報告　波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋における波形鋼板下フランジ接合部のコンクリート充填性

浅井　宏隆[*1]・野村　謙二[*2]・今里　氏彦[*3]・谷口　秀明[*4]

要旨：北関東自動車道鬼怒川橋は１６径間連続波形鋼板ウェブＰＣ箱桁橋であり，上下コンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合方法は鋼製フランジを有するアングルジベル接合としている。本報では，下床版コンクリートと波形鋼板下フランジとの接合部界面の気泡を減少させる方法を実験により確認し，実構造物に適用したのでこれについて報告する。

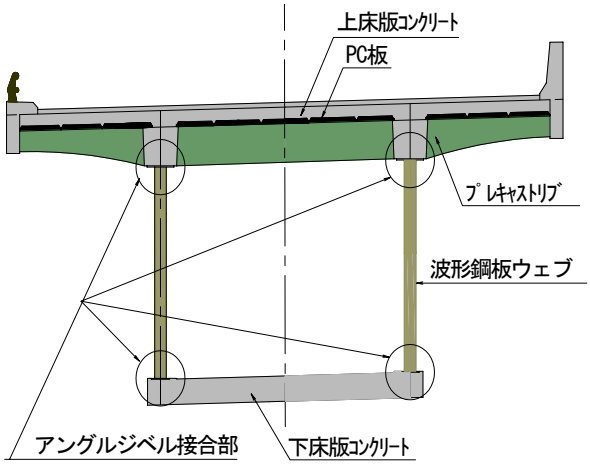
キーワード：波形鋼板ウェブ，アングルジベル接合，気泡残留対策，スページング

1. はじめに

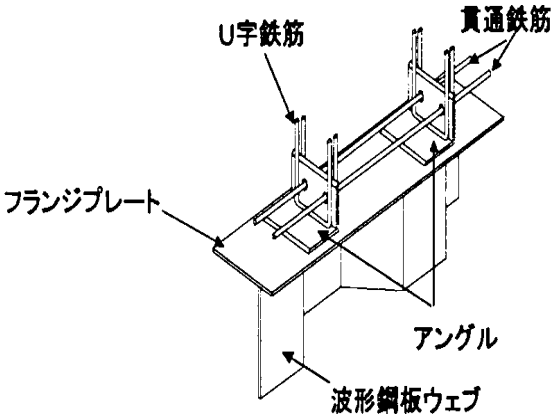
北関東自動車道鬼怒川橋は，波形鋼板ウェブＰＣ箱桁橋であり，**図－１，２**に示すように上下コンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合方法は鋼製フランジを有するアングルジベル接合としている。アングルジベル接合を採用した場合，特に波形鋼板ウェブに溶接された鋼製下フランジ下面へのコンクリート打設について，部分的に逆打ちするような状況となる。事前に波形鋼板下フランジ下面への充填状況を確認するため，本工事で使用するコンクリートに対して現場打設試験を行った。その結果，通常の打設方法ではコンクリートを充填できるものの，下床版コンクリートと波形鋼板下フランジとの接合部界面における気泡の残留が確認された。

鋼製フランジと床版コンクリートとの接合部は複合構造において一体化を図る最重要箇所である。接合部界面に気泡が多数介在するとアングルジベルに作用する水平せん断力は一様であるという設計上の仮定と異なり，局部的な応力集中が生じることも考えられる。

