

常設足場の開発

Development of Permanent Scaffolding

築田幸祐* 竹田 誠*

Kousuke Tsukuda Makoto Takeda

近年、橋梁等の道路構造物の老朽化が問題となっており、維持管理の重要性が高まっている。そのなかで、国土交通省は長さ 2 m 以上の道路橋について、5 年に 1 回の頻度で近接目視点検を義務化する省令を 2014 年 7 月に施行した。それにより、点検用設備の設置に対するニーズが高まっている。点検用設備としては、検査路が一般的であるが、メンテナンスを実施する際は、新たに足場を設置する必要がある。特に、跨線部（鉄道）や重交通交差道路においては、道路工事に多大な時間と労力を要す上、足場の設置が容易ではない場合もあり、点検とメンテナンスの容易性を確保するため、常設足場が設置される。そこで、軽量かつ耐食性に優れた FRP パネル（中空断面形状）を用いた常設足場を開発した。開発にあたり、中空部材の端部固定方法について評価した。また、長期的な安全性を評価するため、中空部材を用いて静荷重を負荷したクリープ試験を実施した。本報では、中空部材の端部固定方法を評価した結果および試験期間が 1 年 6 ヶ月のデータを基に、50 年後のクリープ特性を評価した結果を報告する。

Recently, the aging of road structures, such as bridges, has become a problem, and the importance of maintenance is increasing. Under such circumstances, an ordinance from the Ministry of Land, Infrastructure and Transport that took effect in July 2014 mandates close visual inspections once every five years for road bridges longer than two meters in length. Accordingly, there are growing needs for the installation of inspection facilities. As an inspection facility, inspection passage is common, however, when maintenance of bridges, scaffolding needs to be installed. Especially, on overpasses (railroads) and crossroads with heavy traffic, road construction requires a great deal of time and effort, and in some cases it is not easy to install scaffolding, so permanent scaffolding is installed to ensure ease of inspection and maintenance. Therefore, we developed “permanent scaffolding (hollow cross-section)” using FRP scaffolding panels that is light and has excellent anti-corrosion properties. During development, we evaluated the method of fixing the ends of hollow members. In addition, to evaluate long-term safety, a creep test was conducted using a hollow member under static load. In this paper, we report results of evaluating the method of fixing the ends of hollow members and results of evaluating the creep characteristics after 50 years based on the data obtained during the test period of 1 year and 6 months.

1 はじめに

近年、橋梁等の道路構造物の老朽化（図 1）が問題となっており、補修や補強などを効率的に実施することで、事故リスクの低減および施設の長寿命化を図る取り組みが進められている。2014 年 7 月に施行された「道路法施行規則の一部を改正する省令」において、長さ 2 m 以上の橋梁（約 70 万橋）は、国が定める統一的な基準により、5 年に 1 回の頻度で、近接目視により点検を行うことを基本とすることが規定された。それにより、点検用設備の設置に対するニーズが高まっている。

点検用設備としては、検査路が一般的であるが、メンテナンスを実施する際は、新たに足場を設置する必要がある。特に、跨線部（鉄道）や重交通交差道路においては、道路工事に多大な時間と労力を要す上、足場の設置が容易ではない場合もあり、点検とメンテナンスの容易性を確保するため、常設足場が設置される。そこで、

軽量かつ耐食性に優れた FRP パネルを用いた常設足場を開発した。

2 常設足場の設計条件

常設足場に関する規格はないため、社内基準として下記の設計条件を定めている。

なお、FRP 製検査路の規格（NEXCO 設計要領²⁾）は 3.5 kN/m² 載荷時の発生たわみが L/100 以下、部材応力度の照査に使用する安全率は 3 となっており、これより厳しい設計条件とした。

- ・群衆荷重（3.5 kN/m²）載荷時の発生たわみが L/400 以下（L：支持スパン）
- ・群衆荷重（3.5 kN/m²）載荷時の発生曲げ応力が破壊応力に対して安全率 6 以上

