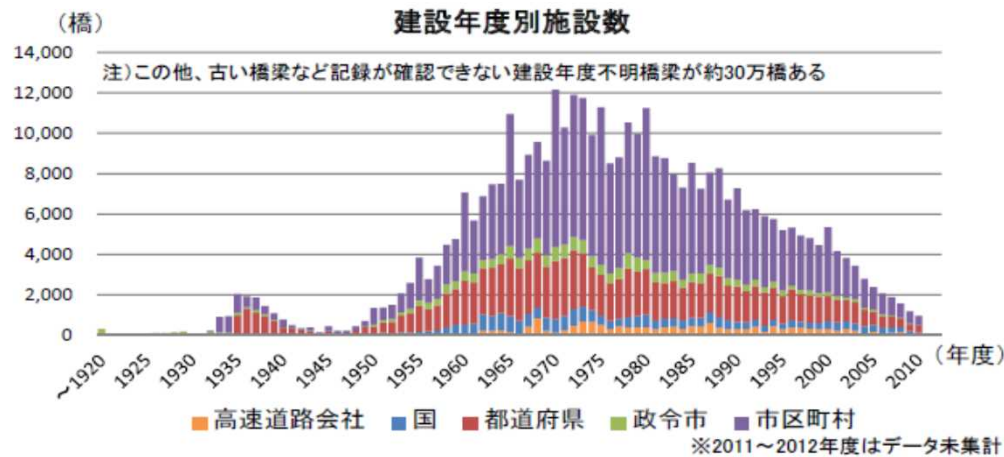


第14回
新都市社会技術セミナー

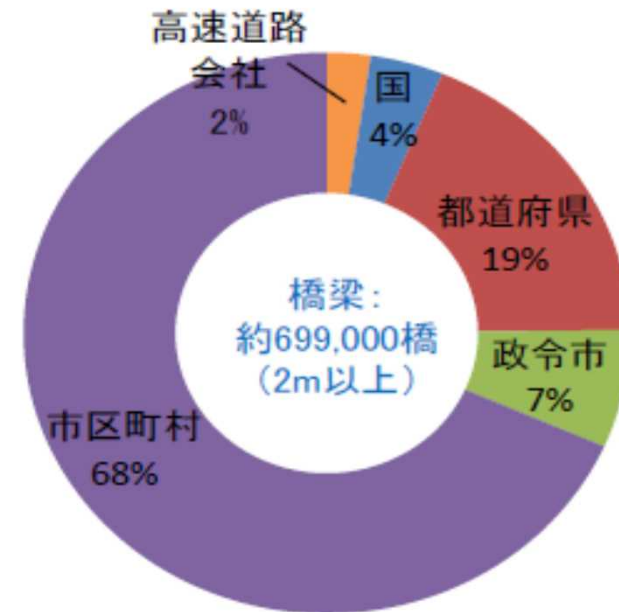
FRP製 簡易展開式橋梁検査足場の開発 に関する研究

プロジェクトリーダー：杉浦邦征 京都大学大学院教授

研究背景 ～既存橋梁の老朽化～



点検通路のない中小橋梁



管理者別橋梁数

- 老朽化橋梁の増加(平均年齢35年)
→5年に1度の定期点検(近接目視による点検)の義務化
- 70万橋のうち約61万橋(87%)が都道府県、市区町村が管理
- 点検通路のない多数の中小規模橋梁の点検効率化

研究背景 ～従来の近接目視点検の課題～

橋梁点検車を用いた点検



- 高額な機材レンタル費
- 交通規制の必要性
- 点検車両の不足
- Etc...

足場を用いた点検

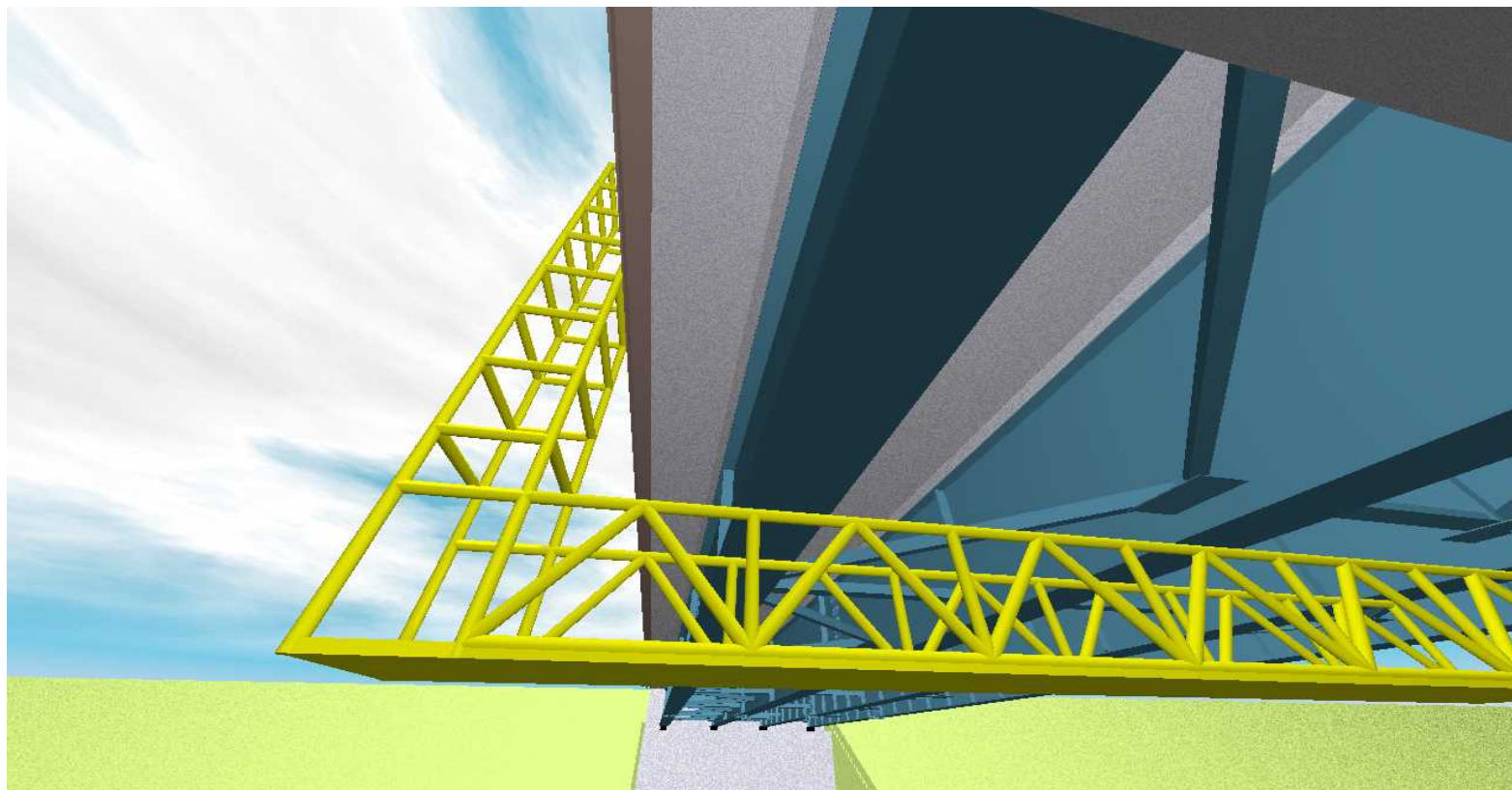


- 工期（足場架設＋点検＋足場解体）
- 足場架設費（5～10千円/m²）
- 高橋脚橋梁への対応
- Etc...

地方自治体における課題：

限られた予算、限られた人材で、多数の橋梁をいかに安全に、効率的に点検するか。

研究目的



人力で設置・展開・移動が可能な、FRP製簡易展開式検査用足場を開発する.

