

土木学会田中賞「作品部門:改築」

重要文化財 美濃橋 修理工事

発表 : 株式会社文化財保存計画協会 矢野 和之(推薦者)
崔 静妍

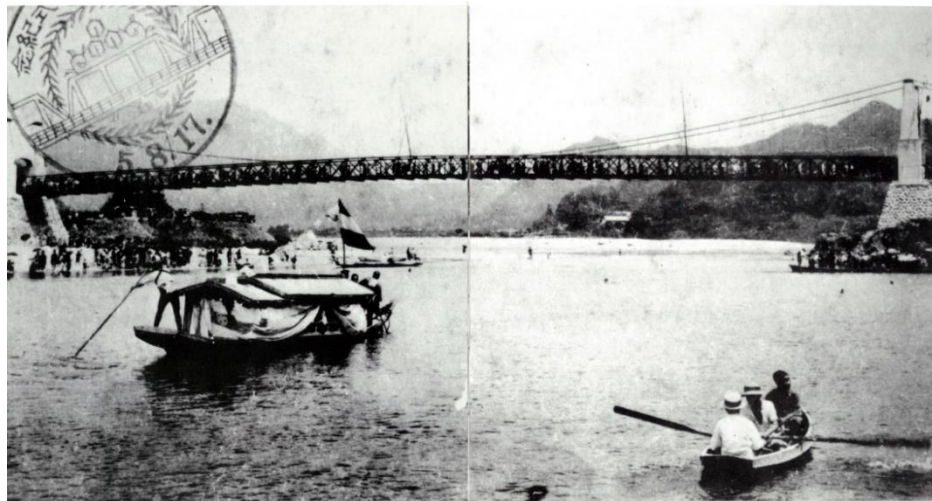
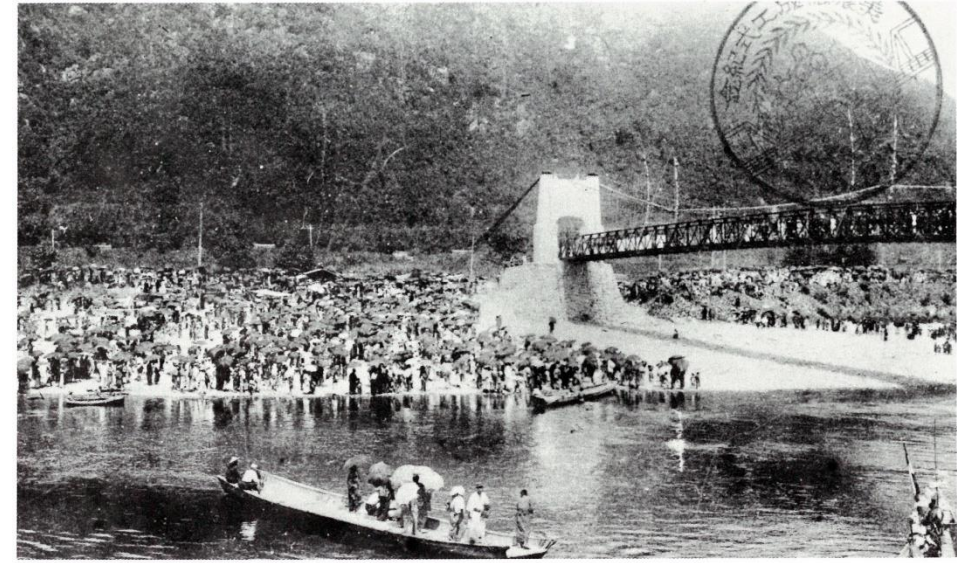
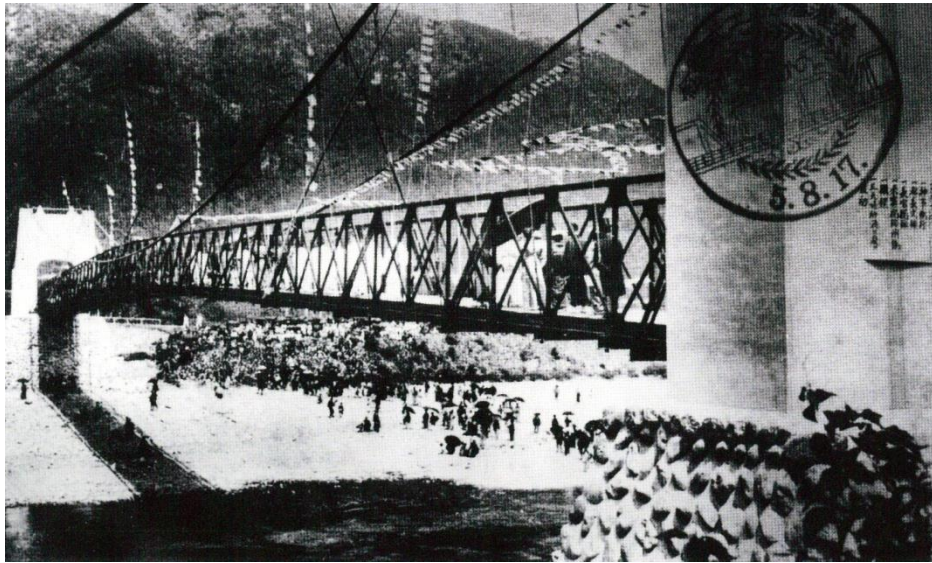
発表目次

1. 美濃橋の歴史、概要
2. 修理前の状況
3. 修理内容
 - (1) 主索ケーブルの劣化状況とアンカー一部補強
 - (2) 床組の軽量化と耐久性の向上
 - (3) 主塔の耐震診断及び補強
 - (4) 補剛桁の補修
4. まとめ: これからの土木遺産修復における美濃橋修理の意義

発表目次

1. 美濃橋の歴史、概要
2. 修理前の状況
3. 修理内容
 - (1) 主索ケーブルの劣化状況とアンカー一部補強
 - (2) 床組の軽量化と耐久性の向上
 - (3) 主塔の耐震診断及び補強
 - (4) 補剛桁の補修
4. まとめ: これからの土木遺産修復における美濃橋修理の意義

1. 美濃橋の歴史、概要



・竣工年月 大正5年8月(1916年8月)
・・・竣工後105年経過

・橋梁形式 単径間補剛吊橋
・橋長 114.2m 主塔間隔 116.0m
・主塔幅 3.65m 幅員 3.10m

・設計者 岐阜県技師 戸谷亥名蔵
武芸群吏員 玉井義雄

・施工 名古屋鉄工所
・ケーブル製作 東京製綱株式会社

1. 美濃橋の歴史、概要



- ・昭和30年代まで路線バスが通る幹線道路
- ・昭和40年代以降 歩道橋・美濃市管理
- ・川遊びやBBQ・長良川のきれいな風景・記念写真の名勝
- ・平成15年 **現存する国内最古の近代吊橋** 国の重要文化財指定
 - ・・・指定基準 (二)技術的に優秀なもの
 - (三)歴史的価値の高いもの
- ・平成24年 調査着手、平成28～令和2年 修理工事

歴史的価値を保存するとともに、長年愛されてきた姿を大事に

発表目次

1. 美濃橋の歴史、概要
2. 修理前の状況
3. 修理内容
 - (1) 主索ケーブルの劣化状況とアンカー一部補強
 - (2) 床組の軽量化と耐久性の向上
 - (3) 主塔の耐震診断及び補強
 - (4) 補剛桁の補修
4. まとめ: これからの土木遺産修復における美濃橋修理の意義

2. 修理前の状況

主索ケーブル: 全体的にさび、アンカー前の複数の断線



2. 修理前の状況

主塔：浮き、ひび割れなどの破損、耐震性能の懸念



2. 修理前の状況

補剛桁：腐食による断面欠損、特に後世の改修箇所の腐食



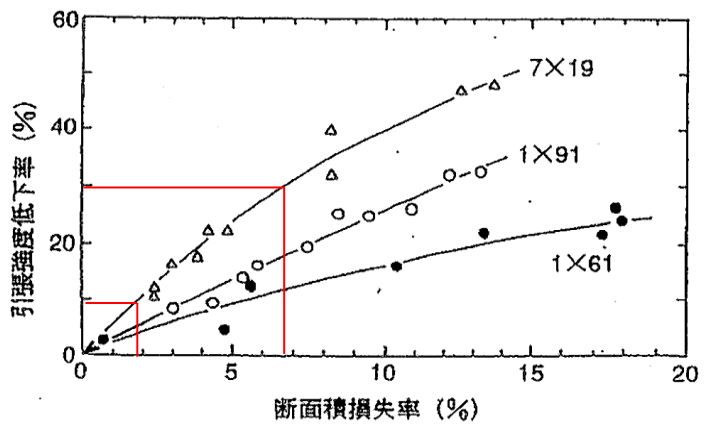
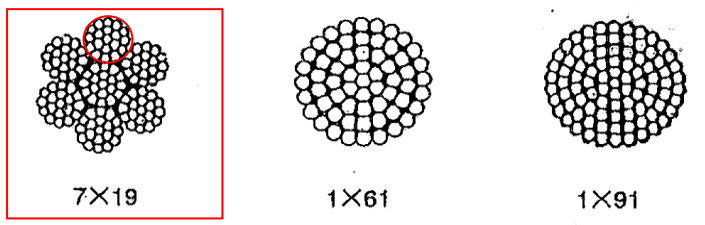
発表目次

