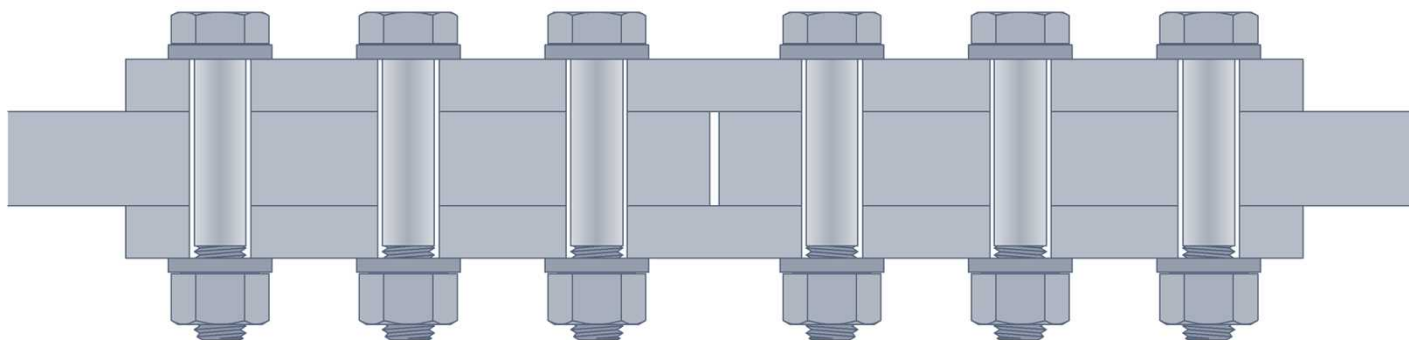


【令和2年度 第17回 新都市社会技術セミナー】

「既設橋梁における高力ボルト継手の実態調査と 安全性評価および点検方法の検討」



令和2年9月28日（火）

プロジェクトリーダー：大阪市立大学大学院 教授 山口隆司

新都市社会技術融合創造研究会 高力ボルトプロジェクトチーム

1.研究の背景

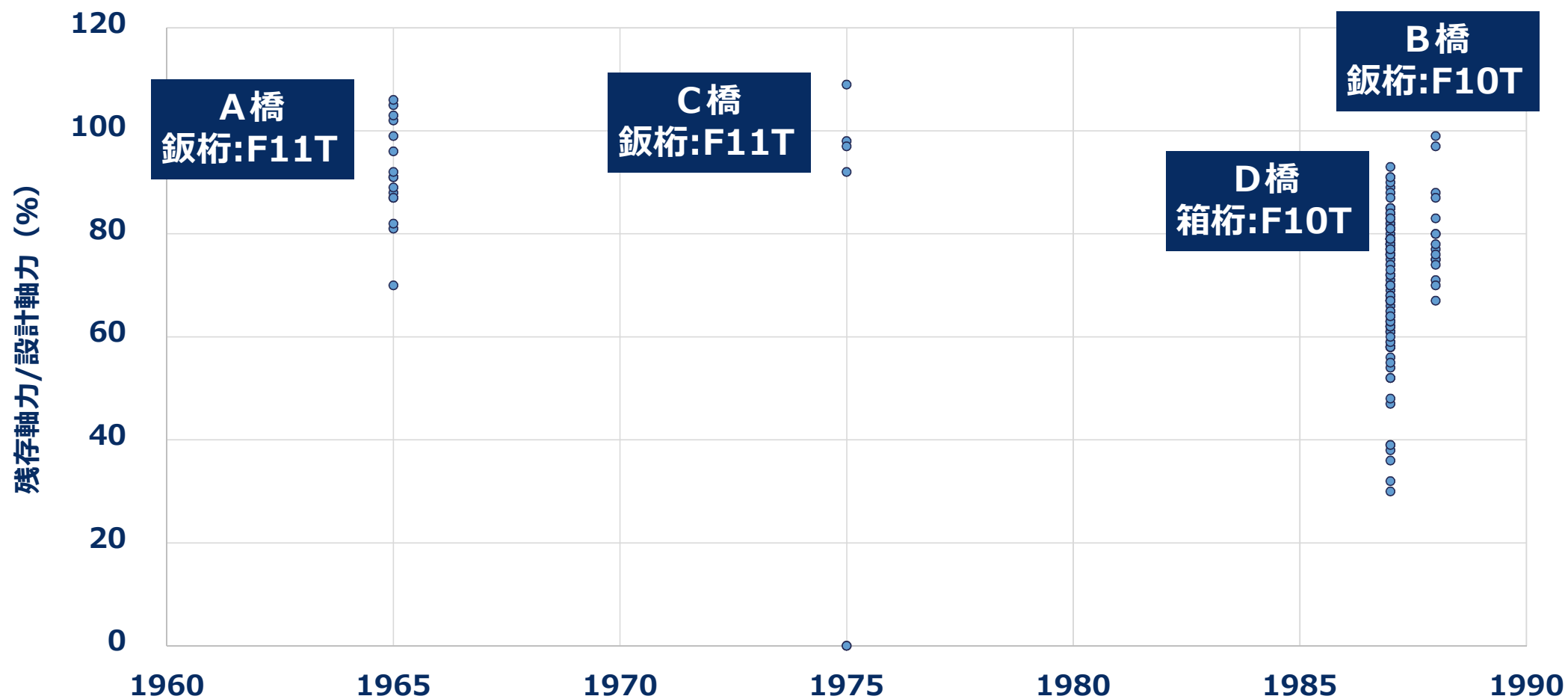
高力ボルトの軸力管理は鋼橋をはじめ様々な分野で緩みや強度など安全性と信頼性の指標として重要視されている

高力ボルトは適用の当初からリラクゼーションによる軸力低下が考えられていたため、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していた



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

■ 調査した高力ボルト残存軸力の経年変化



2.研究の目的

①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することで、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。

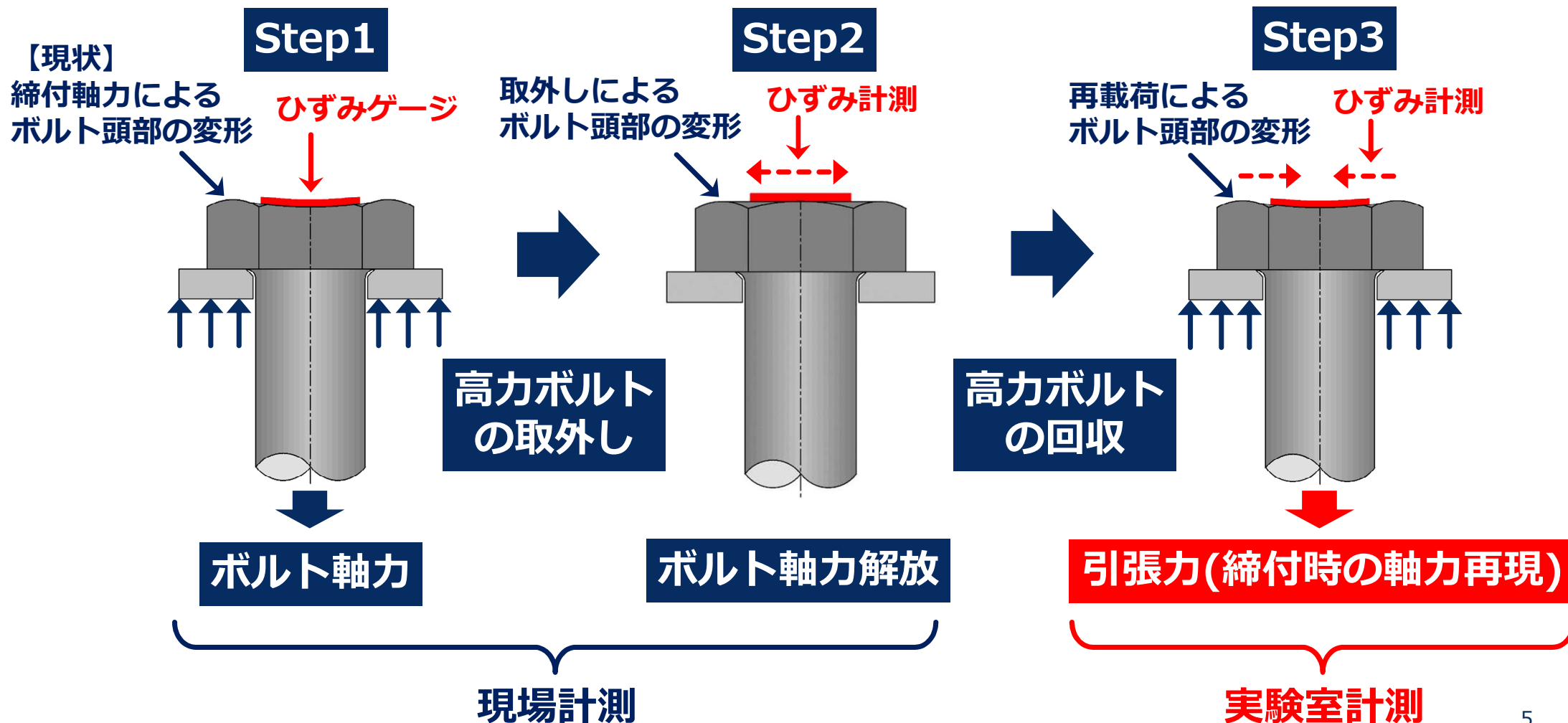
②供用中の鋼橋に関する安全性評価

仮に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簡便な管理手法の検討

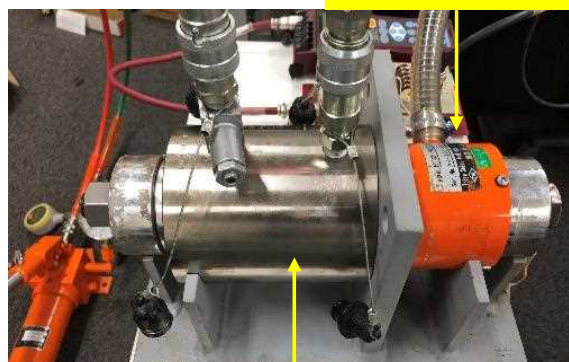
高力ボルトの本締め後に全ての高力ボルトに所定の軸力が導入されているかを確認する方法は無いため、導入軸力を測定する方法として、高力ボルト頭部にひずみゲージを使用する方法や超音波測定方法による直接的な測定方法より、簡便で間接的な調査方法として、画像処理によるひずみ評価方法を試行し高力ボルトの点検手法の省力化を検討する。

