

UFC道路橋床版研究会

技術セミナー2023

2023/1/26

UFC床版の性能

技術委員会 委員

一宮 利通（鹿島建設 担当部長）

UFC床版の性能

UFC道路橋床版の性能評価

UFC床版と鋼桁の接合部の性能

性能評価に関する最近のトピック

UFC床版の性能
UFC道路橋床版の性能評価

第0017号

技術評価証

【技術名称】

超高強度繊維補強コンクリート (UFC) 道路橋床版

【依頼者】

阪神高速道路株式会社
鹿島建設株式会社

【有効期間】

下記発行日から5年間

【技術評価】

技術評価委員会は、評価を依頼された「超高強度繊維補強コンクリート (UFC) 道路橋床版」の評価対象項目について厳正かつ慎重に審議を行い、以下のとおり評価した。

1. ワッフル型UFC床版
ワッフル型UFC床版については、解折や載荷実験、疲労試験等の検討が行われており、断面破壊および疲労破壊に対する安全性、並びに使用性に問題がないことを検討結果より確認した。

2. 平板型UFC床版
平板型UFC床版については、解折や載荷実験、疲労試験等の検討が行われており、断面破壊および疲労破壊に対する安全性、並びに使用性に問題がないことを検討結果より確認した。

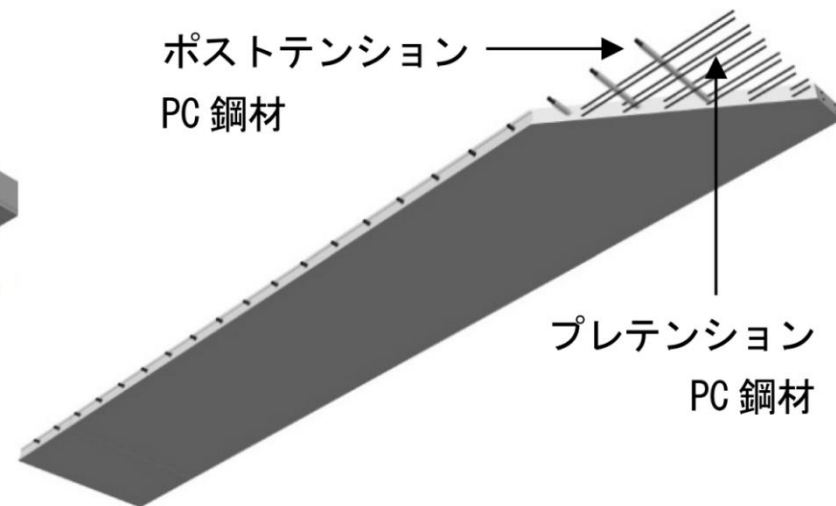
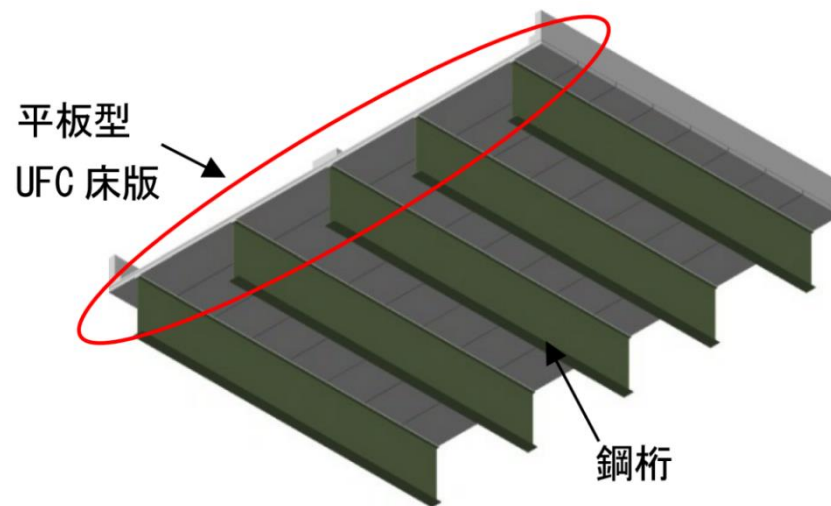
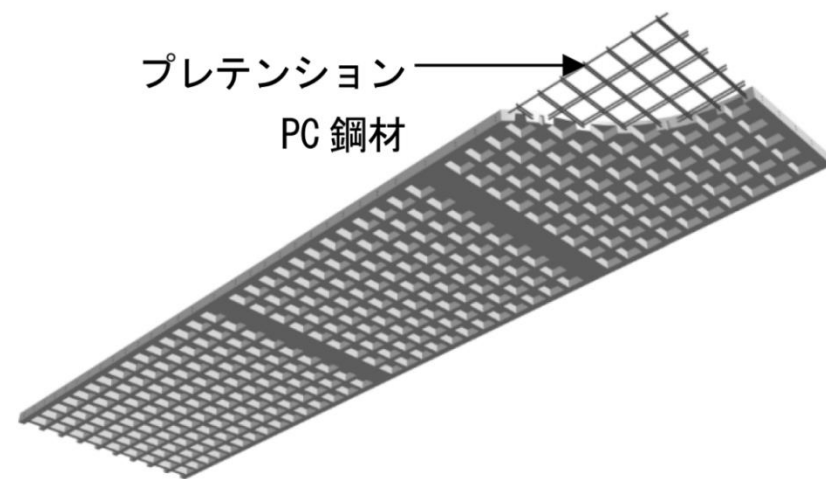
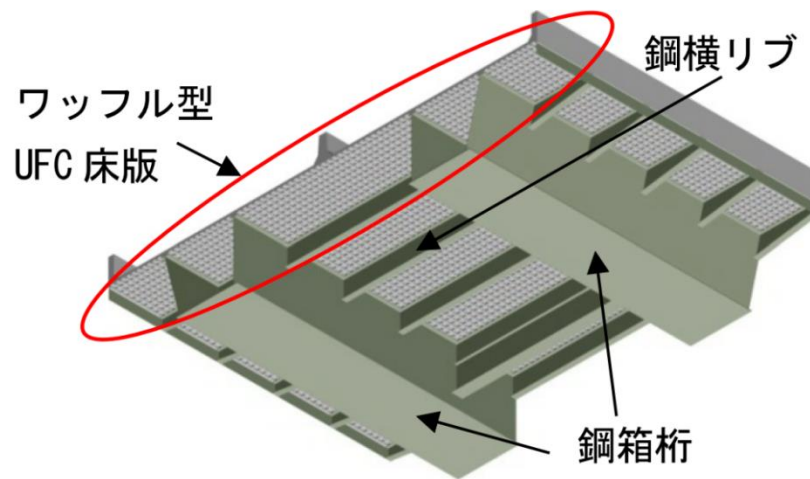
本UFC床版を適用する場合の留意事項
本評価で示した適用範囲以外の条件でUFC道路橋床版を用いる場合は、試験や解折等により、十分検討する必要がある。

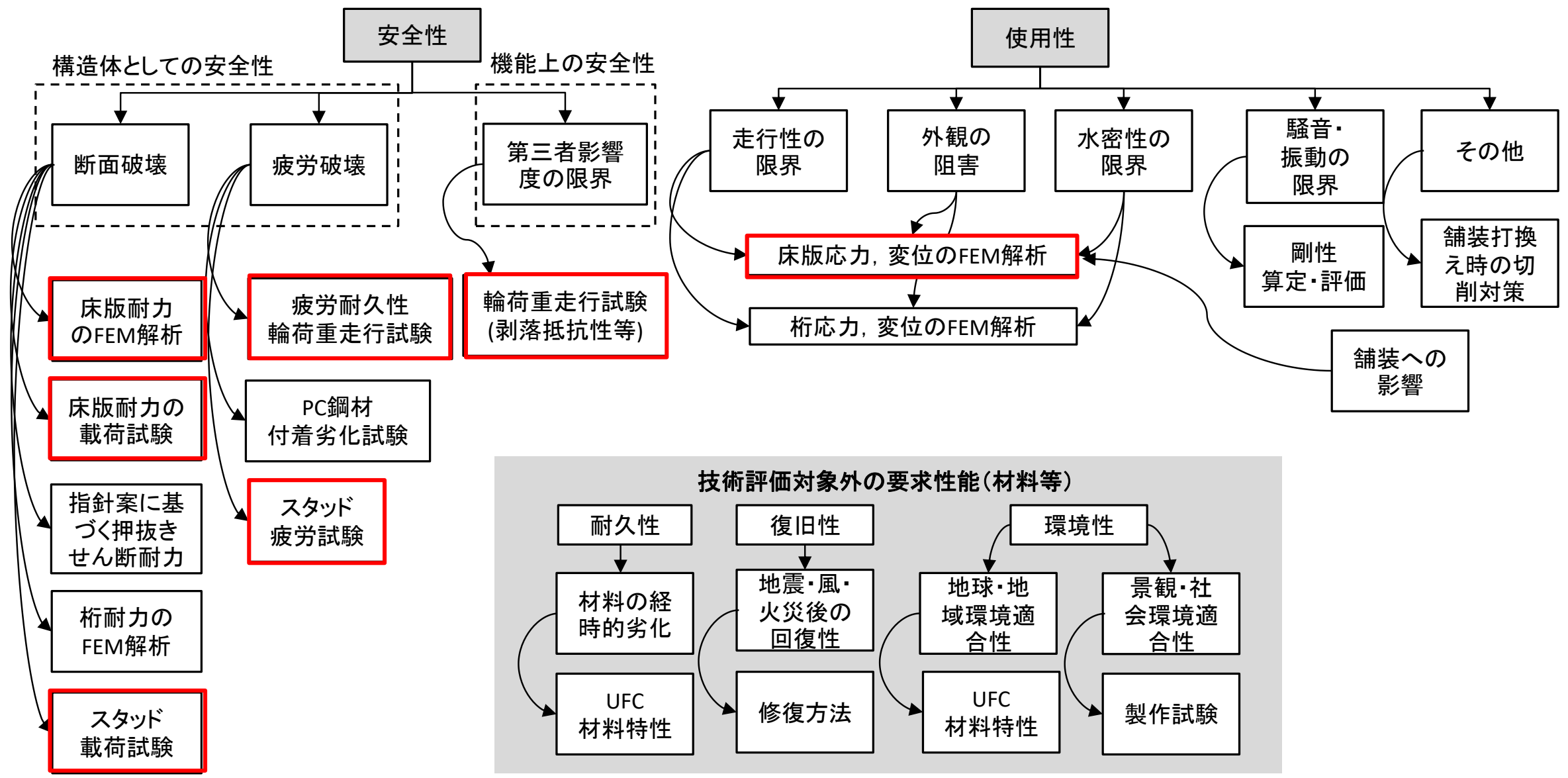
以上

平成27年7月10日



公益社団法人 **土木学会**
会長 **廣瀬 典昭**

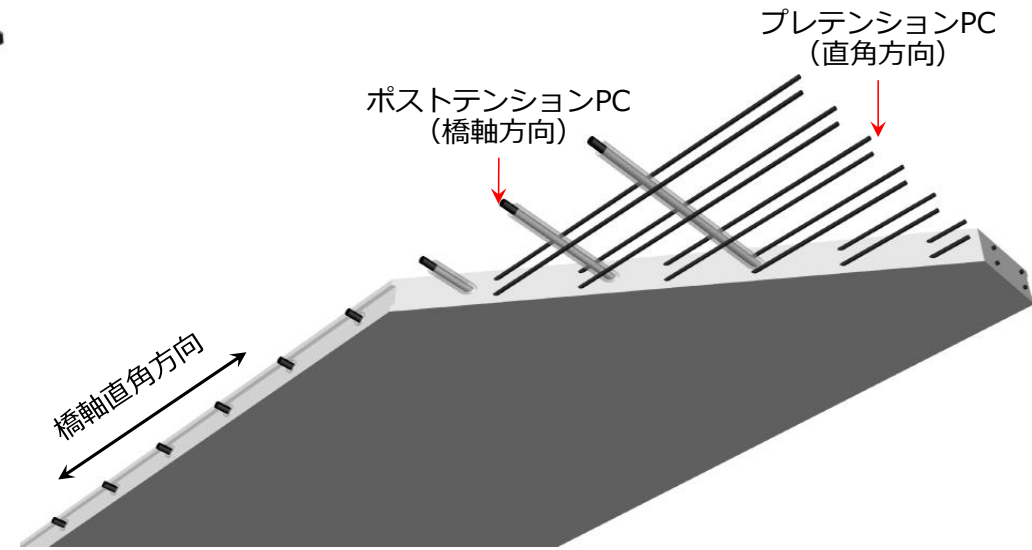
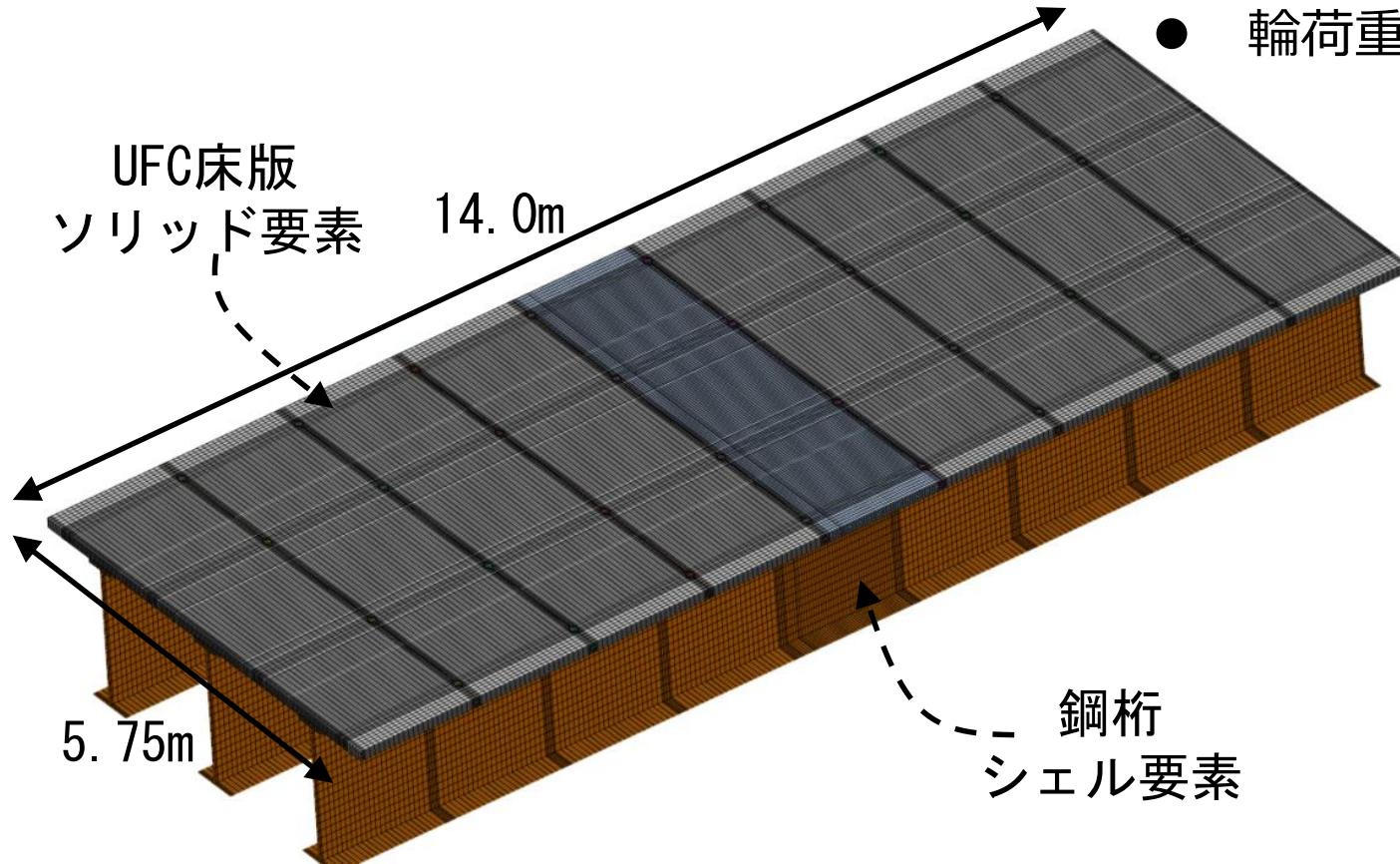


