

新都市社会技術融合創造研究会
「第19回新都市社会技術セミナー」

「既設橋梁における高カボルト継手の実態調査と 安全性評価及び点検、補修方法の検討」



2022年 10月 31日(月)

プロジェクトリーダー：大阪公立大学大学院 教授 山口隆司

1. 研究背景	03
2. 研究目的	04
3. 研究組織	05
4. 研究体制	06
5. 研究ロードマップ	07
6. 1・2年目の研究成果	08
7. 最終年度の研究成果	15
8. 成果のまとめ	31
9. 今後の課題	33

高力ボルトの軸力管理は鋼橋をはじめ様々な分野で緩みや強度などの安全性とその信頼性の指標として重要視されている

高力ボルトは、リラクゼーションによる軸力低下を考慮しボルト締付け時には設計軸力に対して10%の増し締めを行い軸力低下を補完

近畿地方整備局管内における供用から30年～50年経過した鋼橋の高力ボルトの残存軸力を4橋調査(※2022年まで計11橋調査)

経年の影響とは関係のない、他の原因で軸力が低下していることを確認

(1)WG1：残存軸力の実態把握および軸力低下の原因調査

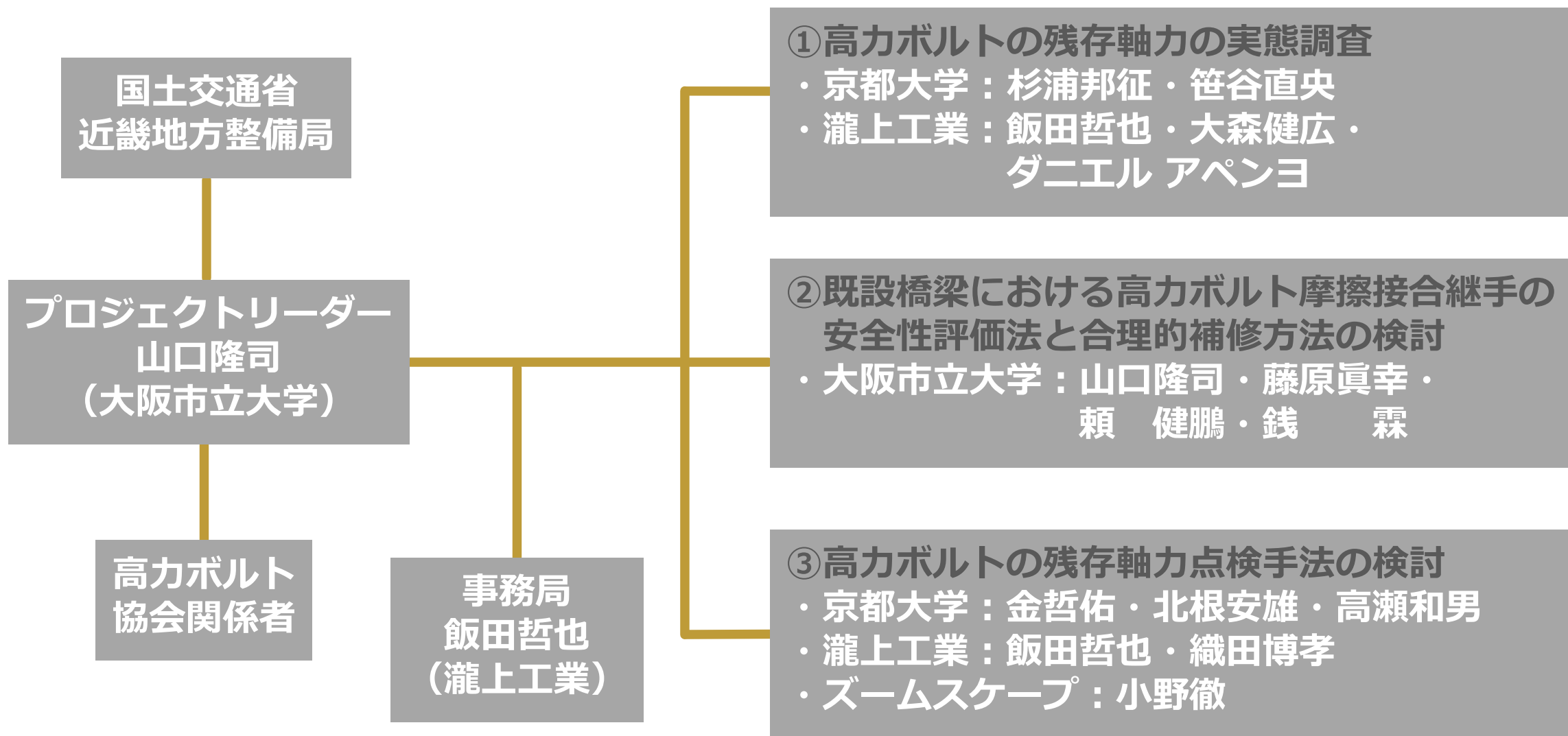
長期間供用されたより多くの鋼橋から高力ボルトの残存軸力調査し、軸力低下の範囲や軸力低下に影響を及ぼす要因を分析し、日本国内の多様な環境下における高力ボルトの軸力低下予測を行う。

(2)WG2：供用中の鋼橋に関する安全性評価

ボルト継手の残存軸力が予想以上に低下している場合を想定し、FEM解析等によりボルト継手の軸力抜けがどの程度までなら安全上、問題がないかを検証し、その対策方法を検討する。
(例) 増し締めなどで対応可能か？など

(3)WG3：簡便な締付け軸力管理手法の提案

高力ボルトの本締め後に全ての高力ボルトに所定の軸力が導入されているかを確認する方法はない。導入軸力を測定する方法としては高力ボルト頭部にひずみゲージを使用する方法や超音波測定方法による直接的な測定方法が一般的であり、簡便で間接的な調査方法として画像処理によるひずみ評価方法を試行し高力ボルトの点検手法を提案する。



4. 研究体制

		1年目						2年目												3年目									
		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
対象橋梁選定	計画	★対象橋梁図面および現地調査																											
	実施	★高力ボルト先行手配																											
サンプリング	計画	★実橋ボルトサンプリング																											
	実施																												
残存軸力確認	計画	★サンプリングボルトの残存軸力確認																											
	実施																												
限界状態評価	計画	★高力ボルト摩擦継手の限界状態評価法の検討																											
	実施																												
画像軸力評価	計画	★画像処理による軸力評価法の実験																											
	実施	★ソフト開発																											
研究まとめ	計画	★研究成果まとめ																											
	実施																												

5. 研究ロードマップ

2019年度の研究

2020年度の研究

2021年度の研究



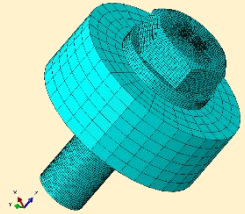
WG1

実橋の残存軸力調査

- 高力ボルト橋梁の抜取り調査
- 鈑桁と箱桁の橋梁形式が異なる高力ボルト抜取り作業
- 箱桁の方が抜けてる？

- 上下線に架かる年式・ボルト種類・摩擦接合面が異なる箱桁の高力ボルト抜取り作業
- 高力ボルトの機械試験
- 締付け時の施工管理の問題？

- 特殊高力ボルト橋梁の抜取り調査
- 耐候性・メッキ鋼橋および鋼製橋脚の高力ボルト抜取り作業
- 耐候性鋼橋は軸力が低い？



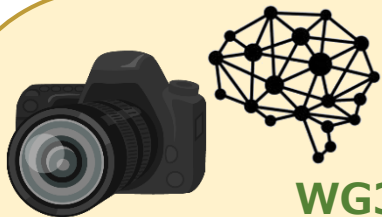
WG2

ボルト継手のFEM解析

- 様々な短冊継手のFEM解析を行いすべり耐力を確認
- 砲台配置継手のFEM解析を行い、軸力欠損位置によって相対変位分布が異なることを確認

- 短冊継手の解析を行い、全強75%の引張荷重作用時の軸力低下率は2%未満を確認
- 実橋の箱桁継手部の解析モデルを作成
- 目違いで解析が回らない？

- FEM解析でサンプリングボルト位置の決定指標を明示
- 目違いがある継手の軸力の低下量を定量的評価
- ボルト位置が異なる時の頭部ひずみの影響を定量的評価



WG3

軸力管理の画像処理開発


- 高力ボルト軸力の画像処理計測技術の開発
- 新キャリブレーション装置製作
- 軸力の計測誤差20%発生、原因不明？

- モックアップ計測を開始
- 回転補正プログラムを開発
- 近接撮影用カメラを開発
- 軸力の計測誤差20%変わらず原因不明？ FEM解析ではボルト頭部の変形は問題ない？

