

荒山大橋の施工

— 平面曲線を有する波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋 —

笛木 亮*1・鎌田 祐一*2・大辻 悦朗*3・浅井 学*4

荒山大橋は、石川県金沢市中心部と東海北陸自動車道の福光 I.C を連絡する主要地方道金沢井波線を整備するために、金沢市荒山町地内に架橋された 4 径間連続 PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋である。本橋は、1 支間長 122.5 m に渡り、 $R = 280 \text{ m}$ という小さな平面曲線を有する波形鋼板ウェブ箱桁橋を、移動作業車による片持ち張出し架設で施工を行った。施工ヤードの有効活用と施工性向上を目的とし、広範囲に早く資材を移動することに優れている水平ジブクレーンを採用して施工を行った。

本稿では、波形鋼板ウェブ箱桁橋の特徴を捉え、曲線橋における波形鋼板の製作と設置・架設にあたっての留意事項を報告するとともに、有限要素法解析を用いた検討により曲線橋の特徴を捉え、施工を行った結果について報告する。

キーワード：波形鋼板ウェブ、有限要素法解析、そり拘束ねじりモーメント、せん断変形

1. はじめに

主要地方道金沢井波線の整備は、金沢・南砺両地域間における交通基盤の強化を図るとともに、東海北陸自動車道福光 I.C および金沢山側環状とを直結することにより、さらなる経済・文化の交流促進を図り、また、冬期・異常気象時の通行止めやすれ違い困難箇所の解消を行い、安全で快適な交通を確保することを目的としている。

荒山大橋は、最大支間長が 122.5 m の長支間 PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋であり、この規模の橋梁においては国内最小半径 $R = 280 \text{ m}$ の急曲線を有する橋梁である。架設地点は豪雪地帯であり、冬期において凍結防止剤を散布することから、波形鋼板ウェブには海浜耐候性鋼材（ニッケル系高耐候性鋼板）SMA490 W が採用されている。架設工法は片持ち張出し架設を用い、移動作業車にて中央閉合までを行った。

また、A1 側径間を固定支保工、A2 側径間は固定支保工併用吊支保工にて連結し、橋体を完成させた。

2. 工事概要

工事概要を以下に、全体図を図 - 1 に示す。

工 事 名：主要地方道金沢井波線緊急地方道路整備
工事（荒山大橋上部工）

発 注 者：石川県県央土木総合事務所

道路規格：第 3 種第 3 級

荷 重：B 活荷重

上部工形式：4 径間連続 PC 波形鋼板ウェブ箱桁

橋長支間割：419.0 m, 80.0 + 2@122.5 + 92.0 m

幅員構成：歩道 2.5 m, 車道 7.5 m

平面曲線： $R = 1300$, $A = 140 \text{ m}$, $R = 280 \text{ m}$, $A = 140 \text{ m}$, $R = \infty$

