

# はしごクレーン救出第 1 法時におけるはしご等に 作用する力に関する検証

石崎 大河\*, 坂本 佑介\*, 湯浅 弘章\*\*

## 概 要

はしごクレーン救出第 1 法は、低所にいる要救助者を救出するために用いられる救助方法であり、要救助者の引き上げ時には、救助ロープ、はしご確保ロープによる張力や石突を足で押さえる力等様々な力が作用している。本検証でははしごクレーン救出第 1 法時に三連はしごに作用する力を力学的な計算により算出し、はしごクレーン救出第 1 法を三連はしごを転倒させず安全に運用するためのポイントを確認した。

その結果、はしごクレーン救出第 1 法は、仮に 90° に近い高い起梯角度であっても、石突確保者が確実に確保していなければ転倒する危険性の高い救助方法であり、石突を足で押さえつける重要性を十分理解した上で実施する必要があることが分かった。

## 1 はじめに

はしごクレーン救出法は、低所にいる要救助者を救助するため、三連はしご上部及び下部の横さんに結着した小綱に滑車を取り付けて救助ロープを通し、救助担架や縛帯を結着した上で、低所から引き上げて救助する方法である。要救助者の引き上げ時には、三連はしごに対して様々な力が働いており、石突確保者が確実に石突を押さえ込んでいなければ、石突が滑り出して三連はしごが転倒してしまうリスクがある。

そこで、本検証でははしごクレーン救出第 1 法時に各箇所にかかる力を算出することで、はしごクレーン救出第 1 法の性質を力学的に把握し、安全性を高めるための要素について提案することを目的として検証した。

## 2 検証方法

はしごクレーン救出第 1 法実施時において、三連はしごには滑車を介して要救助者を吊り上げるための救助ロープに掛かる張力、三連はしごを起梯角度 70° で保持し、かつ左右の動揺を抑えるためのはしご確保ロープに掛かる張力等により、石突をずらそうとする力が働いている。その力に拮抗するため、石突には床面からの静止摩擦力が働いており、さらに石突確保者が足で押し付ける力によりつり合いを取る必要がある。このつり合いが取れなくなると三連はしごが石突ごと滑り出し転倒に至ると考えられる。図 1 に転倒しないための条件図を示す。

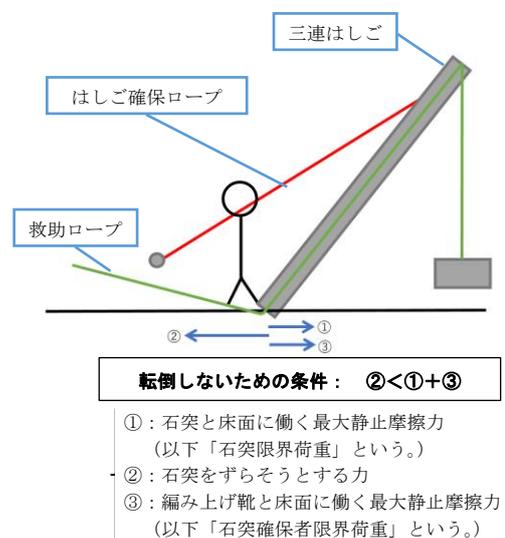


図 1 転倒しないための条件図

何らかの原因で石突をずらそうとする力 (②) が、石突限界荷重 (①) と石突確保者限界荷重 (③) の和を超えた場合、三連はしごが転倒に至ると考えられる。以下、石突限界荷重と石突確保者限界荷重の和を「はしご転倒荷重」と定義する。

本検証では、任意の起梯角度による「石突をずらそうとする力とはしご転倒荷重の関係」及び「石突確保者が

\*安全技術課 \*\*多摩消防署

受ける荷重と石突確保者限界荷重の関係」について計算により求めることで、三連はしごの転倒リスクについて検証した。

(1) 計算モデル及び計算式

はしごクレーン救出第1法時に三連はしごに作用する力は図2のとおりで、表1に図2及び計算式における各変数と説明を示す。なお、石突をずらそうとする力について、石突には石突をずらそうとする力の反力として石突の静止摩擦力が働くことから、以下では石突の静止摩擦力として計算する。

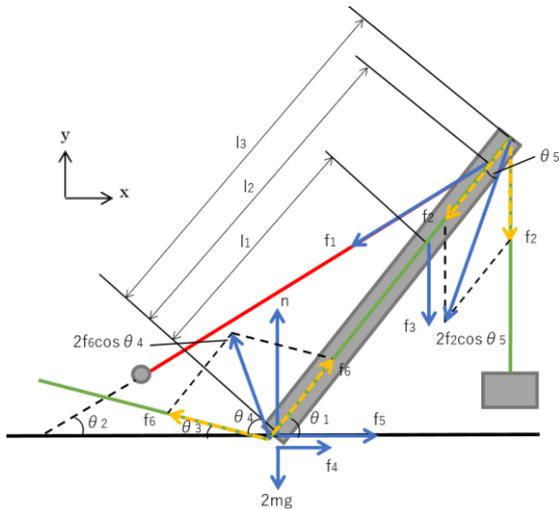


図2 三連はしごに作用する力（実線矢印）

表1 図2及び計算式における各変数と説明

変数	説明
$\mu_1$	石突と床面の静止摩擦係数
$\mu_2$	編み上げ靴と床面の静止摩擦係数
$f_1$ [N]	はしご確保ロープ張力（-x方向2本分）
$f_2$ [N]	要救助者+救助担架重量
$f_3$ [N]	三連はしご重量
$f_4$ [N]	石突確保者限界荷重
$f_5$ [N]	石突の静止摩擦力（石突をずらそうとする力の反力）
$f_6$ [N]	救助ロープ張力
$n$ [N]	三連はしごに掛かる床面反力
$l_1$ [m]	三連はしご下端から重心までの距離
$l_2$ [m]	三連はしご下端からはしご確保ロープ結着位置までの距離
$l_3$ [m]	三連はしご下端から上部滑車までの距離
$l_4$ [m]	三連はしご下端からはしご確保ロープと床面交点までの距離
$l_4'$ [m]	三連はしご下端からはしご確保ロープ確保位置までの距離
$l_5$ [m]	はしご確保ロープ結着位置から床面交点までの距離
$\theta_1$ [°]	三連はしご起梯角度
$\theta_2$ [°]	はしご確保ロープ引張角度
$\theta_3$ [°]	救助ロープ引張角度
$\theta_4$ [°]	下部滑車の引張方向と救助ロープのなす角度
$\theta_5$ [°]	上部滑車の引張方向と救助ロープのなす角度
$M$ [kg]	石突確保者の体重（1人分）
$m$ [kg]	石突確保者が垂直方向に押す荷重（1人分）
$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	重力加速度
$h$ [m]	はしご確保ロープ確保高さ

