

第3回 鳥取県優良業務発表会

国道482号(箸建橋)橋梁補強工事
「耐震補強詳細設計業務委託」
(交付金橋梁補修)



株式会社 荒谷建設コンサルタント
鳥取支社 技術部 設計課
西尾 潤

目次

- 1.業務の内容
- 2.業務の技術的特徴
- 3.表彰に至る高評価の要因
- 4.苦勞した点, 工夫した点



1.業務の内容

1-1.業務位置

業務位置：日野郡 江府町 下蚊屋



1-2.業務内容

【業務目的】

本業務は、大地震時に落橋にいたるような致命的な被害を防止することを目的として、下蚊屋ダム湖(日野郡下蚊屋地内)に建設された高橋脚を有するポステン単純PCT桁橋2連の箸建橋の耐震補強対策のうち、橋脚の耐震補強を行った。

【発注者】

鳥取県 西部総合事務所 日野振興センター

【履行期間】

平成28年 8月 2日～平成29年 3月24日

1-3.現況状況

- 本橋梁の竣工年度は不明
- ダム建設着工は，昭和47年度
- 外周道路整備等を勘案すると，現時点で約40年程度経過と推察
- 平成8年道路橋示方書に対応した落橋防止装置および変位制限装置が設置済
- 本路線は，鳥取県の防災計画のうち，第二次緊急輸送道路に指定



【起点側から終点側を望む】



【上側から箸建橋を望む】

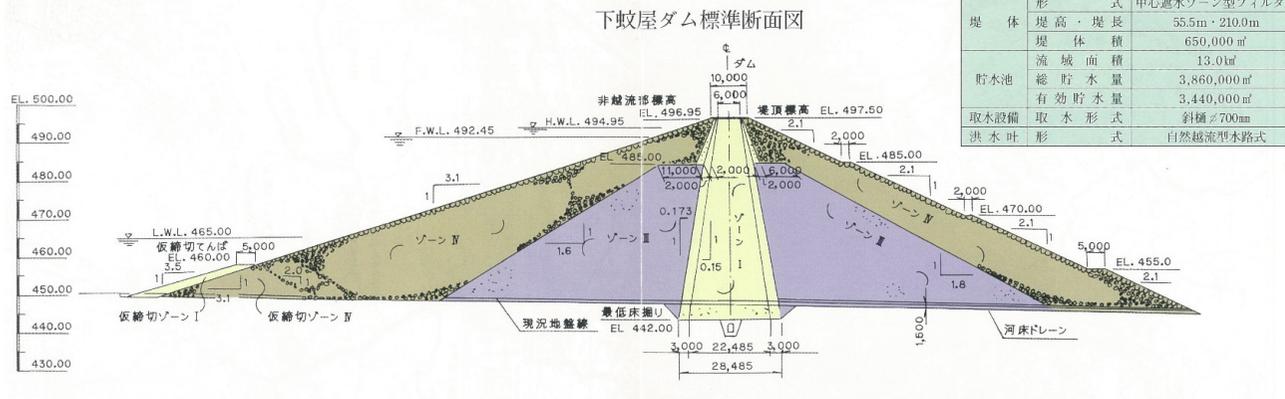


【落橋防止装置設置済】

1-4.下蚊屋ダム状況

- 1市3町に農業用用水を供給
- 5月1日～9月30日がかんがい期
- 農繁期以降は，12月から農繁期に向けて貯水量の確保を開始
- 水位調整可能時期は，10月～12月の3ヶ月程度

