

鎖の強度及び変形について

(第 2 報)

土木建築課 森 宜 制
平 井 康 善

1. まえがき

前回は鎖の受ける衝撃荷重の値が、在来の理論式から求めた値とどの程度一致するか、或はどの程度修正しなければならないかと云うことを研究したのであるが(当研究所報 1955年 No. 2 掲載)、今回は鎖の形状を色々変えてみた場合、強度、変形等の静力学的性質がどのように変化するかを実験的に確かめた。以下はその報告である。

2. 実験の概要

今回の研究目標が、素材を同じくする鎖の形状を色々変えた場合、その静力学的性質にどのような差異が見出されるかを実験的に確かめることにあったので、各種の形状の鎖を多数用意し、これを引張試験機にかけて次の事項を測定した。

- (1) 破断荷重
- (2) 弾性限度
- (3) 弾性変形
- (4) 永久変形
- (5) 長方円段面の鎖の静力学的諸性質

その結果、(1)~(4)の事項は、鎖の形状が材料の太さに比べて極端に大きくない限り、6節で述べるような実験式で表現できることが分った。

しかし、(5)については試料の少い為もあって、決定的な結論を得るに至らなかった。

3. 試料

試験に供した鎖は専門メーカーに特別注文したものである。このメーカーは、JIS, NK, ABC, 及びロイドの規格品を作っているところであるから、製品については信用できるものと思われる。

材料は市場で比較的手に入り易い強度 41kg/mm² 程度の構造用棒鋼で径 16mm のものである。

リンクの接合は側部で行い(いわゆる横つぎ)、フラッシュバット溶接である。

形状は表-1 に示すように 10 種類ある。形状番号の

0~7 のものは径 16mm の円形断面であるが、8及び9は円形のもの押し潰して短径 10mm, 長径 20mm を有する長方円の断面にしたものである。

表-1 試料の形状

形状 No.	d cm	l ₁ cm	l ₂ cm	x	y
0	1.6	6.4	11.52	1.5	1.6
1	1.6	7.2	10.07	1.75	0.9
2	1.6	5.6	10.07	1.25	1.4
3	1.6	6.4	8.96	1.5	0.8
4	1.6	7.2	8.64	1.75	0.45
5	1.6	5.6	7.84	1.25	0.7
6	1.6	6.4	7.68	1.5	0.4
7	1.6	5.6	6.72	1.25	0.35
8	1.0×2.0	6.4	9.2	1.1	0.7
9	1.0×2.0	7.2	8.8	1.3	0.4

上表中の d は材料の径、l₁ は鎖リンクの巾、l₂ は鎖リンクの長さを表わし、r をリンク軸線の半径、2l を直線部分の長さとする(図-1)、x, y は次のものを意味している。

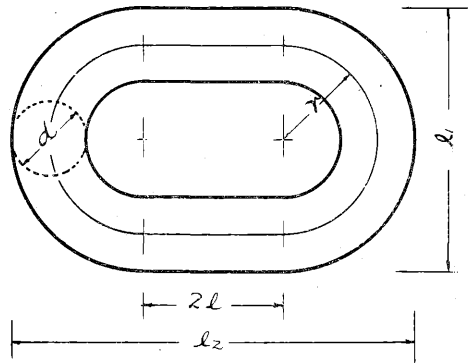


図-1

$$\begin{cases} x = \frac{r}{d} \\ y = \frac{l}{d} \end{cases}$$

$$\text{或は} \begin{cases} l_1 = (2x+1)d \\ l_2 = (2x+2y+1)d \end{cases}$$

しかし上表の x, y の値はだいたいの目安を示すもので実際は製作上の誤差があり、又物によっては焼鈍して試験しなければならなくなった為に、焼減りによって、x, y の値が更に変っている。実際の x, y は5節の測定結果に併記してある。

1本の鎖は3リンクよりなり、同形状の鎖を4本ずつ合計40本の試料を用意した。

これらの試料は加工したままで加工歪を除いてなかったために、所要の破断荷重に達しない内に、簡単に折損するものがかなりあらわれ、以後の実験に支障を来すおそれがあったので、各形状1本ずつ加工のままで破断試験した最初の試験を除き、他はすべて試料を低焼鈍及び焼鈍して試験した。

