

3.3 外ケーブル工

3.3.1 設計概要

主桁の設計については、上面増厚工法による荷重増分を補償する程度の外ケーブル補強であることから、平面骨組解析にて補強前後の発生応力度を照査している。

上面増厚工法に伴う荷重としては、橋面出来形計測によれば 5～10cm の施工厚さとなるが、最大増厚量 10cm の死荷重を等分布荷重として橋全体に作用させるものとした。

外ケーブル工法としては、各径間に 2 ケーブル配置し、設計荷重時の PC 鋼材の許容応力度($0.6\sigma_{pu}$)を満足する仕様で、再緊張が容易なネジ式定着のものを採用することとした。

また、長期的な不測の変状に対して早急な対応ができるように、各径間に 2 ケーブルの予備ケーブルを配置した構造としている。

外ケーブル工法に伴う定着部および偏向部の増設部分を死荷重として追加している。

上記の条件に基づいて部材の応力度を算定した結果、発生応力度の変化量が $0.05\text{N/mm}^2 \sim 0.3\text{N/mm}^2$ 程度であること確認している。

定着部、偏向部および横桁部の設計については、ひび割れによる主桁剛性の低下を考慮するため、既設桁の弾性係数を設計弾性係数の 1/2 として弾性 FEM 解析を実施し、形状ならびに補強鉄筋量を算出している。弾性 FEM 解析による各部材の設計においては、発生引張応力が圧縮強度の特性値に基づく引張強度（土木学会「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】」（2002 年））未満になるよう設定した。

さらに、対策後の状態で、下部工の耐震性が確保されているかを検討し、補強の必要がないことを確認している。

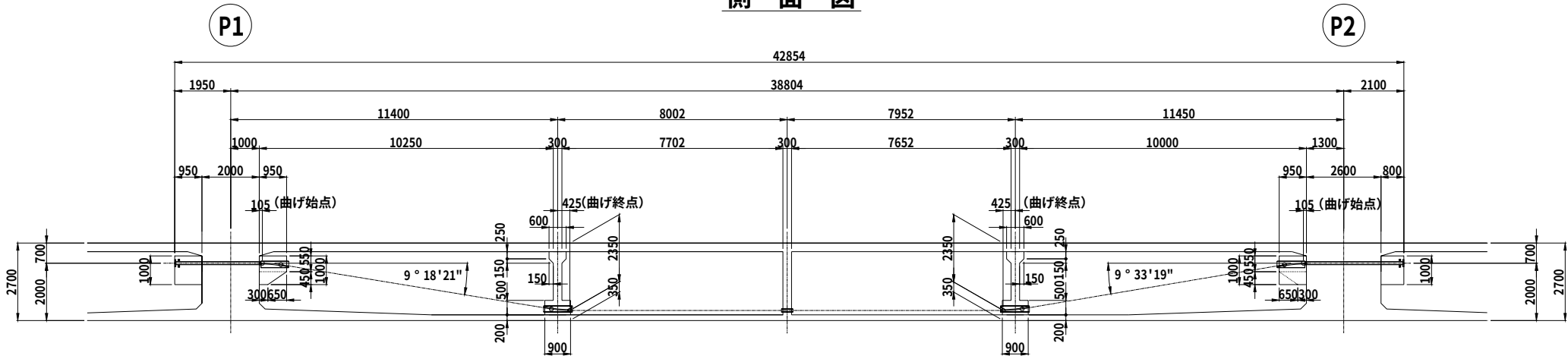
外ケーブル工法としては、張力調整が容易であり、補強用ケーブルとして実績の多い SEEE 工法を選定した。実施した P1～P2 橋脚間の外ケーブル工法の一般図を図-3.3.1 に示す。

3.3.2 施工概要

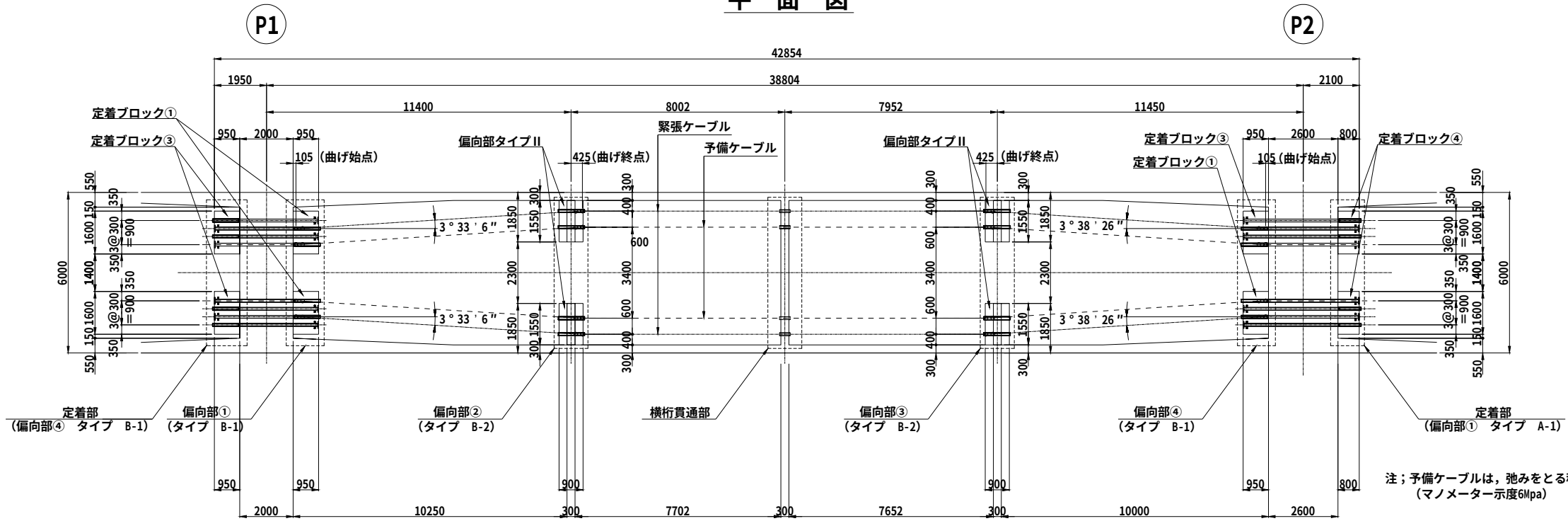
今回実施した外ケーブル工の施工フローを図-3.3.2 に示す。

なお、定着部・偏向部の構築において、型枠脱型後に未充てん部が認められたため、図右端の部分に示すように、原因の究明、原因に対する対策を十分確認したうえで再施工を実施している。

側 面 図



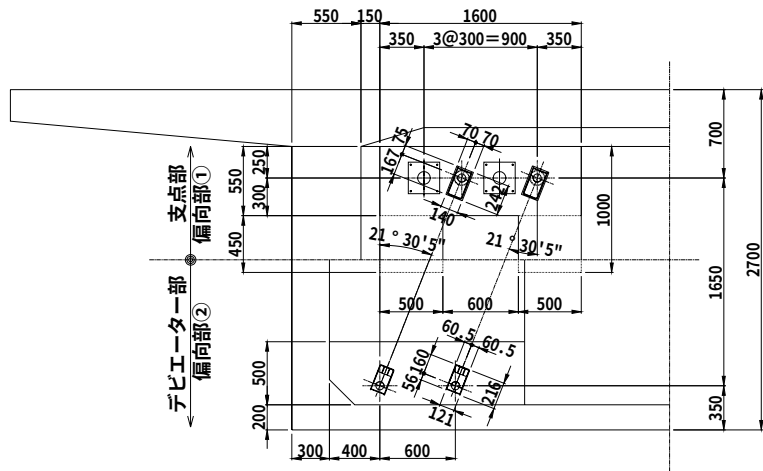
平 面 図



断 面 図

(矢視 偏向部①→偏向部②)

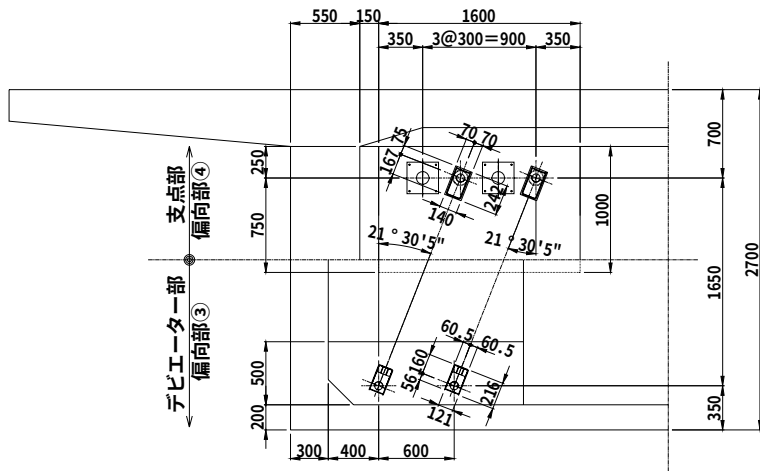
S=1:30



断 面 図

左 (矢視 偏向部③→偏向部④)

