



高速公路橋梁耐震補強 工程技術研討會

烏溪一號河川橋 CFRP與外置預力補強

主講人：陳建宏

中華民國 112 年 5 月 5 日

簡報大綱



1

橋梁基本資料與補強前狀況

2

補充調查與評估分析

3

補強理念與工法選用

4

CFRP包覆補強

5

箱外外置預力補強

6

監測系統建置





1

橋梁基本資料與補強前狀況

烏溪一號河川橋基本資料

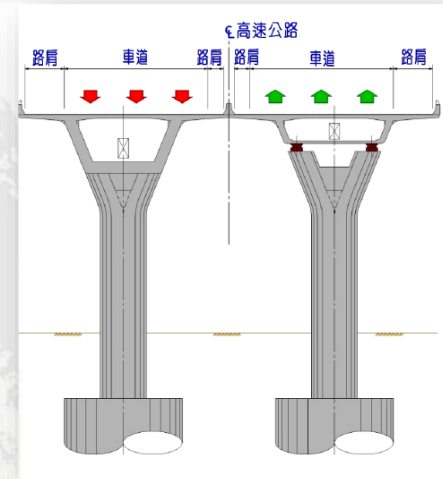
■ 第二高速公路國道3號彰濱快官段C326標工程

- ❖ 主辦：交通部臺灣區國道新建工程局
- ❖ 接管：交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處
- ❖ 設計監造：中興工程顧問
- ❖ 施工廠商：工信工程公司
- ❖ 竣工：92年12月5日
- ❖ 通車：93年元月11日



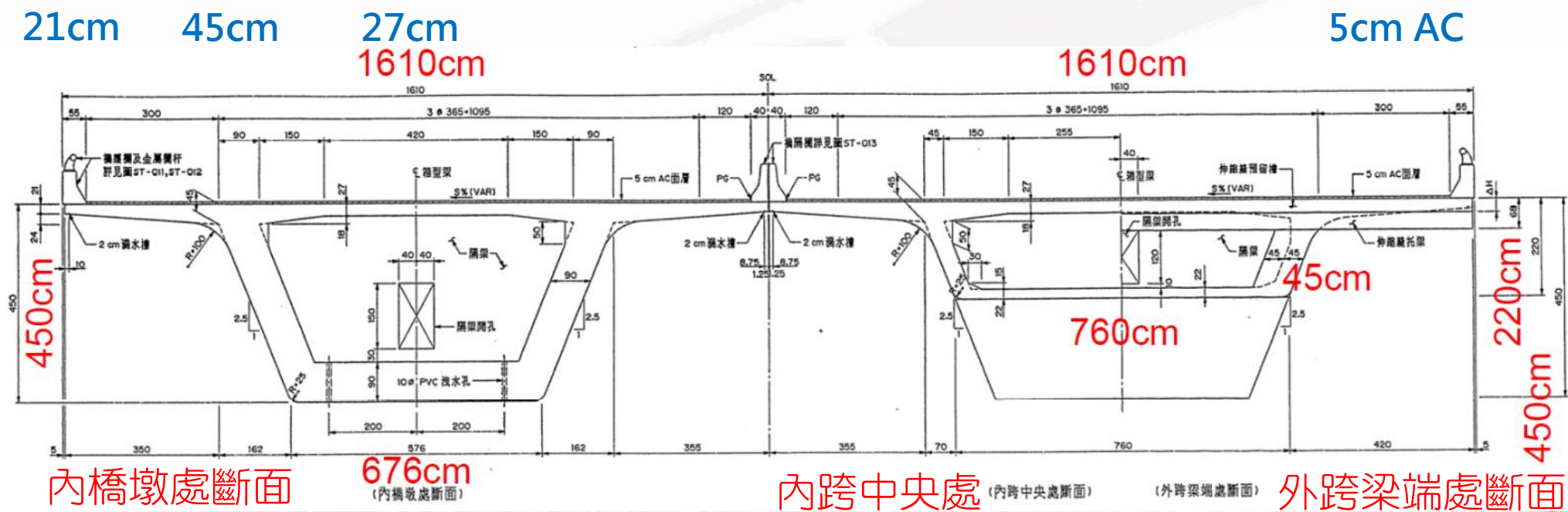
■ 橋梁概述(STA.188k+706~190k+861)

- ❖ 北上線：7個振動單元(共27跨，全長2.148 km)
- ❖ 南下線：7個振動單元(共26跨，全長2.011 km)
- ❖ 南北雙向各3車道
- ❖ 場鑄懸臂工法預力混凝土箱型梁



橋梁箱型梁標準斷面

- 鋪面設計厚度5cm
- 混凝土頂板設計厚度27cm
- 曲率半徑1,700m
- 橋面全寬16.1m(三車道)

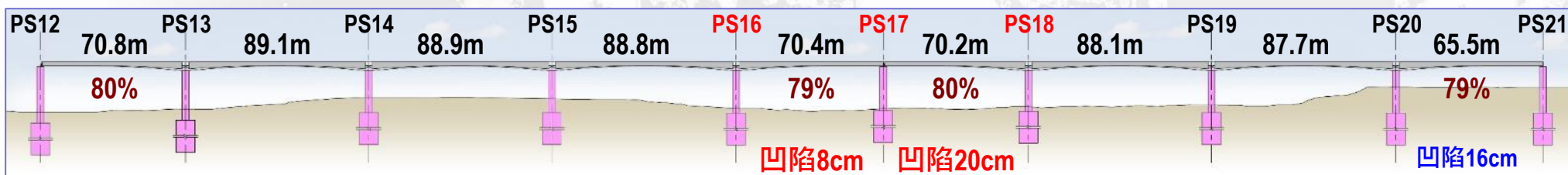
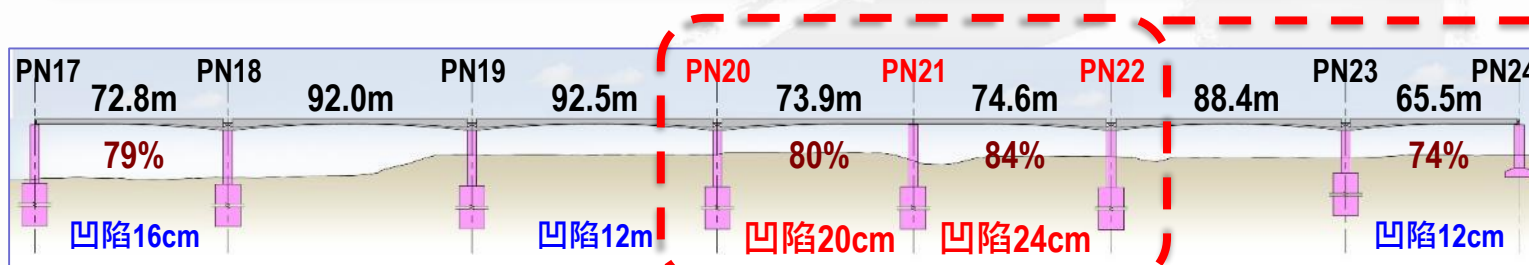


烏溪一號橋完工後之下垂變形



■ 93年完工通車後，即持續產生變形下垂

最大下垂
24 cm
(97年4月量測)



烏溪一號橋完工後之下垂變形與裂縫



交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處

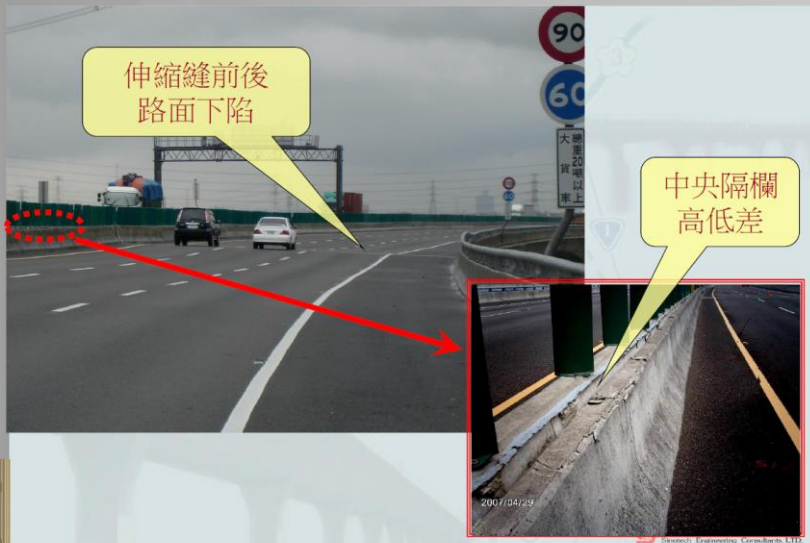
國道3號彰化2號高架橋及熱溪1號河川橋
橋面改善工程設計監造及監理工程

橋面變形



交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處

橋面變形



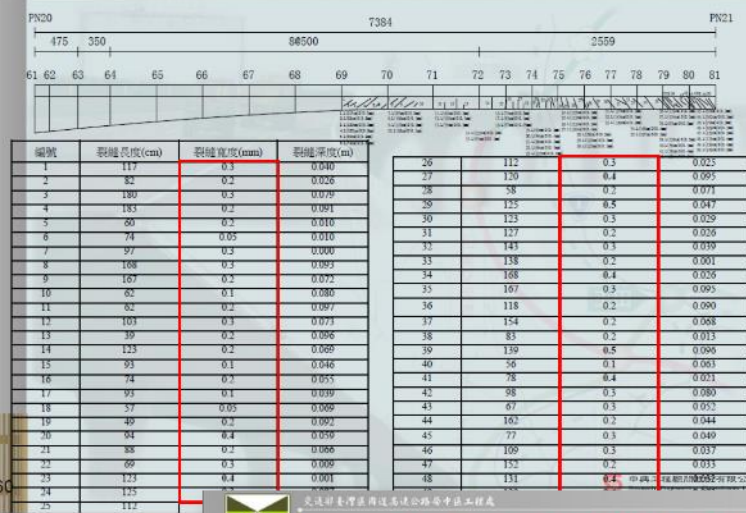
13



交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處

國道3號彰化2號高架橋及熱溪1號河川橋
橋面改善工程設計監造及監理工程

裂縫現況PN20~PN21



國道3號彰化2號
橋面改善工程

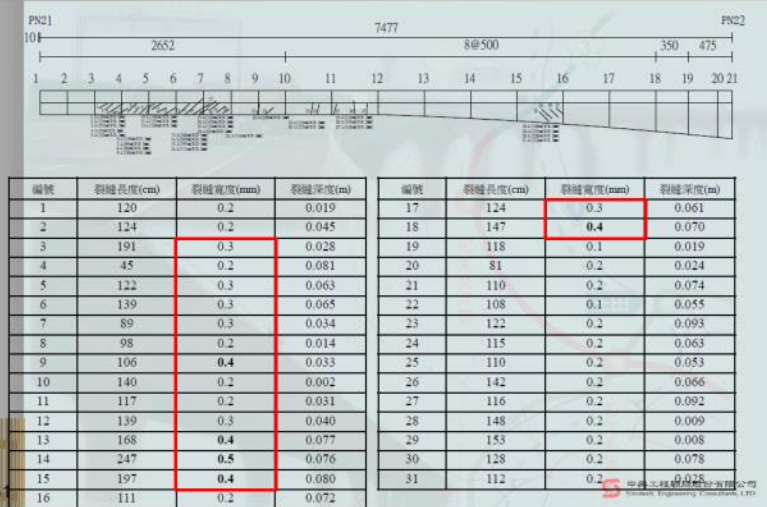
60



交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處

國道3號彰化2號高架橋及熱溪1號河川橋
橋面改善工程設計監造及監理工程

裂縫現況PN21~PN22



6

交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處

烏溪一號橋完工後之下垂變形後評估

裂縫檢測

- 橋梁目視檢測：端跨場撐段之箱梁腹板有明顯之垂直向及斜向裂縫，部分底板亦有裂縫
- 大部分裂縫寬度約為0.1-0.3mm，最大裂縫深度則約為10 cm
- 裂縫均在表層，研判裂縫主要係因混凝土養護欠佳或乾縮效應所造成，於施工階段可能即已產生



19

原因研判

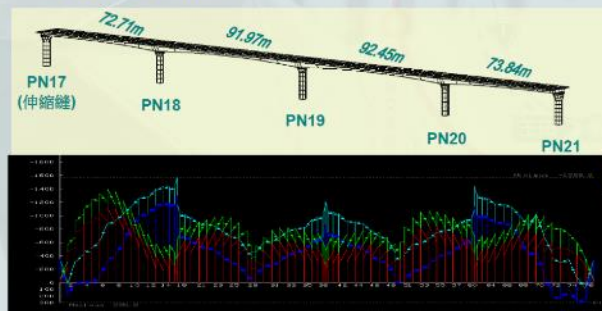
- 施工時幾何控制欠佳，結構體施工完成時，線形應已有下凹現象
- 護欄及AC加載後變形加大，完工時路面高程應已不平順
- 長期混凝土潛變效應造成下陷持續加大
- 本橋完工至今已6年，潛變效應大部分應已發生，變形應漸穩定



21

結構分析

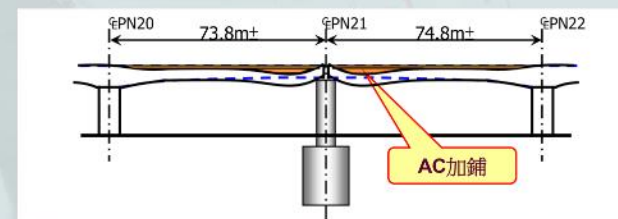
- 依據竣工資料重新建立結構模型度進行橋梁結構應力複核
- 預力梁之撓曲應力及剪力強度均尚無問題，研判本橋結構安全無虞



20

改善方式

- 以AC加鋪解決路面凹陷問題 (伸縮縫維持原狀)
- 橋護欄及隔欄配合加高以符合交通安全需求
- 額外增加之載重以外置預力補強
- 施工過程及完工後1年全程辦理監測工作以確認補強成效 (中央大學辦理)



23

烏溪一號橋變形後第一次外置預力補強



交通部高速公路局中區養護二科分局

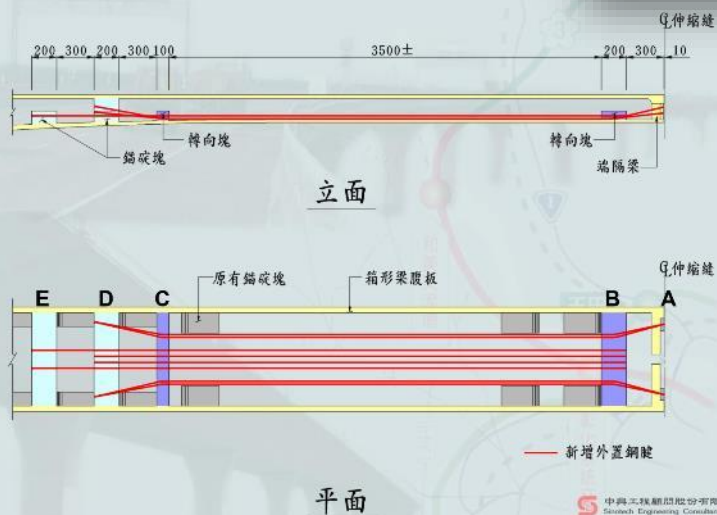
外置預力補強記錄

- 外置預力補強的目的是**增加上部結構的承載能力**，以抵抗橋面整平後新增瀝青混凝土所造成的彎矩，同時也可些微**提高橋體高程**。



交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處

外置預力



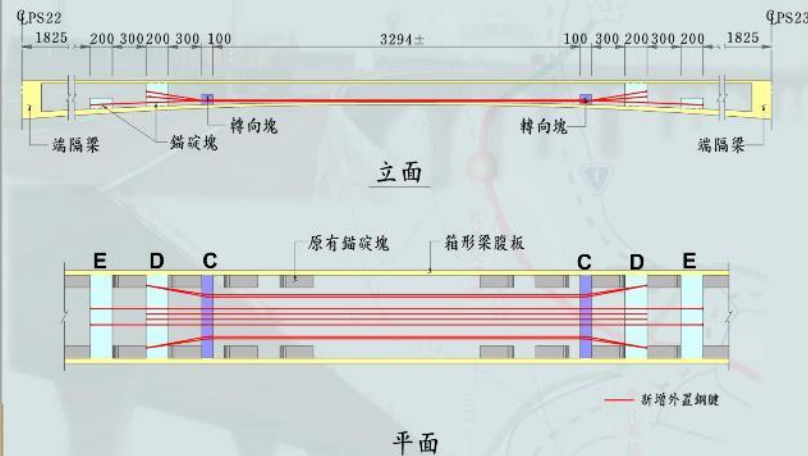
27



交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處

外置預力

國道7號彰化2號高架橋及西溪(雙河)橋
橋面改善工程設計監造及監辦業務工作



28



中興工程顧問股份有限公司

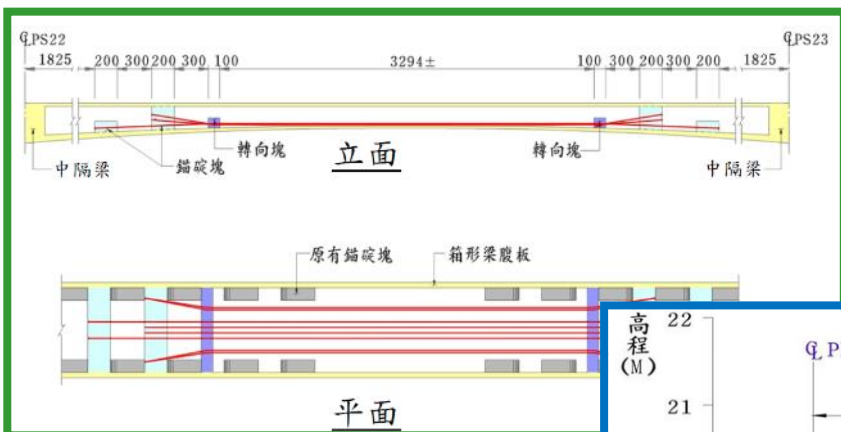


國立中央大學陽明與鐵道工程學系

烏溪一號橋第一階段補強

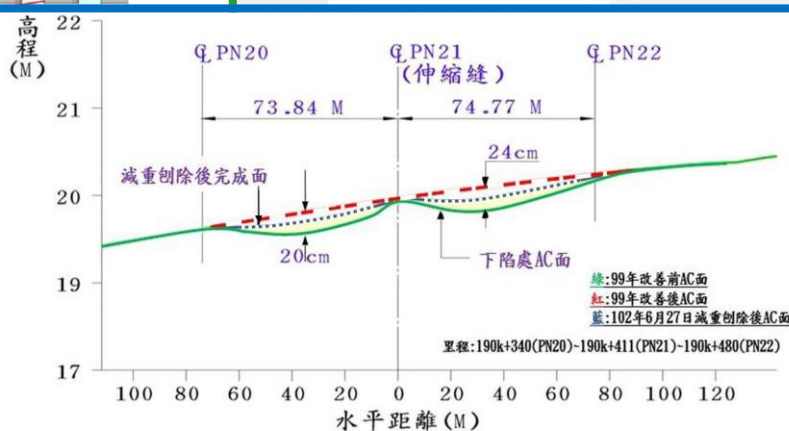
PN20~22, PS16~18 變位與應變監測系統

更新及維護



3 階段外置預力補強

PN20~PN22
局部刨除AC減重



腹板與底板裂縫

PN21

懸吊式施工架

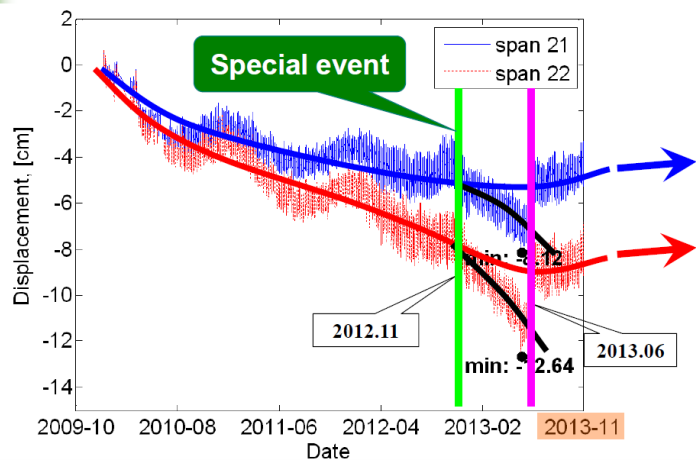


烏溪一號橋之安全監測

資料來源：烏溪一號橋現況簡報106年12月19日

交通部台灣區國道新建工程局

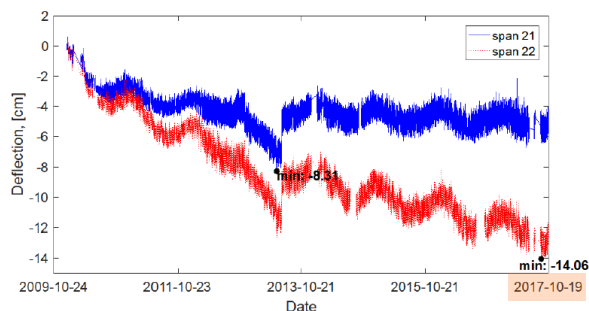
六. 後續監測



中興工程顧問股份有限公司

P26

五、最近一期監測成果

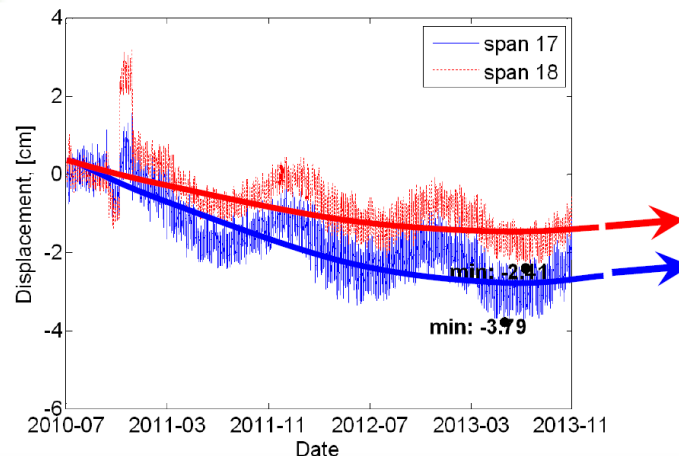


北上線監測成果，近年撓度已有趨緩之趨勢，持續觀察中。

北上段PN20~PN21完工迄今約下陷4.53cm，
PN21~PN22完工迄今約下陷14.06cm

交通部台灣區國道新建工程局

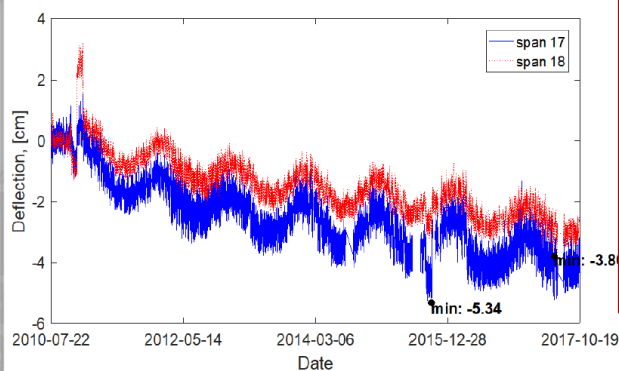
六. 後續監測



中興工程顧問股份有限公司

P27

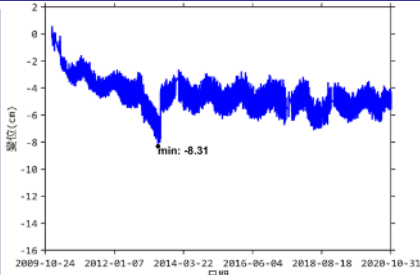
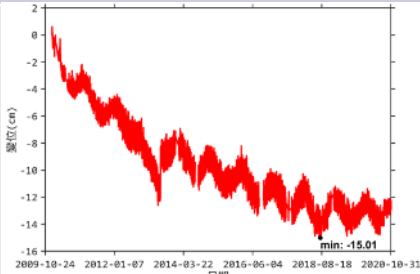
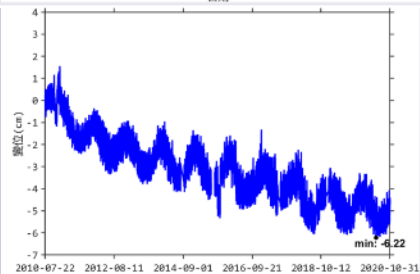
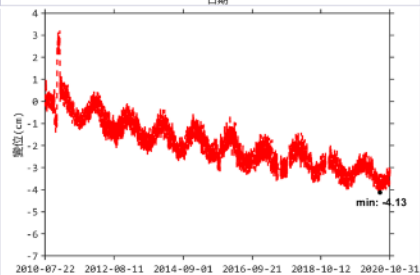
五、最近一期監測成果




南下線監測成果，近年撓度已有趨緩之趨勢，持續觀察中

南下段PS16~PS17完工迄今約下陷3.59cm，
PS17~PS18完工迄今約下陷3.8cm

烏溪一號橋補強前之監測報告

	2009-10 ~ 2020-10	109.3報告書結論
PN20~PN21		年增量逐年降低， 有 接近穩定 的趨勢現象。
PN21~PN22		年增量並無明顯減少， 其撓度仍 持續發展 。
PS16~PS17		年增量逐年降低， 但撓度 尚未達到穩定 現象。
PS17~PS18		年增量值逐年降低， 但撓度 尚未達到穩定 現象。


國道3號烏溪1號河川橋後續變位監測維護工作 (108.1~109.12)

 交通部高速公路局中區養護工程分局

國道3號烏溪1號河川橋
後續變位監測維護工作
第二次期中報告

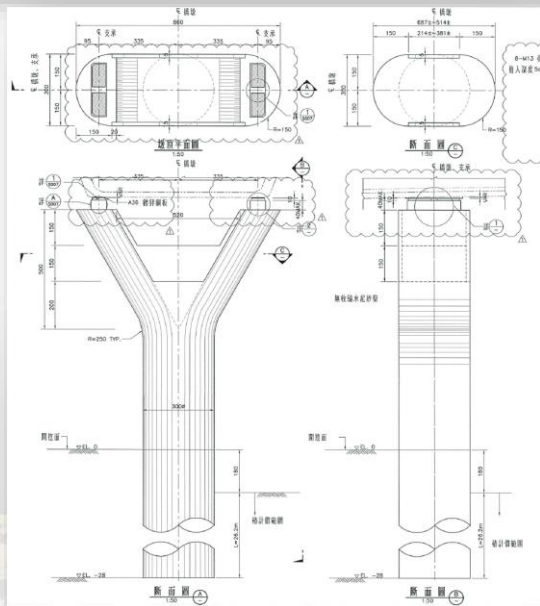
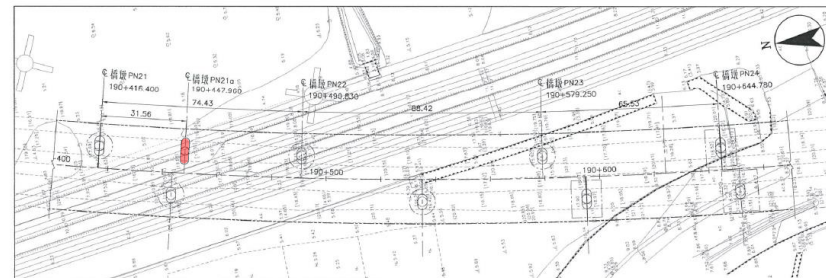
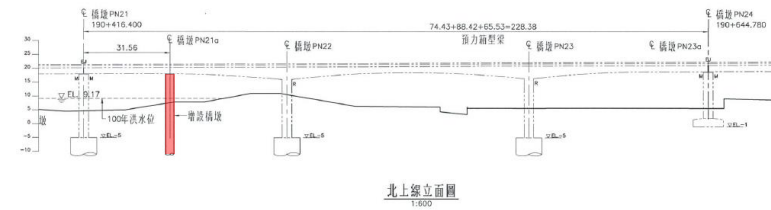
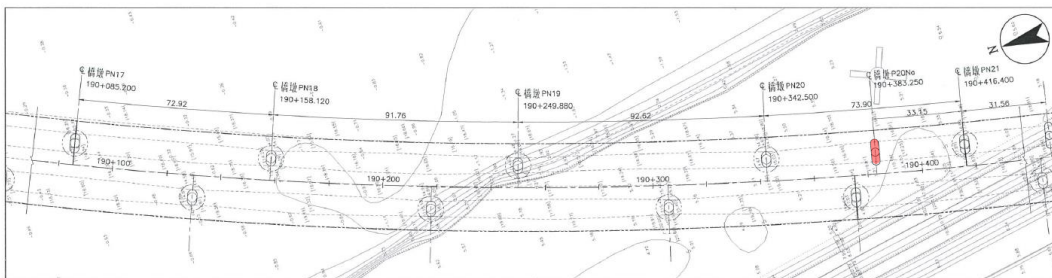
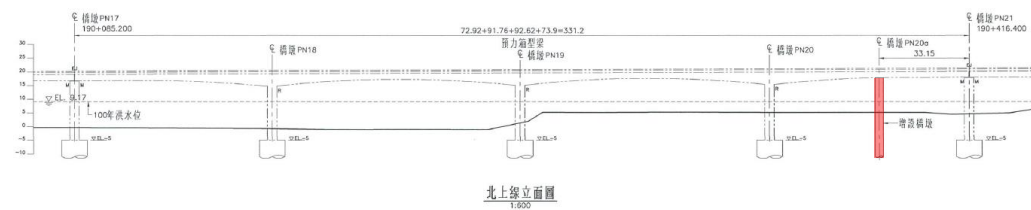
(108年1月至108年12月)