そこで，本報では，接合部界面の気泡を減少させることを目的として，スページング [1)2)]の方法を検討し，実物を模擬した室内・現場試験により効果を確認した。



図－１　鬼怒川橋の箱桁断面図



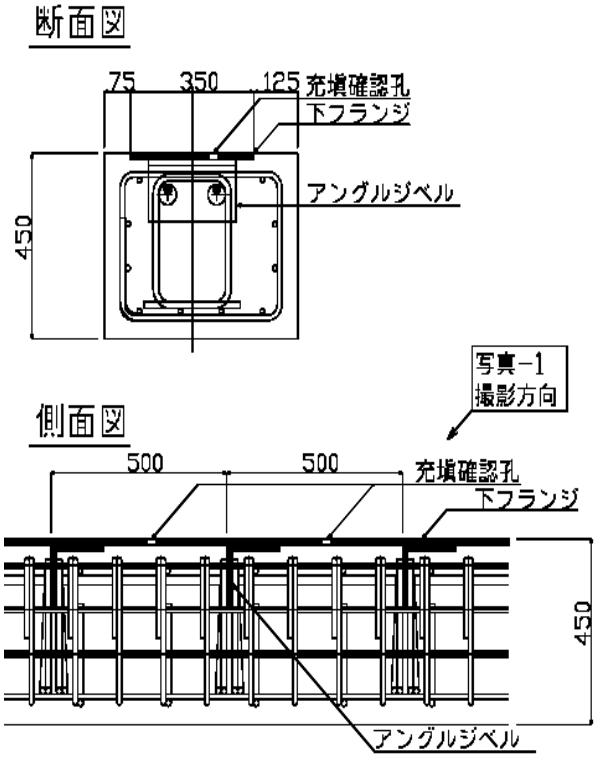
図－２　アングルジベル接合

*1 三井住友建設（株）　東京土木支店　鬼怒川橋作業所　課長代理　工修　(正会員)
*2 日本道路公団　東京建設局　宇都宮工事事務所　真岡工事区　工事長　博士（工学）(正会員)
*3 三井住友建設（株）　東京土木支店　鬼怒川橋作業所　所長
*4 三井住友建設（株）　技術研究所土木研究開発部　工修　(正会員)

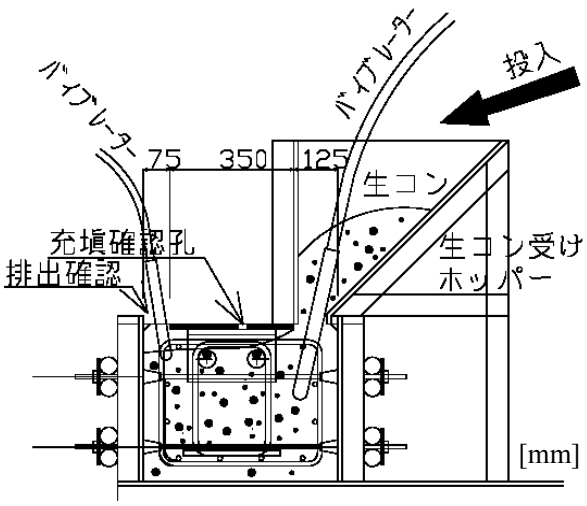
2. 現場打設試験による接合部界面における気泡残留状況の確認

2.1 試験方法

波形鋼板下フランジ下面へのコンクリート充填状況を確認するため，本工事で使用するコンクリートを使用して，現場ヤードにて打設試験を行った。下フランジの代わりに合板を使用し，**図－３**に示す実橋と同じ断面寸法・配筋状態である接合部の模擬試験体を作製した。打設は**図－４**に示すように，型枠の隙間に取り付けた生コン受けホッパーよりヘッド圧を利用してコンクリートを投入し，バイブレーターにより締固めを行い，反対側からコンクリートの排出・充填状況を確認しながら打設を行った。締固め方法は，内側の型枠の隙間から棒状のバイブレーター Φ50mm にて 30～50cm 間隔で締固め，外側の型枠の隙間からバイブレーターΦ30mm を使用し，型枠内コンクリートが鉄筋を覆うまで締固めを行い，その後はホッパー側からのバイブレーターにて型枠上面までコンクリートを打ち上げた。なお，下フランジ代わりの合板に直接振動を与えないように注意した。



図－３　現場試験模擬試験体



図－４　コンクリート打設方法

2.2 コンクリートの充填性と接合部界面における気泡残留状況

コンクリートの打設作業自体は特に障害もなく行うことができ，フランジに設けた充填確認孔からコンクリートの吹き出しが確認できた。硬化後にフランジ部を取り外し，コンクリート表面を観察したところ，多数の気泡が発生していることが確認された。コンクリート表面の状況を**写真－１**に示す。

