

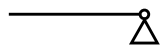

Ⅱ. 橋の応力状態を把握するための調査及び解析

Ⅱ．Ⅰ 段差発生事象の解析的検討結果（本編 3.2）

1. 段差発生前までの復元

解析は、弾性はり要素の2次元フレーム解析で実施した。上部工のモデル化では、桁の剛性に加え既設PC鋼材とB活荷重補強の外ケーブルの剛性を考慮した。また、下部工のモデル化では鉄筋をコンクリート換算した断面の剛性を考慮し、炭素繊維補強や落橋防止ケーブルは考慮していない。なお、橋脚は、柱頭部を剛結とするラーメン構造でモデル化し、橋脚基礎は固定として解析を行った。支点条件は、表 1.1 に示す条件を設定して解析を行った。

表 1.1 解析上の支点条件

段差発生前 橋台・ヒンジ部支点条件		
A1・A2橋台	鉛直・水平拘束、回転拘束無	
ヒンジ部	鉛直拘束、水平・回転拘束無	

段差発生前の状態を復元（試算）した結果として、反力図を図 1.1 に、主要施工ステップにおける応力図を図 1.2～図 1.5 に示す。

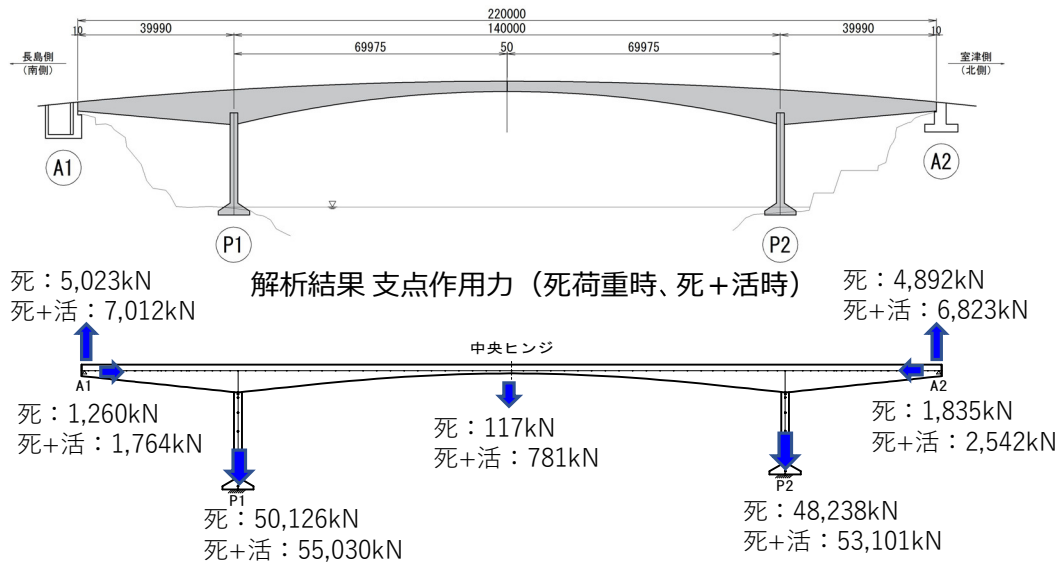
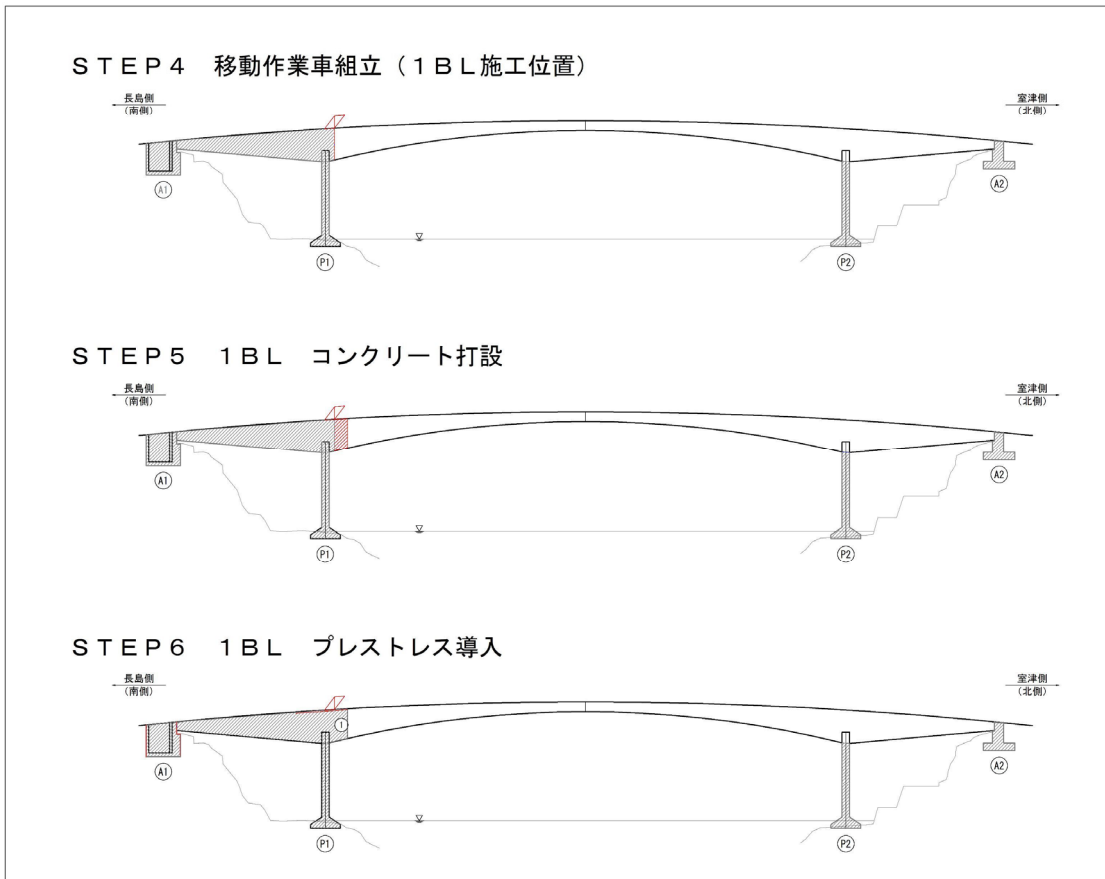
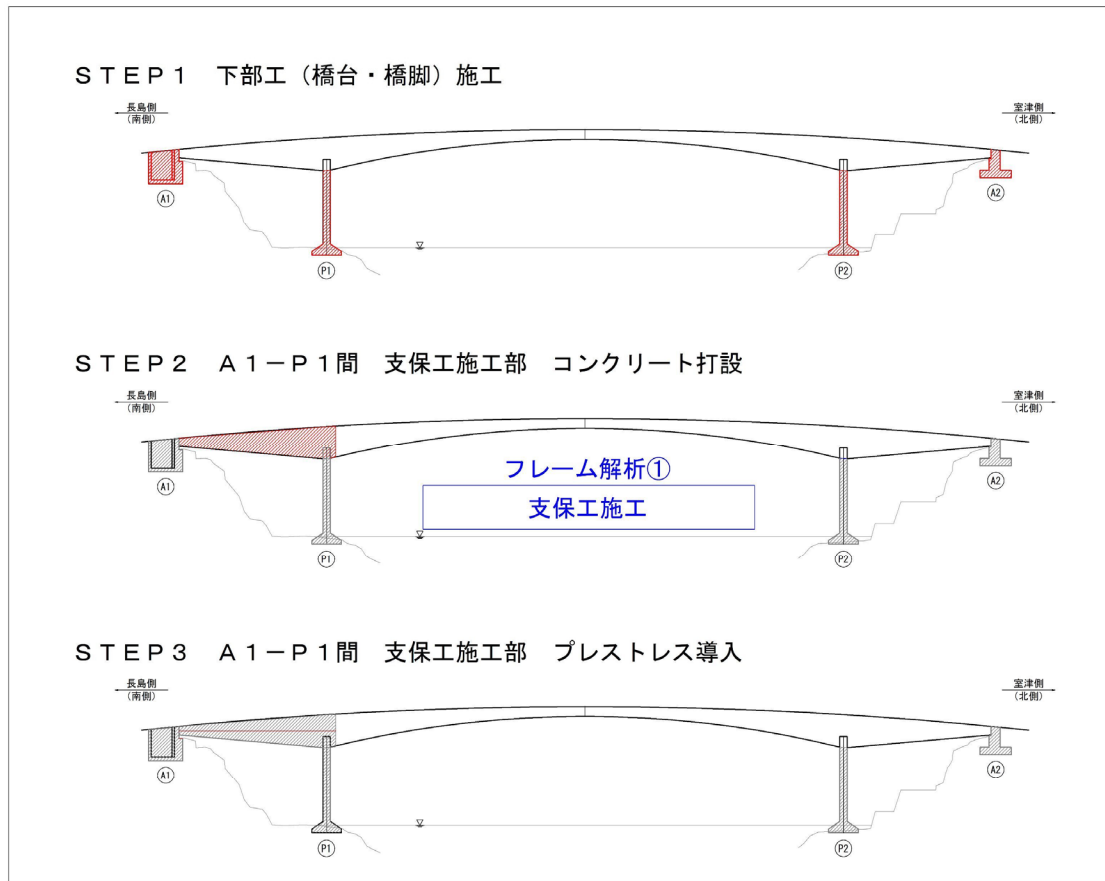