- 対象: 地方自治体管理の中・小規模橋梁(スパン30m~50m程度)
- 小型トラック(4t車程度)で運搬可能な部材サイズ
- 4~5名程度の作業員(交通誘導員を含む)による点検
- 桁下で縦横に容易に展開・移動な構造

研究期間中の検討項目

・対象橋梁の選定と実態調査

市町村等の地方自治体が管理する常設検査足場のない中・小規模橋梁(スパン30m～50m程度)を中心に、桁高、桁間隔、地覆幅・高さ等の構造詳細を調査し、対象橋梁を選定する。

・FRP部材の力学特性の把握

安価なガラス繊維強化樹脂(GFRP)を対象とした材料試験を実施し、試設計に必要な材料の機械的性質を把握する。

・FRP製簡易展開式検査用足場の架設展開方法の検討および試設計

いくつかの構造形式および架設展開方法に対して数値解析による試設計を実施し、構造実現性および人力による架設の可否について検討する。

・FRP製簡易展開式検査用足場の試作および架設展開・移動実験

FRP製簡易展開式検査用足場を構成する足場パネルおよび主構造の試験体を試作し、実験室内での架設展開実験および載荷実験により力学挙動を確認するとともに、架設展開方法についての課題の洗い出しを行う。

・実橋梁を対象としたフィールド実験

実橋梁を対象として、試作したFRP製簡易展開式検査用足場の架設実験を行い、架設時間の検討、展開・移動性の検討、ならびに橋梁点検の可否を検討し、実用化に向けての課題の洗い出しを行う。

FRP製簡易足場の開発の利点

従来足場の課題

高所での展開・移動が容易に行えるよう開発された足場でも、従来材料（鋼材またはアルミ）を使用したものがほとんどであり、重量物となる。

従来足場のほとんどは、架設・補修・補強工事を目的としたもの。

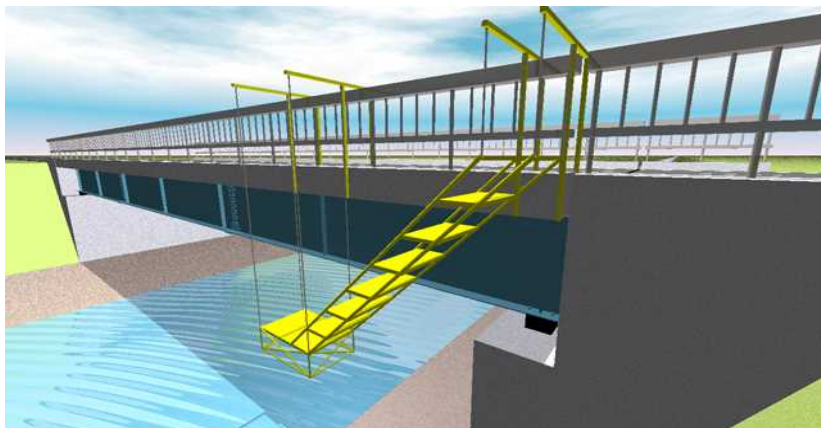
FRPの特徴

- 従来材料と比べて**軽量**。
（比重：1.4～2.0程度 cf. 鋼材，ステンレスの比重：7.85、アルミの比重：2.7）
- 腐食劣化がなく、従来材料より**高耐久**でメンテナンスフリー。
（耐候性ゲルコートを使用した耐UV対応品もあり）
- ハンドレイアップ材の場合、**任意形状断面の部材成形が可能**。
- 繊維の種類により、**鋼材と同等程度以上の強度・剛性を保有**。

