

三連はしご用引綱の断裂原因の調査結果

寺屋 充彦*, 水野 守**, 松田 侑也***

概要

令和6年5月、訓練中に三連はしごの引綱が断裂し、三連目が落下する事案が発生した。断裂した引綱は、配置から3カ月程度と比較的新しい引綱であり、断裂した状況が特異であったことに加え、断裂部分に変色や異臭が確認されたことから、断裂原因の調査を実施した。引綱の断裂部分において、外観を観察すると繊維の劣化が確認された。成分分析では、原因物質の特定には至らなかったが、pH測定で強酸が確認された。引張強度においても、一部の箇所ではJIS規定値を大きく下回った。再現実験として、未使用の引綱に酸性液体を付着させた場合、断裂した引綱と同様に繊維の空洞化及び劣化が確認され、引張試験において特異な断裂も確認された。このことから、引張断裂の原因は何らかの酸性物質が引綱に付着したことによるものと考えられた。

1 はじめに

消防署において、訓練中に三連はしごを伸梯した際、三連目の掛け金が掛かる前に引綱が断裂する事案が発生した。断裂した引綱（以下「断裂引綱」という。）は、交換から3カ月程度と比較的新しい引綱であるが、断裂した状況が特異であったことに加え、断裂部分に変色や異臭が確認されたことから、分析装置等を活用し、断裂に至った原因を調査した。

2 断裂引綱の観察及び検証結果

(1) 断裂引綱の外観の観察

ア 目視による観察

断裂引綱の断裂部分とその近傍において、変色部分と変色していない部分を比較したものを写真1に示す。変色部分は、褐色に変色しており、所々が黒色であった。また、断裂は写真2に示すとおり、ストランド3本が同じ位置で断裂していた。三連はしごの引綱として使用されている麻ロープは、3本のストランドを撚り合わせたもので、ストランドを構成するものをヤーンといい、ヤーンを構成する基となる素繊維を、フィラメントといい、この構成を写真3に示す。

イ 走査型電子顕微鏡（以下「SEM」という。）による観察

断裂したフィラメントの外観及び断裂引綱と同メーカーの未使用の引綱（以下「未使用引綱」

という。）のフィラメントの外観を表1に示す。断裂引綱と未使用引綱を比較すると、断裂引綱の繊維には空洞化がみられ、側面においても繊維の劣化が認められた。

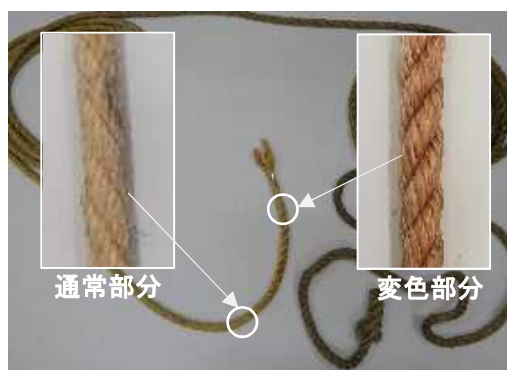


写真1 断裂引綱の変色部分



写真2 断裂引綱の部分

三連はしご用引綱の断裂原因の調査結果

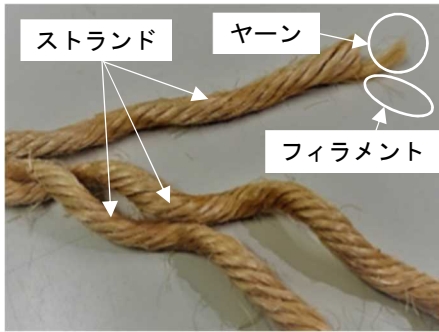
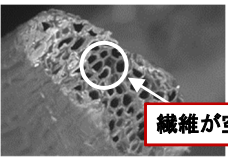
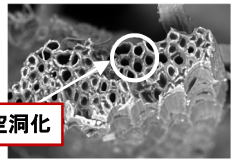
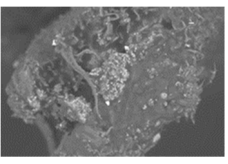
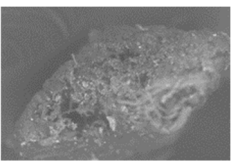
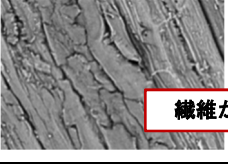
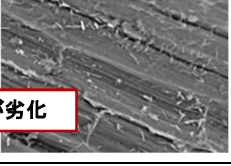
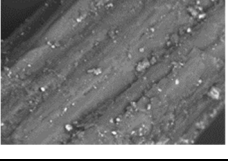
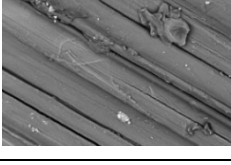