*化成品事業部 技術開発部 技術開発課 技術開発グループ

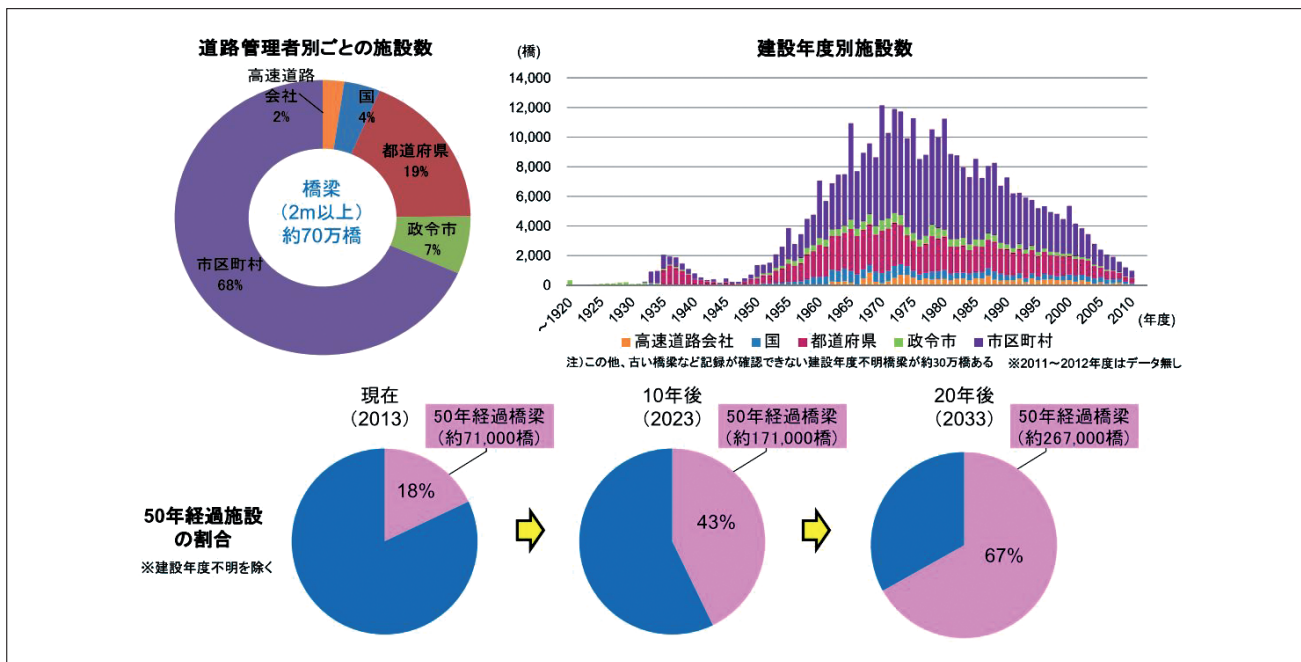


図1 橋梁の現状 (2013年時点) ¹⁾

3 常設足場の成形方法

FRPパネルは、長さ方向の剛性が求められることから、引抜成形法を適用した。

引抜成形法は、図2に示す通り、ガラス基材に熱硬化性樹脂を含浸させ、金型内で加熱硬化し、硬化した成形品を引取り装置にて引き抜くことで、同一断面の成形品を連続的に成形する方法である。金型の形状によってさまざまな断面形状に対応可能なため、断面設計の自由度が高い。また、連続成形であるため材料歩留まりが良く、生産性の高い成形方法である。

