

# 耐久性、美観に優れたRC巻立て補強コンクリートの施工

## Construction of Highly Durable Reinforced Concrete Lining Pleasing to the Eyes

望月 泰彦<sup>\*1</sup>

Yasuhiko Mochiduki

井口 知育<sup>\*2</sup>

Tomoiku Iguchi

松本 匡平<sup>\*1</sup>

Kyouhei Matsumoto

### 【要旨】

山陽新幹線高架橋橋脚をRC巻立て工法で耐震補強する試験工事を行った。試験工事の目的は、既設躯体に多数のアンカー等を埋設し、薄い部材厚で巻立てる耐震補強工を、品質トラブルなく施工し、耐久性、美観に優れたコンクリート構造物をできる限り効率的に造るノウハウの取得であり、品質向上のための事前検討を行い、その結果から抽出したいくつかの対策を施工方法に取り入れて実施した。試験工事完了から1年が経過して、事前対策の評価を行い、今後のRC巻立て補強施工に反映していく施工方法をまとめた。

【キーワード】 橋脚耐震補強 RC巻立て ひび割れ防止 貫通補強鉄筋

## 1. はじめに

高架橋既設橋脚を耐震補強するRC巻立てコンクリートの施工をトラブルなく行い、耐久性、美観に優れた（ひび割れが無く表面が緻密な）コンクリート構造物をできる限り効率的に造るための事前検討を行った。そして、事前検討結果から抽出したいくつかの事前対策を施工方法に取り入れて試験施工を実施した。

試験施工の完了から概ね1年が経過して、経過観察を行っている部分も残っているが、事前対策の評価が出来る状態になり、これからのRC巻立て補強工事に反映していく施工方法を提案する。

## 2. 試験工事概要およびRC巻立て補強の特徴

### 2.1 試験工事概要

工事件名：神戸土木技術センター新幹線単柱橋脚補強B

施工場所：大阪府淀川区加島3丁目地先

工期：平成20年12月25日～平成21年6月16日

発注者：西日本旅客鉄道株式会社

工事内容

- ・橋脚寸法：5.0m×3.0m×15.8～18.1m 7橋脚
- ・コンクリート：387.1m<sup>3</sup> (24-12-20, W/C=50%)
- ・鉄筋：92.5 t (SD345 D19～D29, 圧接580箇所)
- ・アンカージベル鉄筋：5,868本 (SD345-D19, L型鉄筋)
- ・貫通補強鉄筋：56本 (SD345-D32, 両端ネジ定着)

