

# 超高強度コンクリート系新素材「ダクトアル」を用いた PC 橋梁の設計・施工 —酒田みらい橋—

武者 浩透\*1・大竹 明朗\*2・児玉 明彦\*3・小林 忠司\*4

## 1. はじめに

近年、圧縮強度 100 N/mm<sup>2</sup> を越える高強度コンクリート材料が開発され、実用化が試みられている。しかしながら、コンクリートの高強度化には、それにバランスするように鉄筋を高張力化する必要があり、従来の鉄筋コンクリート構造の延長上で考えた場合には、鉄筋の材質、継手、定着、付着やひび割れの分散性、曲げ加工性などさまざまな問題を解決する必要がある。とくに桁のような曲げ部材においてはこれらの問題が顕著になる。また、いくら高強度化を図っても、かぶりの規定等で部材厚が決定されてしまう場合が少なくなく、高強度を活かした軽量化や経済性の実現には多くの壁が存在するのが現実である。

それらの課題を克服するために、シリカフェームなどを使用した反応性粉体コンクリート（Reactive Powder Concrete：略称 RPC）がフランスで開発された。今回紹介する橋梁に用いられた新素材「ダクトアル」はその RPC 材料の一種であり、200 N/mm<sup>2</sup> 以上の超高強度を有する上に、高い耐久性をも併せもっている。また、高張力鋼繊維が配合されているため鉄筋の配置が不要であり、従来の鉄筋コンクリート構造物では実現し得ない非常に薄い部材厚が可能である。このダクトアルは、その軽量化の利点を活かしてカナダや韓国で歩道橋に用いられているほか、耐久性の点からフランスの原子力発電設備の梁に、また形状の自由性によりパリ市内のモニュメントなどに用いられている。

日本においては、ダクトアルを用いた日本初のプレストレスト橋となるスパン 50 m の歩道橋「酒田みらい橋」が、山形県酒田市の市街地に建設された（写真 - 1）。この橋では、床版の厚さを 5 cm とし、ウェブに大きな円形開口部を設けるなど、RPC のもつ高強度を十分に活かして、大幅な軽量化や形状の自由性を実現している。この RPC 材料の橋



写真 - 1 酒田みらい橋

梁構造物への適用に際しては、設計手法や練混ぜ・打設方法の開発、品質管理方法や施工法の開発などが行われ、山形県が主催する「新素材による橋梁建設技術委員会」（委員長；池田尚治 横浜国立大学名誉教授）に、技術的な指導や評価を受けている。本解説では、ダクトアルを用いた酒田みらい橋を実例として、超高強度コンクリート系材料の PC 橋梁適用に際しての特徴を、設計および施工の観点から紹介する。

## 2. 酒田みらい橋の特徴

本橋は、RPC（ダクトアル）のもつ 200 N/mm<sup>2</sup> 以上もの圧縮強度や、高耐久性といった優れた性能を有効に活用することにより、以下の特徴を有している。

1) 非常に薄い部材厚（上床版厚 5 cm，ウェブ厚 8 cm：写真 - 2）

ダクトアルには高張力鋼繊維が配合されているため、高い靱性を有し、鉄筋を一切使用していない。そのため、部材厚が鉄筋のかぶり等の制約を受けないため、このような部材厚が可能となった。