ア 各滑車から受ける荷重

三連はしご下部及び上部の滑車により三連はしごが受ける荷重は、図2の点線矢印で示す救助ロープ引張荷重の合成ベクトルで表される。また、 $f_6 = f_2$ であることから、

$$\text{下部滑車の引張荷重} : 2f_6 \cos \theta_4 = 2f_2 \cos \theta_4$$

$$\text{上部滑車の引張荷重} : 2f_2 \cos \theta_5$$

となる。

なお、 $\theta_4$ と $\theta_5$ は救助ロープと救助ロープ引張荷重の合成ベクトルがなす角度であることから、

$$\theta_4 = \frac{180 - (\theta_1 + \theta_3)}{2}, \quad \theta_5 = \frac{90 - \theta_1}{2}$$

となる。

上記合成ベクトル及びはしご確保ロープ張力をx、y方向成分に分解し、整理したものを図3に示す。

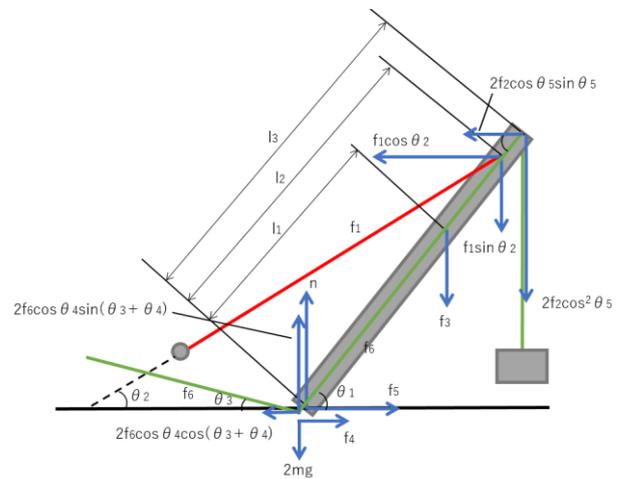


図3 xy方向に分解した三連はしごに作用する力

イ 三連はしごに掛かる床面反力n

図3におけるy方向の力のつり合いより、三連はしごに掛かる床面反力nについて整理すると、

$$f_1 \sin \theta_2 + 2f_2 \cos^2 \theta_5 + f_3 + 2mg = n + 2f_2 \cos \theta_4 \sin(\theta_3 + \theta_4)$$

$$\Leftrightarrow n = f_1 \sin \theta_2 + 2f_2 (\cos^2 \theta_5 - \cos \theta_4 \sin(\theta_3 + \theta_4)) + f_3 + 2mg$$

となる。

ウ 石突確保者限界荷重 $f_4$

1人当たりの石突確保者の荷重付加方向について、-y方向に石突を押さえつける荷重をmとすると、確保者の体重の残り分M-mは確保者の編み上げ靴と床面に作用するx方向の静止摩擦力に使われる。静止摩擦力の最大値は摩擦係数×垂直抗力によって表されることから、石突確保者2名がx方向に付加できる最大荷重である石突確保者限界荷重は、

$$f_4 = 2\mu_2(M - m)g$$

となる。ただし、後述するが弾性体である編み上げ靴の静止摩擦係数 $\mu_2$ は垂直抗力の大きさや接地面積により変

化することから、実測値より求める必要がある。

**エ 石突の静止摩擦力 $f_5$**

図3におけるx方向の力のつり合いより、石突の静止摩擦力 $f_5$ について整理すると、

$$f_4 + f_5 = f_1 \cos \theta_2 + 2f_2 \cos \theta_5 \sin \theta_5 + 2f_2 \cos \theta_4 \cos(\theta_3 + \theta_4) - f_4$$

$$\Leftrightarrow f_5 = f_1 \cos \theta_2 + 2f_2 \cos \theta_5 \sin \theta_5 + 2f_2 \cos \theta_4 \cos(\theta_3 + \theta_4) - f_4$$

となる。

**オ はしご確保ロープ張力 $f_1$**

図3における石突まわりのモーメントのつり合いより、はしご確保ロープ張力 $f_1$ について整理すると、

$$f_1 \sin \theta_2 \times l_2 \cos \theta_1 + 2f_2 \cos^2 \theta_5 \times l_3 \cos \theta_1 + f_3 \times l_1 \cos \theta_1 = f_1 \cos \theta_2 \times l_2 \sin \theta_1 + 2f_2 \cos \theta_5 \sin \theta_5 \times l_3 \sin \theta_1$$

$$\Leftrightarrow f_1 = \frac{2f_2 l_3 (\cos \theta_5 \sin \theta_5 \sin \theta_1 - \cos^2 \theta_5 \cos \theta_1) - f_3 l_1 \cos \theta_1}{l_2 (\sin \theta_2 \cos \theta_1 - \cos \theta_2 \sin \theta_1)}$$

となる。

**カ はしご確保ロープ引張角度 $\theta_2$**

図4にはしご確保ロープ確保位置と各角度の図を示す。はしご確保ロープ引張角度 $\theta_2$ について整理すると、

$$l_5 \cos \theta_2 = l_4 + l_2 \cos \theta_1$$

$$l_2 \sin \theta_1 = l_5 \sin \theta_2$$

この方程式をそれぞれ $l_5$ について解くと、

$$l_5 = \frac{l_4 + l_2 \cos \theta_1}{\cos \theta_2} = \frac{l_2 \sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

$$\Leftrightarrow \sin \theta_2 (l_4 + l_2 \cos \theta_1) = l_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2$$

$$\Leftrightarrow \frac{\sin \theta_2}{\cos \theta_2} = \tan \theta_2 = \frac{l_2 \sin \theta_1}{(l_4 + l_2 \cos \theta_1)}$$

$$\Leftrightarrow \theta_2 = \tan^{-1} \frac{l_2 \sin \theta_1}{(l_4 + l_2 \cos \theta_1)}$$

となる。

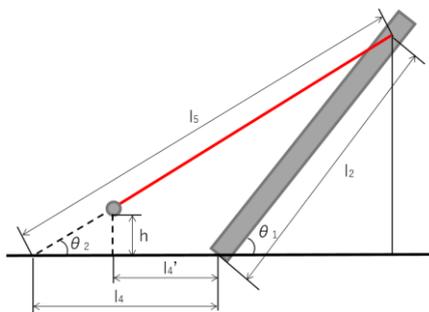


図4 はしご確保ロープ確保位置と各角度

**キ はしご確保ロープと床面交点までの距離 $l_4$**

図4よりはしご確保ロープと床面交点までの距離 $l_4$ について整理すると、相似の関係から、

$$l_2 \sin \theta_1 : h = l_4 + l_2 \cos \theta_1 : l_4 - l_4'$$

$$\Leftrightarrow (l_2 \sin \theta_1 - h)(l_4 - l_4') = l_4' h + l_2 h \cos \theta_1$$

$$\Leftrightarrow l_2 l_4 \sin \theta_1 = l_4 (l_2 \sin \theta_1 - h) - l_2 h \cos \theta_1$$

$$\Leftrightarrow l_4 = \frac{l_2 l_4' \sin \theta_1 + l_2 h \cos \theta_1}{l_2 \sin \theta_1 - h}$$