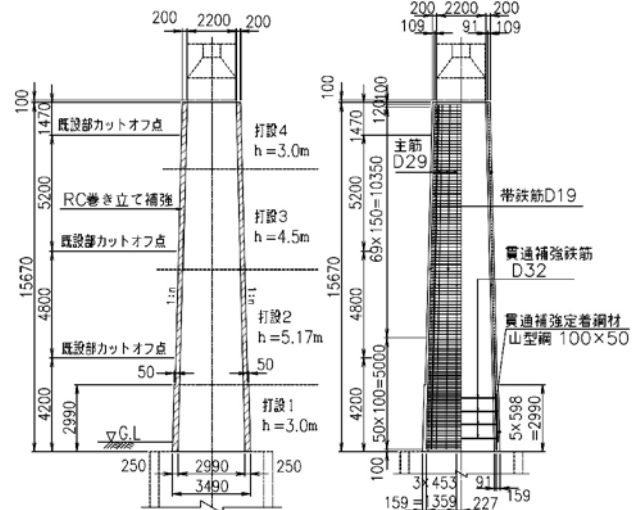
### 2.2 RC巻立て補強の特徴

RC巻立て補強コンクリートは巻立て厚さが20cmで、既設橋脚を筒状に補強する。図-1はRC巻立て補強標準構造図で、以下に仕様・形状等の特徴を示す。

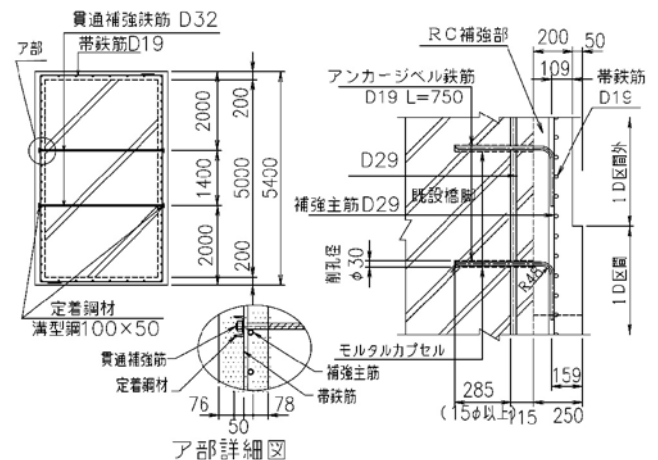
- ① 補強橋脚は40年前の施工で、下地処理は表面水洗い。
- ② 補強鉄筋量は130 kg/m<sup>3</sup>～280 kg/m<sup>3</sup>で主鉄筋・帯鉄筋とも比較的密な配筋。主鉄筋最小間隔70mm、帯鉄筋最小間隔50mmで、施工部材厚さが20cmのためコンシステンシーの大きいコンクリートが必要。
- ③ 既設橋脚への補強鉄筋定着はアンカージベル鉄筋で行い、橋軸直角方向に1.2～2.3本/m<sup>2</sup>、橋軸方向には

3.7～4.8本/m<sup>2</sup>設置する。

- ④ 基礎から1D区間は補強量が大きいいため、橋軸方向に補強鉄筋を貫通させて、鉛直方向に頭部を定着鋼材で固定する貫通補強鉄筋を4本2列設置する。



(a) P3橋脚構造図



(b) 貫通補強鉄筋部断面図 (c) アンカージベル鉄筋標準図

図-1 RC巻立て補強標準構造図

次に補強橋脚の施工前状況を写真-1に示す。

1. 大阪土木事業部 新幹線高架橋作業所 2. 大阪土木事業部 阪高大和川シールド作業所  
3. 札幌土木事業部 新幹線泉沢作業所



写真-1 施工前の東加島高架橋

### 3. ひび割れ防止対策の事前検討<sup>1)</sup>

#### 3.1 良いコンクリート構造物を造るポイント

良いコンクリート構造物は有害な物質がコンクリート中に侵入することを防ぎ、イオンや水分が移動しにくいような密実なコンクリートとなっている。

そこで、「RC 巻立て補強工に該当する良いコンクリート構造物を造るポイント」を以下のように抽出した。

- ① コンシステンシーの大きい、所定のワーカビリティを得られるコンクリートを使用し、施工性を確保して密実なコンクリートを造る入念な施工。
- ② 単位水量を小さくして乾燥収縮量を低減する。
- ③ 水セメント比を小さくして、密実で中性化抵抗の大きいコンクリートを造る。
- ④ 初期収縮ひび割れを防ぐ、十分な養生を行う。

上記の条件の中にある「単位水量を小さくする」に相反する「コンシステンシーを大きくする」というコンクリート配合面を検討し、目的に応じたセメントや混和剤（高性能 AE 減水剤等）を使用して、複合するいくつかの条件を満足する対策が必要となる。

そして、RC 巻立て補強の品質を向上させて良いコンクリート構造物を造るために、コンクリートの最も大きな欠点であるひび割れの防止対策を計画した。

#### 3.2 ひび割れの防止対策

施工初期のコンクリートひび割れ発生原因は、セメントの水和熱、コンクリートの沈下やブリーディング、コンクリートの乾燥収縮が考えられる。

そこでひび割れ発生原因を表-1に整理し、RC 巻立て補強で考えられる発生原因を抽出して、ひび割れ防止のポイントを次のように絞り込んだ。

- ・ ひび割れ発生を抑制できるコンクリート配合
- ・ ひび割れを抑制できる補強材の設置
- ・ 材料分離のしない打込み方法と打設順序
- ・ 打設直後から湿潤養生を継続する

##### (1) ひび割れ発生を抑制できるコンクリート配合

コンクリートはセメントと骨材と水に品質を安定・向上させる混和剤を加えて製造され、施工する目的物等に応じた多くの配合がある。各生コン工場は各規格配合を製造実績から適時改良して保有し、需要家の求めに応じて製造出荷している。