(修正版)

承 包 商： 中興工程顧問股份有限公司
執行工務段：交通部高速公路局中區養護工程分局
大甲工務段
主辦機關：交通部高速公路局中區養護工程分局

中華民國 109 年 3 月

烏溪一號橋緊急工程：PN20~PN22增設橋墩工程





2

補充調查與評估分析

烏溪一號橋現況補充調查

調查範圍	補充調查項目	執行單位
全橋	<ul style="list-style-type: none"> ■ 裂縫調查 	仝葉工程顧問股份有限公司
PN20~PN22 PS16~PS18	<ul style="list-style-type: none"> ■ 橋面 AC 厚度檢測 ■ 橋面板厚度檢測 ■ 外置預力量測 ■ 箱型梁腹板內側新增裂縫 	中興工程顧問股份有限公司
其他跨	<ul style="list-style-type: none"> ■ 橋面 AC 厚度檢測 ■ 橋面板厚度檢測 ■ 外置預力套管砂漿填實度檢測、 預力量測、目視檢測 ■ 裂縫深度檢測 ■ 混凝土彈性模數檢測 ■ 橋面板鑽孔取樣檢測 ■ 混凝土有效勁度評估 	美商同校國際工程顧問股份有限公司台灣分公司

烏溪一號河川橋裂縫檢測(仝葉)



檢測成果(北向)

國道3號烏溪一號河川橋(北向)																												
橋孔		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27
外部	腹板(東側)	1	-	-	1	16	-	-	-	-	54	29	84	20	36	11	14	23	25	30	3	-	11	3	11	9	4	-
	腹板(西側)	6	-	-	-	-	-	8	6	-	16	27	45	28	8	10	1	9	16	12	1	-	2	-	6	6	-	-
	底版	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	11	3	3	11	5	4	1	1	-	-	2	-	-	1	-	-
內部	腹板(東側)	11	1	1	3	9	-	1	7	6	6	21	12	2	37	59	21	-	-	-	-	49	50	4	5	2	3	27
	腹板(西側)	23	5	7	19	25	2	3	23	24	7	3	13	-	53	65	3	-	4	9	1	35	48	-	3	25	5	40
	頂版	20	72	104	47	51	77	27	43	11	68	102	48	-	59	14	24	-	-	38	29	84	22	46	33	12	3	4
合計		61	78	112	70	102	79	39	79	42	151	182	213	53	196	170	68	36	46	90	34	168	135	53	58	55	15	71

黃底表示有部分裂縫寬度 $\geq 0.3\text{mm}$

紅字表示重點監測橋孔

烏溪一號河川橋主梁(南向)



烏溪一號河川橋裂縫檢測(仝葉)



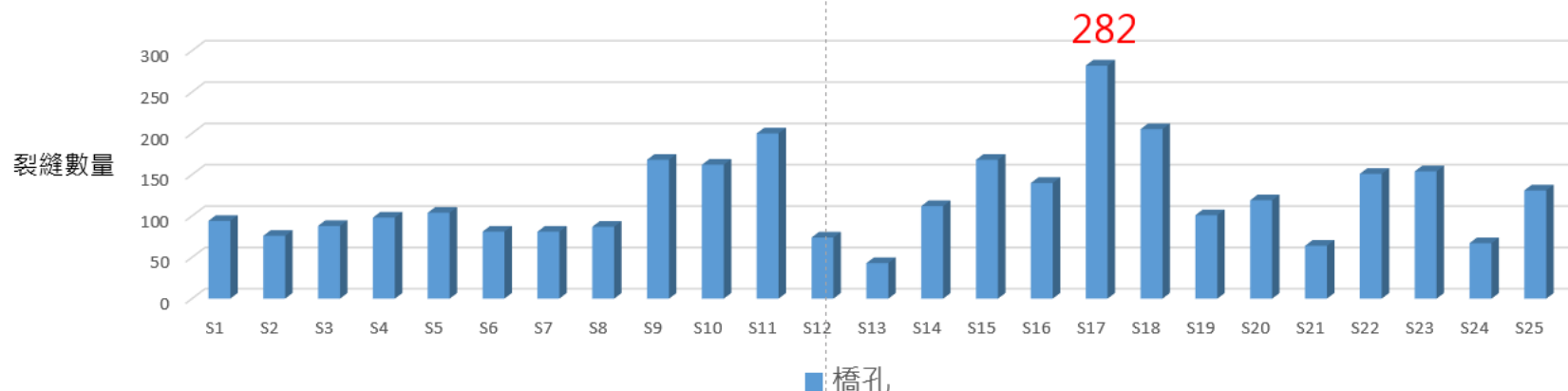
檢測成果(南向)

國道3號烏溪—號河川橋(南向)																											
橋孔		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26
外部	腹板(東側)	2	-	-	-	-	-	1	-	10	13	14	1	3	-	17	9	54	15	6	-	1	-	3	3	-	-
	腹板(西側)	2	-	-	-	17	3	2	-	73	63	42	15	14	2	13	5	78	27	31	-	1	4	-	-	4	24
	底版	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3	2	4	4	-	5	-	14	10	-	-	-	-	-	-	-	-
內部	腹板(東側)	66	20	6	32	31	1	1	34	34	11	22	6	17	9	33	41	63	17	9	24	10	26	10	18	26	30
	腹板(西側)	21	4	13	33	29	1	11	30	14	5	1	1	-	12	6	3	18	16	-	10	8	10	-	-	8	9
	頂版	3	52	69	33	27	76	66	23	32	67	119	47	5	89	94	82	55	120	55	85	44	111	141	46	93	31
合計		94	76	88	98	104	81	81	87	168	162	200	74	43	112	168	140	282	205	101	119	64	151	154	67	131	94

黃底表示有部分裂縫寬度 $\geq 0.3\text{mm}$

紅字表示重點監測橋孔

烏溪一號河川橋主梁(南向)



補強前裂縫灌注狀況

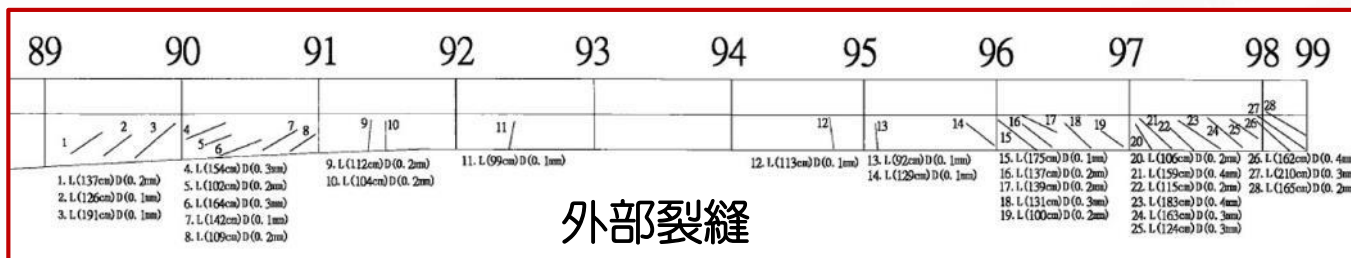
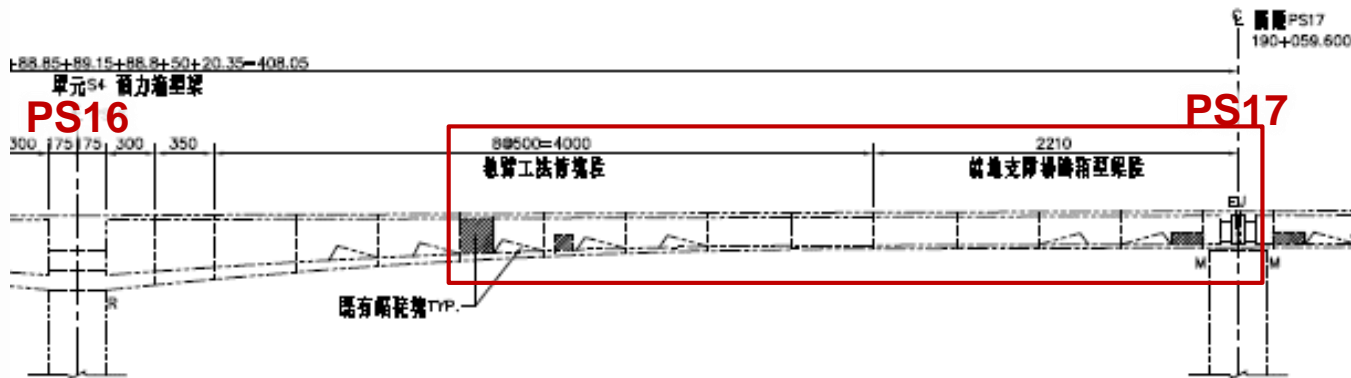


裂縫深度調查成果-以重點監視四個橋孔為例

項次	測點編號	裂縫開口寬度 (mm)	混凝土 波速 (m/s)	裂縫檢測					備註	項次	測點編號	裂縫開口寬度 (mm)	混凝土 波速 (m/s)	裂縫檢測					備註
				H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	t ₁ (μs)	t ₂ (μs)	裂縫檢測深度 (cm)						H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	t ₁ (μs)	t ₂ (μs)	裂縫檢測深度 (cm)	
1	PN20-E-C01	0.30	4223	4	4	57.0	98.6	7.8	-	13	PS16-E-C01	0.30	4308	4	4	57.0	94.4	7.0	-
2	PN20-E-C02	0.30		4	4	55.0	93.4	7.1	-	14	PS16-E-C02	0.30		4	4	58.0	87.2	4.9	-
3	PN20-E-C03	0.30		4	4	58.0	105.8	9.3	-	15	PS16-E-C03	0.30		4	4	55.0	112.0	11.6	-
4	PN20-W-C01	0.30		4	4	52.0	99.6	9.2	-	16	PS16-W-C01	0.30		4	4	57.0	96.6	7.5	-
5	PN20-W-C02	0.30		4	4	57.0	102.8	8.8	-	17	PS16-W-C02	0.30		2	2	53.0	104.8	11.0	-
6	PN20-W-C03	0.30		4	4	57.0	104.8	9.3	-	18	PS16-W-C03	0.20		4	4	54.0	116.0	12.7	-
7	PN21-E-C01	0.30		4	4	58.0	105.8	9.3	-	19	PS17-E-C01	0.30		4	4	57.0	92.4	6.5	-
8	PN21-E-C02	0.30		2	2	58.0	87.2	5.8	-	20	PS17-W-C01	0.40		2	2	56	105.8	10.5	-
9	PN21-E-C03	0.30		4	4	52.0	108.8	11.3	-										
10	PN21-W-C01	0.30		4	4	57.0	98.6	7.8	-										
11	PN21-W-C02	0.30		4	4	58.0	99.6	7.8	-										
12	PN21-W-C03	0.30		4	4	56.0	103.8	9.3	-										

■ 裂縫>0.3mm其深度檢測結果已大於保護層厚度(4 cm)

PS16~PS17 裂縫



交通部臺灣區國道高速公路局中區工程處

國道3號彰化2號高架橋及烏溪1號河川橋
橋面改善工程委託設計監造及監測服務工作

烏溪 1 號河川橋

橋面改善前之線形量測成果報告

(含目視檢測、裂縫量測及鋪面厚度量測)

中興工程顧問股份有限公司

辦理單位：國立中央大學橋梁工程研究中心
清雲科技大學

中華民國九十八年十月

- 比對108年與98年裂縫調查記錄，外部裂縫有增加情形
- 內部裂縫修補過後，有新增裂縫且部分寬度0.3mm以上
- PS16~PS17有1條補強外置預力鋼腱失效

烏溪一號橋現況補充調查(中興108.3)



交通部高速公路局中區養護工程分局

結論(1/2)

- 橫向測線(參考測線平均值)
 - 北上線PN20~PN22橋跨
 - ◆ 鋪面厚度分布於16~33cm之間
 - ◆ 混凝土頂板厚度分布於24~39cm(28.9~34.3)之間
 - 南下線PS16~PS18橋跨
 - ◆ 鋪面厚度分布於12~22cm之間
 - ◆ 混凝土頂板厚度分布於26~42cm(29.8~35.6)之間
- 縱向測線(參考測線平均值)
 - 北上線PN20~PN22橋跨
 - ◆ 鋪面厚度分布於17~25cm之間
 - ◆ 混凝土頂板厚度分布於29~35cm之間
 - 南下線PS16~PS18橋跨
 - ◆ 鋪面厚度分布於15~21cm之間
 - ◆ 混凝土頂板厚度分布於32~37cm之間
- 實測鋪面厚度均大於設計值5cm，混凝土頂板厚度均大於設計值27cm。

鋪面厚度：12~40cm
頂板厚度：24~42cm

()內數值為合成聚焦法檢測成果

烏溪一號橋現況補充調查(中興108.3)



交通部高速公路局中區養護工程分局

結論(2/2)

● 鋪面厚度平均值

- 北上線PN20~PN21約19.97cm，現況重量較設計值增加約**402**噸。
- 北上線PN21~PN22約22.17cm，現況重量較設計值增加約**467**噸。
- 南下線PS16~PS17約16.11cm，現況重量較設計值增加約**284**噸。
- 南下線PS17~PS18約19.18cm，現況重量較設計值增加約**362**噸。

● 混凝土頂板厚度平均值

- 北上線PN20~PN21約**29.9 (33.5)** cm，現況重量較設計值增加約**21(46)**噸。
- 北上線PN21~PN22約**32.5(32.5)** cm，現況重量較設計值增加約**40(40)**噸。
- 南下線PS16~PS17約**35.0(31.7)** cm，現況重量較設計值增加約**54(32)**噸。
- 南下線PS17~PS18約**33.8(31.2)** cm，現況重量較設計值增加約**46(28)**噸。

◆ ()內數值為合成聚焦法檢測成果



中興工程顧問股份有限公司



國立中央大學橋梁與軌道工程研究中心



中華大學非破壞檢測與安全評估中心



朝陽科技大學非破壞檢測中心

78

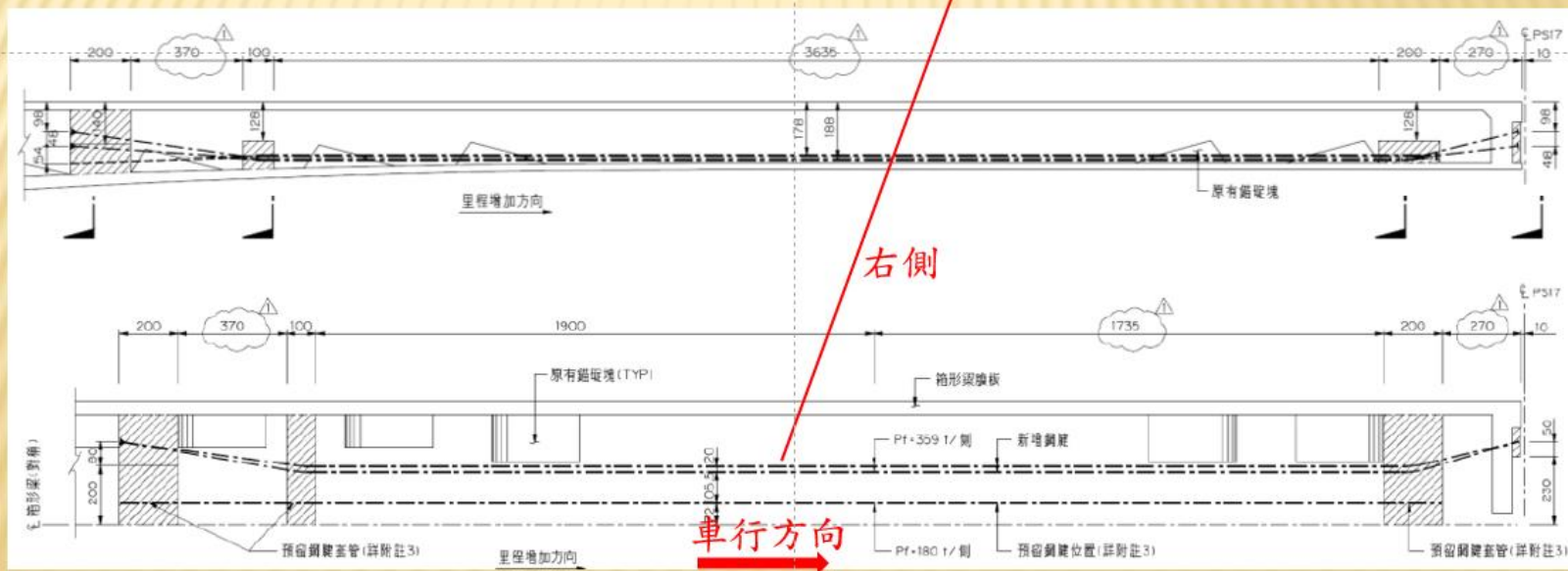
烏溪一號橋現況補充調查(中興108.3)



交通部高速公路局中區養護工程分局

其他(外置預力鋼腱失效)

- 南下線PS16~PS17橋跨，面向車行方向，右側一根外置預力鋼腱失效
- P1鋼纜因鬆弛已壓住原監測系統於鋼纜下方穿越之訊號軟管。



中興工程顧問股份有限公司

國立中央大學橋梁與軌道工程研究中心



中華大學非破壞檢測與安全評估中心



朝陽科技大學非破壞檢測中心

81

烏溪一號橋現況補充調查(中興108.3)



交通部高速公路局中區養護工程分局

外置預力索力修正(108年3月量測)

- 經檢視竣工圖，顯示外置預力套管內部有灌漿，故修正之。

鋼纜編號	PN20~PN21(噸)	PN21~PN22(噸)	PS16~PS17(噸)	PS17~PS18(噸)
P1	214.24	204.90	(已平貼於底板無法檢測)	234.31
P2	161.83	203.23	198.84	(與管線架碰撞無法檢測)
P3	181.17	222.98	(預留未施拉)	272.68
P4	(預留已施拉) 226.08	(預留已施拉) 233.07	(預留未施拉)	265.40
P5	(預留已施拉) 232.10	(預留已施拉) 216.04	291.79	270.58
P6	231.07	215.29	157.58	279.79
P7	224.16	216.17	-	263.29
P8	223.15	(與管線架碰撞無法檢測)	-	261.23
現況索力	1,693.8	1,511.68+P8	648.21	1,847.28+(P2)
竣工圖有效預力	1,960	1,960	718	1,946
差值	-266.2	-448.32+(P8)	-69.79	-98.72+(P2)



中興工程顧問股份有限公司

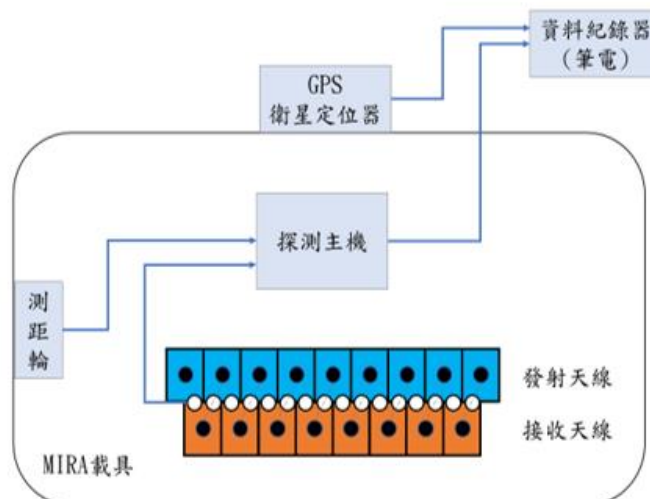


國立中央大學橋梁與軌道工程研究中心

28

108.7.5

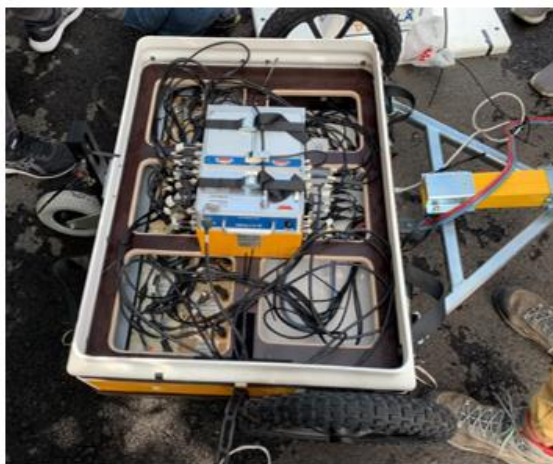
車載三維透地雷達



Control Unit
Dimension Box
Weight Box
Power
Pulse Repetition Frequency
Suitable Target depth
Number of data channels
Number of samples
Standard Antenna Frequency
Communication
Positioning input

MALÅ MIRA 30 channel 1.3 GHz

MALÅ ProEx with array option
155 x 66 x 44 cm (LxWxH)
70 kg
From survey vehicle
200 kHz
Up to 1 meter
30 channels
Up to 1024
1.3 GHz (Options available)
Point to point Ethernet, 100 Mbit/s
Supports all major RTK, GPS and
Total Stations



鋪面厚度補充調查作業

■ 車載三維透地雷達探查

- ❖ 採MAL MIRA 30 channel
1.3 GHz車載(拖曳式)三維透地雷達
- ❖ 車速約40km/hr

資料紀錄器/筆電
(車內)

電池組
(車內)



GPS衛星定位

探測主機及陣列
雷達探測天線

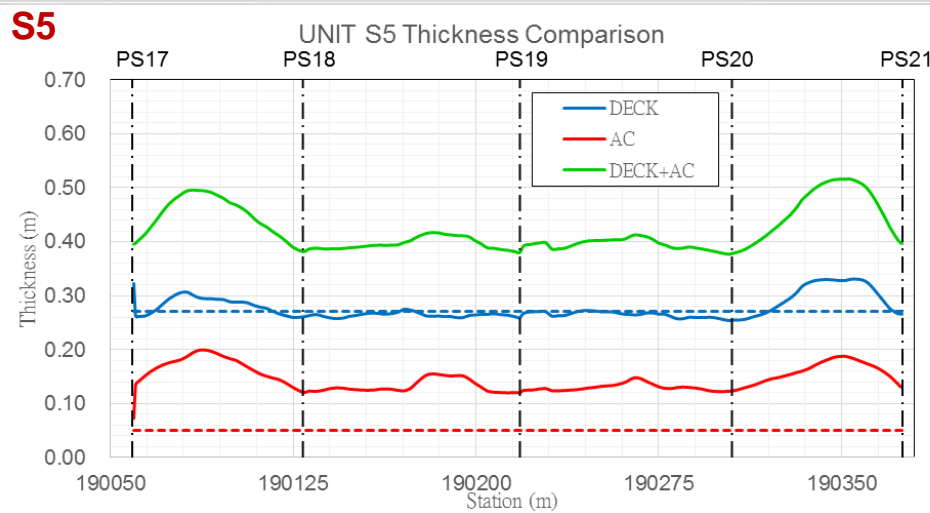
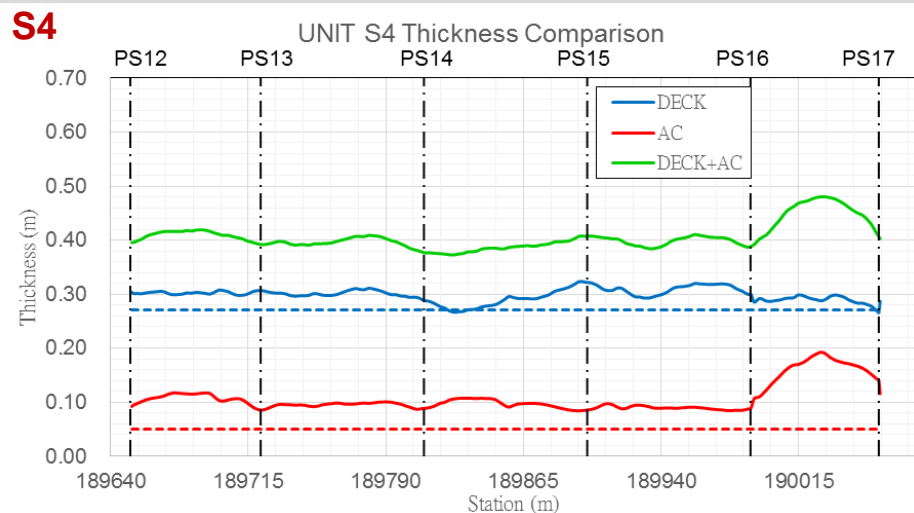
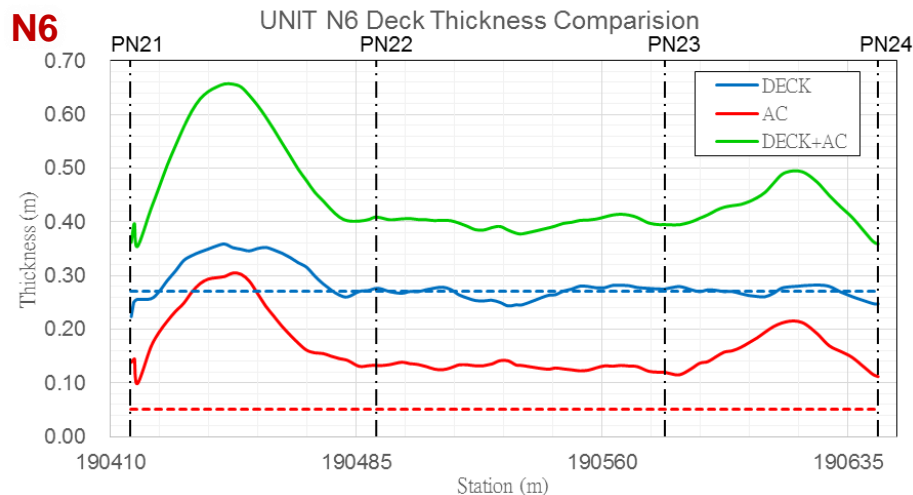
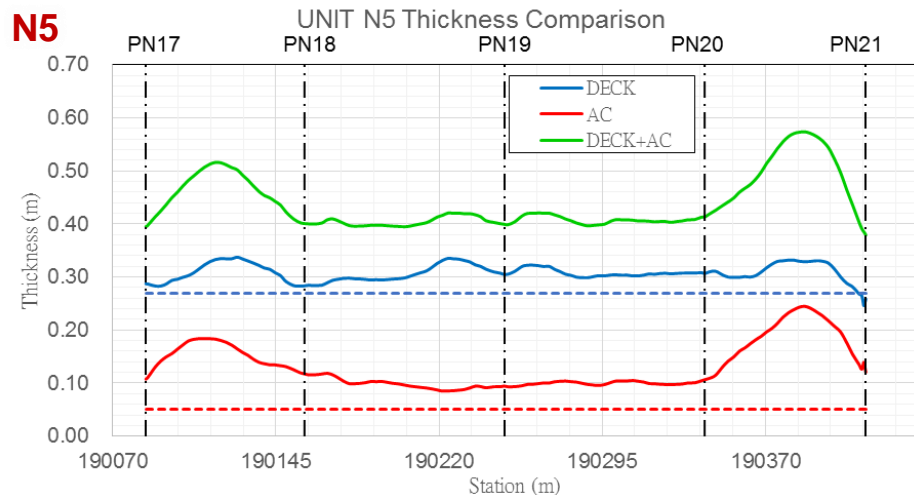
測距輪