写真－１　コンクリート表面の状況

接合部界面の気泡残留状況を定量的に把握するため，模擬試験体の正面写真から相対気泡面積を近似的に楕円の面積として算出し全体面積に対する比を残留気泡率として求めた。ただし，気泡厚は考慮していない。また，気泡径が 10mm 以上のものを対象に算出し，これ以下のものは考慮していない。

表－１ コンクリート種別による残留気泡率

No	コンクリート種別	スランプ	残留気泡率
1	P2-2 (σ ck=40N/mm^2)	8.0cm	16%
2	P3-2 (σ ck=36N/mm^2)	9.0cm	25%

残留気泡率の算出結果を**表－１**に示す。いずれのコンクリートにおいても通常の打設方法にてコンクリートを充填できるものの，下床版コンクリートと波形鋼板下フランジとの接合部界面における気泡の残留が認められた。

3.室内予備試験による気泡残留対策工法の選定

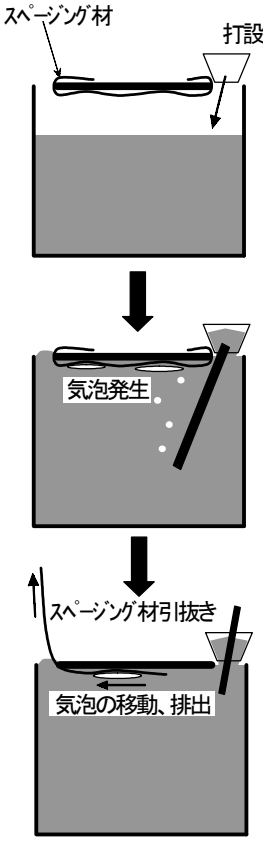
3.1 気泡残留対策の既往の研究

気泡残留対策の既往の研究には，鋼２主桁ラーメン橋の剛結部のコンクリート充填に関する研究がある[2)]。主桁上下フランジ下面へのコンクリート打設は本橋の接合部と同様に逆打ちするような状況となり，コンクリートの充填性が問題となる。そこで，コンクリート充填時に鋼製フランジとコンクリートの界面に板状のもの（スページング材）を抜き差しし，発生する気泡をフランジの充填確認孔へ押し出すという施工方法の有効性を施工試験にて確認したものである。

3.2 室内予備試験により確認した本橋に適した気泡残留対策工法

アングルジベル接合では，波形鋼板下フランジ下面へのアングルのすみ肉溶接により下フランジ下面が平坦ではない。そこで，本橋ではスページング材として，板状のものでなく，シート状のものを予め型枠内に設置し，接合部のコンクリート充填時にそれを引き抜く施工方法を考案し，室内予備試験にて有効性を確認することとした。使用するシートに要求される機能として，界面の気泡を捉えるためにシート表面に適度な空隙を持つこと，引き抜きに対する摩擦抵抗と引張強度，余剰水分の集水と排出等が挙げられる。それらの機能を有する護岸工事等で吸い出し防止シートとして使用される不織布シートを採用することとした。

室内予備試験では，鋼製下フランジの代わりに透明アクリル板を設置し，コンクリート打設時の気泡の発生･移動状況を観察できるようにした。コンクリートは，片持ち張出し施工に用いるP2-2（早強ポルトランドセメント，粗骨材の最大寸法20mm，スランプ8.5ｃｍ，空気量3.8%）を使用した。



図－５　打設方法

打設は，**図－５**に示すようにアクリル板に予めシート状のスページング材を貼り，ホッパーを使用してアクリル板までコンクリートを充填した直後にバイブレーターをかけながらスページング材を手で引き抜くこととした。

