

(26) トラス桁形式GFRP製橋梁用検査路における 面外方向の構造特性と手すり部の耐衝撃性能

小泉 公佑¹・中村 一史²・古谷 嘉康³・中井 裕司⁴・西田 雅之⁵

¹学生会員 首都大学東京 大学院 博士前期課程 都市環境科学研究科都市基盤環境学域
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

²正会員 首都大学東京 大学院 准教授 都市環境科学研究科都市基盤環境学域
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail: hnaka@tmu.ac.jp

³正会員 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)

⁴正会員 前田工織株式会社 東京営業第2部 (〒103-0005 東京都中央区日本橋久松町9-9)

⁵正会員 日本エフ・アール・ピー株式会社 (〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町2-2-13)

ガラス繊維プラスチック (GFRP) 製の検査路は、軽量で後施工に優れ、腐食しないことから、近年、適用されはじめている。本研究は、トラス桁形式検査路の開発を目的としたものであり、形式は開断面のポニートラスであることから、手すり部を兼ねたトラス面材の面外方向特性を実験的に検討した。手すり部に作用する最大荷重として、部分模型を用いた面外方向載荷実験および作業員が検査路から落下した場合を想定して、衝撃荷重を載荷するケースについて、支間長5.8mの実大模型を対象に実験的に検討した。まず、部分模型による面外構造特性に関しては、設計水平力に対して耐力を有していることが確かめられた。次に、支間中央部のGFRP製の上弦材、上段の水平材への砂のうの自由落下実験からは、小型の溝形材では接合部の引抜け破壊および部材のせん断破壊が生じたものの、大型の溝形材・角パイプでは破壊は生じず、十分に安全であることが確かめられた。

Key Words : inspection path, GFRP, upper chord, horizontal member, impact load

1. はじめに

近年、高度経済成長期に大量に建設された橋梁の維持管理の重要性が指摘される中で、橋梁長寿命化計画に基づき、計画的に点検、調査が実施されるようになってきた。橋梁の定期点検は近接目視が原則であり、検査路が必要となる場合がある。一般に、検査路は鋼製であるが、沿岸部など、過酷な環境では腐食等が懸念されている。また、後から検査路を設置するケースも増えている。

このような要求から、鋼製と比較して、軽量で後施工に優れ、耐食性を有するガラス繊維強化プラスチック (GFRP) 製のトラス桁形式検査路が開発されている¹⁾。しかしながら、このトラス桁形式検査路は、開断面のポニーワーレントラス形式であり、構造上、面外方向に対する剛性が小さいこと、FRP材料は破壊までほぼ線形的な挙動を示すことから、作業員の転落などを想定した、面外方向の衝撃荷重に対する安全性について、検討する必要がある。

そこで本研究では、開発したトラス桁形式検査路を対象に、下弦材と斜材の格点部を部分的にモデル化した試験体を作製して、載荷実験を行い、面外方向の構造特性、耐力を検証した。次に、設計上の面外方向の最大荷重として、作業員が安全帯を検査路の手すり (上弦材あるいは水平材) にかけた状態で落下する場合を想定した衝撃載荷実験を行い、適用したGFRP部材の耐衝撃性能を実験的に検討して、安全性を確かめた。

2. 検査路の設計条件とトラス桁形式検査路の概要

(1) 設計条件と適用範囲

表-1に、開発した検査路の設計条件²⁾を示す。設計活荷重、有効幅員は、それぞれ3.5kN/m²、0.6mであり、手すりの高さは1.1m、支柱間隔は1.9m以内である。手すりへの水平荷重、鉛直荷重は、それぞれ0.59kN/m、0.39kN/mである³⁾。本研究では、標準的な検査路として