影片來源：大甲工務段



鋪面及橋面板厚度調查成果-以重點監視四個橋孔的四個單元為例

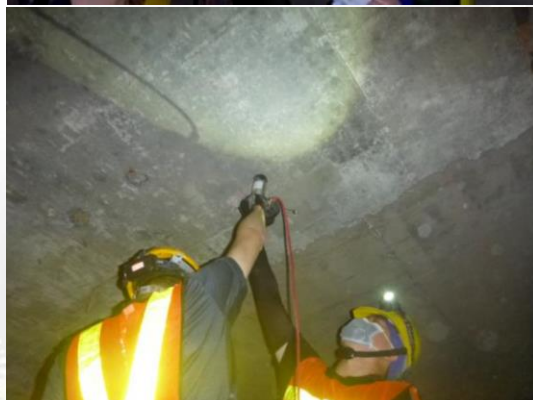
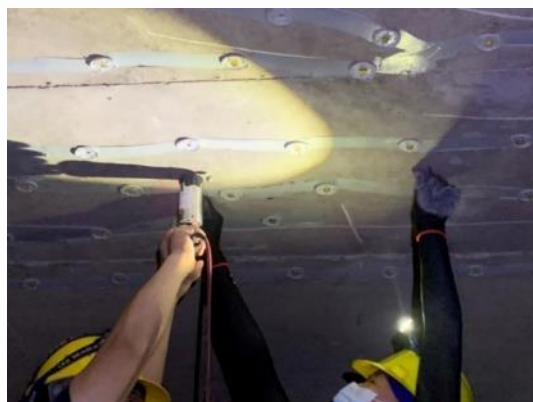


- 各跨AC厚度至少約有**10cm** (大於5cm)
- AC鋪面及橋面板總厚度**大於40cm**(設計值 $27+5=32$)
- S5、N5、N6邊跨處**超過50cm**(PN21~PN22厚度最厚，超過65cm)

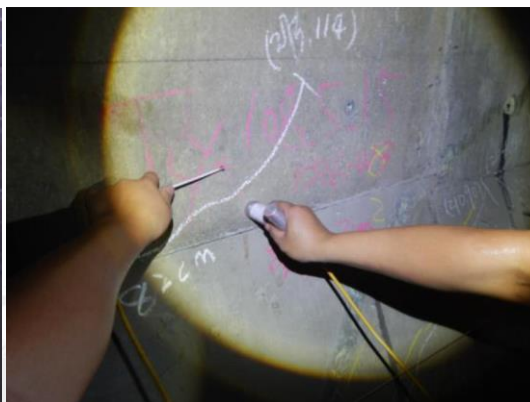
■ 檢查項目

❖ 橋面板厚度、彈性模數、裂縫深度、外置預力套管灌注狀況

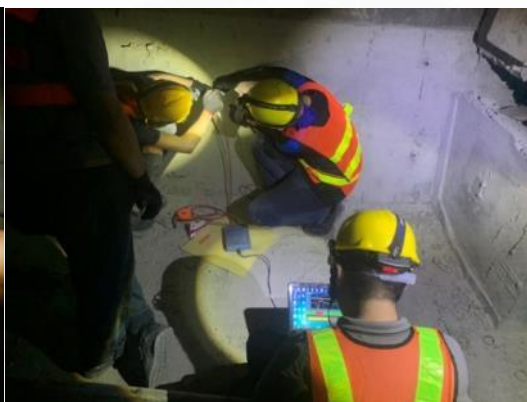
橋面厚度檢測



裂縫深度檢測

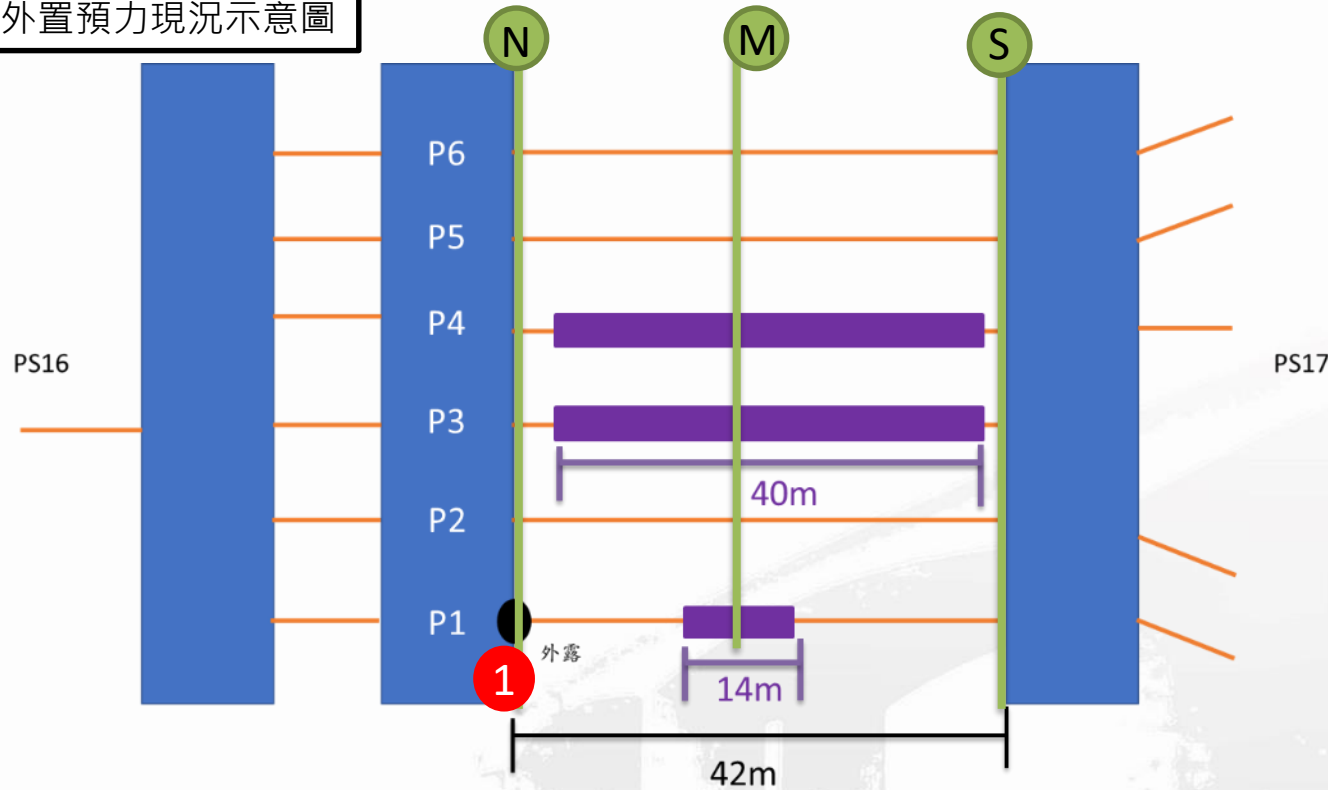


彈性模數量測



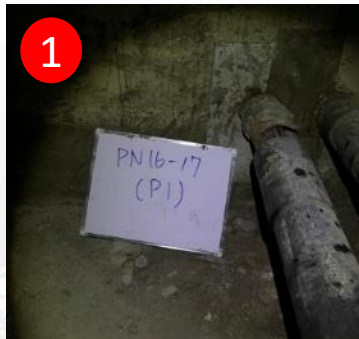
外置預力構件目視檢測-下垂變形最大的四單元為例(PS16-PS17)

外置預力現況示意圖



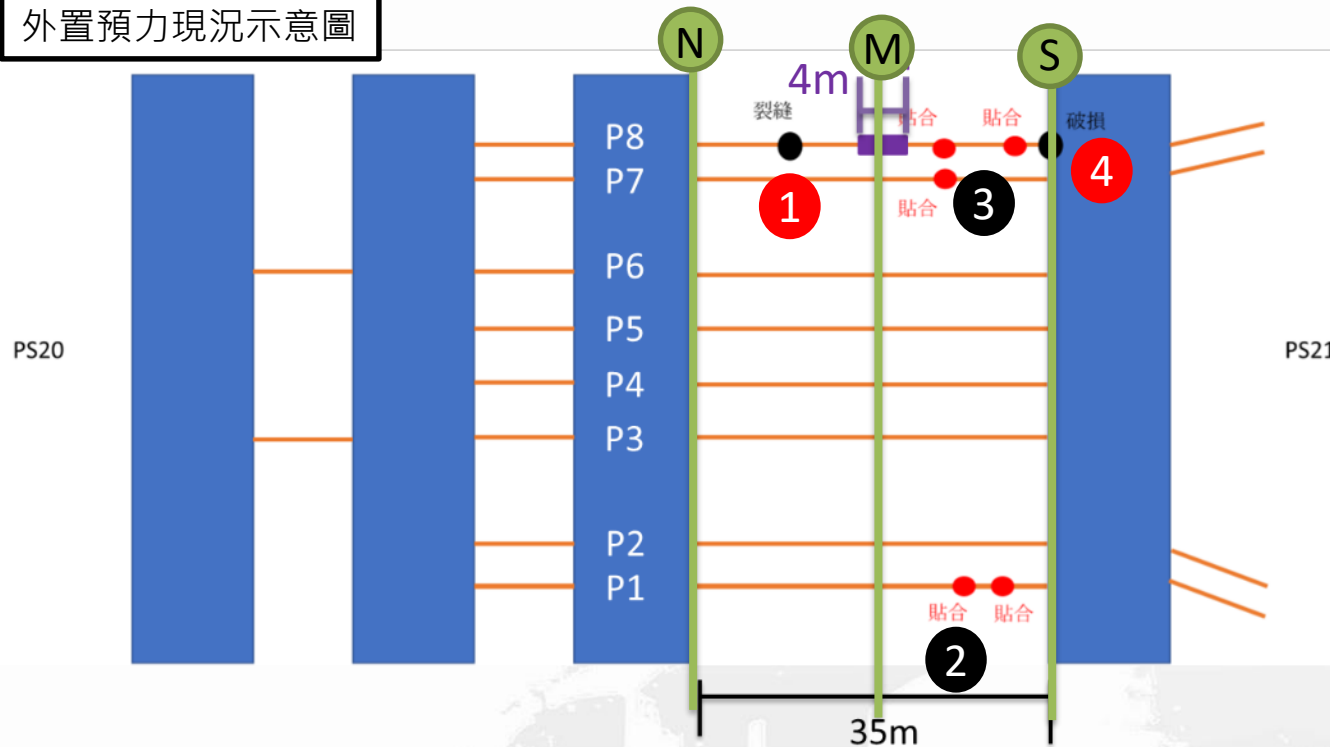
套管與底部距離(cm)

斷面	N	M	S
P6	23	6	6
P5	22	5	7
P4	30	0	10
P3	35	0	8
P2	30	7	7
P1	29	0	6



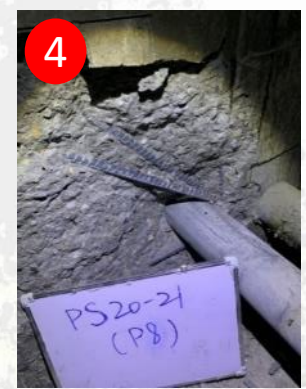
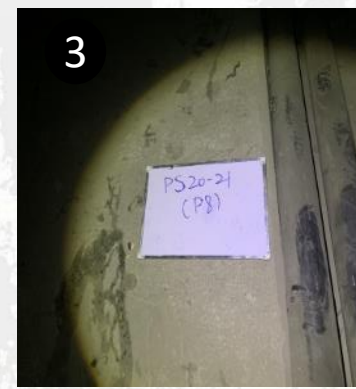
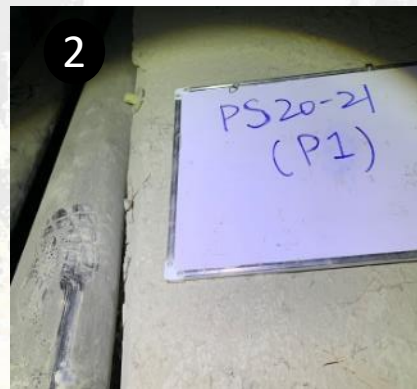
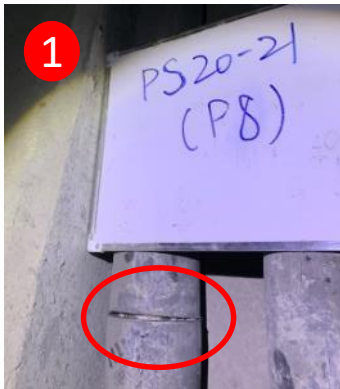
外置預力構件目視檢測-下垂變形最大的四單元為例(PS20-PS21)

外置預力現況示意圖



套管與底部距離(cm)

斷面	N	M	S
P8	24	0	20
P7	23	16	20
P6	33	22	20
P5	33	22	20
P4	32	23	19
P3	32	23	20
P2	22	26	14
P1	23	21	15



箱型梁外置預力檢測成果 - 北上線

單元	柱編號範圍	鋼腱編號	分析預力 (t)	小計 (t)	竣工圖預力 (t)	差值 (t)
N1	P55L-PN1	P1	98.44	314.31	807.60	-493.29
		P2	87.70			
		P3	128.18			
		P4	181.22	395.71	807.60	-411.89
		P5	81.90			
		P6	132.59			
	PN1-PN2	P1	104.78	303.90	789.90	-486.00
		P2	71.82			
		P3	127.30	354.85	789.90	-435.05
		P4	141.49			
	PN2-PN3	P5	79.40	251.52	789.90	-
		P6	133.96			
		P1	104.58			
		P2	N/A	354.31	789.90	-435.59
		P3	146.95			
		P4	164.76			
	PN3-PN4	P5	87.71	450.17	807.60	-357.43
		P6	101.84			
		P1	94.74			
		P2	186.64	539.84	807.60	-267.76
		P3	168.79			
		P4	203.45			
N2	PN5-PN6	P5	187.89	395.59	789.90	-394.31
		P6	148.50			
		P1	97.12			
		P2	187.92	397.10	789.90	-
		P3	110.55			
		P4	206.35			
	PN6-PN7	P5	190.75	454.27	789.90	-335.63
		P6	N/A			
		P1	152.49			
		P2	185.89	334.57	789.90	-
		P3	115.88			
		P4	N/A			
		P5	185.39			
		P6	149.18			

單元	柱編號範圍	鋼腱編號	分析預力 (t)	小計 (t)	竣工圖預力 (t)	差值 (t)
N3	PN8-PN9	P1	87.95	717.07	1122.40	-405.33
		P2	182.01			
		P3	204.17			
		P4	242.93			
		P5	187.57	536.59	1122.40	-
		P6	182.13			
		P7	166.89			
		P8	N/A			
	PN9-PN10	P1	N/A	436.58	1075.20	-
		P2	216.05			
		P3	110.15			
		P4	110.38			
		P5	162.11	324.23	1075.20	-
		P6	N/A			
		P7	162.11			
		P8	N/A			
	PN11-PN12	P1	104.53	601.02	1115.20	-514.18
		P2	182.49			
		P3	203.86			
		P4	110.15			
		P5	181.54	738.01	1115.20	-377.19
		P6	190.09			
		P7	182.97			
		P8	183.41			

N4無增設外置預力鋼腱

單元	柱編號範圍	鋼腱編號	分析預力 (t)	小計 (t)	竣工圖預力 (t)	差值 (t)
N5	PN17-PN18	P1	148.04	484.60	1120.00	-
		P2	145.10			
		P3	N/A			
		P4	191.46			
		P5	180.85	647.38	1120.00	-472.62
		P6	180.36			
		P7	158.93			
		P8	127.24			
	PN19-PN20	P1	N/A	341.11	789.90	-
		P2	164.16			
		P3	176.95			
		P4	161.60	408.28	789.90	-381.62
		P5	130.46			
		P6	116.22			
	PN20-PN21	P1	214.24	783.32	980.00	-196.68
		P2	161.83			
		P3	181.17			
		P4	226.08			
		P5	232.10	910.48	980.00	-69.52
		P6	231.07			
		P7	224.16			
		P8	223.15			
	PN21-PN22	P1	204.90	864.18	980.00	-115.82
		P2	203.23			
		P3	222.98			
		P4	233.07			
		P5	216.04	824.16	980.00	-155.84
		P6	215.29			
		P7	216.17			
		P8	176.66			
N7	PN25-26	P1	136.26	454.00	789.90	-335.90
		P2	200.00			
		P3	117.75			
		P4	137.07	469.41	789.90	-320.49
		P5	199.64			
		P6	132.70			

註: N/A表示無法檢測

■ 無法檢測之鋼腱，採同跨其餘鋼腱預力之平均值進行加載

箱型梁外置預力檢測成果-南下線

單元	柱編號範圍	鋼腱編號	分析預力 (t)	小計 (t)	竣工圖預力 (t)	差值 (t)
S1	PS1-PS2	P1	N/A	297.74	789.90	-
		P2	143.40			
		P3	154.34			
		P4	153.86	496.04	789.90	-293.86
		P5	191.68			
		P6	150.50			
S2	PS5-PS6	P1	110.01	422.31	789.90	-367.59
		P2	140.79			
		P3	171.51			
		P4	N/A	344.92	789.90	-
		P5	171.41			
		P6	173.51			
S3	PS11-PS12	P1	98.21	399.16	807.60	-408.44
		P2	122.47			
		P3	178.48			
		P4	194.76	511.87	807.60	-295.73
		P5	171.12			
		P6	145.99			

單元	柱編號範圍	鋼鍵編號	分析預力 (t)	小計 (t)	竣工圖預力 (t)	差值 (t)
S4	PS16-PS17	P1	N/A	198.84	359.00	-
		P2	198.84			
		P3	設計預留無施拉預力			
		P4	設計預留無施拉預力			
		P5	291.79	449.37	359.00	90.37
		P6	157.58			
S5	PS17-PS18	P1	234.31	772.39	973.00	-
		P2	N/A			
		P3	272.68			
		P4	265.40			
		P5	270.58	1074.89	973.00	101.89
		P6	279.79			
		P7	263.29			
		P8	261.23			
	PS20-PS21	P1	175.89	699.23	-	-
		P2	172.52			
		P3	171.02			
		P4	179.80			
		P5	159.76	480.61	-	-
		P6	147.47			
		P7	173.38			
		P8	N/A			

單元	柱編號範圍	鋼腱編號	分析預力 (t)	小計 (t)	竣工圖預力 (t)	差值 (t)
S6	PS21-PS22	P1	178.92	553.84	1080.32	-
		P2	183.65			
		P3	191.28			
		P4	N/A			
		P5	N/A	545.70	1080.32	-
		P6	179.77			
		P7	174.40			
		P8	191.53			
	PS22-PS23	P1	188.76	729.42	1035.28	-305.86
		P2	189.64			
		P3	197.17			
		P4	153.84			
		P5	155.22	737.33	1035.28	-297.95
		P6	196.13			
		P7	226.69			
		P8	159.29			
	PS23-PS24	P1	169.45	326.90	648.92	-
		P2	157.45			
		P3	N/A			
		P4	N/A	351.90	648.92	-
		P5	172.16			
		P6	179.74			

S7無增設外置預力鋼腱

■ 無法檢測之鋼腱，採同跨其餘鋼腱預力之平均值進行加載

評估分析模型假設條件

評估情境		設計	竣工	改善工程補強	現況
模型假設	附加載重 (含鋪面)	細部設計計算書 ^a	細部設計計算書 ^a	改善工程細部設計圖說 、計算書所載數值	補充調查成果 ^c
	橋面板 額外載重	無	無	補充調查成果 ^c	補充調查成果 ^c
	施拉預力	1. 假設與廠商預力 計算書 ^b 所載施拉 值($0.78f_s'$)相同， 並檢核有效預力 2. 有效預力不足 3. 改採規範鋼腱施 拉上限值	廠商預力計算書 ^b ($0.78f_s'$)	1. S4、S5、N5(101年) 之外置預力依據竣工 圖說、預力計算書所 載值施拉 2. N5(98年)及N6之外置 預力依據設計圖有效 預力及參考101年N5 預力計算書施拉值施 拉	依據竣工及 改善工程條件

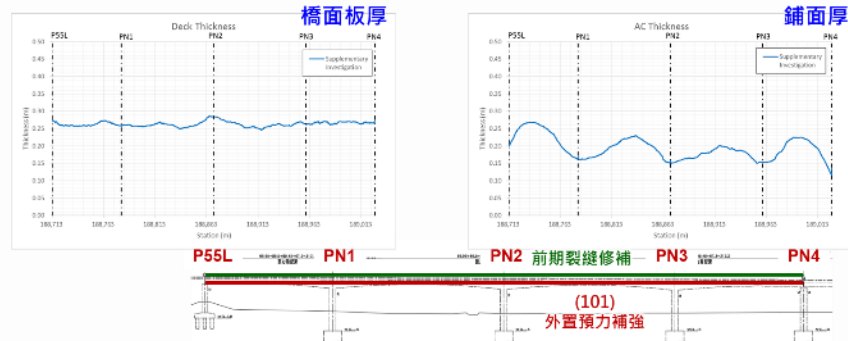
註：a. 細部設計計算書僅有振動單元S4
b. 廠商預力計算書僅有振動單元N5
c. 中分局、本公司補充調查成果

設計與施工階段差異：

- A. 施工階段修改單元懸臂鋼腱，採對稱施拉
- B. N5、S5單元於施工階段修改臨時支撐數量及位置
- C. S4單元：施工階段將原設計懸臂工法段，修改為場鑄箱型梁段

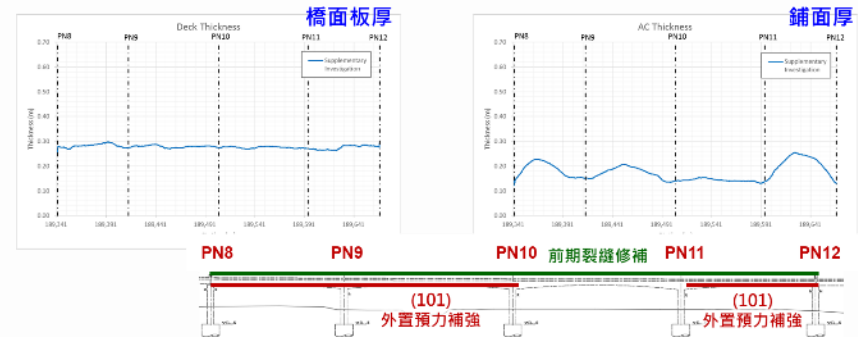
載重、裂縫與評估成果(北上線1/2)

N1載重、裂縫與評估成果



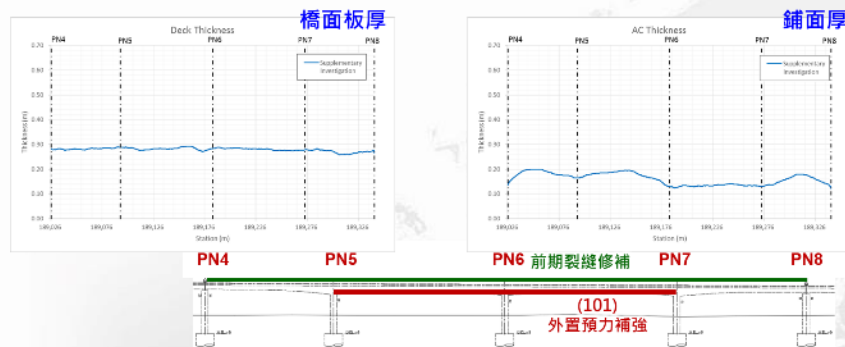
現況 (軸向)	頂板應力	OK	OK	OK	OK
	底板應力	OK	OK	OK	OK
	剪力強度	NG	NG	NG	NG
	彎矩強度	OK	OK	OK	OK
	斜拉應力	NG	OK	OK	OK
現況 裂縫 數量	頂板	20	72	128	47
	底板	-	-	-	-
	外腹板	7	-	-	1
	內腹板	34	6	8	22

N3載重、裂縫與評估成果



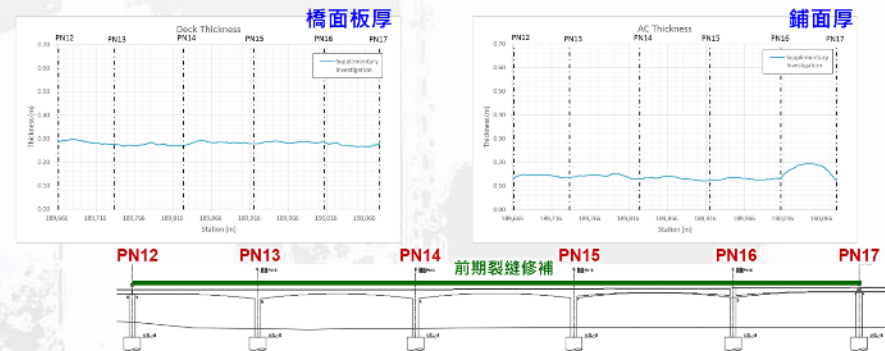
現況 (軸向)	頂板應力	OK	OK	OK	OK
	底板應力	OK	OK	OK	OK
	剪力強度	NG	OK	OK	NG
	彎矩強度	OK	OK	NG	NG
	斜拉應力	NG	OK	OK	NG
現況 裂縫 數量	頂板	12	68	67	48
	底板	1	-	-	103
	外腹板	-	104	103	99
	內腹板	32	14	69	25

N2載重、裂縫與評估成果



現況 (軸向)	頂板應力	OK	OK	OK	OK
	底板應力	OK	OK	OK	OK
	剪力強度	NG	OK	OK	NG
	彎矩強度	NG	OK	OK	NG
	斜拉應力	NG	OK	OK	NG
現況 裂縫 數量	頂板	5	77	25	43
	底板	-	-	-	-
	外腹板	16	-	8	6
	內腹板	34	2	4	30

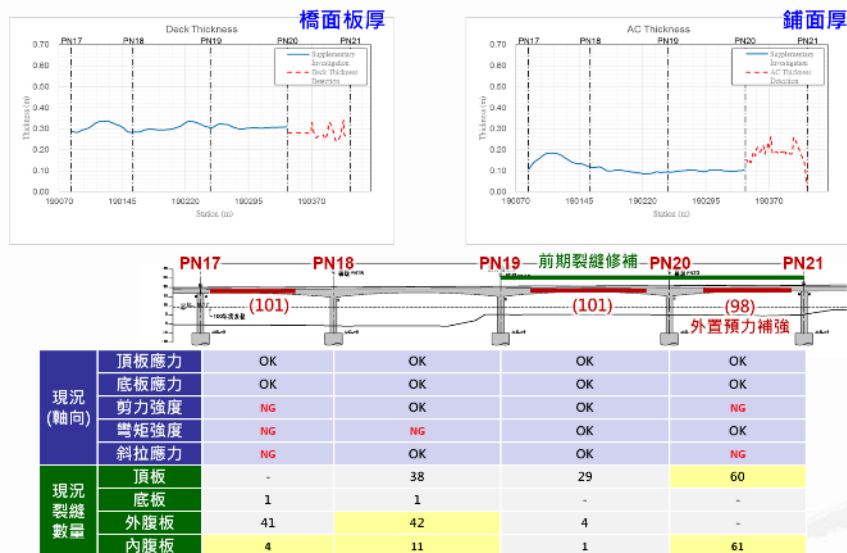
N4載重、裂縫與評估成果



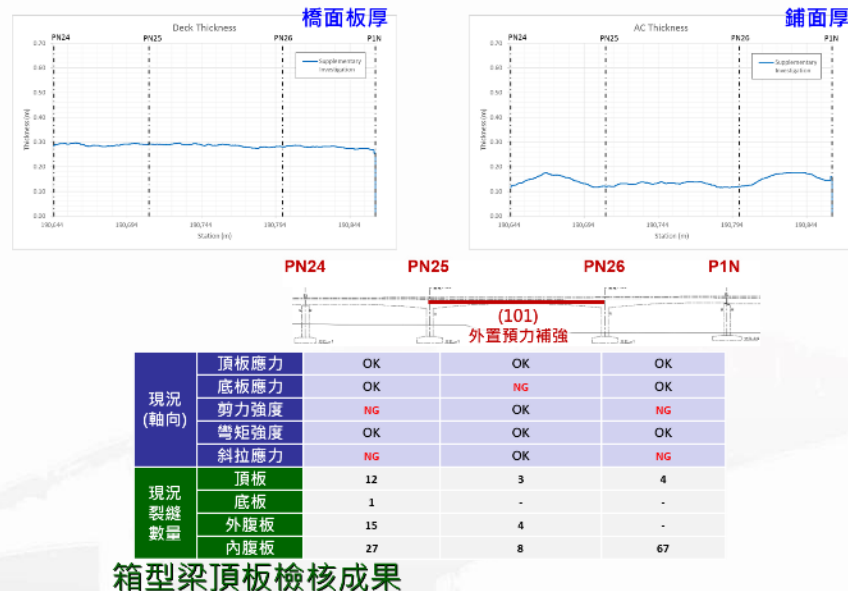
現況 (軸向)	頂板應力	OK	OK	OK	OK	OK
	底板應力	NG	NG	NG	NG	NG
	剪力強度	NG	OK	OK	OK	NG
	彎矩強度	NG	NG	NG	NG	NG
	斜拉應力	NG	OK	OK	OK	NG
現況 裂縫 數量	頂板	-	30	14	24	-
	底板	102	13	23	9	83
	外腹板	175	95	74	50	203
	內腹板	2	73	124	24	-