試験体は，不織布シートについて厚みが異なるＡ社製とＢ社製の２種類と，比較のために気泡残留対策無しと板状のスページング材として薄ベニヤを使用した計４体を作製した。

表－２に各試験体の残留気泡率の算出結果を示す。気泡残留対策無しの試験体の残留気泡率

表－２ 室内予備試験体の残留気泡率

試験体	スページング材	試験状況・表面観察結果	残留気泡率
A	対策無し	気泡が大きい。	22%
B	薄ベニヤ（厚さ3.2mm）	実施工型枠では差込みが困難	5%
C	不織布シートＡ（厚さ2mm）	引き抜き作業は可能。気泡は減少した。	6%
D	不織布シートＢ（厚さ1mm）	引き抜き作業は可能。気泡は減少した。	7%

(1) 試験体Ａ 対策無し(気泡率 22%)

(2) 試験体Ｂ 薄ベニヤ(気泡率５%)

(3) 試験体Ｃ＆Ｄ 不織布シート
(左：Ｃ－気泡率６%，右：Ｄ－気泡率７%)
写真－２ 室内予備試験状況

(3)）であり，ほぼ同様の効果が期待できることがわかった。

以上の結果より，波形鋼板下フランジ下面に予め厚さ 2mm の不織布シートを取り付け，コンクリート充填後にこれを引き抜く方法は完全に気泡を除去できるまでにはいかないが，気泡量を減少させ，界面状況を大きく改善し，有効であることが確認できた。

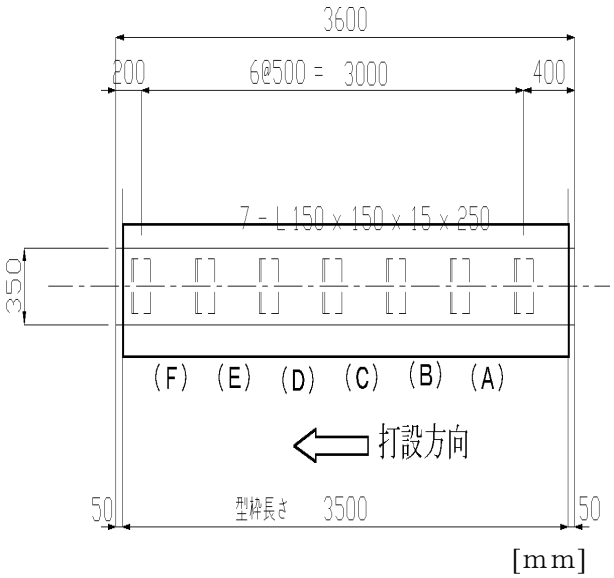
さらに，室内予備試験を行い，バイブレータをかけると界面に気泡を集めやすく，シートの引き抜き時にバイブレーターをかけすぎると気泡を除去した後にさらに気泡を集めてしまう傾向にあることがわかった。したがって，コンクリートを充填した後にシートを引き抜く際にはフランジ下面に生コンを供給する程度でバイブレーターを浅くかけることとし，シート引き抜き後は速やかにバイブレーターを引き上げることとした。

4.現場打設試験による本施工での有効性の確認

4.1 試験の概要

気泡残留対策工法の本施工への採用に向けて，室内予備試験で確認された有効性が現場での実作業において再現できることを確認するため，現場ヤードにて再度下フランジの代わりにアクリル板を使用してコンクリート打設試験を行った。コンクリートは，片持ち張出し施工に用いる P2-2 を使用した。

模擬試験体は，**図－６**に示すようにアングルジベル間のアクリル板と接触する部分をＡ～Ｆにブロック分けした。Ａブロックは気泡残留対策なしでコンクリートを打設した。Ｂ～Ｆブロックには**図－５**に示した手順で気泡残留対策工法を施した。



図－６ 模擬試験体平面概要図

4.2 現場打設試験における有効性の確認

コンクリート打設時に，アクリル板下に溜まっている気泡が引き抜かれるシートに引きずられて除去される様子を確認した。

コンクリート硬化後にアクリル板を取り除き，コンクリート表面を観察し，残留気泡率を算出した。コンクリート打設時の気泡残留対策条件の違いによる残留気泡率の状況を**表－３**に示す。

