その補強材、本当に、、、。取っていいの？

ゲルバーヒンジ部補修検討業務の事例報告

静岡コンサルタント株式会社　技術二部　設計二課

渡邉　伸一

１．業務概要

静岡県焼津市浜当目地内にて供用中の当目大橋は、(一)静岡焼津線を構成する橋梁であり、海岸線から約 500mの場所に位置している。当該橋梁は、橋長が 137m、上り線は RC7 径間連続ゲルバー式Ｔ桁橋、下り線は鋼 7 径間単純合成鈑桁橋であり、各々、1939 年と 1968 年に建設された。上り線のＴ桁橋にあるゲルバーヒンジ部は吊桁支持工法により補強済みであるが、供用期間を経る中で塩害が進行し、断面修復工による補修が必要な状態に至っていた。本業務では、補修工事を行う際に、支持部材を取り外すための車両制限の検討、施工手順の検討を行った。ゲルバーヒンジ部の健全性は、補修工事の前提となるため、近接目視、打音、ファイバースコープによる調査を行い、損傷度を把握した。また、吊桁支持工法は、ゲルバーヒンジ部の受台と支持部材における荷重分担が明瞭ではないため、現地で載荷試験によるひずみ計測を行って荷重分担を把握した。これらの結果、ゲルバーヒンジ部の RC 構造は、耐荷性能が低下するような損傷を生じていないこと、吊桁から支持部材への荷重作用は小さいことを把握した。次に、建設当時の基準に基づいて、ゲルバーヒンジ部を復元設計することで現在の耐荷性能を評価した。また、格子解析を行って取り外し後の反力を算出し、車両制限を行わなくても支持部材を取り外した状態の安全性が確保されることを確認した。

図 1.1-位置図

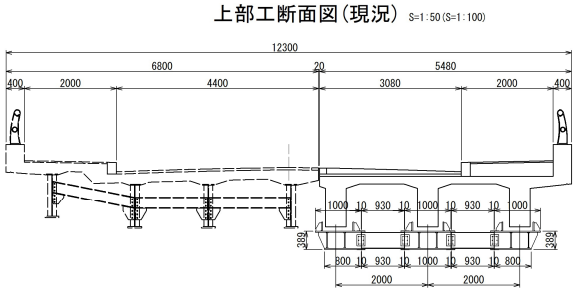

図 1.2-上部工断面図

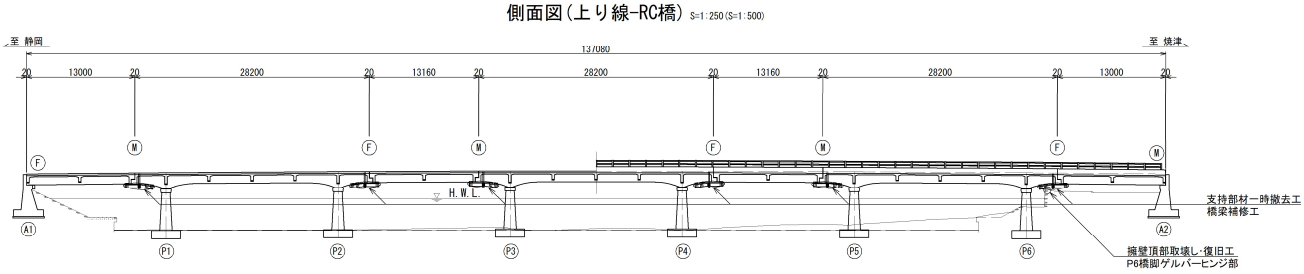

図 1.3-橋梁側面図

写真 1.1-橋面状況(業務着手時)

写真 1.2-側面状況(業務着手時)

写真 1.3-支持部材

２．業務遂行上の問題点

２．１．ゲルバーヒンジ部の構造的な問題

コンクリートゲルバー橋は、発生する曲げモーメントが小さくなる構造のため、補強鉄筋量を削減できるという特徴がある。このため、昭和初期から昭和 20 年代にかけて数多く建設され、その多くが現在も供用されている。しかし、掛け違い部が構造上の弱点となり易く、維持管理が困難な部位であることから、ひび割れ等の損傷が顕在化しているものが多い。