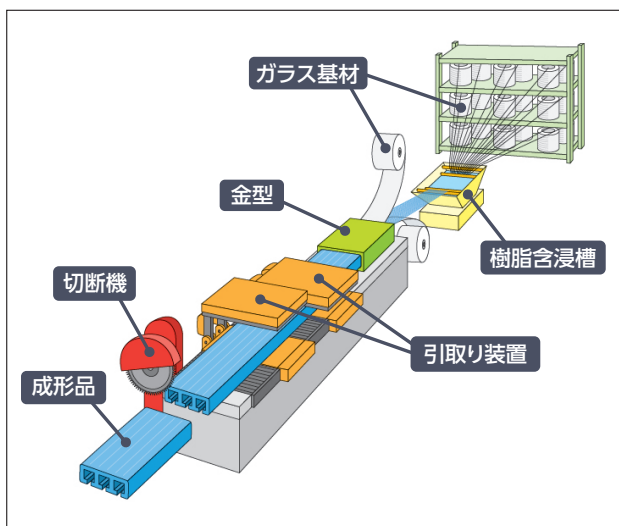


図2 引抜成形法概要図

4 常設足場の断面形状

2項に示した設計条件を満足する形状として中空形状を採用しており (図3および図4)、支持スパンにより使い分ける。これらの断面形状について、式(1)～(4)を用いて強度計算を行った。計算条件を表1に、結果を表2に示す。

$$W = pB + wa \dots\dots\dots \text{式 (1)}$$

$$M = \frac{WL^4}{8} \dots\dots\dots \text{式 (2)}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots \text{式 (3)}$$

$$\delta = \frac{5WL^4}{384EI} \dots\dots\dots \text{式 (4)}$$

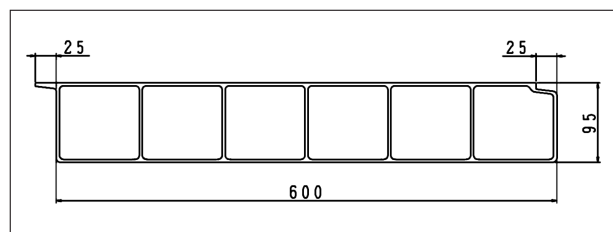


図3 断面形状① (支持スパン2.6 m仕様)

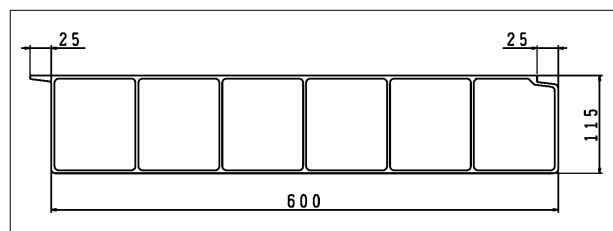


図4 断面形状② (支持スパン3 m仕様)

5 端部固定方法評価試験

FRP パネルの施工は端部をボルトにて固定する方法を検討しているが、端部は集中荷重が作用するとたわみやすく、弱部となるため、端部固定方法について評価した。

5.1 固定方法の種類

固定方法の種類を図 5 に、各固定方法の概要を表 3 に示す。試験体は中空部材とし、固定部の補強効果が期待できる固定方法 C とその他の固定方法を比較した。

5.2 評価方法

試験概要図を図 6 に示す。試験体を架台にボルトで固定し、試験体固定部に集中荷重を載荷した。このとき、試験体の破壊荷重を測定した。

5.3 試験結果

試験結果を図 7 に示す。荷重が最初に低下した時点を破壊とした。固定方法 C を用いた試験体の破壊荷重は、固定方法 A および B を用いた試験体と比較し、3 倍以上の数値であった。このことから、固定方法 C は固定部の補強に対して効果的であることを確認した。

表 1 計算条件

項目	断面形状	
	①	②
p : 群衆荷重 (kN/m ²)	3.5	
B : FRP パネルの有効幅 (m)	0.615	
wa : 死荷重 (kN/m)	0.119	0.128
W : 等分布荷重 (kN/m)	2.271	2.280
L : 支持スパン (m)	2.6	3
M : 曲げモーメント (kN・m)	1.919	2.565
E : 曲げ弾性率 (GPa)	20.0	
I : 断面二次モーメント (m ⁴)	1.067×10^{-5}	1.640×10^{-5}
Z : 断面係数 (m ³)	2.205×10^{-4}	2.801×10^{-4}

表 2 計算結果

項目	断面形状	
	①	②
δ : 発生たわみ (mm)	6.3	7.3
$\delta L/400$: 許容たわみ (mm)	6.5	7.5
σ : 発生曲げ応力 (MPa)	8.7	9.2
σa : 許容曲げ応力*1 (MPa)	13.3	
判定	○	

