

〈研究発表〉

通信中の光ファイバー健全性確認システム

片岡 桂太郎¹⁾, 深野 司²⁾, 子安 正博³⁾, 原品 竜馬⁴⁾

¹⁾ 東京都下水道サービス(株)光ファイバーネットワーク事業所
(〒111-0051 台東区蔵前2-1-8 E-mail: keitaro-kataoka4@tgs-sw.co.jp)

²⁾ 東京都下水道サービス(株)光ファイバーネットワーク事業所
(〒111-0051 台東区蔵前2-1-8 E-mail: ts-fukano@tgs-sw.co.jp)

³⁾ 東京都下水道サービス(株)光ファイバーネットワーク事業所
(〒111-0051 台東区蔵前2-1-8 E-mail: masahiro-koyasu@tgs-sw.co.jp)

⁴⁾ 東京都下水道サービス(株)芝浦再生水事業所
(〒108-0075 港区港南1-4-29 E-mail: ryoma-harashina@tgs-sw.co.jp)

概要

下水道管内に敷設されているファイバー（以下下水道光ファイバーという）に断線が発生した場合、迅速な対応が不可欠である。しかし、光ファイバーケーブルにおいて、利用中のファイバーにのみ断線が発生した場合、断線の検知が困難である。そこで、市販の光スイッチを利用することで利用中のファイバーの断線をリアルタイムで検知するシステムを考案した。これにより、断線対応の迅速化とネットワークの強靱化を図った。

キーワード：光ファイバー，遠方監視制御，光スイッチ
原稿受付 2018.7.6

EICA: 23(2・3) 138-142

1. はじめに

東京都下水道局では、遠方監視制御（遠制）や各機場のOAでの利用など、さまざまな用途で下水道光ファイバーを活用している。下水道局では、**Fig.1**に示すように一本のケーブルにつき24心の心線を保有しており、24心のうち2心において、ネットワーク監視センターで心線の監視を実施している。しかし、遠制やOAで利用されている心線にのみ断線（部分断線と呼ぶ）が発生した場合、ネットワーク上で迂回がかかるため、断線の検知は困難である。また、複数の部分断線が発生すると、機場の孤立や復旧の長期間につながる。そこで、実際に使用している心線（活線）部分断線を検知することを目的とした「光活線心線監視システム」を開発し、ポンプ所4ヶ所間の光

ファイバーケーブルを使用した実環境での動作検証を行ったので報告する。

2. システムの動作原理

光活線心線監視システムは、各ポンプ所に置かれた光活線心線監視装置と、遠隔地の監視場所に置かれる監視サーバからなる。光活線心線監視装置には市販の光スイッチを用いる。これを遠制用伝送装置であるL3スイッチと成端箱の間に挿入し、遠制用通信光を心線毎に監視する。光スイッチを通過する光の強度が低下すると光活線心線監視装置から障害情報通知が監視サーバへ送られる。