載重、裂縫與評估成果(北上線2/2)

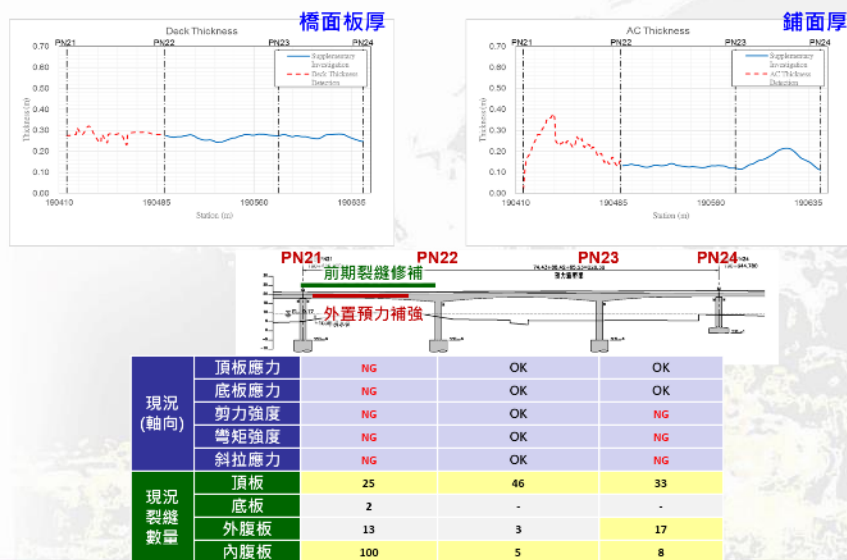
N5載重、裂縫與評估成果



N7載重、裂縫與評估成果



N6載重、裂縫與評估成果

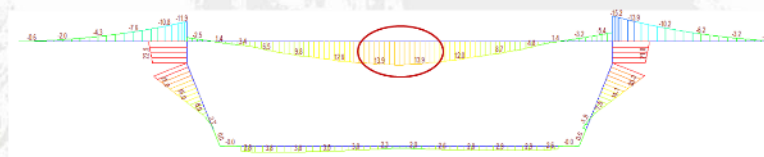


箱型梁頂板檢核成果

■ 依據補充調查成果

- ❖ AC厚度：以測得之最大厚度32cm加載 (PN21~PN22)
- ❖ 頂板厚度：以測得之最大厚度36cm加載 (PN21~PN22)

■ 評估結果

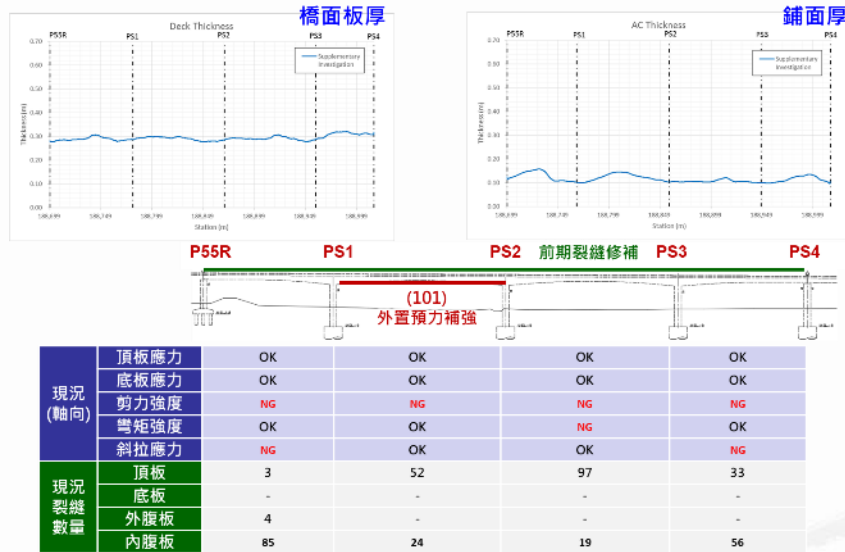


箱型梁頂板中央正彎矩容量不足

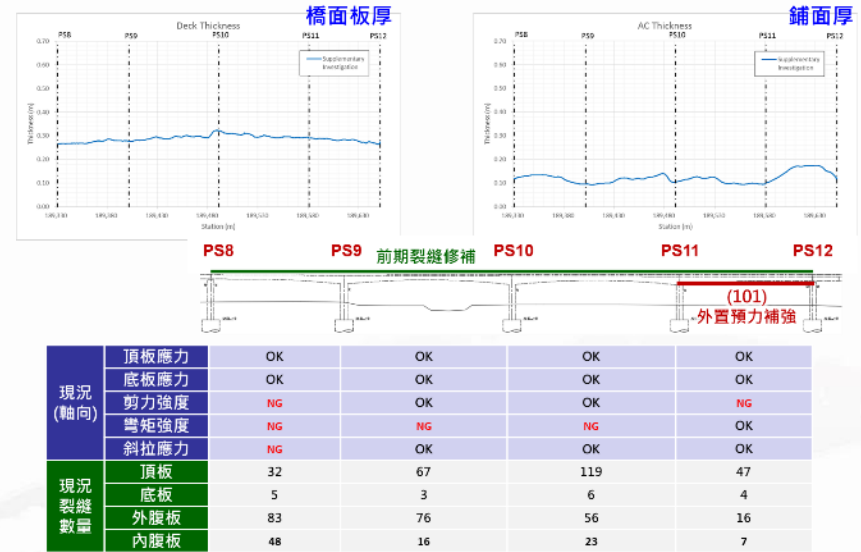
$$C/D=0.87$$

載重、裂縫與評估成果(南上線1/2)

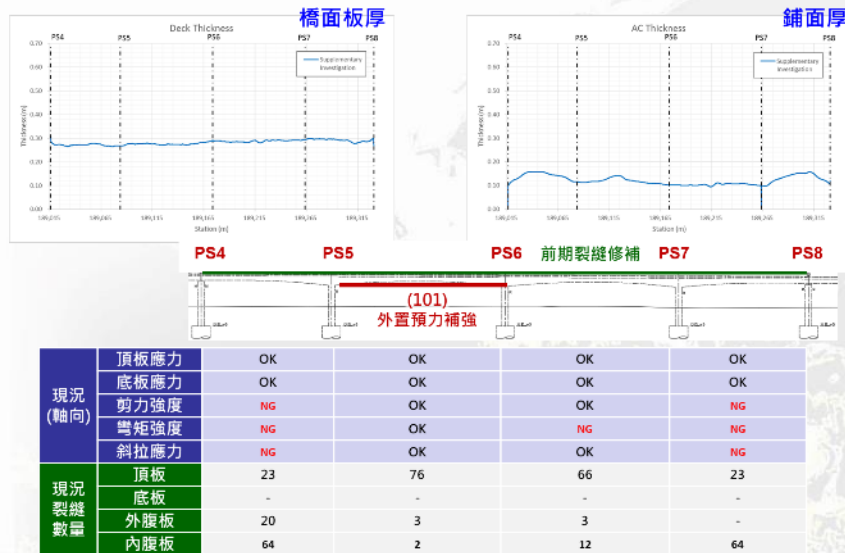
S1載重、裂縫與評估成果



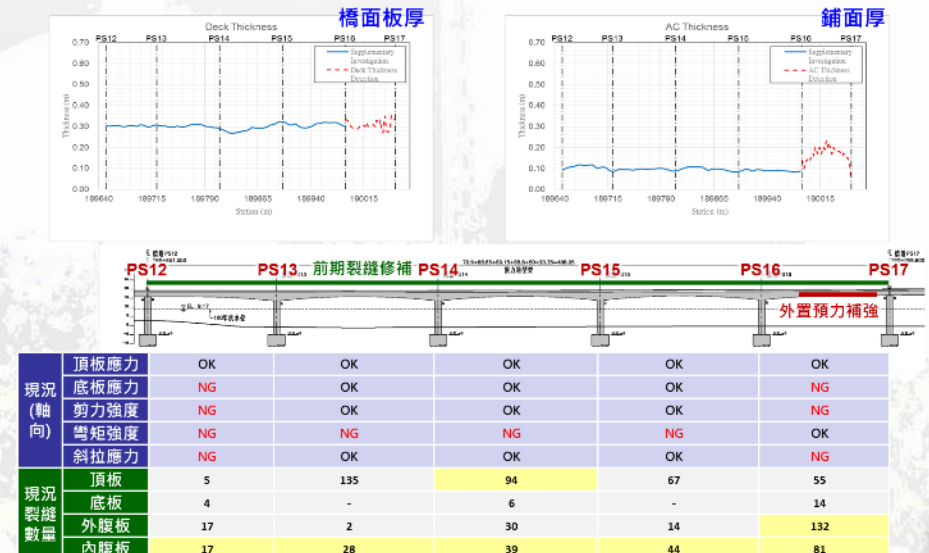
S3載重、裂縫與評估成果



S2載重、裂縫與評估成果

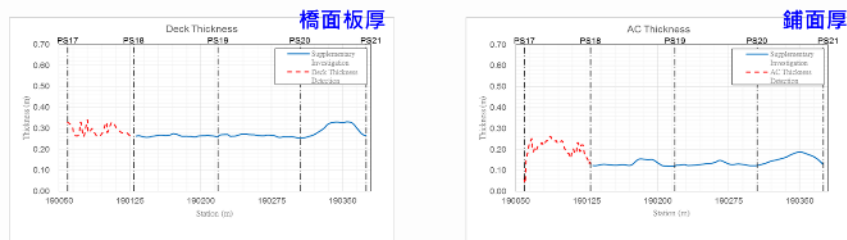


S4載重、裂縫與評估成果



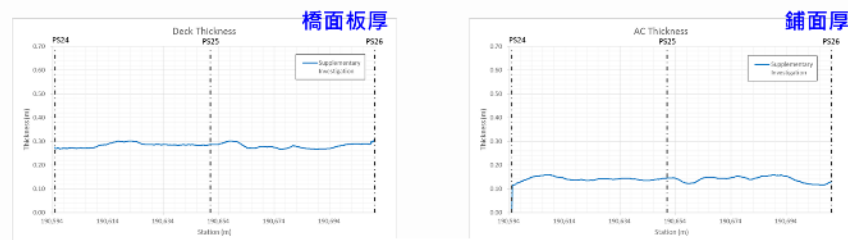
載重、裂縫與評估成果(南上線2/2)

S5載重、裂縫與評估成果



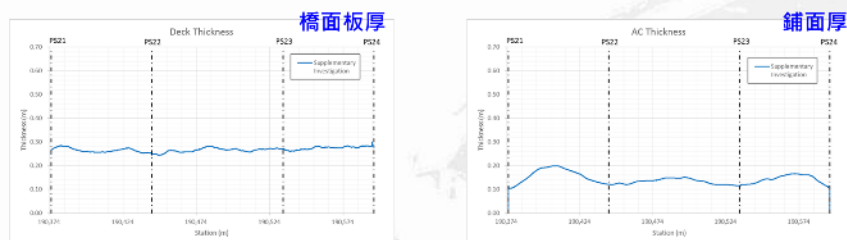
現況 (軸向)	頂板應力	OK	OK	OK	OK
	底板應力	OK	OK	OK	OK
	剪力強度	NG	OK	OK	NG
	彎矩強度	NG	OK	OK	OK
	斜拉應力	NG	OK	OK	NG
現況 裂縫 數量	頂板	120	55	85	44
	底板	10	-	-	-
	外腹板	42	37	-	2
	內腹板	33	9	34	18

S7載重、裂縫與評估成果



現況 (軸向)	頂板應力	OK	OK
	底板應力	OK	OK
	剪力強度	NG	NG
	彎矩強度	OK	OK
	斜拉應力	NG	NG
現況 裂縫 數量	頂板	93	31
	底板	-	-
	外腹板	4	24
	內腹板	34	39

S6載重、裂縫與評估成果



現況 (軸向)	頂板應力	OK	OK	OK
	底板應力	OK	OK	OK
	剪力強度	NG	OK	NG
	彎矩強度	OK	OK	OK
	斜拉應力	NG	OK	NG
現況 裂縫 數量	頂板	111	141	46
	底板	-	-	-
	外腹板	4	3	3
	內腹板	36	10	18

箱梁評估結果

C/D Ratio

底板張應力

0.71

抗剪力強度

0.64

抗彎矩強度

0.96

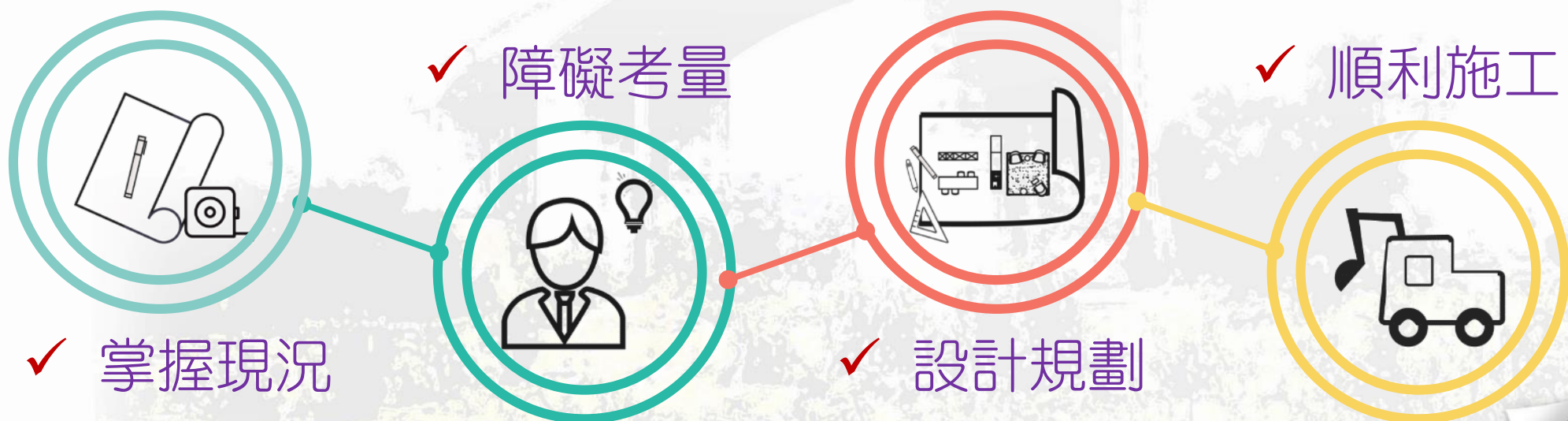
頂板撓曲強度不足

0.87

最嚴重的

3

補強理念與工法選用



■ 補強工法：抑制結構裂縫惡化與減緩(抑制)下垂量

❖ 腹板剪力強度補強

- 腹板混凝土增厚工法
- 黏貼條狀鋼板工法：化學錨栓固定(複合)、環氧樹脂灌注(黏貼)
- 黏貼條狀CFRP工法：鋼板壓條、CFRP Anchor
- 外置預力補強工法：箱梁內、箱梁外(大偏心)

❖ 頂(底)板張力強度補強

- 黏貼條狀CFRP工法：鋼板壓條、CFRP Anchor
- 外置預力補強工法：箱梁內、箱梁外(大偏心)

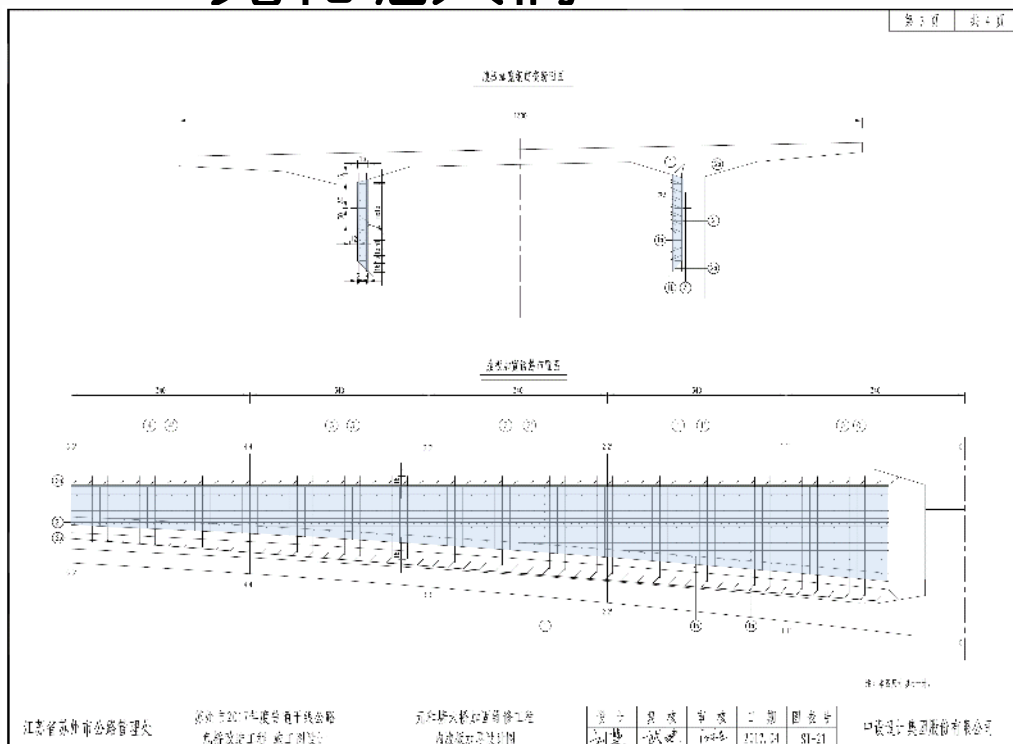
❖ 裂縫灌注：裂縫詳細調查(紀錄、回饋)、環氧樹脂灌注

❖ 外觀及耐久性：箱梁外塗層保護

腹板剪力強度補強案例(1/2)

- 腹板混凝土增厚工法案例
- 元和塘大橋

- 黏貼條狀鋼板工法案例
- 牡丹江三股線大橋



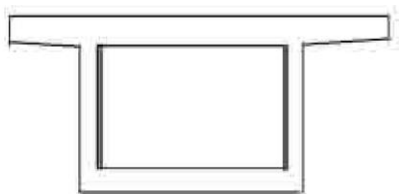
➡ 重量增加幅度大、
大量植筋鑽孔風險

➡ 大量化錨鑽孔風險、箱內搬運不易、外觀不佳

腹板剪力強度補強案例(2/2)

■ 黏貼條狀CFRP工法案例1

■ 浜名大橋



片面貼りによる補強

図 5-3 繊維シート接着工法案



写真 5-1 炭素繊維シートによる耐震補強の例

■ 黏貼條狀CFRP工法案例2

■ West Gate Bridge Concrete Viaducts (Australia)



➡ 搬運較易(箱內)、
外觀較佳(箱外)

頂(底)板張力強度補強案例(1/2)

■ 箱梁內外置預力補強案例1

■ 箱梁內外置預力補強案例2

■ 妙高大橋(日本)

■ 牡丹江三股線大橋



写真-1 妙高大橋全景



写真-2 PCケーブル破断

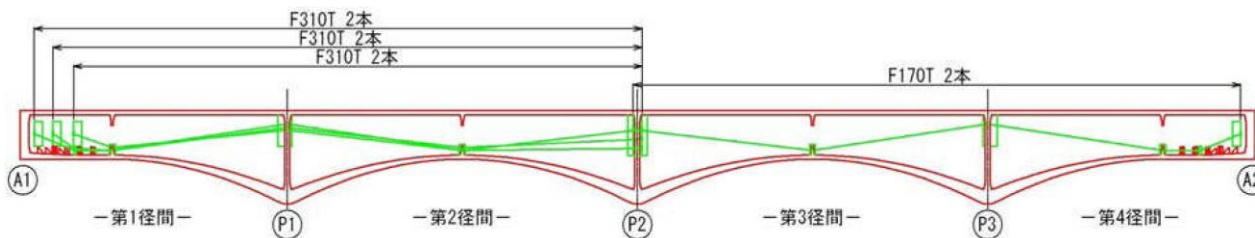


図-1 補強用外ケーブル設置概要図

➡ 空間需求較大、
偏心量有限



(a)



(b)

Fig. 8 The external pre-stressing after construction. (a) Near abutment; (b) pier top box girder

頂(底)板張力強度補強案例(2/2)

■ 箱梁外外置預力補強案例1

■ 喜連瓜破高架橋(日本)

■ 箱梁外外置預力補強案例2

■ Bridge over river Elbe (捷克)

事例-23 : コンクリートゲルバー橋の補強工法(大偏心ケーブル)

構造形式 : PC3径間連続有ヒンジラーメン
2主箱桁橋

橋長 : 154.0m

支間長 : 44.0+65.0+44.0m

幅員 : 19.0m

竣工年次 : 昭和54年(1979年)

適用示方書 : 昭和43年道示

対策年次 : 平成16年(2004年)

本橋の中央ヒンジ部で約24cmという大きな垂れ下り量が確認された。舗装のオーバーレイ(厚さ70mm)も昭和61年と平成5年の2回実施されている。

本橋の対策工として、たわみ回復効果が期待でき、垂れ下りが進行した場合にも再緊張が可能な外ケーブル工法が採用された。外ケーブルは、中央ヒンジ部に設けた鋼製ストラットを偏向装置とした大偏心タイプとした。



既設橋の垂れ下りの状況



補強後の状況

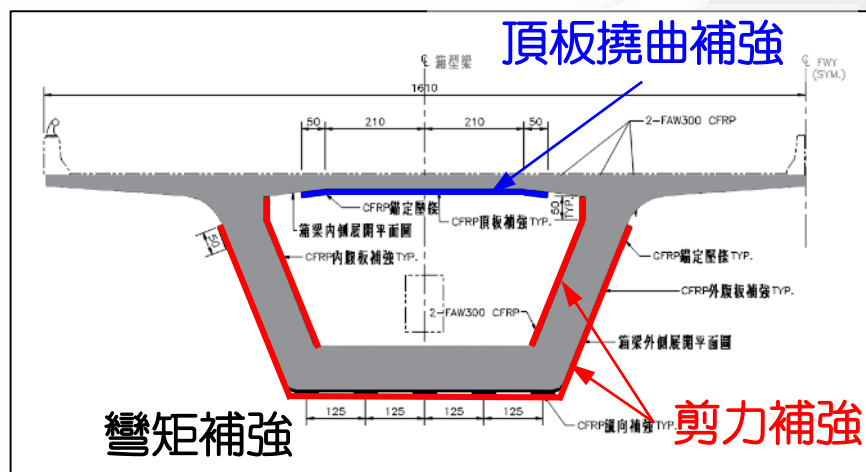
➡ 空間需求較小、偏心量較大



Figure 5: View of external tendons (Děčín)

上部結構承載能力補強策略

評估結果	補強工法
防震拉條強度不足	增設、抽換防震拉條
箱梁裂縫	環氧樹脂灌注
箱梁剪力、撓曲強度不足	CFRP補強+箱梁內腹板增厚 箱梁外面防護塗層塗佈 增設箱梁外置預力 (錨碇座、轉向座、加勁隔梁)
箱梁頂板撓曲強度不足	CFRP補強
後續養護考量	設置「檢修平台」、「梁底板開孔」

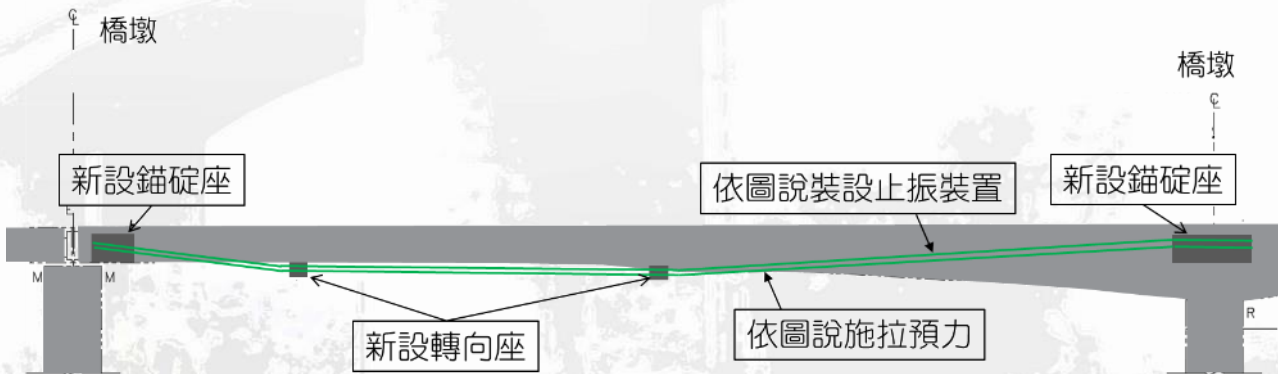
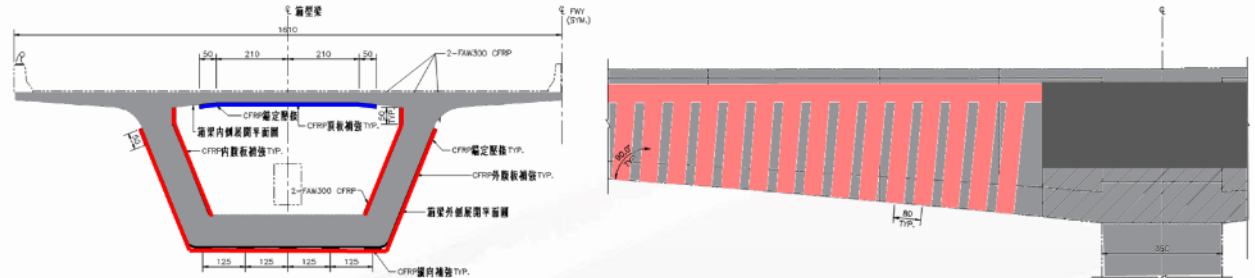


施工順序規劃

貼附碳纖維貼片
(建議外側優先施作)

