

平成30年10月10日

第15回新都市社会技術セミナー

鋼床版の疲労耐久性向上に関する研究

プロジェクトリーダー: 坂野昌弘(関西大学)

参加メンバー:

【産】日本橋梁建設協会、建設コンサルタンツ協会近畿支部、
日本非破壊検査工業会、本四高速道路、西日本高速道路、
阪神高速道路

【官】国土交通省近畿地方整備局 道路部、和歌山河川国道
事務所、近畿技術事務所

【学】関西大学、京都大学

研究の背景

長大橋梁や軟弱地盤上に架設される橋梁はもちろん地震の多いわが国では死荷重の低減が極めて有利であること、またプレファブ化が容易なために工期短縮が可能なことなどから、鋼床版に対するニーズは高い。

また、経年劣化したコンクリート床板を更新する際に、軽量化による下部工への負担軽減と、交通規制を要する工期短縮の面から、鋼床版構造は効果的であるとされている。

しかしながら、近畿管内の橋梁点検において、鋼床版縦リブと横リブの交差部に疲労亀裂を多く確認していることから、鋼床版の疲労耐久性の向上が課題となっている。

研究の目的

本研究では、

鋼床版の縦リブと横桁・横リブの交差部を対象として、

既設鋼床版に対しては現在の補強工法よりもさらに効率的な工法を、

また新設あるいは更新用の鋼床版については現在の疲労問題を根本的に解決できるような新しい構造をそれぞれ提案し、

解析や疲労実験によってそれらの耐久性を検証、

最終的にはそれらの工法や構造を実橋に適用して

疲労耐久性の向上効果を検証することを目的とする。

研究内容 ①

既設橋の縦リブと横桁・横リブの交差部に対しては、
従来Uリブ側に用いられてきた摩擦接合型のワンサイドボルトの問題点である

Uリブ内面の摩擦面の品質保証が不要で、
密閉性も確保できる

支圧接合型の新型ワンサイドボルト(TRS)を用いた補強工法を提案し、

解析や疲労実験によりその疲労耐久性を検証する。

TRS: 水密性(5気圧)、気密性(0.1気圧)検証済!

引き抜き強度≒10tonf(Φ16、板厚12mm)!

研究内容 ②

新設およびRC床版等の更新用鋼床版に対しては、
リベット接手と同様な支圧接合型の新型ワンサイドボ
ルト(TRS)を用いて、疲労上の弱点となる溶接接手
を使用しない構造を提案することにより、
従来の鋼床版の疲労問題を根本的に解決する。
これらの構造に対しても解析や疲労実験を行い、疲
労耐久性を検証する。

研究内容 ③

①および②で疲労耐久性を検証した補強工法と新しい構造を実際の橋梁で適用し、

既設橋に対しては補強前後の実働応力計測により、

新設橋や更新用の鋼床版に対しては設置後の実働応力計測により、

それらの有効性を検証する。

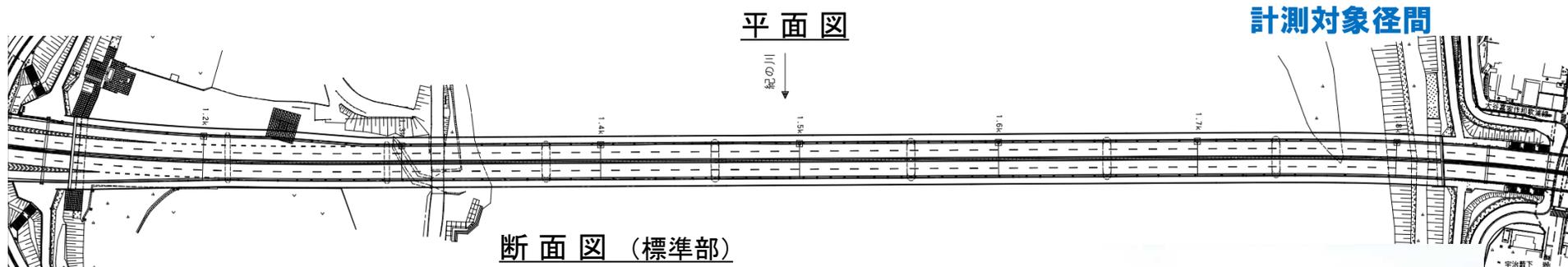
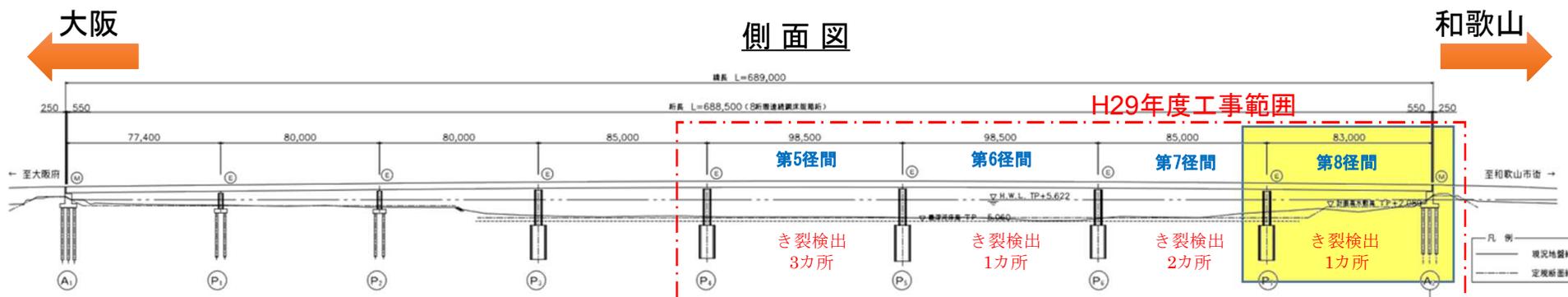
平成29年度の研究

- ① 実橋での応力計測による疲労損傷状況の把握
- ② FEM解析による実橋の応力状態の再現
- ③ 疲労実験による横リブと縦リブの交差部に生じる疲労亀裂の再現

①実橋での応力計測

対象橋梁

紀の国大橋 (8径間連続鋼床版箱桁)



平成15年3月 竣工

和歌山

大阪



H29年9月1日現在

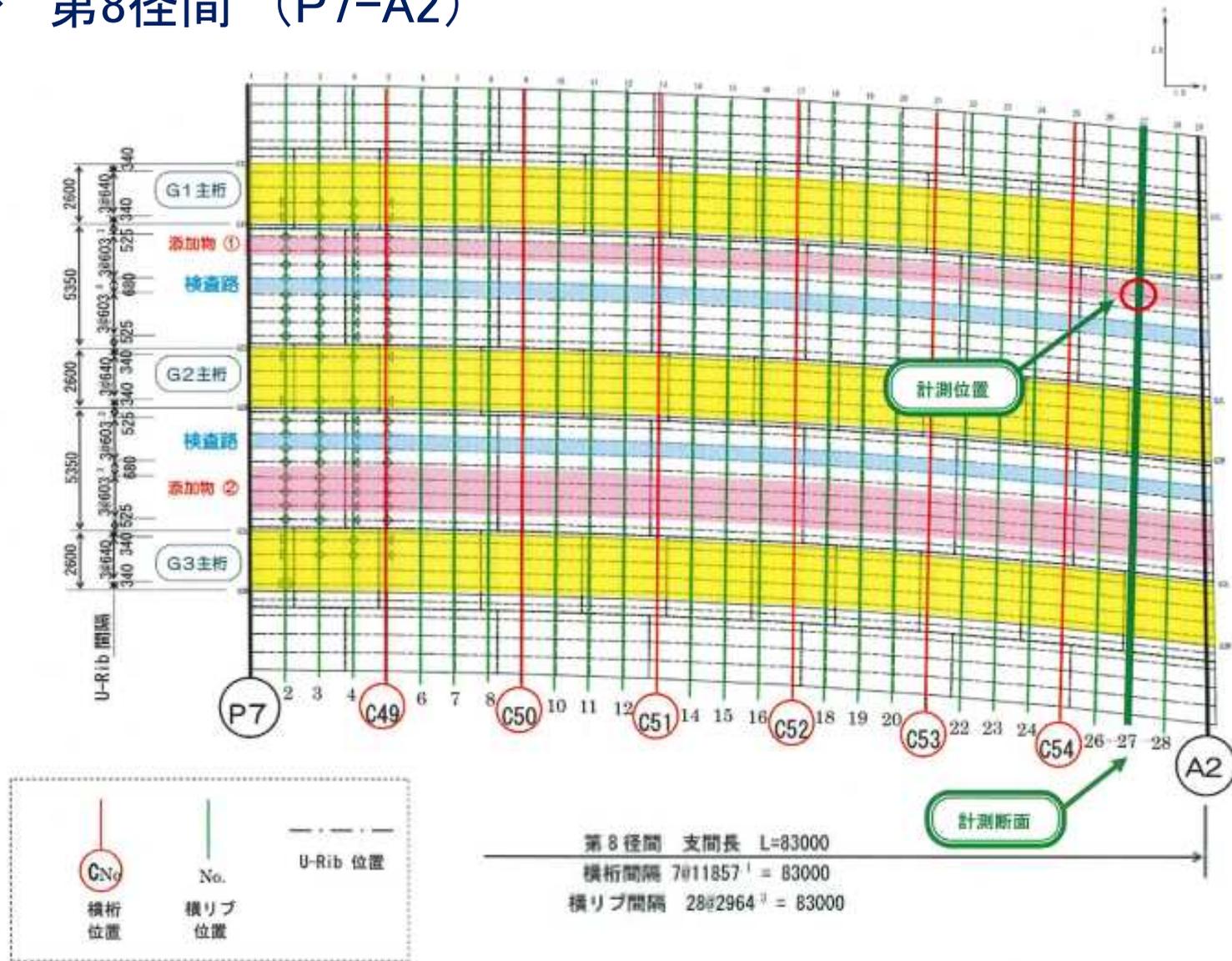


H29年 第2径間 (P1-P2) 補強工事状況

調査内容

- ▶ 測定点：縦リブ・横リブ交差部の補強箇所
- ▶ H29年度：対策工事前の応力測定（現状把握）
 - 2018年3月5日～3月9日 実施
 - 3/5 動的載荷試験（試験車走行）
 - 3/6 72時間応力頻度測定開始
 - 3/7 応力頻度測定1日目
 - 3/8 応力頻度測定2日目
 - 3/9 応力頻度測定3日目、撤収
- ▶ H30年度：対策工事後の応力測定（対策効果の検証）
- ▶ 対策工事前・後の比較検討

❖ 第8径間 (P7-A2)



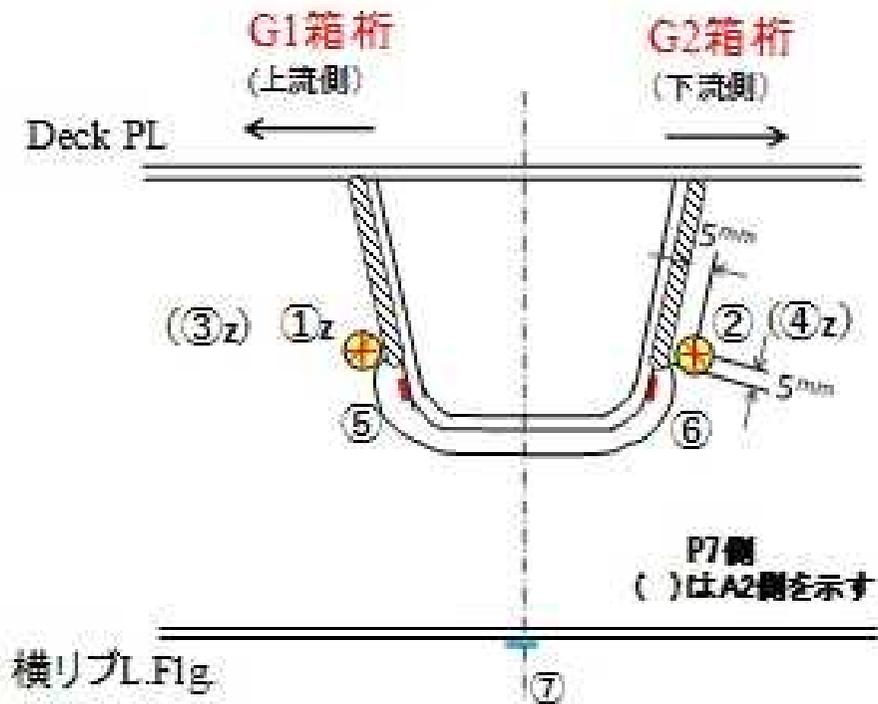
❖ 走行試験載荷車(散水車)



