

供用している橋脚の撤去・新設

—国道20号線 ^{はやてばし} 地整疾風橋耐震—

東京土木支店

土木工事部

岡部真一郎

概要：国道20号線は交通量が約54千台/日の主要幹線道路であり、緊急道路としても重要な役割を果たしている。当工事は一級河川の平等川に渡河している国道20号線の疾風橋において、耐震補強と河川改修対応のため、上部工を供用したまま橋脚を作り替えるものである。

Key Words：アンダーピニング、ジャッキアップ、フラットジャッキ

1. はじめに

当工事は橋脚を作り替えるためにH鋼杭鋼製ベントを設置し、鋼製ベント上にてジャッキアップすることで上部工を受け替えるアンダーピニングを行ったので、その施工実績を報告する。施工前状況と施工完了状況を写真-1と写真-2に示す。



写真-1 アンダーピニング施工前



写真-2 アンダーピニング施工完了

2. 工事概要

2.1 全体工事概要

工 事 名：疾風橋耐震その2工事

発 注 者：国土交通省 関東地方整備局 甲府河川国道事務所

施 工 者：株式会社ピーエス三菱 東京土木支店

施工場所：山梨県笛吹市石和町広瀬地先

工 期：平成24年9月28日～平成26年11月28日

主要工事数量

- ・工場製作工（支承撤去設置受台製作工）：1式 ・橋梁支承工：1式 ・構造物撤去工：1式
- ・橋梁下部工（RC橋脚工・上下線各1基）：1式 ・仮設工：1式



岡部真一郎

2.2 施工条件

当工事は前年度工事から継続した事業であり、上部工仮受け部の補強、鋼製ベント1基分（B2ベント：32本）のH鋼基礎杭打設およびベント鋼桁の製作は完了していた。また、当初計画が国道20号線を通行止めにしてジャッキアップし、鋼製ベント上に現況高さに合わせた鋼製架台を設置して上部工を鋼製ベントに受け替え、更に既設橋脚支承部の脇をジャッキアップして既設橋脚支承を撤去するものであった。上部工の仮受け構造を図-1に示す。