- 基準尺とプログラムを開発
- 固定方式では誤差を10%以内
- 専用の軸力推定ソフト開発とマニュアルを作成
- 実験の結果より、近接撮影カメラの安定性に問題が？

(1)残存軸力の実態把握および軸力低下の原因調査

■4橋の鋼橋から高力ボルトの残存軸力調査

	A橋	B橋	C橋	D橋
外観写真				
橋梁形式	2径間連続 鋼床版2主箱桁橋	3径間連続 鋼5主桁桁橋	2径間連続 鋼2主箱桁橋	2径間連続 鋼2主箱桁橋
橋長	141.5m	96.9m	112.0m	112.0m
支間長	81.4m + 58.2m	3@32.0m	2@55.5m	2@55.5m
建設年	1987年 (32年)	1992年 (27年)	1990年 (30年)	2012年 (8年)
高力ボルト	M22(F10T)	M22(S10T)	M22(F10T)	M22(S10T)
摩擦接合面	塗装	無塗装	無塗装	塗装
架橋地点	河川部	河川部	河川部	河川部
ファイラー	無し	無し	無し	有り

(1)WG1：残存軸力の実態把握および軸力低下の原因調査

■ 残存軸力測定結果

橋梁	部位	ボルト本数 (本)		残存軸力平均 N(kN)		残存軸力平均 N(%)		変動係数 CV(%)	
A橋	WEB	46本	93本	191.3kN	180.4kN	93.9%	88.0%	14.1%	15.3%
	L-FLG	47本		169.7kN		82.8%		20.0%	
B橋	WEB	49本	93本	200.6kN	205.7kN	97.9%	100.3%	13.9%	9.1%
	L-FLG	44本		210.8kN		102.8%		7.8%	
C橋	WEB	25本	95本	195.0kN	158.2kN	95.1%	77.2%	7.1%	31.2%
	L-FLG	70本		145.1kN		70.8%		35.0%	
D橋	WEB	24本	54本	163.4kN	168.9kN	79.7%	82.4%	6.8%	8.7%
	L-FLG	30本		173.3kN		84.8%		9.2%	

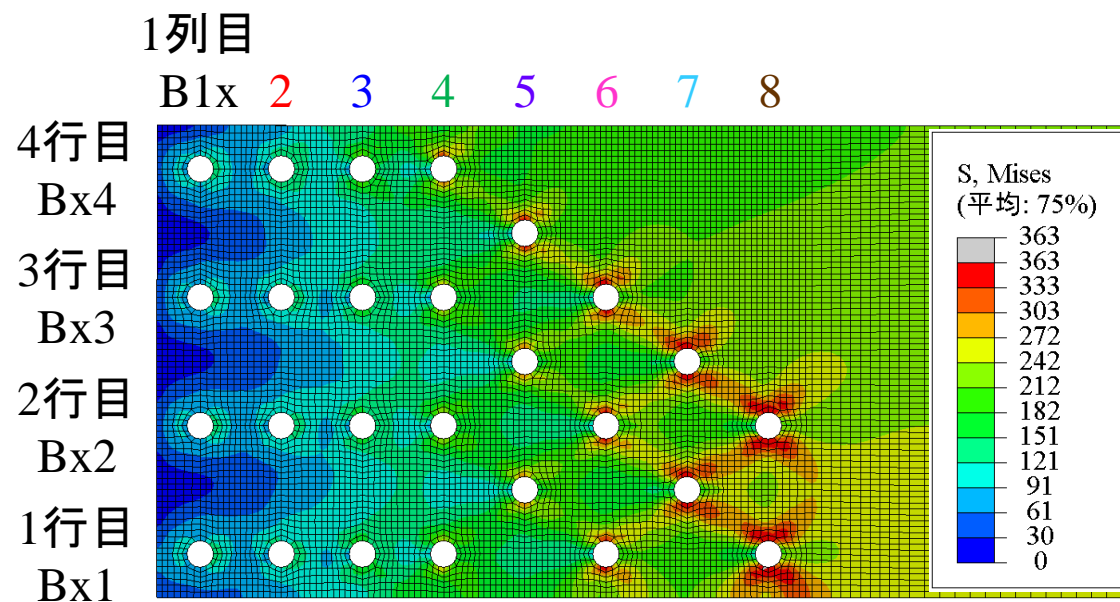
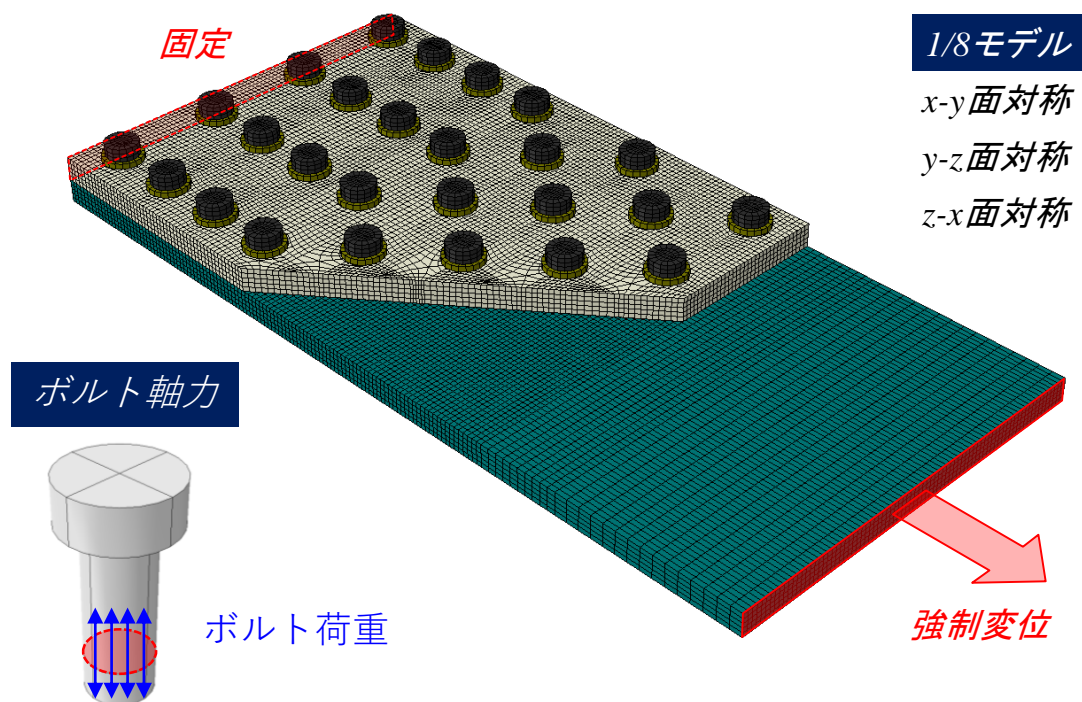
(1) WG1：残存軸力の実態把握および軸力低下の原因調査

■まとめ

- ①高力ボルトの残存軸力は、**大部分で設計ボルト軸力（205kN）よりも低下**している。
- ②鈑桁と比べ、箱桁は**下フランジの方が変動係数が高い傾向にある**ことがわかった。
- ③残存軸力と**経年による軸力低下に相関関係は認められない**。
- ④鈑桁と比べ、**箱桁は残存軸力率平均値が低い傾向にあることが既往の研究と一致**した。
- ⑤F10T変動係数平均値と比べ、**S10T変動係数平均値はばらつきが低い傾向**にある。
- ⑥フィラーを有する継手の場合、**残存軸力率の推定値は既往研究と概ね一致**した。
- ⑦箱桁フランジ耳部の幅が100mmの場合、**残存軸力が極端に低いことが既往研究と一致**した。
- ⑧母板と連結板の**ボルト孔精度の悪い場合、残存軸力が極端に低い傾向**にある。
- ⑨引張荷重について、規定値比率は101%であった。ボルト製品で行った引張荷重と**JIS Z 2201の試験片で行った引張強さは一致**した。