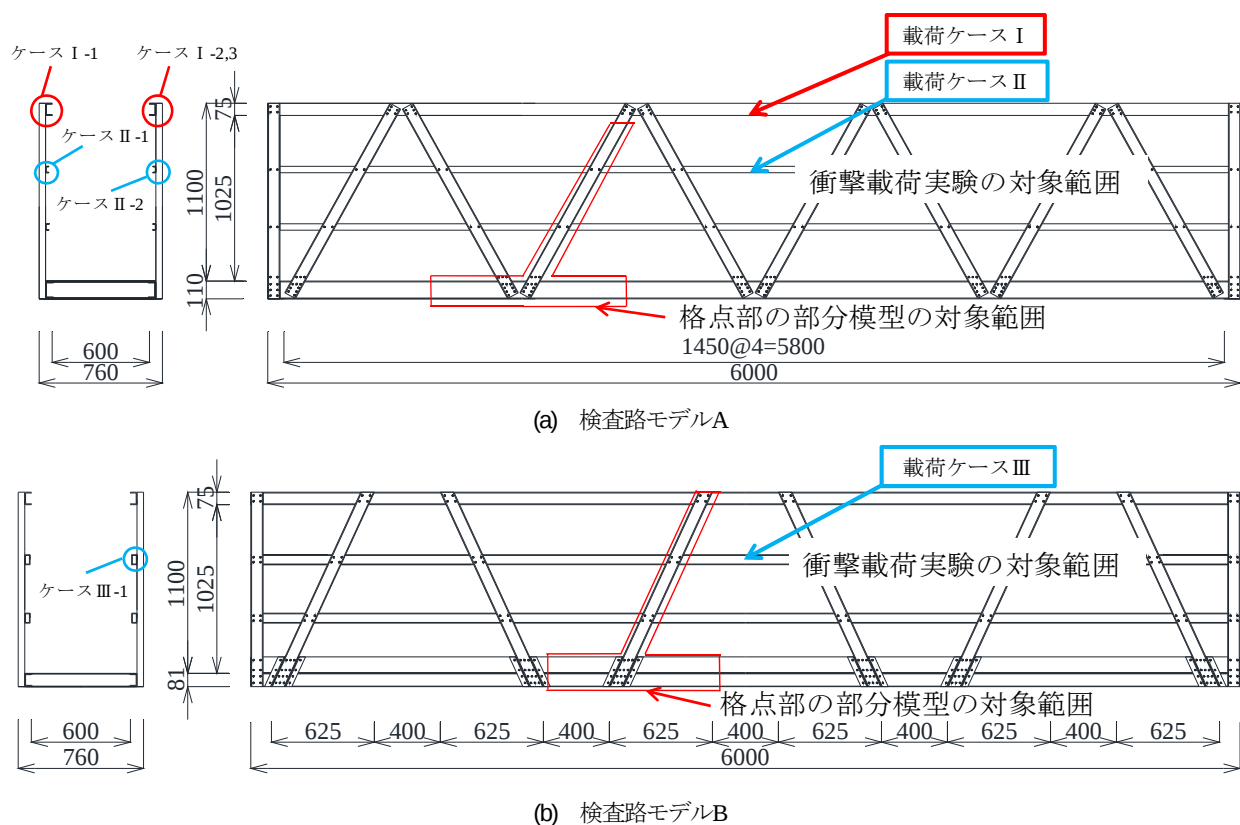


図-1 対象トラス桁形式検査路

表-1 設計条件

使用目的	橋梁点検
設計活荷重	3.5kN/m ²
手すり鉛直荷重	0.59kN/m
手すり水平荷重	0.39kN/m
有効幅員	0.6m
手すりの高さ	1.1m
支柱間隔	1.9m 以内
たわみ制限	L/600
適用支間長	6m

支間長6mタイプを対象とした。これは、一般的な多主桁橋の対傾構間隔で設置される検査路に相当するものである。また、たわみ制限は支間長Lに対してL/600とした。本研究で対象とする検査路は、これらの設計条件を満たして設計されている¹⁾。

(2) トラス桁形式検査路と検討方法

図-1に、対象とするトラス桁形式検査路の一般図を示す。既往の研究⁹⁾により、実用性が検証されている4パネルモデル¹⁾（検査路モデルAとよぶ）、斜材の部材長、角度を一定として、格点間に調整長（400mm）を設けた3パネルモデル（検査路モデルBとよぶ）の2種類である。床版は、軽量化を図ったサンドイッチパネル床版であり、両端の溝形材の上下面にGFRP製のスキンプレートを設置した中空の箱断面に、コア材として硬質発泡ウレタンを充填したものである。

表-2に、各部材の材料物性値を示す。検査路モデルAには、サンドイッチパネル床版の溝形材に

表-2 各部材の材料物性値

(a) 溝形材

溝形材 C75	弾性係数 (GPa)	39.5
	引張強度 (MPa)	600.0
	圧縮強度 (MPa)	725.9
溝形材 C100	弾性係数 (GPa)	39.2
	引張強度 (MPa)	512.0
溝形材 C40	弾性係数 (GPa)	31.5
	曲げ強度 (MPa)	744.0

(b) スキンプレート

スキンプレート (板厚 3mm)	弾性係数 (GPa)	8.8
	引張強度 (MPa)	78.7
	圧縮強度 (MPa)	145.3
スキンプレート (板厚 5mm)	弾性係数 (GPa)	9.1
	引張強度 (MPa)	64.0
	圧縮強度 (MPa)	147.0

(c) 硬質発泡ウレタン

低密度タイプ (FL30FA)	弾性係数 (MPa)	4.5
	圧縮強度 (MPa)	15.8
中密度タイプ (FL50FA)	弾性係数 (MPa)	9.5
	圧縮強度 (MPa)	32.9

(d) 箱形材

角パイプ□60	弾性係数 (GPa)	32.5
	引張強度 (MPa)	521.9
	圧縮強度 (MPa)	458.0

H100×B50×r5.0mm (C100) を、スキンプレートには板厚 5mm のものを、コア材には中密度タイプ (FL50FA) を

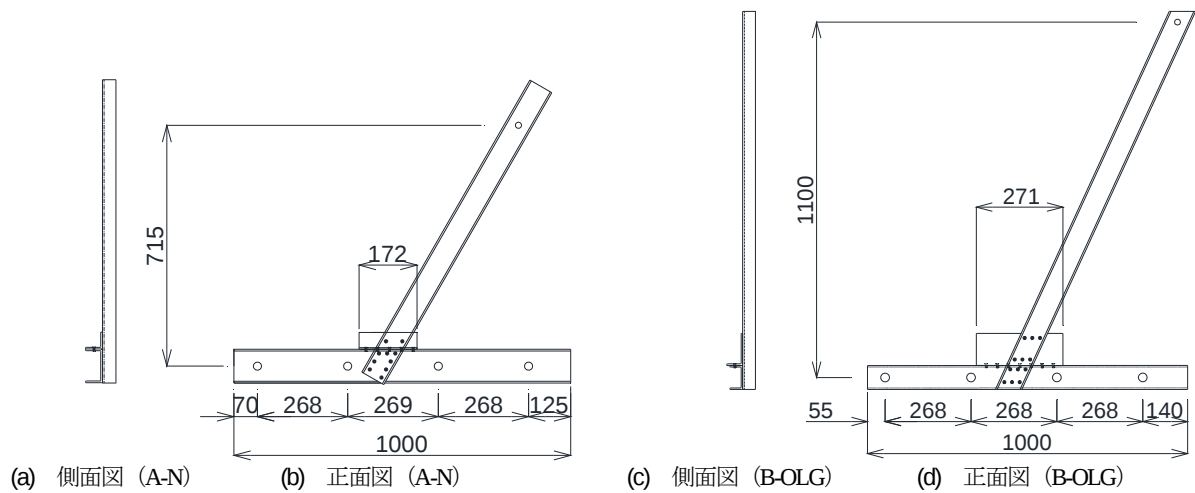


図-2 部分模型による格点部のモデル化

それぞれ選定し、C100を半割にしたものを補強板として用いた。水平材の溝形材にはH40×B20×t3.0mm (C40)を選定している。

検査路モデルBには、より軽量化を図るために、サンドイッチパネル床版の溝形材にH75×B40×t5.0mm (C75)を、スキムプレートには板厚3mmの連続成形板を、コア材には低密度タイプ (FL30FA) をそれぞれ選定し、サンドイッチパネル床版上部にC100から切り出した爪先板を全長にわたって用いている。水平材には、H60×B32×t4.0mmの角パイプ (□60) を選定している。