4. 試験方法

荷重装置にはアムスラ型50トン万能試験機を用い、鎖を試験機にとりつけるには、V字金具を用いた。

このV字金具は、径22mmの棒鋼をV字に曲げて、それを押し潰し、断面形が長方円（短径16mm）になるようにしたものである。

弾性変形の測定としては、鎖1リンクの長さをノギスでキヤッチし、それを自製のベンチに当てて、長さの変化を $1/100$ mmの単位で読んだ。

又、鎖リンクの永久的な伸び及び断面径の永久的な減少、はノギスで $1/20$ mmの単位で読んだ。

5. 測定結果

5-1. 材料の引張強度及び降伏点

この試料は鎖に用いた材料の中から任意に抽出したもので、次の値は各々2個の試料の平均である。

表-2 材料の引張強度及び降伏点

種類	降伏点 kg/cm ²	引張強度 kg/cm ²
加工のまま	2,810	4,160
燃 鈍	2,460	3,910

5-2. 破断荷重及び弾性限度

a. 加工のままで熱処理を施していない鎖の破断荷重及び弾性限度を表-3に示す。表-3の備考欄中Aとあるのは、加工歪により材料脆弱化して簡単に折損したものの（写真-2.参照）を云い、Bとあるのは溶接不良のため溶接部が外れて十分強度発揮しなかったもの（写真-3.参照）を云う。

b. 低焼鈍した鎖の破断荷重及び弾性限度を表-4に示す。備考欄中Bについて、表-3を参照のこと。

表-3

形状 No.	試料 No.	材料径 d(cm)	形状比		弾性限度 Pe (t)	破断荷重 Pu (t)	備考
			x	y			
0	1	1.58	1.53	1.60	5.5	11.5	A
〃	2	〃	〃	〃	5.3	11.1	A
〃	3	〃	〃	〃	5.4	12.5	A
1	1	1.58	1.78	0.91	4.5	14.5	
2	1	1.56	1.29	1.41	6.3	15.6	
3	1	1.56	1.53	0.90	5.5	12.5	A
4	1	1.57	1.77	0.51	4.1	14.5	
5	1	1.55	1.24	0.78	6.4	15.0	
6	1	1.58	1.46	0.54	6.0	8.3	A
7	1	1.56	1.23	0.48	5.2	8.1	B

表-4

形状 No.	試料 No.	材料径 d(cm)	形状比		弾性限度 Pe (t)	破断荷重 Pu (t)	備考
			x	y			
1	2	1.58	1.78	0.91	3.4	14.6	
〃	3	〃	〃	〃	3.5	13.7	
2	2	1.56	1.29	1.41	4.3	15.0	
〃	3	〃	〃	〃	4.9	15.5	
3	2	1.56	1.53	0.90	3.6	15.4	
〃	3	〃	〃	〃	3.8	15.1	
4	2	1.57	1.77	0.51	3.3	14.7	
〃	3	〃	〃	〃	3.1	15.0	
5	2	1.55	1.24	0.78	4.4	15.0	
〃	3	〃	〃	〃	6.0	16.8	
6	2	1.58	1.46	0.54	4.5	15.9	
〃	3	〃	〃	〃	4.1	13.0	B
7	2	1.56	1.23	0.48	4.3	15.0	
〃	3	〃	〃	〃	4.1	10.5	B

c. 焼鈍した場合

低焼鈍の場合では未だ完全に材質を均一化することができず、又低焼鈍の施し方そのものにも不揃いがあると感じたので、完全焼鈍を行った。その時の破断荷重及び弾性限度を表-5に示す。備考欄のBについては表-

表-5

形状 No.	試料 No.	材料径 d(cm)	形状比		弾性限度 Pe (t)	破断荷重 Pu (t)	備考
			x	y			
0	4	1.55	1.56	1.63	2.7	13.7	
1	4	1.56	1.80	0.92	1.9	13.1	
2	4	1.54	1.31	1.43	3.2	13.9	
3	4	1.54	1.55	0.91	3.0	14.2	
4	4	1.55	1.79	0.52	2.1	13.3	
5	4	1.54	1.25	0.79	3.3	13.7	
6	4	1.55	1.49	0.55	2.9	14.2	
7	4	1.53	1.26	0.49	3.5	10.4	B

