

## 無人探査機「ドルフィン-3K」用光・電気複合 ケーブルの試作試験

服部陸男\*1 青木太郎\*1 大塚 清\*2  
野本昌夫\*1 高橋賢一\*1 佐藤宏一\*1  
久本修三\*3

海洋科学技術センターが1982～1986年にかけて開発する予定の、無人探査機ドルフィン-3Kに使用する光・電気複合ケーブルの試作および試験を行った。試作試験は1983年2月～8月にかけて行われ各種機械的強度試験、耐圧試験の結果、破断強度15ton以上、耐圧性能450kgf/cm<sup>2</sup>(44.1Mpa)程度であり、無人探査機に実用できるケーブルであることが明らかになった。

### Evaluation of a Prototype Fiber Optic and Electromechanical Cable for the Tethered, Unmanned Vehicle Dolphin-3K

Mutsuo Hattori\*4 Taro Aoki\*4 Kiyoshi Ohtsuka\*5  
Masao Nomoto\*4 Kenichi Takahashi\*4 Hirokazu Sato\*4  
Shuzo Hisamoto\*6

A prototype fiber optic and electromechanical Kevlar cable was developed and evaluated for the Dolphin-3K (3300m ROV), whose development began in 1982 and will be completed by 1986. Tests were conducted in accordance with various mechanical and high pressure test plans.

The results show that the same type of cable could be used for the Dolphin 3-K, breaking strength of the cable exceeded 15 tons, and pressure tolerance was about 44.1 Mpa (450 kgf/cm<sup>2</sup>).

---

\*1 海洋利用技術部

\*2 深海開発技術部深海研究運航室

\*3 三井造船株(前海洋利用技術部)

\*4 Marine Exploitation Technology Department

\*5 Deep Sea Research and Submersible Operation Department

\*6 Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. (formerly Marine Exploitation Technology Department)

## 1. 序 論

光ファイバは陸上においては既に実用化され、日本電信電話公社は光通信ネットワークを全国に敷設中である。

海中における光ファイバの実用化の試みは、1975年頃より開始され、1978年には米海軍(NOSC)による使い捨て光ファイバケーブルの研究<sup>1)</sup>が開始されている。米海軍は、1976年よりソノブイ用の光-電気複合ケーブル<sup>2)</sup>、高強度の2重外装-光ファイバケーブルの研究<sup>3)</sup>等も行っており、1983年には自航式無人機「Deep Drone」用の光-電気複合ケーブルを完成し、実用化している。英国においてはHeriott Watt大学(1980)<sup>4)</sup>が自航式無人機用の光ファイバケーブルの研究を行っている。また1983年には光-電気複合ケーブルを使用した自航式無人機「Solo」や「Hydra-2500」が出現している。

わが国ではKDD研究所が自航式無人機「MARCAS」用の“光ファイバ芯入り複合型海洋ケーブル”の研究を1980年頃<sup>5)</sup>より行っており、実用化している<sup>6)</sup>。また光ファイバ心線の耐圧特性については、西村ほか<sup>7), 8)</sup>の研究がある。西村ほかによるとG. I. 型ファイバ心線でも緩衝層のヤング率を小さくするか、口径比を大きくする( $\Delta = 1.5\%$ )、あるいはコア径対ファイバ径の比率を小さくすることにより、静水圧1000 kgf/cm<sup>2</sup>における損失を0.1 dB/km以下にすることができたという。

高強度の光・電力複合ケーブルとしては大谷ほか<sup>9)</sup>の研究がある。また太平洋横断光海底ケーブル(TPC-3)も1988年の実用化にそなえ各種の研究が行われている。

当センターでは、1981年に光ファイバ・電力複合ケーブルの試作を行った<sup>10)</sup>。また小型自航式無人機用の細径光ファイバケーブルの開発を目的として、1981、1982年に特別研究および古河電気工業(株)との間で共同研究を行っている。この共同研究で開発したケーブルは、当センターで開発した500m用の自航式無人機ホーネット-500のケーブルに使用している<sup>11)</sup>。

1982年には、当センターで1982年から1986年にかけて開発する大型の無人探査機、ドルフィン-3K用の高強度光・電気複合ケーブルの試作試

験を行った。以下に藤倉電線(株)に発注して行ったケーブルの試作試験の結果を示す。この試作試験を行うにあたり種々ご協力頂いた藤倉電線(株)被覆線技術部、沼津工場、佐倉工場の各位、当センター海洋利用技術部および工務課の諸氏に謝意を表す。

## 2. 高強度光・電気複合ケーブルの検討

試作に先立ち、「ドルフィン-3K」による使用条件を考慮して、ケーブルの仕様を決定した。

「ドルフィン-3K」の概要を図1に示す。

光ファイバ心線はG. I. 型とし、心線数は6本(うち2本は予備)とした。光ファイバ心線の耐圧性については、1000 kgf/cm<sup>2</sup>程度は技術的に達成可能である。また長期的に応力を加えた時の強度の劣化およびスクリーニングによる強度の劣化は確率的な保証法で予測される<sup>12)</sup>。水分の影響による強度の劣化も存在し、水分の影響を考慮しない場合に比べ許容応力が $\frac{2}{3} \sim \frac{1}{2}$ になるという<sup>13)</sup>。光ファイバの上記の特徴を考慮して、今回の試作ケーブルに使用するファイバ心線は、水密、耐圧性のチューブに収納し、外圧が直接作用せず、またケーブル本体がのびてもファイバ心線には張力がかからない構造とした。ファイバ心線はスクリーニングを1%の伸び歪みで行うこととした。

電力線は動力線、制御用電力線を分離した。ケーブルの主要な仕様を以下に示す。

- 1) 最大使用水深：3,300m
- 2) 試験圧力：375 kgf/cm<sup>2</sup>  
(使用圧の1.1倍)
- 3) ケーブル外径： $\phi 30$  mm
- 4) ファイバ心線：G. I. 型、6本以上  
(耐圧チューブ内収納)
- 5) 動力線：ケーブル長5,000mの時  
送電端 AC 2500 V 3 $\phi$  60 Hz  
受電端 AC 2000 V 50 KVA
- 6) 制御用電力線：ケーブル長5,000mの時  
送電端 AC 2500 V, 単相, 60 Hz  
受電端 AC 2000 V, 5 KVA
- 7) 破断強度：15トン以上、15トン張力時に光ファイバの伸び率は1%を越えないこと。
- 8) 外被等：水密構造とする。

