



第15回 鋼構造と橋に関するシンポジウム

関門橋の補修におけるFEM解析の適用事例

平成24年8月3日

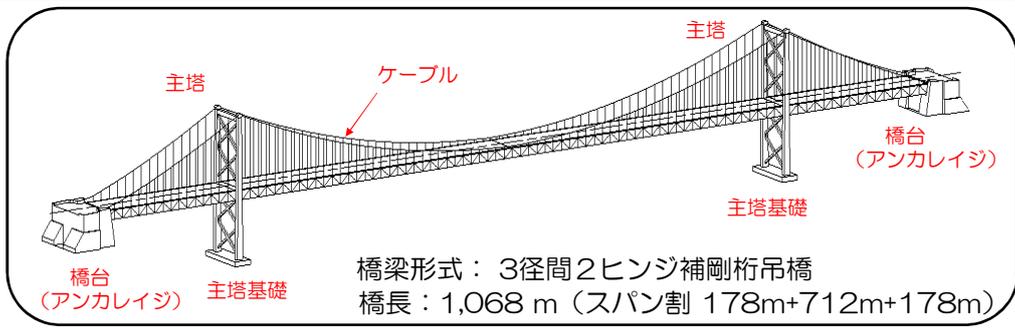
西日本高速道路(株) 今村壮宏

目次



1. 関門橋の概要
2. 関門橋リニューアル計画
3. 損傷状況
4. FEM解析
5. まとめ

1. 関門橋の概要



橋梁形式：3径間2ヒンジ補剛桁吊橋
 橋長：1,068 m (スパン割 178m+712m+178m)

- 本州と九州を結ぶ高速道路として1973.11に供用開始。
- 開通直後の交通量は約1万台/日 ⇒ 近年は約3万台/日
 (関門トンネルと合わせると、関門海峡を約6万台/日の車が毎日通行)
- 建設当初は東洋一の規模
 ※若戸大橋(S37.9)⇒関門橋(S48.11)⇒本四連絡橋(S63.4～)
- 「100%の安全・安心の追求」を目指して、
 関門橋のリニューアルの検討を実施中(一部施工開始)。

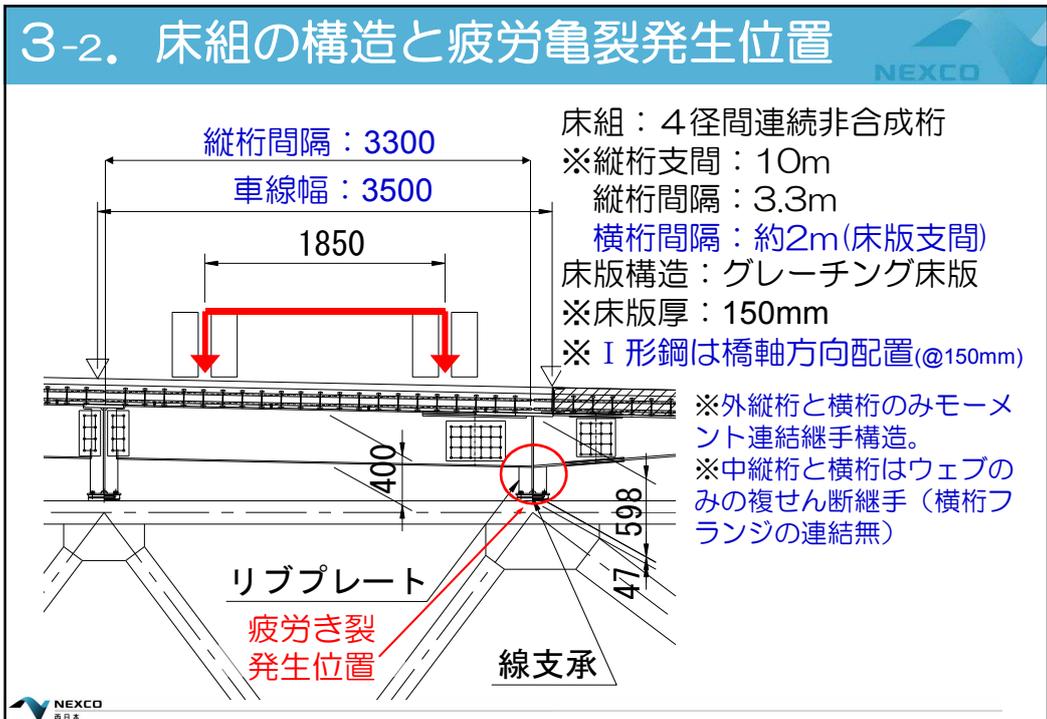
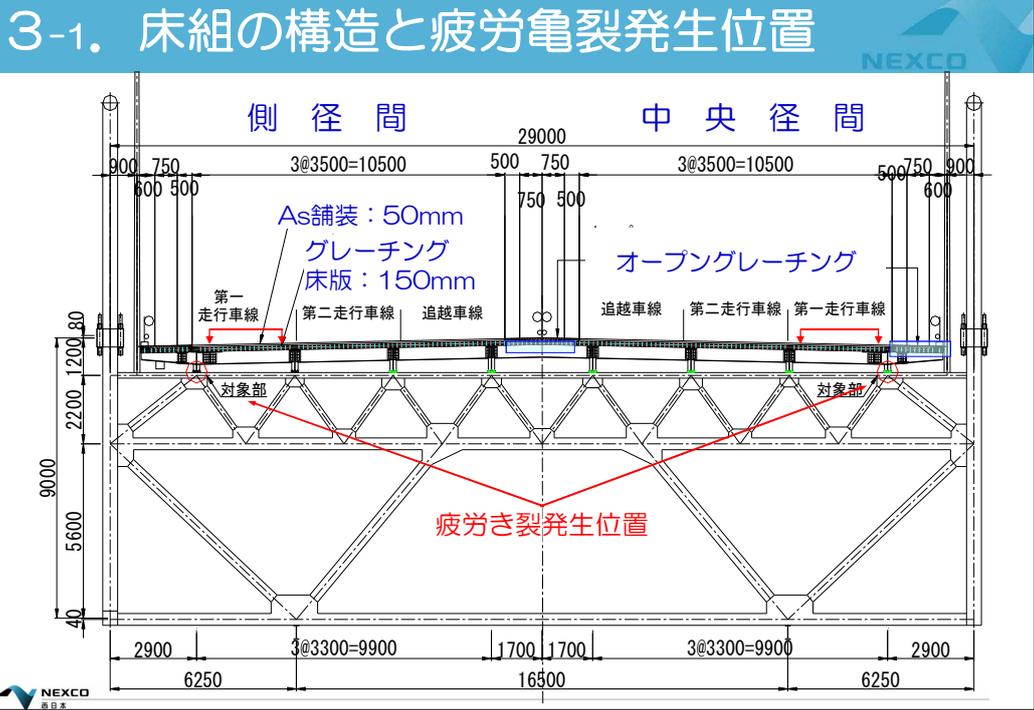


2. 関門橋リニューアル計画

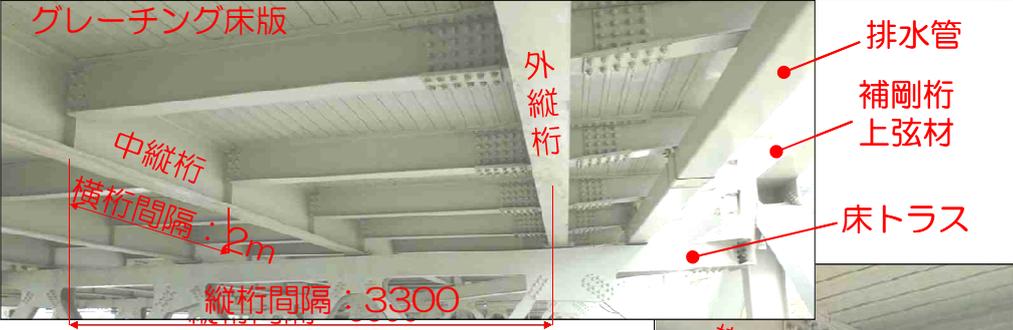


部 位	対 策 (検討中含む)
橋台	床版打換, 下面剥落対策, 内部排水装置改良
補剛桁・床トラス・床組	塗替塗装, 疲労亀裂対策(支承取替), 連続化高力ボルト取替
主ケーブル	防食対策, 気密化対策, 塗替塗装, ケーブルバンドボルト増し締め
ハンガーロープ	健全度調査, 塗替塗装
Iビーム床版・舗装	健全度調査, 舗装改良, 防水工
主塔	塗替塗装
その他	点検検査路取替, ケーブル移動検査車改良, 補剛桁移動検査車改良