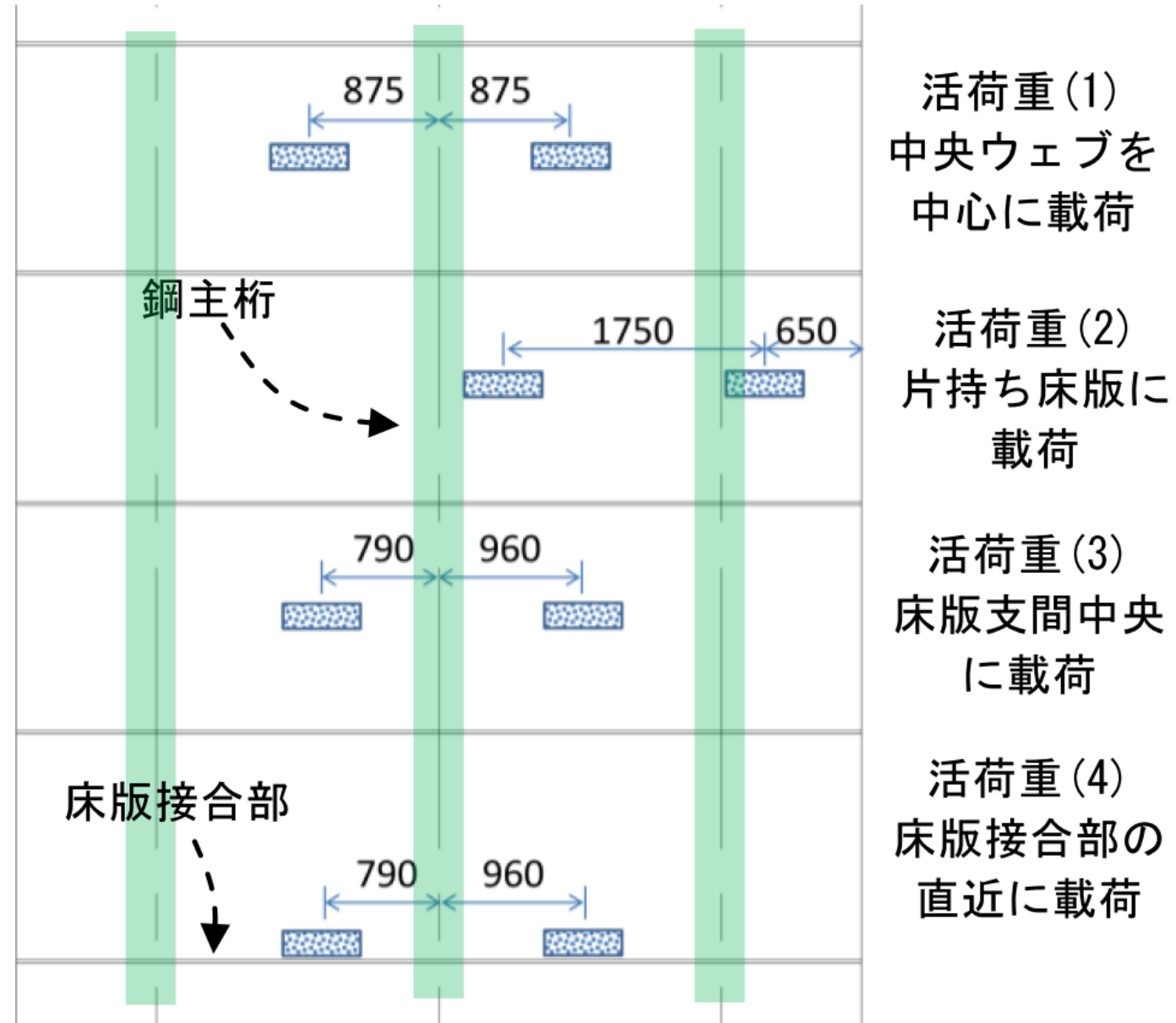


UFC床版の性能

1) 平板型UFC床版の性能

- UFC床版 : ソリッド要素 (厚さ123mm)
- 鋼桁 : シェル要素
- PC鋼材 : バー要素
- 輪荷重 : 154kN/輪



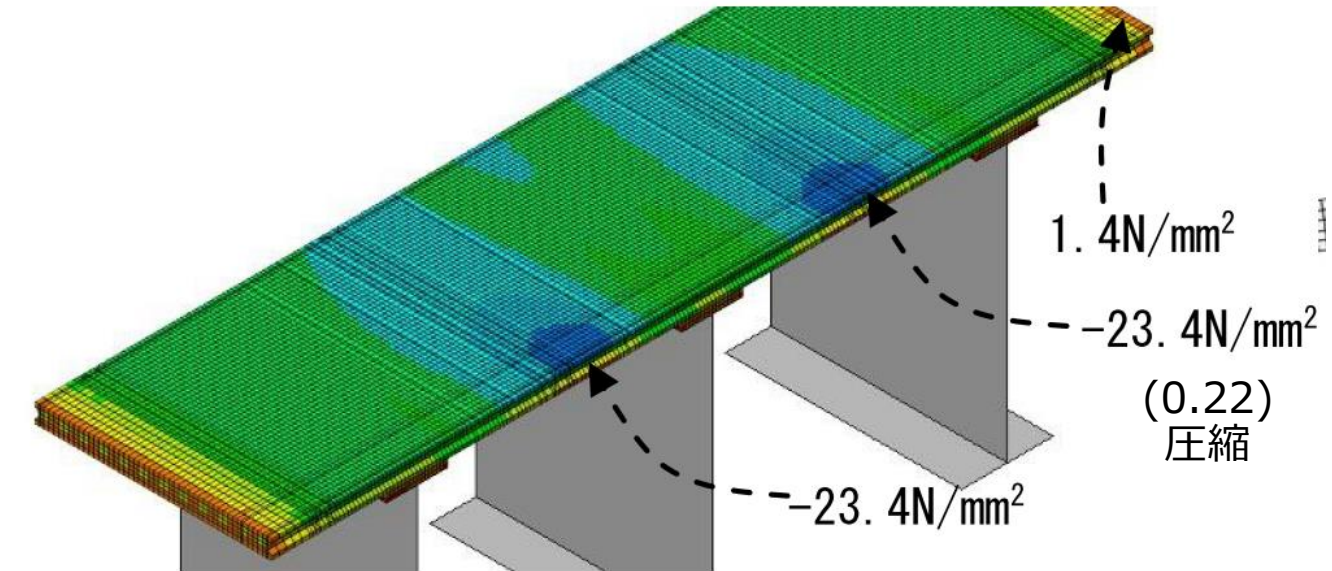


【応力度の制限値】

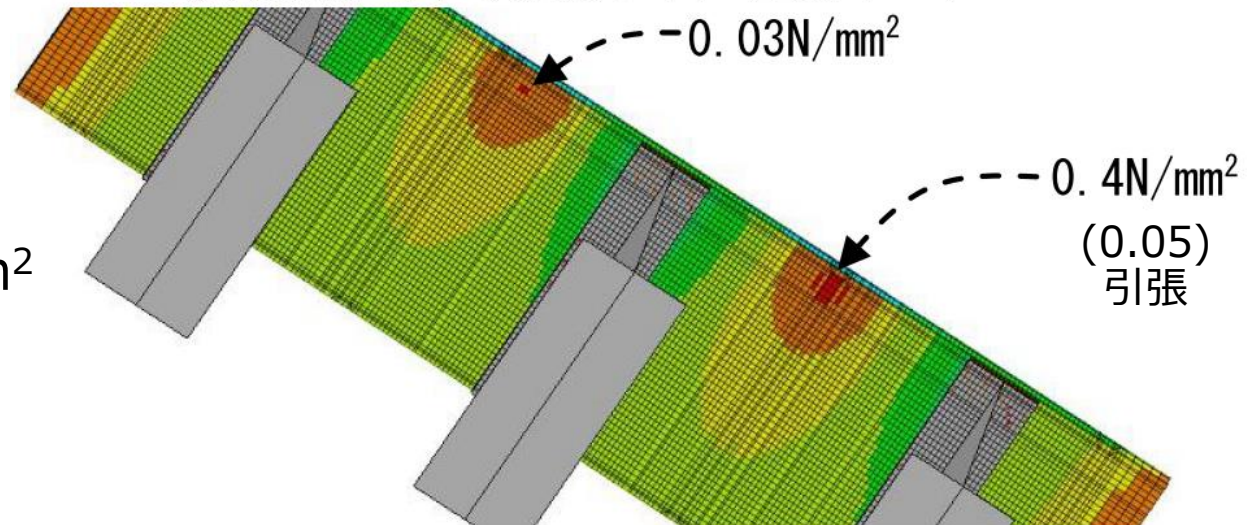
■ 引張（一般部）
ひび割れ発生限界
 8.0N/mm^2

■ 引張（間詰部）
 0.0N/mm^2

■ 圧縮
 $0.6f'_{ck} = 108\text{N/mm}^2$



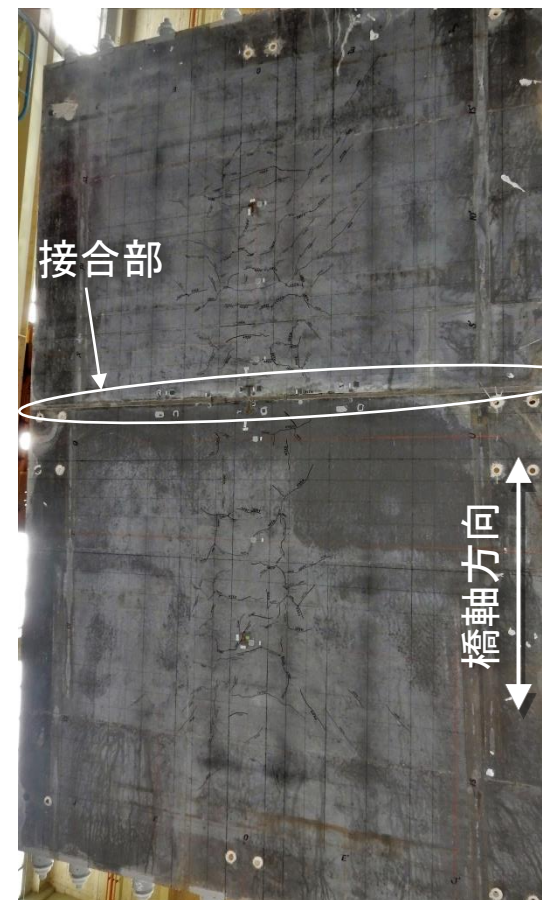
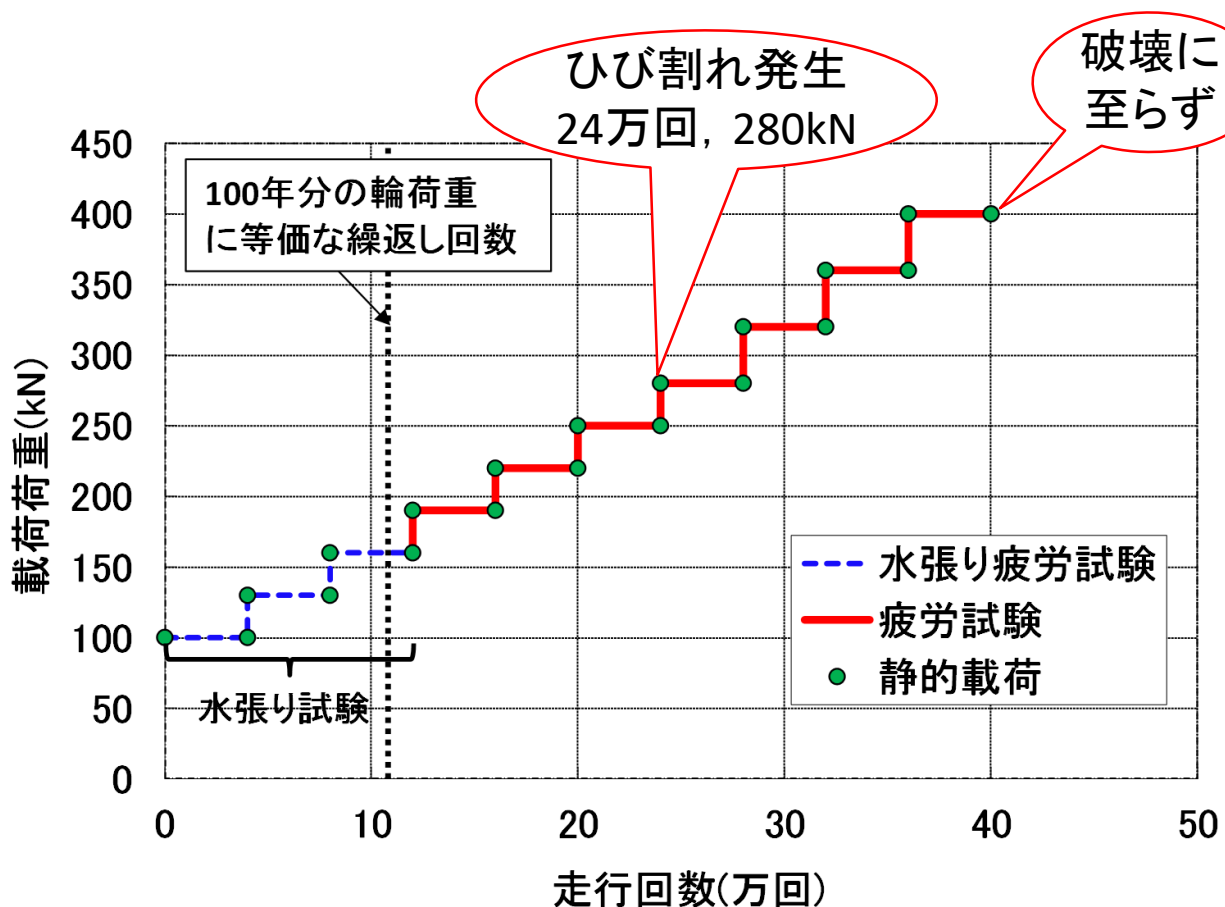
(a) 床版上面（引張：+，圧縮：-）



(b) 床版下面（引張：+，圧縮：-）

輪荷重走行試験

- 最大400kNで40万回の走行後も破壊せず。
⇒ 100年以上の疲労耐久性を確認
- 床版下面に最大0.1mmのひび割れが発生



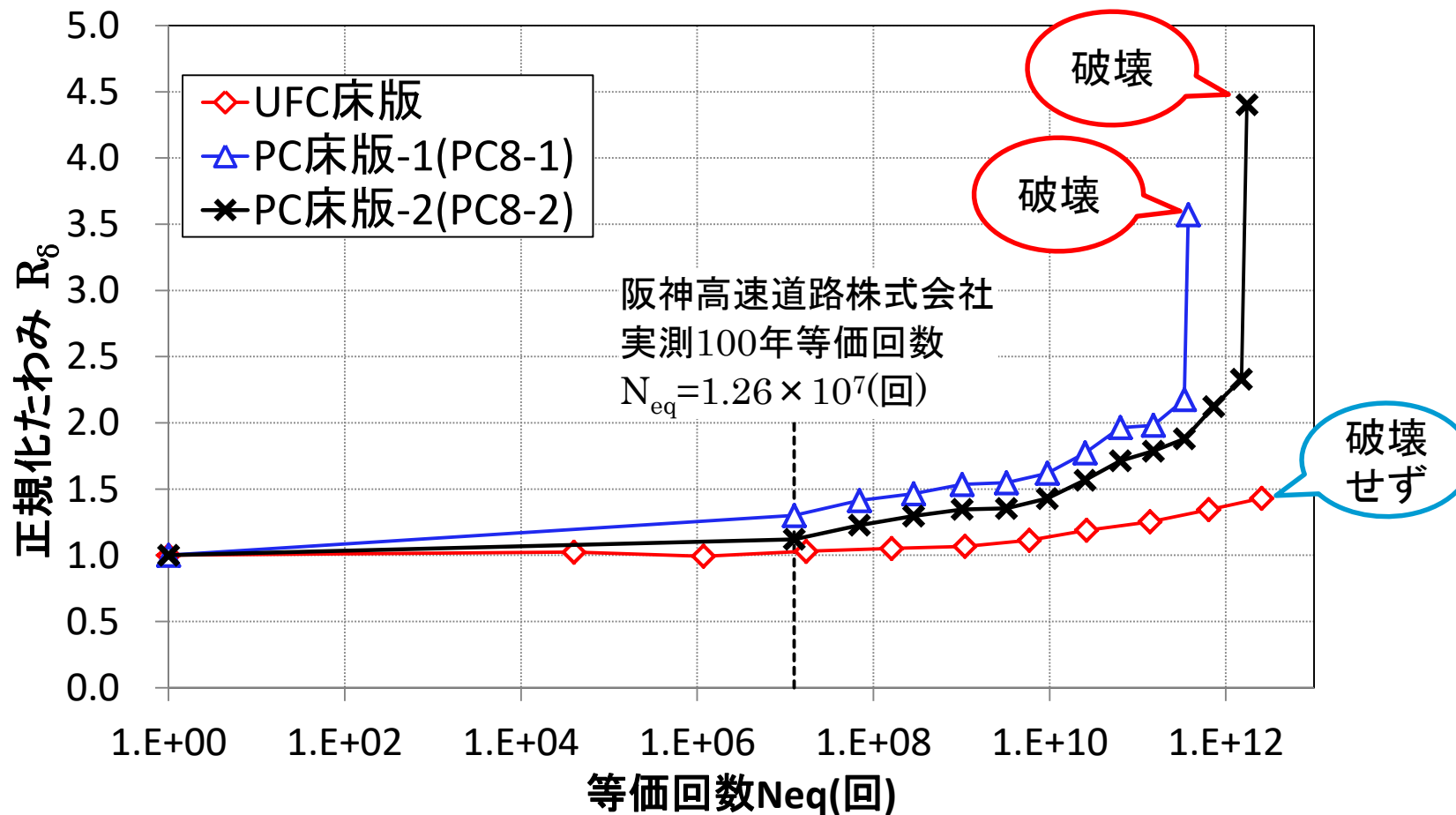
床版下面のひび割れ
(試験終了後)