*1 FRP 中空板 (既存製品) の曲げ強度 : 80 MPa に対して、安全率 6 とした。

表 3 各固定方法の概要

固定方法 A	ボルトおよびナットにて固定する。
固定方法 B	試験体中空部に板状の固定金具を挿入し、ボルトおよびナットにて固定する。
固定方法 C	試験体中空部の高さと同じの高さを持つ固定金具 (内側にナット溶接) を試験体中空部に挿入し、ボルトにて固定する。

6 クリープ試験

FRP パネルの安全性確認として、クリープ試験を 2021 年度下期から実施している。試験は現在も継続しており、本報では試験開始から 1 年 6 ヶ月までの結果を報告する³⁾。

6.1 試験体概要

試験体断面形状を図 8 に示す。FRP パネルは断面性能の高い中空形状 (図 3 および図 4) を検討していたが、妥当性を確認するため、本試験では FRP パネルより断面二次モーメントが小さい中空部材 ($I : 0.735 \times 10^{-5} \text{ m}^4$) を用いた。

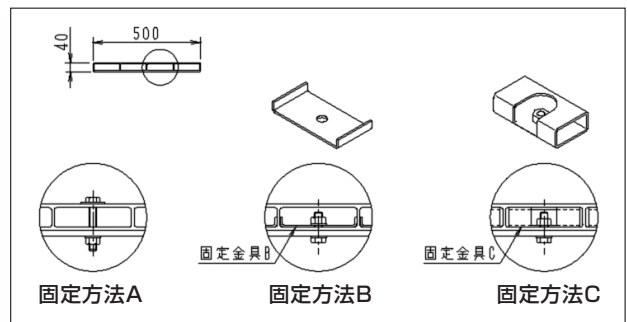


図 5 固定方法の種類

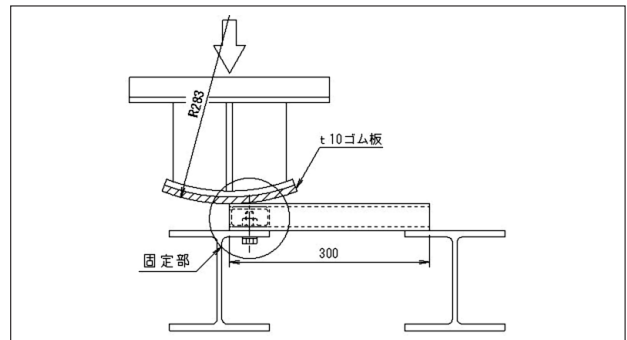


図 6 試験概要図

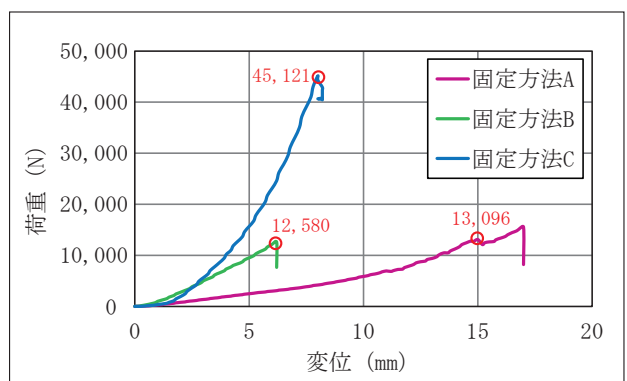


図 7 試験結果

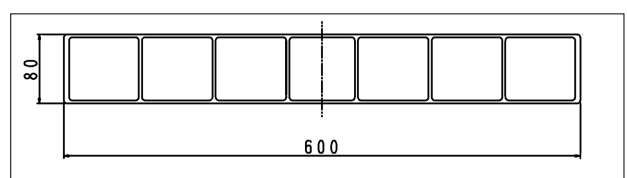


図 8 試験体断面形状

6.2 試験方法

試験概要図を図9に、試験条件を表4に、測定項目を表5に示す。支持スパンは既設の常設足場を調査した結果から、最大の3,100 mmとした。試験体の固定は5項に示した固定方法Cを用いて支持架台にボルトで固定した。試験体の固定状況を図10に示す。初期たわみはFRP製検査路の実績から以下のように設定した。FRP製検査路は支持スパン6,000 mmが主流であり、作業員(90 kg/人)を4名と仮定すると、FRP製検査路の中央下部に発生するたわみはL/600となることから、本試験は初期たわみL/600を狙い目として試験体中央にコンクリート平板(寸法:300×300×60 mm)を用いて載荷した。なお、本試験は施工現場を想定し、屋外にて実施した。