3. 残存ボルト軸力の測定方法



■ 残存ボルト軸力測定装置（実験室計測）

ロードセル



センターホールジャッキ

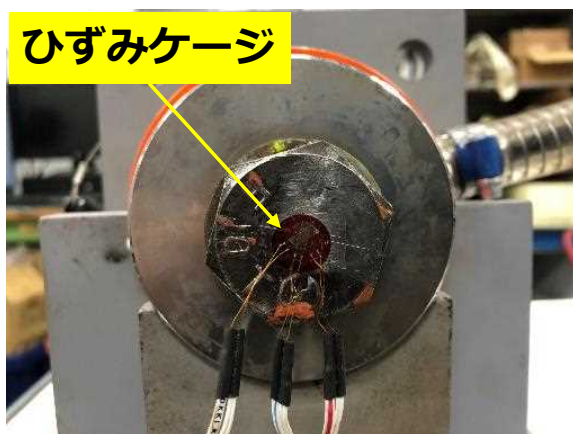
ジャッキポンプ



データロガー



ひずみゲージ



マーキング



ハイテンションロッド



ハイテンション高ナット

4. サンプルリング対象橋梁の選定

橋梁名	E橋	F橋	G橋	H橋	I橋	J橋
踏査年月日	2019.08.24(Sun)	2019.09.06(Fri)	2019.09.06(Fri)	2019.09.06(Fri)	2019.09.07(Sat)	2019.09.07(Sat)
路線	国道8号	国道9号	国道9号	国道9号	国道1号	国道161号
事務所名	福井河川国道事務所	豊岡河川国道事務所	豊岡河川国道事務所	豊岡河川国道事務所	京都国道事務所	滋賀国道事務所
完成年度 (経過年数)	1974年 (45年) 1967年 (52年)	1976年 (43年)	1959年 (60年)	1973年 (46年)	1988年 (31年)	1992年 (27年)
橋梁形式	単純2主箱桁橋2連*2(上下線) 単純1主鈑桁橋2連*2(上下線)	単純5主鈑桁橋1連	単純5主鈑桁橋1連	単純6主鈑桁橋2連	2径間連続2主箱桁橋1連	3径間連続5主鈑桁橋1連
橋長	162.0m	20.0m	12.0m	50.0m	141.5m	96.85m
桁長	54.0m+54.0m	19.9m	-	24.94m+24.94m	141.1m	96.6m
支間長	53.4m+53.4m	19.2m	-	24.44m+24.44m	81.4m+58.2m	32.0m+32.0m+32.0m
総幅員	11.5m	11.9m	12.5m	11.2m	11.55m	12.9m
ボルト種類	リベット 不明(M22)	不明(M22)	リベット 不明(M22) 部分的に対傾構のみ	B8T (M22) メッキ F8T(M22) メッキ	F10T(M22)	S10T (M22) F10T(M22) (横桁下フランジのみ)
メーカー	三ツ星産業株式会社	不明	不明	神鋼ボルト株式会社	日鉄ボルデン株式会社	不明
塗装仕様	不明 (初期) RC-Ⅲ (現在)	不明 (初期) 不明 (現在)	不明 (初期) 不明 (現在)	不明 (初期) 不明 (現在)	B2塗装系 (初期) B2塗装系 (現在)	A1塗装系 (初期) A1塗装系 (現在)
現場着手 予定日	2019.11～	2020.01～	2020.01～	2020.01～	2019.11～	2020.02～
現地住所	兵庫県美方郡新温泉町千谷	兵庫県美方郡新温泉町千谷	兵庫県美方郡新温泉町歌長	兵庫県美方郡新温泉町春来	京都府久世郡久御山森	滋賀県高島市鴨
架橋地点	平地部 河川上	山間部 河川上	山間部 河川上	山間部 河川上	平地部 河川上	平地部 河川上
海岸線距離	18km (日本海側)	10km (日本海側)	9km (日本海側)	15km (日本海側)	40km (太平洋側)	30km (日本海側) : 琵琶湖1.5 k m
腐食状況	外桁の下フランジで激しい腐食あり	下フランジで若干腐食あり	下フランジで若干腐食あり	下フランジ添接部で激しい腐食あり	全体的に塗装の剥がれあり	下フランジで腐食あり
調査結果	・水管の漏水の影響により腐食が進行している。 ・箱桁はリベット接合であった。 ・F10TとF11Tが不明である。 ・箱桁と鈑桁の継ぎ手は高力ボルトを使用している。 ・ボルト頭部に凹みがあり。 ・鈑桁部への荷重は歩道からの荷重。 ・床版を補強している経歴を確認した。 ・ボルト部は程よく腐食している。 ・塗装の初期の仕様が不明である。	・河川上ではあるが、激しい腐食は、認できなかった。 ・外桁の下フランジ上面には埃などが堆積している。 ・ボルトメーカーは確認できなかった。 ・塗装の初期及び現在の仕様が不明である。 ・F10TとF11Tが不明である。 ・継ぎ手は1径間に1箇所である。 ・下フランジのボルトは上から下に向かってボルトを挿入している。 ・製作会社は不明。	・主桁のボルト継手は確認できなかった。 ・施工性の悪い対傾構は部分的にボルトを使用している。それ以外はリベットを使用。 ・ボルトメーカーは確認できなかった。 ・塗装の初期及び現在の仕様が不明である。 ・F10TとF11Tが不明である。 ・製作会社は不明。	・河川上でメッキ仕様ではあるが、激しく腐食が進行している。 ・B8TとF8Tを併用している。 ・恐らくB8Tが初期で、その後F8Tに取り換えている可能性あり。 ・添接部の母材で層状剥離状腐食が進行しており、軸力低下の進行が懸念される。 ・ウェブ添接部にL形アングル配置されているが、架設時の仕様と思われる。 ・製作会社は不明。	・河川上ではあるが、激しい腐食は、認できなかった。 ・漏水による腐食進行が考えられる。恐らく桁内は腐食がかなり進んでいると思われる。 ・母材までの腐食は一部を除き、見受けられなかった。	・河川上ではあるが、激しい腐食は、認できなかった。 ・横桁フランジのみF10Tを使用している理由は不明である。 ・ボルトメーカーは不明である。

■ 選定した橋梁

【H橋】



- ・ 橋梁形式：鋼桁橋
- ・ 橋長：50m
- ・ 支間長：24.4m + 24.4m
- ・ 建設年：1973年 (46年)
- ・ ボルト強度：B8T
F8T (取替)
- ・ ボルト径：M22 (メッキ)
- ・ 接合面仕様：不明

実施済

【I橋】



- ・ 橋梁形式：鋼床版箱桁橋
- ・ 橋長：141.5m
- ・ 支間長：81.4m + 58.2m
- ・ 建設年：1988年 (31年)
- ・ ボルト強度：F10T
- ・ ボルト径：M22 (塗装)
- ・ 接合面仕様：無塗装

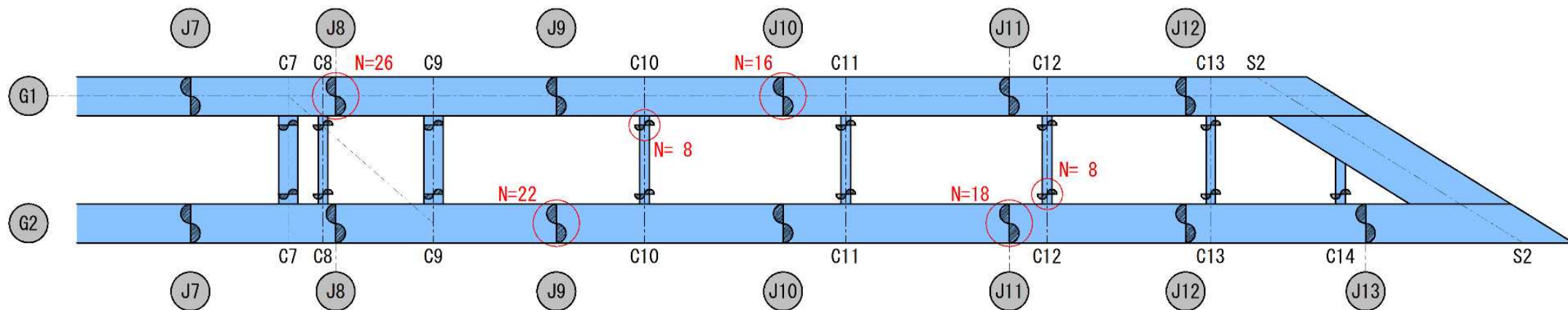
実施済

【J橋】



- ・ 橋梁形式：鋼桁橋
- ・ 橋長：96.85m
- ・ 支間長：3@32.0m
- ・ 建設年：1992年 (27年)
- ・ ボルト強度：S10T
F10T (横桁)
- ・ ボルト径：M22 (塗装)
- ・ 接合面仕様：無塗装