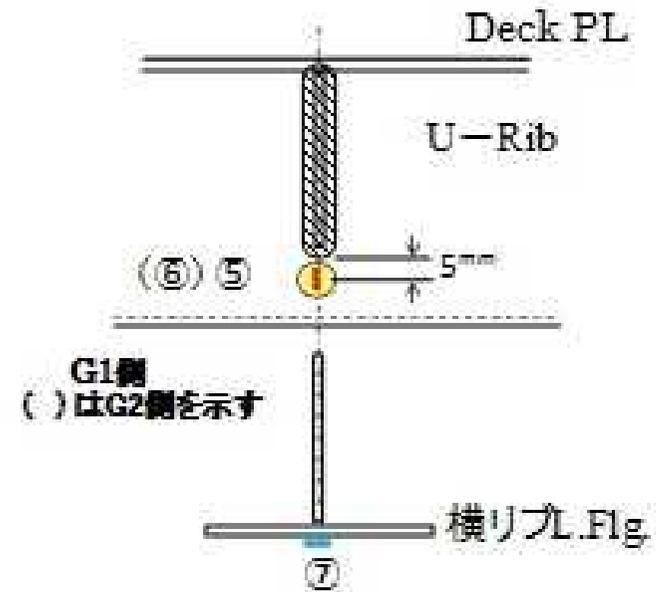
❖ 走行試験載の状況



❖ ゲージ位置



横リブ
L.Flг 下面



	3軸 (1mm) 4枚
	1軸 (1mm) 2枚
	1軸 (5mm) 1枚
合計	7枚



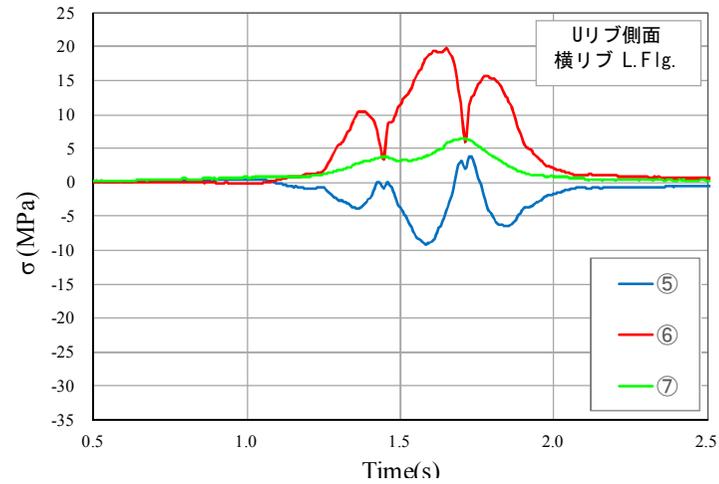
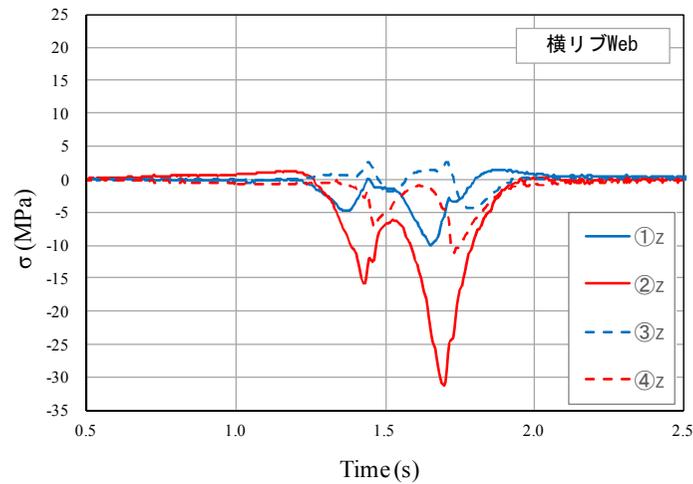
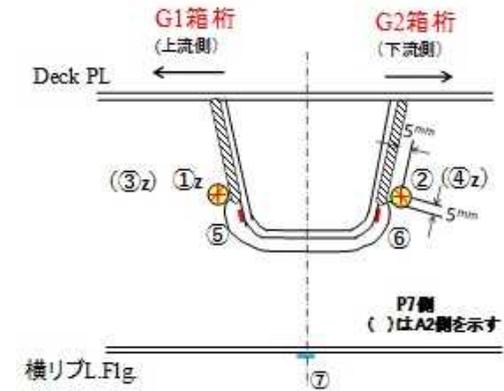
3軸ゲージ
各軸の方向

計測結果

動的載荷試験結果

ゲージ位置	No.	1回目		2回目		3回目	
		σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}
横リブ Web	P7側 ①z	1	-10	1	-12	2	-7
	②z	1	-31	1	-30	1	-26
	A2側 ③z	3	-4	1	-7	6	-3
	④z	0	-11	0	-13	2	-7
Uリブ側面	⑤	4	-9	6	-7	1	-12
	⑥	20	0	19	0	21	0
横リブ L.Flg. 下面	⑦	6	0	6	0	6	0

(単位：MPa)

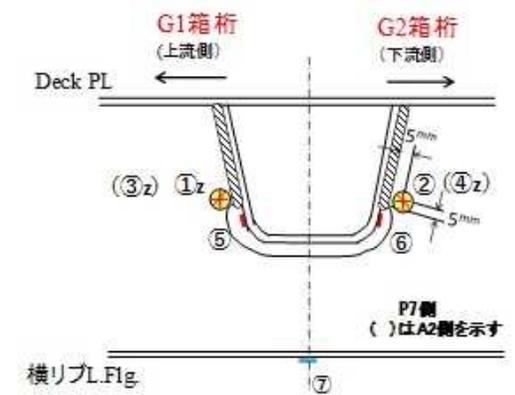


動的載荷試験結果 - 波形(1回目)

応力頻度測定の結果

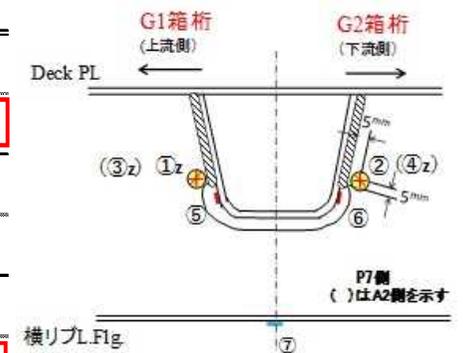
ゲージ位置	No.	レインフロー法 最大応力範囲	ピークバレー法 最大・最小応力		
		$\Delta\sigma_{\max}$	σ_{\max}	σ_{\min}	
横リブ Web	P7側	①z	46	8	-40
		②z	62	4	-58
	A2側	③z	46	18	-28
		④z	40	16	-26
Uリブ側面	⑤	56	24	-32	
	⑥	54	46	-8	
横リブ L.Flг. 下面	⑦	16	16	-2	

単位：(MPa)



疲労寿命

ゲージ位置	No.	強度等級	許容応力範囲 (MPa)	応力打切限界 (MPa)	最大応力範囲 (MPa)	等価応力範囲 (MPa)	寿命 (年)	
横リブ Web	P7側	①z	F	65	21	46	28	1819
		②z	F	65	21	62	32	439
	A2側	③z	F	65	21	46	28	2283
		④z	F	65	21	40	26	8101
Uリブ側面	⑤	G	50	15	56	22	1085	
	⑥	G	50	15	54	24	666	
横リブ L.Flг. 下面	⑦	D	100	39	16	---	∞	
横リブ Web	P7側	①z	H'	30	7	46	16	104
		②z	H'	30	7	62	18	32
	A2側	③z	H'	30	7	46	14	114
		④z	H'	30	7	40	13	243
Uリブ側面	⑤	H'	30	7	56	13	145	
	⑥	H'	30	7	54	14	94	
横リブ L.Flг. 下面	⑦	H'	30	7	16	11	2269	



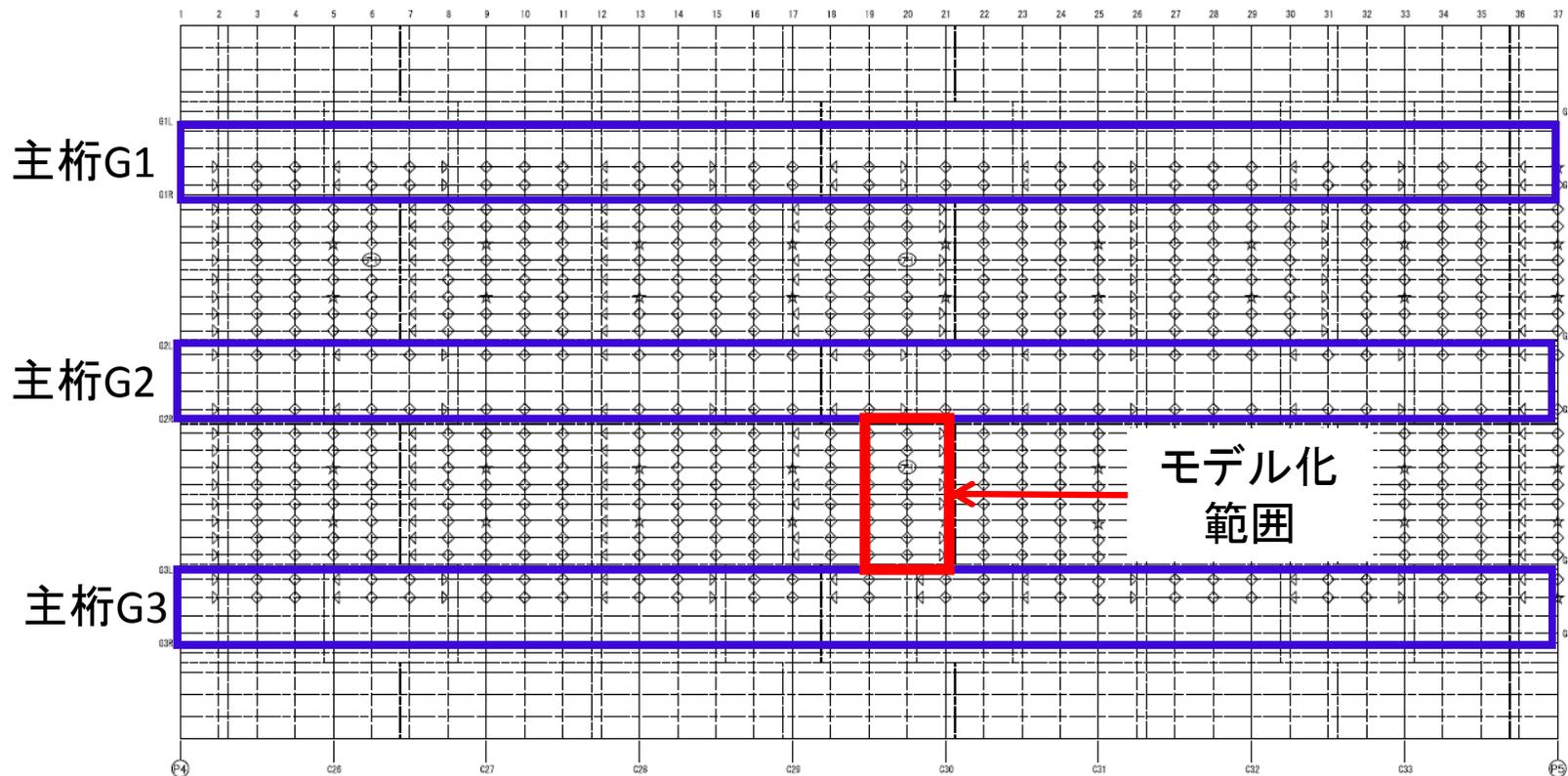
まとめ

- ① 実橋において補強前の鋼床版のUリブ・横リブ交差部の応力状態を把握することができた。
- ② 今後、補強工事が実施された後、今回と同じ計測位置で応力測定を行って補強前後の応力を比較し、疲労対策効果の検証を行う予定である。

② FEM 解析

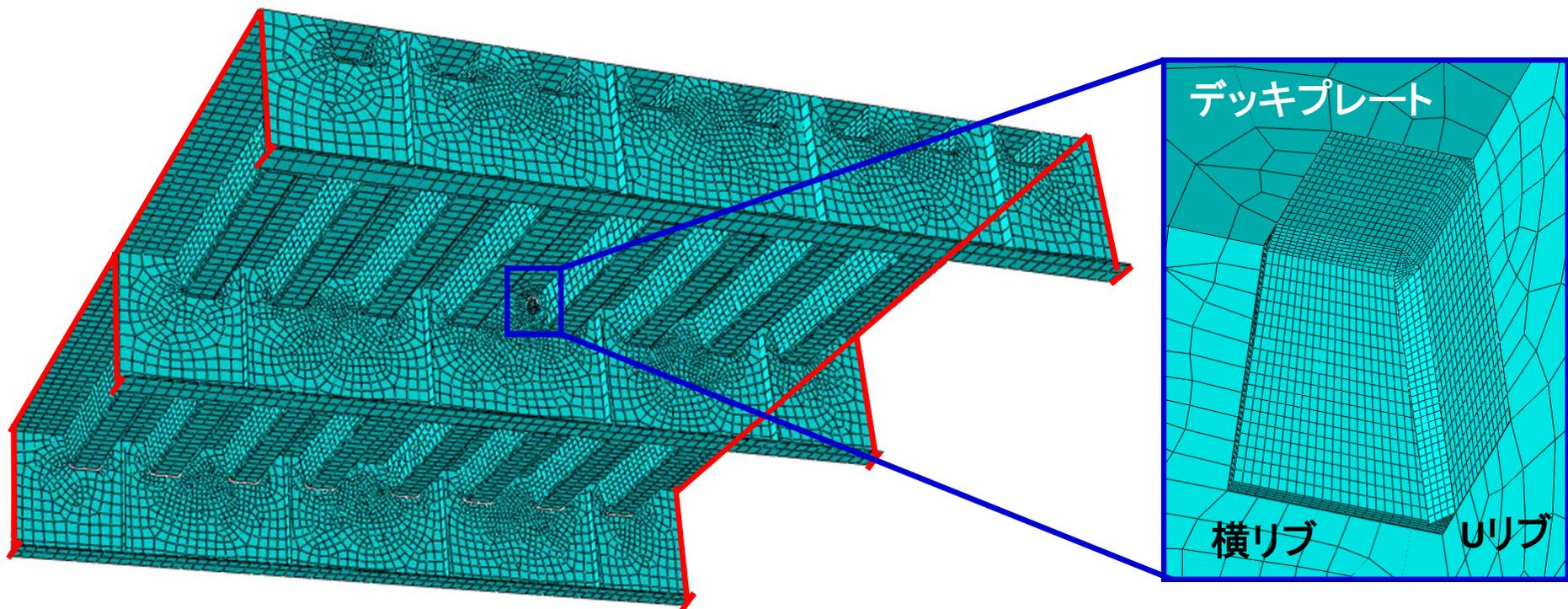
実橋モデルの選定範囲

- き裂の発生数が最も多かったP4-P5径間のうち、き裂が発見された、主桁G2-G3間の支間中央付近をモデル化する。
- モデル化する範囲は影響線長を考慮して、主桁間のUリブ8本、横リブ3本分の範囲とする。