表-1 コンクリートのひび割れ発生原因

項目	原因	該当	
材料	使用材料	セメントの水和熱	○
		セメントの異常凝結・膨張	
		低品質な骨材	
	コンクリート中の塩化物		
コンクリート	コンクリートの沈下・ブリーディング	○	
	コンクリートの乾燥・自己収縮	○	
施工	練りまぜ 運搬	混和材料の不均一な分散	○
		長時間の練混ぜ	
	打込み 締固め	不適当な打込み方法と打設順序	○
		急速な打込み	
		不十分な締固め	○
	締固め	硬化前の振動や載荷	
	養生 打継ぎ	初期養生中の急激な乾燥	○
初期凍害			
不適当な打継ぎ処理		○	
使用 環境	温度・湿度	環境温度・湿度の変化	○
	化学作用	酸・塩類、中性化による鉄筋腐食	
構造 外力	荷重	部材両面の拘束面積の差	○
	構造設計	断面・鋼材量不足	

そのような生コンクリートの中から、今回の施工に際してコンクリートの品質向上、ひび割れ発生抑制と施工性向上が期待できるコンクリート配合として、高性能 AE 減水剤と膨張材を添加したコンクリートを計画した。

##### 1) 高性能 AE 減水剤の使用

高性能 AE 減水剤は JIS で「空気連行性をもち、AE 減水剤よりも高い減水性能および良好なスランプ保持性能を持つ混和剤」と定義されている。高性能 AE 減水剤を添加したコンクリート（以下、高性能 AE コンクリートと称する）は、同じ配合のプレーンコンクリートに比べてスランプ保持時間が長くなり、ワーカビリティを向上させ、単位水量を低減させることができる。そのためブリーディング量の低減や充填率および骨材の接着強度の向上による乾燥収縮および自己収縮の低減、水密性の向上、中性化抵抗性の向上等の利点がある。一方で凝結時間が長くなるため型枠強度を十分検討する必要があり、スランプ保持性能が良くなりワーカビリティが向上するが、他工事での施工実績では一定時間（2 時間程度が多い）経過後のスランプダウン（施工しにくくなる）が急に起こる性状も持っているようなので、使用コンクリートの性状を早く把握する必要がある。

以上のことから、高性能 AE コンクリートは次の 3 項目でひび割れ防止効果が得られる。

- ① AE 減水剤より高い減水効果で、単位水量の抑制効果が期待できる。
  - ・ 単位水量を低減（減水率 13%→18%以上）して乾燥収縮率を小さくできる。
  - ・ ブリーディング量を低減（52%→27%）して沈下ひび割れやコンクリート表面の水セメント比を減少。
- ② 水セメント比が同一ならば、単位水量の低減分の単位セメント量を低減できる。

- ・単位セメント量を低減して水和熱を抑制（セメント量 10kg 減でコンクリート温度が約1 度下がる）。
- ③ スランプの保持性が高く、打ち重ね部の不良を抑制。
- ・適切な時間配分によるコンクリート打設手順で、狭隘な手間のかかる施工部位でもコールドジョイント発生を防止できる。

## 2) 膨張材を添加したコンクリートの使用

膨張材を添加したコンクリート（以下、膨張コンクリートと称する）は自己収縮等による初期段階のコンクリート収縮変化に膨張ひずみを加えるため、**図-2**に示す引張応力軽減による収縮補償効果により硬化コンクリートにほとんど収縮変化を生じさせない。そのためひび割れ防止と既設躯体との一体化を図れる。

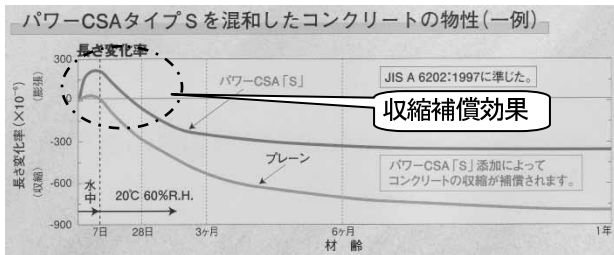


図-2 膨張材添加によるひび割れ低減効果

## (2) ひび割れを抑制できる補強材の設置

コンクリートは型枠拘束状態でゆっくりと水和反応を進め、十分に強度発現させることで耐久性の高い製品に仕上がるが、次工程への引渡し等で必要強度発現（約 5N/mm<sup>2</sup> 程度、打設後 3 日から 7 日程度）を待って脱枠することが普通となっている。この脱枠時から乾燥収縮が急に進み、コンクリート部材内部に引張応力が発生してひび割れが発生する。そこで、初期コンクリートの引張強度不足部分を補完する耐アルカリ性ガラス繊維ネット「ハイパーネット 60」（以下、ハイパーネットと称する）を鉄筋外側（かぶり部分）に設置してコンクリート表面部分のひび割れ発生を抑制する。ハイパーネットは廉価・軽量で耐腐食性が高く、コンクリートとの付着性能も良好で、引張応力分散効果を期待できる。