■ I 橋 サンプルング位置図



主桁



横桁



高力六角ボルト



■ サンプルング状況

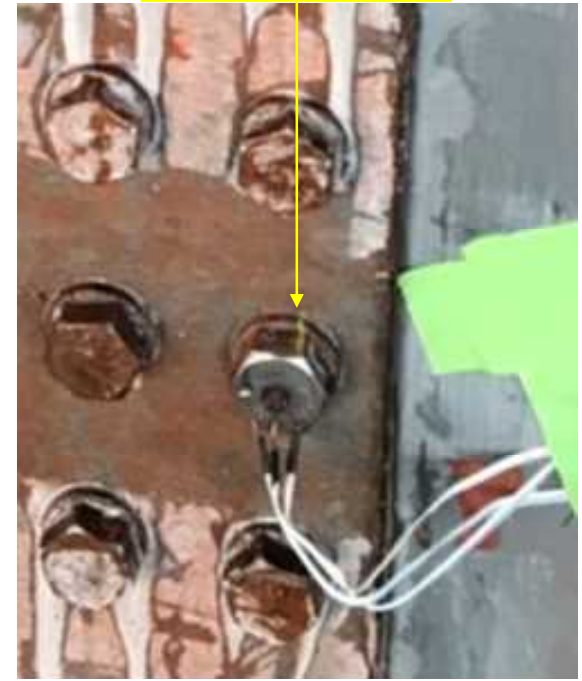


ウェブ



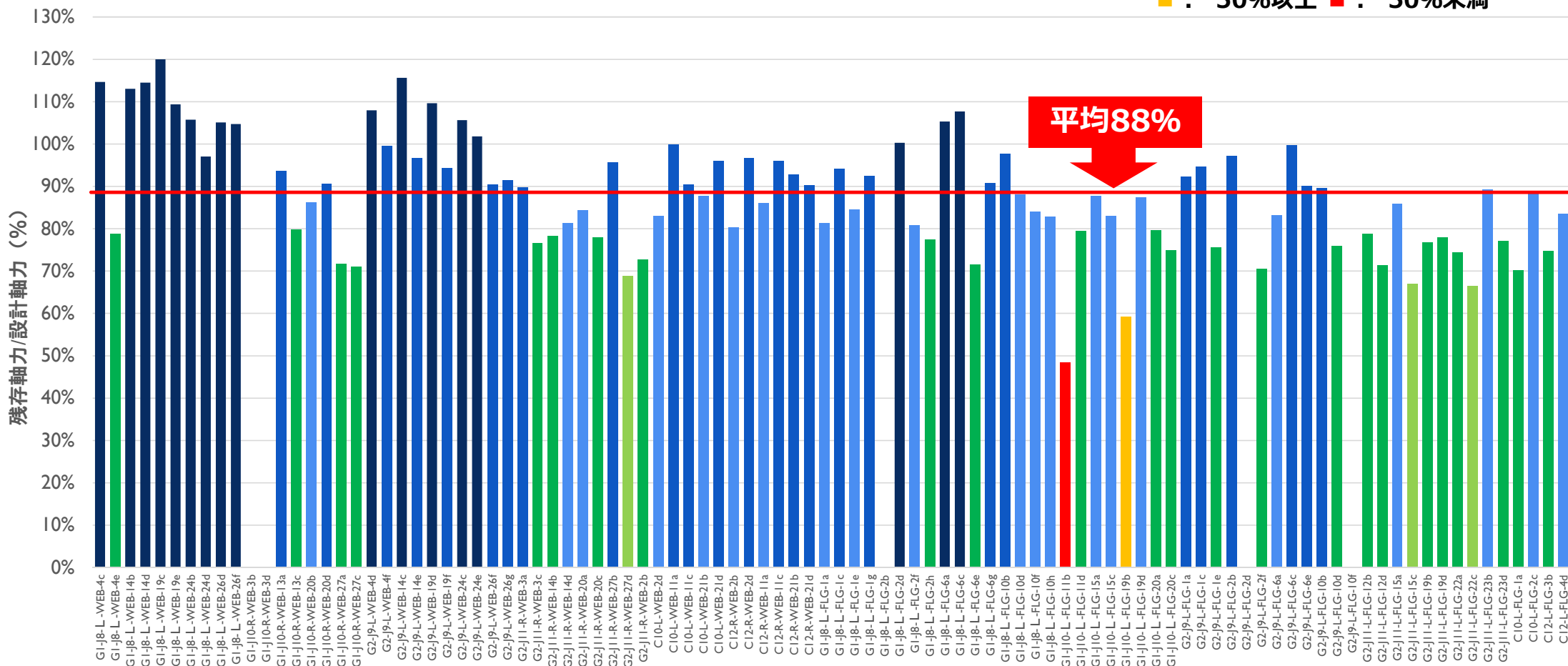
下フランジ

マーキング



■ 残存軸力率調査結果（道路橋Ⅰ）

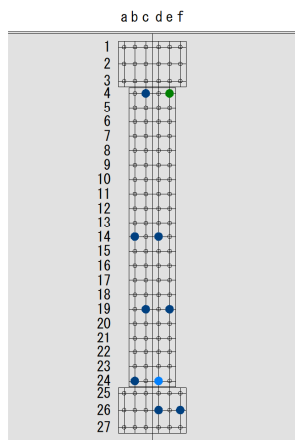
- : 100%以上
- : 90%以上
- : 80%以上
- : 70%以上
- : 60%以上
- : 50%以上
- : 50%未満



■ I 橋 主桁 残存軸力率分布図

G1-J8 N=26

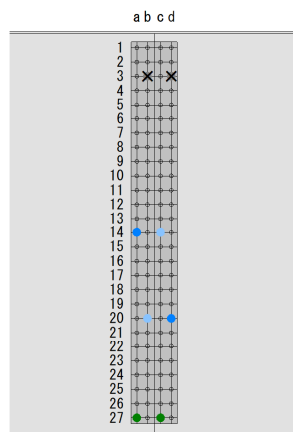
L-WEB



120-H. T. B
M22x70
n=10

G1-J10 N=16

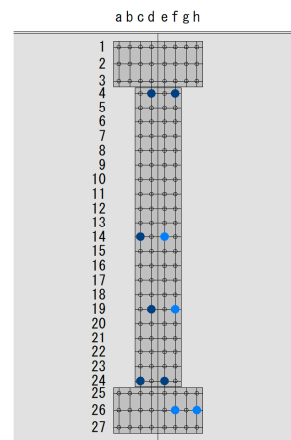
R-WEB



108-H. T. B
M22x70
n= 8

G2-J9 N=22

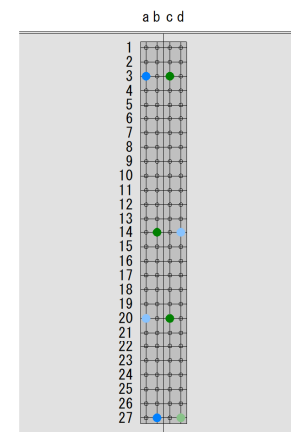
L-WEB



132-H. T. B
M22x70
n=10

G2-J11 N=18

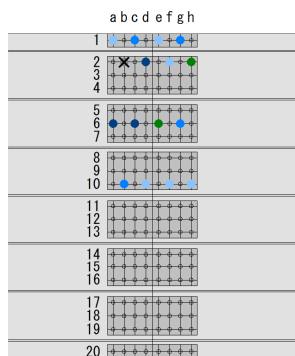
R-WEB



108-H. T. B
M22x70
n= 8

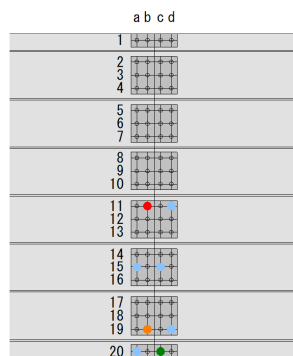
- : 100%以上
- : 90%以上
- : 80%以上
- : 70%以上
- : 60%以上
- : 50%以上
- : 50%未満
- × : 失敗

