

# 可搬式投光器（LED式）用強化型蓄光型ケーブルの強度検証

石崎 大河\*, 坂本 佑介\*, 湯浅 弘章\*\*

## 概要

投光器ケーブルについて、現行ケーブルより細いケーブルが製品化されたため、各種強度試験を行い、現行ケーブルと同等の強度を有するか検証した。

その結果、すべての試験において終了時に導通に異常が見られなかったこと、また、外皮被覆の損傷は想定される外力より極端に大きな力で発生していることから、新型の投光器ケーブルは現行ケーブルと同等の強度を有していることが分かった。

## 1 はじめに

平成 29 年度から当庁で導入している投光器ケーブル（以下「現行ケーブル」という。）について、強度を維持したまま、さらに細いケーブルが製品化されたため、引張、ねじれ、摩擦、折り曲げ及び放射熱ばく露試験を行い、現行ケーブルと同等の性能を有するか検証した。

## 2 検証対象

写真 1 に示す新型の可搬式投光器（LED 式）用強化型蓄光型ケーブル（以下「新型ケーブル」という。）を検証対象とした。

また、新型ケーブルと現行ケーブルの概要を表 1 に示す。表のとおり、製造会社公証値の引張強度は、新型ケーブルと現行ケーブルともに 1,100kgf（10,780N）以上と同等である。新型ケーブルは扱いやすさを向上させる目的で、外径が 13.6mm から 12.6mm と 1mm 細くなっており、それに伴い全長 30m での質量は 600g 軽量化されている。

また、外皮被覆のポリ塩化ビニルは現行ケーブルがハードタイプだったのに対し、新型ケーブルはソフトタイプになっている。



写真 1 新型ケーブルの外観

表 1 各ケーブルの概要

| 名称   | 新型ケーブル                                     | 現行ケーブル             |
|------|--|--------------------|
| 仕様   | 内部に補強芯等を入れ、可とう性及び耐摩耗性を有する外皮で被覆したキャブタイヤケーブル |                    |
| 長さ   | 30m  |                    |
| 引張強度 | 1,100kgf（10,787N）以上                        |                    |
| 質量   | 約 5.4kg                                    | 約 6.0kg            |
| 外径   | 12.6mm                                     | 13.6mm             |
| 蓄光性能 | あり   |                    |
| 被覆   | ポリ塩化ビニル（硬度：ソフトタイプ）                         | ポリ塩化ビニル（硬度：ハードタイプ） |
| 断面図  |  |                    |

## 3 検証方法

表 1 に示す新型ケーブルについて、表 2 に示す各種性能を、以下の(1)から(5)に示す各試験方法により評価した。

なお、評価方法については、ケーブルの損傷状況及び導通状況から評価した。損傷状況については外皮被覆が裂けるまでを基準とした。導通状況については、投光器のケーブルとしての使用が可能であることが前提となることから、導通の有無を基準とした。

表2 新型ケーブルの性能に対する評価項目

| 項目 | 性能            | 消防活動時の想定状況       | 評価項目          |
|----|---------------|------------------|---------------|
| 1  | 引張に対する引張強度    | 不意に掛かる確保負荷       | 損傷状況<br>導通の有無 |
| 2  | ねじりに対するねじり強度  | ねじれ              |               |
| 3  | 摩擦に対する耐摩耗性    | カラビナ及び建物角部との接触摩擦 |               |
| 4  | 折り曲げに対する圧縮強度  | 収容物等による挟まれ       |               |
| 5  | 放射熱ばく露に対する耐熱性 | 火炎によるばく露         |               |

(1) 新型ケーブルの引張試験（試験1）

表2の項目1に示す新型ケーブルの引張に対する強度を評価するため、株式会社島津製作所製精密万能試験機AGX-50kN（以下「引張圧縮試験機」という。）を使用して、表3に示す試験条件により、新型ケーブルの引張試験を行い、引張強度を測定した。