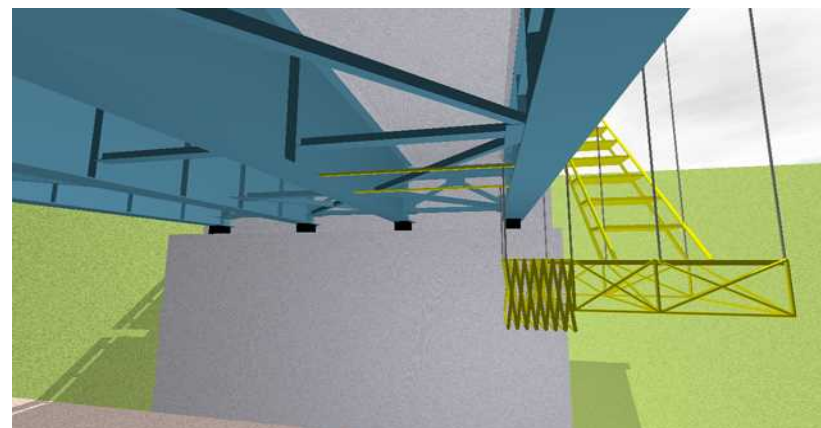


重機使用を最小限に抑えた**人力のみで架設可能な足場**の実現

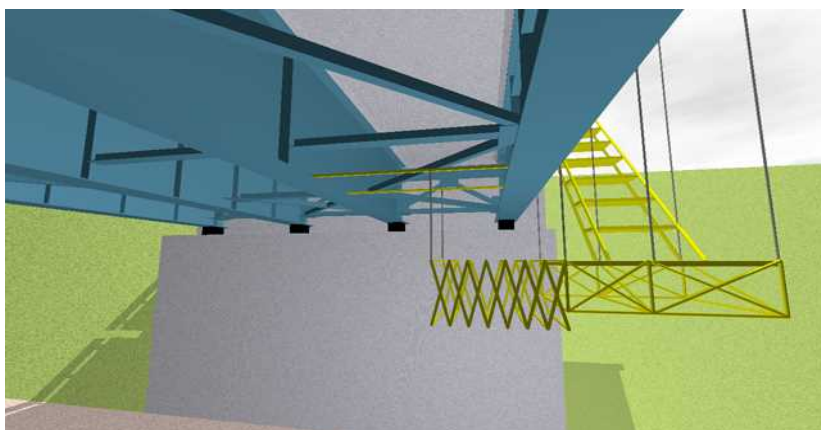
伸縮展開式足場の設置イメージ



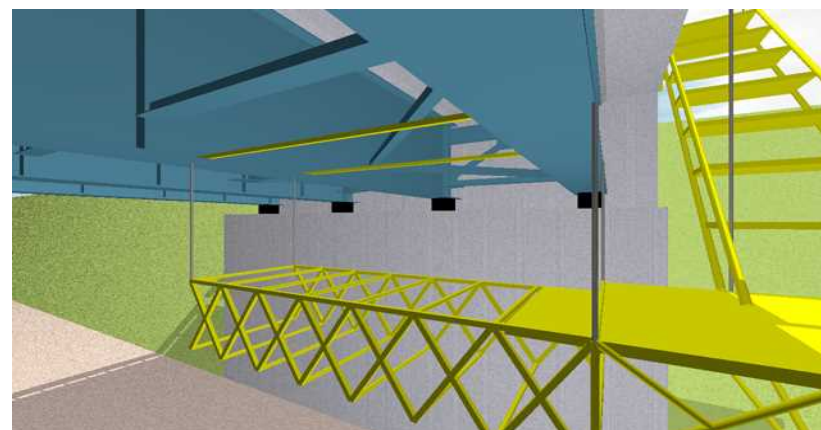
Step 1 : 昇降階段・作業ステージ設置



Step 2 : 補助レール・主構ユニット設置

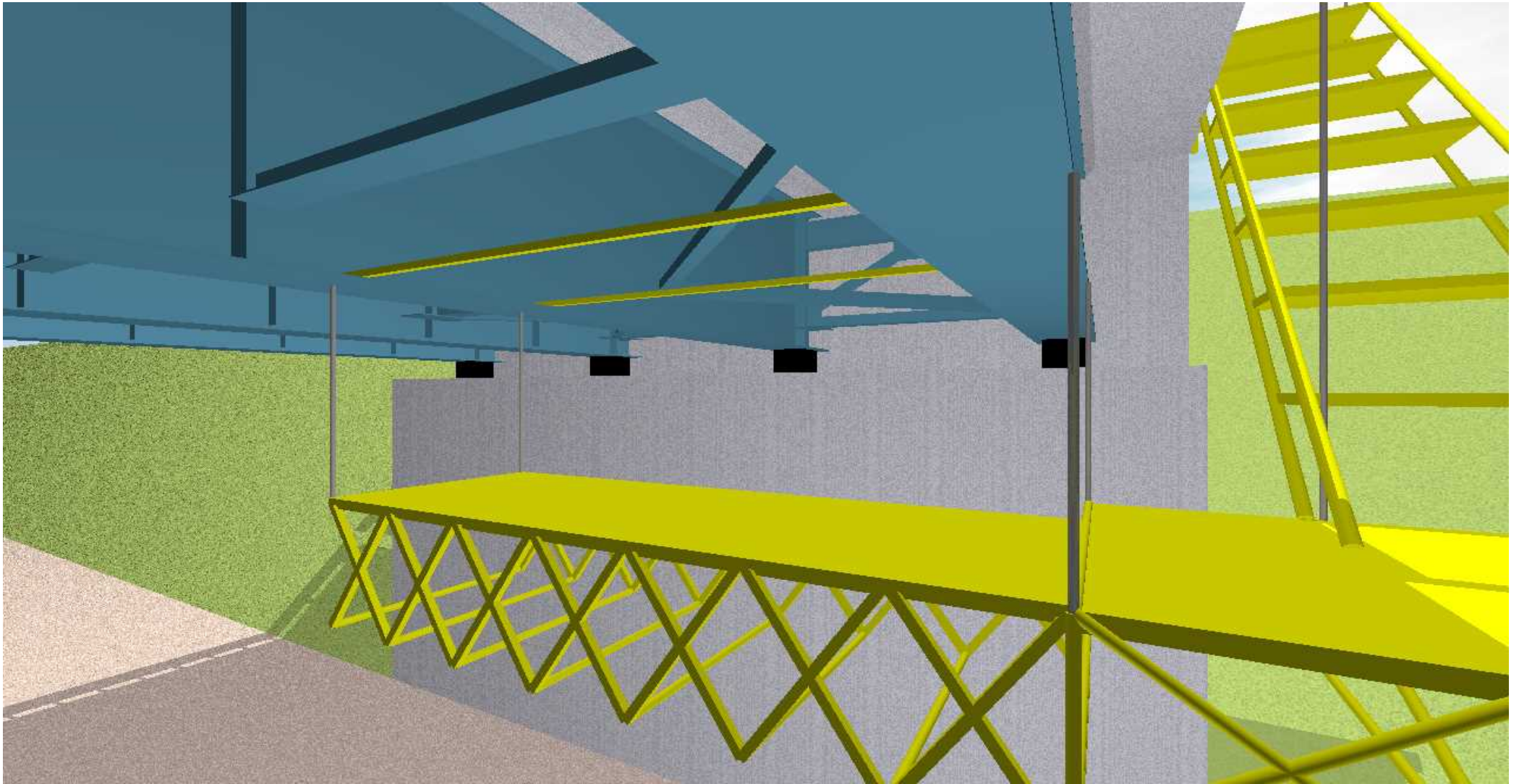


Step 3 : 主構ユニット展開



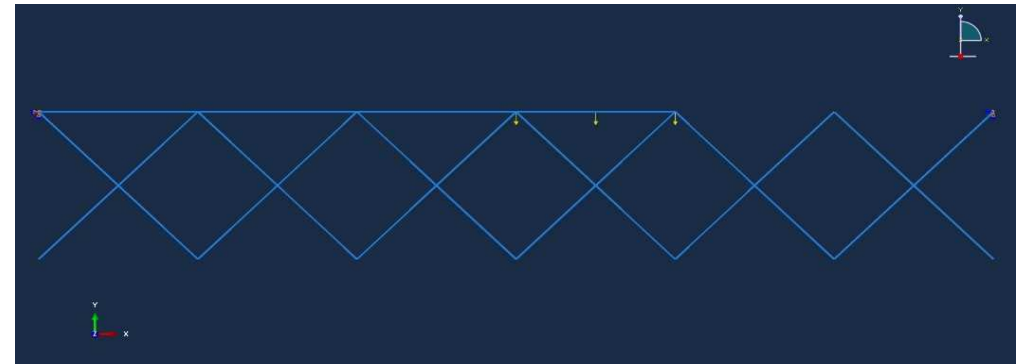
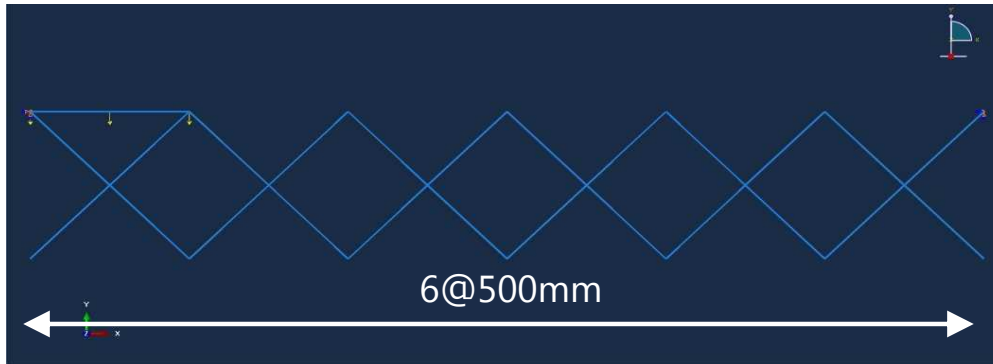
Step 4 : 上弦材・足場パネル設置

伸縮展開式足場の設置イメージ

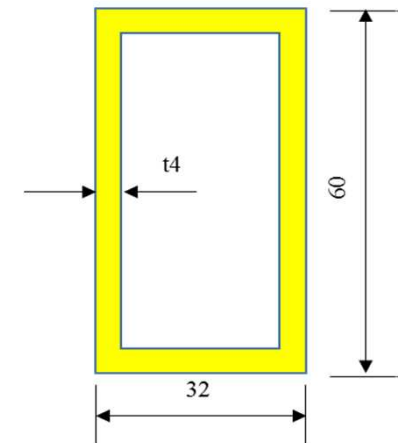


伸縮展開式足場の構造実現性

- ・ 足場板設置時の応力・たわみを検討（部材を逐次追加したステップ解析）



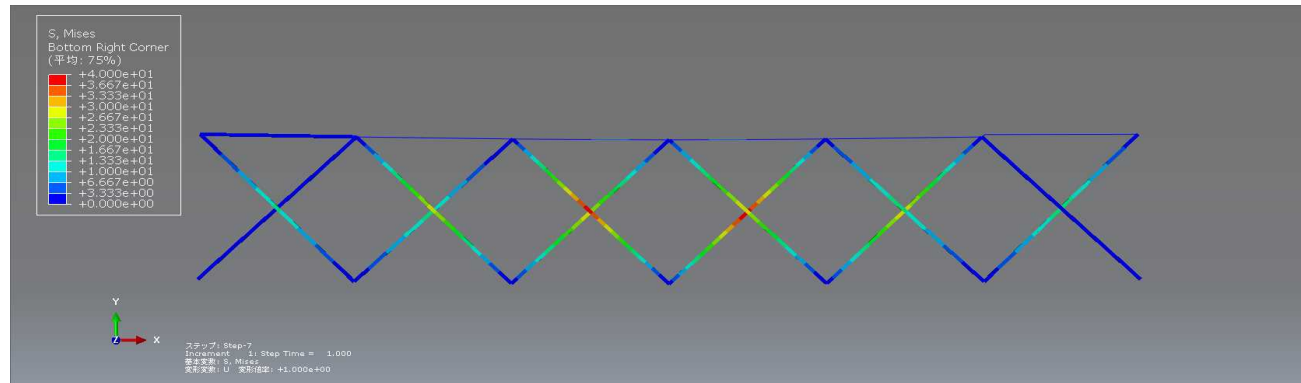
- ・ 自重（足場パネルは10kg/1枚と仮定）＋活荷重（作業員等）
- ・ 活荷重※は，作業員（700N）＋工具類（175N）＋衝撃（20%）
※日本橋梁建設協会：足場工・防護工の施工計画の手引き（鋼橋架設工事用）を参照
- ・ 1主構あたり重量は，15.7kg.