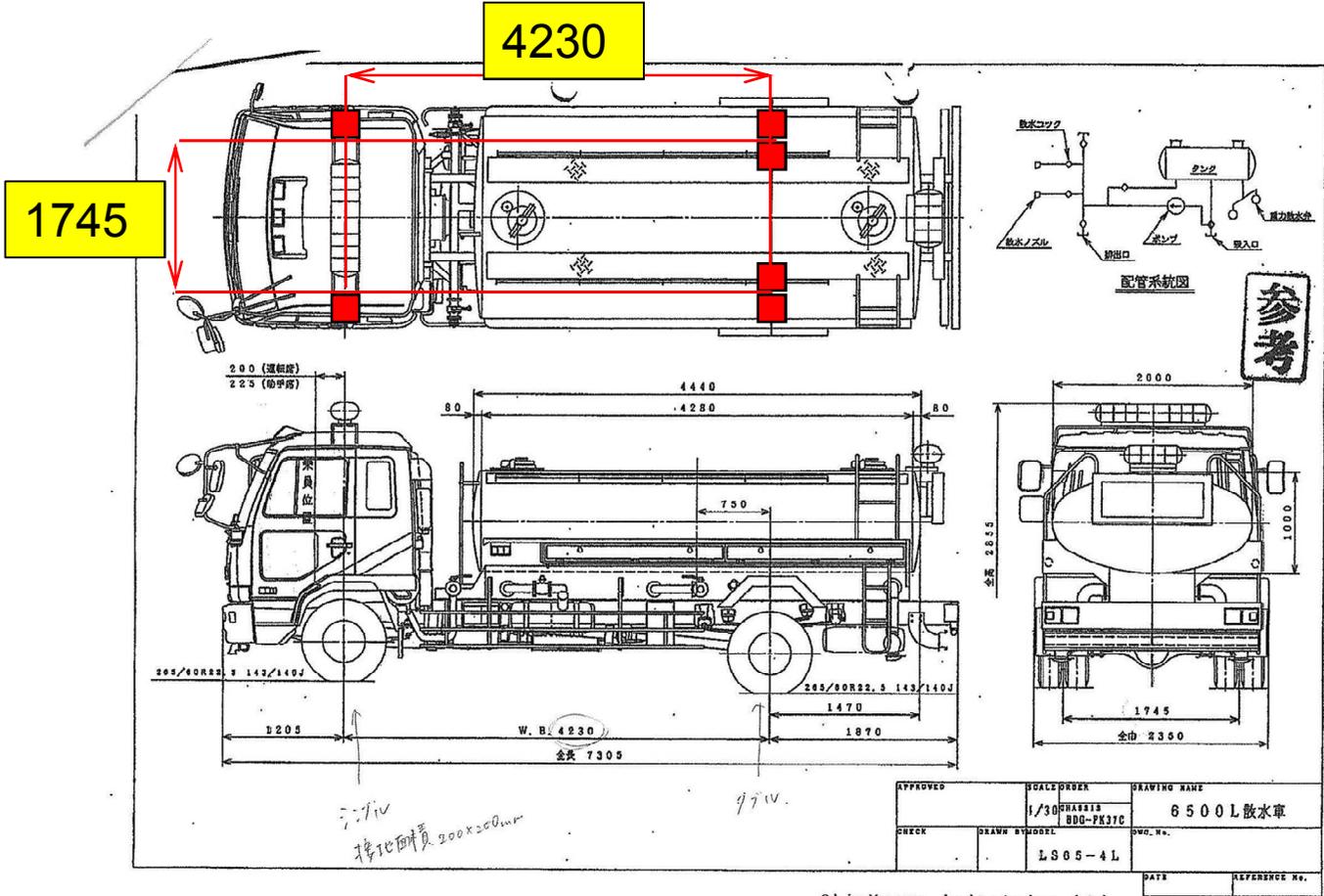
実橋モデル(実測応力との比較)

- 板状のシェル要素によるモデル化を基本とし、着目部の一部のみソリッド要素を用いてメッシュを細分化した。
- 境界条件として、赤線位置で全方向の変位を固定した。

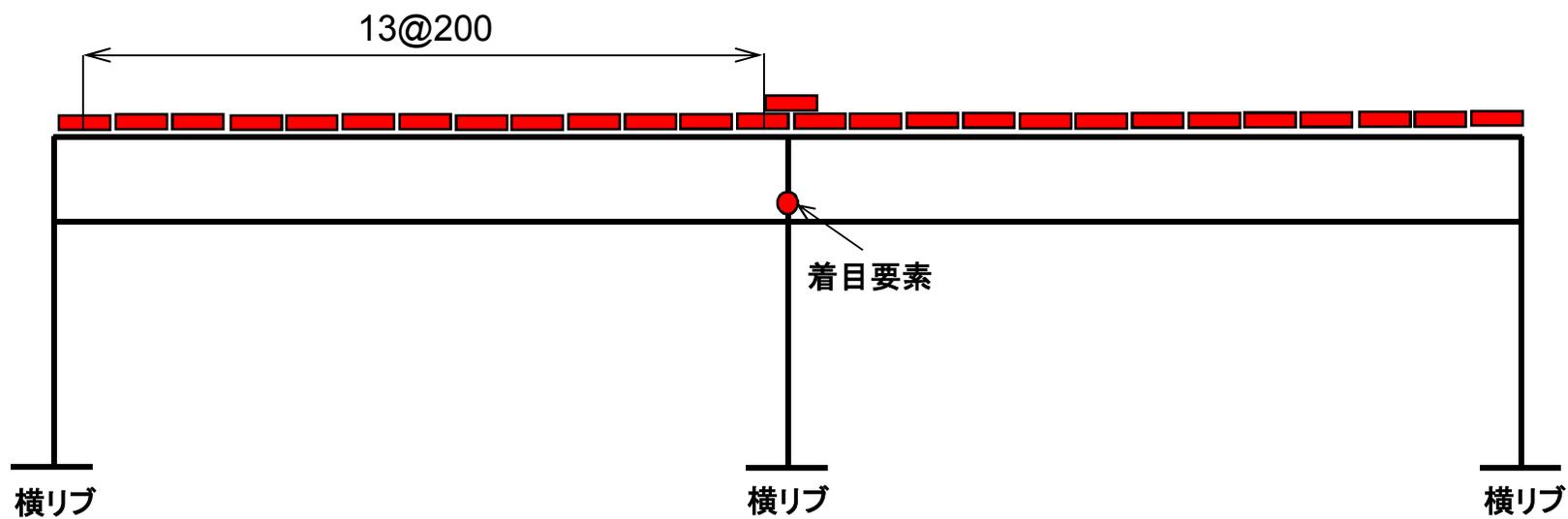
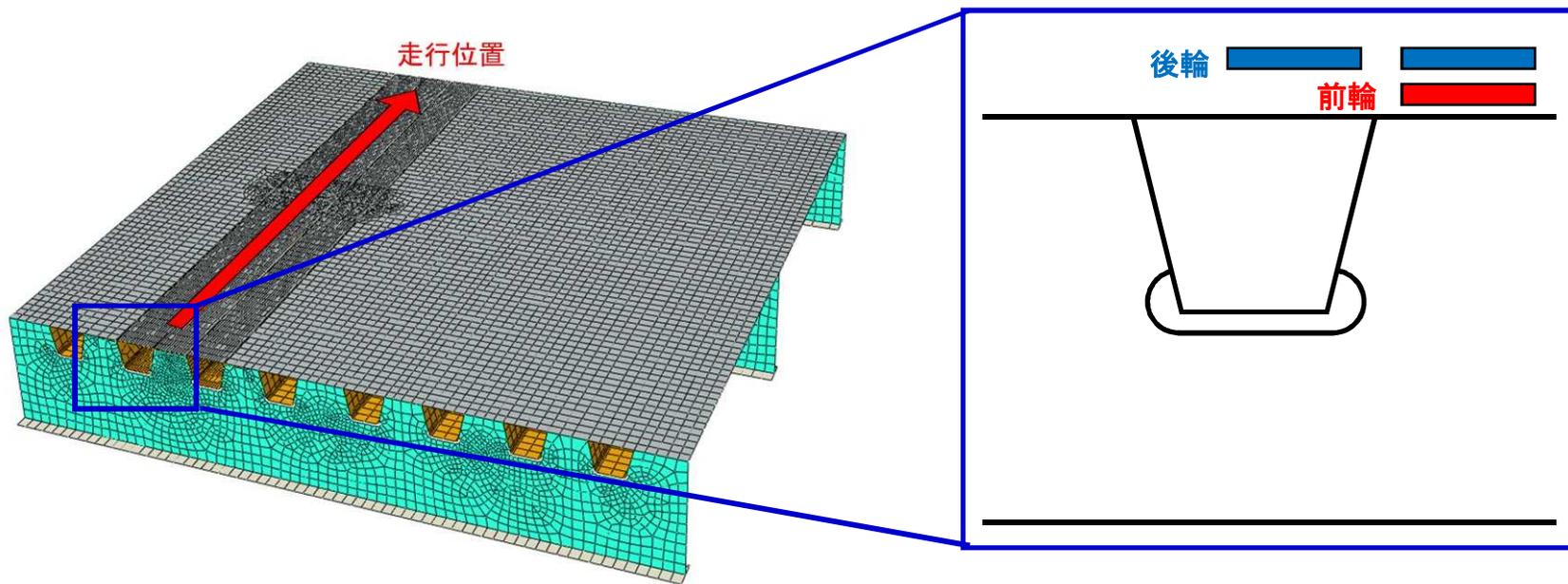


載荷荷重

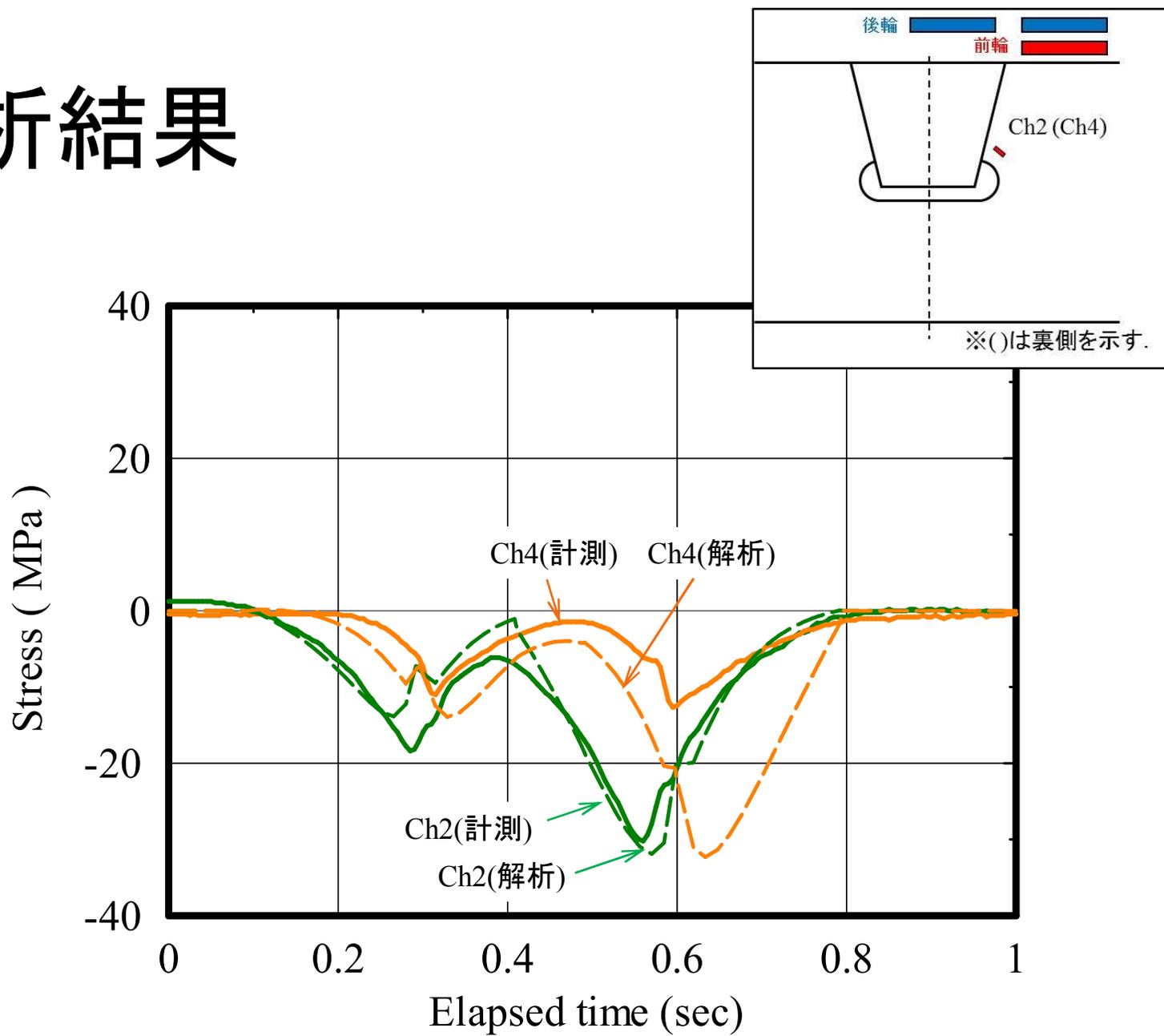
- 荷重は、散水車の軸重を考慮し、前輪の軸重4.2t、後輪の軸重8.5tとし、設置面積は200mm×200mmとする。



