

仙塩道路 多賀城地区橋梁の施工

— 中空床版橋における品質向上の取組み —

村井 弘恭*1・山崎 智公*2・菱沼 尚美*3・土田 充*4

多賀城地区橋梁上部工工事は宮城県多賀城市において合計24径間、全長約600mのPC中空床版橋を支保工施工にて施工するものである。本工事ではコンクリートの充填性向上を目的に、施工に先立ち流動性を変化させた数種類のコンクリートを使用した試験施工を行い、打設中および硬化後における円筒型枠下側への充填状況を確認し、最適配合の選定を行った。また、耐凍害性の向上を目的として目標空気量を6.0%に設定し、締固め後および硬化後の空気量、気泡間隔係数の測定を行った。本報告は、これらの品質向上への取組みを報告するものである。

キーワード：中空床版橋、試験施工、空気量、気泡間隔係数

1. はじめに

三陸沿岸道路「仙塩道路」は、仙台市宮城野区中野の一般国道45号（仙台港北IC）から宮城郡利府町春日（利府中IC）を結ぶ延長7.8kmの自動車専用道路である。この区間は、暫定2車線で平成9年に供用が開始され、平成23年度から4車線化の事業に着手している。

この仙塩道路の一部をなす多賀城高架橋は、全130径間からなる連続高架橋であり、そのうち国道45号多賀城地区橋梁上部工工事は既設線に併設して、5連の連続PC中空床版橋からなる橋長597mの橋梁を施工する工事である。

2. 工事概要

施工位置図を図-1に、標準断面図を図-2に示す。

工事名：国道45号多賀城地区橋梁上部工工事

発注者：国土交通省東北地方整備局

構造形式：4径間連続PC中空床版橋×1連+

5径間連続PC中空床版橋×4連

支間長：20.975 + 2 @ 25.0 + 24.45 m（4径間）

24.35 + 3 @ 25.0 + 24.35 m（5径間）

有効幅員：9.75 m（非常駐車帯部：11.0 m）



図-1 施工位置図

3. 充填性確認試験

中空床版橋の施工においては、円筒型枠下側へのコンクリートの確実な充填方法が課題となる。これは円筒型枠の下側への充填状況が直接目視確認できず、またパイプレンタが届きにくいいため確実な充填が担保できないためである。一般的に中空床版橋の打設では、円筒型枠下側に充填不良が生じないように円筒型枠の片側に投入したコンクリートに締固めを与えながら、片押しで円筒型枠の反対側に押し出すことで、均質なコンクリートの円筒型枠下側への充填を行っている（図-3）。この方法を確実にを行うため



*1 Hiroyasu MURAI

ドーピー建設工業(株)
本社 技術計画部



*2 Tomohiro YAMAZAKI

ドーピー建設工業(株)
北海道工事部



*3 Naomi HISHINUMA

ドーピー建設工業(株)
東日本工事部



*4 Mitsuru TSUCHIDA

ドーピー建設工業(株)
東日本工事部

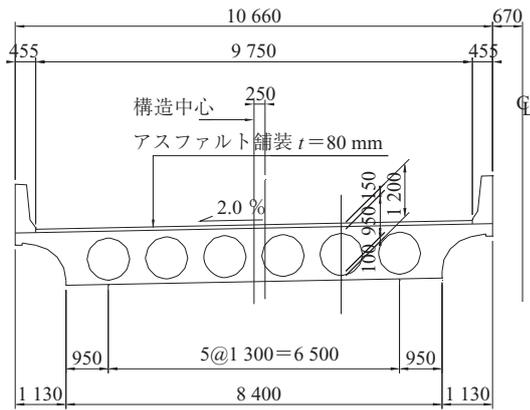


図 - 2 標準断面図

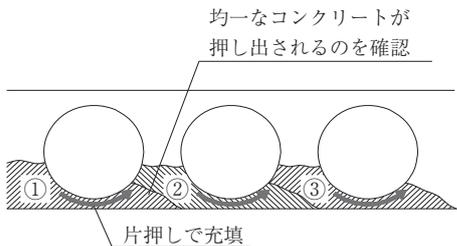


図 - 3 中空床版橋の打設要領

にはコンクリートの適切なワーカビリティの確保が重要となる。

そこで、本工事においては事前に実橋を模した型枠を用いた試験打設によって、スランプを変化させたコンクリートの施工性や充填性の比較を行い、最適なワーカビリティのコンクリートを選定した。