表－３　気泡残留対策条件の違いによる残留気泡率

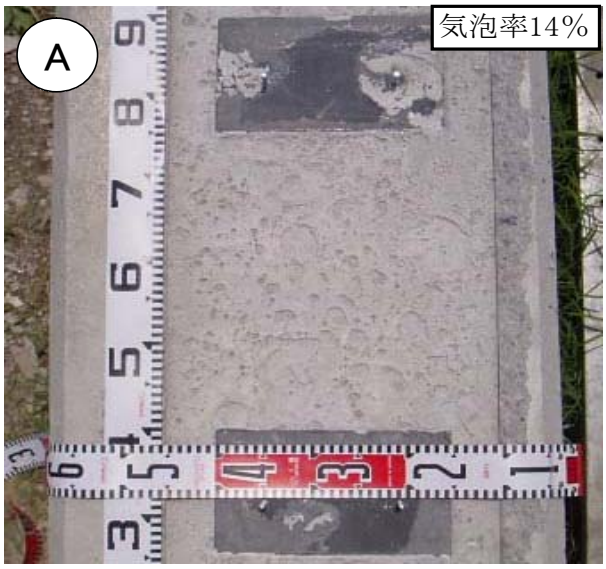
ブロック	対策の有無	不織布シート引き抜き条件	残留気泡率
A	無	－	14%
B	有	作業員A、ゆっくり引き抜き(10秒)	8%
C	有	作業員A、ゆっくり引き抜き(10秒)	5%
D	有	作業員B、ゆっくり引き抜き(10秒)	5%
E	有	作業員B、早く引き抜き（３秒）	2%
F	有	作業員C、ゆっくり引き抜き(10秒)	6%

無対策の場合に比較して，気泡残留対策を施した場合は残留気泡率が減少している。シートの引き抜き速度については，早く引き抜いた方がゆっくり引き抜くよりも残留気泡率を減少させる結果となった。予備試験の際にバイブレーターをかけすぎると界面に気泡が残留する傾向にあったが，早く引き抜くことで引き抜き終わるまでにさらに気泡を集めてしまうことを防ぐことができる。したがって，バイブレーターのかけ方とシート引き抜きのタイミングが重要である。

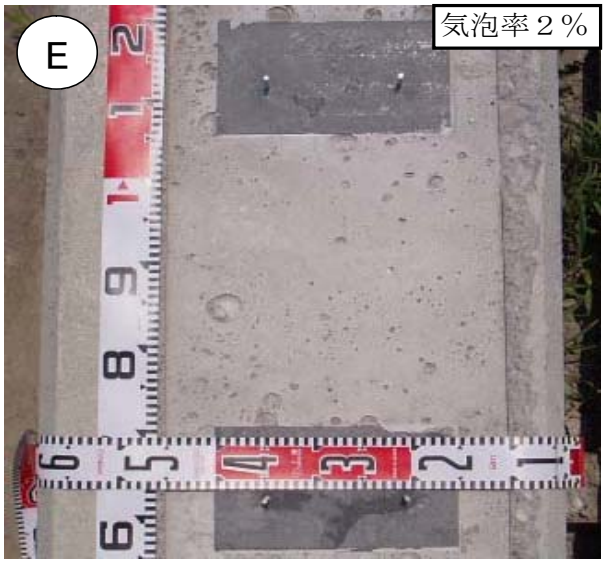
無対策のＡブロックと残留気泡率が２％まで改善されたＥブロックのコンクリートの表面状態を**写真－３**に示す。波形鋼板下フランジ下面に予めシートを取り付け，コンクリート充填後にこれを引き抜く方法は，気泡量を著しく減少させ，界面状況を大きく改善し，有効であることが実施工を行う作業員による現場打設試験においても確認できた。

5. 本施工において実施した気泡残留対策工法

以上の実験的な検討をふまえて，本施工において実施した気泡残留対策工法を**図－７**に状況を**写真－４**に示す。本工法ではバイブレーターのかけ方とタイミングが残留気泡率に影響を与えるが，実作業においては波形鋼板ウェブがあるために内外の作業員間の合図・確認は無線を使用することとした。また，実作業では鋼製下フランジ下面の状況を目視で確認することができない。しかし，打設時にシートを引き抜き終えた際に下フランジ下面から気泡があぶく状になって発生するのが確認できた。また，下フランジを上面から打音確認することでコンクリートが充填されたことを確認することができた。