2. 水源施設



【下蚊屋ダム標準断面図】



【ダム状況と箸建橋】



2.業務の技術的特徴

2.業務の技術的特徴

◆高橋脚の耐震補強対策

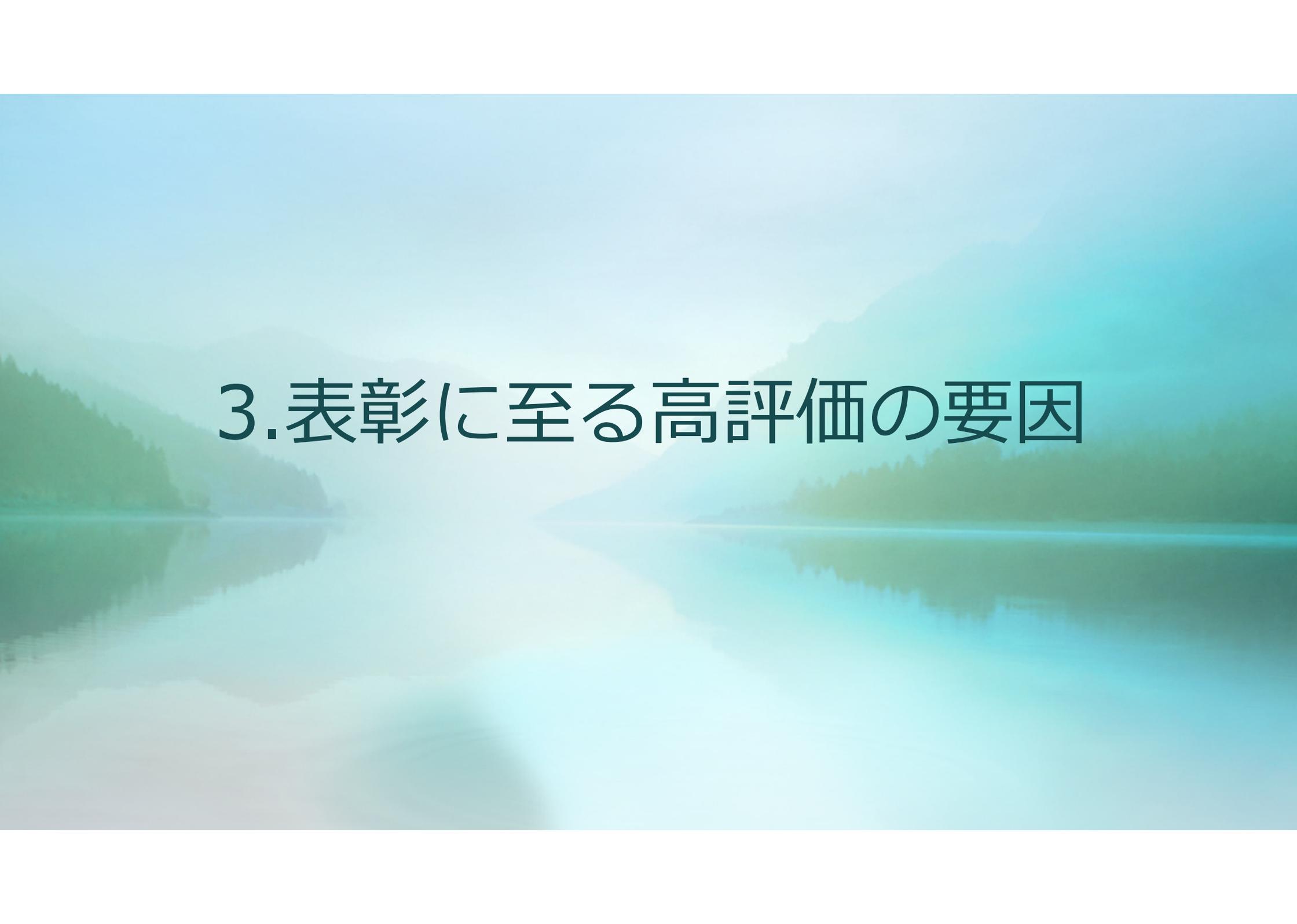
- 地震時の挙動が複雑
- 静的並びに動的解析により補強断面を決定

◆鳥取県通達「既設道路橋の耐震性能照査及び耐震補強について」を遵守

- 通達の内容を理解し、本橋梁発生する設計上の課題を整理
- 発生した課題に解決方針と補強対策を立案

◆既設橋脚基礎（底板）の耐力照査

- 既設橋脚基礎（底板）の部材耐力照査方法の立案



3.表彰に至る高評価の要因

3.表彰に至る高評価の要因

- 本業務で発生した課題に対する適切な解決方針の提案
- 本橋に求められる耐震性能を満足する耐震対策の立案



課題1:耐震対策方針の決定

課題2:ダム湖内での施工が可能な耐震対策工法の選定

課題3:柱基部とフーチング耐力とのバランスを考慮した
補強対策規模の設定とフーチング耐力の評価

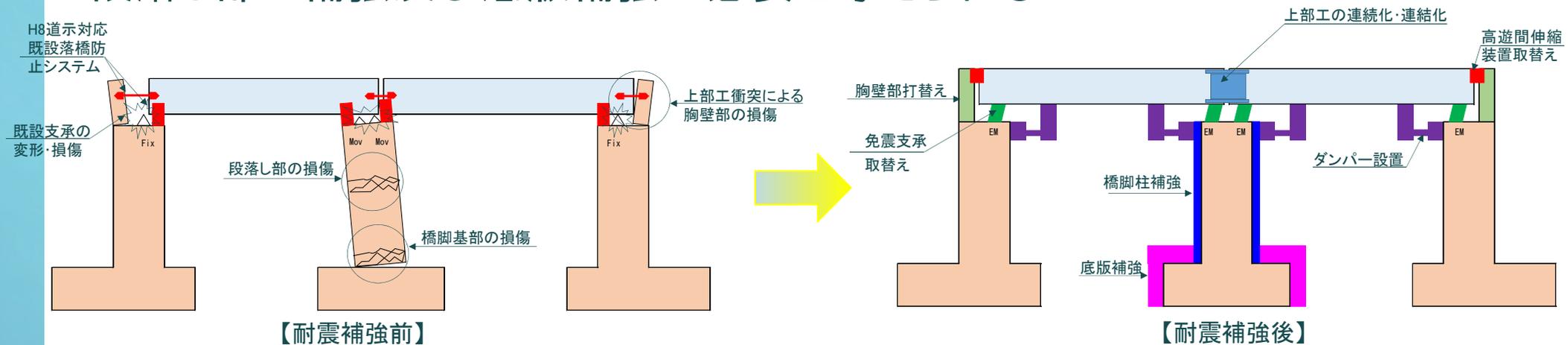
【橋梁全体系(免震工法)】

◆メリット

- 耐震補強後の点検, 維持管理に優れる
- 免震構造とすることで下部構造の補強対策の軽減が可能

◆デメリット

- 対策済落橋防止システムが有効活用できない
- 施工が大がかりとなり, 工費も莫大となる
- Co桁であるため死荷重が大きく, 橋軸直角方向の補強が考えられる
- 段落し部に補強及び底版補強が必要と考えられる