3-3. 床組の構造と疲労亀裂発生位置



グレーチング床版
排水管
補剛桁
上弦材
床トラス
外縦桁
中縦桁
横桁間隔：2m
縦桁間隔：3300

床組：4径間連続非合成桁
 ※縦桁支間：10m，縦桁間隔：3.3m
 横桁間隔：約2m(床版支間)
 床版構造：グレーチング床版
 ※床版厚：150mm，I形鋼は橋軸方向配置
 ※外縦桁と横桁のみモーメント連結継手構造。
 ※中縦桁と横桁はウェブのみの複せん断継手（横桁フランジの連結無）



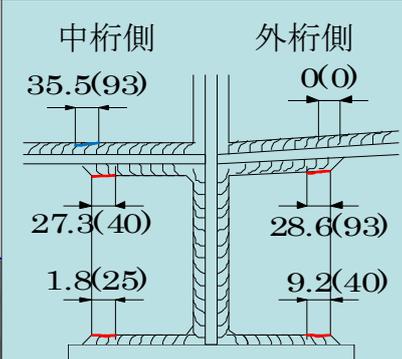
横桁
外縦桁
床トラス
疲労き裂発生位置

3-4. 疲労損傷の概要

外縦桁と支点上横桁取合部のみに発生。

損傷発見1995年
 → 2000年全箇所（250支点）に確認。

- ①リブプレート上下隅肉溶接
- ②横桁下フランジと横桁ウェブ取合部の隅肉溶接

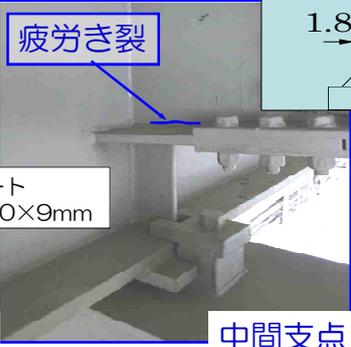


位置	中桁側	外桁側
上フランジ	35.5(93)	0(0)
ウェブ	27.3(40)	28.6(93)
下フランジ	1.8(25)	9.2(40)

平均疲労き裂長さ
 (括弧内は最大値を示す)