\*1 Hiroyuki MUSA

大成建設(株)  
土木設計部 課長



\*2 Akio OHTAKE

大成建設(株)  
土木設計部 課長



\*3 Akihiko KODAMA

太平洋セメント(株)  
中央研究所 副主任研究員



\*4 Tadashi KOBAYASHI

(株)前田先端技術研究所  
部長

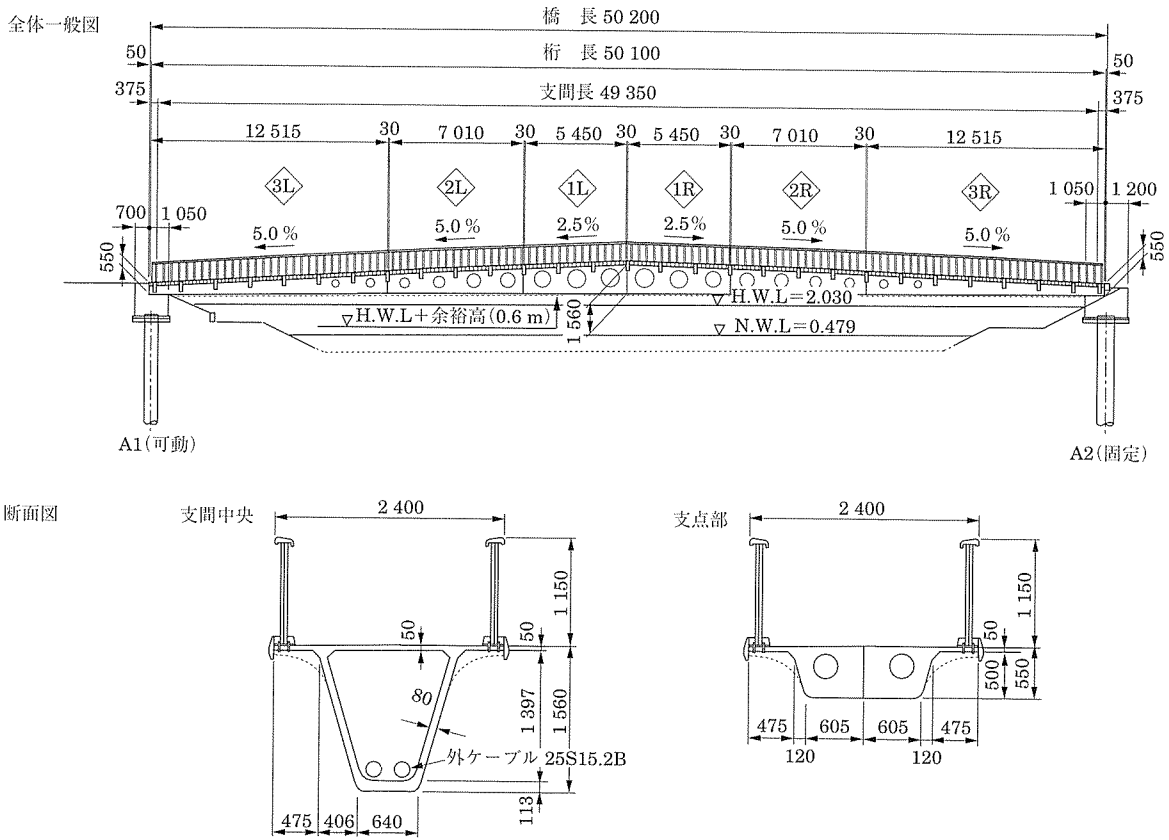


図 - 1 酒田みらい橋 一般図

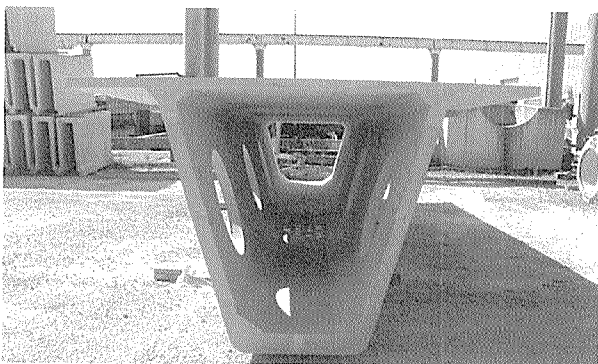


写真 - 2 ダクタイル桁断面

2) 大幅な軽量化 (従来のコンクリート橋重量の5分の1程度)

部材厚が従来の厚さの1/5程度であるため、必然的に上部工躯体の重量も1/5となっている。スパン50mの箱桁の単位橋面積あたりのコンクリート量は約0.8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>程度であるが、本橋の場合には0.17 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>となっている。つまり、橋面積あたりのダクタイル厚さはわずか17cmである。

3) 低い桁高 (桁端部55cm) で長いスパン (50m)

単純箱桁の桁高支間比は標準で1/17程度であるが、本橋では桁端部で1/90であり、中央部においても1/32である。

4) 鉄筋は一切使用していない (PC 定着部を含む)

ダクタイルの高強度とランダム配向の鋼繊維により、PC定着部でも高い安全性が確保されることから、定着部背面においても一切の補強鋼材を使用していない。

5) 小型のPC定着部

小さな桁断面に大容量のPCユニットの定着部を設けるために、小さいサイズの支圧版330×330×45mm (通常サイズ420×420×60)を採用している。

6) ウェブの円形開口部 (写真-3)

躯体内部に鉄筋が存在せず、主方向は全外ケーブル方式を採用していることから、桁高1.5mのウェブ部に直径0.9mの開口部を設けるなど、大胆なデザインを実現している。

7) 大型ブロックによる製造・架設

軽量化により、箱桁形状でブロック長が5~12.5mといった大型ブロックの製造・架設が可能となった。

8) 小さな下部工、軽微な仮設設備

上部工の軽量化により、下部工は杭が2本配置の杭基礎で対応でき、基礎が従来より半分程度の規模となった。ま

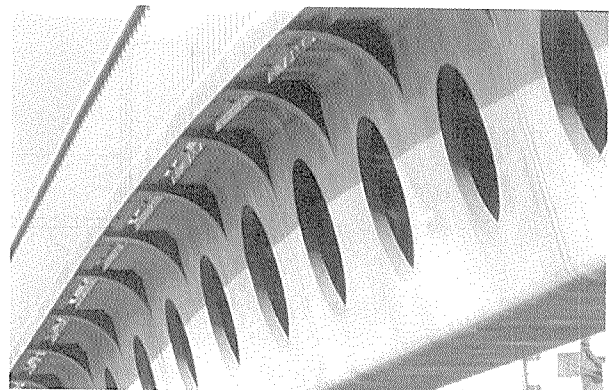


写真 - 3 ウェブの円形開口部

た、桁は両岸からのクレーン架設によって行ったため、架設機橋等の設備が不要であった。

9) RPC 製の高欄，親柱，化粧パネル

ダクトルの組織は非常に緻密であるため、なめらかな表面を得ることができる。それを応用して、高欄のトップレール（笠木）や親柱，桁側面のフェイシャルラインと呼ばれる化粧パネルや球状の車止めまで、ダクトルを用いて製作した。

3. 構造概要

図-2 に酒田みらい橋の一般図，表-1 に橋梁諸元を示す。

本橋は、酒田市街の新井田川にかかる前田橋の改修工事として計画された。旧橋である前田橋は、昭和31年に建設され、橋長50mで4径間単純桁（支間12.5m）の構造形式であった（図-2）。現地の制約条件と架け替え工事である点、そしてダクトルの高強度等を有効活用する事を考慮し、以下の構造形式とした。

1) スパン50m，端部桁高55cm

橋の両側の市道レベルと計画高水位の関係から、端部桁高は55cmと制約を受けた。また、河積阻害率の改善のため、

河川内に橋脚を設けないスパン50mの単純桁とした。

2) 大型ブロック分割

ダクトルによる大幅な軽量化により、4径間の旧橋の上部工躯体重量と50mスパンの新橋の重量がほぼ等しいことから、旧橋の橋脚を仮支柱として利用した支保工形式を採用した。そのため、ブロック分割位置を旧橋脚位置に合わせたが、中央部のブロックはさらに2分割し、架設クレーンの負荷を軽減した。端部ブロック（3LR）は、端部桁高が55cmであり、箱桁の内空高さはわずかに40cm弱であるため、箱桁断面のままでは内型枠の脱型等の作業が難しく、橋軸方向で分割することとした。左右断面に分割して製作された端部ブロックは、工場でPCにより一体化した。結果として、製造ブロックは8ブロック、架設ブロックは6ブロックとなり、各ブロックの重量は第3BL（端部）：13.5t，第2BL：7.3t，第1BL（中央）：5.7tである。また、各製造ブロックの体積は2.2～2.9m<sup>3</sup>となり、練混ぜ・打設時に扱うダクトル量に大きな差がないため、製造の効率化や品質管理においても有効となった。