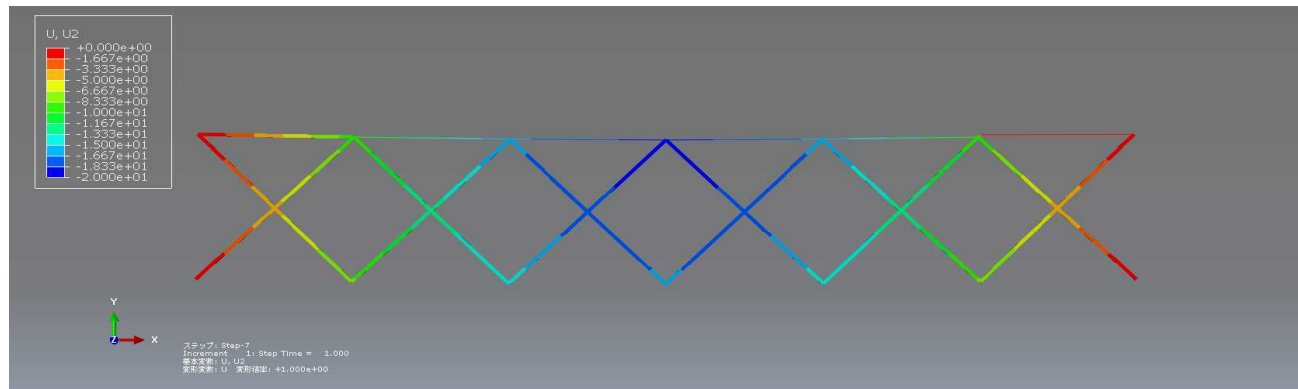
部材断面形状

※部材断面形状は，市場に流通している引抜き成型材より選定

伸縮展開式足場の構造実現性 (つづき)



最大応力発生時のvon Mises応力分布

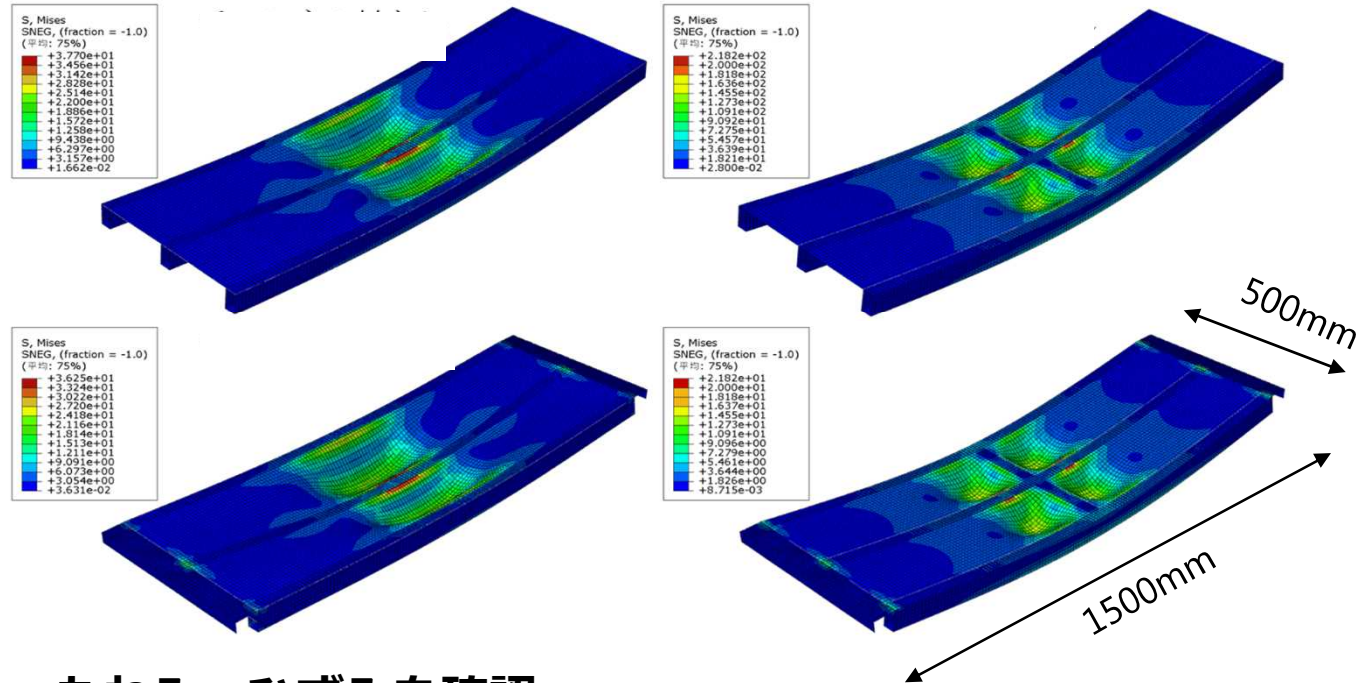


最大応力発生時の垂直変位分布

- 最大発生応力は 39 MPa程度 (**破断応力235MPaの1/6程度**)
- 最大たわみは 19.1 mm (**許容たわみ (L/100) の64%程度**)
L: 対象橋梁の主桁間隔 (3m)
- 1主構あたり**重量は 15.7 kg**