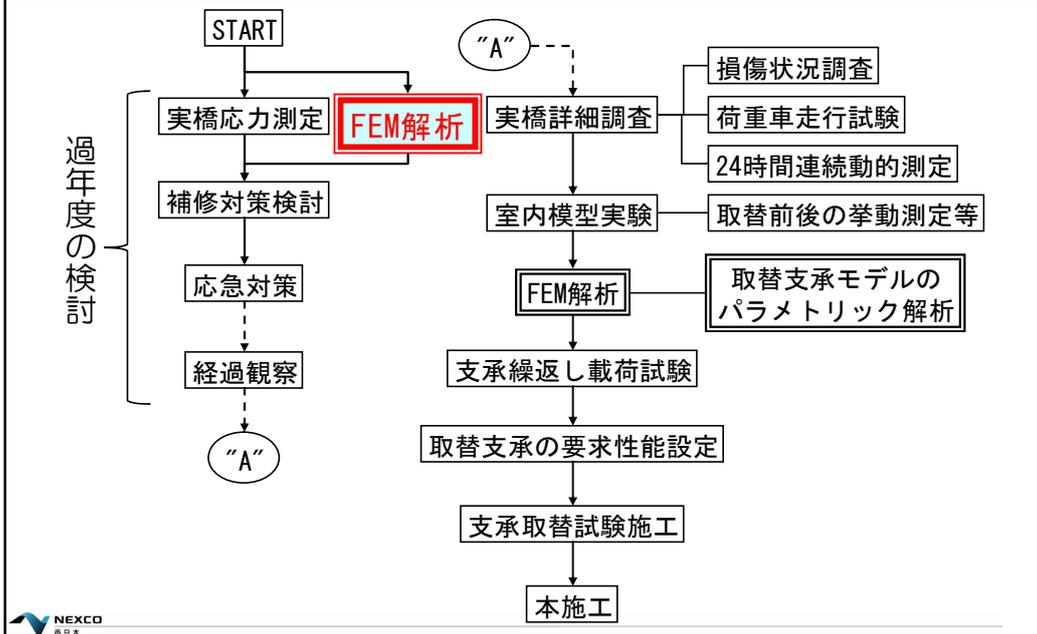


疲労き裂
 リブプレート
 190×100×9mm
 掛違い支点



疲労き裂
 中間支点

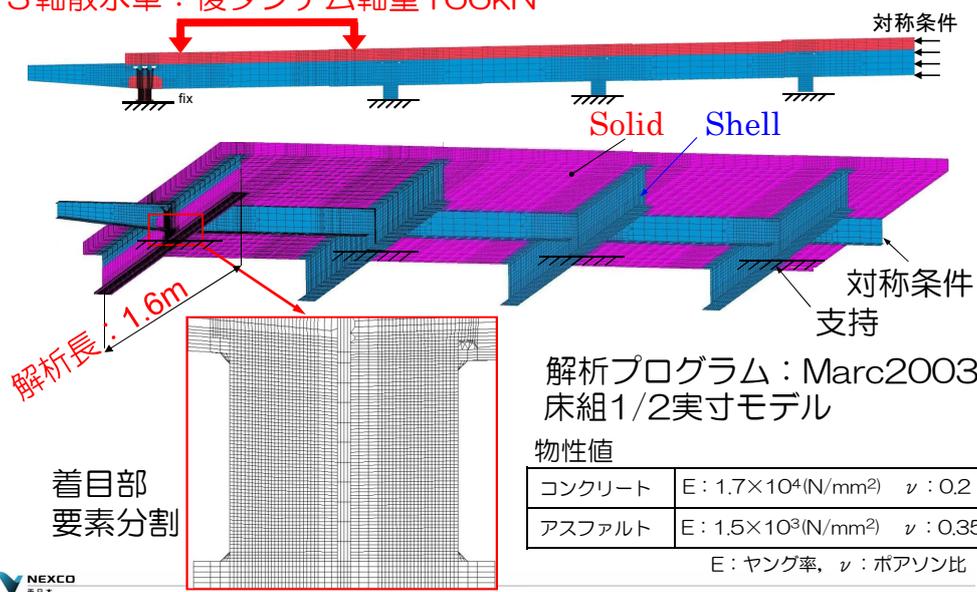
4. 検討経緯と概要

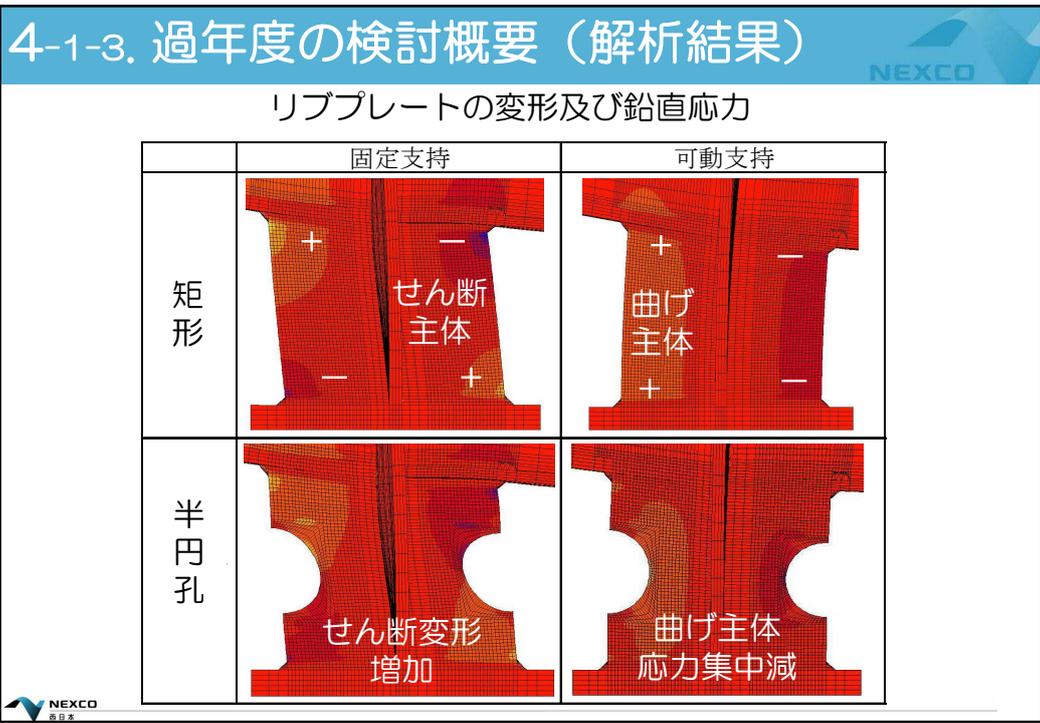
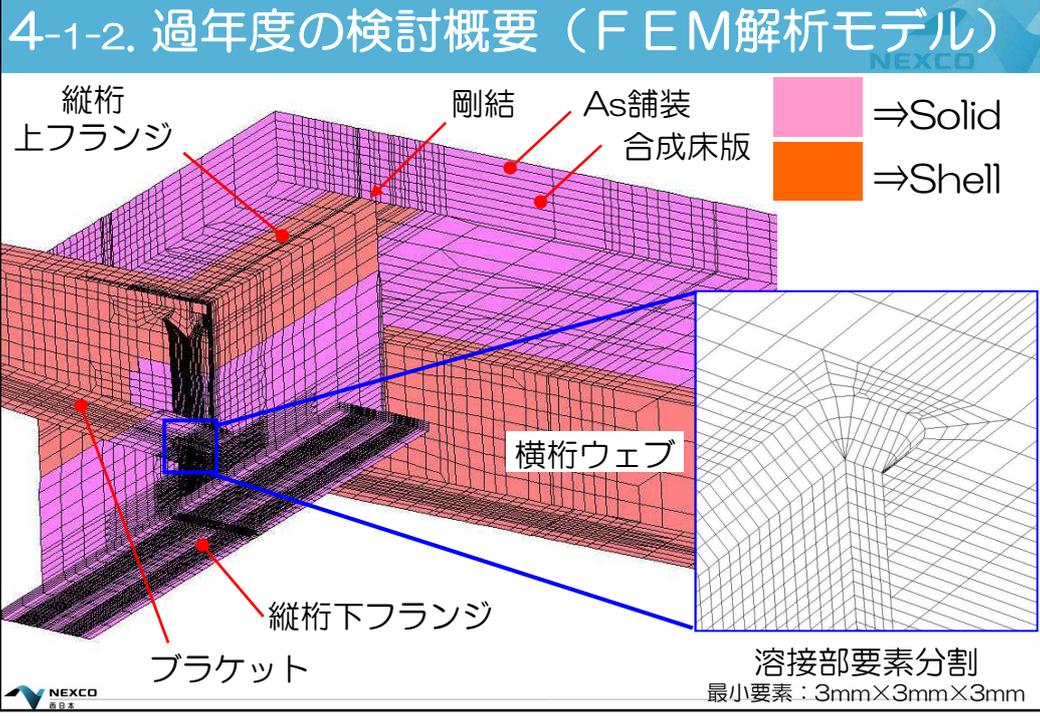


4-1-1. 過年度の検討概要 (FEM解析モデル)

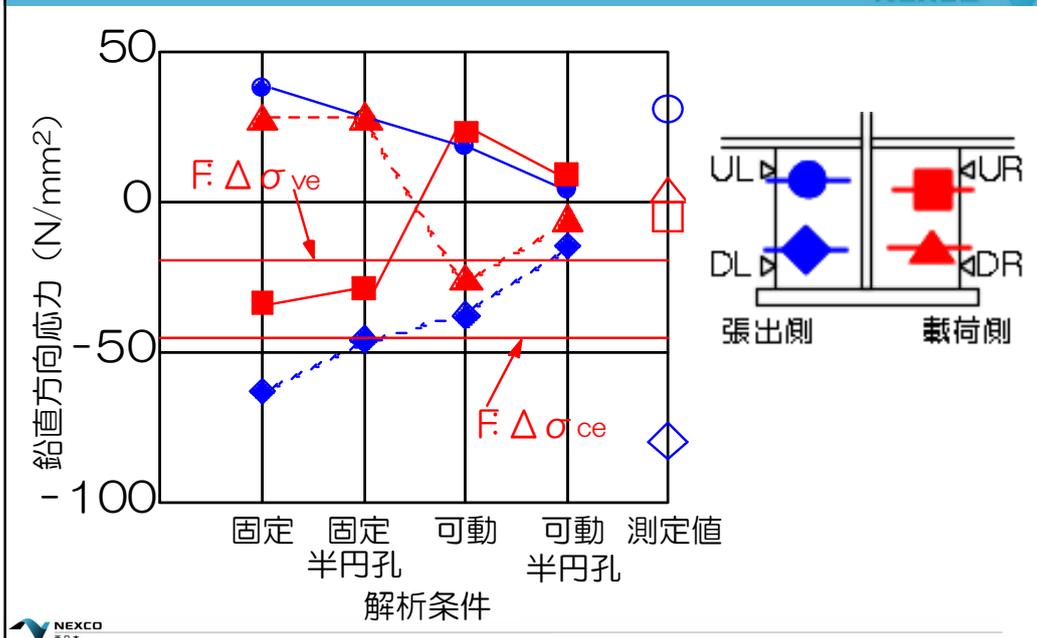


3軸散水車：後タンデム軸重166kN





4-1-4. 過年度の検討概要（解析結果）



4-1-5. 過年度の検討概要（まとめ）

疲労損傷の発生原因

1. 線支承の固着化（橋軸直角方向はそもそも固定）
2. 横桁下フランジに発生する回転変位の拘束

補修方法（案）

1. 線支承の固着解除 → せん断応力の低減
2. リブプレートへの半円孔設置 → 曲げ応力の低減

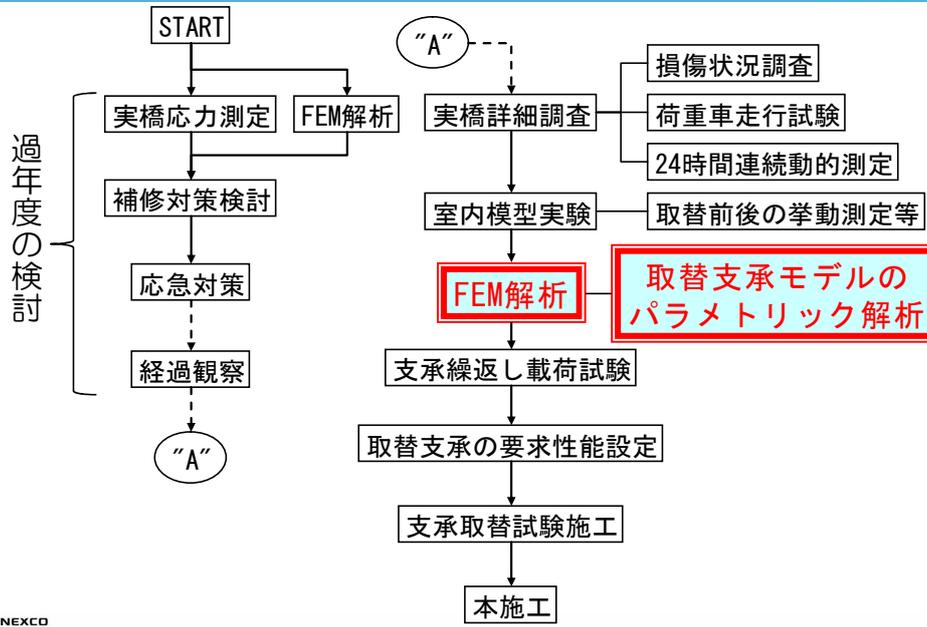
応急対策の実施

1. 線支承のグリースアップ（効果無）
2. 半円孔付きリブプレートへの増厚取替（ $t=9\text{mm} \rightarrow 16\text{mm}$ ）