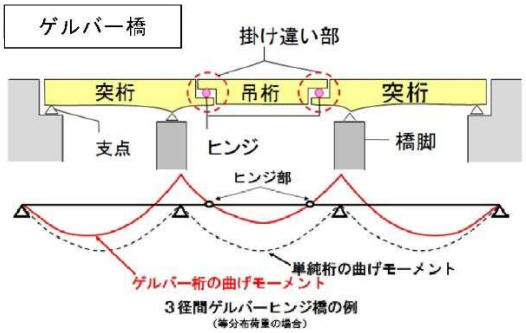

図 2.1.1-ゲルバー橋の構造

以下に、一般的に報告されている問題を示す。

・伸縮装置からの漏水により、支承部が損傷しやすい構造である。

・竣工年度が古く、設計荷重が現行基準と比較して小さいため、耐荷力が問題になる場合がある。

・耐荷性能に影響を及ぼすひび割れや、錆汁を伴うひび割れが発生することがある。

このため、ゲルバーヒンジ部には、補強が施されているものが多く見受けられる。補強工法の一つである、支持工法は、主桁、横桁、橋脚に支持部材を設けて吊桁部を支持し、掛け違い部の荷重分担を軽減する工法である。このうち、吊桁支持工法は、ゲルバーヒンジ部を代替するような形で、鋼材とＰＣ鋼棒を使用し、吊桁部の支持部材を新たに設置する工法である。

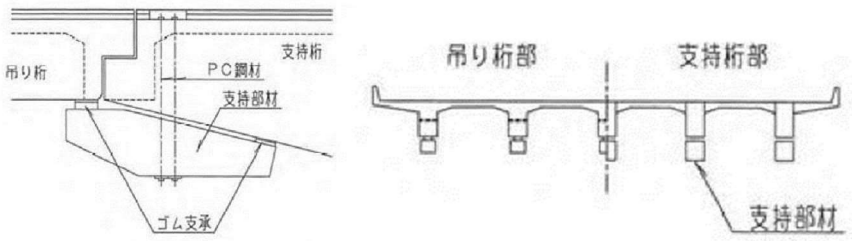

図 2.1.2-吊桁支持工法（左：側面図、右：断面図）

当該工法の特徴は、以下のとおりである。

・掛け違い部での反力を軽減することができる。

・支持桁の反力に対する負担を減少することができる。

・支持工法の施工規模としては最も小さい。

また、設計・施工上の留意点としては、以下のとおりである。

・支持部材設置時に、吊桁の上昇によって、橋面に段差が生じる場合には、対応策を検討する。

・PC 鋼棒を床版に定着するため、定着部に切欠きを設けて、橋面に影響が出ないようにする。

・PC 鋼棒の支点部は、既設部材を削孔して設けるため、既設鉄筋との取り合いに注意する。

・吊桁支持工法により、既存の吊桁へ導入された反力を確認することは困難であるため、維持管理の方法について事前に良く検討しておく必要がある。

本業務では、以上を考慮に入れて慎重に作業を進めた。

２．２．当目大橋の当時の状況と本業務の課題

過年度の別業務において、補修設計が完了しており、以下の損傷状況が確認されていた。

・ゲルバーヒンジ部の主な損傷は、漏水、ひびわれ、剥離･鉄筋露出、うき 等である。

・主桁では、塩害が進行していることが確認されており、ゲルバーヒンジ部も同様の状況と考えられた。（鉄筋かぶり 20㎜に対し、発錆限界値を超える範囲は、コンクリート表面より 20㎜の範囲）

・主桁では、中性化が進行していることが確認されており、ゲルバーヒンジ部も同様の状況と考えられた。（20㎜～50㎜程度）

・吊桁支持工法の PC 鋼棒の腐食、支持部材の防食機能の劣化が進行していた。

写真 2.2.1-支持部材

写真 2.2.2-ゲルバーヒンジ部の漏水

写真 2.2.3-PC 鋼棒の腐食

上記への対策として、ゲルバーヒンジ部に対して以下の補修計画が立案されており、本業務の着手時点では工事中の状況であった。

・断面修復工（塩分吸着剤含有ポリマーセメント）

・ひび割れ補修工

・表面保護工

・吊桁支持工法の PC 鋼棒取替え、支持部材の再塗装

その際、以下の理由により、吊桁支持工法の支持部材を取り外す必要があったことから、再度、調査・検討を行って、支持部材を取り外す計画を立案することが本業務の課題であった。