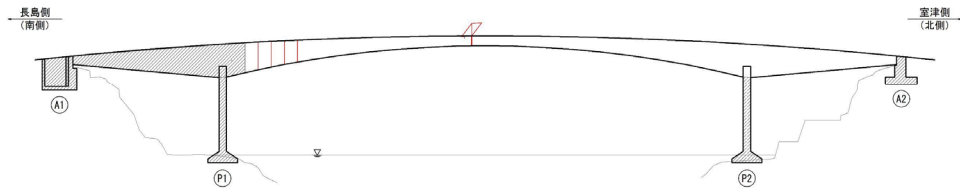
図 1.1 段差発生前の試算結果（反力）



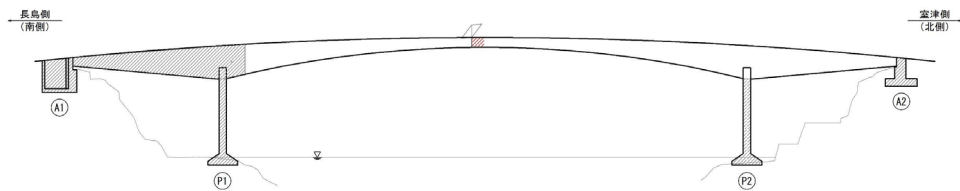
STEP 7 移動作業車移動 (2BL 施工位置) ~以降21BLまで繰り返し



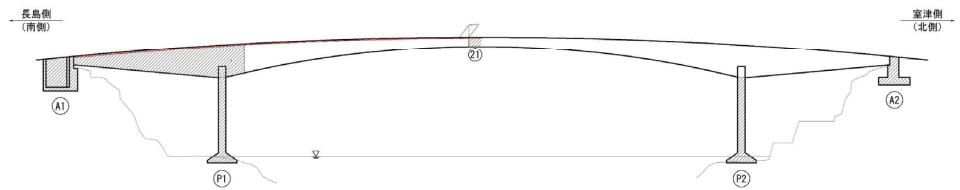
STEP 8 移動作業車移動 (21BL 施工位置)



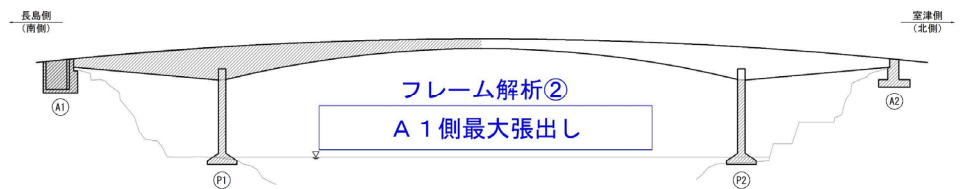
STEP 9 21BL コンクリート打設



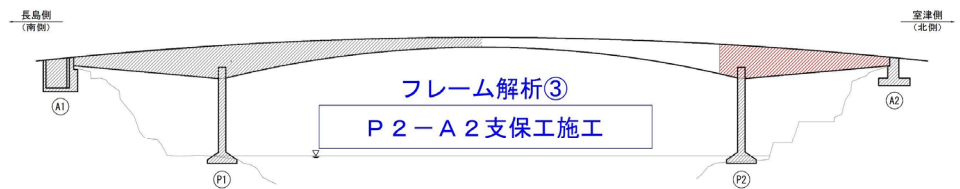
STEP 10 21BL プレストレス導入



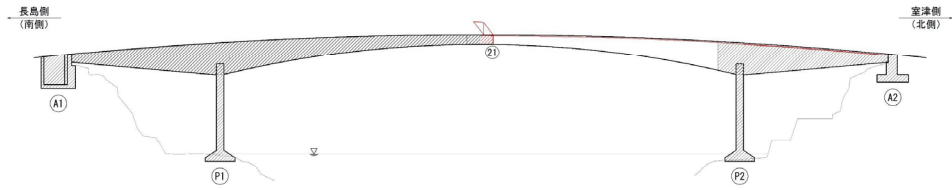
STEP 11 移動作業車撤去



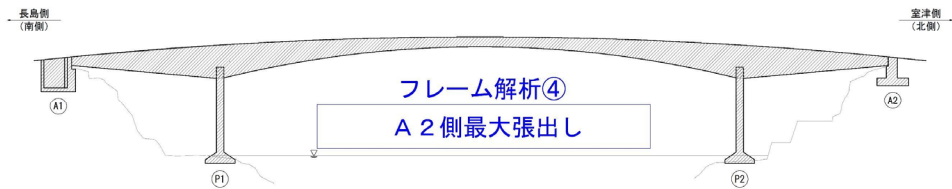
STEP 12 P2-A2間 支保工施工部 コンクリート打設 ~A1側:同様の施工