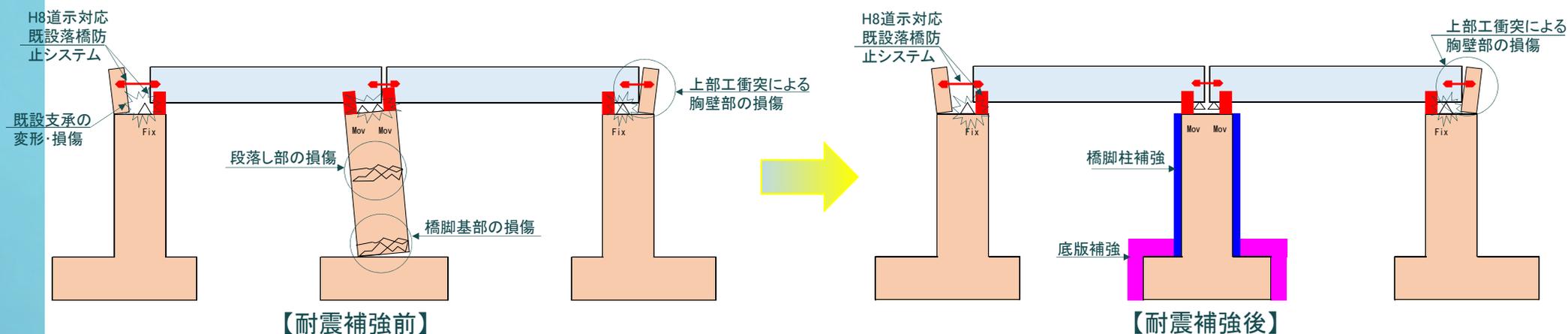
【部材補強(橋脚巻立て工法)】

◆メリット

- 対策済落橋防止システムを有効活用できる
- 免震構造に比べ施工規模を抑えることが可能
- PCプレキャストパネル工法を採用することで、仮設工費(仮締切り等)の削減可能

◆デメリット

- 大地震発生後に支承取替えが生じる
- 柱巻立による自重増加により、底版の補強が必要



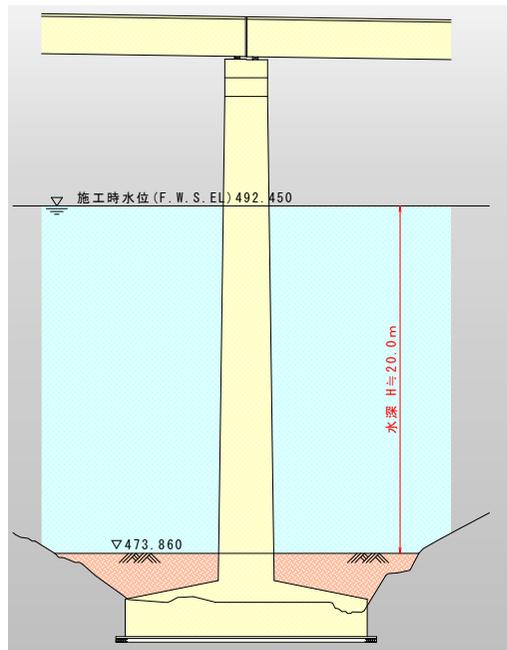
3-2. 課題2:ダム湖内での施工が可能な耐震対策工法の選定

・ダム湖に架橋された橋梁における耐震対策の問題点の整理



【ダム管理上の与条件】

- ・ 通年を通して常時満水で貯水量を管理している
- ・ 水位調整可能時期は、10月～12月の約3ヶ月間
- ・ 施工時水位は、常時満水位(水深約20m)にて計画



工法名	工法概要
RC巻立て工法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設橋脚外周に補強鉄筋を配置し、場所打ちコンクリートにより巻立てる工法である。 ・ ドライ施工が前提となるため、仮締切りが必要となる。
鋼板巻立て工法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設橋脚外周に補強鋼板を巻立て、無収縮モルタルを充填して一体化を図る工法である。 ・ ドライ施工が前提となるため、仮締切りが必要となる。
炭素繊維巻立て工法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 樹脂により炭素繊維シートを既設橋脚に接着させて巻立てる工法である。 ・ 手作業による施工が可能であり、施工性が良い。 ・ ドライ施工が前提となるため、仮締切りが必要となる。
ポリマーセメントモルタル巻立て工法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設橋脚外周に補強鉄筋を配置し、ポリマーセメントモルタルを巻立てる工法である。 ・ ドライ施工が前提となるため、仮締切りが必要となる。
PCプレキャストパネル巻立て工法 (PCコンファインド工法)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設橋脚外周に補強鉄筋を配置し、プレキャストパネルおよび間詰めコンクリートを充填し、PC鋼線によりプレストレスを導入する工法である。 ・ 仮締切りを必要とせず、水中施工が可能である。
RCプレキャストパネル巻立て工法 (PRISM工法)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設橋脚外周に補強鉄筋を配置し、プレキャストパネルおよび間詰めコンクリートを充填して、既設橋脚との一体化を図る工法である。 ・ 仮締切りを必要とせず、水中施工が可能である。
圧入鋼板巻立て工法 (ピアリフレ工法)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設橋脚外周に補強鉄筋を配置し、既設橋脚外周に鋼板を圧入して巻立て、無収縮モルタルを充填して、既設橋脚との一体化を図る工法である。 ・ 仮締切りを必要とせず、水中施工が可能である。