S=1:30



断 面 図

右 (矢視 偏向部③→偏向部④)

S=1:30

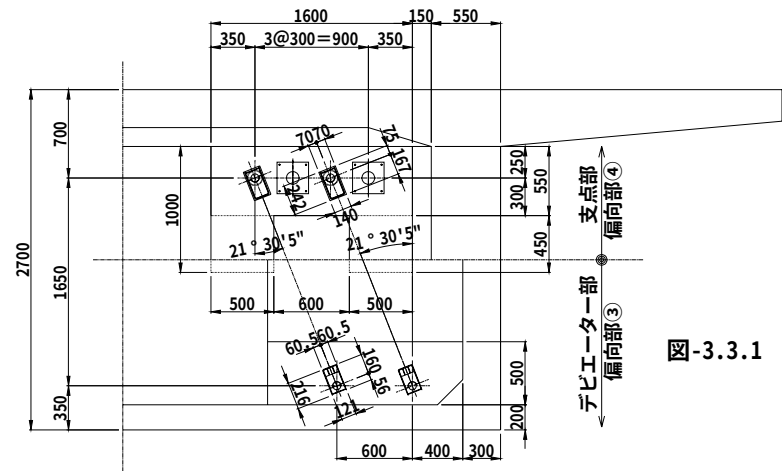


図-3.3.1 外ケーブル補強一般図
(P1-P2 間)

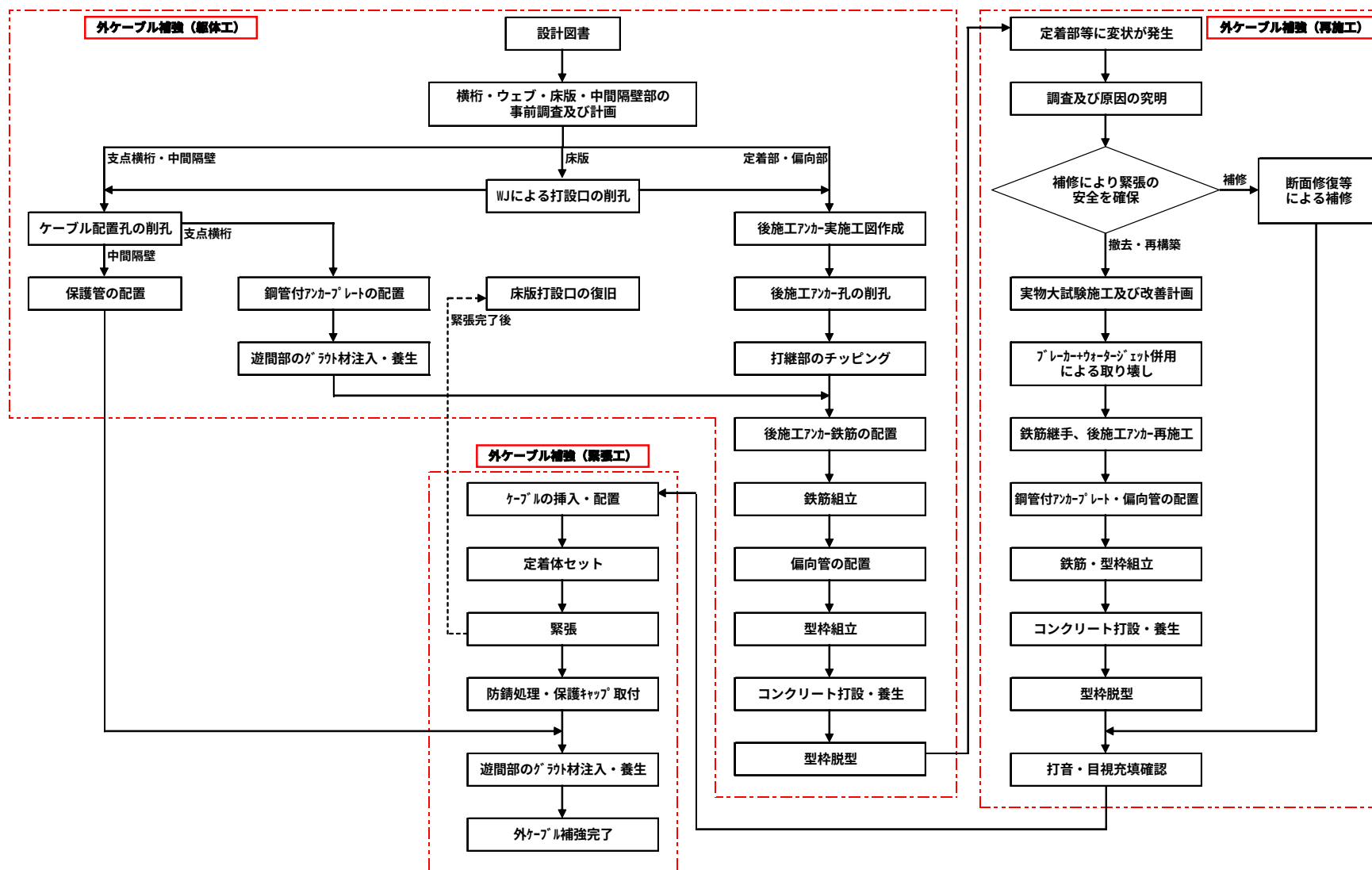


図-3.3.2 外ケーブル工の施工実施フロー

3.3.3 使用材料

(1) 外ケーブル

外ケーブルに使用した材料およびケーブル 1 組当たりの数量を表-3.3.1 に示す。

表-3.3.1 外ケーブルの使用材料(1組当たり)

名称	規格・材質・寸法	数量	備考
外ケーブル	F-200PH-M 19×φ9.5(SWPR7BL)	1本	ポリエチレン被覆
マンション	F-200PH-M用 SCM435 アルミ亜鉛溶射	2本	
ナット	F-200PH用 S45C HDZ55	2個	
鋼管付アンカープレート	F-200PH用 SS400、STKM13A HDZ55	2個	
定着具筋	F-200PH用 SD295 D13	4組	
保護キャップ	F-200PH用 SS400、STK400相当品 HDZ55	2個	
保護キャップ取付ボルト	M10 HDZ35	1式	
防食注入材	ウレタン	1式	端部のみ
防錆テープ		1式	
偏向管	SS400 HDZ55	4個	
偏向具	ナイロン樹脂	4個	
スライドプレート	F-200PH用 SUS フッ素樹脂加工	4本	
SUSバンド	ABA60-80	6個	
保護管	STKM13A HDZ55	1個	
防振ゴム	クロロプレンゴム 硬度55	4個	
SUSバンド	ABA87-112	1個	

(2) 定着部・偏向部構築用コンクリート

コンクリートの配合条件は、主桁コンクリートと同等とし、設計基準強度 36N/mm²、粗骨材最大寸法 20mm、空気量 4.5%とし、スランプは当初構築時では 12cm、再構築時では 18cm に修正した。コンクリートの使用材料を表-3.3.2 に示す。

表-3.3.2 コンクリートの使用材料

材料名	記号	品 名	密度 (g/cm ³)	粗粒率 実積率 (%)	産地、メーカー等
セメント	C	普通セメント	3.15	-	住友大阪セメント(株)
細骨材	S 1	川砂 60	2.57	2.50	中国 福建省産
	S 2	砕砂 40	2.60	2.80	天見産
粗骨材	G	碎石 (Gmax=20mm)	2.68	57.0	須河産
混和剤	A E	高性能AE減水剤 レオトルド SP8SV	1.0	-	(株)ポリリス物産
水	W	地下水	1.0	-	
混和材	CB	膨張材 デンカCSA-S	3.10	-	電気化学工業(株)
流動化剤	-	流動化剤(後添加型) レオパックDX-100	-	-	ライオン(株)

コンクリートの配合表を表-3.3.3 と表-3.3.4 に示す。

表-3.3.3 当初定着部・偏向部構築の配合表

W/C (%)	S/a (%)	単 位 量(kg/m ³)					
		水	セメント	細骨材		粗骨材	混和剤
		W	C	S1	S2	G	AE
41.0	43.7	162	395	452	301	1008	2.37

- 注1) 単位水量は、混和剤を含む。
 2) 単位セメント量は、膨張材20kgを含む。
 3) 流動化剤(レオパックDX-100)は、3.5m³当り5袋とした。