・設置済みの吊桁支持工法の支持部材は、断面修復工、ひび割れ補修工、表面保護工を行う上で、支障となる。

・吊桁支持工法の PC 鋼棒を取り替えるには、作用している吊桁支持工法の支持部材の荷重を一時的に除荷しなければならない。

３．課題解決策の検討

本業務では、考えられる対処方法を検証し、調査で明らかにすべき事柄を整理した。これを踏まえ、柔軟に工法検討できるよう十分に調査を行って、妥当な解決策の立案を目指した。

３．１．着手時に想定された対処方法

①仮設備を利用して支持する方法（従来の対応策案）

大型移動支保工設備やベントによる支持を行って、吊桁の荷重を仮受けしてから、補修工事を行う方法である。吊桁支持工法を容易に撤去できるメリットはあるが、大型移動支保工設備の設置は、長期間の通行止めを伴い、社会的な影響が甚大である。ベントの設置は、河川の水位が年間を通して高いことにより、河川管理上の問題が非常に大きい。このため、これらは、現実的な計画とならないと考えられたことから、選択肢から除外した。

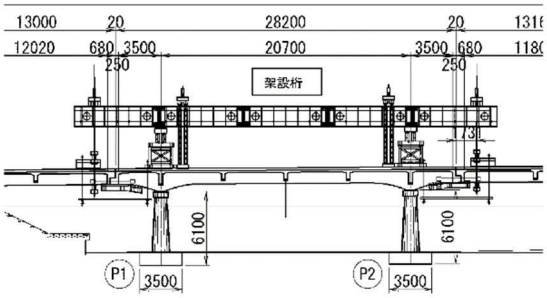

図 3.1.1-大型移動支保工設備の例

②代替する支持部材の増設

吊桁支持工法の支持部材、PC 鋼棒を代替する部材の増設により、吊桁の荷重を仮受けしてから、作業を行う。従来案に見られる問題はないが、増設する部材への作用荷重は、現在の支持部材に作用する荷重としなければならないため、ゲルバーヒンジ部との分担比率を明らかにすることが課題となる。

③支持部材をそのまま取り外す

ゲルバーヒンジ部の調査の結果、支持部材へ作用する荷重に応じてゲルバーヒンジ部を補強できる場合、あるいは無補強で十分な耐力を保持する場合には、そのまま取り外すことができる。これには、ゲルバーヒンジ部と PC 鋼棒の健全性を明らかにすることが課題となる。

３．２．工法検討のための現状把握

詳細に調査することによって、状況を正確に把握し、対処方法の立案に繋がる新たな認識が得られることを目指した。特に、本業務においては、①ゲルバーヒンジ部の健全性と耐荷性能②ゲルバーヒンジ部と吊桁支持工法の荷重分担③PC 鋼棒の健全性を正確に把握するよう慎重に作業を進めた。

①ゲルバーヒンジ部の健全性と耐荷性能

ゲルバーヒンジ部受桁の損傷調査として、目視調査･打音検査･ファイバースコープによる調査を実施した。(P3 橋脚および P5 橋脚のゲルバーヒンジ部については、側面の遊間にシール処理が施されており、下面の遊間も小さかったため、ファイバースコープによる調査は実施できなかった。)

- 近接目視･打音検査によってうきが発生している状況を確認したが、表層部であったため、耐荷性能への影響はないと判断された。(過年度設計の評価と同様に塩害および中性化が原因と推定)
- 遊間部からファイバースコープを入れ、ゲルバーヒンジ内部を確認したところ、コンクリート面は健全であり損傷は見られなかった。

写真 3.2.1-ゲルバーヒンジ部漏水

写真 3.2.2-ファイバースコープ

写真 3.2.3-撮影状況

以上により、構造的な問題は無いと考えられたことから、<u>ゲルバーヒンジ部は建設当初の耐荷性能を保持していると判断された。</u>

②ゲルバーヒンジ部と吊桁支持工法の荷重分担

吊桁支持工法への荷重作用の確認として、静的載荷試験を行った。利用した計測システムは、各所ひずみゲージを取付設置後、配線をブリッジボックスに結線し、専用動ひずみレコーダーにて計測・記録することができる。計測データは、計測の都度、メモリーカード（コンパクトフラッシュ）に記録保存される。専用ソフトの入っているパソコンで、計測後に波形の確認が可能である。