3.1 試験型枠の概要

試験型枠図を図 - 4 に示す。試験型枠は円筒型枠 3 個を並べられる構造とし、幅 4.25 m、奥行き 1.5 m とした。側枠はすべて透明型枠とし、とくに視認性が必要な正面側は透明アクリル板とした。型枠内には標準断面と同様の鉄筋・シースを配置した。また円筒型枠の固定方法も実橋と同様に行い、打設による円筒型枠の移動や浮き上りの有無も確認した。後述するようにコンクリート打設は円筒型枠の半分の高さまでとしたため、上半分は型枠をつけずに視認性を高めた (写真 - 1)。

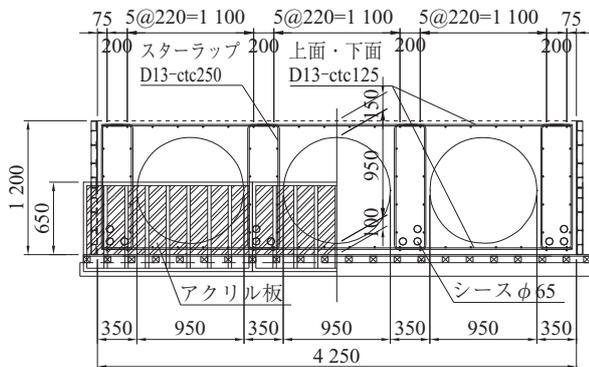


図 - 4 試験型枠正面図



写真 - 1 型枠組立完了

3.2 コンクリートの配合

比較したコンクリートの配合を表 - 1 に示す。スランプは 8, 12, 15 cm の 3 種類とした。実施工では仙台地区における生コンの需給状況を考慮し、使用するコンクリートプラントを 2 箇所としたため、それぞれのプラントについて試験を実施した (2 箇所のプラントをそれぞれ A プラント、B プラントと称す)。また本工事では耐凍害性能の向上を目的に目標空気量を 6.0 % に設定している。

表 - 1 コンクリートの配合

		SI (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					W (kg)	C (kg)	S (kg)	G (kg)	混和剤 (kg)
A プラント	36-8-20H	8±2.5	36	39.8	160	445	648	1037	6.68
	36-12-20H	12±2.5	36	40.5	167	464	646	1005	6.96
	36-15-20H	15±2.5	36	41.6	172	478	653	972	7.17
B プラント	36-8-20H	8±2.5	34	35.8	155	456	582	1110	5.93
	36-12-20H	12±2.5	34	36.1	163	479	572	1077	7.18
	36-15-20H	15±2.5	34	37.5	166	488	589	1045	7.81

3.3 試験方法

試験体の打設は片押し打設にて行った (写真 - 2)。円筒型枠の一方からコンクリートを打設し、パイプレータをかけることで円筒型枠の下面を充填し、もう一方に押し出される状況を観察した。充填状況の確認は、側面からの目視のほか、CCD カメラを用いて行った。また充填時間など流動性を評価するためにビデオカメラによりその状況を撮影記録した。また硬化後は円筒型枠を取り外し下面の



写真 - 2 コンクリート投入状況

充填状況およびコア削孔による内部状況の確認を行った。

実施に準じて打設方法はポンプ打設とし、打設にはパイプレータφ40およびφ50をそれぞれ1本ずつ使用した。充填完了後に円筒型枠下側にφ40のマルチパイプレータ(延長パイプ付パイプレータ)を円筒型枠の両側から50cm間隔に挿入して締固めを行った。締固め時間は各10秒とした。

