

芋川橋災害復旧工事の箱桁ジャッキアップ — 8 000 kN ジャッキを 8 台同時使用した反力・変位の集中制御 —

丸山 純一*1・岡 靖人*2・袖山 正樹*3・大信田 秀治*4

1. はじめに

平成 16 年 10 月 23 日に発生した新潟中越地震では、関越自動車道の土工・橋梁・施設設備などの多くの構造物が被災した。芋川橋は堀之内 IC 付近に位置する 3 径間連続箱桁および 4 径間連続中空床版橋であり、中越地震により支承や下部工に大きな損傷を受けた。なかでも、掛違ひ構造部では中空床版橋と箱桁橋が地震によって衝突した影響で、鋼製支承（ピンローラー支承）のピンとローラーが逸脱し、橋脚上で最大 167 mm もの主桁の沈下が生じた。

災害本復旧工事では、鋼製支承の免震支承への取替え工と中空床版と箱桁の連続化を主に行ったが、それに先立ち支承高の確保および主桁の鉄筋を連続化させるために中空床版部と箱桁部の段差を解消するための高さ調整工が必要となった。

本稿では、箱桁部の高さ調整工として行った、主桁ジャッキアップ工について報告する。

2. 工事概要

- 工 事 名：関越自動車道 芋川橋（PC 上部工）災害復旧工事
- 工 事 場 所：南魚沼市堀ノ内（214.0 kp 付近）
- 橋 長：上り線 271.4 m，下り線 295.4 m
- 支 承 取 替 工：44 基（超高減衰ゴム）
- 主 桁 連 結 工：2 箇所
- 伸縮装置撤去工：2 箇所
- 伸縮装置取替工：4 箇所
- その他、芋川橋他 7 橋の断面修復

図 - 1 に連続化前の一般図を示す。ジャッキアップ工を実施する箇所は、連続箱桁橋の P2，P3 橋脚部である。端支点部はパラベットに囲まれ、P3 橋脚上では遊間 180 mm を有する掛違ひ構造であったが、新潟中越地震において、P3 掛違ひ部に段差が生じた結果、箱桁部は支点沈下による付加曲げ・ねじりが作用し、P1～P2 径間部の箱桁内の下床版に 0.1 mm 程度の連続したひび割れを確認した。

主桁の連続化は、この残留応力を開放する前提で計画されており、また、免震性の確保に必要な新設支承の高さを確保する目的で、逸脱したピンおよびローラーの高さ分だけ、P2，P3 横桁を同時にジャッキアップすることとした。

P2，P3 の最大支承反力はそれぞれ 15 621 kN，3 430 kN であるため、ジャッキアップは、P3 支点部では 1 支承あたり 2 基、合計 4 基の 3 000 kN ジャッキを交互使用し、P2 支点部では 1 支承あたり 4 基、合計 8 基の 8 000 kN ジャッキを同時使用にて実施した。

3. 支承の損傷状況

箱桁部の支承は、すべて 2 点支承であり、P2，P3 の上下線あわせて 8 支承がすべて損傷している。ここでは損傷が激しい P3，P2 支承の損傷状況を写真 - 1，2 に、P2 支承概要図を図 - 2 に示す。写真 - 1 ではピンおよびローラーが逸脱し、辛うじてピンが抜けた後の上沓と下沓の溝で反力を保持しているのが確認できる。写真 - 2 では、ローラーの逸脱とともにサイドブロックが変形し、周辺プレートが散乱していることがわかる。これらの逸脱の影響によって生じた橋体の沈下量を表 - 1 に示す。この値は、下部工沈下の影響は無視し、レアを含めた支承高さの建設当初設