写真 3.2.4-PC 鋼棒ひずみゲージ

写真 3.2.5-支持部材ひずみゲージ

写真 3.2.6-受桁ひずみゲージ

写真 3.2.7-計測状況

写真 3.2.8-載荷車両(25t)

写真 3.2.9-輪荷重位置

・ひずみ測定結果は、いずれの箇所においても、±1 桁×10^{-6}を示し、大きくても 20×10^{-6}程度と、非常に小さい値となった。活荷重の載荷ケースを比較しても、重量が増えるほどひずみの値が大きくなる箇所もあるが、はっきりとした相関関係は見られない。

・支持部材に作用している荷重は非常に小さく、上部工と接していることで活荷重の影響が僅かに作用したものと考えられた。（場所によっては、桁と支持部材は接していない場所も存在する。）

・試算によると、ゲルバーヒンジ部と支持部材の荷重分担比率は、30：1 であった。

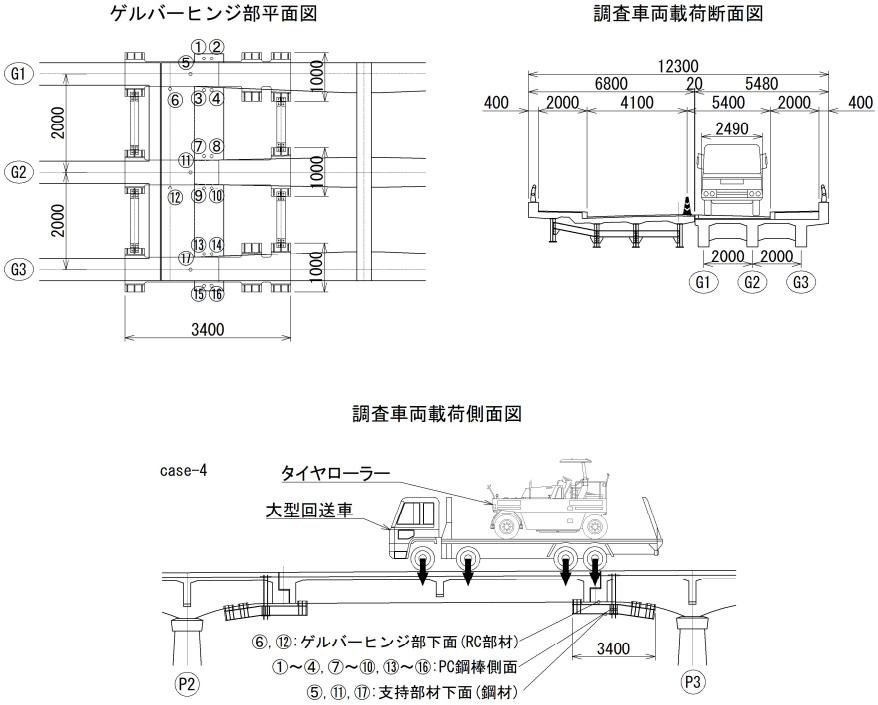

図 3.2.1-載荷方法概要図

表 3.2.1-計測結果一覧表

支持部材

項目		単位	計算値
G1桁	計測ひずみの最大値⑤	1×10^-6	1
	応力度	N/mm2	0.200
	曲げモーメント	KN・m	0.896
	作用力	KN	0.689
G2桁	計測ひずみの最大値⑪	1×10^-6	4
	応力度	N/mm2	0.800
	曲げモーメント	KN・m	3.585
	作用力	KN	2.758
G3桁	計測ひずみの最大値⑰	1×10^-6	4
	応力度	N/mm2	0.800
	曲げモーメント	KN・m	3.585
	作用力	KN	2.758

ゲルバーヒンジ部下面

		単位	計算値
G1桁	計測ひずみの最大値⑥	1×10^-6	5
	応力度	N/mm2	0.100
	曲げモーメント	KN・m	9.945
	作用力	KN	22.605
G2桁	計測ひずみの最大値⑫	1×10^-6	3
	応力度	N/mm2	0.060
	曲げモーメント	KN・m	5.967
	作用力	KN	4.523