3.4 ワーカビリティの評価

(1) コンクリートの流動性および充填性

コンクリートのワーカビリティの目安として円筒型枠の片側に投入したコンクリートが締固めを始めてから反対側に到達し、一定の高さ(底版から20cmを目安とした)まで立ち上がるのに要する時間を測定した。実験の結果、両プラントのコンクリートともスランプ8, 12, 15cmの順に到達時間が短くなったが、とくにスランプ8cmでは立ち上りが遅く、Bプラントの配合では5分間パイプレータをかけても所定の高さまで立ち上らなかった。図-5はBプラントの各配合における投入直後(締固め前)から締固め開始後1~3分での各試験体の状況である。写真中の破線は底版から20cmのラインを示す。

これらの観察よりスランプ8cmの試験体では締め固める前ではほとんど流動しておらず、他の配合と明らかに性状が異なるのがわかる。開始1分後でスランプ15cmでは20cmラインの下まで到達しているのに対し、スランプ8cmでは円筒型枠下面の半分程度しか到達していない。

締固め開始後3分後では、スランプ12, 15cmでは、20cmのラインに到達しているのに対して、スランプ8cmでは、円筒型枠の下面の高さからほとんど上っていない。Aプラントの配合でも、ほぼ同様の傾向を示した。

これらの結果より、スランプ8cmでは充填・締固めに長時間を要し充填不良やコールドジョイントの発生が懸念されるため、スランプ12cm以上の配合を選定することが望ましいと考えられる。またワーカビリティの観点からはスランプ15cmがもっとも優れているものの、12cmのコンクリートでも良好な充填性能を確保可能であると判断した。

(2) コンクリートの材料分離抵抗性の確認

コンクリートを押し出す際にパイプレータを過度にかけると、材料分離を生じる可能性が懸念されたため円筒型枠下の通過時のコンクリートをCCDカメラを用いて観察した(写真-3)。すべての試験体において押し出されたコンクリートは十分な粘性を保っており、材料分離の発生は観察されなかった(写真-4)。

また硬化後にコンクリートコア(φ75mm)を採取して確認したところ、どの試験体でも骨材の偏りは見られず、必要な材料分離抵抗性が確保されていることを確認した(写真-5)。