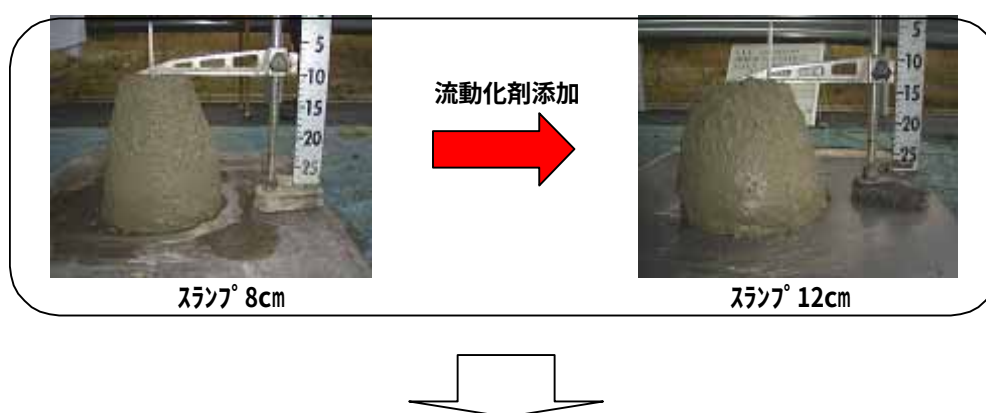
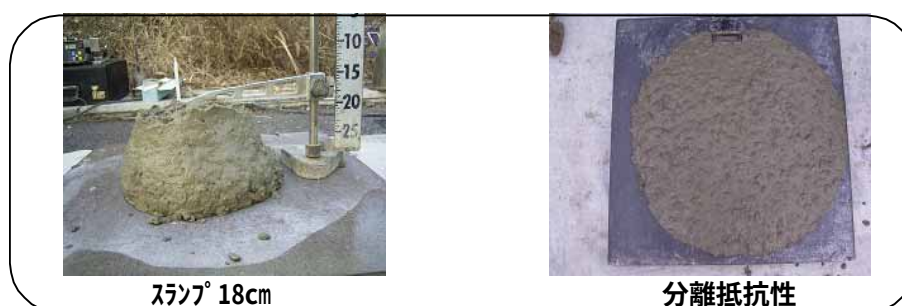


表-3.3.4 定着部・偏向部再構築の配合表

W/C (%)	S/a (%)	単 位 量(kg/m ³)					
		水	セメント	細骨材		粗骨材	混和剤
		W	C	S1	S2	G	AE
41.0	40.7	170	415	412	274	1040	2.49

- 注1) 単位水量は、混和剤を含む。
 2) 単位セメント量は、膨張材20kgを含む。



3.3.4 定着部・偏向部の構築および再構築

定着部・偏向部の当初構築の施工フローを図-3.3.3 に示す。未充てん部の発生に伴う原因究明およびその原因に対する対策の確認実験のフローを図-3.3.4 に示す。再構築の施工フローを図-3.3.5 に示す。

未充てんが発生した原因とその対策について、概要をまとめたものを表-3.3.5 に示す。

表-3.3.5 定着部・偏向部の構築に伴う未充てん発生の原因とその対策

原因	対策	備考
①コンクリートのスランプが、投入口、配筋、型枠形状、締固め等の条件に対して適切でなかった。	コンクリートのスランプを 12cm から 18cm に変更した。	供給生コンプラントで、高流動コンクリートの実績がなく、自己充てん性を満足する配合を選択できなかった。
②コンクリート打込み用の床版投入口が小さく、投入および締固めが十分でなかった。	コンクリート打込み用の床版投入口を拡張した。	床版の損傷を最小限に抑えることを考慮し、投入口の大きさを設定した。
③定着ブロック下面の凹凸が、締固めの条件を悪化させた。	定着ブロックを下面の凹凸をなくした形状に変更した。	付加重量が少なくなるように形状を設定した。
④コンクリートの充てん性を確認できない状況で施工した。	型枠を高さ方向に 2 分割し、下段部分の充てんを確認してから上段を組む方式とした。 また、一部に透明型枠を使用した。	
⑤投入口および上面の隙間が小さく、パイプレータの移動が困難であった。	パイプレータを予め型枠内に必要量配置し、上下移動のみで対応した。	