輪荷重走行試験

● PC床版の試験結果※と比較

※国土技術政策総合研究所:道路橋床版の疲労耐久性に関する試験, 国総研資料, 第28号

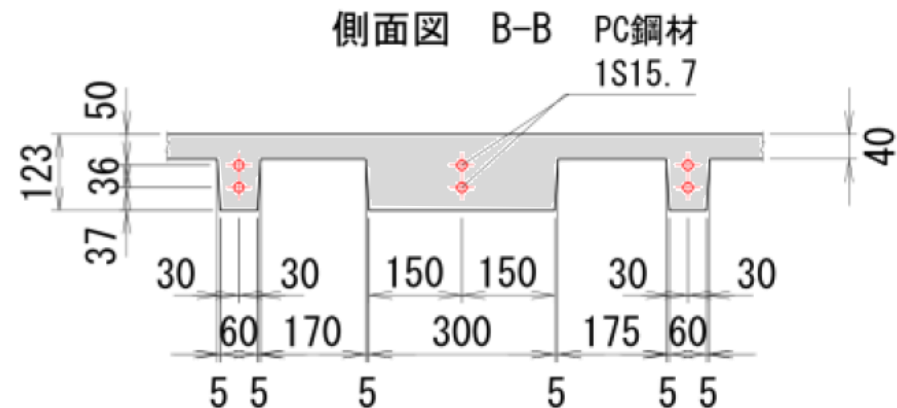
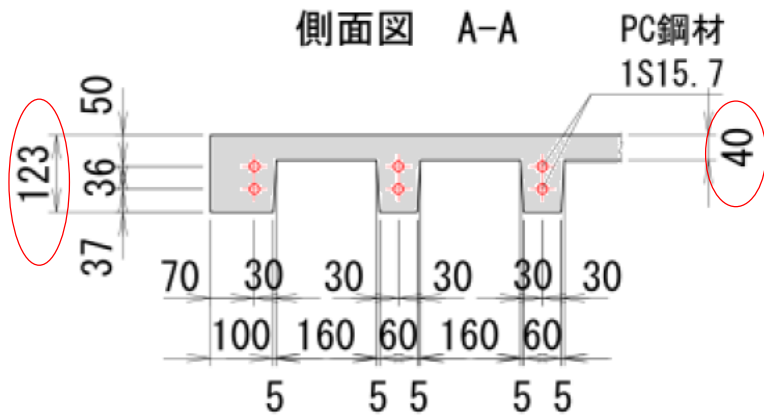
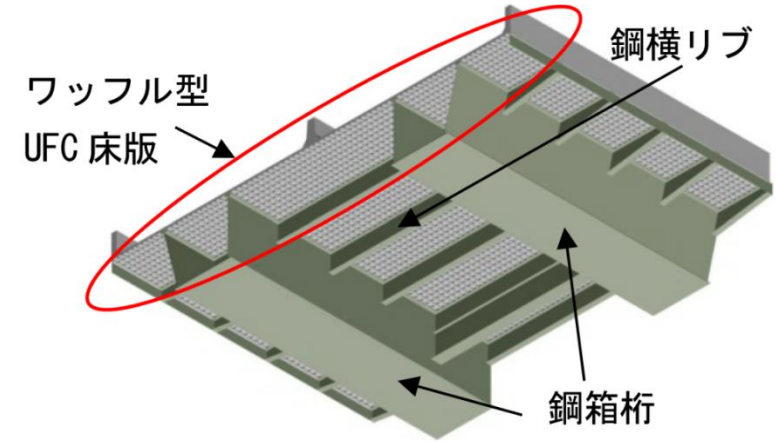
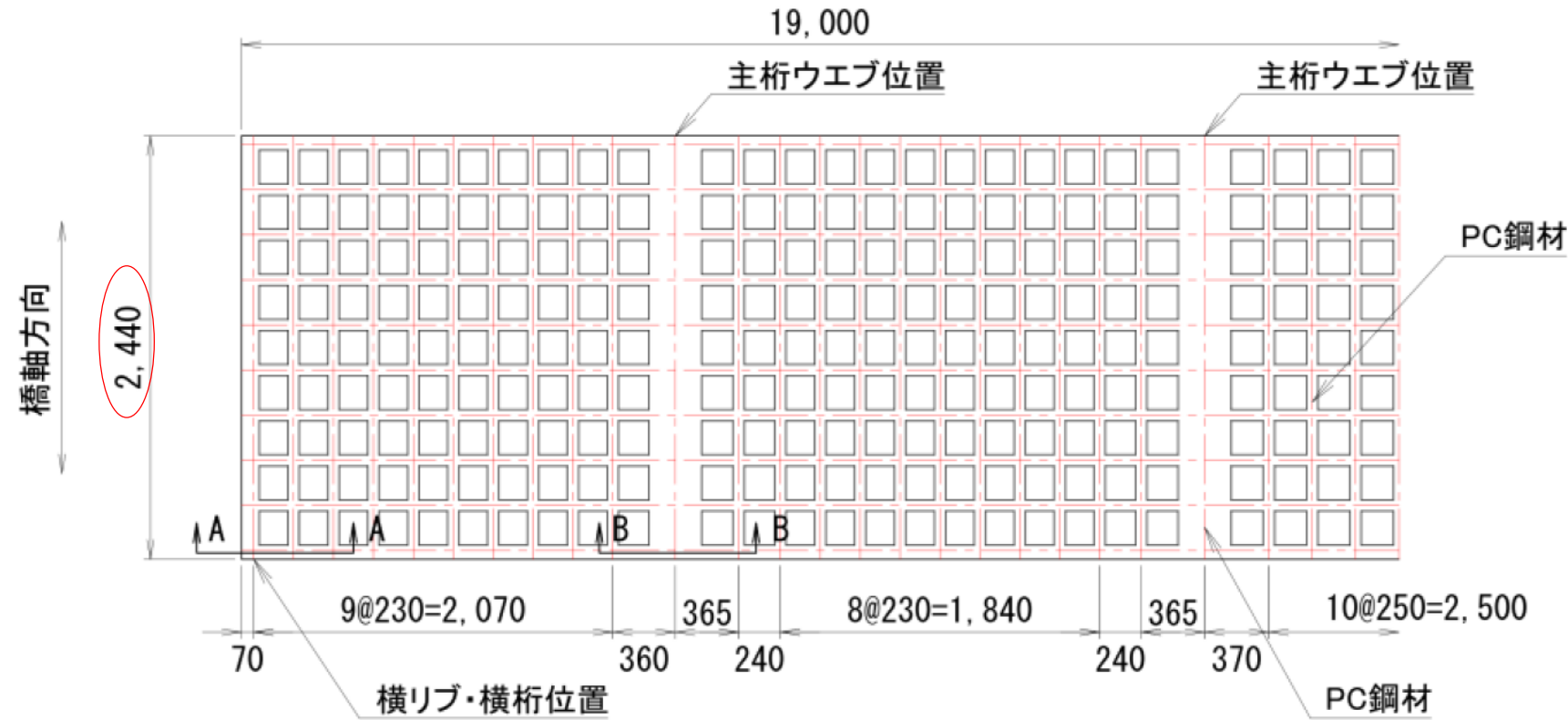
● UFC床版はPC床版よりも疲労耐久性が高い



UFC床版の性能

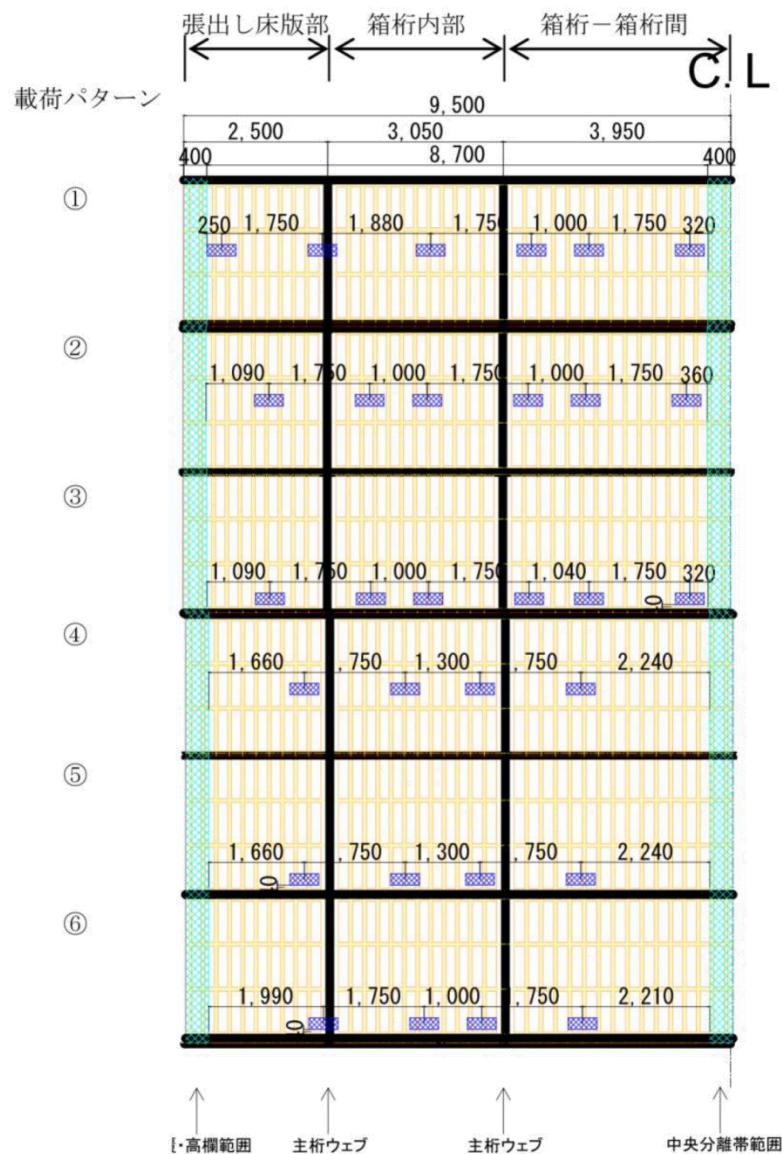
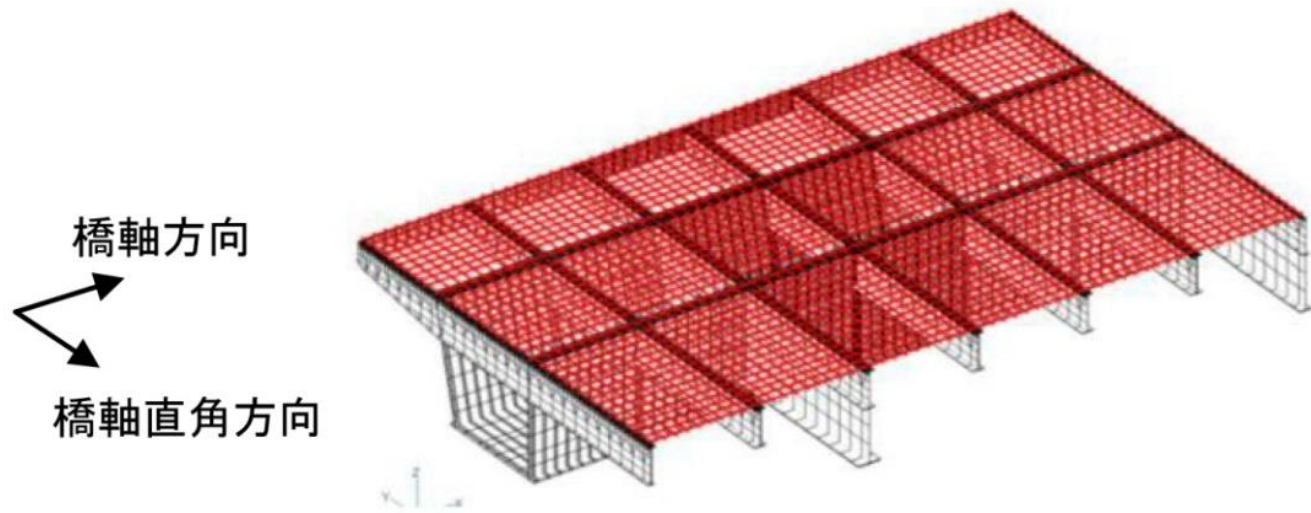
2)ワッツフル型UFC床版の性能

ワッフル型UFC床版構造図

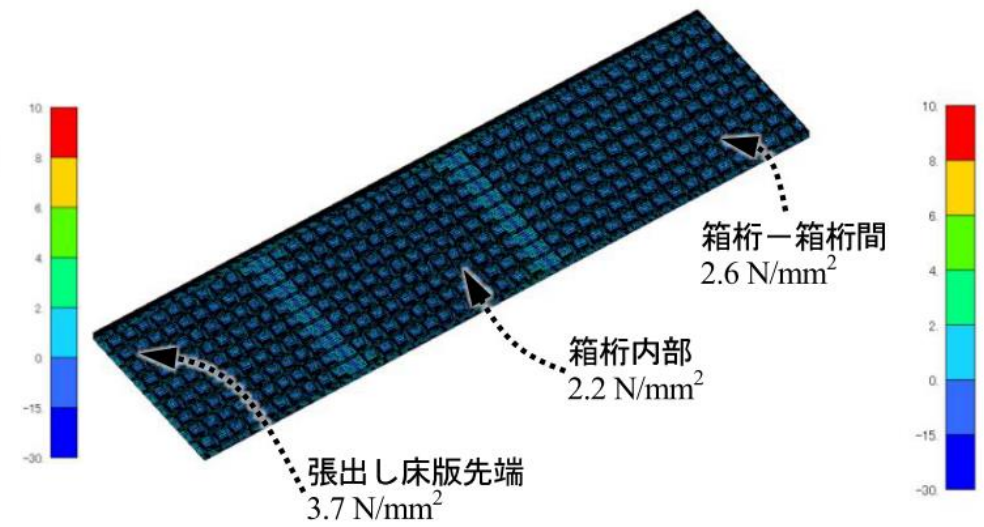
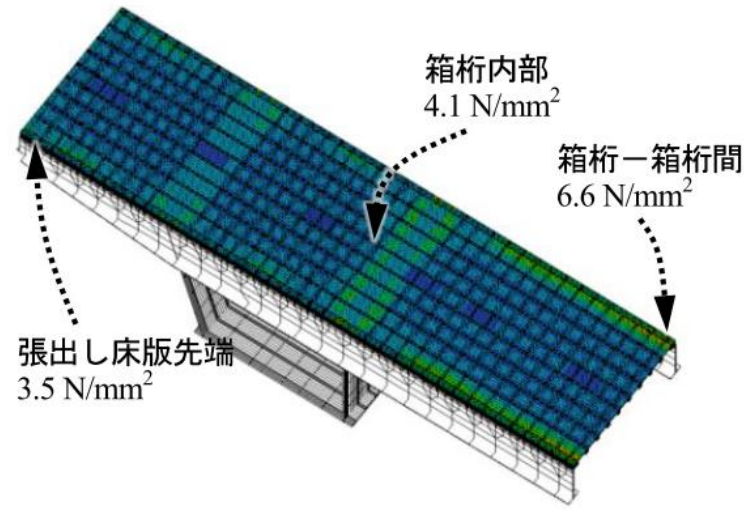