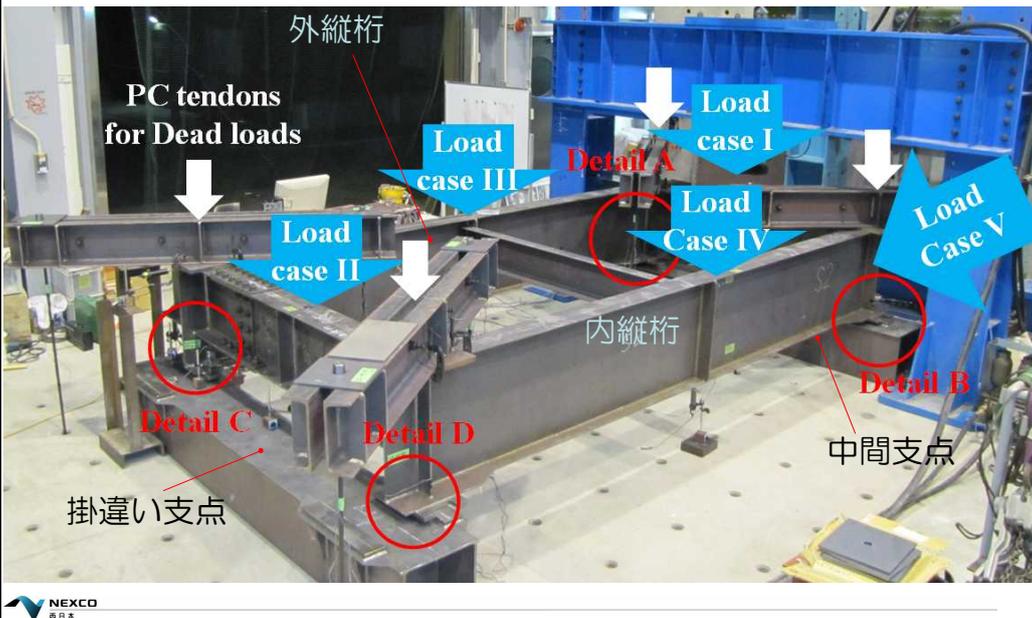
疲労亀裂 再発

抜本的な対策

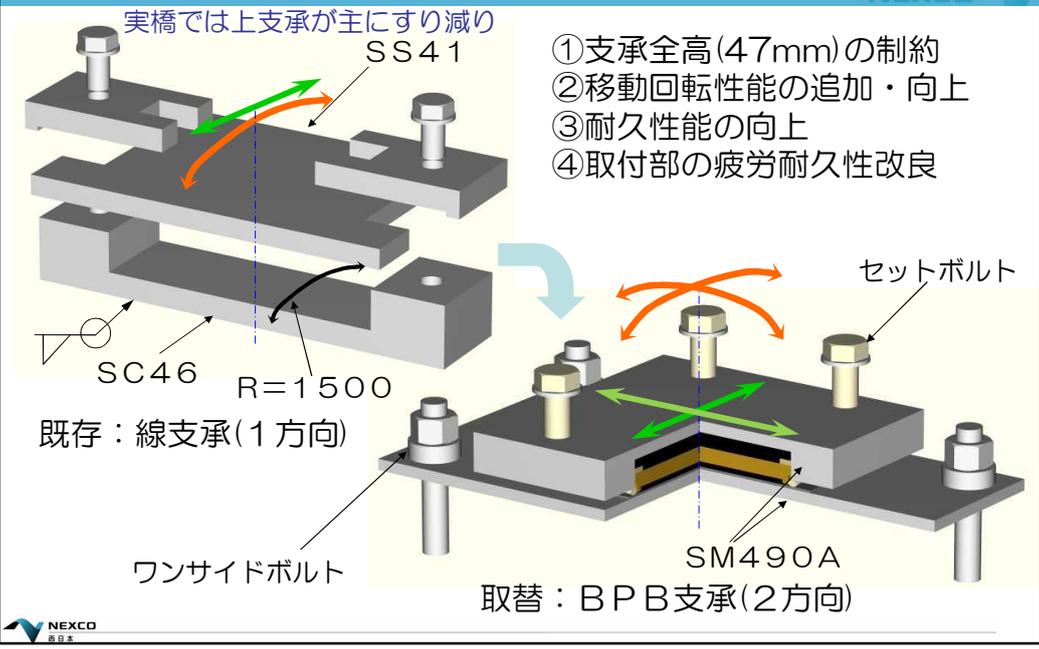
4. 検討経緯と概要



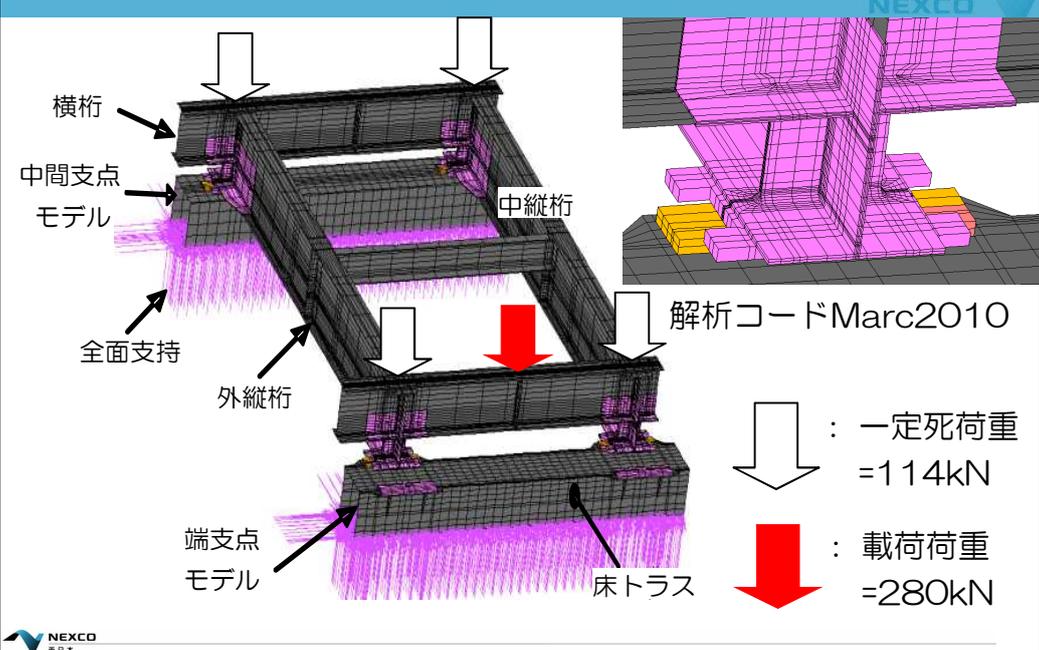
4-2-3. 室内载荷試験とFEM解析

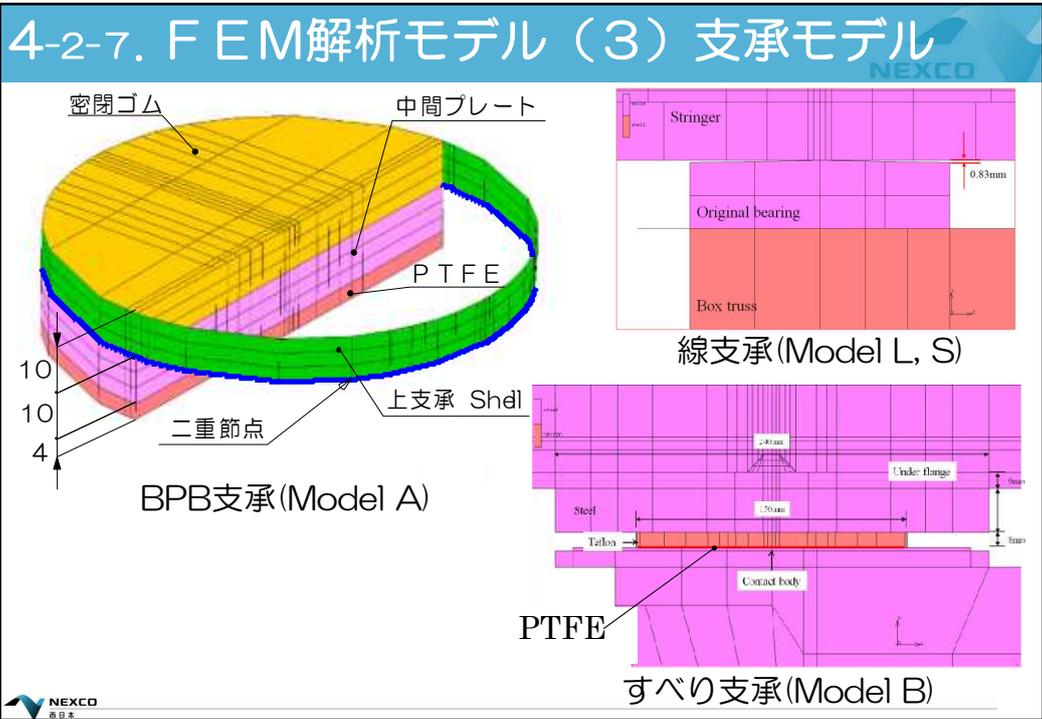
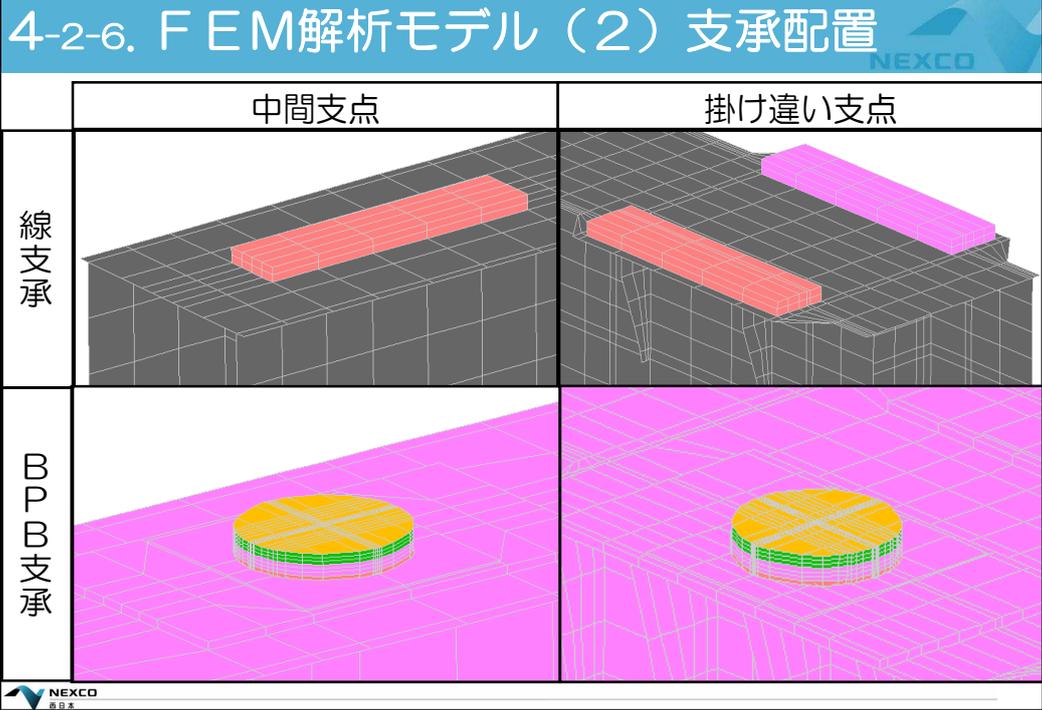