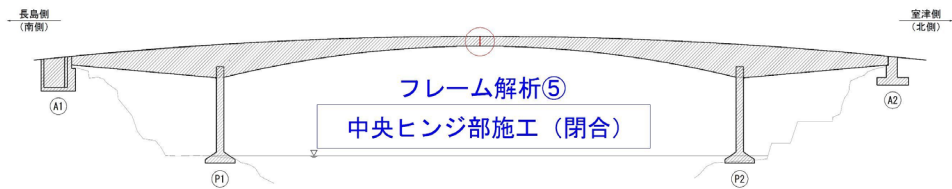
STEP 13 21BL プレストレス導入



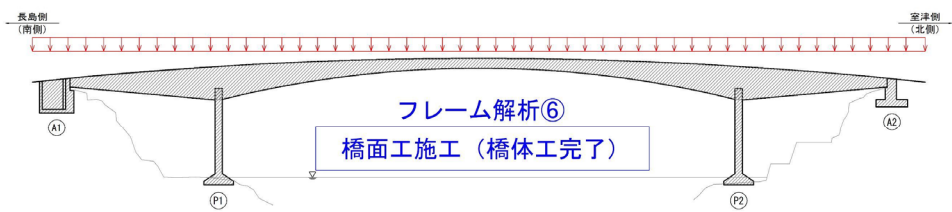
STEP 14 移動作業車撤去



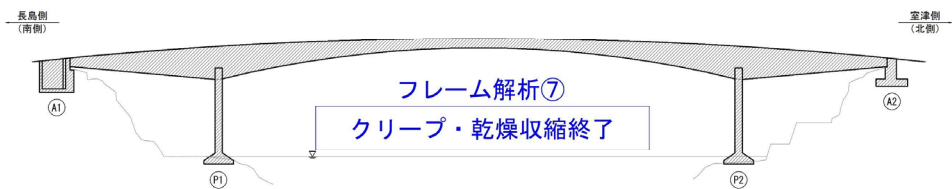
STEP 15 中央ヒンジ部施工 (閉合部ヒンジ結合)



STEP 16 橋面工施工 (橋体工完了)



STEP 17 クリープ・乾燥収縮終了 (供用開始直前)



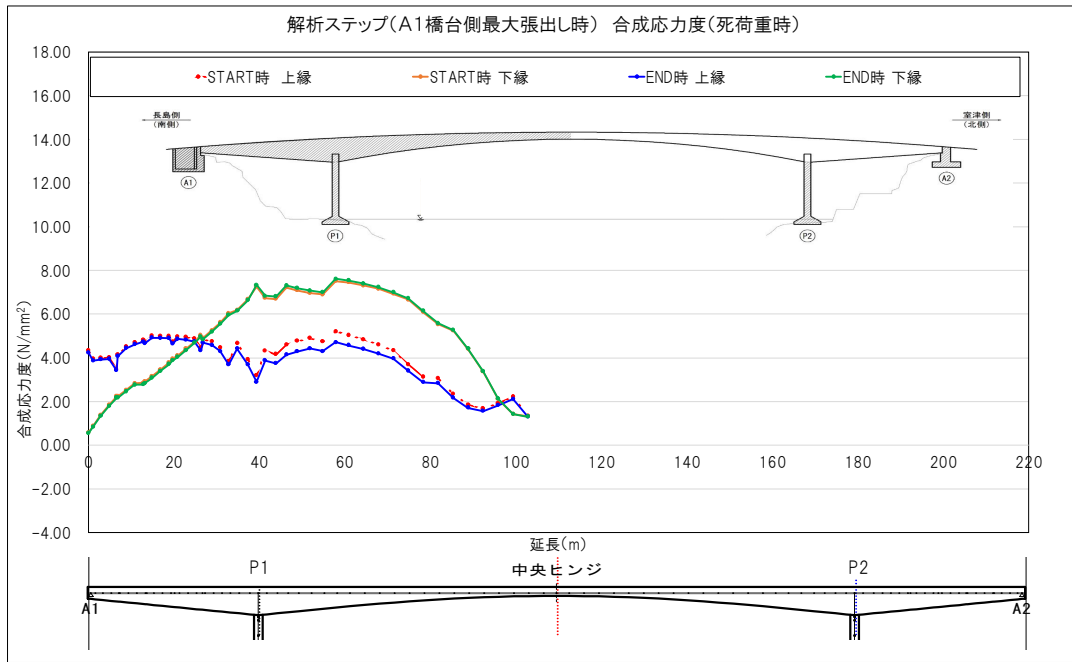


図 1.2 A1 橋台側最大張出し時の合成応力度 (死荷重時)