(2) WG2：供用中の鋼橋に関する安全性評価

- 部分的なボルト軸力の低下が高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に及ぼす影響に関する検討
- 供用下における高力ボルト摩擦接合継手のボルト軸力低下に関する検討
- 目違いを有する摩擦接合継手の高力ボルト締結時に着目した軸力変動に関する検討



(2) WG2：供用中の鋼橋に関する安全性評価

■まとめ

①部分的なボルト軸力の低下が高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に及ぼす影響に関する検討

- ・短冊状高力ボルト摩擦接合継手を対象にすべり/降伏耐力比 β (ボルト列数)やフィラープレートの有無をパラメータとしたFEM解析を行い、軸力欠損位置によるすべり耐力の変動はほとんどないことを示した。
- ・砲台配置継手を対象としたFEM解析を行い、軸力欠損位置によって相対変位分布が異なることを示した。

②供用下における高力ボルト摩擦接合継手のボルト軸力低下に関する検討

- ・短冊状高力ボルト摩擦接合継手を対象にすべり/降伏耐力比 β (ボルト列数)をパラメータとしたFEM解析を行い、全強75%の引張荷重が作用した場合のボルト軸力低下は2%未満であることを示した。

③目違いを有する摩擦接合継手の高力ボルト締結時に着目した軸力変動に関する検討

- ・既往研究の整理を行い、箱桁のような腹板によって多点拘束がある場合に目違いによって軸力変動が生じやすくなることを考察した。また、解析モデルを作成し、モデルのチェックを完了した。

(3) WG3：簡便な締付け軸力管理手法の提案

- 実際の架設現場では、揺れる足場上で三脚を使った約1mの距離からの撮影となるが、撮影が困難となることが考えられたため、**近接マクロ撮影専用の機材とソフト開発を行った[図1]**
- モックアップを使用し高力ボルトの手締め、予備締め、本締めを行ったところ、最初と最後でボルト頭部の位置が回転するため、**回転に対する補正プログラムソフトの開発を行った[図2]**

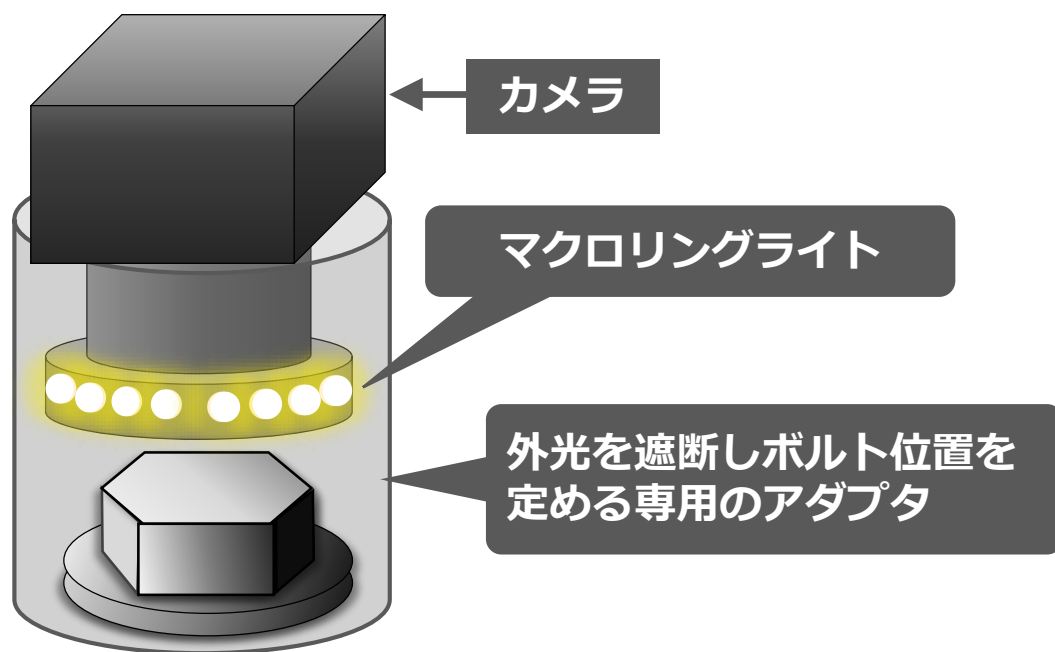


図1：近接撮影用専用アダプタ

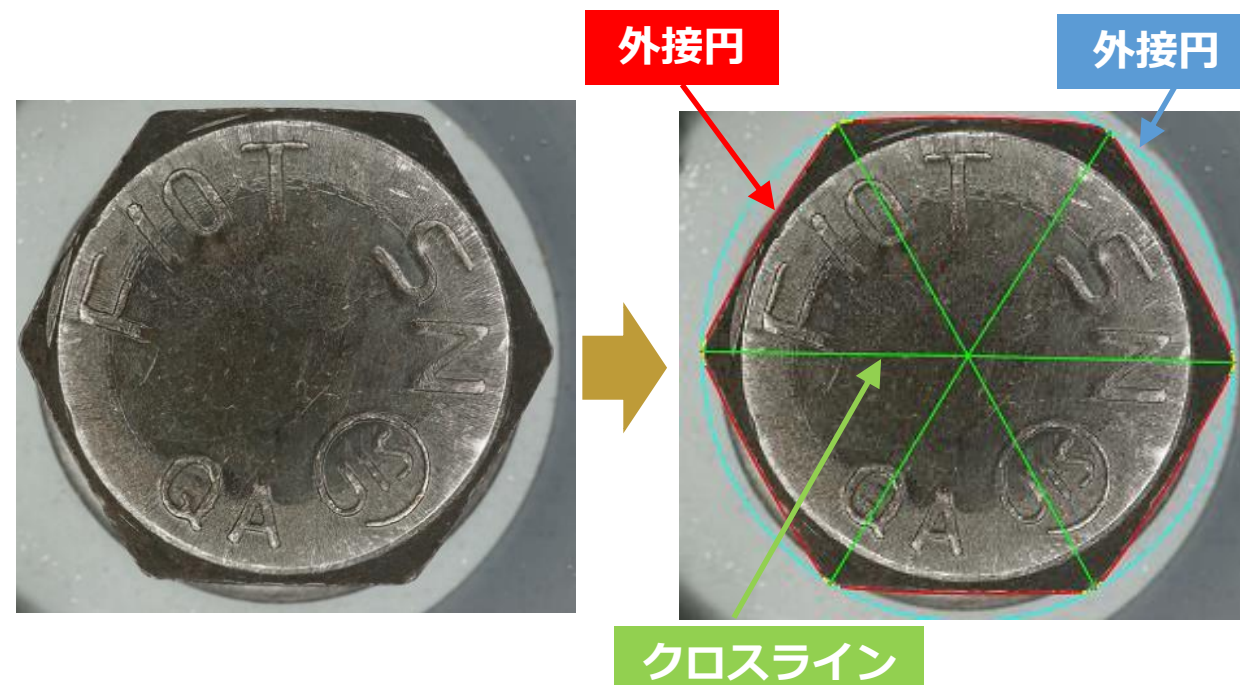


図2：ボルト頭部回転補正プログラム

(3) WG3：簡便な締め付け軸力管理手法の提案

■まとめ

- ①現場実測を行うにあたり、モックアップを使用した撮影実験を行ったことで、実験室と現場の課題と対策を確認した。
- ②モックアップ実験において、従来撮影手法（被写体までの距離1m程度）は有効ではないことを確認し、新たに考案した近接マクロ撮影手法が適用可能であることを確認した。
- ③ボルト軸力計測に特化した近接マクロ撮影用の専用撮影機材と専用のソフトウェアを開発した。
- ④高力ボルト締め付け前と後のボルトの回転に対する補正プログラムソフトを開発した。
- ⑤画像変位計測を利用することで、ボルト設置時の軸力推定を行うだけでなく、締め忘れや締め過ぎといった問題を発見できることがわかった。