その他の斜材、垂直材、上弦材にはC75を用いている。接合部は、片面施工が可能であること、効率よく接合するためにブラインドドリベットと接着剤の併用接合とした。

図-1の赤枠で示されるような箇所を対象としてモデル化し、部分模型の载荷実験から下弦材格点部の面外構造特性の検討、検査路モデルAの上弦材、水平材および、検査路モデルBの水平材に砂のうを安全帯で接続し、落下させる衝撃载荷実験を行うことでGFRP製橋梁用検査路の耐衝撃性能の検討をそれぞれ行った。検査路モデルBの水平材 (□60) については、静的曲げ载荷実験もすることによって、衝撃载荷実験との比較検討を行った。

3. 部分模型実験による下弦材格点部の面外構造特性の検討

(1) 格点部の接合方法とモデル化

トラス格点部の部分模型を作製し、载荷実験を行うことで対象検査路の面外方向特性を実験的に検討する。図-1に赤枠で囲まれた範囲をそれぞれ、格点部の部分模型の検討対象とし、図-2にモデル化された部分模型の試験体の概要を示す。また図-3にそれぞれの試験体のそれぞれの試験体の接合方法を示す。

試験体は2種類用意した。検査路モデルAを対象としたA-Nは、下弦材 (C100)、斜材 (C75)、補強板で構成される、検査路モデルBを対象としたB-OLGは、下

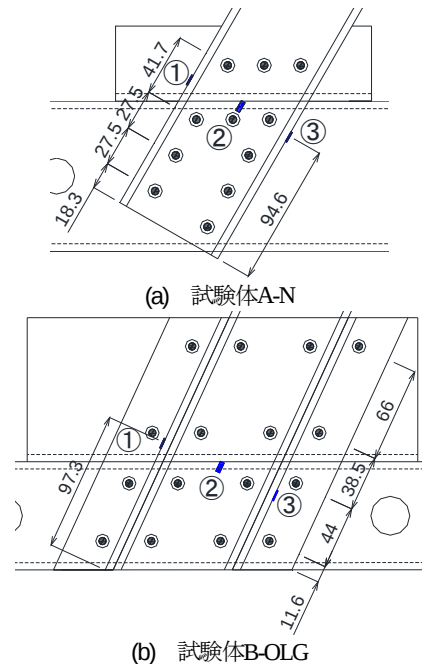


図-3 格点部の接合方法及びひずみゲージ位置

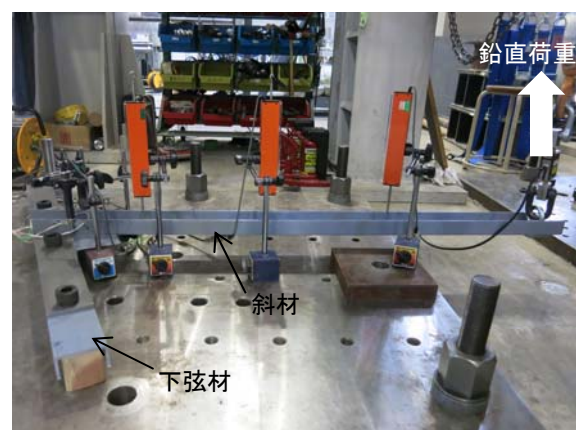


図-4 部分模型における面外方向载荷実験セットアップ状況
弦材 (C75)、斜材 (C75)、アングル材、爪先板から構成される。アングル材は補強を目的として、C75を半割りとし、斜材のフランジ部側面に接着接合したものである。補強板および爪先板は、C100から切り出した材料で、寸法はそれぞれL170×H50×t5、L271×H1000×t5と

なっている。なお、リベットの配置は、リベット間距離、縁端距離の推奨値⁵⁾をもとに決定している。

(2) 実験方法

図-4に、部分模型における面外方向載荷実験のセットアップ状況を示す。下弦材を底盤にボルトと添接板で固定し、斜材の先端を油圧ジャッキ（容量1,000kN）で引き上げ、面外方向に集中荷重を載荷した。載荷は、変位制御（載荷速度0.5mm/sec）とし、破壊まで行った。計

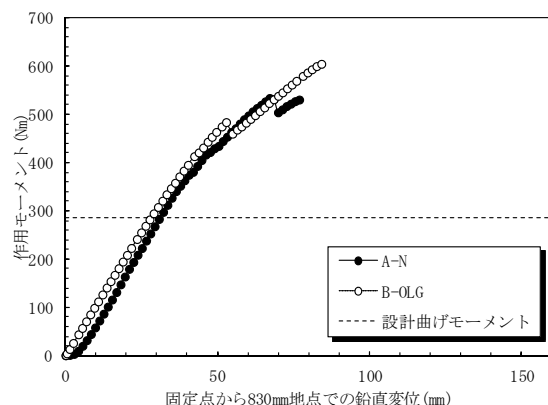
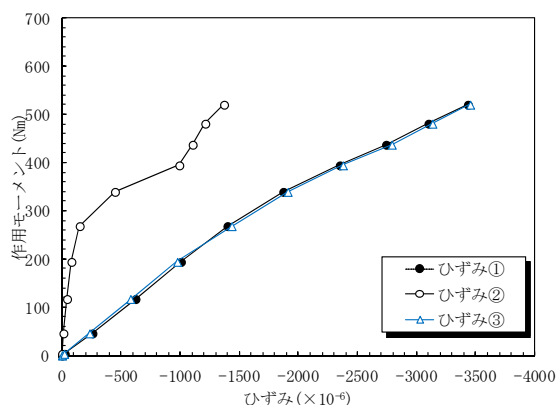
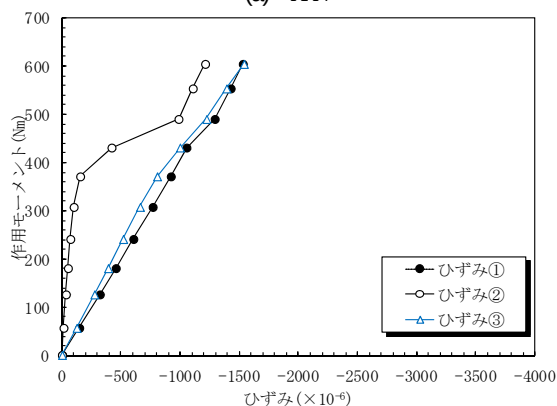


