

論文・報告

水平変位導入工法による中央閉合

～三遠南信自動車道 小嵐本線橋～

Central closure by horizontal displacement introduction method

長尾 宏紀 *1
NAGAO Koki高林 紳一 *1
TAKABAYASHI Shinichi田中 伸治 *1
TANAKA Shinji阿部 義之 *2
ABE Yoshiyuki片岡 義大 *3
KATAOKA Yoshio春日井 久 *4
KASUGAI Hisashi

本橋は、三遠南信自動車道の青崩峠道路に位置する PC3 径間連続ラーメン箱桁橋（張出施工）である。本架設方法では、上部工完成時の乾燥収縮やクリープなどの発生に伴い、橋脚下端において常時で大きな曲げモーメントが発生するが、一般的に橋脚下端の断面力は中央支間長の 1/2 以上の橋脚高さを確保していれば、構造上大きな問題とならない。しかし、本橋は中央支間長 69 m に対し、橋脚高さ 8.5 m (1/8 程度) と 15.6 m (1/4 程度) となっており、上部工の変位に伴う断面力の影響を受けやすい構造であった。

本稿では、中央閉合時に水平力を収縮方向と逆方向に作用させることで下部工下端の断面力を低減した施工について報告する。

キーワード：張出施工、水平変位導入工法

1. はじめに

本工事は、一般国道 474 号三遠南信自動車道の青崩峠道路に位置し、小嵐川を渡河する PC3 径間連続ラーメン箱桁橋である。本橋の支間割は、31.0 m + 69.0 m + 37.0 m (0.43 : 1.00 : 0.52) と中央径間に対し、側径間が短い。また、橋脚高さもそれぞれ 8.4 m、15.5 m と低いラーメン構造であるため、上部工の変位（乾燥収縮やクリープなど）が下部工へ大きく影響する構造となっている。加えて、支間割がアンバランスであることから、左右の張出施工ブロック数が異なり、張出施工時にも下部構造への影響が大きくなっている（図 1、図 2）。

本稿では、橋脚基部の断面力を低減するため、水平変位導入工法を選定した経緯と施工方法について報告する。

2. 工事概要

工事名：令和元年度 三遠南信小嵐本線橋 PC 上部工事
発注者：中部地方整備局 飯田国道事務所
工事場所：長野県飯田市南信濃
工期：2020 年 3 月 26 日～2022 年 1 月 31 日
橋長：31.0 + 69.0 + 37.0 = 137.0 m
幅員：9.500 m
構造形式：PC3 径間連続ラーメン箱桁橋
架設方法：張出架設工法

本橋で採用されている PC ラーメン橋は、耐震性に優れ、中間支承が不要で経済的な構造形式であるが、上部工の乾燥収縮、クリープ、プレストレス二次力（水平力）の発生に伴い、図 3 に示すように橋脚下端において常時状態で水平力および曲げモーメントが発生する。

この橋脚下端における断面力は、一般的に固定支間長の 1/2 以上の脚高を有していれば、構造上・耐久性上大きな問題とはならない。しかし、本橋の場合は、P1-P2 間の固定支間長 69 m に対して、P1 橋脚で 8.5 m (1/8 程度)、P2 橋脚で 15.6 m (1/4 程度) しか確保されておらず、上部工の変形に伴う断面力の影響を受けやすい構造となっている。

水平変位導入工法は、本橋のような橋梁において顕著に表れる PC ラーメン橋の特性を解消するための工法であり、図 4 に示すように中央閉合部にジャッキを設置し、水平力を導入して橋脚下端の断面力を低減する工法である。

3. 下部工断面力を減少させる検討

設計（発注）時には、「脚頭部施工⇒柱頭部施工⇒張出施工⇒側径間閉合⇒水平変位導入工法を用いた中央閉合」の順で施工する設計（計画）となっていた（図 5）。なお、本橋梁の張出施工ブロック数は P1、P2 橋脚とも張出数が