3を参照のこと。

5-3. 弾性変形

表—6に鎖リンク1個の1t荷重に対する弾性的伸びを示す。この値は低焼鈍した各形状当り3本(試料番号2, 3, 4)の試料を2回ずつ測定した値の平均である。

5-4. 永久変形

表—7に、鎖リンク1個の永久的伸びおよび頭部断面の径の減少を示す。試料は全部低焼鈍したものである。なおこれらの試料の材料径、形状比x, yについては表—4を参照のこと。

表—6

形状 No.	材料径 d (cm)	x	y	伸び (mm/100)
0	1.58	1.53	1.60	6.66
1	1.58	1.78	0.91	8.89
2	1.56	1.29	1.41	4.54
3	1.56	1.53	0.90	5.65
4	1.57	1.77	0.51	7.30
5	1.55	1.24	0.78	3.23
6	1.58	1.46	0.54	4.90
7	1.56	1.23	0.48	3.13

表—7

形状 No.	試料 No.	原長 (mm)	荷重 (t)	伸び (mm)	径の減少 (mm)	3.5	6.0	8.5	11.0	13.5	13.7
1	3	85.75 15.49	荷重 (t)	0	0	0	0	0	0	0	0
			伸び (mm)	0	6.1	12.1	18.8	27.75	切 断		
			径の減少 (mm)	0	0.33	0.56	1.18	2.21			
2	3	86.00 15.11	荷重 (t)	0	0	0	0	0	0	0	0
			伸び (mm)	0	2.6	6.25	11.05	15.5	切 断		
			径の減少 (mm)	0	0.11	0.39	0.76				
3	3	75.75 15.34	荷重 (t)	0	0	0	0	0	0	0	0
			伸び (mm)	0	4.45	9.1	14.5	15.1	切 断		
			径の減少 (mm)	0	0.34	0.55	0.98				
4	3	71.75 15.70	荷重 (t)	0	0	0	0	0	0	0	0
			伸び (mm)	0	7.2	13.65	20.0	15.0	切 断		
			径の減少 (mm)	0	0.42	0.69	1.07				
5	3	63.65 15.10	荷重 (t)	0	0	0	0	0	0	0	0
			伸び (mm)	0	0.65	3.05	6.65	16.8	切 断		
			径の減少 (mm)	0	0.04	0.06	0.14				
6	3	63.00 15.41	荷重 (t)	0	0	0	0	0	0	0	0
			伸び (mm)	0	3.75	8.3	13.95	13.0	溶接部切 断		
			径の減少 (mm)	0	0.35	0.43	0.80				
7	3	53.50 —	荷重 (t)	0	0	0	0	0	0	0	0
			伸び (mm)	0	3.0	6.75	8.45	10.5	溶接部切 断		
			径の減少 (mm)	0	測 定 不 能						

5-5. 長方円断面の鎖の破断荷重、弾性限度および弾性変形

表—8に低焼鈍した長方円断面の鎖の破断荷重、弾性限度および弾性変形の測定結果を示す。備考欄中のBについては表—3を参照のこと。

表—8

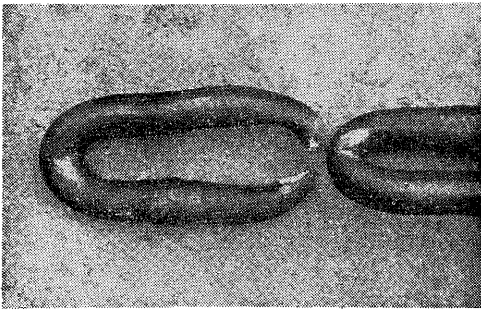
形状 No.	試料 No.	材料断面 (cm)	形状比 x	形状比 y	弾性限度 (t)	破断強度 (t)	弾性伸び (mm/100)	備考
8	2	0.98×1.98	1.14	0.64	4.0	6.4	3.45	B
8	3	〃	〃	〃	4.1	7.5	〃	B
9	2	0.97×2.03	1.24	0.43	3.5	11.5	4.44	
9	3	〃	〃	〃	3.9	10.1	〃	B