通常、遠制系は2系統4心がリング状に接続されており、監視線は1系統2心となる。一つの遠制系と監視線1系統2心がある場合の全体構成を**Fig.2**に示す。

3. 試験内容

3.1 実験用ネットワークの構築

下水道局で実際に使用している光ファイバーを利用して、実験用ネットワークを構築した。実験用ネットワークは仮設遠制ネットワークと監視系ネットワークからなる。

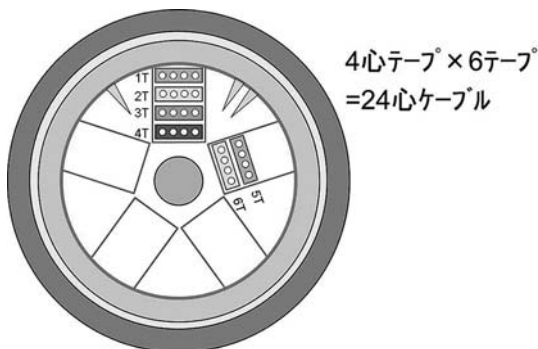


Fig.1 Cross-section of optical fiber cable

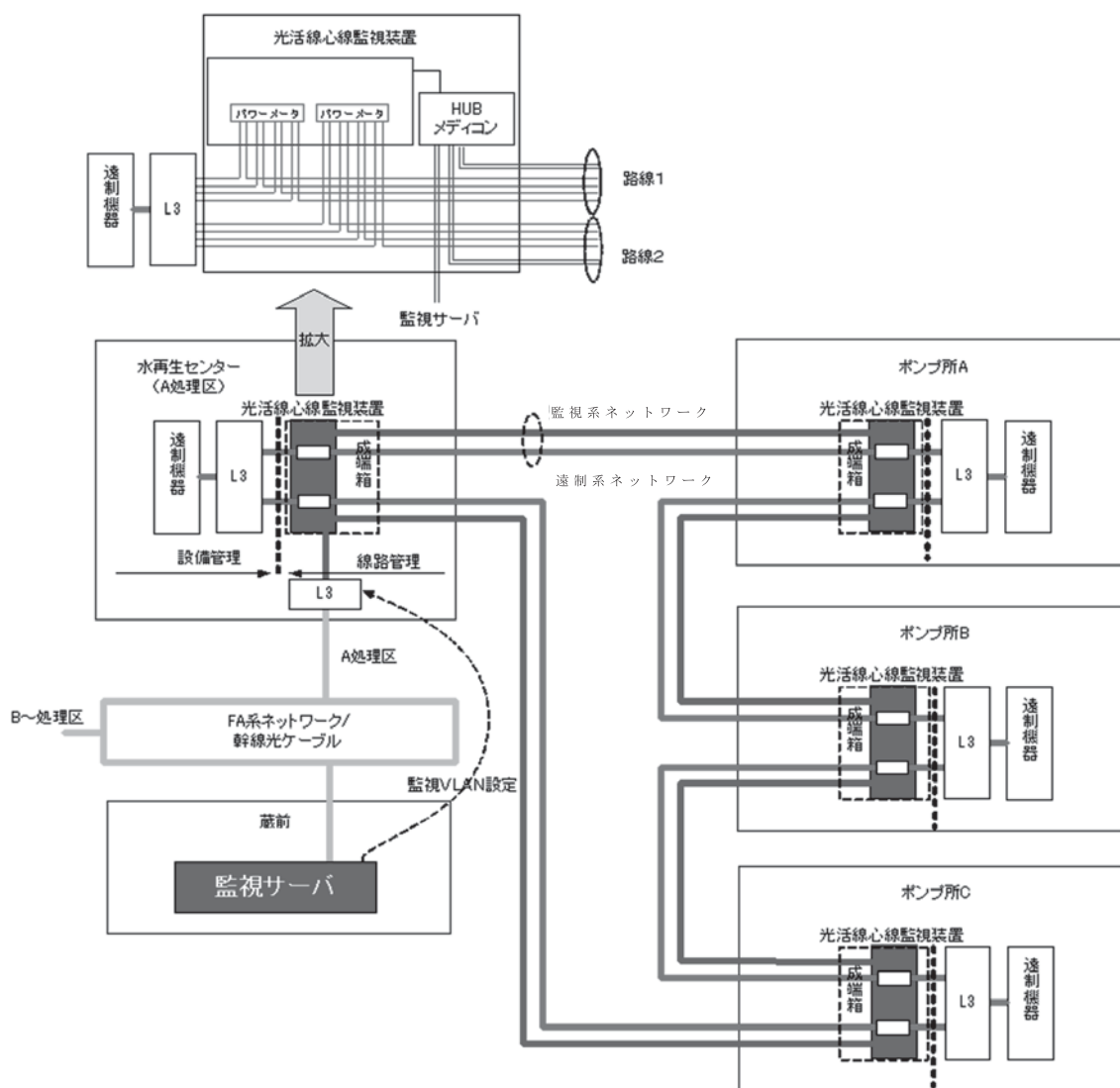


Fig. 2 Overall structure of system that monitors the state of optical fibers in use

(1) 仮設遠制系ネットワーク

篠崎ポンプ所を親ポンプ所，小岩，細田，新宿の3機場を子ポンプ所とした。これらのポンプ所を結ぶ光ファイバケーブルの予備心線を利用して，ループ接続形式のネットワークを構築した。

(2) 監視系ネットワーク

上記の4機場に構築した仮設遠制系ネットワークに対して光活線心線監視装置を設置した。また光活線心線監視装置を集中監視する監視サーバを篠崎ポンプ所に設置して監視系ネットワークを構築した。Fig. 3に実験用ネットワーク図を示す。

3.2 模擬不具合発生による状況の確認

仮設遠制系ネットワークに模擬的に不具合を起こさせ，監視サーバにどのような障害情報通知が送られるのかを確認する。不具合は，「ケーブルの断線」，「光パワーの減衰」および「遠制御 L3 スイッチの停止」の三種類である。