また、貫通補強鉄筋端部は山形鋼（100×50）で既設躯体に定着してから巻立てコンクリートを施工するため、この定着鋼材部で断面欠損が生じる。この部分の RC 巻立てコンクリートを補強するため、鉄筋より高強度なガラス繊維製格子筋「トウグリッド」（以下、トウグリッドと称する）を設置してひび割れ発生を抑制する。

### 1) ハイパーネットの設置

工程の関係から十分な型枠拘束養生時間が取れない打設部全体にハイパーネットを設置してひび割れ発生を抑制する。ハイパーネットは**写真-2**に示す形状の幅 21cm の連続軟質ガラス繊維ネットで、鉄筋面に結束固定する。

### 2) トウグリッドの設置

トウグリッドは、カーボン、ガラスなどの高性能連続強化繊維を樹脂に含浸させながら 2 方向に配列して一体



写真-2 太平洋ハイパーネット 60

成形（FRP 化）した格子筋で、格子交差部が同一面上にあるため鉄筋と比べて断面が薄く、軽量で人力運搬・施工が容易な製品で、鉄筋と同様の補強効果が有る。

貫通補強鉄筋定着鋼材部のひび割れ対策では**写真-3**に示すトウグリッド FTG-G4 を使用する。

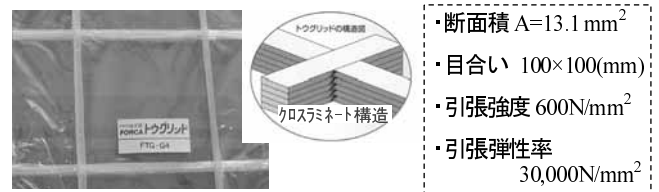


写真-3 FORCA トウグリッド FTG-G4

## (3) 材料分離のしない打設方法と打設順序

良いコンクリートは打込み箇所まで分離させず運搬したフレッシュコンクリートを、バイブレータで適切に締固めて密実仕上げる。耐震補強コンクリートは既設物に制約されてブーム式ポンプ車でコンクリートを自在に圧送することが難しい。また、打設する部材が筒状で、厚さ 20cm のほぼ中央に補強鉄筋が配置され、1 回打設の打込み高さが最大 6m のケースでは、1 周 17m を 6 箇所投入し、4 層で打ち上げるために 24 回の打込み箇所移動が必要となる。そこで、コンクリートが材料分離をしない移動し易い打込み方法を検討し、小径軽量圧送コンクリートホース（重量 21 kg）を鉄筋と既設躯体の隙間（101×156mm）に落下高さ 1.5m 以下まで差し込む方法を計画した。また、使用するコンクリート骨材は 20mm でスランプ 12cm のため、閉塞しないことを専門者と確認した上で、以下に挙げる理由から、通常使用しない内径 75mm×7m の小径軽量圧送ホース差し込み方法とした。

- ・足場上の作業員 3 人で人力移動が可能
- ・抜き差し作業中にアンカー JBEL 鉄筋で壊れない
- ・外面が平滑で、自重で鉛直になる

そして、予想施工サイクルタイム 12 分と材料の締固め可能時間を考慮して時間当たり打設量を決め、既設躯体を周回しながら 1 回の打込み高さ 1.5m でスパイラル状に打ち上げる打設順序を計画した。打設計画の検討ポイントは次のとおりである。

- ・1 層打ち上げ時間を 6 箇所×12 分+ロスで 80 分
- ・作業員配置箇所と予備人員と予備機械
- ・20～30 分後の仕上げ締固めが可能な打設時間管理

## (4) 打設直後からの湿潤養生

コンクリートは打設直後から水和反応により硬化を始

め、水分が減少しながら乾燥収縮していく。特に初期養生期間（打設後約1ヶ月間）の水分蒸発と乾燥収縮は大きく、乾燥収縮によるひび割れ発生を防止するためにコンクリート面を湿潤状態に保つ初期養生が重要で、養生方法は次の4項目で検討した。

### 1) 型枠残置による密閉湿潤養生

型枠を残置しコンクリートを拘束したままの養生は乾燥防止と強度発現促進に最良の方法で、後工程との関連もあるが2週間以上を目処とした。そして、施工時期や型枠材の種類により保温養生や型枠上からの散水養生も必要になる。

