

## 6. つり足場の保有耐力に及ぼす施工精度の影響

日野泰道 \*

## 6. Strength of Roughly Assembled Suspended Scaffolds

by Yasumichi HINO \*

**Abstract:** Suspended scaffolds supported by many chains are generally used at bridge construction sites for work such as painting, assembling of form panels, etc., which involve only lightweight materials. However, after the Hanshin-Awaji earthquake in 1996, numerous bridge reinforcement projects were implemented, involving the handling of 10 kN of heavy-load materials on suspended scaffolds.

As the safety design method for suspended scaffolds has not been confirmed, there is an urgent need to develop countermeasures for the heavy-load materials. In fact, an accident has already occurred in which material fell from the suspended scaffolds onto the express highway and crashed into several cars. The accident was caused by the fracture of one of the scaffold chains due to the heavy load.

The objective of this study was to investigate the strength of suspended scaffolds and the suitable use method of their components by experimental studies. Especially, the relationship between the difference in the relative number of chains and the increment load was investigated. The major findings obtained from the results of this study are summarized as follows:

- 1) The increment load of the suspended scaffolds roughly depends on the additional number of chains. However, the maximum load of the suspended scaffolds with a small length of chain could not be estimated in proportion to the number of chains.
- 2) The loads acting on multiple chains have especially great disparity at the elastic area. This disparity depends on the difference in relative chain length.
- 3) Suspended scaffolds must always be used in the elastic area. Hence, the design load values cannot be estimated in proportion to the number of chains.
- 4) The chain length must be equalized for ensuring the safety of suspended scaffolds for supporting the heavy-load parts.
- 5) Maximum lateral strength of the clamp was very small even under appropriate installation. When the torque of the clamp was insufficient or its installation angle was large, the maximum value was very small.
- 6) The lateral load of suspended scaffolds can be reduced through effective planning, design and execution management.

**Keywords:** Suspended Scaffolds, Strength of the Chain, Bridge Construction Site, Dropping Accidents

---

\* 建設安全研究グループ Construction Safety Research Group

## 1. はじめに

橋梁工事などで利用されるつり足場<sup>1)</sup>は、従来から労働者などの軽量の荷重を支持する目的で使用されることが多く、その安全性についても、大きな安全率を考慮することで、その確保が行われてきた。

ところが兵庫県南部地震を契機に、大規模な耐震補強工事が数多く行われるようになり、1トン近くに達する重量金物の搬入・取付のため、つり足場が利用されるようになってきた。そのため、従来ではあまり問題とされてこなかった“つり足場全体としての保有耐力”をより正確に知る必要性が生じている。

ところでつり足場は、橋梁下に設置する作業床の他、主に当該作業床を支持する役割を担う“つりチェーン”と、橋梁とつりチェーンを結合する役割を担う“つりクランプ”を複数組み合わせることにより構成される(写真1参照)。

そこで本研究は、その主要な構成要素である“つりチェーン”を複数本同時に使用した場合の基本性能を明らかにするとともに、施工精度の違いを考慮した“つりクランプ”の最大強度(とりわけ最大水平強度)について検討を行った。

## 2. チェーンを同時に複数使用した場合の基本性能

### 2.1 はじめに

写真1に示す通り、つり足場は複数のつりチェーンによって構成される。そこで使用されるつりチェーンは、等しい長さで使用することが計画されるが、施工誤差などの影響によって、つりチェーンのフックを掛け違える(1リング分だけ長めに取り付けてしまう等の)場合が想定される(図1(c)参照)。このような場合、つりチェーンの使用長さに相対的な差が生じるため、各チェーンで負担する荷重は同一とはならず、長さの短い特定のつりチェーンに鉛直荷重が集中することが考えられる。そこでつりチェーンについては、特にこの相対的な長さの差が、つり足場全体の保有耐力に及ぼす影響について検討を行なった。

### 2.2 実験諸元

実験対象とするつりチェーンは、労働安全衛生法施行令第13条第22号の3に定める構造規格<sup>2)</sup>(つり足場用のつりチェーン及びつりわくの規格)の条件を満足するものとし、2本1組を1回の実験で使用した。実験パラメータは、①つりチェーンのリング差の有無(2本のチェーンの相対的な長さの差)、②つりチェーンの使用方法(チェーン形状)、③つりチェーンの長さL(チェー