(1) 光ケーブル断線の模擬不具合

各機場において，仮設遠制系ネットワークの心線コネクタを外して模擬断線を発生させた。

(2) 光パワーの減衰の模擬不具合

各機場において，光減衰器を用いて模擬減衰を発生させた。

(3) 「遠制御 L3 スイッチの停止」による運用状況の確認

仮設遠制系ネットワークの装置を停止させた。

3.3 試験手順

以下の手順で試験を実施した。

- ・ 仮設遠制系で4か所のポンプ場をループさせた際に起こり得る障害を Table 1 のとおり 33 パターン設定した。
- ・ 断線を検知した光活線心線監視装置は，障害情報通知を監視サーバへ送る。
- ・ その内容が，事前に予測される通知と同一か確認することで，監視動作を検証した。

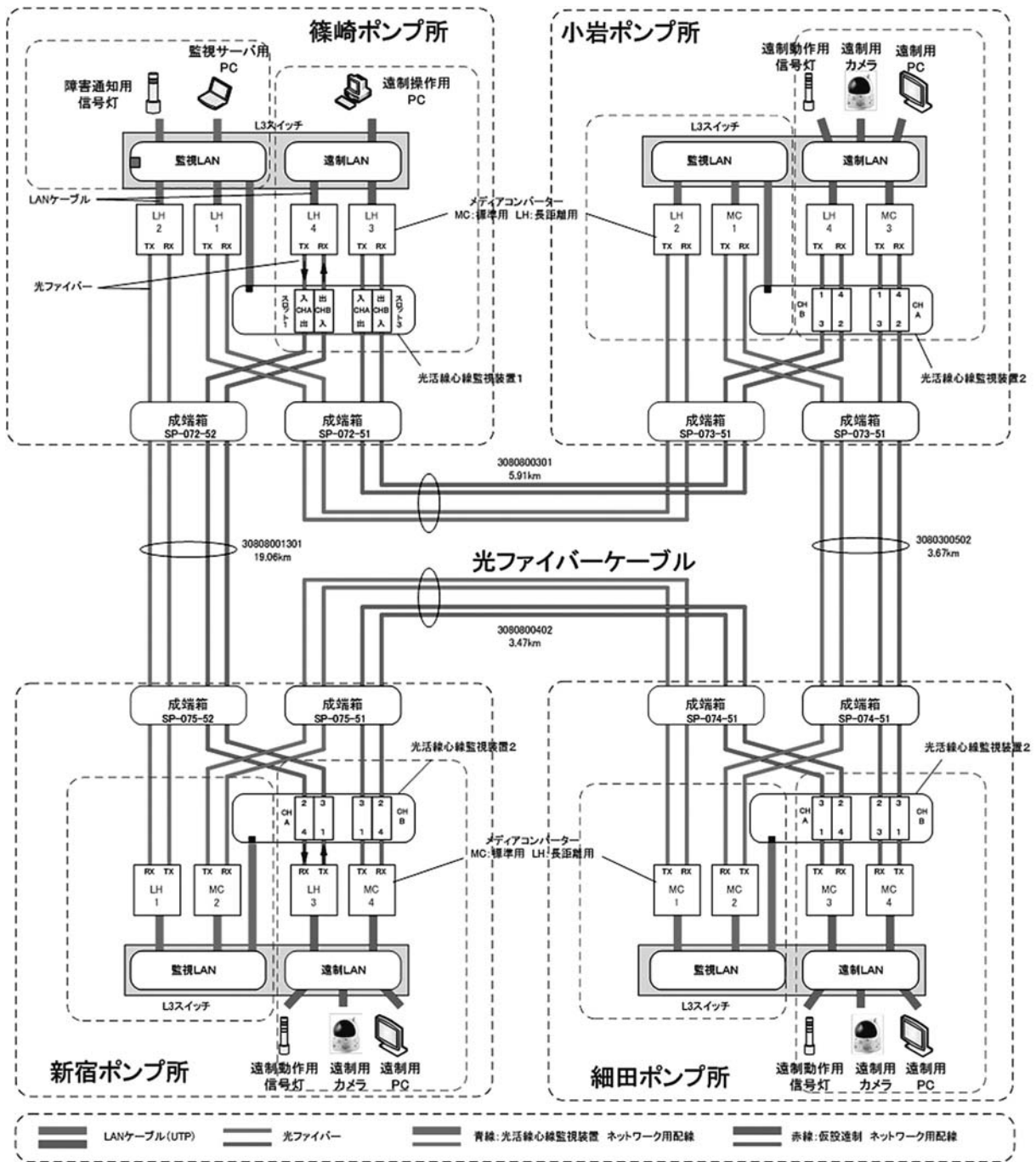


Fig. 3 Experimental configuration

4. 試験結果

監視サーバで確認された障害情報通知から、障害が発生した光活線心線監視装置とそのポート（光ファイバーの接続先）を特定し、障害発生心線を確定した。これと障害位置を突き合わせ、通知が正しいか確認した。代表的な7通りの結果を Table 2 に示す。それぞれの試験の結果は、以下の通りである。