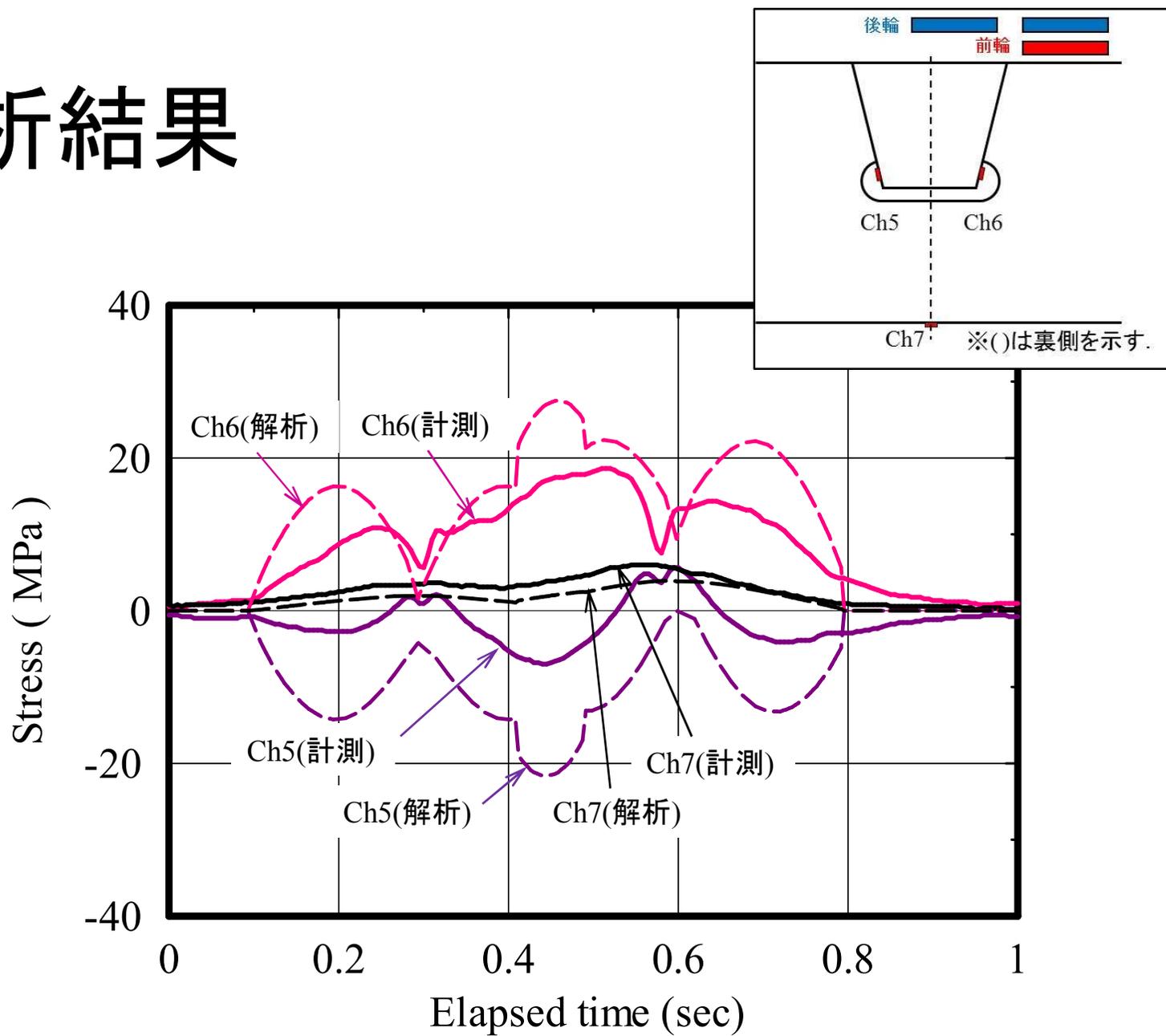
走行位置



解析結果



解析結果

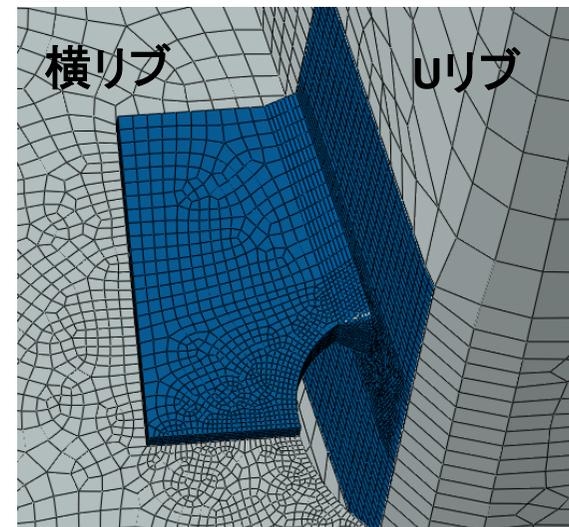
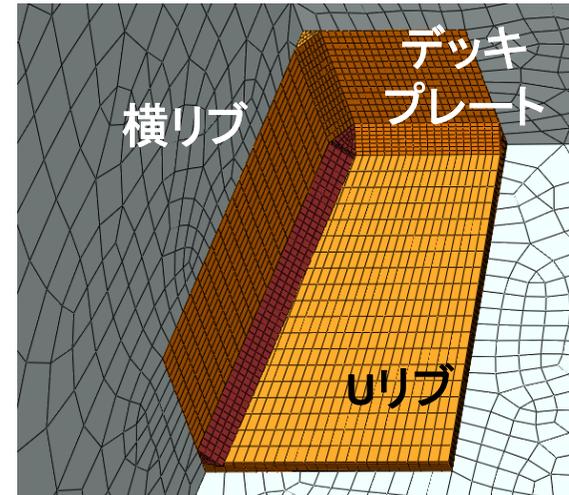
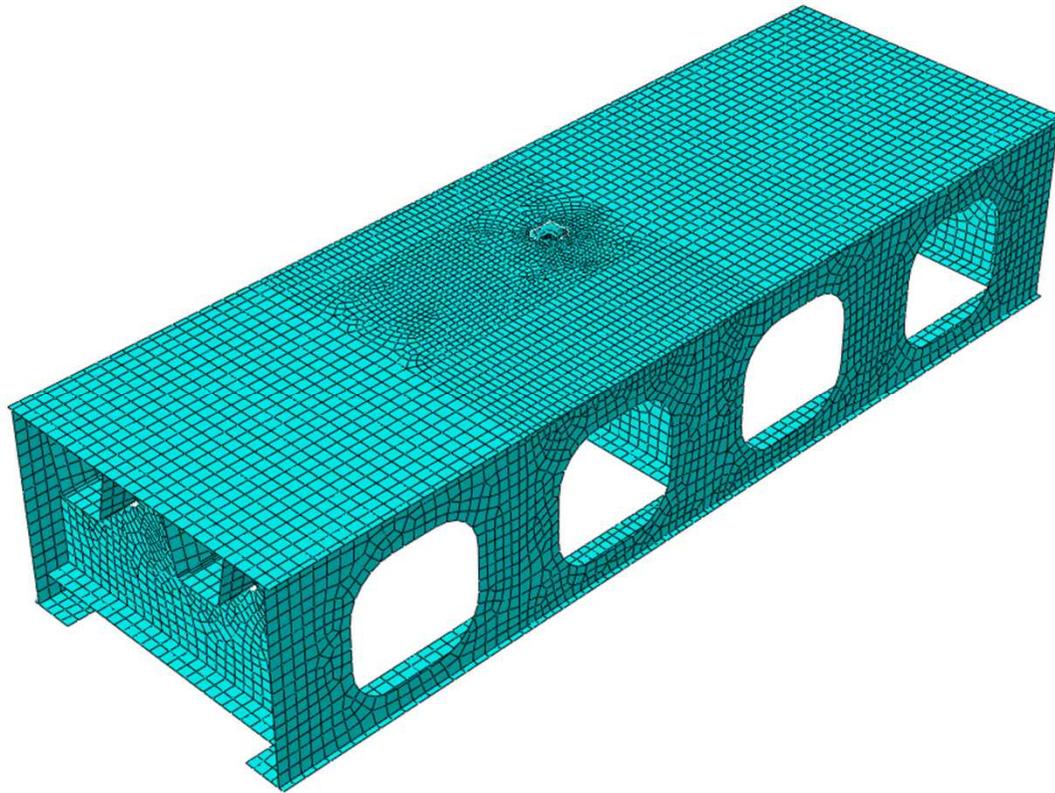


実橋モデルのまとめ

- 実橋を模擬した有限要素解析を実施した結果、解析値は、応力の計測値を概ね再現することができた。

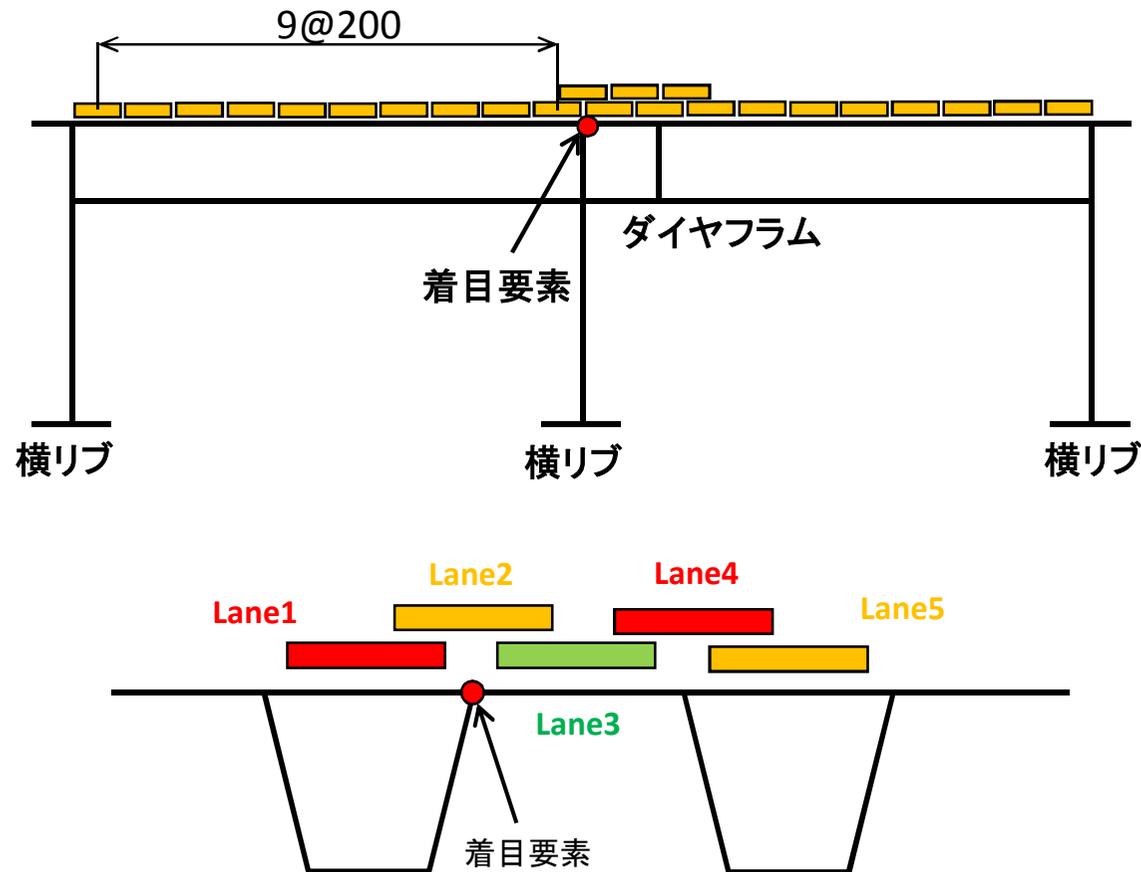
試験体モデル(載荷位置を決定)

- 板状のシェル要素によるモデル化を基本とした。
- 着目部では詳細な応力を把握するために、ソリッド要素を用いた。

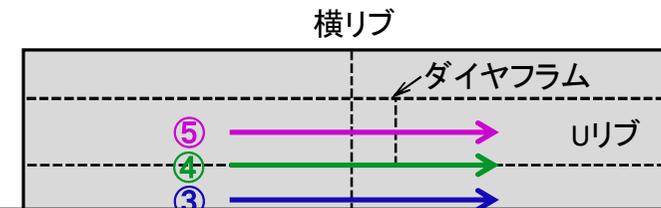
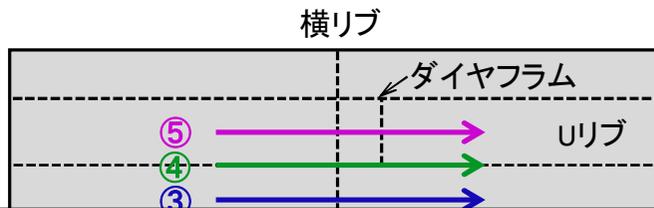
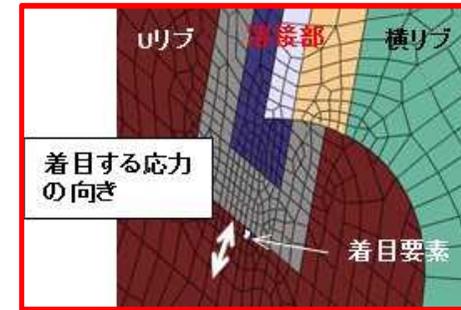
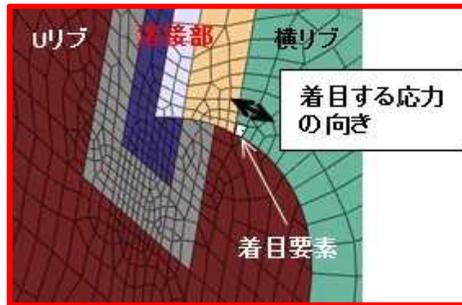