1. 美濃橋の歴史、概要
2. 修理前の状況
3. 修理内容
 - (1) 主索ケーブルの劣化状況
 - (2) アンカー一部補強及び床組み軽量化
 - (3) 主塔の耐震診断及び補強
 - (4) 補剛桁の補修
4. まとめ: これからの土木遺産修復における美濃橋修理の意義

(1) 主索ケーブルの劣化状況



ストランドワイヤロープの腐食断面積と強度低下の関係



(1) 主索ケーブルの劣化状況

アンカー付近ケーブル劣化の原因

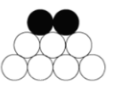
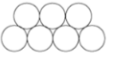

平成10年



発表目次

1. 美濃橋の歴史、概要
2. 修理前の状況
3. 修理内容
 - (1) 主索ケーブルの劣化状況
 - (2) アンカー一部補強及び床組み軽量化
 - (3) 主塔の耐震診断及び補強
 - (4) 補剛桁の補修
4. まとめ: これからの土木遺産修復における美濃橋修理の意義

(2) アンカー部補強及び床組み軽量化

項目	ケーブル補強案 (通行制限を行わない)		ケーブル現状維持案 (通行制限を行う可能性がある)	
	【案①】 2本追加 (H16委員会の修理方針)		【案②】 現状7本維持	【案③】 維持+右岸アンカー前面部の修理
概要 (●:新材)	<ul style="list-style-type: none"> 既存ケーブルの上部に同仕様の新規ケーブルを追加し、補強する案。 2本追加する新ケーブルにも張力を導入し、旧ケーブルの負担を少なくして (T/7→T/9)、安全率の向上を図る。 ケーブルエレクション (CE) 架設中に、橋梁の全面的修理が可能である。 		<ul style="list-style-type: none"> 現状7本のまま、死荷重軽減を図る。 	<ul style="list-style-type: none"> 腐食、断線が著しいアンカー前面部だけを修理範囲とする。 取替える場合は、アンカー躯体への影響 (改変等) がある。 
ケーブル強度及び許容荷重 (注1)	<ul style="list-style-type: none"> 強度: $75t \times (0.7 \times 7本 + 2本) = 517t (5066kN)$ 許容荷重: 現状の死荷重のまま、活荷重基準 (200kg/m²) を満足する。→ 交通規制の必要はない。 φ320: OK (1310人) φ250: OK (1534人) φ200: OK (1665人) φ160: OK (1752人) 		<ul style="list-style-type: none"> 強度: $75t \times 0.7 \times 7本 = 365t (3596kN)$ 許容荷重: 安全率3.0を確保するためには、交通規制が必要だが、死荷重を軽減すれば、許容活荷重 (通行人数) は増加する φ320: 規制 (152人) φ250: 規制 (327人) φ200: 規制 (415人) φ160: 規制 (502人) 	<ul style="list-style-type: none"> 強度: $75t \times 0.9 \times 7本 = 472t (4625kN)$ 許容荷重: 現状の死荷重のままでは、交通規制が必要だが、死荷重を軽減すれば、交通規制必要ない (丸太径 250mm で OK) φ320: 規制 (808人) φ250: OK (1217人) φ200: OK (1354人) φ160: OK (1441人)
文化財的価値 (注2) (構造・形式・材料の真実性 (真正性)) 景観的影響	【案①】		【案②】	
	2本追加 (平成16年度)		現状7本維持	
施工性	常に大きい。 ・CE無しで施工する場合でも、ケーブルクレーン及びキャットウォークの設置が必要となる。		・工事費は低く抑えられるが、維持管理が非常に重要となる。	・工事規模 小 ・コスト 小
	コスト 大 -CE 設置 -CE 無 中			工事規模 小〜中 コスト 小〜中

アンカー前面部だけ修理



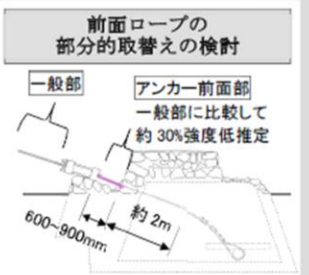
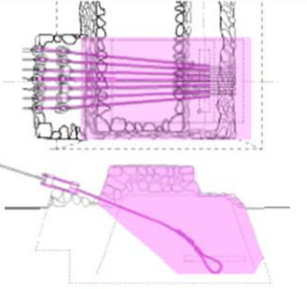
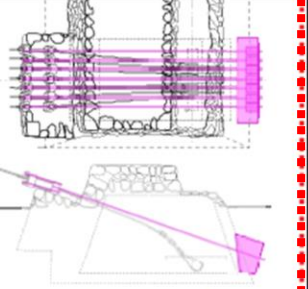
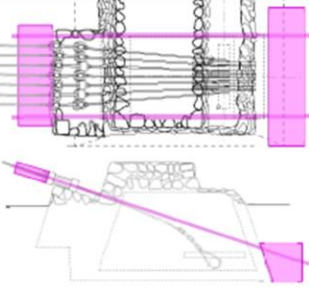
当初部材になるべく手を加えない

アンカー前面部及び躯体を取り囲む鉄骨構造を設置し、主索ケーブルの張力負担を軽減



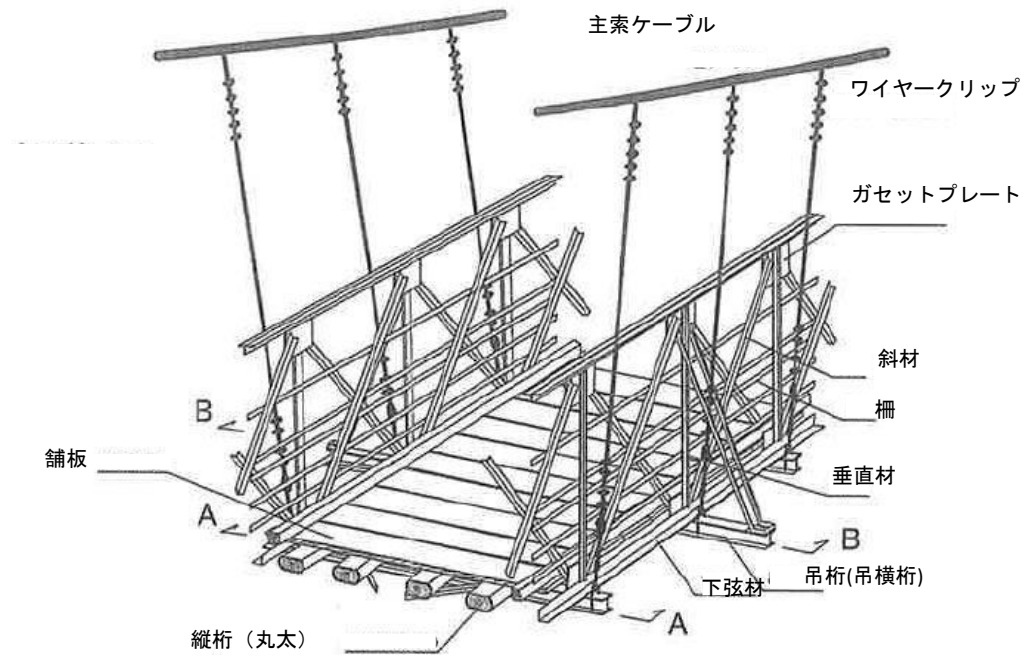
<内部構造調査>

- ・当初仕様を明らかに
- ・補強の詳細を決定

	(1) 前面ロープ取替え (※H26 文化庁推奨案)	(2) 新規ロープへの吊り替え (※H26 委員会推奨案)	(3) 前面梁補強+メカニカル固定	
概要	<p>前面ロープの部分的取替えの検討</p>  <p>一般部 アンカー前面部 一般部に比較して約30%強度低推定</p> <p>600~900mm 約2m</p> <p><ケーブル定着の条件></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルを部分的に取り替えるには、新旧ロープの連結のための定着が必要 	 <p>※ 施工のイメージ: 別紙参照</p> <ul style="list-style-type: none"> ・仮アンカー: 14本分必要 ※ 仮アンカーに吊り替えた状態で施工 	 <p>※ 施工のイメージ: 別紙参照</p> <ul style="list-style-type: none"> ・仮アンカー: 14本分 ※ 仮アンカーに吊り替えた状態で施工 	 <ul style="list-style-type: none"> ・現アンカーソケット前面に剛性の大きな鋼梁を設置

(2) アンカー部補強及び床組み軽量化

当初ケーブルをそのまま使うにあたって、ケーブル負担を軽減 ⇒ 荷重を減らす ⇒ 死荷重軽減＋人数制限




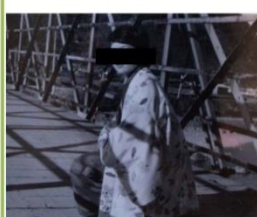
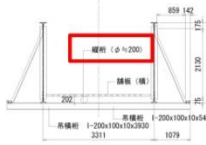

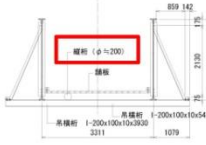


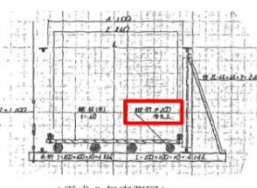



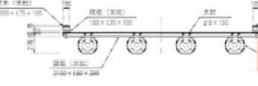


<死荷重構成>

ケース① φ320	2パネル当たり重量(kg)				橋全体重量(kg)		%
	鋼材	床組(木材)	主索ケーブル	吊材等			
		縦桁(丸太) φ320	4本×2、長さ4.52m	1206.4 (20人相当)	1206.4/4.52*113m	30160	28.2
		その他(補板等)		731.6 (12人相当)		18290	17.1
						10000	9.4
						1238	1.2
		合計				106866	100