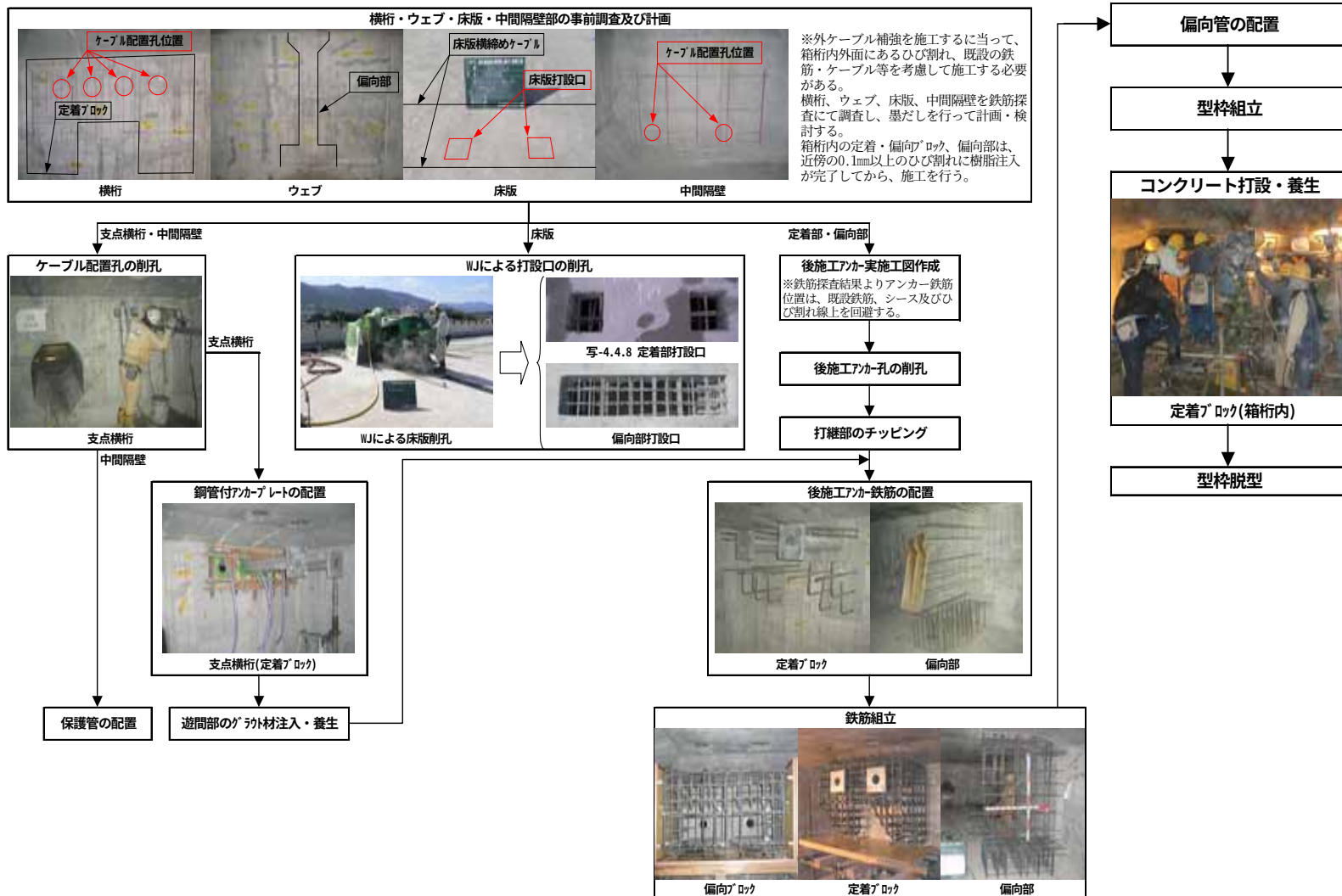


図-3.3.3 定着部・偏向部の当初構築の施工フロー

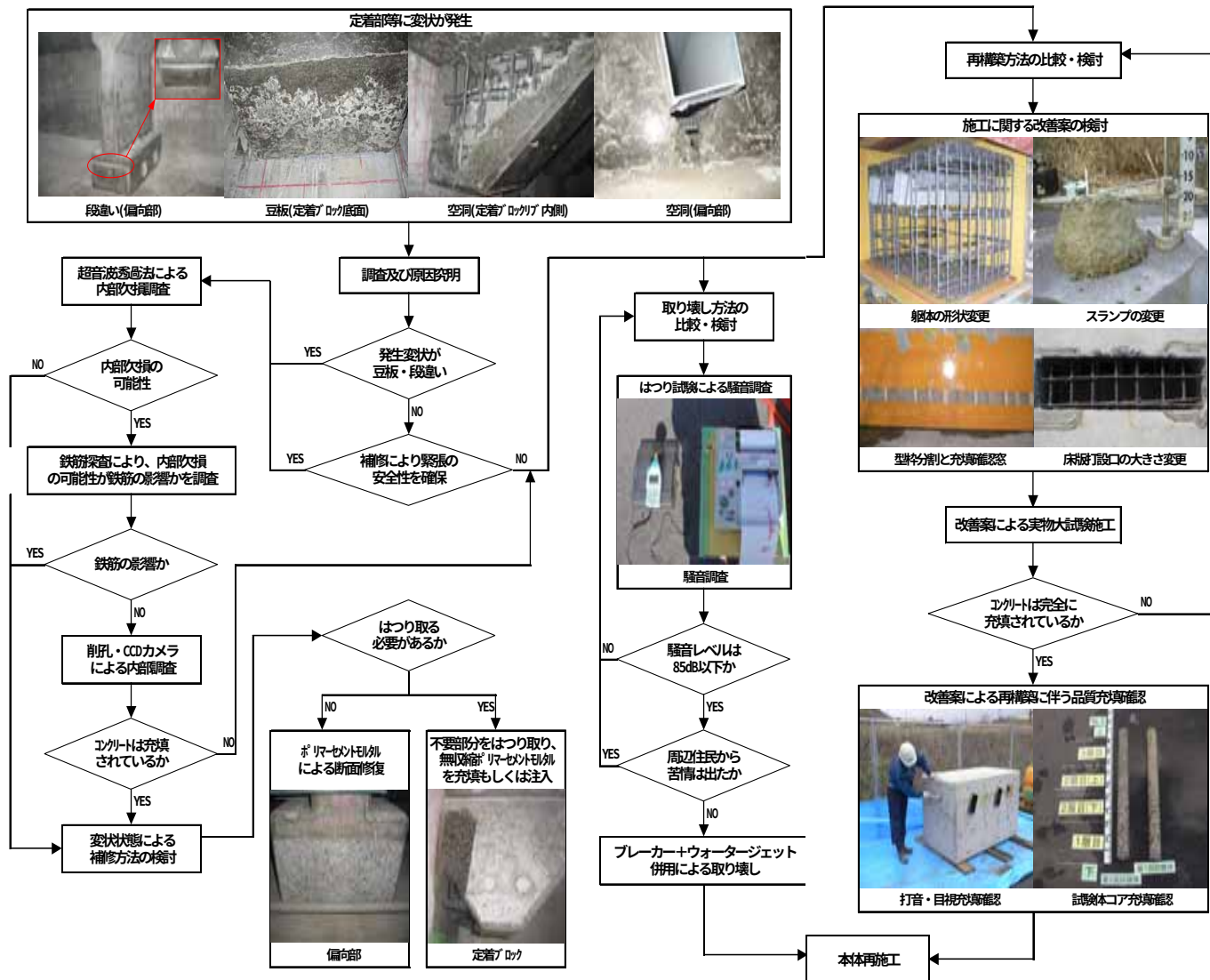


図-3.3.4 未充てん部の発生に伴う原因究明およびその原因に対する対策の確認実験のフロー

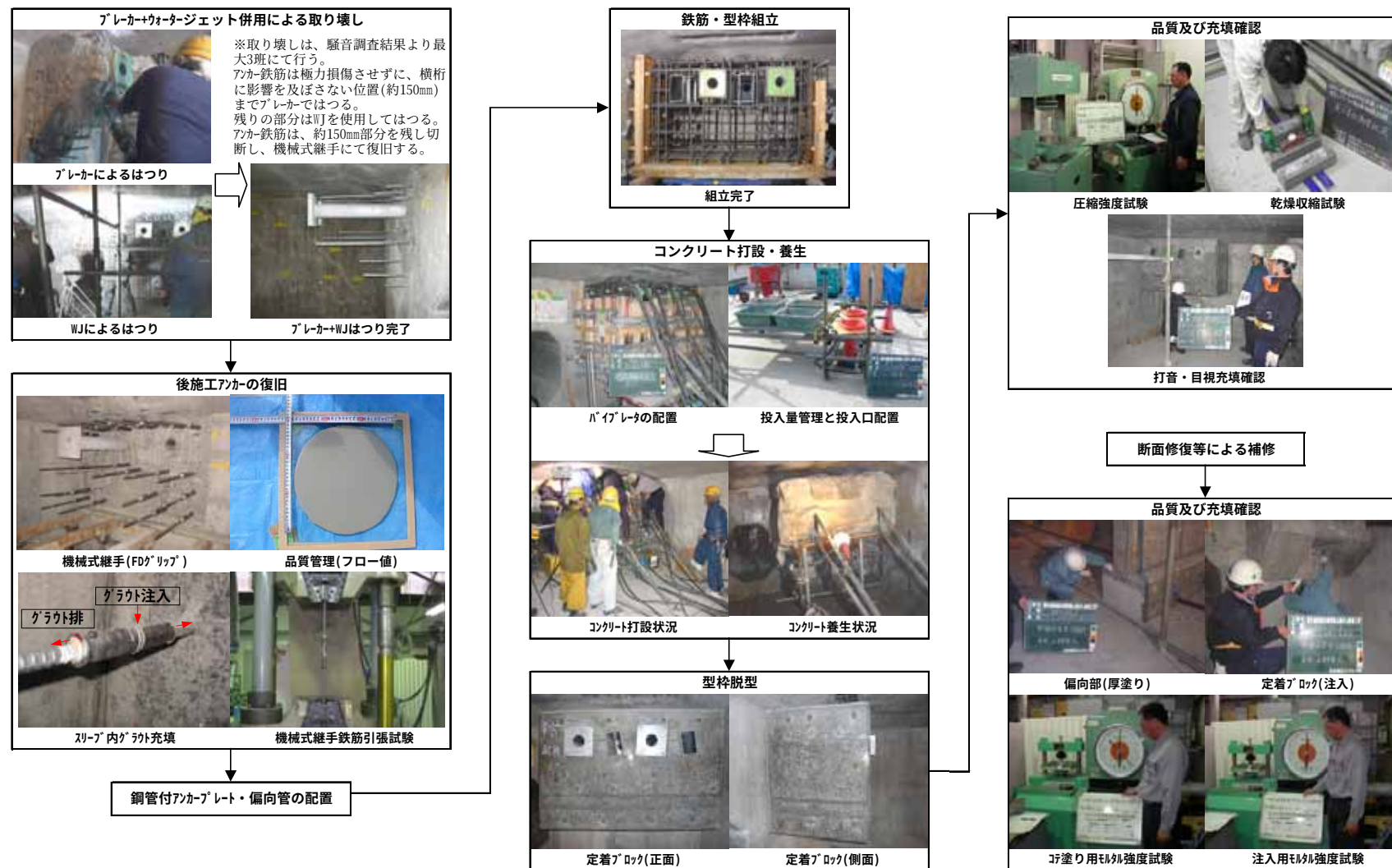


図-3.3.5 定着部・偏向部の再構築の施工フロー

3.3.5 ケーブルの配置および緊張

ケーブルは、各径間 4 本配置し、外側(ウェブ側)の 2 本を緊張し、内側 2 本は予備ケーブルとし、たるみを取る程度に緊張した。緊張は、ジャッキをケーブルの両端に配置し、左右の 2 ケーブルは同時に、段階的に管理しながら行った。