となる。

**ク はしご転倒荷重 $f_5'$**

はしご転倒荷重は垂直抗力 $n$ ×石突の静止摩擦係数 $\mu_1$ で表されることから、

$$f_5' = \mu_1 n$$

となる。ただし、後述するが弾性体である石突の静止摩擦係数 $\mu_1$ は垂直抗力の大きさや接地面積により変化することから、実測値より求める必要がある。

以上、ア～キより任意の起梯角度 $\theta_1$ における「石突をずらそうとする力とはしご転倒荷重の関係」及び「石突確保者が受ける荷重と石突確保者限界荷重の関係」を求める。

**(2) 三連はしご横さんの静止摩擦係数測定試験**

三連はしごはその構造上、起梯角度 $50^\circ$ で最下段の横さんが床面と接触することになる。そのため、三連はしごに働く静止摩擦力を考慮する際、起梯角度 $50^\circ$ 以上では、石突と床面の静止摩擦力で考えるが、起梯角度 $50^\circ$ 未満では、三連はしご横さんと床面の静止摩擦力で考える必要がある。そこで、起梯角度 $50^\circ$ 未満の静止摩擦力を計算する際に必要な、三連はしご横さんの静止摩擦係数を測定した。

測定は表3に示す6種類の床面において、三連はしご横さんが接触する状態で置き、ワイヤーを介して水平方向に引っ張った際の滑り出す直前の最大荷重を測定した。なお、測定回数5回の平均値から静止摩擦係数を算出した。

表3 静止摩擦係数測定をする各床面材質

床面材質	
コンクリート（細かい） 	アスファルト 
コンクリート（粗い） 	鉄（グレーチング） 
コンクリート（中） 	木材（コンパネ） 

**(3) 石突及び編み上げ靴の静止摩擦係数測定試験**

金属のような剛体において、静止摩擦係数は「接触面積や床面反力に関係せず一定になる」というアモンテュークローンの摩擦法則が当てはまる。そのため、一度任

意の床面反力における静止摩擦係数を求めてしまえば、その他の床面反力における限界荷重は、その静止摩擦係数と床面反力の積で求めることができる。

しかしながらゴム材については、接触面で弾性変形が起こるため摩擦現象は複雑となり、アモントンの法則が当てはまらなくなる<sup>1)</sup>。そのため、ゴム材の静止摩擦係数は接触面積と床面反力の大きさにより変動する。

以上のことを踏まえ、石突については起梯角度によって接触面積が異なるため、静止摩擦係数の接触面積依存性を考慮する必要がある。また、石突に作用する床面反力は起梯角度により変化するため、代表的な床面反力を負荷した際の静止摩擦係数の床面反力依存性を考慮する必要がある。

#### ア 石突の静止摩擦係数の接触面積依存性確認試験

表4に示す接触面積依存性の確認試験条件により、石突の最大摩擦係数を測定し、接触面積依存性を検討した。表4中の測定方法は下記のとおり。

- ①三連はしごを90°に起梯した状態で、両石突に回したロープを手前方向に引っ張り、石突が滑り出す限界荷重を測定
- ②石突単体におもりを乗せ、石突に回したワイヤーを手前方向に引っ張り、石突が滑り出す限界荷重を測定

表4 接触面積依存性の確認試験条件

床面材質	接地面積	想定起梯角度	石突負荷 (片側当たり)	測定方法
コンクリート (細かい)	最小	90°	20kg	①
	最大	75°		②
木材 (コンパネ)	最小	90°		①
	最大	75°		②

#### イ 石突の静止摩擦係数の床面反力依存性確認試験

表5に床面反力依存性の確認試験条件を示す。なお、(1)により算出された石突片側当たり作用する床面反力は、起梯角度により約70kg～85kgで変化するため、代表値として表5に示す5種類の荷重を石突負荷とした。測定された引張限界荷重と石突負荷より最大摩擦係数を測定し、床面反力依存性を検討した。

表5 床面反力依存性の確認試験条件

床面材質	石突負荷	測定方法
表3中の 6種類	10kg	石突単体におもりを乗せ、石突に回したワイヤーを手前方向に引っ張り限界荷重を測定
	70kg	
	75kg	
	80kg	
	85kg	

#### ウ 編み上げ靴の静止摩擦係数測定試験

石突確保者限界荷重については、石突確保者の編み上げ靴に働く最大静止摩擦力により算出した。(1)ウで記述したように、体重Mの石突確保者が石突を下方に押さえつける荷重をmとすると、残りのM-mは編み上げ靴と床面の静止摩擦力に使われる。ここでは体重75.0kgの石突確保者1人が石突を下方に押さえつける荷重を25.0kg、残りの50.0kgが編み上げ靴を介して石突を手前方向に押さえつける静止摩擦力に使われると仮定し、編み上げ靴1足当たり25.0kgの試験負荷における静止摩擦係数を測定することで、石突確保者限界荷重を算出した。

また、救助ロープ確保者の体重75.0kgと仮定し、救助ロープ確保者限界荷重を算出するため、編み上げ靴1足当たり37.5kgの試験負荷でも試験した。表6に編み上げ靴の静止摩擦係数測定試験条件を示す。

表6 編み上げ靴の静止摩擦係数測定試験条件

床面材質	編み上げ靴 負荷	測定方法
表3中の 6種類	25kg	編み上げ靴単体におもりを乗せ、編み上げ靴に回したワイヤーを手前方向に引っ張り限界荷重を測定
	37.5kg	

#### (4) 三連はしご重心の測定

荷重計算する上で必要な三連はしごの重心位置を測定した。測定は単管上に三連はしごの裏主管側を乗せて、つり合いの取れる位置における石突から単管と接する支点間の距離を測定することで求めた。(図5)



図5 三連はしご重心測定時の状況

### 3 結果及び考察

#### (1) 計算に必要な変数の測定結果

##### ア 三連はしご横さんの静止摩擦係数の測定結果

各床面における三連はしご横さんの静止摩擦係数の測定結果を表7に示す。

鉄(グレーチング)が最も低く、コンクリート(細かい)が最も高い値となった。

表7 各床面における静止摩擦係数の測定結果

床面材質	三連はしご横さんの 静止摩擦係数
コンクリート（細かい）	0.64
コンクリート（粗い）	0.38
コンクリート（中）	0.44
アスファルト	0.48
鉄（グレーチング）	0.33
木材（コンパネ）	0.37