### 2) 密着性プラスチックフィルムによる被覆養生

脱型後のコンクリート表面をすぐに気泡緩衝材やラップフィルム等の密着性プラスチックフィルム（以下、フィルム被覆養生と称する）で覆うと、図-3に示すようにコンクリート内部の水分量は約1ヶ月間減少しないため乾燥収縮を抑制できる。被覆養生するフィルムは、冬季は保温効果がある気泡緩衝材で、通常期はラッピングフィルムを使用する。

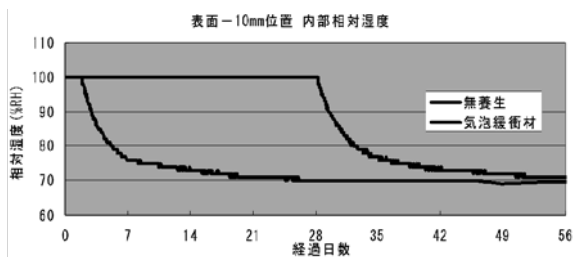


図-3 養生方法とコンクリート内部水分量の変位

### 3) 液体養生剤レオソルブによる被膜養生

レオソルブ703Bはエーテル系界面活性剤で、コンクリート表面に塗布・被膜化することで図-4に示すように空隙を充填被覆して内部水分の蒸発を防止し、水分の代わりに果たして乾燥収縮を低減する。低粘度の水性溶液でスプレーやローラー等で塗布し、表面乾燥後のコンクリート肌はコンクリート本来の色合いを維持する。

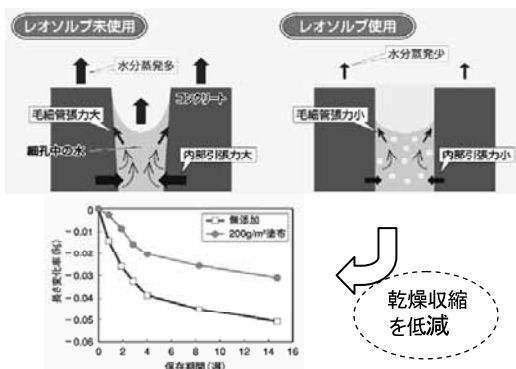


図-4 レオソルブ塗布によるひび割れ低減効果

### 4) 風・日照防止による湿潤養生環境の維持

RC巻立て補強コンクリートは鉄筋組立作業等のため

作業足場全体を防音シートまたは防風防塵シートで覆う（以下、環境シート養生と称する）。そのため、最も乾燥を促進する風や日照が直接養生中のコンクリート面に作用しないため、湿潤養生効果が高められる。

### 4. 試験施工で実施した品質向上対策

前項までの事前検討内容から、表-2に示すひび割れ防止対策を実施し、対策実施項目が比較対照できるような施工箇所を設定して、表-3の施工方法組合せで試験施工を行った。ただし、使用コンクリートは打込み箇所が狭く、水セメント比や設計強度の関係から全量を高性能AEコンクリートで施工し、配合はプラントの持つ標準JIS配合で行ったため、設計強度が2段階アップした。