*1 川田建設㈱名古屋支店工事事務課 担当工事長

*2 川田建設㈱名古屋支店工事事務課 係長

*3 川田建設㈱名古屋支店工事事務課

*4 川田建設㈱名古屋支店技術部技術課 課長

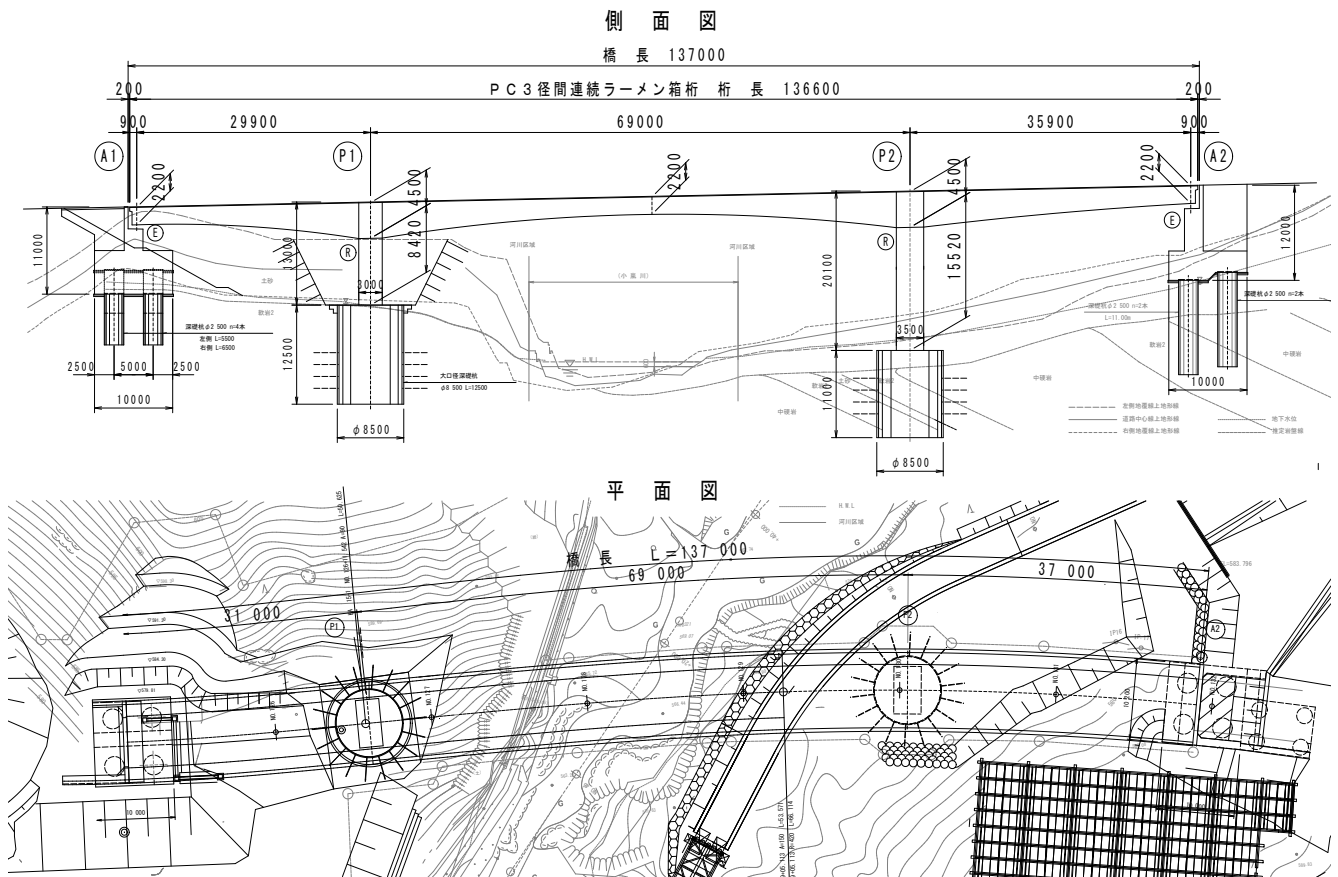


図1 側面図・平面図

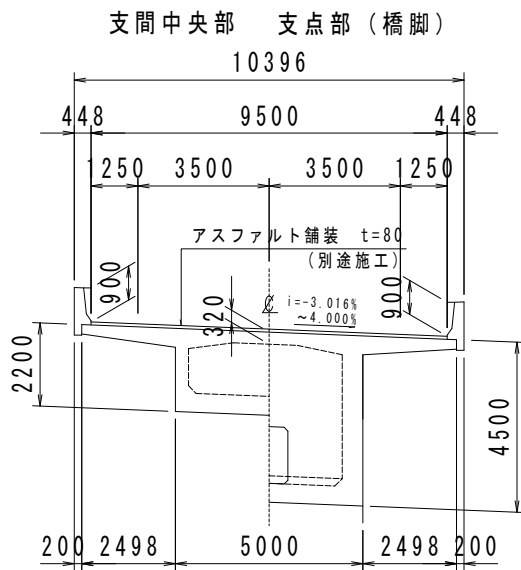


図2 断面図

異なっている（P1橋脚：起点側6BL・終点側8BL，P2橋脚：起点側8BL・終点側7BL）。

アンバランスな張出長の場合、「側径間閉合⇒2次張出施工⇒中央閉合」の施工手順で設計を行うことが多い。そのため、照査時には水平変位導入工だけでなく、2次張出施工を採用した場合について、本橋の橋脚に生じる断面力の発生について検討したので、順を追って記載する。