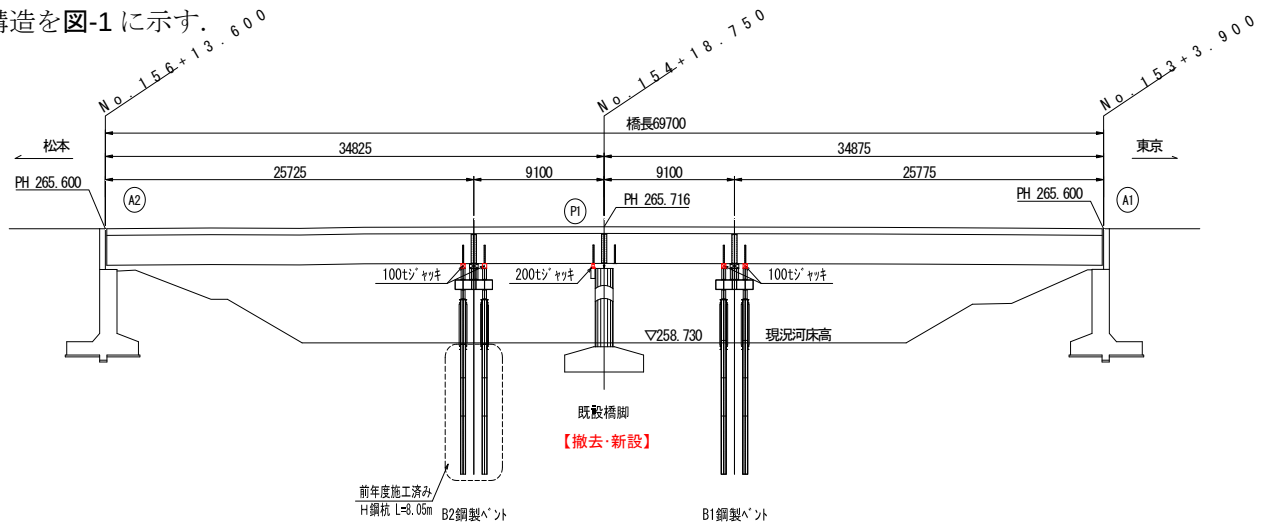


図-1 上部工仮受け構造図（当初計画）

しかし、交通管理者との協議にて通行止めが不可能となり、渇水期施工で工程を伸ばすことも出来ないため、現況の上部工補強のままで支給されたベント鋼桁を用いてジャッキアップし、既設橋脚支承を撤去する必要が生じた。また、前年度工事にて試験杭を打設していないため、支持力の実測を行わずにジャッキアップを行う必要も生じた。

3. アンダーピニング概要

3.1 アンダーピニング対象物

疾風橋上部工は上下線ともに4本の主桁で構成される橋長69.7mの2径間連続非合成鉄桁橋であり、各線の総重量は7,194kN（床版・舗装等を含む）である。断面形状を図-2に示す。

また、主桁を受け替える部分については、鋼製架台を設置する箇所とその両脇のジャッキアップ箇所が補強されている。ジャッキアップ箇所の補強は通行止めを前提としているため、活荷重が考慮されていない構造となっている。その形状を図-3に示す。

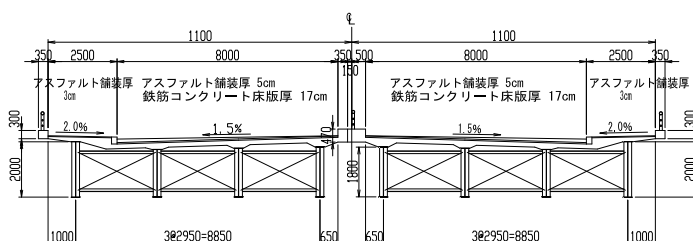


図-2 上部工断面図

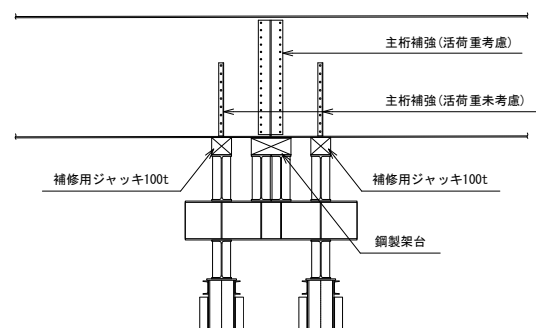


図-3 上部工仮受け詳細図

3.2 アンダーピニング施工数量

アンダーピニング施工数量は表-1のとおりである。

表-1 アンダーピニング施工数量

工種・項目	仕様・寸法	数量	単位
鋼製架台	□1000×500×202~241	5.106	t
ベント鋼桁	上部桁 H700×300×13×24	23.184	t
	中間桁 H588×300×12×20	16.288	t
	下部桁 H588×300×12×20	18.984	t
H鋼支柱	H400×400×13×21, L=2.450m	64	本
H鋼基礎杭	H400×400×13×21, L=8.050m	32	本
ジャッキアップ	油圧ジャッキ	16	台
	フラットジャッキ	16	個

3.3 アンダーピニング施工手順

上部工の下 4.5m の低空頭にて残り 1 基分 (B1 ベント : 32 本) の H 鋼基礎杭を打設し, H 鋼支柱を建て込んだ上に支給されたベント鋼桁を架設した後, 全ベント受け替え箇所にて同時にジャッキアップを行う。

当初計画においては鋼製ベント部での受け替え高さは現況高さであったが, 既設橋脚部でのジャッキアップが不可能であるため, 既設橋脚支承から上部工が上昇するまでジャッキアップを行い, 既設橋脚の支承撤去および取り壊しを可能とする。鋼製ベントの形状を図-4 に示す。