木材の荷重が、
全体荷重の45.3%

床組(木材)の改変履歴

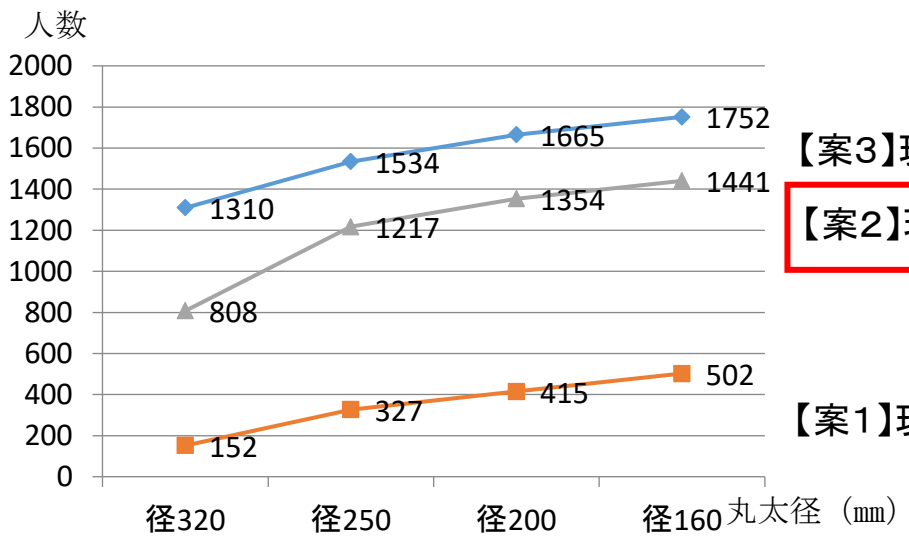
<p>橋の機能</p> <p><建設当時> 車道・歩道の区分 明確にしていない</p> <p><大正 12 年> 路線バス開通 自動車通行</p> <p><昭和 31 年> 所美濃橋建設に伴い、 路線バス運行停止</p> <p><昭和 40 年代> 自動車通行禁止、 歩道橋専用へ</p>	<p>大正 5 年建設</p> <p>床組取替 改修時期、 仕様が不明</p>	<p>床組の変遷</p> <p><創建～昭和 58 年> 写真等から推定した床組構造の変遷</p>					
	<p>昭和 58 年 取替工事</p>	 <p><昭和 8 年 (1933) ころ> 舗板 吊桁方向の舗板を渡す。</p>	  <p><昭和 30 年代> 舗板 吊桁方向の舗板の上に、縦桁 方向に幅員が狭い舗板を渡す。 縦桁 φ(h)140~150 推定</p>	  <p><昭和 40 年代> 舗板 縦桁方向の舗板を外し、従 来の吊桁方向の舗板のみ。 縦桁 φ(h)200 推定</p>	  <p><昭和 43 年頃> 舗板 舗板の両端に笠木を取付ける。 縦桁 φ(h)200 推定</p>	 <p><昭和 50 年代> 舗板 GLより舗板が低い。</p>	
	<p>平成 9~10 取替工事</p>	  <p><平成 9 年実測図></p>	 <p><平成 9~平成 21 年> ・工事記録は無いが、写真等から、構造や並べ方の特徴は現状と同様である。 ・材材丸太で、φは前より太いと思われる。 ・図面によって丸太径(h)の 270、200、290 の 4 通り存在 ・ケーブル照査においては、φ 200 (H15)、φ 250 (H18) として計算</p>		  <p><平成 22 年～現在> ・平成 22 年工事の丸太規格 ：φ 300 以上/h=270/米松 ⇒現状使用中</p>		
	<p>平成 15 年 重要文化財指定</p>	<p>平成 22~23 年 取替工事</p>	<p><昭和 58 年～現在> 工事記録・図面等における床組仕様</p>				
	<p>丸太は、改修を行うたび、徐々に太くなってきた ⇒ 丸太を軽量化する</p>						

(2) アンカー部補強及び床組み軽量化

丸太径によるケーブル照査

- ①径320mm(修理前丸太径)
- ②径250mm(修理設計の丸太径)
- ③径200mm(過去記録における最小丸太径)
- ④径160mm(縦桁として応力上必要最小限)

ケーブル補強方式	抵抗張力の計算	死荷重ケース(丸太径mm)			
		φ320	φ250	φ200	φ160
【案1】現状7本維持	75t × 0.7 × 7本 = 365t(3596kN)	152	327	415	502
【案2】現状7本+アンカー前面部修理	75t × 0.9 × 7本 = 472t(4625kN)	808	1217	1354	1441
【案3】現状7本+新規2本	75t × (2本+0.7 × 7本) = 517t(5066kN)	1310	1534	1665	1752



【案3】現状7本+新規2本

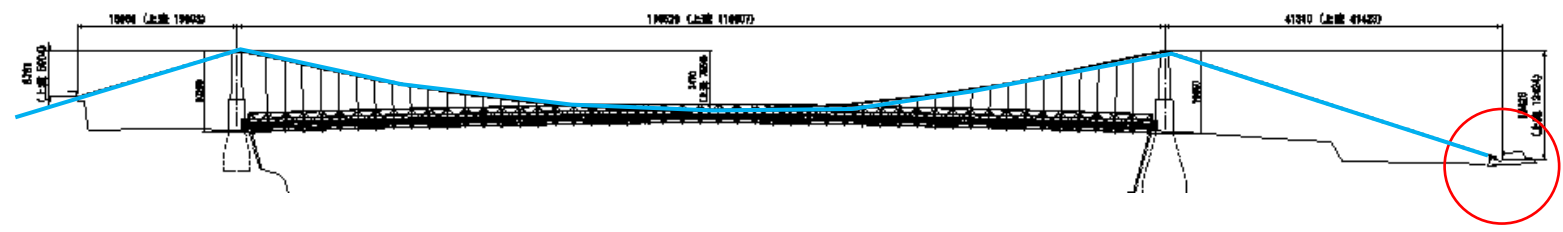
【案2】現状7本+アンカー前面部修理

【案1】現状7本維持

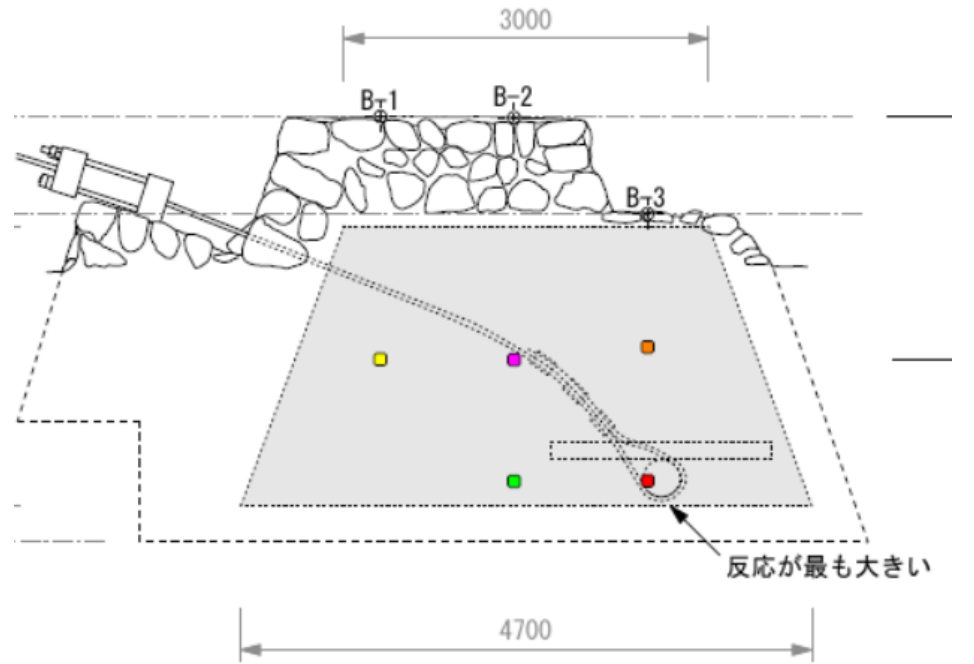
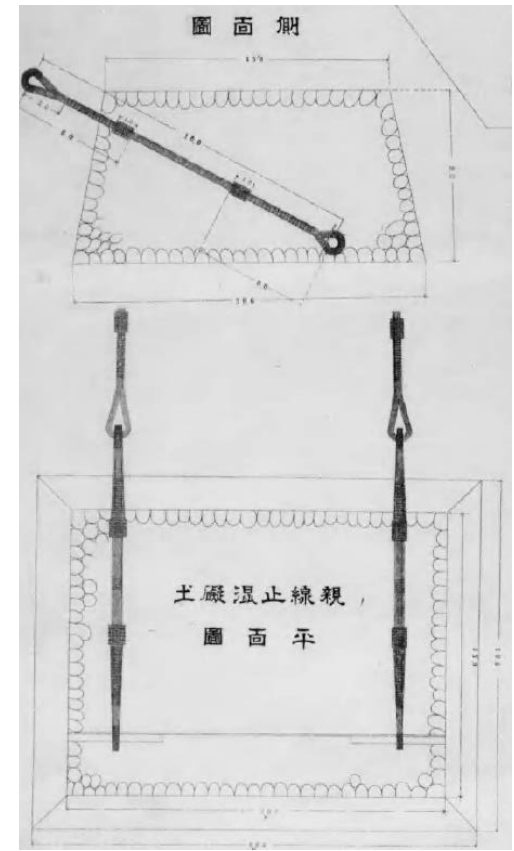
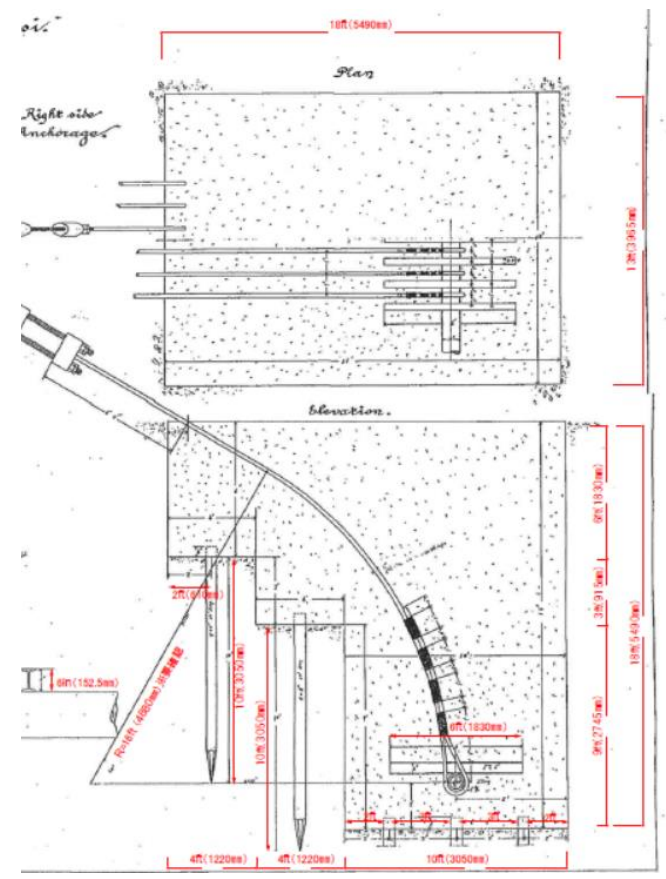