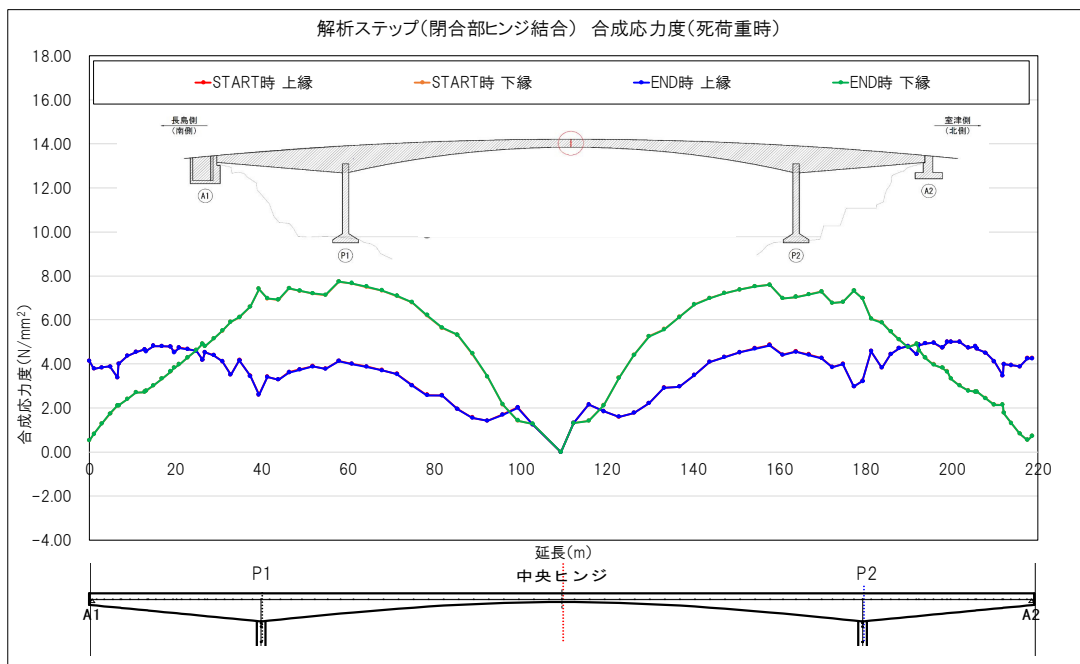


図 1.3 閉合部ヒンジ結合時の合成応力度 (死荷重時)

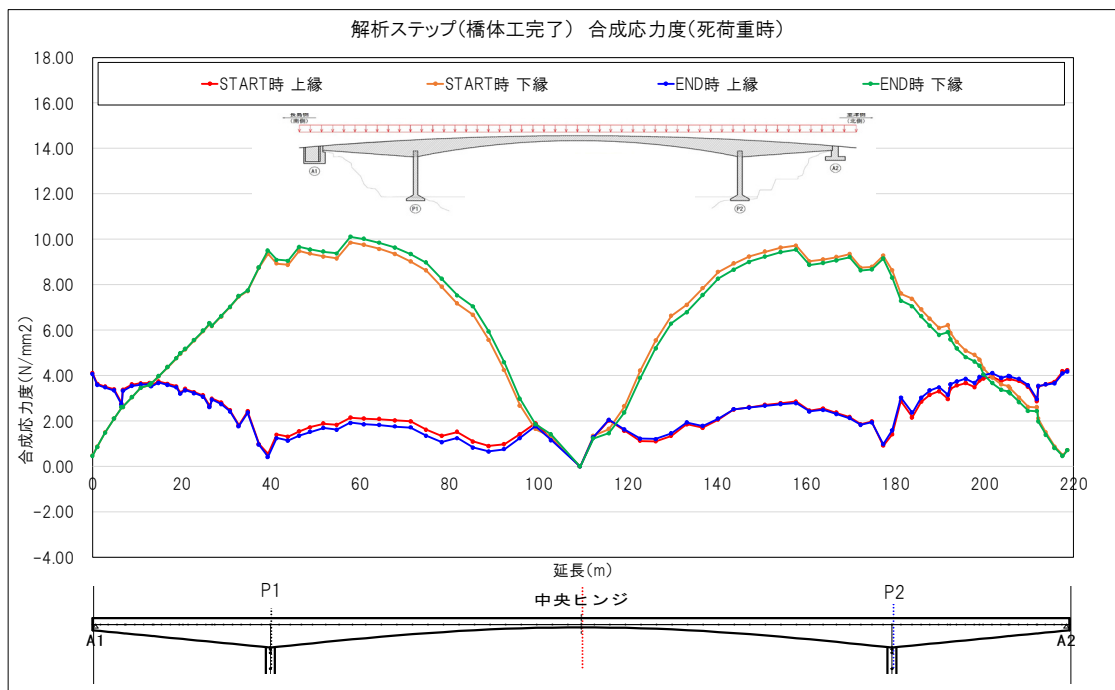


図 1.4 橋体工完了時の合成応力度 (死荷重時)