(1) 1心断線

篠崎ポンプ所から新宿ポンプ所に向けての送信の心線のみが断線した場合、篠崎ポンプ所の出力は正常であるが、新宿ポンプ所の入力にのみ障害が発生する。Table 2 の1行目の通り、新宿ポンプ所の入力にのみ

障害が発生した。

(2) 全断線

篠崎ポンプ所と小岩ポンプ所間の遠制系の心線が両方断線した場合、両ポンプ所の入力に障害が発生する。Table 2 の2行目の通り、両ポンプ所での入力に障害が発生した。

(3) 減衰

篠崎ポンプ所において、小岩ポンプ所への送信出力が減衰した場合、部分断線と同様に小岩ポンプ所の入力にのみ障害が発生する。Table 2 の3行目の通り、小岩ポンプ所の入力にのみ障害が発生した。部分断線との差異として、小岩ポンプ所において障害が頻発した。これは減衰に特有の現象である。

Table 1 Possible obstacles and predicted warning

試験 No.	対象路線	試験作業内容			篠崎 P				小岩 P				細田 P				新宿 P			
					新宿 P		小岩 P		篠崎 P		細田 P		小岩 P		新宿 P		篠崎 P		細田 P	
					出力	入力	出力	入力	出力	入力	出力	入力	出力	入力	出力	入力	出力	入力	出力	入力
1	篠崎 P-小岩 P 3080800301	小岩 P	入力	B-2	○	○	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			出力	B-3																
2	小岩 P-細田 P 3080800502	小岩 P	入力	A-2	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×	○	○	○	○	○	
			出力	A-3																
3	細田 P-新宿 P 3080800402	細田 P	入力	A-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	×	
			出力	A-3																
4	新宿 P-篠崎 P 3080801301	新宿 P	入力	A-2	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	
			出力	A-3																
5	篠崎 P-小岩 P 3080800301	小岩 P	出力	B-3	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
6	篠崎 P-小岩 P 3080800301	小岩 P	入力	B-2	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	
7	小岩 P-細田 P 3080800502	小岩 P	出力	A-3	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	
8	小岩 P-細田 P 3080800502	小岩 P	入力	A-2	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	
9	細田 P-新宿 P 3080800402	細田 P	出力	A-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	
10	細田 P-新宿 P 3080800402	細田 P	入力	A-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	
11	新宿 P-篠崎 P 3080801301	新宿 P	出力	A-3	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
12	新宿 P-篠崎 P 3080801301	新宿 P	入力	A-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	
13	篠崎 P-小岩 P 3080800301	小岩 P	MC3	電源 OFF	○	○	○	×	×	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	
			MC4	電源 OFF																
14	小岩 P-細田 P 3080800502	細田 P	MC3	電源 OFF	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	×	○	○	○	○	×
			MC4	電源 OFF																
15	細田 P-新宿 P 3080800402	新宿 P	MC3	電源 OFF	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	×	○
			MC4	電源 OFF																
16	新宿 P-篠崎 P 3080801301	篠崎 P	MC3	電源 OFF	×	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○
			MC4	電源 OFF																
17	小岩 P-細田 P 3080800502	小岩 P	MC3	電源 OFF	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	
18	小岩 P-篠崎 P 3080800301	小岩 P	MC4	電源 OFF	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
19	細田 P-新宿 P 3080800402	細田 P	MC3	電源 OFF	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	×	
20	細田 P-小岩 P 3080800502	細田 P	MC4	電源 OFF	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	
21	新宿 P-篠崎 P 3080801301	新宿 P	MC3	電源 OFF	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	
22	新宿 P-細田 P 3080800402	新宿 P	MC4	電源 OFF	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×	○	
23	篠崎 P-小岩 P 3080800301	篠崎 P	MC3	電源 OFF	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
24	篠崎 P-新宿 P 3080801301	篠崎 P	MC4	電源 OFF	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	
25	篠崎 P-小岩 P 3080800301	減衰	篠崎 P	出力	SP-51 46	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	
26	小岩 P-篠崎 P 3080800301		篠崎 P	入力	SP-51 45	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
27	篠崎 P-小岩 P 3080800301	MC 受断	小岩 P	入力	A-4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
28	篠崎 P-新宿 P 3080801301		新宿 P	入力	A-4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
29	新宿 P-細田 P 小岩 P-細田 P	2 機場断	新宿 P	出力	B-1	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○	×	○		
30	篠崎 P-新宿 P 小岩 P-細田 P		小岩 P	出力	A-1															
		小岩 P	入力	A-2	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	×	○	
31	篠崎 P-新宿 P 新宿 P-細田 P	新宿 光 SW 断	新宿 P	光 SW	電源 OFF	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	
32	小岩 P-細田 P 細田 P-新宿 P	細田 光 SW 断	細田 P	光 SW	電源 OFF	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	○	○		
33	篠崎 P-小岩 P 小岩 P-細田 P	全停電	小岩 P	全機器電源 OFF	○	○	○	×	-	-	-	-	○	×	○	○	○	○		