(2) アンカー部補強及び床組み軽量化

側面図 縮尺:1:300

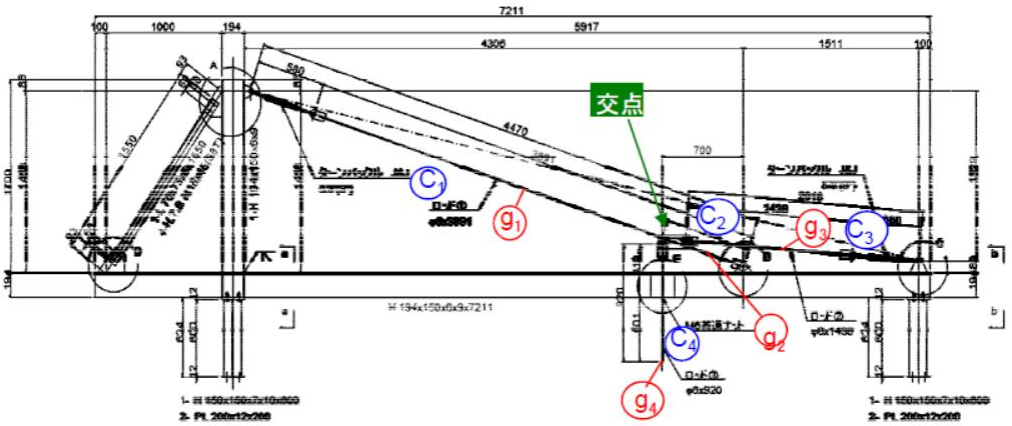


主索ケーブル定着部構造の推定: 類例及び参考資料・レーダー及び磁気探査



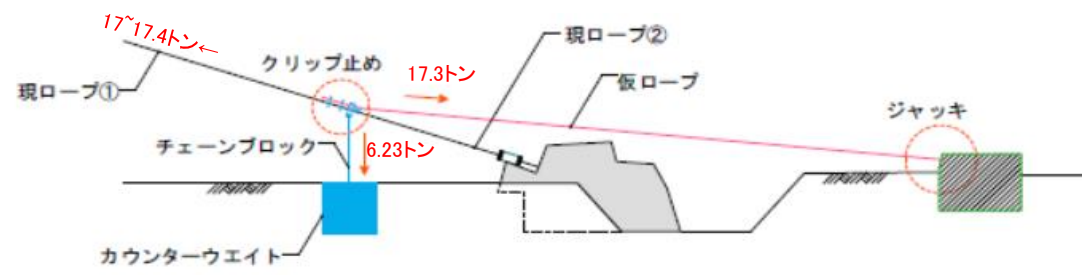
(2) アンカー一部補強及び床組み軽量化

主索ケーブル張力の盛替えは前例がない ⇒ シミュレーション・モデルによる試験施工

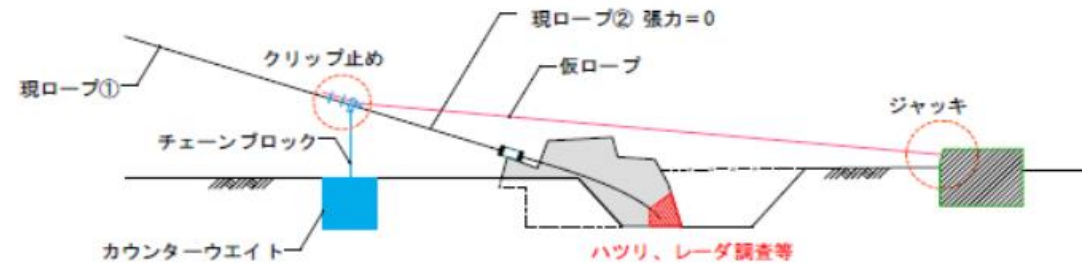


<各部材の説明>

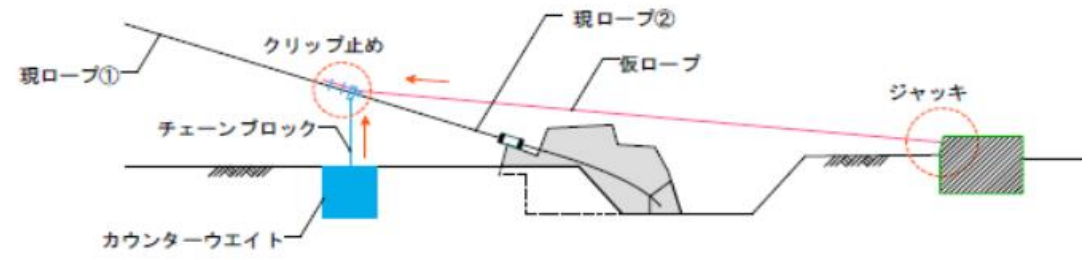
- C1: 本ロープ(主索)
- C2: 本ロープ(主索の端部)
- C3: 引き込み様ロープ
- C4: ウェイト
- g1~g4: ひずみゲージ貼付け箇所
- 交点: 引き込み様ロープつかみ点



【ステップ1】仮ケーブルを引張り、主索ケーブル張力を仮ケーブルに盛替

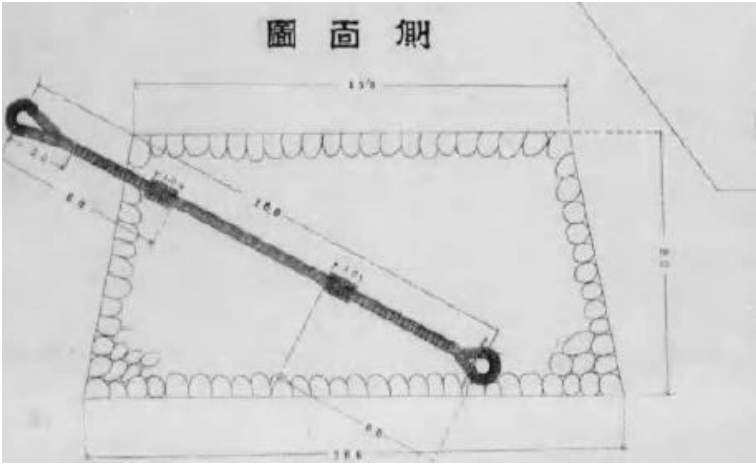
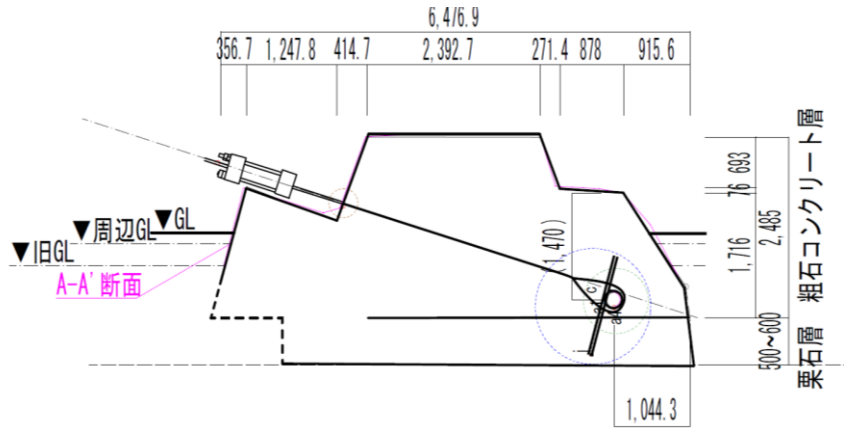