3.4 H 鋼基礎杭

3.4.1 品質要求事項

鋼製ベント部でのジャッキアップにより, 既設橋脚支承と上部工の縁を切って既設橋脚を撤去することが必要であるため, 鋼製ベントが沈下すると既設橋脚の撤去が不可能となる。また, 既設橋脚撤去から橋脚の新設までに 2 年近くを要するため, 鋼製ベントの H 鋼基礎杭は十分な支持力が必要である。

3.4.2 杭伏せおよび設計荷重

鋼製支承部における設計支点反力が 1682.0kN であり, 基礎杭の設計支持力が 435.9kN であるため, 1 箇所 の 支点に対して 4 本の基礎杭を配置する。鋼製ベント 1 基当たり 32 本となり, 全体で 64 本の基礎杭が必要である。図-5 に杭伏せを示す。

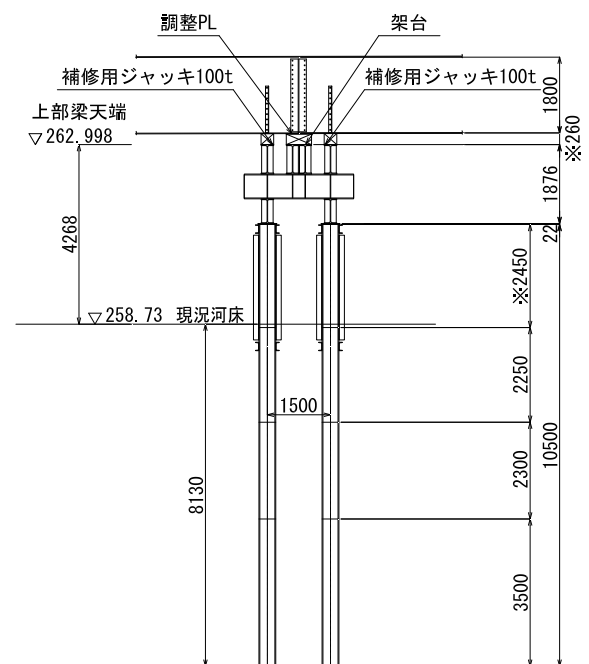


図-4 鋼製ベント構造図 (当初計画)

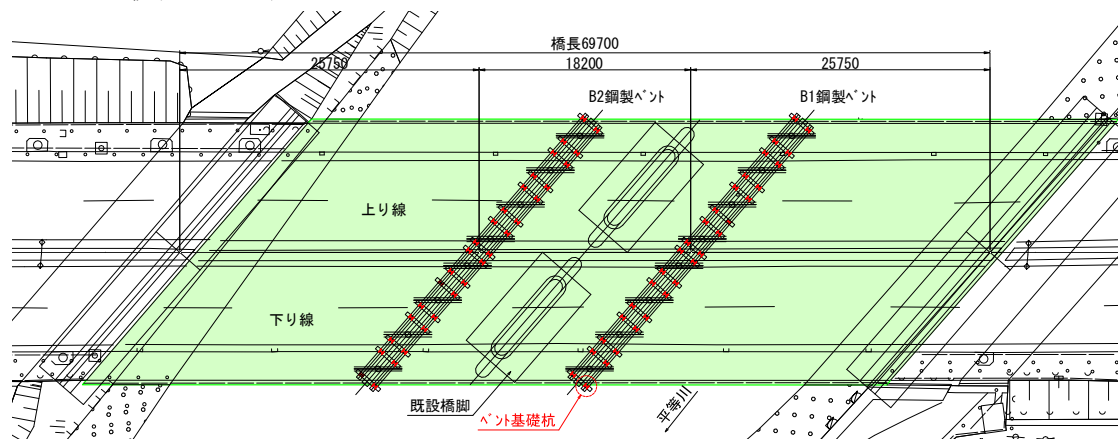


図-5 ベント基礎杭伏せ図

3.4.3 H鋼基礎杭の打設

前年度工事にて B2 ベント 1 基分の 32 本が既施工である。施工はウォータージェットを併用した低空頭対応型の油圧バイプロハンマにて打設を行っており、支持地盤が玉石混じり砂礫層であるため、1 日当たり 1 本の歩掛りである。また、H 鋼基礎杭の支持力を確認するため、動的極限支持力の測定を実施している。