緊張に際しては、たわみ管理、ひび割れ調査、計測器によるモニタリングを併せて実施し、緊張に伴う変状が無いことを確認しながら行っている。

概要フローを図-3.3.6 に示す。

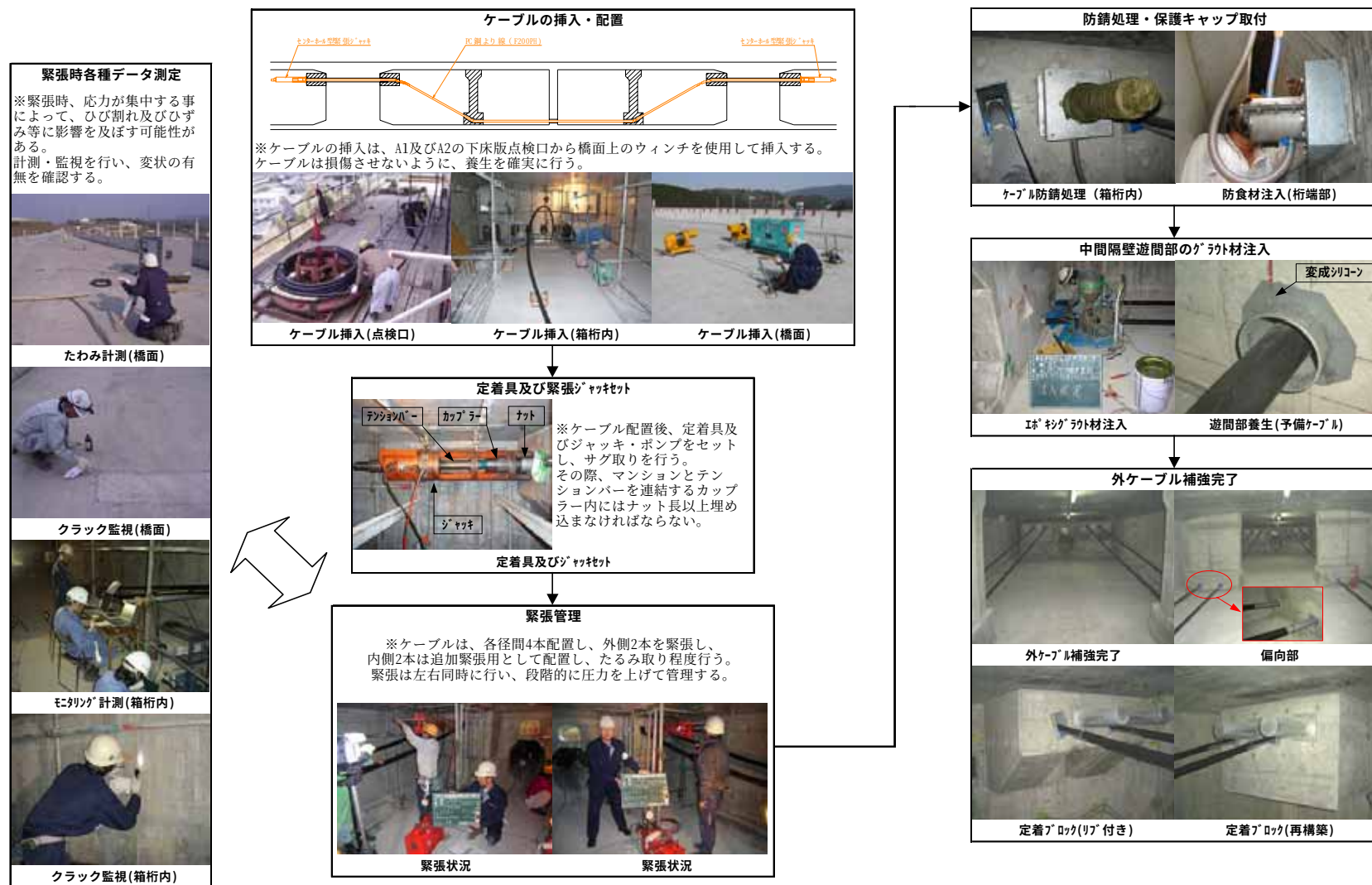


図-3.3.6 外ケーブルの配置および緊張フロー

3.4 上面増厚工

3.4.1 施工概要

上面増厚の主目的は、橋面の出来形・平坦性を回復させることである。副次的効果として、ひび割れの入った床版に鉄筋補強鋼繊維コンクリートの増厚をすることにより、床版への水の浸入を防ぎ疲労耐久性の向上が期待できる。また、箱桁としての剛性を高めることも期待できる。

これらの目的が達成できるように、本施工に先立って、試験施工ヤードを造成し、本施工を模擬した試験施工を実施している。本施工では、試験施工の結果を反映したより適切な施工を実施している。

3.4.2 使用材料

(1) 鋼繊維コンクリートの配合条件

設計基準 強度 (N/mm^2)	鋼繊維の 形状寸法 (mm)	鋼繊維 混入率 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	セメントの 種類	混和剤の 種類
36	$\phi 0.62 \times 30$	1.27 (100)	20	6.5	6.0以下	普通セメント	高性能 AE減水剤

注1) 鋼繊維混入率欄の () 内数値は、鋼繊維混入量 (kg/m^3) を示す。

(2) 使用材料

材料名	記 号	品 名	密度 (g/cm^3)	粗粒率or 実積率 (%)	産地、メーカー等
セメント	C	普通セメント	3.15		住友大阪セメント(株)
細骨材	S1	川 砂 70	2.57	2.50	中国 福建省産
	S2	砕 砂 30	2.60	2.80	天見産
粗骨材	G	碎石 ($G_{\text{max}}=20\text{mm}$)	2.68	57.0	須河産
混和剤	A E	高性能 A E 減水剤 レオネール SP8SV	1.0		(株)ポゾリス物産
鋼繊維	S F	シンコファイバー・トミックス $\phi 0.62 \times 30\text{mm}$	7.85		神鋼建材工業(株)
水	W	地下水、上澄水	1.0		
混和材	CB	膨張材 デソカCSA-S	3.12		電気化学工業(株)

注 1) 骨材の密度は、表乾状態のものである。

2) 細骨材の品名欄の数値は混合割合を示す。合成 F M 2.59

3) 混和剤の使用量。 $C \times 1.25$ %を標準的使用量とする。実際の使用量は実機練りの
の試し練りで決定する。(尚、標準使用量は室内試し練りで確認したものを示す。)

(3) 配合表

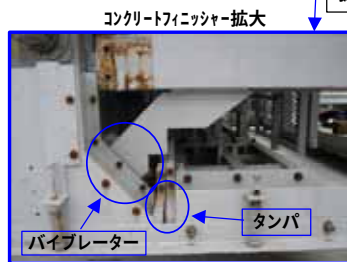
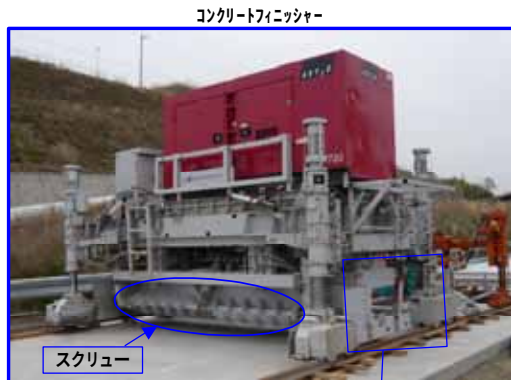
SF混 入率 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m^3)						
			鋼繊維 S F	水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G	混和剤 A E
						S1	S2		
1.27	41.0	52.2	100	162	395	615	267	838	4.94

※単位体積量は膨張材20kgを含む。単位水量は混和剤を含む。

3.4.3 使用機械

増厚コンクリートの施工に使用した機械を図-3.4.1に示す。

- ・コンクリートフィニッシャー（スーパーペーパー）
上面増厚の機械施工時に使用
スクリュウの前に生コンを投入して、均等に敷き均し、スクリュウの後ろのパイプ・タンバで締固めを行う。



機械構造略図



- ・仕上げ機
上面増厚の機械施工時に使用
コンクリート舗装施工時に使用する仕上げ機
通常の上面増厚の施工においては使用しないが平坦性を確保する為に使用した。



- ・切削機（LINAX F-22ST）
上面増厚施工前の床版の切削で使用



- ・WJ研掃機（アササーフェスカーナー SC450）
上面増厚施工前の研掃で使用



図-3.4.1 使用機械の概要

3.4.4 施工フロー

施工にあたっては、図-3.4.2 に示すように施工範囲を①-1～⑤まで順に 6 回に分けて打設を行った。①-1・①-2 は人力にて打設を行い、②～⑤は機械（コンクリートフィニッシャー）にて打設を行った。また、橋軸直角方向の施工打継目は、既設床版と同じ位置（P4 から P3 へ 9m）に設けた。