FEM解析による試設計(床版作用)

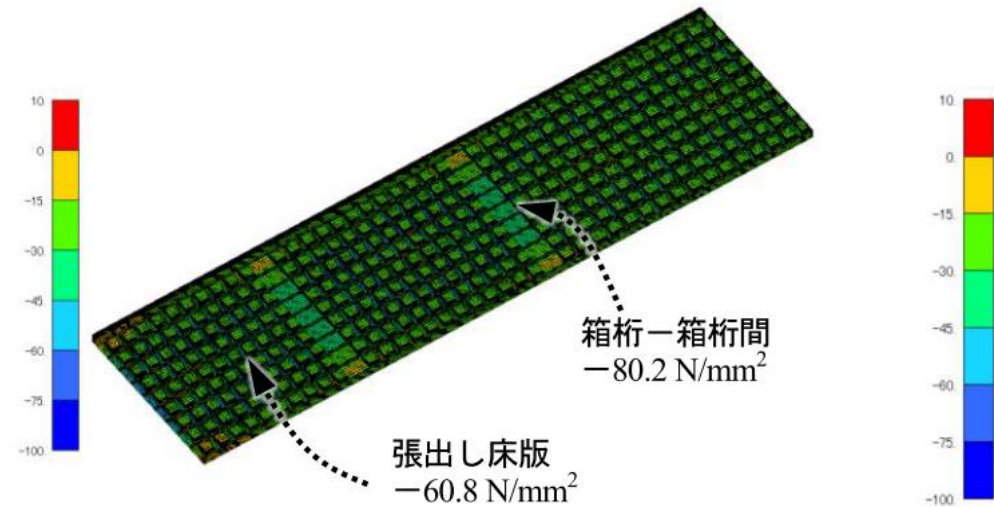
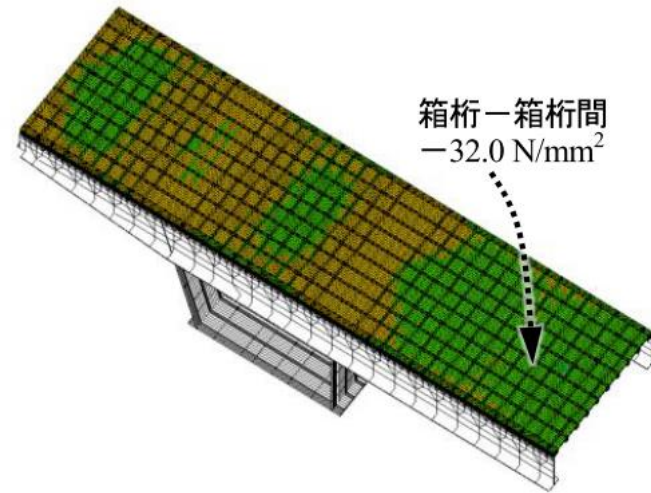
- UFC床版 : ソリッド要素 (厚さ123mm)
- 鋼桁 : シェル要素
- PC鋼材 : バー要素
- 輪荷重 : 154kN/輪

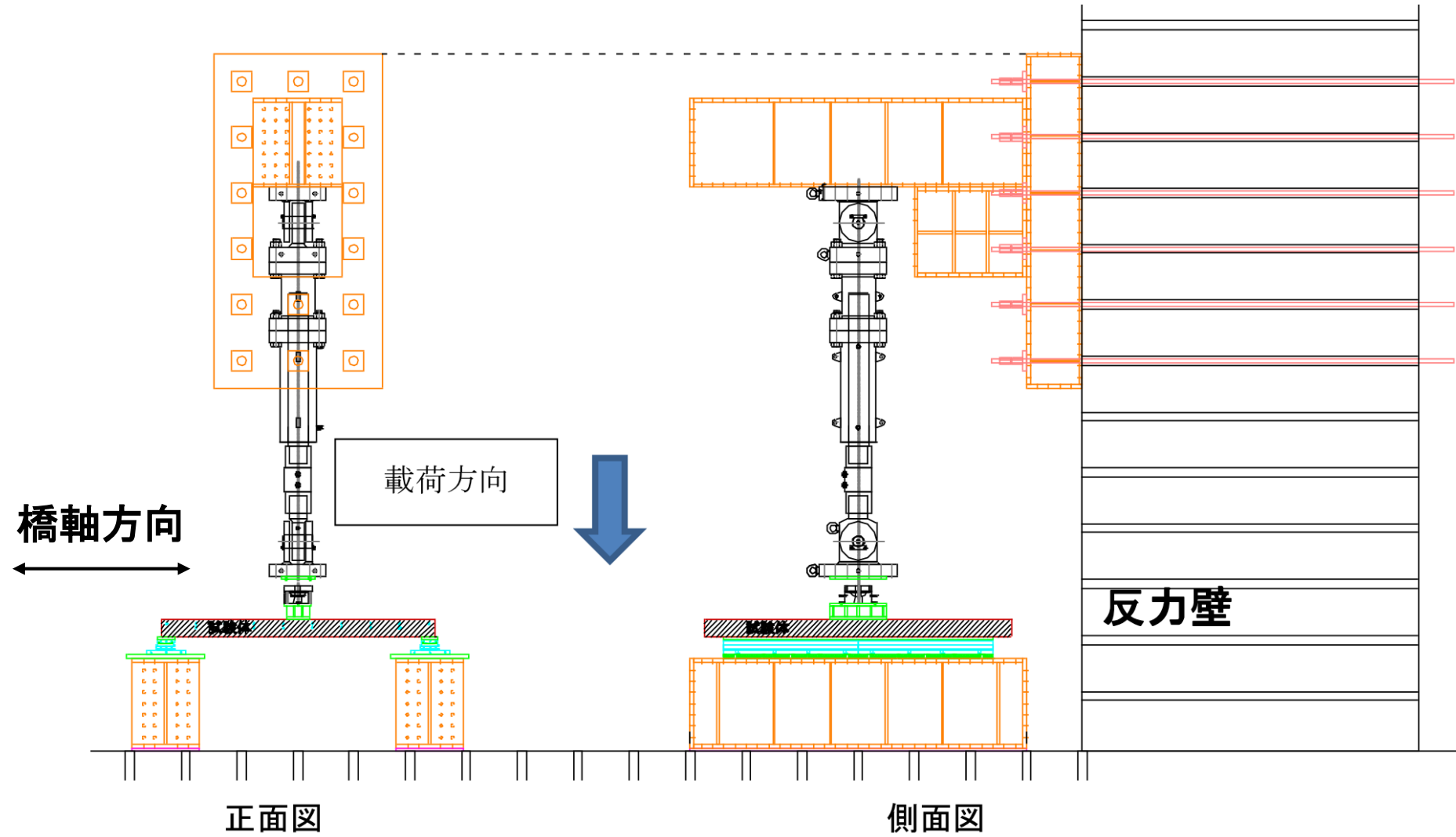


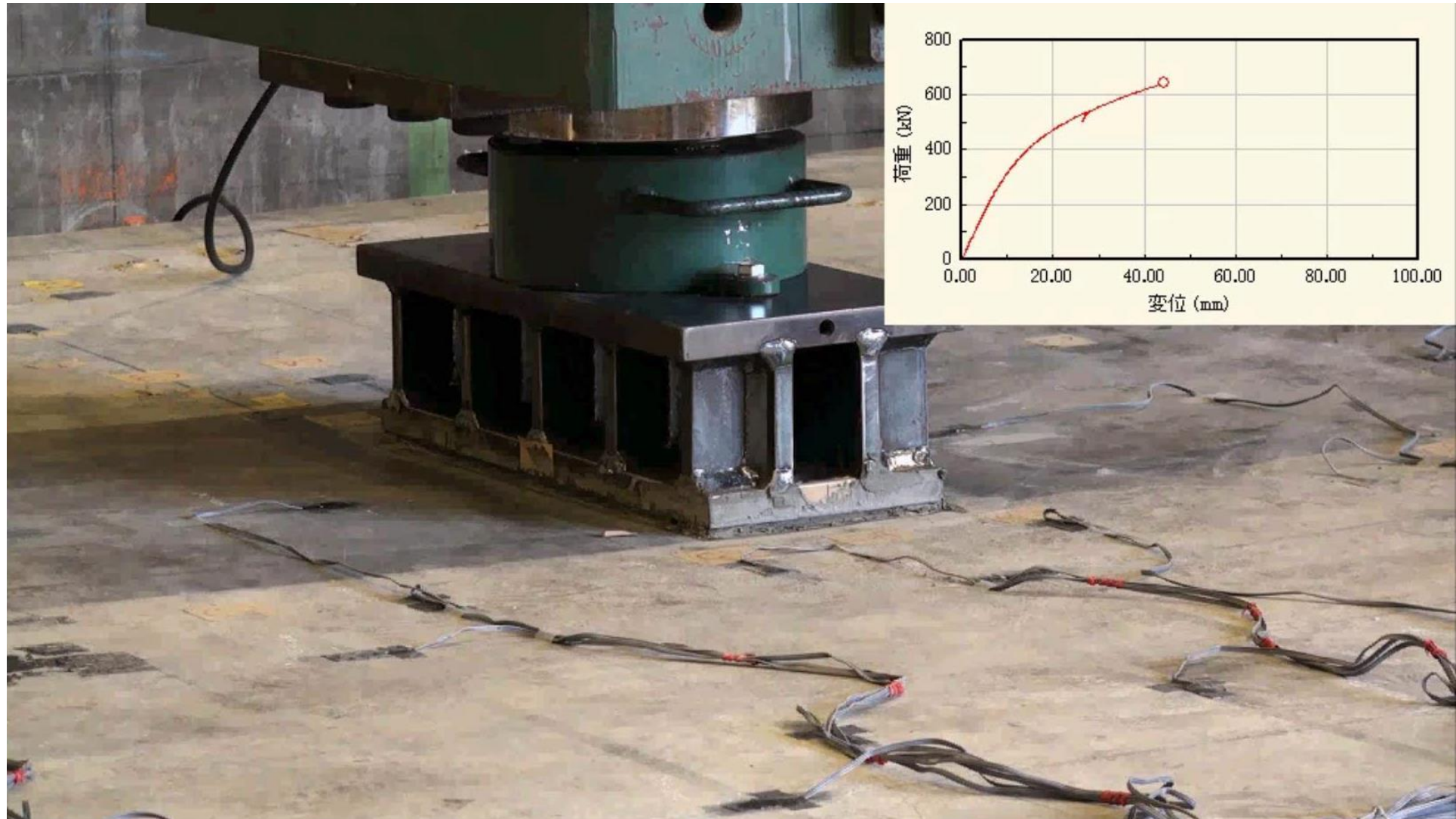
最大主応力分布
($< 8\text{N/mm}^2$)



最小主応力分布
($> -108\text{N/mm}^2$)







