

## FRP製橋梁検査路の耐荷力特性

星野 誠\* 玉越隆史\*\*

## 1. はじめに

道路橋の技術基準である道路橋示方書・同解説では、「橋には将来の維持管理のために、必要に応じ点検施設等を設置することが望ましい」とされている。これは、常設の検査路が各種の調査や補修工事の経済的な実施に有用であることが多く、また、震災時の異常時点検などの橋梁被害の迅速な把握には不可欠である場合があることによる。さらに、近年多くの道路橋では、全部材に近接して損傷状況を把握する定期点検が5年毎に行われるようになるなど予防保全が重要視されてきており、致命的な損傷の発見や異常の早期発見のために、橋の様々な部位へいつでも近接できる手段としての橋梁検査路の重要性は、益々高くなるものと考えられる。

これまで道路橋の常設検査路のほとんどは鋼製であり、防食には溶融亜鉛めっきや塗装、あるいはその組合せが一般に用いられる。しかし、検査路は形状が複雑で防食被膜に弱点を生じやすく、また、使用に伴って防食被膜に傷を生じることもあることなどから、腐食によって検査路そのものの安全性が損なわれる事例も発生している。そのため、例えば、厳しい腐食環境にある海上橋の検査路では、腐食による劣化の心配のないFRP<sup>\*</sup>(Fiber Reinforced Plastic: 繊維強化プラスチック)等の新材料の使用も検討されている。このような新材料による検査路の実用化のためには、従来の鋼製のものと比較してどの程度の安全性や信頼性を有するのかについての検証が不可欠となるため、本研究では、橋梁検査路の耐荷力特性に着目してFRP製と鋼製の比較検討を行った。

## 2. 橋梁検査路の機能・性能

橋梁検査路には、各種点検や保守作業時に作業員を安全に支持し、かつ、手すりによる転倒・転落防止の機能が求められる。このため、設計では、

歩廊桁に $3.5\text{kN/m}^2$ の活荷重を、上段手すりには、橋上からの歩行者転落防止用の柵の設計に準じた鉛直方向 $0.59\text{kN/m}$ 、水平方向 $0.39\text{kN/m}$ の荷重を作用させている。さらに、橋梁検査路では、高所作業時に作業員が安全帯を検査路に繋いで墜落時の安全を確保している。鋼製の検査路の設計では、鋼材の力学的挙動が弾性範囲を超えて破断に至るまで高い信頼性で保証されており、特に衝撃的な荷重の影響に特化した照査を行わなくとも、静的な荷重に対する設計によって性能は確保されていると見なせることが一般であった。しかし、FRP材料では、力学的特性が鋼材料とは大きく異なるため<sup>1)</sup>、本研究では、作業員が検査路から転落した場合を想定した荷重にも着目して、耐荷力特性の確認実験を行った。

## 3. 鋼製検査路の耐荷力実験

衝撃載荷試験は、L型支柱(65\*65\*6,SS400)に鋼製パイプ(上段 $\phi 42.7*2.3$ ,STK400)の手すりをUボルトで固定した標準的な鋼製検査路で行った。

実験では、ピアノ線で仮支持した重錘833N(85kgf)を安全帯で手すり上段にかけ、ピアノ線を切断して重錘を自由落下させた(図-1)。

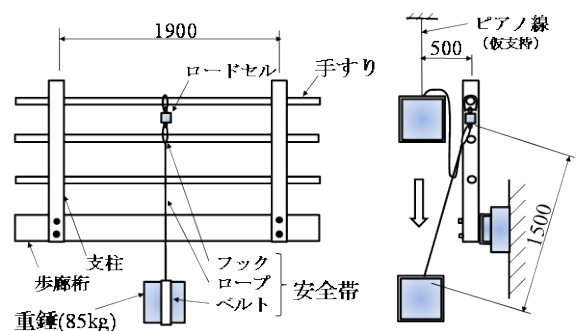


図-1 橋梁検査路の衝撃載荷試験

鋼製検査路の損傷状況を、写真-1に示す。手すりには、鉛直方向200mmの残留変形が生じ、き裂や破断は生じていなかった。手すりを支柱に固定するUボルト部では、ボルトを確実に締め付けた場合(締付力19.6Nm)で3mm、ボルトの緩みを想定して締付力を半減させた場合(締付力9.8Nm、