L-FLG



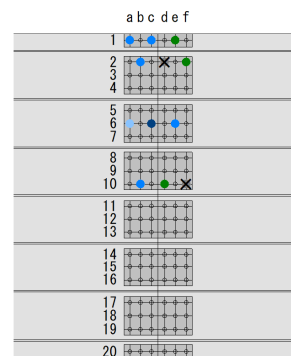
160-H. T. B
M22x75
n=16

L-FLG



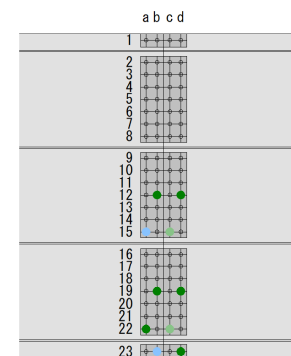
80-H. T. B
M22x70
n= 8

L-FLG



120-H. T. B
M22x75
n=12

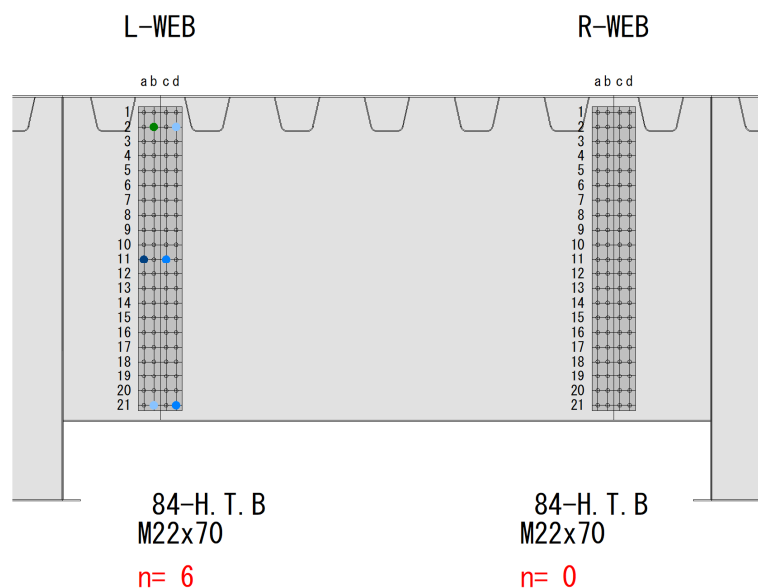
L-FLG



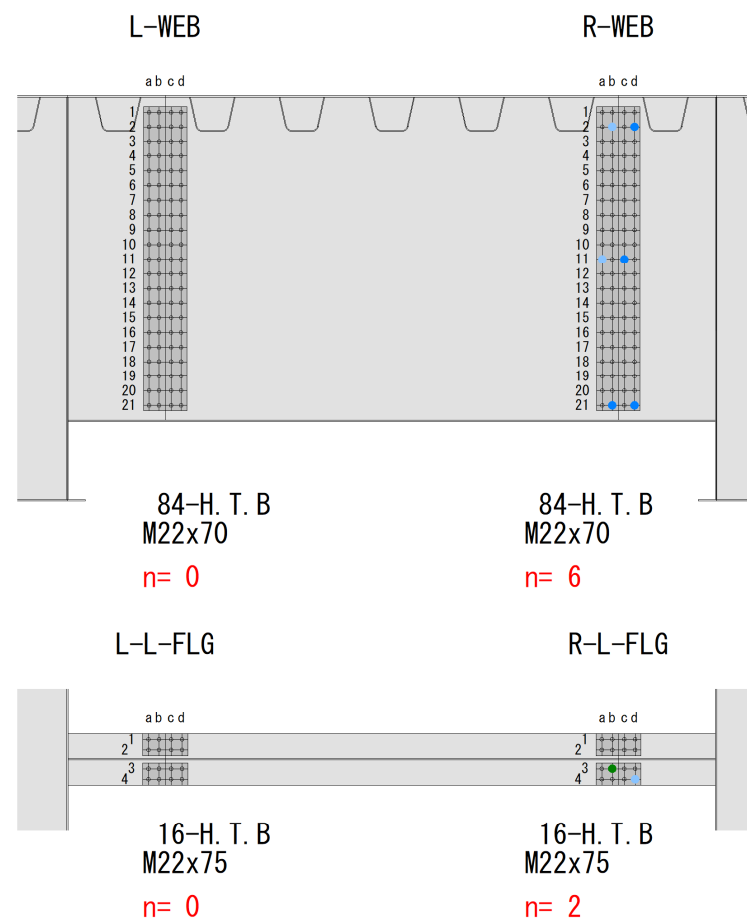
92-H. T. B
M22x70
n=10

I 橋 横桁 残存軸力率分布図

C10 N= 8

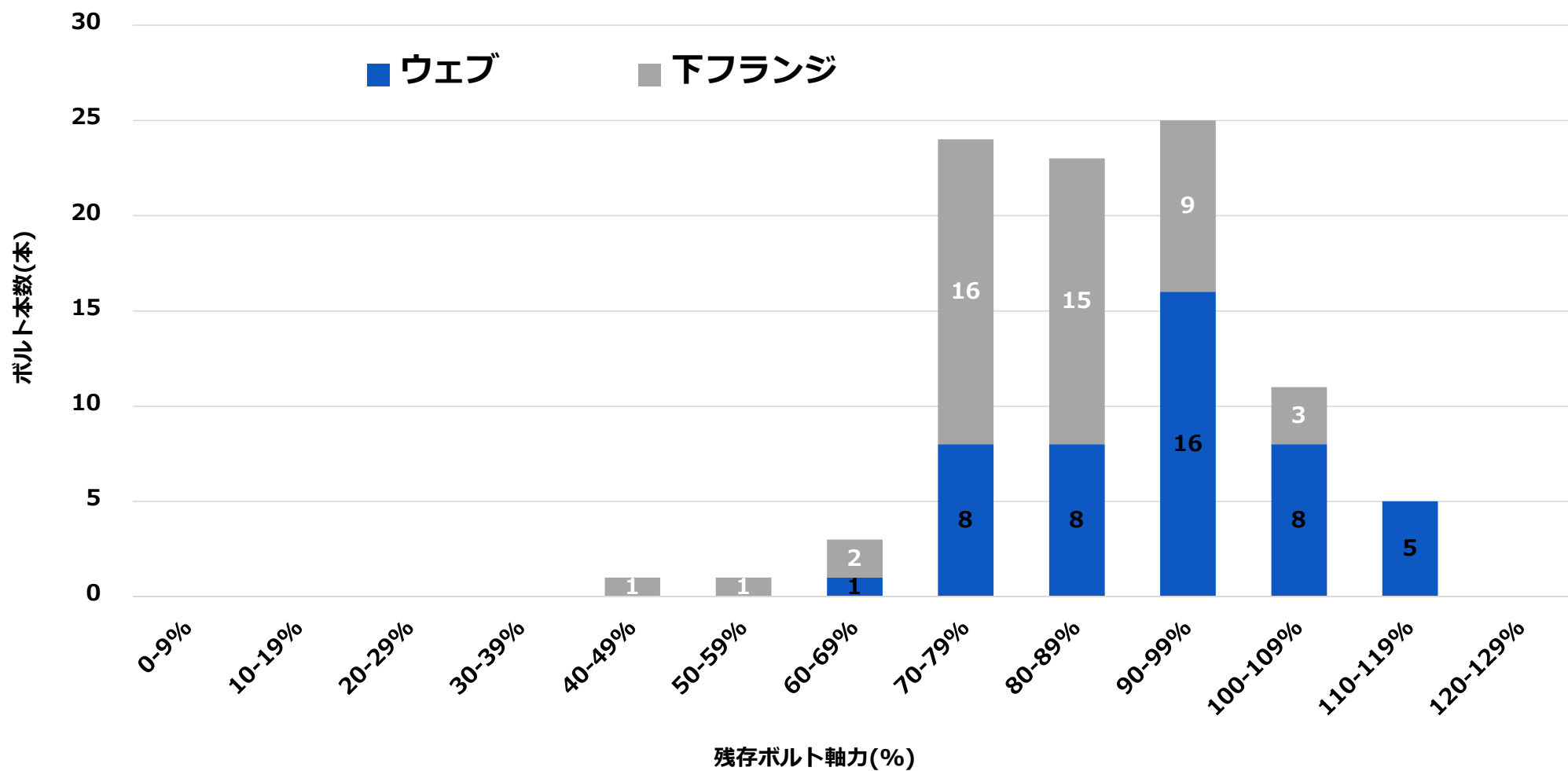


C12 N= 8



- : 100%以上
- : 90%以上
- : 80%以上
- : 70%以上
- : 60%以上
- : 50%以上
- : 50%未満
- × : 失敗

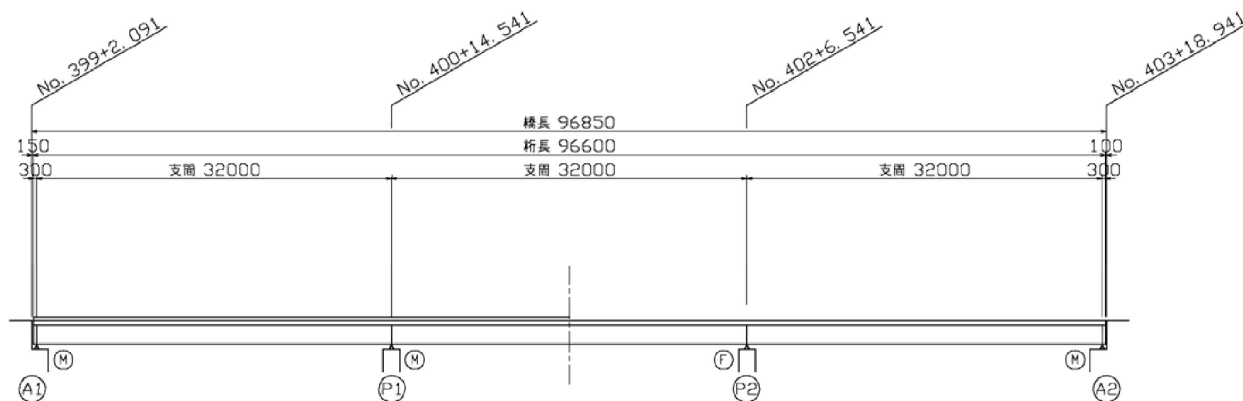
■ 残存軸力率度数分布図（道路橋Ⅰ）



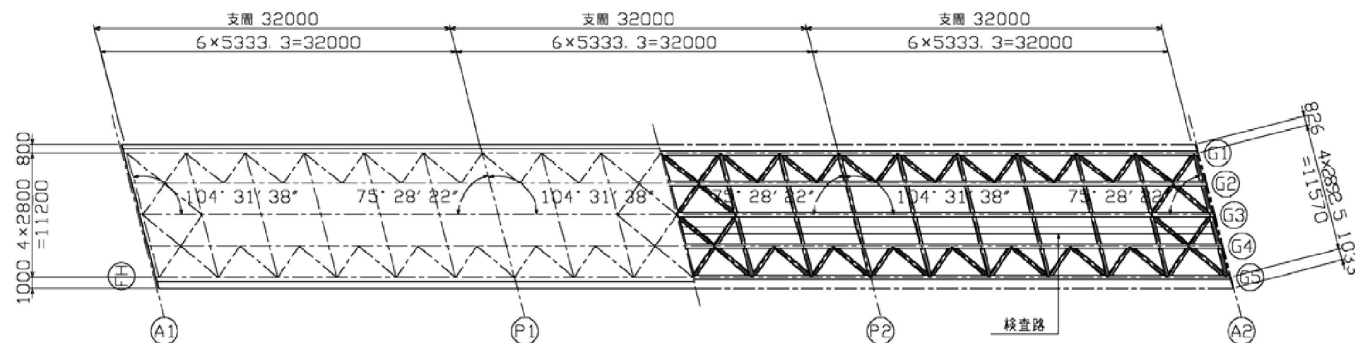
5-2.実橋ボルトサンプリング

■J橋 上部工構造一般図

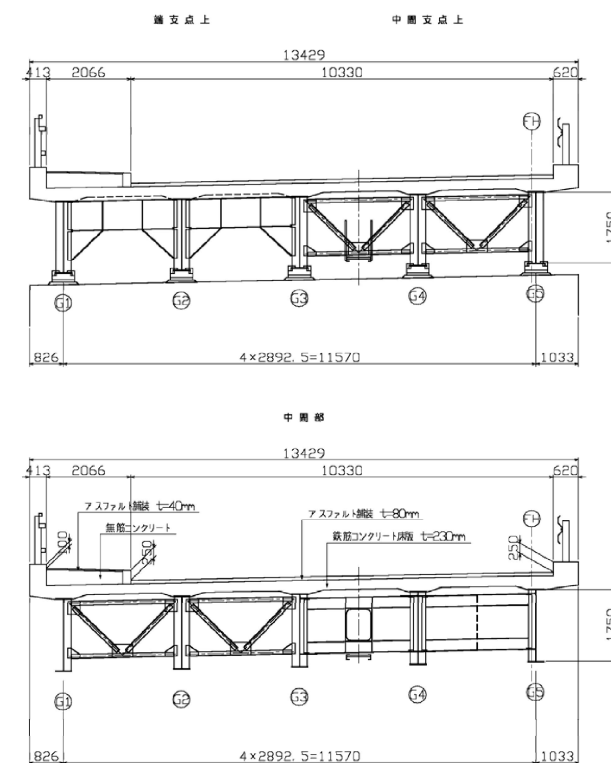
側面図



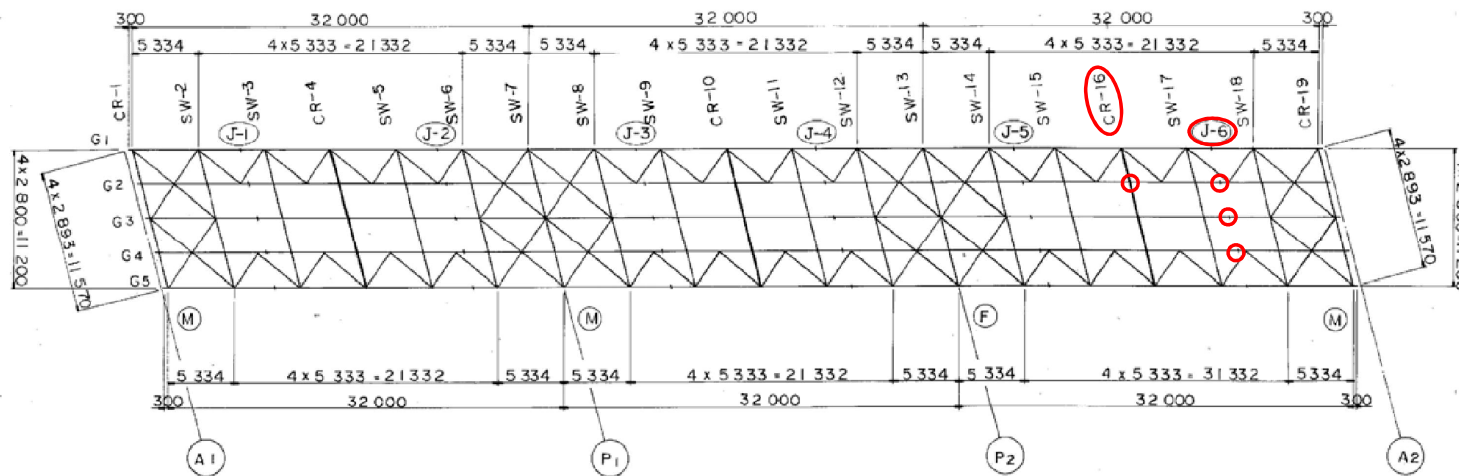
平面図



断面図



■ J橋 サンプルング位置図



トルシア形高カボルト



高力六角ボルト



主桁



横桁



■ サンプルング状況

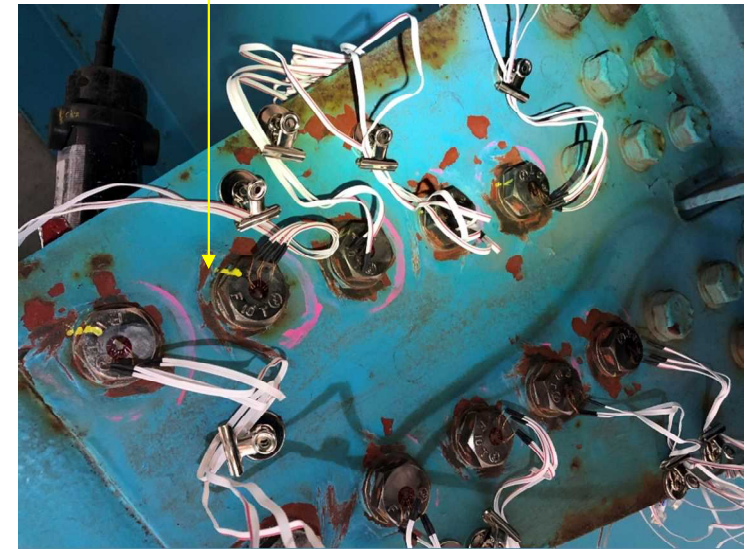


ウェブ



下フランジ

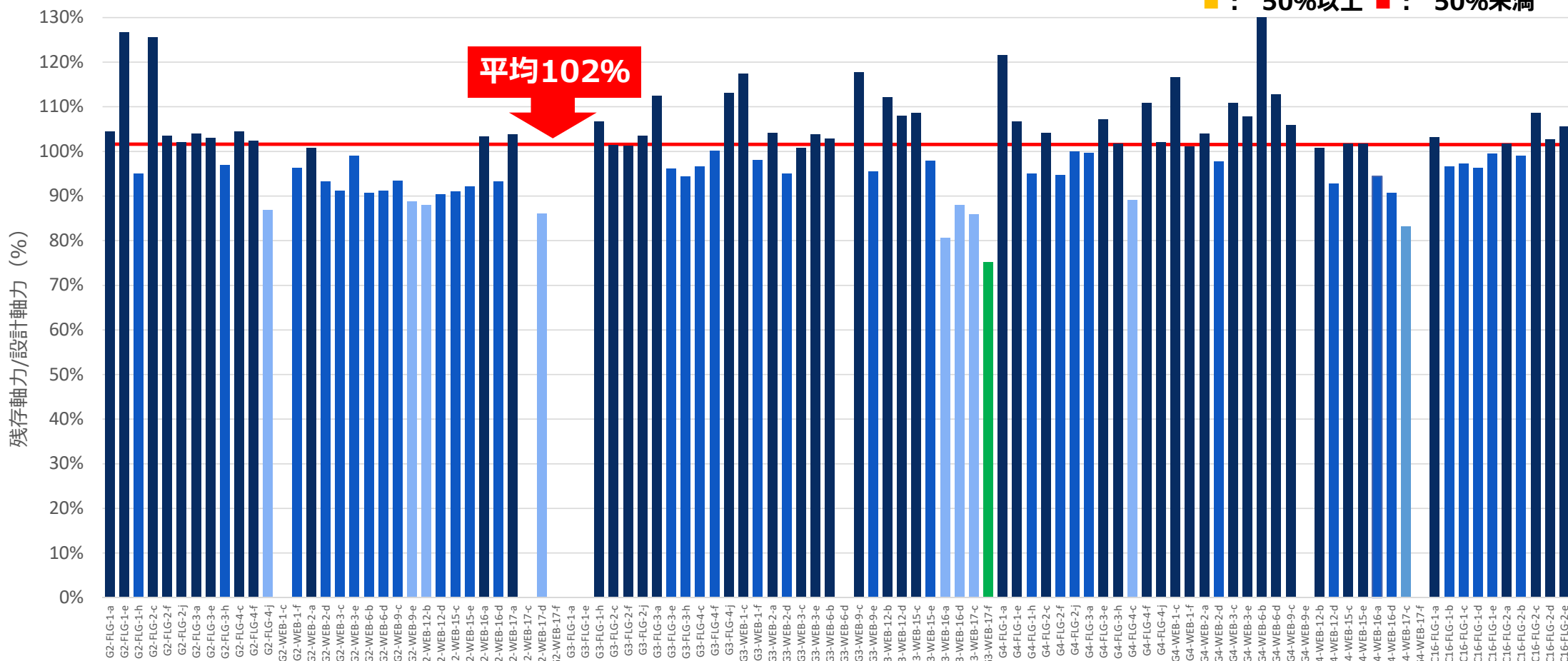