縦断勾配：5.000 % ~ 3.998 %

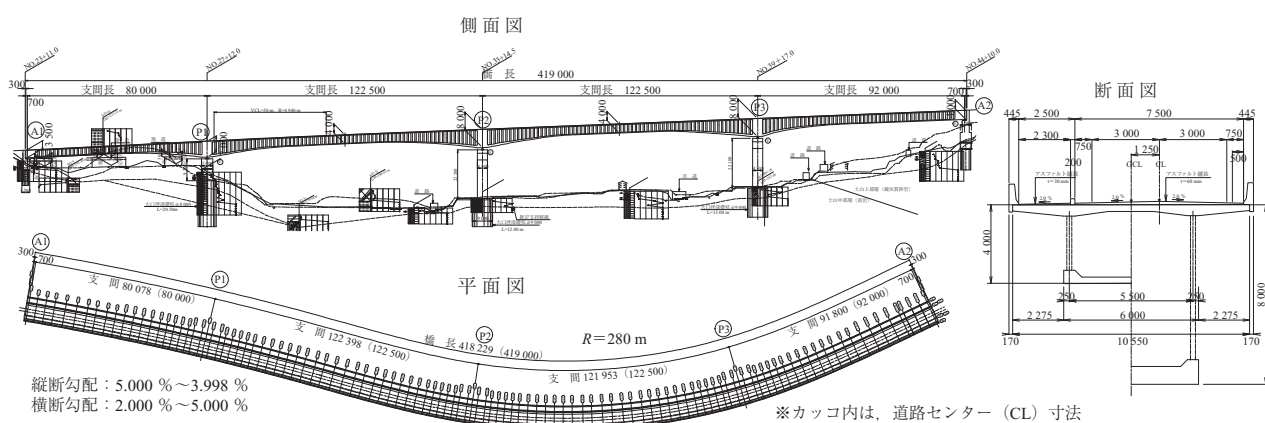


図 - 1 全体図

*1 Ryo FUEKI：(株) ピーエス三菱 東京支店 土木技術部

*2 Yuichi KAMADA：(株) ピーエス三菱 東京支店 土木工事部

*3 Etsuro OTUJI：三井住友建設 (株) 中部支店 土木部

*4 Manabu ASAI：三井住友建設 (株) 中部支店 土木部

横断勾配：2.000 %～5.000 %

架設工法：張出し架設工法

工 期：平成 20 年 10 月～平成 23 年 4 月

3. 荒山大橋の特長

3.1 荒山大橋の概要

本橋の特徴を、以下に示す。

- ① 本橋架設地点は豪雪地域に位置しているため、冬期において凍結防止剤が散布される。このため、波形鋼板には、経済性も考慮し、海浜部でも使用可能である海浜耐候性鋼材（ニッケル系高耐鋼性鋼材）を採用。
- ② 波形鋼板の接合方法は、実績が多く施工性が良い高力ボルト一面摩擦接合を採用。
- ③ 床版と波形鋼板ウェブのずれ止めには、上床版部では、鋼橋で施工実績の多いスタッドジベル接合を採用。下床版部で施工性と経済性に優れ、施工実績の多い、埋込み接合を採用。
- ④ 主方向 PC 鋼材は経済性に配慮し、内ケーブル（12S15.2）、外ケーブル（19S15.2）併用方式を採用。横方向は、プレグラウト鋼材（1S28.6）を採用。
- ⑤ 経済性から最適な支承形状として、免震支承（超高減衰ゴム支承）の採用。

3.2 曲線橋に対する対策

本橋は最小 $R = 280 \text{ m}$ の平面曲線を有する曲線橋であり、PC 鋼材の配置は鉛直方向に加え、水平方向にも角度変化が存在した。このため、設計計算で考慮されている鉛直方向の角度に加え、水平方向の角度変化を加味した緊張計算を実施した。また、外ケーブル PC 鋼材偏向部には鉛直力と水平力が合成し腹圧力となって作用するため（図 - 2）、有限要素法（以下「FEM」という。）解析を実施し、鉄筋量が不足する場合には補強鉄筋を追加配置した。各偏向部において検討を行った結果、設計計算書より 1カ所あたり 2 000 kN を超える鉛直方向分力が作用する TYPE-A, B, F, G で補強鉄筋を必要とすることが分かった（図 - 3 ～ 5）。

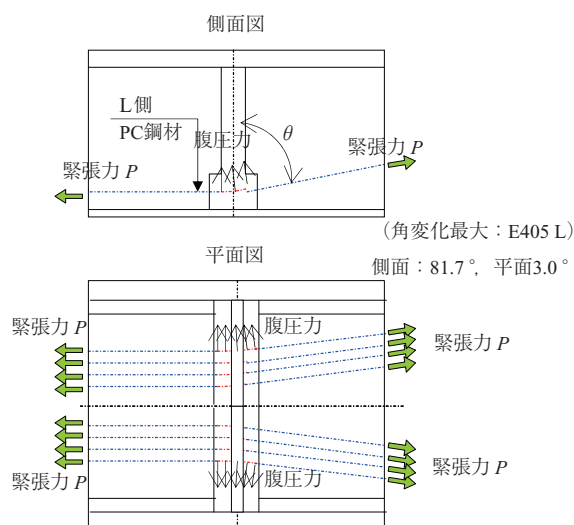


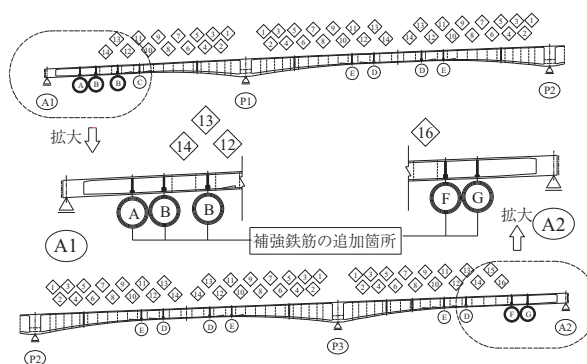
図 - 2 偏向部腹圧イメージ図 (Type-G)

外ケーブル緊張作業後に各偏向部を確認したが、プレストレス力導入による有害なひび割れは確認できなかった。

4. 波形鋼板の製作

4.1 平面曲線への対応

波形鋼板ウェブを製作するにあたり、平面曲線に対する



TYPE	A	B	C	D	E	F	G
分力 (kN)	2 025 kN	2 113 kN	812 kN	1 174 kN	1 179 kN	2 200 kN	2 896 kN
補強の有無	○	○				○	○