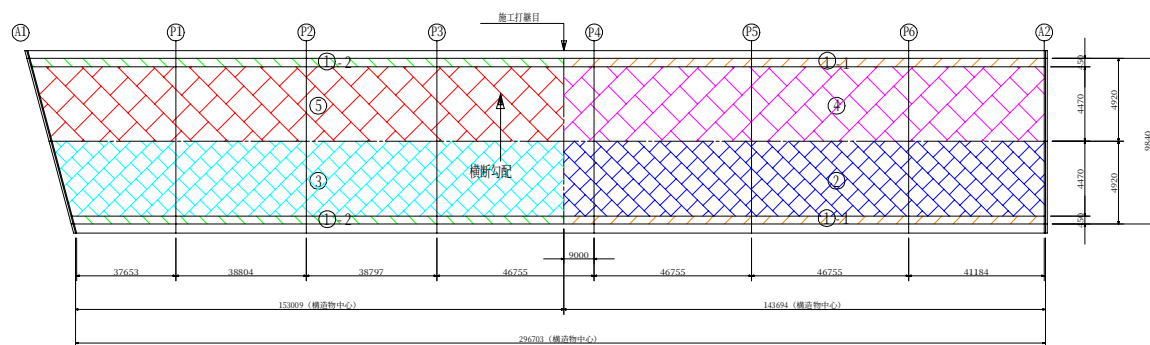


図-3.4.2 増厚コンクリート施工分割概要

各施工範囲の施工フローを図-3.4.3 に示す。

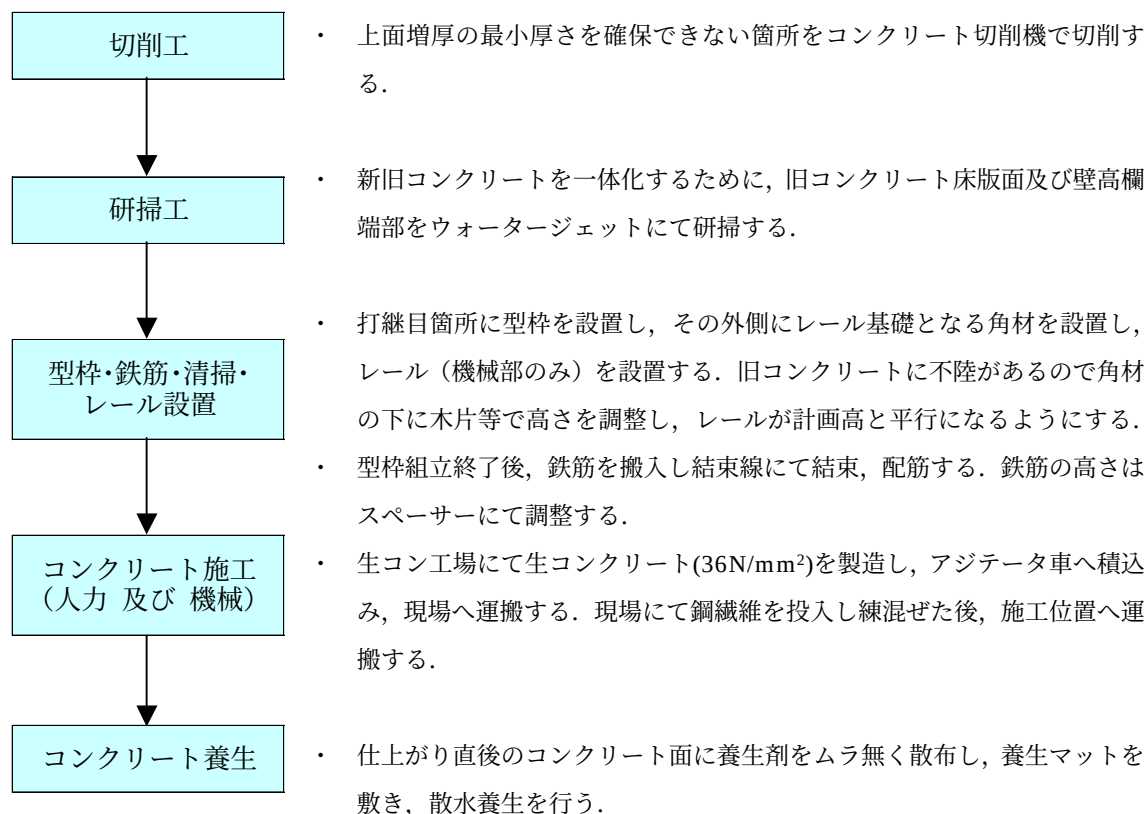


図-3.4.3 増厚コンクリート工の施工フロー

(1) 切削工

- ・ 既設床版の切削は、上面増厚の最小厚さ 76mm を確保できない箇所について実施するものであるが、既設床版の耐力等の面からは、切削深さ及び面積を極力少なくすることに留意した。したがって、橋面高さの規格値（0～+20mm）の 25%（+5mm）以下の切削は行わないこととした。



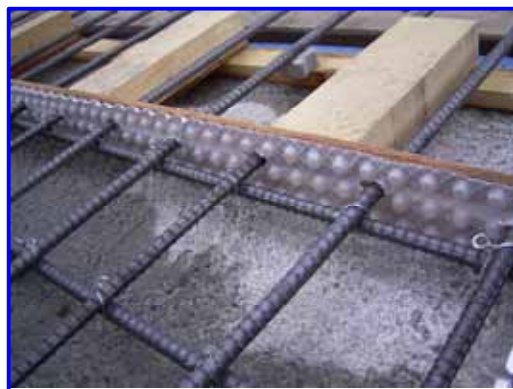
(2) 研掃工

- ・ 研掃は、新旧コンクリートの一体化を目的として行った。
- ・ 研掃には、機械（WJ 研掃機アクサーフェスクリーナー SC450）を使用し研掃時の吐出圧力は 230MPa（使用する機械の最大圧力）とした。
- ・ 事前に実施した試験施工時の付着強度試験結果では、 1.0N/mm^2 以上を満足していることを確認している。



(3) 型枠・鉄筋工

- ・ 人力施工部の型枠の固定方法は、既設床板の損傷を極力少なくするために、コンクリート釘による方法を基本とした。
- ・ 機械施工部の型枠の固定方法は、レールの固定も兼用するので、レールのズレによるフィニッシャーの脱輪を防止するため、ホールインアンカーを使用した。
- ・ 打継目の処理は、打継ぎ用型枠を使用した。



- ・ 鉄筋は D16 を使用し橋軸方向 20 cm ピッチ、橋軸直角方向は 13.5 cm ピッチとし、アジテーター車の通行帯を確保するため、片車線ごとに配筋した。



(4) 増厚コンクリート工

i) コンクリートの供給

- ・ 鋼繊維コンクリートのベースコンはコンクリートプラントよりアジテータ車にて運搬する。
- ・ 運搬時間は約 20 分程度で現場到着後、ベース生コンの品質管理試験を行い、鋼繊維を「エア圧送機」を使用してアジテータ車へ投入し、アジテータ車を高速回転させる。
- ・ エア圧送機を使用することにより、鋼繊維を均等に分散させることで、ファイバーボール（鋼繊維のかたまり）の成形を防止した。
- ・ 鋼繊維投入完了後、再び品質管理試験を行い、打設箇所まで移動した。

ベースコン品質管理試験状況



ベースコンの配合 36-16.5-20N
スランプ・・・16.5±2.5cm
空気量・・・3.0%以下
塩化物含有量・・・0.3kg/m³以下
単位水量・・・162.0±15.0kg/m³

鋼繊維コンクリート品質管理試験状況



鋼繊維コンの配合 36-6.5-20N
スランプ・・・6.5±2.5cm
空気量・・・6.0%以下



鋼繊維投入状況



鋼繊維の分散状況



ii)投入・締固め・仕上げ

- ・ アジテータ車よりバックホーに受けてコンクリートをフィニッシャーの前方に供給し、敷均し、締固める。
- ・ 締固め装置の振動数は、60Hz とし、施工速度を 0.3～0.7m/分で行う。
- ・ フィニッシャーの両端は締固め不良がないように、高周波バイブレーターも使用して締固めを行う。
- ・ 仕上機はフィニッシャーの直後に 1 台、沈降などによる不陸を抑制するため 10m 程度後方に 1 台（人力仕上げ）の計 2 台を配置し、また、プラスチック収縮ひび割れを防止するために、2 機目の仕上機の通過後に養生剤を散布する。



iii)養生工

- ・ コンクリート養生剤散布後、表面を養生マットで覆い、養生マットには十分な水分を含ませて、その上を養生シートで覆った。
- ・ その後も、養生マットが乾燥しないように定期的に散水し、7 日間(の湿潤養生を行った。



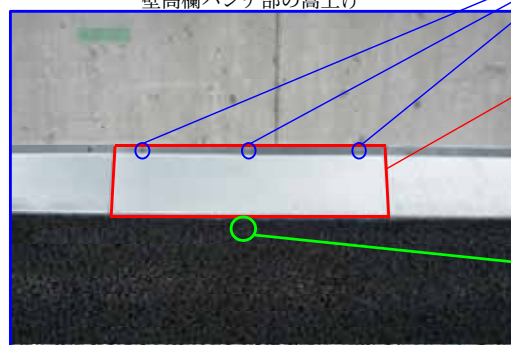
3.4.5 排水柵および壁高欄ハンチ部の嵩上げ

上面増厚コンクリートの施工により、床版の計画高さが96mm上がるため、排水柵および壁高欄ハンチ部の嵩上げを行った。

排水柵嵩上げ(増厚施工前)



壁高欄ハンチ部の嵩上げ



3箇所/ハ° ねをM16ボルト止め

嵩上げハ° ね

材質：SS400、厚さ：6mm、長さ：990mm

亜鉛メッキ塗装HDZ55

1箇所/ハ° ねをM16ボルト止め

(上面増厚コンクリートにインサート埋め込み)

壁高欄ハンチ部の嵩上げ(全景)



4. 対策後の評価

4.1 橋面出来形

上面増厚施工後の橋面高さ測定結果及び平坦性測定結果を図-4.1～4.3に示す。

図-4.1に示す橋面高さ測定結果において、上面増厚施工後の測定結果は規格値の50%以内に入っている。さらに、上面増厚施工前（H18.8測定結果）と施工後（H19.6測定結果）を比べると、施工後の出来形は設計値との差は小さく、またばらつきも少ない。