4-2-4. 支承構造



4-2-5. FEM解析モデル(1) 全体図





4-2-8. FEM解析条件

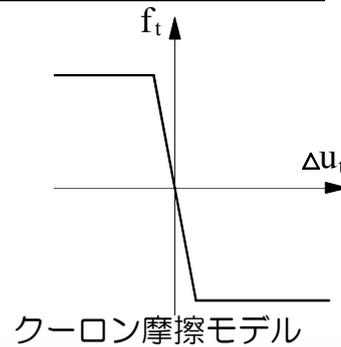


解析条件

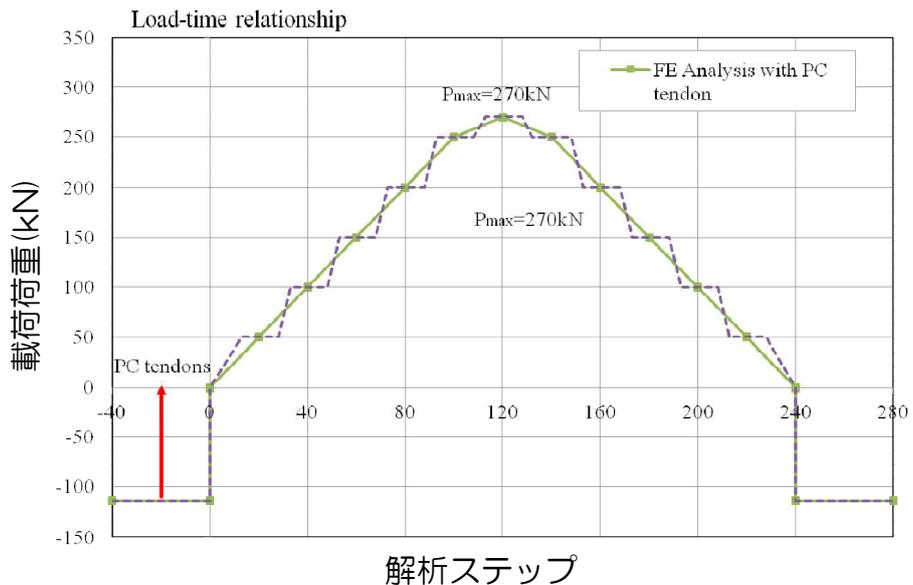
モデル名	モデル 支承	接触条件	摩擦係数 f_c		ゴムのせん断 弾性係数G
			鋼と鋼	鋼とPTFE	
Model L	線支承	線接触	0.3 ~ 0.7	----	----
Model S		面接触	0.3 ~ 0.7	----	----
Model A	BPB支承	面接触 (PTFE)	----	0.04, 0.08	0.4, 0.8
Model B	すべり支承		----	0.04, 0.08	ゴム無

材料定数

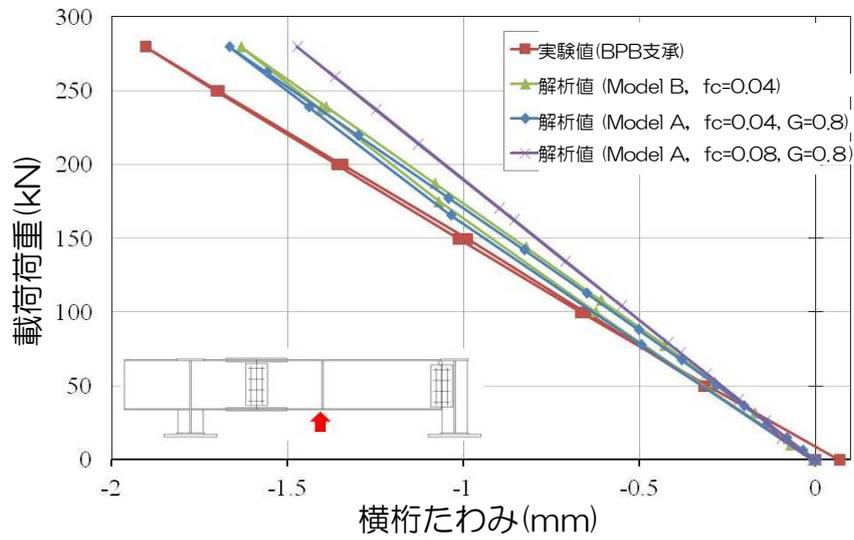
材料区分	ヤング係数 (MPa)	ポアソン 比
鋼	2.06×10^5	0.3
PTFE	637	0.3
密閉ゴム	1.2	0.5
	2.4	0.5