イ 石突の静止摩擦係数の接触面積依存性

表8に接触面積依存性確認試験の結果を示す。静止摩擦係数の偏差をみると、コンクリート（細かい）では0.0025、木材（コンパネ）では0.005となった。

一般的なゴム材の傾向として接地面積が大きくなると摩擦係数も大きくなること<sup>2)</sup>が知られているが、本結果はその逆となっている。変化率が非常に小さいことと合わせて考えると、本結果は測定誤差の範囲であると考えられ、試験条件における接触面積の差程度では、摩擦係数に与える影響はなく、接触面積依存性はないと考えられる。したがって、本検証の計算においては石突の接触面積による影響は考慮しないこととする。

表8 接触面積依存性確認試験結果

床面材質	接地面積	静止摩擦係数	静止摩擦係数の偏差
コンクリート（細かい）	最小	0.740	0.0025
	最大	0.735	
木材（コンパネ）	最小	0.690	0.0050
	最大	0.680	

ウ 石突の静止摩擦係数の床面反力依存性

図6～図11に各床面における石突負荷と静止摩擦係数の関係を示す。

一般的なゴム材の傾向として床面反力が大きくなると摩擦係数が小さくなることが知られている<sup>1)</sup>。コンクリート（粗い）、アスファルト、木材（コンパネ）の3種類については床面反力と反比例して静止摩擦係数が下がった。ただし、コンクリート（細かい）、コンクリート（中）の2種類については横ばいであり、鉄（グレーチング）は増加した。

鉄（グレーチング）については石突負荷の増加にしたがって石突の変形量が大きくなると、グレーチングとの非接触部分が食い込み、引っかかることで引張荷重が増加したためだと考えられる。

以上のように床面材質により、床面反力依存性の有無

及びその挙動が異なることから、本試験結果で得られたデータを線形近似した理論値により、起梯角度により変化する床面反力ごとの静止摩擦係数を算出し、はしご転倒荷重を計算した。