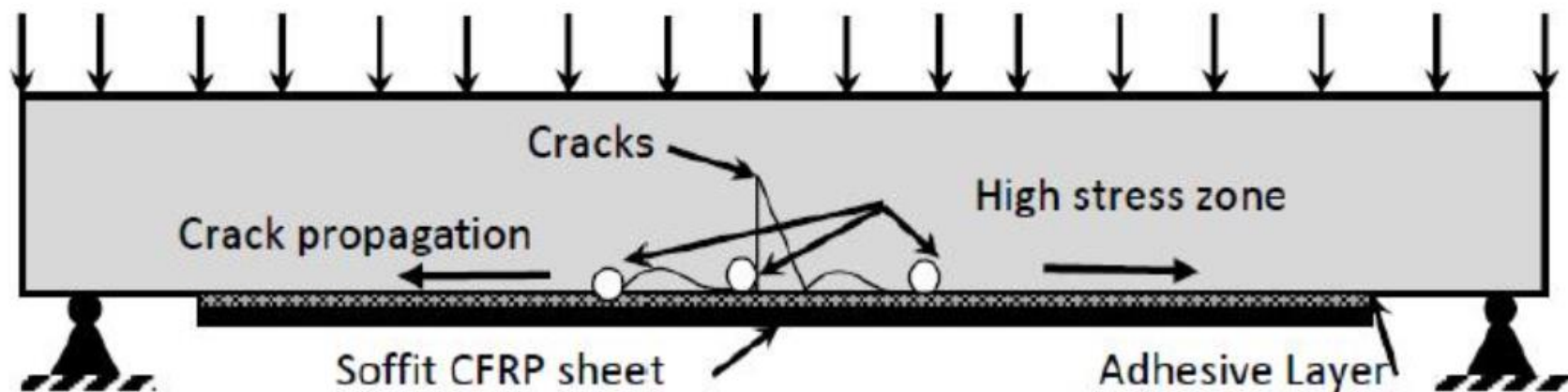


設置箱外外置預力鋼腱

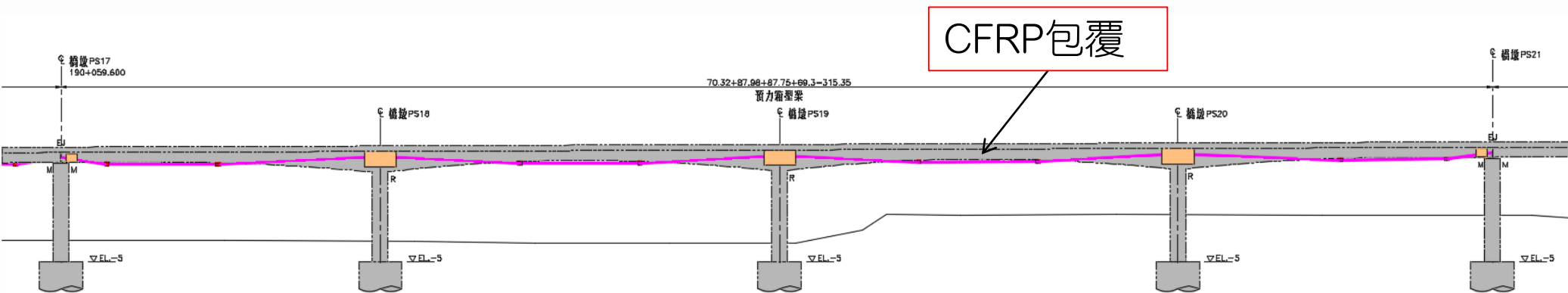


4

CFRP包覆補強



CFRP包覆補強設計



■ CFRP包覆補強

- ❖ 減輕補強增加重量
- ❖ CFRP補強施工性較佳
- ❖ 減少鑽孔避免與預力鋼腱衝突(內側)
- ❖ 避免有螺帽頭、鋼板景觀衝擊(外側)
- ❖ 提升斷面剪力彎矩強度

■ 配置

- ❖ 箱梁外側-腹板及底板
- ❖ 箱梁內側-頂板及腹板

CFRP包覆補強設計

■ 依據規範

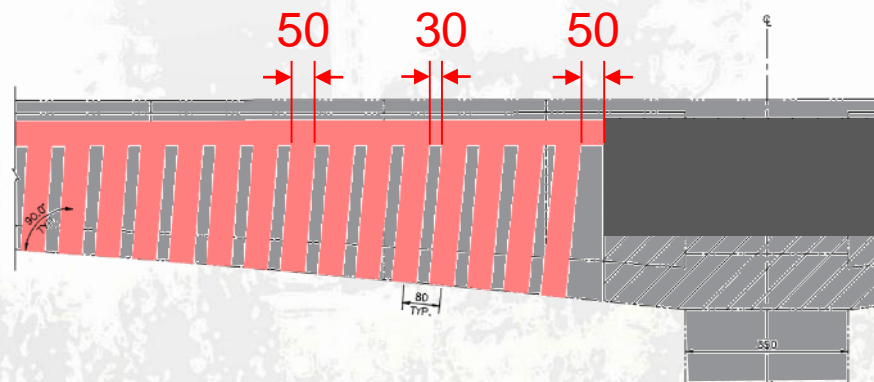
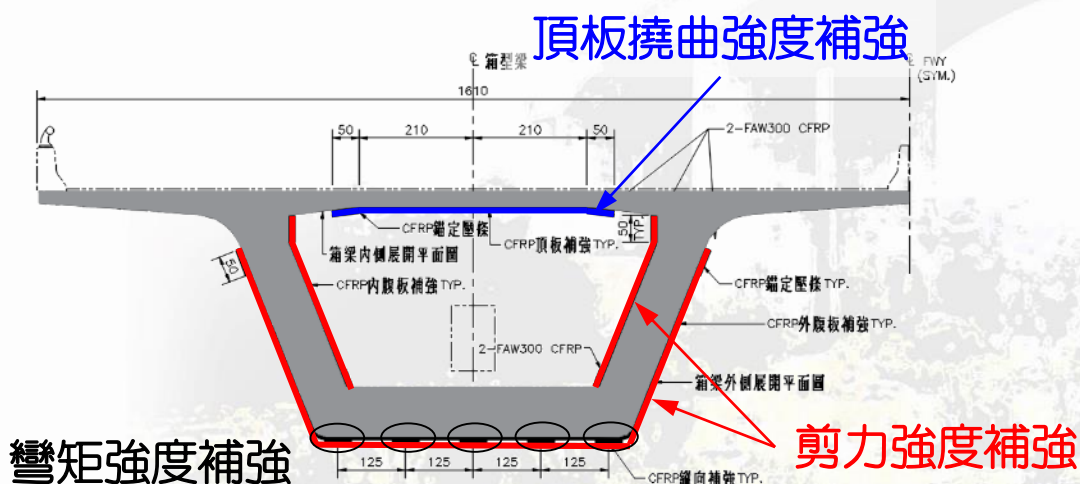
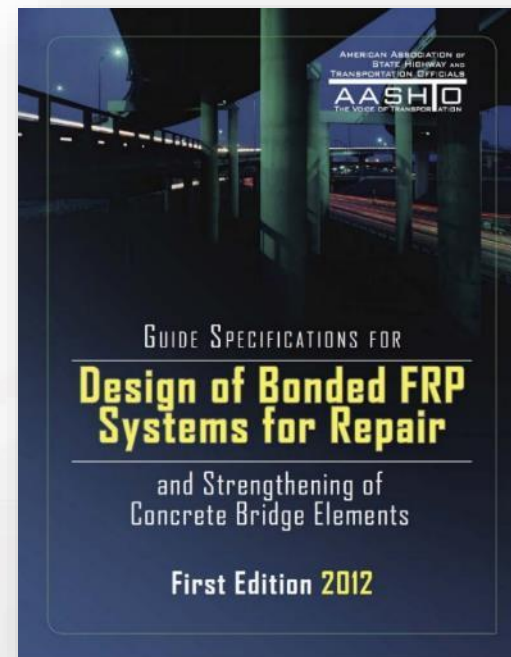
- ❖ Design of Bonded FRP Systems for Repair

■ 使用材料

- ❖ FAW300、FAW400

■ 配置原則

- ❖ 至多配置4層CFRP
- ❖ 寬度50cm，間距30cm為原則



CFRP包覆補強設計-撓曲強度

■ CFRP撓曲強度補強

❖ 可視為鋼筋參與提供強度

$$M_r = \phi [A_s f_s (d_s - k_2 c) + A'_s f'_s (k_2 c - d'_s)] + \phi_{frp} T_{frp} (h - k_2 c) \quad (3.4.1.1-1)$$

in which

$$T_{frp} = b_{frp} N_b \quad (3.4.1.1-2)$$

$$k_2 = 1 - \frac{2 \left[\left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_o} \right) - \arctan \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_o} \right) \right]}{\beta_2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_o} \right)^2} \quad (3.4.1.1-3)$$

$$\beta_2 = \frac{Ln \left[1 + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_o} \right)^2 \right]}{\left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_o} \right)} \quad (3.4.1.1-4)$$

公式來自 Design of Bonded FRP Systems for Repair (AASHTO 2012)

where

- ϕ = Resistance Factor defined in AASHTO LRFD Article 5.5.4.2;
- A_s = area of nonprestressed steel tension reinforcement;
- f_s = stress in the steel tension reinforcement at development of nominal flexural resistance (ksi);
- d_s = distance from extreme compression surface to the centroid of nonprestressed tension reinforcement (in.);
- k_2 = multiplier for locating resultant of the compression force in the concrete;
- c = depth of the concrete compression zone (in.);
- d'_s = distance from extreme compression fiber to the centroid of compression reinforcement (in.);
- A'_s = area of steel compression reinforcement (in.²);
- f'_s = stress in the steel compression reinforcement at development of nominal flexural resistance (ksi);
- ϕ_{frp} = FRP resistance factor equal to 0.85;
- T_{frp} = tension force in the FRP reinforcement (kips);
- h = depth of section (in.);
- b_{frp} = width of the FRP reinforcement (in.);
- N_b = FRP reinforcement tensile strength per unit width, corresponding to a strain value of 0.005 in the FRP reinforcement when subjected to tension in accordance with ASTM D3039;
- β_2 = parameter that defines the average stress under the stress block; and
- Ln = natural logarithm.

CFRP包覆補強設計-剪力強度

■ CFRP剪力強度補強

❖ 視為與混凝土，鋼筋，

預力鋼腱相同可提供強度

$$V_r = \phi (V_c + V_s + V_p) + \phi_{frp} V_{frp} \quad (4.3.1-1)$$

where

ϕ = Resistance Factor defined in AASHTO LRFD Article 5.5.4.2;

V_c = the nominal shear strength provided by the concrete in accordance with AASHTO LRFD Articles 5.8.3.3;

V_s = the nominal shear strength provided by the transverse steel reinforcement in accordance with AASHTO LRFD Article 5.8.3.3;

V_p = component of the effective prestressing force in the direction of applied shear as specified in AASHTO LRFD Article 5.8.3.3;

ϕ_{frp} = FRP resistance factor equal to 0.85; and

V_{frp} = the nominal shear strength provided by the externally bonded FRP system in accordance with Article 4.3.

$$\begin{aligned} V_{frp} &= \frac{A_{frp} f_{fe} d_f (\sin \alpha_f + \cos \alpha_f)}{s_f} \\ &= \frac{A_{frp} E_f \epsilon_{fe} d_f (\sin \alpha_f + \cos \alpha_f)}{s_f} \\ &= \rho_f E_f \epsilon_{fe} b_v d_f (\sin \alpha_f + \cos \alpha_f) \end{aligned} \quad (4.3.2-1)$$

where

A_{frp} = Area of FRP (in.²) covering two sides of the beam and can be determined by $2n_f t_f w_f$ (n_f is number of FRP plies);

t_f = FRP reinforcement thickness (in.);

w_f = width of the strip (in.);

f_{fe} = effective stress of FRP (ksi);

d_f = effective depth of FRP measured from the top of FRP reinforcement to the centroid of the longitudinal reinforcement (in.);

s_f = center-to-center spacing of FRP (in.);

α_f = angle of inclination of FRP with respect to the longitudinal axis of the member as shown in Figure 4.2-2 (deg.);

E_f = modulus of elasticity of FRP (ksi);

ϵ_{fe} = effective strain of FRP (in./in.);

ρ_f = reinforcement ratio of FRP; and

b_v = effective web width (in.) taken as the minimum web width within the effective depth (d_f).

公式來自 Design of Bonded FRP Systems for Repair (AASHTO 2012)

CFRP包覆補強設計

腹板

Ⓟ -2 錨錠壓條

Ⓟ -1 錨錠壓條

底板

Ⓛ -2 CFRP
縱向包覆補強

Ⓛ -1 CFRP
縱向包覆補強

腹板

Ⓟ -2 錨錠壓條

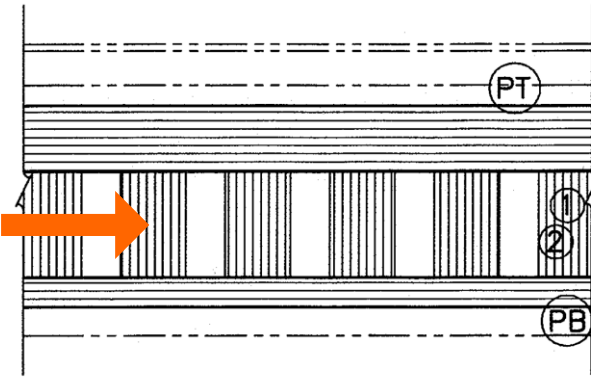
② -1 CFRP包覆補強

Ⓟ -1 錨錠壓條

① -1 CFRP包覆補強

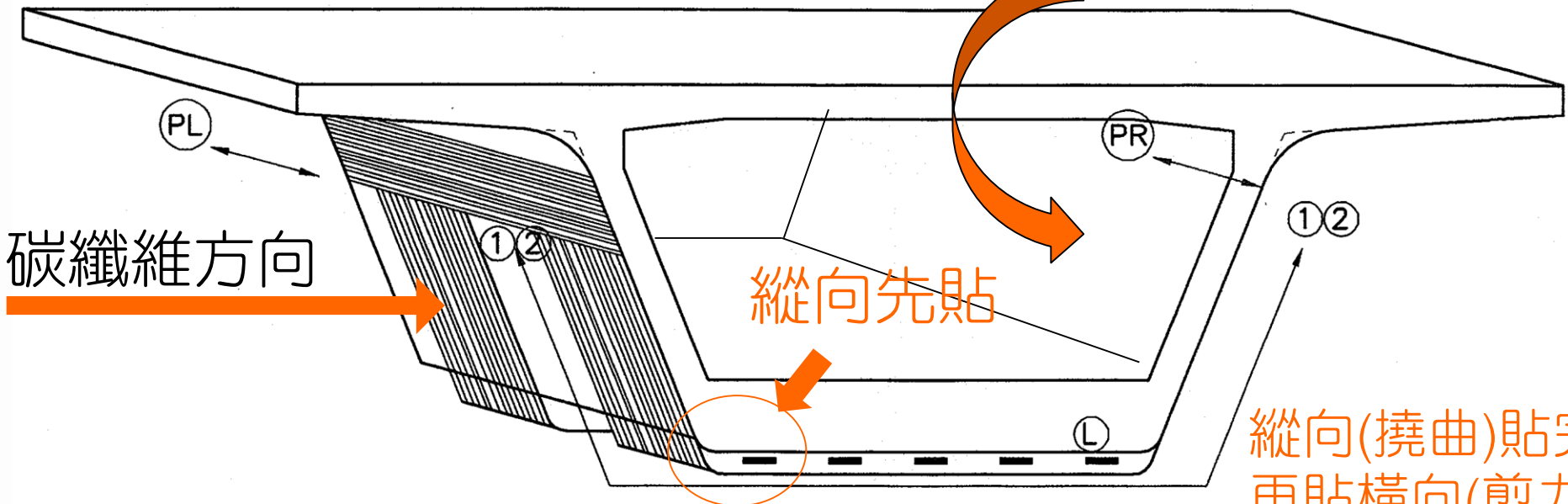
先貼縱向(撓曲)，再貼橫向(剪力)

碳纖維方向 →



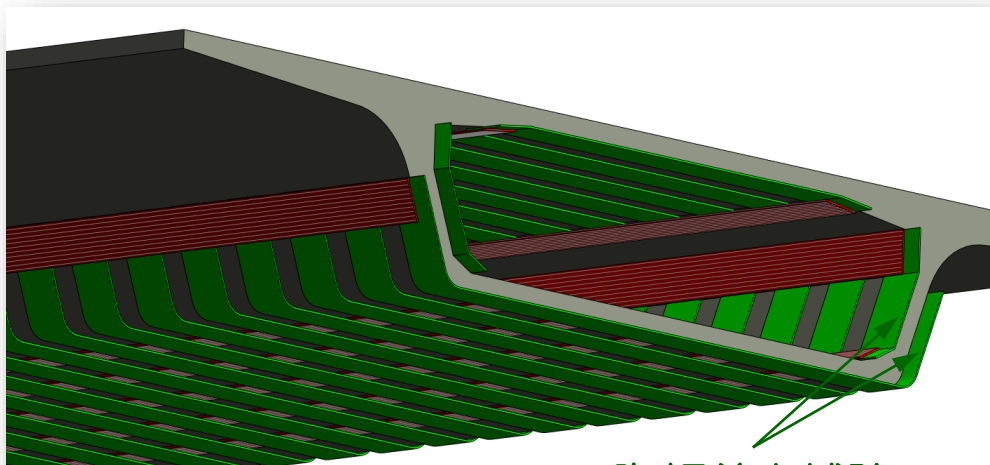
箱梁內CFRP補強圖

碳纖維方向 →

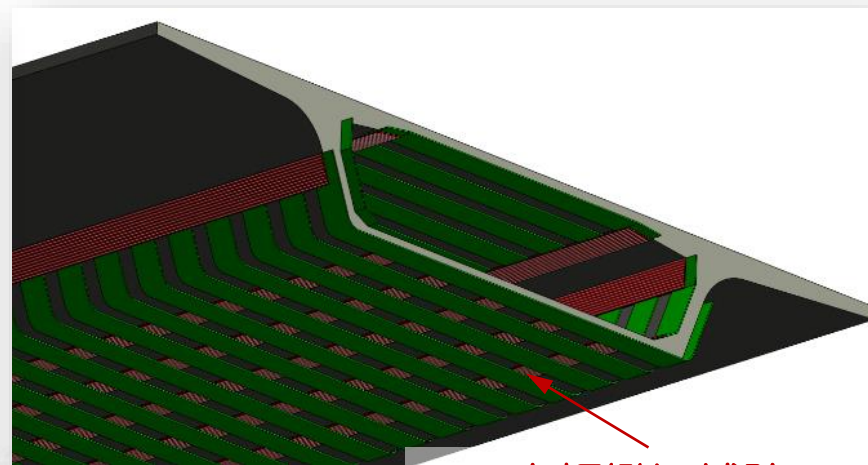


箱梁外CFRP補強

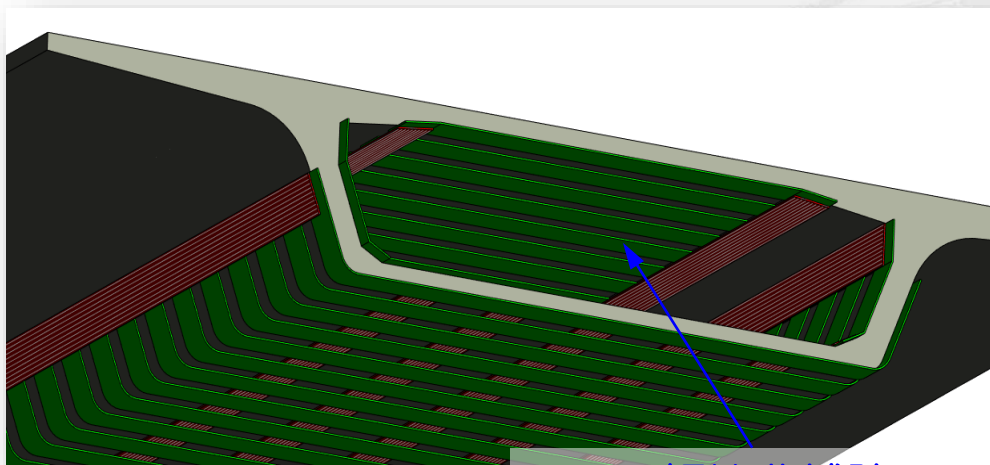
CFRP包覆補強設計



腹板剪力補強



底板彎矩補強



頂板撓曲補強

CFRP包覆補強-施工流程

準備工作

混凝土表面處理

底層塗料施作

貼覆定位作業

碳纖維補強貼覆作業

養護工程

表面防覆處理

裂縫灌注修復

表面修復

底層處理

不平整再修正

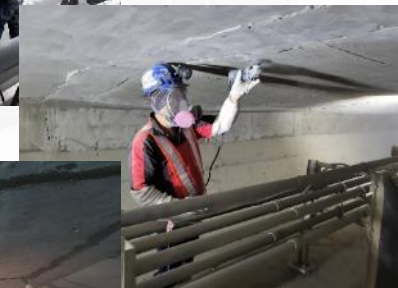
1.樹酯配製

2.樹酯塗刷

3.黏貼碳纖維布

4.再塗刷樹酯

5.多層時重複3,4



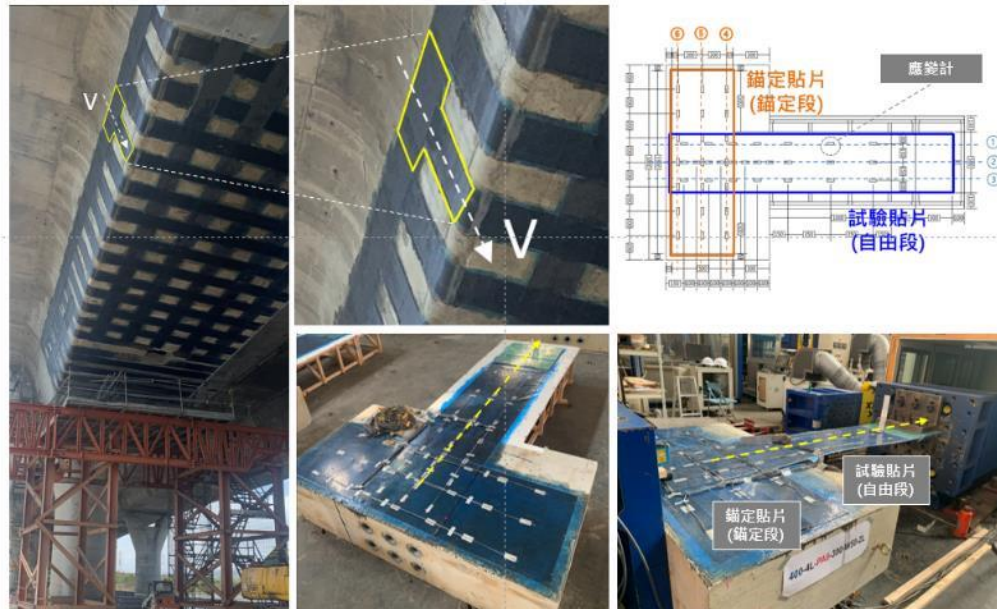
CFRP包覆補強 - 錨定貼片試驗

- 驗證錨定貼片可達到設計應變目標
- 採與現場同一團隊施作CFRP貼片試體
- 國震中心協助進行實尺寸試驗
- 必要處調整層數或間距

錨定試驗設計規劃

NAR Labs

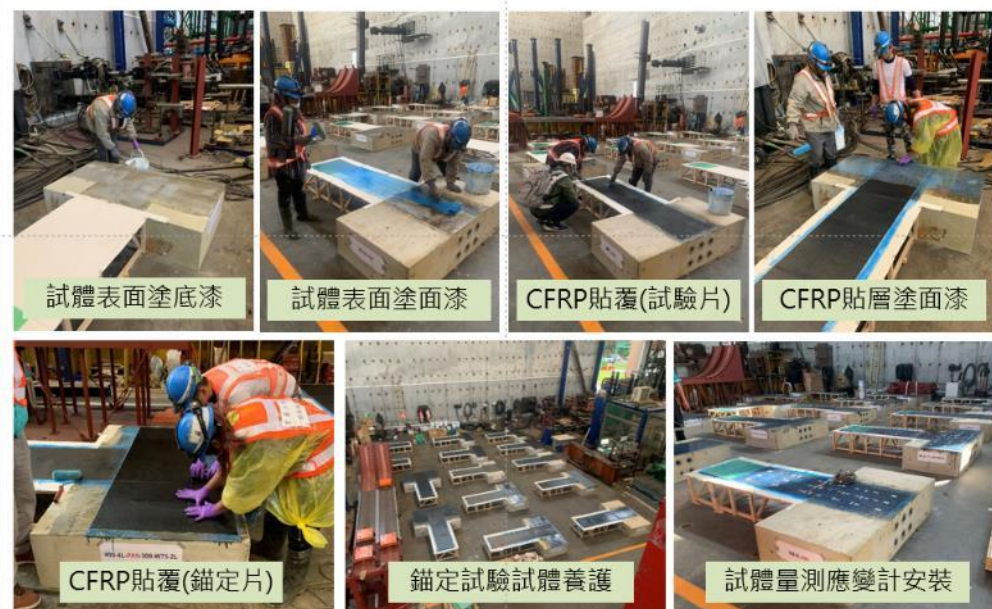
3



錨定試驗試體製作

NAR Labs

11



CFRP包覆補強 - 驗證長期耐久性

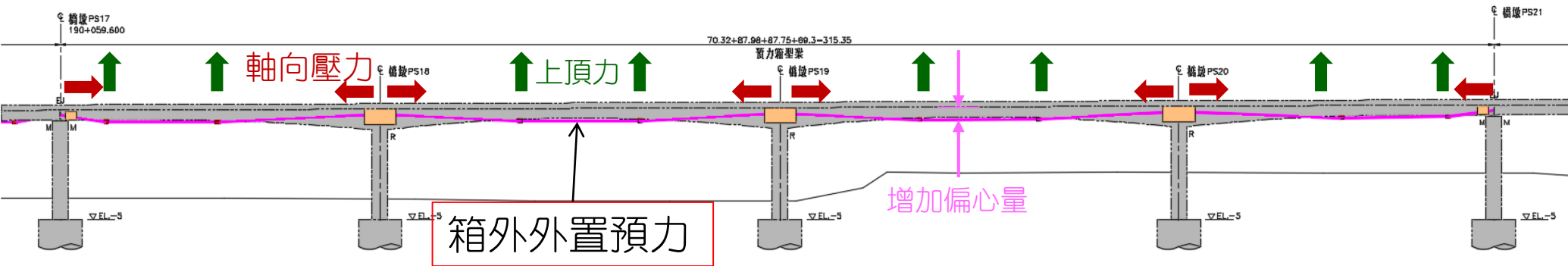
- 設計階段為確保CFRP補強工法之效益，除材料之**耐久性品管試驗**外，亦另外執行**CFRP之錨定試驗及縮尺試驗**，配合特訂條款規定之各項品管作業，確保CFRP包覆補強之成效。
- 為加強CFRP包覆補強工法耐久性能及美觀，**於箱梁外側表面塗布防護塗層**。
- 對於CFRP包覆補強工法耐久性能，採用使用相同之碳纖維貼片材料，於施工階段進行試體製作置放於**鄰近相同環境下**，以利後續驗證**長期**耐久性。未來透過**定期橋樑檢測**時，取樣進行拉力及拉拔試驗留下紀錄，並驗證CFRP包覆補強功能性