写真-4～8にひび割れ防止対策の実施状況を示す。

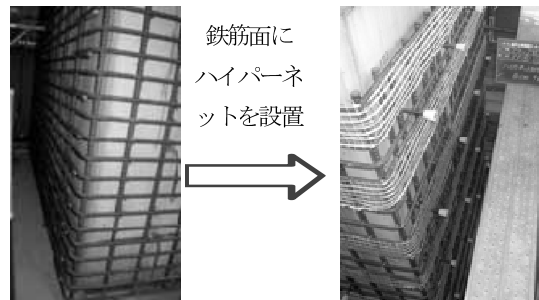


写真-4 補強鉄筋組立とハイパーネット設置状況

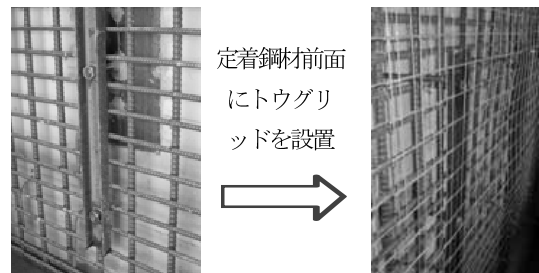


写真-5 貫通補強鉄筋定着部とトウグリッド設置状況

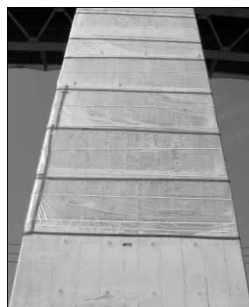


写真-6 フィルム被覆養生



写真-7 環境シート養生



写真-8 被膜養生剤塗布

表-2 ひび割れ防止対策工一覧表

目的	ひび割れ防止工	具体的方法	コスト等
材料	高性能 AE コンクリート (全量使用)	生コン工場実績標準 JIS 配合使用→30N 日本シーカ糊シーカメント 100 使用	材 1,000 円/m <sup>3</sup> 工 800 円/m <sup>3</sup>
	膨張コンクリート	プラント投入 電気化学工業糊パワーCSA-S 使用	材 2,800 円/m <sup>3</sup> 工 40,000 円/日
	引張補強材① ハイパーネット	鉄筋前面に 20cm 間隔で巻付け 太平洋セメント(株)ハイパーネット 60	材 790 円/m <sup>2</sup> 工 800 円/m <sup>2</sup>
	引張力補強材② トウグリッド	鉄筋前面にかぶり厚さ 50mm で設置 日鉄コンポジット(株)トウグリッド FTG-G4	材 3,000 円/m <sup>2</sup> 工 500 円/m <sup>2</sup>
養生方法	型枠残置	型枠残置, 工程の許容範囲内残置 最大 4 週間	-
	フィルム被覆養生	気泡緩衝材被覆養生 最大 4 週間	材 80 円/m <sup>2</sup> 工 160 円/m <sup>2</sup>
	被膜養生	型枠等被覆養生材撤去後直ち塗布 ライオン(株)レオソルブ 703B 使用	材 165 円/m <sup>2</sup> 工 80 円/m <sup>2</sup>
	環境シート養生	足場外周全面防音シート風養生と日照養生 → 環境変化の防止	溶接工, 鉄筋工に必要な 設備として標準設置
打設方法	打設ホースを差し込み で材料分離防止	φ 75mm×7m 軽量ゴム圧送ホース使用 トーヨータイヤ(株)ハイパークリート (3.0kg/m)	材 75,000 円/本

表-3 施工方法組合せ一覧表

分類 No.	材料				養生				備考
	高性能 A E コンクリート	膨張コンクリート	ハイパーネット	トウグリッド	型枠残置	フィルム被覆養生	被膜養生	環境シート養生	
施工 1-1	○	-	-	-	10 日以上	-	○	1 ヶ月以上	寒中施工※
施工 1-2	○	-	-	-	10 日以上	-	○	2 週間程度	寒中施工※
施工 1-3	○	-	-	-	10 日以上	-	○	1 ヶ月以上	通常期
施工 1-4	○	-	-	-	10 日以上	-	○	2 週間程度	通常期
施工 2-1	○	-	○	-	3 日以上	-	○	1 週間程度	寒中施工※
施工 2-2	○	-	○	-	3 日以上	-	○	1 週間程度	通常期
施工 3-1	○	-	-	-	7 日以上	打設後 4 週間	○	1 ヶ月以上	
施工 3-2	○	-	○	-	7 日以上	打設後 4 週間	○	1 ヶ月以上	
施工 4-1	○	○	-	-	14 日以上	-	○	1 ヶ月以上	
施工 4-2	○	○	○	-	14 日以上	-	○	1 ヶ月以上	
施工 5	○	-	-	○	14 日以上	-	○	1 ヶ月以上	貫通補強部
施工 6	○	○	-	○	14 日以上	-	○	1 ヶ月以上	貫通補強部

※ 寒中施工は 1 月から 3 月に施工して, 3 月中に初期養生が完了した施工箇所, 初期養生期間は保温養生を加えた。

## 5. 試験施工結果と各対策の効果検討

RC 巻立て補強工試験施工の各対策工を, 施工方法と品質について観察結果をまとめ効果の程度を評価した。

### 5.1 施工方法について

試験施工を通じて明らかになった施工方法や施工時の注意点を次に示す。

#### (1) コンクリート打設作業

- ① 施工能力は約 6m<sup>3</sup>/1 h (計画では 4.2m<sup>3</sup>/h)。
- ② 施工打ち継ぎ時間は平均 50 分(躯体 1 周の打設時間)。今回使用した高性能 AE コンクリートは約 110 分でスランプダウンして扱いにくくなった。
- ③ 打設箇所(鉄筋間隔 101×156mm)へのφ91mm コンクリート圧送ホースの挿入及び足場上の移動は人力 3 人で十分可能。(ホース重量 23kg/本)
- ④ 1 打設の最大コンクリート打ち込み高さは 6m としたが, 施工性, 品質とも問題無く, 4 リフトで打上げた。