4.9Nm)で60～70mm、それぞれ手すりのすべりが生じた。手すりの張出し長は通常100mm以上あるため、手すりの脱落は生じないものと考えられる。なお、Uボルトで固定する支柱と手すりの接合部は、複雑な応力状態であり解析により安全性を照査するのは困難と予想されることから、設計においては、鋼製の場合についても、実験等により安全性が検証された構造細目を用いる方法が合理的であると考えられた。

#### 4. FRP製橋梁検査路の耐荷力実験

##### 4.1 実験方法

FRPの材料は、市場性があり、異分野で使用実績の多いガラス繊維を用いたGFRP引き抜き成形材(JIS K7015 一般用4種相当、引張強さ300N/mm<sup>2</sup>)を用いた。実験ケースを表-1に示す。A-1とB-1のパイプは上記2.の荷重で設計したケース、A-2とB-2は剛性を高めるため樹脂モルタルを充填したケース、A-3～5とB-3～5は剛性を高めるため、棒材(径22mm)に半割パイプと樹脂含浸ガラス繊維を用いて手作業にて積層、加熱硬化させるハンドレイアップで貼り合わせたケースである。ハンドレイアップとしたのは、市販の引き抜き成形材に充実断面丸棒がないためである。A-6は、鋼製パイプに防食材としてFRPを貼り付けた比較ケースである。

三点曲げ試験の方法は、図-2に示すとおり、支柱間隔1.9mの手すり部材に油圧ジャッキにより強制変位を与える方法とした。衝撃載荷試験は、図-1に示した鋼製橋梁検査路と同じ方法である。

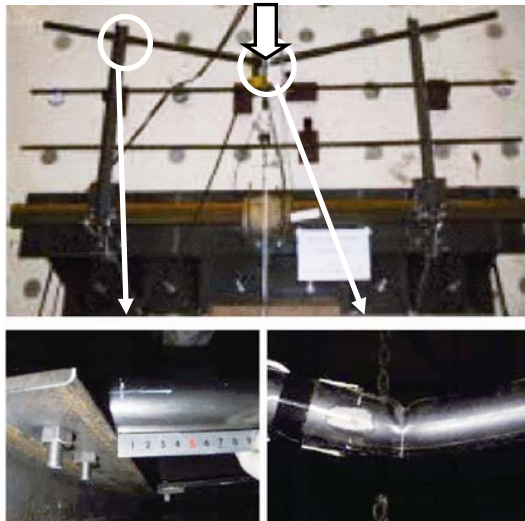


写真-1 鋼製橋梁検査路の衝撃載荷試験

##### 4.2 実験結果

###### (1)手すりの三点曲げ試験

手すり中央部の変位と荷重の関係を図-3に、載荷部の損傷状況を写真-2に示す。鋼製パイプ(A-6)は、FRPのケースに対して小さい荷重で降伏した後、最大耐荷力に近い耐荷力を保持したまま大きな変形性能が確認された。なお、写真のき裂は被覆したFRPの破損であり、鋼管は変形のみである。