また、引張試験時に新型ケーブルの導通状況をテスターにより計測し、引張試験後に新型ケーブルの損傷状況を観察した。

表3 新型ケーブルの引張試験条件

| 項目            | 内容  |   |
|---------------|---|---|
| 試験対象          | ①カラビナ接続部を含む新型ケーブル<br>②試験5の10kW放射熱ばく露後の新型ケーブル  |   |
| 引張試験機<br>使用治具 | キャプスタン式ロープつかみ具  |   |
| 引張速度          | 1 mm/s  |   |
| 設定状況          | 試験対象①   | 試験対象②   |
|               |  |  |

(2) 新型ケーブルのねじり試験（試験2）

表2の項目2に示す新型ケーブルのねじりに対する強度を評価するため、引張圧縮試験機を使用して、表4に示す試験条件により、新型ケーブルのねじり試験を行った。

ねじり試験は、引張圧縮試験機のロープつかみ具により新型ケーブルの片側を固定し、もう一方をロープつか

み具により回転させて所定の回数ねじった。

また、ねじり試験時に新型ケーブルの導通状況をテスターにより計測し、ねじり試験後に新型ケーブルの損傷状況を観察した。

表4 新型ケーブルのねじり試験条件

| 項目            | 内容  |
|---------------|---|
| 引張試験機<br>使用治具 | キャプスタン式ロープつかみ具  |
| ねじり対象の<br>長さ  | 新型ケーブル 25cm   |
| ねじり回転数        | 4回転   |
| 設定状況          |  |

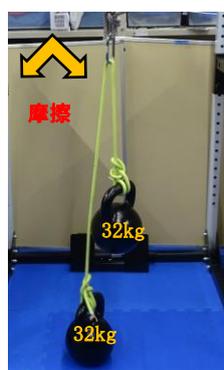
(3) 新型ケーブルの摩擦試験（試験3）

表2の項目3に示す新型ケーブルの摩擦に対する強度を評価するため、表5に示す試験条件により、新型ケーブルの摩擦試験を行った。

摩擦試験は、新型ケーブルを所定の回数、所定の摩擦面に摩擦させた。

また、摩擦試験時に新型ケーブルの導通状況をテスターにより計測し、摩擦試験後に新型ケーブルの損傷状況を観察した。

表5 新型ケーブルの摩擦試験条件

| 項目          | 内容  |  |
|-------------|---|--|
| 試験内容        | カラビナに対する摩擦  | コンクリートブロック角に対する摩擦  |
| 摩擦面         | カラビナ  | コンクリートブロック角  |
| おもりの<br>重さ  | 各 32kg  |  |
| 徒手による<br>荷重 | 約 100kgf  |  |
| 設定状況        | ※交互に荷重約 100kg<br> | ※交互に荷重約 100kg<br> |

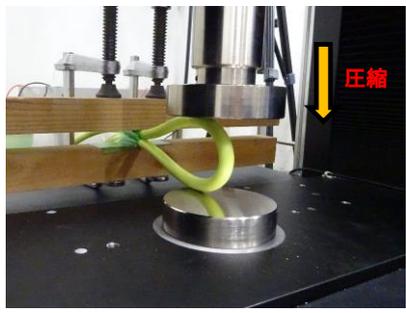
(4) 新型ケーブルの折り曲げ試験（試験4）

表2の項目4に示す新型ケーブルの折り曲げに対する強度を評価するため、表6に示す試験条件により、新型ケーブルの折り曲げ試験を行った。

折り曲げ試験は、新型ケーブルを折り曲げた状態で引張圧縮試験機により新型ケーブルを押しつぶし、その際の圧縮試験力を測定した。

また、折り曲げ試験時に新型ケーブルの導通状況をテスターにより計測し、折り曲げ試験後に新型ケーブルの損傷状況を観察した。

表6 新型ケーブルの折り曲げ試験条件

| 項目            | 内容   |
|---------------|--|
| 引張試験機<br>使用治具 | 圧縮試験治具固定式圧盤  |
| 圧縮速度          | 1 mm/s   |
| 設定状況          |  |