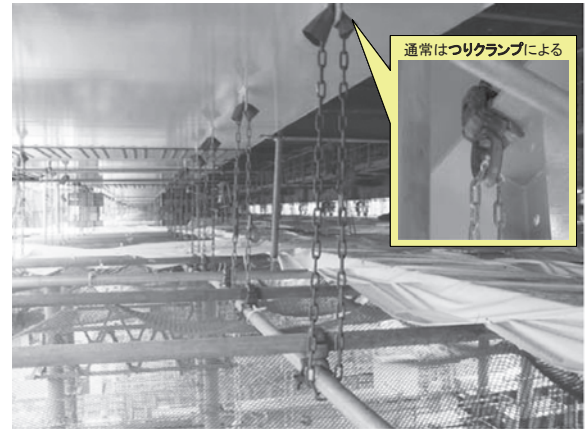


写真1. つり足場の設置状況

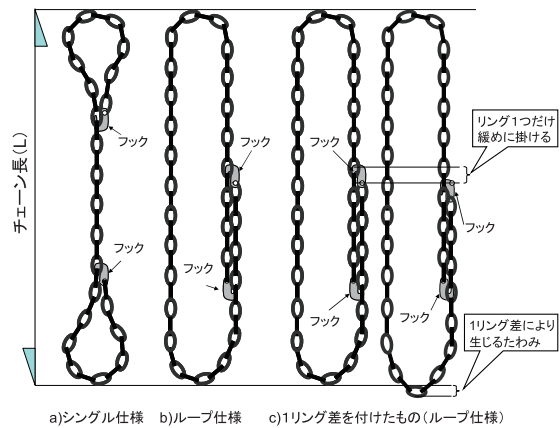


図1. チェーン形状

ン全長)である。表1に実験パラメータ、図1に本実験で使用したチェーンの使用方法(チェーン形状)を示す。

図2に実験装置を示す。装置本体は、当研究所の200トン圧縮・引張試験機(島津製作所製)を使用した。つりチェーンは、つり足場の構成要素である“おやご”や“ころばし”に設置された状況を模擬するため、鋼製丸棒(それらの材料として利用される直径48mmの単管パイプを想定したもの)に取り付けることとし、これを当該試験装置の上端および下端に配置した。実験は、載荷速度0.1mm/secの一定速度で静的加力を行った<sup>3)</sup>。つりチェーンに作用する荷重、およびつりチェーンの変位量は、200トン試験装置に内蔵された測定装置のほか、定格荷重5トンの引張用ロードセル(LTR-S-SA1:共和電業製)、および定格容量500mmのワイヤ式ポテンシオメータ(DTP-D-500S:共和電業製)により計測を行った。データサンプリングは、1Hzの時間刻みで自動計測を行った。

### 2.3 実験結果

#### (1) 2本組のつりチェーンの最大荷重 $P_{max}$

表2に、時刻  $t$  における2本のチェーンの負担荷重  $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$  の合計値 (全体荷重  $P(t)$ ) の最大値 (最大荷重  $P_{max}$ ) を示す。なお表中には参考のため、 $P_{max}$  の平均値  $P_{AV}$  と、ループ・シングルというつりチェーンの形状に応じて一般的に設定される許容荷重  $P_d$  を基に、チェーン2本を用いた場合に設計上必要とされる最大荷重の大きさ (以下、設計用最大荷重  $P_N$ ) を算出した結果も合わせて示している。最大荷重  $P_{max}$  の平均値  $P_{AV}$  は、①つりチェーンのリング差の有無 (各チェーンの相対的な長さの差)、②つりチェーンの使用形状 (チェーン形状)、③つりチェーンの設置長さ  $L$  (各チェーン形状に応じた全長) の違いによらず、設計用最大荷重  $P_N$  を上回っていることが分かる。このことから、1リング差程度の長さの違いが、最大荷重  $P_{max}$  に及ぼす影響については、大局的には無視しうると言える。

一方、つりチェーンの形状が同じであれば、チェーン長が異なっても等しい最大荷重  $P_{max}$  となるはずである。しかし 1200mm と 400mm の最大荷重  $P_{max}$  を比較すると、チェーン長  $L$  の短い 400mm の方が小さい値となっていることが表2よりわかる。また最大結果  $P_{max}$  の一部では、設計用最大荷重  $P_N$  を下回る結果もみられた (長さ 400mm のループ形状のもの：実験④)。この実験結果は、つりチェーンの溶接接合部が曲げ破断したものであり、その破断面には、溶接の際に発生するスラグが観察された (図3参照)。すなわち設計用最大荷重  $P_N$  を実験結果  $P_{max}$  が下回ったのは、設計・製造時に考慮がなされていない曲げ応力がつりチェーンに作用したこと、並びに溶接接合部の不良が原因であると考えられる。