【ステップ2】アンカー躯体を研調査し、内部構造を確認

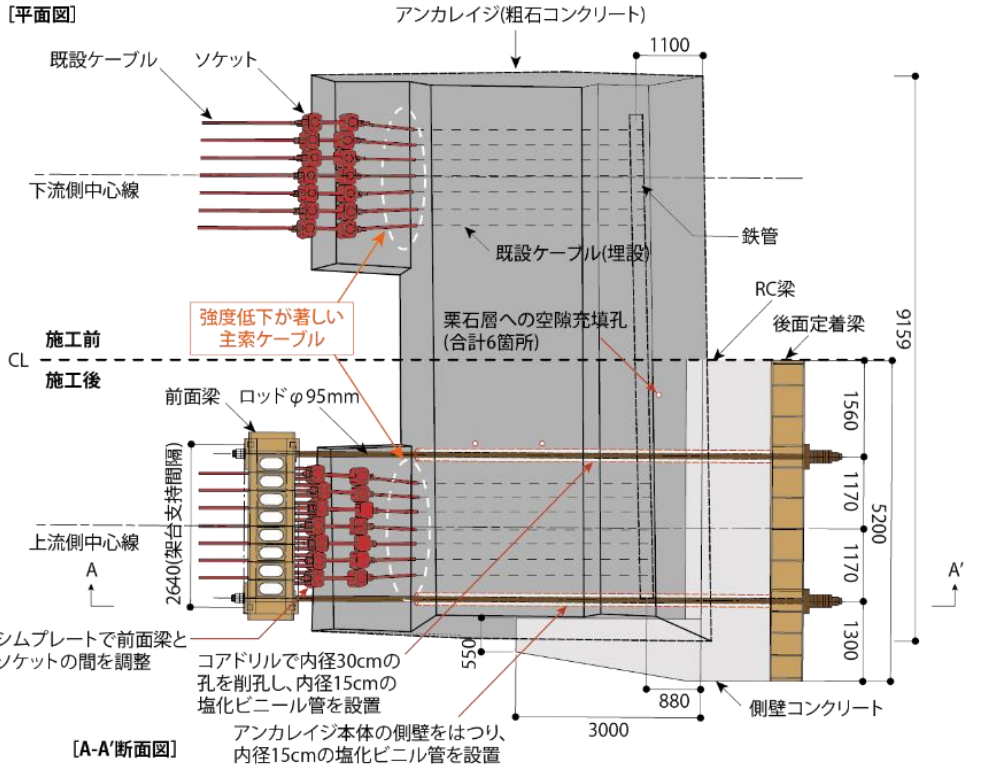


【ステップ3】研部復旧後、仮ケーブルを緩め主索ケーブルに張力を戻す

(2) アンカー一部補強及び床組み軽量化



(2) アンカー部補強及び床組み軽量化



発表目次

1. 美濃橋の歴史、概要
2. 修理前の状況
3. 修理内容
 - (1) 主索ケーブルの劣化状況
 - (2) アンカー一部補強及び床組み軽量化
 - (3) 主塔の耐震診断及び補強
 - (4) 補剛桁の補修
4. まとめ: これからの土木遺産修復における美濃橋修理の意義

(3) 主塔の耐震診断及び補強

主塔配筋、基礎形状等が不明

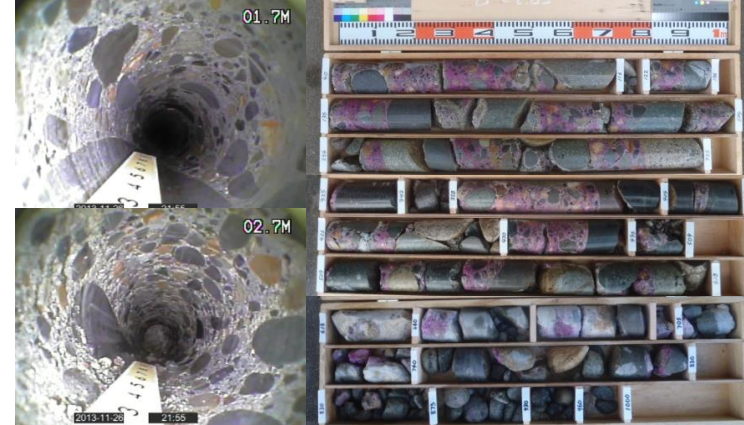
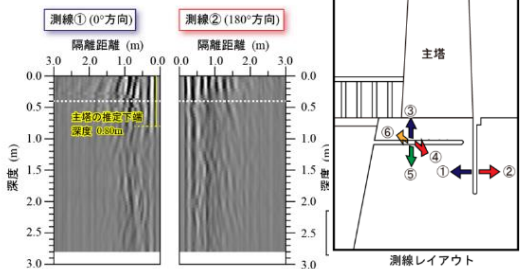
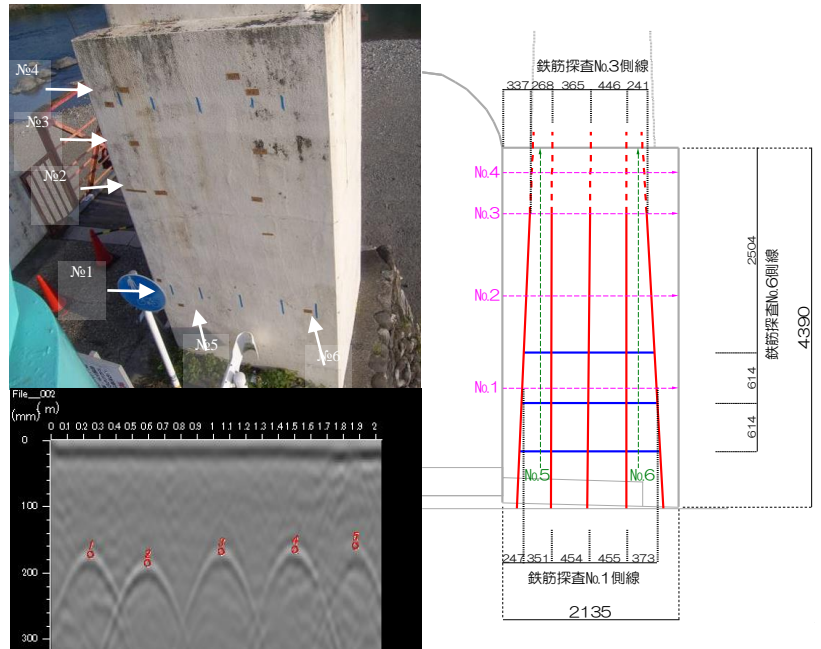