表4 試験条件

試験環境	屋外
試験体長さ (mm)	3,220
支持スパン (mm)	3,100
初期たわみ (mm)	5.344 (≒ L/580)
載荷荷重 (kg)	192

表5 測定項目

項目	内容
たわみ	ロッド形マイクロメータにて試験体中央下部を測定する。
ひずみ	試験体中央下部にひずみゲージを貼付け、試験体の長手方向に発生する引張ひずみを測定する。

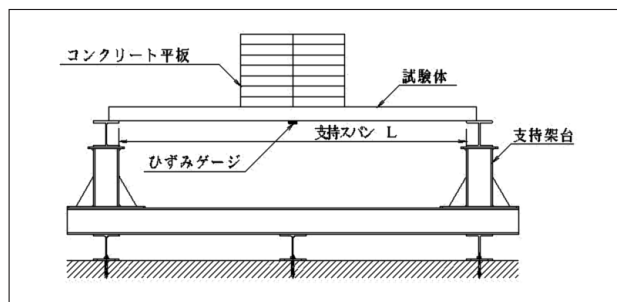


図9 試験概要図

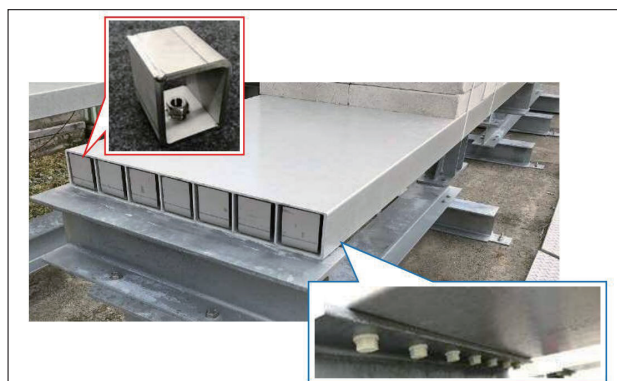


図10 試験体固定状況

6.3 試験結果

たわみおよびひずみの測定結果を図11に示す。

たわみについて、一般的に、たわみは時間経過に伴い増加するが、本試験においてはバラつきが生じており、これは、屋外にて実施しているため、試験体温度が変化することによる熱伸縮の影響であると考えられる。

ひずみについて、「JIS K 7164 プラスチック-引張特性の試験方法-」に準拠し、本試験体から切り出した試験片を用いて引張試験を実施した結果、破壊ひずみは $13,000 \times 10^{-6}$ であった。1年6ヶ月(13,440 h)経過時点におけるひずみは 408×10^{-6} と、破壊ひずみに対しておよそ1/32の数値であり、非常に小さな範囲で推移していることを確認した。

6.4 50年後におけるたわみ予測およびクリープ係数

50年後におけるたわみの予測結果を図12に、本試験体のクリープ係数算出結果を表6に示す。たわみについては「JIS K 7020 ガラス強化熱硬化性プラスチック(GRP)管および継手-回帰分析法およびその使用」に記載されている「方法A-相関分析法」を用いて回帰分析を行い、50年後のたわみを算出した。クリープ係数については図12、式(5)および式(6)を用いて初期および50年後における曲げ剛性の比率から算出した。曲げ剛性の算出に用いるPおよびLは、同一の試験体であるため同一値となることから、 δ_0 と δ_{50} の比率がクリープ係数となる。なお、 δ_0 は載荷時の数値を用いた。