6. 結果の考察

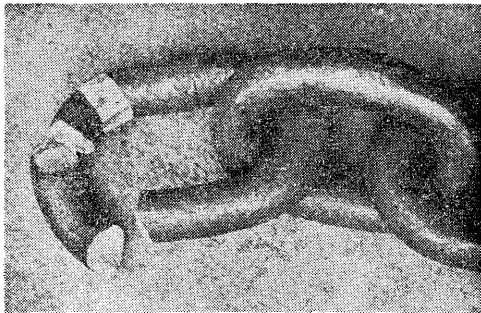
6-1. 鎖の破断荷重について

表一三～表一五を見て明らかなように、鎖が破断するときの荷重は鎖の形状の如何にかかわらず一定である。但し、加工歪のために材料が脆弱化しているもの（写真一2）とか、溶接の不良のもの（写真一3）などは、本来の強度を発揮しない内に破断する。

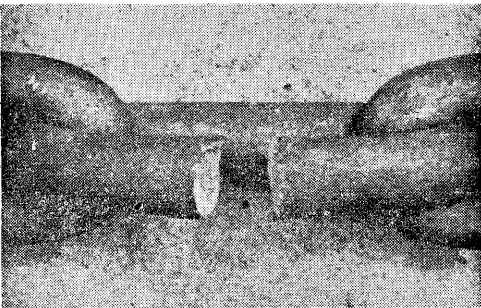
だいたいの見当としては、材料に使った棒鋼2本分の強度があると思って差し支えない。これは、鎖が破断するときは、写真一1に示すような細長い2本の棒のような形になることから肯けることである。



写 真 1



写 真 2



写 真 3

今回の結果から、材質上および製作上に欠陥のない正常な鎖に対しては、その破断荷重を与えるものとして、次の実験式を得た。

$$P_u = 1.46 \cdot \sigma_u \cdot d^2 \dots \dots \dots (1)$$

式中 P_u = 破断荷重, σ_u = 材料の引張強度
 d = 材料の径 である。

(1式において $\sigma_u = 3,910 \text{ kg/cm}^2$, $d = 1.53 \sim 1.55 \text{ cm}$ を代入すると表一五の値と非常によく一致する。

また表一三～表一五から明らかなように、焼鈍等の適当な熱処理を施せば、加工歪による材質上の悪影響を除くことができ、また鎖の形状を材料の径に比して、ある程度大きな余裕のあるものにするると、溶接不良をなくすることができる。

6-2. 鎖の弾性限度について

表一三～表一五から明らかなように、弾性限度は鎖の形状によって大いに異なる。寸法比を示すパラメータ x , y を用いて説明すれば、 x , y ともに大きくなる程弾性限度は低くなるが、その影響の度合は x の方が y より著しい。

今回の結果から弾性限度を示すものとして、次の実験式を得た。

$$P_e = \sum_e \cdot \sigma_u \cdot d^2 \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{1}{\sum_e} = 16.797 - 21.738x + 8.288x^2 + 0.186xy \dots (3)$$

上式に $\sigma_u = 3,910 \text{ kg/cm}^2$, $d = 1.53 \sim 1.55 \text{ cm}$ を代入すると、表一五の値となかなかよく一致する。

なお、従来認められている曲梁の理論から、鎖の弾性限度を計算してみたのであるが、その理論値は実測値の25～30%しか示さず、大分違っている。これは降伏時の鎖の応力の分布状態が、この理論における仮定のような直線分布でないことを意味しているものと思われる。

6-3. 鎖の弾性変形について

表一六から明らかなように、鎖の弾性限度は形状によって大いに異なる。 x , y もともに大きくなる程伸びは大きくなるが、その影響の度合は x の方が y より著しい。

今回の結果から鎖リンク1個の弾性的伸びを表わすものとして次の実験式を得た。

$$\delta = \Delta \cdot \frac{P}{d} \dots \dots \dots (4)$$

$$\Delta = -13,066 + 13,585x + 1,549\sqrt{x} \cdot y \dots \dots (5)$$

(単位 $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{kg}$)

なお、曲梁の理論から求めた値は表一六の実測値の約80%を示し、割合にあっている。これは鎖に働く荷重がそれ程大きくない間では、鎖の応力分布は仮定に近いものであることを意味していると思われる。

6-4. 永久の変形について

表一七から明らかなように、鎖の永久の伸びは形状により異なる。 x が大きくなれば伸びも大きくなるが、 y に対してはほとんど変化しない。またどの鎖についても、荷重と永久伸びとの関係は、ある限度まで直線変化であ