(3) コンクリートの充填確認

コンクリートが確実に円筒型枠の下側全体に十分に充填されていることを確認するため、コンクリート打設は円筒

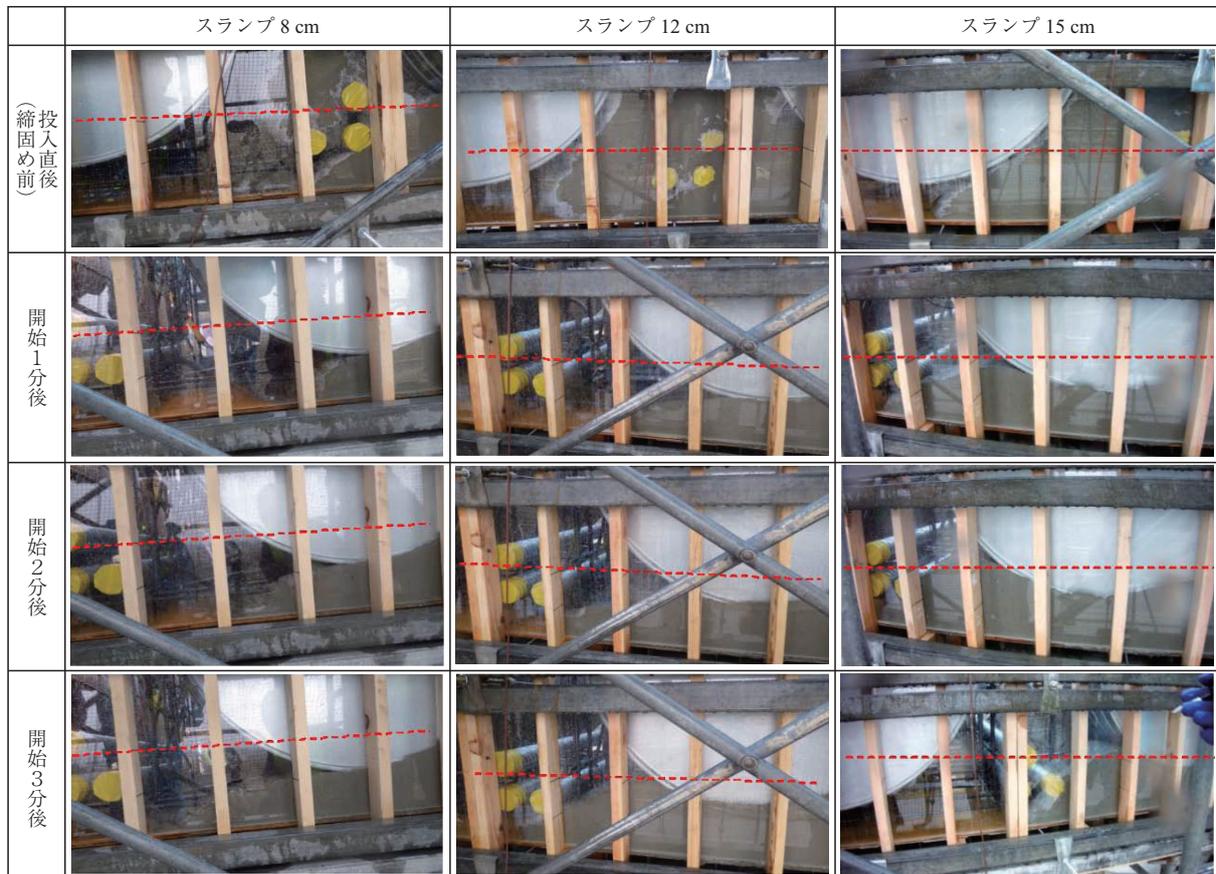


図 - 5 スランプの違いによる流動性の変化



写真 - 3 CCD カメラによる撮影状況



写真 - 6 円筒型枠の取外し状況

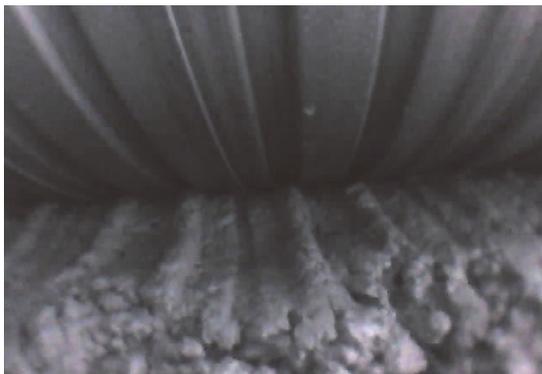


写真 - 4 CCD カメラによる映像



写真 - 7 円筒型枠取外し後の下側の状況



写真 - 5 コア断面の状況

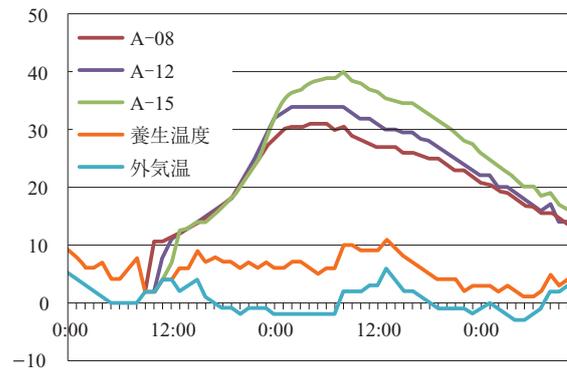


図 - 6 温度測定結果 (A プラント)

