

# 橋梁検査路の損傷程度が安全带取付時の性能に与える影響の実験的検討

大幢 勝利\*1, 高梨 成次\*2, 日野 泰道\*2, 高橋 弘樹\*2, 熊田 哲規\*3

橋梁検査路は、橋梁の維持管理のために設置される。主として橋台、橋脚、主桁等の点検活動や保守活動に用いられる。このとき作業員は、手すり等に安全带を掛けて、墜落防護の対策を講じているのが現状である。しかし、近年、検査員が腐食した検査路から転落するといった重篤な事故が報告されていることから、定期点検により確認された損傷が安全性に与える影響を定量的に把握する方法の開発が望まれる。そこで本研究では、作業員の安全という観点から、安全带を掛ける部位と想定される手すりが既に負っている損傷に着目して、橋梁検査路の損傷程度が墜落防護性能に与える影響を実験的に検討した。その結果より、孔食による穴や腐食による肉厚減少が、検査路手すりの墜落防護性能に与える影響を明らかにした。

**キーワード:** 橋梁検査路, 維持管理, 手すり, 損傷, 安全带, 墜落防護。

## 1 はじめに

橋梁検査路は、橋梁の維持管理のために設置される。主として橋台、橋脚、主桁、床版、塗装、支承、落橋防止装置、伸縮装置、排水装置、および電気施設等の点検活動や保守活動に用いられる。すなわち、検査路は、通路としての機能のみならず、点検、調査、補修を行う作業員が作業床として使用することが想定される。このとき作業員は、手すり等に安全带を掛けて、墜落防護の対策を講じているのが現状である。

図1は、平成19～平成23年の5年間に、橋梁建設工事および道路建設工事において発生した、墜落・転落災害による死亡者数を示す<sup>1)</sup>。この5年間に、橋梁建設工事で29人、道路建設工事で43人、合計で72人が墜落・転落災害により死亡した。そのうち、27人、37%は仮設物・建築物・構築物等からの墜落・転落災害である。その多くはつり足場等の仮設構造物であるが、検査路等、常設の構造物からの墜落・転落災害も報告されている。

次に、図2は、図1に示す仮設物・建築物・構築物等からの墜落・転落災害の中で、維持管理作業時に発生したと考えられる災害の人数とその割合を示す。維持管理作業かどうかは、厚生労働省の「職場のあんぜんサイト<sup>2)</sup>」に登録されている、死亡災害データベースより分類した。ただし、データベースの情報量が少ないため、図2では維持管理作業と判断できる災害のみカウントしており、実際にはこの値より多いと考えられる。図2より、維持管理作業は6人、22%と少ないが、橋梁の点検等の維持管理作業は今後増加することが予想されるため、それに伴い墜落・転落災害も増加して行くことが懸念される。

このような状況の中、橋梁検査路の経年劣化に対する判断基準が明確でないことや、近年、検査員が腐食した

検査路から転落するといった重篤な事故が報告されていることから、定期点検により確認された損傷が安全性に与える影響を定量的に把握する方法の開発が望まれる。

そこで本研究では、作業員の安全という観点から、安全带を掛ける部位と想定される手すりが既に負っている損傷に着目して、橋梁検査路の損傷程度が墜落防護性能に与える影響を実験的に検討した。その際、橋梁検査路は様々な場所や条件で使用されるため、その損傷程度を使用年数や環境条件等で一律に評価することは困難と考えられる。このため、孔食によると仮定した穴や腐食に

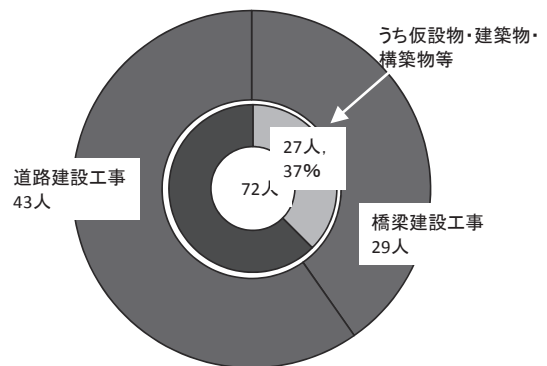


図1 橋梁建設工事および道路建設工事において発生した墜落・転落災害による死亡者数(平成19～平成23年)