当工事においては、工程の問題から 1 日当たり 2 本以上の打設が必要であるため、アースオーガによる先行掘削を併用した低空頭対応型の油圧バイプロハンマにて打設を行った。支持力の確認は前年度工事と同様に動的極限支持力の測定を行った。

3.5 ジャッキアップ

3.5.1 施工要求事項

大幅な計画変更による工期増加や工事費増額を避けるため、前年度工事から引き継いだ支給品の鋼製ベントを用いて、活荷重を考慮した確実なジャッキアップを行う必要があった。また、上部工荷重に対する鋼製ベントの支持力を確認することが出来るジャッキアップを行う必要もあった。

3.5.2 ジャッキアップ方法

上部工の補強状況からベント架台箇所にてジャッキアップする必要がある、使用するジャッキは沈下量に追従可能な油圧ジャッキが最適であったが、鋼製ベントの計画形状と長期的なジャッキアップの安定性および費用面から使用を避ける必要があった。

使用するジャッキは 25mm の隙間があれば設置できるフラットジャッキを検討し、揚力と長期的安定性から本施工に採用することとした。しかし、フラットジャッキはジャッキダウンが不可能でストロークが 25mm と小さく、既設橋脚撤去後の中間支点標高を現状高さに近い数値で維持するには仮受け部で約 5mm のジャッキアップが必要であるため、ジャッキアップ時に 20mm 以上の沈下が発生した場合には設置のやり直しが生じる可能性があった。その対策として、鋼製ベント架台設置前のスペースを利用した油圧ジャッキによる予備ジャッキアップを行うこととし、鋼製ベントの支持力確認と沈下促進を目的としたプレロードを実施した。

4. 施工計画

4.1 H 鋼基礎杭

4.1.1 H 鋼基礎杭の打設

低空頭対応型の油圧バイプロハンマにて打設する。玉石混じり砂礫の地盤に対して確実な施工が必要のため、アースオーガによる先行削孔を併用する。施工状況を写真-3 に示す。

先端支持力を確保するために先行削孔の過掘りに注意する必要があるが、根入れ長の確保と先行削孔による杭先端の礫溜まりを考え、H 鋼杭下端より 50cm の余掘りを実施する。最終打撃時に動的極限支持力を測定し、支持力が不足する場合には基礎杭の根入れを長くして対応する。

4.1.2 動的極限支持力の確認

打設時にモーター出力、振動数および貫入速度を測定し、動的極限支持力の確認を行う。式(1)に動的極限支持力の計算式を示す。

$$R_u = \frac{10.2 \times P_w}{\alpha \times V + M} \dots\dots\dots (1)$$

R_u : 動的極限支持力 (k N)

P_w : 杭の最終貫入時の油圧モータ出力 (k W)



写真-3 H鋼基礎杭打設状況

$$P_W = \delta \times P$$

δ : 压力变换系数

P : 油圧モータの油圧力 (MPa)

α : 速度係数

V : 杭の最終貫入速度 (cm/sec)

M：機械能力係数

(0.2: 振動による土の摩擦低減率と油圧ショベルの押込み力を考慮)

振動数毎の圧力変換係数 δ の値

振動数 (cpm)	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000
CHV-200	1.44 ≒ 1.4	1.485 ≒ 1.5	1.53 ≒ 1.5	1.575 ≒ 1.6	1.62 ≒ 1.6	1.665 ≒ 1.7	1.71 ≒ 1.7	1.755 ≒ 1.8	1.8
CHV-300	1.92 ≒ 1.9	1.98 ≒ 2.0	2.04 ≒ 2.0	2.1	2.16 ≒ 2.2	2.22 ≒ 2.2	2.28 ≒ 2.3	2.34 ≒ 2.3	2.4