(5) 新型ケーブルの放射熱ばく露試験（試験5）

表2の項目5に示す新型ケーブルの放射熱に対する強度を評価するため、表7に示す試験条件により、新型ケーブルの放射熱ばく露試験を行った。

放射熱ばく露試験は、ヒーターを使用して新型ケーブルを所定の放射熱にばく露し、その際の新型ケーブルの導通状況をテスターにより計測し、所定の放射熱にばく露後、新型ケーブルの損傷状況を観察した。

表7 ケーブルの放射熱ばく露試験条件

| 項目        | 内容  |
|-----------|---|
| 熱流束       | 4 kW/m <sup>2</sup> 、7 kW/m <sup>2</sup> 、10kW/m <sup>2</sup>                       |
| ばく露<br>時間 | 20分   |
| 設定<br>状況  |  |

4 検証結果

(1) 新型ケーブルの引張試験結果

新型ケーブルの引張試験の結果を表8及び表9に示す。

表8 新型ケーブルの引張試験（試験対象①）の結果

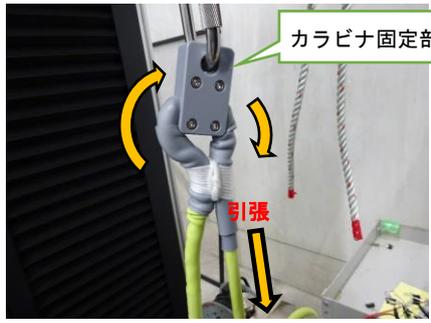
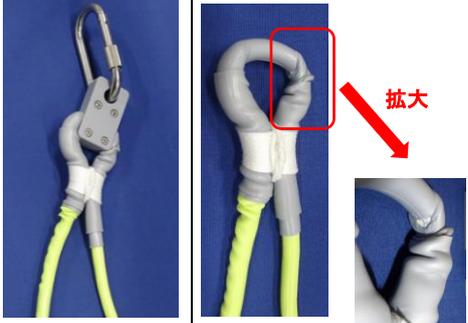
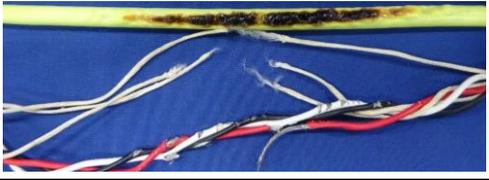
| 項目           | 結果内容  |   |
|--------------|---|---|
| 損傷状況         | 引張荷重 3,801N (388kgf) でケーブルがカラピナ固定部内で滑り、外皮被覆が一部損傷                                    |   |
| 導通状況         | 試験中：導通あり<br>試験後：導通あり  |   |
| 試験時の<br>状況   |   |   |
| 試験後の<br>観察状況 | 試験後の状況  | カラピナ固定部<br>取り外し後  |
|              |  |  |

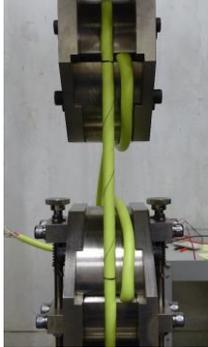
表9 新型ケーブルの引張試験（試験対象②）の結果

| 項目         | 結果内容  |   |
|------------|---|---|
| 損傷状況       | 引張荷重 21,079N (2,151kgf) で、試験片中央部で補強芯の最初の1本が破断し、その後連続的に全ての補強芯（導線含む）が破断                 |   |
| 導通状況       | 引張荷重 21,079N (2,151kgf) の破断時直前まで導通あり  |   |
| 試験時の<br>状況 | 試験開始時   | 試験終了時   |
|            |  |  |
| 試験後の<br>状況 |   |   |