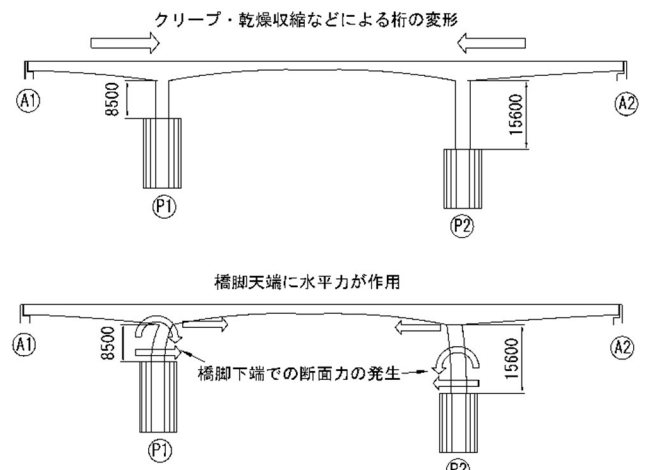


図3 二次力による橋脚下端断面力

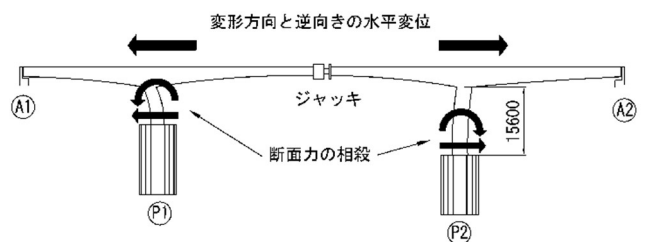


図4 水平変位導入による橋脚下端への断面力導入

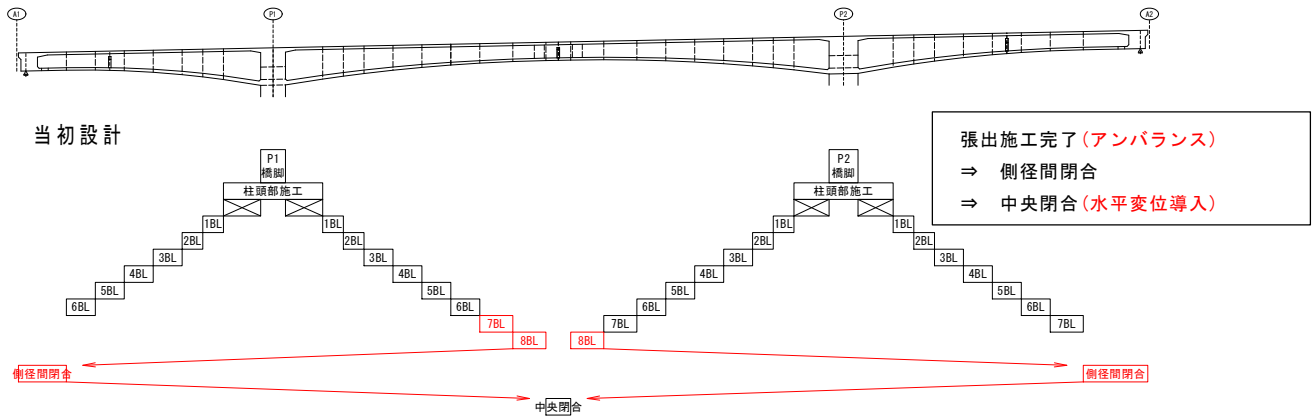


図5 施工 STEP 図 (設計成果)

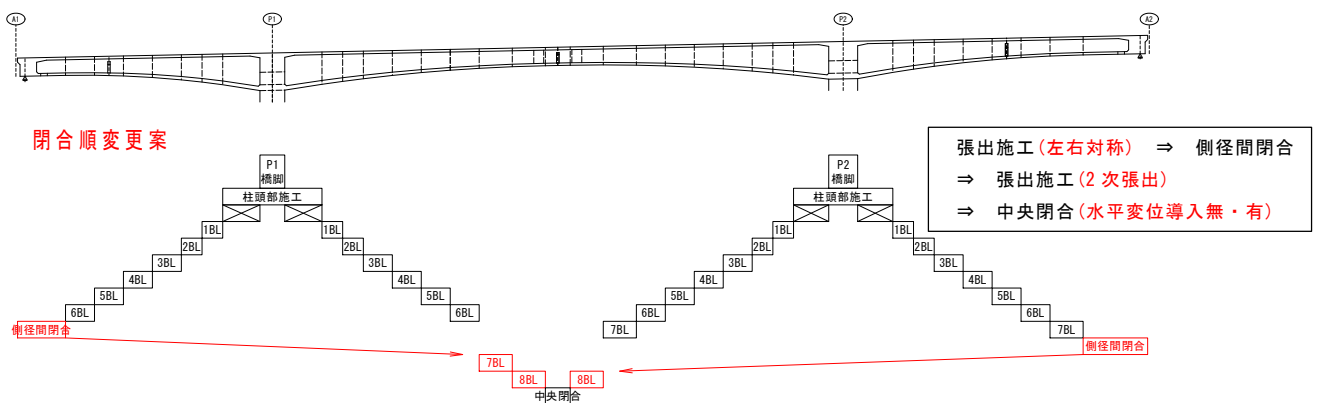


図6 施工 STEP 図 (STEP 変更)

表1 断面力比較

		設計成果		STEP変更(1)		STEP変更(2)		比率(1)		比率(2)	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
P1基部	max	83588	71	114224	71	79889	-4862	137%	100%	96%	
	min	49118	71	76548	71	42213	-4862	156%	100%	86%	
P2基部	max	51920	-29368	-31	-94749	40392	-38562	0%	323%	78%	131%
	min	51920	-60149	124783	-127764	40392	-71577	240%	212%	78%	119%

(1) STEP 変更による水平変位導入を無くす検討

はじめに、張出ブロック数を同じ (P1 橋脚:6BL,P2 橋脚:7BL) 状態で側径間閉合を施工した後、中央閉合側のブロックを2次張出施工し、中央閉合を施工する手順の検討を行い、水平変位導入を無くせないかの検討を行った (図6)。

検討結果を表1 (STEP 変更(1)) に示す。STEP 変更と設計成果を比較すると断面力が大きくなっている。これは、設計成果において上部工に水平力の導入により橋脚を変位させる設計を行っていたため、STEP 変更による変位が小さく橋脚基部の断面力は大きくなり、STEP 変更による断面力の減少にはつながらなかったと考えられる。