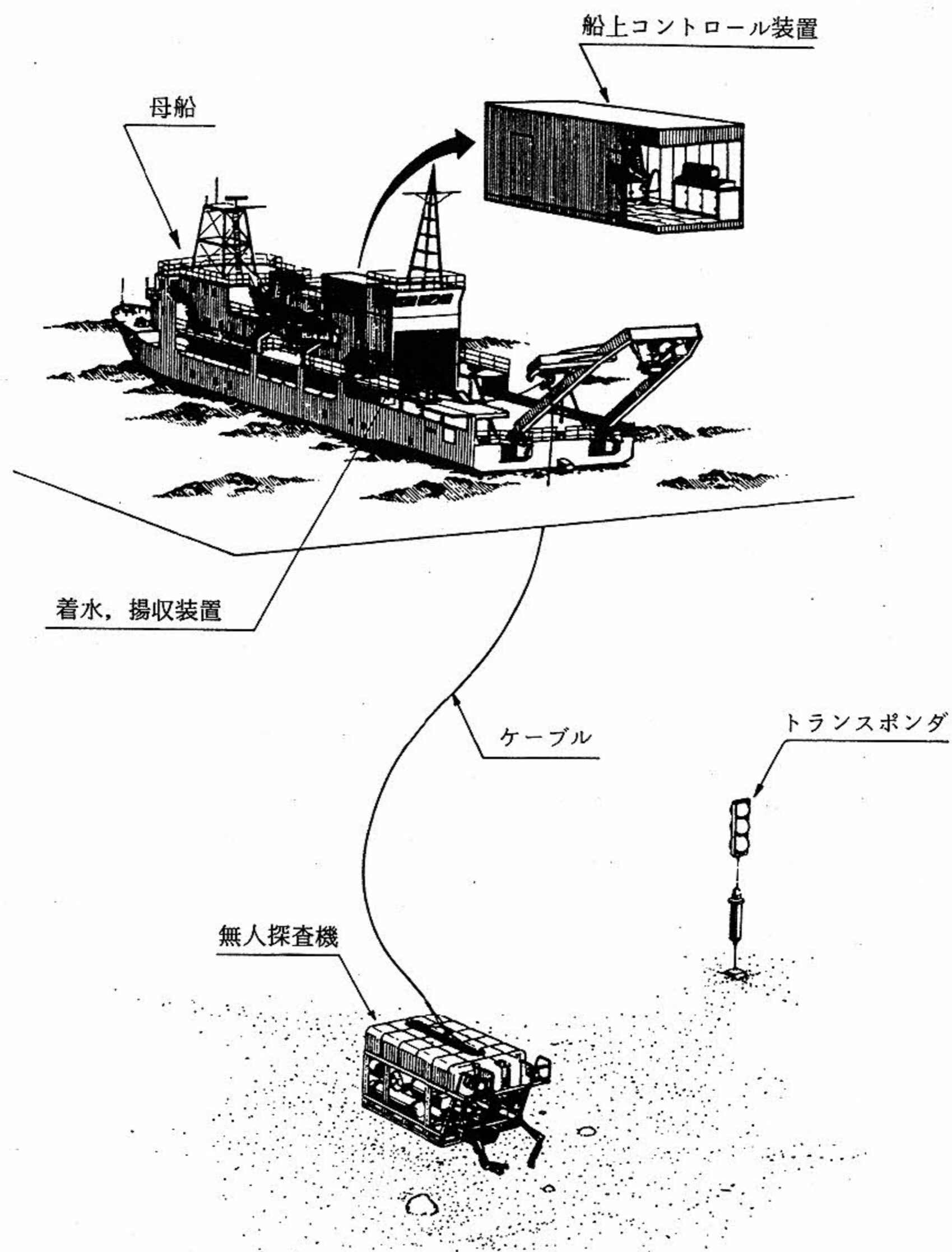


図1 ドルフィン-3 K システム仕様  
Dolphin-3 K System

1. 無人探査機

- 1) 寸法 約3 (長さ) × 2 (幅) × 2 (高さ) (m)
- 2) 重量 空中/水中 約3.3トン/-10キログラム
- 3) 使用水深 3,300 m
- 4) ペイロード 最大150キログラム
- 5) 速度 前進3ノット, 後進2ノット, 左/右1.5ノット, 上/下1ノット
- 6) 推進装置 電動油圧方式, 前/後スラスト×2, 上/下スラスト×2, 左/右スラスト×2
- 7) 観測, 調査用装置 カラーテレビカメラ, 白黒低照度ステレオテレビカメラ, テレビ用照明×6, 35mmスチルカメラ, CTDV, 流速計, バイラテラルマニピュレータ (7自由度), グラバ (5自由度), カッタ×2
- 8) 航海用装置 前方障害物探査ソナー, 方位探知ソナー, 高度ソナー, 深度計, ジャイロコンパス, 傾斜計, レートセンサー

2. 船上装置

- 1) 船上コントロール装置
- 2) 着水, 揚収装置 (光ファイバ電力複合ケーブル, 直径30mm, 長さ約5,000m)
- 3) 音響航法装置

Specifications

1. Vehicle

- 1) Dimensions : 3(L) × 2(W) × 2(H) m
- 2) Weight : In air/in water 3.3 tons / 10kg buoyancy
- 3) Operating depth : 3,300 m
- 4) Payload : 150 kg (Max)
- 5) Speed : Forward 3 knots, Reverse 2 knots, Port/Stbd 1.5 knot Up/down 1 knot.
- 6) Propulsion : Hydraulic F/R 2 × 11kw  
P/S 2 × 7 kw  
U/D 2 × 7 kw
- 7) Instrumentations : Color TV, b/w Stereo LLL TV, Light × 6, 35mm Still Camera, CTDV, Current meter, Force Feed Back Manipulator (7 d. f.), Grabber (5 d. f.), Cutter × 2
- 8) Navigational equipments : Obstacle avoidance sonar, Altitude sonar, Depth meter, Gyrocompass, Rate sensor, Tilt meter

2. On board equipments

- 1) Control Van
- 2) Launch and retrieval equipments (5,000m, electro mechanical-fiber-optic Cable)
- 3) SSBL acoustic navigation

- 9) 伝送損失：静的 3dB/km 以下  
(光波長 0.80-0.9  $\mu\text{m}$ )  
1 dB/km以下 (光波長 1.20-1.30  $\mu\text{m}$ )  
動的 ケーブル化した時の曲げ、加圧等の  
試験時において静的損失+ 1 dB/km 以下で  
あること

### 3. 試作試験

#### 3.1 試験の概要

ケーブルの試作は、1983年2月～3月に行い、このケーブルについて同年3月～5月まで各種試験を行った。ケーブルの構造を図2に示す。1983年5月に当センターの高圧実験水槽(有効内径1.4m、長さ3m、最大加圧1,560 kgf/cm<sup>2</sup>)において、長さ200mのケーブルの耐圧試験を行った。伝送損失を測定しつつ加圧したところ、100 kgf/cm<sup>2</sup>～150 kgf/cm<sup>2</sup>でファイバ心線は断線状態となった。この資料について解体調査を行ったところ、光ファイバ心線を収納している耐圧パイプが、外部シース押し出し時の熱履歴により収縮し、パイプ内の光ユニットがパイプの壁に押しつけられていることがわかった。このため水圧を加えるにつれ、ナイロンパイプ径が縮小し、光ユニットがパイプの壁に強くこすられて断線したと推定された。

上記試験の後、2回目の試作試験を行った。以下2回目の試作試験について述べる。試作したケーブルについては表1に示す試験を実施した。

表1の試験項目のうち主要なものについて以下に述べる。その他の試験についても仕様を満足している。

#### 3.2 光ファイバ伝送損失

ドラム巻きした完成ケーブル全長について波長0.85  $\mu\text{m}$  および1.3  $\mu\text{m}$  の伝送損失を測定した。測定した値をkm当たりの伝送損失に換算した結果を表2に示す。

光ファイバ心線6心のうち波長0.85  $\mu\text{m}$  では2.60 dB/km～2.78 dB/kmの損失、波長1.3  $\mu\text{m}$  0.57 dB/km～0.69 dB/kmの損失を示し、ケーブル化による損失はほとんど認められず、規定値を満足した。

#### 3.3 連続屈曲試験

連続屈曲試験は、高側圧連続屈曲試験機を用いて図3に示す方法で行った。

この試験は加速試験で、プーリ径を1mとし、ケーブル引っ張り荷重を4ton、5ton、7ton、10tonでそれぞれ行い、4tonより低い加重の場合は、それぞれの測定値をプロットしたグラフにより推定した。表3に2回の測定結果を示す。

表3に基づいて作成したグラフ上からケーブルの最大張力が2ton、3tonおよび3.5tonの場合の連続屈曲回数を推定すると、2tonの場合50万回、3tonの場合15万回～20万回、3.5tonの場合5万～8万回となる。実際に無人探査機を使用する場合の最大張力を推定すると表4の様になる。

表4でラムテンションのバネ常数を300 kg/m以下にすれば、水中重量2tonの曳船用重錘を取りつけても、ケーブルに働く最大張力はSea State 4で3.5ton程度であり、この張力でも5万～8万回のしごきに耐えられる。通常は1ton程度の張力で使用するので全く問題無いと考えられる。

#### 3.4 繰り返し引っ張り試験

ケーブル長約9.5mの両端に引き留め金物を取り付け、横型アムスラ引っ張り試験機を用いて繰り返し引っ張り試験を行った。試験は、張力15tonで2回、張力12tonで1回行った。15tonで100回繰り返した資料はケブラ強度メンバが72本中1本破断しているのが認められた。61回繰り返したものについては異常は認められなかった。100回繰り返した試験の結果を図4に示す。15ton張力時でのケーブルの伸びは1.7～1.8%、また伝送損失は13ton程度まで認められなかった。この時のケーブルの伸びは1.5～1.6%であった。張力12tonで50回行った試験では全く異常が認められなかった。

#### 3.5 繰り返し捻回し試験

ケーブル長1mの部分に100kgの荷重をかけ、 $\pm 45^\circ$ の捻回しを捻回し試験機で連続4000回与えた。試験後解体調査したが異常は認められなかった。

#### 3.6 破断張力試験

ケーブル長約9.5mの両端に引き留め金物を取り付け、横型アムスラ引っ張り試験機を用いて破断するまで張力を加えた。3本の資料について試験を行った。破断張力は、15.6ton、16.5tonおよび18.8tonであった。15.6tonで破断したものは、端末部で内外層のケブラ強度メンバが抜けた