載荷条件

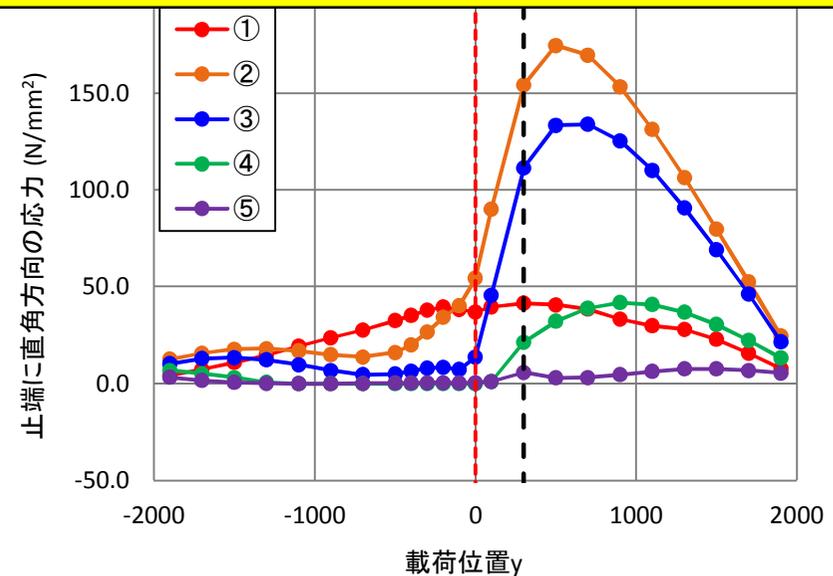
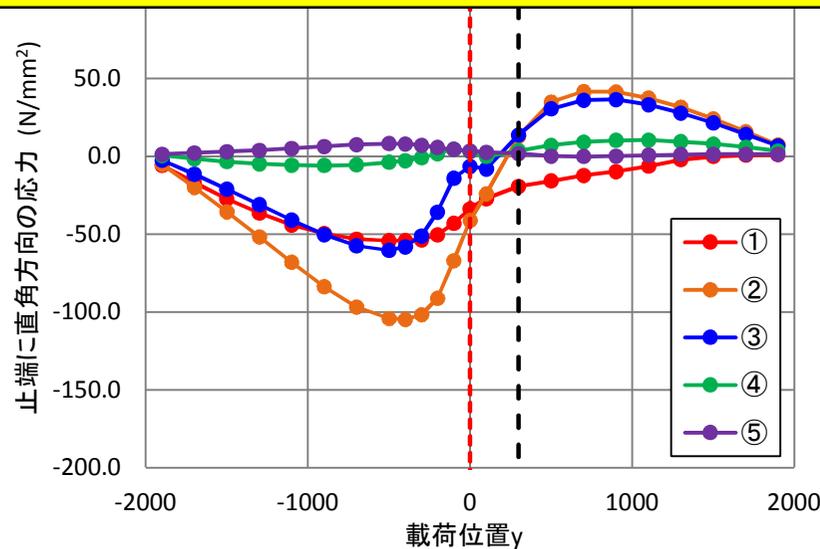
- 載荷荷重は200 × 200mmの範囲に合計50kN. (T荷重を再現)
- 橋軸方向に200mmピッチで載荷.
- 橋軸直角方向には, Uリブ間に載荷する場合と, Uリブを踏むように載荷する場合を再現するために, レーン①-⑤のように載荷.



解析結果(橋軸直角方向の载荷位置の影響)

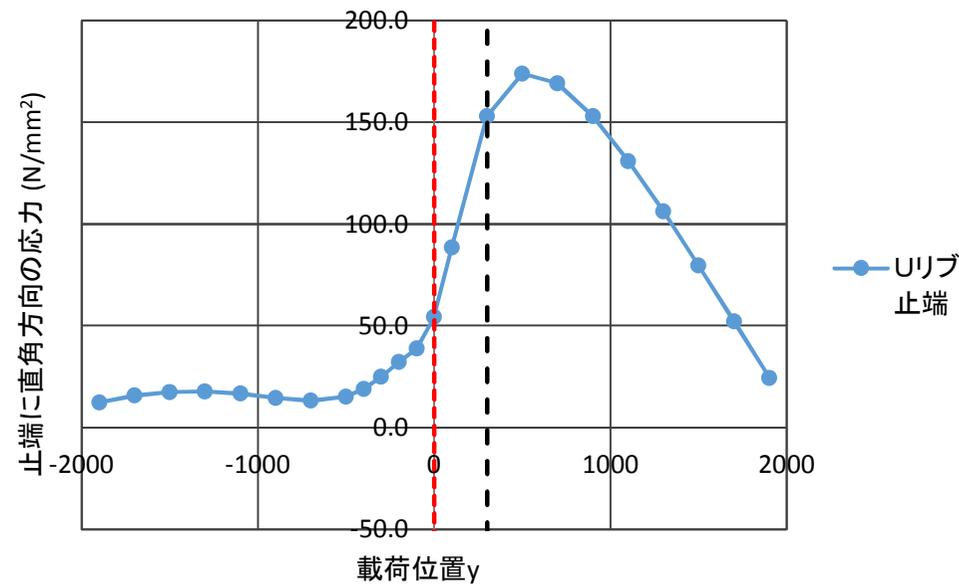
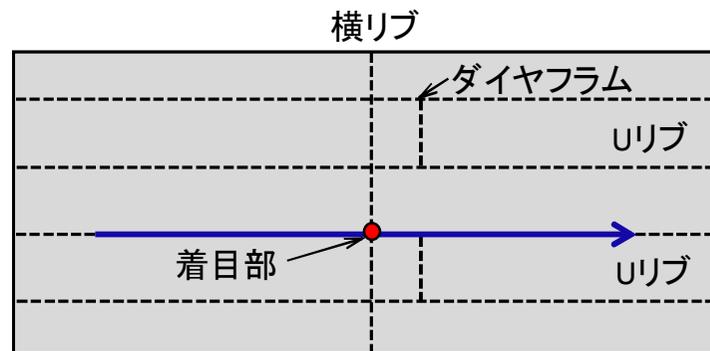
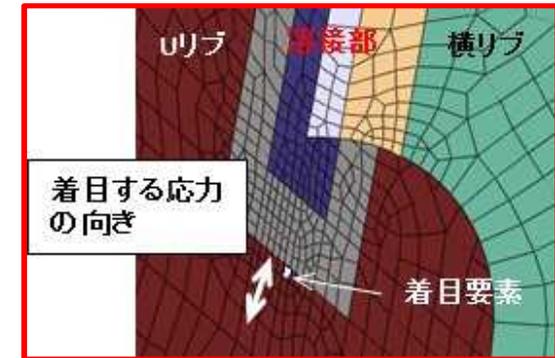


着目要素を踏むように载荷するレーン②で、応力が最も大きくなる。



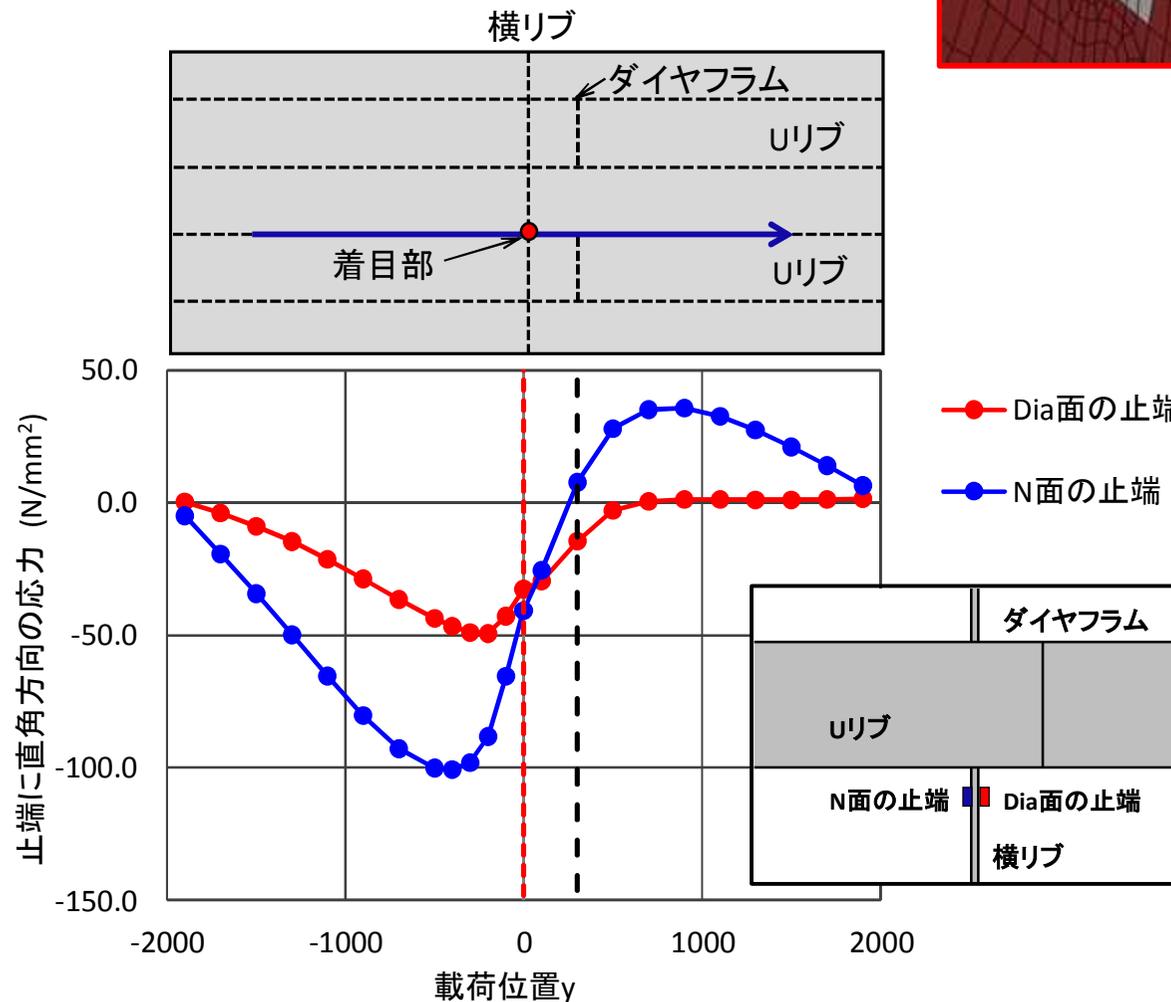
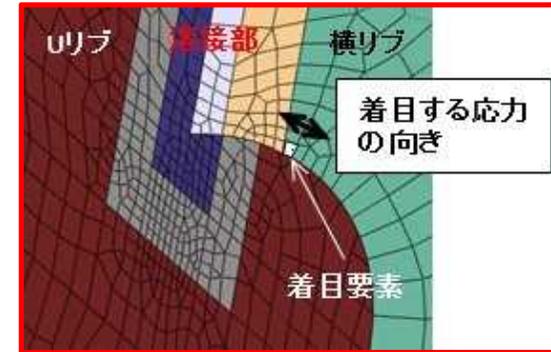
解析結果(Uリブ側の止端)

- ・ダイヤフラム位置より200mm外側に荷重した場合、着目要素の応力が大きくなった。
- ・Uリブ側の止端の応力範囲は、170MPaであった。



解析結果(横リブ側の止端)

- ・横リブから-500mm位置に载荷した場合、着目要素の応力が最も大きくなった。
- ・Dia面の止端より、N面の止端の方が応力が高くなった。
- ・Dia面の止端の応力範囲は、140MPaであった。

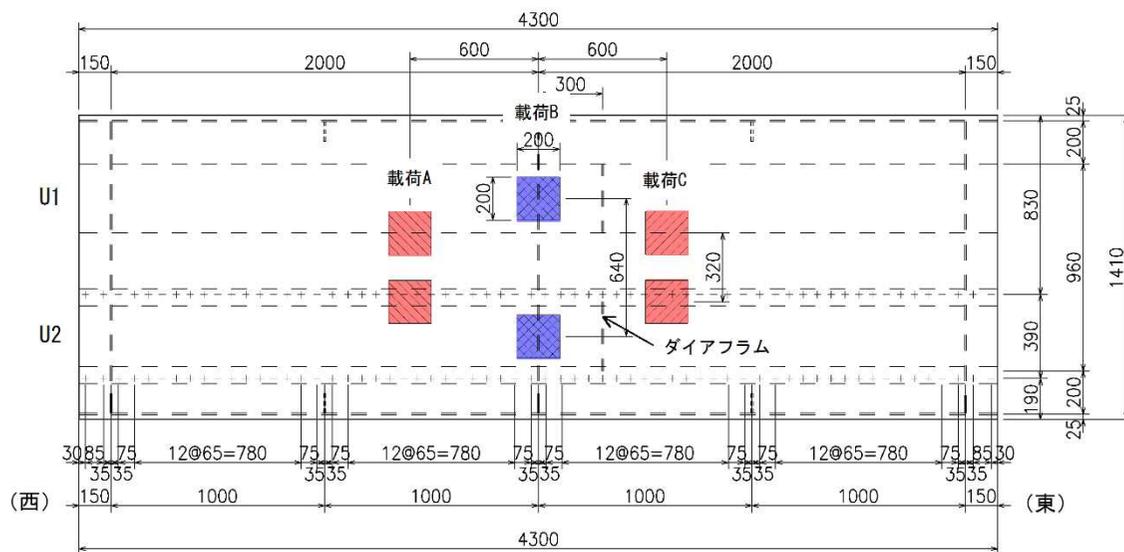


供試体モデルのまとめ

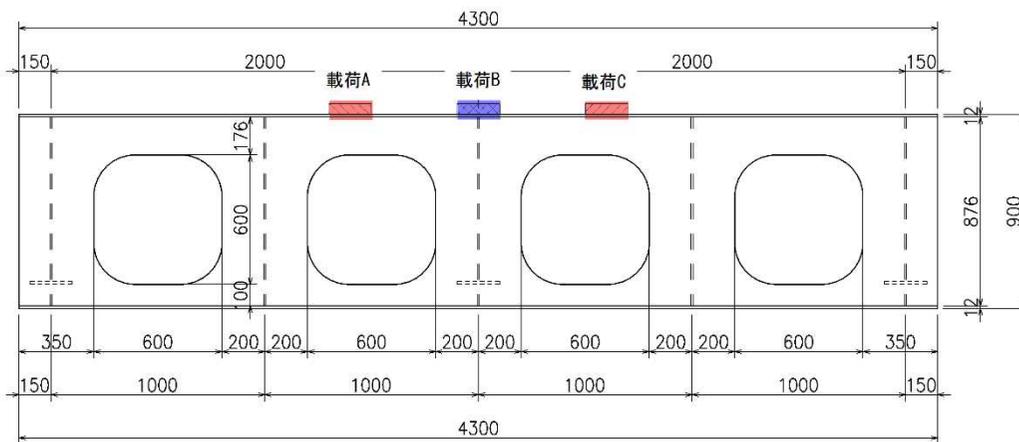
- 着目部位を踏むように、荷重が走行する場合が最も応力が大きくなる.
- Uリブ側の止端は、ダイヤフラムがある場合の方が、ダイヤフラムがない場合と比較し、応力が大きくなる傾向にあった.
- 横リブ側の止端は、ダイヤフラムがある場合の方が、ダイヤフラムがない場合と比較し、応力が小さくなる傾向にあった.
- Uリブ側の止端の方が、横リブ側の止端よりも応力範囲が大きくなった.