足場パネルの試設計・載荷実験

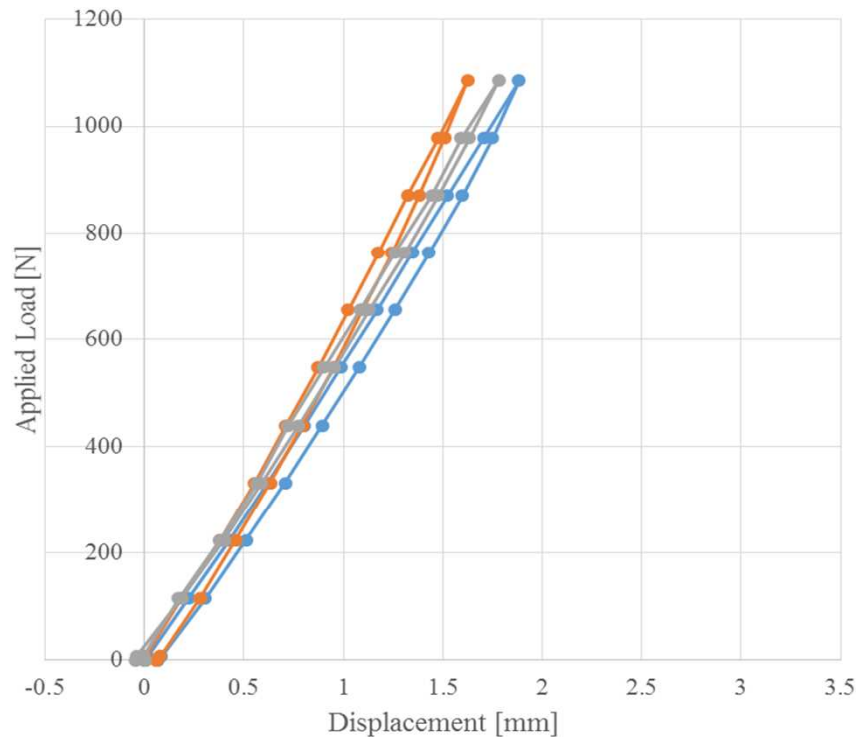
・ FEM解析により補剛材配置・部材寸法を検討



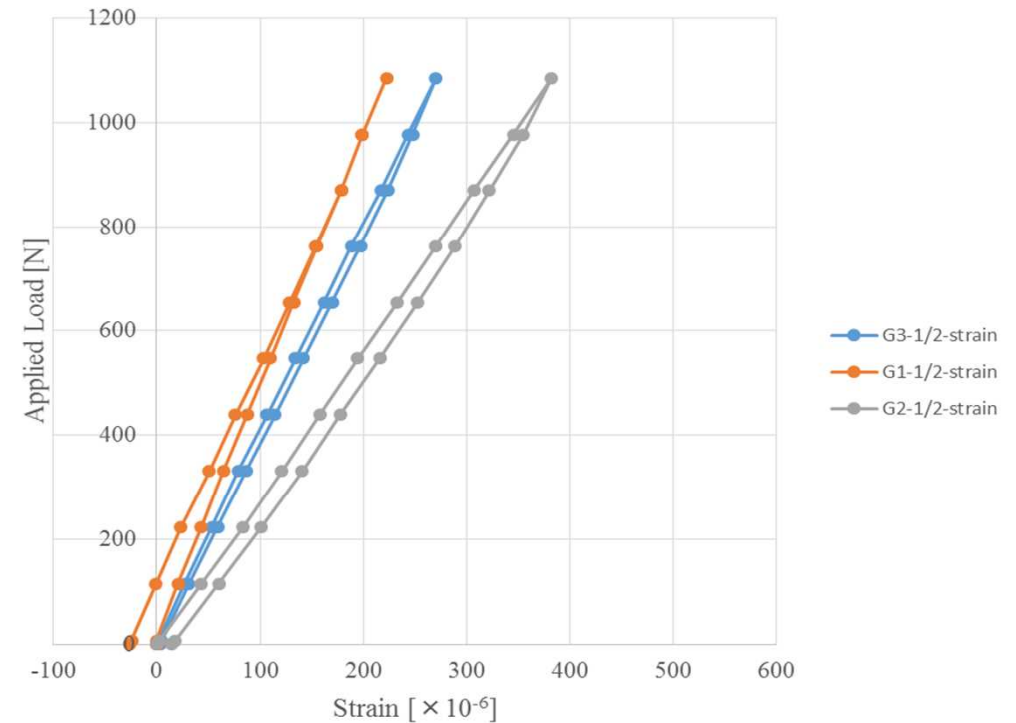
・ 載荷実験により，たわみ・ひずみを確認



足場パネルの載荷実験の例



荷重－たわみ関係



荷重－ひずみ関係

- ・ 最大ひずみは, 400×10^{-6} 程度 (破断ひずみ 15000×10^{-6} の4%程度)
- ・ 最大たわみは, 2mm (許容たわみ ($L/100$) の13%程度)
L : 主構間隔 (1.5m)
- ・ 1 パネルあたり重量は, 10kg未滿.

平成27年度までの成果

・FRP製簡易展開式検査用足場の架設展開方法の検討および試設計

- 当初提案した移動式足場の場合，部材断面を 605mm^2 以上とすることで作用応力度および発生たわみを許容値以下に抑えられることを確認した．一方で，総重量が $327\sim 382\text{kg}$ 程度となり，人力での移動が困難であることがわかった．
- 昨年度新たに提案した伸縮提案式足場の場合， $32\text{mm}\times 60\text{mm}\times 4\text{mm}$ 程度の角パイプを使用することで作用応力・発生たわみともに許容値より十分に小さくなることを確認した．また，1主構当りの重量は 15.7kg 程度であり，作業員1人でも運搬・設置が可能であることを確認した．

・FRP製足場パネルの試設計および載荷実験

- FEM解析により足場パネルの部材寸法，補剛材配置を検討した．
- 試作した足場パネルを用いた載荷実験では，作業員1人と工具類の重量を想定した $1,100\text{kN}$ 載荷時のたわみは 3mm 程度であることを確認した．また，最大ひずみは破断ひずみ（ $15,000\mu$ ）の4%程度であり，強度面・使用性の観点から特に問題ないことを確認した．

平成28年度（最終年度）の検討内容

・FRP製足場パネルの載荷実験

- ・ 試作した足場パネルを用いた載荷実験（破壊実験）を通して耐荷力・破壊形態を確認し，安全性について更に詳細に検討する。

・FRP製簡易展開式検査用足場の試作および架設展開実験

- ・ 昨年度新たに提案した伸縮提案式足場（主構）を試作し，実験室内での展開実験を実施し，展開・架設方法についての課題の洗い出しを行う。
- ・ 伸縮提案式足場（主構）を対象とした載荷実験を実施し，必要に応じて部材寸法・構造詳細の見直しを行う。