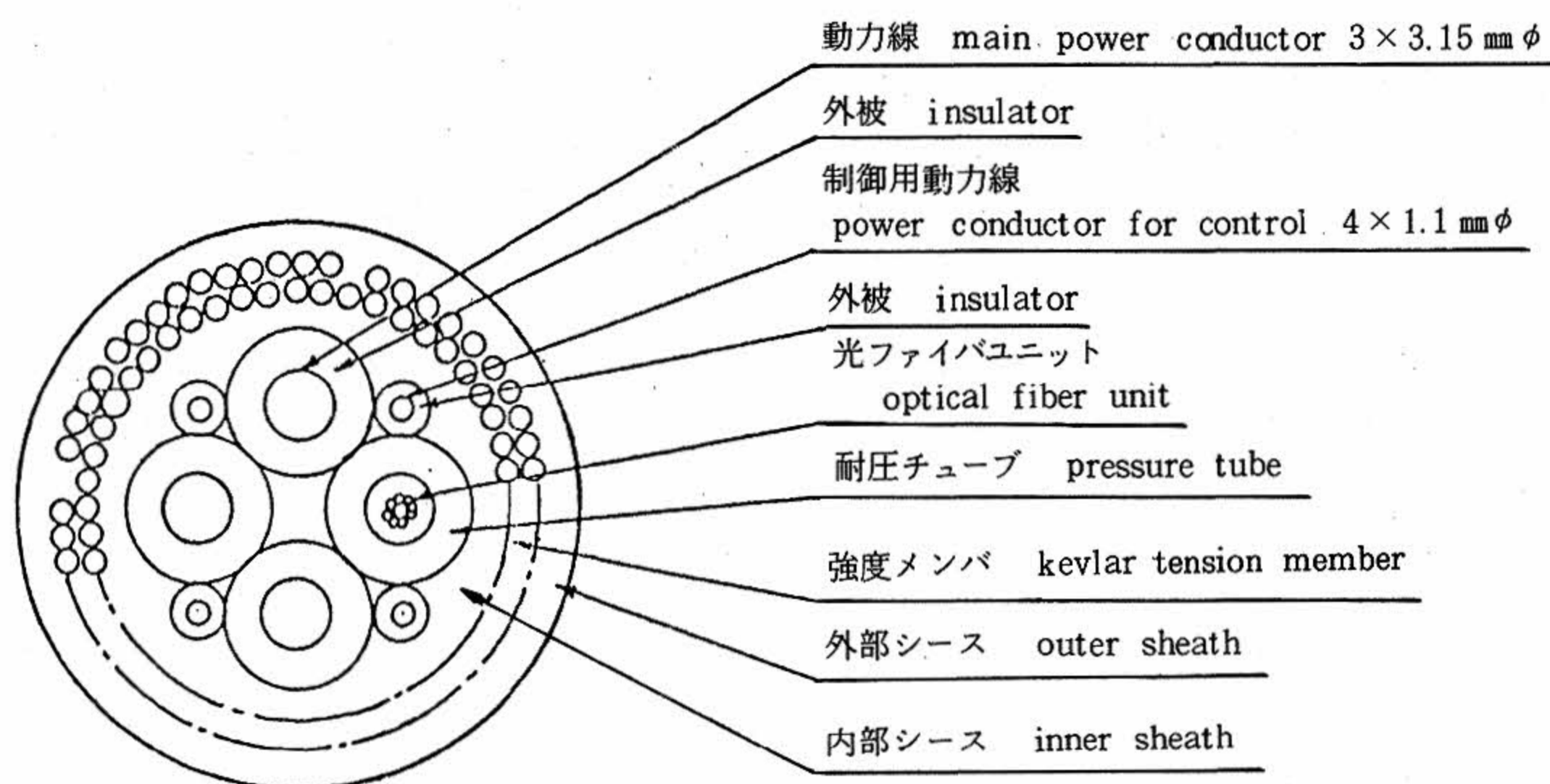


図2 ケーブルの構造  
Test cable cross section

表1 試験項目  
Items of mechanical test of the cable

分類 classification	試験項目 items	使用ケーブル長 cable length
一般 general	構造 structure	1 m
	導体抵抗 conductor resistance	200 m
	絶縁抵抗 insulation resistance	200 m
	耐電圧 withstand voltage	200 m
	光ファイバ伝送損失 transmission loss of optical fibers	200 m
特殊 special	多層ドラム巻ケーブルの温度測定 temperature measurements of coiled cable	200 m
	連続屈曲 cyclic bending	9 m x 4
	繰り返し引張り cyclic tension	9.5 m x 3
	繰り返し捻回 cyclic twist	1 m x 2
	破断張力 breaking strength	9.5 m x 3
	耐水圧 high pressure test	200 m

表2 光ファイバ伝送損失測定結果（ケーブル化後）

Measured transmission losses of optical fibers (after cabling)

線心 fibers	波長 wave length 0.85 μm		波長 wave length 1.3 μm	
	規定値 (dB/km) specified value	測定値 (dB/km) measured value	規定値 (dB/km) specified value	測定値 (dB/km) measured value
赤 red	3.0	2.60	1.0	0.51
青 blue		2.73		0.66
原 <sub>1</sub> No. 1		2.78		0.69
原 <sub>2</sub> No. 2		2.78		0.68
原 <sub>3</sub> No. 3		2.78		0.68
原 <sub>4</sub> No. 4		2.73		0.65

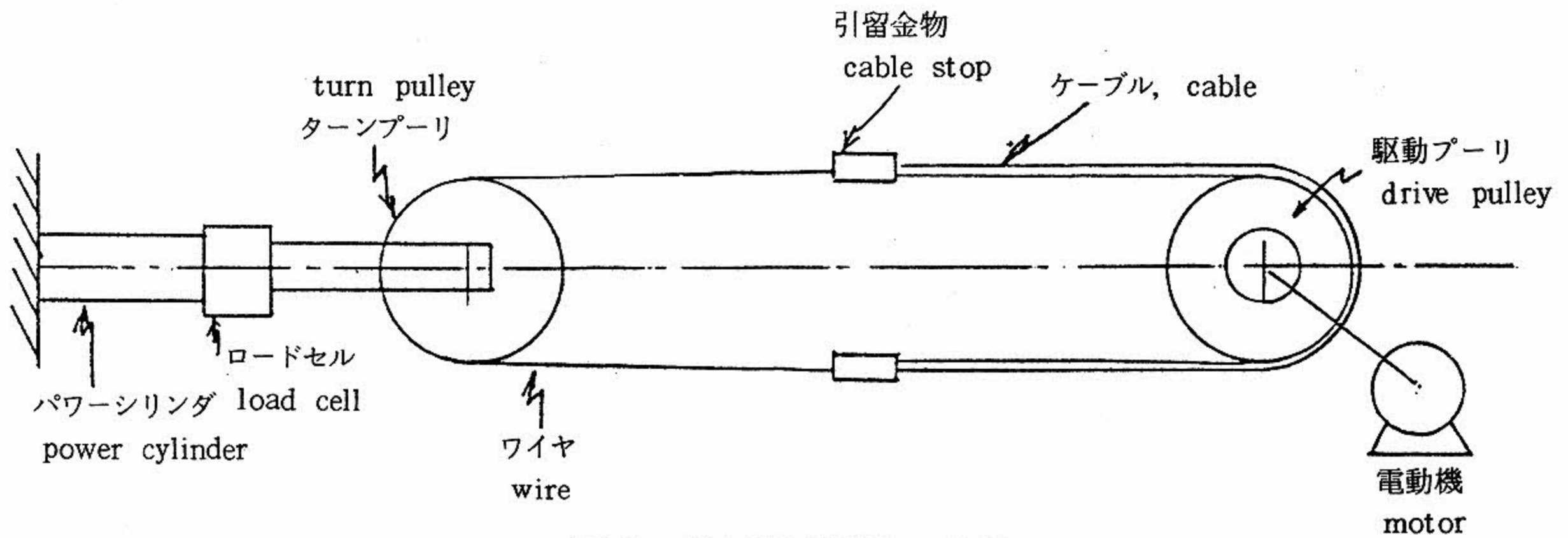


図3 連続屈曲試験の状況  
Cyclic bending test

表3 連続屈曲試験結果

Results of cyclic bending test

No.	プーリ直径(m) diameter of pulley	ケーブル引張り荷重 cable tension	試験側圧 (ton/m) side pressure	破断までの屈曲回数 number of bending before breaking
1-1	1.0	4.0	8.0	20.060
2-1	"	"	"	21.264
1-2	"	5.0	10.0	3.960
2-2	"	"	"	4.120
1-3	"	7.0	14.0	876
2-3	"	"	"	345

表4 ケーブルに働く最大張力

Calculated maximum tensions of the cable

ラムテンションバネ常数 $k_1 = \text{kg/m}$ spring constant of rum tensioner	ビークル吊り下げ時 hanging vehicle 索張力 cable tension 660 kg	重錘+ビークル吊り下げ時 weight plus hanging vehicle 索張力 cable tension 2660 kg
100	923 (kg)	2,921 (kg)
200	1,214	3,206
300	1,629	3,521
400	1,972	3,864
500	2,325	4,250

(基本設計報告書 (MS) による. Sea State は 4)