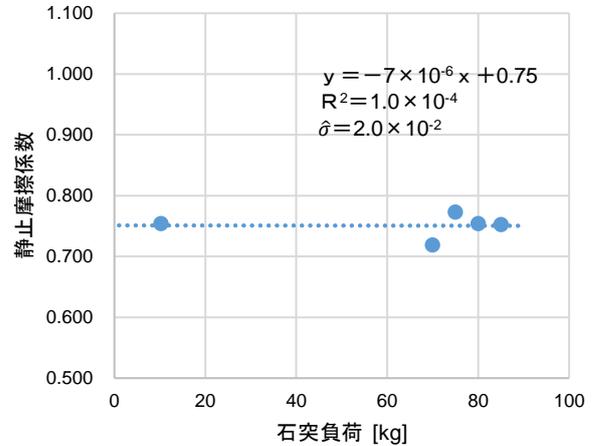


図6 石突負荷と静止摩擦係数の関係  
コンクリート（細かい）

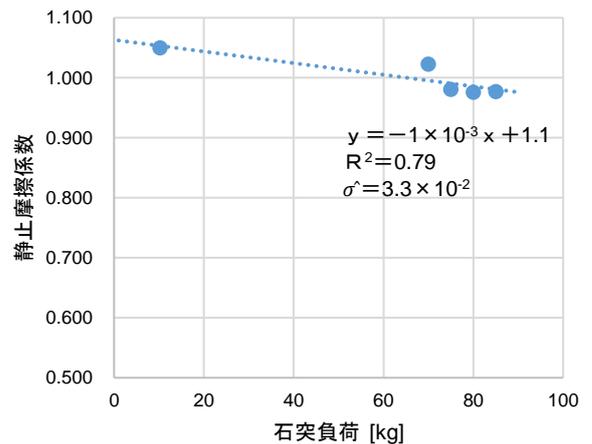


図7 石突負荷と静止摩擦係数の関係  
コンクリート（粗い）

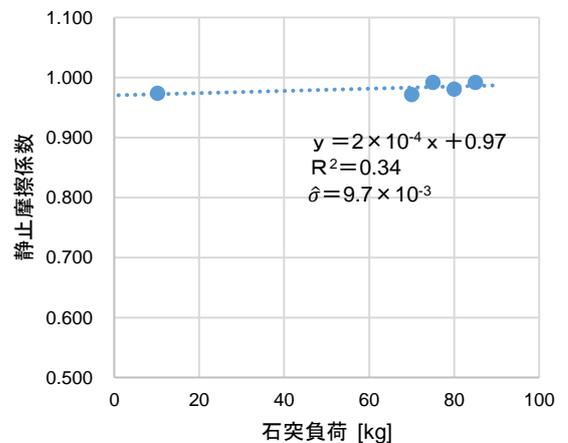


図8 石突負荷と静止摩擦係数の関係  
コンクリート（中）

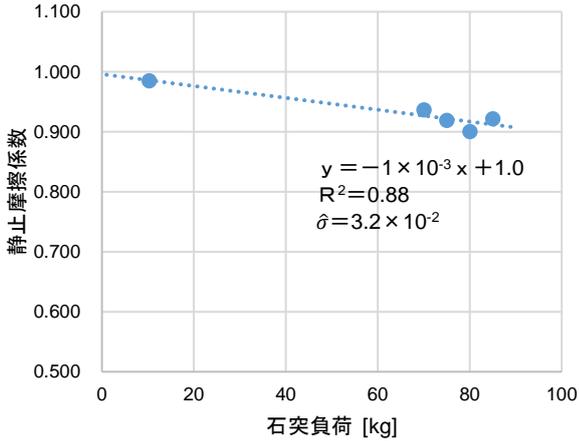


図9 石突負荷と静止摩擦係数の関係  
アスファルト

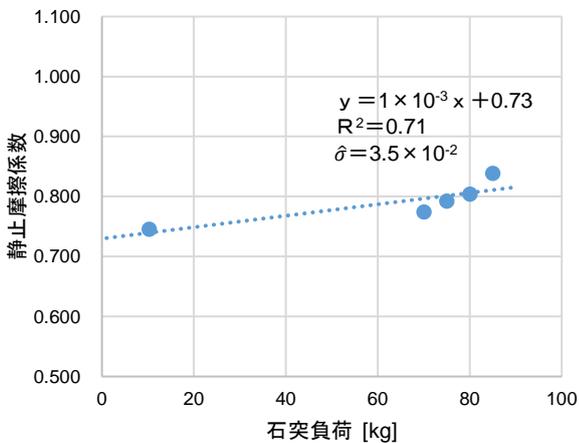


図10 石突負荷と静止摩擦係数の関係  
鉄（グレーチング）

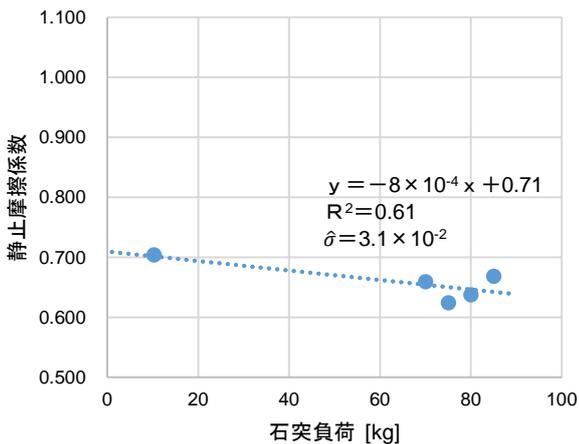


図11 石突負荷と静止摩擦係数の関係  
木材（コンパネ）

### エ 編み上げ靴の静止摩擦係数測定試験

表9に編み上げ靴の静止摩擦係数測定試験の結果を示す。本結果を踏まえ、石突確保者の限界荷重は編み上げ靴負荷25kgにおける静止摩擦係数を、救助ロープ確保者の限界荷重は編み上げ靴負荷37.5kgの静止摩擦係数を

用いて算出した。

表9 編み上げ靴の静止摩擦係数測定試験結果

床面材質	編み上げ靴負荷 [kg]	限界引張荷重平均値 [kg]	静止摩擦係数
コンクリート（細かい）	25	21.37	0.85
	37.5	32.35	0.86
コンクリート（粗い）	25	23.47	0.94
	37.5	36.87	0.98
コンクリート（中）	25	27.15	1.09
	37.5	38.85	1.04
アスファルト	25	25.37	1.01
	37.5	38.43	1.02
鉄（グレーチング）	25	20.77	0.83
	37.5	30.47	0.81
木材（コンパネ）	25	21.03	0.84
	37.5	29.30	0.78

### カ 計算に必要な変数の設定値

上記の測定結果を踏まえ、計算に必要な各変数は表10に示すとおりを設定した。

表10 各変数の設定値

変数	設定値
要救助者+救助担架重量 $f_2$	75.4kg
三連はしご重量 $f_3$	32.5kg
三連はしご下端から重心までの距離 $l_1$	1.88m
三連はしご下端からはしご確保ロープ結着位置までの距離 $l_2$	3.18m
三連はしご下端から上部滑車までの距離 $l_3$	3.535m
三連はしご下端からはしご確保ロープ確保位置までの距離 $l_4'$	3.5m
はしご確保ロープ確保高さ $h$	0.8m
救助ロープ確保高さ $h'$	0.8m
救助ロープ引張角度 $\theta_3$	15°
石突確保者及び救助ロープ確保者体重（1人分） $M$	75kg
石突確保者が垂直方向に押す荷重（1人分） $m$	25kg
重力加速度 $g$	9.8m/s <sup>2</sup>

### (2) 各荷重計算結果

#### ア 起梯角度と石突をずらそうとする力の関係

図12～図17に起梯角度と石突をずらそうとする力の関係を示す。石突をずらそうとする力がはしご転倒荷重を超えると石突確保者ごと石突が床面を滑り出し、はしごの転倒につながる。なお、はしご転倒荷重は50°より上の起梯角度では石突の静止摩擦係数で、50°以下の起梯角度では横さんの静止摩擦係数から算出した。

図中の数値は交点のはしご転倒角度を示している。このように、どの床面に対しても正規の起梯角度である70°で、石突を足で確保している状態では石突をずらそうとする力ははしご転倒荷重を超えることはなく、はしごは転倒しないと考えられる。床面がコンクリート（細かい）では横さんが接触しても石突確保者により確保できるが、48°ではしご転倒に至ると考えられる。その他の床面では、50°で横さんが接した時点ではしごが転倒すると考えられる。

また、床面が木材（コンパネ）における石突確保者がいない場合の起梯角度と石突をずらそうとする力の関係を図18に示す。図のように石突確保者がいない場合は、起梯角度が90°であっても石突が滑り出し、転倒に至ると考えられる。計算結果を確認するため、床面が木材（コンパネ）におけるはしごクレーン救出第1法の実験を行った。負荷重量、確保位置等は(1)表8に示す計算で使用した値で実施した。実験の様子を図19、図20に示す。結果として、起梯角度90°であっても石突が滑り出すことが分かった。

したがって、はしごクレーン救出第1法は、仮に90°に近い高い起梯角度であっても、石突確保者が確実に確保していなければ転倒する危険性の高い救助方法であることから、石突を足で押さえつける重要性を十分理解した上で実施する必要があると考えられる。