3) 薄肉箱桁断面，外ケーブルの採用

部材を極端に薄肉化する反面、曲げ剛性やねじれ剛性を確保する必要があるため、箱桁断面とした。また、内ケーブルとするとかぶりの関係から部材が厚くなる上に、ウェブの開口デザインも制約を受けることから、外ケーブル方式を採用した。外ケーブルの定着にはVSL工法（E6-25）を用いて、φ15.2mmの25本（導入力3700kN）を1ユニットとし、これを2ユニット配置している。100年以上の桁の耐久性との整合をとるため、外ケーブルには被覆鋼より線を用い、外套管には高密度ポリエチレン管を採用したうえでグラウト充填を施した3重防錆を採用した。

4) ウェットジョイントの採用

ブロック継目部には、ブロック間（3cm）にダクトルを

表-1 橋梁諸元

橋種	プレストレストRPC歩道橋
構造形式	単径間PC箱桁橋
施工方法	仮支柱を用いたプレキャストブロック工法
橋長	50.200m（支間長：49.350m）
幅員	総幅員 W=2.4m 有効幅員 W=1.6m
縦断勾配	i = +5.0% ~ +2.5% ~ -2.5% ~ -5.0%
横断勾配	なし
桁高	0.55m（端部），1.56m（中央部）
支承構造	ゴム支承
下部構造	杭基礎

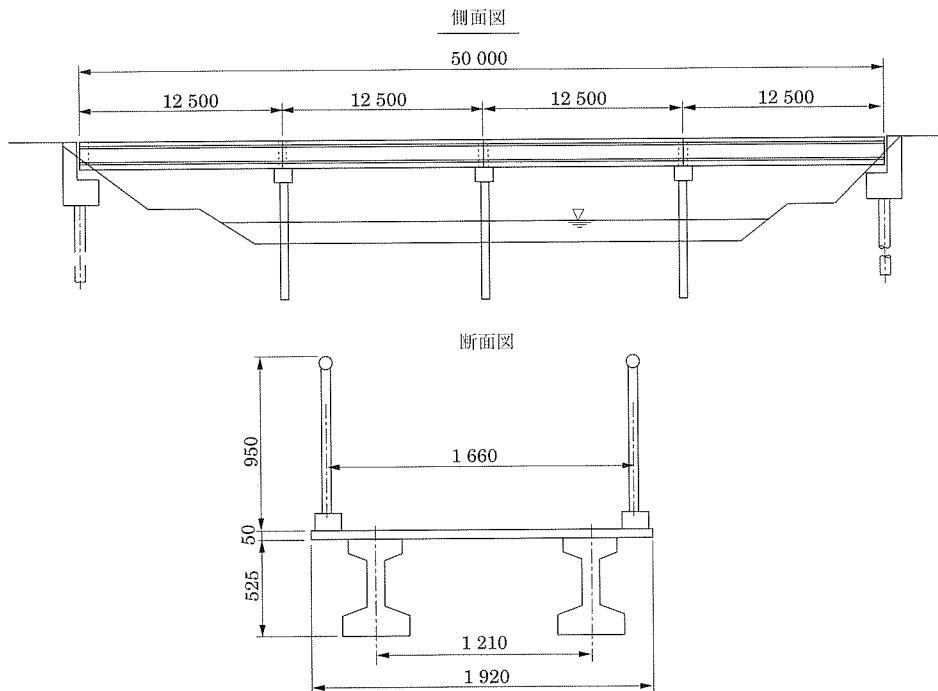


図-2 旧橋 前田橋一般図

現場打ちするウェットジョイント方式を採用した。これは、ドライジョイントを用いる上での前提条件となるブロック製造時マッチキャスト方式が、この規模での橋梁においては不経済となる上に、ブロック製作順序の制約により工程も長くなるとの判断による。また、PC 緊張により 30 N/mm<sup>2</sup> 以上と通常の PC 橋の数倍の圧縮応力が生じるため、継目面の局部応力集中を避けるうえでもウェットジョイントが適切であると判断した。

#### 4. RPC 材料の特性

今回用いた RPC 材料であるダクトアルは、まったく新しい無機系の複合材料であることから、そのフレッシュ性状や硬化後の力学性状および耐久性状を十分把握したうえで、設計やブロック製作計画および施工計画を行うことが非常に重要である。ここでは、ダクトアルのもつ性状を簡単に紹介する。

##### 4.1 ダクトアル材料

現在ダクトアルには、鋼繊維が配合された「ダクトアル-FM」と有機繊維が配合された「ダクトアル-FO」の 2 種類がある。ダクトアル-FM はおもに梁などの構造部材の分野で、ダクトアル-FO はパネルやモニュメント等の意匠部材の分野を中心に開発が行われ、実用化が進められている。本橋においても、上部工の躯体にはダクトアル-FM が、先に述べた高欄の笠木や親柱、化粧パネル等にはダクトアル-FO が用いられている。ダクトアルは、セメントと反応性微粉末、珪砂等の粉体と、鋼（もしくは有機）繊維、専用減水剤および水を練り混ぜることにより製造される。粗骨材は一切含まない。なお、ダクトアル-FM の場合、容積比で 2% 程度の高張力鋼繊維（φ0.2 mm、長さ L=15 mm）を配合している。

##### 4.2 材料特性

ダクトアルの水セメント比は約 22% であるが、反応性の微粉末も配合されているため、水粉体比ではわずかに 8% である（表 - 2）。そのため、水和反応限界付近の水分しか与えず、生成物中の空隙を極限まで抑えた最密充填を実現することが、この材料の開発思想である（図 - 3）。この非常に

表 - 2 ダクトアル FM の配合 単位 (kg/m<sup>3</sup>)