(2) STEP の変更 (水平変位導入有) による検討

前述の通り、STEP 変更のみでは効果がなかったため、

STEP 変更に加え水平力導入工を行った場合について検討を行った。

検討結果を表1 (STEP 変更(2)) に示す。若干の改善効果はあるものの大きく改善せず、P2 橋脚基部については逆に大きくなった。

以上より、STEP 変更を行っても橋脚基部の断面力を劇的に改善する効果がなかったため、設計成果において計画された水平変位導入工法により施工することとした。

4. 水平変位導入工の必要性

ここで、本橋において水平変位導入工を行う必要性について簡単に説明する。

本橋の場合における水平力導入の有無による橋脚下端断面力を図7に示す。図に示すように水平力を導入しない場合、各橋脚下端においてアンバランスモーメント

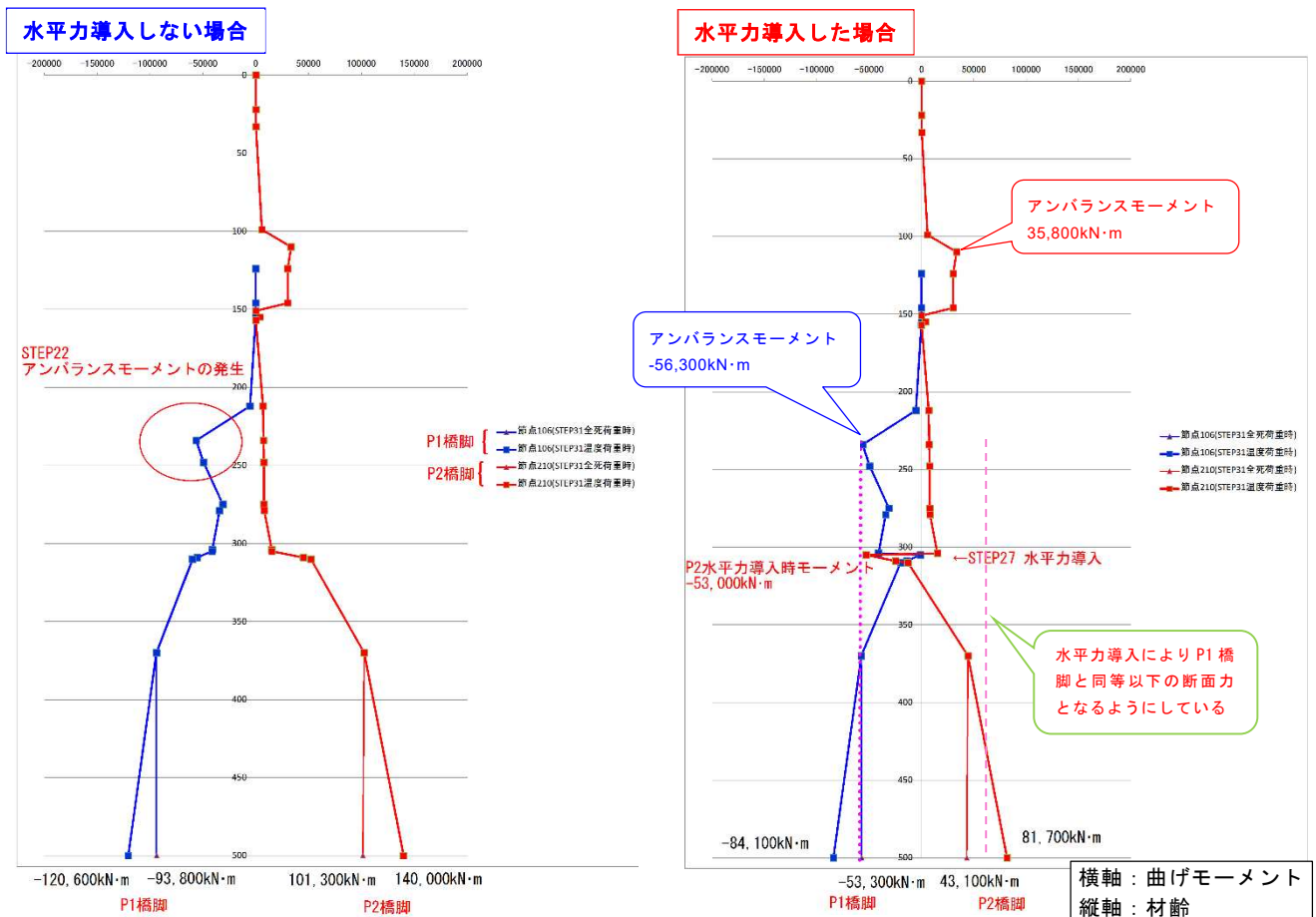


図7 水平力導入の有無による橋脚下端断面力比較

(P1 橋脚：-56 300 kN・m) に対して、大きな断面力 (P1 橋脚：-93 800 kN・m, P2 橋脚：101 300 kN・m) が生じている。この断面力に対して、RC の橋脚構造と成立させることは、充実断面・中空断面・二枚壁構造などを用いても困難である。ここで、水平力を導入 (本橋の場合 5 000 kN) することにより、アンバランスモーメントと同程度 (P1 橋脚：-53 300 kN・m, P2 橋脚：43 100 kN・m) となるように決定している。