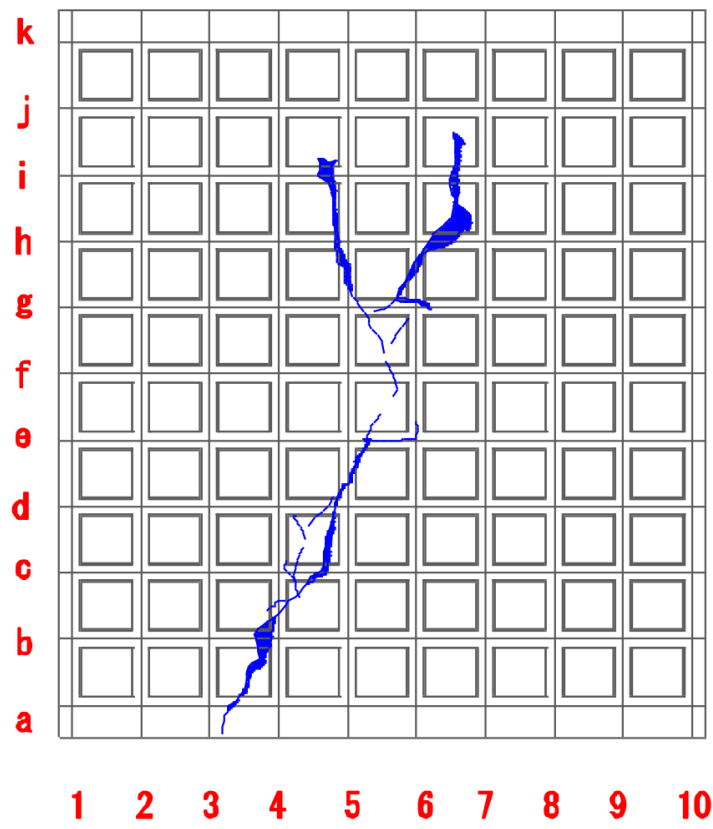


図 上面ひび割れ

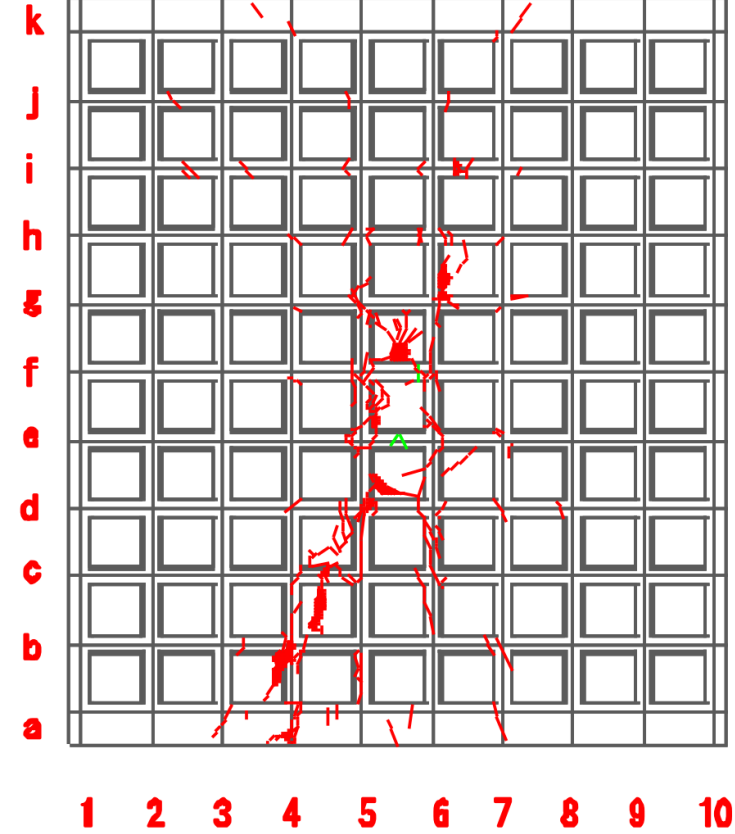
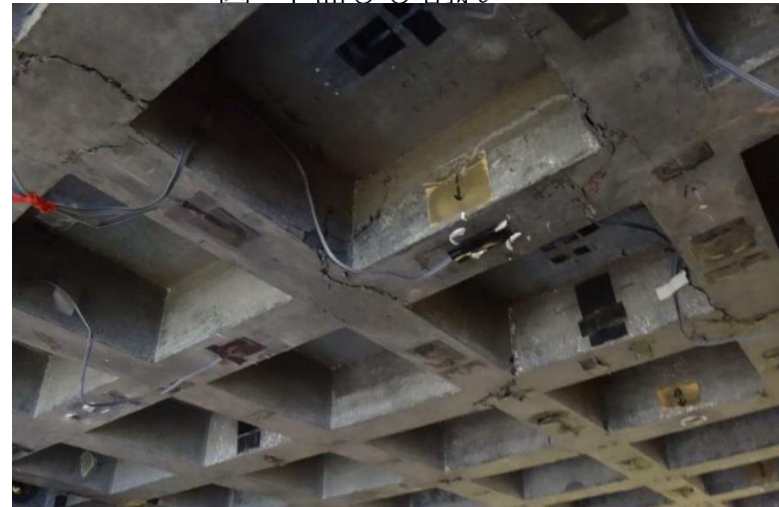
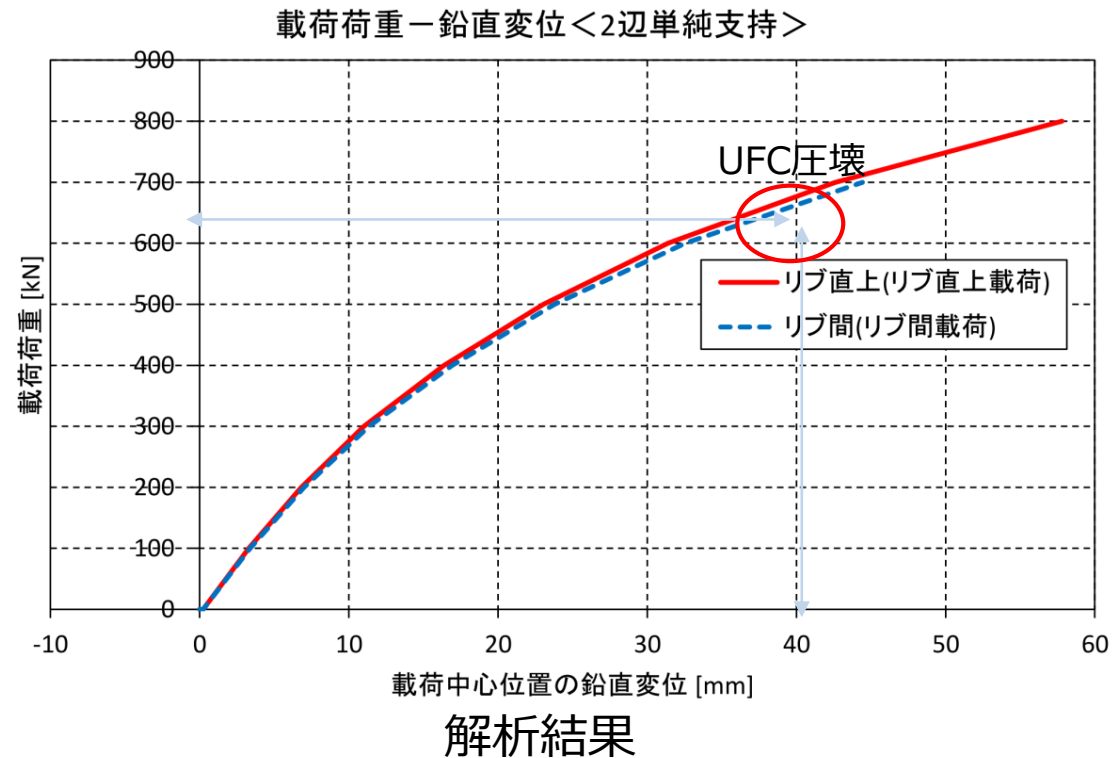
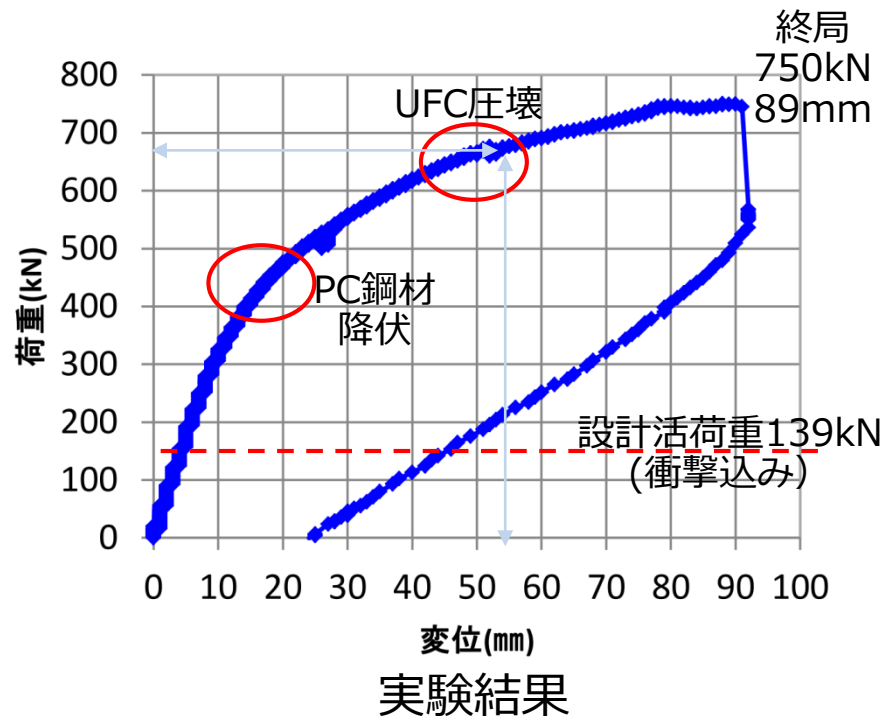


図 下面ひび割れ

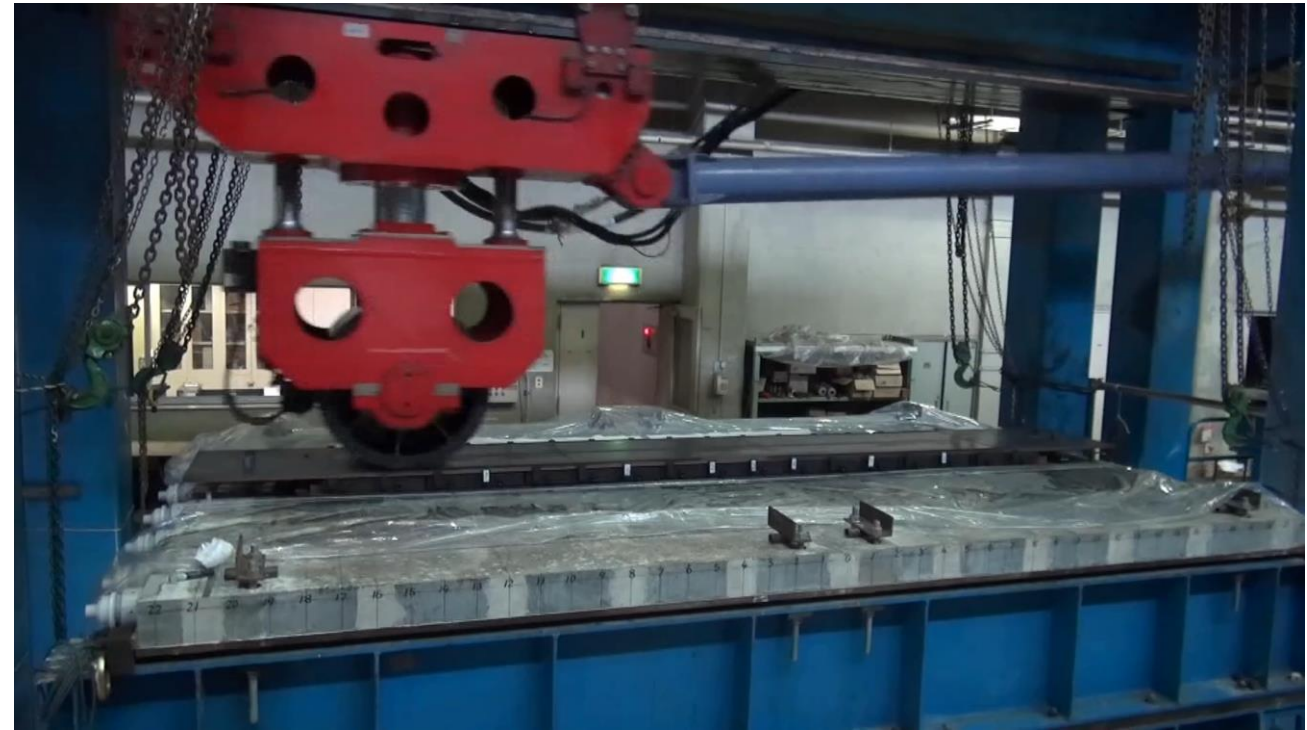
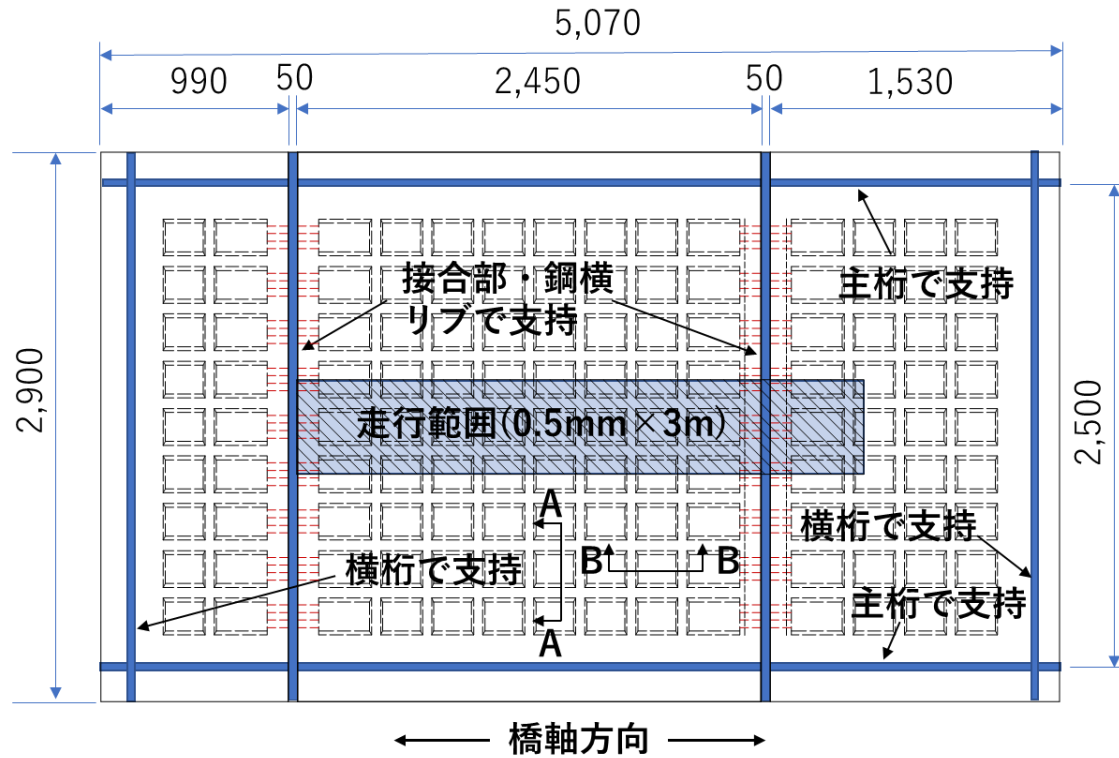


静的載荷試験結果



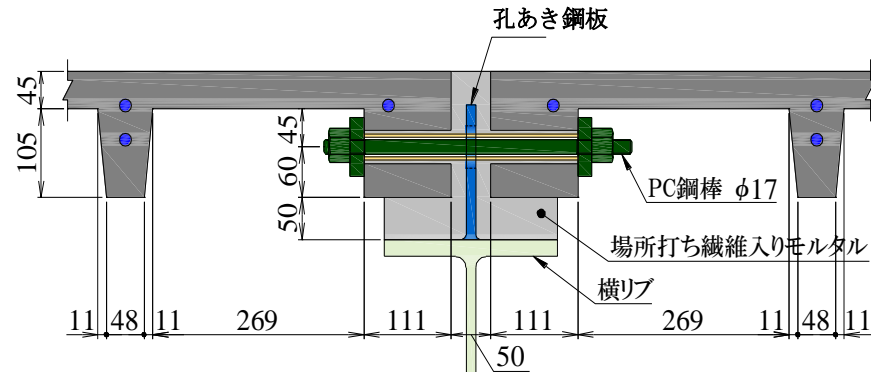
- PC鋼材降伏後に床版上縁が圧壊
- 最大荷重は750.8kN(設計輪荷重の約5倍)
- 非線形FEM解析で概ね評価可能

輪荷重走行試験

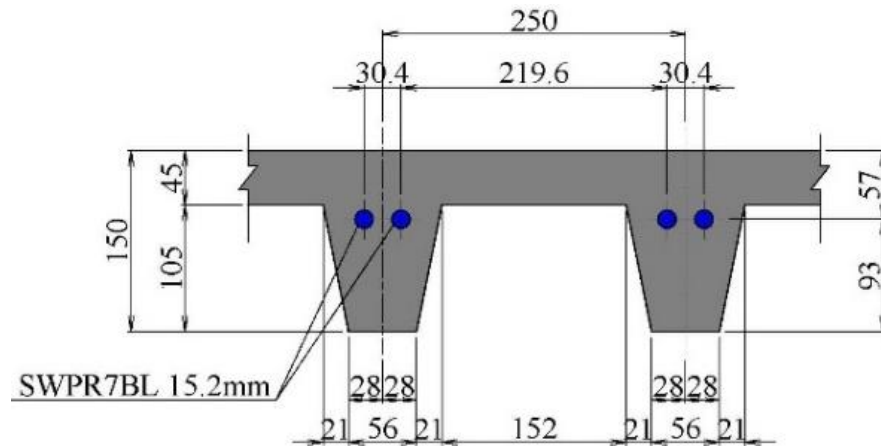


輪荷重走行試験

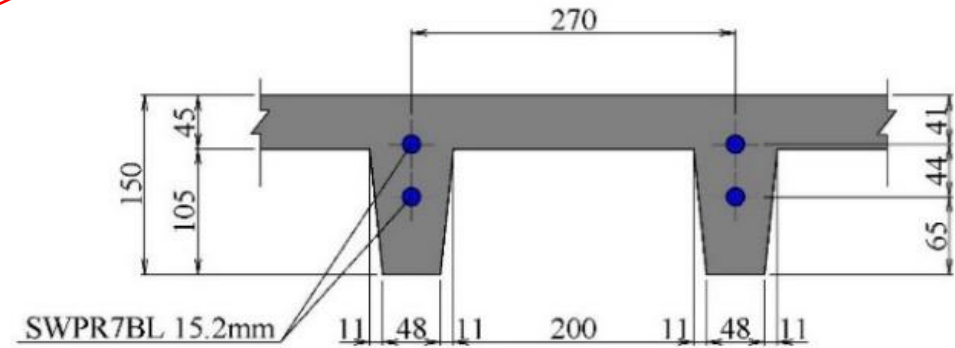
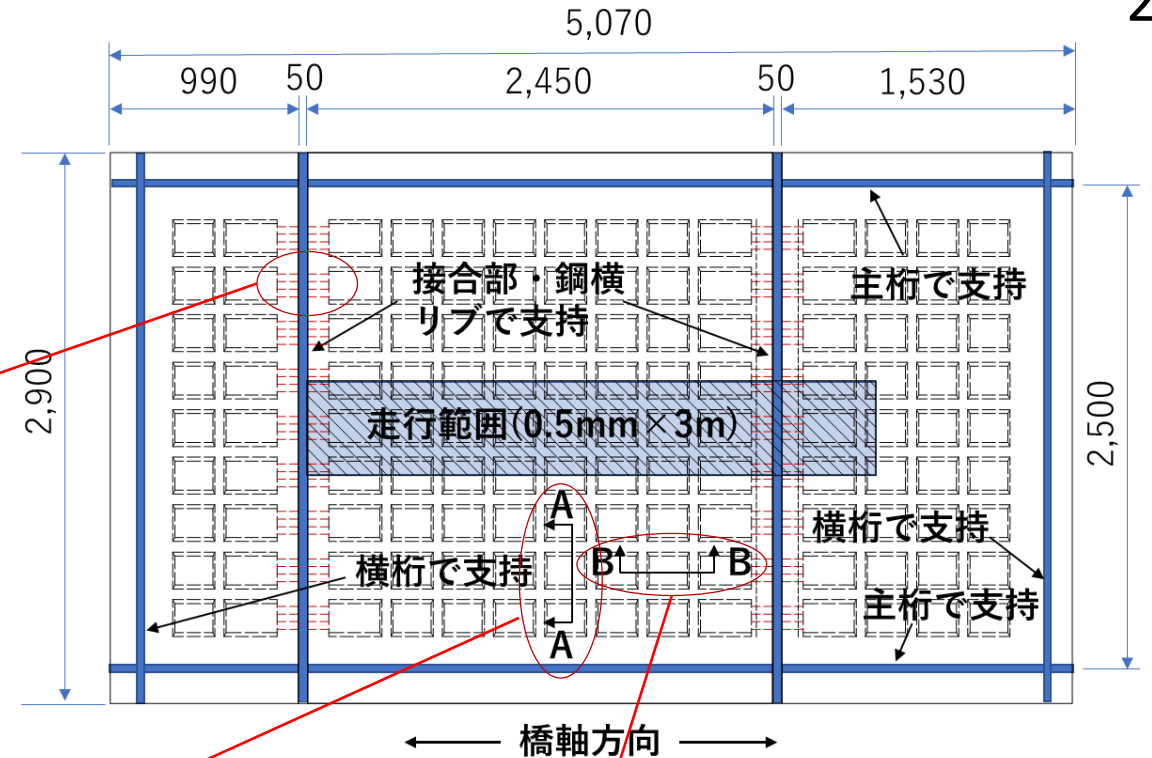
- スラブ厚さ45mm, 床版厚さ150mm
- リブにPC鋼材1S15.2を2本ずつ図心に配置