#### (2) チェーン長 $L$ の違いが最大荷重 $P_{max}$ に及ぼす影響

図4に、チェーン長  $L$  が異なるループつりの実験で得られた荷重—変位関係を示す。同図に示した3つの曲

表1 実験パラメータ

つりチェーン形状	リング差	実験回数
ループ (1200mm)	リング差無	4
	1リング差	3
ループ (400mm)	リング差無	4
	1リング差	4
シングル (1200mm)	リング差無	3
	1リング差	3

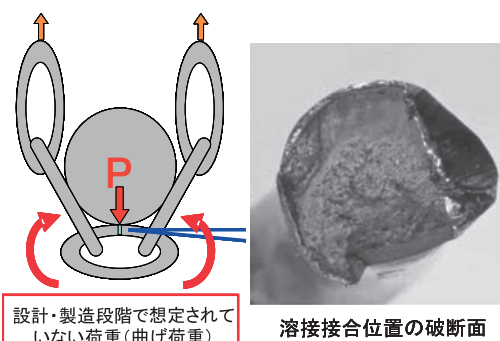
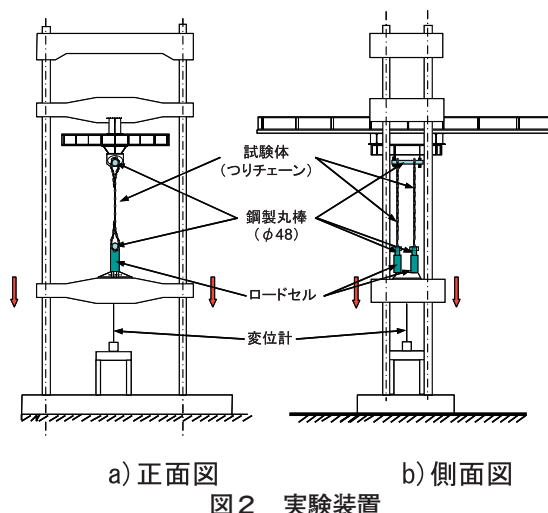


図3 設計用最大荷重を下回った実験結果の例

表2 実験結果

チェーンの形状	リング差	2本組のつり足場の最大荷重* : $P_{max}$				平均値*** $P_{AV}$	設計用最大荷重** $P_N$
		実験①	実験②	実験③	実験④		
ループ (1200mm)	無	81	75	76	75	77	42.14
	1リング	79	83	81	-	81	42.14
ループ (400mm)	無	66	64	76	69	69	42.14
	1リング	69	61	75	30	59	42.14
シングル (1200mm)	無	42	45	38	-	42	23.52
	1リング	47	42	39	-	43	23.52

\*  $P_{max}$  :  $P_1(t_{max}) + P_2(t_{max})$  ただし、 $P_{max}$  : チェーン2本を用いた場合の最大荷重、 $t_{max}$  : 最大荷重時の時刻  
 $P_1(t_{max})$ 、 $P_2(t_{max})$  : 時刻  $t_{max}$  における1本目又は2本目のチェーンの負担荷重  
 \*\*  $P_N$  : チェーン2本を用いた場合に設計上必要な最大荷重  
 ループ (設計用最大荷重  $P_N$ ) = 許容荷重  $P_d$  (4.214KN) × 安全率 (5) × 本数 (2) = 42.14KN  
 シングル (設計用最大荷重  $P_N$ ) = 許容荷重  $P_d$  (2.352KN) × 安全率 (5) × 本数 (2) = 23.52KN  
 \*\*\*  $P_{AV}$  : 各チェーン形状に応じた「実験①から実験④」までの  $P_{max}$  の平均値

線は、時刻  $t$  における2本の各チェーンの負担荷重  $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$  とその合計値(全体荷重  $P(t)$ )を示すものである。まずリング差のない場合(各チェーンの相対的な長さの差が計算上はない場合)について検討する。1200mmの実験結果(左上の図)について見てみると、各チェーンの負担する荷重  $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$  は、 $P_{max}$  を生ずるまでの全ての時刻でほぼ等しいことが分かる。一方400mmの結果(右上の図)においても、この点に違いはない。そしてチェーン1本あたりの負担する荷重の大きさ  $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$  の最大値  $P_{1-max}$ 、 $P_{2-max}$  に注目してみると、1200mmの場合は約40kNであるのに対し、400mmでは約30kNとなっていることが分かる。このことから、両者の最大値  $P_{max}$  に違いを生じさせた主な原因は、チェーン長  $L$  の違いによるものではなく、個体としての性能差によりたまたま生じたものと思われる。よって、複数本使用した場合でも、リング差がない場合では、チェーン長の違いによる影響はないと判断する。