図 - 3 偏向部補強箇所

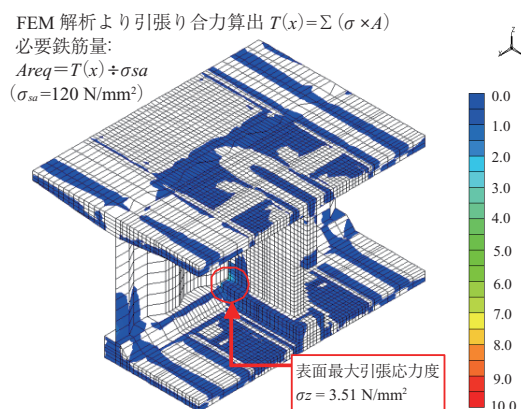


図 - 4 FEM 解析結果

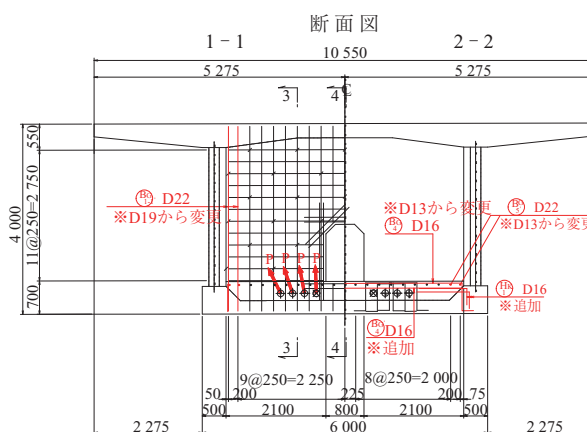


図 - 5 偏向部補強図

○ 工事報告 ○

考え方を下記に示す（図 - 6）。

- ① コンクリート打継目をCセクションとし、線形上のウェブ中心とCセクションの交点を結んだ直線（CCライン）を実施工におけるウェブラインとする。
- ② 波形鋼板ウェブジョイント部はJセクションとする。
- ③ 平面曲線最小 $R = 280\text{ m}$ 区間の最長ブロックにおけるブロック中心位置での線形上のウェブ中心とC-Cラインとの離れは4mm程度と小さいため、各ブロックの製作は、C-Cラインとする。
- ④ コンクリート打継目において、波形鋼板上フランジおよびウェブを折り曲げて製作することで（図 - 7）、平面曲線に対応する（J-C-Jライン）。

4.2 縦断勾配への対応

波形鋼板は上げ越し量を考慮し、完成時の縦断勾配で製

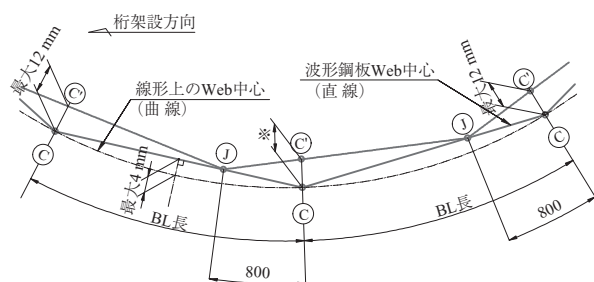


図 - 6 波形鋼板平面曲線における考え方

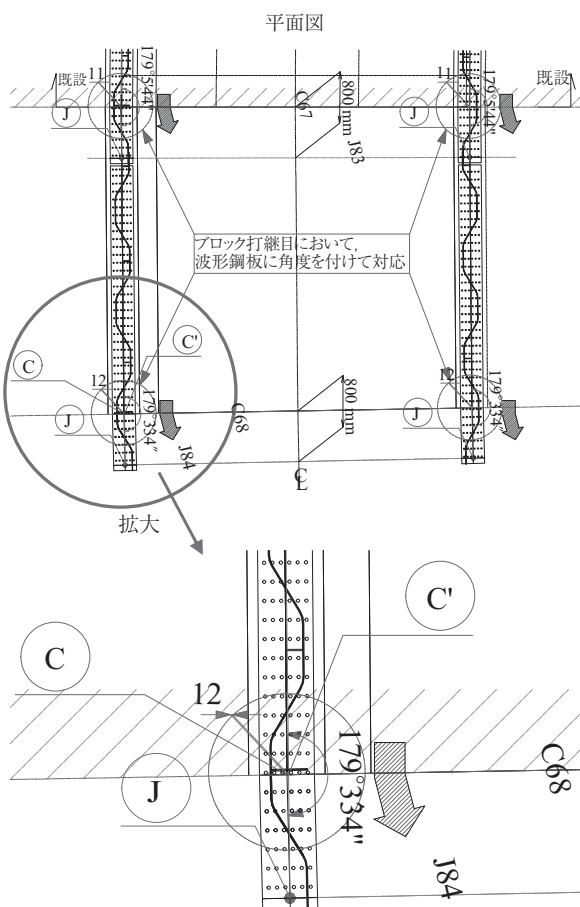


図 - 7 波形鋼板配置図

作を行った。施工誤差などによる高さ調整は、4ブロックごとに接合部ボルト孔位置を変更することで調整を行う計画とした。このとき、道路橋示方書・同解説Ⅱ 6.3.12 ボルト縁端距離を確保するよう留意した。なお、緊張や施工誤差などによる橋軸方向桁短縮量に対する桁長調整は、各閉合部の波形鋼板接継部を長く取り、ボルト孔削工から連結までを現場で行うことで対応した（写真 - 1）。



写真 - 1 閉合部ボルト孔削孔状況

波形鋼板ウェブ橋は、施工時温度変化によるたわみ変化があるため、日中の気温差で主桁にたわみ差が生じる。中央閉合部波形鋼板は施工誤差などを考慮し、現場でボルト孔削孔から連結までを行う計画としたため、日中一連の作業中に張出し先端部でたわみ量に変化すると、ボルト孔位置がずれることが懸念された。そこで、両張出し先端での縦断勾配が変化しないよう、上床版上に仮設H鋼材を追加配置し主桁を固定することで、変位防止を行った（写真 - 2）。