(2) 新型ケーブルのねじり試験結果

新型ケーブルのねじり試験の結果を表 10 に示す。

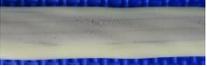
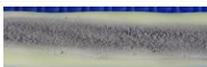
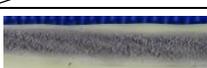
表 10 新型ケーブルのねじり試験の結果

| 項目     | 結果内容   |   |
|--------|--|---|
| 損傷状況   | 新型ケーブル 25cm に対して 4 回転のねじりを実施するも損傷なし  |   |
| 導通状況   | 試験中：導通あり<br>試験後：導通あり   |   |
| 試験時の状況 | 試験開始時  | 試験終了時   |
|        |   |  |
| 試験後の状況 |  |   |

(3) 新型ケーブルの摩擦試験結果

新型ケーブルの摩擦試験の結果を表 11 に示す。

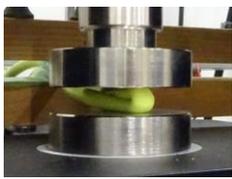
表 11 新型ケーブルの摩擦試験の結果

| 項目            | 結果内容            |   |   |
|---------------|-----------------|---|---|
| 摩擦面           | カラビナ            | コンクリートブロック角   |   |
| 損傷状況          | 60 回の摩擦において損傷なし | (1) 50 回の摩擦で外皮被覆が損傷<br>(2) 60 回の摩擦において導線被覆損傷なし                                      |   |
| 導通状況          | 試験後、導通あり        | 試験後、導通あり  |   |
| 試験時及び試験後の観察状況 | 摩擦 20 回         |  |  |
|               | 摩擦 30 回         |  |  |
|               | 摩擦 40 回         |  |  |
|               | 摩擦 50 回         |  |  |
|               | 摩擦 54 回         | /   |  |
|               | 摩擦 58 回         |   |  |
|               | 摩擦 60 回         |  |  |

(4) 新型ケーブルの折り曲げ試験結果

新型ケーブルの折り曲げ試験の結果を表 12 に示す。

表 12 新型ケーブルの折り曲げ試験の結果

| 項目     | 結果内容   |   |
|--------|--|---|
| 損傷状況   | 圧縮力 50kN(5, 100kgf) で折り返し部内側の外皮被覆及び導線被覆が損傷するとともに、変形あり                              |   |
| 導通状況   | 試験中：導通あり<br>試験後：導通あり   |   |
| 試験時の状況 | 試験中  | 試験後   |
|        |  |  |
| 試験後の状況 | 折り返し内側の状況  | 折り返し外側の状況   |
|        |  |  |

(5) 新型ケーブルの放射熱ばく露試験結果

新型ケーブルの放射熱ばく露試験の結果を表 13 に、平成 30 年度に行った現行ケーブルの放射熱ばく露試験結果<sup>1)</sup>との比較表を表 14 に示す。

表 13 新型ケーブルの放射熱ばく露試験の結果

| 条件                               | 導通状況 | 損傷状況  |
|----------------------------------|------|---|
| 熱流束 4 kW/m <sup>2</sup><br>20 分間 | 導通あり | 溶融、損傷等なし<br>               |
|                                  | 導通あり | 約 8 分で変形、20 分で変形及び若干変色<br> |
| 熱流束 7 kW/m <sup>2</sup><br>20 分間 | 導通あり | 約 6 分で変形、20 分で一部炭化<br>     |
| 熱流束 10kW/m <sup>2</sup><br>20 分間 | 導通あり |   |

表 14 放射熱ばく露試験の比較表（10kW/m<sup>2</sup>、20 分）

| 種類 | 実施年度    | 室温   | 損傷状況  |
|----|---------|------|---|
| 新型 | 令和 4 年  | 20°C | 約 6 分で変形開始、20 分で一部炭化<br>   |
|    |         |      | 約 8 分で変形開始、20 分で茶褐色に変色<br> |
| 現行 | 平成 30 年 | 7°C  | 約 7 分で変形開始、20 分で一部炭化<br>   |