なお、水平力導入力の決定について、設計時の検討では、水平変位導入工の荷重値の最大張出し時と供用時のモーメントがほぼ同値となる 5 000 kN を導入することが最も効率の良いということで 5 000 kN に設定している。また、5 000 kN とした場合、道路橋示方書 IV 編 P165 (平成 24 年版) に示される「活荷重及び衝撃以外の主荷重が作用する場合 (はり部材等)」の許容応力度 100 N/mm^2 を下回る (表 2)。

表2 導入水平力の違いによるP2橋脚の曲げひび割れ幅算定

	水平力導入時		許容ひび割れ幅 (mm)
	鉄筋応力度(N/mm ²)	ひび割れ幅(mm)	
500t導入	66.086	0.226	0.45
600t導入	106.807	0.365	

5. 水平変位導入工の施工手順

(1) 水平変位導入工のフロー

水平力導入工のフローを図 8 に示す。施工フローに準じて順次説明する。

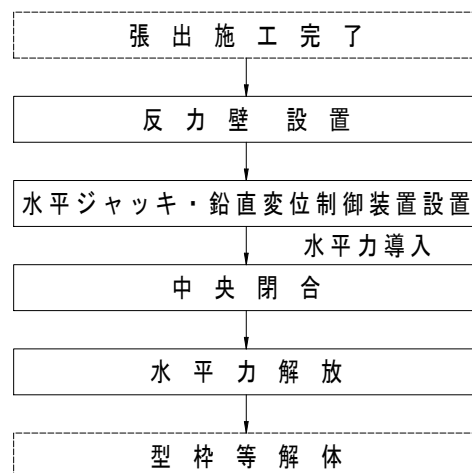


図8 水平力導入工フロー

(2) 反力壁の施工

本工事における水平力の導入量は 5 000 kN となっていることから、反力を受ける厚さ 1 200 mm の反力壁を中央径間側の張出施工完了後、最終ブロックに設置した(図 9)。

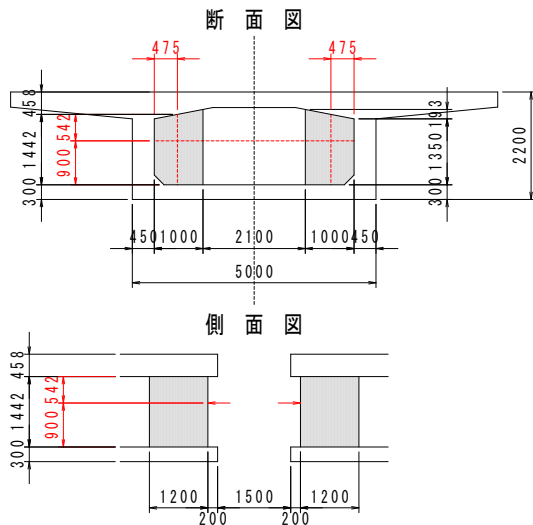


図 9 反力壁 構造図

(3) 水平力導入用ジャッキの設置

必要導入力は 5 000 kN (左右 2 500 kN) となっているが、中央閉合コンクリートを打設してから硬化するまでに温度変化等によりジャッキに作用する水平力の変動が考えられるため、余裕を確保する目的で 5 000 kN ジャッキを 2 台設置した(写真 1, 写真 2, 写真 3)。