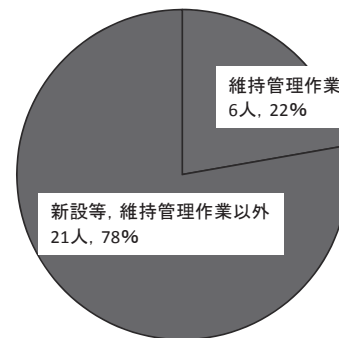


図2 仮設物・建築物・構築物等を起因とする墜落・転落災害の中で維持管理作業時に発生したと考えられる災害

\*1 労働安全衛生総合研究所 労働災害調査分析センター。

\*2 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ

\*3 ヒロセ株式会社

連絡先: 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

労働安全衛生総合研究所 労働災害調査分析センター 大幢勝利\*1

E-mail: ohdo@s.jniosh.go.jp

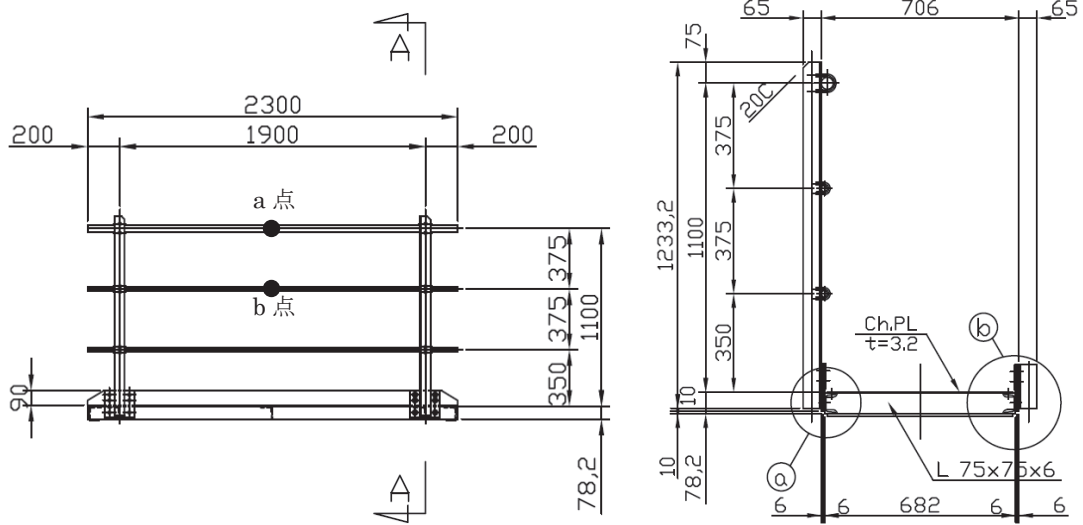


図3 実験で使用した試験体

A-A 断面図

よると仮定した肉厚の減少のある手すりを製作し、その部分に安全帯を掛けた場合の安全性を実験的に検討することとした。安全性の評価は、①落下時の衝撃荷重が、労働安全衛生法に基づく安全帯の規格に規定されている8.0kN以下であるか、②実験後の手すりのたわみ量や破損状態はどうか、という観点から検討した。

## 2 孔食による穴径に関する基本実験

### 1) 実験方法

橋梁検査路の損傷程度を表すものとして、孔食による穴があげられるが、まずは損傷程度の基本的な影響を把握するため、中央に1か所のみ穴を開けた手すりを作成し、そこに安全帯を掛けた場合の安全性を検討することとした<sup>3)</sup>。本研究で対象とした試験体を、図3に示す。材質や寸法等は実際に使用されている代表的な構造とした。手すりの材質はSTK400で、上段の手すりは直径42.7mm、肉厚2.3mm、中段の手すりは直径21.7mm、肉厚1.9mm、支柱の間隔は1900mmとした。

この構造の検査路に対し、上段手すりの支柱間中央のa点、または中段手すりの支柱間中央のb点に、それぞれ安全帯を掛けた場合の落下実験を行った。その際、損傷程度を模擬してa点またはb点の下側に、上段手すりは孔食穴径5,10,20mmの、中段手すりは孔食穴径5,10mmの穴を1か所開けた場合の実験を行った。中段手すりでは直径21.7mmのため、20mmの穴を開けることができなかった。落下実験では、落体として質量85kgの安全帯試験用のトルソーを用い、切り離し装置を用いて遠隔で落体を落下させた。その際、ランヤードに生じる衝撃荷重を荷重計により測定し、さらに落下実験後の手すりの破損状態を調べた。

トルソーの落下高さは、図4に示すとおり、上段手すり上部と安全帯のD環(安全帯とランヤードをつなぐ金具)を同じ高さとした。また、安全帯を掛ける手すりと

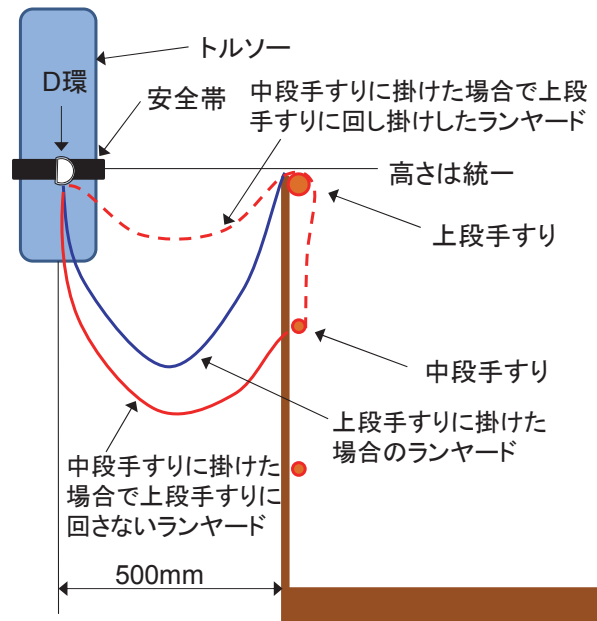


図4 落体の位置とランヤードの状態

トルソー中心の水平距離は500mmとした。なお、中段手すりの実験では、手すりの外側に安全帯を掛けた状態として、図4に示すとおりランヤードを上段手すりに回さない(以下、中段手すり回さない)場合、および手すりの内側に安全帯を掛けた状態として、図4に示すとおりランヤードを上段手すりに回し掛け(以下、中段手すり回し掛け)の場合について実験を行った。中段手すり回し掛けの場合は、中段手すり回さない場合に比べ墜落防護に関し安全側と予想されるため、より危険な条件として中段手すり回さない場合のみ孔食による穴を開けた場合の実験を行った。