水	ダクトアル粉体 (プレミックス品)	鋼繊維	専用減水剤
W	P	Sf	Sp
175	2 254	157	24

ただし、水 175 kg/m<sup>3</sup> は専用減水剤 24 kg/m<sup>3</sup> を含む

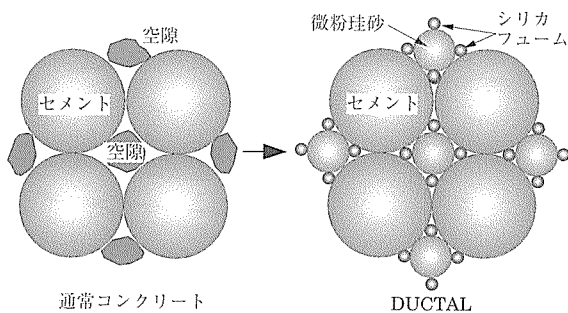


図 - 3 ダクトアルの最密充填のイメージ

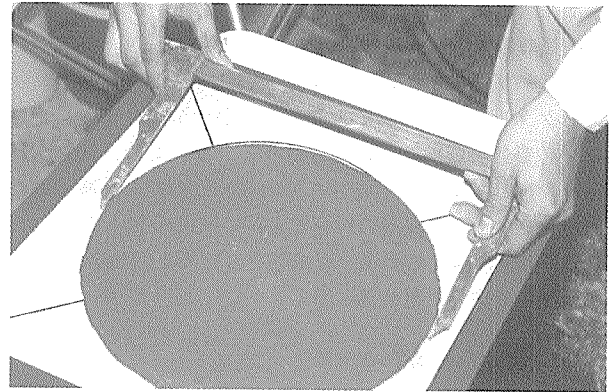


写真 - 4 フロー値測定状況

少ない水分と配合成分による高い粘性のため、練混ぜ時にミキサーに負荷がかかるとともに、10 分程度の練混ぜ時間を要する。しかしながら、流動化後は容積比 2%（約 160 kg/m<sup>3</sup>）もの鋼繊維を投入しても、その流動性が低下することなく、練り上がり時のモルタルフロー値で 200~300 mm を得ることができる（写真 - 4）。そのため、ダクトアルは高い自己充填の性能を有し、締め固め不要である。打設後の養生は、常温養生で 48 時間（1 次養生）、その後 90℃ の蒸気養生を 48 時間（2 次養生）実施するのが標準である。打設 2 日後（1 次養生後）で 30~50 N/mm<sup>2</sup> の圧縮強度が得られ、連続して蒸気による 2 次養生を実施した場合、打設 4 日後には 200 N/mm<sup>2</sup> 以上の強度を得ることができる。

##### 4.3 力学性状

ダクトアルの力学性状（2 次養生後）を以下に示す。

- ・圧縮強度：200 N/mm<sup>2</sup>（φ5×10 cm 供試体による）
- ・曲げ強度：45 N/mm<sup>2</sup>（4×4×16 cm 供試体による）
- ・引張強度：9 N/mm<sup>2</sup>

曲げ特性はマトリックスに依存する初期クラックが 20~30 N/mm<sup>2</sup> で発生した後、鋼繊維による架橋効果で曲げ抵抗が増大し、曲げ引張応力で 40~45 N/mm<sup>2</sup> までに達する（図 - 4）。最大応力到達後もその架橋効果により、ねばり強い曲げ特性を示す。これらの特性は、鉄筋を配置することなしにダクトアルを橋梁のような桁部材に適用することを可能にしている。

##### 4.4 耐久性状

ダクトアルの耐久性状（2 次養生後）を以下に示す。

- ・耐摩耗性：普通コンクリートの 2~3 倍

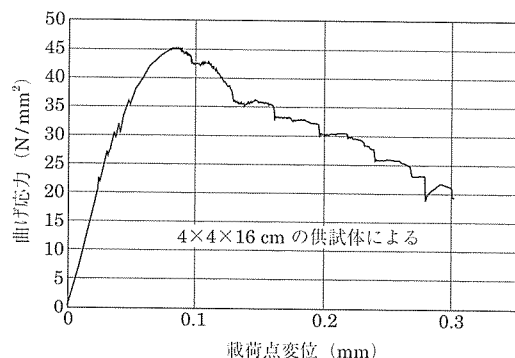


図 - 4 曲げ応力-変位図



- ・凍結融解抵抗性：きわめて良好な抵抗性
- ・乾燥収縮：50  $\mu$ m/m（普通コンの1/10以下）
- ・クリープ係数：普通コンの1/5以下

ダクトは最密充填により各成分が完全にパッキングされ、必要最小限の水しか配合されていないため、非常に緻密なマトリックスが形成されている。そのため、凍結融解や塩化物イオンの浸透に対しても高い抵抗性を示す。また、2次養生中に強度の発現、収縮等をほぼ終えてしまうため、養生後は安定した硬化体となる。

## 5. 実 験

酒田みらい橋では、部材の薄肉化やPC定着部および開口部の安全性の確認、設計・解析モデルの検証や耐力の確認などのため、さまざまな構造実験が行われ詳細設計にフィードバックされている。また、実機での練混ぜ特性や強度性状を把握するためやブロック製作時の品質管理手法確立のために、試験室および現地（酒田市）のプラントにおいて練混ぜ・打設の実験を数多く実施した。以下にその構造実験の主な実験項目を示す。

- ①開断面部材載荷実験（基礎実験）
- ②ウェブ部材引張実験（基礎実験）
- ③PC定着部性能試験
- ④ウェットジョイント要素せん断実験
- ⑤ウェットジョイントI型梁せん断実験
- ⑥一般部曲げせん断実験
- ⑦接続部曲げせん断実験

ここでは、PC定着部性能試験と一般部曲げせん断実験の概要を示す。

### 5.1 PC定着部性能試験

PC構造物では、断面の制約上からPC定着部の定着具配置が課題になることがよくある。躯体に超高強度RPC材料を用いた場合には、断面が必然的に小さくなるため、その傾向は顕著となる。そのため、RPC材料を用いたPC構造物には、その高強度の利点を活かしたサイズの小さな定着具の開発が必要となる。本橋においては支圧版の寸法を小さくおよび厚さを薄くして、その性能を検証するためのいくつかの実験を行った。そのうち、 $\phi$  15.2 mm  $\times$  19本（VSL工法：E6-19）ユニットの実験結果を図-5に、実験状況を写真-5に示す。

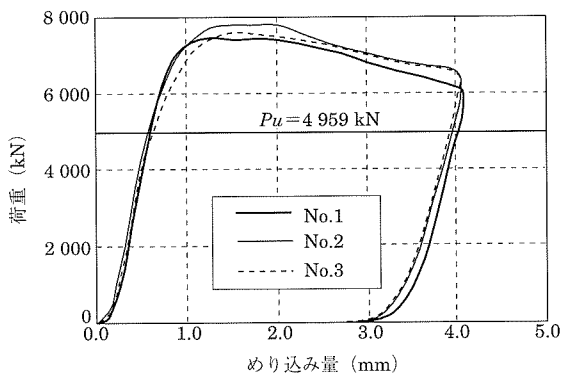


図-5 荷重—めり込み量関係(E6-19)