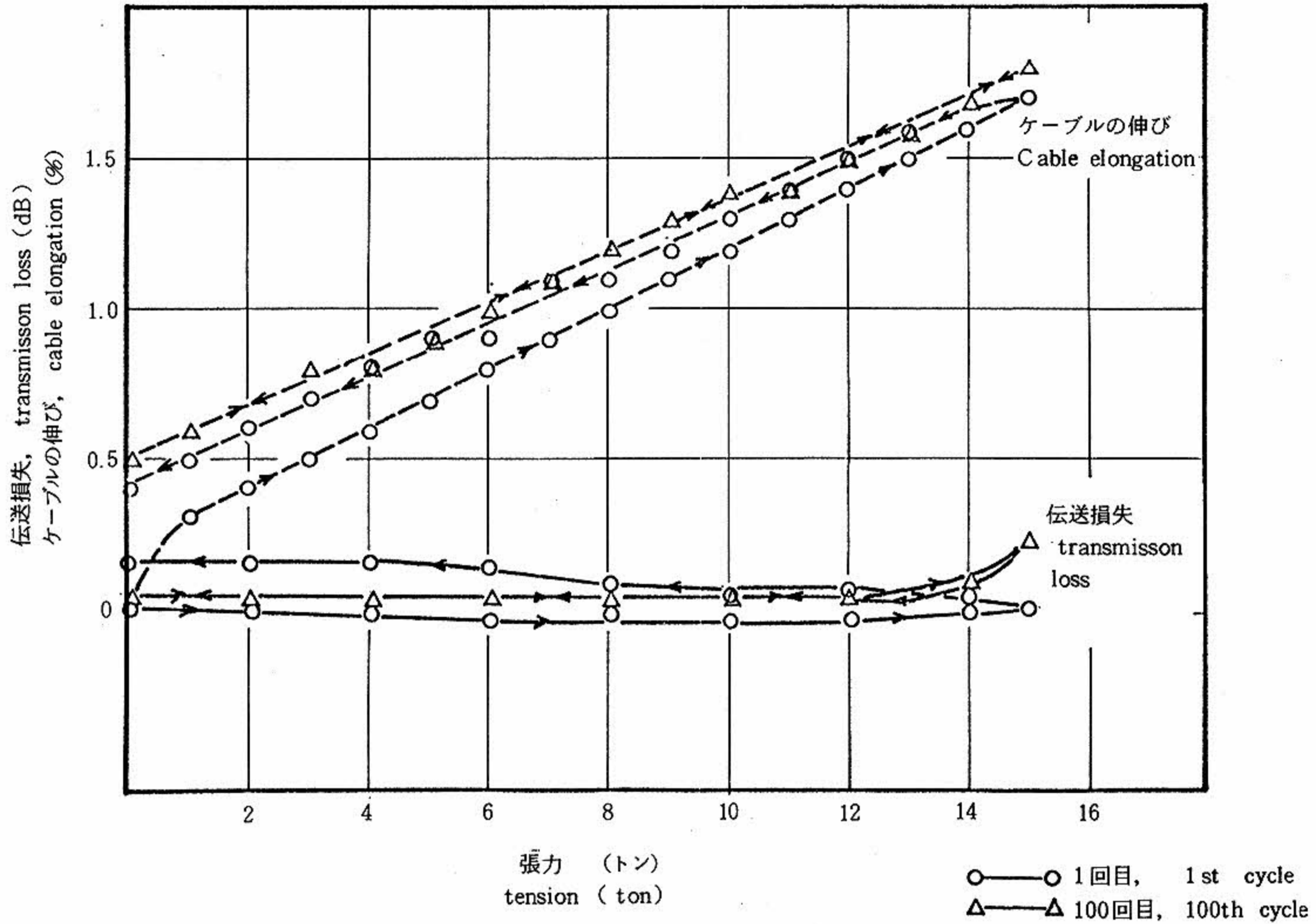


図4 繰返し引張試験の結果

Results of cyclic tension tests

もので、ほかの2本は端末部で外層ケブラの線心が破断している。3本とも端末部で破断しており、端末部の加工を工夫することにより安定した強度が得られると推定される。なお18.8ton破断時のケーブルの伸びは2.2%であった。写真1に破断張力試験の状況を示す。

### 3.7 耐水圧試験

当センターの高圧実験水槽を用いて水圧試験を行った。水圧試験には、両端に引き留め金物を取り付けφ60cmのドラムに巻いたケーブル200mを使用した。引き留め金物の片端は、アダプタを取り付け、水槽蓋の貫通金物用のネジ穴を通してケーブル約5mを水槽外に導いた。片端には小型の円筒形の耐圧容器を取り付け、その中で200mの光ファイバ心線を結線して400mとし、光伝送損失の測定を行った。6本のファイバ心線のうち2本ずつ結線し、1対は短波長用(0.85μm)、1対は長波長用(1.3μm)とした。残りの1対は予備用とした。

耐圧試験は表5の項目について実施した。写真2に水槽蓋に取り付けたケーブルを示す。

光伝送損失は水槽内でターンさせたファイバ心線についてオプチカルパワーメータを用いて波長0.85μmと1.3μmについて連続測定した。必要に応じてフォールト・ロケータにより損失増加部を調査した。また、ケーブルの周方向、軸方向の歪みをケーブル終端より1m、始端より20~30mの点で測定した。

以下耐圧試験結果について述べる。なお昇圧、降圧速度は60kgf/cm<sup>2</sup>/分(5.9Mpa/分)とした。

#### 3.7.1 予備試験

水蓋の水漏れをチェックするため200kgf/cm<sup>2</sup>まで加圧した。加圧による伝送損失は認められなかった。

#### 3.7.2 耐圧試験

加圧試験は5回行った。その方法は次のとおりである。

##### (1) 375kgf/cm<sup>2</sup>(36.8Mpa)耐圧試験

水圧100kgf/cm<sup>2</sup>(9.8Mpa)ごとに3分間停止し伝送損失の測定を行った。最高圧376kgf/cm<sup>2</sup>では10分間保持し、その後100kgf/cm<sup>2</sup>ごとに3分間停止して降圧した。

##### (2) 伝送損失が1.0dB/km(0.4dB/400m)以上

変化する水圧までの加圧

2. 高強度光・電気複合ケーブルの検討で示した仕様である、加圧による伝送損失1.0dB/kmに達する水圧を求めるために行った。450kgf/cm<sup>2</sup>(44.1Mpa)で0.4dB/kmを越えたので、453kgf/cm<sup>2</sup>で加圧を停止し降圧した。伝送損失は加圧前の値に戻った。

##### (3) 375kgf/cm<sup>2</sup>(36.8Mpa)繰り返し加圧

375kgf/cm<sup>2</sup>までの加圧を2回行った。1回目の加圧では、短波長で270kgf/cm<sup>2</sup>、長波長で300kgf/cm<sup>2</sup>あたりから損失が増加しているが、降圧することにより初期値に戻っている。2回目の加圧でも同様な傾向を示した。この時、フォールト・ロケータにより、損失の増大した位置を測定したところ、写真3~写真5に示すようにファイバ心線の水槽中でのターン部分で損失が増大している。この原因はケーブル引き留め金物内でファイバ心線を固定していなかったため、加圧によりターン部分にファイバ心線が押し出されファイバ心線の曲率が増大したためと考えられる。

##### (4) 600kgf/cm<sup>2</sup>(58.8Mpa)耐圧試験

最後に600kgf/cm<sup>2</sup>までの加圧を行った。光伝送損失は、繰り返し試験の結果、300kgf/cm<sup>2</sup>位から増大することは予想された。しかし、ケーブルの加圧による変形およびファイバを収納したチューブの耐圧性を知るためにこの試験を行った。加圧は600kgf/cm<sup>2</sup>まで行い、600kgf/cm<sup>2</sup>で保持せずそのまま降圧した。光ファイバ心線は500kgf/cm<sup>2</sup>から断線状態となり、降圧後も復元しなかった。

上記の試験の結果を図5に示す。光ファイバの伝送損失は453kgf/cm<sup>2</sup>まで加圧した時の値を示す。短波長は400kgf/cm<sup>2</sup>、長波長は450kgf/cm<sup>2</sup>で損失が急激に増加しており、先に述べたターン部での損失を考えてもこのケーブルの耐圧性能は450~500kgf/cm<sup>2</sup>止まりであると推定される。図5の歪みの計測値(0.3)の値を見ても500kgf/cm<sup>2</sup>付近で急激に増加しており、この時点でファイバ心線を収納している耐圧チューブが変形したものと推定される。藤倉電線(株)社内実験でも480kgf/cm<sup>2</sup>まではチューブが変形しないという結果を得ている。フォールト・ロケータによる観察でも500kgf/cm<sup>2</sup>を越えるとケーブル内のファイバ心線部での損失の増加が観察される。