床版同士の接合部



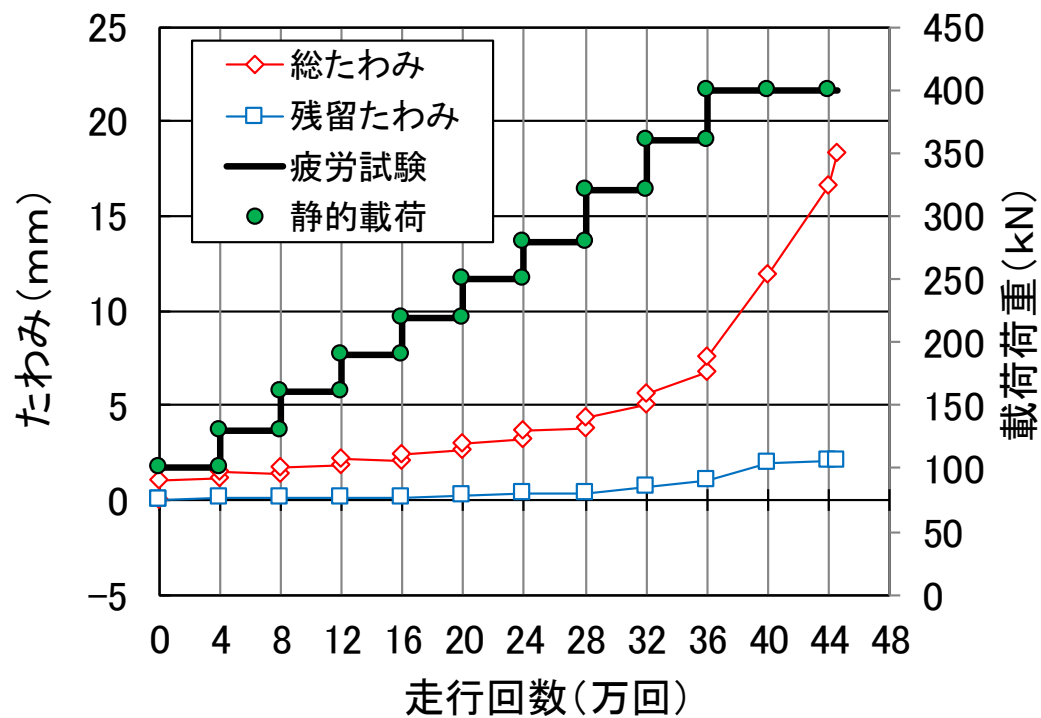
<橋軸方向リブ(A-A断面)>



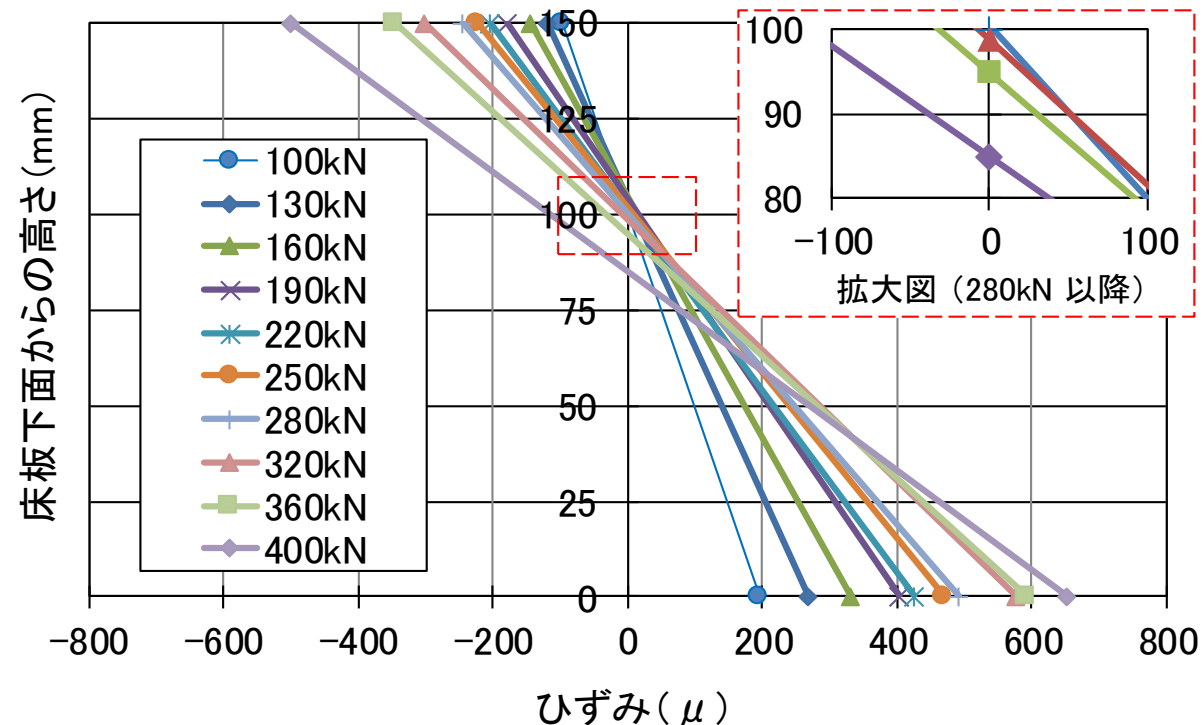
<直角方向リブ(B-B断面)>

輪荷重走行試験

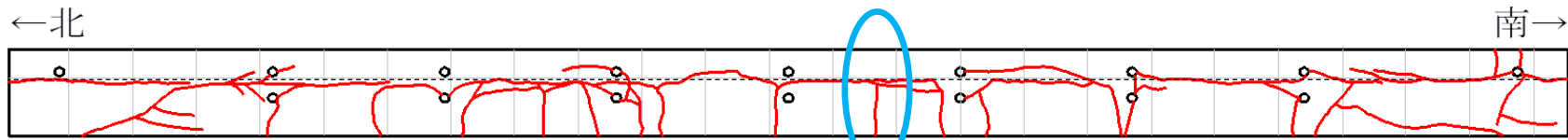
- 190～280kNで0.01mm程度のひび割れが発生
- 400kN載荷時に急激にたわみ増加，中立軸位置の変化
- ジャッキストロークの限界で載荷終了



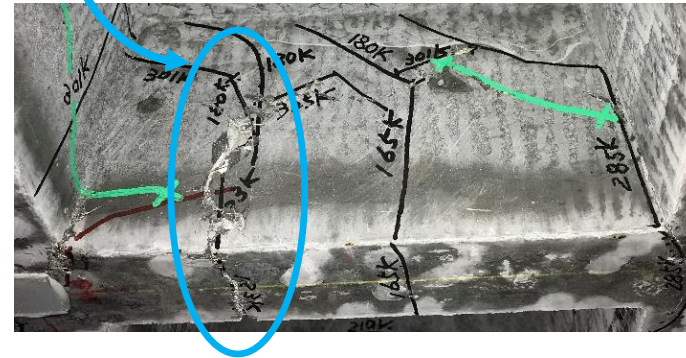
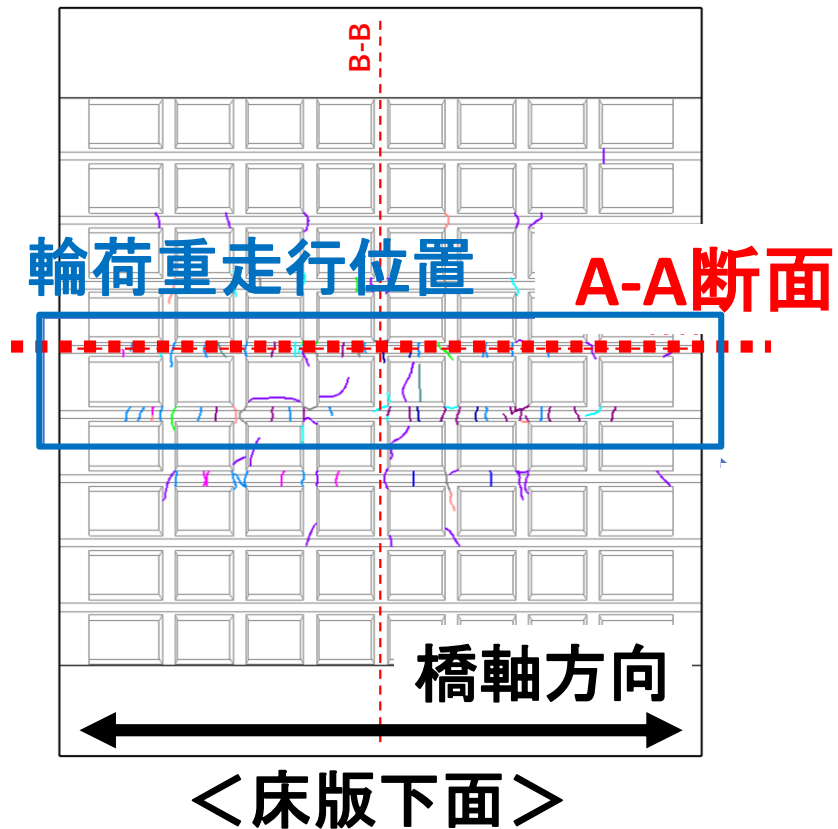
試験体中央のたわみの経時変化



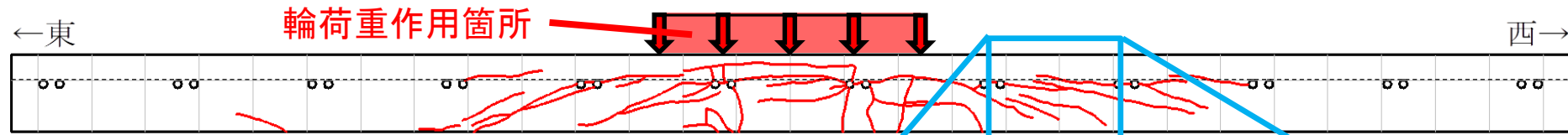
橋軸方向ひずみの高さ方向分布



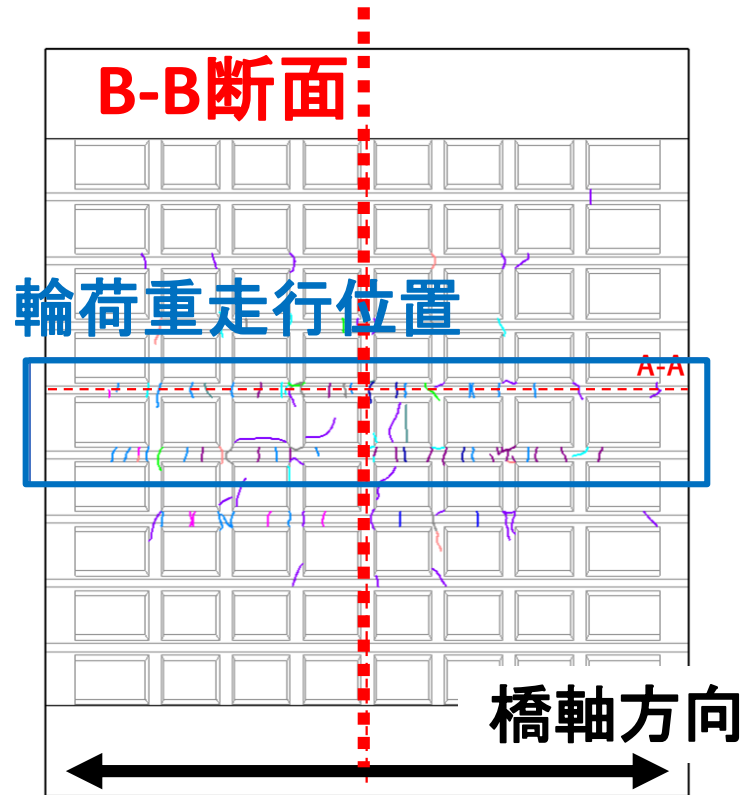
<橋軸方向(A-A断面)>



- 鋼繊維の架橋効果が失われたひび割れ（約5mm以上）が数箇所を確認された。



＜直角方向(B-B断面)＞



＜床版下面＞

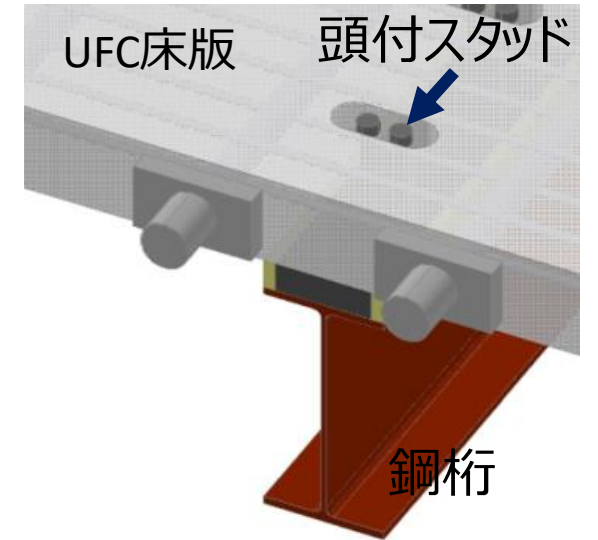
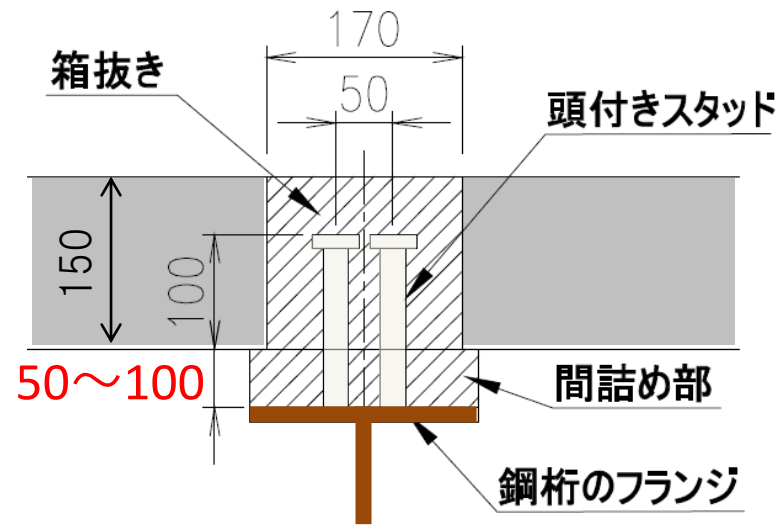
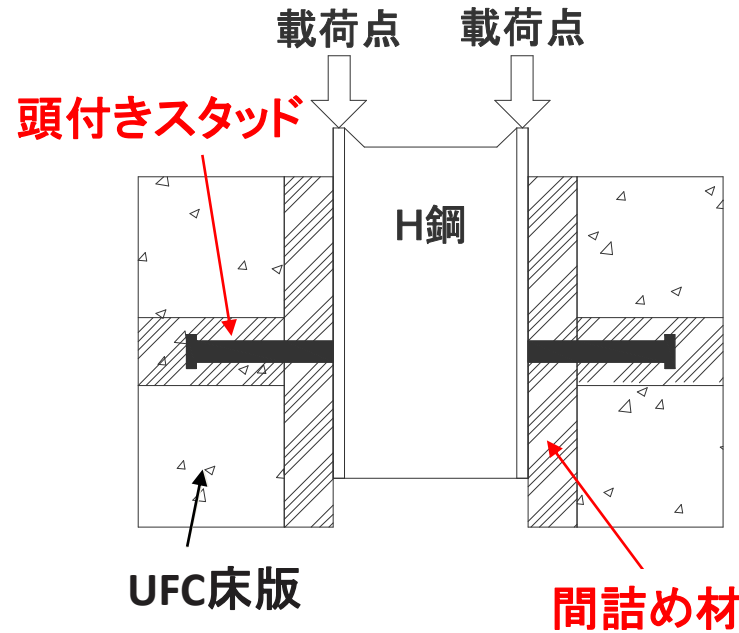
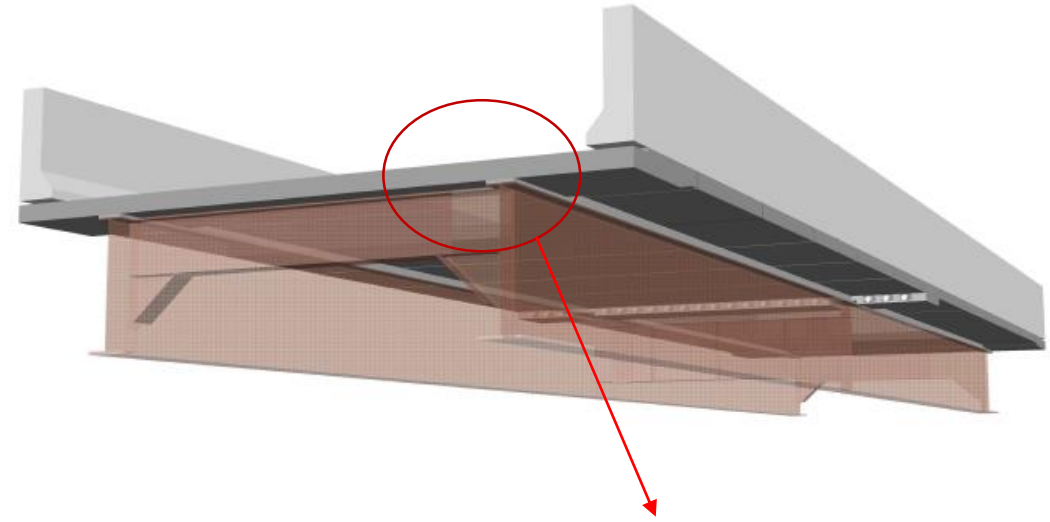