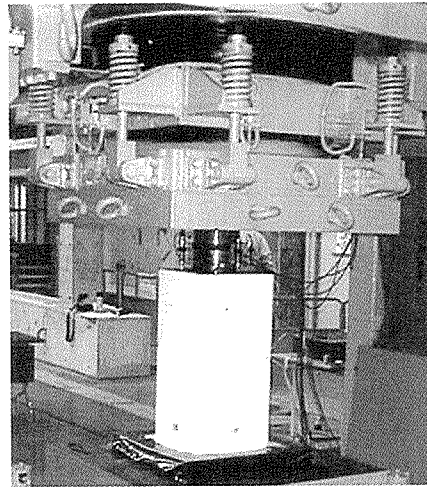


写真-5 PC定着部性能試験

試験結果としては、3体の試験体はPC鋼材の引張強度  $P_u=4959$  kN までの挙動のばらつきが少なく、支圧版の変形も非常に少ない。また、最大ひび割れ幅も0.06 mm 以下ときわめて良好な結果である。最大荷重はPC鋼材の規格引張強度  $P_u$  の1.5倍に達し、十分な安全性が確認された。

ダクトのようなRPC材料は、高圧縮・引張強度を有し、ヤング係数も  $E_c=50$  kN/mm<sup>2</sup> と高いうえに、多量の高張力鋼繊維がランダム配向で配置されているため、きわめて変形・ひび割れ抑止性能が高く、PC定着部のような複雑な応力が生じる部位には、最適な材料であるといえる。

### 5.2 一般部曲げせん断実験

RPC材料を用いた桁では材料強度や鋼繊維の関係から、相似則などを用いて適切な縮小試験体を製作することが難しい。そのため、設計で決定した構造の実物大試験体を製作して実験を行っている。一般部曲げせん断実験の状況を写真-6に示す。この実験では、桁端部のせん断力卓越部分に着目し、供用・終局荷重時の状態と最終耐力の確認を行った。そのため、試験体の桁高は61 cm とし、ウェブに開口部は設けていない。

結果は、供用時設計せん断力  $P_s=784$  kN に対し、その約1.5倍の荷重時にウェブ部にひび割れが生じ、最大荷重は

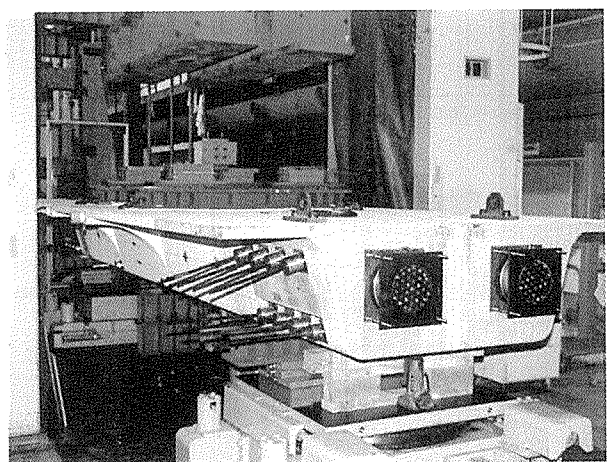


写真-6 一般部曲げせん断実験

$P_{max}=2\,460\text{ kN}$  と終局時設計せん断力  $P_u=1\,340\text{ kN}$  の約 1.8 倍を超えた。また、斜めひび割れは複数に分散し、荷重  $P=2\,000\text{ kN}$  時に最大で  $1.0\text{ mm}$  あった。一方、曲げひび割れは最大荷重に至っても発生していない。

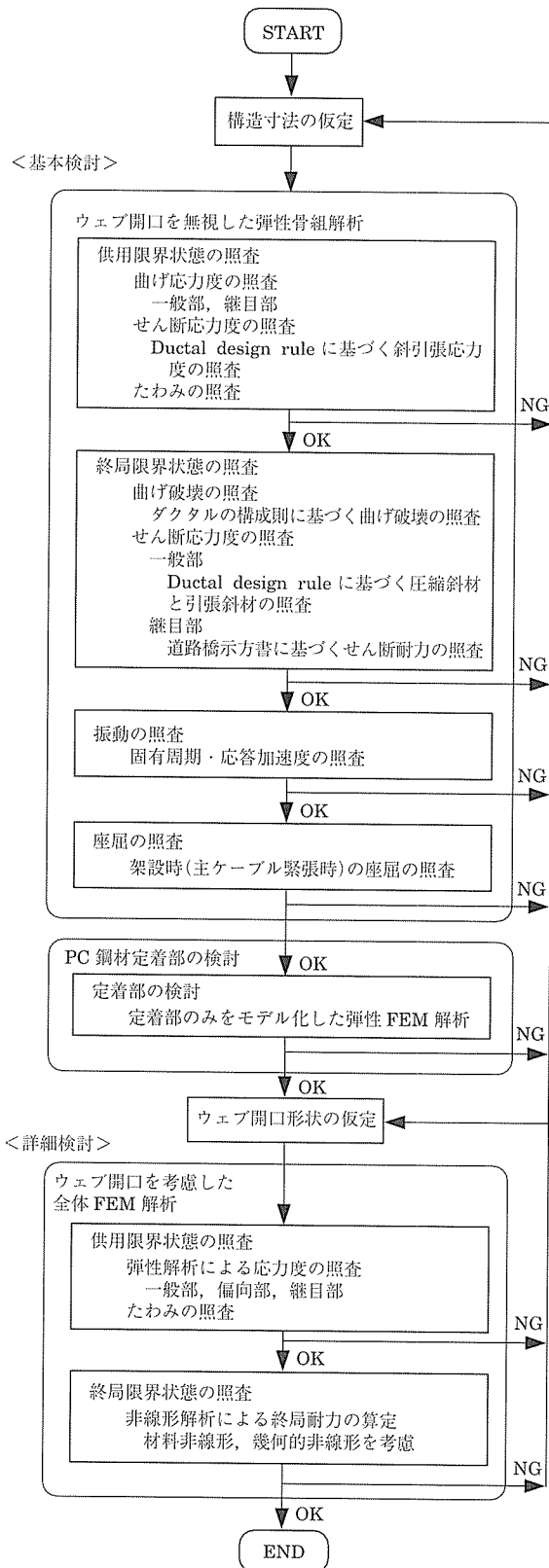


図 - 6 設計フロー

## 6. 構造設計

設計には限界状態設計法を用いて、供用限界状態と終局限界状態にて照査を行っている。図 - 6 に設計フローを示す。なお、設計照査の詳細については、既発表<sup>3)</sup>を参照願う。