### 2) 実験結果

実験後の試験体の状況を、図5に示す。全ての実験において、図5に示すように手すりは大きく変形したが、

手すりの破断等により落体であるトルソーが地面まで落下することはなかった。

図6は、落下実験の際に、ランヤードに作用した衝撃荷重を示したものである。落下実験は各条件において3回ずつ実験を行い、図6はその平均値として表している。図6より、上段手すりに安全带を掛けた場合では、孔食穴径20mmの場合は衝撃荷重がやや小さくなるが、それ以外の穴径では大きな違いは見られなかった。中段手すり回し掛けの場合は、孔食による穴がない場合しか実験を行わなかったが、他の条件で穴がない場合と比べ衝撃荷重が小さくなっている。この場合には、中段と上段の両方の手すりで衝撃荷重を負担するためと考えられ、あらかじめ予測されたものである。一方、中段手すり回さない場合には、他の条件と比べ落下高さが高くなるため衝撃荷重が大きくなっている。

1章で述べたとおり、労働安全衛生法の規定に基づく安全带の規格によれば、安全带の要件として落下試験の際にフック等に生じる衝撃荷重が8.0kN以下でなければならないと規定されている。この衝撃荷重が8.0kN以下という規定を今回の実験の安全性の判断に適用すると、穴の有無、直径、安全带を掛ける場所にかかわらず、全て規定値以下であり安全であると考えられる。以上の結果より、落下実験の際に生じる衝撃荷重という観点からは、今回対象とした掛け方や損傷程度において問題はなかった。

これを、落下実験後の手すりの破損状態より考察する。図7は、落下後の手すり中央のたわみ量を各条件3回の実験の平均値として、下方向へのたわみ量を正值として示したものである。上段手すりに安全带を掛ける場合は、図7より孔食穴径が10mmを越えるとたわみ量が急激に大きくなっている。中段手すり回し掛けの場合は、上段手すりは下方へたわむため正の値となっているが、中段手すりは上方へたわむため負の値となっている。前述したように、中段と上段の両方の手すりで衝撃荷重を負担するため、たわみ量も他の条件と比べ小さくなっている。一方、中段手すり回さない場合は、孔食穴径にかかわらずたわみ量が300mm以上と非常に変形が大きくなっている。なお、孔食による穴がない場合にたわみ量が最も大きくなっているが、手すりを支柱に固定するUボルト

が滑ったためである。

図8は、上段手すりの場合における穴の部分の破損状態を示したものである。図8より、孔食穴径が10mm以上になると明らかに亀裂が入っており、20mmでは破断寸前であった。以上の結果より、上段手すりに安全带を掛ける場合は、孔食穴径が10mm以上になると破損が大きくなり、安全带を掛けた場合に危険であることが明らかとなった。なお、中段手すり回さない場合は、たわみ量が非常に大きく、さらに、手すりの外側にいて安全带を掛ける状態を想定したものであるため、このような方法で安全带を使用するべきではないと考えられる。手すりの内側にいて安全带を掛ける状態である、中段手すり回し掛けの方が変形も少なく安全と考えられる。

なお、上段手すりに安全带を掛けた場合、および中段手すり回し掛けの場合の実験方法は、高速道路を管理運営する特殊会社の試験方法に採用されている<sup>4)</sup>。

### 3 複数か所の損傷に関する実験

#### 1) 実験方法

2章の実験では、手すりに孔食による穴が1か所開いている場合のみの実験を行ったが、実際には複数か所開いている場合もあると考えられる。また、損傷としては、腐食による肉厚の減少も考えられる。そこで、複数か所において、孔食によると仮定した穴や腐食によると仮定した肉厚の減少のある手すりを製作し、その部分に安全带を掛けた場合の安全性を確認することとした。



図5 落下実験後の状況(上段手すりに安全带を掛けた場合)