次に1リング差ある場合について検討する。1200mmの実験結果(左下の図)を見ると、初期段階における負担荷重には  $P_1(t)$  と  $P_2(t)$  とで差があるもの

の、最大荷重  $P_{max}$  付近では、両者はほぼ等しい荷重を負担していることが分かる。これに対し400mmの場合(右下の図)でも、変位が40mm付近までの荷重—変位関係については、1200mmの場合とほとんど差が見られない。しかしチェーン長が400mmの場合では、1200mmの場合と比較して、約1/3の変位量である約50mmのところまで最大荷重  $P_{max}$  を迎えていることがわかる(右下の図参照の事)。そして図から分かるように、チェーン長が400mmの場合では、2本目のチェーンの個体としての最大荷重  $P_{2-max}$  よりも、最大荷重時の荷重  $P_2(t_{max})$  が小さい結果(約6割程度)となっている。このことは、2本目のチェーンが、その能力を十分発揮する前に、最大荷重  $P_{max}$  となったことを示している。

ここでチェーン長  $L$  が400mmの場合と1200mmの場合で異なる結果となった原因は、以下のように説明できる。すなわち長さ1200mmのチェーンと400mmのチェーンでは、同一材料で構成されており、ほぼ等しいひずみ量(前者:  $0.125 = 150\text{mm}/1200\text{mm}$ , 後者:  $0.125 = 50\text{mm}/400\text{mm}$ )で最大値  $P_{1-max}$ 、 $P_{2-max}$  となっている。しかし変位量という絶対量で比較すれば、チェーン長の

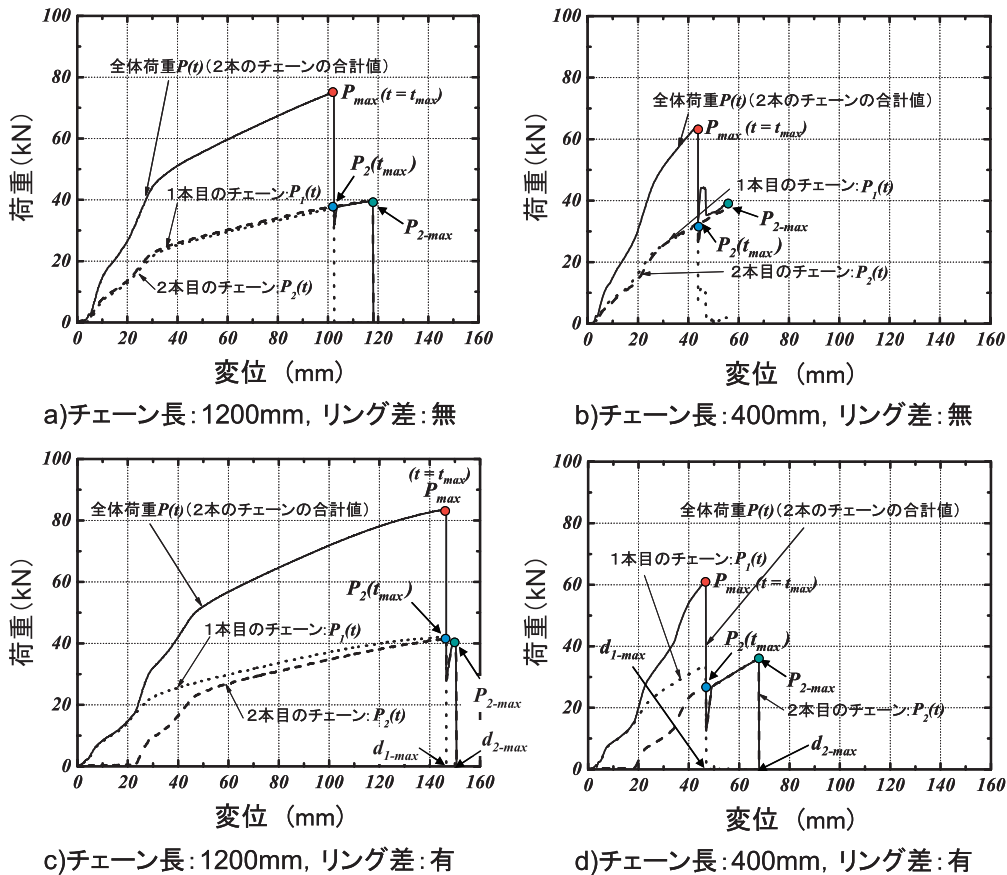


図4 鋼製丸棒につりチェーンを2本配置した場合の荷重—変位関係



短いもの程、その最大変位  $d_{1-max}$ 、 $d_{2-max}$  が小さくなるため、初期の相対的な長さの差による影響が大きくなる。

以上のことから、リング差（各チェーンの相対的な長さの差）は、つりチェーンの負担荷重に大きな影響を及ぼし、その影響は、チェーン長自体が短い場合で顕著になることが明らかとなった。