5

箱外外置預力補強

箱外外置預力補強設計



■ 箱外外置預力補強理念

- ❖ 提高鋼鍵之偏心率
- ❖ 透過軸向壓力與上頂力，降低頂底板拉應力
- ❖ 配合監測系統(EIT 與 EMS) 確保預力鋼鍵提供完整性能

■ 國內橋梁工程首次採用

- ❖ 電氣隔離鋼鍵 EIT
- ❖ 張力磁通量感測器 EM Sensor
- ❖ 可抽換式後拉預力系統
- ❖ 套管真空輔助灌漿

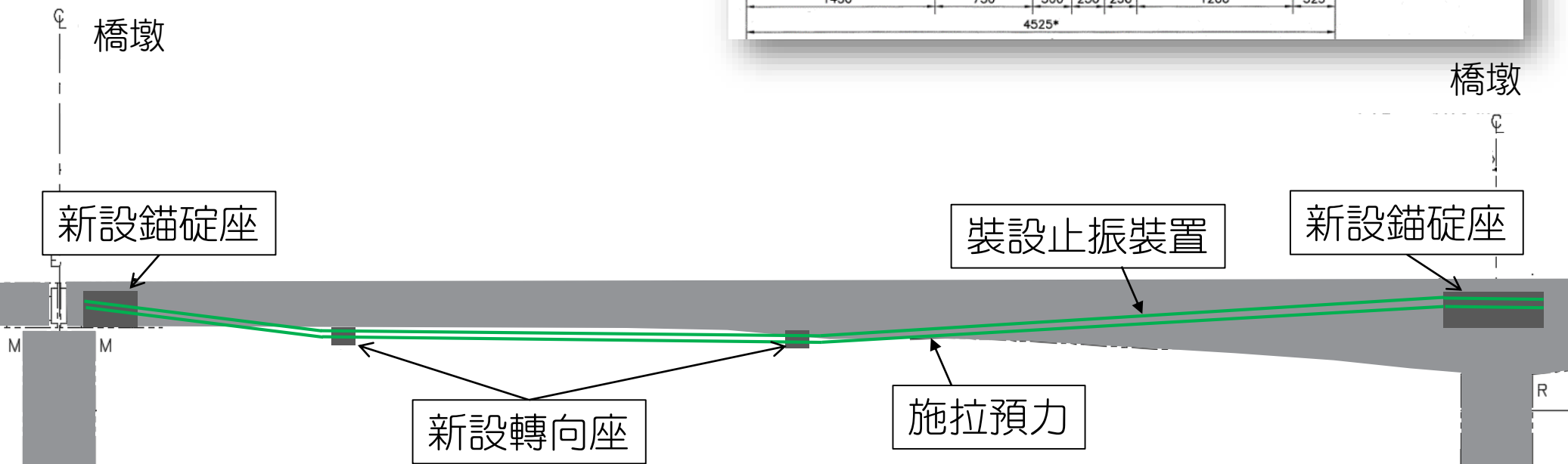
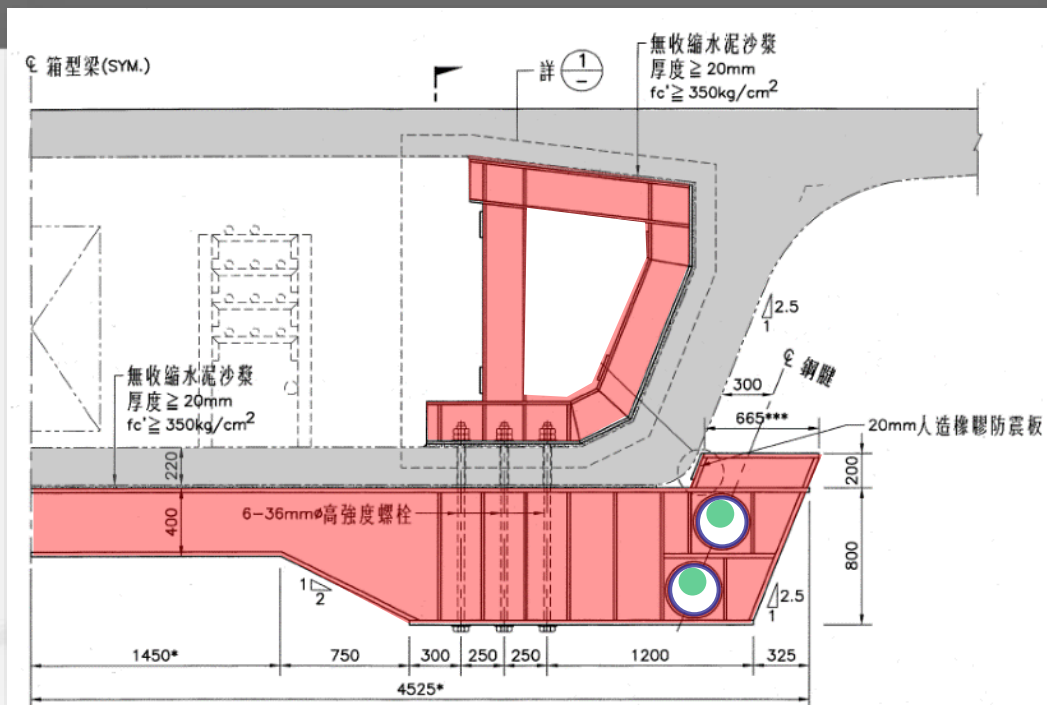


- 防蝕保護等級提升至 PTI PL3
- 設置可長期監測檢測系統

箱外外置預力補強設計

■ 補強配置

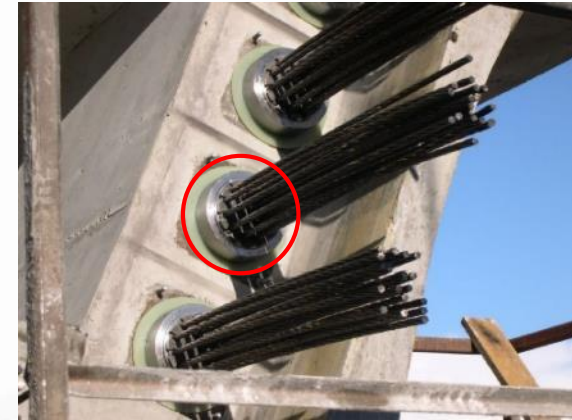
- ❖ 兩側各設兩條19T-15.2mm外置預力，並預留未來可抽換為22T之彈性
- ❖ 新設錨碇座於隔梁處外側
- ❖ 各跨設置2處轉向座
- ❖ 對應箱內設置加勁隔梁
- ❖ 新設止震裝置



箱外外置預力補強設計

■ 箱外外置預力系統

- ❖ 採用平行鋼絞線(Wire Strand) ,
結合鋼構轉向座減輕重量
- ❖ 性能目標:
 - 鋼鍵可整束抽換
 - 防蝕等級: PTI PL-3
 - 灌漿材料: 水泥砂漿
- ❖ 監測系統
 - 全橋腐蝕監測 : EIT
 - 4單元索力監測 : EM Sensor



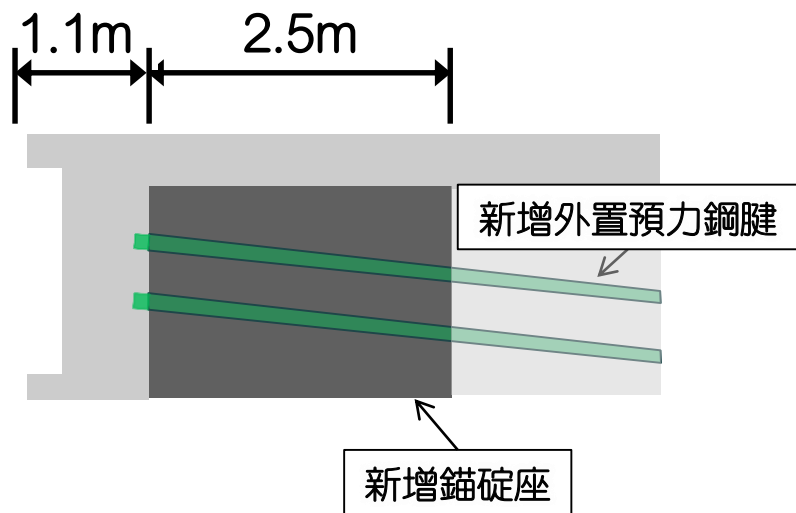
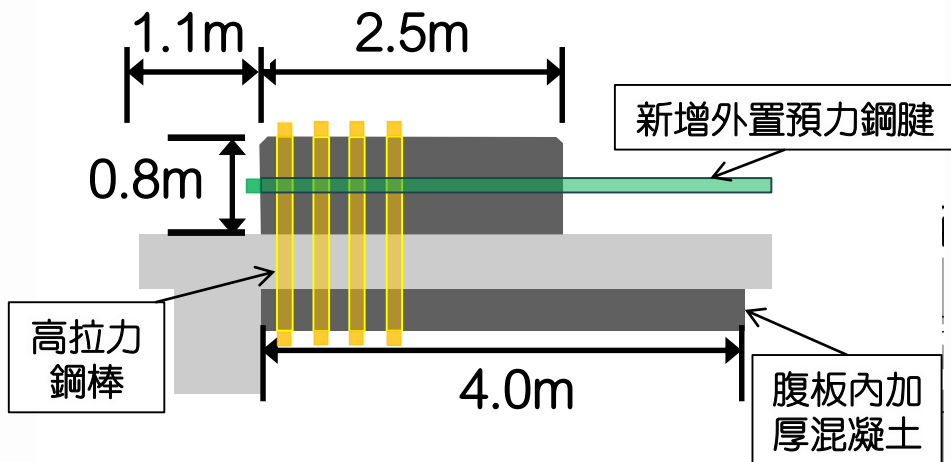
EIT System



EM Sensor

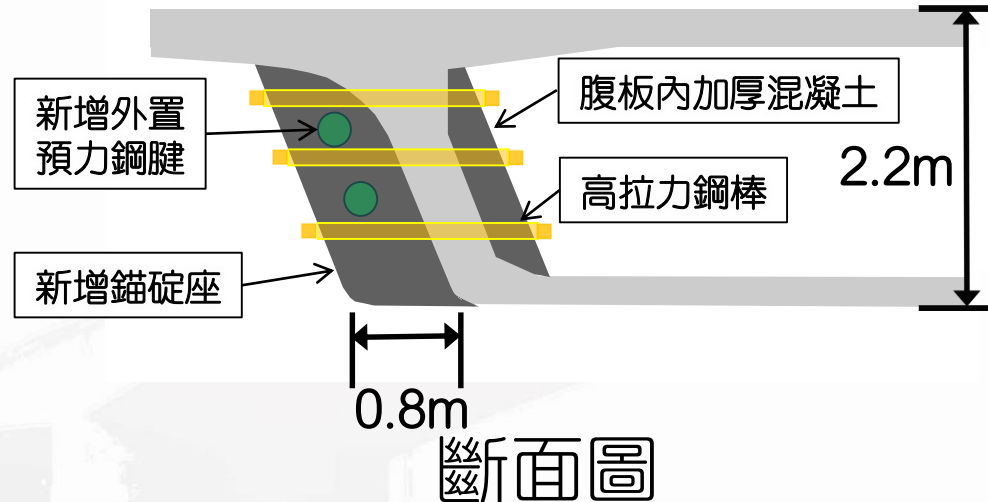
圖片來源: DSI

箱外外置預力補強設計-伸縮縫端端錨



上視圖

側視圖

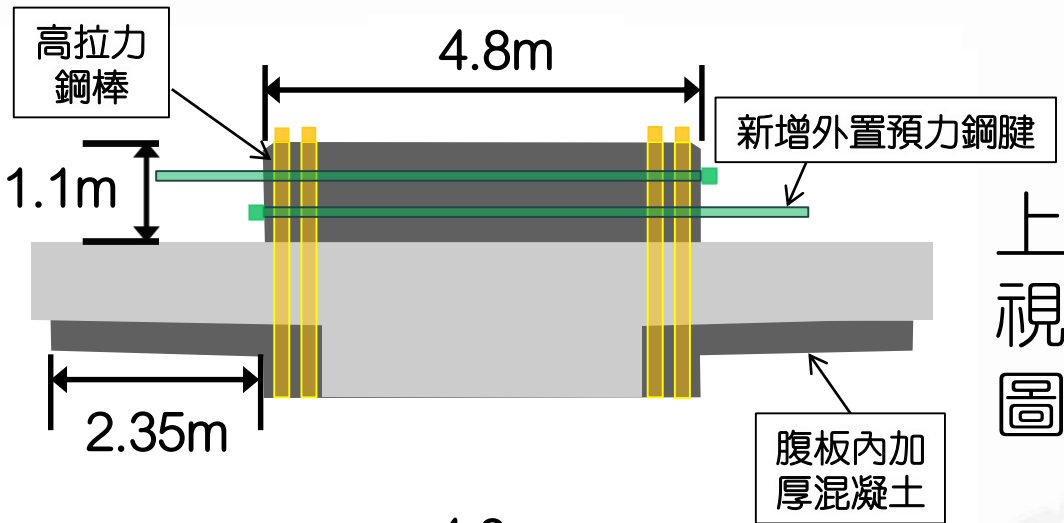


斷面圖

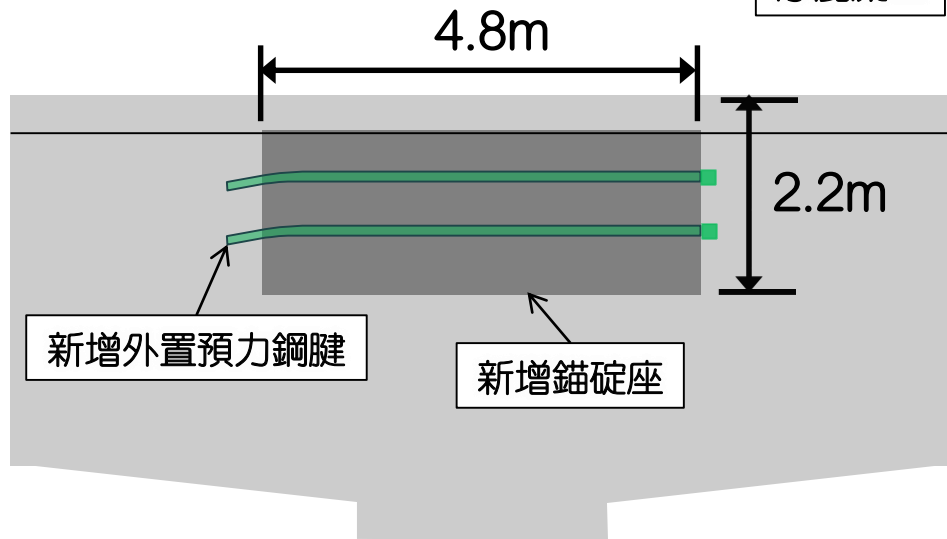
- 固定端梁深2.2m
- 錨碇座尺寸2.5m x 1.8m x 0.8m，位於距伸縮縫1.1m處
- 每一錨塊配置兩股19(22)T-15.2mm鋼腱，採固定端以減少錨碇座後空間需求
- 錨頭外露並搭配防蝕帽蓋以符合抽換需求
- 高拉力鋼棒施加預力夾緊錨碇座

高拉力鋼棒須避開原有鋼腱

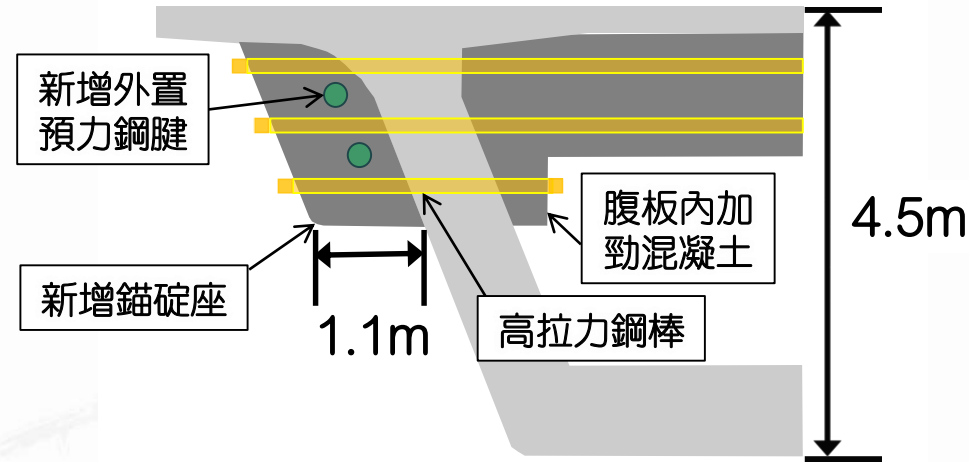
箱外外置預力補強設計-固接端端錨



上視圖



側視圖

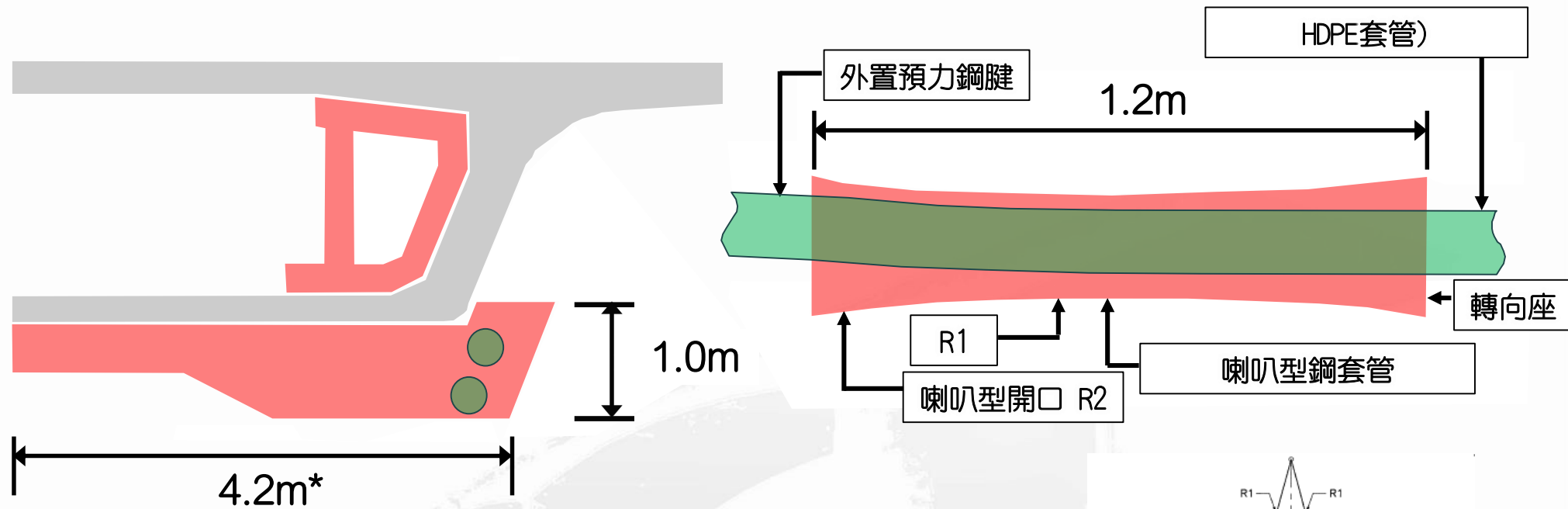


斷面圖

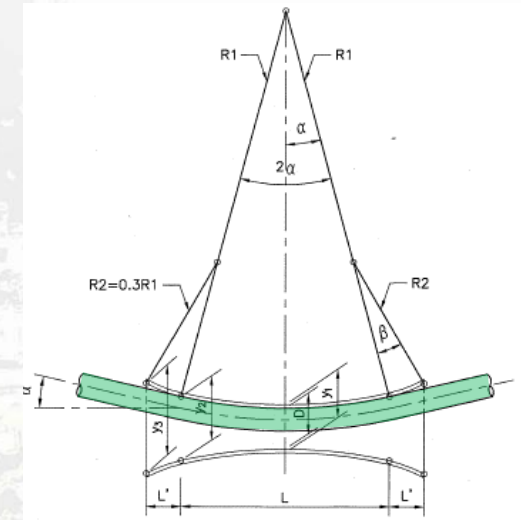
- 施預力端梁深4.5m
- 錨碇座尺寸 4.8m x 1.8m x 1.1m
- 每一錨碇座配置四股19(22)T-15.2mm鋼腱，為施預力端
- 避免錨碇座內鋼腱衝突，前後跨預力端錨左右錯開40cm
- 兩根高拉力鋼棒對穿並施加預力，連同箱梁夾緊施預力端錨碇座

高拉力鋼棒須避開原有鋼腱

箱外外置預力補強設計-鋼製轉向座及加勁隔梁



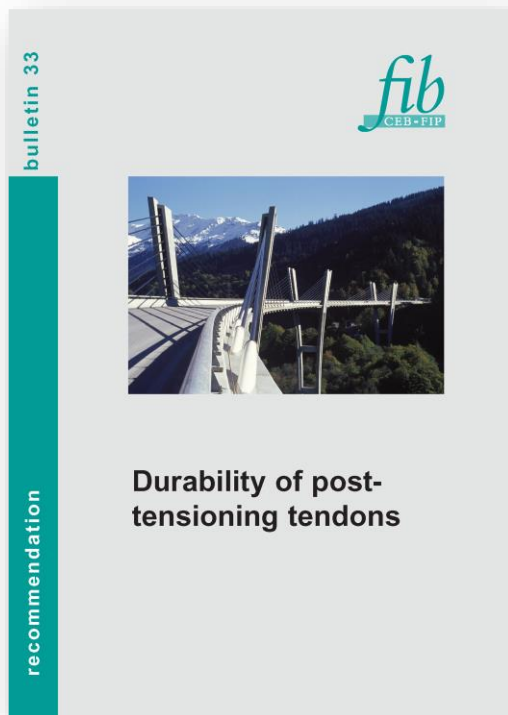
- 鋼製轉向座承受鋼腱上頂力與摩擦力
- 箱梁內部以鋼桁架進行加勁補強
- 依不同鋼腱角度設計喇叭口以減少套管磨損



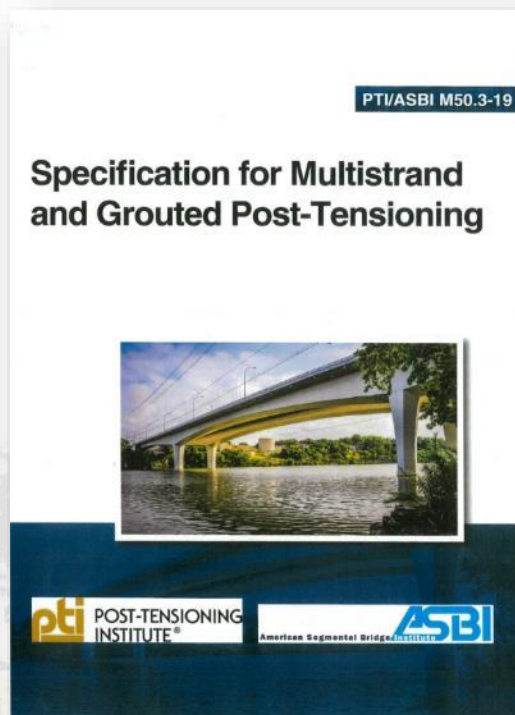
箱外外置預力補強設計

■ 防蝕保護等級 (Protection levels of tendons)

❖ 結構、鋼腱防蝕對橋梁管理非常重要



歐洲結構混凝土
國際聯盟(fib)



美國後拉預力
學會(PTI)



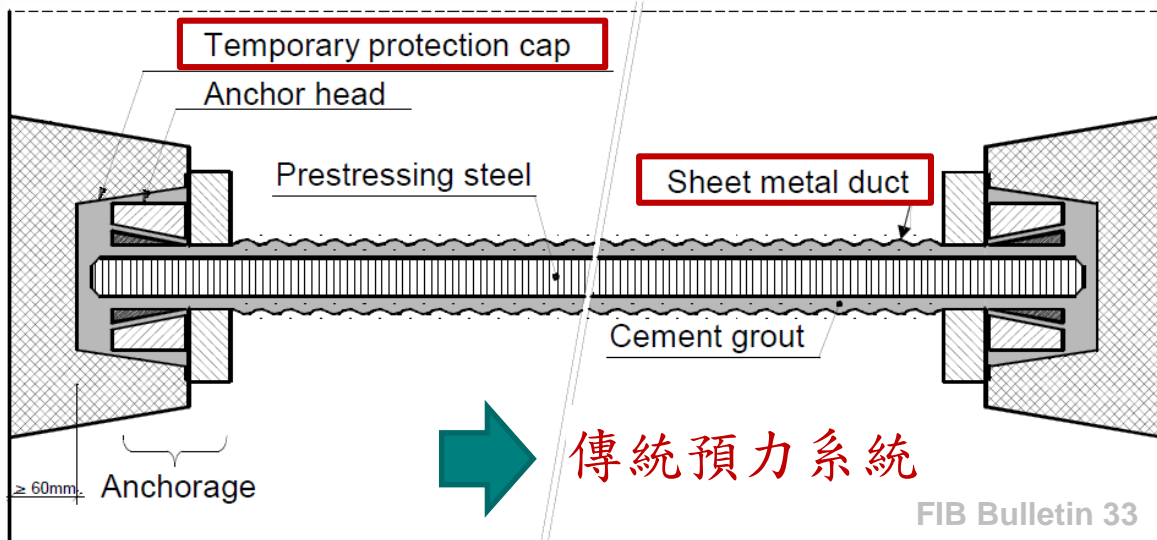
		Structural protection layers		
		High	Medium	Low
Aggressivity / Exposure	High			
	Medium			
	Low			

3個保護等級
PL1~PL3

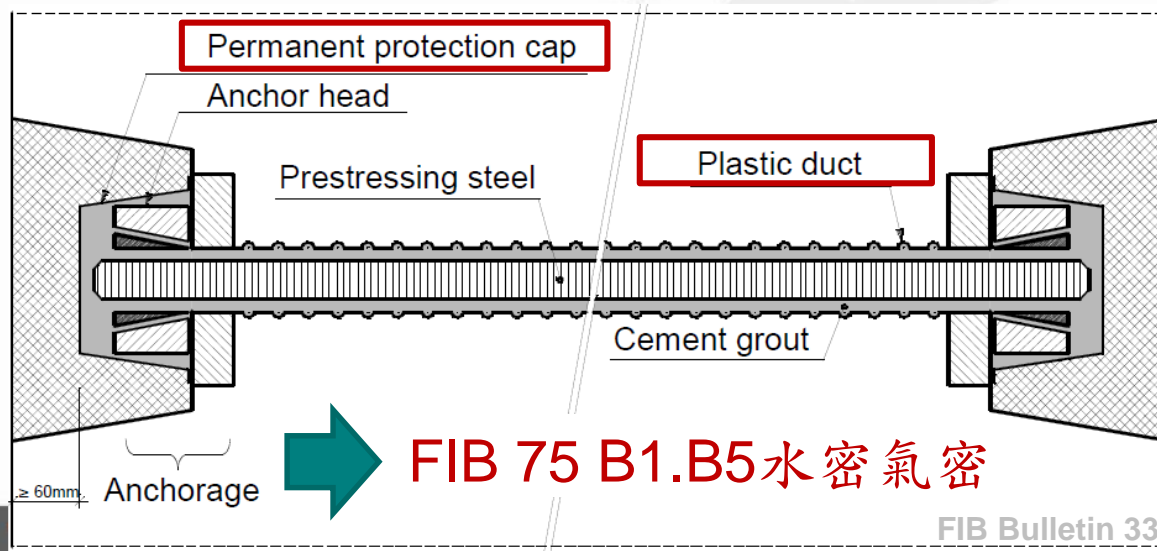
Fib Bulletin 33 : PL(Protection Level) = 防蝕保護等級