③疲労実験

試験体の形状と寸法, 載荷位置

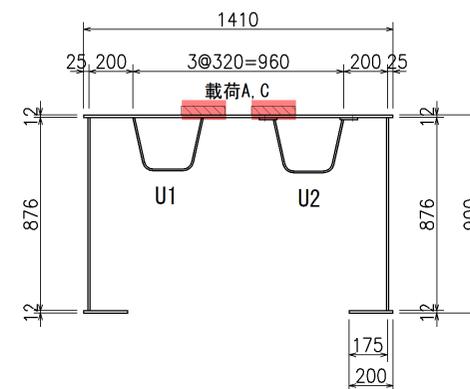


平面図

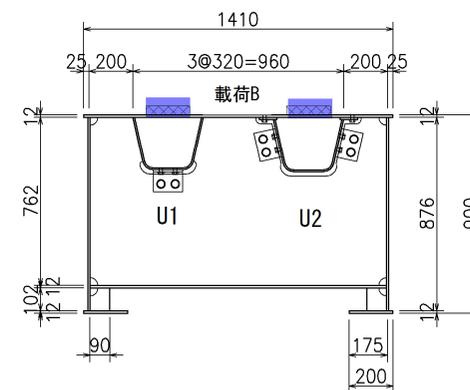


側面図

(単位 : mm)



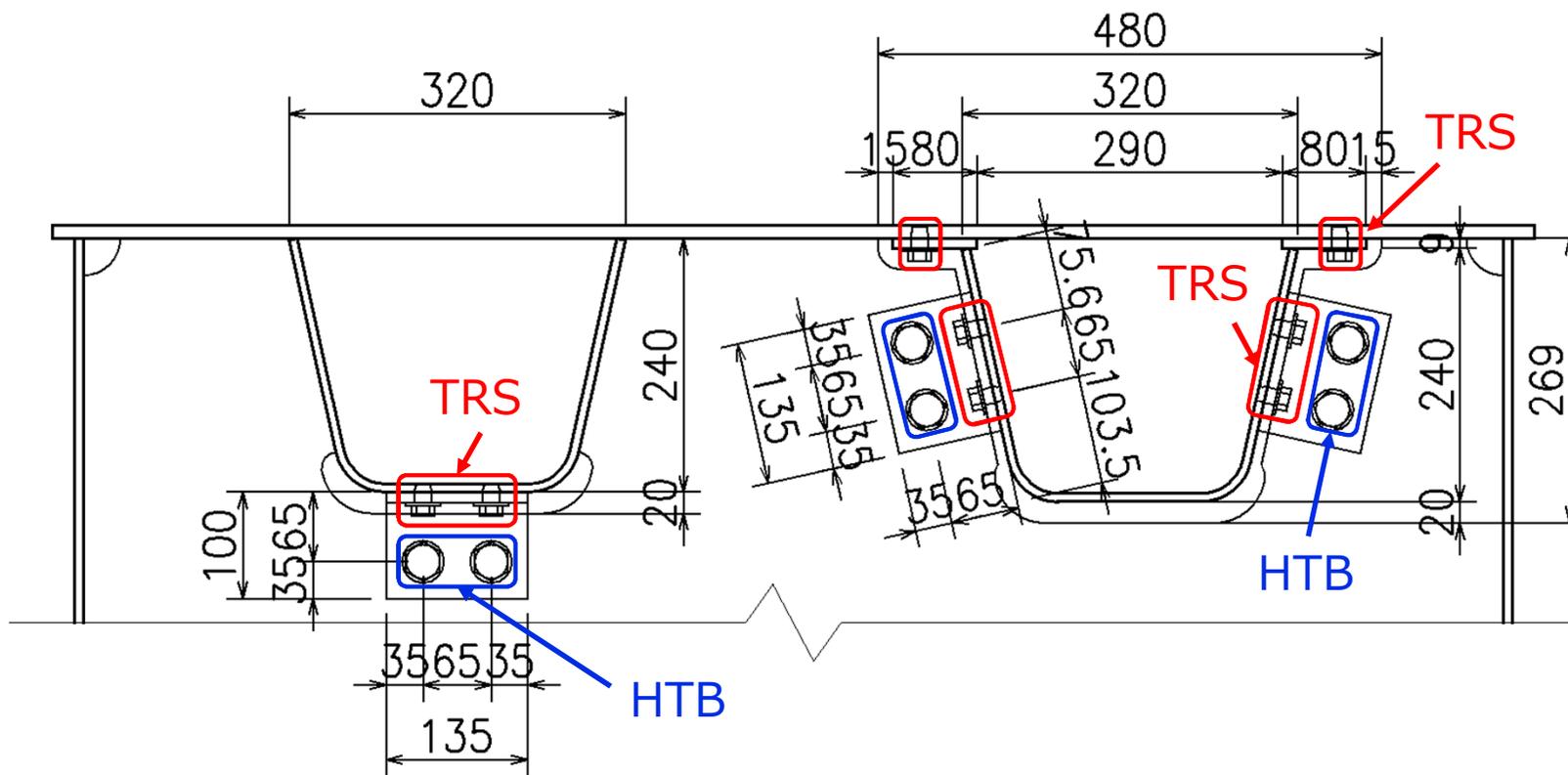
断面図 (支間部)



断面図 (横リブ交差部)

スカーラップ部詳細

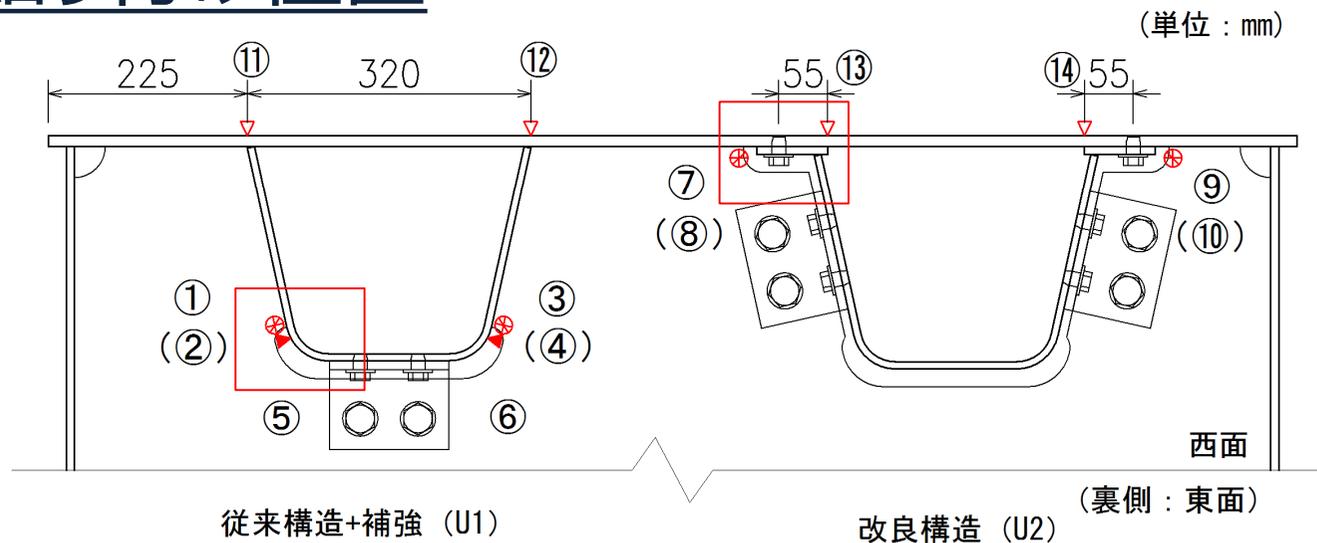
(単位：mm)



従来構造+補強 (U1)

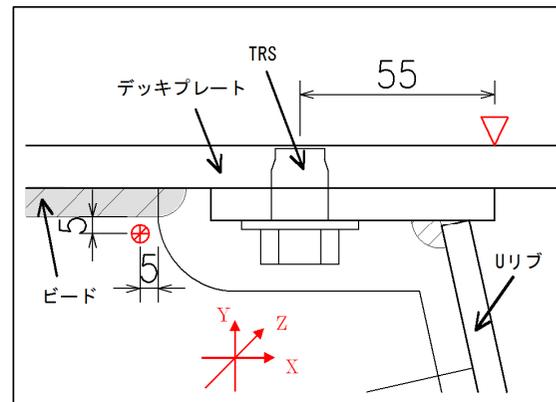
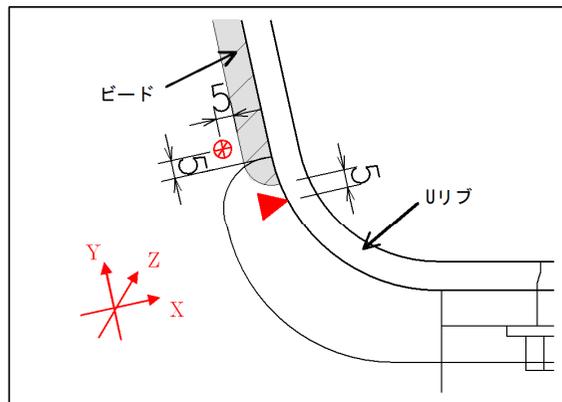
改良構造 (U2)

ゲージ貼り付け位置



○付き数字はゲージ番号を示す
 () 付き数字は横リブ東面に貼付する

- ⊗ 3軸1mmゲージ ①~④, ⑦~⑩
- ▷ 1軸5mmゲージ ⑪~⑭
- ▶ 1軸1mmゲージ ⑤, ⑥



試験体制作状況



削孔



TRS締め付け（前面）



TRS締め付け（背面）



TRS締め付け（側面）

載荷狀況



全景



載荷梁



載荷板



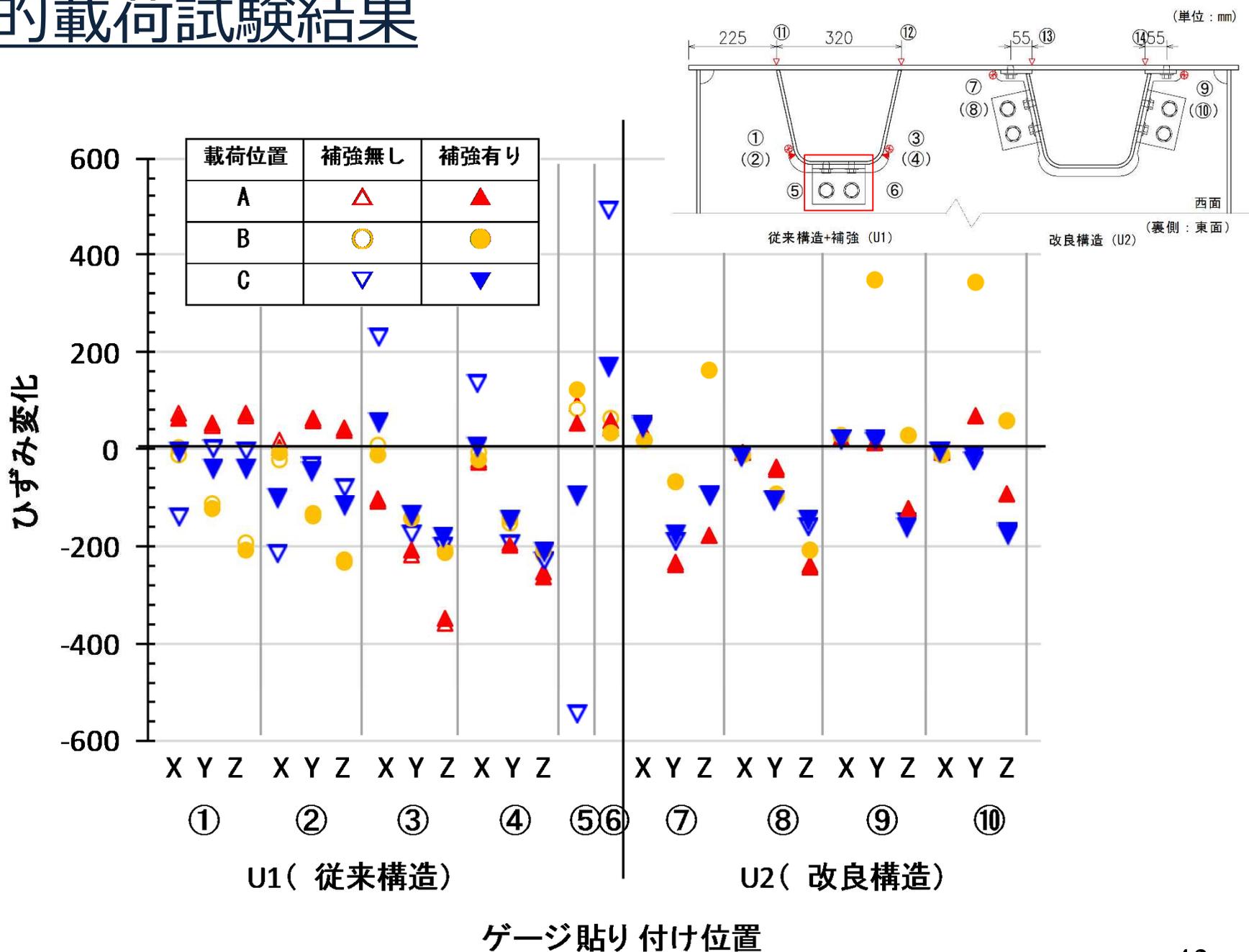
西側近景

疲労試験ステップ

ステップ	U1		U2	
	目的	対策	目的	対策
1	予防保全効果 の検証	従来構造 +補強	予防保全効果 の検証	改良構造
2	き裂再現	従来構造		
3	事後保全効果 の検証	従来構造 +補強		