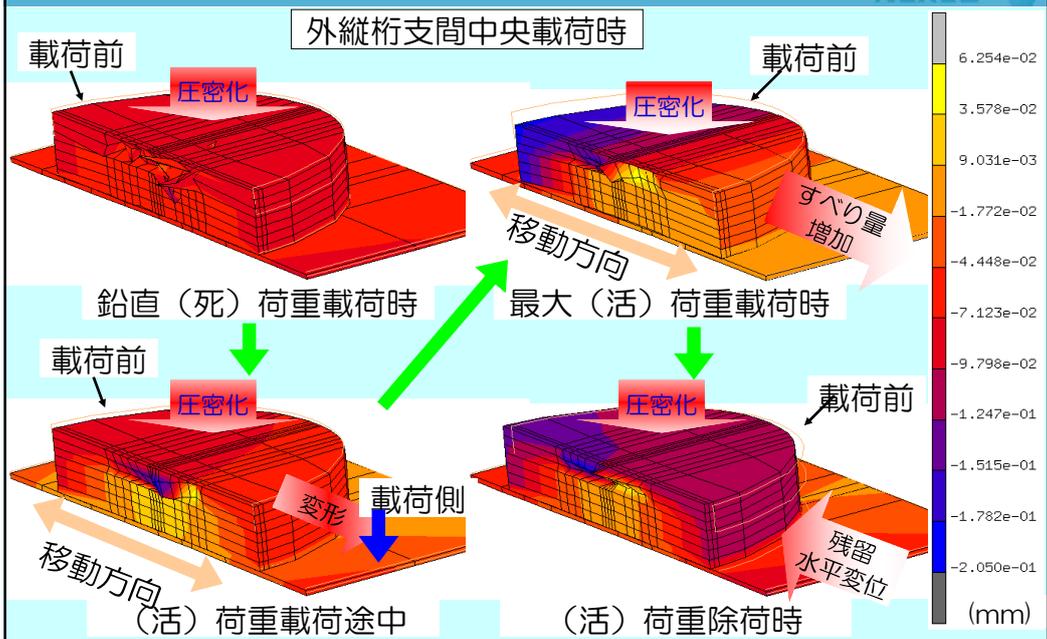
4-2-9. FEM解析条件 载荷荷重と解析ステップ

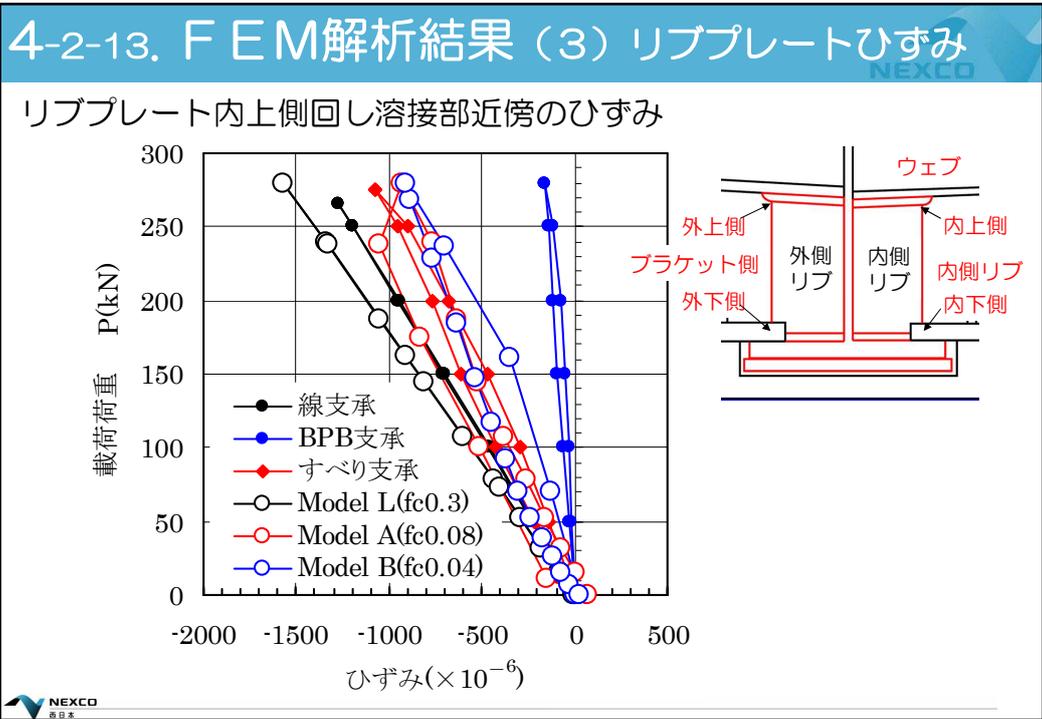
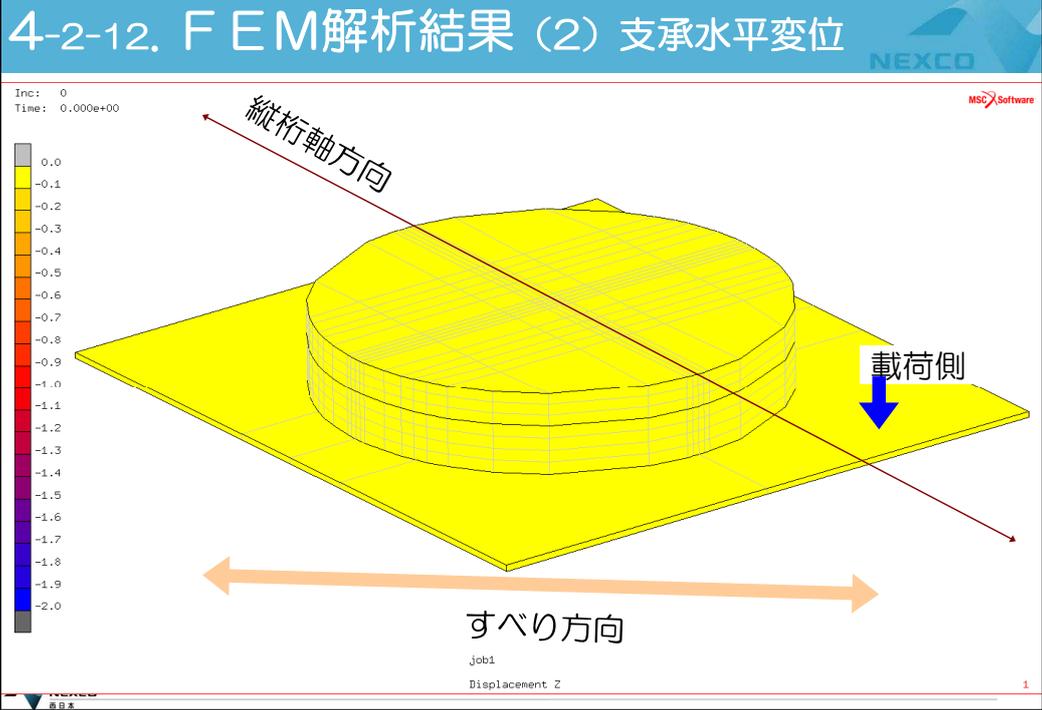