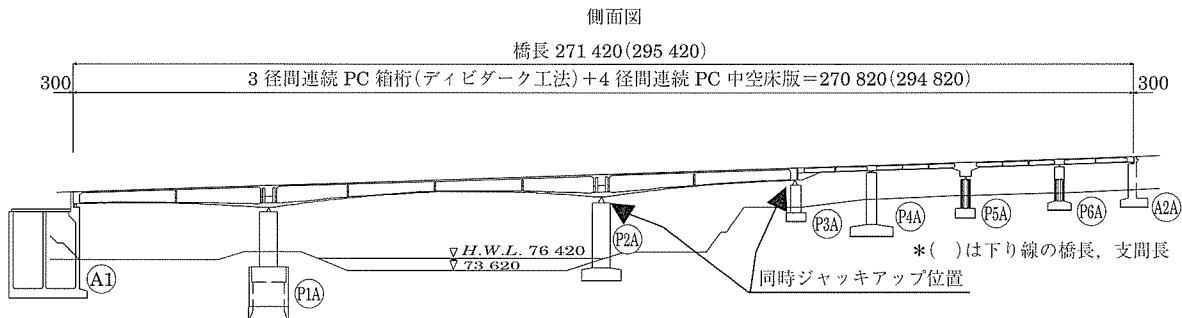


図 - 1 ジャッキアップ位置図

*1 Junichi MARUYAMA：東日本高速道路(株) 新潟支社 湯沢管理事務所
 *2 Yasuhito OKA：東日本高速道路(株) 新潟支社 湯沢管理事務所
 *3 Masaki SODEYAMA：オリエンタル建設(株) 東京支店 工事部
 *4 Hideharu OOSHIDA：オリエンタル建設(株) 東京支店 技術部

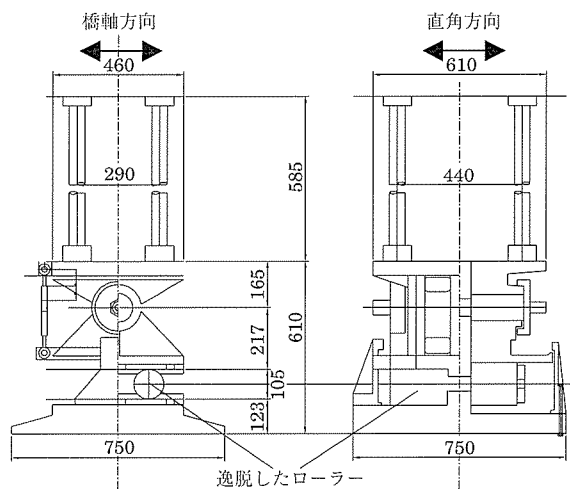


図 - 2 P2 鋼製支承概要図

表 - 1 P2, P3 支点沈下量 (mm)