図-5 面外方向作用モーメントと鉛直変位の関係



(a) A-N



(b) B-OLG

図-6 面外方向作用モーメントとひずみの関係

測対象は、荷重、載荷点・各部位の変位、図-3に併記した箇所のひずみである。試験体A-N、B-OLGは載荷点までの長さが異なるため、下弦材の断面中心から載荷点までの長さ L と荷重 P の積で算定される作用モーメントで整理した。

(3) 実験結果と考察

図-5に、作用モーメントと固定点から830mm地点の鉛直変位の関係を、また、図-6に、ひずみと作用モーメントの関係を、表-3に、最大荷重、830mm地点の最大変位、破壊時のひずみの比較をそれぞれ示す。

試験体A-Nは、作用モーメント533.8N・mで、試験体B-OLGは、604.6N・mでそれぞれ破壊すること、下弦材をC100からC75に変更してもアングル材の補強により面外剛性はほとんど変わっていないことがわかる。830mm地点での鉛直変位は、A-Nでは76.8mm、B-OLGでは84.1mmであった。なお、B-OLGにおける荷重の載荷点は、検査路の手すりの位置に相当し、破壊時の最大変位は147.1mmであった。

斜材に設置したひずみゲージ①、③は、斜材に対して弱軸回りの曲げモーメントを受けるため、各試験体で同じであり、ほぼ線形挙動を示すこと、また、A-Nのひずみは、補強材としてアングル材を設けたB-OLGと比べて約2倍となることがわかる。そのひずみの最大値は、A-Nで約 $3,500 \times 10^6$ 、B-OLGで約 $1,700 \times 10^6$ であった。一方、ひずみ②の値は、試験体による差はほとんどなく、最大ひずみは約 $1,300 \times 10^6$ であった。

図-7に、破壊形式を示す。破壊形式は、A-Nでは、リベットの引抜け破壊および斜材角部の割れであった。B-OLGでは、下弦材の上フランジ部が曲げ引張を受けたことによる爪先板の破壊であったが、下弦材は上下スキンプレートと接合され、剛性が高いため、実際の検査路では生じない破壊形式である。別途、下弦材を鋼製に変更して検討した結果、最大作用モーメントが増



(a) A-N



(b) B-OLG

図-7 面外方向載荷実験における試験体ごとの破壊形式

表-3 部分模型による面外方向載荷実験結果のまとめ

試験体名	最大作用モーメント (N・m)	830mm 地点の 鉛直変位 (mm)	ひずみ① ($\times 10^6$)	ひずみ② ($\times 10^6$)	ひずみ③ ($\times 10^6$)
A-N	533.8	76.8	-3559	-1436	-3560
B-OLG	604.6	84.1	-1529	-1211	-1704

加すること、破壊は、斜材とアングル材の間の接着接合面で生じることが確認された⁴⁾。

4. 曲げ載荷実験によるGFRP水平材の断面破壊の検討

(1) 実験方法

検査路モデルBの水平材には、角パイプ（□60）を適用したが、5章の衝撃載荷実験の検討では破壊しなかった。検査路モデルBに適用した角パイプ（□60）は、構造部材ではないが、手すりの安全性を確保するためには重要な部材であるため、曲げ載荷実験により、角パイプの強軸回りの曲げモーメントに対する断面破壊について検討を行った。

図-8に、セットアップ図を示す。単純支持されたはりの3点曲げ載荷であり、支間距離は検査路モデルBの手すりの最大間隔と同じ850mmとした。載荷点は、安全帯のフックが直接掛かることを想定して、補強板等は設置しなかった。載荷装置には、電気油圧式疲労試験機（静的載荷能力150kN）を用いた。載荷は、変位制御（0.1mm/sec）とし、破壊まで行った。

試験体は4体（hm-1～hm4）用意した。実験では、荷重、載荷点の鉛直変位および下縁の軸ひずみを、それぞれ計測した。

(2) 実験結果と考察

図-9に、荷重と鉛直変位の関係および計算による理論値を、また、表-4に、最大荷重とその時の載荷点下縁のひずみを示す。試験体によるばらつきはほとんどなく、理論の線形に近いこと、最大荷重の平均値は9.2kNで破壊すること、破壊まではほぼ線形的な挙動を示すことがわかる。ひずみの値も試験体によるばらつきは少なく、載荷点下縁では $6,000 \times 10^{-6}$ 程度であった。

図-10に、載荷実験後の破壊の状況を示す。破壊は、載荷点の載荷治具の丸棒（φ50mm）で凹むように圧壊しており、破壊の領域が長手方向に広がるのが、実験中に確認された。これは、角パイプの強化材が一方方向材であることに起因している。

5. 衝撃載荷実験によるGFRP製橋梁用検査路の衝撃性能の検討

(1) 実験方法

図-1に示したトラス桁形式検査路の実大模型を対象に、作業員の体重に相当する砂のう（85kg）、安全帯・シャックル・ロードセル（2kg）の合計87kgを、支間中央部における上弦材、上段の水平材に、安全帯のフックを用いて掛け、砂のうを自由落下させる衝撃載荷実験を行った。