防蝕保護等級

- 防蝕保護等級1 (PL-1) : 採用具持久防蝕保護之預力套管



- 防蝕保護等級2 (PL-2) : PL-1+防滲漏封裝



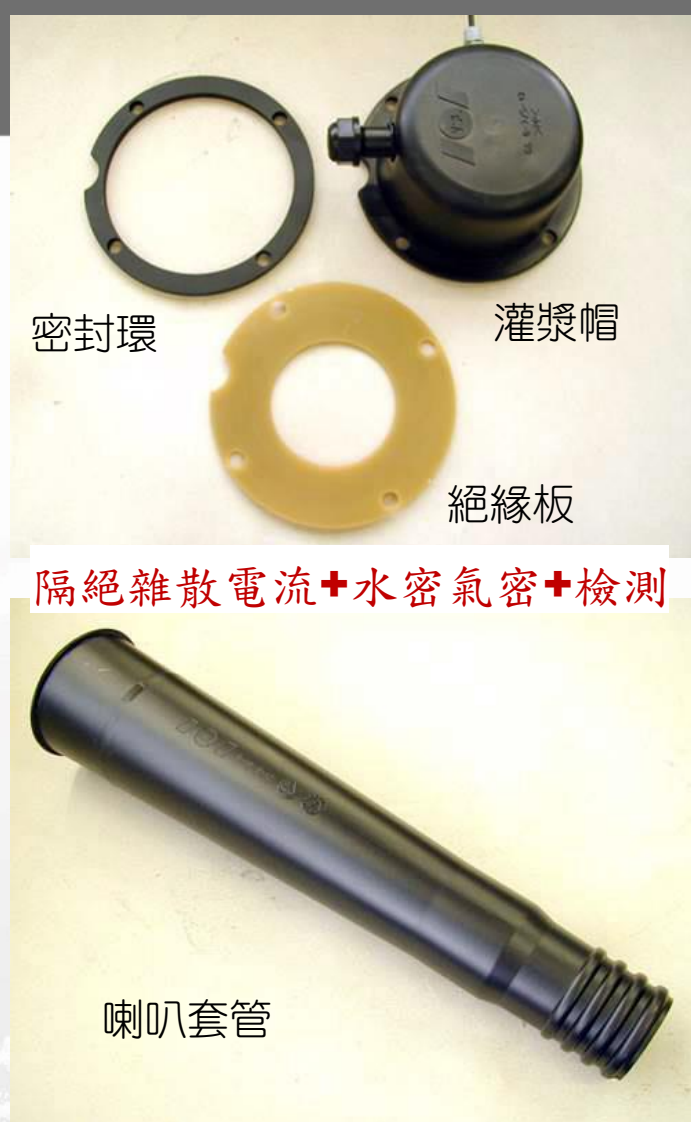
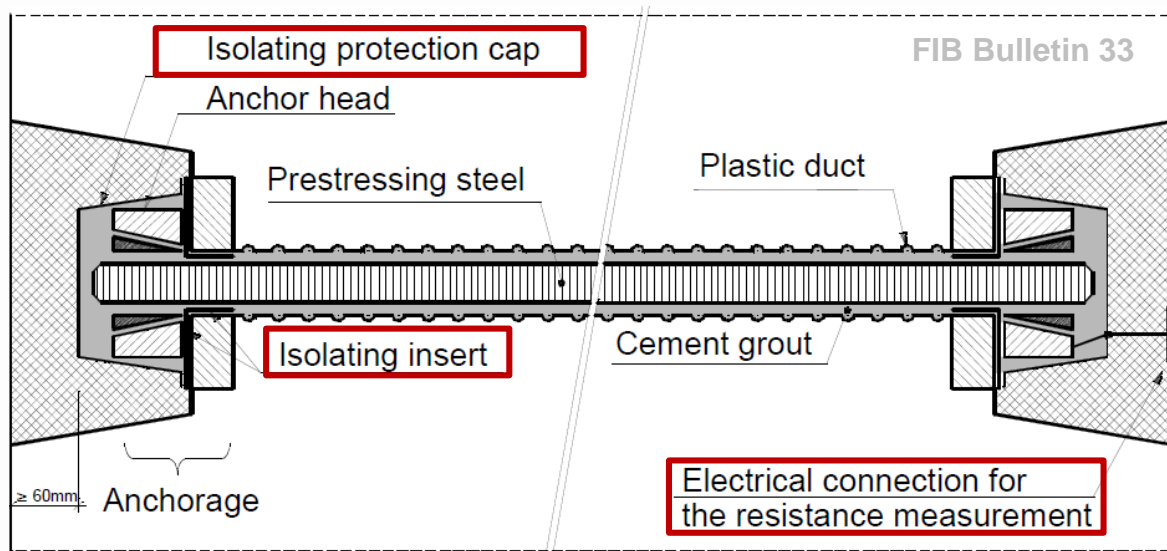
- 密封波紋塑膠套管
- 全系統防滲漏測試



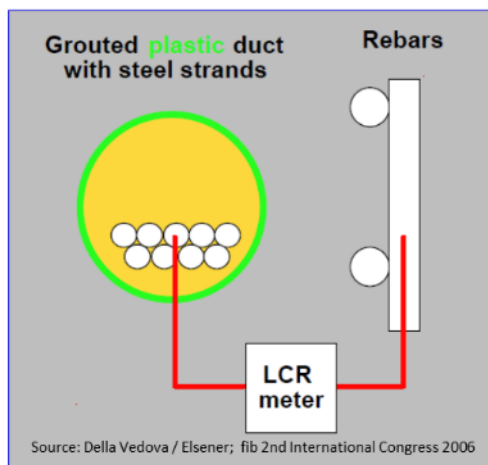
圖片來源: VSL

防蝕保護等級

■ 防蝕保護等級3 (PL-3) : PL-2+監測系統



■ Fib : 以EIT監測並防止雜散電流 (腐蝕)



■ 永久性灌漿保護蓋 :

- ❖ 非金屬且不導電材料

■ 喇叭套管 :

➡ 由高密度聚乙烯 (HDPE) 或聚丙烯 (PP) 製成

箱外外置預力補強設計-電氣隔離鋼鍵(EIT)

■ 電氣隔離鋼鍵 (Electrically Isolated Tendon, EIT)

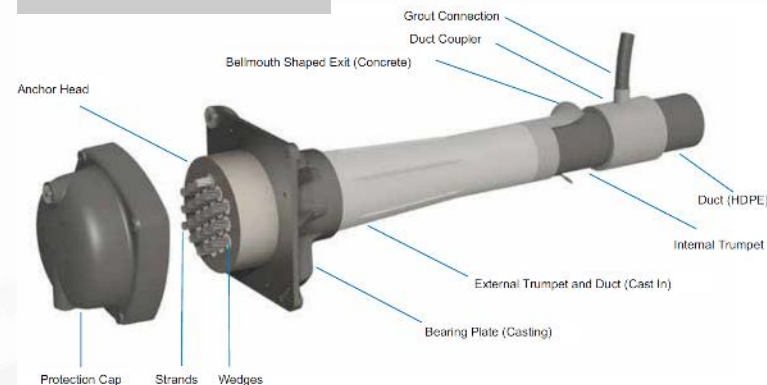
❖ 目的

- 保護鋼鍵，避免鏽蝕、劣化
- 未來可檢測鋼鍵是否鏽蝕、劣化

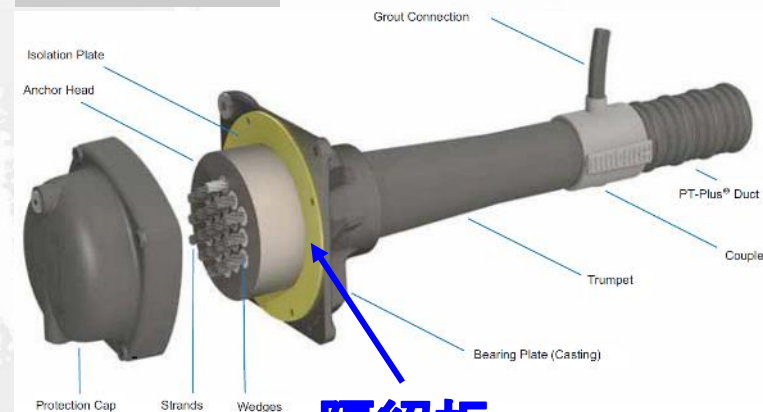
❖ 使用電氣隔離鋼鍵(EIT)的好處

- 可以驗證PT鋼鍵封裝效果
- 提供保護，避免雜散電流腐蝕
- 提升耐久性(PL-3)
- 可隨時進行鋼鍵狀況之非破壞性檢測
- 提升儲存、加工、安裝的小心程度

一般錨具



EIT錨具

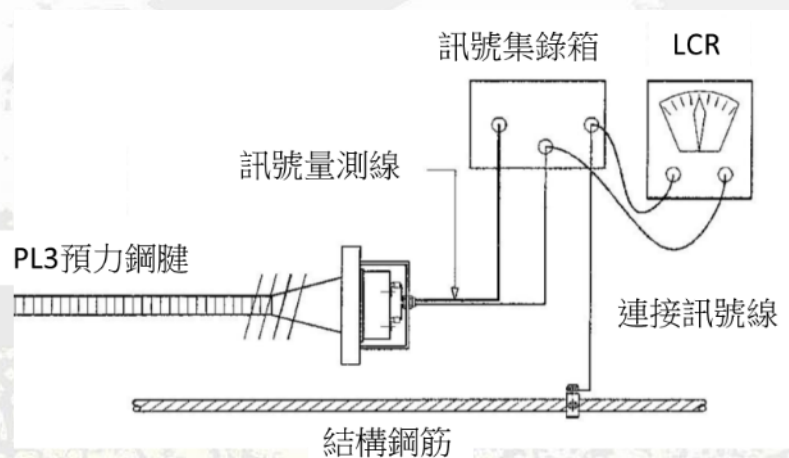


隔絕板

資料來源: VSL

箱外外置預力補強設計-電氣隔離鋼鍵(EIT)

- 驗證電氣隔離 (Verification of Electrical Isolation)
 - ❖ 透過量測鋼鍵與鋼筋間電阻值，評估隔離效果(封裝品質)
 - ❖ 施拉預力後灌漿前，應驗證電氣隔離的交流阻抗 (AC impedance)
- 監測原理:量測絕緣預力鋼絞線與結構鋼筋電阻
 - ❖ 訊號量測線-連接鋼鍵與訊號集錄器
 - ❖ 連接訊號線-連接鋼筋與訊號集錄器
 - ❖ 訊號集錄箱-提供接頭連接LCR-meter
 - ❖ 電阻值顯著下降表示滲漏→ 防潮的缺口



箱外外置預力補強設計-鋼腱張力磁通量感應器 (EMS)

■ 鋼腱張力磁通量感測器 (Electro-Magnetic Sensor, EMS)

- ❖ 目的：量測鋼腱之張力數值
- ❖ 方式：張力磁通量感測器可採2種形式：
 - A. 整條鋼腱式
 - B. 分散單股鋼腱式(至少需3個)



整條鋼腱式



分散單股鋼腱式



數據擷取箱
Collection Box

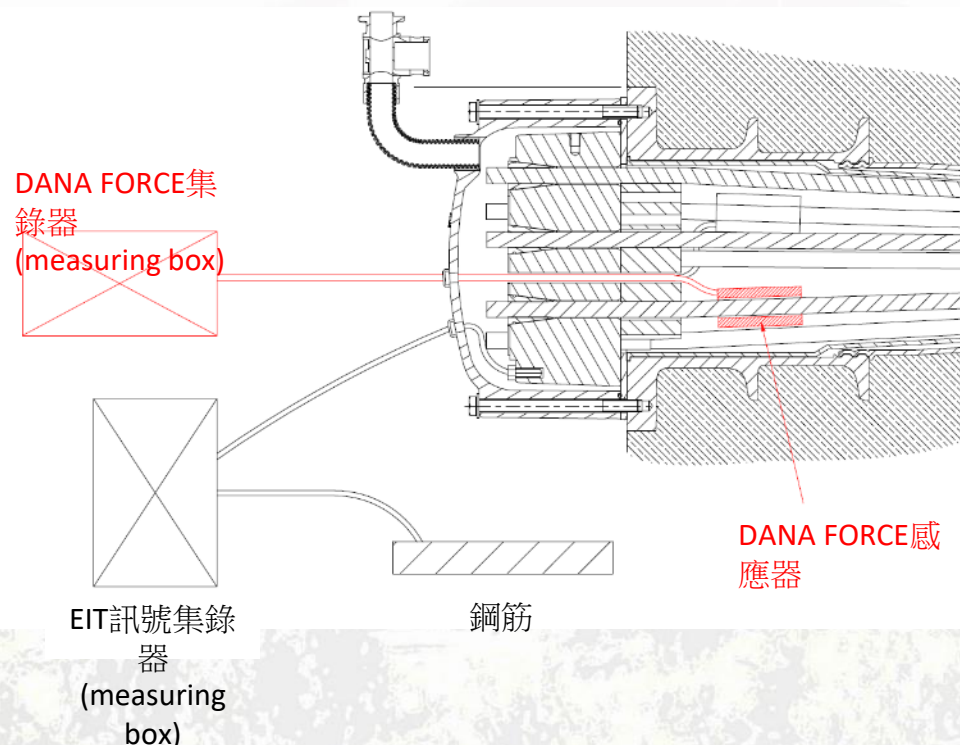
資料來源: DSI.

箱外外置預力補強設計-鋼腱張力磁通量感應器 (EMS)

■ 在**施工階段**與後續**使用年限**中, 皆可測量鋼絞線拉力

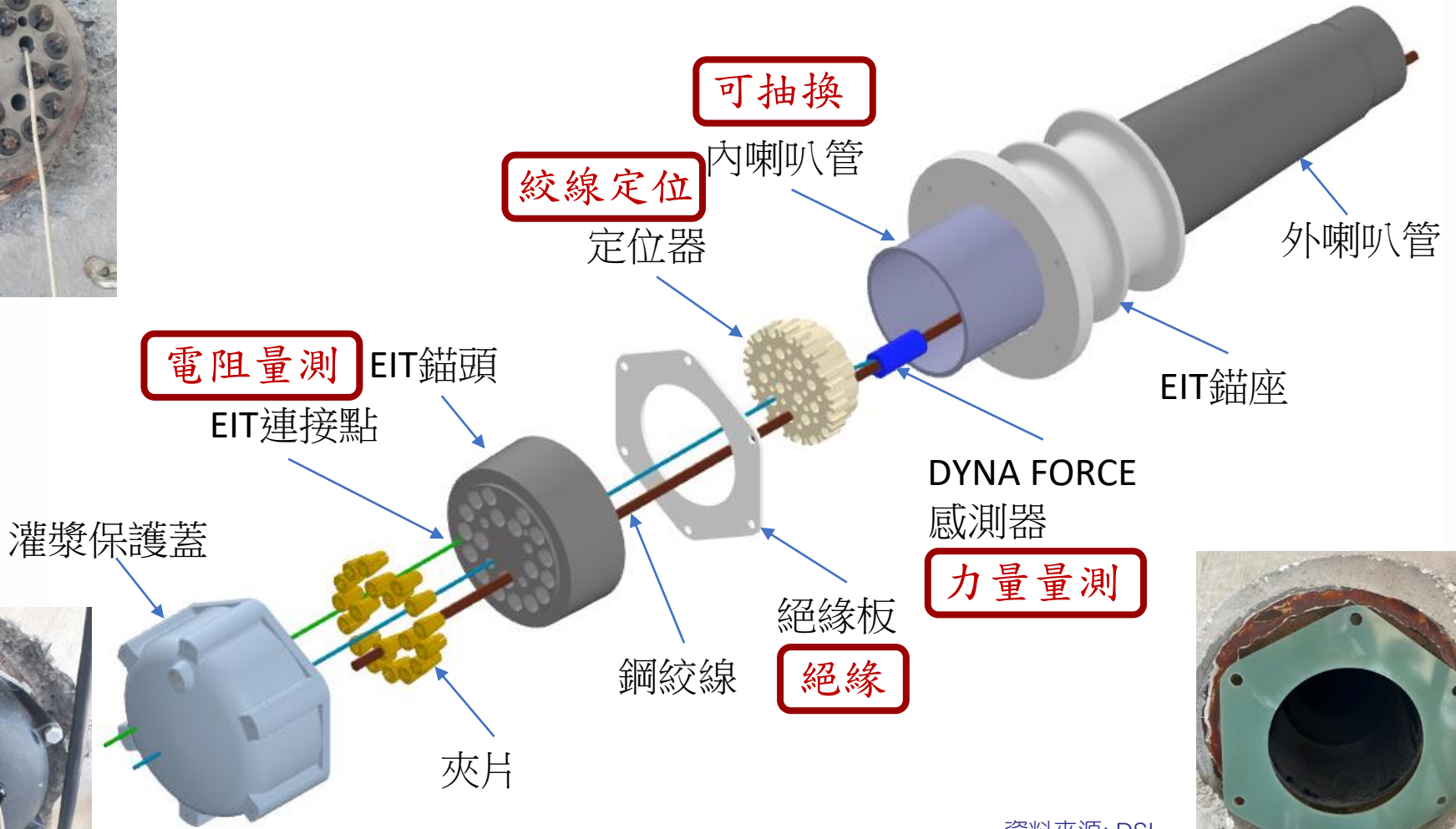
■ 監測原理:

- ❖ 鋼材的磁導率會隨著應力的不同而變化。
- ❖ 藉由測量**磁導率**的改變, 可以計算出鋼腱內部的**應力**。



資料來源: DSI.

箱外外置預力補強設計- EIT + EMS



資料來源: DSI.



箱外外置預力補強設計-真空灌漿

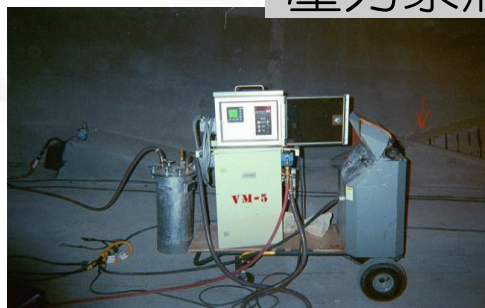
■ 真空灌漿 (Vacuum Grouting)

- ❖ 目的
 - 確保套管內灌漿品質，減少孔隙
- ❖ 設備性能
 - 真空灌漿設備性能應為容積測量型
 - 可量測套管內之孔隙體積
 - 可灌入足量砂漿填補孔隙
- ❖ 套管內灌漿材料強度的配比組成
 - 符合PTI M55.1-19第3.3.3節等級B或等級C規定

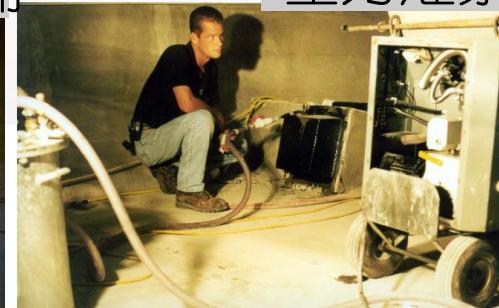
體積&孔隙量測器



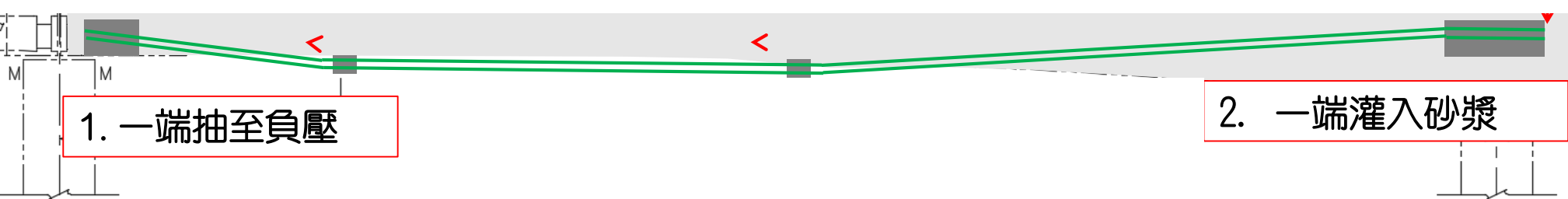
壓力泵浦



壓力灌漿



資料來源：Federal Highway Administration Post-Tensioning Tendon Installation and Grouting Manual



真空灌漿

■ 為何要真空灌漿



Result of void grouted with conventional methods

採用一般方式灌漿

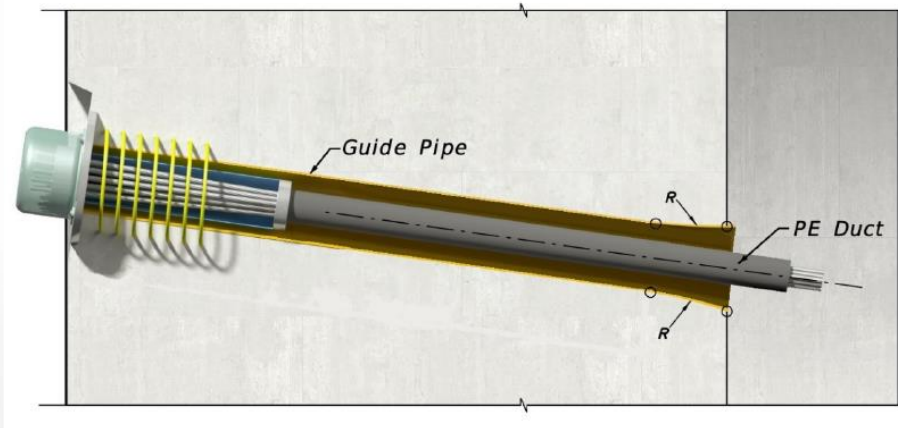
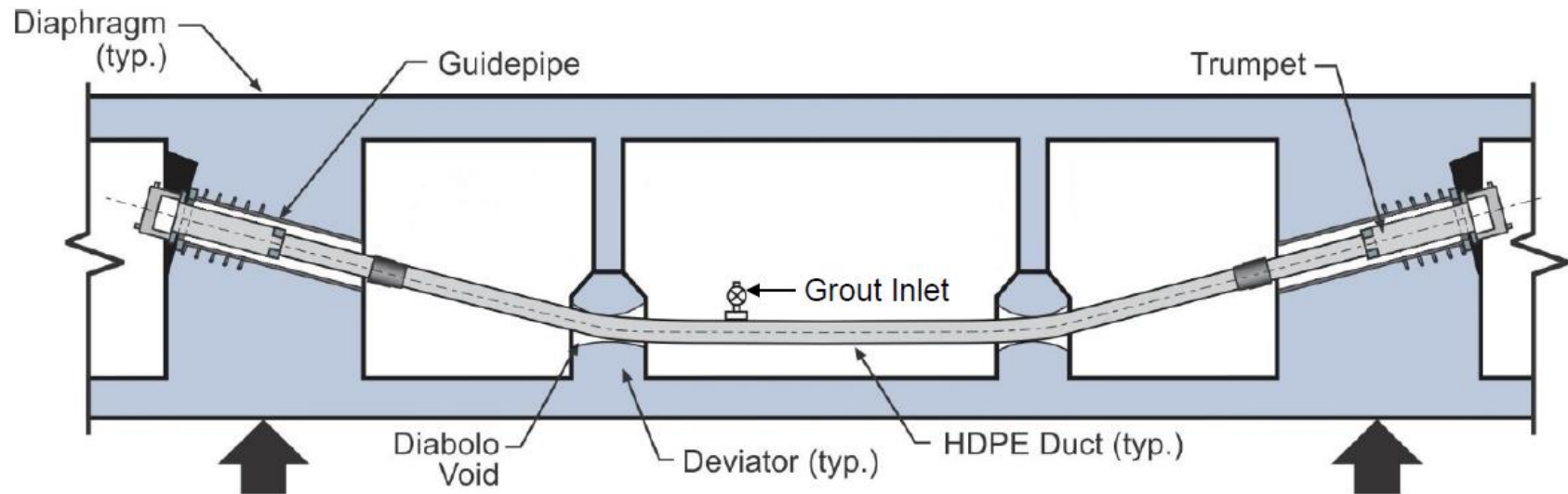


Result of void grouted with Vacuum Grouting

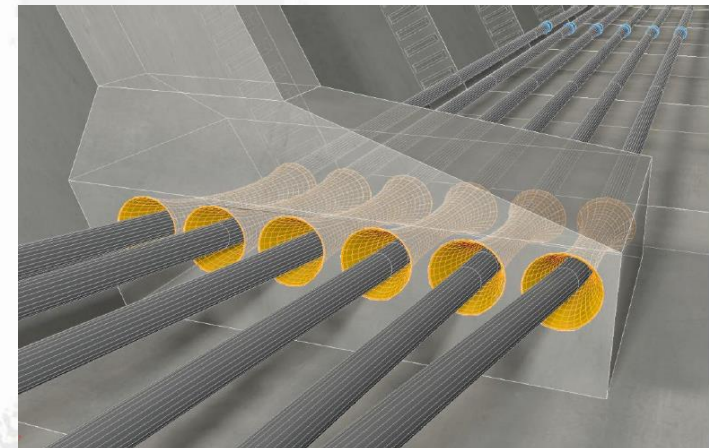
採用真空灌漿

圖片來源: DSI 網站.

可更換式後拉外置預力系統



導管(guide pipes)
雙喇叭套筒(double trumpets)



扯鈴型內模(diabolo forms)

資料來源：No. FHWA-HIF-19-067 , October 2019

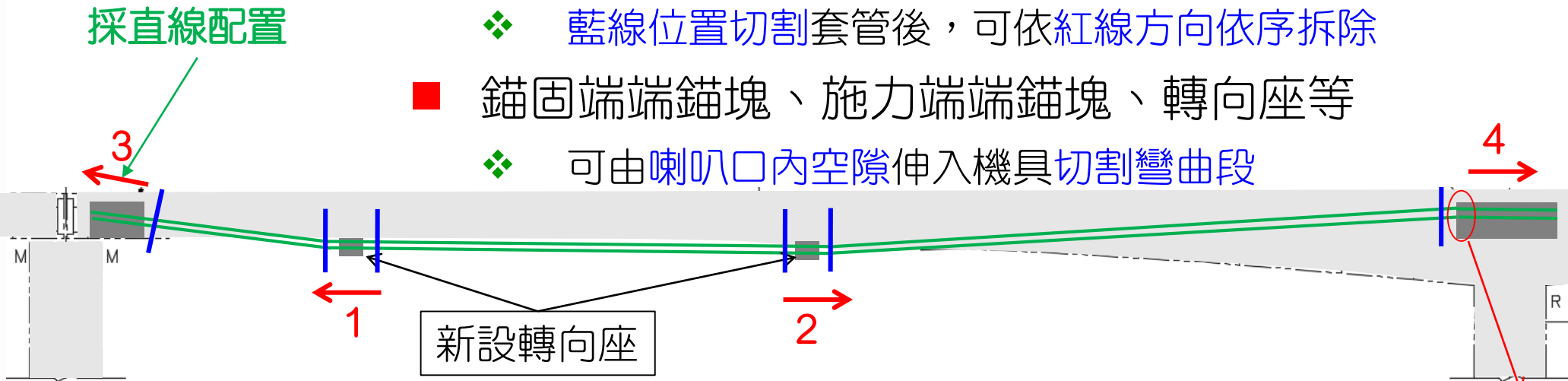
箱外外置預力補強設計-鋼腱抽換設計

■ 灌漿後預力套管硬固

- ❖ 鋼腱抽換於彎曲段需考量拆除方向
- ❖ 藍線位置切割套管後，可依紅線方向依序拆除

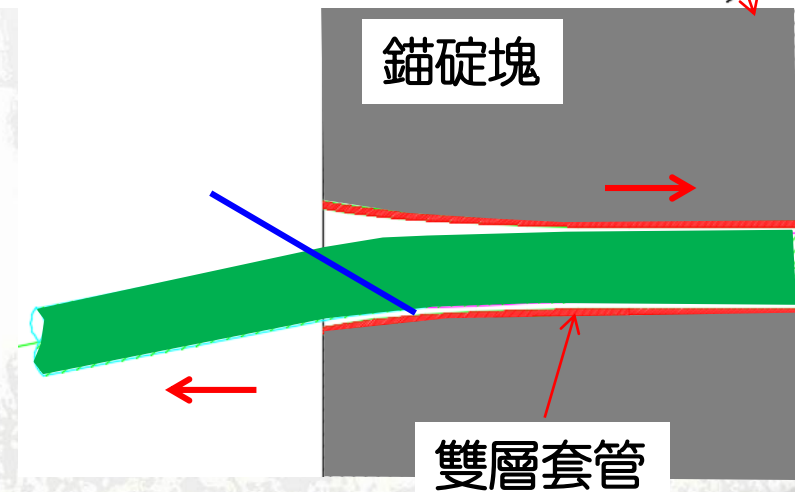
■ 錨固端端錨塊、施力端端錨塊、轉向座等

- ❖ 可由喇叭口內空隙伸入機具切割彎曲段



■ 切斷抽離步驟

- ❖ 選定預力鋼腱的切斷點位置
- ❖ 固定切斷點並移除約1m長的HDPE外套管
- ❖ 敲除填充水泥直至鋼絞線完全外露
- ❖ 使用氧氣乙炔將鋼絞線逐根切斷
- ❖ 移除帽蓋將整束預力系統從端錨處抽出