写真 1 ジャッキ設置状況



写真 2 使用ジャッキ



写真 3 ジャッキ設置完了

(4) 鉛直変位制限装置の設置

水平力導入時は、中央閉合部の両側の桁がジャッキに押されることにより水平方向(X軸方向)に変位すると共に、橋脚が基部を中心に回転変形するため、鉛直方向(Y軸方向)にも変位する。また、P1橋脚とP2橋脚の剛性の違いにより左右の変位量は異なる。



写真 4 鉛直変位制限装置設置



写真 5 水平力導入状況

桁の変位を拘束しない場合は、鉛直方向で 10 mm 以上のずれが発生する可能性があった(表 3)。このずれが大きくなるとジャッキの圧力抜けなどが生じ施工管理が困難になるため、鉛直変位を拘束・制御する構造を設置した上で水平力を導入することとした(写真 4, 写真 5)。

また、中央閉合の施工時期は秋であり、日中と夜間の気温差は大きくないが、温度変化による軸力変化が 240 kN/°Cであったことから随時軸力管理も併せて行った。

表3 水平加圧時の変位量(mm)

			P1側		P2側		y方向 差
			x	y	x	y	
橋脚基礎 バネ拘束	軸線 水平	拘束材有	-7.6	20.4	15.1	23.3	2.9
		拘束材無	-7.2	16.0	15.7	27.3	11.3
	軸線 変化	拘束材有	-7.7	23.1	15.1	26.3	3.2
		拘束材無	-7.2	18.9	15.7	30.2	11.3
橋脚基礎 完全拘束	軸線 水平	拘束材有	-5.5	18.4	12.4	21.1	2.7
		拘束材無	-5.1	14.0	12.9	25.1	11.1
	軸線 変化	拘束材有	-5.6	21.1	12.4	24.1	3.0
		拘束材無	-5.2	16.9	13.0	28.0	11.1

(x:橋軸方向+, y:上向き+)

(5) 中央閉合

水平力の導入は、中央閉合部コンクリート打設の直前に実施した。前述の通り、コンクリート硬化までには温度変化等によりジャッキ圧力の変動が生じるため、定期的に圧力を確認し必要導入力(5000 kN)を確保するよう調整を行った。水平力を導入することによる柱頭部および端支点の変位量が、設計値とほぼ一致することを確認した(表4)。

(6) 水平力解放

コンクリートの強度確認を行った後、水平力の解放を行い、閉合鋼材の緊張を行った。水平力の解放による水平変位は設計値(0.05~0.15 mm)に対して実測値との差は1 mm以下であった(表5)。

表4 水平導入による支点部の変位量(mm)

	A1	P1	P2	A2
設計値	3.2	3.8	9.6	9.0
実測	3	4	10	9
差	-0.2	0.2	0.4	0

表5 水平解放による支点部の変位量(mm)

	A1	P1	P2	A2
設計値	0.05	0.05	0.15	0.15
実測	1	1	0	1
差	0.95	0.95	-0.15	0.85

6. おわりに

本工事の施工場所である長野県飯田市南信濃の青崩峠地域は、中央構造線の影響により地盤がもろく、施工時にも大雨の影響で地滑りが発生し、現場が陸の孤島となることもしばしば生じた。また寒さも厳しく、一日中氷点下の日もあり工程調整に苦勞しましたが、2022年1月末に無事故・無災害で工事は完了した。

最後に、計画・施工にあたり、ご指導・ご支援を頂いた関係各位に深く感謝の意を表す。また、これまでも数多くの水平力導入工の施工実績はあると思われるが、本報告が全国に存在する類似する橋脚高が低く、支間長がアンバランスなラーメン構造の橋梁等における水平力導入工法の参考になれば幸甚である。