図-4.2、4.3に示す平坦性測定結果において、橋軸方向・橋軸直角方向共に、規格値を十分に満足しているため、自動車の安全走行には、支障がないものと考えられる。

したがって、今回の上面増厚の主目的である橋面の出来形・平坦性の回復は、十分達成できたものと考えられる。

また、防水層の施工前まで、材齢として2～7週までに於いて、ひび割れの発生は認められなかった。

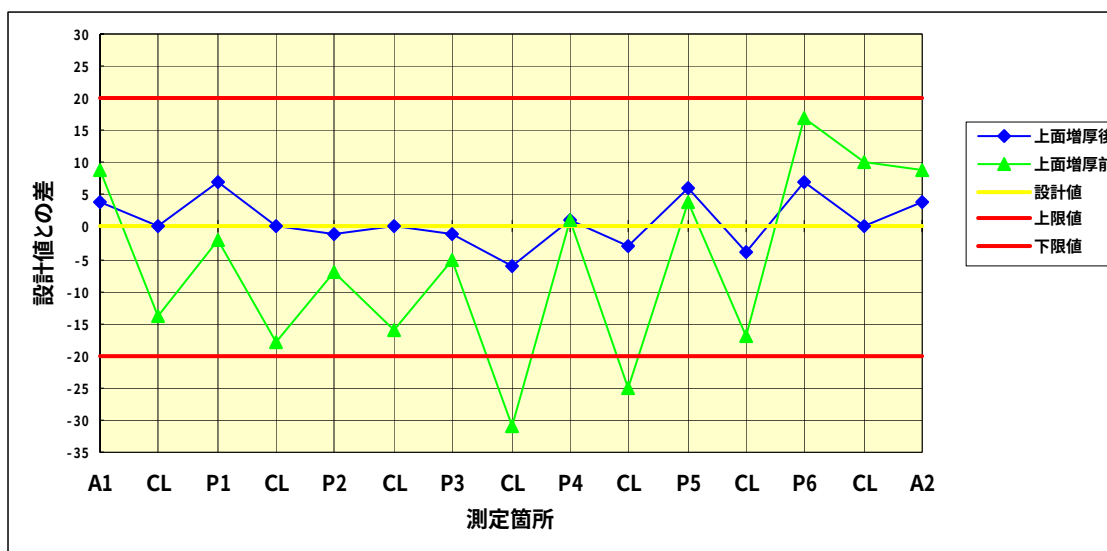


図-4.1 上面増厚施工前後の橋面高さ測定結果

橋面高さ測定状況



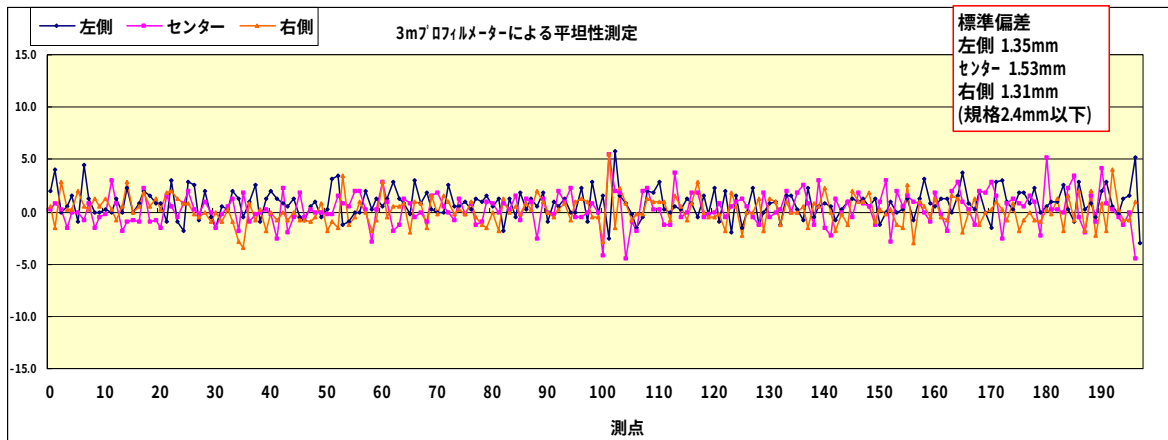


図-4.2 上面増厚施工後の平坦性測定結果(橋軸方向)

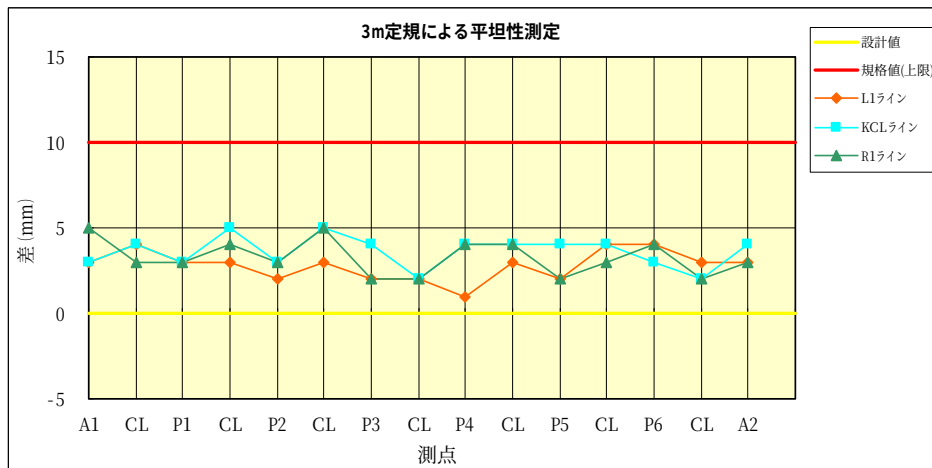


図-4.3 上面増厚施工後の平坦性測定結果(橋軸直角方向)



4.2 曲げ剛性(EI)

(1) 載荷試験

図-4.4 に示すように、トラックを使用した載荷試験を、対策前後に実施し対策効果を確認した。

載荷試験による作用曲げモーメントは、B活荷重の約7割に相当する。

各径間の支間中央に載荷した場合の、各径間の両支点を基準とした支間中央の変位を表-4.1 に示す。

表中の計算値は、高欄も含めた全断面有効とした場合の値である。

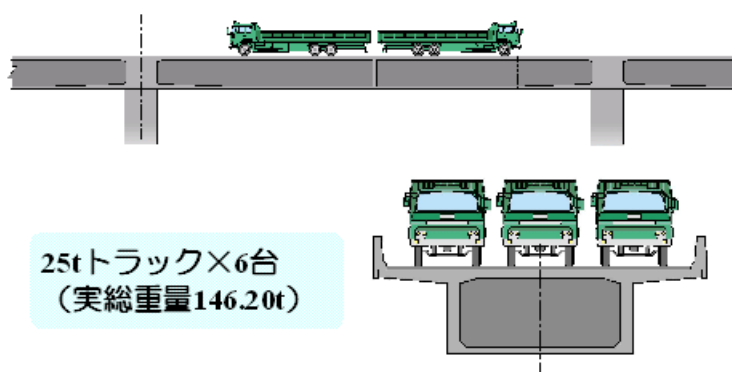


図-4.4 トラック載荷概要

また、実測値の()内の数値は、対策前の計算値に対する比率であり、[]内の数値は、対策後の計算値に対する比率を示す。この値は、全断面有効とした場合の曲げ剛性に対する平均曲げ剛性の比率として捉えることができる。対策前を基準とした対策前後における平均曲げ剛性の結果を図-4.5 に示す。

対策前の剛性は、全断面有効剛性の50～83%であるのに対し、対策後の剛性は、71～89%に増加した。また、それぞれの径間では、6～22%の増加が見られ、対策によって期待した副次的効果は得られたものと判断することができる。

表-4.1 対策前後の載荷試験によるたわみ(剛性)の比較

対象径間	全断面有効時の剛性による計算値 (mm)		実測値 (mm)					たわみ比 ④/③
			補修対策前(平成18年度)		補修対策後(平成19年度)			
	補修対策前 ①	補修対策後 ②	③	①/③	④	①/④	②/④	
A1～P1径間	3.7	3.4	6.7	(0.55)	4.9	(0.76)	(0.69)	0.73
P1～P2径間	2.5	2.3	4.5	(0.56)	3.2	(0.78)	(0.72)	0.71
P2～P3径間	2.0	1.9	4.0	(0.50)	2.8	(0.71)	(0.68)	0.70
P3～P4径間	3.7	3.4	6.7	(0.55)	5.1	(0.73)	(0.67)	0.76
P4～P5径間	3.7	3.5	6.6	(0.56)	5.0	(0.74)	(0.70)	0.76
P5～P6径間	3.6	3.4	6.0	(0.60)	4.7	(0.77)	(0.72)	0.78
P6～A2径間	3.9	3.6	4.7	(0.83)	4.4	(0.89)	(0.82)	0.94