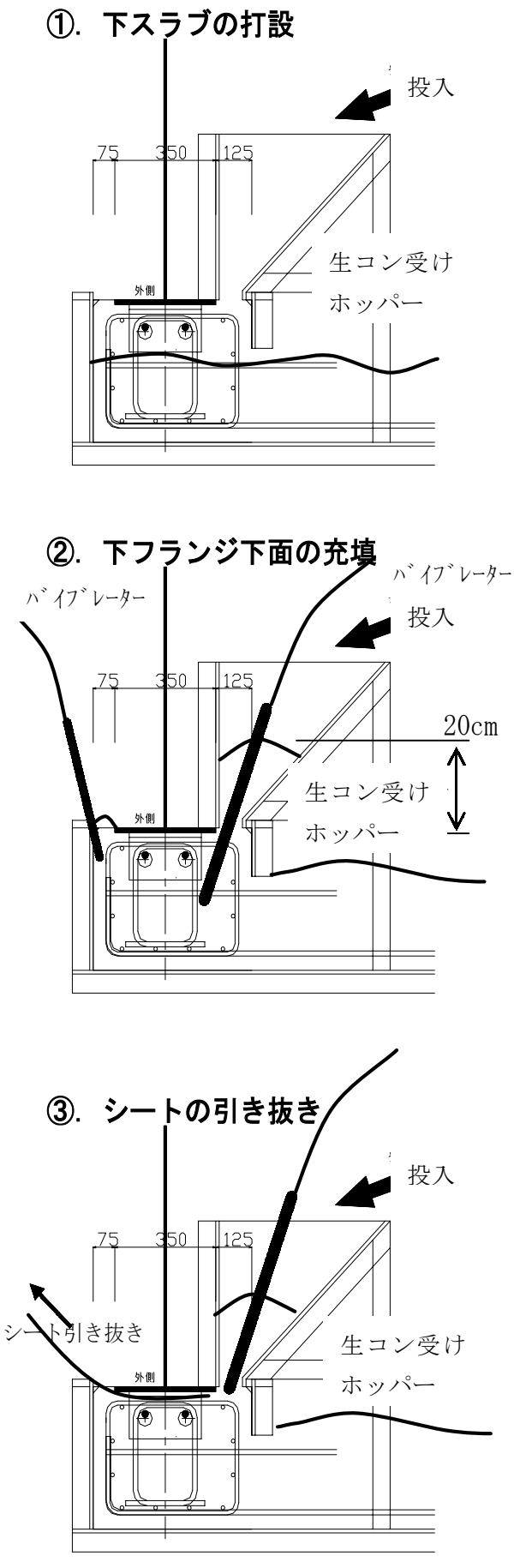


(1) Ａブロックのコンクリート表面－対策無



(2) Ｅブロックのコンクリート表面－対策有

写真－３　気泡残留対策の効果



図－７　気泡残留対策工法の手順

写真－４ 実施工でのシート引き抜き状況

6. まとめ

波形鋼板ウェブＰＣ箱桁橋において，鋼製フランジと床版コンクリートとの接合部は複合箱桁断面の最重要箇所であること，接合部のジベルに仮定と異なった応力が働くようになることから，接合部界面の気泡を除去することは重要と考えられる。

実験的検討を行い，バイブレーターを浅くかけながらシートを素早く引き抜く工法が，接合部界面の残留気泡量を著しく減少させ，有効であることを確認し，本施工に採用することとした。

近年，鋼構造とコンクリート構造のメリットを活かした合理的な構造として複合構造の採用が多くなってきたが，鋼とコンクリートの接合部におけるコンクリートの充填性を考えるうえで，本橋で採用した工法が参考になれば幸いである。

参考文献

1) 土木学会監修：土木用語辞典，技報堂・コロナ社，1971
2) 財団法人高速道路技術センター：鋼２主桁ラーメン橋の剛結部に関する技術検討報告書，2001.3