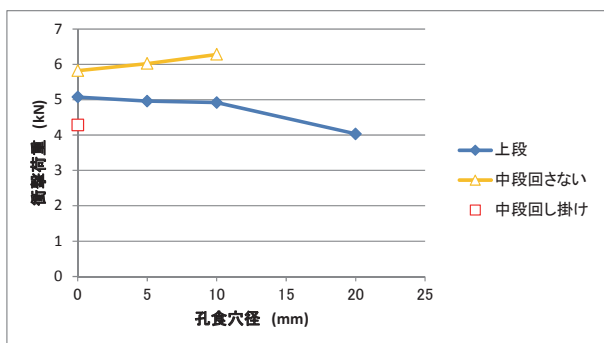


図6 孔食穴径と衝撃荷重の関係

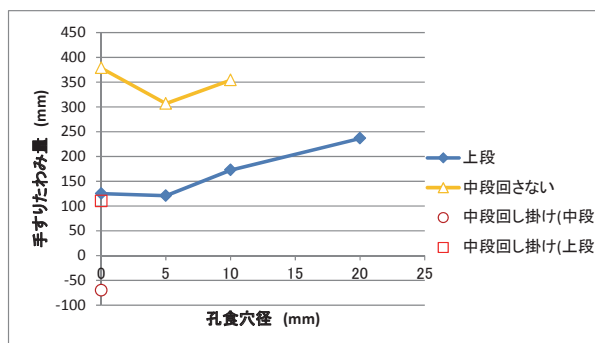


図7 孔食穴径と手すりたわみ量の関係



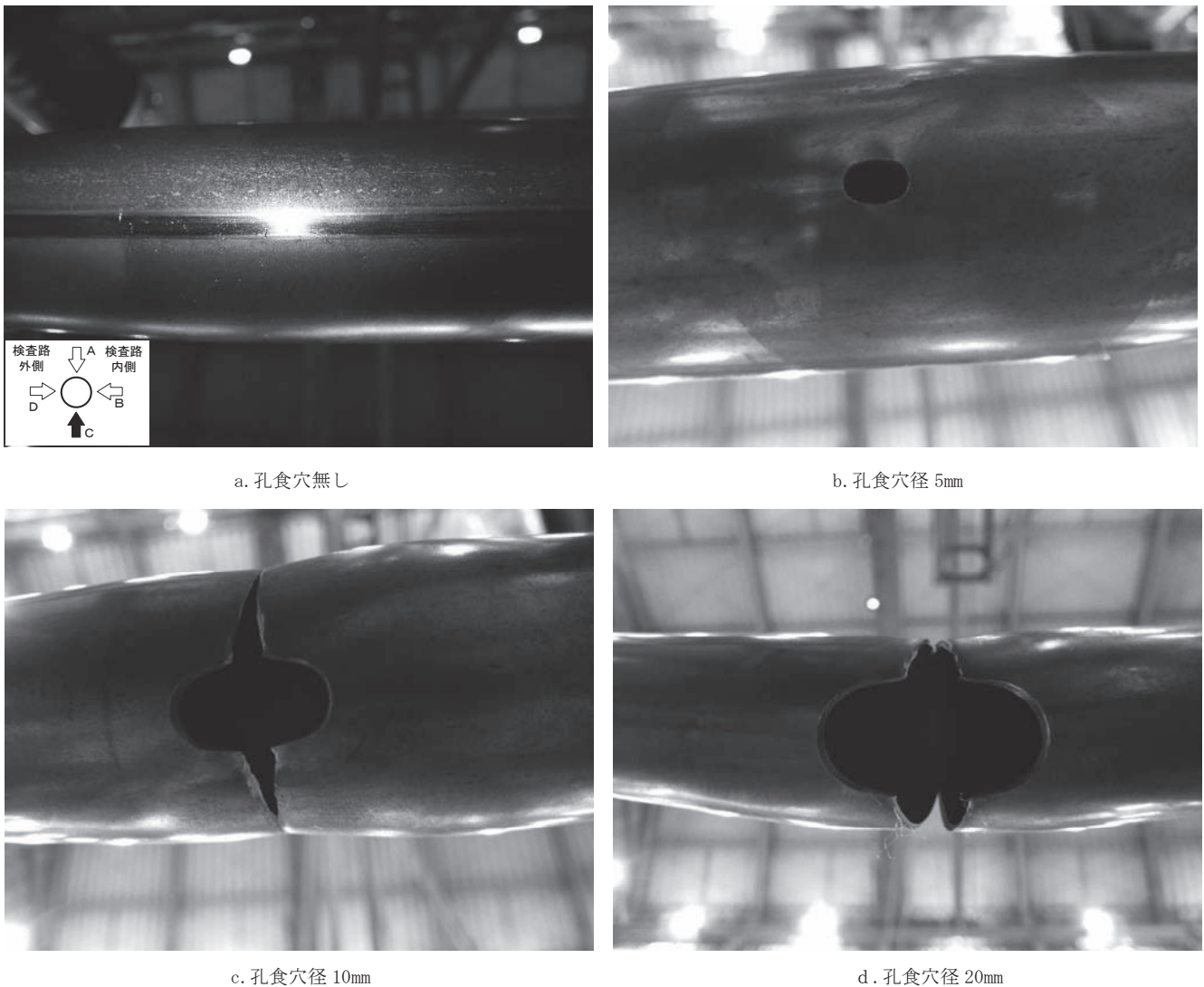


図8 上段手すりの孔食穴径と実験後の破損状態

試験体、手すりの材質、手すりの寸法等は2章と同じものとした。図9に、実験条件として、手すりに加工した損傷程度を表す。孔食穴径に関しては、2章の実験で上段手すりの場合、10mm以上では1か所の穴のみでも危険であることが明らかとなっている。このため、上段、中段手すりとも、中央の同一断面上に5mmの穴をそれぞれ4か所または8か所開けた場合の実験を行った。肉厚の減少については、上段手すりの場合は中央に最大厚さ1mmまたは1.5mm、中段手すりの場合は肉厚が薄い(1.9mmの)ため中央に最大厚さ1mmのみの切削を、それぞれ同一断面上に2面または4面施した場合の実験を行った。

実験は、2章と同様に落体として85kgの安全帯試験用のトルソーを用い、穴を開けた場所または切削した場所に安全帯を掛けて、それぞれの条件で3回ずつ実施した。なお、今回の実験では、文献4の試験方法に採用された、上段手すりに安全帯を掛けた場合、および中段手すり回し掛けの場合の実験を行った。2章の結果より、たわみ量が非常に大きく危険な状態と考えられる、中段手すり回さない場合の実験は行わなかった。

## 2) 実験結果

実験後の試験体の状況を、図10に示す。2章の実験と同様に、全ての実験において、図10に示すように手すりは大きく変形したが、手すりの破断等により落体であるトルソーが地面まで落下することはなかった。

図11および図12は、落下実験の際に、ランヤードに作用した衝撃荷重を、3回の実験の平均値として示したものである。穴を開けた数が無しまたは1か所、切削した面が無しの場合は、2章の実験結果を用いた。図11および図12より、上段手すりに安全帯を掛ける場合は、穴を開けた数が8か所、切削した面が2面以上になると大きく低下している。中段手すり回し掛けの場合は、穴を開けた数、切削した面にかかわらず衝撃荷重の変化は小さかった。

なお、全ての条件において、安全性の判断として2章と同様に衝撃荷重が規定値である8.0kN以下であることを適用すると、穴を開けた数、切削した面、切削した厚さ、安全帯を掛ける場所にかかわらず、全て規定値以下であった。以上の結果より、落下実験の際に生じる衝撃荷重という観点からは、今回対象とした掛け方や損傷程度において問題はなかった。