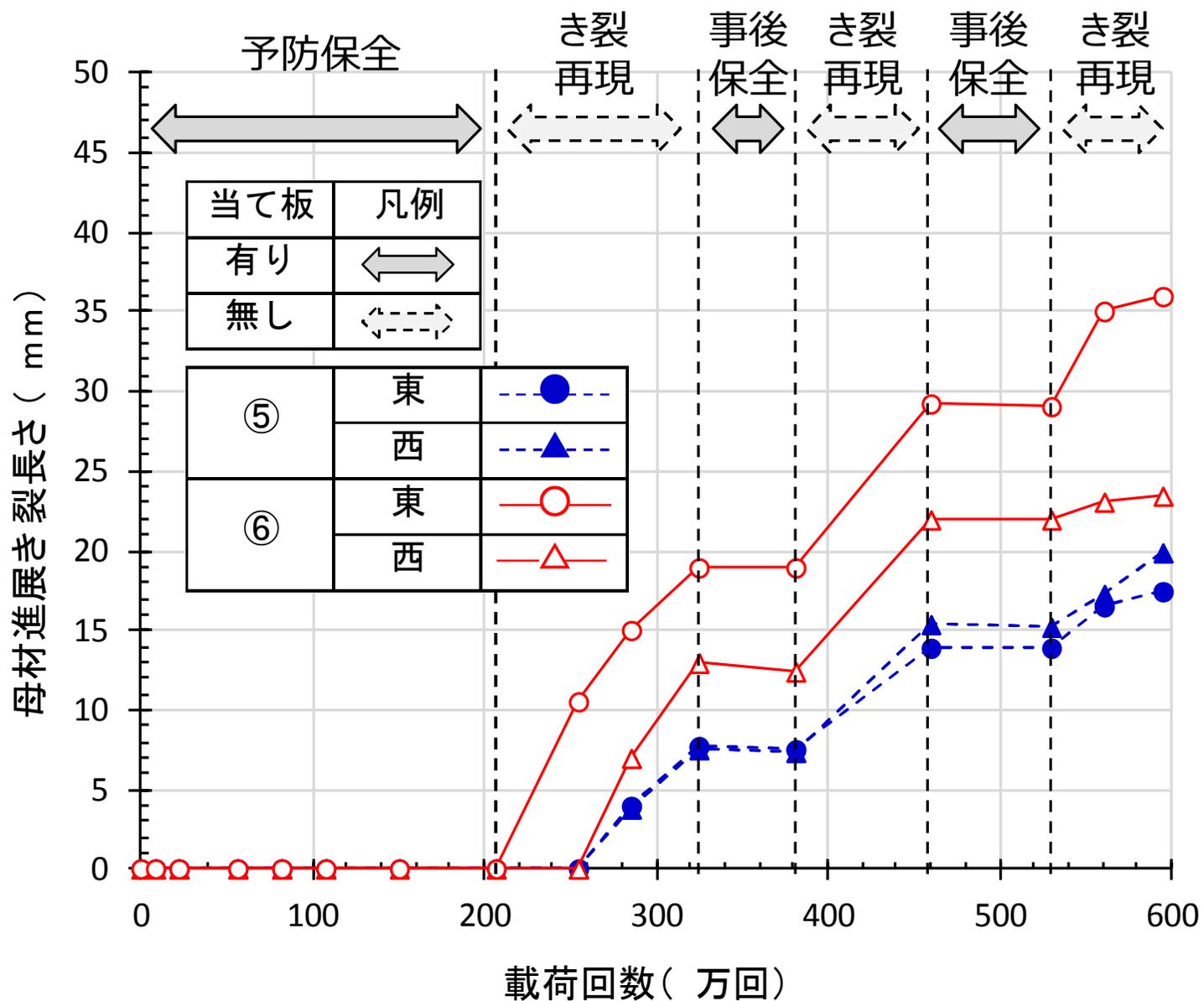
靜的載荷試驗結果

静的載荷試験結果



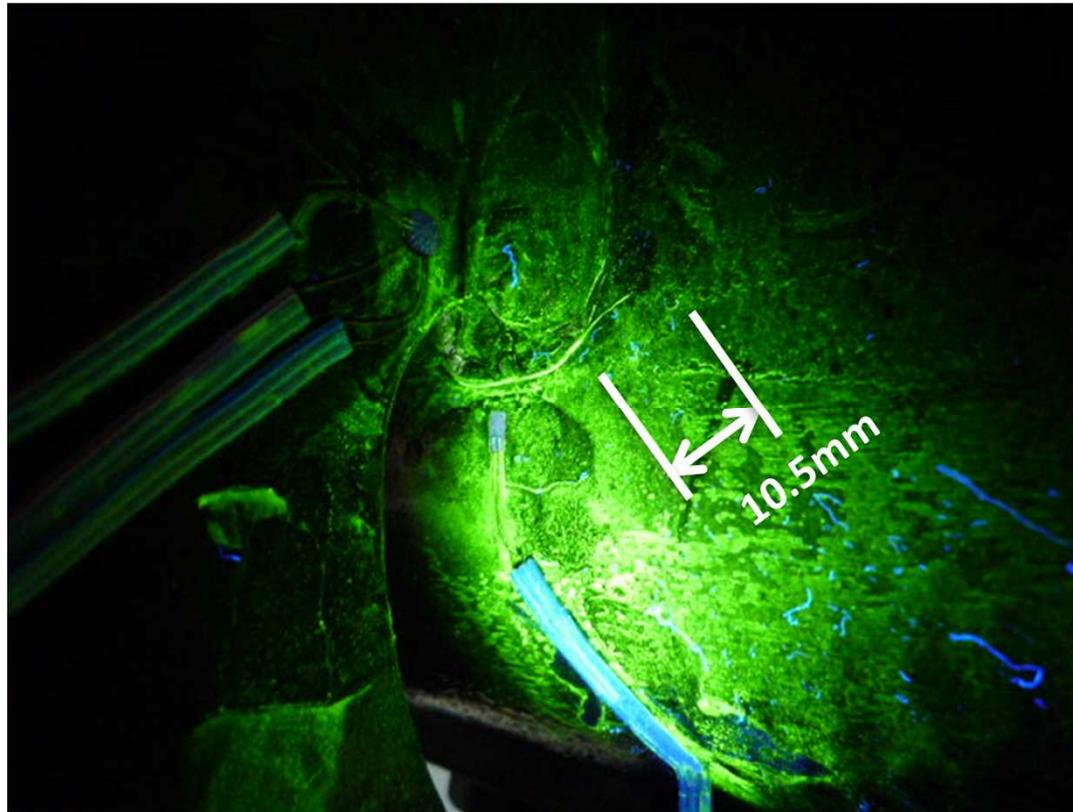
疲労試験結果
(横リブスリット部)

ひびに生じたき裂長さ と 載荷回数 の 関係



き裂発生状況 (254万回)

当て板無し 47万回載荷

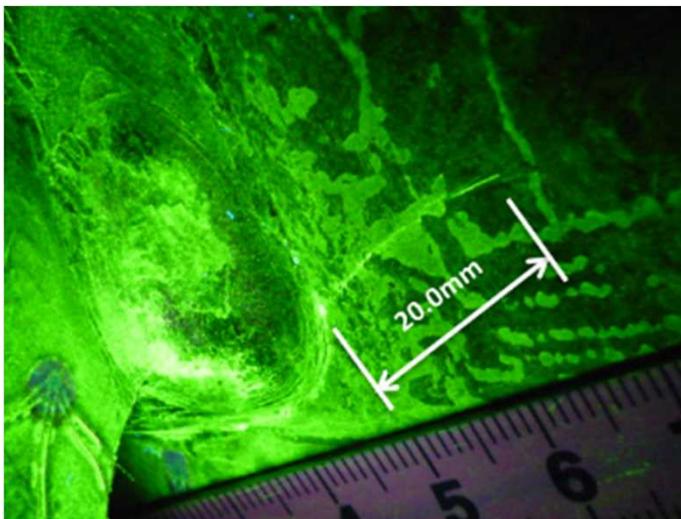


⑥ 東 (10.5mm)

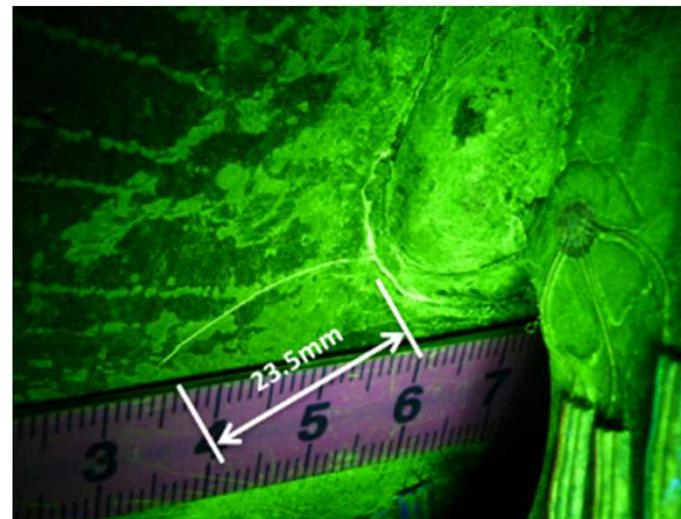
疲労寿命
207万回/47万回
=4.4倍以上

き裂進展状況 (594万回)

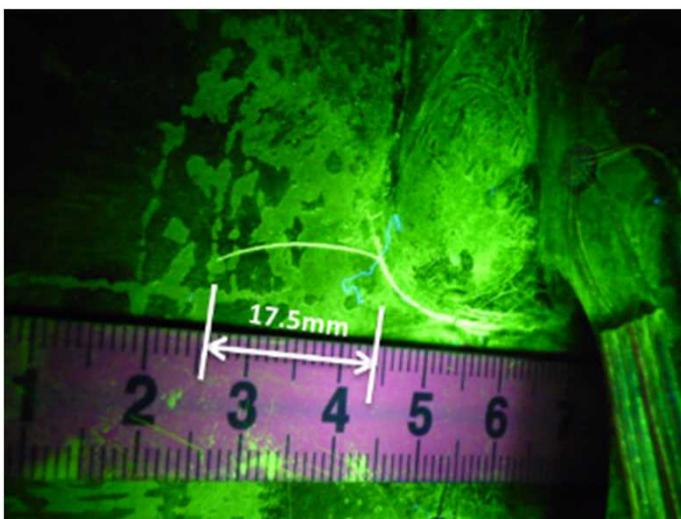
再々当て板外し後 64万回載荷



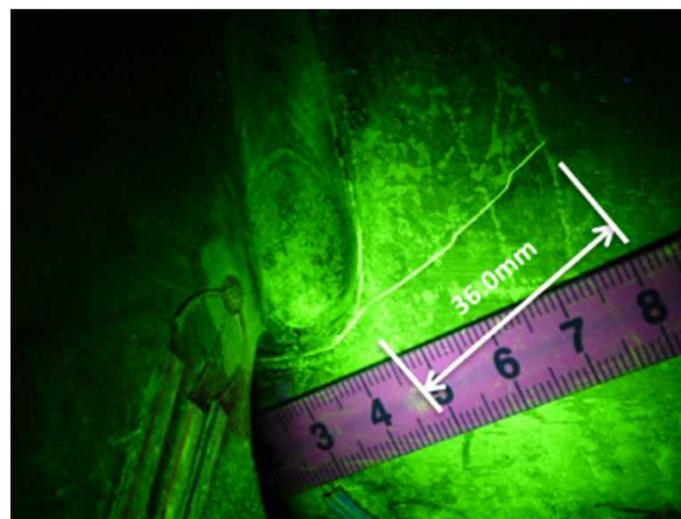
⑤ 西 (20.0mm)



⑥ 西 (23.5mm)



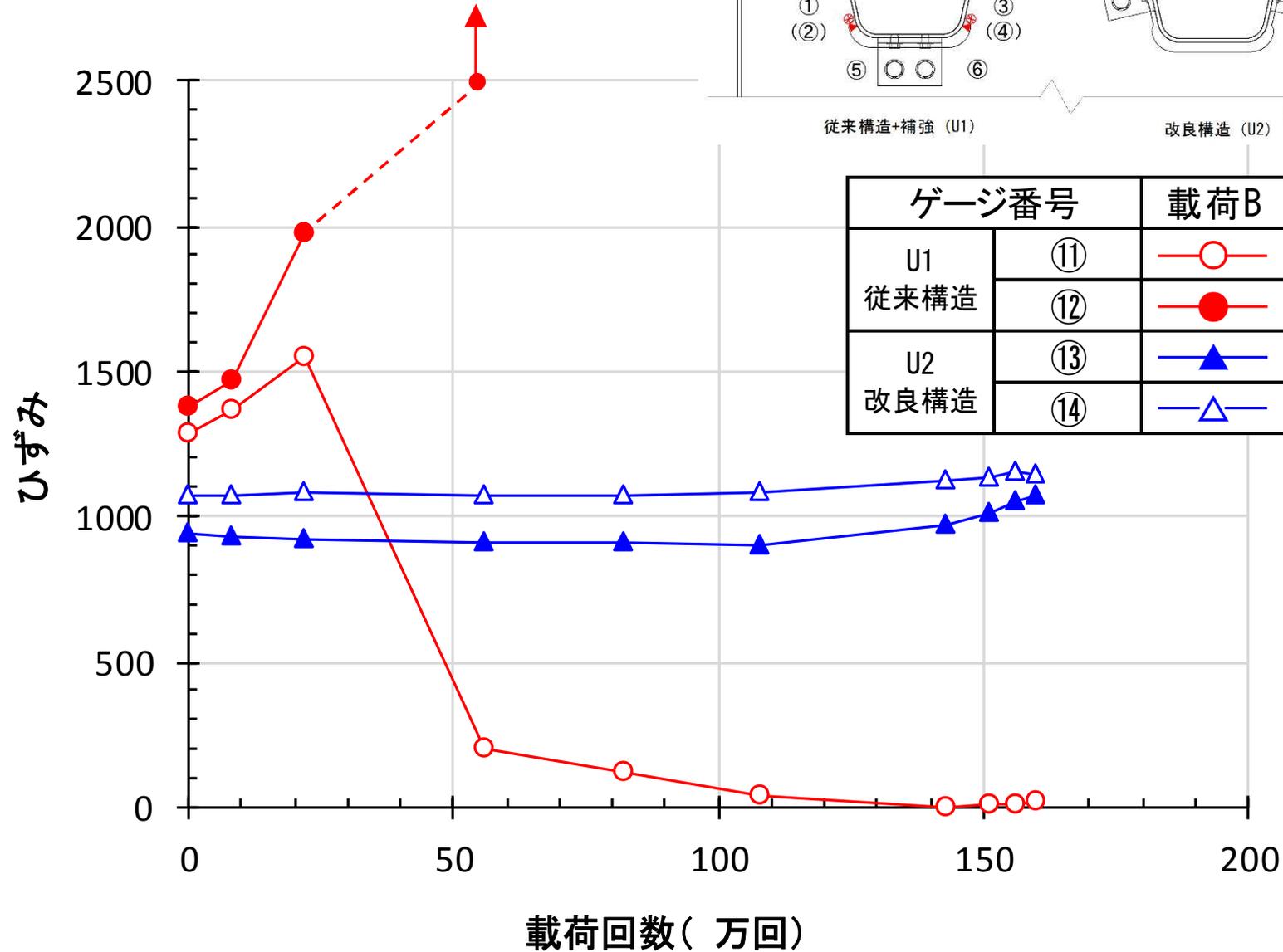
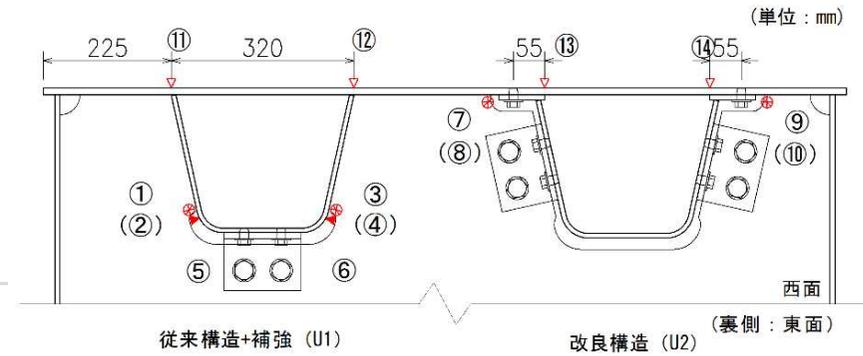
⑤ 東 (17.5mm)