た。

図-11に、セットアップの一例と実験の概念図を示す。検査路の両支部は、ゴム支承による固定支持とした。砂のうの重心の静止位置は、上弦材の高さとし、検査路の



図-8 GFRP 水平材の曲げ載荷実験セットアップ図

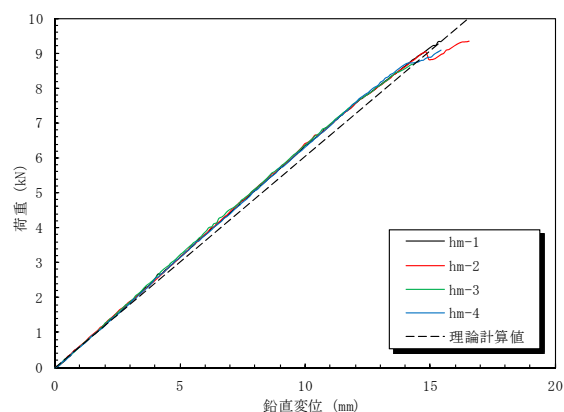


図-9 載荷荷重と鉛直変位の関係

表-4 最大荷重とその時の載荷点下縁の最大ひずみ

試験体名	最大荷重 (kN)	最大ひずみ ($\times 10^{-6}$)
hm-1	9.34	5983
hm-2	9.34	6304
hm-3	8.78	5361
hm-4	9.33	5944
平均	9.20	5898



図-10 曲げ載荷実験の試験体の破壊状況

幅方向には上弦材から約500mm離れた位置とした。支持端と砂のうを結ぶロープを切り離すことで、砂のうを自由落下させた。用いた安全帯は、標準長さ1,500mmの一般的なもの（ショックアブソーバーなし）であり、残留変形が生じるため、载荷ごとに交換した。

表-5に、対象とした検査路のモデル、安全帯を掛ける上弦材、上段の水平材の種類、試験回数をそれぞれ示す。表-1にも併記したように、ケースⅠでは、トラス面材の片側でケースⅠ-1を、もう一方の片面でケースⅠ-2、Ⅰ-3を実施した。ケースⅡでは、各トラス面材で1回ずつ载荷を行った。水平材を□60としたケースⅢでは、検査路モデルBを対象に実施している。実験では、ロードセル（容量：20kN）を用いて衝撃荷重を、支間中央部の上弦材に設置した加速度計より水平加速度を、さらに、安全帯を掛けた部材の支間中央から50mm離れた箇所に、部材軸方向のひずみを、動ひずみ測定器（キーエンス製NR-600）を用いて1/10,000秒間隔でそれぞれ計測した。図-12に、溝形材、角パイプに設置したひずみゲージの

表-5 衝撃载荷実験の载荷ケース

载荷ケース	対象モデル	着目部材	試験回数(回)	試験名
ケースⅠ	モデルA	上弦材(C75)	3	Ⅰ-1
				Ⅰ-2
				Ⅰ-3
ケースⅡ	モデルA	水平材(C40)	2	Ⅱ-1
				Ⅱ-2
ケースⅢ	モデルB	水平材(□60)	1	Ⅲ-1

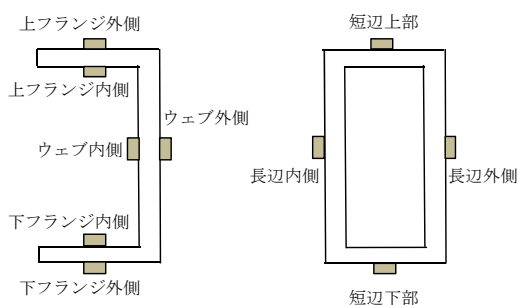


図-12 対象部材のひずみゲージ設置位置

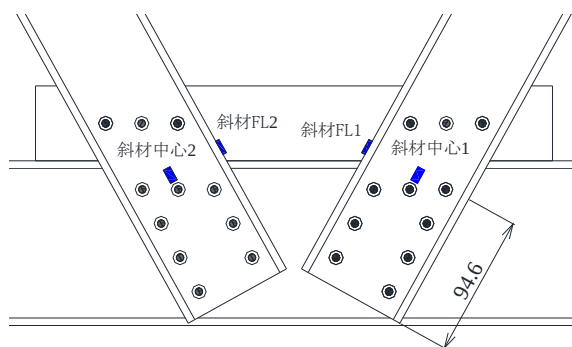


図-13 下弦材ひずみゲージ設置位置

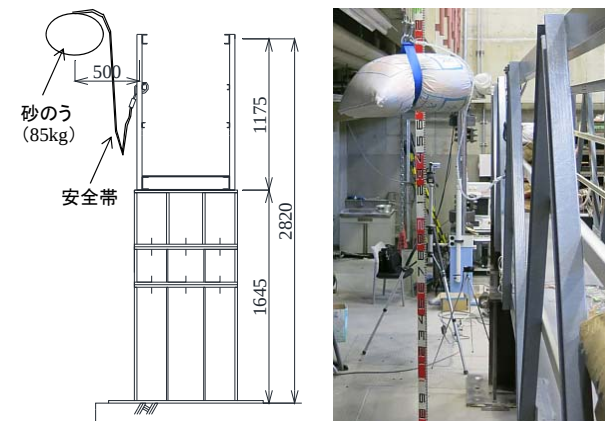
位置を示す。また、ケースⅠにおいては、斜材の下弦材に近い位置でのひずみを計測した。その位置を図-13に示す。

(2) 上弦材に対する衝撃载荷実験

载荷ケースⅠ、上弦材に対する衝撃载荷実験の結果について示す。実験は3回行った。

図-14に、衝撃荷重と経過時間の関係を、結果を0.5秒ずらして示す。図より、荷重の最大値は、約7.5kNであり、1回目が7.6kNとなり、最も衝撃荷重が大きかった。2回目(6.9kN)、3回目(7.2kN)はほぼ同程度であった。この値は、メーカーによる安全帯の性能(7.1kN)をやや上回ったものの、規定値(8.1kN)以下であり、概ね妥当であると考えられる。砂のうの最初の落下とリバウンドの繰返しにより、衝撃荷重は3回作用するが、1度目が最も大きく、その作用時間は約0.3secであった。