4-2-10. FEM解析結果 (1) 横桁たわみ

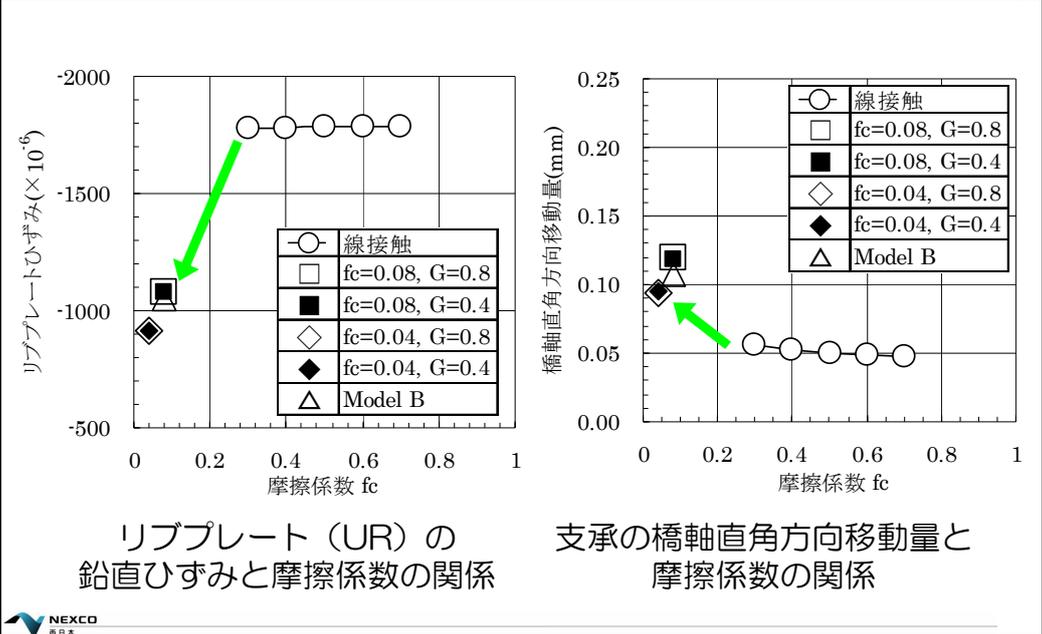


4-2-11. FEM解析結果 (2) 支保水平変位

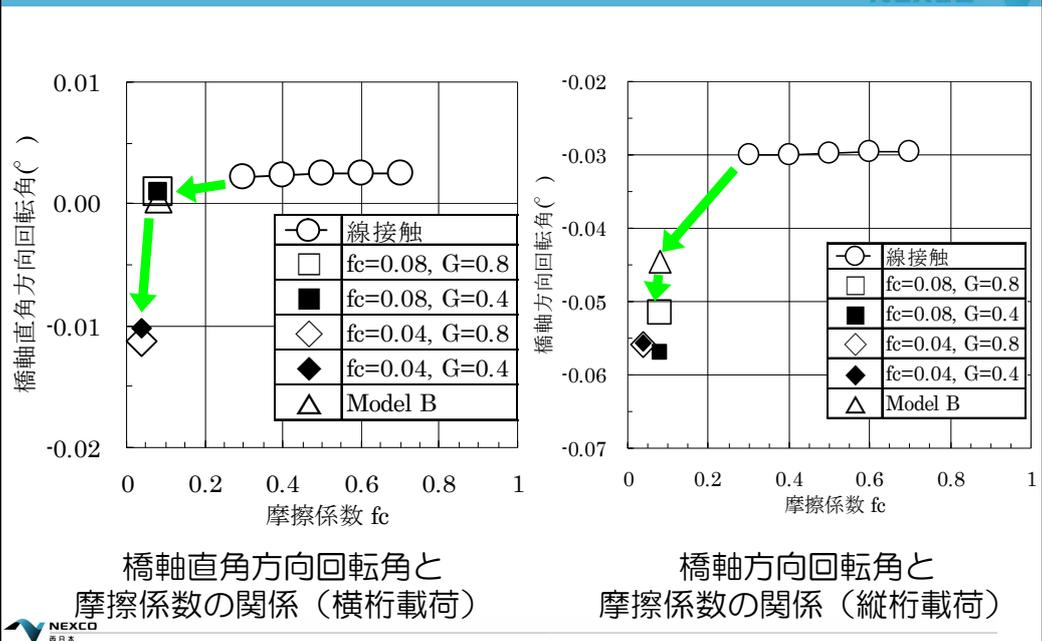




4-2-14. FEM解析結果 (4) 摩擦係数との関係1



4-2-13. FEM解析結果 (5) 摩擦係数との関係2



5. まとめ



関門橋の床組支点周りの疲労対策として検討を進めている支承受替の検討概要をFEM解析を中心に紹介した。

- (1) 実橋詳細調査の結果、既存線支承は機能を殆ど喪失していることが明らかになった。
- (2) 既存線支承の取替支承として、BPB支承とすべり支承について、室内載荷試験及びFEM解析を行った結果、いずれも疲労き裂発生点であるリブプレート周りのひずみを1/2程度以下に低減できることが明らかになった。
- (3) 一般に、支点は可動支持あるいは固定支持条件下でFEM解析が行われ、すべり摩擦を考慮したFEM解析が適用されたことは稀である。
- (4) 支承のモデル化や解析条件（摩擦係数や境界条件等）は確立されておらず、試行状態にあり、本FEM解析は一例に過ぎない。
- (5) 今後、活荷重に対する繰返しすべり試験や繰返し回転試験の分析、支承のFEM解析と分析を進め、より耐久性に優れた支承の選定を行う予定である。
- (6) 実施工は、上記のような更なる実験、解析検討により取替支承の耐久性を評価した後、着手する予定である。

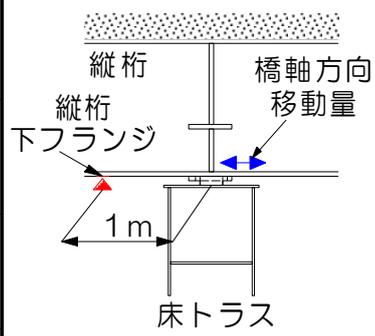
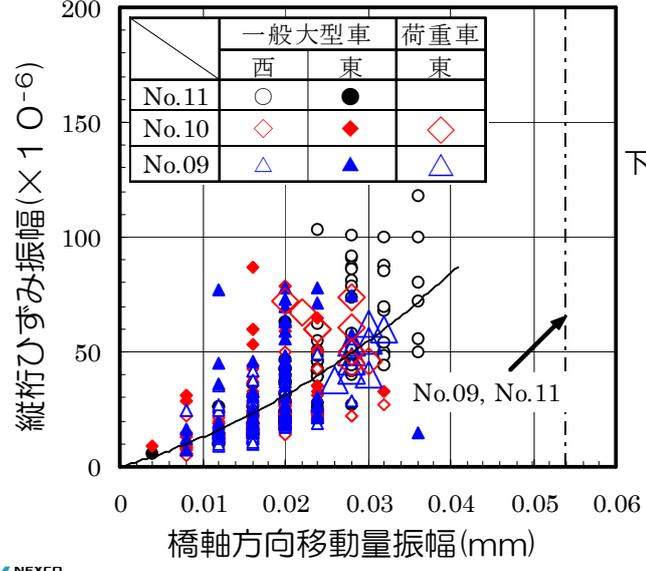


ご清聴ありがとうございました。

参 考

4-2-1. 縦桁ひずみと支承変位の関係

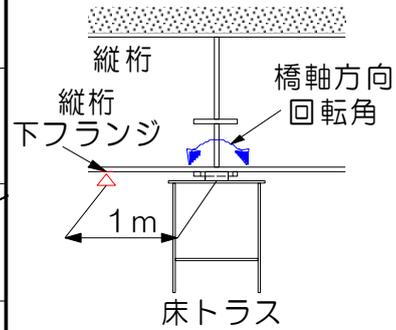
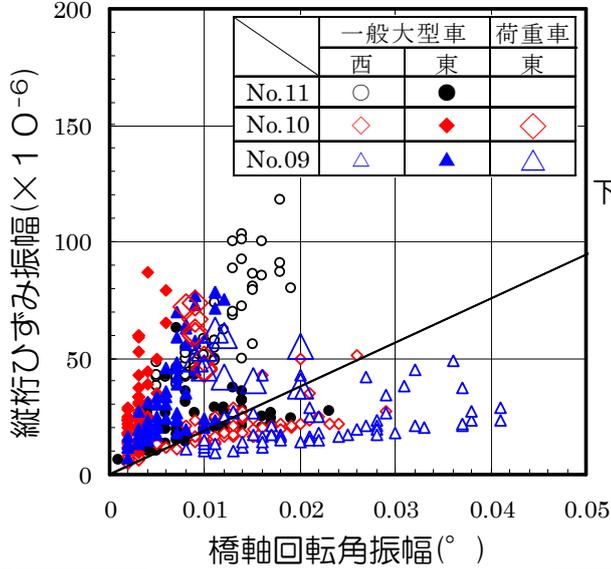
24時間頻度測定結果