	P2 支点		P3 支点	
	路肩側	中分側	路肩側	中分側
上り線	66	7	167	100
下り線	66	75	113	100

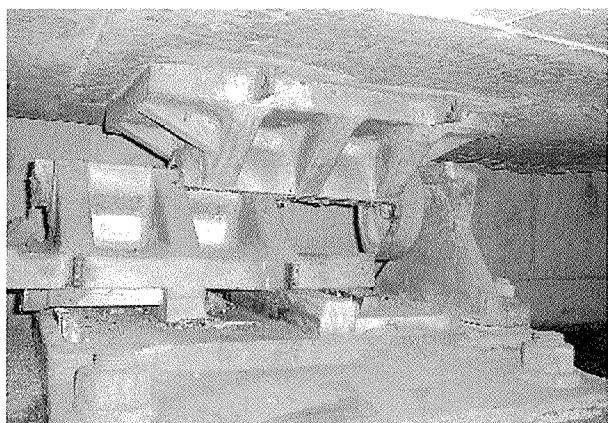


写真 - 1 上り線 P3 路肩側支承損傷状況

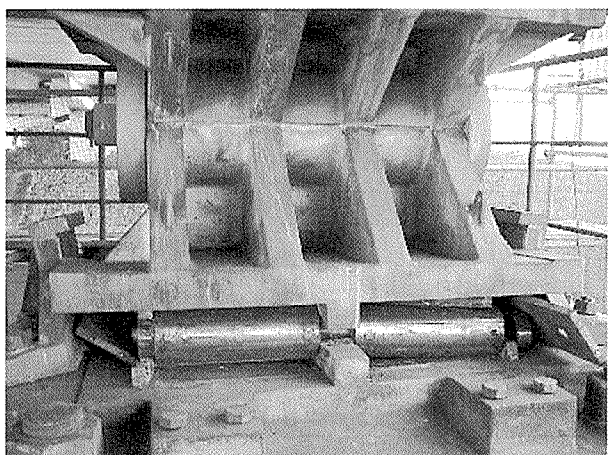


写真 - 2 上り線 P2 路肩側支承損傷状況

計値に対して、どの程度沈下したかを各支承位置で実測したものである。下り線においては、左右の支承の損傷がほぼ同じであるため、支承線上での沈下差が 13 mm と少なく、主桁のねじりを与えないような沈下状況である。一方、上り線は支承の損傷差が激しいため、大きく主桁がねじられるような沈下状況である。

4. 主桁の応力照査

支点の不同沈下量が大きな上り線を対象に、表 - 1 に示した支点沈下量による設計断面力を格子解析で算出し、震災後の主桁の曲げおよびねじりに関する検討を行った。

主桁の合成曲げ応力度を、図 - 4 に示す。建設当初の設計値に支点沈下により発生した応力度を加算する方法を用いた。その結果、B 活荷重載荷時合成曲げ応力度は、道路橋示方書で規定する許容応力度を満足するものであることがわかった。これは P1 支点を起点に P2, P3 がほぼ線形に沈下した結果、局所的な応力集中が発生しなかったためと考えられる。これに対して片側に不均等に沈下した影響から、ねじりモーメントが卓越し、桁高が最小でねじれ抵抗が少ない中央閉合部を中心としたほぼ 40 m 区間において斜引張応力度が許容値 2.5 N/mm² を超える結果となった(図 - 3)。

この区間では、箱桁内の下床版に規則的な 0.1 mm 程度

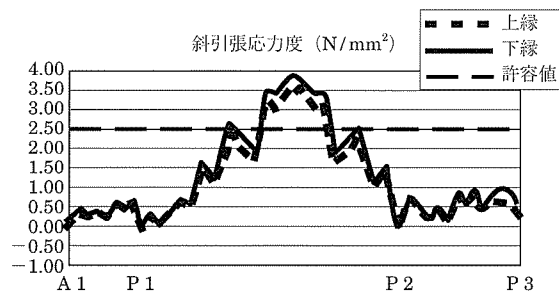


図 - 3 支点沈下後の斜引張応力度図

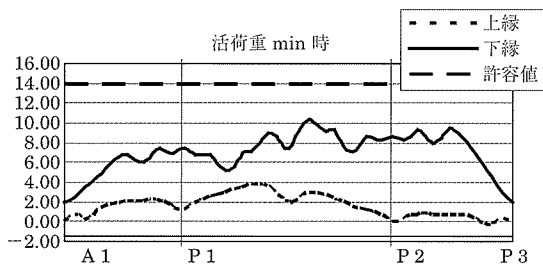
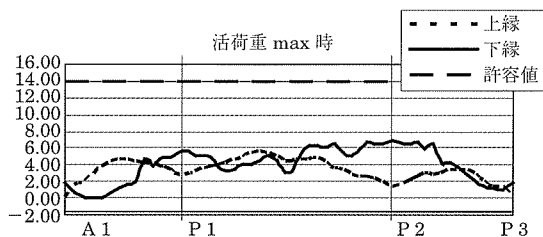


図 - 4 支点沈下後活荷重載荷時主桁曲げ応力度図

のひび割れの発生が確認されており、主桁の損傷状況と一致する解析結果が得られたといえる。

5. ジャッキアップ

応力検討結果から、支点沈下の影響によりひび割れが発生しうる応力が発生していたことが確認された。そのため、建設当初の健全な応力状態に復旧したうえで中空床版橋と箱桁の連結化工事を進める方針とした。また、主桁連結工において断面の連続性を保つうえで、負曲げを負担する主桁上縁の橋軸方向筋を連続した高さで接続する必要があり、高さ調整のための主桁ジャッキアップ工が必要となった。