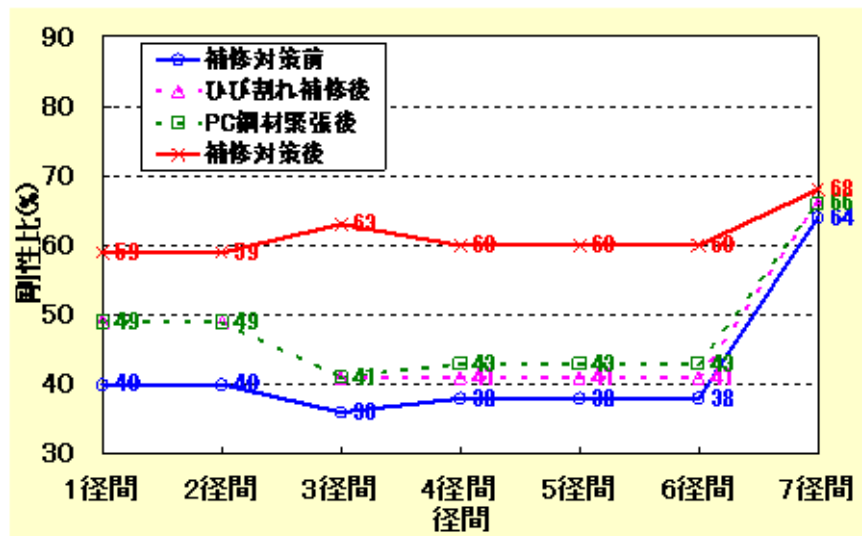


図-4.5 対策前後の载荷試験による剛性の比較

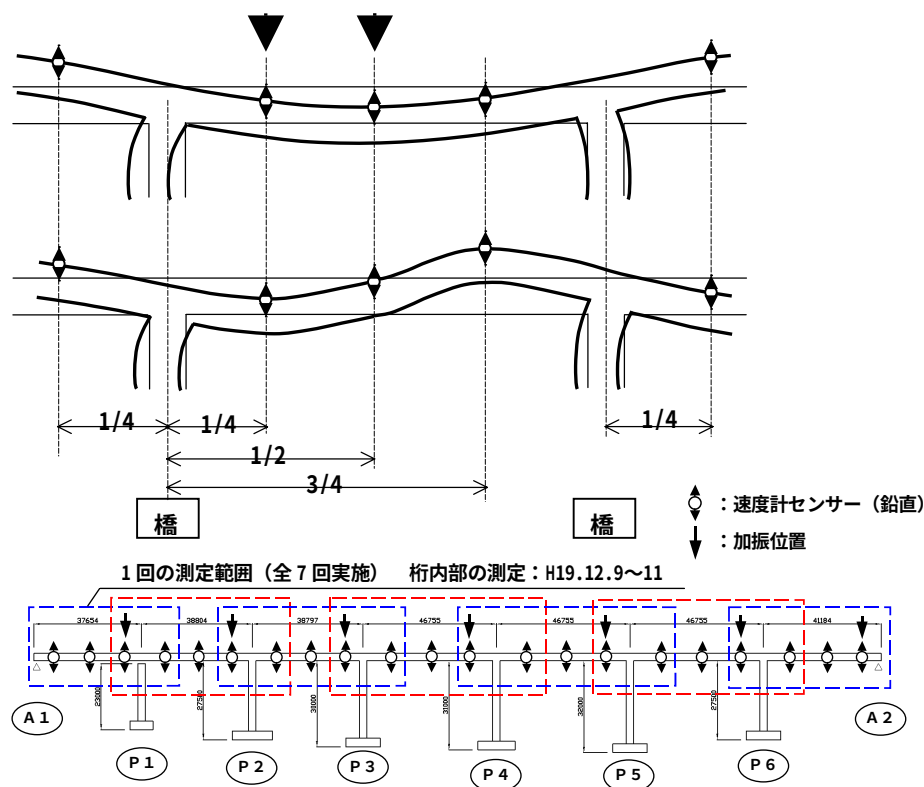
(2) 衝撃振動試験

衝撃振動試験結果から得られる主桁の固有振動数および固有振動モードと、固有値解析で求めた解析固有振動数を比較することで主桁の剛性を評価するものである。

主桁の固有振動数は $f=100\text{Hz}$ 程度以下の帯域にあり、この帯域では加速度計よりも速度計で測定する方が精度が高いため、速度計センサーを設置して重錘加振時の応答波形を収録した。

本橋は連続桁構造であるため、隣接桁の影響も含めた振動特性を把握するものとした。

図-4.6 に示すように、各径間の 1/4 点、1/2 点、3/4 点および隣接桁の 1/4 点に加速度センサーを設置し、3/4 点を加振した。3/4 点を加振することで正確に 1 次モードを把握できているかを確認するために、1/2 点での加振も行った。



加振方法の概要を図-4.7に示す。桁内部で測定した場合には、下フランジに速度センサーを設置すると下フランジの版としての振動が卓越し、2次振動モードの判定が煩雑であったためセンサーは天井に設置した。

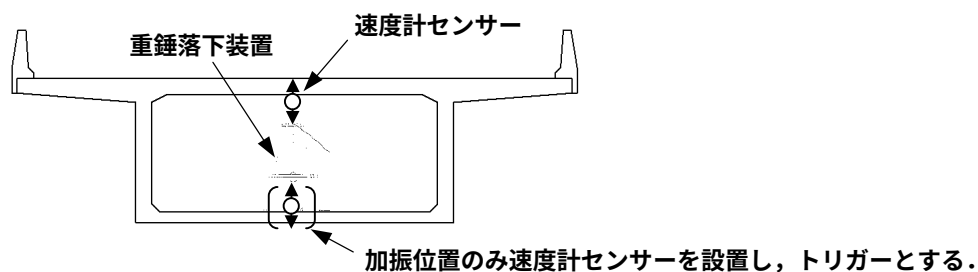


図-4.7 加振方法と速度センサー設置方法

補修ステップごとの衝撃振動試験による主桁剛性の変化を図-4.8に示す。補修対策前と比較して、剛性は、ひびわれ注入後に増加し、外ケーブルによる増加は少なく、上面増厚後に大きく増加した。载荷試験の結果と同様に、対策後において剛性の増加が顕著に見られた。

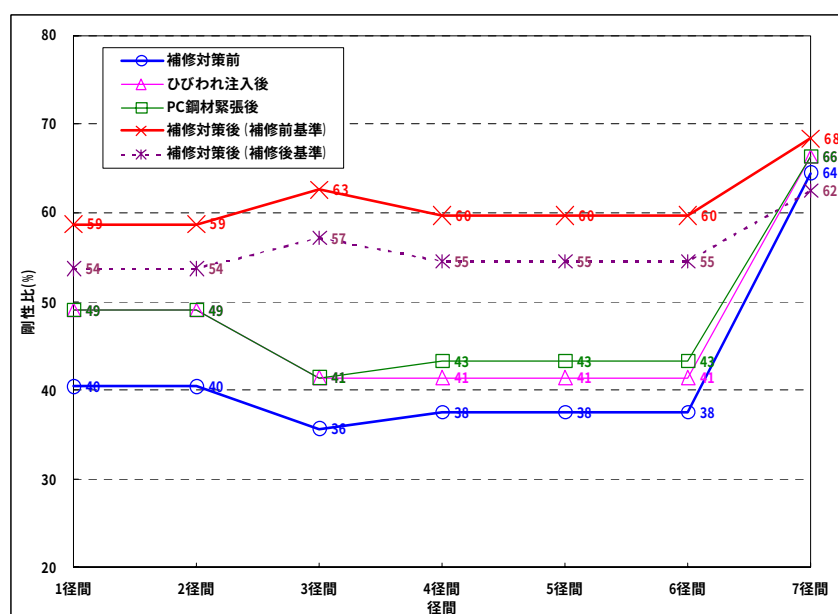


図-4.8 補修ステップごとの主桁剛性の変化

4.3 その他

載荷試験において測定したたわみ以外に、各部位のひび割れ幅およびひずみの測定において、対策前後を比較すると、対策後は対策前に比べて、同等もしくは改善されている傾向を示す結果であった。

4.4 まとめ

対策を実施した結果、現状において以下のことが言える。

- ① 上面増厚工を適用し施工した結果、橋面の出来形の平坦性は±10mm 以内であり、目標とする±20mm を満足するものであった。
- ② ひび割れ注入工、外ケーブル工および上面増厚工を適用し施工した結果、剛性が 6～22%増加し、対策によって期待した副次的効果は得られた。
- ③ ひび割れ注入工およびはく落防止工を適用し施工した結果、発生したひび割れに対する美観および耐久性は、選定した工法に沿った施工がなされており、現時点では確保されているものと判断できる。
- ④ 上面増厚工による疲労耐久性の向上効果については、入念な施工により初期の目標は十分に満足していると思われるが、長期的な安全性については、適用事例がないことから定期点検による確認が必要と考えられる。
- ⑤ ひび割れ注入工およびはく落防止工の長期性能については、今回のような現象に対する適用事例はないことから定期点検による確認が必要と考えられる。