(3) 「2本組のつりチェーン」の許容荷重

つりチェーンは一般に、弾性範囲内で使用されるものである。実際、設計値として使用する許容荷重  $P_d$  は、つりチェーンの設計用最大荷重  $P_N$  に対して、1/5の荷重（安全率：5）<sup>3)</sup> が用いられている。これに対し、複数本のつりチェーンを同一箇所を使用する場合、その負担荷重は、各つりチェーンで大きく異なる場合がある。このことは、弾性変位を含む初期段階で、特に顕著である（図4参照）。そのため、複数本のチェーンを同一箇所に配置する計画を立てる場合、その設計資料としては、最

大荷重より弾性領域の性能が重要となる。そこで、チェーン長の短いもの（つまり先行して引張降伏に至るチェーン）を基準とし、そのつりチェーンが破断荷重の1/5の荷重を負担していた時に、他方のつりチェーンがどの程度荷重を負担していたのかについて調査を行った。その結果を表3に示す。

表中の数値は、つりチェーン1本が負担可能な荷重を1として、2本使用することで増加する負担可能な荷重の大きさを無次元化して示したもの（以下、増分割合R）である。つまり本実験の場合は、表中の値が2となれば、つりチェーンを使用した本数に比例して負担可能な荷重が大きくなったことを示す。表より、リング差のない実験では、その数値が比較的2に近いものが多いことが分かる。しかし、1リング差ある場合では、ほぼ全ての実験において、その数値が1に近い値となり、またリング差のない場合でも、シングル仕様で、その値が1になっている場合が見受けられる。これら荷重増分の見られな

表3 チェーン付加による荷重の増分割合※（許容荷重）

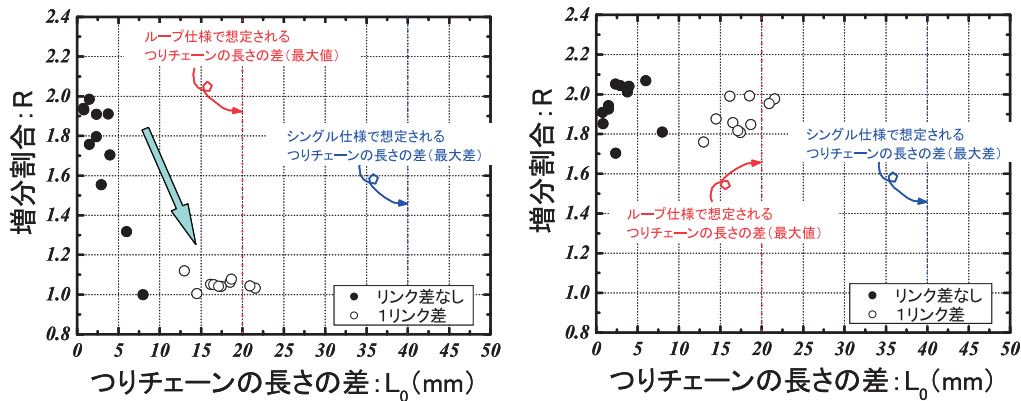
つりチェーン形状	リング差	実験①	実験②	実験③	実験④	平均値
ループ (1200mm)	無	1.55 (2.9)	1.91 (3.8)	1.32 (6)	1.8 (2.3)	1.64 (3.8) ※※
	1リング	1.05 (16)	1.03 (22)	1.06 (19)	-	1.04 (19)
ループ (400mm)	無	1.98 (1.5)	1.91 (2.4)	1.70 (4)	1.94 (0.8)	1.88 (2.1)
	1リング	1.05 (17)	1.04 (17)	1.04 (17)	1.12 (13)	1.06 (16)
シングル (1200mm)	無	1.75 (1.5)	1.93 (0.8)	1.00 (8)	-	1.56 (3.4)
	1リング	1.04 (20)	1.00 (14)	1.08 (19)	-	1.04 (18)

※：チェーン付加による荷重の増分割合： $R = \frac{P_1(t_e) + P_2(t_e)}{P_1(t_e)}$

ただし、 $P_1(t_e)$ ：先行して破断した1本目のチェーンの破断荷重の1/5の値、 $P_2(t_e)$ ：2本目のチェーンの時刻  $t_e$  における負担荷重、 $t_e$ ：1本目のチェーンが破断荷重の1/5の荷重値となった時刻  
 ※※：()内数値は、チェーン長の差  $L_0$  [mm]を示す。下式により算出したものである。