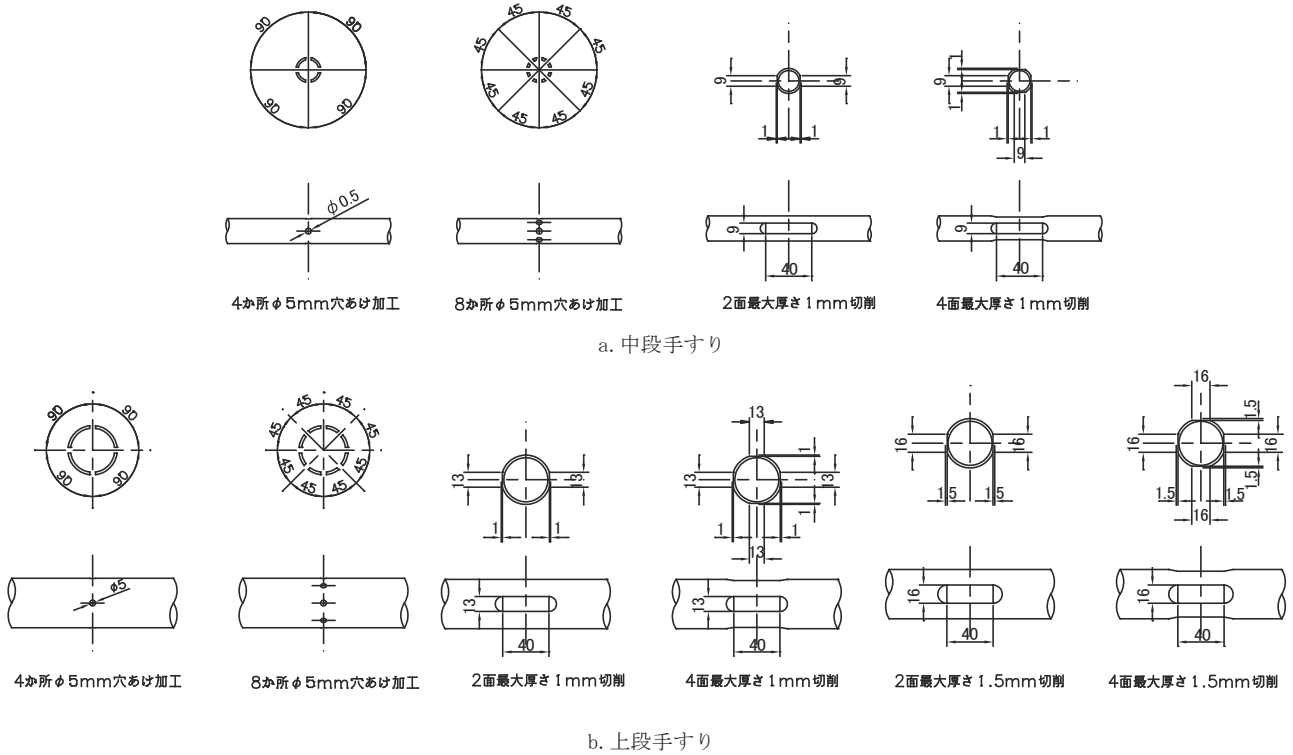


図9 手すりに加工した損傷程度

図13および図14は、落下後の手すり中央のたわみ量を各条件3回の実験の平均値として、下方向へのたわみ量を正值として示したものである。図13および図14より、上段手すりに安全帯を掛ける場合は、穴を開けた数が4か所以上、切削した面が2面以上になると、たわみ量が大きく増加している。一方、中段手すり回し掛けの場合は、穴を開けた数、切削した面にかかわらずたわみ量の変化は小さかった。

次に、図15～図18は、実験後の孔食による穴または切削した面の破損状態を示したものである。上段手すりに安全帯を掛ける場合は、図15より孔食による穴が4か所以上で穴を中心に大きな亀裂が入っており、孔食による穴が8か所では破断寸前であった。図16より切削した面については、1mm、1.5mmの切削とも、2面から切削した面を中心に大きく変形していた。しかし、孔食による穴が8か所の場合のように、破断するような兆候は見られなかった。中段手すり回し掛けの場合は、図17より孔食による穴が4か所では亀裂等、大きな破損は見られなかった。しかし、孔食による穴が8か所では破断寸前であった。図18より切削した面については、2面、4面とも大きな破損は見られなかった。

以上の結果より、上段手すりに安全帯を掛ける場合は、孔食穴径5mm程度の穴が複数か所ある場合、および1mm程度の肉厚の低下が複数面にある場合、たわみ量が大きくなる傾向にあり、かつ実験後の破損も大きいことから、安全帯を掛けた場合に危険であることが明らか

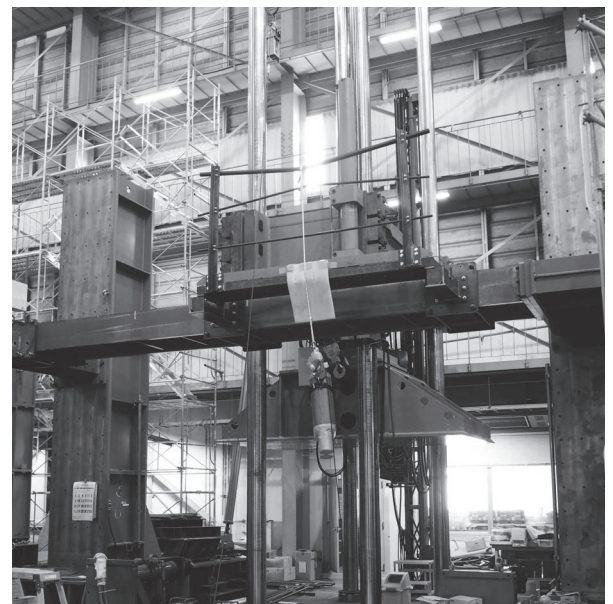


図10 落下実験後の状況(中段手すり回し掛けの場合)