ここでは、左右支承の沈下量の差が大きな上り線を対象としたジャッキアップの管理について報告する。

5.1 検討事項

ジャッキアップする際の諸検討を以下に示す。

検討結果については省略するが、ジャッキアップ時は交通規制を行うこともあり、一時的な荷重として応力および変位制限値を設定した。

- ・橋脚天端ジャッキ受圧部の局部応力
- ・ジャッキ受けブラケットの座屈検討
- ・主桁および横桁のジャッキ受圧部の局部応力
- ・地震時の横方向変位制限構造
- ・応力検討に基づく、ジャッキアップ途中の各ジャッキの反力、変位制御値の設定

5.2 ジャッキアップ管理

格子解析より計算した、各支承位置で1mm変位した場合の他の支承反力変化を表-2に示す。この結果をもとに、支点沈下量から現状反力を算出し、ジャッキアップ途中における各支点の変位と反力を推定した。この推定値に対して前述した局部応力の検討から決定した一基あたりの、P2支点部については連動する4基の合計値についての限界反力を管理値として設定した。

P2支点部では4基のジャッキに同じ油圧が作用するように一つのポンプで連動させているが、予期せぬ事態に備えて各ジャッキの反力・変位をオンタイムでデジタル表示するシステムを構築し、P2、P3支点部で同時に使用する12基のジャッキ反力を集中制御した(図-5、6)。この装置は、各支承位置に設けたエンコーダー(変位計)から読み込まれる変位で制御しており、その管理表を表-2に示

表-2 上り線 支点沈下と反力の関係

	P3-R		P3-L		P2-R		P2-L	
	変位	反力	変位	反力	変位	反力	変位	反力
	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)
A1-L	0	-0.8	0	-0.8	0	2.2	0	2.0
R	0	-0.8	0	-0.8	0	2.0	0	2.2
P1-L	0	2.2	0	2.0	0	201.0	0	-210.9
R	0	2.0	0	2.2	0	-210.9	0	201.0
P2-L	0	230.3	0	-236.0	0	-550.0	1	561.5
R	0	-236.0	0	230.3	1	561.5	0	-550.0
P3-L	0	-154.0	1	157.0	0	230.3	0	-236.0
R	1	157.0	0	-153.9	0	-236.0	0	230.3

R：中分側，L：路肩側

した。

5.3 ジャッキアップ結果

写真-3、4にジャッキアップ状況を、表-3にその結果

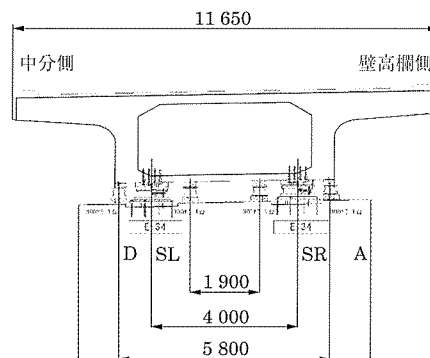


図-5 P3 ジャッキ配置図

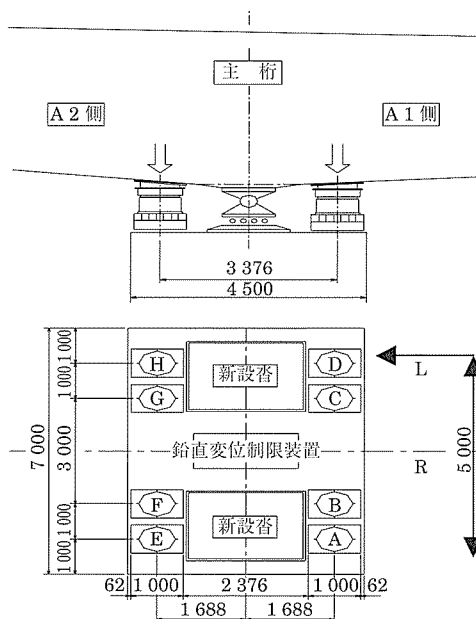


図-6 P2 ジャッキ配置図

表-3 上り線 ジャッキアップ結果

P3 (上り)		D	SL	SR	A
ジャッキアップ量 (mm)	計画値	87	102	169	184
	実測値	115	121	154	160
	差		19	-15	
反力 (kN)	計画値		1558	1833	
	実測値		1676	1940	
	差		118	108	
P2 (上り)		L	SL	SR	R
ジャッキアップ量 (mm)	計画値	-1	10	69	80
	実測値	22	28	59	65
	差		18	-10	
反力 (kN)	計画値		10868	11995	
	実測値		10711	12172	
	差		-157	176	