FRPは、中空丸パイプのA-1では、最大荷重までほぼ線形に挙動した後、載荷部の断面形状が保持できなくなると同時に、急激な樹脂の破壊と一部繊維の破断が生じて耐荷力を失う脆性的な破壊となった。断面の形状保持性能を高め、脆性的な破壊を防ぐ目的で同じ丸パイプに樹脂モルタルを充填したA-2は、A-1に比べ最大荷重は若干大きくなるものの、最大荷重後、内部の樹脂モルタルの移動が生じ急激に耐荷力を喪失した。充実断面丸棒のA-3～A-5は、A-6(鋼製)及びA-1、A-2に比べて大きな最大耐荷力を示した。ただし、最大荷重に至る過程において微小ではあるものの、荷重—変位が不規則な動きを示した。さらに、最大荷重後はA-1、A-2ほどの急激な耐荷力低下は生じないものの、不規則な耐荷力低下挙動を示し、信頼性、再現性に劣る結果であった。なお、前者の原因としては、引き抜き成形材のA-1がほぼ線形

表-1 実験ケース (FRP製橋梁検査路)

手すり部材の種類	三点曲げ試験	衝撃載荷試験
GFRP製パイプ 径55mm×3mm厚	A-1	B-1
GFRP製パイプ 径55mm×3mm厚 樹脂モルタル充填	A-2	B-2
GFRP製充実断面丸棒 径45mm	A-3	B-3
GFRP製充実断面丸棒 径50mm	A-4	B-4
GFRP製充実断面丸棒 径57mm	A-5	B-5
鋼製パイプ 径42.7mm×2.3mm厚 FRPライニング1mm	A-6	—

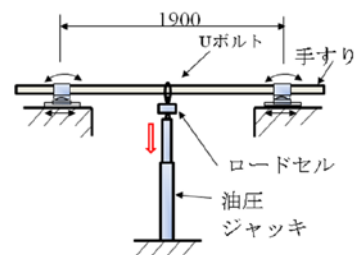


図-2 手すりの三点曲げ試験

であった結果と併せて考えると、ハンドレイアップという部材を貼り合せた製法によることが考えられた。

所要の耐荷力を保証できる手すり部材として用いるためには、最大荷重後を含む荷重-変位関係を所定の信頼性をもって制御しうる設計法の確立と、部材や材料の条件の特定が必要である。

この観点では、鋼材の荷重-変位関係は再現性が高いことから、鋼製パイプ(A-6)の耐荷力の保証は容易と考えられる。一方、FRPの充実断面丸棒(A-3~A-5)は、脆性的な破壊は回避できているものの、実用化に向けては、最大耐荷力発揮後に見られた不規則かつ断続的に進行した破壊現象の解明と、それに伴う耐荷力喪失過程に対する信頼性確保策の確立が、課題として残った。

(2) 橋梁検査路の衝撃載荷試験

重錘の自然落下により手すり中央部の載荷部で計測された衝撃荷重を、図-4に示す。中空断面B-

1のみに脆性的な破壊が見られ(写真-3上)、他のケースに比べて衝撃荷重は小さく計測された。B-2では、三点曲げ試験同様に内部の樹脂モルタルの移動が見られた。B-3~B-5では、損傷は見られなかった(写真-3下)。衝撃荷重は、手すりが脆性的破壊となったB-1以外はほぼ同じ値が計測され、この値は安全帯における衝撃荷重の規格8kN<sup>2)</sup>に近いものであり、設計衝撃荷重の目安になるものと考えられた。