7. 最終年度の研究成果

2019年度の研究

2020年度の研究

2021年度の研究



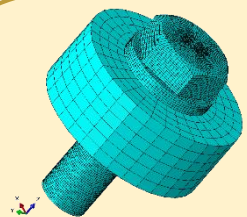
WG1

実橋の残存軸力調査

- 高力ボルト橋梁の抜取り調査
- 鈑桁と箱桁の橋梁形式が異なる高力ボルト抜取り作業
- 箱桁の方が抜けてる？

- 上下線に架かる年式・ボルト種類・摩擦接合面が異なる箱桁の高力ボルト抜取り作業
- 高力ボルトの機械試験
- 締付け時の施工管理の問題？

- 特殊高力ボルト橋梁の抜取り調査
- 耐候性・メッキ鋼橋および鋼製橋脚の高力ボルト抜取り作業
- 耐候性鋼橋は軸力が低い？



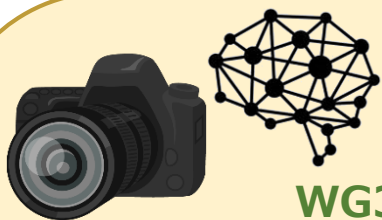
WG2

ボルト継手のFEM解析

- 様々な短冊継手のFEM解析を行いすべり耐力を確認
- 砲台配置継手のFEM解析を行い、軸力欠損位置によって相対変位分布が異なることを確認

- 短冊継手の解析を行い、全強75%の引張荷重作用時の軸力低下率は2%未満を確認
- 実橋の箱桁継手部の解析モデルを作成
- 目違いで解析が回らない？

- FEM解析でサンプリングボルト位置の決定指標を明示
- 目違いがある継手の軸力の低下量を定量的評価
- ボルト位置が異なる時の頭部ひずみの影響を定量的評価



WG3

軸力管理の画像処理開発

- 高力ボルト軸力の画像処理計測技術の開発
- 新キャリブレーション装置製作
- 軸力の計測誤差20%発生、原因不明？

- モックアップ計測を開始
- 回転補正プログラムを開発
- 近接撮影用カメラを開発
- 軸力の計測誤差20%変わらず原因不明？FEM解析ではボルト頭部の変形は問題ない？

- 基準尺とプログラムを開発
- 固定方式では誤差を10%以内
- 専用の軸力推定ソフト開発とマニュアルを作成
- 実験の結果より、近接撮影カメラの安定性に問題が？

(1)WG1:残存軸力の実態把握および軸力低下の原因調査

- ①実橋から特殊高力ボルト（メッキ鋼橋・耐候性鋼橋）および厚板の鋼製橋脚より高力ボルトのサンプリングを実施

(2)WG2:供用中の鋼橋に関する安全性評価

- ①摩擦接合継手の残存すべり耐力を評価するためのサンプリングボルト位置の決定指標を明示
- ②目違いを有する摩擦接合継手の締結時におけるボルト軸力の低下量を定量的に評価
- ③高力ボルトの境界条件が頭部ひずみに及ぼす影響を定量的に評価

(3)WG3:簡便な締付け軸力管理手法の提案

- ①高力ボルト軸力の画像マッチング法によるボルトのひずみ評価方法開発の継続
- ②実際の現場で使える高力ボルト管理手法の省力化を検討

■ 3橋の特殊鋼橋から高力ボルトの残存軸力調査

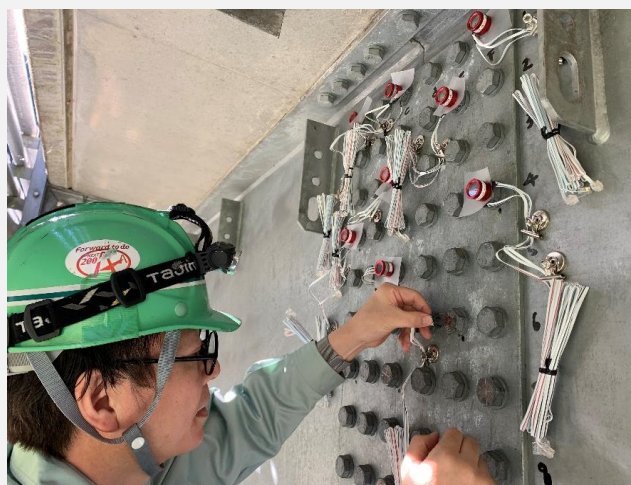
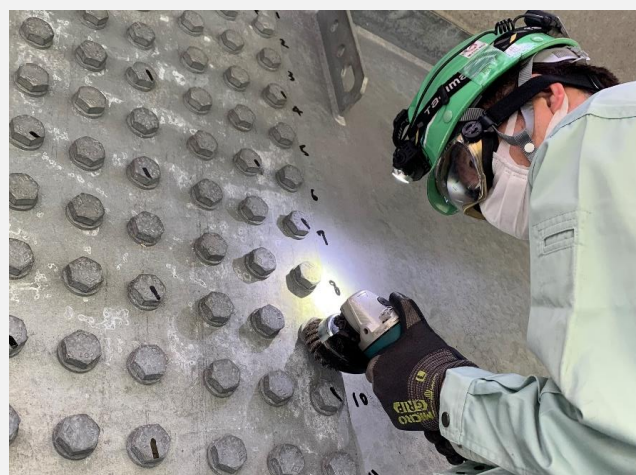
	E橋	F橋	G橋
外観写真			
橋梁形式	単純鋼床版23主鈹桁橋	単純鋼6主鈹桁橋2連	鋼製橋脚
橋長	22.0m	50.0m	—
支間長	21.4m	24.4m+24.4m	—
建設年	1986年(35年)	2012年(9年)	1975年(46年)
高力ボルト	M22(F8T)	M22(F10TW)	M24(S10T) 図面:M24(F11T)
摩擦接合面	めっき	無塗装	無塗装
架橋地点	河川部	河川部	陸上部
フィラー	無し	無し	無し

(1)WG1:残存軸力の実態把握および軸力低下の原因調査

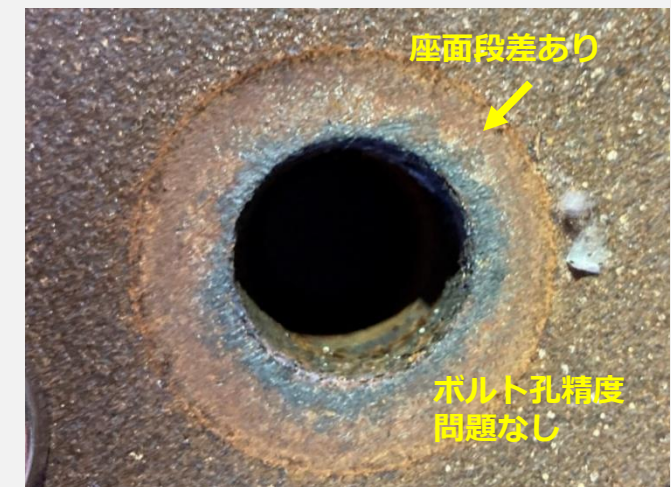
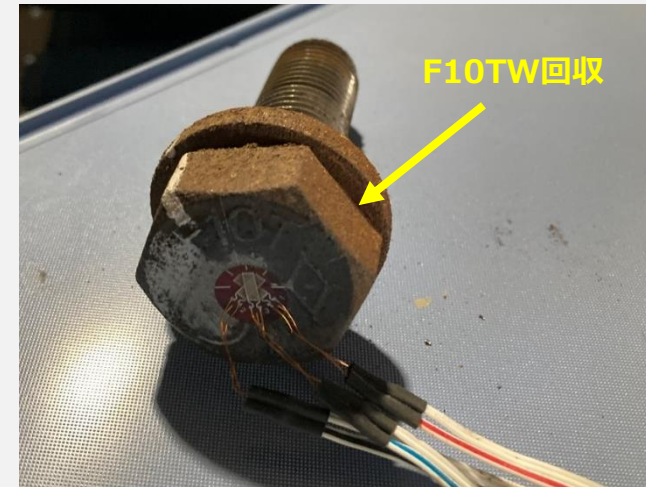
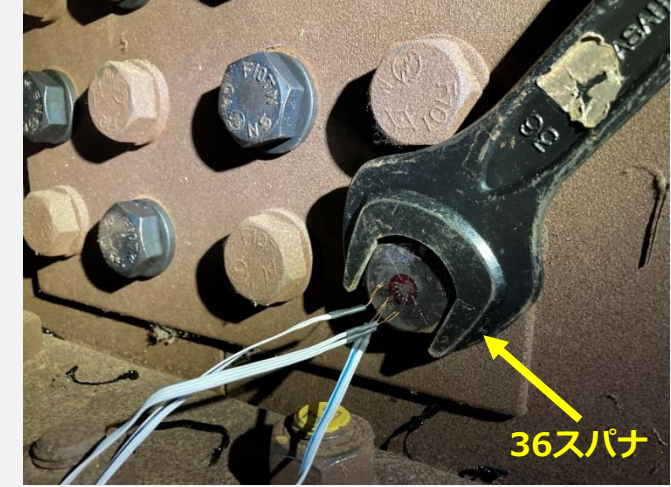
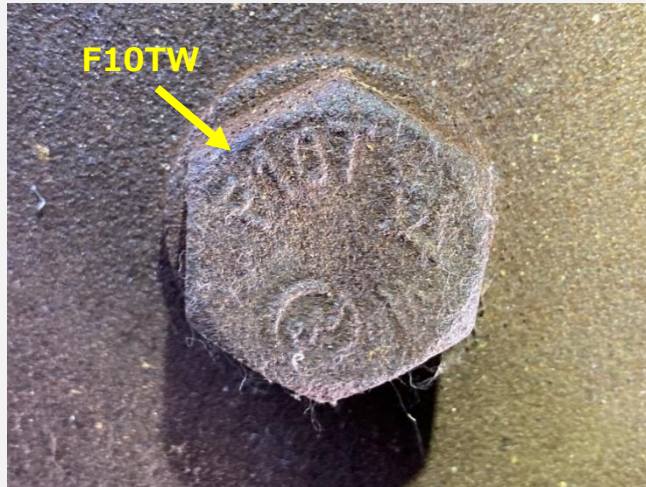
■ 残存軸力測定結果