表-6に、ケースⅠにおける上弦材(溝形材C75)の最大ひずみを示す。ケースⅠでは、最大で約 $4,000 \times 10^{-6}$ の



(a) セットアップの概念図 (b) セットアップ状況例

図-11 衝撃载荷実験のセットアップ

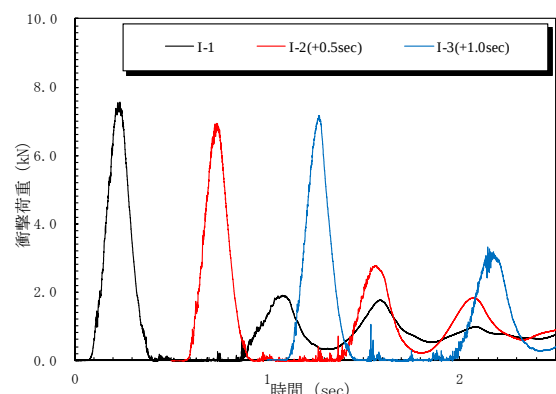


図-14 衝撃荷重と時間経過の関係(ケースⅠ)

表-6 ケースⅠにおける最大ひずみ($\times 10^{-6}$)

载荷ケース	上FL外側	上FL内側	WEB外側	WEB内側	下FL外側	下FL内側
Ⅰ-1	-3012	-2846	1377	823	1616	686
Ⅰ-2	-3092	-3431	1153	700	1332	485
Ⅰ-3	-3105	-3791	1424	831	1093	396

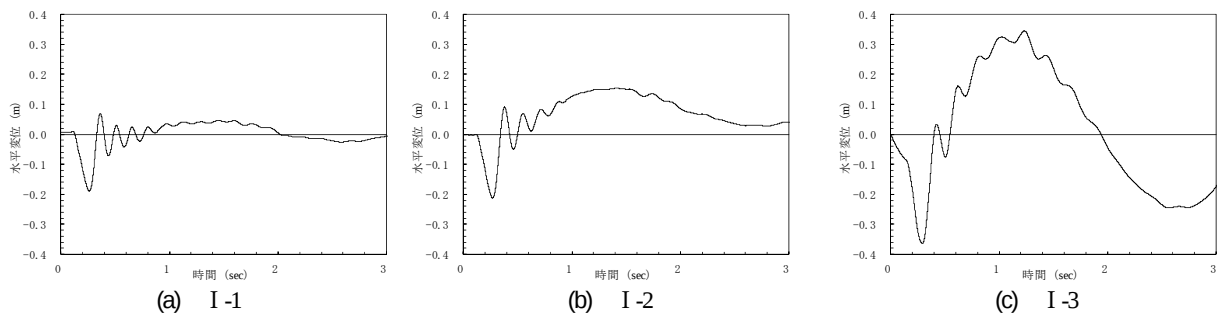


図-15 面外変位と時間経過の関係（ケース I）

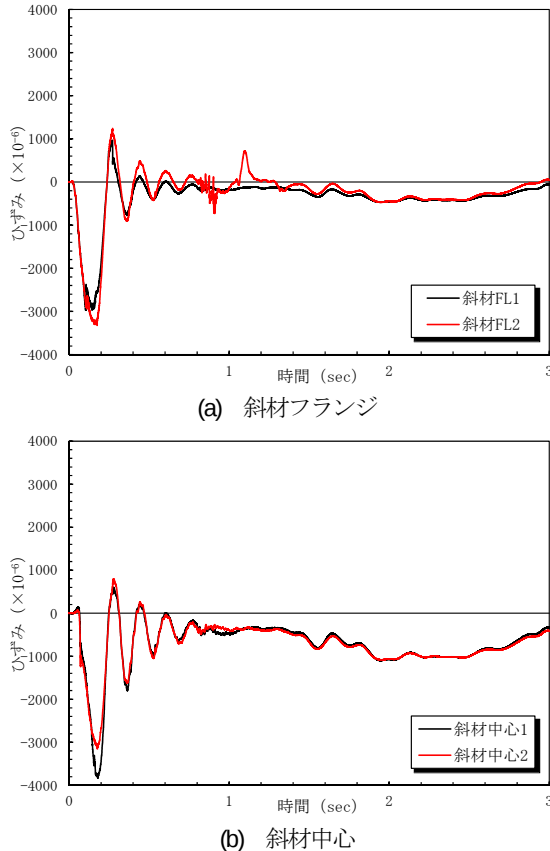


図-16 下弦材ひずみと時間経過（ケース I-2）

表-7 ケース I における下弦材最大ひずみ (×10⁶)

载荷 ケース	斜材 FL1	斜材 FL2	斜材 中心 1	斜材 中心 2
I-1	-2894	-2158	-3881	-4277
I-2	-2971	-3323	-3881	-3153
I-3	-2268	-3263	-4789	-4083

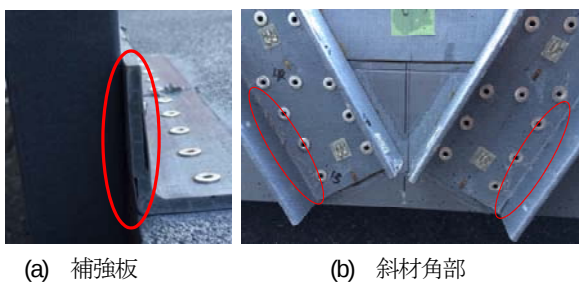


図-17 衝撃载荷実験における下弦材の破壊状況

ひずみが生じていることがわかる。材料の引張試験によれば、破断ひずみは約 $15,000 \times 10^6$ であることから、上

弦材の破壊は生じないと判断された。また、溝形材のひずみの特徴としては、上フランジに大きな圧縮ひずみが生じるが、ウェブ、下フランジのひずみは比較的小さく、引張ひずみであった。

