救助用ロープの強さについて

松　江　一　臣*
山　田　捷　人*

1. ま え が き

普通「ロープの強さ」は，ロープを一定の速度で静かに引張り，切断するまでの最大荷重すなわち切断荷重で表わされているが，災害現場で使用されるロープには，静かな引張荷重以外に衝撃力，熱等の悪条件がくわわり，ロープの強度は更に低下する。この低下の度合を明らかにすることは，災害現場での事故を防ぐためにも重要であり急務とされていた。加えて警防部からの要請等もあり試験を実施し，一応の結果を得たので報告する。

2. ロープの強さの概念

ロープの強さとしては，次にあげるような多くの要素が考えられる。

（1） 静かな引張強さ
（2） ロープの軸に対し縦方向に働く衝撃力に対する強さ
（3） ロープの軸に対し直角方向に働く衝撃力（剪断力，切削力）に対する強さ
（4） 結び目の強さ
（5） 耐久力

ロープを使用するときは，これらの要素が複雑に影響しあうわけで，その場合の強度は静かな引張強さよりかなり低下するものと思われる。

3. 強度試験の方法

ロープの強度試験は，災害現場で使うときに近い状態で行わなければならないが，衝撃試験では，切断荷重をはっきりした数値で表わすのが困難なので，今回の試験では主として引張試験機を使って，静かな引張強さで表わす方法をとった。

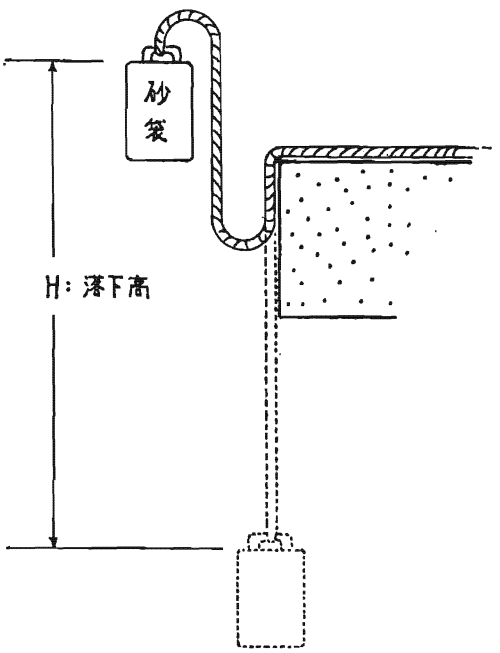
（1） 引張試験

単純な引張強さ，結び目の強さ，薬品および水等に対する耐久力ならびに熱による強度変化を，アムスラー万能試験機(たて型，10トン)により引張速度10cm/分で行なった。試験回数は単純引張試験が3回で，その他は2回である。

（2） 衝撃試験

消防隊員が救助活動中に誤まって落下し，建物のコンクリートのかど等でロープが衝撃的な力（剪断力）をうけたとき，どれくらいの高さまで安全であるか，図のような方法で試験を行なった。

第1図



4. 試 験 の 結 果

（1） 引張試験

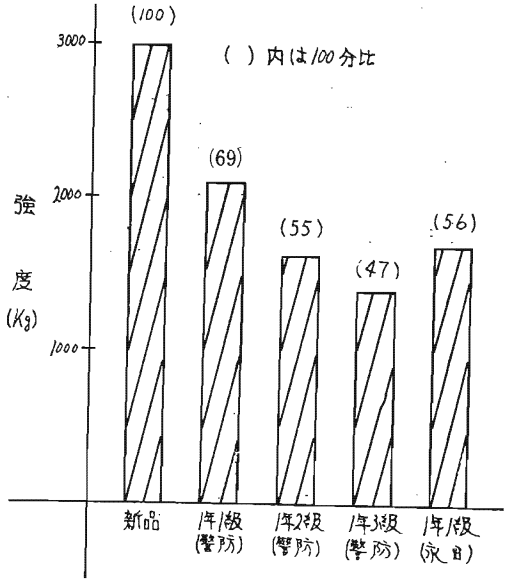
（第1表・2表・3表・4表・5表および第2図）
試料ロープはいずれも径12㎜のナイロンロープである。