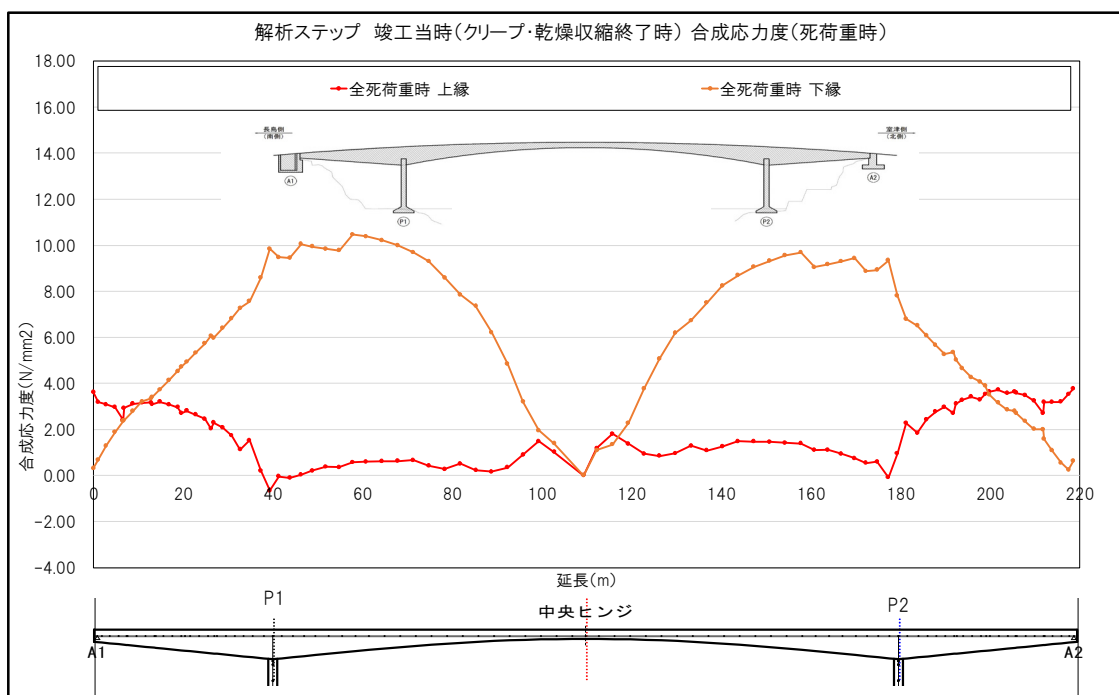
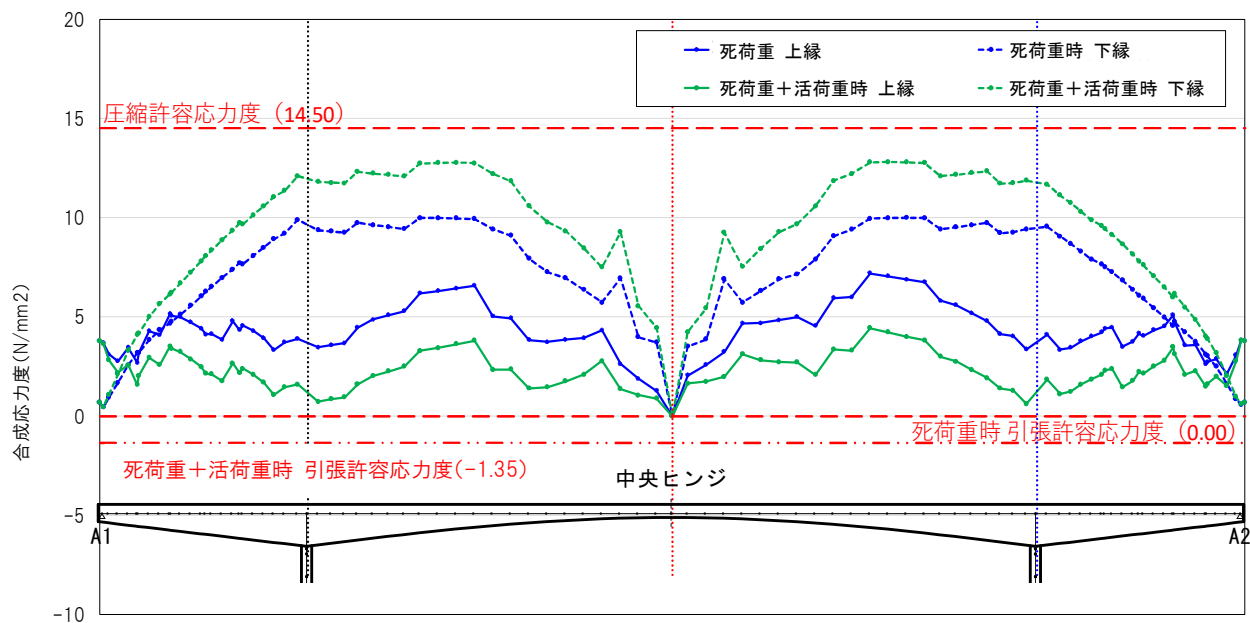


図 1.5 竣工当時 (クリープ・乾燥収縮終了時) の合成応力度 (死荷重時)

施工ステップを考慮した竣工当時の応力状態を反映し、B活荷重及び耐震補強が完了した後の、段差発生前のコンクリートの応力分布図を図1.6に示す。なお、計算された断面力から応力度を算出するにあたっては、補強のために設置した炭素繊維や外ケーブルとコンクリートとの応力分担を考慮しておらず、全てをコンクリート断面が負担するものとして算出した。



※許容応力度は、コンクリートの許容応力度を示す。

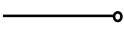
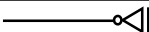
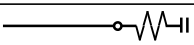
図 1.6 段差発生前の応力分布図（死荷重時・死荷重+活荷重時）

2. 段差発生後の事象のケーススタディ

2.1. 段差発生後の解析モデル

上部工及び下部工の解析条件は段差発生前と同様とし、段差発生後の状態を、A2 橋台の支点条件を変更することにより考慮して、表 2.1 に示す 3 つのケースを設定して解析を行った。なお、鉛直 PC 鋼棒と水平 PC 鋼棒の取り付け位置は異なるが、鉛直方向、水平方向及び回転の支点条件は、上部工梁モデル上の橋台部の同一節点上に設定した。なお、A1 橋台とヒンジ部の支点条件は段差発生前の解析と同様である。

表 2.1 ケーススタディの支点条件

段差発生後 A2橋台 支点条件		
ケース 1	鉛直・水平・回転拘束無	
ケース 2	水平拘束、鉛直・回転拘束無	
ケース 3	水平バネ支持、鉛直・回転拘束無	

水平バネ支持としたケース 3 における水平バネ値の設定は、耐震補強で設置した主桁-橋台連結外ケーブルがバネとして作用するものと仮定し、外ケーブルのバネ値より設定した。