となった。中段手すり回し掛けの場合は、穴を開けた数、切削した面にかかわらず、衝撃荷重、たわみ量とも変化が小さかった。しかし、これを実験後の破損状態から考えると、孔食穴径5mm程度の穴が8か所ある場合、実験後の破損が非常に大きくなっていることから、安全帯を掛けた場合に危険であると考えられる。

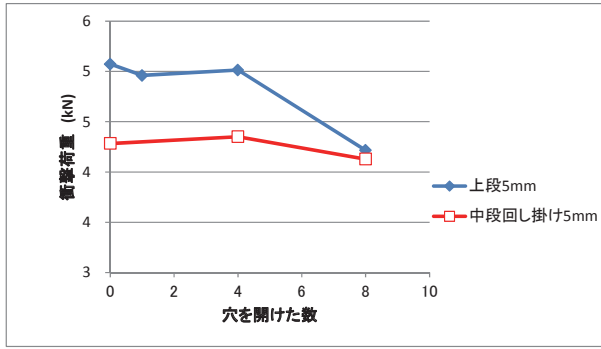


図 11 穴を開けた数と衝撃荷重の関係

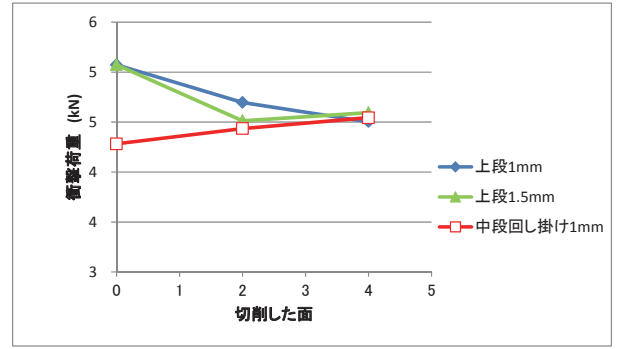


図 12 切削した面と衝撃荷重の関係

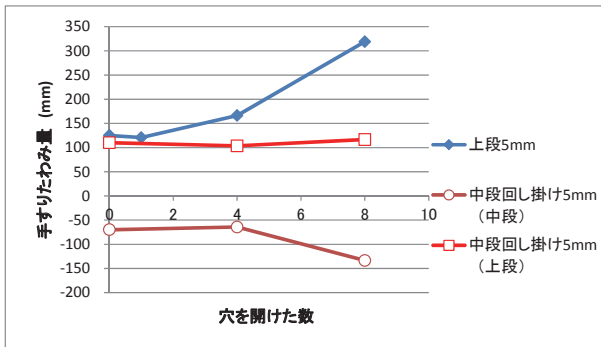


図 13 穴を開けた数と手すりたわみ量の関係

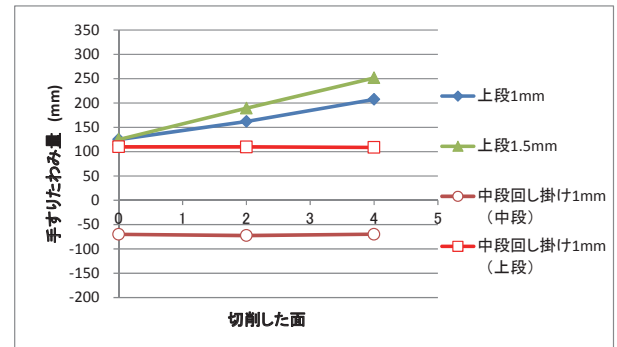
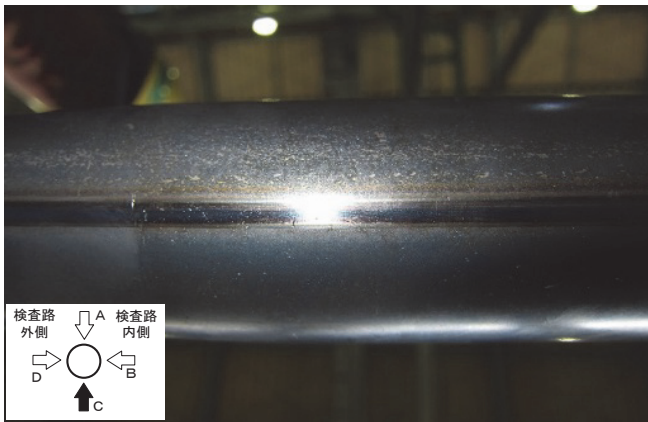
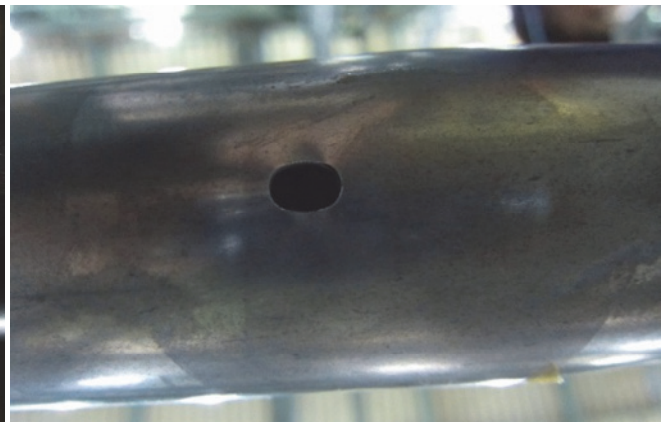