図-15 に、上弦材の水平加速度を 2 回積分して求められた、水平変位と経過時間の関係を、図-16 に、下弦材のひずみと経過時間の関係を、表-7 に、下弦材の最大ひずみをそれぞれ示す。まず、ケース I-3 は、ケース I-2 の後に同じ箇所で実施されているが、図-15 (b)と(c)の比較より、試験回数が増えるにしたがって、水平変位が増大することがわかる。また、下弦材におけるひずみの値は、3 章で行われた部分模型の面外载荷実験で観測されたひずみの値に比べて大きくなっていることから、下弦材および斜材で破壊が生じていると判断された。図-17 の中に赤丸で示すように、下弦材の格点部において、補強板、斜材の角部に部分的に割れが生じていることが確認された。上弦材には、損傷はなかったが、衝撃载荷の回数が増えるにしたがって、格点部の損傷が広がり、面外方向の剛性が小さくなったと考えられる。

これらの結果より、上弦材に安全帯を掛けて砂のうを落下させた、ケース I の場合、ロードセルから得られた荷重は 6.9kN～7.6kN と安全帯の規格 (8.0kN 以下) を満たすこと、また、1 回めの衝撃荷重で、上弦材 (C75) には面外方向に約 0.2m の変位が生じるということがわかった。上弦材の面外変位は大きかったものの、上弦材に発生するひずみは $4,000 \times 10^6$ 以下であり、破壊は生じないことが、計測データと外観観察より確認することができた。したがって、上弦材の耐衝撃性能は十分にあるといえたが、下弦材の格点部には、致命的ではないものの、部分的な破壊が生じることも確認された。

(3) 上段水平材に対する衝撃载荷実験

ケース II, III における上段水平材に対する衝撃载荷実験は、ケース II で 2 回、ケース III で 1 回、合計 3 回実施された。ケース II では、上段水平材 (C40) が脱落した。

図-18 に、衝撃荷重と経過時間の関係を、各ケースの結果を 0.5 秒ずらして示す。図より、ケース II の 2 回は衝撃荷重が小さいこと、またその大きさは約 6.0kN であることがわかる。これは、前述したように、上段水平材

(C40) の部材と接合部で破壊が生じ、水平材が脱落したためである。また、ケースⅡ-2 でグラフが途切れているのは、C40の脱落で、ロードセルのリード線が切れて計測不能になったためである。ケースⅢでは、約 8.0kN とメーカーによる安全帯の性能 (7.1kN) を上回ったものの、規定値 (8.0kN) に近い荷重であり、概ね妥当であるといえた。

図-19 に、上弦材の水平加速度を 2 回積分して求められた水平変位と経過時間の関係を示す。ケースⅡ-1 では、水平材の破断と脱落が先行したため、上弦材の水平変位は小さかった。また、ケースⅡ-2 では、上弦材の水平変位は約 0.6m であり、大きい値となった。これは、このケースの前に行われたケースⅠ-2、Ⅰ-3 の衝撃载荷実験によって、下弦材格点部の損傷の領域が広がり、上弦材の水平変位が大きくなったと考えられた。

一方、アングルの補強材を追加した検査路モデル B では、上段水平材、下弦材の格点部で破壊は生じなかった。また、上弦材の水平変位も十分に小さく、約 0.06m であった。

表-8、表-9に、上段水平材の最大ひずみを示す。ケースⅡでは、最大ひずみは約 $8,000 \times 10^{-6}$ であったが、水平材の破断位置のひずみではないことから、実際にはさらに高い値になると思われる。一方、角パイプのケースⅢでは、最大ひずみは約 $3,000 \times 10^{-6}$ であり、水平材に破壊は生じなかった。また、ケースⅢでは、角パイプの上部、内側に圧縮ひずみ、下部、外側に同程度の引張ひずみが生じることから、斜め方向の衝撃荷重により、曲げが生じていることがわかる。

図-20に、ケースⅡの上段水平材の破壊状況を示す。上段の水平材は、まず、フックからの集中荷重によって変形し、接合部の破壊（リベットまわりのC40の打抜き破壊）が生じ、脱落した。水平材C40の接合部は、片側あたり2本のリベット（せん断耐力5.45kN/本）と接着剤の併用接合であり、リベットのみによるせん断耐力は、衝撃荷重を上回り、リベットのせん断破壊は生じなかった。したがって、溝形材C40の引張方向の打抜きせん断耐力が小さかったことによるものと判断された。なお、他のケースでは、リベット本数は、片側あたり4本の配

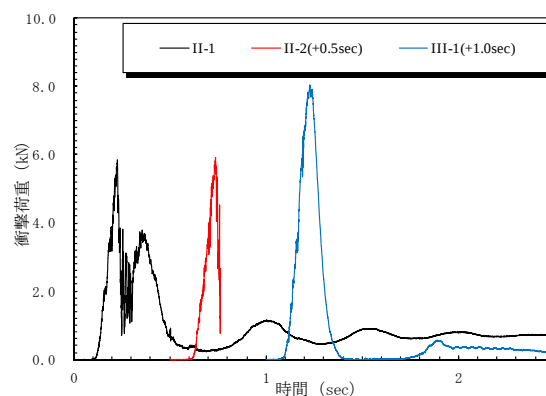


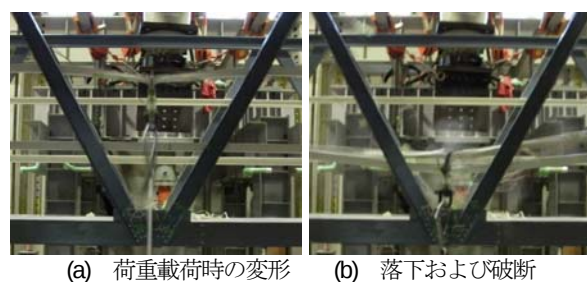
図-18 衝撃荷重と時間経過の関係（ケースⅡ、Ⅲ）

表-8 ケースⅡにおける対象部材最大ひずみ ($\times 10^{-6}$)

载荷 ケース	上 FL 外側	上 FL 内側	WEB 外側	WEB 内側	下 FL 外側	下 FL 内側
Ⅱ-1	6199	-1860	4053	-4948	5861	4671
Ⅱ-2	6433	-5657	-5607	3069	8516	6148

表-9 ケースⅢにおける対象部材最大ひずみ ($\times 10^{-6}$)