マーキング



横桁

■ 残存軸力率調査結果（J 橋）

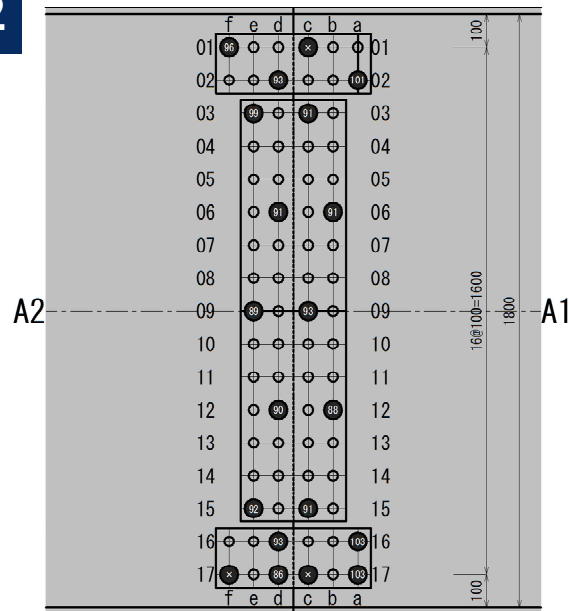
- : 100%以上
- : 90%以上
- : 80%以上
- : 70%以上
- : 60%以上
- : 50%以上
- : 50%未満



■ J 橋 主桁 残存軸力率分布図

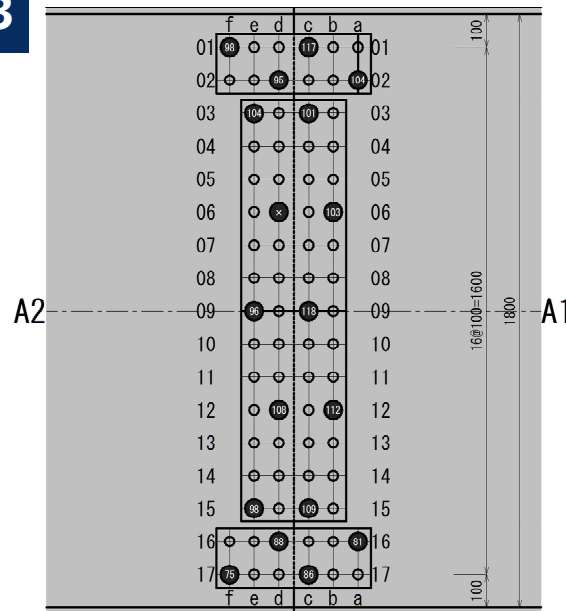
G2

N = 32



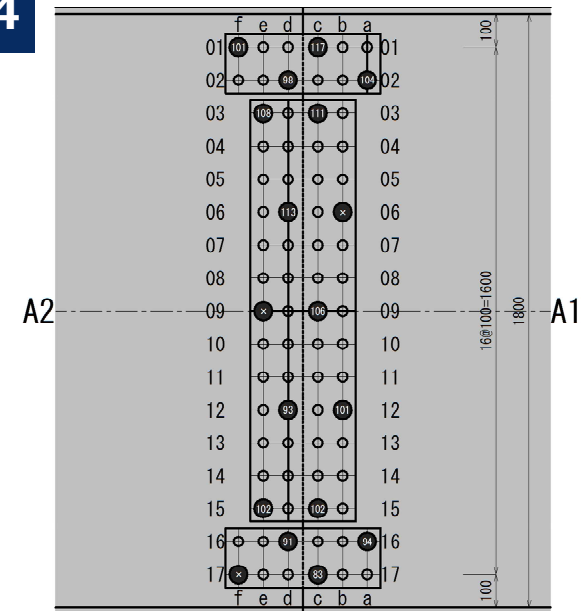
G3

N = 30



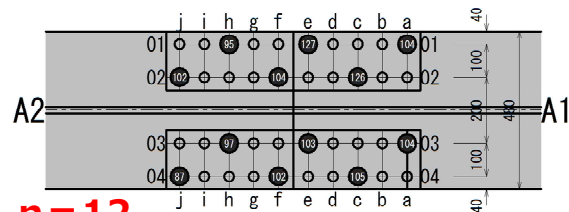
G4

N = 30



n = 20

2@75
=150 90 2@75
=150
1-WEB. PL 1750x 9x L (SM490YA)
1-SPL. PL 175x 9x 470 (SM490YA)
1-SPL. PL 1280x 9x 320 (SM490YA)
76-H. T. B M22x65 (S10T)

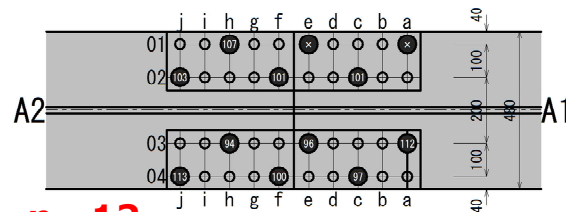


n = 12

4@75=300 90 4@75=300
1-FLG. PL 430x25x L (SM490YB)
1-SPL. PL 430x14x 920 (SM490YA)
1-SPL. PL 190x16x 920 (SM490YA)
44-H. T. B M22x90 (S10T)

n = 18

2@75
=150 90 2@75
=150
1-WEB. PL 1750x 9x L (SM490YA)
1-SPL. PL 175x 9x 470 (SM490YA)
1-SPL. PL 1280x 9x 320 (SM490YA)
76-H. T. B M22x65 (S10T)