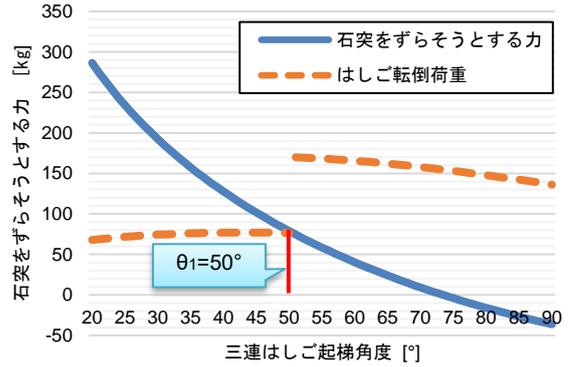


図14 起梯角度と石突をずらそうとする力の関係 コンクリート（中）

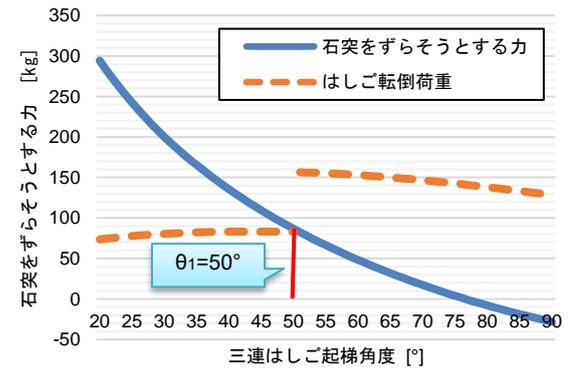


図15 起梯角度と石突をずらそうとする力の関係 アスファルト

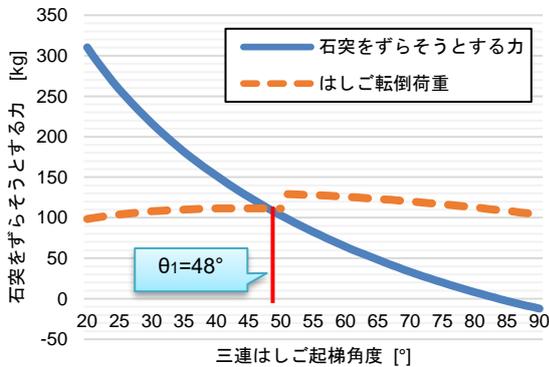


図12 起梯角度と石突をずらそうとする力の関係 コンクリート（細かい）

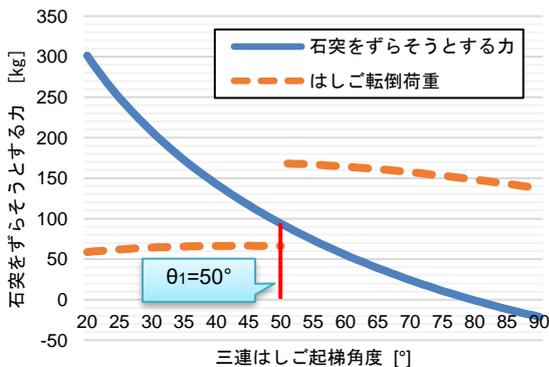


図13 起梯角度と石突をずらそうとする力の関係 コンクリート（粗い）

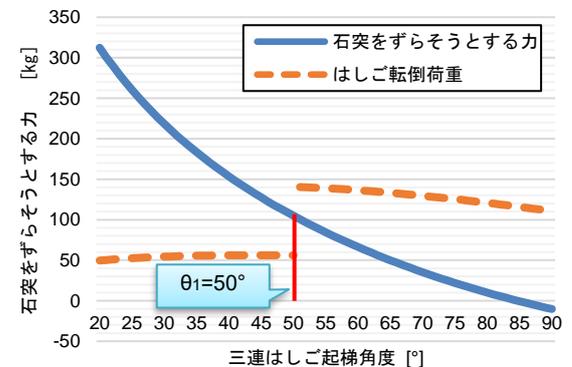


図16 起梯角度と石突をずらそうとする力の関係 鉄（グレーティング）

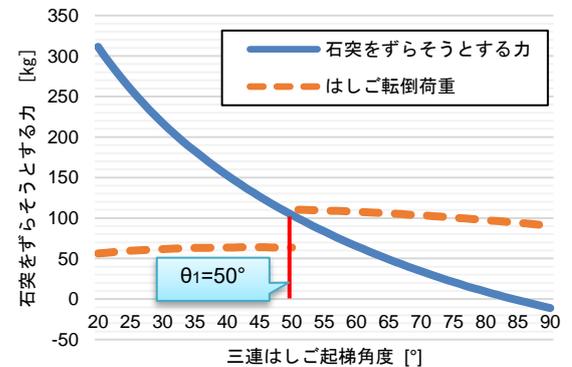


図17 起梯角度と石突をずらそうとする力の関係 木材（コンパネ）

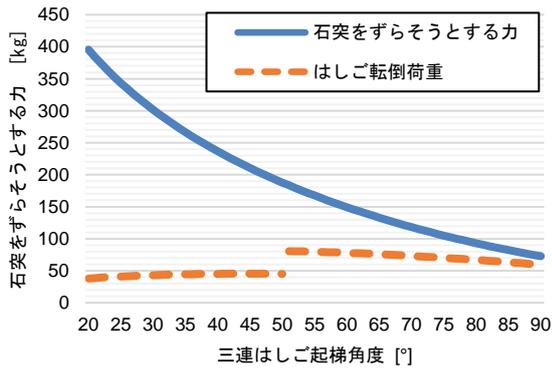


図 18 起梯角度と石突をずらそうとする力の関係 (石突確保者なし) 木材 (コンパネ)



図 19 実験の様子 (全体)



図 20 実験の様子 (起梯角度 90° 側面)

### イ 起梯角度と石突確保者が受ける力の関係

アの結果は、石突確保者が手前方向に滑り出す直前の限界荷重を付加した状態で算出した結果となる。はしご転倒の過程を細かく考えると、石突確保者は常時編み上げ靴が滑り出す限界荷重で押さえ続けている訳ではなく、石突が滑り出した瞬間にそれを止められるだけの荷重で石突を奥方向に押し返している。したがって、「はしご転倒荷重 $f'_5$  - 石突をずらそうとする力 $f_5$ 」で表される石突

をずらそうとする力がはしご転倒荷重に達するまで余力 (以下「石突が動くまでの余力」という。) だけ奥方向の力を抜いても確保できると考えられる。このことから、石突確保者限界荷重 $f_4$ から石突が動くまでの余力 ( $f'_5 - f_5$ ) を差し引いた値が、石突確保者が手前方向に受ける力だとみなせる。

$$\begin{aligned} & \text{石突確保者が手前方向に受ける力 (1人分)} \\ &= \text{石突確保者限界荷重} \\ & \quad - \text{石突が動くまでの余力} \\ &= \frac{f_4 - (f'_5 - f_5)}{2g} \quad [\text{kg}] \end{aligned}$$

図 21～図 26 に起梯角度と石突確保者が手前方向に受ける力 (1人分) の関係を示す。石突確保者が手前方向に受ける力 (青線) が石突確保者限界荷重 (橙線) を超えると石突確保者が床面を滑り出し、三連はしごの転倒につながる。図中の数値は手前方向に受ける力が掛かり始める起梯角度を示している。

表 11 に石突の静止摩擦係数と手前方向に力を受け始める起梯角度の表を示す。なお、この表は摩擦係数の昇順に並べ替えているものである。表のように摩擦係数が低い順に力を受け始める起梯角度が高くなっており、低い起梯角度でも手前方向の力を小さくするためには、摩擦係数の大きい床面を選定する必要がある。

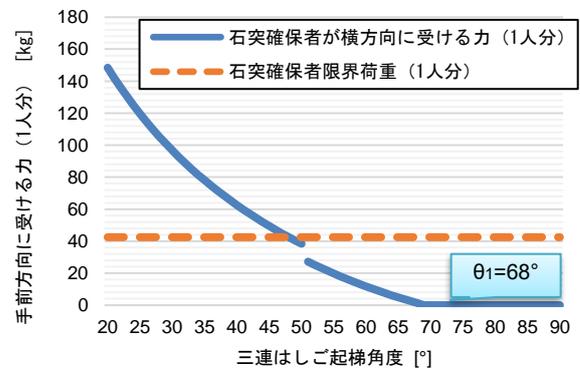


図 21 起梯角度と石突確保者が受ける力の関係 コンクリート (細かい)