【耐震対策工法抽出案：施工事例】



【RC巻立て工法】



【鋼板巻立て工法】



【RCプレキャストパネル巻立て工法】



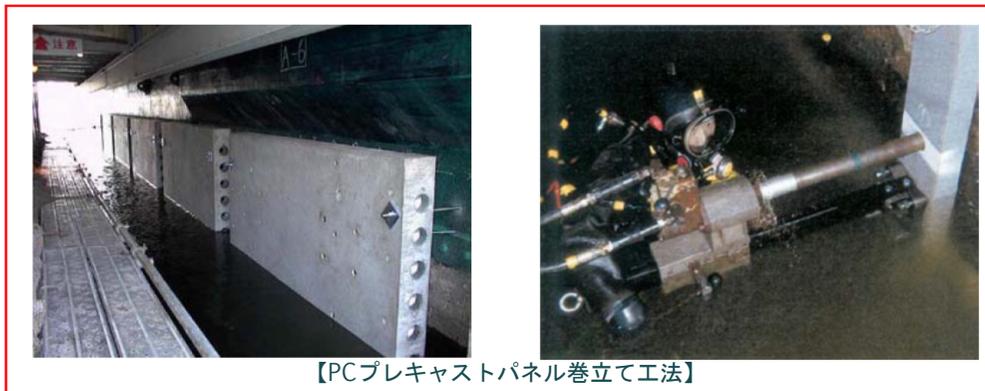
【炭素繊維巻立て工法】



【ポリマーセメントモルタル巻立て工法】



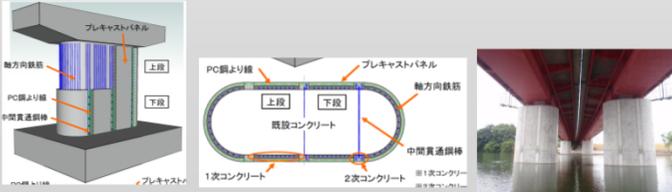
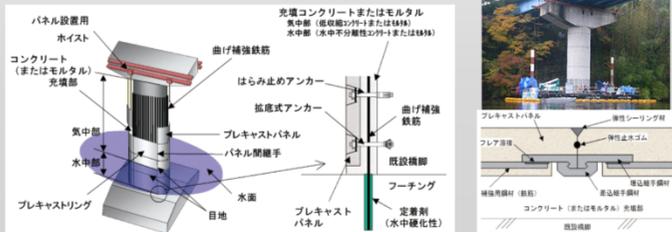
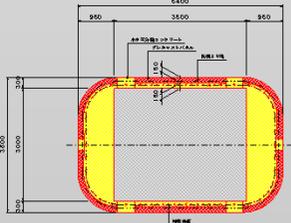
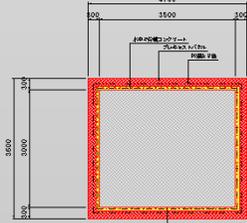
【圧入鋼板巻立て工法】