PC鋼棒

項目		単位	計算値			
G1桁	計測ひずみの最大値	1×10^-6	①	②	③	④
			6	3	10	7
	応力度	N/mm2	1.200	0.600	2.000	1.400
	作用力	KN	0.499	0.250	0.831	0.582
G2桁	計測ひずみの最大値	1×10^-6	⑦	⑧	⑨	⑩
			14	10	12	11
	応力度	N/mm2	2.800	2.000	2.400	2.200
	作用力	KN	1.164	0.831	0.998	0.915
G3桁	計測ひずみの最大値	1×10^ 6	⑬	⑭	⑮	⑯
			24	15	9	8
	応力度	N/mm2	4.800	3.000	1.800	1.600
	作用力	KN	1.995	1.247	0.748	0.665

以上により、<u>ゲルバーヒンジ部は、比較的健全な耐荷機構を発揮しており、支持部材やＰＣ鋼棒への荷重作用はごく僅かであることが明らかになった。</u>

③PC 鋼棒の健全性

全ての PC 鋼棒(4 本/1 主桁×3 主桁×6 箇所＝72 本)を対象として、損傷調査を実施した。損傷調査は、PC 鋼棒の目視調査と、PC 鋼棒の減肉調査(ノギスによる計測)とした。

写真 3.2.10-PC 鋼棒の腐食

写真 3.2.11-ナットの腐食

写真 3.2.12-遊離石灰の析出

・PC 鋼棒のカバーが損失し、腐食しているものが見られる。大半は表面的な錆のみで断面欠損は見られないが、一部減肉しているものがある。(腐食した PC 鋼棒-72 本中 27 本、その内減肉 7 本)
・ほぼすべての PC 鋼棒のナットに、表面的な腐食が見られる。断面欠損等は見られない。(腐食したナット-72 本中 64 本)
・一部の PC 鋼棒において、桁への埋込の境界部分に、遊離石灰が見られる。(遊離石灰-72 本中 18 本)
損傷の原因は、以下のとおりであると推定した。
・PC 鋼棒のカバーが劣化し、カバー内に雨水が浸入して、PC 鋼棒の腐食を促進した。
・ボルトは、気中での乾湿繰り返しにより、経年的に劣化した。
・橋面から、ＰＣ鋼棒とコンクリートの境界に雨水が浸入し、継ぎ目部分からコンクリートの石灰分が析出した。

調査結果等を整理して試算を行い、健全部の耐力は、PC 鋼棒に作用する最大荷重に対して 1.3 倍程度の耐力を有しており、減肉部の耐力は 1.1 倍程度の耐力を有していることが明らかになった。(最大荷重は、支持部材の最大抵抗モーメントに相当する荷重が作用した状態において PC 鋼棒に生じる引張力として評価)以上から、**PC 鋼棒は耐荷力不足の状態にはないことが明らかとなった。**

３．３．対処方法の立案

①復元設計と施工時の照査

上り線は、1939 年に建設され、その後、1968 年に下り線が建設されている。上り線の竣工図書は、残されていないものの、下り線の竣工図書により、改築の経緯が判明した。

・当初は、２車線で供用されており、壁高欄が設置されていた。

・現在は、１車線の車道とマウントアップの歩道に変更されている。

これを踏まえ、当初の断面形状、活荷重を評価し、復元設計を行った。許容応力度は、当時の基準に基づいて、鋼材を 120N/mm^2、コンクリートを 4.5N/mm^2 とし、ヒンジ部受台上面の鉄筋をφ19mm-ctc.300 と評価した。

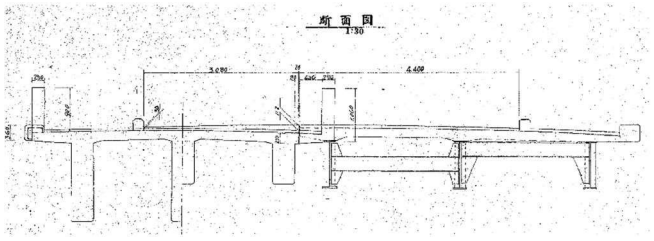

図 3.3.1-上り線計画断面図

補修工事を行う際、現況交通を確保し、支持部材を取り外すことが最も望ましいことから、現行基準に則して格子計算により、活荷重時の反力を算出し、照査を行った。(許容値は、建設当初の値とする。)