・フィールド実験

- ・ 室内実験で安全性を確認した上で，実環境下における架設展開実験を実施し，実用化に向けた検証実験を実施する。

・関連法令等の調査

- ・ 現場導入に向けて，関連法令の再確認および認証制度（一般社団法人 架設工業会による認証？）への申請方法・申請体制を更に調査する。

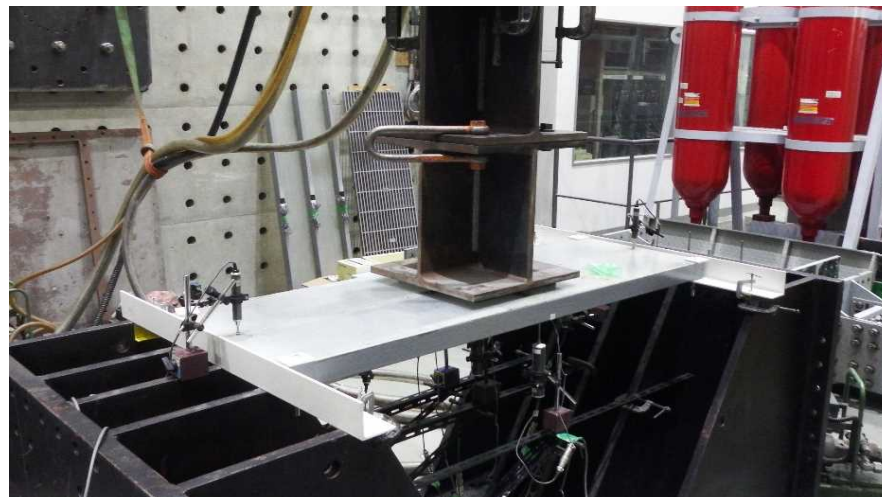
FRP製足場パネルの載荷実験

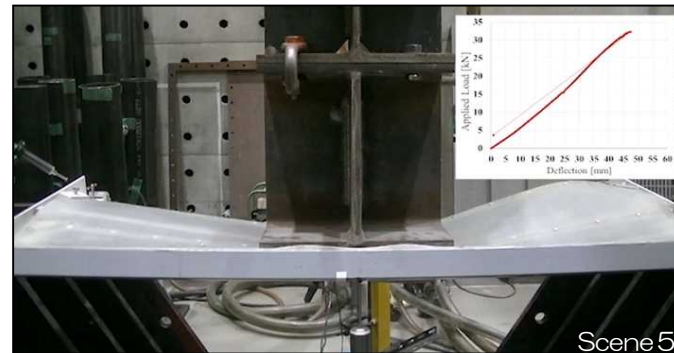
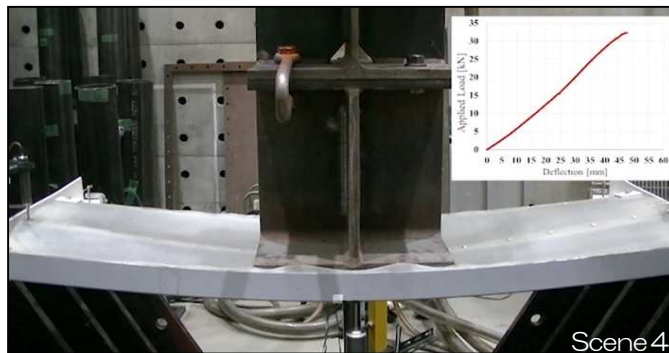
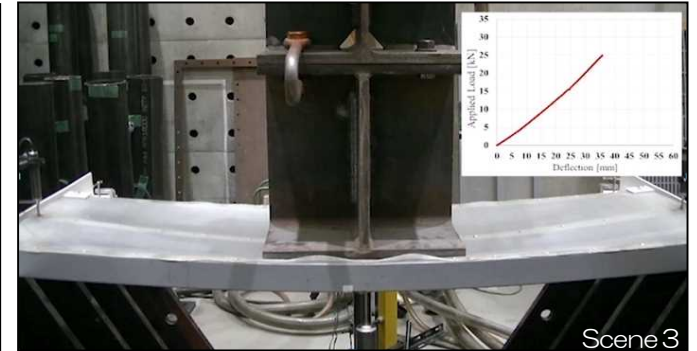
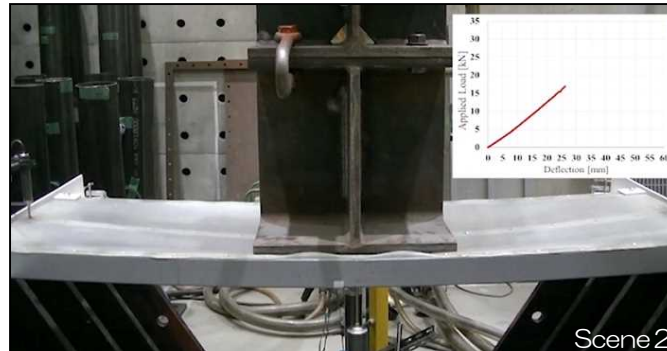
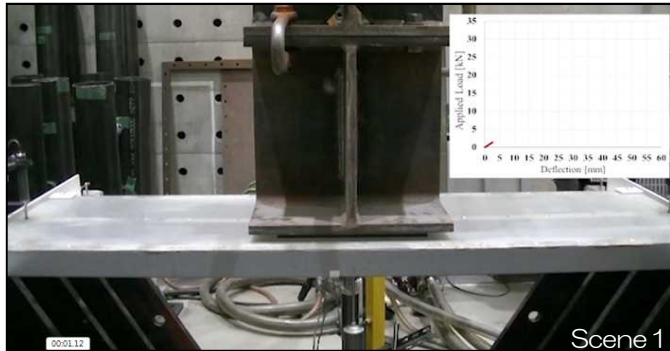


- 400kNアクチュエータを用いた載荷実験を実施.

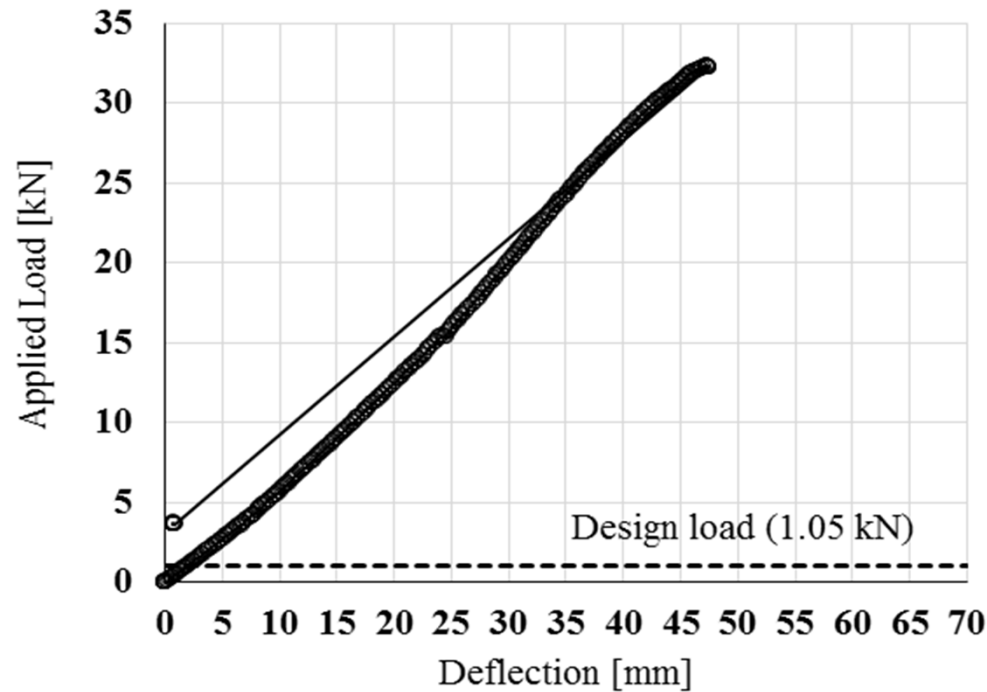
目的

- 終局状態に対する安全性の検討.
- 破壊性状の確認.