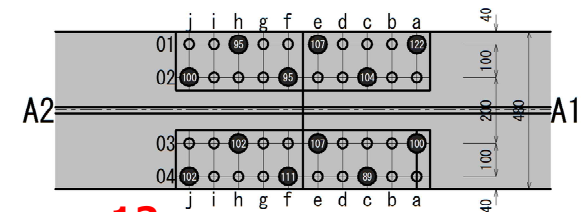


n = 12

4@75=300 90 4@75=300
1-FLG. PL 430x25x L (SM490YB)
1-SPL. PL 430x14x 920 (SM490YA)
1-SPL. PL 190x16x 920 (SM490YA)
44-H. T. B M22x90 (S10T)

n = 18

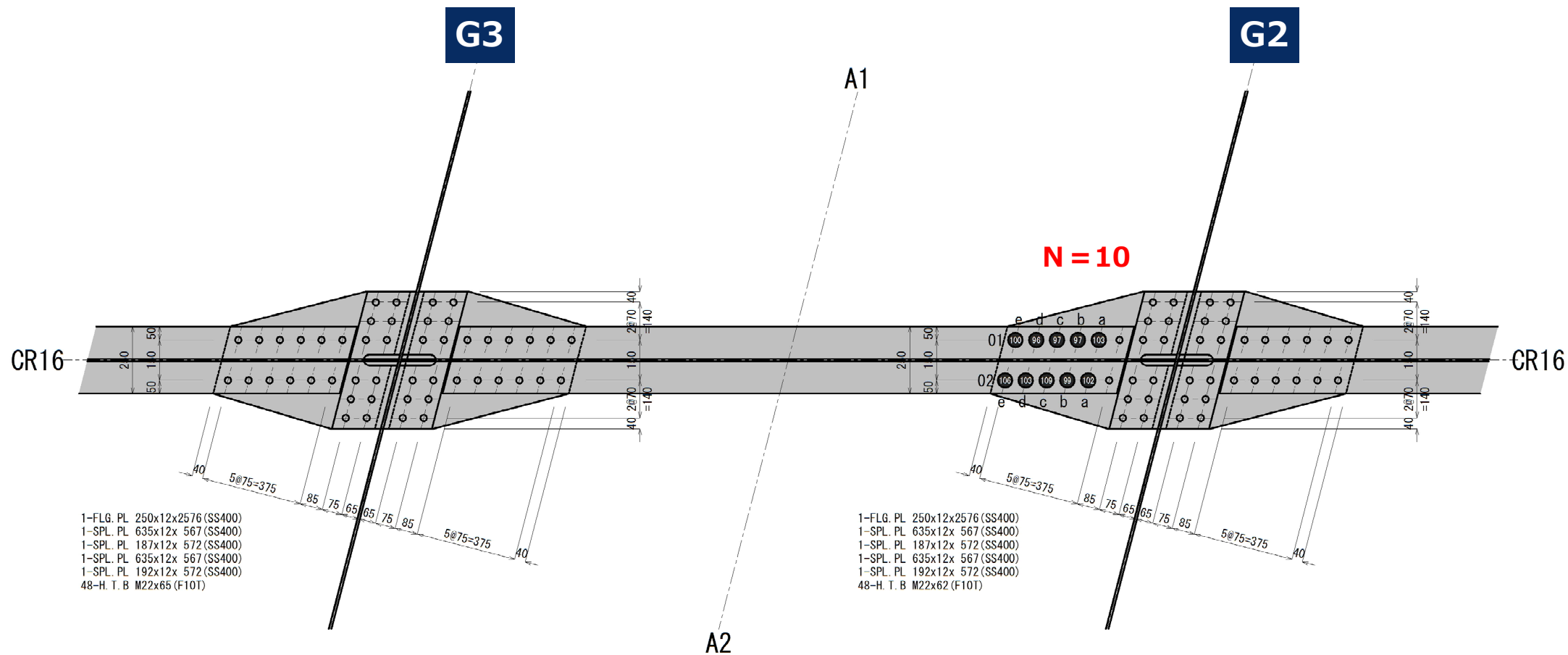
2@75
=150 90 2@75
=150
1-WEB. PL 1750x 9x L (SM490YA)
1-SPL. PL 175x 9x 470 (SM490YA)
1-SPL. PL 1280x 9x 320 (SM490YA)
76-H. T. B M22x65 (S10T)



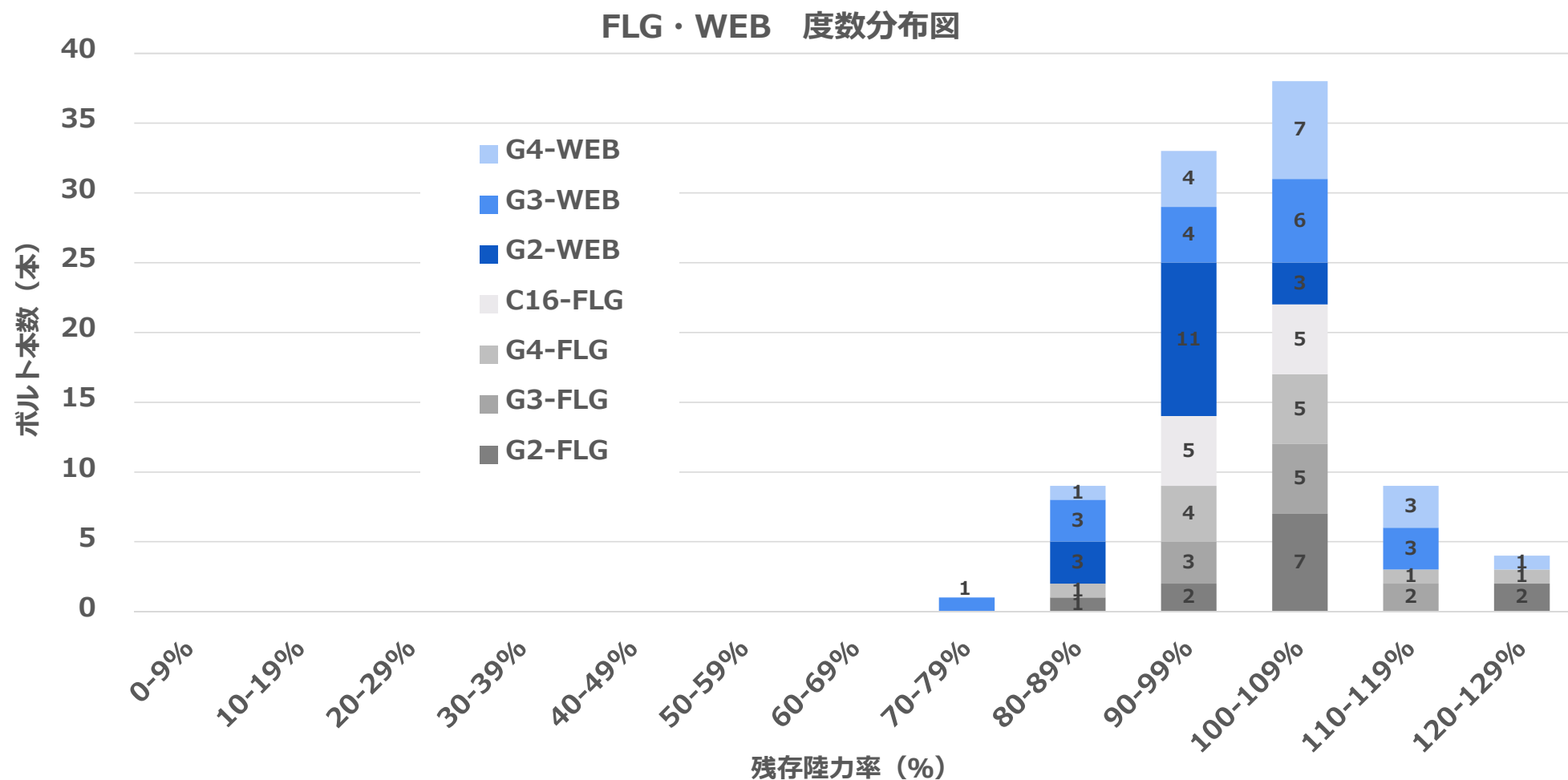
n = 12

4@75=300 90 4@75=300
1-FLG. PL 430x25x L (SM490YB)
1-SPL. PL 430x14x 920 (SM490YA)
1-SPL. PL 190x16x 920 (SM490YA)
44-H. T. B M22x90 (S10T)

■ J 橋 横桁 残存軸力率分布図



■ 残存軸力率度数分布図（J 橋）



■ 高力ボルト摩擦継手の許容力

【道路橋示方書】

等級	径	引張強度 σ_b (N/mm ²)	耐力 σ_y (N/mm ²)	断面積 A_e (mm ²)	係数 α	設計ボルト 軸力 N(kN)	摩擦面 m	すべり 係数 μ	安全率 ν	許容力 ρ (kN)
F 10 T S 10 T	M22	1000~ 1200	900	303	0.75	205	2面摩擦	0.4	1.7	96

● 設計ボルト軸力

$$N = \sigma_y \times A_e \times \alpha \text{ (N)}$$

σ_y : ボルトの降伏耐力 (N/mm²)

A_e : ねじ部の有効断面積 (mm²)

α : ボルトの降伏耐力に対する比率
(引張強度の68%に相当)