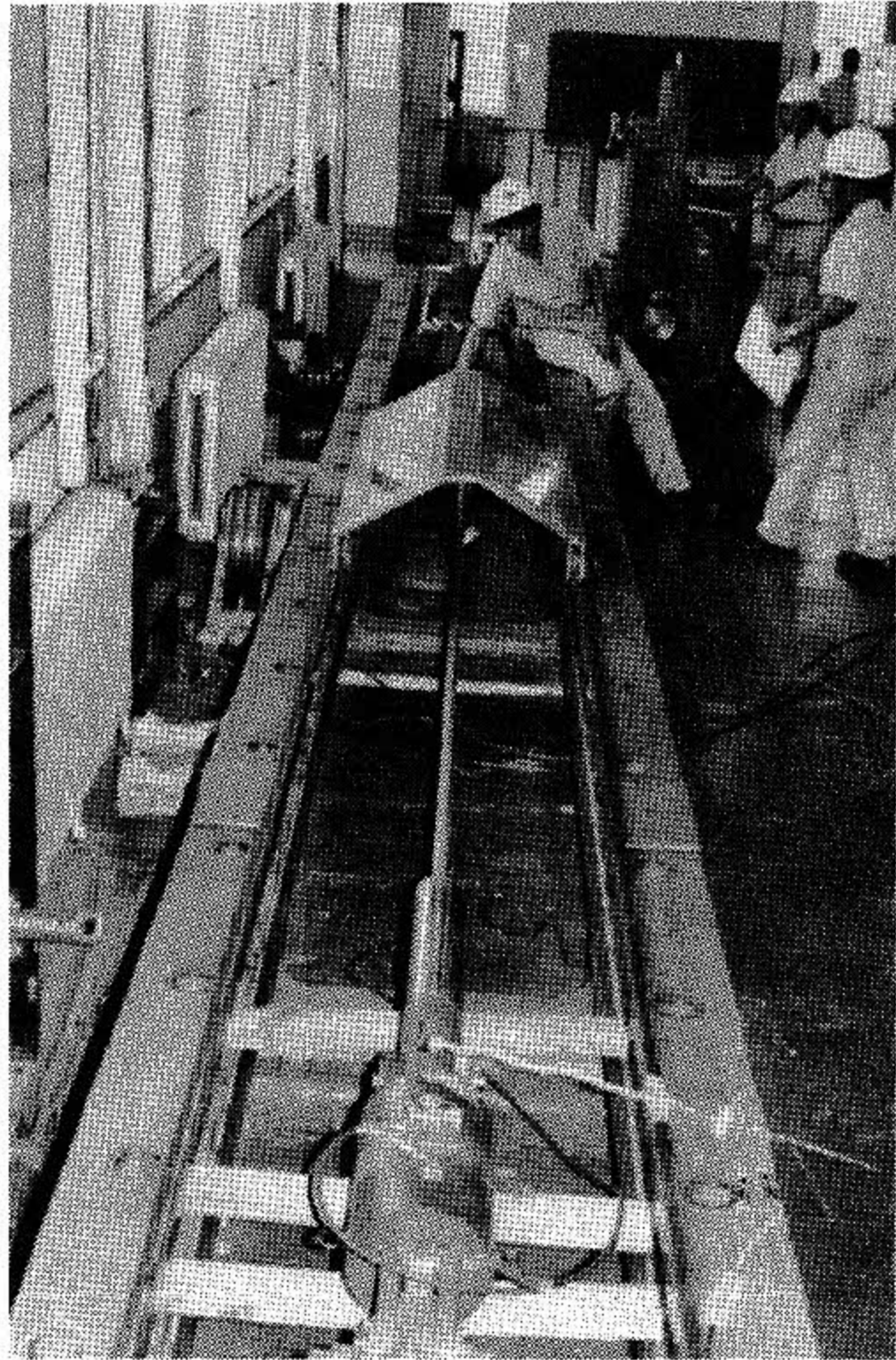


写真1 破断試験  
Breaking test of the cable

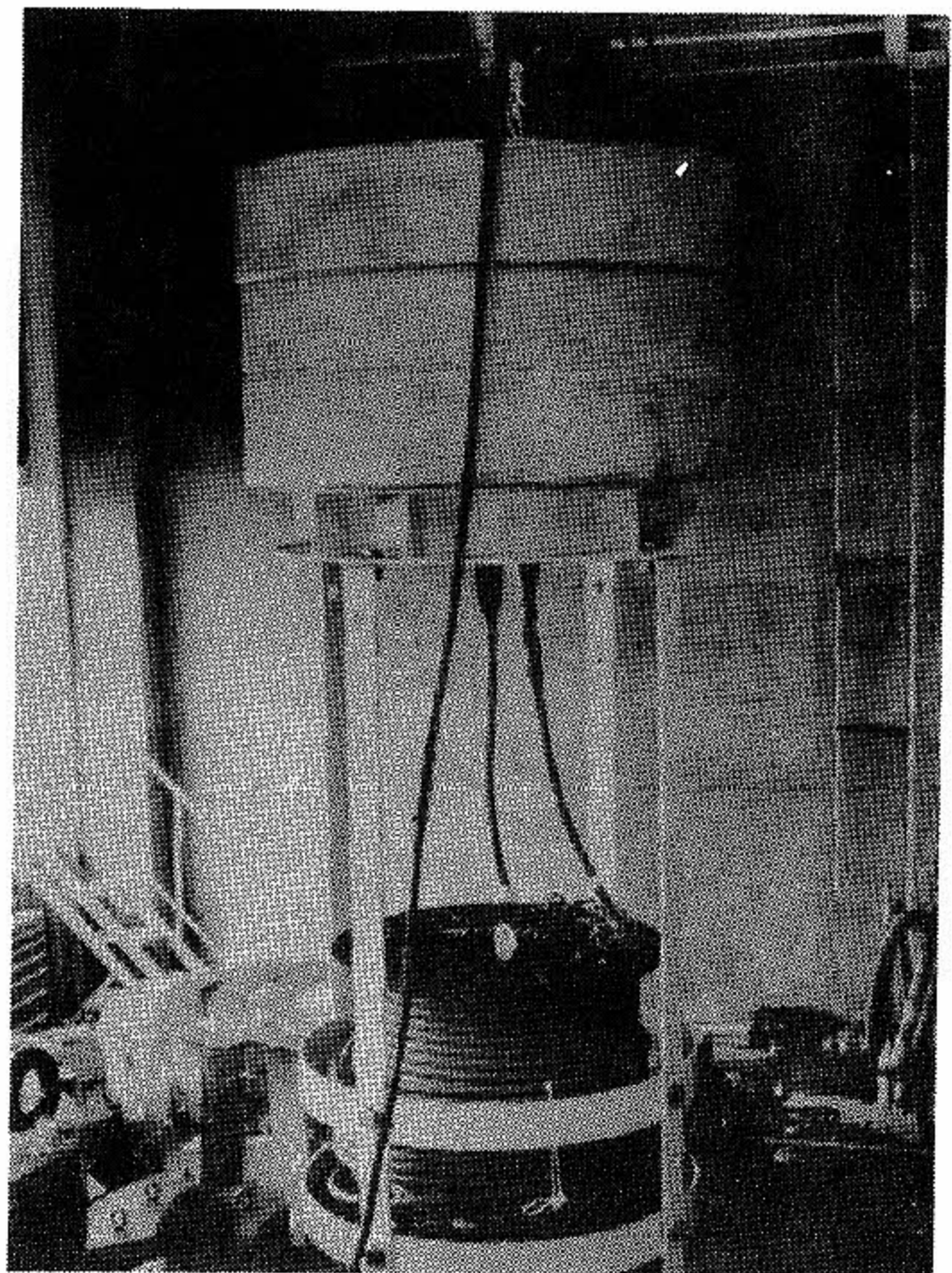
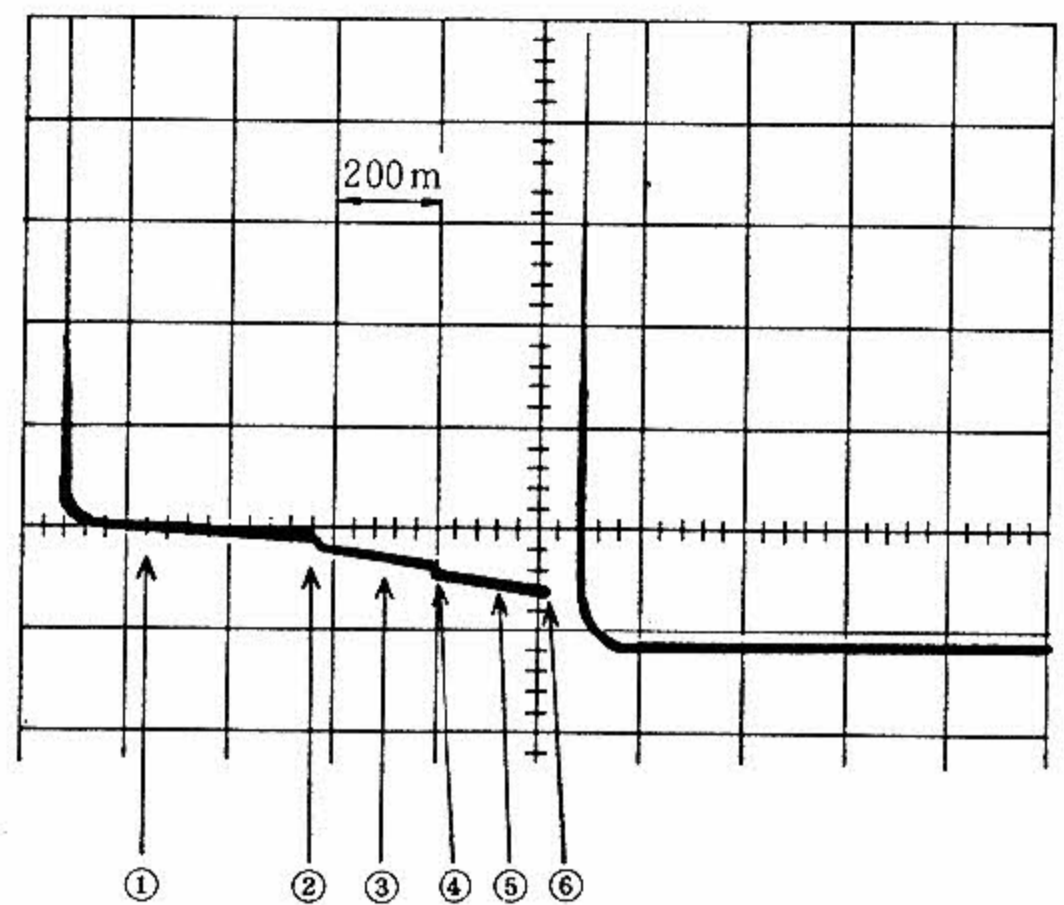