FRP製手すりでは、上記2.の設計を上回る剛性を持たせた充実断面とすることにより、橋梁検査路手すりとして必要な衝撃荷重にも耐えられる可能性が高いことが示された。

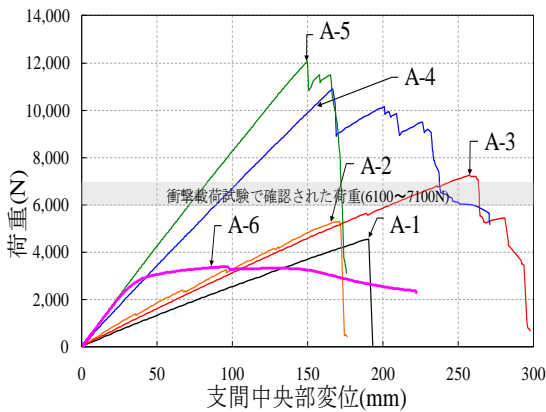


図-3 三点曲げ試験における変位と荷重

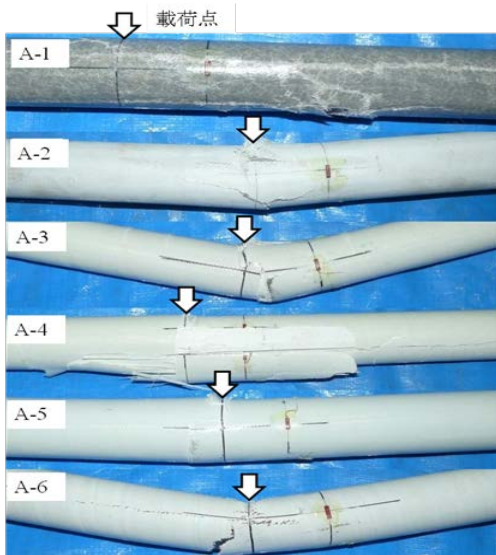


写真-2 三点曲げ試験の損傷状況

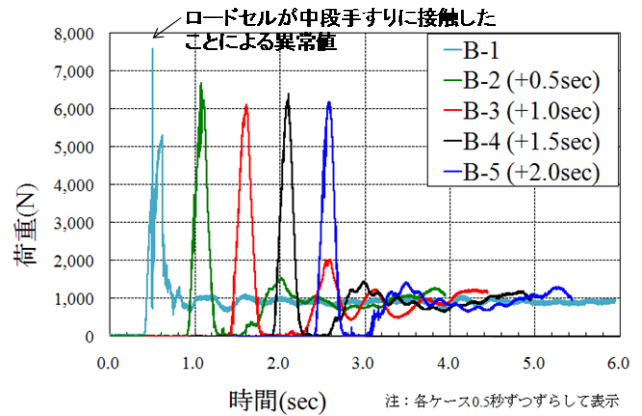


図-4 衝撃載荷試験による衝撃荷重

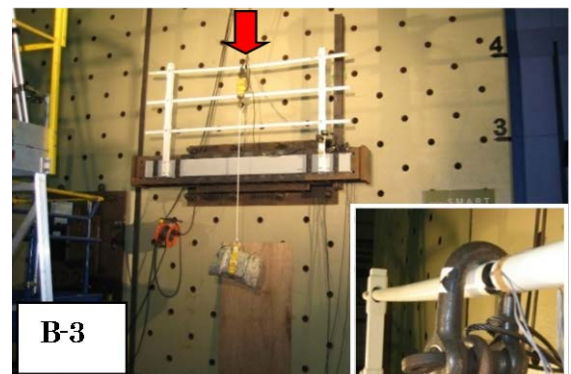
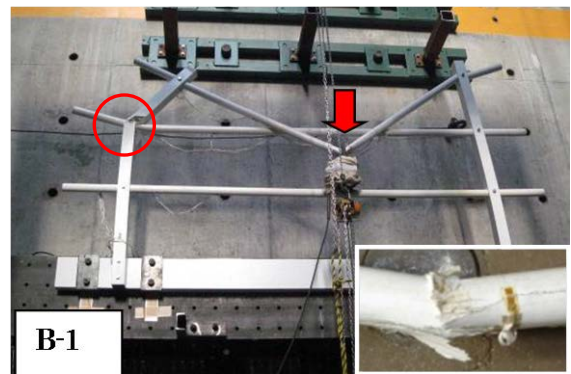