速度係数 α の値

機 種	α
CHV-200	2.44
CHV-300	1.26

4.2 ジャッキアップ

4.2.1 予備ジャッキアップ（プレロード）

上部工荷重および基礎杭支持力は推定値であるため、実際に荷重を載荷した時における鋼製ベントの沈下が懸念される。そのため、上部工を受け替える前に荷重を載荷し、上部工支持の可否を確認するとともに、沈下を促進させて受け替え後の残留沈下量を低減させる。

油圧ジャッキの圧力と揚力の関係を確認し、油圧ジャッキを用いて鋼製ベント上にて上部工のジャッキアップを行う。予備ジャッキアップの構造を図-6に示す。

上部工荷重に対する加圧は段階的に行い、設計反力に対する 20%の圧力から 10%ずつ加圧する。加圧ステップごとに上部工と鋼製ベントの高さを計測し、既設橋脚部で上部工を上昇させるため、鋼製ベント部で 15mm 程度上昇するまでジャッキアップを行う。予備ジャッキアップの管理表を表-2 に示す。

ジャッキアップ測定管理表						基準高	機械高	
【測定箇所】 B1ベント・上り線・NO.5						標高(m)	読み値(m)	高さ(m)
圧力計	支点反力	時間	計測①・上部工変位		計測②・ベント変位	263.0053	0.0701	263.0754
			計測①・上部工変位	計測②・ベント変位				備考

活荷重の時間ごとや日ごとの変化に対しても確認するため、1日1回の頻度で1週間の経過観測を行う。

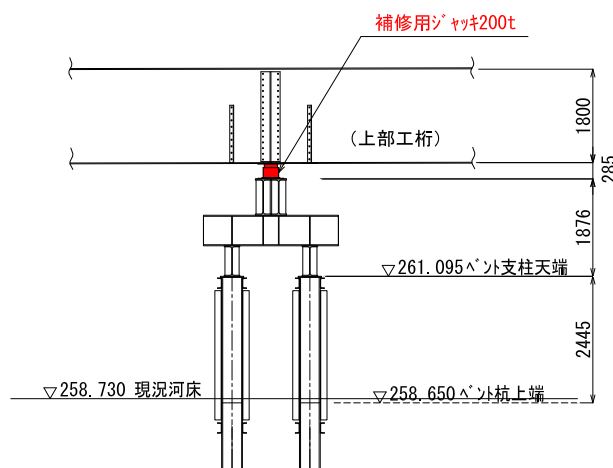


図-6 予備ジャッキアップ構造図

表-2 測定管理表(予備ジャッキアップ)

[illegible]

4.2.2 本ジャッキアップ

予備ジャッキアップで鋼製ベントの支持力を確認後、鋼製ベントに鋼製架台を設置し、上部工との隙間にフラットジャッキを設置してジャッキアップを行う。フラットジャッキの形状を写真-4 に示し、本ジャッキアップの構造を図-7 に示す。

フラットジャッキの揚力を確認するため、水注入によるジャッキアップを行う。予備ジャッキアップと同様に注入圧力と揚力の関係を確認し、設計反力の 8.0%に相当する圧力 1.0MPa から 5.0%ずつ加圧する。加圧段階ごとに上部工と鋼製ベントの高さを計測し、上部工が 5 mm 程度上昇するまでジャッキアップを行う。本ジャッキアップ（水注入）の管理表を表-3 に示す。活荷重の時間ごとや日ごとの変化に対しても確認するため、1 日 1 回の頻度で 1 週間の経過観測を行う。