【PCプレキャストパネル巻立て工法】

←採用案

3-2. 課題2: ダム湖内での施工が可能な耐震対策工法の選定

著建橋 橋脚柱部耐震補強比較表(P1橋脚)																
橋脚補強工法	第1案: PCプレキャストパネル巻立て工法(PCコンファインド工法 NETIS: QS-980057-V)	第2案: RCプレキャストパネル巻立て工法(PFRSM工法)														
施工工法	水中施工	水中施工														
構造概要	<p>・橋脚柱部周囲に、プレキャストパネルを巻立て、パネルと既設橋脚の間に水中不分散性コンクリートを打設する。また、PC鋼材によりプレストレスを導入することで、地震時保有水平耐力の向上を図る耐震補強工法である。</p> 	<p>・常鉄筋を内包したプレキャストパネルで既設橋脚を外包し、かみ合わせ方式の継手鋼材で連結した後、既設橋脚との間に水中不分散性コンクリートを充填し、既設橋脚と一体化させることで、地震時保有水平耐力の向上を図る耐震補強工法である。</p> 														
参考断面図																
評価	信頼性 (実績)	<ul style="list-style-type: none"> ・鳥取県内で実績あり。 ・著建橋のようなダム湖に於ける橋脚の耐震補強での実績も多い。(百済ダム湖で実績あり) ・外部評価: NETIS登録番号QS-980057V 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・現在までの実績は全国で約12件あるが、平成22年以降の実績なし。 ・鳥取県内での実績なし。(中国地方の実績もなし) ・外部評価: NETIS登録はなし。建設技術審査証明(一般財団法人 土木研究センター) 	△											
	構造的	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げ耐力向上のため、フーチング部にアンカー鉄筋を定着させる必要がある。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げ耐力向上のため、フーチング部にアンカー鉄筋を定着させる必要がある。 	○											
	施工性	<ul style="list-style-type: none"> ・仮締切が不要で、水中施工が可能である。 ・水中施工となるため、遊水夫が必要である。 ・現場施工期間は、約12ヶ月である。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・仮締切が不要で、水中施工が可能である。 ・水中施工となるため、遊水夫が必要である。 ・パネルを円周方向に連結したリングを空中で組立て順次打設する施工方法であるため、橋脚周囲の作業船やつり下げ設備の搬送が大々になる ・現場施工期間は、約11ヶ月である。 	△											
	維持・管理性	<ul style="list-style-type: none"> ・工畢製作されたプレキャストパネルが表面保護を兼ねており、さらにPC鋼材で緊張するため、水中での耐久性、水密性は高く、将来的な維持・管理に優れている。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・工畢製作されたプレキャストパネルが表面保護を兼ねており耐久性は高いが、パネル間の継手継目は、弾性止水ゴム+弾性シーリング材程度であるため、継目の一体化、止水性の面で第1案に劣る。 	△											
	経済性	<table border="1"> <tr> <td>柱補強本工</td> <td>176,500 千円</td> </tr> <tr> <td>仮締切工</td> <td>— 千円</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>176,500 千円</td> </tr> </table>	柱補強本工	176,500 千円	仮締切工	— 千円	合計	176,500 千円	○	<table border="1"> <tr> <td>柱補強本工</td> <td>185,000 千円</td> </tr> <tr> <td>仮締切工</td> <td>— 千円</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>185,000 千円</td> </tr> </table>	柱補強本工	185,000 千円	仮締切工	— 千円	合計	185,000 千円
柱補強本工	176,500 千円															
仮締切工	— 千円															
合計	176,500 千円															
柱補強本工	185,000 千円															
仮締切工	— 千円															
合計	185,000 千円															
総合評価	全ての面で優位となるため、本案を著建橋の耐震補強工法として採用する。	①	信頼性、施工性、維持・管理性の面で第1案に劣る。	△												

3-3. 課題3: 柱基部とフーチング耐力とのバランスを考慮した 補強対策規模の設定とフーチング耐力の評価

◆ 耐震性能の確保 . . .

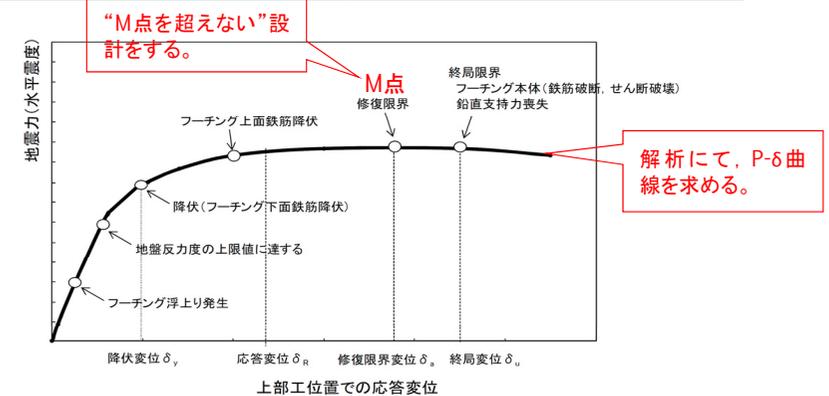
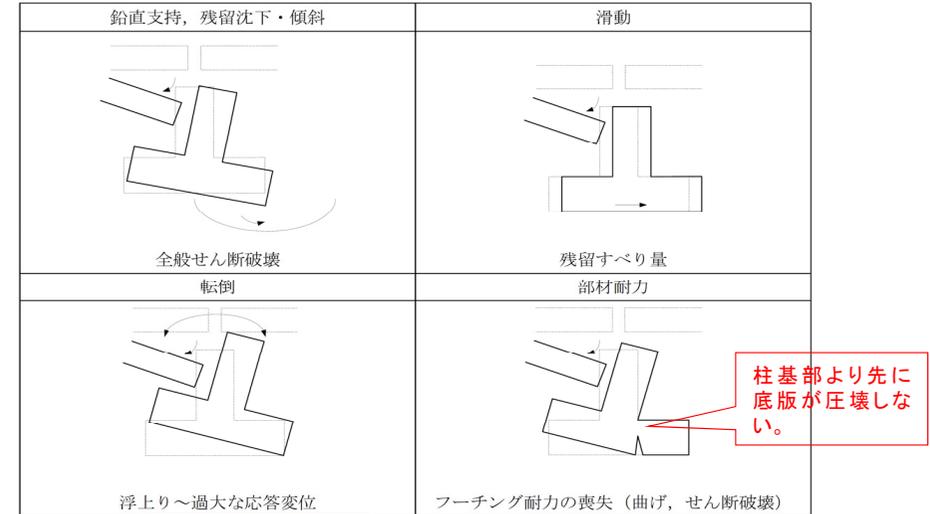
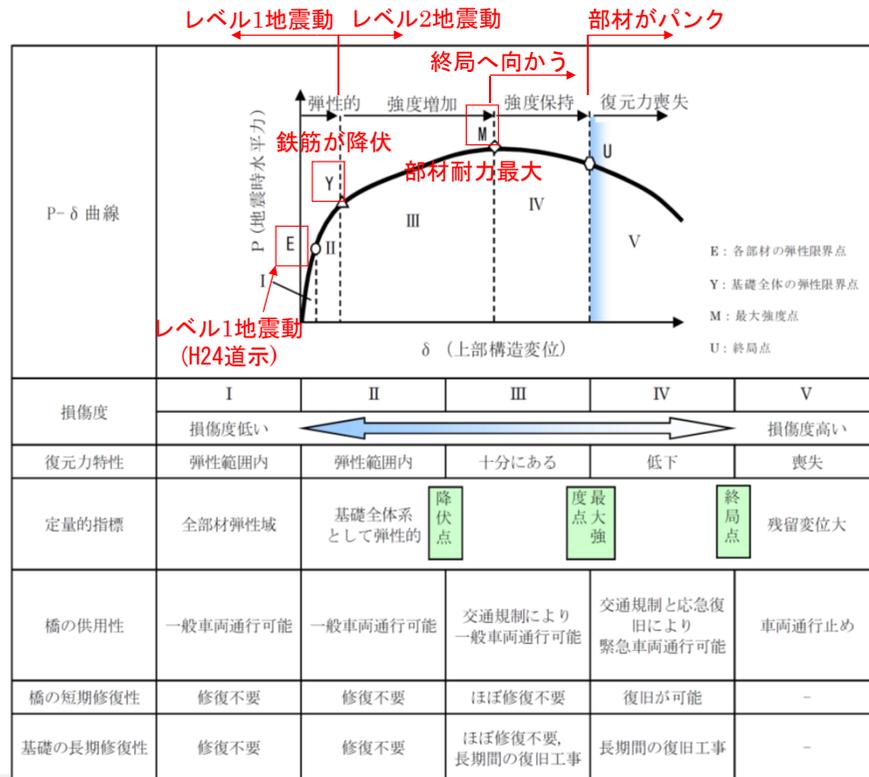
- 橋脚柱部の耐力確保
- 既設基礎(底版)の耐力確保