写真-3 FRP製橋梁検査路の衝撃載荷試験

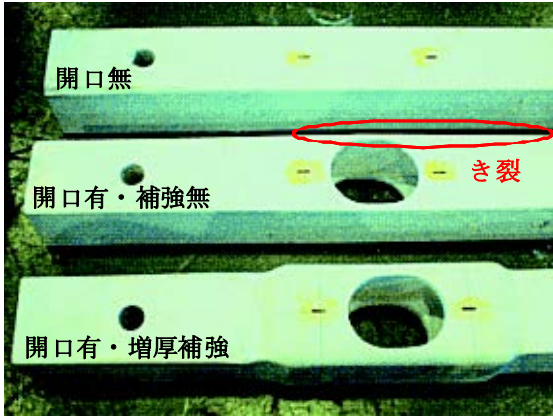


写真-4 支柱ソケット開口部の増厚補強

### (3)継手部の構造細目

FRPは、強度に異方性を有するとともに脆性的破壊を生じることから、鋼製にもまして、継手部の耐荷力を確保することが肝要である。材料特性に高い再現性が期待できる鋼製の場合以上に、FRP材料による継手部の挙動を設計計算等で制御することは困難と考えられることから、安定した挙動が期待できる構造細目を見いだすことを意図して、構造形式を変えて継手構造の荷重実験を行った。着目した構造は、手すりと支柱の接合部、支柱と歩廊桁の接合部である。

手すりと支柱の接合部の破損例は、ケースB-1のソケット接合の支柱側開口部において確認されたき裂である(写真-3上の赤丸)。損傷要因として開口による断面不足が考えられたことから、ハンドレイアップによる増厚補強を行い(写真-4)、水平荷重試験を行って開口無の支柱と同等の耐荷力を有することを確認した。また、支柱と手すりの部材それぞれに対してボルト孔の引き裂き試験を行い、耐荷力を確認した。

支柱と歩廊桁の接合部については、当初、長ボルトで歩廊桁腹板に接合する構造を試みたものの、水平荷重試験において歩廊桁の腹板の変形により角部が損傷した。歩廊桁のU形材断面形状150mm高を200mm高に変更するとともに、歩廊桁の角部に負担をかけずに上下フランジにボルト軸力を伝達する裏当て板を設ける構造に改良した。写真-5に示す水平方向荷重試験において最大荷重約10kNまでほぼ線形的に挙動し、設計曲げモーメントの8.1倍の曲げ耐力があると、補強効果を確認できた。

これらは構造細目の1例であり、今後は、経済性等からより優れた構造を見いだすことが課題で



写真-5 支柱と歩廊桁の接合部の水平荷重試験

あると考えている。なお、B-2～B-5ではこれらの補強対策を行った供試体を使用しており、損傷は見られていない。

## 5. まとめ

FRP製橋梁検査路について、実験による耐荷力特性を把握した。衝撃荷重試験では、標準的な鋼製検査路による場合と同程度の最大荷重に耐えることを確認した。しかし、弾性範囲を超える領域での荷重—変位関係、最大荷重後の残存耐荷力に大きなばらつきが予想され、挙動の再現性に対する信頼性確保策が課題であるといえる。

すなわち、実用化の前提となる基準化に必要なこととして、材料の破壊性状の制御が困難であることから、確実に弾性挙動にとどまるような安全余裕の設定方法、材料の塑性化後にある程度以上の耐荷力が確実に維持できる部材や材料の開発、これらの力学的挙動を一定の信頼性で保証できる設計法の確立、更には、試験施工等による耐久性も含めた実証が挙げられる。

### 参考文献

- 1) 構造工学シリーズ14 FRP橋梁 —技術とその展望—、264p、社団法人土木学会、2004.1
- 2) 厚生労働省告示第38号：安全帯の規格、2002.2改正

星野 誠\*



国土交通省国土技術政策  
総合研究所道路研究部道  
路構造物管理研究室 主  
任研究官  
Makoto HOSHINO

玉越隆史\*\*



国土交通省国土技術政策  
総合研究所道路研究部道  
路構造物管理研究室長  
Takashi TAMAKOSHI