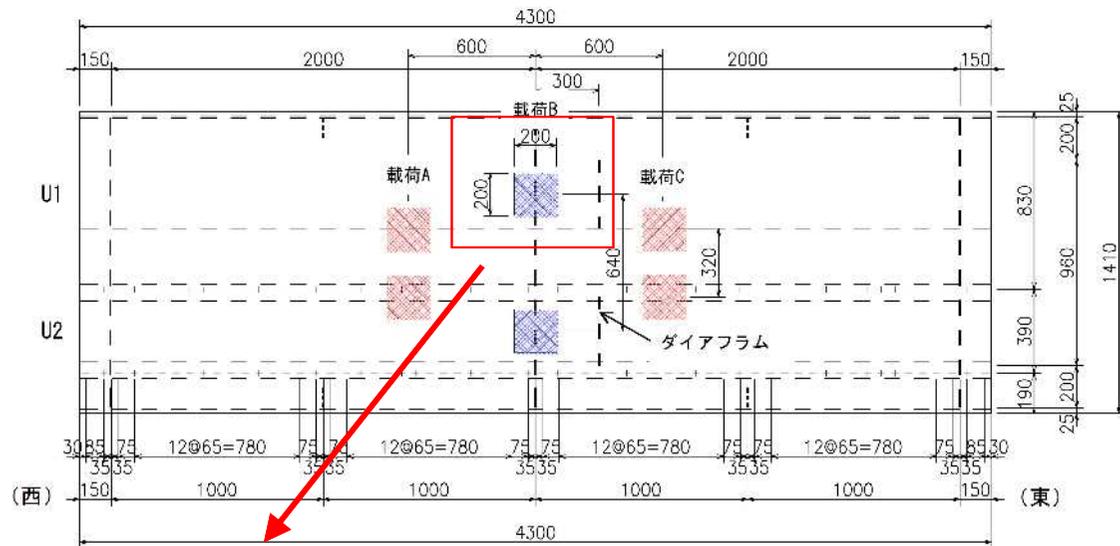
⑥ 東 (36.0mm)

疲労試験結果
(デッキ貫通き裂)

デッキ上面のひずみ変化



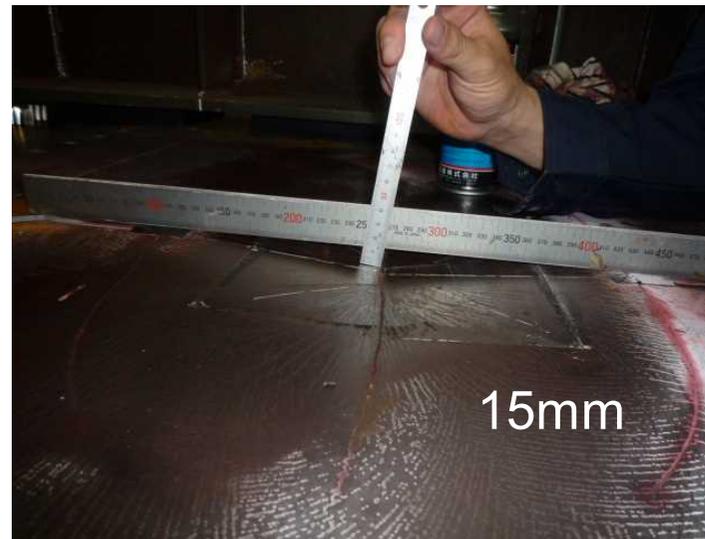
デッキ上面のき裂発生状況 (160万回)



平面図



U1デッキ上面

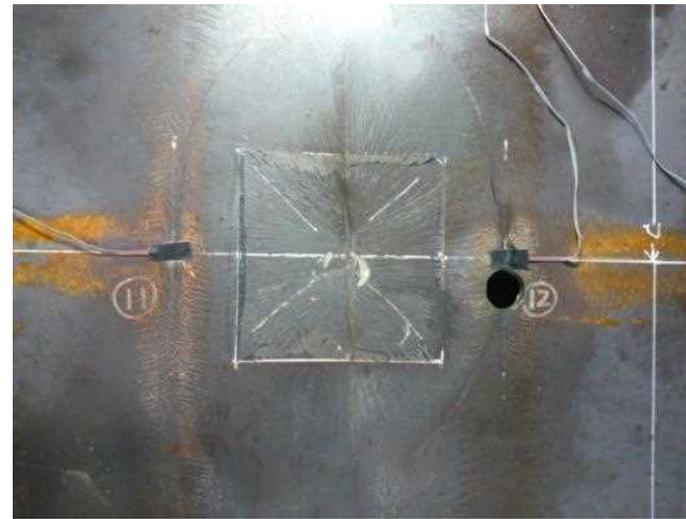


U1デッキ上面陥没深さ

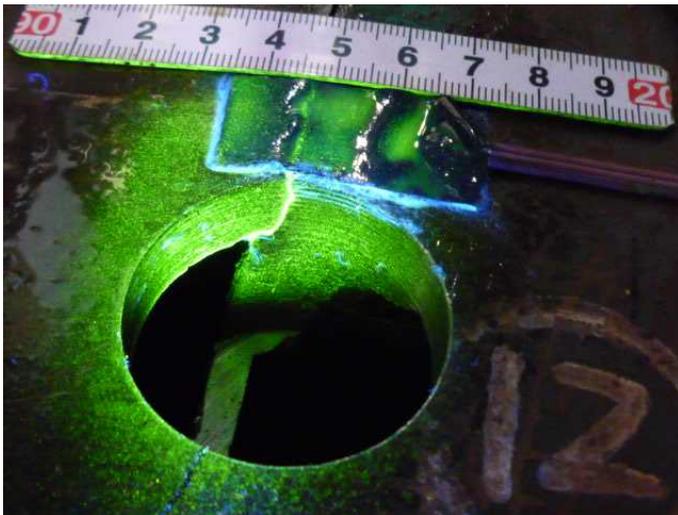
き裂発生確認 (デッキ上面)



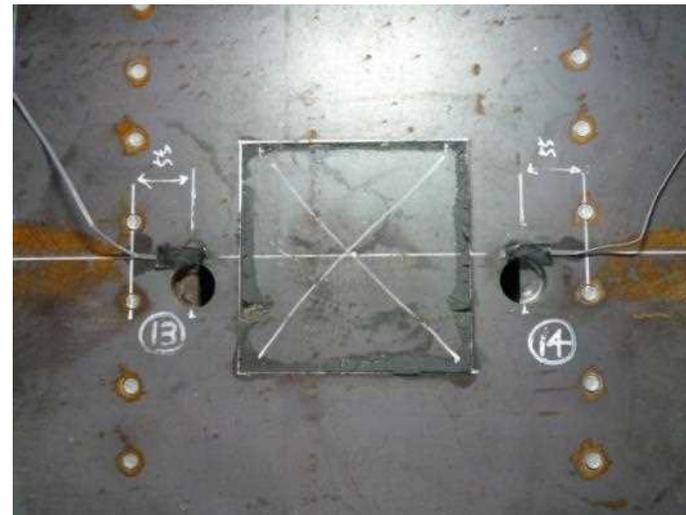
デッキ上面



コア削孔位置(U1側)

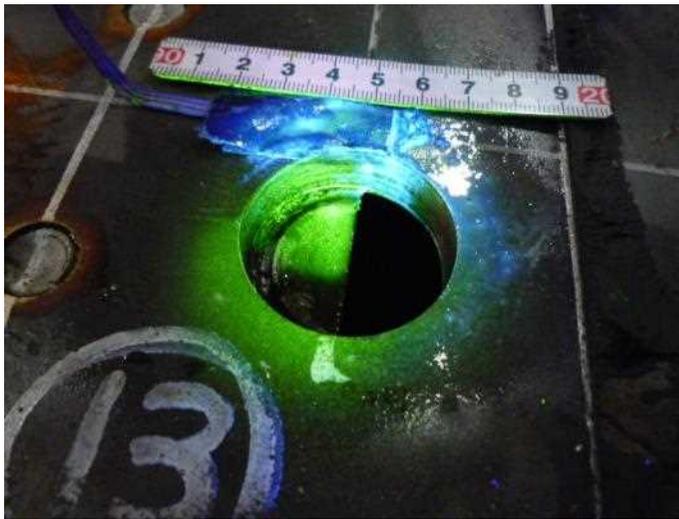


コア孔(U1右)



コア削孔位置(U2側)

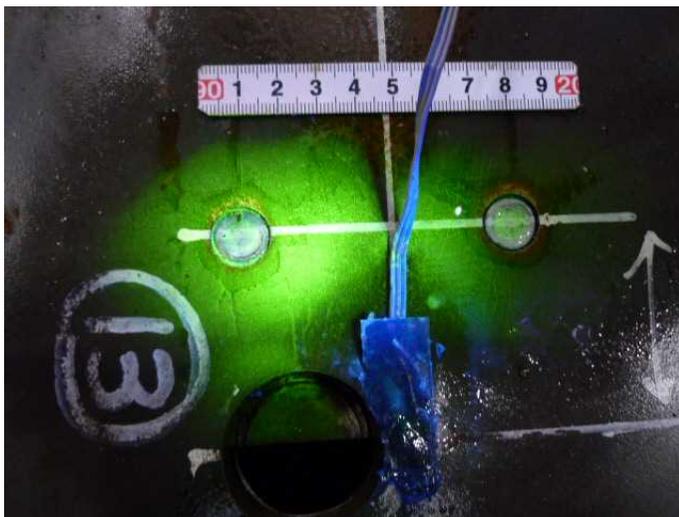
き裂確認 (U2)



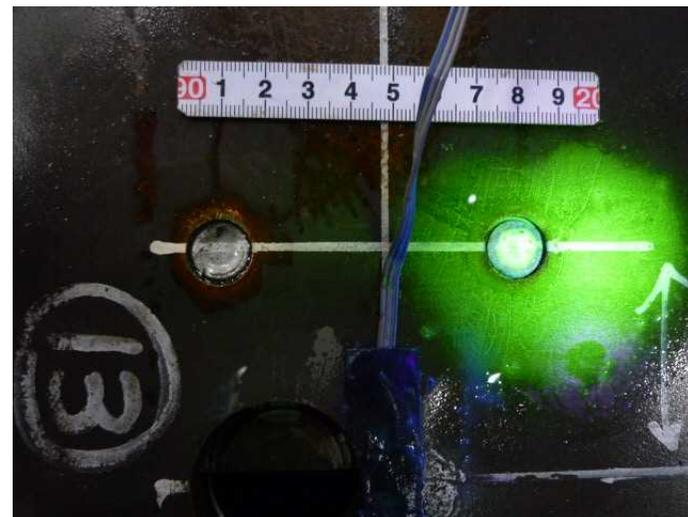
⑬コア孔(U2左)



⑭コア孔(U2右)



TRS締付け部



TRS締付け部

まとめ

1. 従来構造に当て板補強を施すことにより、**横リブスリット部のき裂に対しては、十分な予防保全効果とき裂進展防止効果があることが確認された。**
ただし、**デッキ貫通亀裂に対しては効果がなかった。**

⇒**デッキ亀裂に対しては、TRSを用いた下面補強により対応可能！**

2. 改良構造では、**Uリブと横リブ交差部、デッキともに疲労き裂は全く発生せず、十分な疲労耐久性が確認された。**

次年度以降の研究方針

【平成30年度】

- ①FEM解析による既設橋に対する補強工法の検討
- ②疲労実験による補強工法の疲労耐久性の検証
- ③実橋での補強工法の適用と応力計測による補強効果の検証

【平成31年度】

- ①FEM解析による新設および更新用鋼床版構造の検討
- ②疲労実験による新設および更新用鋼床版構造の疲労耐久性の検証
- ③実橋での新設あるいは更新用鋼床版構造の適用と応力計測による疲労耐久性の検証

ご清聴ありがとうございました