### 6.1 設計方針

本橋の設計方針を以下に簡潔に示す。

- 1) 基本的な構造寸法の決定は 2 次元骨組モデルにて行う
- 2) 主ケーブル定着部については 3 次元 FEM 解析により局所的な応力について検討
- 3) 1), 2) で決定した構造寸法について、3 次元 FEM 解析により応力状態および破壊耐力について照査

### 6.2 設計的特徴

1) 橋軸方向は PC 構造、橋軸直角方向は RPC 構造  
橋軸方向は外ケーブルによる PC 構造として設計しているが、橋軸直角 (断面) 方向は、PC 鋼材や鉄筋が一切配置されていないため、ダクタルの圧縮および引張強度に期待した構造となっている。

2) ケーブルは直線、桁は凸型

計画高水位との関係から桁下面が水平となり、桁端部においても桁高の制約を受けていることから、剛性を確保するために凸型の桁形状となった。その結果、下床版上に設置されている外ケーブルはほぼ直線配置 (写真 - 7) となり、曲がりによるプレストレスのロスはほとんどなく、ディビーター部に作用する力も非常に小さなものとなった。



写真 - 7 桁内 PC 鋼材配置状況

3) 高いプレストレス導入力

本橋のプレストレス導入力  $7\,400\text{ kN}$  を単純に断面積で割って算定した圧縮応力度は約  $20\text{ N/mm}^2$  であり、偏心による応力分を加えると  $30\text{ N/mm}^2$  以上と非常に高い圧縮力が導入されている。このことは、単位体積あたりの PC 鋼材量が、 $50\text{ m}$  スパンの箱桁の標準的な値が  $30\text{ kg/m}^3$  程度なのに対して、本橋では  $150\text{ kg/m}^3$  であることから分かる。

4) 桁自重に対して、大きな橋面荷重と活荷重

桁自重  $58\text{ t}$  (PC 鋼材含む) に対して、舗装や高欄などの橋面荷重が  $21\text{ t}$ 、活荷重 (群集荷重) が  $28\text{ t}$  となっており、

桁自重に対する橋面荷重や、死荷重（桁自重＋橋面荷重）に対する活荷重の割合が大きい。

5) 曲げよりもたわみの影響大

本橋の断面は、曲げやせん断の応力照査のみならず、たわみの検討（群集荷重時のたわみ $\leq$ スパン/600）によっても決定されている。これは、前述の死荷重に対する活荷重の割合が大きいことと、端部での厳しい桁高制限に起因するものである。そのため、端部の桁高制限がなく、1.2 m程度の等桁高での設計が可能であった場合には、たわみは断面の決定要因にはならないと考えられる。

6) 鋼構造に近い特性

本橋はコンクリート系材料で製作されているにも関わらず、その部材の薄さや軽量さから鋼構造に近い特性を有している。そのため、振動解析や座屈解析などの検討が行われている。

## 7. 施 工

### 7.1 プレキャストブロックの製作

プレキャストブロックの製作は、コンクリート製品工場で行った。ここでの課題は、ダクトルの特性を考慮した型枠の製作と、材料供給、練混ぜ、打設、養生などの一連の製造方法であった。

(1) 型 枠 (写真-8)

型枠の計画・製作時のポイントは、①部材厚が10 cm以下と非常に薄いため、型枠製作および組立てを高精度（誤差を2 mm以下）の管理が必要、②セパレータ等の埋設物はダクトルの流れ（充填性）を阻害するとともに、ファイバーの配向性に影響を及ぼすため極力設けない、③高流動であるため、液圧に対する強度が必要、④打設面は水平でなくてはならず、勾配を有する部分には伏せ型枠が必要などが挙げられる。

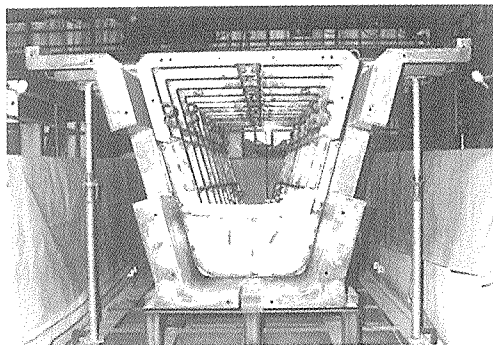


写真-8 1 BL 用型枠

(2) 材料の受入れ

ダクトルは、すべての粉体成分が配合されたプレミックス（袋体）の状態で行き込まれる。（写真-9）。この袋体の重量（約730 kg）は、あらかじめ1バッチ分（2袋使用）の練混ぜ量から算定してメーカーに指定したものである。この粉体には湿気に敏感な反応性微粉末が配合されているため、この袋体は厚手のビニール袋との2重構造となっているが、保管には十分注意する必要がある。

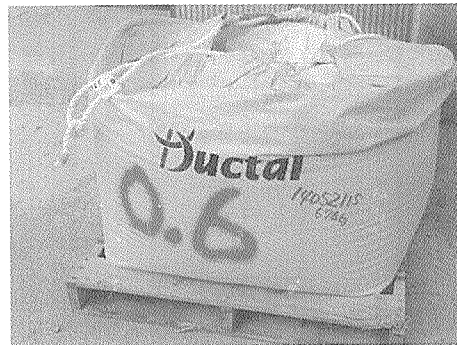


写真-9 ダクトル プレミックス粉体

(3) 材料の供給

すべての粉体がプレミックスの形で供給されるため、既存のサイロ等の利用が難しく、1 m<sup>3</sup>練り混ぜるには1 m<sup>3</sup>の粉体供給が必要となる。そのため、本橋では、骨材を供給しているスキップと呼ばれる運搬設備を使用した。