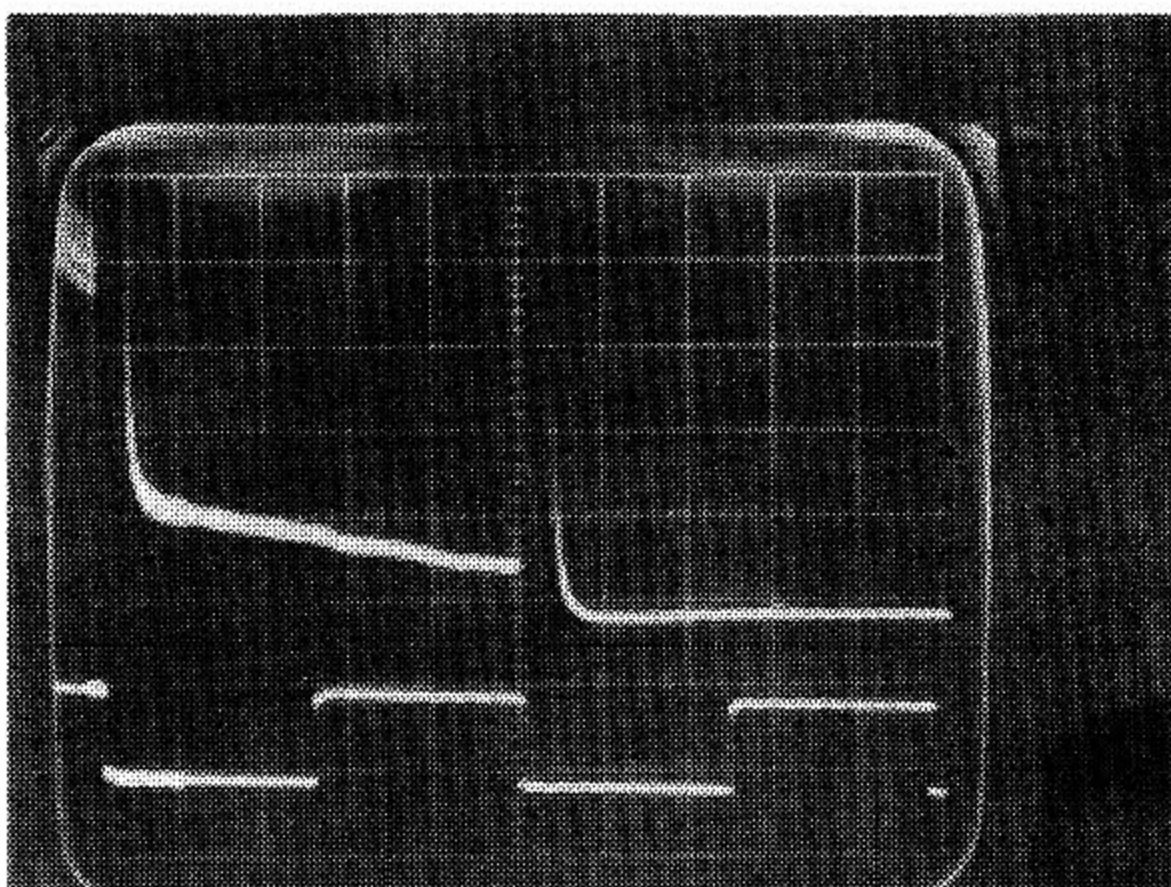
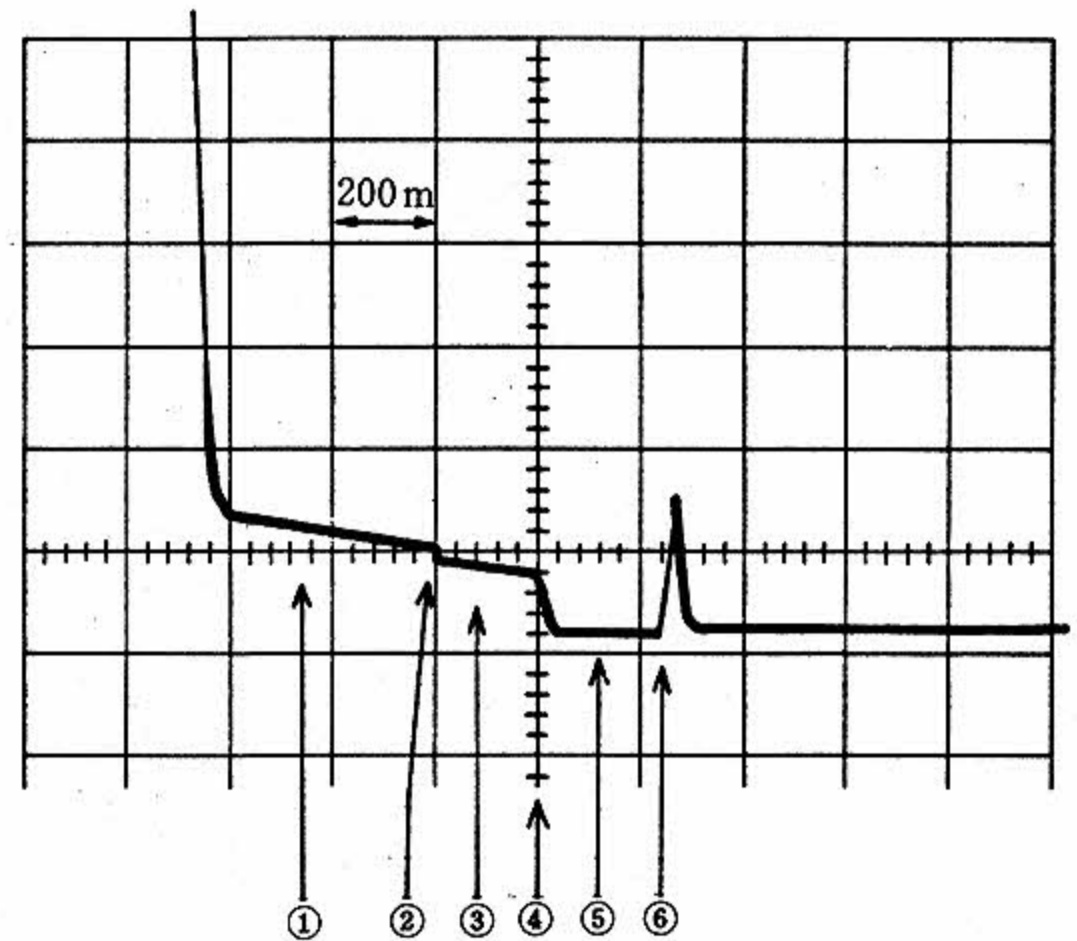
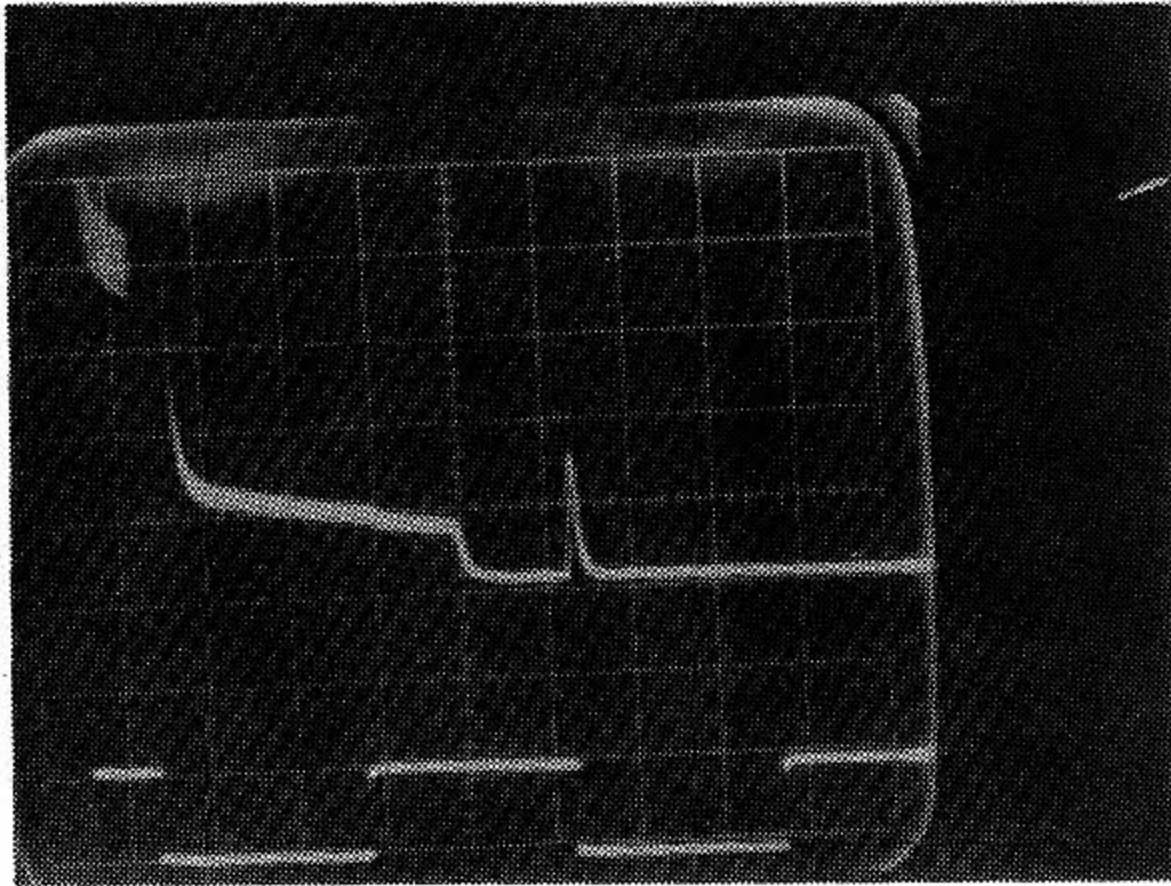