チェーン長の差： $L_0 = L_2 - L_1$

ただし、 $L_1$ ：当初（1本目）のチェーン長、 $L_2$ ：付加した（2本目）のチェーン長



(a) 許容荷重時（時刻  $t_e$ ）における増分割合

(b) 最大荷重時における増分割合

図5 荷重増分の大きさとチェーン長の差の関係

いケースでは、2本のつりチェーンの長さの差 $L_0$ （表中の括弧内の数値）が大きいもので顕著である。そこで、つりチェーンの長さの差 $L_0$ と荷重増分 $R$ の関係を図5に示す。破断荷重を対象とした増分割合 $R$ （図5 (b) 参照）は、一定程度見込めるのに対し、許容荷重時を対象とした増分割合 $R$ （図5 (a) 参照）は、つりチェーンの長さの差 $L_0$ に比例して減少し、その差が8mmを越えると、荷重の増分が見込めない（すなわち、1となる）ことが図より分かる。図中には、リング差のないシングル・ループ両仕様で想定されるチェーン長の差 $L_0$ を、標準的なつりチェーンの内径寸法から計算した結果を合わせて示している。これら最大値は、いずれも8mmよりも大きな値である。このことは、標準的なつりチェーンの内径寸法上、リング差のない場合であっても、荷重増分が全く見込めない場合がありうることを示している。このような場合、配置したつりチェーンの本数に比例した倍率の荷重が、集中的に一部のチェーンに作用する可能性がある。

以上のことから、チェーン長の差をなくす工夫をしないで、複数のつりチェーンを使用する場合、その使用本数に比例して、負担可能な荷重の増分を期待するのは、難しいと考えられる。本実験の範囲では、リング差のない実験の多くで荷重増分が見られたが、その増分値は安定して期待できないし、また実際、リング差のない実験の一部で、荷重増分が全く見込めないケースが、確認されたからである。

### 3. つりクランプの施工誤差と強度性能の関係

#### 3.1 はじめに

つり足場の主要な構成部材の一つであるつりクランプは、つりチェーンと橋梁主桁の鉄骨部材を結合するため

の仮設資材である。つりチェーンは、つり足場の作業床に作用する鉛直荷重を橋梁主桁へ伝える役割を担っており、一般的な使用方法によれば、つりクランプにはつりチェーンを介して鉛直荷重のみが作用することになる。しかしつりチェーンの斜めつりを行なった場合は、つりクランプには鉛直方向のみならず水平方向にも荷重が作用することになるため、つり足場の安全性を検討する上では、つりクランプの水平方向に対する最大強度を明らかにしておく必要がある。

この点、つりクランプの鋼製主桁への固定は、押しボルトに規定のトルク（ $34\text{N}\cdot\text{m}\sim 44\text{N}\cdot\text{m}$ ）<sup>1)</sup>をかけることが推奨されている。しかし実際の現場における締付トルクの大きさは、バラツキが大きいと考えられる。またつりクランプに大きなトルクを掛けようとすれば、加えた回転に伴ってつりクランプ本体部も回転を生じ、取付角度が垂直とはならない場合（図6参照）も考えられる。そこで本研究では、まず①締付トルクの大きさと②つりクランプの取付角度の2つを実験パラメータとして水平引張試験を実施し、これらのパラメータの変化がつりクランプ（つり足場）の最大水平強度に及ぼす影響について検討を行った。

#### 3.2 実験諸元

表4に実験諸元を示す。実験は、主桁を想定した厚さ20mmの鉄板に、緩衝材（厚さ3.5mmのポリ塩化ビニル製フラットホース）を介してつりクランプを固定し、これにシャックルを用いてつりクランプのU字金具と太径ワイヤーロープ（28mm）を結合して水平引張加力（加力速度：0.1mm/sec）を行った（写真3参照）。なお、上記鉄板の材質は、繰返し加力による表面磨耗の影響を排除するため、SKS3材<sup>4)</sup>を使用した。