- リブ部に斜めひび割れが確認されたが、微細なものであった。

UFC床版の性能
UFC床版と鋼桁の接合部の性能

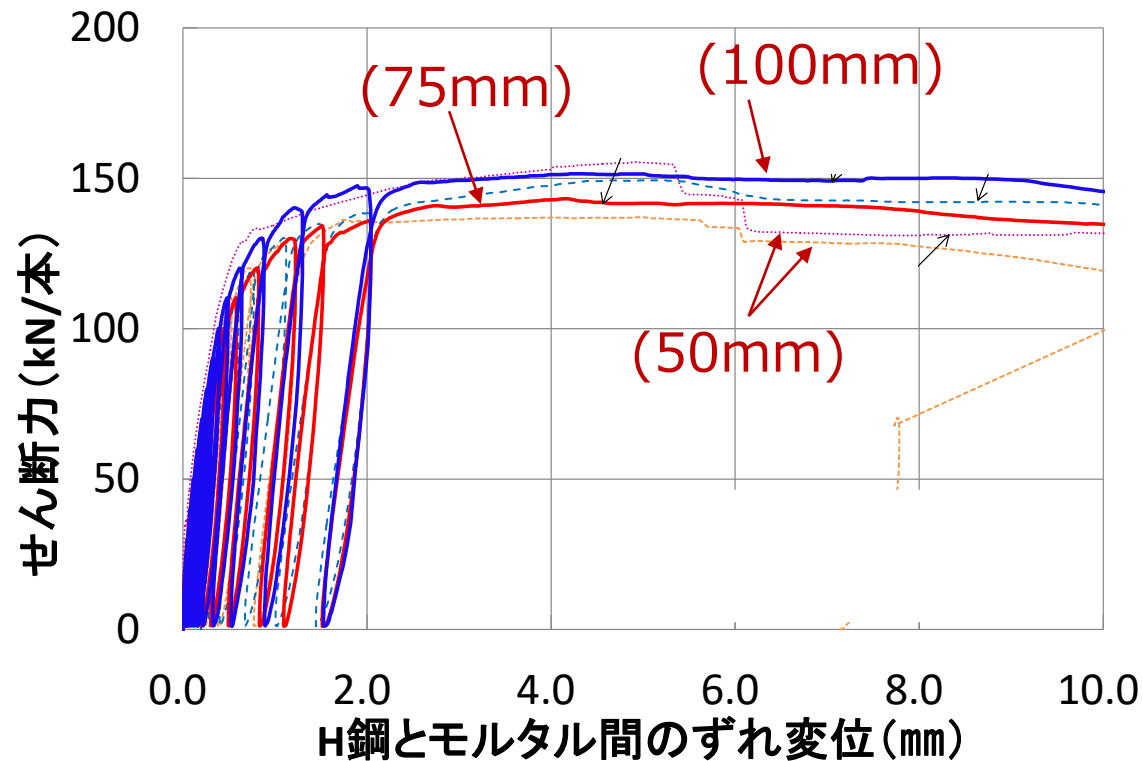
UFC床版と鋼桁の接合部

- 頭付きスタッドでUFC床版と鋼桁を接合
- 間詰め材は、無収縮モルタル・UHPFRC
厚さ50～100mm

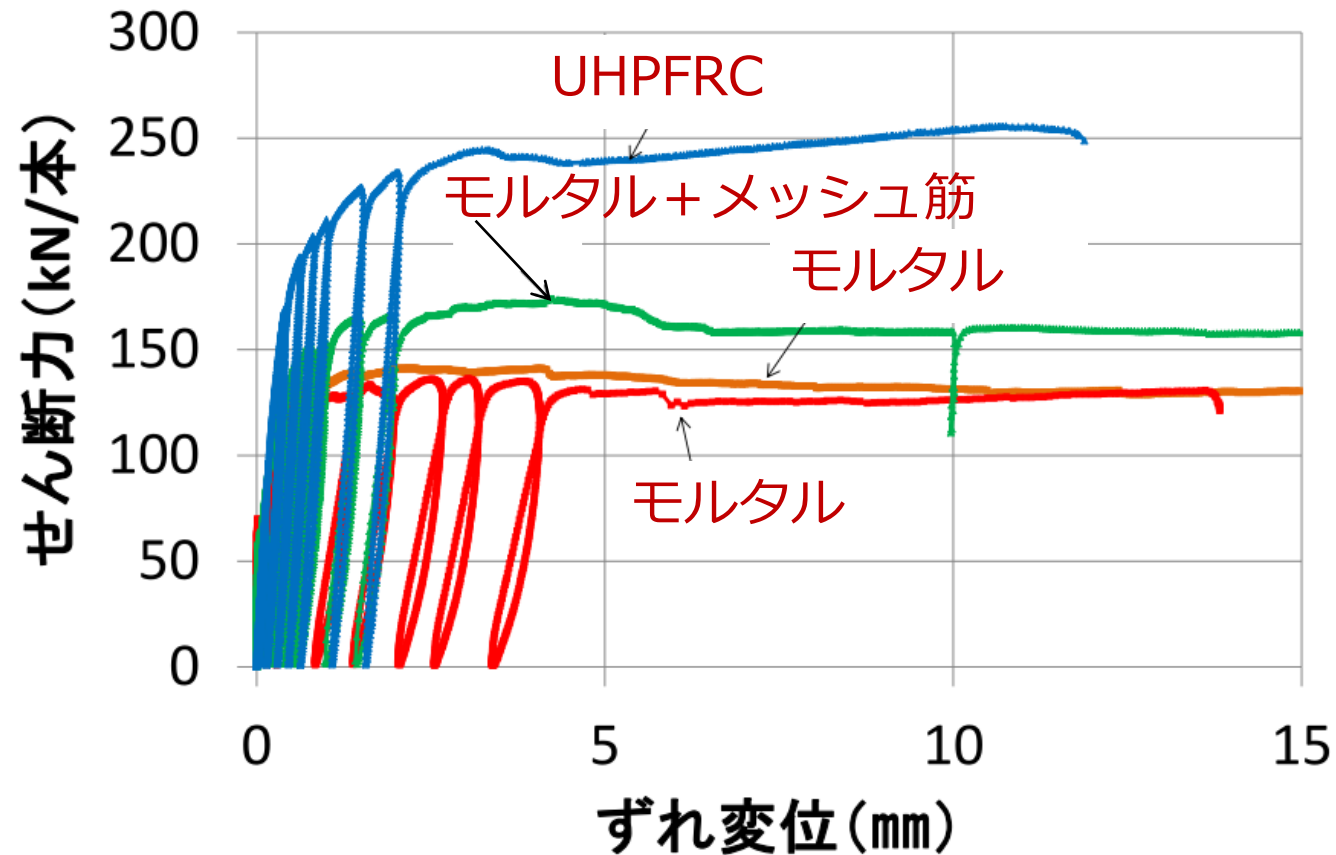


UFC床版と鋼桁の接合部

- 間詰め材がモルタルの場合, 厚さに関わらず耐力は同程度
- モルタルの割裂で破壊
→補強, UHPFRC



- メッシュ筋の補強効果は限定的,
- 間詰材をUHPFRCとすることで耐力向上, スタッドで破断

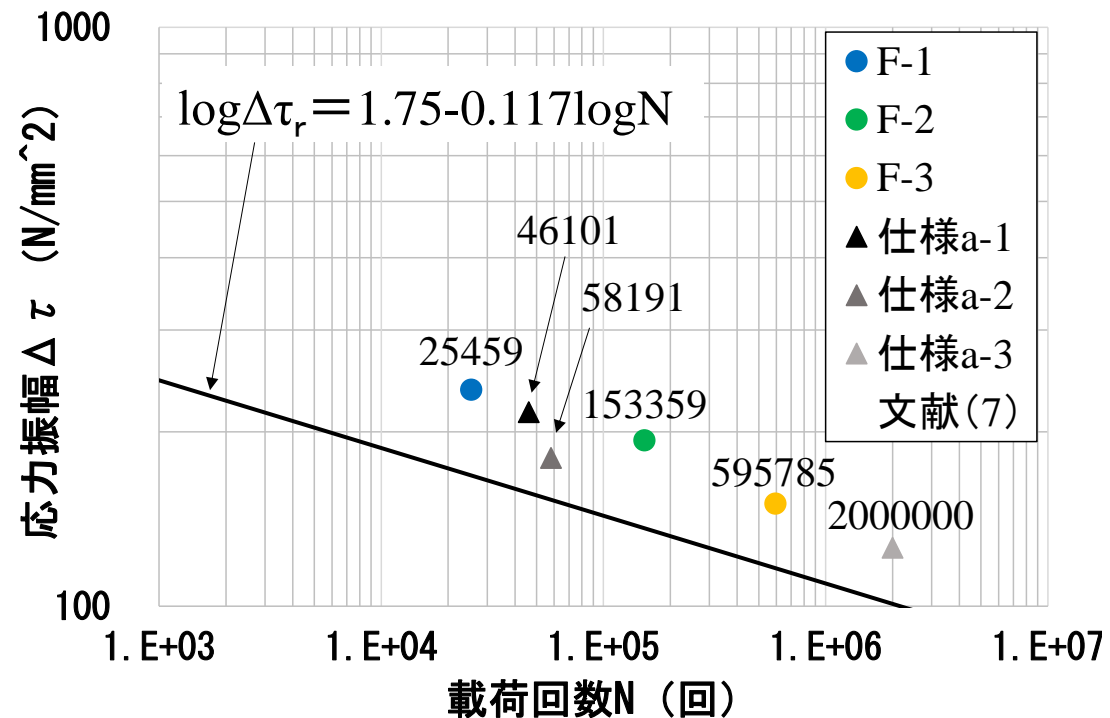
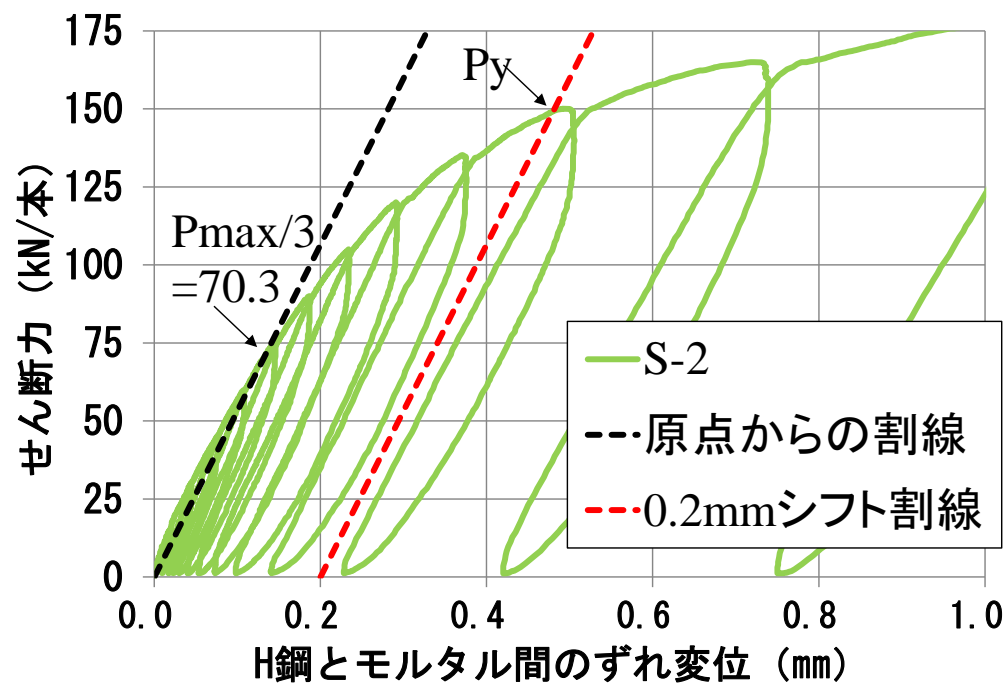


スタッドによる接合部の耐力試験

- 日本鋼構造協会の試験方法¹⁾で降伏耐力を算定
- 疲労試験ではスタッドで破断し, 土木学会指針²⁾で疲労強度評価可能

1) 日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状

2) 土木学会: 鋼構造物設計指針PART B 合成構造物



UFC床版の性能 性能評価に関する最近のトピック



耐疲労性に関する検討

- 解析や実験によって耐疲労性評価を検討中 (横浜国立大学藤山知加子准教授・阪神高速 共同研究)



写真 輪荷重試験後、梁に切り出し

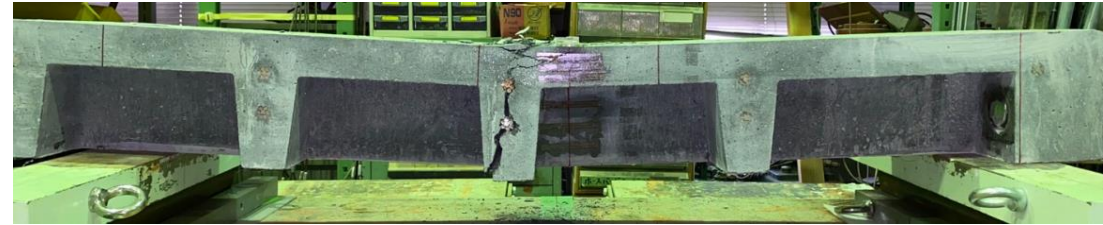


写真 疲労試験後の状況

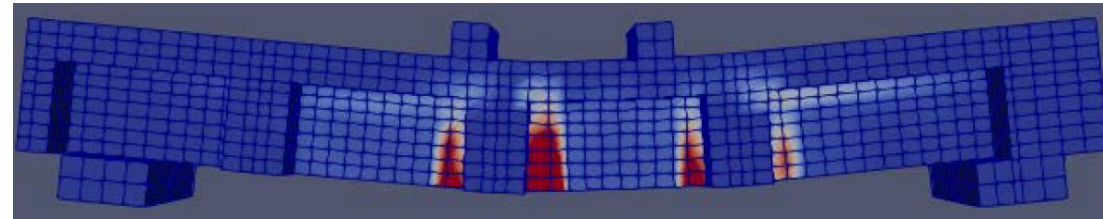


図 解析による疲労損傷の再現

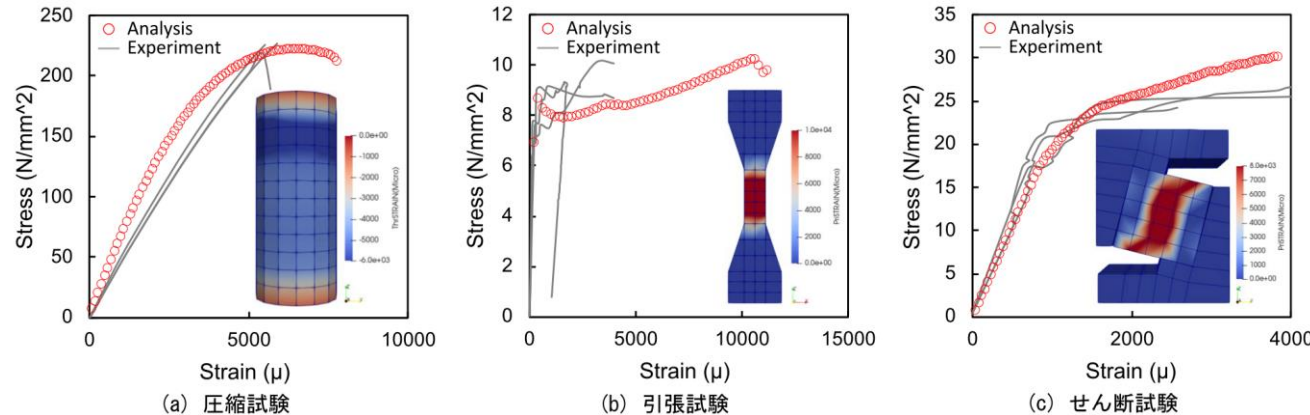
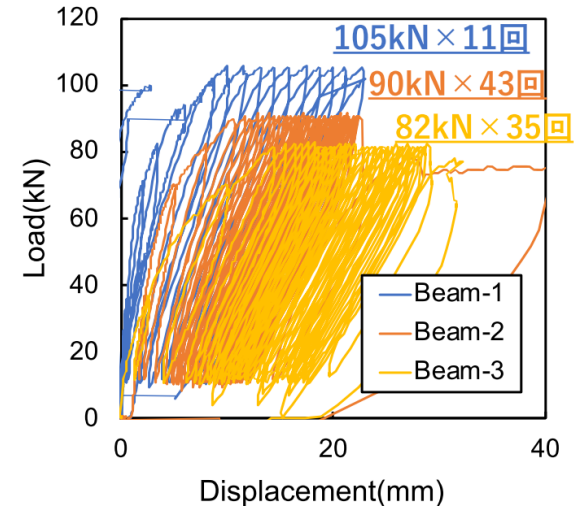