主塔 : RCLレーダ、レントゲン、ハツリ

基礎粗石 : 試掘、地中探査、コア及びボーリング

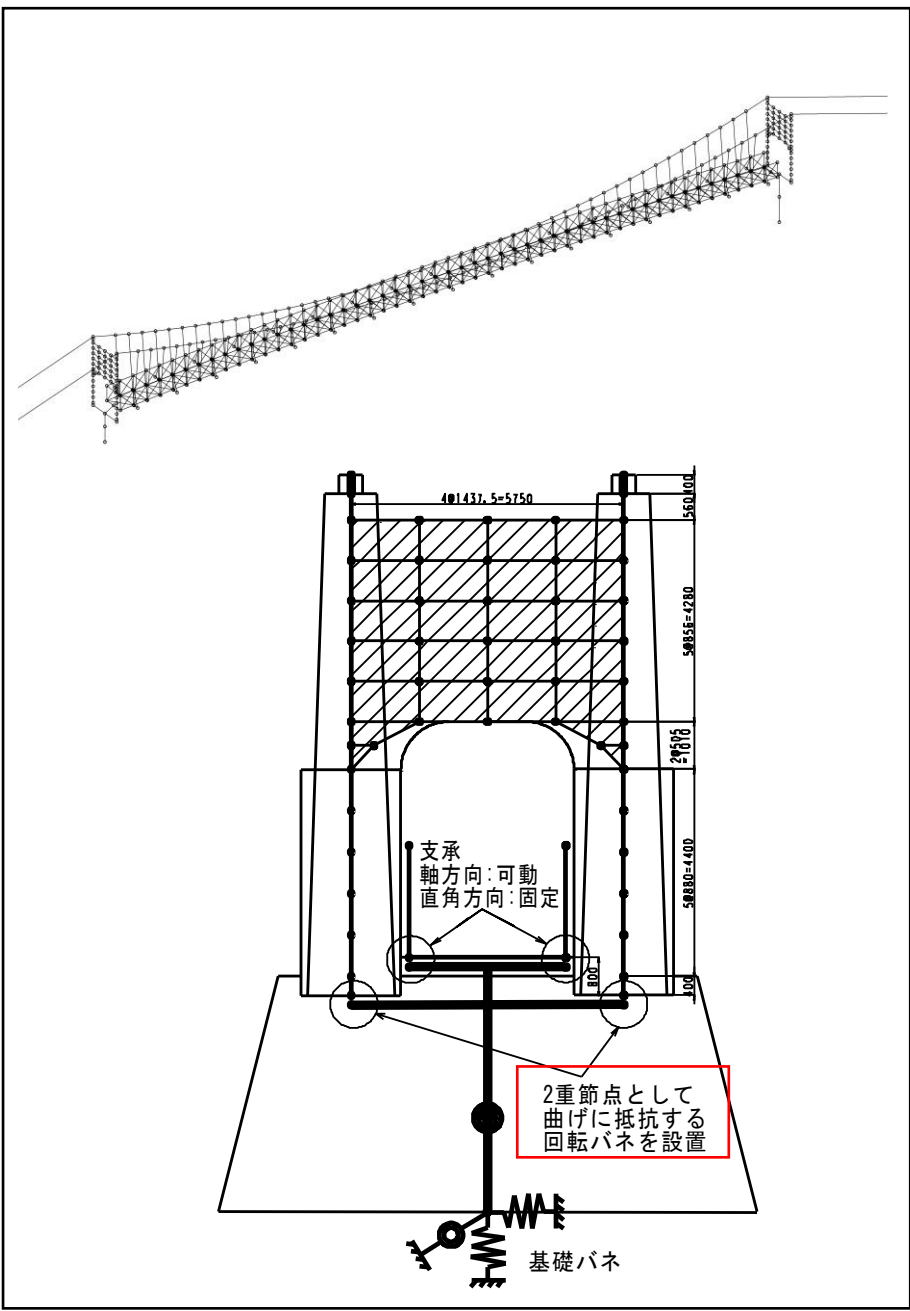
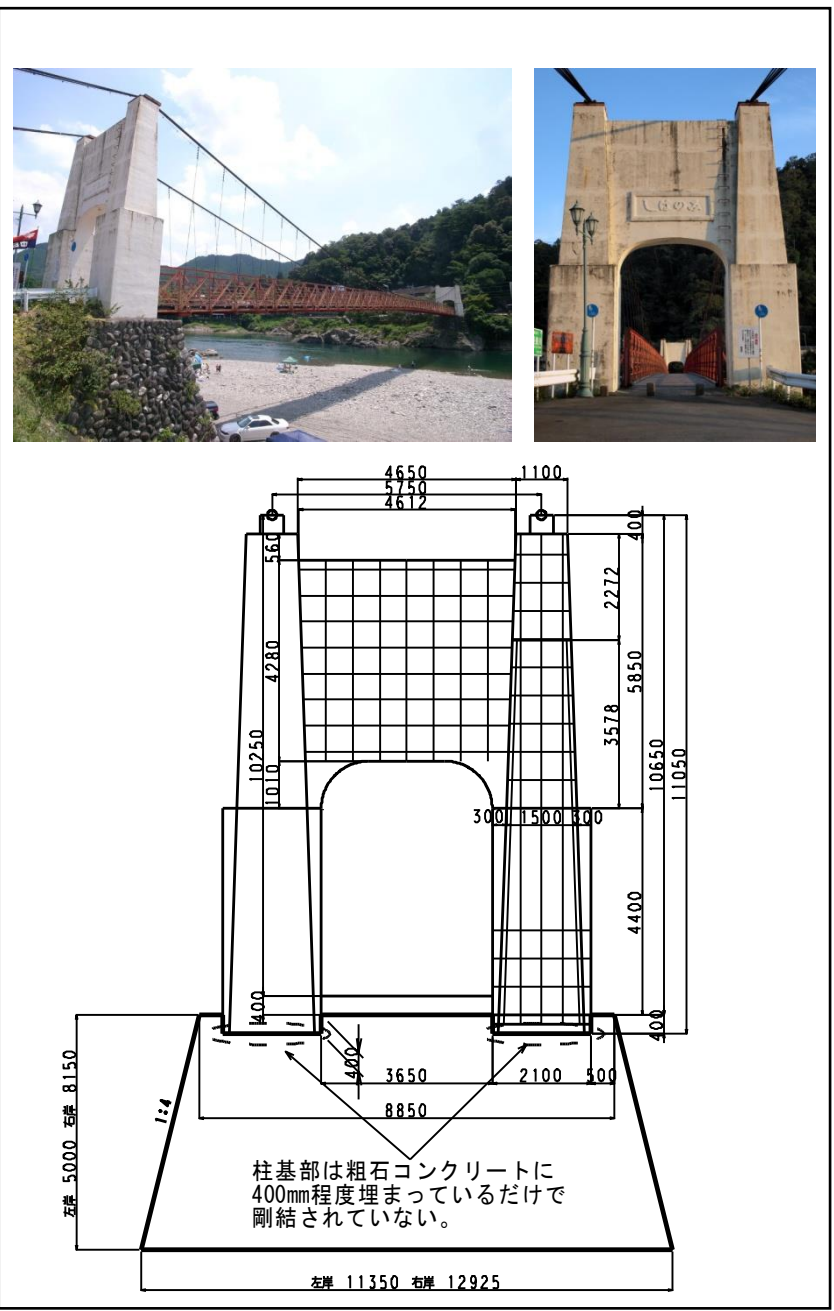


主塔モデル化



(3) 主塔の耐震診断及び補強

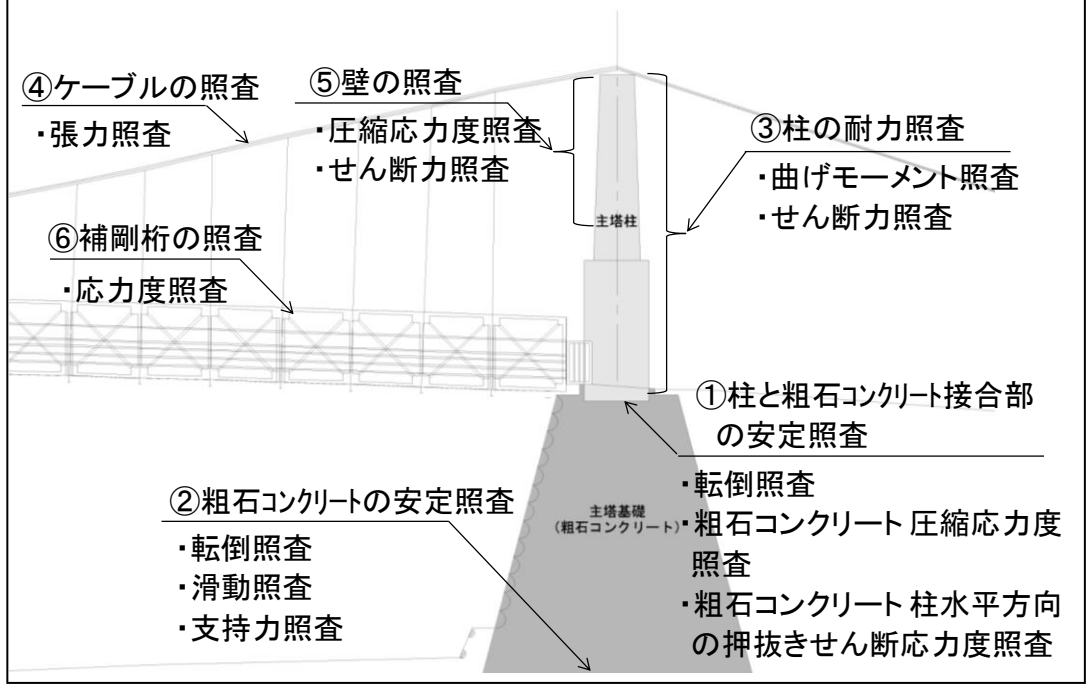
<解析モデル化>



(3) 主塔の耐震診断及び補強

		レベル1	レベル2		
			タイプI	タイプII	
橋軸方向照査	①安定照査 柱と粗石コンクリート 接合部	転倒照査	○	△	△
		粗石コンクリート 圧縮応力度	○	○	○
		粗石コンクリート 柱水平方向の 押抜きせん断応力度	○	○	○
	②安定照査 粗石コンクリート	転倒照査	○	-	-
		滑動照査	○	-	-
		地盤反力度照査	○	-	-
	③柱の照査	曲げモーメント	○	×	×
		せん断力	○	×	○
	④ケーブルの照査	張力	○	○	○
	⑤壁の照査	圧縮応力度	○	○	○
		せん断力	○	○	○
	⑥補剛桁の照査	吊桁の応力度	○	○	○
吊桁以外の部材の応力度		○	○	○	
橋軸直角方向照査	①安定照査 柱と粗石コンクリート 接合部	転倒照査	ラーメン構造なので転倒しない		
		粗石コンクリート 圧縮応力度	転倒しないので実施しない		
	粗石コンクリート 柱水平方向の 押抜きせん断応力度	○	○	○	
		○	○	○	
		○	○	○	
	②安定照査 粗石コンクリート	転倒照査	○	-	-
		滑動照査	○	-	-
		地盤反力度照査	○	-	-
	③柱の照査	曲げモーメント	○	×	×
		せん断力	○	×	×
	④ケーブルの照査	張力	○	○	○
	⑤壁の照査	圧縮応力度	○	○	○
せん断力		○	○	○	
⑥補剛桁の照査	吊桁の応力度	○	○	○	
	吊桁以外の部材の応力度	×	×	×	