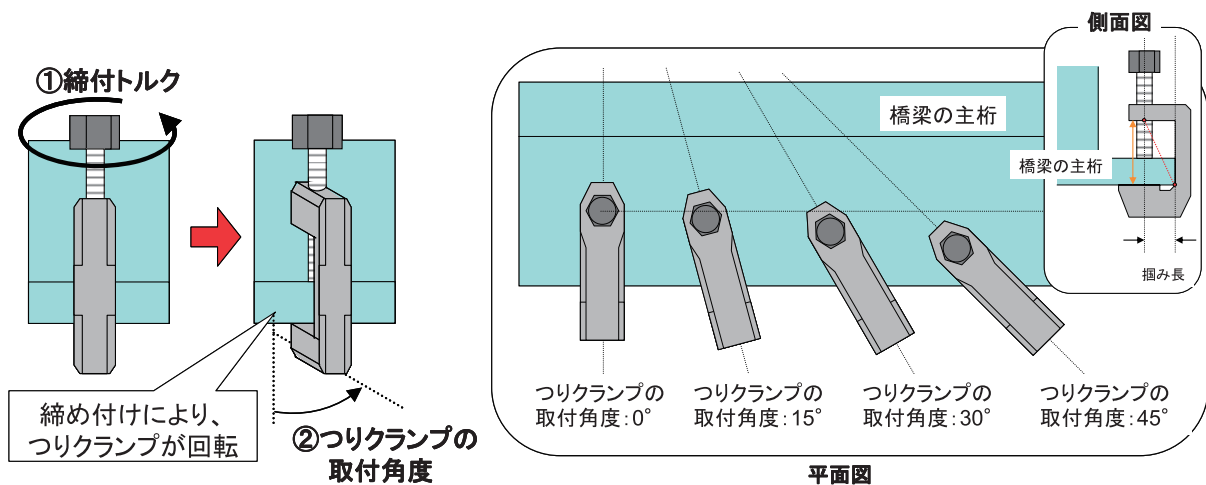


図6 つりクランプの取付角度

表4 実験パラメータ

取付角度 (計4種類)	0°、15°、30°、45°
締付トルク (計4種類)	10N・m、20N・m、30N・m、40N・m
実験回数	各3回(計48通り)

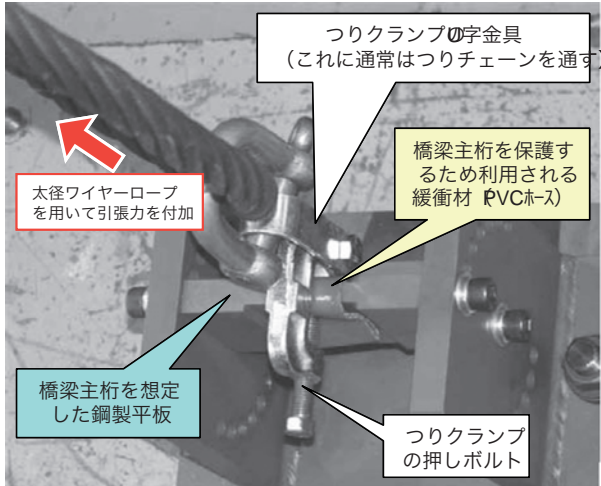


写真3 実験装置の概要

### 3.3 実験結果

同一条件で行なった計3回の試験結果の平均値を図7に示す。つりクランプの最大水平強度は、締付トルクが大きくなる程大きくなっている。また、つりクランプの取付角度の違いによる影響を見てみると、同じ締付トルクで設置した場合であっても、その水平耐力は垂直に取り付けた場合(取付角度が0度の場合)と比較して、大幅に小さくなるのがわかる。

加力後のつりクランプの状況を撮影したものを写真4に示す。つりクランプには曲げ降伏が生じ、つかみ口の幅が広がっていることが、加力前のつりクランプとの比較から分かる。このことから、つりクランプの抜け出しは、つりクランプの曲げ変形に伴いその口が広がることに起因していると考えられる。この点、つりクランプの取付角度が大きくなると、相対的に“つかみ長さ(図6参照)”が小さくなるため、つりクランプの小さな曲げ変形で抜け出しが生ずるものと考えられる。以上から、つりクランプの最大水平強度は締付トルクが小さい程、また取付角度が大きいか、小さな値となるといえる。

なお参考のため、つりクランプの締付トルクの大きさと軸力の関係を調査した結果を図8に示す。一般的に推奨される締付トルクを与えた場合、押しボルトには約7~10kNの軸力が作用することになることが分かる。