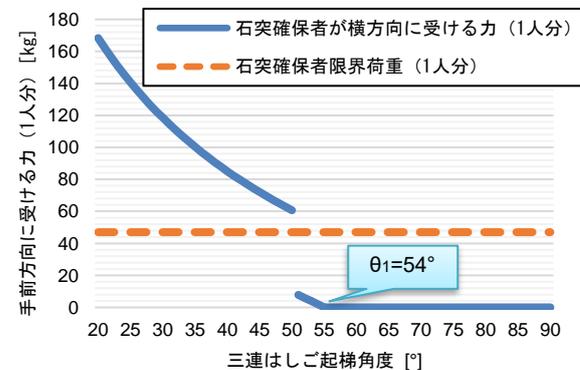


図 22 起梯角度と石突確保者が受ける力の関係 コンクリート (粗い)

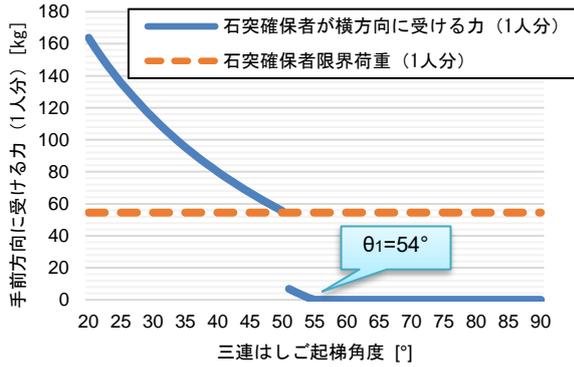


図 23 起梯角度と石突確保者が受ける力の関係  
コンクリート（中）

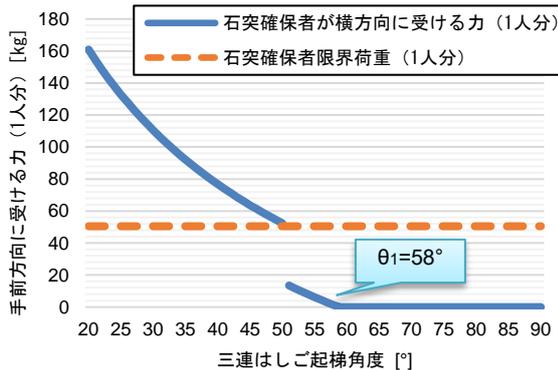


図 24 起梯角度と石突確保者が受ける力の関係  
アスファルト

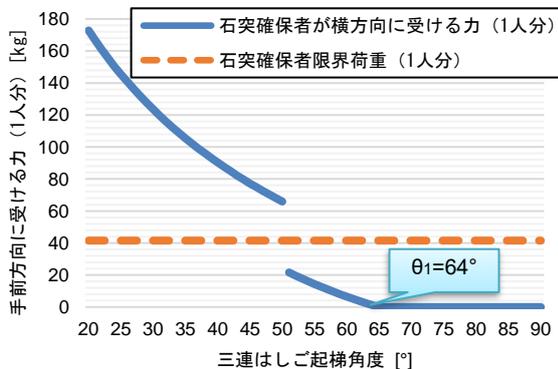


図 25 起梯角度と石突確保者が受ける力の関係  
鉄（グレーチング）

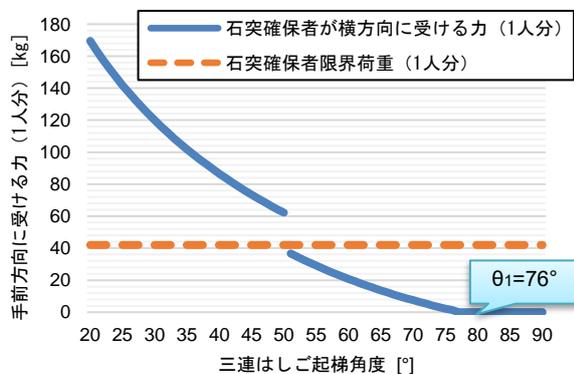


図 26 起梯角度と石突確保者が受ける力の関係  
木材（コンパネ）

表 11 石突の静止摩擦係数と力を受け始める起梯角度

床面材質	石突の静止摩擦係数	力を受け始める起梯角度 [°]
板材（コンパネ）	0.64	76
コンクリート（細かい）	0.75	68
鉄（グレーチング）	0.80	64
アスファルト	0.90	58
コンクリート（粗い）	0.98	54
コンクリート（中）	0.98	54

エ 下方向に石突を押さえる力の検討

表 12 に本検証で測定された石突と編み上げ靴の静止摩擦係数の比較を示す。なお、石突の静止摩擦係数は床面反力依存性があるため、正規の起梯角度 70° における床面反力時の数値とした。表のようにコンクリート（粗い）以外は全ての床面で編み上げ靴の方が最大摩擦係数が高く、全体平均で 11% 高いことが分かった。したがって、石突よりも編み上げ靴の方が高い摩擦力を生み出せると考えられる。

図 27 に起梯角度 70°、床面がコンクリート（細かい）における石突確保者が下方向に石突を押さえる力と石突が動くまでの余力の関係を示す。同図には石突確保者手前方向限界荷重も示している。図に示すように、下方向に石突を押さえつける荷重が小さいほど、石突が動くまでの余力は大きくなる。これは、上述したように、石突より編み上げ靴の方が静止摩擦係数が高いため、石突に体重を乗せて上から下に押さえつけるより、石突を奥方向に押さえつける方が高い摩擦力を発生させることができるためだと考えられる。したがって、石突を確保する際は、下方向に押さえつけようとするよりは、奥方向に押さえつけよう意識した方が安全側になると考えられる。

表 12 石突と編み上げ靴の静止摩擦係数の比較

床面材質	静止摩擦係数		石突基準の変化率 [%]
	石突	編み上げ靴	
コンクリート（細かい）	0.75	0.85	13
コンクリート（粗い）	0.98	0.94	-4
コンクリート（中）	0.98	1.09	11
アスファルト	0.90	1.01	12
鉄（グレーチング）	0.80	0.83	4
板材（コンパネ）	0.64	0.84	31
平均			11