写真2 耐圧試験用ケーブル  
cable for high pressure test



- ① ダミーファイバ部での損失分 (500m)  
loss in dummy fiber (500m)
- ② ダミーファイバとケーブルの接続部  
connection loss between dummy fiber and the cable
- ③ 入射ケーブル線心での損失分 (200m)  
loss in going part of the cable (200m)
- ④ 折返し部での接続損失  
connection loss at turning point
- ⑤ 帰路ケーブルでの損失分  
loss in returning part of the cable (200m)
- ⑥ 帰路ケーブルとフォルトロケータの接続反射  
connection loss between return cable and the fault locator

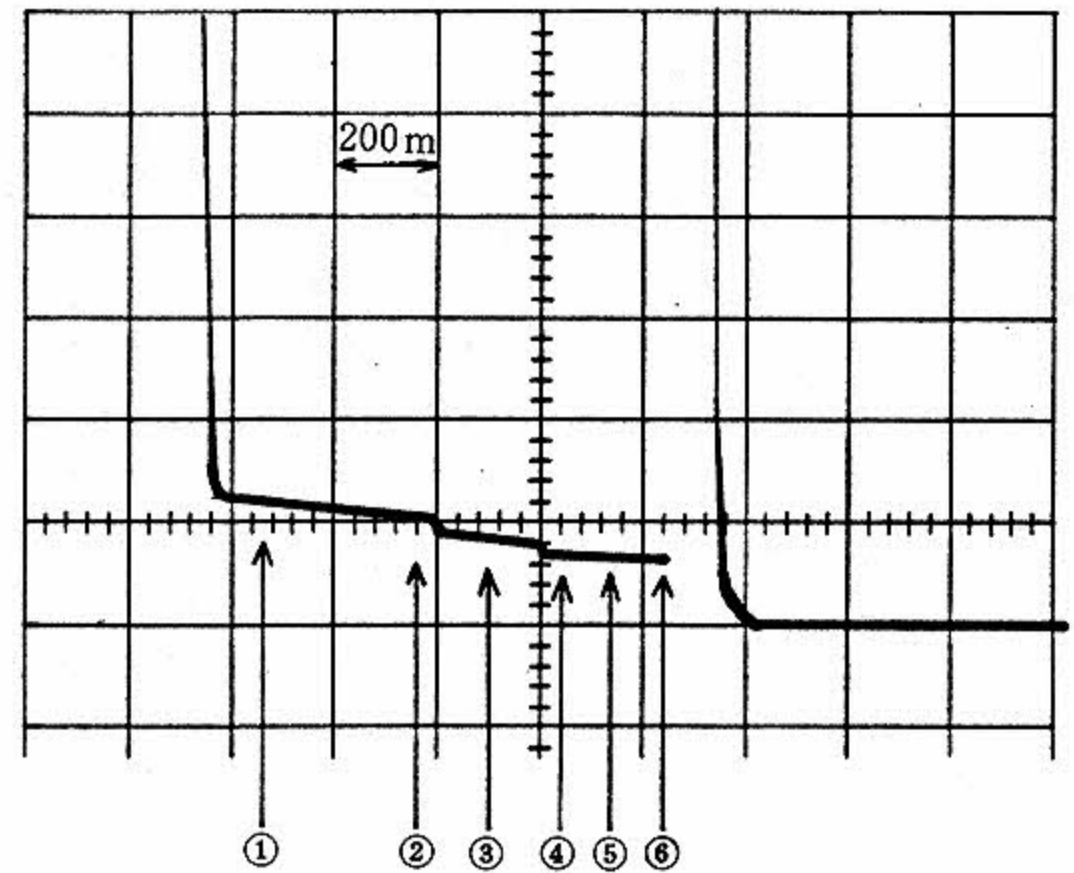
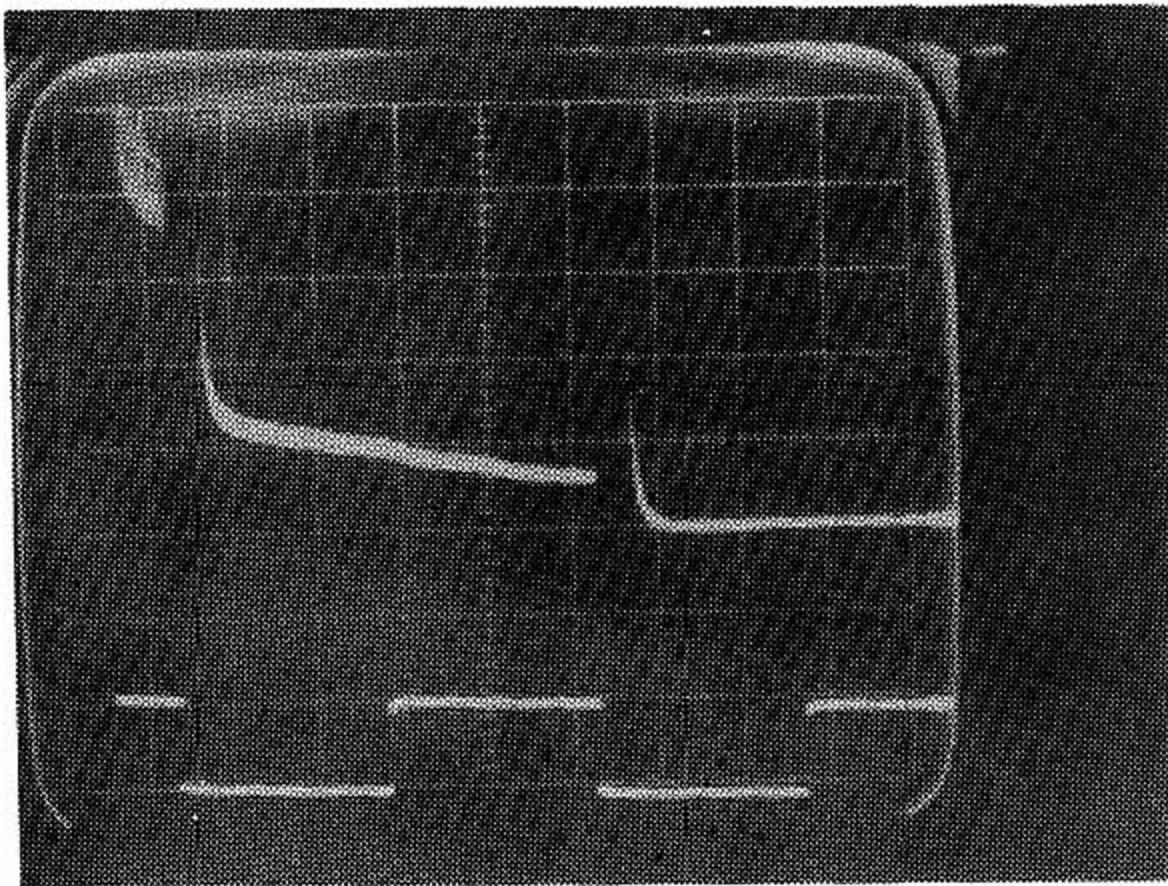
写真3 フォルトロケータによる記録  
375 kgf/cm<sup>2</sup>加圧後, 0 kgf/cm<sup>2</sup>時  
Record of the fault-locator  
at the pressure 0 kgf/cm<sup>2</sup> after the giving 375 kgf/cm<sup>2</sup>



- ① ダミーファイバ部での損失分 (500m)  
loss in dummy fiber (500m)
- ② ダミーファイバとケーブルの接続部  
connection loss between dummy fiber and the cable
- ③ 入射ケーブル線心での損失分 (200m)  
loss in going part of the cable (200m)
- ④ 折返し部での接続損失  
connection loss at turning point
- ⑤ 帰路ケーブルでの損失分  
loss in returning part of the cable (200m)
- ⑥ 帰路ケーブルとフォルトロケータの接続反射  
connection loss between return cable and the fault locator