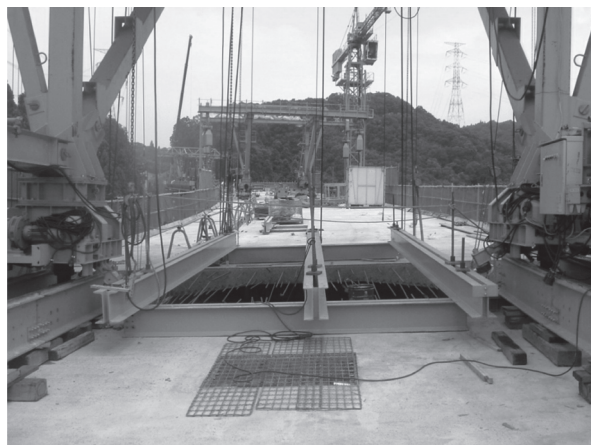


写真 - 2 閉合部変位防止状況

5. 施 工

5.1 柱頭部の施工

P1 柱頭部の波形鋼板の架設は、P1 橋脚側方に設置した

仮設構台にラフタークレーンを設置し、荷揚げ作業および架設を行った。P2 および P3 柱頭部においては各橋脚側方に組立て・設置したタワークレーンにより、荷揚げ作業から架設までを行った。設置したタワークレーンは、水平に延びるジブによって吊荷をスライドさせる水平ジブクレーンを採用した（図 - 8）。作業半径は最大で 50 m と広範囲で、波形鋼板の架設範囲の大半をカバーできる利点があり、資材の荷揚げ・荷下ろしを迅速に所定の位置に行えることから、施工ヤードの有効活用と施工性向上を重視して採用に至った。

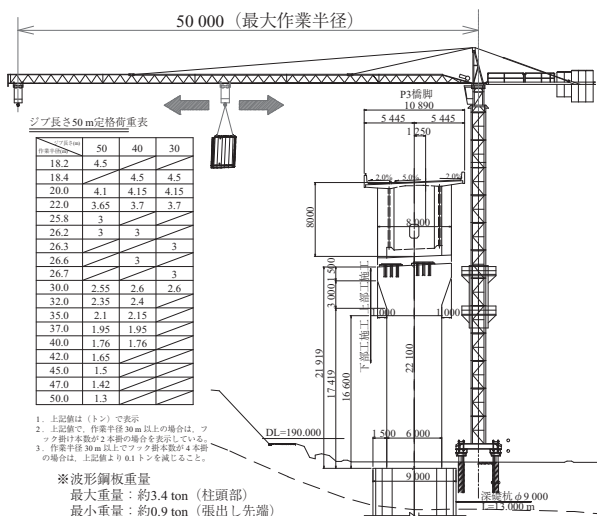


図 - 8 水平ジブクレーン

波形鋼板のセットは、張出し床版部支保工上に渡した H 鋼に波形鋼板を支持させ、橋軸・直角および高さの位置決めを行った（写真 - 3）。



写真 - 3 柱頭部波形鋼板設置状況

5.2 張出し部の施工

(1) 波形鋼板の架設

張出し部の施工は、移動作業車により行った。A1-P1 区間張出し部の施工においては、張出し架設時県道を交差するため、超低床式移動作業車を使用し、作業床を施工にあ

わせて毎ブロックリフトアップすることで、県道の建築限界 2.8 m を確保した（図 - 9、10）。

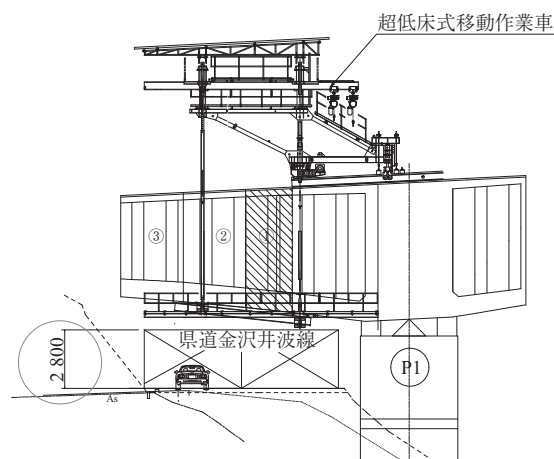


図 - 9 超低床式移動作業車（建築限界 2.8m 確保）



写真 - 4 超低床移動作業車

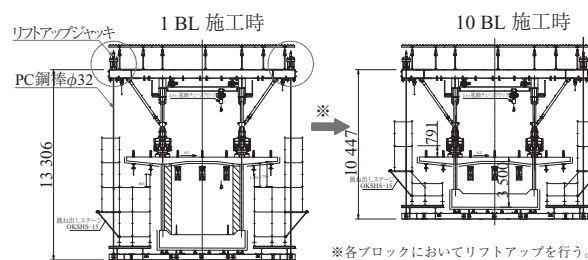


図 - 10 超低床式移動作業車図

このとき、車両の誤進入を防止するため、県道には高さ制限の門構を設置し、高さ制限看板を上げることのできる構造とすることで、工事用車両の通過にも配慮を行った（図 - 11、写真 - 5）。