◆ 課題 . . .

- 柱基部と既設基礎(底版)のバランスを考慮した補強対策
- 既設基礎(底版)の部材耐力照査方法が明確になっていない

① 本橋梁に求められる既設基礎(底版)の整理

- 本橋梁は“B種“の橋に該当するため, ”M点“を超えない
- 既設基礎(底版)の部材耐力照査方法が明確になっていない



【直接基礎の水平震度-変位関係例】

- E点** ・基礎を構成する部材や部材を支持する地盤抵抗のいずれかが弾性(可逆性を有する)とみなせる限界点を超える点
- Y点** ・基礎全体系の水平力-水平変位関係において基礎の降伏点
- M点** ・Y点を超えた後, 基礎としての最大強度を発揮する点(最大強度点)
- U点** ・基礎の降伏点及び基礎の最大強度点を超えた後, 復元力の急激な低下が生じ始める点(終局点)

② 柱部と底版とのバランスを考慮した補強対策

◆ 柱補強断面の決定

- 高橋脚であるため，地震時の挙動が複雑
- 静的，動的解析により補強断面を決定

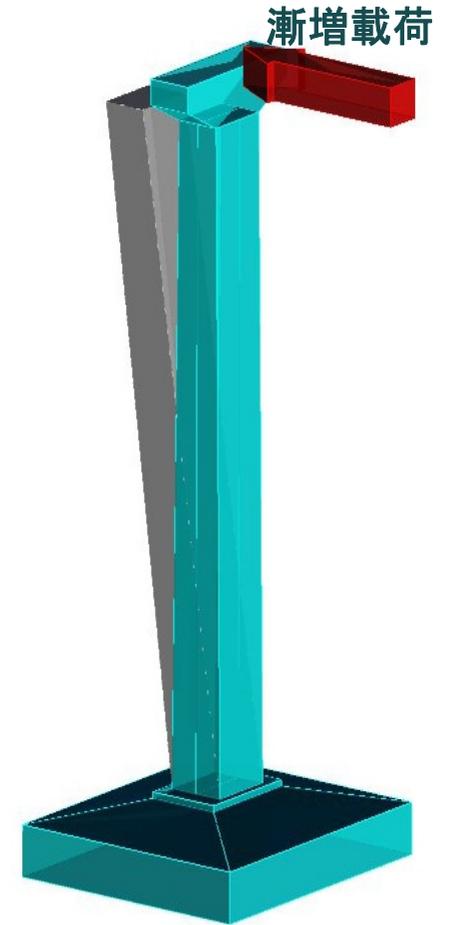
◆ 底版の部材耐力照査解析方法の立案

- 橋脚柱と底版を一体化した構造解析モデルを作成
- プッシュオーバー解析により柱上部に荷重を漸増载荷

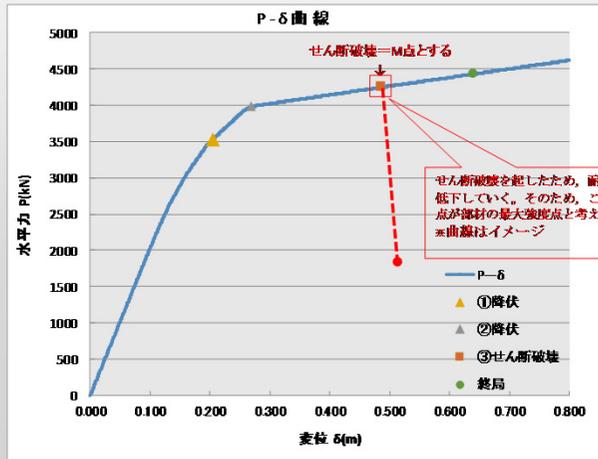


【想定される損傷イベントの順番】

底版の浮上り→地盤反力度が上限値に達する→柱基部の軸方向鉄筋の降伏→フーチング下面鉄筋降伏→底版上面鉄筋降伏→**最大強度点到達**→最大強度より強度低下(底版終局)→柱基部終局状態に達する



【プッシュオーバー解析モデル】



- P-δ関係 イベント

	step	δ(m)	P(kN)	適用
原点	0	0.000	0.0	
ひび割れ	c	129	2588.0	柱の基部の鉄筋の降伏
①δy0	y0-1	205	3521.7	フーチング付け根の鉄筋の降伏
②δy0	y0-2	270	3985.8	S≥Ps0となる時のstep
③せん断破壊	S>Ps0	487	4248.5	min(①,②,③)stepの時
終局	u	642	4432.8	フーチング付け根が終局

- 降伏変位の決定

	step	δ(m)	適用
①δy0	205	0.000	柱の基部の鉄筋の降伏
②δy0	270	0.128	フーチング付け根の鉄筋の降伏
③せん断破壊	487	0.204	S≥Ps0となる時のstep
1δy	205	0.269	min(①,②,③)stepの時
4δy	-	0.641	P=4638.7kN

底版部材が保有する最大強度が柱に作用する水平力以下であるため、補強が必要となる。

【検討結果】

■M点の設定

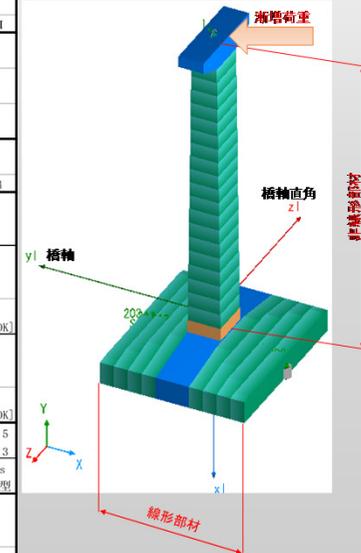
- ・プッシュオーバー解析を行った結果、P=4248.5kN、δ=0.486mmの時点で底版部材がせん断破壊を起こしたため、この地点以降は耐力が低下する。よって、せん断破壊点=部材最大強度点と考え、鳥取県通達に示す“M点”と設定した。

■底版補強の必要性の有無

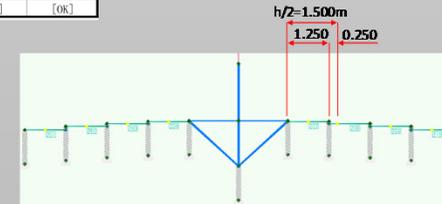