*第一研究室

第１表　単純な引張強さ

種別	経年および程度	切断荷重 kg				伸び率
		1回	2回	3回	平均	%
芦森製	新品	2920	2940	2890	2917	40.5
〃	5年	2100	1530	2170	1933	41.2
前文製	新品	×	×	3030	3030	49.6
〃	1年・1級・警防	2140	2090	2050	2093	42.1
〃	〃 まさつによる焼けあり	2040	1610	1520	1723	40.0
〃	1年・2級・警防	1530	1710	1730	1657	39.5
〃	1年・3級・警防	1510	1470	1320	1433	39.8
〃	1年・1級・永田	1670	1800	1580	1683	40.5
〃	〃	1800	1250	1770	1607	39.8
帝産製	5年	1660	1440	1550	1550	39.3

第２図　経年変化（前文製）



注１．前文製の１年１級・２級・３級とは外見による程度別であり，ロープ強度の劣化は視認によりある程度識別できることが認められる。

C_1：前文製・１年１級

毛ばだちがなくストランドの谷がはっきり判別できる。

C_2：前文製・１年２級

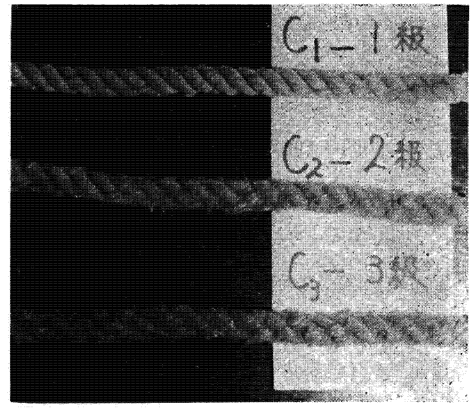
かなり毛ばだちがあり，そのためストランドの谷がところどころふさがっている。ぽつぽつした浮きが多くみられる。

C_3：前文製・１年３級

全面的に毛ばだちストランドの谷がうまっている。浮きは点在しているが摩耗しているためはっきりしない。

注２．警防および永田というのは，前者は警防課，後者は永田町に配置されたロープである。

写真１



第２表　結び目の強さ

結びの種類	芦森製			前文製・１年・１級・警防			百分比
	1回	2回	平均	1回	2回	平均	の平均
結びのないもの			2917			2093	100
二廻り二結び	2280	×	2280	1270	1450	1360	72
巻き結び	2240	1940	2090	1280	1600	1440	70
もやい結び	2040	2020	2030	1280	1300	1290	66
コイルもやい	1830	2190	2010	1560	1160	1360	67
二重もやい	1930	2070	2000	1650	1630	1640	73
ちょう結び	1920	1890	1905				65
三重もやい	1880	1820	1850	1550	1520	1535	68
二重つなぎ	1690	1680	1685	1250	1290	1270	60
本結び	1430	1480	1455	1080	1190	1135	52
止め結び	1460	1280	1370	980	980	980	47
かた結び	1220	1490	1355	1260	1000	1130	50
フューラー結び	2790	2720	2755	2200	1570	1885	46

第3表　薬品等に対する耐久力

試料は芦森製・新品。

（　）内は新品に対する百分比

薬品等の種類	切断荷重kg	摘　　要
灯　　油	2855（98%）	48時間灯油につけたもの
スノーラップ	2540（87%）	1.5%液に48時間つけたもの
粉石けん	2480（85%）	石けん液に48時間つけたもの
希　硫　酸	2270（78%）	濃度1規定の液に48時間つけたもの
カセイソーダ	1915（66%）	〃
バッテリ液	1105（38%）	1分間ずつ2度，バッテリ液につけたもの

第4表　濡れたロープの強さ。試料は芦森製・新品。

ロープの乾燥方法	切断荷重kg	摘　　要
太陽光により乾燥させたもの	2780（95%）	8回にわたり11時間20分水につけ，8回にわたり45時間太陽光にあてたもの。（11月中旬）
日陰干しで乾燥させたもの	2740（94%）	8回にわたり11時間20分水につけ，室内において乾燥させたもの
試験のとき濡れているもの	2475（85%）	試験の直前に10分間水につけたもの

第5表　熱による強度変化。試料は芦森製・新品。

ロープの状態	切断荷重kg	摘　　要
160℃・5分	2580（88%）	160℃の高温室内に5分間入れその直後に試験したもの
160℃・11分	2480（85%）	同様に11分間入れたもの
200℃・5分	2220（76%）	同様に200℃に5分間入れたもの
200℃・11分	2070（71%）	同様に11分間入れたもの

（2）　衝撃試験

（第6表・7表）

試料は芦森製の新品

第6表　ロープに対し直角方向に働く衝撃力に対する強さ

衝撃稜の種類	ロープの長さ	落下高	破損の状況
コンクリート・90。	2m	2m	破損はみられず
〃	〃	3m	コンクリートの角で少し毛ばだつ程度
〃	〃	4m	2回目，1ストランド切断 3回目，切断