写真3 引綱の構成

表1 SEMによる観察結果

断面 500 倍	断裂引綱		
	未使用引綱		
断面 1000 倍	断裂引綱		
	未使用引綱		

(2) 断裂引綱の検証結果

ア 成分分析

キャピラリー電気泳動法、ガスクロマトグラフィ及びフーリエ変換赤外分光光度計を用いて、断裂引綱の変色及び異臭の原因について、断裂引綱と未使用引綱との差異を成分分析したが、付着物質の特定には至らなかった。

イ pH測定（水素イオン濃度測定）

pH測定器を用いて断裂引綱の断裂部分のpHを測定した結果、pH2.8となり、強い酸性が確認された。なお、未使用引綱は、pH5.5であった。

ウ 断裂箇所以外の引張強度の測定

断裂引綱を三連はしごから取り出し、4本に分け、引張圧縮試験機を用いて断裂箇所以外の部分について引張強度を測定した結果を図1に示す。

なお、JIS(L2701-1992)規定による引張強さは810kg(7.94N)以上で、未使用引綱の引張強度の平均は、1212kgである。

図1より1、2本目についてはJIS規定による引張強さ(810kg以上)未満となり、2本目については著しく引張強度が低下していることが確認された。また、2本目の断裂部分からpH3.3の酸性が示された。

エ 断裂引綱と三連はしごの位置関係の比較

上記ウで測定した4本を含む断裂引綱を三連はしごの取付状態に合わせて、各滑車の位置で折り返したものを写真4に示す。写真4に合わせ、三連はしご図面を図2として比較した。その結果、実際の断裂箇所と2本目の170kgで断裂した箇所が下部滑り止めゴムから5番目の横さん付近の位置に一致していた。



図1 断裂引綱の引張強度

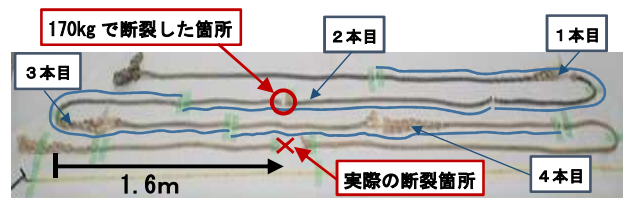


写真4 4本に分けた断裂引綱

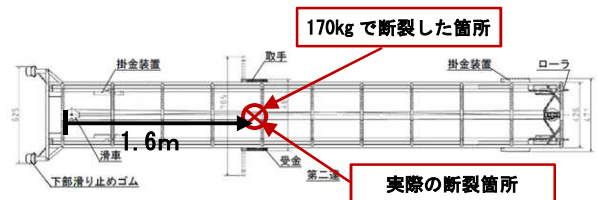


図2 三連はしご図面

3 酸性物質を付着させた場合の影響

2.(2).イのpH測定で断裂引綱の断裂部分に強い酸性が確認されたことから、引綱に酸性物質が付着した場合の影響を確認するため、追加の検証を実施した。検証では、車両周囲にあり、最