道・示：転倒の結果⇒本当に転倒するのか？



凡例

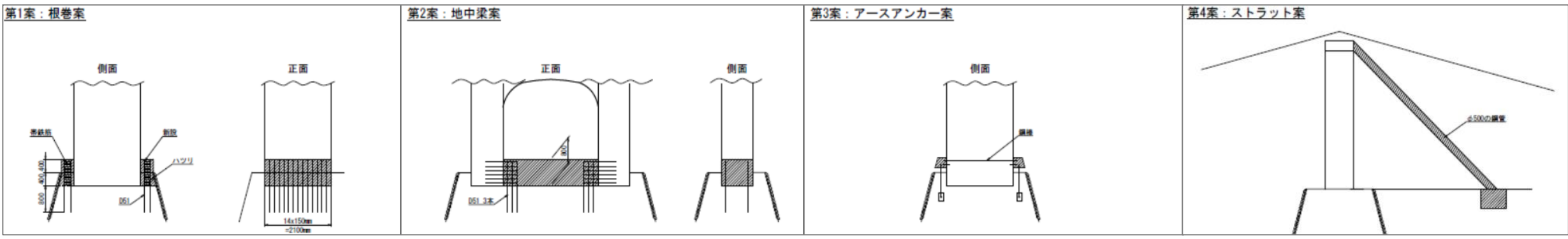
○	許容値以下であるため、安全
△	安全とみなすかの判断が分かれる
×	許容値を超えるため、対策が必要
×	許容値を超えるが、構造物の倒壊に影響しない
-	道示の規定により、実施しなくてもよい

(3) 主塔の耐震診断及び補強

		レベル1	レベル2		
			タイプI	タイプII	
橋軸	①安定照査 柱と粗石コンクリート 接合部	転倒照査	○	△	△
		粗石コンクリート 圧縮応力度	○	○	○
		粗石コンクリート 柱水平方向の 押抜きせん断応力度	○	○	○
		転倒照査	○	-	-

道・示：転倒の結果⇒本当に転倒するのか？

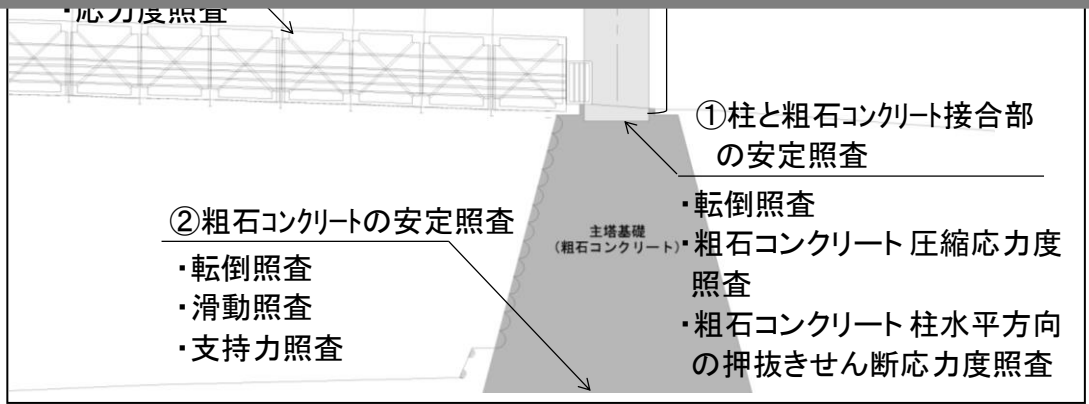
転倒防止のためには。。。



同照査	項目	項目	レベル1	レベル2	
				タイプI	タイプII
③柱の照査	曲げモーメント		○	×	×
	せん断力		○	×	×
④ケーブルの照査	張力		○	○	○
	圧縮応力度		○	○	○
⑤壁の照査	せん断力		○	○	○
	吊桁の応力度		○	○	○
⑥補剛桁の照査	吊桁以外の部材の応力度		×	×	×

凡例

○	許容値以下であるため、安全
△	安全とみなすかの判断が分かれる
×	許容値を超えるため、対策が必要
×	許容値を超えるが、構造物の倒壊に影響しない
-	道示の規定により、実施しなくてもよい

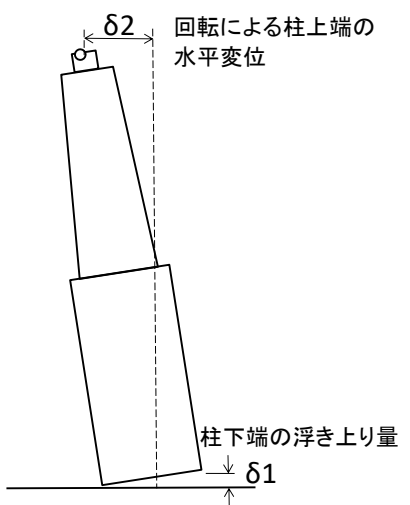
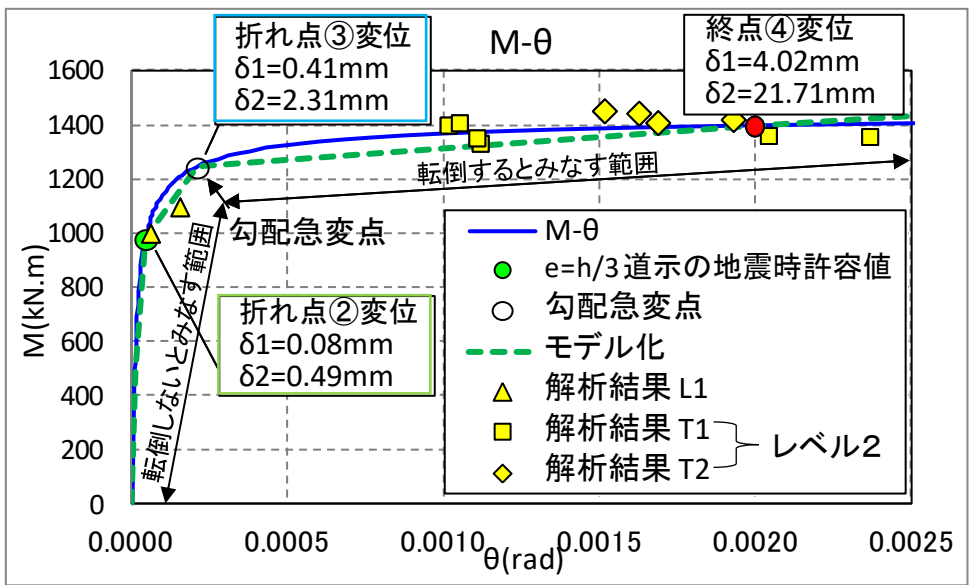


(3) 主塔の耐震診断及び補強

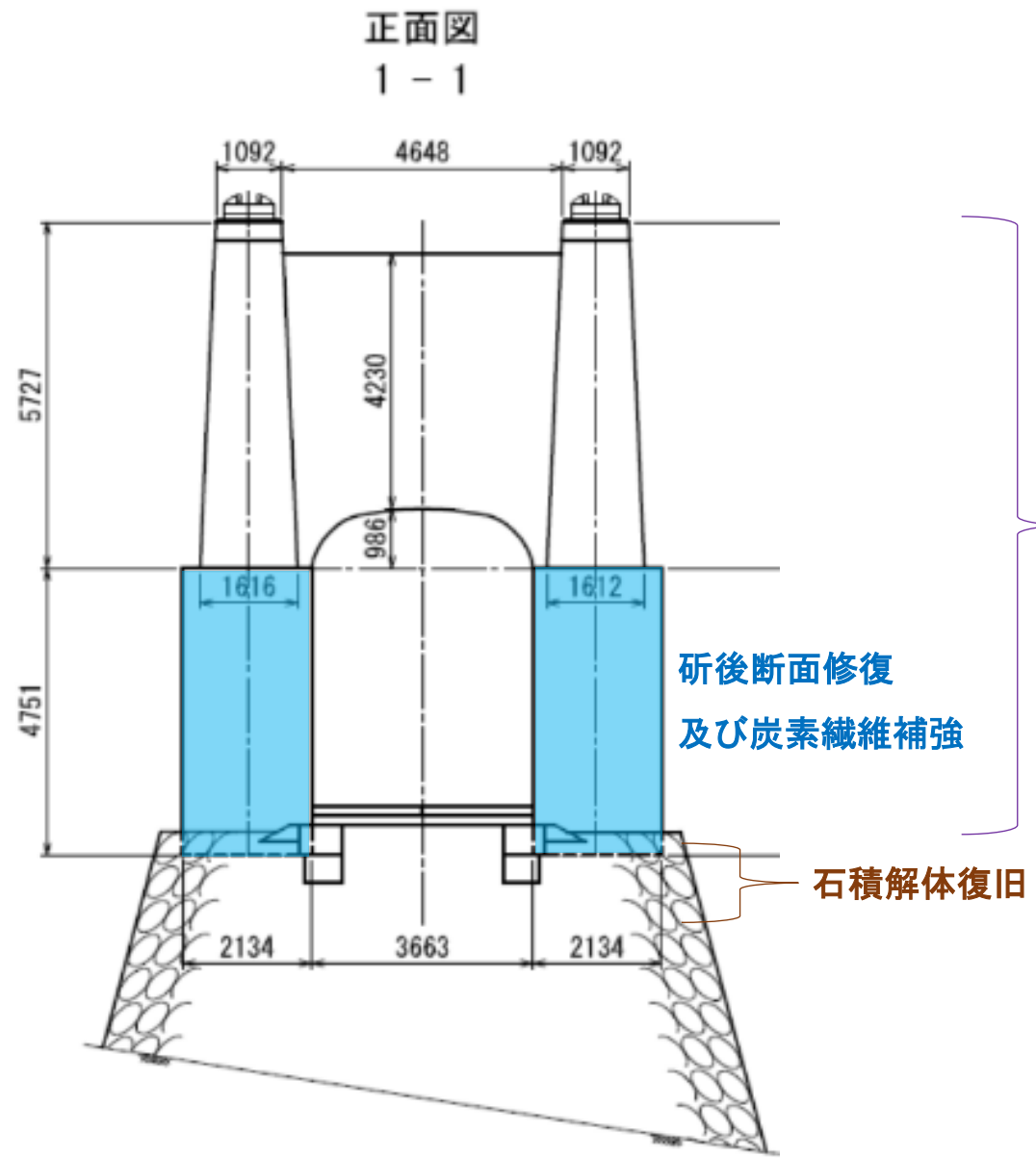
ケース番号		許容値による照査 (軸力作用位置の柱中心からの偏心量)		限界値による照査 (限界転倒速度)
		①	②	③
照査基準		道示の許容値 偏心量 $e=h/3$	道示の方針に 沿った許容値 M- θ 曲線上の 勾配急変点	鉄道標準 重心の限界転倒速 度 V_u
許容値		$e=h/3=700\text{mm}$	$e=889\text{mm}$	$V_u=0.725\text{m/s}$
判定 結果	レベル1	×	○	○
	レベル2	×	×	○