50年後におけるたわみは5.878 mmと予測され、初期たわみに対する増加量は0.534 mmであった。

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} \quad \dots \text{式(5)}$$

$$EI = \frac{PL^3}{48\delta} \quad \dots \text{式(6)}$$

- ここに、 δ : たわみ (mm)
- P : 荷重 (N)
- L : 支持スパン (mm)
- E : 曲げ弾性係数 (GPa)
- I : 断面二次モーメント (mm⁴)

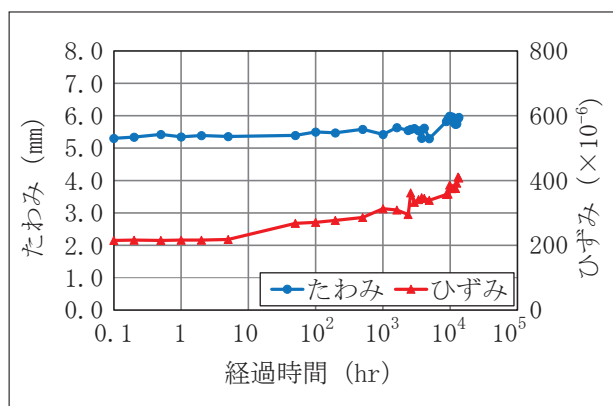


図11 たわみおよびひずみの測定結果

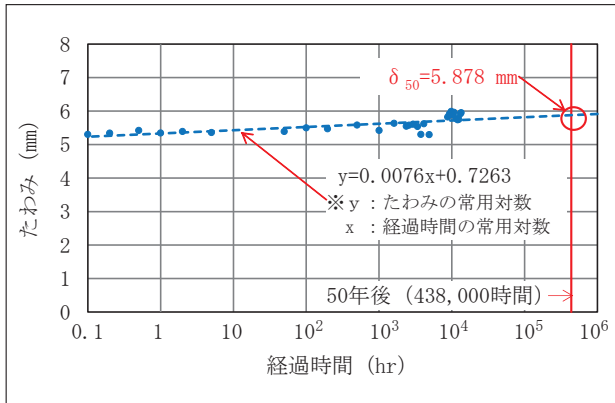


図12 50年後のたわみ予測結果

表6 クリープ係数算出結果

δ_0 (mm)	δ_{50} (mm)	クリープ係数
5.344 ($\approx L/580$)	5.878 ($\approx L/527$)	1.100

7 まとめ

常設足場を開発するにあたり、中空部材の端部固定方法および試験期間が1年6ヶ月のデータを基に、50年後のクリープ特性を評価した。

固定方法については、中空部材の固定部に集中荷重を載荷して評価した結果、中空部材の高さと同一の高さを持つ固定金具（内側にナット溶接）を中空部に挿入し、ボルトにて固定する方法が、固定部の補強に対して効果的であることを確認した。

長期的な安全性については、中空部材に静荷重を負荷したクリープ試験を1年6ヶ月実施した結果、試験体中央下部におけるひずみは 408×10^{-6} と破壊ひずみに対しておよそ1/32の数値であり、非常に小さな範囲で推移していることを確認した。また、たわみの測定結果を基に、50年後におけるたわみを予測した結果、たわみの増加量は0.534 mmと大きな変化は見られなかった。このことから、中空部材は長期にわたり安全に使用できると考える。

本固定方法を用いたFRPパネルを常設足場として上市し、道路構造物の老朽化対策に貢献したい。

参考文献：

- 1) 国土交通省：道路構造物の現状（橋梁）
http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf (2023.6.21 閲覧)
- 2) 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：設計要領、第二集 橋梁建設編（平成28年8月）、pp.6-100
- 3) 築田幸祐，“FRP製中空部材のクリープ特性評価” 土木学会関西支部2023年度関西土木工学交流発表会概要集 口頭I-9

執筆者：

築田幸祐

2020年入社

FRP関連の開発に従事



竹田 誠

1999年入社

FRP関連の開発に従事