- ・底版は、橋脚柱に生じる設計水平力以上あれば、柱に生じたエネルギーを底版で吸収することができる。そのため、柱部に作用する設計水平力と底版の最大強度点での水平力の関係を対比した結果、M点P=4248.5<柱Pa=4600.1であるため、“底版の補強が必要”

P1 橋脚-コンファインド工法

項目・記号		単位	モデル-1 [固有周期算出]より震度算出				
			橋軸方向		橋軸直角方向		
			タイプI	タイプII	タイプI	タイプII	
補強寸法・補強鋼材	巻立厚	mm	パネル厚=150 場所打ち厚=150 合計厚=300				
	P C 鋼材	#	パネル厚=150 場所打ち厚=150 合計厚=950				
	補強鉄筋	—	1S17.8 etc 150 (基部~パネル天端) 設置なし				
基部の曲げモーメント	ひび割れ時	Mc	32129				
	初降伏時	Myo	109743				
	終局時	Mu	129793	129793	191464	191464	
損傷断面判定	基部	初降伏モーメント	Mbyo	109743			
		慣性力作用高さ	hb	27.900			
		Mbyo/hb	kN	3933.4	4996.9		
	基部より11.880m	初降伏モーメント	Mtyo	96617			
		慣性力作用高さ	ht	16.020			
		Mtyo/ht	kN	6031.0	8274.5		
	基部より14.500m	初降伏モーメント	Mtyo	90885			
		慣性力作用高さ	ht	13.400			
		Mtyo/ht	kN	6782.5	9141.4		
	破壊形態判定	終局水平耐力	Pu	4652.1	4652.1	6403.5	6403.5
せん断耐力		Ps	11533.2	11747.5	14592.7	15506.3	
破壊形態の判定		—	Pu<Ps Pu<Ps Pu<Ps Pu<Ps 曲げ破壊型 曲げ破壊型 曲げ破壊型 曲げ破壊型				
死荷重反力		Rd	5400.0				
上部工構造重量		Wu	2700.0				
橋脚躯体自重		Wp	11327.5				
降伏剛性		Ky	22065.7	44324.1			
固有周期		T	1.161				
地盤種別		—	I 種地盤				
地域別区分		—	B2 区域				
地震時保有水平耐力照査	許容塑性率	μa	1.848	1.848	2.589	2.589	
	水平震度標準値	khco	0.90	1.02	0.98	1.20	
	地域補正係数	C1Z	1.000	0.850	1.000	0.850	
	構造物補正係数	Cs	0.609	0.609	0.489	0.489	
	設計水平震度	khc	0.55	0.53	0.48	0.50	
	等価重量 (Cp=0.5)	W	8367.6	8367.6	11063.8	11063.8	
	設計水平力	khc·W	4600.1	4432.8	5310.6	5531.9	
	保有水平耐力	Pa	4652.1	4652.1	6403.5	6403.5	
	安全率	—	1.011	1.049	1.206	1.158	
	残留変位判定	応答塑性率	μr	1.814	1.706	1.929	2.044
残留変位		δR	102.95	89.28	80.53	90.53	
許容残留変位		δRa	279.00	279.00	299.00	299.00	
判定		δR ≤ δRa	[OK]	[OK]	[OK]	[OK]	