- 5,000kN (500tf) 級外ケーブル 1 本あたりの水平バネ : 23,824kN/m
- 設置本数 : 8 本
- A2 橋台部支点の水平バネ値 $23,824\text{kN/m} \times 8$ 本 : 191,000kN/m

2.2. 解析結果

段差発生後における死荷重時の応力分布図を図 2.1 に示す。上部工については A2 橋台側の桁が A1 橋台側の桁にもたれた状態となり、合成応力度が増加している可能性があることが推定され、特に中央径間において、A1 橋台側は上縁引張・下縁圧縮、A2 橋台側は下縁引張・上縁圧縮の応力が厳しくなっている可能性があることが推定された。

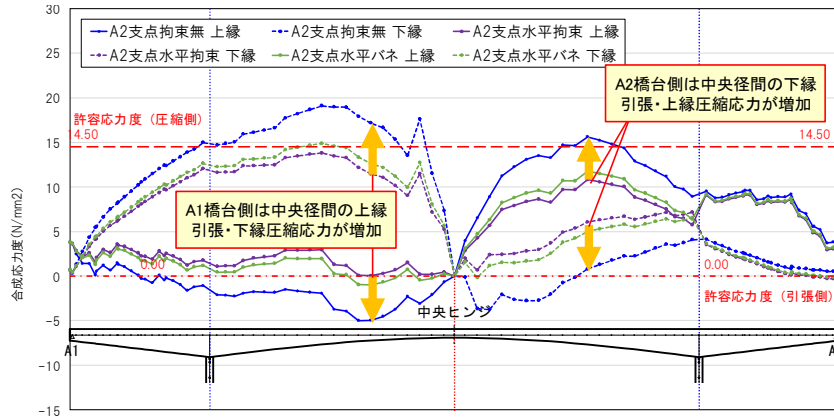


図 2.1 段差発生後の応力分布図 (3 ケース分を表示)

橋脚の曲げモーメントは、P2 橋脚の柱頭部から中間部にかけて、死荷重時で降伏曲げモーメントを超過している可能性も推定された (図 2.2 参照)。ただし、竣工当時の設計では、橋脚柱頭部の拘束条件をピン可動結合に置き換えて評価している。このため、柱頭部の桁断面に着目すれば、本解析の橋脚を弾性体とし、柱頭部を剛結合として評価したモデルで算出される断面力は、竣工当時の設計計算モデルの境界条件を用いて算出される断面力よりも大きく算出されると推定されるため、上部工及び下部工ともに、安全側の評価と考えられる。一方で、橋脚の柱頭部については、既に発生しているひびわれについて、せん断破壊に移行する兆候を監視するなど、せん断に対する安全性には注意が必要である。

また、図 2.1 に示した段差発生後の応力状態に関する解析では、中央ヒンジ部をあくまでピン結合 (鉛直力のみを受け渡す構造) として評価している。

実際には、中央ヒンジ部でのジョイント部の段差が、A2 橋台部での段差発生前後を比べると増えており、中央ヒンジ部の噛み込みで曲げモーメントあるいは水平力を少なからず受け渡すなど、複雑な拘束条件となっている可能性が高いため、本復旧の検討に際してはこの点にも留意する必要がある。

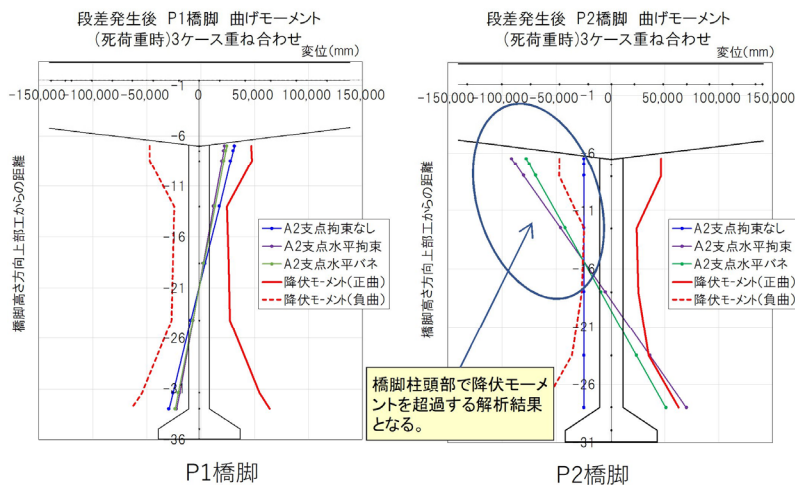


図 2.2 解析による下部工の曲げモーメント図

2.3. 計測結果との整合

2.3.1. 水準測量結果との整合

測量で確認された桁の変形形状と解析による変形形状の結果を比較した。解析では、A2 橋台側の拘束条件を「水平バネ」モデルとしたケース 3 の方が、「水平拘束」モデルとして解析したケース 2 の変形形状よりも、測量結果と近似していた（図 2.3 参照）。