#### (2) 型枠組立作業

- ① 型枠強度計算は ACI 式で行った。時間コンクリート

打設量と施工中のコンクリート硬化時間を考慮して液性化状態を 3m で計画したが, 十分安全であった。

- ② 型枠はメタルフォームを使用。保温マットと環境シート養生によって寒中凍害は発生しなかった。
- ③ 型枠組立用セパ固定 (2.3 本/m<sup>2</sup>) は手間の掛かる作業のため, セパ本数を減らす型枠組立方法がコストダウンにつながる。

#### (3) その他の作業

- ① トウグリッドは軽量なので, 狭い高橋脚内でも 1m×3m 製品を簡単に扱えた。固定は P コン根元にメッキ結束線で結束固定したが打設時の移動は無かった。
- ② フィルム被覆養生は気泡緩衝材を使用した, 寒中施工以外は梱包用ラッピングフィルムが適すると考える。H21 年 12 月から H22 年 4 月に施工した本四連絡橋門崎高架橋修繕工事では海浜部高橋脚の断面修復箇所ラッピングフィルム被覆 7 日間養生を 11 回実施したが, 密着性は高く, 風雨に対して飛散剥落は発生しなかった。

表-4 橋脚別巻立てコンクリートのひび割れ防止対策施工一覧表

橋脚番号 打設順序	P3				P4, P5				P6				P7				P8, P9				備考
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
対策工法と施工組合せ	施 工 6	施 工 4-1	施 工 4-1	施 工 4-2	施 工 1-1	施 工 1-1	施 工 1-2	施 工 2-1	施 工 5	施 工 1-3	施 工 1-4	施 工 2-2	施 工 5	施 工 3-1	施 工 3-1	施 工 3-2	施 工 1-1	施 工 1-1	施 工 1-2	施 工 2-1	
高性能 AE コンクリート	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
膨張コンクリート	○	○	○	○																	
型枠残置日数	32	15	21	13	11	11	10	4	24	15	10	6	24	15	10	6	11	11	10	4	※1
フィルム被覆養生日数													22	28	28						※1
環境シート養生日数	55	48	27	20	43	33	14	7	53	44	16	9	53	44	35	31	41	30	13	5	※1
被膜養生剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
ハイパーネット				○				○				○				○				○	
トウグリッド	○								○				○								

※1: 数字は日数

表-5 施工条件毎のひび割れ発生状況と進展具合

橋脚名称	P4, P5, P8, P9	P3	P6	P7
施工時期	1.寒中施工	2.春施工	3.春～夏施工	3.春～夏施工
経過日数 (H21.6.15)	環境シート養生 撤去後 80 日	環境シート養生 撤去後 25 日	環境シート養生 撤去後 3 日	環境シート養生撤去後 3 日 (打設 3・4 回はフィルム被覆)
普通部の ひび割れ 状態	環境シート養生解体後、 施工ジョイント部にまず発 生し、縦横に約70cm間 隔で0.1～0.15mmのひび割 れが発生し進展した。	施工後約70日で角部に2 ヶ所、0.08mm×40cmの 乾燥収縮ひび割れ発生。 水濡れで浮き出るひび割 れが6箇所発生。	ひび割れを確認出来な い。	ひび割れを確認出来な い。
貫通補強筋 定着鋼材部 のひび割れ	定着鋼材部付近鉛直方 向に0.2～0.3mmのひび割 れを脱型時に確認。	ひび割れを確認出来な い。	定着鋼材部付近鉛直方 向に0.1～0.15mmのひび 割れを脱型時に確認。	定着鋼材部付近鉛直方 向に0.1～0.15mmのひび 割れを脱型時に確認。
3ヶ月経過した平成21年9月20日のひび割れ状況				
経過日数 (H21.9.20)	環境シート養生 撤去後 175 日	環境シート養生 撤去後 120 日	環境シート養生 撤去後 100 日	フィルム被覆養生 撤去後 92 日
ひび割れ の状態等	縦横のひび割れ幅は0.1～ 0.15mmに進展なし。本 数、延長は若干増加して 70cm間隔位でほぼ全面に 発生し、発生率は約80%。 7月中旬よりほぼ変化して いない。	0.06mm 以下の水濡れで 浮き出る微細なひび割れ が、1.5m×2.5m位の不規 則な格子状角部から発 生。角部のひび割れはほ ぼ全面で発生したが、7月 中旬以降進展なし。定着 鋼材部のひび割れ無し。	環境シート撤去30日でP3 と同様な形状で微細なひ び割れが発生。不規則な 格子状で日照面側に多く 発生し、幅は0.06mm以下 で発生率は日照面側約 60%。北面は約30%でほ ぼ収束。	打設1～3に環境シート撤 去30日でP6と同形状の微 細なひび割れが発生。打 設4は角部に1m間隔位で 水平方向0.06mm×80cm 程度のひび割れが20本程 度発生。今後水平方向に 広がる可能性有り。