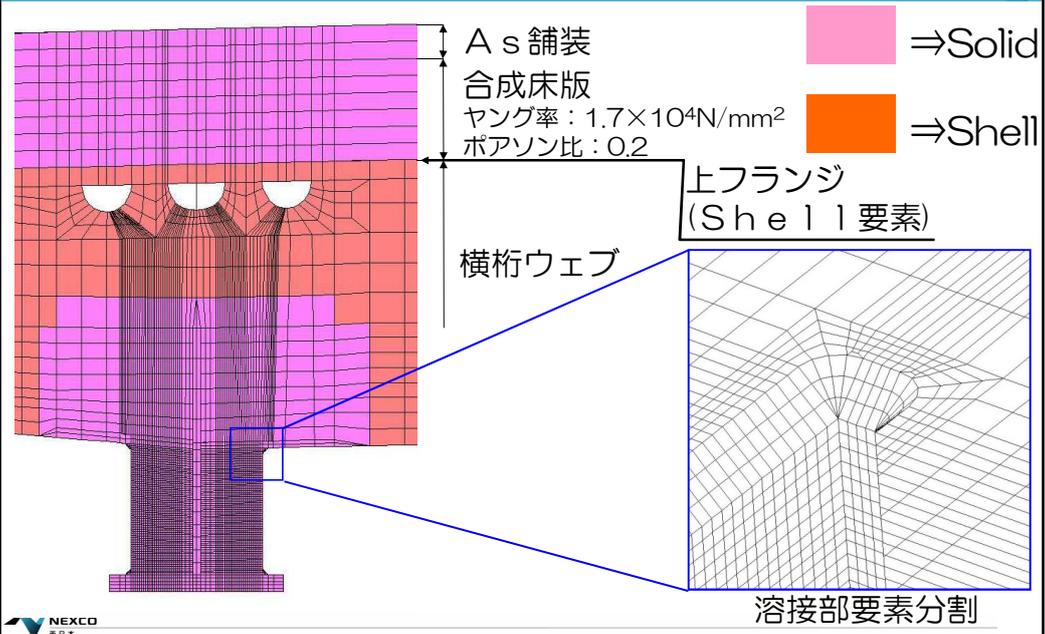
4-2-2. 縦桁ひずみと支承回転角の関係



24時間頻度測定結果

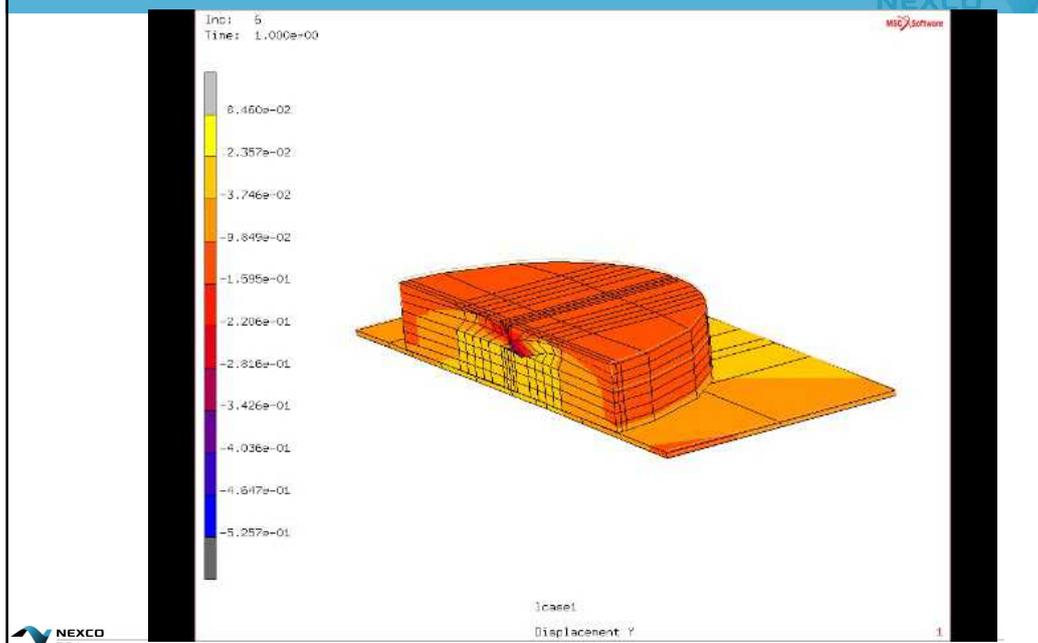


4-1-2. 過年度の検討概要 (FEM解析モデル)



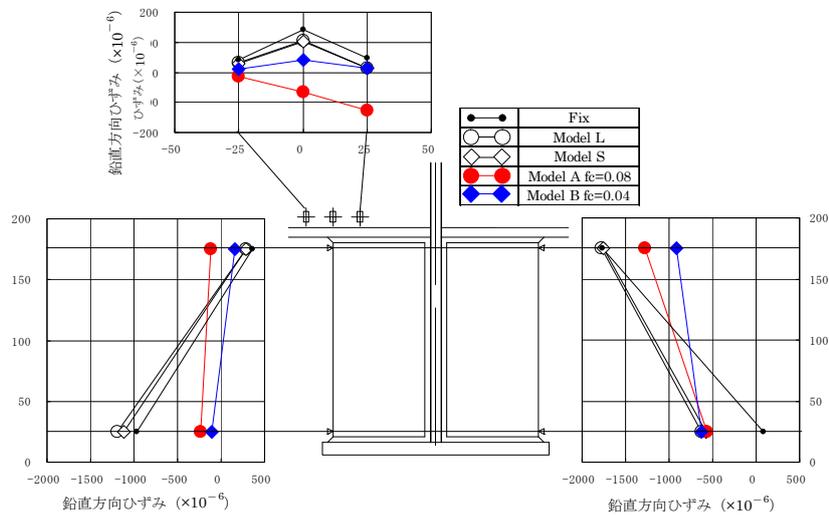
- ①解析コード：Marc2003（非線形構造解析プログラム）
- ②解析モデル：着目格点部および床版に8節点solid要素，その他の部分には4節点shell要素
- ③基本解析モデル：要素数は28万，節点数は32万，最小要素寸法は要素着目部のコネクションプレート溶接止端部において $3\times 3\times 3\text{mm}$
- ④solid要素の使用範囲は，水平方向および鉛直方向にsolid要素の使用範囲を変化させてshell要素で作成した解析モデルと比較するパラメトリック解析を行なうことで決定
- ⑤shell要素とsolid要素の境界部では8節点三角柱型のsolid要素を遷移要素として用いた。
- ⑥solid要素で作成した板厚面は面外曲げを考慮して4層とした。
- ⑦床版と床組横桁の上フランジ間の接合部は要素を剛結し，面外曲げを考慮して床版のsolid要素に上フランジ上面からウェブを延長したshell要素を1要素差し込んだ。
- ⑧溶接モデル：疲労損傷が発生しているコネクションプレートと床組横桁下フランジ間の溶接，および床組横桁の下フランジとウェブ間の溶接をモデル化
- ⑨合成床版の物性値：コンクリート換算し，床版の物性値を変化させるパラメトリック解析を行なった結果，コンクリートのヤング率は $1.7\times 10^4\text{N/mm}^2$ ，ポアソン比は0.2
- ⑩アスファルト舗装の物性値：ヤング率を $1.5\times 10^3\text{N/mm}^2$ ，ポアソン比を0.35

4-2-12. FEM解析結果（2）支承水平変位



4-2-11. FEM解析結果 (3) リブ周りひずみ分布

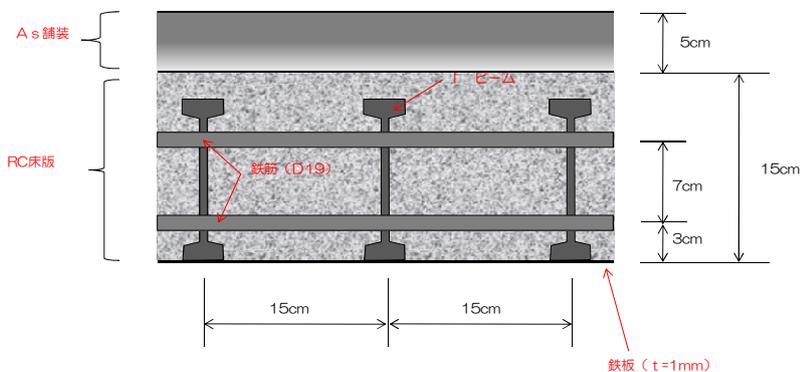
リブプレートまわりのひずみ分布



橋梁部における床版・舗装構成

床版構造 → **I-ビーム床版**

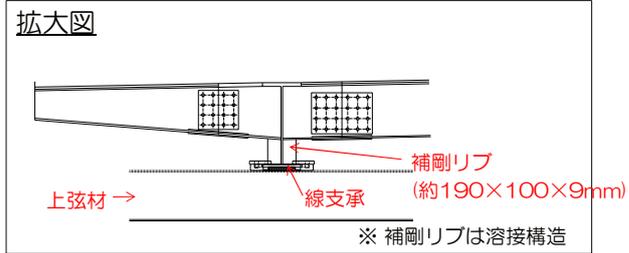
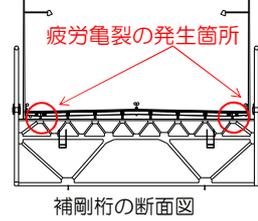
- ・ アスファルト舗装 (t=5cm)
- ・ RC床版 (軽量コンクリート)
(I-ビーム15cm間隔で設置)
(鉄板は、床版下面の型枠としての機能
厚さ1mm、点溶接、シーリングを実施)



床組支承部の疲労亀裂



床板縦桁支点部（外桁）の補剛リブに疲労亀裂（H14年度発見）



応力測定結果(H20年度)を基にFEM解析を行い、中央径間部(170箇所)補修済
→しかし補修後に153箇所(約90%)に疲労亀裂が再発 →**検討が必要**



補剛リブの疲労亀裂
(曲げ応力、せん断応力が集中したと想定される)



半円孔付き増厚部材へ取替
(t=16mm R=40)

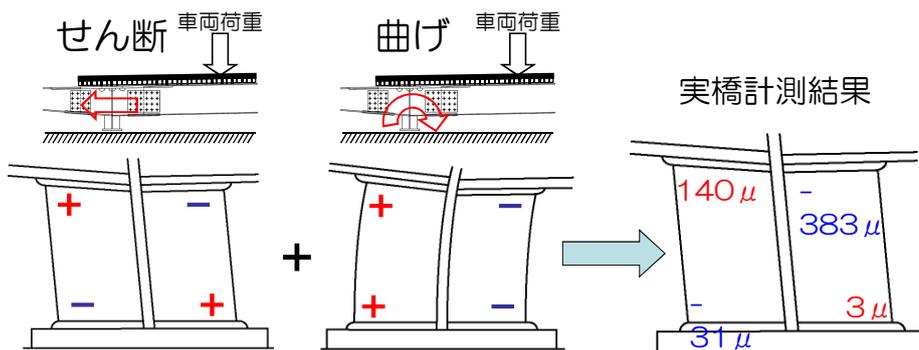


補修前

補修後 38

コネクションプレートの挙動

実橋では曲げ挙動とせん断挙動が合成されている



格点部：橋軸直角方向に可動

→ せん

断挙動を緩和

現在は発錆などで格点部が固定
曲げ挙動による格点部下面の接触