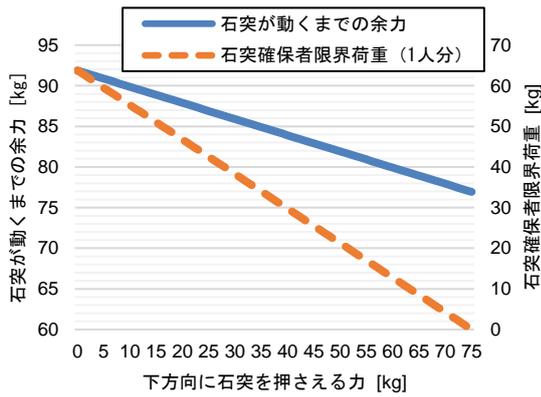


図 27 下方向の石突を押さえる力と石突が動くまでの余力の関係

オ 石突の静止摩擦係数と石突確保者の負担

図 28 に起梯角度 70° における石突の静止摩擦係数と手前方向に受ける力の関係を、表 13 に手前方向に受ける力の減少率を示す。図のように、石突の静止摩擦係数の増加に反比例して石突確保者が受ける力は減少し、仮に静止摩擦係数が 0.3 から 0.6 に増加したとすると、手前方向に受ける力からは 69%減少すると考えられる。

このように石突確保者の負担を減らし、より安全な活動をするためには、石突の静止摩擦係数をより高めることが重要であると考えられる。

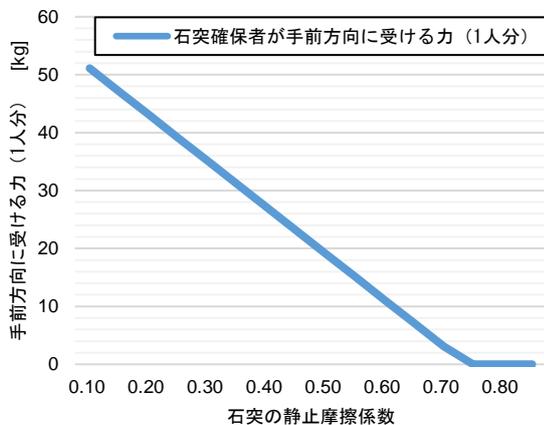


図 28 石突の静止摩擦係数と手前方向に受ける力の関係

表 13 手前方向に受ける力の減少率

静止摩擦係数	手前方向に受ける力 (1人分) [kg]	受ける力の減少率 [%]
0.3	35	69
0.6	11	

カ 石突確保者の体重による選定

石突の静止摩擦係数を 0.5 と仮定して、石突確保者の体重と三連はしごが転倒する限界起梯角度について検証

する。図 29 に石突確保者の体重と限界起梯角度の関係を、表 14 に体重と限界起梯角度を示す。図のように、石突確保者の体重が増加すると限界起梯角度は減少し、より厳しい起梯角度でも耐えられるようになると考えられる。

このように石突確保者を選定する際、できるだけ体重の大きい隊員を選定することが、より安全な活動をするために必要であると考えられる。

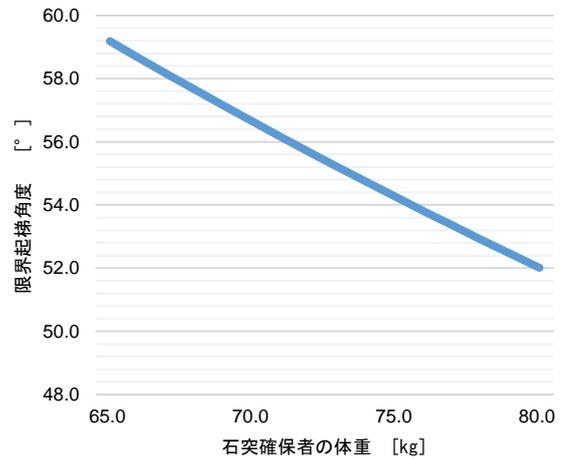


図 29 石突確保者の体重と限界起梯角度の関係

表 14 体重と限界起梯角度

石突確保者の体重 [kg]	限界起梯角度
65	59.2
70	56.6
75	54.2
80	52.0

4 まとめ

- (1) 正規の起梯角度である 70° において、石突が確実に確保されている状態では、石突をずらそうとする力がはしご転倒荷重を超えることはなく、三連はしごは転倒しないと考えられる。
- (2) 床面がコンクリート（細かい）では、起梯角度 50° で横さんが接触しても即座に転倒することはないが、起梯角度 48° で転倒に至り、その他の床面では、起梯角度 50° で横さんが接した時点で三連はしごが転倒すると考えられる。
- (3) はしごクレーン救出第1法は、仮に 90° に近い高い起梯角度であっても、石突確保者が確実に確保していなければ転倒する危険性の高い救助方法であることから、石突を足で押さえつける重要性を十分理解した上で実施する必要があると考えられる。

## 5 安全性を高めるための提案

### (1) 石突確保時の意識

本検証で用いた床面では、コンクリート（粗い）以外  
は全ての床面で石突よりも編み上げ靴の方が高い摩擦力を  
生み出せる結果となったことから、石突を確保する際  
は、石突に体重を乗せて下方向に押さえつけるよりも、  
編み上げ靴に体重を乗せて奥方向に押し付けようと意識  
した方が、石突が動くまでの余力が高くなり、安全であ  
ると考えられる。

### (2) 石突確保者及び救助ロープ確保者の負担軽減

はしごクレーン救出第1法において、救助ロープの引  
き上げは石突確保者及び救助ロープ確保者が連携して実  
施しているが、石突確保者が救助ロープ引き上げをする  
ことで、石突確保者の編み上げ靴と床面に働く摩擦力が  
減り、三連はしごが転倒しやすくなる。そのため、石突  
確保者は石突確保に専念することが理想ではあるが、救  
助ロープ確保者1人で引き上げることは現実的に困難で  
ある。人的余裕があれば、救助ロープ確保者の支援要員  
を増員すると、石突確保者及び救助ロープ確保者に余裕  
が生まれ、より安全な活動が期待できる。

### (3) 石突の静止摩擦係数の重要性

静止摩擦係数が0.3から0.6に増加した場合、手前方  
向に受ける力は69%減少することから、石突確保者の負  
担を減らしより安全な活動をするためには、石突の静止  
摩擦係数をより高めることが重要である。また、木材（コ  
ンパネ）等静止摩擦係数が低い床面ははしご転倒につな  
がりやすいことから、活動時は十分注意すること。

### (4) 石突確保者の体重による選定

今回の計算条件では、石突確保者の体重が65kgの場  
合は起梯角度が59.2°まで耐えられるが、石突確保者の体  
重を80kgに増加すると、より厳しい起梯角度である  
52.0°まで耐えられることから、石突確保者の選定時は  
体重についても考慮する必要があると考えられる。

#### [参考文献]

- 1) 日本ゴム協会編集委員会：日本ゴム協会誌、83巻4号  
P.109-116（2010）
- 2) 大原利一郎：日本ゴム協会誌、68巻9号 P.587-594(1995)