三連はしご用引綱の断裂原因の調査結果

も強酸である希硫酸を含有する消防車両のバッテリー液を用い、未使用引綱にバッテリー液を付着させた引綱（以下「希硫酸引綱」という。）の観察及び検証を実施した。

なお、バッテリー液は、pH1.0 以下であった。

(1) 希硫酸引綱の外観の観察

ア 目視による観察

写真5に示すとおり、引綱にバッテリー液を付着させた部分は紫色に変色した。

イ SEMによる観察

未使用引綱を引張圧縮試験機で断裂させ、1本のフィラメントの繊維の断裂面をSEMで撮影し、その後バッテリー液に浸し、経過時間ごとに断面の変化をSEMで撮影した。結果を表2に示す。フィラメントの断面に繊維の空洞化が確認され、時間の経過とともに劣化することが確認された。



写真5 希硫酸引綱の変色部分

表2 希硫酸引綱の断面の外観

	付着前	付着から1日後	付着から1週間後
断面 500 倍			

(2) 希硫酸引綱の検証結果

ア 希硫酸引綱の引張強度の測定

希硫酸引綱の引張強度の変化を経時的に確認した。バッテリー液の引綱への付着方法は、「3本のストランドに各1滴ずつ滴下する方法」と「測定する引綱の中央1箇所を30秒間浸す方法」で実施した。付着からの測定までの時間は、1時間、1日、1週間とし、結果を図3に示す。

図3に示すとおり、どちらの付着方法でも希硫酸引綱の引張強度は、時間の経過とともに低下した。また、30秒浸す場合では、より引張強度が低下した。

イ 希硫酸引綱の断裂状況

希硫酸引綱の断裂状況を写真6に、比較とし

て未使用引綱の断裂状況を写真7に示す。

希硫酸引綱では、ストランド3本が同時に断裂し、断裂後の状況が写真2に示した断裂引綱と同様の断裂状態であった。また、未使用引綱では、引張強度を超える引張力を加えると、3本のストランドのどこか1本が切れ、残りの2本の撚り部分が伸び、2本目・3本目と順にストランドが断裂した。

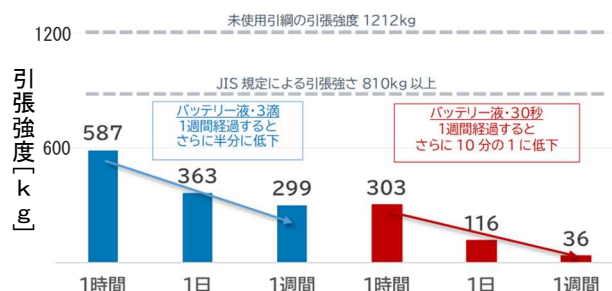


図3 希硫酸引綱の引張強度結果



写真6 希硫酸引綱の断裂状況



写真7 未使用引綱の断裂状況

4 考察

断裂引綱について

(1) 表1のとおり、断裂引綱には繊維の空洞化が確認されるが、これは引綱に使用されている麻の主成分がセルロースのため、酸による脱水作用で分解されて空洞化し、劣化したものと考えられる。

(2) 図1の1本目の引張強度が低かった原因と

して、1本目は三連はしごを伸梯して引綱の余長を三連はしごの横さんに巻き結び及び半結びをする際に、頻繁に結着する部分であり、日常的な摩擦で劣化していたと考えられる。

(3) 図1の2本目の引張強度が低かった原因として、断裂箇所と同様に酸性物質が付着したことにより、引張強度が低下したと考えられる。

(4) 写真4で確認されるとおり、実際の断裂箇所と170kgで断裂した箇所は、三連はしごの下部滑車から約1.6mの位置であり、各断裂箇所から強い酸性が示されたことから、この付近に何らかの酸性物質が付着した可能性があると考えられる。

(5) 未使用引綱は、ストランドが1本ずつ断裂することから、断裂引綱が3本同時に断裂した原因は、酸性物質による影響があったと考えられる。

(6) 断裂引綱の断裂原因については、上記(1)から(5)より、断裂引綱には何らかの酸性物質が付着し、付着部分が劣化したことにより引綱の断裂が発生したものと考えられる。

5 おわりに

三連はしごを取り扱う際には、引綱に酸性物質(バッテリー液等)が付着しないように配慮する必要がある。また、引綱に周囲と比べて明らかな変色や異臭が確認された場合は、強度を十分に点検し、劣化具合により交換をする必要がある。