県道上に移動作業車からの落下物防止対策として、移動作業車床に波板を配置することで、水も県道上に落とさないよう施工を行った（写真 - 6）。また、県道上ブロック打継目処理は、県道への濁水が落下するのを防ぐため、エンボス加工樹脂シートを用い、高圧水で洗い流す処理は行

○ 工事報告 ○

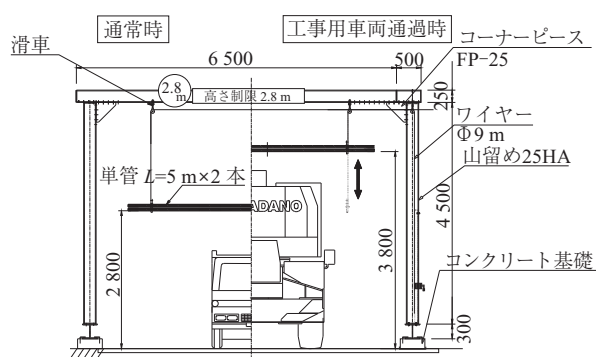


図 - 11 高さ制限門構図

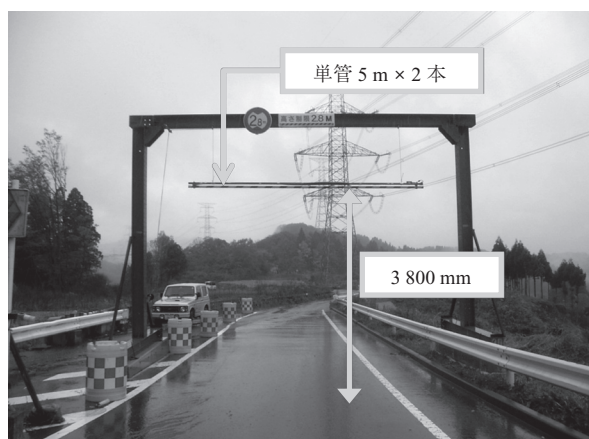


写真 - 5 高さ制限門構 (工事用車両通過時)



写真 - 6 落下物防止対策

わなかった。

P1 橋脚張出し部では、金沢井波線に近接した斜面上に位置していたため、施工スペース確保のため、作業構台の設置が必要であった。P1 橋脚側方に設置した仮設構台上にラフタークレーンを設置し(図 - 12)、波形鋼板の荷揚げ作業を行った。橋面上に仮置きされた波形鋼板を移動作業車後方まで運搬し、移動作業車に設置された吊装置により架設を行った(写真 - 7)。

P2 および P3 橋脚張出し部では、柱頭部同様タワークレ

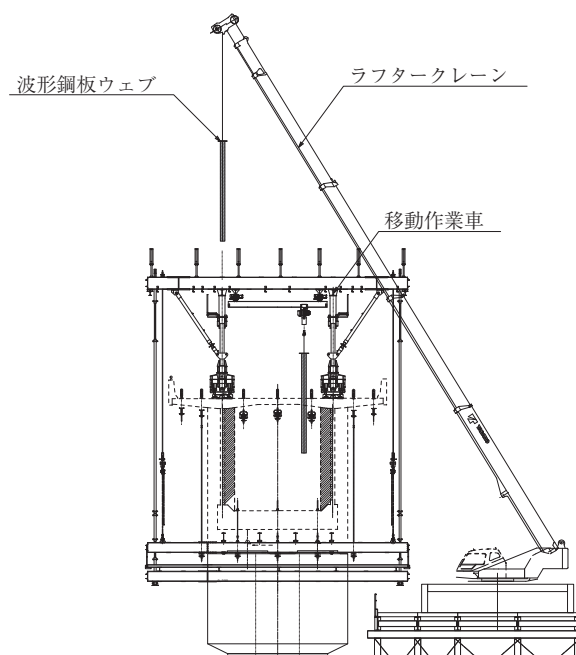


図 - 12 P1 波形鋼板架設図



写真 - 7 波形鋼板架設状況 (P1)

ーンにより波形鋼板の荷揚げ作業を行った。移動作業車前方足場を架設範囲のみ一時的に解放(写真 - 8)し、波形鋼板を荷揚げ・挿入後、移動作業車に取り付けられた吊装置(ホイストクレーン、ギヤードトロリー結合式チェーンブロック)に吊換え、所定の位置へ配置した。

また、移動作業車の主トラスは、波形鋼板吊上げのために十分な高さを取れる構造とし、なおかつ屋根部材を開閉可能な構造に改造することで、波形鋼板の設置を移動作業車上空から行えるよう配慮した(図 - 13)。

(2) 波形鋼板の設置

波形鋼板の設置は、施工ブロックのコンクリートが硬化し、所定の強度が得られるまでにその位置が変動しないよう配慮を行う必要があった。本橋は曲線橋であり、波形鋼板をコンクリート継目部で折り曲げているため、曲線区間においては各ブロックにおいて波形鋼板の設置位置をより正確に行わなければ、次ブロック施工に施工誤差が積み重



写真 - 8 波形鋼板配置準備状況 (P2)



写真 - 9 波形鋼板荷揚げ状況 (P2)