## 5 考察

### (1) 新型ケーブルの引張試験の結果について

#### ア カラビナ接続部を含む新型ケーブル

表 8 に示す試験結果のとおり、カラビナ固定部に接触する新型ケーブル部分において、引張荷重 3,801N (388kgf) で、新型ケーブルが引張方向に滑り、試験荷重がこれ以上負荷できない結果となった。カラビナ固定部を分解して新型ケーブルを観察すると、カラビナ固定部の接触端部において、蓄光ポリ塩化ビニル（黄色）の外皮被覆の一部が損傷し、下地ポリ塩化ビニル（白色）が露出していたが、導通に異常は認められなかった。

一方、製造会社の公証値によると、新型ケーブルの引張強度は 10,780N (1,100kgf) 以上である。これは、新型ケーブルを直状状態で引張試験を実施した場合の数値であり、カラビナ接続部を含む新型ケーブルで引っ張られた場合とは異なる。隊員が落下するなどしてカラビナ部分に荷重がかかる状況は消防活動では十分想定されることから、製造会社の公証値ではなく、本試験結果で示された強度について考慮する必要がある。

試験結果の引張荷重 3,801N (388kgf) について、消防活動において想定される状況を推察する。引張荷重 3,801N (388kgf) は、消防隊員の体重を 70kg、装備品重量を 20kg と仮定すると、消防隊員 4 名が同時に懸垂した場合の荷重に相当する。

よって、損傷を受けていない新型ケーブルは、消防活動時、隊員 4 名懸垂時の静荷重に耐え得る引張強度を有していると考えられる。

#### イ 10kW 放射熱ばく露後の新型ケーブル

表 9 に示す試験結果のとおり、10kW/m<sup>2</sup>の放射熱に 20 分間ばく露し、新型ケーブルの外皮被覆が一部炭化した部分に対して引張試験を実施したところ、引張荷重 21,079N (2,151kgf) で炭化した試験片中央部において、6 本ある補強芯のうち 1 本が破断し、その後連続的に全ての補強芯及び導線が破断した。破断荷重直前まで 3 本全ての導線の導通に異常は認められなかった。

ケーブル全体の引張強度について、内部に 6 本通っている補強芯の引張強度が、ケーブル全体の引張強度の支配的要素であると考えられることから、外皮被覆が受熱し炭化したとしても、補強芯の損傷がなければケーブル全体の引張強度に大きな低下は見られないと考えられる。

このことから、消火活動において一時的に受熱した新型ケーブルでも、製造会社仕様の最低の公証値 10,780N (1,100kgf) よりも高い引張強度を有していると考えられる。

### (2) 新型ケーブルのねじり試験の結果について

表 10 に示す実験結果のとおり、25cm の試験片に対して 4 回転のねじり試験を実施したところ、新型ケーブルの断線及び外皮被覆の損傷は認められなかった。

なお、本試験設定でのねじりの限界が 4 回転であったことから、本試験ではねじりを 4 回転とした。25cm の新

型ケーブルに対する 4 回転のねじりは、30m の新型ケーブルでは 480 回転のねじりに相当し、意図的でない限り発生しないような条件である。

このことから、損傷を受けていない新型ケーブルは、消火活動での屋内進入時に発生する一時的なねじりに対して、耐えうるねじり強度を有していると考えられる。

### (3) 新型ケーブルの摩擦実験の結果について

表 11 に示す実験結果のとおり、カラビナに対して約 1,600N (約 160kgf) の荷重をかけて 60 回程度摩擦させた場合、新型ケーブルの外皮被覆損傷は見られず、導通にも異常は認められなかった。また、コンクリートブロック角に対して約 1,600N (約 160kgf) の荷重をかけて摩擦させた場合、50 回の摩擦で新型ケーブルの外皮被覆損傷が認められたものの、60 回の摩擦でも導線被覆の露出には至らなかった。