● ボルト1本当り許容力

$$\rho_a = m \times N \times \mu \times \nu \text{ (N)}$$

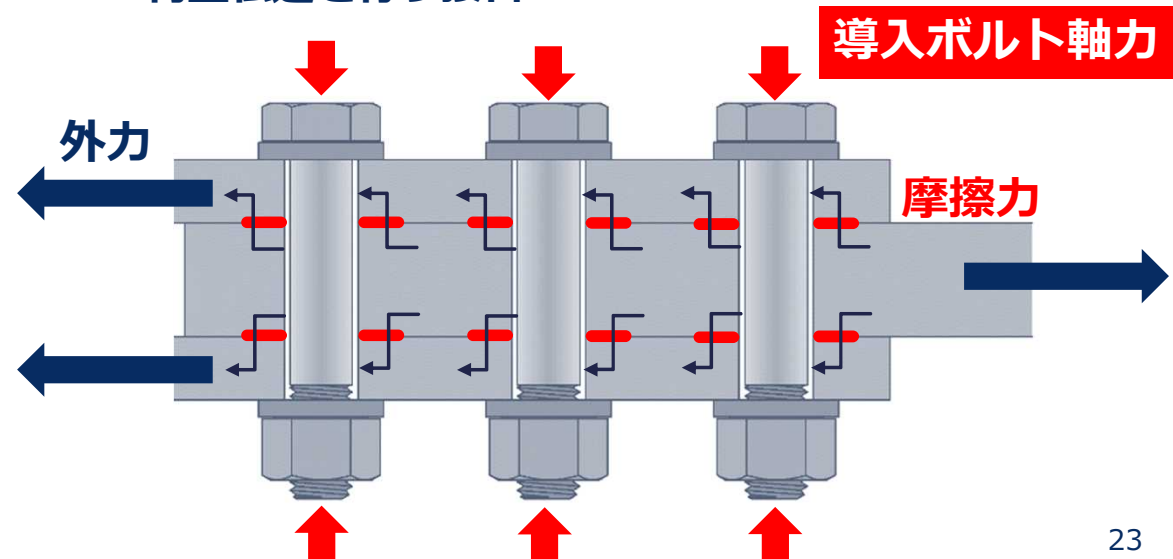
m : 摩擦面

μ : すべり係数

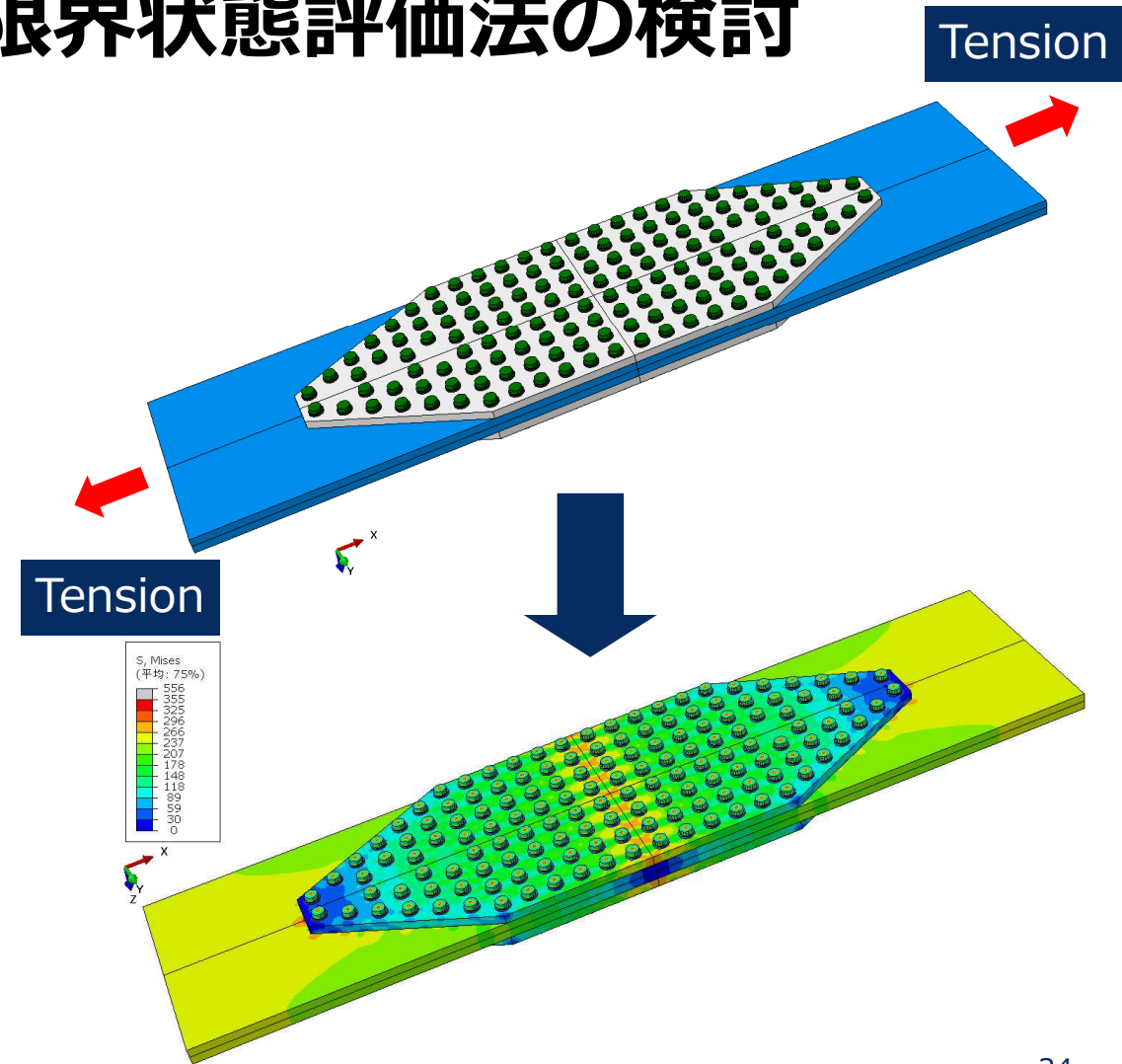
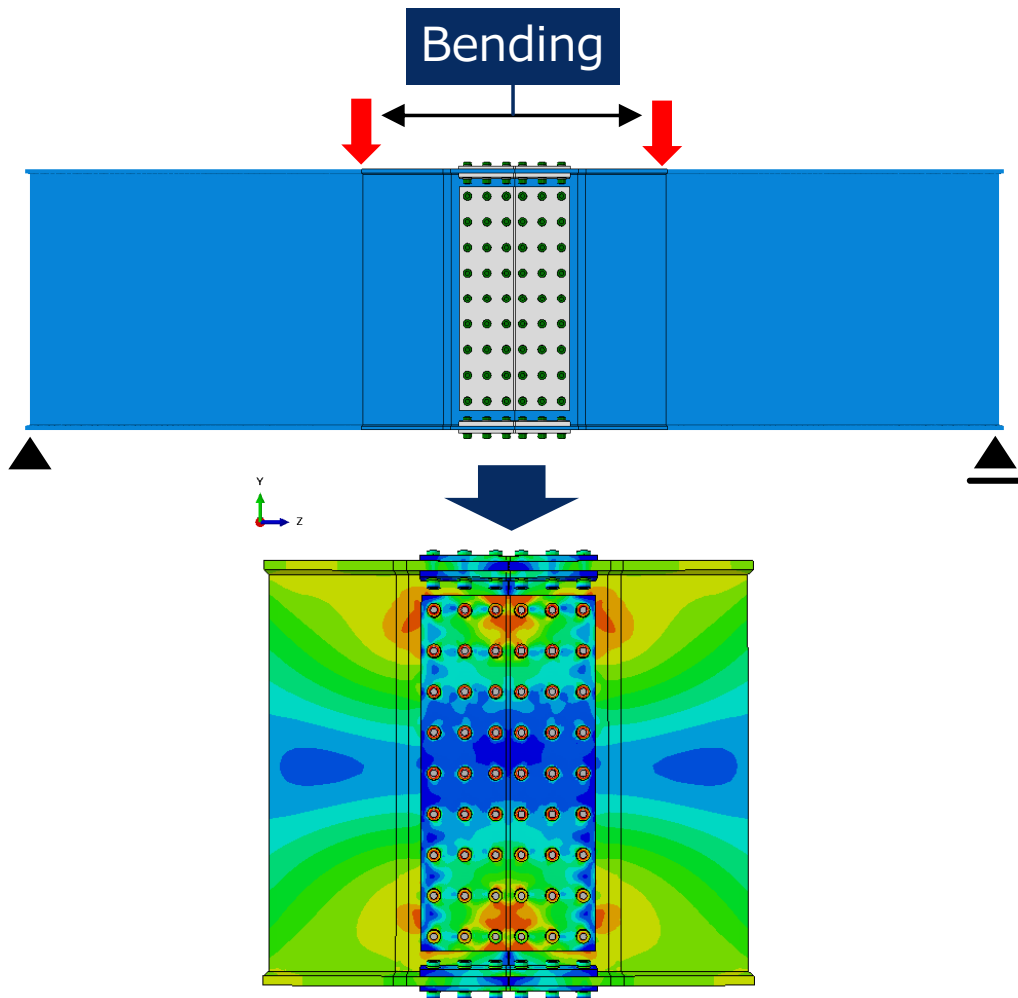
ν : 継手のすべりに対する安全率

● 2面摩擦接合継手

締付け力によって生じる摩擦力によって
荷重伝達を行う接合



6. 高力ボルト摩擦継手の限界状態評価法の検討



7. 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

【高力ボルト頭部のひずみ分布特性を調べ、測定方法実用化の基礎とする】



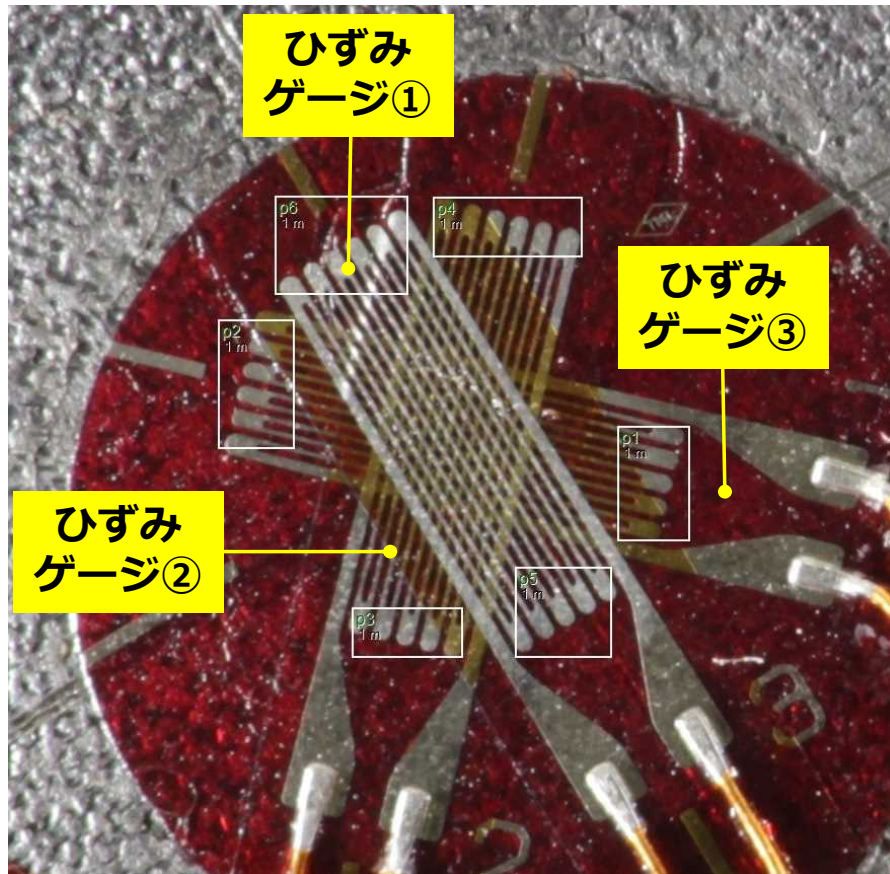
測定概要

- 測定対象：高力六角ボルト日鐵住金ボルテン製F10TM22
- 測定用写真撮影機材：
 - ・カメラ キヤノンEOS Kiss X5
 - ・レンズ タムロン 70-300mm(300mm)

- 撮影機材の設定：
 - ・画像の種類 静止画像
 - ・画像サイズ 1920×1080
 - ・感度 ISO 100
 - ・露出時間 1/30sec
 - ・絞り F5.6
 - ・撮影枚数 前後10枚
 - ・ストロボ発光 なし

