12-7	○	×	—	—	—	—	—	—	未使用品

い事から、コネクターと蓋の間に隙間が生じており、コネクターにかかる応力がネジ部付け根に集中したためにOリング未使用時よりかなり低いトルクでひび割れが発生したと考えられる。

8 おわりに

平成7年度「モールドコネクター性能検証及び安定性向上検討」¹⁾を実施した際にコネクター・ネジ部にひび割れが起きた原因は、締め付け時の必要以上のトルクによって起こった可能性が高く、圧力によるひび割れは確認できなかった。

また、通常使用(Oリング使用)時におけるひび割れ発生トルクは規定トルク(カタログ値)の1.3~1.4倍程度とあまり余裕がなく、規定トルク以上1.3~1.4倍以内の締め付けトルクでも繰り返し締め・緩めの使用によって小さなひび割れが発生し、いずれはネジ部全周にわたり、そして外見的にも目に見えるような大きなひび割れへと進行していく傾向も判明した。

今回試験を行ったBrantner社のモールドコネクター・レセプタクル:製品名VSG-BCLは20,000PSIまで耐えられる優れたコネクターの一つではあるが、ネジ部がGlass reinforced epoxy製のモールドコネクターであるた

め、トルクレンチ等の使用による締め付けトルク管理を厳密に行わないとネジ部にひび割れが簡単に発生する。なお、MacArthney社のSUBCONNシリーズではすべてのレセプタクルコネクタ・ネジ部は金属になっており、またBrantner社でもネジ部が金属になった：製品名VM G-BCLシリーズ (Metal Shell Bulkhead Connectors) がある。水中機器の製作にあたってはネジ部が金属タイプのコネクタ・レセプタクルの使用の検討も必要となってくるだろう。

謝 辞

今回の検証試験にあたり多大なるご協力をいただいた三井造船(株)玉木氏とダイロンテクノロジー(株)栗山氏に深謝します。

参考文献

- 1) 中條秀彦・青木太郎・村島 崇：大深度水圧下におけるモールドコネクタ性能試験及び安定性向上の研究. 海洋科学技術センター試験研究報告, 34, PP. 93-102. (1996)
- 2) コネクタの試験方法 (MILITARY STANDARD TEST METHODS FOR ELECTRICAL CONNECTORS). 訳 日本電子機械工業会, PP. 28-30. (1976)
- 3) 電子・電気部品の試験法 (Military Standard). 日本企画協会, PP. 178-180. (1986)

(原稿受理：1997年6月4日)