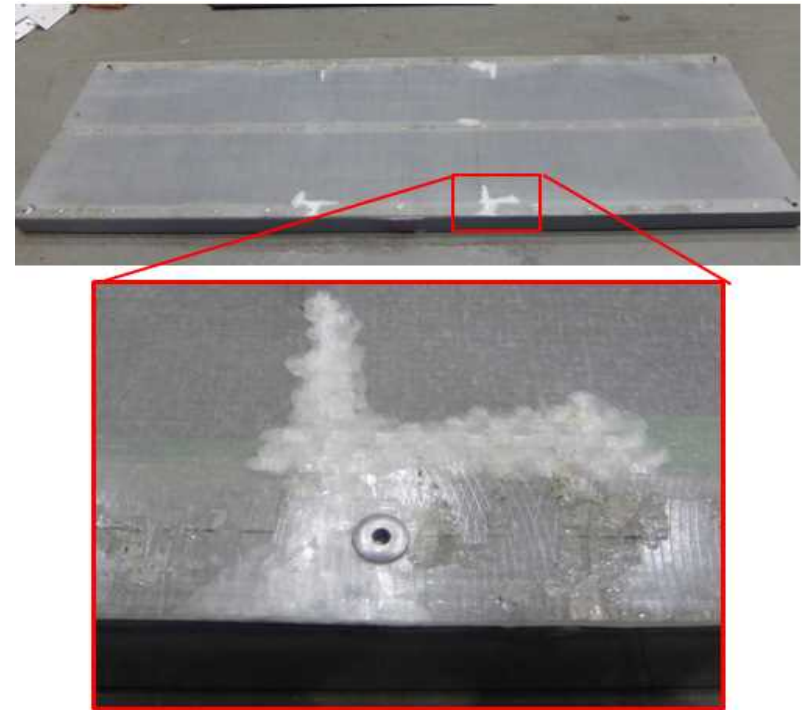




FRP製足場パネルの載荷実験（実験結果）



荷重－たわみ関係



実験終了後の破壊状況

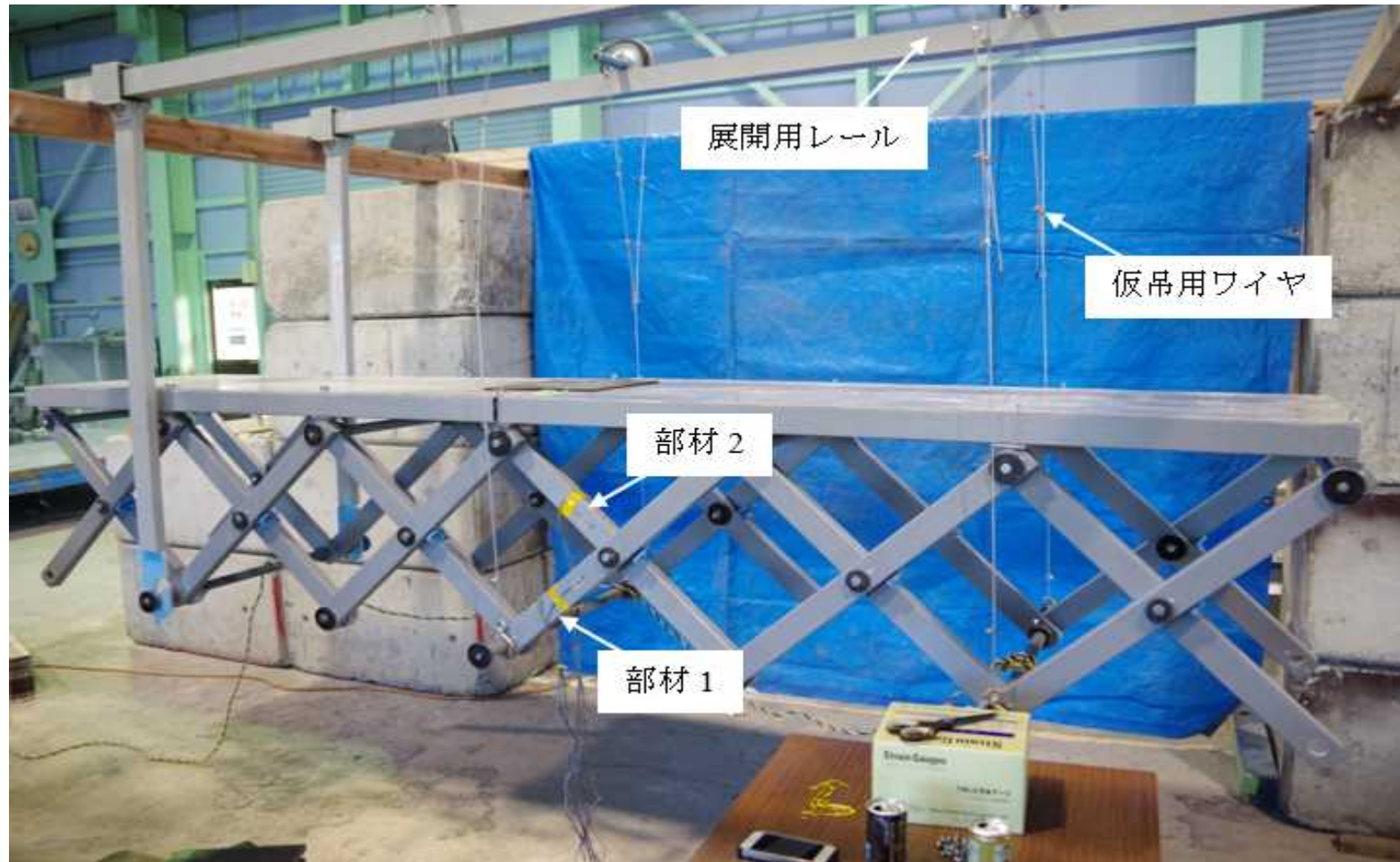
- 設計荷重（作業員700N＋工具175N＋衝撃20%を想定）に対して約30倍の終局荷重.
- 補剛材とFRP板（板厚2mm）との接合部（リベット破断）より破壊.
- FRP板（板厚2mm）に割れ等の損傷は無し.

主構ユニットの試作



- (第1号) 試作品の重量は約60kg. (cf. 試設計時の重量 : 30.4kg)
※重量増の原因 : 全格点間に横つなぎ材を配置したこと
格点部を充実断面としたこと
ストッパー等の付属物を設置したこと
- 部材断面の最適化, 横つなぎ材配置の見直しにより軽量化は可能