橋梁	部位	ボルト本数 (本)		残存軸力平均 N(kN)		残存軸力平均 N(%)		変動係数 CV(%)	
E橋	WEB	40本	92本	<u>205.2 kN</u>	<u>202.7 kN</u>	<u>124.4%</u>	<u>122.8%</u>	<u>3.8%</u>	<u>7.1%</u>
	L-FLG	52本		<u>200.6 kN</u>		<u>121.6%</u>		<u>9.0%</u>	
F橋	WEB	24本	64本	168.1kN	166.4kN	82.0%	81.2%	<u>9.0%</u>	15.1%
	L-FLG	40本		165.4kN		80.9%		17.9%	
G橋	WEB	25本	95本	<u>274.9kN</u>	<u>276.8kN</u>	<u>115.5%</u>	<u>116.3%</u>	9.4%	<u>8.7%</u>
	L-FLG	70本		<u>279.4kN</u>		<u>117.4%</u>		<u>7.8%</u>	

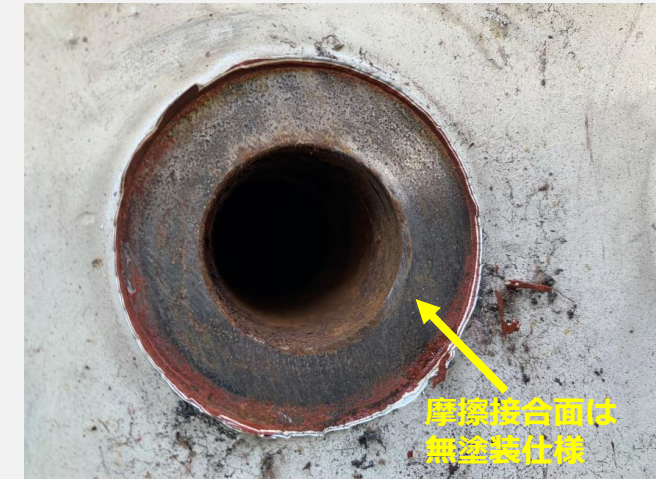
■ E橋の高力抜取り状況



■ F橋の高力ボルト抜取り状況



■ G橋の高力ボルト抜取り状況



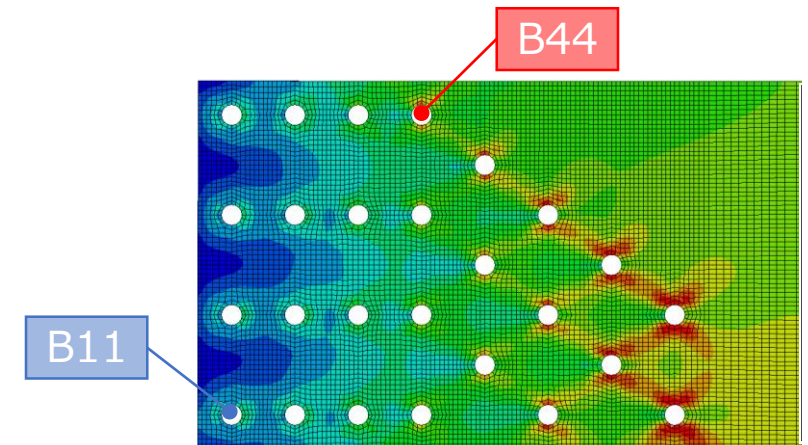
■まとめ

- ① 耐候性鋼橋の残存軸力率平均は設計軸力に対し全体的に低い傾向にあることを確認した。
- ② 耐候性鋼橋の残存軸力のばらつきはウェブ平均と比べ、下フランジの方が高い傾向にある。
- ③ F8Tの現地に残っていたマーキングは、ナット回転角が基準の120°であることを確認した。
- ④ 溶融亜鉛めっき鋼橋の残存軸力は設計軸力に対し全体的に高い傾向にあることを確認した。
- ⑤ 溶融亜鉛めっき鋼橋の残存軸力のばらつきはウェブ平均と比べ、下フランジの方が高い傾向にある。
- ⑥ F8Tの残存軸力が全体的に大きくなった原因として、一次締めトルク値が大きかったことが原因であることを実験により確認した。
- ⑦ F8T(M22)のナット回転角法における一次締め衝撃数は、1.0~1.5sec程度で目標トルクの150N・mが得られることが実験により確認した。
- ⑨ 鋼製橋脚の残存軸力は設計軸力に対し全体的に高い傾向にあることを確認した。
- ⑩ 鋼製橋脚の箱内の腐食は激しく、高力ボルト軸部までさびが進行していたが、軸力低下はしていなかった。

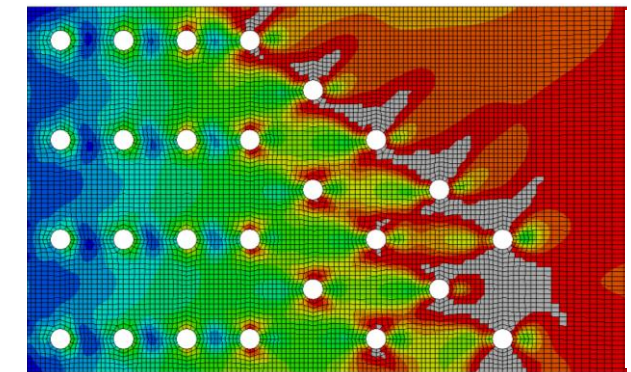
■ 摩擦接合継手の残存すべり耐力を評価するためのサンプリングボルト位置の決定指標を明示

砲台配置など実橋梁に近い群継手となった場合のすべり耐力の変動は大きいと考えられる。群継手を対象としてFEM解析を行い、残存すべり耐力を評価するうえで、どのボルトがすべり耐力に影響を及ぼしやすいのかを検討する。

- ずれ量（相対変位）からすべりを判定した場合、軸力欠損状態のボルトがその測定位置に近いほどすべり耐力が低下する。
- 最大耐力（荷重低下）からすべりを判定した場合、軸力欠損状態のボルトが最外行・矩形配置の継手最外列（図中B44）に近いほどすべり耐力が低下する。
- 逆に、それが最内行・継手最内列（図中B11）に近いほどすべり耐力の低下が抑制される。
- すべり時のボルト軸力残存率はすべり先行型継手で 92%から 97%程度、降伏先行型継手で 86%から 94%程度となった。