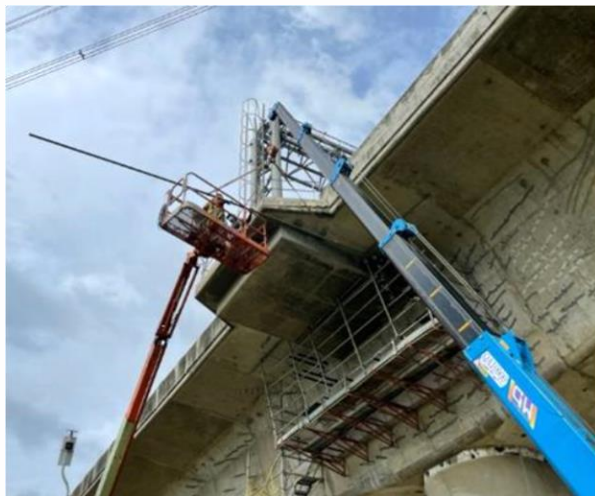


箱外外置預力補強-施工照片

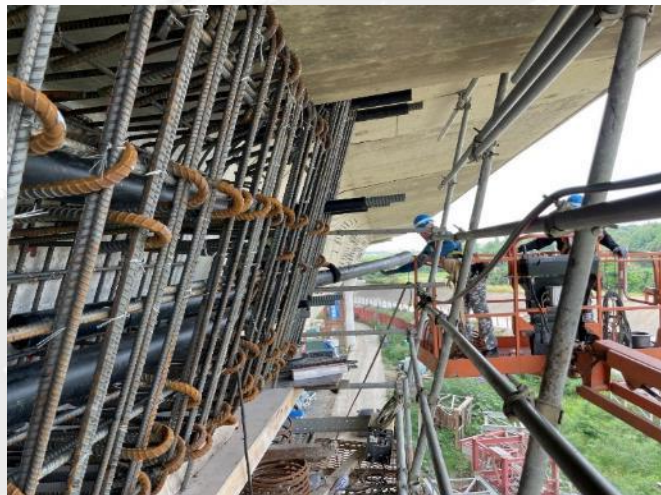
鋼棒PE管安裝



安裝鋼棒



錨座與外喇叭管、鋼製喇叭管安裝



箱外外置預力補強-施工照片

鋼棒施拉



HDPE管熔接放置於地面

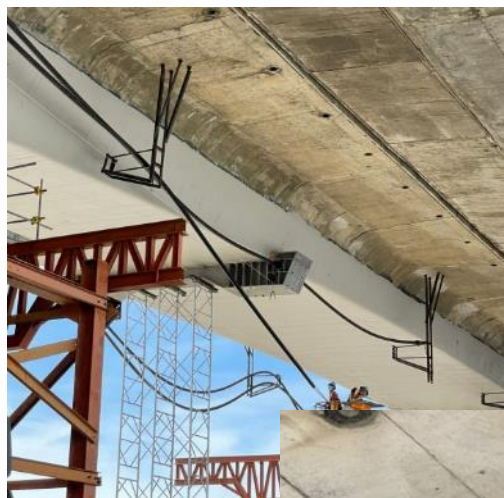
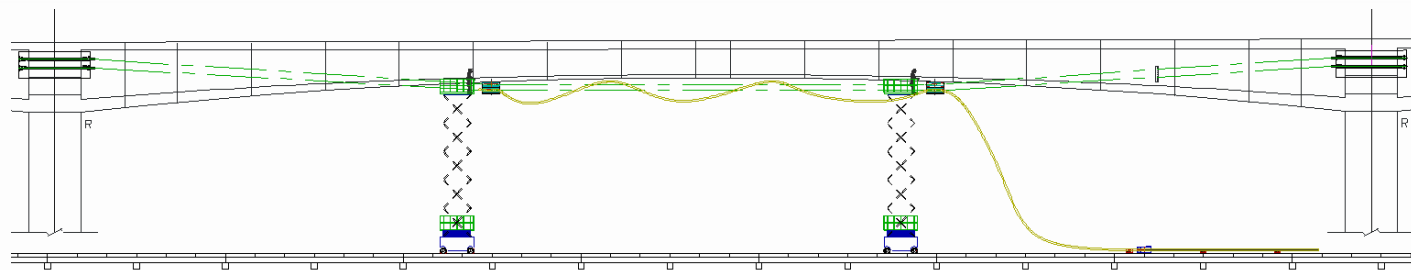


HDPE管熔接縫熱縮管安裝



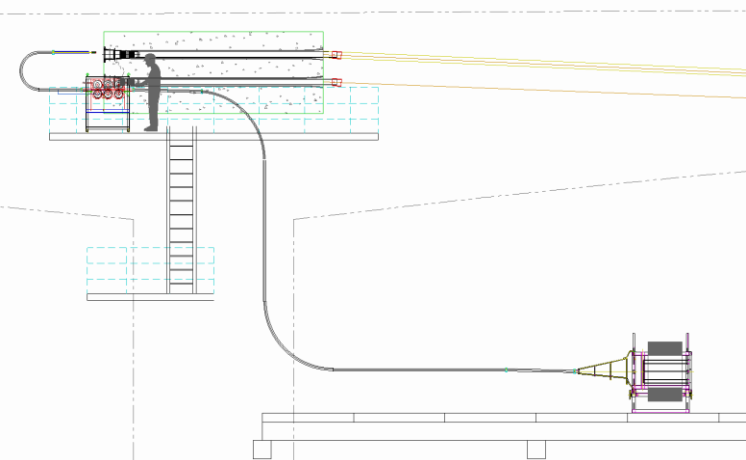
箱外外置預力補強-施工照片

使用高空作業車
吊裝設置外套管



箱外外置預力補強-施工照片

穿線

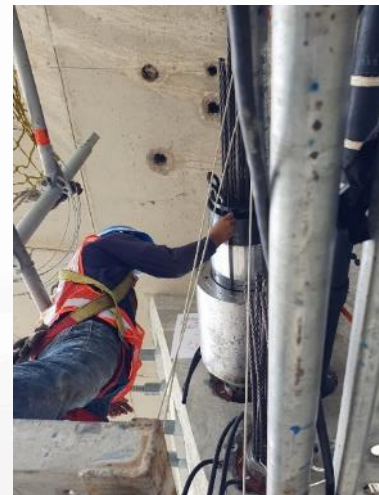
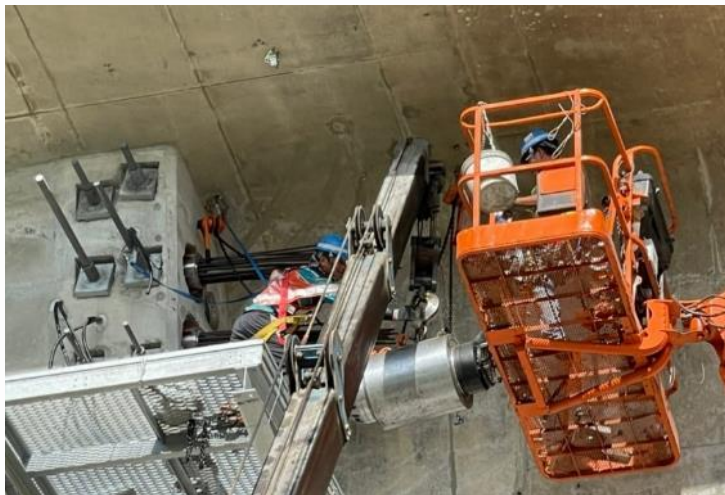


安裝感測器/定位器/絕緣板/錨頭



箱外外置預力補強-施工照片

外置預力鋼腱施拉

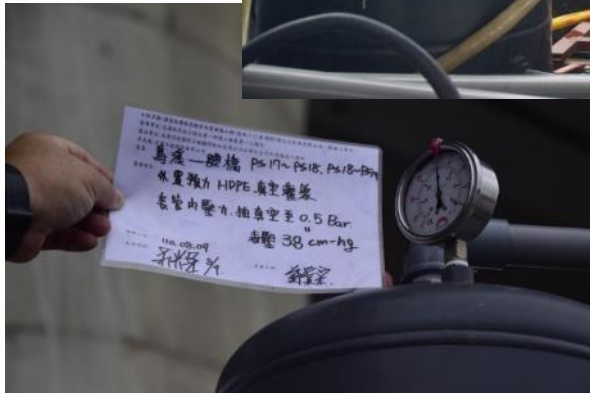
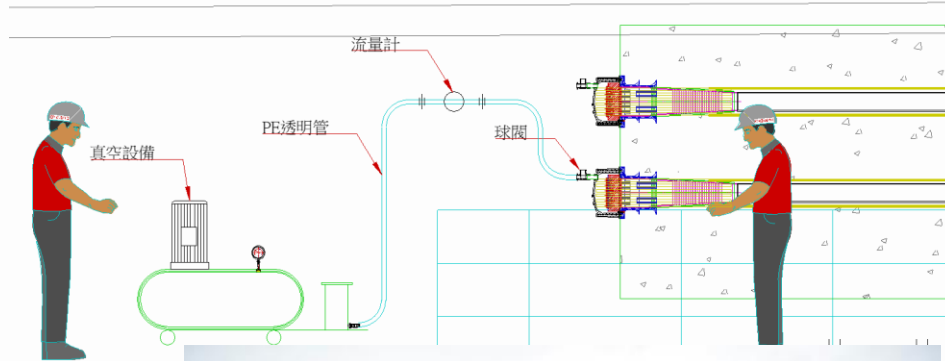


安裝EIT電纜/帽蓋

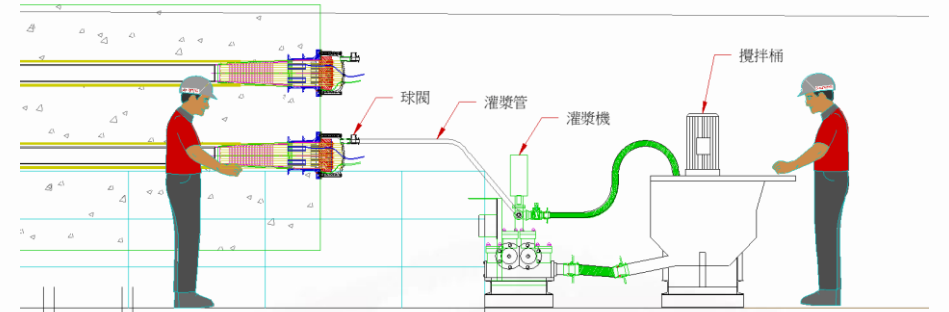


箱外外置預力補強-施工照片

真空



灌漿



外置預力設置完成照片



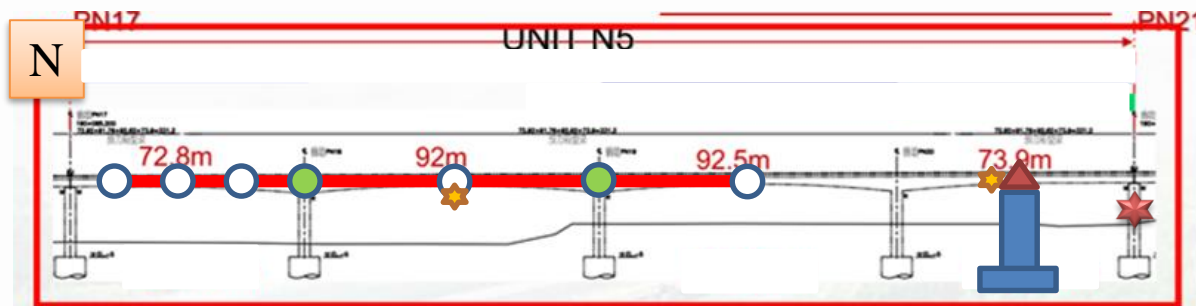
6

監測系統配置

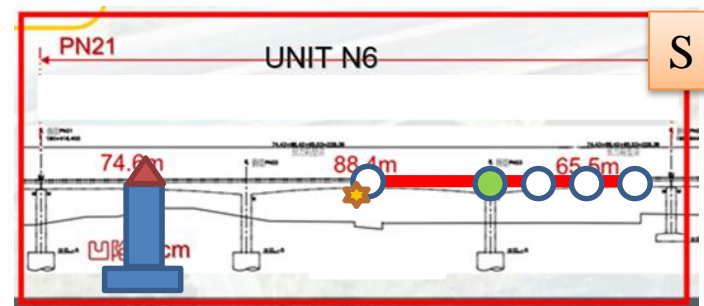
監測系統配置

- 國道3號烏溪1號河川橋監測資料分析第1次期中報告修訂版(108年3月)之結果顯示，各單元歷年增加之變位量有縮減趨勢，但仍有部分單元變位量呈現持續向下之趨勢
- 補強的目的是抑制結構裂縫惡化與減緩(抑制)下垂量，目前透過CFRP包覆補強，及箱外外置預力補強後，判斷下垂變形量是否達到抑制效果。
- 因此持續監測沉陷量有其必要性。

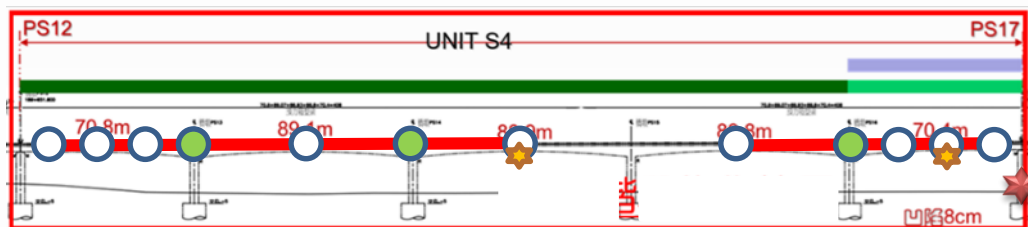
4個單元監測系統配置



PN17



PN24



PS12



PS21

監測項目	監測儀器	安裝位置	數量	監測方式
○ 沉陷量監測	沉陷計	北上線5跨 南下線9跨	34	自動監測
★ 溫度監測	溫度計	北上線3跨 南下線3跨	21	
▲ 橋墩位移監測	位移計	北上線2跨 橋墩頂	2	

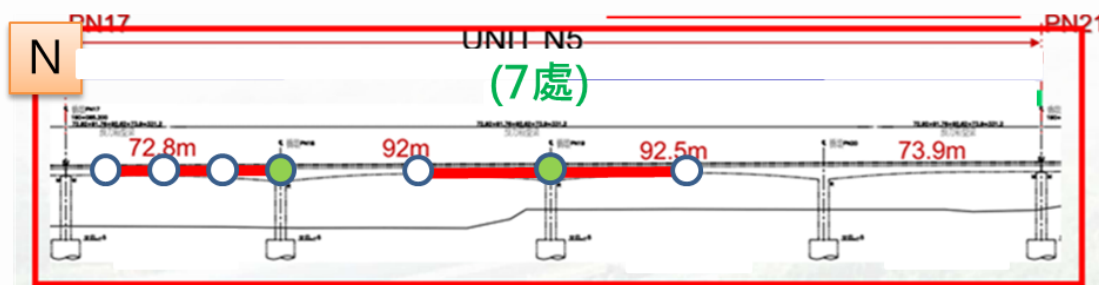
4個單元監測系統配置

沉陷計：

參考現況既有長期監測資料，**橋梁邊跨沉陷變形較為明顯**，規劃於**邊跨**之**L/4處**、**L/2處**、**3L/4處**進行沉陷計佈置，**中跨**則於**2/L處**佈置，用以即時監測橋跨沉陷變形，並進行長期沉陷趨勢安全評估。

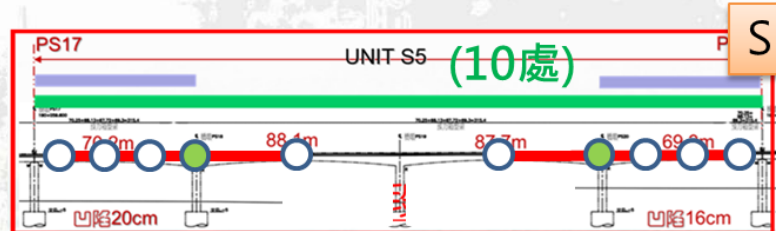
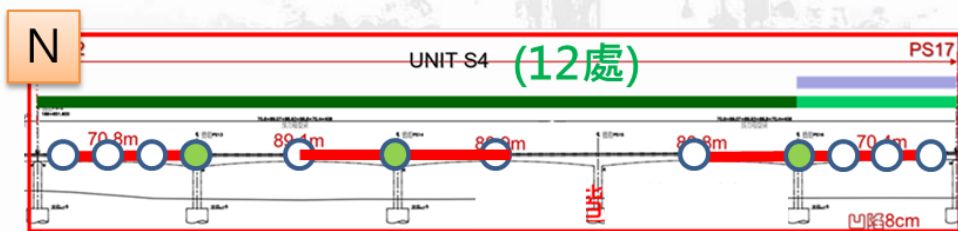
□ 北上線(5垮)-12處

● 量測參考點



PN17 PN18 PN19 PN20 PN21 PN22 PN23 PN24

□ 南下線(9垮)-22處



PS12 PS13 PS14 PS15 PS16 PS17 PS18 PS19 PS20 PS21

4個單元監測系統配置

溫度計：監測資料須考量環境溫度效應，於箱梁內佈置溫度計，適當納入溫度補償調校，詳實反映橋梁結構特性。

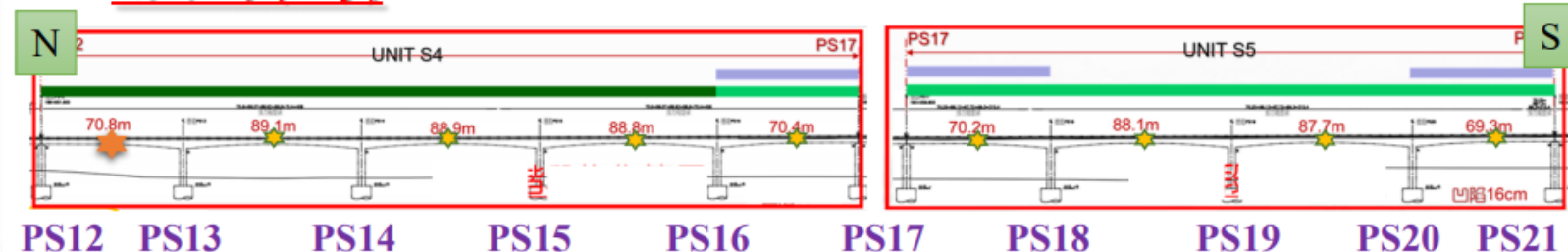
□ 北上線(7垮)

★ 箱梁內部(頂.腹.底板溫度計)

☆ 箱梁內部(腹板溫度計)



□ 南下線(9垮)



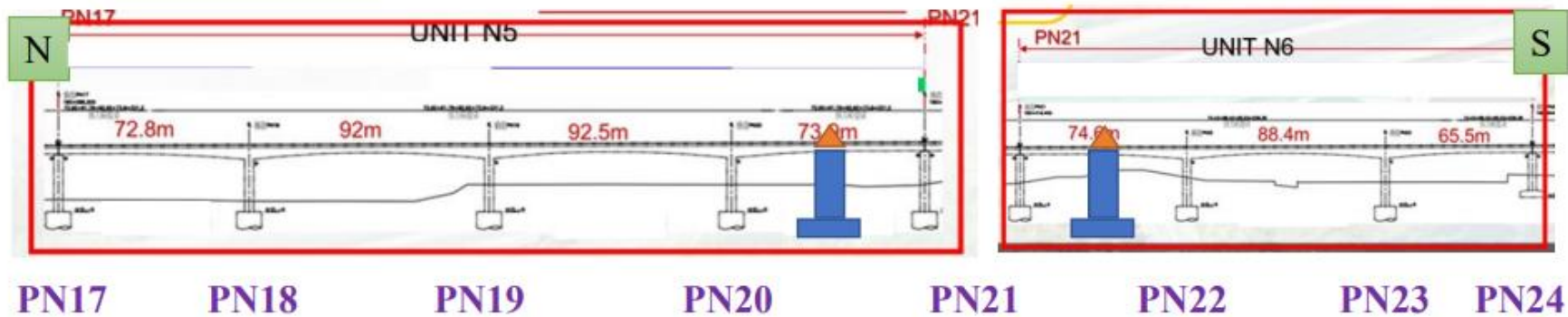
南下線箱梁內(PS12-13)溫度計安裝示意圖

北上線箱梁內PN17-18溫度計安裝示意圖

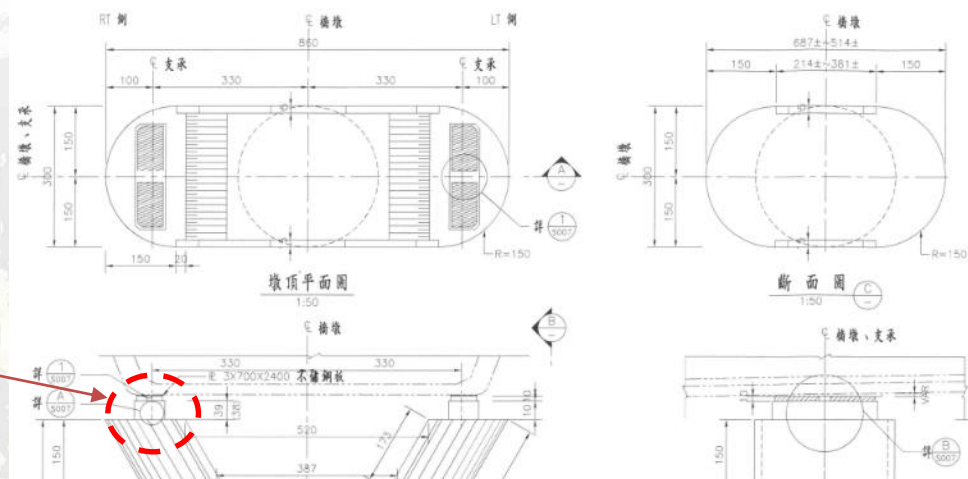
4個單元監測系統配置

位移計：於增設橋墩跨帽梁上佈置位移計，用以監測增設橋墩帽梁和上方橋跨之相對位移，即時監測橋跨沉陷變形進行長期沉陷趨勢安全評估

□ 北上線(2垮)



位移計及溫度計 安裝位置



4個單元監測系統配置-設置狀況

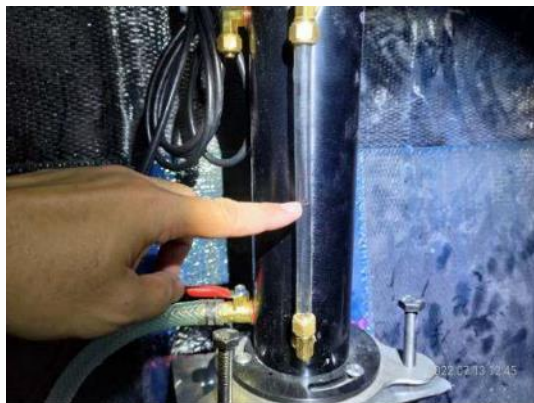
沉陷計



溫度計



設備箱

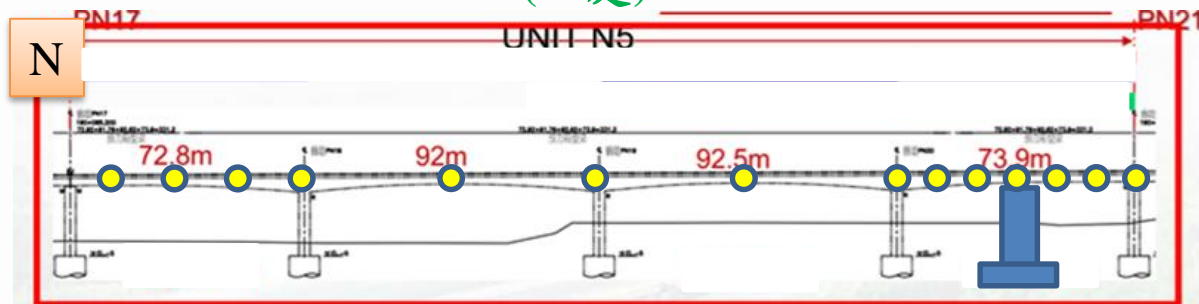


4個單元監測系統配置-測量輔助

□ 北上線(7跨約560 m)-25處

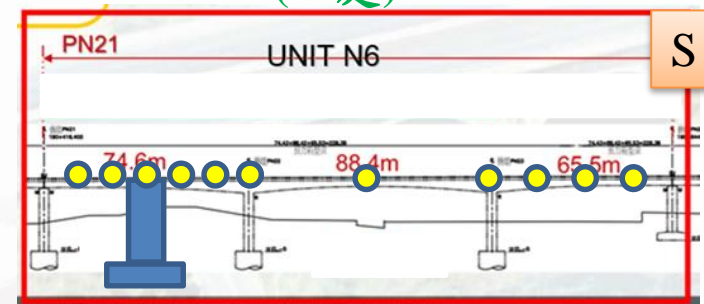
● 橋上水準點

(14處)



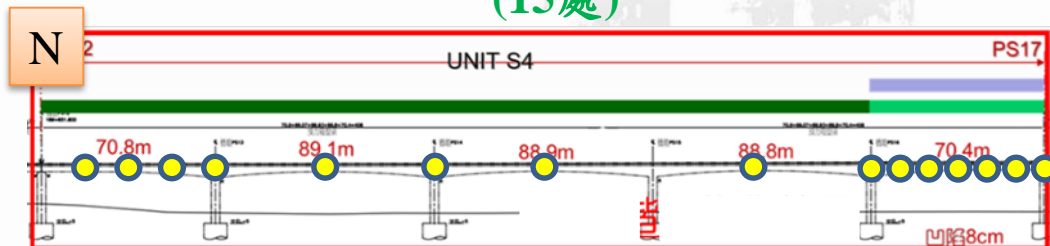
PN17 PN18 PN19 PN20 PN21 PN22 PN23 PN24

(11處)



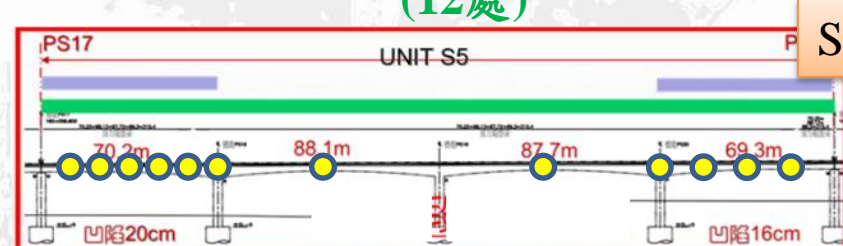
□ 南下線(9跨約723 m)-27處

(15處)



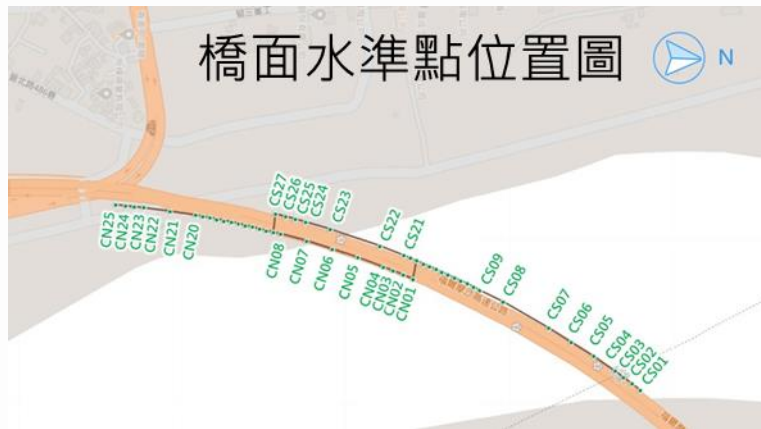
PS12 PS13 PS14 PS15 PS16 PS17 PS18 PS19 PS20 PS21

(12處)



4個單元監測系統配置-測量輔助


測量點位設置：
監測點位設置 於外側護欄
護欄上埋設固定基座卡槽
當需進行水準量測時再將固定基座鎖上



補強前量測點位高程，定義資料的初始值
在箱外外置預力施拉時，可觀測高程變化差異
待各單元監測系統建置完成後，可交互驗證監測成果

4個單元監測系統

- 為求監測資料完整，規劃於CFRP補強施工完成後，外置預力施拉完成前，進行該跨監測系統儀器安裝建置工作
- 配合補強工程實際施工工期調整
- 監測系統全部建置完成後，於4個單元同時監測半年後提送半年報，同時提報定期量測報告(EIT、EMS已完成單元)
- 全部完成後監測一年，提送年報
- 目前監測初步資料，相對位移歷時資料及溫度變化歷時資料，判斷仍在合理範圍



簡報完畢
敬請指教