図 14 切削した面と手すりたわみ量の関係



a. 孔食による穴無し



b. 孔食穴径 5mm 1 か所



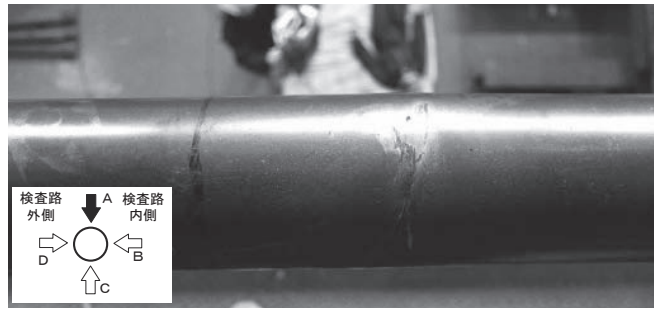
c. 孔食穴径 5mm 4 か所



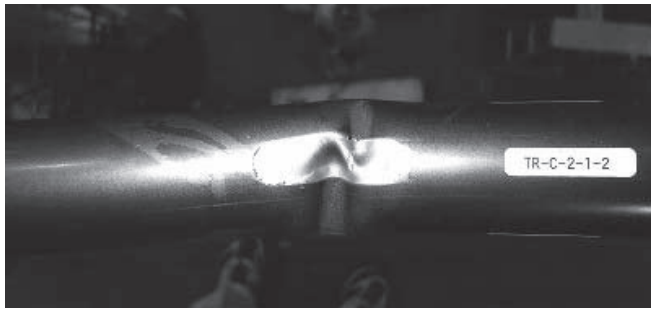
d. 孔食穴径 5mm 8 か所

図 15 上段手すりの孔食による穴の数と実験後の破損状態

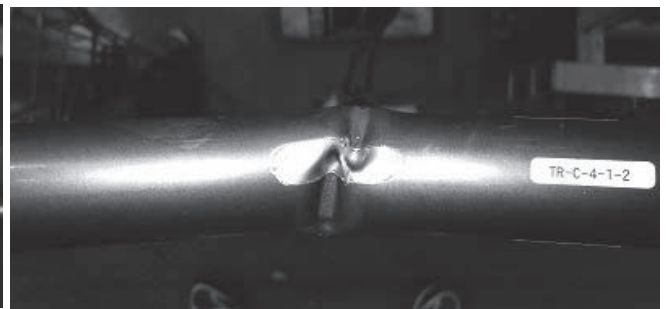




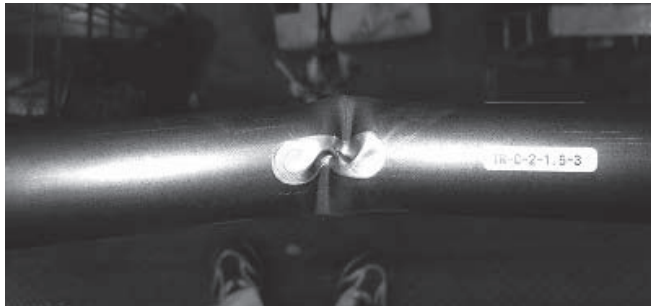
a. 切削面無し



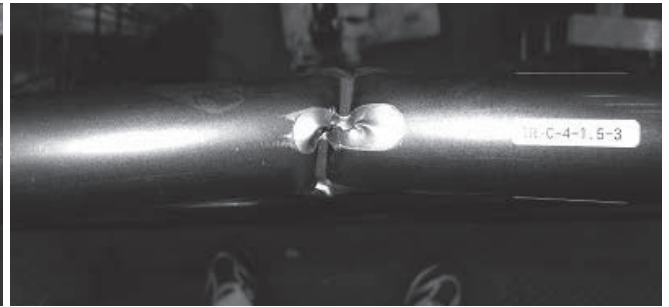
b. 1mm 2面切削



c. 1mm 4面切削

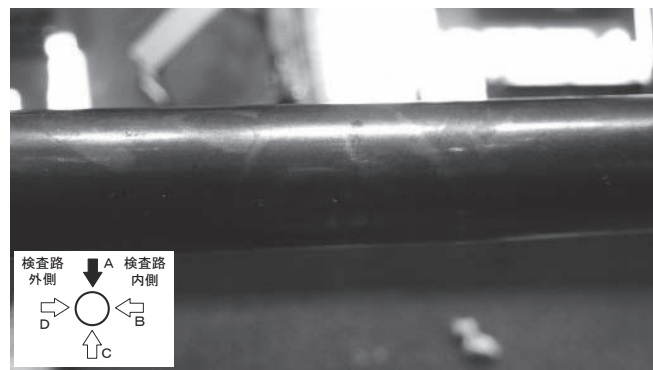


d. 1.5mm 2面切削



e. 1.5mm 4面切削

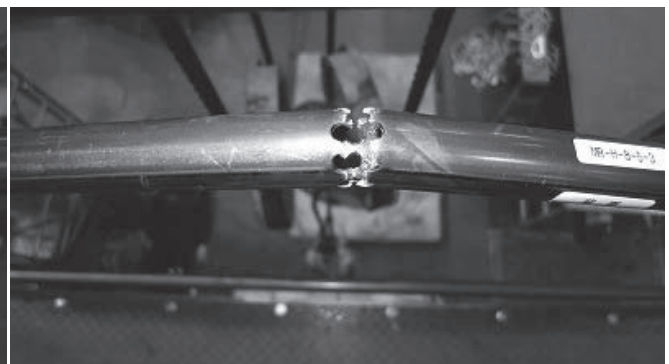
図16 上段手すりの切削した面数と実験後の破損状態



a. 孔食による穴無し

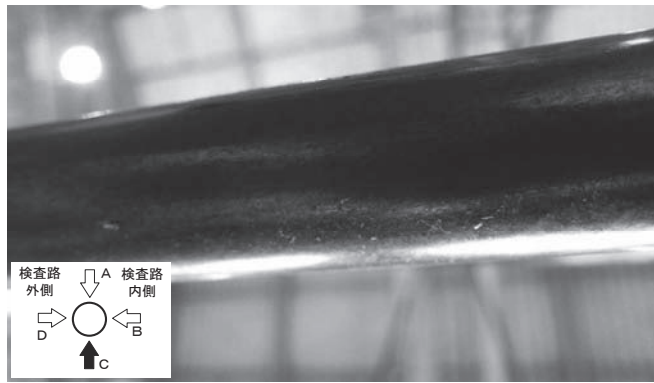


b. 孔食穴径 5mm 4か所

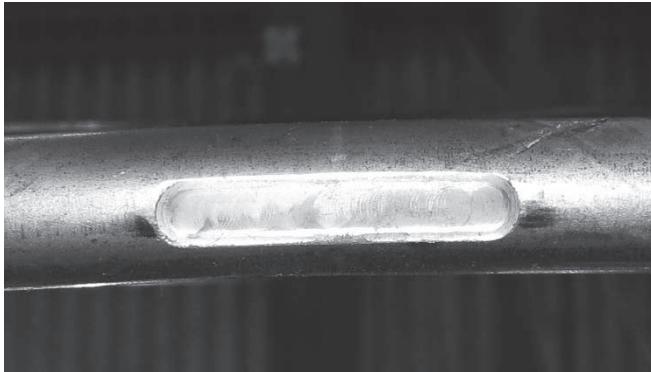


c. 孔食穴径 5mm 8か所

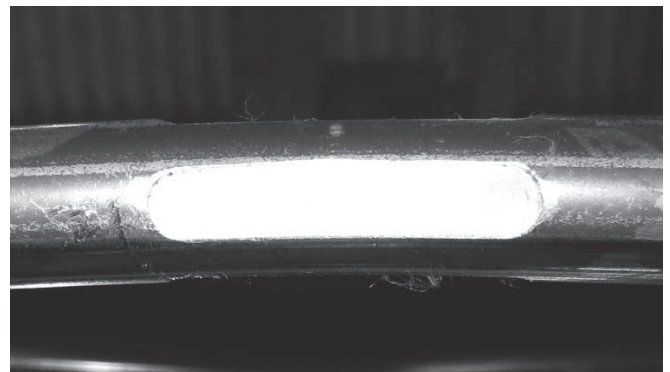
図17 中段手すりの孔食による穴の数と実験後の破損状態



a. 切削面無し



b. 1mm 2面切削



c. 1mm 4面切削

図18 中段手すりの切削した面数と実験後の破損状態

#### 4 まとめ

本研究では、橋梁検査路の損傷程度が安全带取付時の性能に与える影響を調べるため、孔食によると仮定した穴や腐食によると仮定した肉厚の減少のある手すりを製作し、その部分に安全带を掛けた場合の安全性を実験的に検討した。

その結果をまとめると、以下のとおりとなる。