せん断破壊位置



② 柱部と底版とのバランスを考慮した補強対策

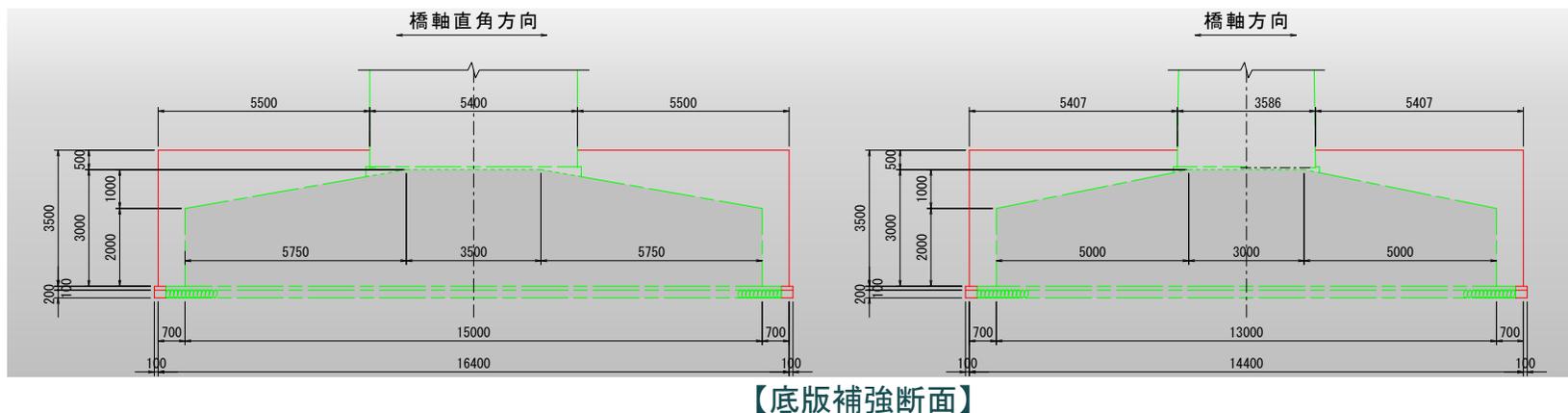
◆ 漸増載荷解析結果

- 補強後の柱部の地震時保有水平耐力到達前に底版が“M点”となった
- 柱部で生じた作用力を底版部材で吸収することができない



◆ 底版補強断面の決定

- 補強後の柱部の地震時保有水平耐力と漸増載荷解析で求めた“M点”を対比
- H24道示では弾性範囲内に収める設計となっている
(補強においてもこの考え方で断面を決定することが多い)



A serene landscape with a calm lake reflecting misty mountains and green forests. The scene is hazy and atmospheric, with soft light filtering through the mist. The mountains are layered, creating a sense of depth. The water is still, acting as a perfect mirror for the surrounding environment. The overall color palette is dominated by soft blues, greens, and greys.

4. 苦勞した点・工夫した点

4-1. 苦労した点, 工夫した点

- 業務内で発生した課題に対する適切な解決方針の立案

- ① 耐震対策方針

- 橋梁全体系と部材補強のメリット, デメリットを整理
- 本橋梁に適した耐震対策方針の立案

- ② ダム湖内での施工が可能な耐震対策工法

- 大深水においても施工可能な工法の選定と施工可能な施工計画の立案

- ③ 柱部と底版のバランスを考慮した補強対策と底版の耐力評価

- 解析手法の立案
- 底版の耐力評価

おわりに

今回は、業務を通じ、業務内で発生した課題に対して真摯に向き合い、共に知恵を出し、解決方針を見出して頂いた調査職員の方々に感謝を申し上げます。また、本業務を一緒に実施していただいた、上司、先輩方の協力があったからこそ、高評価につながったと考えています。

この場をお借りして、お礼申し上げます。

今後も、今以上に技術力の向上を目指し、微力では御座いますが、荒谷建設コンサルタント鳥取支社の技術者として、地元の公共事業に貢献できるよう尽力してまいりたいと思っております。

ご清聴ありがとうございました。