折れ点② 折れ点③

鉄道基準の限界転倒速度による照査
⇒ レベル2地震でも転倒しない



(3) 主塔の耐震診断及び補強



塗装塗り替え

斫後断面修復
及び炭素繊維補強

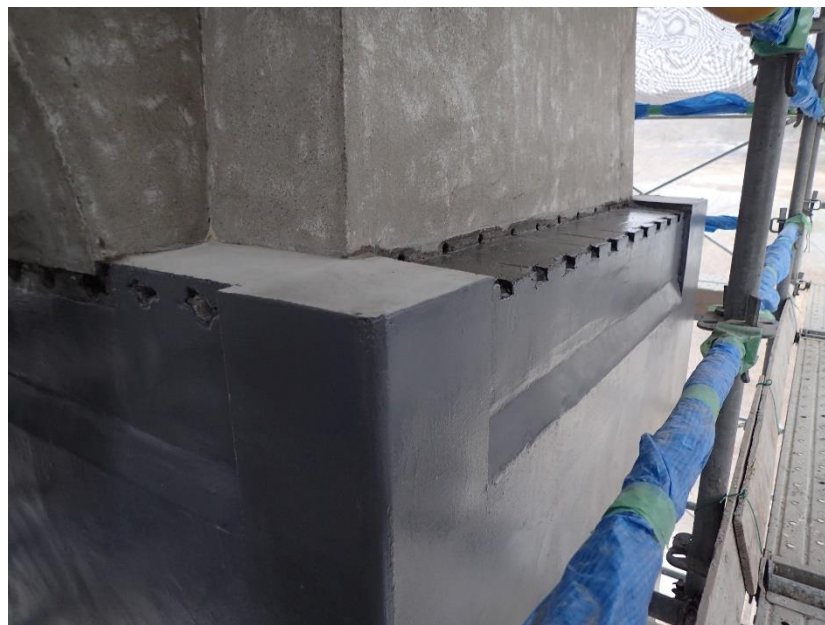
石積解体復旧

石積みは番付し、元通りに復旧



(3) 主塔の耐震診断及び補強

補強の前後、見た目の変化が無い



発表目次

1. 美濃橋の歴史、概要
2. 修理前の状況
3. 修理内容
 - (1) 主索ケーブルの劣化状況
 - (2) アンカー一部補強及び床組み軽量化
 - (3) 主塔の耐震診断及び補強
 - (4) 補剛桁の補修
4. まとめ: これからの土木遺産修復における美濃橋修理の意義

(4) 補剛桁の補修

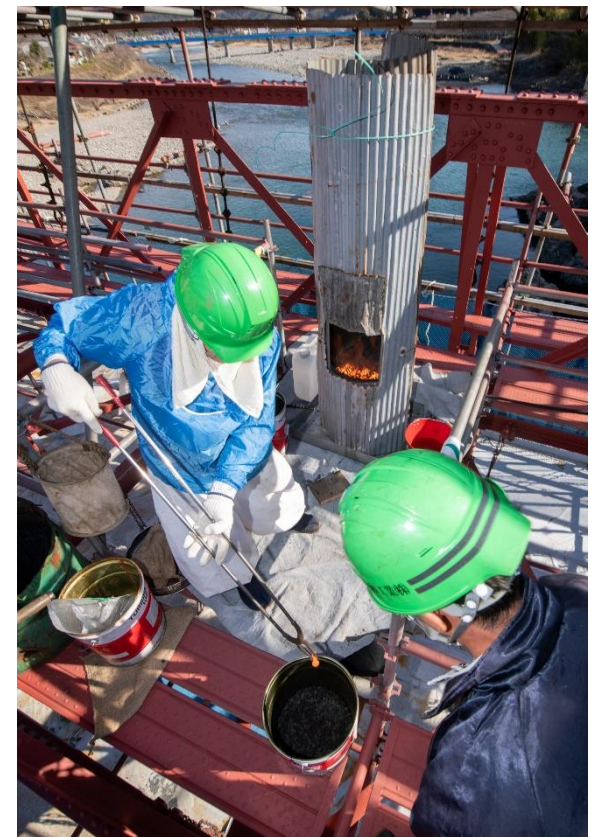
ヤワタ製鉄ロールマーク ⇒ 国内最初期の形鋼

部材の保存と必要最小限の補修のため、個々の部材の破損状況に合わせて補修



(4) 補剛桁の補修

リベット工法にて部材の接合

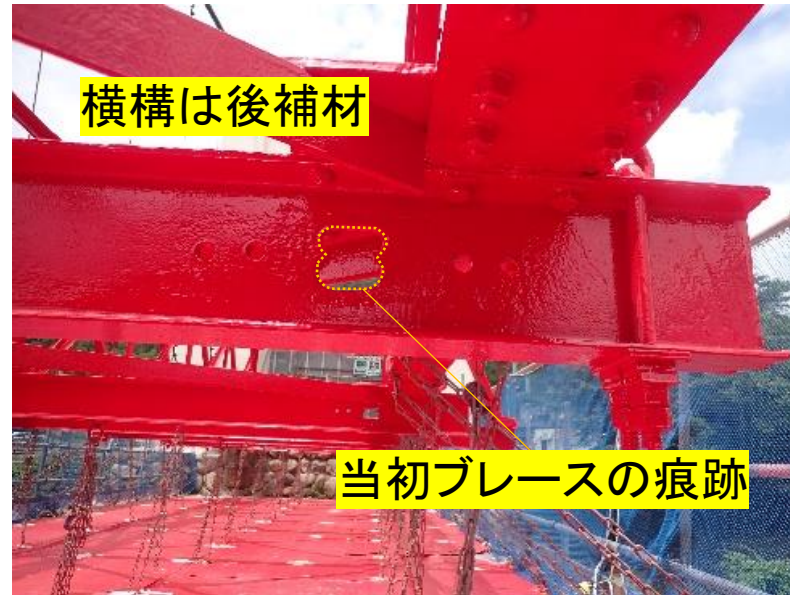


(4) 補剛桁の補修

橋の歴史を語る痕跡を見せる



横構は後補材



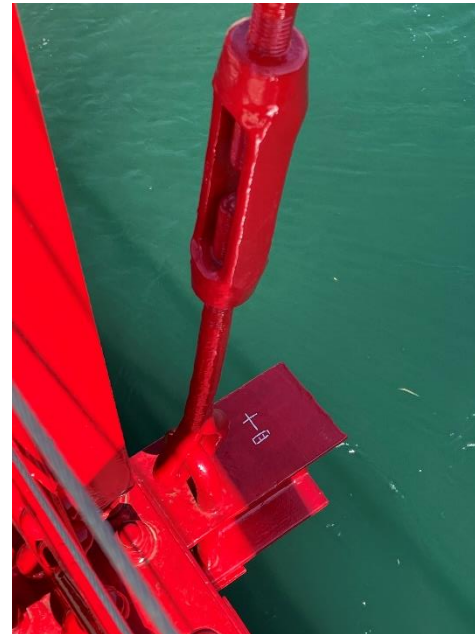
横構は後補材

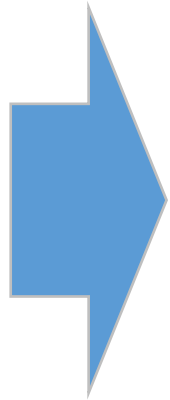
当初ブレースの痕跡



横構は後補材

当初ブレースの痕跡





発表目次

1. 美濃橋の歴史、概要
2. 修理前の状況
3. 修理内容
 - (1) 主索ケーブルの劣化状況とアンカー一部補強
 - (2) 床組の軽量化と耐久性の向上
 - (3) 主塔の耐震診断及び補強
 - (4) 補剛桁の補修
4. **まとめ: これからの土木遺産修復における美濃橋修理の意義**

4. まとめ:これからの土木遺産修復における美濃橋修理の意義

- ・設計監理が定着していない土木工事でありながら、監理者と現場が常に密なコミュニケーション
文化財修理は、個々の文化財の本質的価値をしっかりと見極め、価値を損ねず構成に伝えること
修理中の新たな発見、知見により、価値がより深く理解でき、さらにその価値を高める修理
そのため、きわめて詳細な調査を行い、設計変更も頻繁に
- ・伝統工法と最先端技術の融合により、文化財として価値を守ると同時に、安全に供用する橋に
伝統的工法・材料を継承しながら、耐震性能や破損劣化した部材の性能を確保するため、
炭素繊維補強、ケーブル盛替えなど高度の最先端の技術を積極的に取り入れる
- ・現役土木遺産の歴史的価値を守りながら使い続けるための修理として
最先端の事例として、今後の歴史的橋梁及び土木遺産修理の現場における非常に貴重な経験