写真-4 フラットジャッキ形状

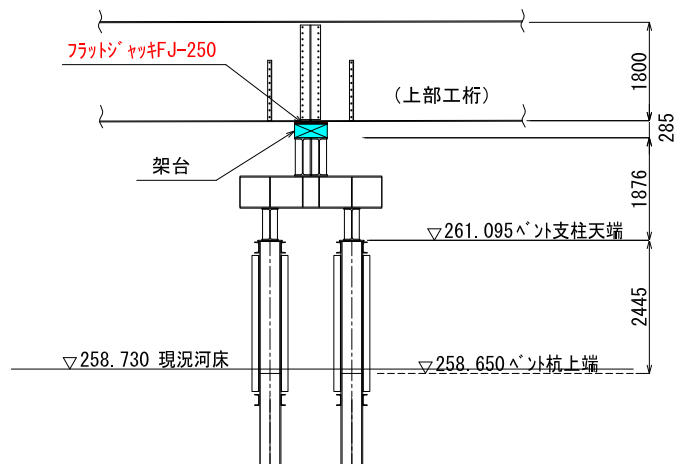


図-7 本ジャッキアップ構造図

ジャッキアップ量の維持を確認後、恒久的な支持を確保するため、フラットジャッキ内の水をグラウトに入れ替える。コンプレッサーによる空気圧で水を抜き、水圧時と同様にグラウトによるジャッキアップを行う。ジャッキアップ量を詳細に管理する必要があるため、加圧は設計反力の 5.5%に相当する圧力 0.8MPa から実施し、約 3.0%ずつ増加させるステップとする。加圧段階ごとに上部工と鋼製ベントの高さを計測し、上部工が約 5mm 上昇するまでジャッキアップを行う。本ジャッキアップ（グラウト注入）の管理表を表-4 に示す。

表-3 管理表(本ジャッキアップ^o:水注入)

[illegible]

表-4 管理表(本ジャッキアップ[°]:グラウト注入)

ジャッキアップ測定管理表						基準高		機械高	
【測定箇所】						B1ベント:上り線:No.5		橋高(m)	高さ(m)
						263.0053		0.2080	263.2133
圧力計読み値 (MPa)	支点反力 (KN)	時間	計測①:上部工変位			計測②:ベント変位			備 考
			読み値(m)	標高(m)	変位(mm)	読み値(m)	標高(m)	変位(mm)	
0.0	0.0	11時50分	初期値	263.2620	0.0	初期値	262.9840	0.0	フランドジャキ排水後
0.8	92.7	12時00分	0.0490	263.2623	0.3	0.2304	262.9829	-1.1	計面反力 5.5%
1.0	134.7	12時15分	0.0495	263.2628	0.8	0.2305	262.9828	-1.2	計面反力 8.0%
1.5	218.7	13時35分	0.0514	263.2647	2.7	0.2307	262.9826	-1.4	計面反力 13.0%
1.8	269.1	13時00分	0.0529	263.2662	4.2	0.2308	262.9824	-1.6	計面反力 16.0%
2.2	336.3	13時15分	0.0539	263.2672	5.2	0.2311	262.9822	-1.8	計面反力 20.0%
2.5	386.7	13時35分	0.0538	263.2671	5.1	0.2311	262.9822	-1.8	計面反力 23.0%
2.7	420.3	13時50分	0.0536	263.2669	4.9	0.2313	262.9820	-2.0	計面反力 25.0%
2.7	420.3	15時20分	0.0538	263.2669	4.9	0.2313	262.9820	-2.0	計面反力 25.0%
2.9	453.9	17時00分	0.0542	263.2675	5.5	0.2313	262.9820	-2.0	計面反力 27.0%

設計支点反力

1682 KN

フランドジャキ(FJ25J)の揚力と圧力の関係

Y = 168X - 33.3

揚力 Y(KN)、圧力 X(Mpa)

B1ベント

上り線

下り線

4.3 変位観測

4.3.1 計測方法

測定誤差が生じないようにデジタルレベルを使用し、各支点部の上部工および鋼製ベントに固定した RAB コードスケールを測定することで、0.1mm 単位で変位を計測する。計測状況を写真-5 と写真-6 に示す。



写真-5 計測状況 (デジタルレベル)



写真-6 RAB コードスケール

4.3.2 経過観測

予備ジャッキアップ (プレロード) 後と本ジャッキアップ (水注入) 後の時間経過における上部工および鋼製ベントの沈下量を測定し、ジャッキと鋼製ベントの支持力および残留沈下量の収束を確認する。