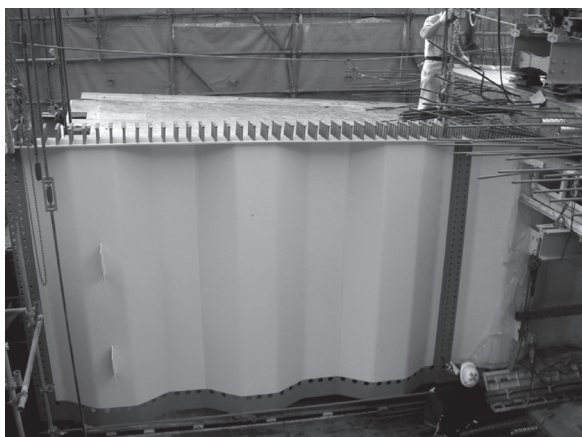


写真 - 10 波形鋼板配置状況

なることが危惧された。

平面曲線が小さいブロックにおける波形設置方法を以下に示す。

- ① 既設ブロック波形鋼板継目部の最上下段ボルト孔を使用し、仮接合を行う。
- ② 新設波形鋼板高さの確認し、高さに違いがある場合は、仮ボルトをゆるめ、移動作業車に設置されている吊装置

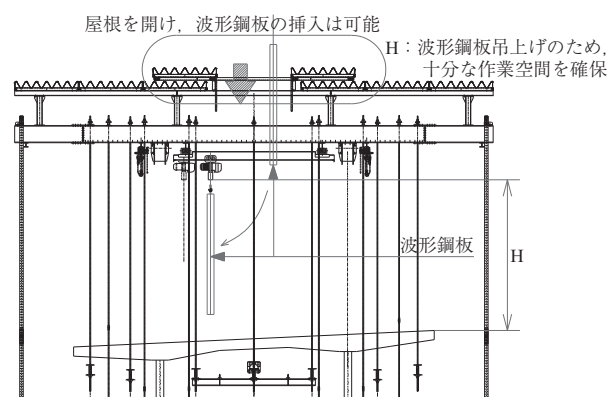


図 - 13 移動作業車屋根部材図

により高さ調整を行った。高さが所定の位置となったら仮ボルトを締め、一次締めを接合部中心より行った。仮ボルト以外のボルト孔で一次締めが完了次第、仮ボルトを取り外して一次締めを完了させ、その後本締め作業を行った (図 - 14)。

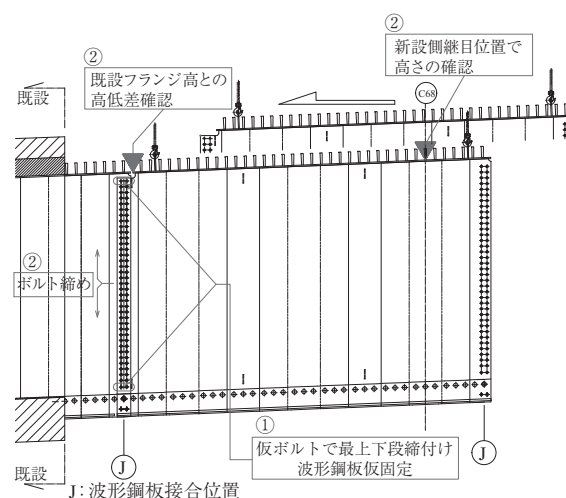


図 - 14 波形鋼板高さ調整図

- ③ 新設側コンクリート打継目における内空幅を計測し、形状保持材を用いて波形鋼板ウェブ前面で固定した (図 - 15)。
- ④ 既設コンクリート上から新設コンクリート打継目における波形鋼板位置を測量し、適切な位置に設置するように、対角線上に配置したワイヤロープをレバブロックで押し引きすることで、波形鋼板ウェブ設置方向の微調整を行った (図 - 16)。
- ⑤ 上床版から下げ振りを垂らし、波形鋼板ウェブからの離れを上下で計測することで鉛直配置されているか確認した。波形鋼板傾斜の微調整は、ガセットプレートを使用し、対角線上に配置したワイヤロープにレバブロックを取り付け行った (図 - 17)。