一方、推奨される締付トルクでつりクランプの押しボルトを締め付けた場合は、緩衝材として一般的に使用さ

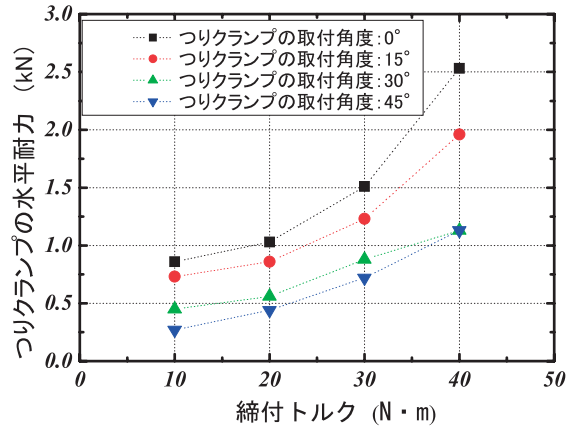


図7 つりクランプの水平耐力(平均値)

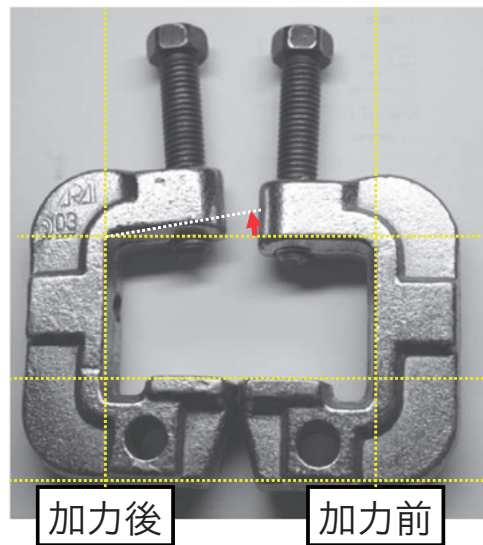


写真4 加力前と加力後のつりクランプの比較

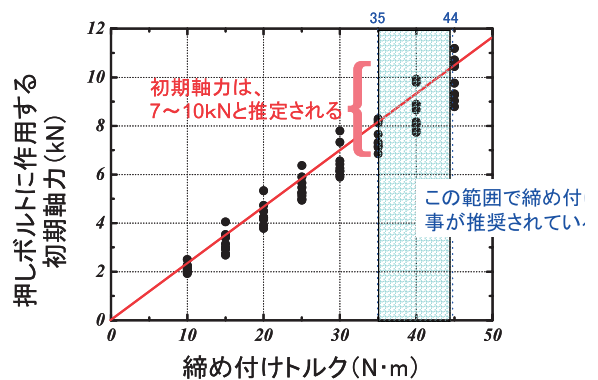


図8 締付トルクと押しボルトの軸力の関係

れている塩化ビニル製フラットホースを完全に貫通し、その下部の鋼材に達してしまうケースがほとんどであった。このような固定では、鋼材にキズが付いてしまうた

め、実際の現場においては、推奨される規定トルクでの締付は行なわれていない事が推測される。

以上より、つりクランプの最大水平強度は、規定のトルクで垂直（取付角度0度）に締付ければ2.5kN程度であるが、図8の締付トルクと押しボルトの軸力の関係を踏まえると、その最大水平強度は0.5~1kN程度であると思われる。したがって、このことを踏まえた水平方向に対する安全性の検討、更には施工上の配慮が必要であると考えられる。

#### 4. まとめ

- 1) つりチェーンを同一箇所複数使用すると、その最大荷重は、その本数にほぼ比例して大きくなる傾向にある。ただし、つりチェーンの長さが短い場合には、使用した本数に比例して、負担可能な荷重の増分を見込むことは難しい。
- 2) 通常をつりチェーンに期待する荷重（設計用の許容荷重）付近の性能に着目すると、複数のチェーンを使用しても、使用した本数に比例した荷重増分が見込めない場合が多い。リング差など当初に発生した隣接するチェーン同士の相対的な長さの差の影響が無視できないからである。このことは、リング差のない場合でも同様である。
- 3) つりクランプの最大水平強度は、適切な取付けをしたとしても小さな値であった。また、締付トルクが不十分である場合や取付角度が大きい場合は、その値が更に小さいものとなった。これらのパラメータは、緩衝材の性質やその施工誤差などによって大きく変動する可能性が高いものである。これらのことを踏まえると、つり足場の水平方向に対する設計上・施工管理上の配慮が必要と考えられる。

#### 謝辞

本研究は、(社)日本橋梁建設協会のご協力により行われたものであり、貴重な御意見と御助言をいただきました。感謝の意を表したいと思います。

#### 参考文献

- 1) 仮設工業会. 仮設機材認定基準とその解説. 2004.
- 2) 労働調査会. 安衛法便覧. 2000.
- 3) 日本建築学会. 建築材料実験教材. 1996.
- 4) 大和久重雄, 鉄鋼材料選択のポイント(増補改訂版), 日本規格協会, 1985年10月  
(平成21年1月7日受理)