第7表　衝撃力の近似計算値

ロープの長さ	落下高	ロープの伸び 静荷重 l_1	ロープの伸び 最大 $l_2=l_1(1+\sqrt{2H/l_1+1})$	衝撃力kg（近似値）
2　m	2m	3cm	38　cm	819
〃	3m	〃	45　cm	975
〃	4m	〃	52　cm	1125

注．衝撃力の計算は，落下物体の荷重による弾性棒の衝撃応力σの計算式を応用した。

$$\sigma=W/A\{1+\sqrt{1+2HAE(W+w/3)/l(W+w/2)^2}\} \quad \cdots\cdots①$$

①式から衝撃力Fを求める式を導くと

$$F\fallingdotseq W(1+\sqrt{2H/l_1+1})=W\cdot l_2/l_1 \quad \cdots\cdots②$$

Wは砂袋の重さ

l_1 は静荷重のときのロープの伸び

l_2 はロープの伸びの最大値

となる。

②式は砂袋の重さWにロープの伸びの比率l_2/l_1を乗じたものである。尚この式が成立するのはロープの弾性範囲内である。

5.　ま　と　め

強さ3,000kgのロープを実際使用するときに本結びを使ったとすれば，強さは1,500kgとなり，それが1年使用したロープだと更に30%低下して1,100kgで切断する。このロープを体重65kgの隊員が命綱として使った場合，4mの高さから落ちれば切断する可能性がある。今回の試験では切断しなかったが，これは引張試験では連続的な力であるが，衝撃試験では瞬間的な力であるという違いのためで，衝撃力がくり返えしかかれば完全に切断する。このことから考えて，1年使ったロープは最も程度の良いものでも，新品の1/3以下の荷重でなければ安全とはいえない。

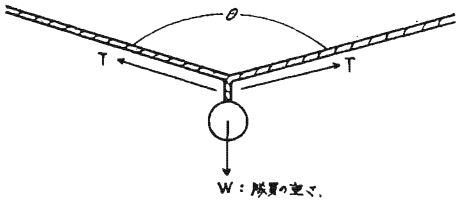
ロープが汚れたときなど，カセイ分の強い石けんで洗うのは良くないようで，水で洗った後ある程度乾燥させてから保管するのが良い。濡れたロープの強度は，濡れる前より約15%低下するので，濡れたロープをそのまま保管するのは良くない。乾燥方法については，期間が短かかったので結論は出せないが，やはり長時間太陽光にさらすのは良くないと考えられる。日陰干しではなるべく短時間で乾燥させるようにすべきだが，ストーブ等で熱するのは好ましくなく，温度が高くなると外見ではわからなくてもかなり弱くなる。

ロープに衝撃力がかかるのは，何か事故がおきたときなど突発的におきることが多く，それを予測して十

分な安全策を考えておく必要がある。しかしそれは取扱技術の問題が主で工学的な解決策は少ない。ロープの強度をあげれば衝撃力にも強くなるのは当然であるが，硬くすることは衝撃力Fの計算式においてl_1を小さくすることであり，衝撃力Fは大きくなる。衝撃力をうけるところで使うロープは，新しい柔軟性のあるロープが良い。

水平に展張したロープの中間に隊員が乗り，下図のようにロープが角度θとなってつり合っていると，ロープには$T=W/2\cos\frac{\theta}{2}$の力がかかっている。$W$を65kg，$\theta$を165°とすればロープには250kgの力がかかっているのである。

第3図



W・65kgの半分32.5kgがかかっていると考えるのは間違いで，もし隊員が展張したロープから落ち，命綱（腰綱）で確保されたときは，大きな衝撃力がかかり引張強さ3,000kg以下のロープでは切断することも考えられる。

6. あとがき

救助用ロープは衝撃力をうける場合が多いので衝撃試験について，今後検討を加えてより細かな試験を実施したい。

衝撃力が危険なのは，ロープだけではなく人体に及ぼす影響もあり，命綱（腰綱）を落差が2m以上になる長さにすることは，人体がうける衝撃から考えて危険ではないかと思われる。今後この方面の研究も進めてみたいと思っている。

なお，本研究は警防課の協力を得て実施したものである。

7. 参考文献

(1) ザイル（梶原信男著）
(2) 東京消防庁研究所報第2号「消防用ロープの強度について」