図 材料試験レベルの疲労解析(圧縮, 引張, せん断)

非線形FEM
COM3Dで
シミュレーション

- 永井勇輔ら: UFCの力学特性に対する繰返し作用の影響に関する検討, コンクリート工学年次論文集, 2021
- 徳武恭一ら: 疲労損傷を受けたUFC床版より切り出したはりを用いた繰返し荷重下のUFC部材破壊過程の検討, コンクリート工学年次論文集, 2021

耐火性 に関する検討

- 加熱試験および解析によってUFC床版の耐火性を検討中 (大阪工業大学/大山理教授・阪神高速 共同研究)



写真 予備試験



写真 床版上面の加熱試験状況

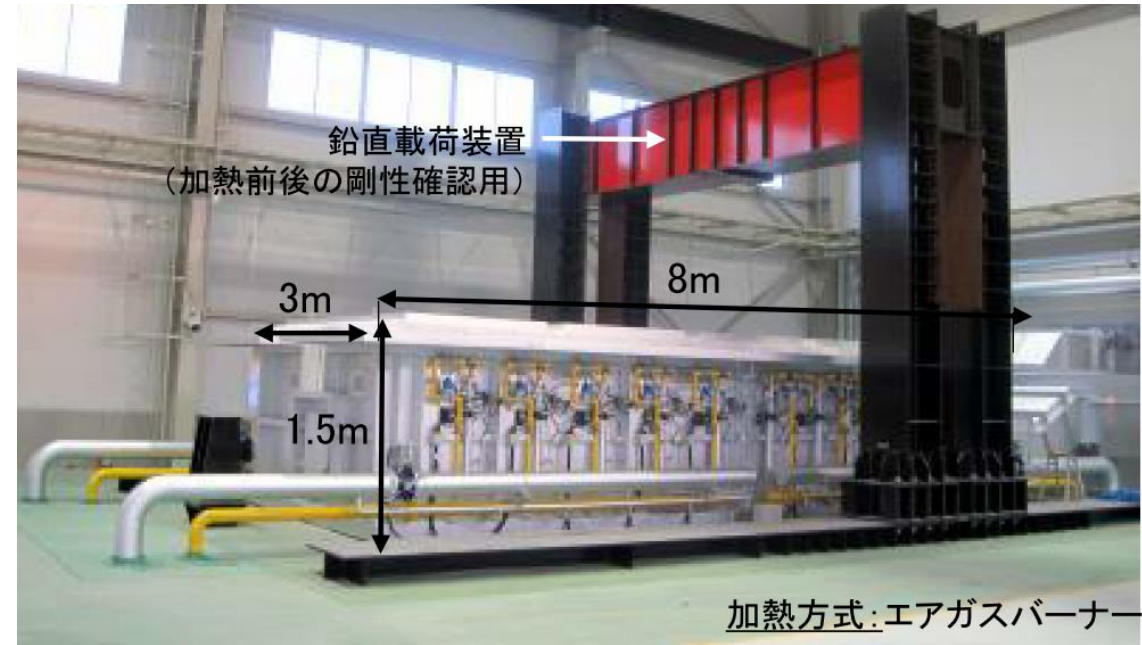


写真 加熱試験炉 (大阪工業大学 八幡工学実験場)

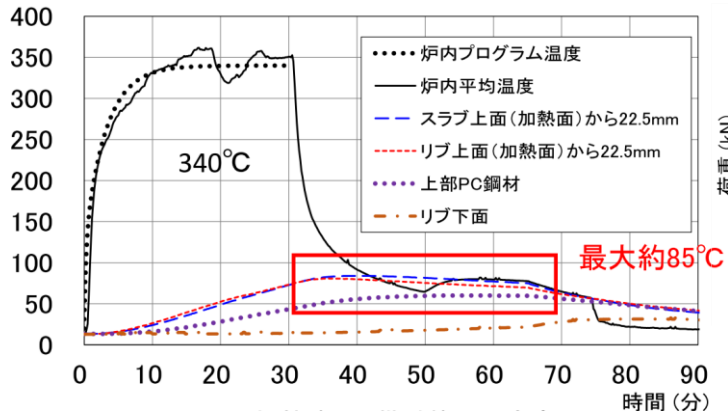


図 加熱・受熱温度曲線

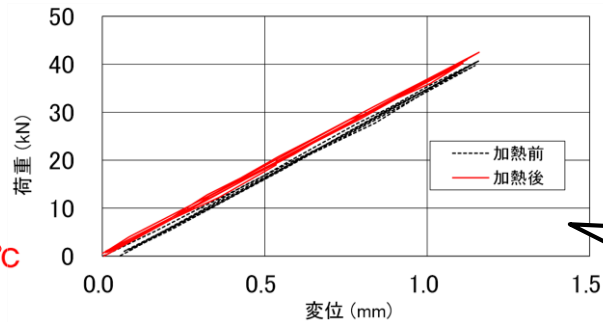


図 剛性変化

路面上の火災
(鎮圧時間60分)
では**損傷なし**

- ・ 河野晴彦ら: 路面上での火災に対するワッフル型UFC床版の剛性評価, 土木学会年次学術講演会概要集, 2021
- ・ 村川友則ら: 橋梁下での火災に対するワッフル型UFC床版の受熱温度評価, 土木学会年次学術講演会概要集, 2021

耐火対策の検討

- 耐火塗料 (ex. 関西ペイント, 日本ペイント, 大日本塗料)
- ✓ 200°C~300°Cで塗膜が20~50倍に発泡し, 耐火層を形成
- ✓ UFCへの耐火塗料の適用性を検討中 (大阪工業大学+阪高)
- ✓ UFCと耐火塗料の付着性や, UFC受熱温度に着目
- ✓ 400°C程度 (無塗装680°C, 耐火塗料250°C), UFCの受熱温度を抑制できる効果を確認

- 樹脂繊維 (ex. Ductal with Fire+)



Compatible solutions

Automotive Infrastructure

Raise the safety of your structure's occupants in case of explosions or spalling with our fire-resistant technology — the safest way to prevent fire-induced damages.

Ductal® with Fire + is a technology whereby a unique mix of micro-polypropylene and steel fibers are added to the ultra-high performance concrete formulation to address different types of fire specifications.

The inclusion of polypropylene fibers forms internal chimneys that prevent the spalling effect that can result in the explosion of building panels and concrete structures following fire damage.

<https://www.ductal.com/en/fire>

熱で塗膜が**発泡**
UFCを火から守る



写真 UFCへの塗布



写真 加熱後の発泡状態

マイクロポリプロ
ピレン繊維と
鋼繊維をミックス

UFC床版の維持管理

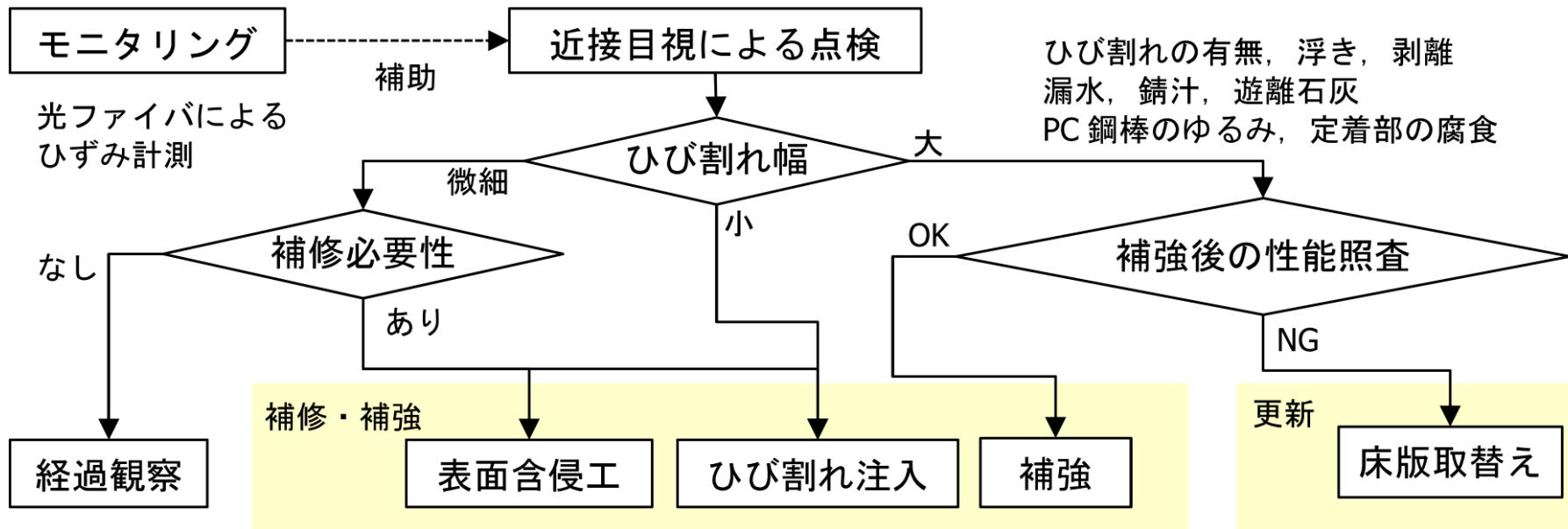


図 UFC床版の維持管理

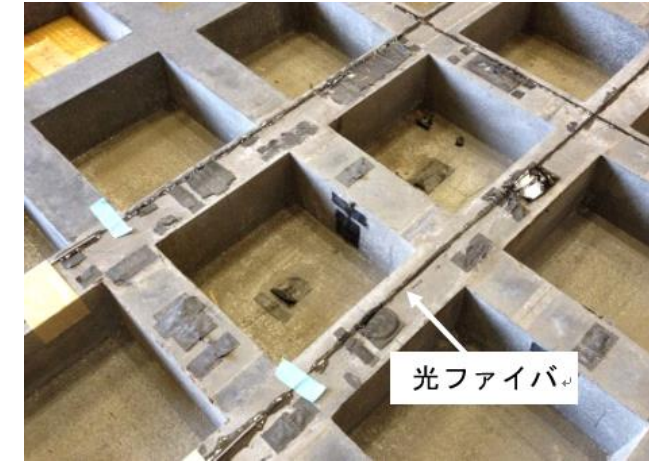


写真 実車載荷試験



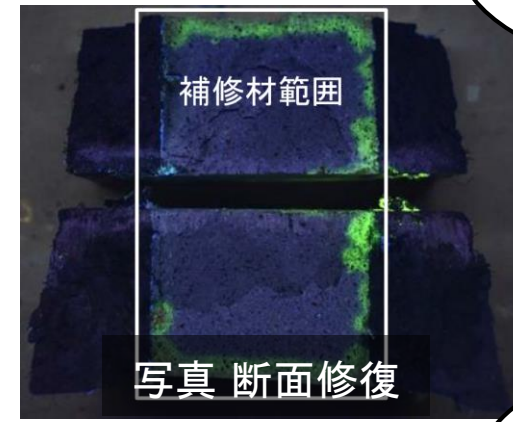
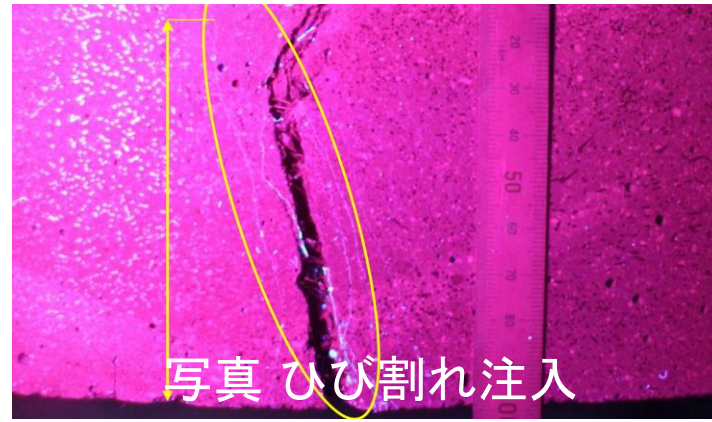
写真 変位計(床版下面)

- 従来のコンクリート構造物と同様に近接目視による点検を基本とする
- UFC床版のひび割れは微細であるため, 近接目視を補助するモニタリングを併用する
- ひび割れが発見された場合は, ひび割れ幅に応じて補修, 補強, 床版取替えなどの対策を実施

維持管理性 に関する検討

- 実験等によってUFC床版の維持管理を検討中 (阪神高速先進技術研究所 業務)

損傷⇒点検・調査
⇒補修・補強・更新
維持管理シナリオ
を検討



- UHPFRC構造の先進的なメンテナンスに関する検討会
(委員長:神戸大・三木朋広先生, 委員:京大・山本貴士先生, 北大・橋本勝文先生)

突発事象に対して
デジタルツインによる
供用再開判断

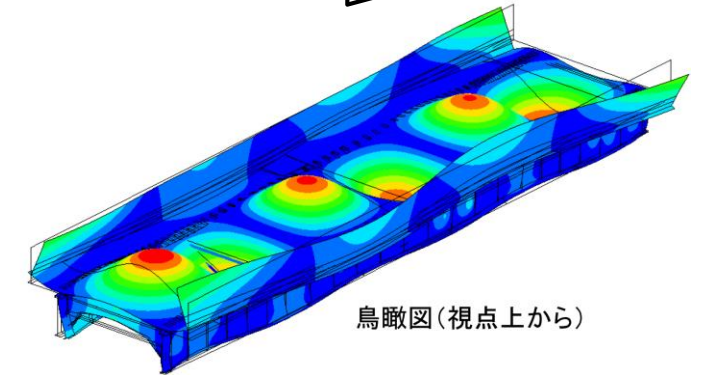
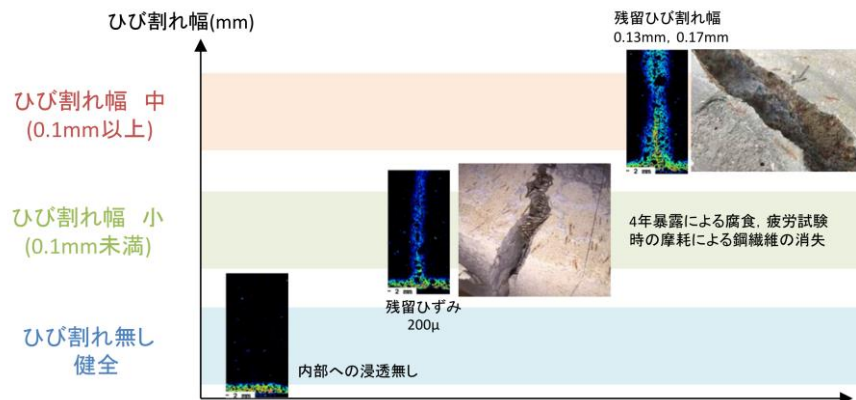


図 損傷シナリオ (ex.ひび割れ幅-塩化物イオン)

写真 非破壊検査の検討

写真 3D-FEM振動解析



非破壊検査の試行（漏洩磁束法）