予備ジャッキアップ (プレロード) は1週間、本ジャッキアップ (水注入) は5日間について、1日1回以上の頻度で計測を実施する。

5. 施工実績

5.1 動的極限支持力の測定

今回打設した32本のH鋼基礎杭において、測定結果より1本当りの動的極限支持力は867.6kNとなり、常時における杭1本当り最大反力435.9kNに対して約2倍の数値であった。よって、鋼構造架設設計施工指針 (土木学会) に規定される安全率2が確保され、設計上載荷重に対するH鋼杭基礎の支持力は十分であると判断し、鋼製ベントは設計通りの形状にて施工を行った。測定結果を表-5に示す。

表-5 動的極限支持力測定結果

		A-1	B-1	A-2	B-2	A-3	B-3	A-4	B-4	A-5	B-5	A-6	B-6	A-7	B-7	A-8	B-8
ハイロハム振動数	cpm	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
圧力変換係数 δ		2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
油圧モータの油圧力P	MPa	20	19.5	18.8	19	18.2	18	17	19.5	19	19.5	18	18.5	18	16	18	18
油圧モータ出力Pw	kW	48	46.8	45.12	45.6	43.68	43.2	40.8	46.8	45.6	46.8	43.2	44.4	43.2	38.4	43.2	43.2
速度係数 α		1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
最終貫入量	cm	46.5	18.9	43.5	41	49.8	52.4	54.2	19	59.6	58.2	50	55.4	46.2	53.6	59	47.1
最終貫入所要時間	sec	166	79	176	151	163	181	283	46	249	180	246	212	232	340	272	235
最終貫入速度V	cm/sec	0.28	0.24	0.25	0.27	0.31	0.29	0.19	0.41	0.24	0.32	0.2	0.26	0.2	0.16	0.22	0.2
機械能力係数M		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
動的極限支持力Ru	kN	886	950	894	861	754	779	947	666	926	791	975	858	975	975	923	975

		A-9	B-9	A-10	B-10	A-11	B-11	A-12	B-12	A-13	B-13	A-14	B-14	A-15	B-15	A-16	B-16
ハイロハム振動数	cpm	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
圧力変換係数 δ		2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
油圧モータの油圧力P	MPa	18	18	17	20	16	17	16	16	16	16	19	20	18	19	20	20
油圧モータ出力Pw	kW	43.2	43.2	40.8	48	38.4	40.8	38.4	38.4	38.4	38.4	45.6	48	43.2	45.6	48	48
速度係数 α		1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
最終貫入量	cm	59.9	61.5	63	59.3	50.5	55.7	48.2	60	47.6	61.5	55	59	56.2	63.9	43.9	46.4
最終貫入所要時間	sec	184	257	335	239	287	185	285	293	208	396	212	205	235	226	172	183
最終貫入速度V	cm/sec	0.33	0.24	0.19	0.25	0.18	0.3	0.17	0.2	0.23	0.16	0.26	0.29	0.24	0.28	0.26	0.25
機械能力係数M		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
動的極限支持力Ru	kN	716	877	947	951	918	720	946	867	800	975	882	866	877	841	928	951

5.2 鋼製ベント支持力の確認と残留沈下量の低減

鋼製ベントの支持力確認と残留沈下量の想定が出来ないため、アンダーピニング前に油圧ジャッキを用いたプレロードを実施した。結果として、予備ジャッキアップにより 0.6mm 程度の沈下で、鋼製ベントが上部工を支持することが確認された。また、本ジャッキアップ（水注入）と本ジャッキアップ（グラウト注入）により更に 0.6mm（累積 1.2mm）沈下したが、その後の沈下は既設橋脚撤去により 100%の載荷状態になっても、1 か月の経過で 1.3mm（累積 2.5mm）に収まっている。その経過変位を図-8 に示す。