写真4 フォルトロケータによる記録  
375 kgf/cm<sup>2</sup> 2回目加圧保持時

Record of the fault-locator at the second keeping pressure 375 kgf/cm<sup>2</sup>



- ① ダミーファイバ部での損失分 (500m)  
loss in dummy fiber (500m)
- ② ダミーファイバとケーブルの接続部  
connection loss between dummy fiber and the cable
- ③ 入射ケーブル線心での損失分 (200m)  
loss in going part of the cable (200m)
- ④ 折返し部での接続損失  
connection loss at turning point
- ⑤ 帰路ケーブルでの損失分  
loss in returning part of the cable (200m)
- ⑥ 帰路ケーブルとフォルトロケータの接続反射  
connection loss between return cable and the fault locator

写真5 フォルトロケータによる記録  
375 kgf/cm<sup>2</sup> 2回目印加後, 0 kgf/cm<sup>2</sup> 時

Record of the fault-locator at the pressure 0 kgf/cm<sup>2</sup> after the second giving 375 kgf/cm<sup>2</sup>

表5 耐圧試験実施項目

Items of high pressure test of the cable

No.	項目 items	試験水圧 (kgf/cm <sup>2</sup> ) test pressure (Mpa)
1	予備試験 preparatory test	200 (19.6)
2	375 kgf/cm <sup>2</sup> 耐圧試験 pressure test	375 (36.8)
3	伝送損失が 1.0 dB/km 以上変化する水圧 pressurization where transmission loss increase to 1.0 dB/km	ma × 600 (58.8)
4	375 kgf/cm <sup>2</sup> 繰返し加圧 cyclic test	375 (36.8)
5	600 kgf/cm <sup>2</sup> 耐圧試験 pressure test	600 (58.8)

歪みの測定は、共和電業(株)の歪みゲージKFC-5-CI-11を3線式結線で防水加工して行った。記録は、共和電業(株)製のU-CAM-8BLを用いて10kgf/cm<sup>2</sup>ごとに行った。図5に示すようにケーブルの端末より離れた部分の周方向の歪みが最も多い。600kgf/cm<sup>2</sup>における周方向の歪みは約8,000マイクロストレインで0.8%の縮小率になる。これは直径30mmとすると円周にして0.75mm直径にして0.2mmの縮小となる。また軸方向の歪みはケーブルの中間で160マイクロストレイン、ケーブル端末より1mの所で720マイクロストレインとなる。これはケーブルの長さ200mとするとそれぞれ32mm, 144mmの縮小となる。軸方向の縮小は、水槽中のターン部において、ファイバユニットが1mほどケーブル中より押し出されており、損失の原因になったことからわかる。

#### 4. 結論

無人探査機用高強度光・電気複合ケーブルの試作の結果、仕様をほぼ満足できるケーブルの開発ができた。今後ケーブル引き留め部の強度の安定性、耐圧性能の向上の研究、光コネクタの開発等

を行い、より安全に使用できるケーブルを開発する予定である。

#### 文献

- 1) Cowan, S. J. et al., "Fiber-optic communication Links for Unmanned Inspection Submersibles," NOSC Tech. Rept. 652, (1980)
- 2) Holler, R. A. "Electromechanical and Fiber Optic Kevlar Cables for Advanced Sonobusys" Proc. OCEANS '80, Seattle, 1980-9, IEEE, 407-415
- 3) Naval Electronics Laboratory Center "Fiber-optic Undersea Tow Cable Optical and Environmental Test" NELCTR 2006, (1976)
- 4) Dunbar, R. M., Holmes, R. T. "Optical Fibers in Underwater Applications" Proc. Oceanology International 80, Brighton, 1980-3, BPS Exhibitions, Session J 9-12
- 5) 岩本喜直ほか, 1980, "光ファイバ芯入り複合型海洋コントロールケーブル" 電子通信学

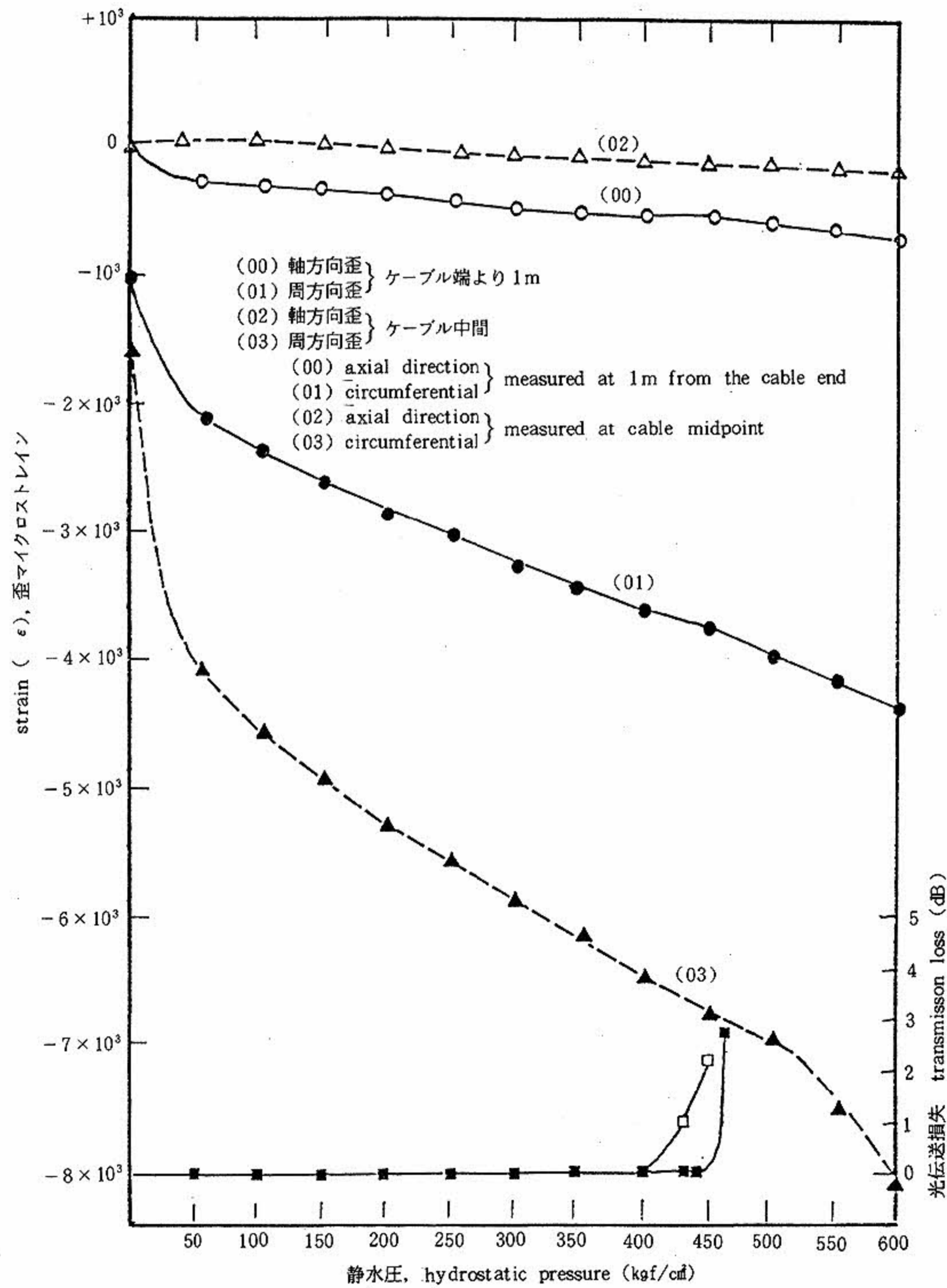


図5 試験用ケーブルの水圧試験結果  
Results of pressure test of the cable

- 会技報 CS80-142, 49-54
- 6) Iwamoto, Y. et al., "Fiber-Dptic-Tethered Unmanned Submersibles for Searching Submarine Cables", Proc. OCEANS '82, Washington D. C. 1982-09, Mar. Tech, Soc./IEEE, 65-72
  - 7) 西村真雄ほか, 1979, "ファイバパラメータの異なるファイバ芯線の水圧特性" 電子通信学会総合全国大会講演要旨 1857, 7-296
  - 8) 西村真雄ほか, 1979, "光ファイバ被覆構造と水圧特性", 電子通信学会総合全国大会講演要旨 1858, 7-297
  - 9) 大谷昇一ほか, 1981, "深海無人調査機用光・電力複合アンビリカルケーブルの開発", 住友電気技報, (119) 1-11
  - 10) 中埜岩男, 江村富男, 1982, "光ファイバケーブルの試作", JAMSTECTR(8), 65-79
  - 11) 青木太郎ほか, 1984, "自航式ビークル HORNET-500 の開発", JAMSTECTR(12), 39-49
  - 12) 満永豊ほか, 1981, "スクリーニング試験による光ファイバ心線引っ張り強度の保証", 電子通信学会総合全国大会講演要旨 1843, 7-286
  - 13) 満永豊ほか, 1982, "水分の影響を考慮したスクリーニング試験による光ファイバ心線引っ張り強度の保証法", 電子通信学会総合全国大会講演要旨 1833, 7-275