主構ユニットの安全性の検討

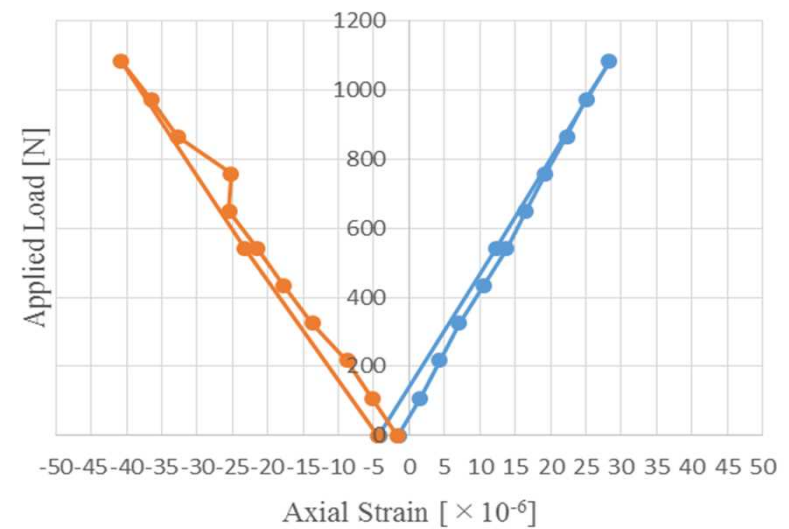


- 架設展開時の安全性の確認を目的として、設計荷重（1,050 N）載荷時の部材軸ひずみ・曲げひずみを計測

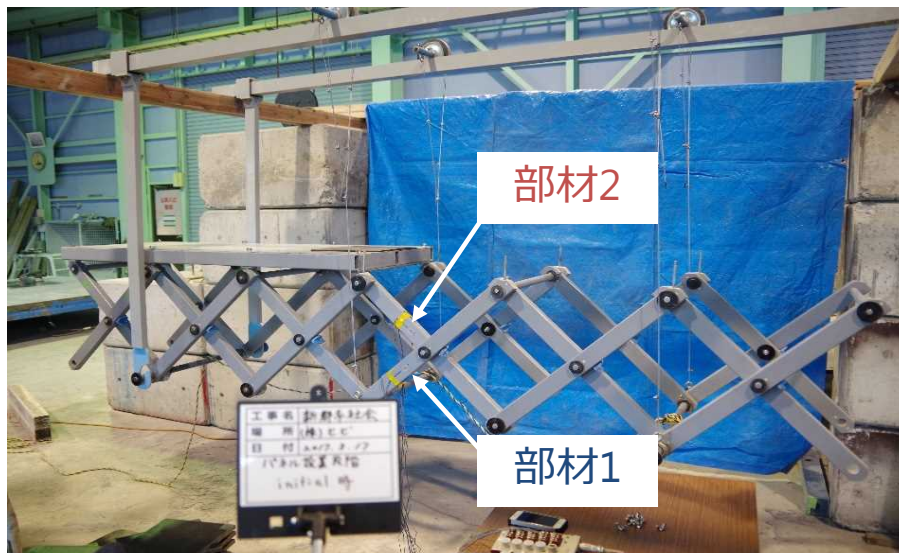
主構ユニットの安全性の検討結果（荷重－軸ひずみ関係）



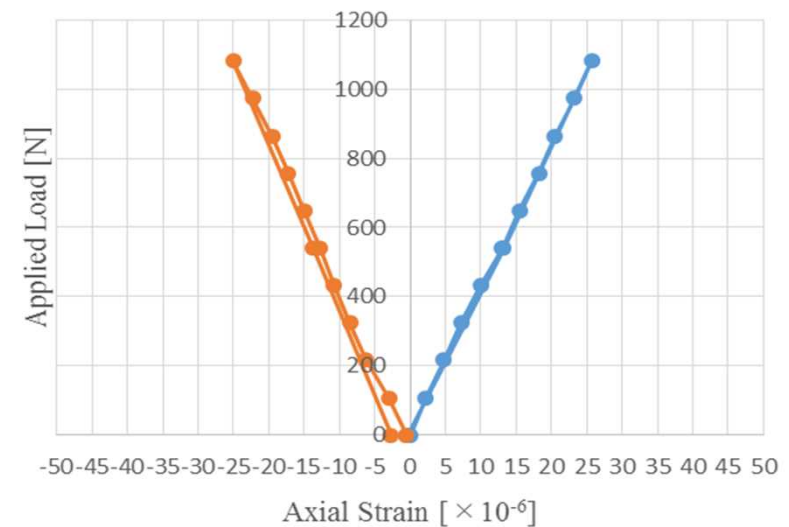
(a) 架設完了時を想定した载荷状態



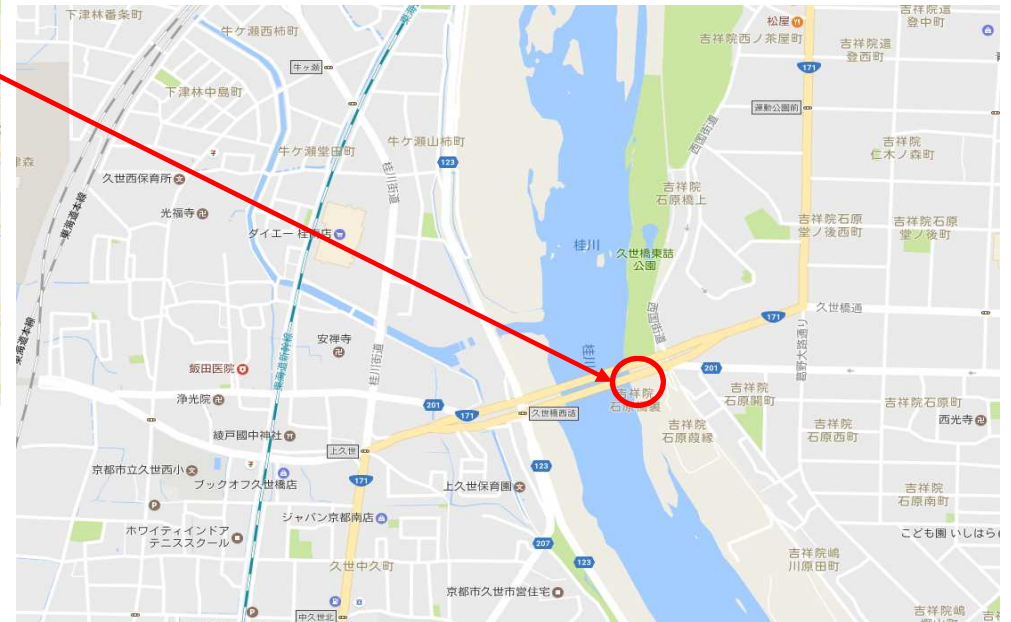
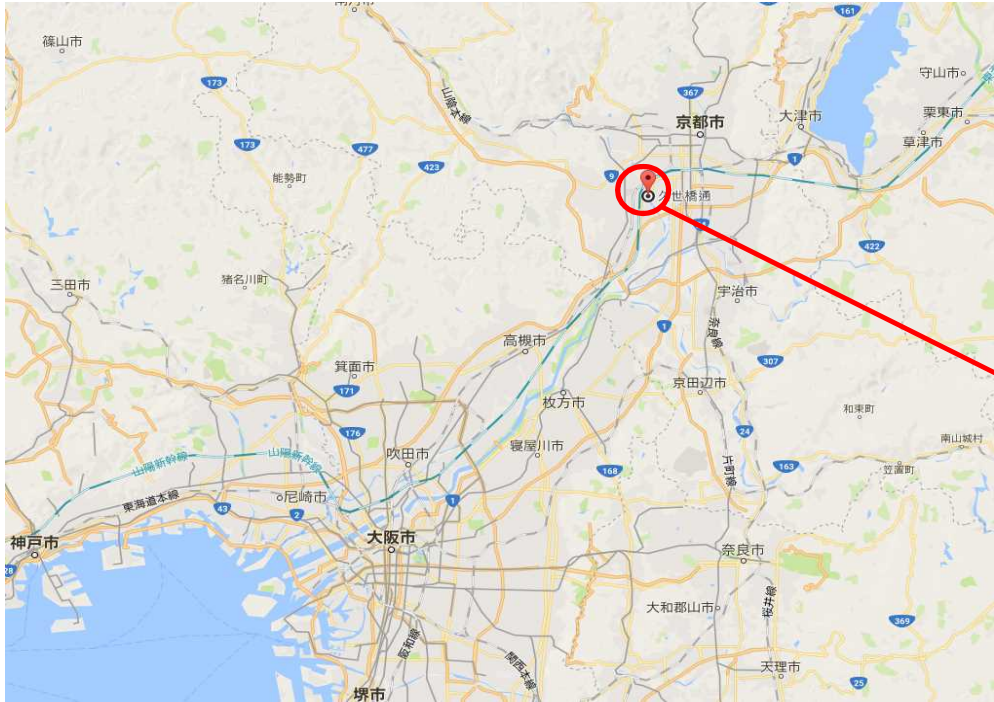
※破断ひずみ：7600 $\mu\epsilon$



(b) 架設途中を想定した载荷状態



架設展開実験（フィールド実験）



実施場所：国道171号線新久世橋（下り線）

架設手順 (0.準備工)



- 作業ステージ上（今回は，作業ステージに見立てたトラック荷台上）必要部材を搬入

課題：桁下空間への昇降階段および作業ステージについては，今後検討が必要

架設手順（1.架設展開用レール設置）



- 作業ステージ上から主桁下フランジ上に架設展開用レールを設置

課題：レールの軽量化（断面形状の最適化）

種々の主桁間隔に対応できるように、レールの長さ調整機構の検討が必要

架設手順 (2.吊り材設置)



- 架設展開用レールに展開用滑車・吊り材を設置

架設手順 (3.主構ユニット吊り下げ)



- 吊り材に主構ユニットを設置

課題：格点部（中実断面）、横つなぎ材による重量増 → 作業補助者が必要となった。
更なる軽量化、格点構造の再検討を継続中。

架設手順（4.主構ユニットの展開）



- 作業者がほとんど力を加えることなく、半自動的に展開可能であった。

架設手順（5.足場パネルの設置）



- 始点側から足場パネルを順次設置.

課題：後半パネルを設置する際、主構ユニットのたわみにより
締結ボルトの孔合わせが困難となった。

架設手順（6.設置完了）



課題：橋梁点検に必要な高さ確保（主桁－足場パネル間高さ）については、今後調査が必要

まとめ

足場パネルについて

- 試作した足場パネルを用いた載荷実験（破壊実験）の結果、**設計荷重の30倍程度の耐荷力**を有しており、十分に安全であることを確認した。

主構ユニットの試作および架設展開実験について

- 概略設計時には対象としていなかった部材（格点部，横つなぎ材，および展開用レール）による重量増が大きく，これらの部材について今後詳細な検討が必要。
- 展開時を想定した載荷実験では，部材の発生ひずみは破断ひずみに対して十分に小さく，十分に安全であることを確認した。
- フィールド実験では，部材重量増や製作誤差に起因して，組み立てに時間を要した工程もあったが，**展開作業は容易**であった。
- 細部の構造，部材断面の最適化により，**更なる構造の合理化・軽量化は可能であり，実用化の可能性は大きい**と考えられる。