型枠の半分程度の高さまでとし、コンクリートの硬化が始まる時期に円筒型枠を取り外し、下側の充填状況を確認した(写真 - 6, 7)。取外しは打設の4～5時間後に行った。その結果、すべての試験体においてコンクリートが密充填されており、良好な充填性が確認された。

型枠の底部には気泡が観察されたが、その多くは円筒型枠のリブ部分に集中しており、構造性能や耐久性に影響を与えるものではないと判断された。

3.5 硬化時の最高温度の測定

スランプを大きくするためには、セメント量が増えるため、硬化時の温度上昇が大きくなるのが懸念された。そのため、各試験体のもっとも部材厚の大きい部分に熱電対温度計を取り付け、最高温度を測定した。図 - 6 はA プ

ラントの配合での温度測定の結果である。その結果、スランプの増大により最高温度は上昇し、A プラントではスランプ 8 cm と 12 cm および 12 cm と 15 cm の試験体の最高温度の差はおよそ 5℃であった。

3.6 配合の選定

上記の試験結果を踏まえ総合的に判断して、実施工に使用する配合を選定した。その結果、

- ① スランプ 8 cm の場合、締固めを十分に行えば充填可能であるが、締固めに時間を要するため、コールドジョイント等の発生が懸念される。
- ② 流動性ではスランプ 15 cm がもっとも優れるが、12 cm 以上の配合で充填に必要な流動性を確保できる。また、すべての配合において十分な材料分離抵抗性を有していた。
- ③ スランプ 15 cm に比べ、スランプ 12 cm の方がセメン

ト量が少なく温度上昇量や収縮量を小さくすることができる。

以上を考慮し、スランプ 12 cm の配合を選定した。

4. 空気量の確保による耐凍害性の向上

4.1 耐凍害性に関する指標と目標値の設定

本橋は寒冷地域に位置しており、耐凍害性を確保することが耐久性を向上する上で重要となる。本工事においては、耐凍害性を確保するための指標として、硬化後の空気量および気泡間隔係数に着目して、それらを確保できるように配合設計を行った。

耐凍害性を確保するためには、適度な連行空気が必要であり、一般的には練り上り時の空気量を指標として管理している。しかし空気量は気泡の総量のみを示すものであり、また締固めおよび硬化の過程で変化するため、練り上り時の空気量だけでは、必ずしも耐凍害性能を評価できないことが既往の研究¹⁾で明らかになっている。本工事では、より耐凍害性能を適確に評価できる指標として、既往の文献^{2,3)}を参考に硬化後の空気量および気泡間隔係数を用いた。気泡間隔係数は硬化コンクリート中の平均気泡間隔を示す指標であり、スライスした硬化後のコンクリートを顕微鏡による観察あるいは画像処理によって気泡径や気泡間隔を算出するものである。

本工事では耐凍害性を高めるために気泡間隔係数を 250 μm 以下、硬化後の空気量を 4.5 % 以上を目標値と設定した。

4.2 測定方法および測定結果

配合計画にあたっては、前述の指標を満足できるようにフレッシュ時の目標空気量を 6.0 % に設定し、試験練りを実施して気泡間隔係数を測定した。試験練り時には締固めによる空気量の減少を考慮し、通常のエアメータ法による空気量の測定とともに、エアメータ内に棒状パイプを挿入し、振動締固めを行ったあとのコンクリートの空気量を測定した。硬化後の気泡間隔係数の測定は、締固め後のコンクリートによって $\phi 12.5 \times 25 \text{ cm}$ の円柱供試体を作成し、リニアトラバース法によって測定した。現場空中養生および標準養生を行った供試体それぞれ 2 本について、材齢 14 日以上にて硬化後の空気量および気泡間隔係数の測定を行った。なお、これらの測定は使用した 2 つのプラントそれぞれについて実施した。

測定結果を表 - 2 および図 - 7 に示す。B プラントについては当初計画した配合で所定の性能のコンクリートを得ることができたが、A プラントにおいては、フレッシュ時の性状は B プラントと同様であったにもかかわらず、気泡間隔係数は目標の 250 μm を若干上回る結果となった。また、硬化後の空気量も 4.0 % 前後と大幅に減少していた。考えられる原因としては使用した骨材の違いや空気量の調整手法の差異によるものと考えられる。