● すべり先行型継手

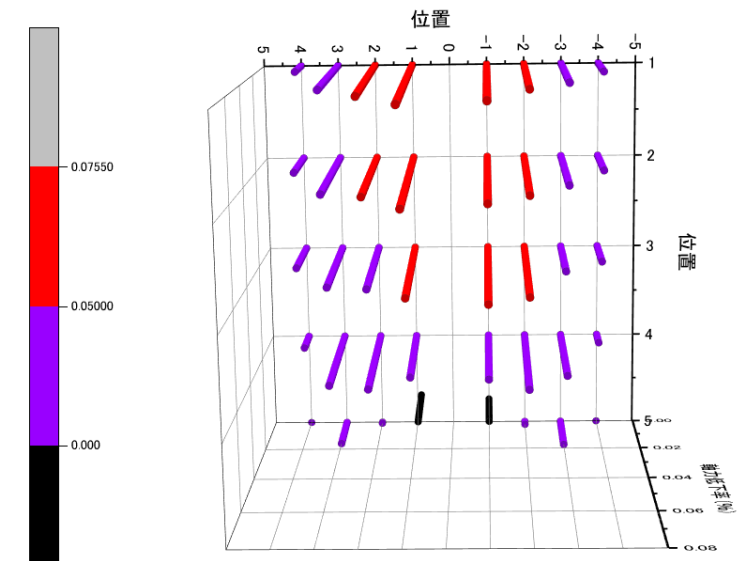
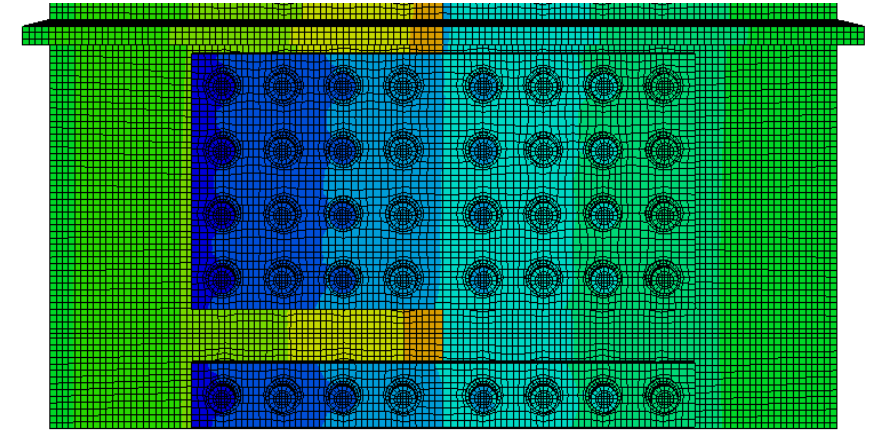


● 降伏先行型継手

■ 目違いを有する摩擦接合継手の締結時におけるボルト軸力の低下量を定量的に評価

- 箱桁下フランジ摩擦接合継手部を模擬したFEM解析により、**高力ボルト締結時の軸力変動を評価**する。

- 箱桁のように被接合部材が多点拘束となる条件下では、**目違いを有する場合には連結板が変形することで接触し、軸力が導入**される。
- 1mmの目違いを再現すると、**締付け完了時までの軸力の低下率は最大値と平均値がそれぞれ0.069%、0.031%**となった。
- 同行ボルトの軸力低下率については、**外側より内側のボルトが大きくなる**ことを示した。



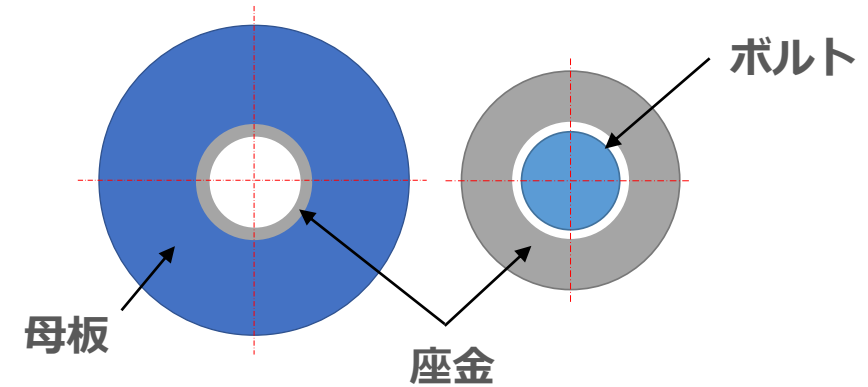
締結後からのボルト軸力低下率

■高力ボルトの境界条件が頭部ひずみに及ぼす影響を定量的に評価

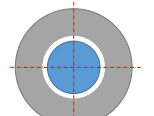
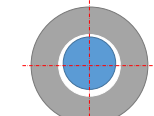
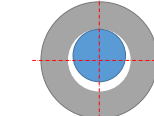
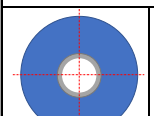
- 画像処理時には、**ボルト頭部の変形状態にばらつきが生じないことが重要**と考えられる。
- 座金位置と軸心の関係をパラメータにFEM解析を行い、**ボルト頭部の変形状態について確認**する。

- ボルト頭部のひずみ分布については、**座金軸部よりボルト軸部の偏心の影響が大きい**。
- 偏心距離が大きいほど、 k (校正係数) の**誤差が大きくなる**。
- 偏心距離が大きくなっても、 k (校正係数) の**誤差は2.1%未満に収まった**。
- キャリブレーション試験において母板の孔に対してボルト軸部、座金軸部が偏心状態にあっても**校正係数におよぼす影響は小さい**。(現場では、最大約2.1%程度ボルト軸力を高く評価する可能性がある。)

ボルト軸部と座金軸部の偏心



ボルト軸部と座金軸部の偏心解析CASE

		ボルト		
				
	座金	center-B0.500	中央-B0.250	端部-B0
	center-Ws0.750	Ws0.750-B0.500	Ws0.750-B0.250	Ws0.750-B0
	中央-Ws0.375	Ws0.375-B0.500	Ws0.375-B0.250	Ws0.375-B0
	端部-Ws0	Ws0-B0.500	Ws0-B0.250	Ws0-B0

■まとめ

- ①摩擦接合継手の残存すべり耐力を評価するためのサンプリングボルト位置の決定指標を明示
砲台配置継手の残存すべり耐力を評価するためのサンプリングボルト位置の基準をFEMで
確認し、これらのボルトの増締めを行うで**高力ボルト摩擦接合継手の性能を効率的に回復
できることを確認**した。
- ②目違いを有する摩擦接合継手の締結時におけるボルト軸力の低下量を定量的に評価
目違いを有する高力ボルト継手の施工段階でのボルト軸力低下は、最初に締付けを行った
ボルトで最も大きい（本研究では4%程度）。しかし、全体としての軸力低下量は小さく
（本研究では0.2%未満）、**高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力にはほとんど影響しない。**
なお、このような継手のサンプリングボルトとしては、締付けの昇順から選定し、ボルト
軸力の低下が認められる場合には**締付け順の若いものから増締めを行うことで性能回復が
期待できる。**
- ③高力ボルトの境界条件が頭部ひずみに及ぼす影響を定量的に評価
画像解析でボルト軸力を推定する場合、**ボルトセットの孔ずれはその推定精度にはほとんど
影響を及ぼさないことを確認**した。