る。

以上の事を考慮し、さらに表一七の試験に供した鎖が低焼鈍したものなので、これを完全焼鈍したものに換算した結果、鎖の永久的伸びと形状および荷重との関係を表わすものとして、次の実験式を得た。

$$P = P_0 + \mu \cdot (x_0 - x) \cdot \sigma_u \cdot d^2 \dots\dots\dots(6)$$

$$\delta = (\pi - 2)(x_0 - x) d \dots\dots\dots(7)$$

$$\mu = 16,832 - 16.716x_0 + 4,355x_0^2 \dots\dots\dots(8)$$

式中の

P = 永久変形を生ぜしめる荷重

P₀ = 焼鈍した鎖の弾性限度

μ = 形状により異なる係数。(8)式から算出

σ_u = 材料の引張強度

d = 鎖の材料の径

x₀ = 鎖の始めの形状係数

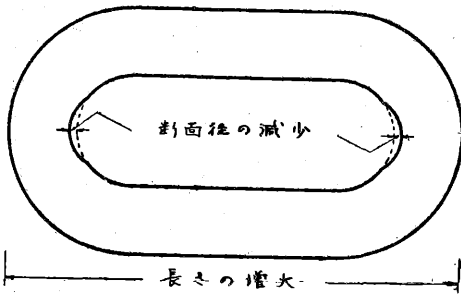
x = 鎖の永久変形後の形状係数

δ = 鎖リンク1個の永久的伸び

である。

なお、(6)~(8)式は、x ≥ 1.2 の範囲ならば充分正確である。

次に頭部断面径の永久的減少とは、図一2に示すように鎖の屈曲部の断面が、扁平化し縮小したときの、径の



図一2

減少量をいっているのであるが、その減少量と形状および荷重との関係は永久的伸びの場合によく似ている。したがってある比率を以って、永久的伸びを断面径の永久減少に置き換えることが可能である。

今頭部断面径の減少率と永久的伸び率との比をとれば0.20~0.30となり、その平均は約0.25である。

また、この試験では次の点が明らかになった。すなわち、鎖に弾性限度以上の荷重を与えた後荷重を除いた場

合、その鎖の弾性限度は見かけ上、その荷重の値まで上昇するのである。これは一般に引張試験でよく見られる現象であるが、鎖においても、この現象が極めて明瞭にあらわれた。

6-5. 長方円断面の鎖の静力学的性質について

表一八の試験に供した長方円断面の鎖と同断面、同形状(軸線の形状)の円形断面の鎖とを比較した場合

- (1) 弾性限度は長方円のものが5~10%高い。
- (2) 破断荷重は長方円のものが円形のもの約60%である。
- (3) 弾性変形は長方円のは円形のもの約60%である。

という結論を得たわけであるが、(2)の結論は、この試料の製作が当を得ていなかったために起ったとも考えられるゆえに、更に試験してみたいとはっきりしたことはいえない。

しかし、(1)および(3)の結論から、この種の鎖は静荷重のみを受ける場合には適しているが、衝撃荷重を受ける場合には適していないように思われる。

7. 結 論

以上の結論として鎖の設計、製作および使用上の重要ポイントを挙げれば次の通りである。

- (1) 鎖の材料としては、炭素の含有量の余り多くない溶接性および鍛接性の良好なものを選ぶ。実際問題としては「SBC」あるいは「SS 34 B」あたりが適当と思われる。
- (2) 電気溶接の場合は溶接後、焼鈍して歪を除く。
- (3) トロッコ連結用鎖のように、鎖の所要長が短く、また絶えず衝撃荷重を受ける場合は、鎖リンクの形状はなるべく大きく余悠あるものを選ぶ。
- (4) 鎖は大かれ少かれ、永久変形を許さなければならぬことが多いから、あらかじめ永久変形の許容限度を定めておいて、その時々の変形量を以って鎖の寿命の尺度とする。
- (5) 変形が許容限度に達したときの鎖の能力を以ってその鎖本来の許容能力とする。

以上の点に留意すれば、(1)および(2)から鎖の靱性が確保され、(3)から鎖の緩衝性が増大し、(4)および(5)から使用および管理上に科学性が導入されて、鎖を扱う上の信頼度が向上するであろう。(未完)

ABSTRACTS

PRESSURES EFFECT ON THE EXPLOSION LIMITS OF COAL GAS, PRODUCER GAS AND THESE MIXTURES.