- 測定方法（撮影方法）：
 - ・撮影距離 1.5m
 - ・傾斜角度 0°
 - ・解析方法 **最小二乗マッチング法**

■ ひずみゲージと画像処理の差



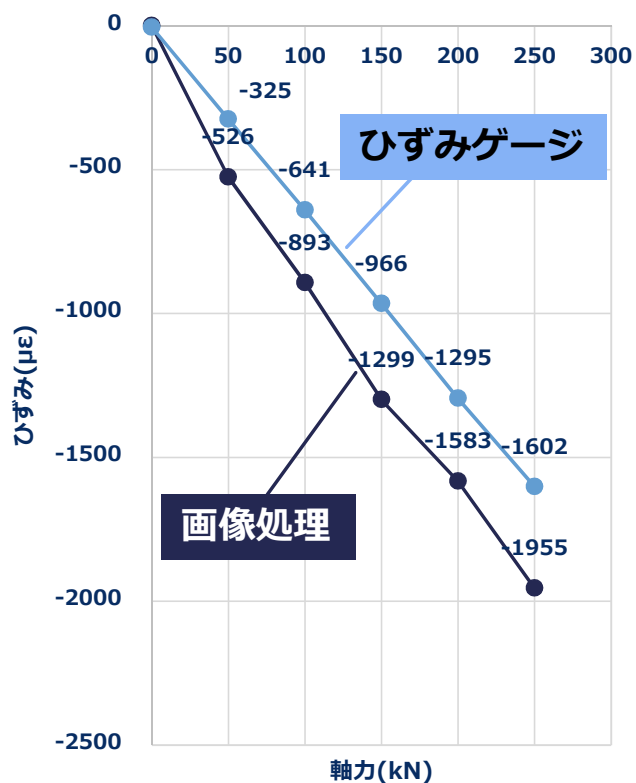
ひずみゲージ	軸力	ひずみゲージ①	ひずみゲージ②	ひずみゲージ③
C1	0	0	0	0
	-50	-325	-292	-215
	-100	-641	-605	-515
	-150	-966	-918	-830
	-200	-1295	-1242	-1152
	-250	-1602	-1544	-1454



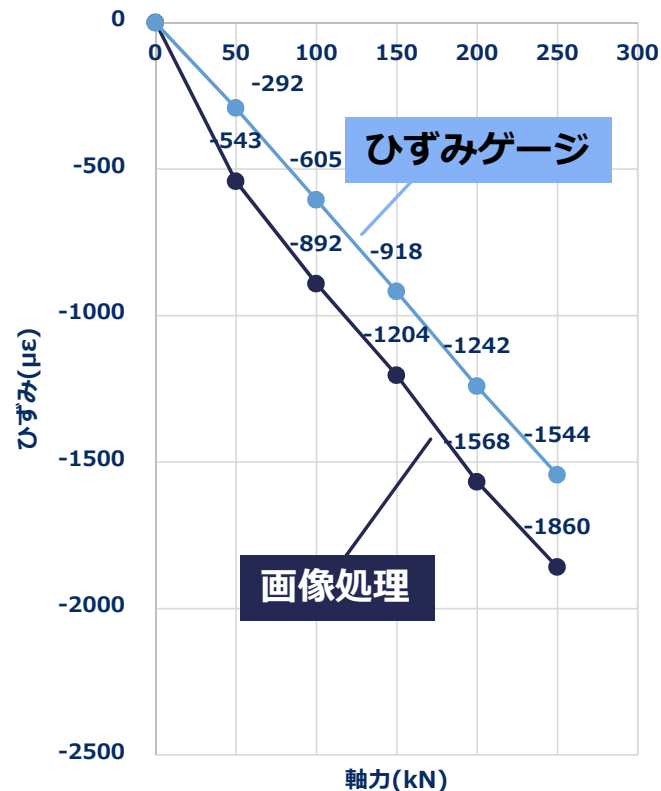
画像処理	軸力	ひずみゲージ①	ひずみゲージ②	ひずみゲージ③
C1	0	0	0	0
	50	-526	-543	-404
	100	-893	-892	-736
	150	-1299	-1204	-1061
	200	-1583	-1568	-1369
	250	-1955	-1860	-1723

■ ひずみゲージと画像処理の差

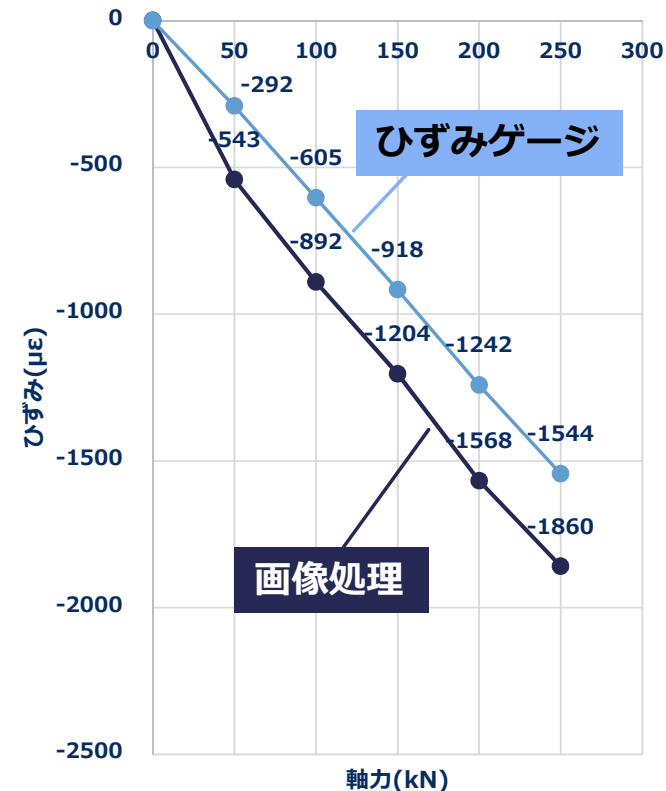
C1 ひずみ①



C1 ひずみ②



C1 ひずみ③



約20%程度、画像処理の方が高めの値になる傾向

8.今年度の研究方針

1) 実橋ボルトサンプリング業務

昨年度実施できなかったH橋のボルトサンプリングを行う。また、本年度においても同様にサンプリングできる橋梁を提供していただき、残存軸力の実態調査を行う。

2) ボルト長さ別の長期リラクゼーション実験業務

長期リラクゼーション実験を引続き実施する。さらに、高力ボルトの遊び長さの大小の違いによる軸力とリラクゼーションの違いを実験する。

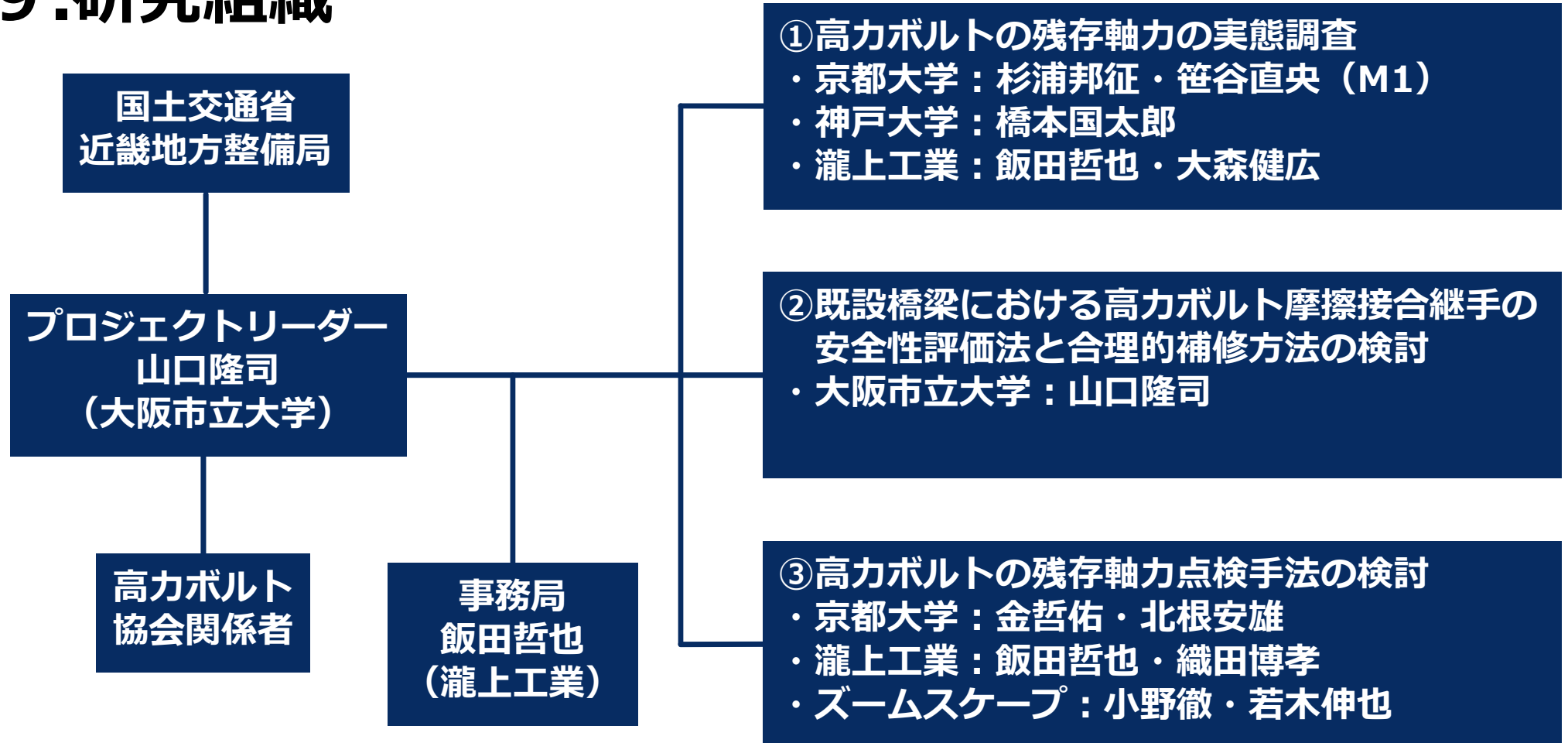
3) 高力ボルト摩擦継手の限界状態評価法の検討業務

継手群のどの位置にあるボルト軸力低下がすべり耐力低下に与える影響が大きいのかをFEM解析により、引き続き検討する。これらの結果をもとに、すべり耐力の簡易判定法を検討する。

4) 画像処理ソフト開発業務（ボルト軸力計測用カメラ制御ソフト・画像計測ソフト）

本年度に引続き、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試行し、高力ボルトの管理手法の省力化を検討する。

9. 研究組織



10.研究の進捗状況

		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	2	3
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																														
研究まとめ	計画																														
	実施																														

ご清聴ありがとうございました。