A プラントの配合については、AE 剤の種類や空気量調整剤の使用量を調整した 3 種類の配合について、再度試験練りを行った。その結果、表 - 3 および図 - 8 に示すように 3 種類の配合全てで、所定の性能を満足する配合を得

表 - 2 空気量・強度の測定結果

		A プラント	B プラント
空気量 (%)	練り上り直後	5.8	6.2
	締固め後	5.2	5.3
	硬化後 (標準養生)	4.0	5.8
	硬化後 (現空養生)	3.8	5.9
強度 (N/mm ²)	材齢 7 日	47.0	47.6
	材齢 28 日	52.9	52.5

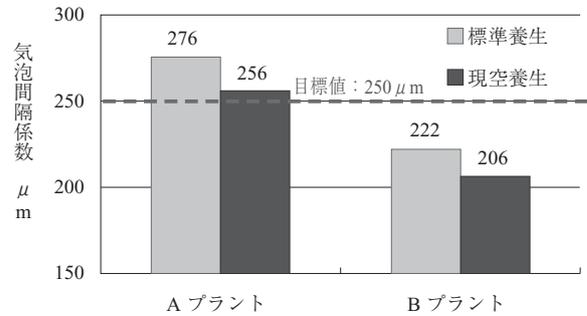


図 - 7 気泡間隔係数の測定結果

表 - 3 空気量・強度の測定結果 (修正配合)

		AE 剤-A	AE 剤-B	AE 剤-C
空気量 (%)	練り上り直後	6.8	6.9	5.9
	締固め後	6.5	6.5	6.0
	硬化後 (標準養生)	7.1	5.6	5.7
	硬化後 (現空養生)	6.0	6.3	5.2
強度 (N/mm ²)	材齢 7 日	41.2	40.8	44.8
	材齢 28 日	47.1	46.6	51.1

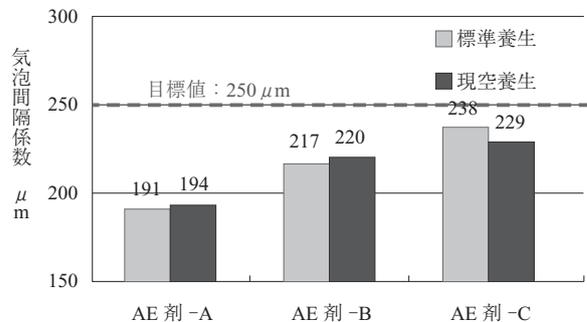


図 - 8 気泡間隔係数の測定結果 (修正配合)

ることができた。これらの結果より、硬化による空気量の減少がもっとも少ない AE 剤-A を使用した配合を選定した。

4.3 実施工模倣試験体による測定

また、実構造物におけるコンクリートの空気量を把握するため、桁高に相当する高さの模倣試験体 ($\square 0.6 \text{ m} \times$ 高さ 1.2 m) にコンクリートを打設し、実施工と同様に締固めを行い、その上層部と下層部からコンクリートコアを採取し気泡間隔係数を測定した。

使用した配合は両プラントそれぞれスランプ 12 cm の配合を使用した。なお、本実験は A プラントの配合は修正前の当初配合の時点で行っている。測定結果を図 - 9 に示す。

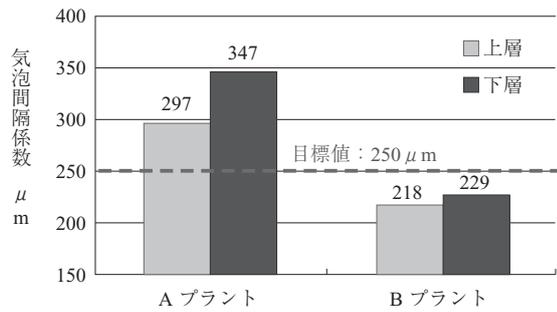


図 - 9 実施工試験体による測定結果

測定の結果、試験練りによる測定結果とほぼ同様の傾向を示し、A プラントでは目標を満たさなかった。これは供試体を用いた試験練り時の測定結果と実機練りによる実施工での測定結果がほぼ同等となることを示しており、試験練りの結果によって実構造物の気泡間隔係数を評価可能であることが確認できた。