Table 2 Results of the test

試験 No.	試験作業内容		篠崎 P				小岩 P				細田 P				新宿 P				TRAP 数 障害情報	障害結果	
			新宿 P 側		小岩 P 側		篠崎 P 側		細田 P 側		小岩 P 側		新宿 P 側		篠崎 P 側		細田 P 側				
			出力	入力	出力	入力	出力	入力	出力	入力	出力	入力	出力	入力	出力	入力	出力	入力			
1	1心断線	新宿 P	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	1 機場での入力側の障害検知
2	全断線	小岩 P	○	○	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	2	2 機場での入力側の障害検知
3	減衰	篠崎 P	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	頻発	1 機場での入力側の障害検知
4	L3故障	小岩 P	○	○	○	×	×	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	4	3 機場での入出力側の障害検知
5	MC故障	篠崎 P	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	2	2 機場での入出力側の障害検知
6	光 SW 故障	新宿 P	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	0	光 SW による通信不良 (一部監視不能)	
7	L3, MC, 光 SW 故障	小岩 P	○	○	○	×	-	-	-	-	○	×	○	○	○	○	○	○	○	2	光 SW による通信不良 (一部監視不能) 2 機場での入力側の障害検知

(4) L3 故障

小岩ポンプ所の遠制御 L3 スイッチが停止すると、小岩ポンプ所から篠崎ポンプ所と細田ポンプ所への出力、篠崎ポンプ所と細田ポンプ所の小岩ポンプ所からの入力に障害が発生する。Table 2 の 4 行目のとおり、3 か所で 4 つの障害が発生した。

(5) 光発信部故障

篠崎ポンプ所から新宿ポンプ所への光発信部に故障が発生すると、篠崎ポンプ所の出力と新宿ポンプ所の入力に障害が発生する。Table 2 の 5 行目のとおり、2 か所で 2 つの障害が発生した。

(6) 光活線心線監視装置停電

新宿ポンプ所の光活線心線監視装置が停電した場合、新宿ポンプ所の障害通知が発信されなくなる。Table 2 の 6 行目のとおり、障害は観測されなかった。

(7) ポンプ所全停電 (光活線心線監視装置, L3 スイッチ, 光発信部停止)

小岩ポンプ所の光活線心線監視装置, L3 スイッチ, 光発信部が停電した場合、小岩ポンプ所の障害通知は発信されず、篠崎ポンプ所と細田ポンプ所の小岩ポンプ所からの入力に障害が発生する。Table 2 の 7 行目のとおり、小岩ポンプ所の障害情報は観測されず、篠崎ポンプ所と細田ポンプ所に入力の障害が発生した。

5. 考 察

いずれのパターンも、想定される障害情報と発生した障害情報が両方で一致しており、部分断線検知に有効であることが確認できた。

システムは以下の特徴を持つ。

- ・遠方監視制御で通信使用中の心線単位で断線検知が可能。(部分断線検知可能)
- ・断線箇所だけでなく L3 スイッチの障害を把握することが可能。
- ・複合障害などが発生しても把握することが可能。
- ・光活線心線監視装置は線路に挿入して使用するため既存の L3 スイッチの改造は不要。
- ・通信中の光を利用することで監視用の専用光が不要となり、配線や設置スペースが簡素。
- ・一般的に通信で使用される波長である 1.31 μm と 1.55 μm のどちらでも使用可能で、将来波長が変更されても使用可能。
- ・監視ネットワークは、遠制系ケーブル内の空き心で構築可能である。ネットワーク監視することで、監視用心線の断線や光活線心線監視装置自身の故障も監視可能。
- ・通信障害となる前に光ファイバーの伝送損失の異常を発見でき、通信障害発生防止が可能。

6. ま と め

実験により、光ファイバーケーブルの断線が発生した際に単数・複数を問わず発見し、断線状況の詳細な情報を把握することが確認出来た。

また、システム構築に際し、一般に市販されている機材を有効利用することで新しい断線検知システムを構築することが出来た。