5.3 側径間支保工部の施工

側径間支保工部の波形鋼板は、柱頭部と同様に張出し床版部支保工上に渡した H 鋼に波形鋼板を支持させ、橋軸・

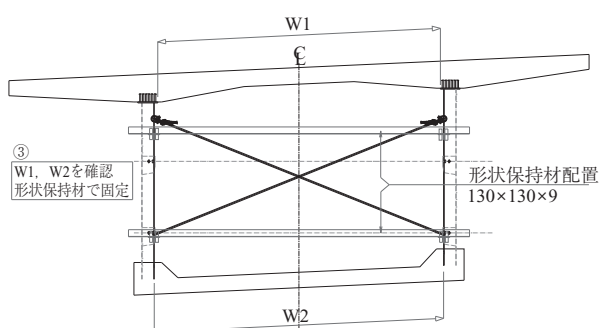


図 - 15 波形鋼板形状肘材設置図

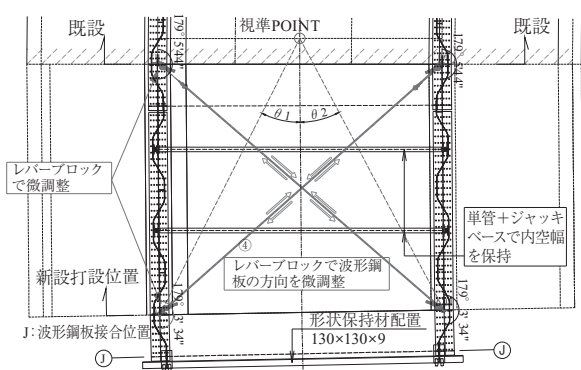


図 - 16 波形鋼板水平方向調整図

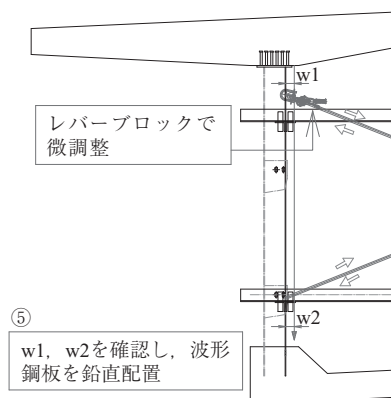


図 - 17 波形鋼板鉛直方向調整図

直角および高さ方向の位置決めを行った（写真 - 11）。

5.4 上げ越し管理

波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋は、通常の PC 箱桁（コンクリートウェブ）橋と比較するとせん断剛性が小さいため、せん断変形量を上げ越し計画に反映する必要があった。せん断変形量を決定するにあたり、平面線形を考慮した FEM 解析モデルと骨組（以下「FRAME」という。）解析モデルから算出されるたわみ量の割合から、せん断たわみ係数を算出した。解析モデルは、A1 から P2 を閉合したモデル（図 - 18）と、片持ち梁モデル（図 - 19）を作成し、せん断たわみ係数を算出した。結果、2つのモデルの平均値 1.10 をせん断たわみ係数とし、架設ステップを考慮した上げ越し計画における自重たわみ量を割増して施工を行

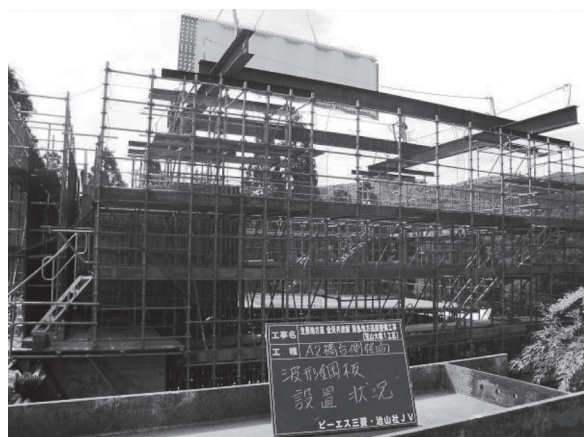


写真 - 11 側径間波形鋼板施工状況

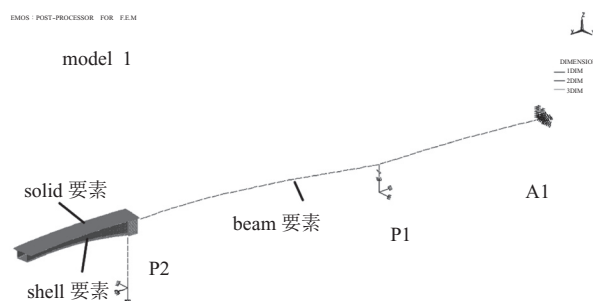


図 - 18 最大張出し架設時 FEM モデル（径間考慮）

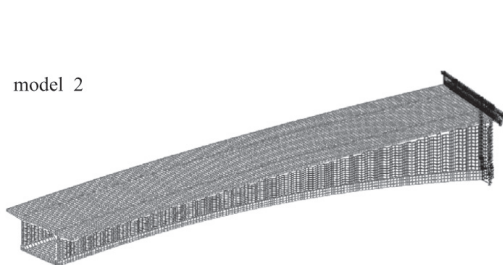


図 - 19 最大張出し架設時 FEM モデル（片持ち）

った。

また、本橋は曲線橋であることから、そり拘束ねじりモーメントが発生し、架設時および完成時において主桁床版左右にたわみ差が生じることが考えられた。そこで、主桁最大張出し時および完成時に着目し、床版左右のたわみ差を FEM 解析モデルから算出した（図 - 20, 21）。

図内変形イメージ図のように、表 - 2 から床版の傾きが両者で反対となることが分かった。完成時での床版左右のたわみ差は、最大 5 mm 程度となるが、架設時からの累積を考慮すると、床版左右のたわみ差は 2 mm 程度であることが分かった。施工において 1 ～ 2 mm を管理することは非常に難しいが、挙動の傾向を把握できたことは、施工管理上大いに役立つ情報となった。

施工を行った結果、最大張出し時から構造系完成時の床版左右たわみ差は最大で 5 mm 程度であり、解析値と同程度の結果であった。一方、数値は小さいものの、平面曲線

表 - 1 セン断たわみ係数

	検討 断面	FRAME 結果	FEM 結果	せん断たわみ係数
		① δy	② δy	② / ①
		mm	mm	
model 1	張出し先端	-140.0	-158.0	1.129
model 2	張出し先端	-111.3	-119.0	1.069