5. その他の品質向上の取組み

5.1 エポキシ樹脂塗装鉄筋の使用

本工事の施工区間は冬季に凍結防止剤を散布する地域であり、桁端部や床版上面や壁高欄は長期的に塩化物による損傷を受けやすい。本工事では、桁端部および床版上面・壁高欄の鉄筋にエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した（写真 - 8）。



写真 - 8 床版上面へのエポキシ鉄筋の使用

5.2 打継部のプレストレスの導入

本橋は橋軸方向に打継部（施工目地）を設け、コンクリートを分割して打設する分割施工である。分割施工の打継部では、既設コンクリートにより新設側のコンクリートの収縮が拘束されることで、新設側の打継部にひび割れが生じやすい。とくに中空床版橋では円筒型枠の上下に引張応力が集中するため、ひび割れが生じやすくなる。

本工事ではその対策として、打継部に橋軸直角方向にPC鋼材を配置して、コンクリート打設後に緊張してプレストレスを導入した。これにより発生する引張応力を緩和し、ひび割れの発生を抑制した。計画にあたっては3次元温度応力解析を行って必要なプレストレス量を算定し、PC鋼材を配置した（図 - 10）。

なお、本工事の当初計画では4径間、5径間の橋梁とも1橋を2施工区間に分割して施工する計画であった。しか

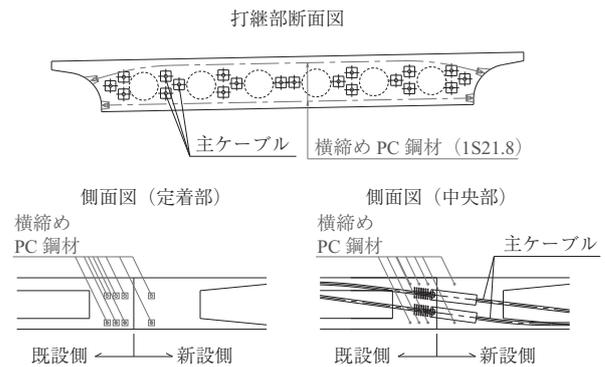


図 - 10 打継部の PC 鋼材配置図

し、5径間の橋梁の第1施工区間の長さは約80mと長く、1回の打設数量が590m³にもなるため、生コンクリートの需給が逼迫している仙台地区においては、一括打設が困難であった。そのため、第1施工区間にさらに施工目地を設けて2分割し、合計で3回のコンクリート打設によって施工を行った。

6. おわりに

本工事は原稿執筆時点で附帯工事を除いた主要工種を完了している（写真 - 9）。最適配合の選定によりコンクリート打設に際しても大きなトラブルの発生もなく、順調に工事は進捗している。



写真 - 9 進捗状況

最後に、本工事の施工試験や配合の検討にあたり、東北地方整備局仙台河川国道事務所や生コンプラントをはじめ多くの皆さまに多大なご協力を賜りました。とくに、八戸工業大学阿波稔教授には、実験に際して貴重なご助言をいただくとともに気泡間隔係数の測定等、多大なご尽力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 坂田 昇ら：コンクリートの気泡組織と耐凍害性の関係に関する考察，コンクリート工学論文集 Vol.23, No.1, 2012
- 2) コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する研究委員会報告書東北コンクリート耐久性向上委員会：東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン（案），2009
- 3) 長谷川寿夫，藤原忠司：コンクリート構造物の耐久性シリーズ・凍害，技報堂出版，1988

【2015年1月13日受付】