図 2.1 で推定した死荷重時の応力状態と同様、上部工については A2 橋台側の桁が A1 橋台側の桁にもたれた状態が推定された。

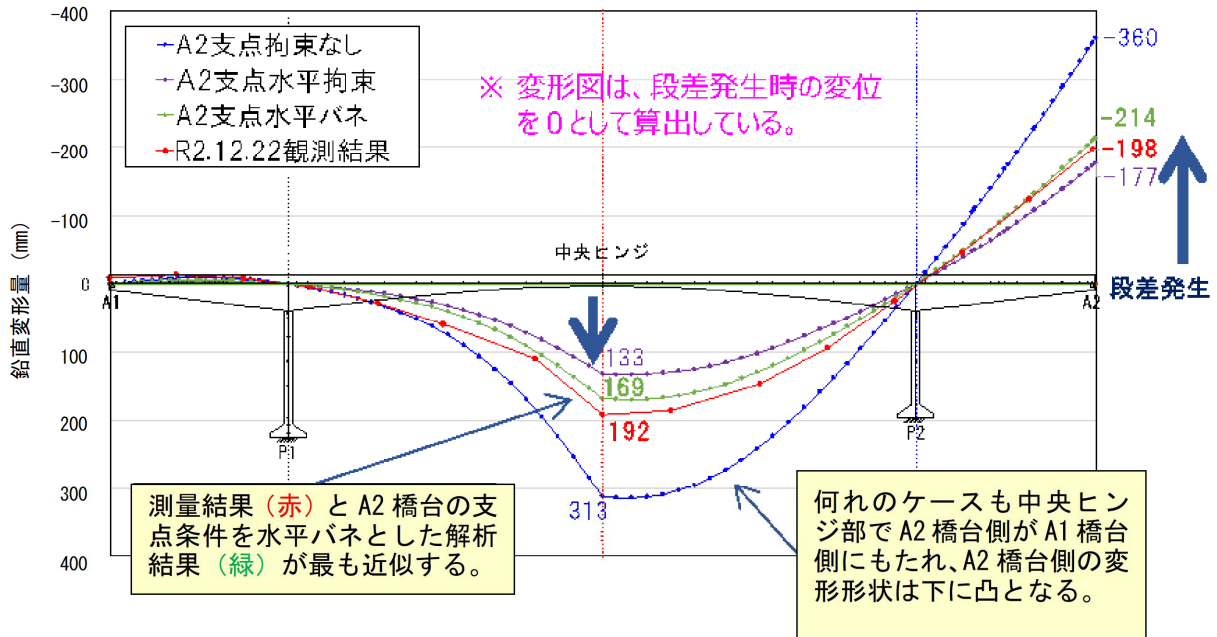


図 2.3 水準測量結果と解析値の整合

2.3.2. 橋脚の変形計測（3D 測量）結果との整合

計測結果は概ね S 字型を示しているが、A2 橋台の水平拘束がない場合は片持ち形状の変形モードとなり、傾向が異なる。これに対し、バネ拘束を含め、A2 橋台を水平拘束した場合は S 字型の変形モードとなり、傾向が一致する。

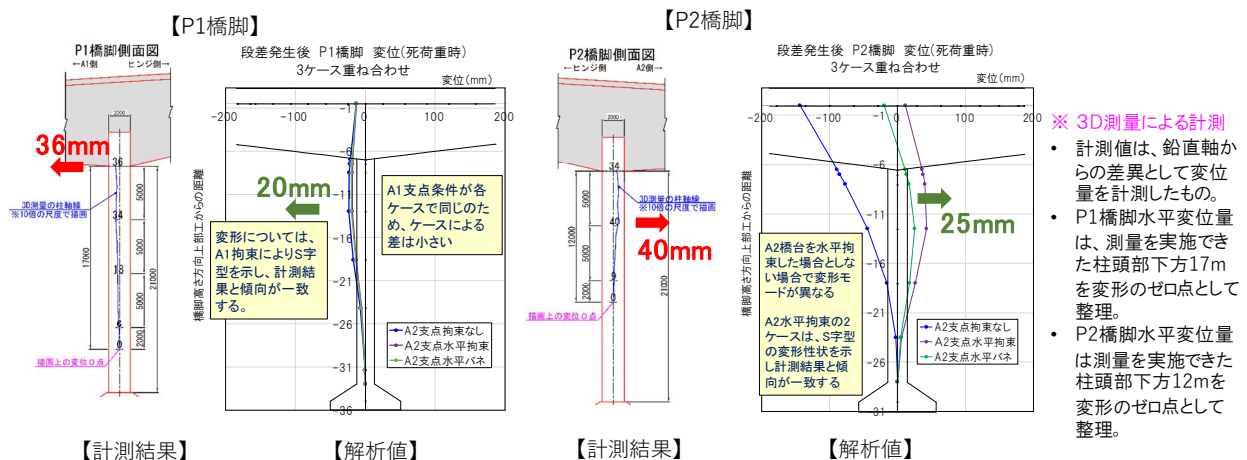


図 2.4 3D 測量結果と解析値の整合