(4) 練 混 ぜ (写真-10)

ダクトルは水粉体比が8%程度ときわめて水分が少なく、練混ぜ過程で非常に粘性が高くなるため、練混ぜには時間とミキサーのモーター出力が必要となる。本橋では、1.75 m<sup>3</sup>練りのパン型ミキサー（モーター出力45 kW）を用いて、1バッチあたり0.65 m<sup>3</sup>のダクトルを練り混ぜた。

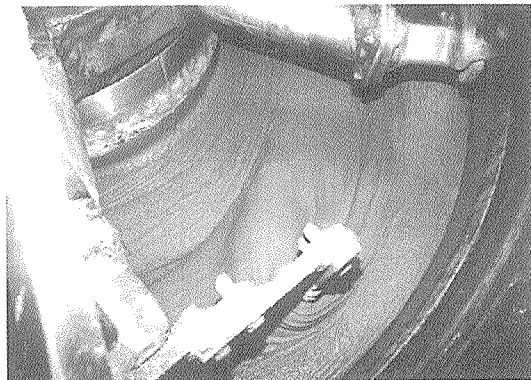


写真-10 練混ぜ状況

(5) 打 設

打設は、ホッパーの先端にトレミー管を装着して行った（写真-11）。ダクトル打設の際のポイントは、「①鋼繊維の連続性を損ねないように、打設位置や打設順番に留意する、②部材厚が薄いので未充填部を生じないように、比較的ゆっくりと打ち上げる、③単位水量が非常に少なく表面が乾き易いため、打設中および打設後の養生が必要となる」などである。

(6) 養 生

1) 1次養生

1次養生は散水等で水分を供給しながらのシート養生とした。脱型時のブロック吊上げ時の検討により、脱型時必要強度を50 N/mm<sup>2</sup>としたが、48時間後には50~70 N/mm<sup>2</sup>の強度が確認されたことから、打設2日後の朝から脱型を行った。

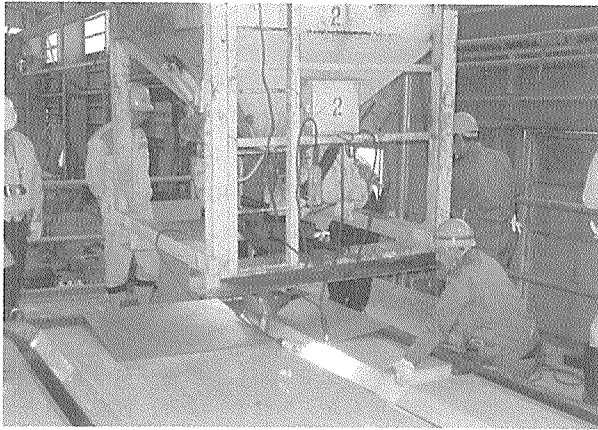


写真-11 打設状況

## 2) 2次養生

2次養生はブロックの外側に簡易のパイプハウスを建て、養生シートで覆って90℃の蒸気養生を48時間行った。また、養生温度を監視するため、養生監視システムを開発し導入した。これは、熱電対を利用して躯体の各部位、供試体や養生ハウス内の雰囲気温度などを遠隔操作で24時間監視できるシステムである。また、養生温度に異常が生じた際には、携帯電話を通じて警報を知らせる機能ももたせており、これによりボイラー異常停止による躯体の急速な冷却を未然に防ぐことができた。

また、2次養生後の圧縮強度は183～212 N/mm<sup>2</sup>であり、標準偏差は4.1 N/mm<sup>2</sup>程度と比較的小きな値であった(強度管理用供試体数n=48)。ただしこの値は、粉体材料の計量や投入水分量、練り混ぜ・打設・養生時の品質管理を徹底して実施した結果の値であり、それらの管理がなされていない場合には、大きな標準偏差となることは想像に難くない。

## 7.2 ブロック架設

ブロックの架設に先立ち、旧橋の床版および桁の撤去後に頭繋ぎおよび足場設置用の鋼製の架設桁を設置した。ブロックの架設は、川の兩岸から160tのトラッククレーンを用いて行った(写真-12、写真-13)。

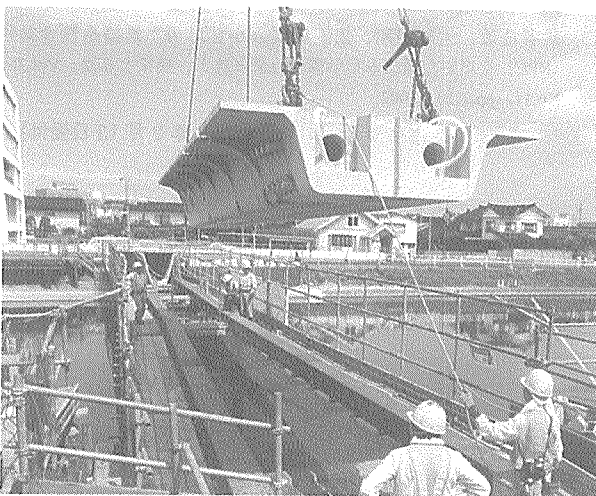


写真-12 端部ブロック(3LR)の架設

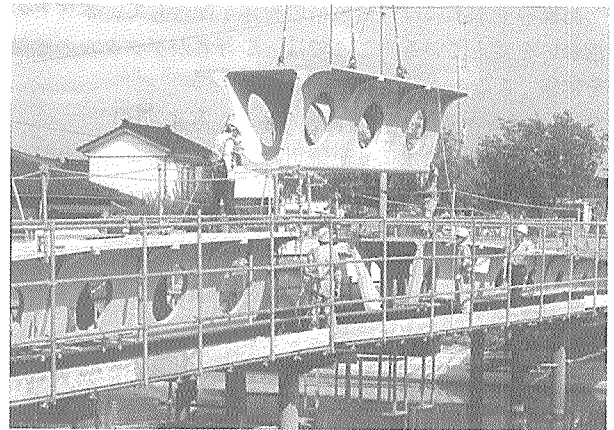


写真-13 中央ブロック(1LR)の架設

## 7.3 ウェットジョイントの施工

各ブロック間のウェットジョイント部(厚さ3cm)には、ダクトルを上床版から流し込んで打設した。非常に狭い部分への打設のため、内側の型枠材に透明の塩ビパネルを使用し、充填性を目視で確認しながら打ち上げた。施工時期が8月上旬であったため、練り上がり温度が30℃を越えないように材料の低温管理を行い、かつ早朝の打設とした。また、電熱ヒーターを用いてウェットジョイント部の2次養生を実施した。