摩擦回数について考察すると、実際の活動において、約 160kgf の荷重をかけて同じ箇所を 60 回摩擦させることは、非常に困難であるといえる。

このことから、損傷を受けていない新型ケーブルは、消火活動での屋内進入時に発生するカラビナ又は角による摩擦に対して、耐えうる耐摩耗性を有していると考えられる。

### (4) 新型ケーブルの折り曲げ実験の結果について

新型ケーブルを人の力で折り曲げた程度では、変形、損傷等もなく、導通も良好である。そこで、表 12 に示す試験結果のとおり、新型ケーブルを折り曲げた状態で、圧縮荷重 50kN (5,100kgf) により押しつぶしたところ、新型ケーブルの外皮被覆及び導線被覆の損傷が認められたが、導通に異常はなく、断線までには至らなかった。

ただし、圧縮荷重 50kN (5,100kgf) について考察すると、消火活動での屋内進入時に 5t の荷重がかかることは想定しづらい。

このことから、損傷を受けていない新型ケーブルは、消火活動での屋内進入時に発生する一時的な折り曲げに対して、耐えうる圧縮強度を有していると考えられる。

### (5) 新型ケーブルの放射熱ばく露試験の結果について

総務省消防庁が策定した「消防隊員用個人防火装備に係るガイドライン」に示されている「消火活動における熱環境」<sup>2)</sup>を表 15 に示す。

表 13 に示す試験結果のとおり、通常の消火活動に相当する熱環境である 4kW/m<sup>2</sup>の放射熱に、消防隊員の平均的な内部進入時間である 20 分間ばく露したところ、損傷等はなく、導通にも異常は認められなかった。

また、消火活動が制限される火災が拡大した際に相当する熱環境である 7kW/m<sup>2</sup>の放射熱に、消防隊員の平均的な内部進入時間である 20 分間ばく露したところ、約 8 分で新型ケーブルの外皮被覆に変形し始め、20 分経過後は変形及び若干の変色が認められたが、導通に異常は認められなかった。

さらに、フラッシュオーバーが発生し、短時間で避難しなければならない状況に相当する熱環境である 10kW/m<sup>2</sup>の放射熱に、消防隊員の平均的な内部進入時間である 20 分間ばく露したところ、約 6 分で新型ケーブルの外皮被覆が変形し始め、20 分で外皮被覆が一部炭化したが、導通に異常は認められなかった。

表 14 に示すとおり、今回実施した新型ケーブルの放射熱試験では、10kW/m<sup>2</sup>の放射熱で一部炭化が認められたが、平成 30 年度に実施した現行ケーブルの検証結果では、10kW/m<sup>2</sup>の放射熱でも炭化は認められず、変形及び変色にとどまっている。今回の試験において、熱流束計を用いて 10kW/m<sup>2</sup>となるヒーター部までの距離を測定して試験を行っており、この距離は平成 30 年度試験と同じであった。それにも関わらず、放射熱による損傷の程度が異なるのは、室温の差が影響していると考えられる。平成 30 年度の試験時は冬季に実施しており室温が 7℃であったが、今回は室温が 20℃であった。熱流束は温度に依存しないことから、今回実施した試験と平成 30 年度試験はともにヒーター部までは同距離であったが、試験開始時のケーブル自体の温度や周囲温度は平成 30 年度試験時の方が低温であり、その影響で放射熱によるケーブル外皮の損傷が少なくなったと考えられる。

そこで、室温も含めた同環境での比較を行うため、平成 30 年度試験時に使用した現行ケーブルを用いて今回と同内容の放射熱試験を行った。その結果、表 14 に示すように、現行ケーブルの方が外皮被覆が 1 mm 厚いため若干炭化の度合いが小さいものの、新型ケーブルと同等の炭化が認められた。