- 1) 上段手すりに安全带を掛ける場合は、孔食穴径に関しては、10mm以上の穴が1か所以上ある場合、または5mm程度の穴が複数か所ある場合、たわみ量が大きくなる傾向にあり、かつ実験後の破損も大きいことから、安全带を掛けた場合に危険であることが明らかとなった。
- 2) 一方、肉厚の低下に関しては、1mm程度の肉厚の低下が複数面にある場合、たわみ量が大きくなる傾向にあり、かつ実験後の破損も大きいことから、安全带を掛けた場合に危険であることが明らかとなった。
- 3) 中段手すりに安全带を掛け、ランヤードを上段手すりに回し掛ける場合は、孔食穴径5mm程度の穴が多数ある場合、実験後の破損が非常に大きくなっていることから、安全带を掛けた場合に危険であると考えられる。なお、点検等のしやすさから考えると、上段手すりと同じ危険性評価が安全側であり望ましいと考えられる。

4) 中段手すりに安全带を掛け、ランヤードを上段手すりに回さない場合は、損傷の程度に関係なく落下実験後の手すり中央のたわみ量が非常に大きく、危険な状態にあるといえる。さらに、手すりの外側にいて安全带を掛ける状態を想定したものであるため、このような方法で安全带を使用するべきではないと考えられる。

5) 以上の結果は、手すりの交換時期の目安になると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 大幡勝利, 高梨成次, 高橋弘樹, 橋梁維持管理用 FRP 検査路の墜落防護性能に関する実験的研究. 土木学会論文集 F6 (安全問題). 2014 ; 69(2), I\_43-I\_48.
- 2) 厚生労働省: 職場のあんぜんサイト, <http://anzeninfo.mhlw.go.jp/>
- 3) 大幡勝利, 高梨成次, 日野泰道, 高橋弘樹, 熊田哲規, 橋梁検査路の損傷程度が安全带取付け時の墜落防護性能に与える影響. 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集. 2015 ; VI-339, 677 - 678.
- 4) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社. 試験法 440-2015 FRP 製検査路に関する試験方法, NEXCO 試験方法, 第 4 編 構造関係試験方法. 2015.