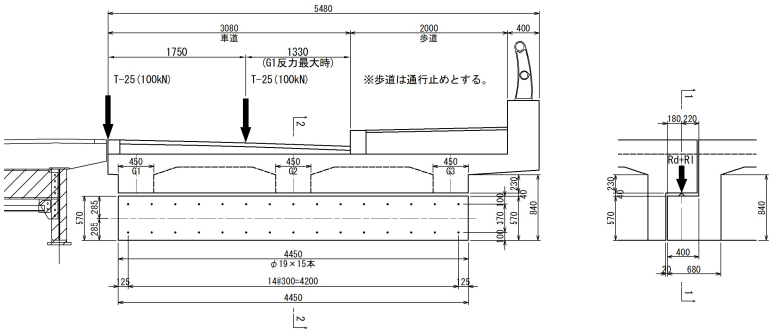

図-3.3.2-計算モデル図

○応力度照査結果

①T-25

	記号	単位	計算値			
死荷重反力	Rd	kN	593			
活荷重反力	Rl	kN	336			
反力合計	Rd＋Rl	kN	929			
圧縮応力度	σc,σca	N/mm2	2.2	≦	4.5	OK
引張応力度	σs,σsa	N/mm2	113.4	≦	120.0	OK

②L-25(B活荷重反力)

	記号	単位	計算値			
死荷重反力	Rd	kN	593			
活荷重反力	Rl	kN	366			
反力合計	Rd＋Rl	kN	959			
圧縮応力度	σc,σca	N/mm2	2.2	≦	4.5	OK
引張応力度	σs,σsa	N/mm2	117.1	≦	120.0	OK

表 3.3.1-計算結果一覧

Ｔ荷重作用時、Ｌ荷重作用時の両者において、支持部材が無い状態で照査を満足する結果を得た。このため、施工時に、支持部材を一時撤去しても、構造的な問題がないと判断した。なお、格子計算では、施工時の状態を想定し、歩道部に荷重を載荷していないため、上り線側の歩道を通行止めとすることを施工条件とした。以上により、代替する支持部材の増設とゲルバーヒンジ部の補強は不要であると判断された。

②PC 鋼棒の補修

腐食や減肉を放置すると、腐食が進み断面欠損や破断、ボルトの脱落に至る恐れがあるため、ケレンして錆を除去し、防錆処理を行う必要があると判断した。ボルト部は、防食機能を高めるため、防錆キャップを設置し、桁への埋込の境界部分は、漏水を防止するため、シール処理を行う計画とした。なお、現在までの吊桁支持工法の供用年数と肉厚減少の進行度合いから、劣化予測を行って残存寿命を把握した。その結果、減肉の進行によって、24 年後に PC 鋼棒の耐力が不足すると推定したため、PC 鋼棒は取替えでなく補修を採用した。

③施工計画の立案

施工時に生じると予測される課題を克服するよう配慮し、事例も活用して施工計画の精度を向上した。

ステップ図の作成により、荷重作用の問題を逐次検証し、対策を講じた。チェーンブロックの利用に当たっては、荷重の偏りが生じないよう、自在アイボルトと自在横吊クランプの利用を提案した。また、このことにより、支持部材を取り外して降下させた状態は、不安定で揺れによる事故の発生が懸念されたため、揺れ防止チェーンを取付ける計画とした。

類似案件の事故事例等を調査し、同様の事故が発生しないよう検討した。事故事例としては、支持部材を降下させる際、支承と桁が接着された状態になっていたことで、チェーンブロックの操作に伴って降下しなかったにもかかわらず、そのまま作業を継続したことによって、急激な支持部材の落下に至った事例があった。このため、留意事項として記載し、作業への注意喚起を行った。