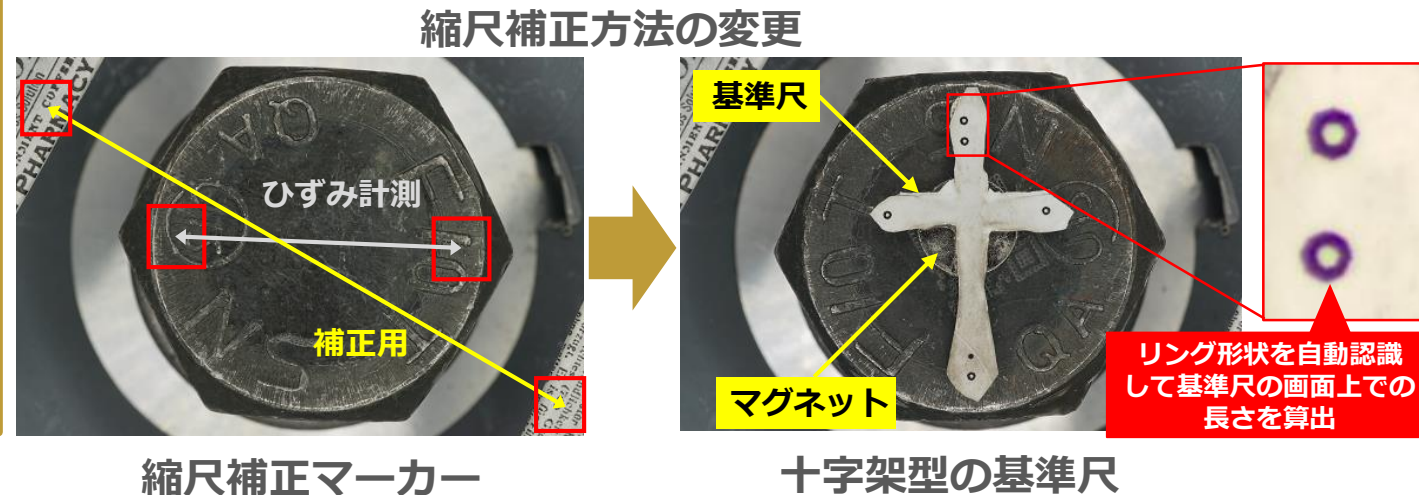
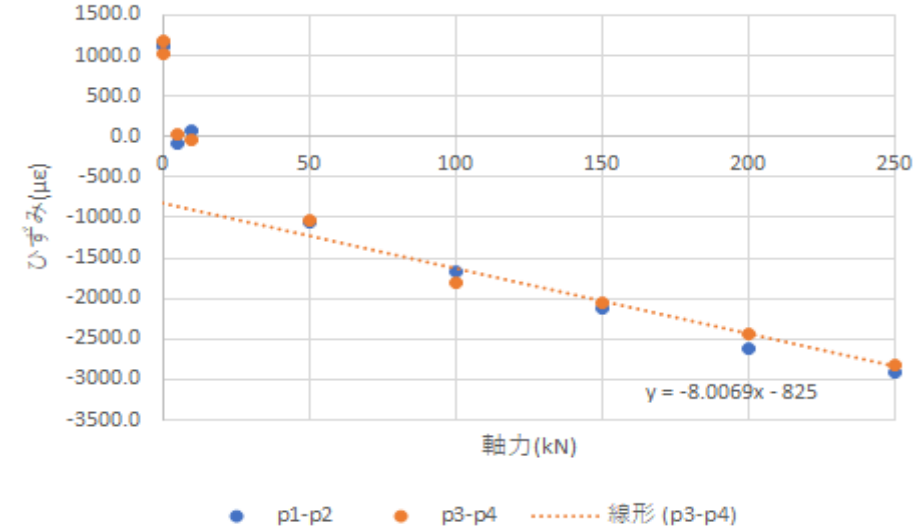
■計測方法の改良

令和2年度に開発した近接撮影機材での実験では、撮影装置の筒の内部に、縮尺補正用のマーカを設置したが、十分に精度の高い計測結果が得られなかった。

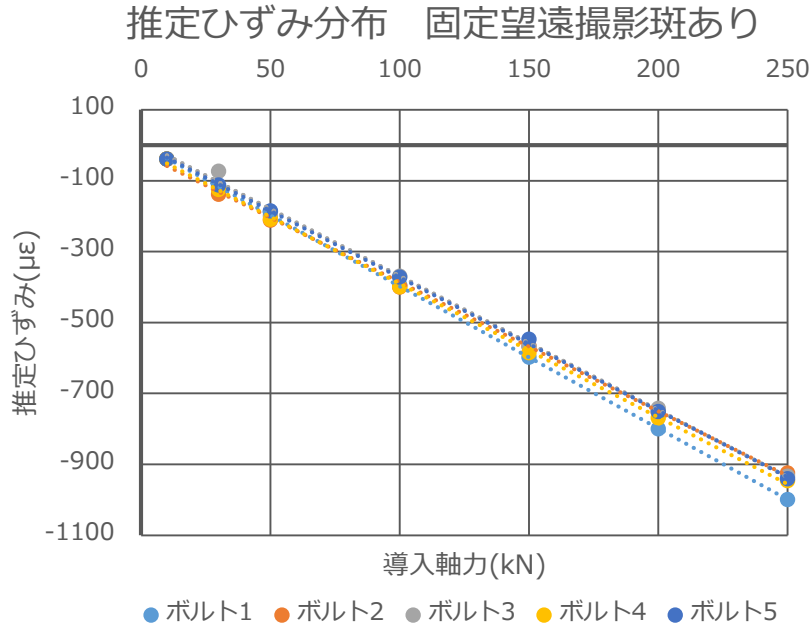
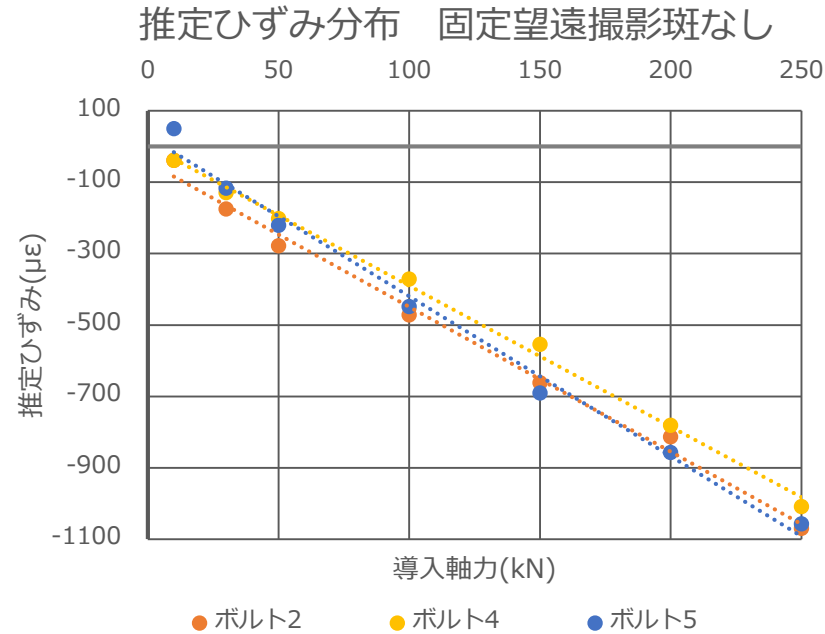


初期導入軸力時における母板と連結板の密着時の奥行き方向のずれがあることに気付いたため、図に示す通り、縮尺補正の方法として十字架型の基準尺をボルトヘッドに取り付ける方式への切り替えとプログラムの改良を行った。