P3がA, D, P2はR, Lが変位測定装置設置位置
SL：中分側脊位置, SR：壁高欄側脊位置



写真-3 P2支点ジャッキアップ状況



写真-4 反力・変位集中制御状況

表-4 上り線ジャッキアップ 管理表

		P3				P2								備考
		SL		SR		SL				SR				
		D	C	B	A	F	E	B	A	H	G	D	C	
STEP 1	初期値確認 JUP 設計反力 (t)	2 mm				2 mm								
初期反力を確認するために各ジャッキを一律平行に 2 mm アップ														
STEP 2	変位制御ピッチ	1 mm		2 mm		1 mm				1 mm				
	JUP 1		1 × 6 回	2 × 6 回		—	—	—	—	1 × 6 回	1 × 6 回			
	2	盛換え	1 × 6 回	2 × 6 回	盛換え	—	—	—	—	1 × 6 回	1 × 6 回			
	3	1 × 6 回			2 × 6 回	—	—	—	—	1 × 6 回	1 × 6 回			
	4	1 × 6 回	盛換え	盛換え	2 × 6 回	—	—	—	—	1 × 6 回	1 × 6 回			
	5		1 × 6 回	2 × 6 回		—	—	—	—	1 × 6 回	1 × 6 回			
	6	盛換え	1 × 6 回	2 × 6 回	盛換え	— 2mm	— 2mm	—	—	1 × 6 回	1 × 6 回		P2L 微調整	
	合計 JUP 量	36 mm		72 mm		— 2 mm		— 2 mm		36 mm		36 mm		
累計 JUP 量	38 mm		74 mm		0 mm		0 mm		38 mm		38 mm			
設計反力 (t)														
P3Rが2mm アップする際、P3LとP2Rは1mm アップ、P2Lは変位しないように変位制御する。P3は、A・DとB・Cを交互に盛換えながらジャッキアップする。														
STEP 3	P3 盛換え	—				—	—	—	—	④	③	②	①	
	累計 JUP 量	38 mm		74 mm		0 mm		0 mm		38 mm		38 mm		
	設計反力 (t)													
STEP 4	変位制御ピッチ	1 mm		2 mm		1 mm				1 mm				
	JUP 1		1 × 6 回	2 × 6 回		—	—	—	—	1 × 6 回	1 × 6 回			
	2	盛換え	1 × 6 回	2 × 6 回	盛換え	—	—	—	—	1 × 6 回	1 × 6 回			
	3	1 × 6 回			2 × 6 回	—	—	—	—	1 × 6 回	1 × 6 回			
	4	1 × 6 回	盛換え	盛換え	2 × 6 回	—	—	—	—	1 × 6 回	1 × 6 回			
	5		1 × 7 回	2 × 7 回		— 1 mm	— 1 mm	—	—	1 × 7 回	1 × 7 回		P2L 微調整	
	合計 JUP 量	31 mm		62 mm		— 1 mm		— 1 mm		31 mm		31 mm		
	累計 JUP 量	69 mm		136 mm		— 1 mm		— 1 mm		69 mm		69 mm		
設計反力 (t)														
P3Rが2mm アップする際、P3LとP2Rは1mm アップ、P2Lは変位しないように変位制御する。P3は、A・DとB・Cを交互に盛換えながらジャッキアップする。														
STEP 5	P2 盛換え順序	—				—	—	—	—	④	③	②	①	
	累計 JUP 量	69 mm		136 mm		— 1 mm		— 1 mm		69 mm		69 mm		
	設計反力 (t)													
STEP 6	変位制御ピッチ	1 mm		2 mm		1 mm				1 mm				
	JUP 1	盛換え	1 × 6 回	2 × 6 回	盛換え	—	—	—	—	1 × 6 回	1 × 6 回			
	2	1 × 6 回			2 × 6 回	—	—	—	—	1 × 6 回	1 × 6 回		P2 変位制御一時停止	
	3	1 × 6 回	盛換え	盛換え	2 × 6 回	—	—	—	—	—	—		P3L 変位制御一時停止	
	4	—		2 × 6 回		—	—	—	—	—	—			
	最終微調整	0 mm		0 mm		—		—		— 1 mm		— 1 mm		
	合計 JUP 量	18 mm		48 mm		0 mm		0 mm		11 mm		11 mm		
	累計 JUP 量	87 mm		184 mm		— 1 mm		— 1 mm		80 mm		80 mm		ジャッキアップ最終値
設計反力 (t)	1 833		1 558		11 995				10 868					
P2 ジャッキアップ最終値は、反力バランスを重点的に管理し、変位はSR側 (AB, EF) を計画値目標にSL側 (CD, GH) を調整 P2 ジャッキはABEFとCDGHがポンプ運動しているため、反力管理は、ABEFとCDGH各4台反力の合計値で行う。														