载荷 ケース	短辺上部	短辺下部	長辺外側	長辺内側
Ⅲ-1	-2114	2732	1013	-2197



(a) 荷重载荷時の変形 (b) 落下および破断



(c) 水平材の脱落 (d) 水平材の破壊状況

図-20 ケースⅡにおける上段水平材の破壊状況

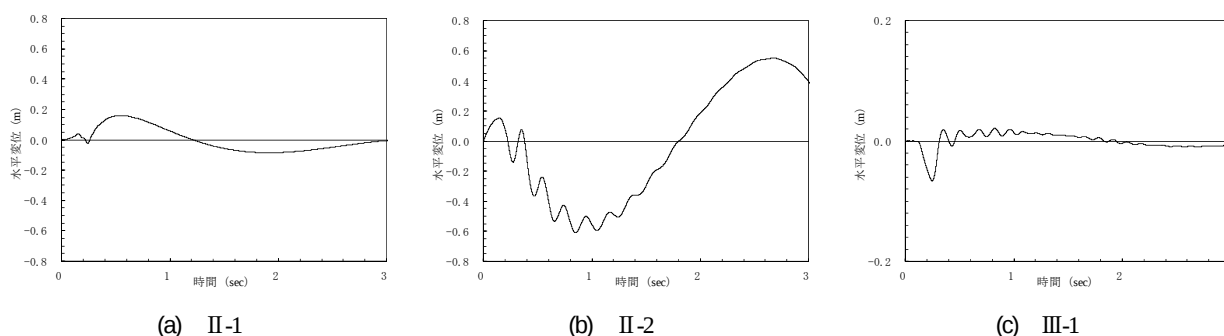


図-19 面外変位と時間経過の関係（ケースⅡ、Ⅲ）

置であり、接合部、部材の破壊は生じなかった。

以上より、水平材にC40を用いた場合、水平材は約6.0kNで破壊し、脱落するため、C40を上段水平材に使用できないと判断された。一方、水平材に□60を用いた場合、水平材、下弦材は破壊は生じないこと、ひずみ、上弦材の水平変位も小さいことから、水平材□60および補強材を追加した検査路モデルBの格点部は、十分な耐衝撃性能を有していることが確かめられた。

6. まとめ

本研究は、FRP製検査路で、供用中に作用する最大級の面外方向荷重として、手すりに対する設計水平荷重、および、作業員が安全帯を検査路の手すり（上弦材、水平材）にかけた状態で落下する場合に対して、部分模型の静的荷重実験および全体模型の衝撃荷重実験を行い、GFRP部材の適用性、耐衝撃性能を実験的に検討したものである。これらの検討の結果、以下のことがいえた。

- (1) 格点部の部分模型の面外方向の曲げ荷重実験からは、格点部をアングル材で補強すれば、設計水平荷重（短期強度）に対して安全であることが確かめられた。
- (2) 角パイプの静的曲げ荷重実験からは、荷重点で圧壊が生じ、最大荷重の平均値は9.2kNであったが、衝撃荷重（8.0kN）以上であることがわかった。
- (3) 溝形材（C75）の上弦材に対する衝撃荷重実験からは、上弦材、下弦材の格点部に致命的な損傷はなかったことから、上弦材にC75を採用した場合において、安全性は確保できることが確かめられた。
- (4) 溝形材（C40）の水平材に対する衝撃荷重実験からは、水平材のせん断破壊と接合部の引抜け破壊が生じて、水平材が脱落したことから、安全性の確保は困難であるといえた。

- (5) 角パイプ（□60）の水平材に対する衝撃荷重実験からは、水平材、下弦材の格点部に破壊はみられず、ひずみ、水平変位も小さかったことから、角パイプの水平材は、耐衝撃性に対して十分な安全性を有していることが確かめられた。

以上のことから、開発したトラス桁形式GFRP製検査路については、下弦材の格点部にアングル補強材を、上弦材に溝形材C75を、水平材に角パイプ□60を適用すれば、検査員の転落に対して耐衝撃性能が確保され、十分に安全性であることが確かめられた。

謝辞：首都大学東京大学院博士前期課程の石井佑弥 氏、前田建設工業株式会社（研究当時、首都大学東京大学院博士前期課程）の盧忠閣 氏およびフジタ建設株式会社（研究当時、首都大学東京大学院博士前期課程）の陶玉亮 氏には、実験の実施、解析データの作成・整理等で協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 小泉公佑，中村一史，若林 大，古谷嘉康，中井裕司，西田雅之：トラス桁形式 GFRP 製橋梁用検査路の開発，第 5 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム，pp.53-61，2014.11
- 2) 東日本高速道路(株)，中日本高速道路(株)，西日本高速道路(株)：設計要領第二集 橋梁建設編，2015.7
- 3) 日本道路協会編：防護柵の設置基準・同解説，歩行者自転車用柵 P 種，2008.1
- 4) 石井佑弥，中村一史，古谷嘉康，中井裕司，西田雅之：トラス桁形式 GFRP 製橋梁用検査路の使用性と耐荷力，第 11 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム，2015.11（投稿中）
- 5) 複合構造委員会：FRP 歩道橋設計・施工指針（案），複合構造シリーズ 04，土木学会，2011.1

OUT-OF-PLANE STRUCTURAL CHARACTERISTICS AND RESISTANCE TO IMPACT OF HANDRAIL IN BRIDGE INSPECTION PATH USING GFRP TRUSSED GIRDER

Kosuke KOIZUMI, Hitoshi NAKAMURA, Yoshiyasu FURUYA Hiroshi NAKAI
and Masayuki NISHIDA

A bridge inspection path using GFRP trussed girder has been developed for the highway bridges. In study, in order to study the out-of-plane structural characteristics and resistance to impact of handrail, full and partial models of inspection path were fabricated and tested under out-of-plane static loading and impact loading by the assumed case when a worker with a safety belt fall down. As a result, it was found that the load carrying capacity of the truss panel point was sufficiently high against design horizontal load and the handrail with the upper chord by channel member and connecting beam of square profile was sufficiently safe against impact load.