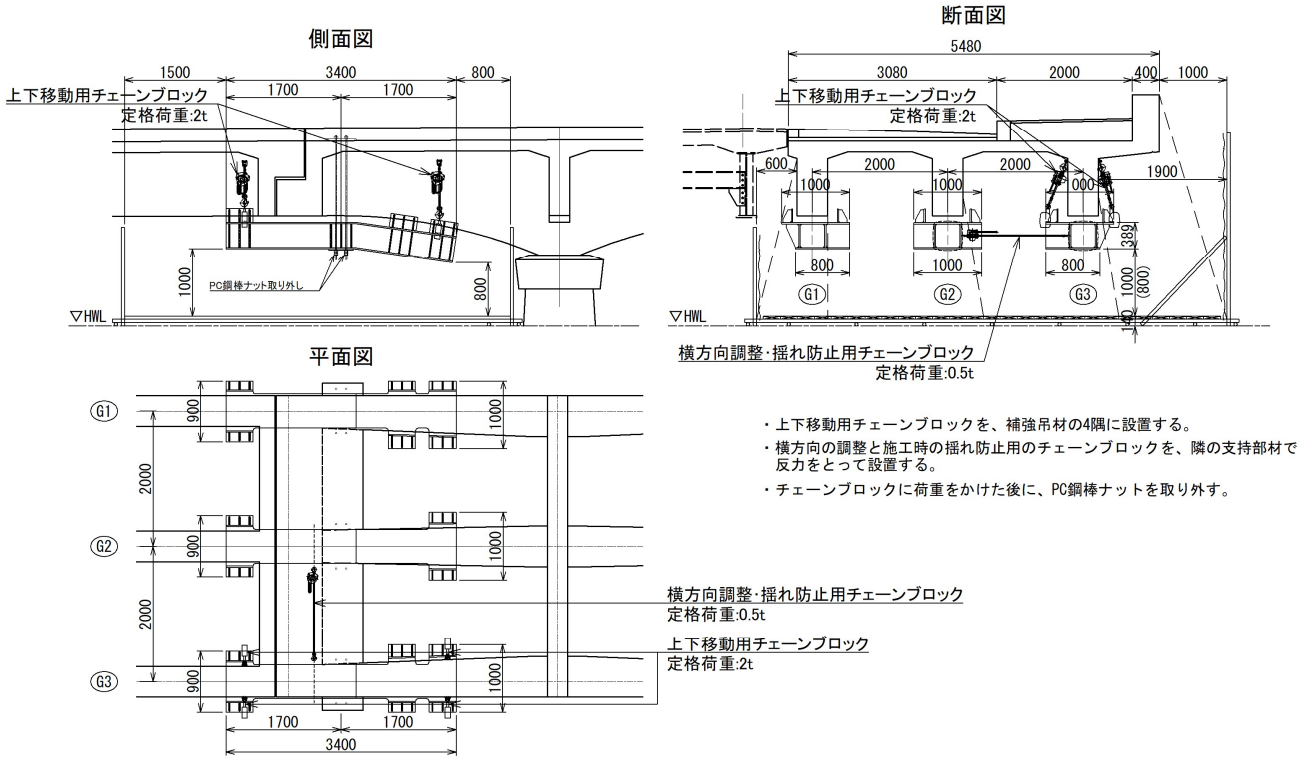

図 3.3.3-施工計画概要図

４．おわりに

今回実施した内容は、目新しいものではなく、既存の技術を利用しているに過ぎないが、最重要事項として着目した「吊桁支持工法の荷重作用を明らかにする」ことを実現できたことにより、良い結果につながったと考える。これには、以下の点を意識して作業したことが、良い影響を及ぼしたと言える。

・認識を整理する。　⇒　課題に向き合い、問題点を整理する。

・現状を慎重に見直す。　⇒　問題や課題を踏まえて見直し、必要な場合は認識を更新する。

・高い洞察力が要求される。　⇒　知見の共有による改善が有効である。

特に、現状の見直しや認識の更新の過程では、足場がかかっている状況での調査が行えたことにより、落ち着いて十分な調査ができたことが良い結果に繋がったと考える。これには、発注者や現場の方々のご協力が大きかったと考えており、ここで感謝を申し上げます。また、高い洞察力の部分は、社内の知見の共有が功を奏していると考える。筆者は、ゲルバーヒンジ部の補強についての経験が皆無でしたが、上司からの助言や蓄積された成果物を参照することにより、適切な判断を形成することができたと思います。最後に、皆様へのお礼を述べて、締めくくりとします。

５．参考文献

(財) 道路保全技術センター／コンクリートゲルバー橋維持管理ガイドライン(平成 15 年度報告書)

(一財) 土木研究センター／月刊土木技術資料に掲載された土木用語の解説　[https://www.pwrc.or.jp/yougo_g/a.php]