ここで、過去に実施した検証結果<sup>3)</sup>によると、防火衣装着時に熱流束 4 kW/m<sup>2</sup>の放射熱にばく露した場合、約 2 分程度でⅡ度熱傷の危険があるとされている。そのため、消防隊員と投光器が熱環境にいる時間が同じであるとすると、熱流束 4 kW/m<sup>2</sup>以上の放射熱にばく露するのは 2 分以内であると想定される。

以上のことから、新型ケーブルは、通常の消火活動に相当する熱環境に消防隊員が活動する間、耐える耐熱性を有していると考えられる。

表 17 消火活動における熱環境

|   | 熱環境  | 雰囲気温度 (°C) | 熱流束 (kW/m <sup>2</sup> ) |
|---|--|------------|--------------------------|
| 1 | 火災初期及び残火処理時の消火活動に相当する熱環境                             | ~100 程度    | ~ 1                      |
| 2 | 制限を受けない通常の消火活動時に相当する熱環境                              | 100~160 程度 | 1~ 4                     |
| 3 | 消火活動が制限される火災が拡大した際に相当する熱環境                           | 160~235 程度 | 4~10                     |
| 4 | フラッシュオーバーが発生し、短時間で避難しなければならない状況又は火災に巻き込まれたときに相当する熱環境 | 235 程度~    | 10~                      |

## 6 まとめ

新型ケーブルについて、以下のことを確認した。

- (1) 引張強度について、カラビナ固定部に接触する部分において、引張荷重 3,801N (388kgf) で新型ケーブルが引張方向に滑り、外皮被覆の一部が損傷するが、導通に異常は認められない。  
また、熱流束 10kW/m<sup>2</sup>の放射熱に 20 分ばく露した新型ケーブルは、製造会社の最低公証値 10,780N (1,100kgf) を上回る引張荷重 21,079N (2,151kgf) で破断に至っており、その荷重直前までは全ての補強芯に損傷は見られず、導通も異常は認められない。
- (2) ねじり強度について、新型ケーブル 30m に 480 回転相当のねじりを与えても、損傷及び導通の異常は認められない。
- (3) 耐摩耗性について、カラビナに対して荷重約 160kgf で 60 回程度摩擦させた場合、外皮被覆の損傷及び導通に異常は認められない。また、コンクリートブロック角に対して荷重約 160kgf で、50 回程度摩擦させると、外皮被覆が損傷するが、導通に異常は認められない。
- (4) 折り曲げによる圧縮強度について、新型ケーブルを折り返した状態で、圧縮荷重 50kN (5,100kgf) で押しつぶすと、外皮被覆が損傷するが、導通に異常は認められない。
- (5) 放射熱に対する耐熱性について、熱流束 4 kW/m<sup>2</sup>の放射熱に 20 分ばく露した場合、損傷及び導通の異常は認められない。しかし、熱流束 7 kW/m<sup>2</sup>の放射熱に 20 分ばく露で、外皮被覆が変形及び若干の変色が認められ、熱流束 10kW/m<sup>2</sup>の放射熱に約 6 分ばく露すると、外皮被覆が変形し始め、20 分ばく露で、外皮被覆が一部炭化するが、導通に異常は認められない。  
以上より、すべての試験で導通に異常なく、また、外皮被覆の損傷は想定される外力より極端に大きな力で発生していることを考えると、新型ケーブルは現行ケーブルと同等の性能を有していると考えられる。

### [参考文献]

- 1) 佐藤良行他：新型信号付投光器の蓄光型ケーブル強度検証（平成 30 年度臨時改良検証）、平成 30 年 3 月
- 2) 総務省消防庁：消防隊員用個人防火装備に係るガイドライン（改訂版）、平成 29 年 3 月
- 3) 相河好江他：防火衣の受熱に関する検証（第 2 報）（平成 27 年度年度改良検証）、平成 27 年 9 月