By Noboru Tagnchi, Michio Naitō, Kōgaku Komamiya and Akio Horiuchi.

The purpose of this experiment is to conduce to the safety problem of the gas industry, by measuring the explosion limits of the city gas of which heat content is prescribed as 3600 Cal. under the pressure of 5 atms.

For this object, the measurements were performed on the upper and lower explosion limits of coal gas, producer gas and these mixtures under the atmospheric pressure by using the electric sparks for ignition, and on the upper limits of the preceding gases under the pressure between 0 and 10 atms. gauge by using the heater ignition plug.

The results of the measurements were concluded as follows,

- (1) The pressure effect on the upper explosion limit of coal gas is remarkable, because the upper explosion limit becomes 52 percent by volume under 10 atms., although it is 32 percent by volume under 0 atm. gauge.

But there is no pressure effect on the upper explosion limit of producer gas. Therefore, while there are many variation of the city gas of 3600 cal. heat content by changing the mixture ratio of coal gas, producer gas and air, the more the producer gas content is, the more the safety degree of the gas becomes under the high pressure.

- (2) The single city gas under the pressure of 5 atms. gauge cannot explode unless the addition of air, that is to say, it is out of the explosion range.

STUDIES ON THE STATIC PROPERTIES OF CHAIN IN VARIOUS FORMS

(2ND REPORT)

by Gisei Mori & Kozen Hirai

In order to determine the suitable size and form of the chain to couple trollies on the earth work and settle the safety practice of such a chain, both dynamic and static loading tests of the chain have been done. This report is based on the static loading tests of the chain of various forms in a same diameter of material.

From these tests following results were obtained.

- a. The breaking load of chain is independent on its form and expressed as the following formula.

$$P_u = 1.46 \cdot \sigma_u \cdot d^2,$$

, where P_u : the breaking load, σ_u : the tensile strength of material and d : the diameter of material.

b. The yielding load of chain depends upon the both width and length of a link. When let x and y be such parameters that.

$$l_1 = (2x + 1) \cdot d$$

$$l_2 = (2x + 2y + 1) \cdot d$$

, where l_1 : the width of a link and l_2 : the length of a link, the experimental expressions concerned to the yielding load P_e are given as follows,

$$P_e = \Sigma_e \cdot \sigma_u \cdot d^2$$

$$\text{and } \frac{1}{\Sigma_e} = 16.797 - 21.738x + 8.288x^2 + 0.186xy,$$

, where Σ_e : the coefficient concerned to the form of chain.

c. The tenacity and the plasticity are preferable natures to the strength for the material of chain.

d. The chain should be properly annealed after welding.

e. The elastic elongation of a link depends upon x and y , and is expressed as follows.

$$\delta = \Delta \cdot \frac{P}{d}$$

$$\Delta = -13.066 + 13.585x + 1.549 \sqrt{x} \cdot y,$$

, where δ : the elastic elongation (in cm) by P kg of load, and Δ : the coefficient concerned to the form of chain (in $\text{cm}^2/10^6\text{kg}$).

f. The permanent elongation of a link depends upon not y but only x , and the increase of a load P is linearly concerned to the corresponding increase of a permanent elongation δ as follows ;

$$\delta = (P - P_e) / \mu (\pi - 2) \cdot \delta_u \cdot d \quad \text{and} \quad \mu = 16.832 - 16.716x_0 + 4.355x_0^2,$$

, where P_e : the yielding load of chain, μ : the coefficient concerned to the form of chain and x_0 : the initial value of x .

But expressions described hitherto are available when $1.2 \leq x \leq 2.0$ and $0 \leq y \leq 1.5$.

(CONTINUED)

ON THE STRENGTH OF SAFTY BELT USED THE WORK OF THE POLE

by Tadashi Andou

Important problem for safty belt has two subjects.

One is strength of belt, rope and metal connecter and the other is how much shock the worker suffered by safty belt when he fall from top of the pole.

Testing breaking strength of safty belts for static and dynamic loading and shock load which suffered human body was measured in the case of falling from the top of the pole.

Safty belt is seldom danger to human lives in the case of falling from the top of the pole because of it limits to the length of rope.

Breaking strength of tested safty belts were min. 1180kg.