## 7.4 主ケーブル緊張

2本の主ケーブル(外ケーブル)の緊張は、緊張による偏応力を防ぐために緊張ジャッキ(最大緊張力8000kN)を2台用いて同時に行った。桁の形状から主ケーブルがほぼ直線配置がであること、片側(左岸)しか緊張作業用のスペースが確保できないことにより、片引きにて緊張を行った。

## 8 RPCの高欄や親柱への適用

ダクトルは、高流動で鉄筋を配置する必要がないため、構造物の形状を比較的自由に設定することができる。また、高強度で緻密であるため、非常に薄い部材や表面がなめらかな部材も可能である。そのため、本橋では、有機繊維を配合した「ダクトル-FO」をさまざまな箇所に用いている。

### 1) 高欄のトップレール(笠木:写真-14)

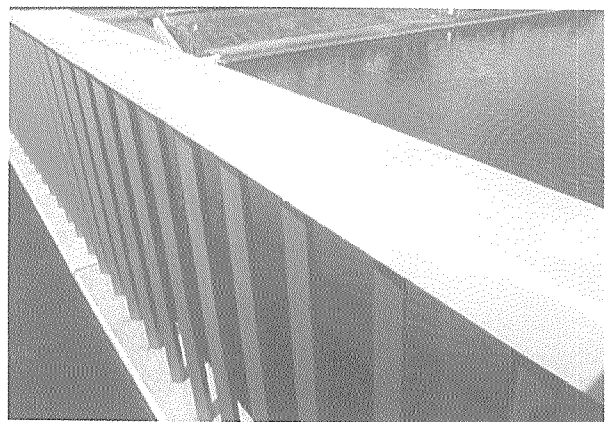


写真-14 ダクトル製トップレール(笠木)



高欄の笠木部には、白色系の粉体を配合して、本体との色合いを変えている。ここでは、歩行者がダクトルの感触を体験できる。

2) フェイシャルライン (化粧パネル：写真 - 15)

上床版の側面に水切りを兼用した化粧パネルを取り付けた。これは、最大厚さ 30 mm、最小厚さ 5 mm と、非常に薄い部材にも適用可能であることを表している。

3) 親柱 (写真 - 16)

親柱は、鋼製のウェブとフランジをイメージしたデザインとし、本橋には従来のコンクリートの領域を超えた、スチールの性能に近い材料が用いられていることを表現している。



写真 - 15 フェイシャルライン(化粧パネル)

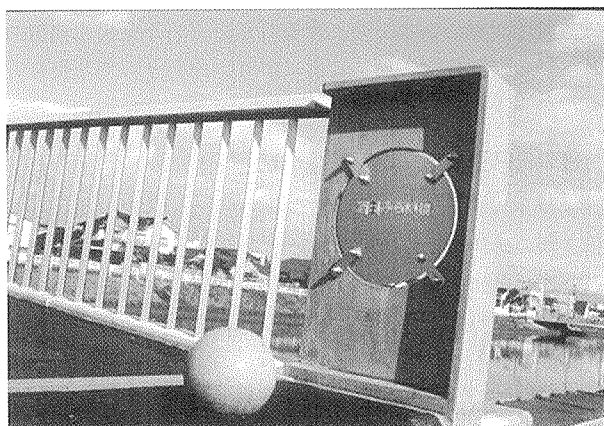


写真 - 16 親柱と車止め

## あとがき

酒田みらい橋は、RPC 材料であるダクトルを用いて PC 橋梁の設計と施工を行う日本で初めての試みであり、既成の概念に捕らわれることなく、ダクトルの特性を活かした特徴あるデザインとなっている。この RPC は、その高強度とそれによって実現される軽量さから、たとえば 40~70 m スパンの橋梁や 20 m 以上の梁部材への適用が可能であり、これまで鉄の領域への PC 構造物の適用拡大が期待される。低い桁高や大胆な景観デザインの実現といった形状の自由度も大きな魅力であり、後半で紹介したようなさまざまな意匠的な部材への適用も考えられる。また、仮設設備費や下部工の工事費などの削減により、全体工事費において経済性を得ることもでき、本橋においては上流の PC 歩道橋に比べ上下部で 10% 以上の工事費削減を実現している。さらに、ダクトルを用いた構造物は高耐久・高寿命であり、ライフサイクルコストに優れ、使用材料も少なく済むことから CO<sub>2</sub> 排出量で大幅な削減 (本橋においては 7 割の削減) となるなど数多くの環境面の利点も併せもっていることも忘れてはならない。

この酒田みらい橋が、今後における RPC 分野の発展の礎になれば幸いである。これは「酒田から新技術を日本へ、そして未来へ発信する」とした、橋の名称の由来にも通じるものである。

終わりに、本橋における「新素材による橋梁建設技術委員会」において、評価やご意見・ご指導を頂いた委員の方々、ならびに関係各位の方々に感謝の意を表します。そして、酒田みらい橋の見学に酒田まで足をお運び頂き、この新素材ダクトルにご理解を示して頂いた多くの方々にご礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 田中良弘, 武者浩透, 大竹明朗, 下山善秀: 超高強度繊維補強コンクリートによる PC 歩道橋の設計施工法, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.2, pp.1603-160, 2002.
- 2) Y.Tanaka, H.Musha, A.Ohtake, Y.Shimoyama, O.Kaneko: Design and Construction of Sakata-Mirai Footbridge using Reactive Powder Concrete, Proceedings of the first fib Congress 2002, vol-1, session-1, pp. 103-110 2002
- 3) 武者浩透, 大竹明朗, 児玉明彦, 小林忠司: 無機系複合材料 (RPC) を用いた酒田みらい橋の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.36, No.11, pp.2-10, 2002.

【2003 年 2 月 13 日受付】