令和2年度：縮尺補正マーカによる実験結果



■改良後の計測結果（固定望遠撮影方式）



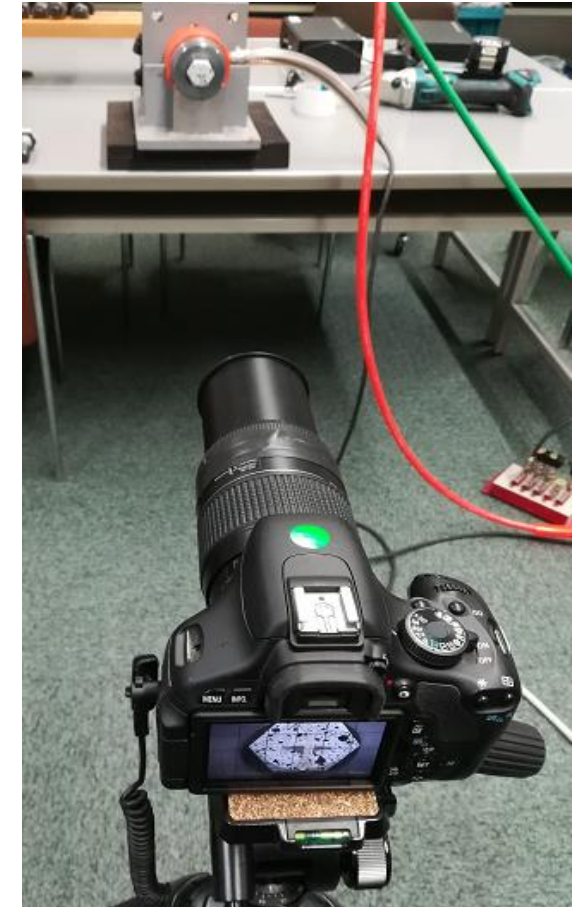
【斑なし】



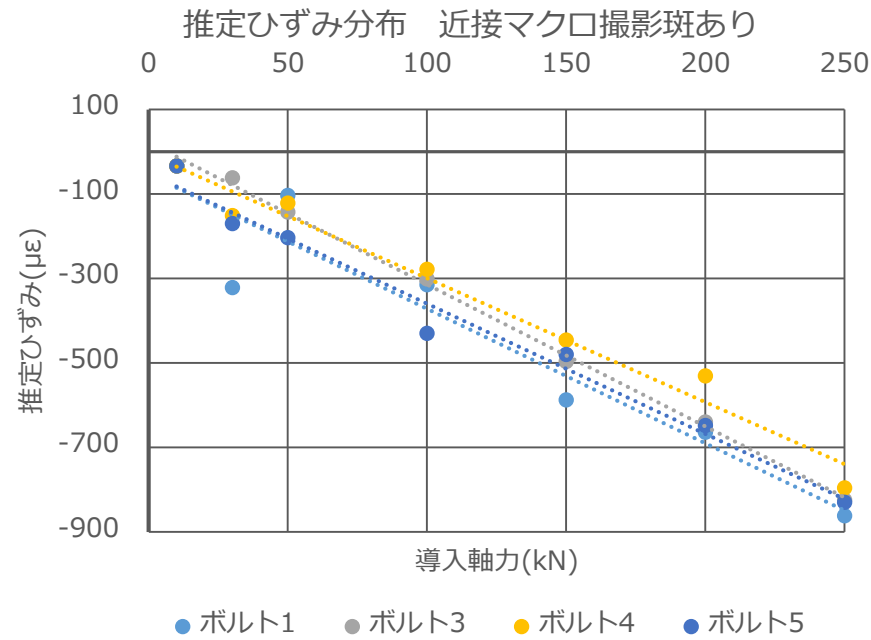
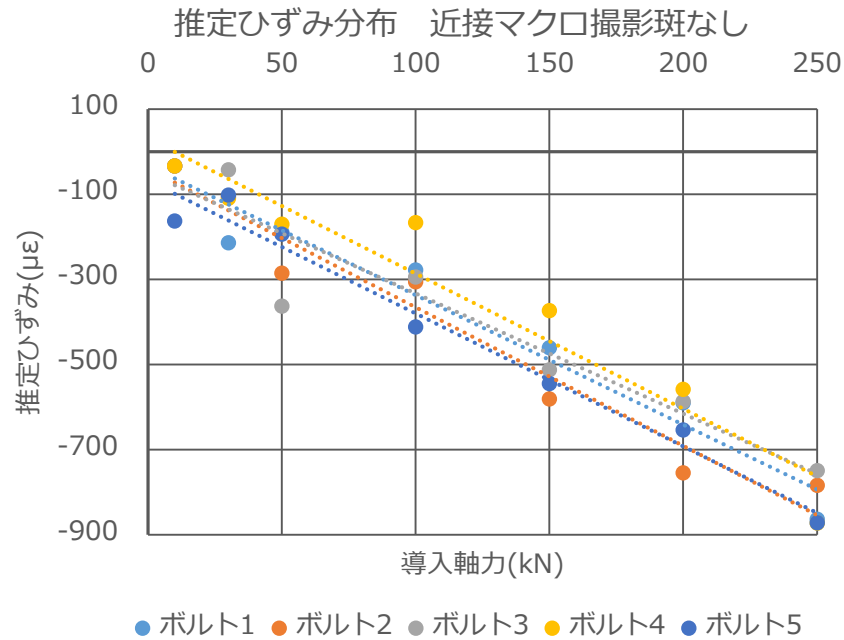
【斑あり】



固定望遠撮影実験状況



■改良後の計測結果 (近接マクロ撮影方式)



【斑なし】



【斑あり】



近接マクロ撮影装置

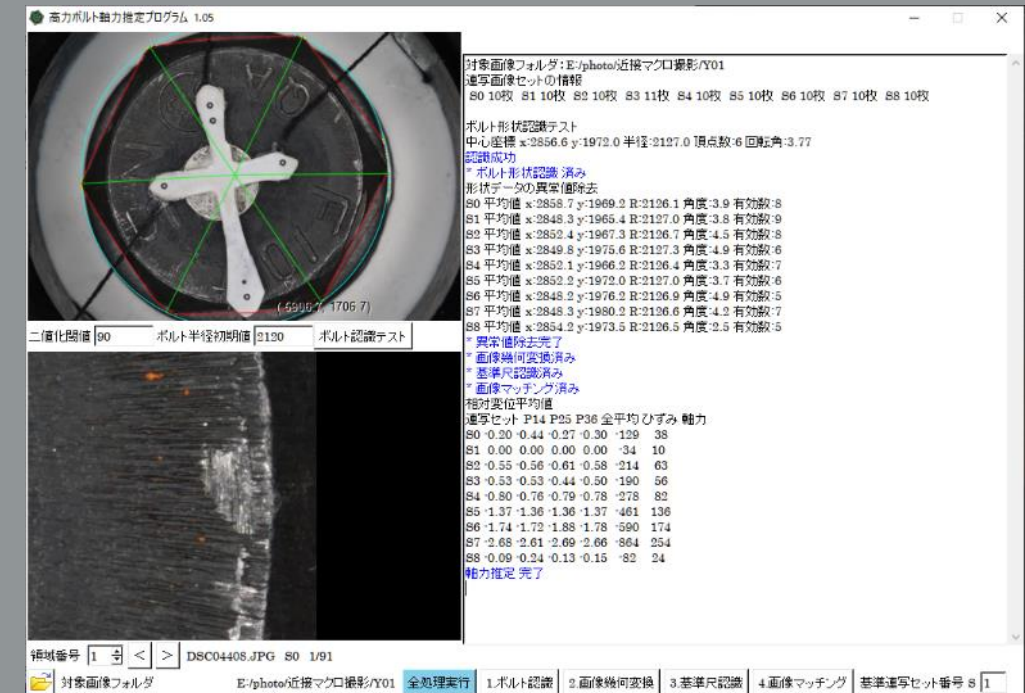


近接マクロ撮影実験状況



■まとめ

- ①画像計測による高力ボルト軸力推定のため**専用ソフトウェアの試作開発を行った**。また、専用ソフトウェア及び撮影作業についてのマニュアルを作成した。
- ②**固定望遠撮影方式においては、十分実用的な軸力推定が可能であることを示した**。ただし、固定望遠撮影方式は実現場への適用が限定されることがわかった。
- ③現場において効率的かつ広く適用可能な手法として、**近接マクロ撮影方式を考案**した。なお、近接マクロ撮影方式では、固定望遠撮影方式のように高い精度で軸力推定できないものの、ある程度の評価は可能であることを示した。
- ④実橋梁において、近接マクロ撮影方式での計測実験を行い、**高い作業性と効率性で作業が行えることを確認**した。



画像軸力推定ソフトウェア「Bolt-Force」

新都市社会技術融合創造研究会 高カボルトWG 成果のまとめ

WG1

- 高力ボルトの残存軸力は、摩擦接合面の影響によるリラクゼーションやクリープの影響はあるものの、**軸力低下が大きい原因は製作誤差や施工管理上の問題が大きい**ため高力ボルト締付け後の管理はトルク計測ではなく直接軸力計測する方法が望まれる。
- 機械試験の結果より、長期間使用している高力ボルトであっても腐食による断面欠損が進行していなければ、その後の**軸力管理方法さえ確立すれば、再利用の可能性は十分ある**と考えられる。

WG2

- 一部、ボルト軸力低下していてもFEM解析で予測し、高力ボルトの**増締めを行うで高力ボルト摩擦接合継手の性能を効率的に回復できることを確認できた**。
- 目違いが1mmの場合ではその影響は小さいものの、箱桁のように連結部材が多点拘束となる条件下で、**目違いを有する場合には、連結板が変形することで接触し、ボルト軸力が導入されることがわかった**。すなわち、**製作および架設精度は大変重要**となる。

WG3

- **デジタルカメラを使用した画像処理による軸力管理手法について**、計測精度や機材に課題はあるものの、実際の現場作業に配慮したシステムを構築しており**現場実装は十分適用可能**である。
- また、今後も進歩し続けるカメラ処理性能やデータ通信処理速度が向上すれば、**確実に計測精度や効率化は向上**する。さらには、ロボット化も可能である。

- ① 1980年代の耐候性鋼橋（摩擦接合面が無塗装）を調査し考察した内容について残存軸力を検証する。
- ② ナット回転角法が180°であった1970年代の溶融亜鉛めっき鋼橋を調査しナット回転角の120°と180°の違いによる残存軸力を明らかにする。
- ③ 肌すきの影響を2～3mmに増幅した場合の軸力への影響をFEM解析で明らかにする。
- ④ 近接カメラの専用アダプターを製作し、撮影時の設置誤差を解消する。
- ⑤ より多くの実験データから測定誤差の原因を追究し、実現場での実用化に向けた開発を行う。

ご清聴ありがとうございました。