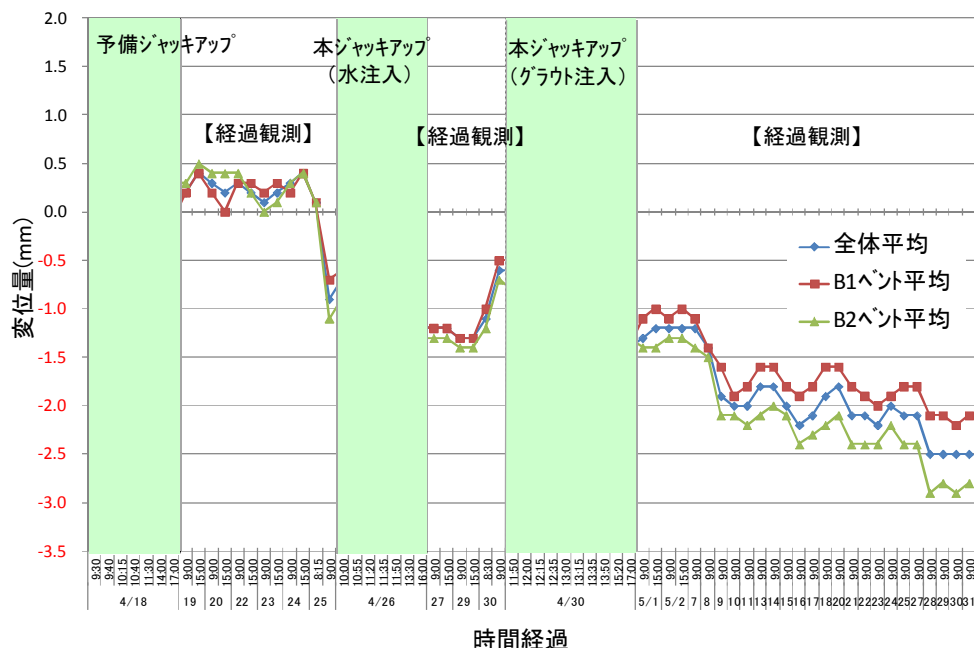


図-8 鋼製ベント沈下変位量

5.3 鋼製ベント形状の変更

ジャッキアップにフラットジャッキを使用することにより、鋼製ベントの形状は上部工下面とベント架台の間隔を 25mm 広げる程度の変更で済み、当初計画の形状から大幅な変更は行わなかった。

5.4 ジャッキアップ時の揚力と上部工の挙動

油圧ジャッキによる予備ジャッキアップにおいて、設計反力に対して約 30%の揚力にて上部工が平均 15.0mm ジャッキアップされた。フラットジャッキによる本ジャッキアップにおいても、設計反力に対して約 30%の揚力にて上部工が平均 5.0mm ジャッキアップされた。

設計荷重に対して実荷重が非常に小さかったが、上部工の竣工が 44 年前で資料が無く、本事業における設計において安全側を想定して計算を行ったため、上部工荷重が実状よりも過大となっていると考えられる。

5.5 既設支承部における上部工の挙動

本ジャッキアップから 1 箇月を経過した上部工は、仮受け部で平均 5.0mm のジャッキアップを維持している。既設支承部の死荷重による仮受け時の平均たわみ量が 3.7mm であるため、既設支承部において既設橋脚撤去前の高さを維持することができた。よって、今後の橋脚新設に対して問題のないアンダーピニングを行うことができた。

6. むすび

今回は前年度工事からの継続工事であるため設計方針や使用材料を引き継ぐこととなり、施工方法を変更することが非常に難しい条件であったが、荷重に対する支持力の事前確認と鋼製ベント沈下量の継続的計測により、大きな計画変更をすることなく公共の安全性を確保して既設橋脚撤去を無事完了することができたのは幸いであった。次期渇水期にて橋脚を新設し、上部工の受け戻しを行う予定である。

今後の類似した工事においては、当初から仮受け部材の支持力を実測確認する方法を計画し、施工を行うことが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，平成22年1月
- 2) 土木学会：鋼構造架設設計施工指針，2001年版