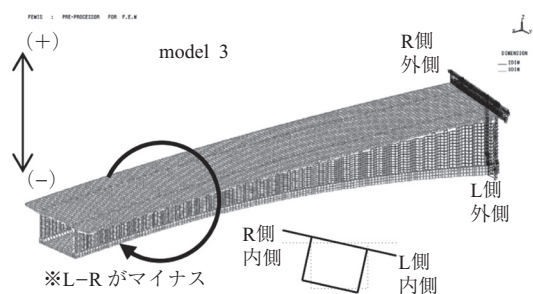


図 - 20 最大張出し架設時 FEM モデル

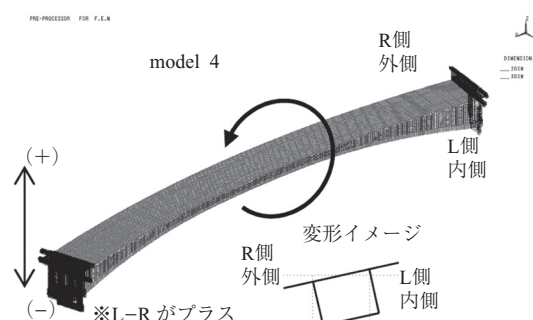


図 - 21 完成時 FEM モデル

表 - 2 床版左右たわみ差設計値

材料	BL 割	X 座標	model 3				model 4				累積差 L-R
			L	CL	R	L-R	L	CL	R	L-R	
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
柱頭部	1 750	4 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 000	6 000	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	0	0
1BL	2 400	8 400	-2	-2	-2	0	-2	-2	-2	0	-1
2BL	3 200	11 600	-5	-4	-4	-1	-4	-4	-4	0	-1
3BL	3 200	14 800	-8	-8	-7	-1	-7	-7	-7	0	-1
4BL	3 200	18 000	-13	-12	-11	-2	-11	-11	-11	0	-2
5BL	3 200	21 200	-20	-19	-17	-2	-15	-15	-15	0	-2
6BL	4 000	25 200	-26	-25	-24	-2	-21	-21	-21	1	-1
7BL	4 000	29 200	-35	-34	-33	-2	-28	-28	-29	1	-1
8BL	4 000	33 200	-45	-44	-43	-2	-35	-36	-37	2	0
9BL	4 000	37 200	-56	-55	-54	-2	-42	-43	-45	3	1
10BL	4 000	41 200	-68	-66	-65	-2	-49	-50	-52	3	1
11BL	4 000	45 200	-80	-78	-77	-3	-56	-57	-59	4	1
12BL	4 800	50 000	-95	-93	-92	-2	-62	-64	-66	5	2
13BL	4 000	54 000	-107	-105	-105	-2	-67	-68	-71	4	2
14BL	4 800	58 800	-121	-119	-119	-2	-68	-70	-73	4	2

は床版左右たわみに影響を与えることは確認できたため、平面曲線がさらに小さい曲線橋（1支間あたりの交角が30°以上）の施工管理を行う際、ねじりによる変形量を考慮して施工を行うことが重要であると考えます。

表 - 3 床版左右たわみ差実測値

	格点	横断		床版左右高低差 (m)		(a) - (b)
		(%)	設計 (m)	model 3	model 4	(mm)
				(a) 最大張出し時	(b) 完成時	変化量
P2 柱頭部	60	3.90	0.411	0.410	0.412	-2
	63	4.47	0.472	0.481	0.482	-1
	66	4.53	0.478	0.479	0.479	0
1BL	67	4.53	0.478	0.484	0.486	-2
2BL	69	4.53	0.478	0.482	0.483	-1
3BL	70	4.53	0.478	0.489	0.491	-2
4BL	71	4.53	0.478	0.485	0.486	-1
5BL	72	4.53	0.478	0.479	0.480	-1
6BL	73	4.53	0.478	0.486	0.486	0
7BL	74	4.53	0.478	0.475	0.475	0
8BL	75	4.53	0.478	0.483	0.483	0
9BL	76	4.53	0.478	0.480	0.477	3
10BL	77	4.53	0.478	0.485	0.483	2
11BL	78	4.53	0.478	0.481	0.476	5
12BL	79	4.53	0.478	0.478	0.473	5
13BL	80	4.53	0.478	0.484	0.479	5
14BL	81	4.53	0.478	0.481	0.478	3

6. おわりに

荒山大橋は、平成23年4月無事竣工・開通に至った（写真 - 12）。旧県道は幅員が約3.5mと狭小に加え、急カーブ・急勾配で視界が悪く、車両のすれ違いなど安全な走行に支障をきたしていたが、本橋が完成することで、安全で快適な通行の確保を図るとともに、地域経済の活性化や文化交流の促進に大きく寄与するものと期待される。

本稿が今後の平面曲線を有する波形鋼板ウェブ箱桁橋の設計・施工に携わる方々の参考になれば幸いである。また、多大なご協力とご指導をいただいた関係各位に感謝する次第である。



写真 - 12 完成写真

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，pp.221，2002。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲ鋼橋編，pp.272，2002
- 3) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会：波形鋼板ウェブ橋に関する Q & A，2002，6。

【2011年7月1日受付】