を示す。最終ジャッキアップ量は、反力については建設当初の設計反力値を目標とし決定した。変位制限値は、中空床版部との連続性を保つうえで建設当初の計画高に復元することが望ましいが、ひび割れを伴う損傷を受けていたことにより荷重の再分配がなされた可能性が高いこと、設計上はねじりモーメントを開放することが目的であり、反力差を最小限とする管理を優先する必要があることから、±20 mm という値を設定した。その結果、左側で+19 mm、右側で-15 mm の変位差が残る状態で反力バランスが収束したためジャッキアップを終了した。

P3 反力は、計画値より左右ともに 110 kN 程度（設計値に対して 8%）の反力増の状態ジャッキアップを終了したが、これは、震災直後の応急災害復旧工事において行った、P3 伸縮装置付近の橋面段差解消のために施された舗装重量の増加によるもので、計画値より 5% 程度と予測していたことから、最終的な支承反力は計画値と一致したものと判断した。

なお、箱桁内部に発生していた下床版ひび割れはジャッキアップ終了後に閉じたため、耐久性上問題ないと判断し補修しないこととした。

6. おわりに

今回実施したジャッキアップ工は、主桁の連結工および A1、A2 パラペット取替工のために行われた対面交通規制

期間上り線 25 日・下り線 26 日間の中の最初に行われる工種として組み込まれていた。

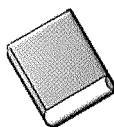
世界で前例のない橋体の死荷重反力約 50 000 kN 規模の橋梁において、ねじれた主桁を基の状態に戻すという施工は、細心の注意と精度を要求される難易度の高い施工である。それにもかかわらず、交通規制内のスタートとなる 2 日間という割り当てられた時間の中で、予定どおりジャッキアップ工を終えることができた。これは、事前の設計上の管理値設定などの諸検討によって問題点の抽出とその対策を講じたこと、12 台のジャッキアップを同時に制御するシステムの構築、関連工事や発注者の協力があつた結果である。紙面を借りて、ご協力いただいた関係各位の皆様へ深く感謝いたします。

なお、今後地震大国である日本においては再び同種工事の施工も予想され、本工事が参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 脇坂、佐藤、丸山、武知：芋川橋の耐震補強に関する検討、第 14 回プレストレストコンクリートの発展に伴うシンポジウム 2005、11
- 2) 水田、佐藤、丸山、袖山：新潟中越地震による芋川橋の損傷報告および復旧工事の施工、第 14 回プレストレストコンクリートの発展に伴うシンポジウム 2005、11
- 3) 岡、丸山、亀田、大信田：新潟中越地震による芋川橋の損傷および復旧工事、橋梁と基礎 2006、5

【2006 年 10 月 24 日受付】



新刊図書案内

PC技術規準シリーズ

貯水用円筒形PCタンク設計施工規準

頒布価格：会員特価 3 500 円（送料 500 円）

：非会員価格 4 200 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版