5.2 施工方法組合せ毎の施工品質確認

施工方法組合せ毎にひび割れ発生状況を完工後 5ヶ月時点でまとめた。施工は P4, P5, P8, P9 を先行して施工組合せ 1 及び 2 の対策工で行い、施工結果から対策工を追加して P3, P6, P7 を施工組合せ 3～6 で施工した。橋脚別の対策工を表-4、施工条件毎のひび割れ進展状況を表-5 にまとめた。ひび割れは最初に発見した打設後経過日数、進展状況を明記し、ひび割れ発生状況を以下に示す基準(「発生率」, 「幅」 および 「量」) で計量化した。

「発生率」は躯体表面積に対するひび割れ発生面積の割合とした。ひび割れ発生面積は格子状ひび割れと単独ひび割れとでそれぞれ次のように計算した。

格子状ひび割れはひび割れが発生している範囲を面積とし、格子間隔の大きさによりひび割れ度合いをランク付けした。本工事で発生したひび割れは、主に格子間隔 70cm 以下、1.0m および 1.5m の格子状

であったため、それぞれ 100%, 70%, 30%の補正係数を格子状ひび割れ発生範囲の面積に乗じた値をひび割れ発生面積とした。格子状以外の単独ひび割れについては、ひび割れ長さに換算幅 5cm を乗じた値をひび割れ発生面積とした。

「幅」は最大ひび割れ幅を、「量」はひび割れが最も多い箇所における 1m<sup>2</sup> 当たりの本数とした。

- (1) 施工 1-1(P4,P5,P8,P9 の打設 1,2), 1-2(同打設 3)
- ① 環境シート養生中は貫通補強鉄筋定着鋼材部以外にひび割れは発生していない。
  - ② 足場解体後の気中状態後もなく、乾燥収縮ひび割れが躯体角部で 70cm～100cm 間隔で発生。
  - ③ 気中状態約 10 日目以降から角部のひび割れが広がりプラスチックひび割れ形状になる。ひび割れは約 70cm 間隔くらいで不規則な格子状に徐々に進展し、幅は 0.06～0.15mm。格子状でひび割れ進展は止まり、打設後 150 日目まで新規ひび割れ

が生じたが、200日位で収束。

※発生率: 80%, 幅: 0.15mm, 量: 格子状で 2 本/m<sup>2</sup>

#### (2) 施工 1-3 (P6 の打設 2), 1-4 (P6 の打設 3)

- ① 環境シート養生中はひび割れが無い。
- ② 足場解体後気中状態 20 日経過して 0.06mm 以下の微細ひび割れを 3 箇所確認した。ひび割れは施工 1-1, 1-2 と同様に不規則な格子状だが、打設後の経過時間が同じ状況では発生数、幅とも減少。ひび割れは徐々に進展したが、0.1mm 以下の微細なひび割れが水濡れで浮き出る。

※発生率: 50%, 幅: 0.08mm, 量: 格子状で 1.3 本/m<sup>2</sup>

#### (3) 施工 2-1 (P4, P5, P8, P9 の打設 4)

- ① 足場解体後気中状態 20 日目(打設 27 日後)以降から徐々に不規則な格子状でひび割れが発生。
- ② ひび割れは 70cm 間隔くらいで不規則な格子状に進展し、幅は 0.06~0.10mm で進展は無い。

※発生率: 70%, 幅: 0.10mm, 量: 格子状で 1.6 本/m<sup>2</sup>

#### (4) 施工 2-2 (P6 の打設 4)

- ① 足場解体後気中状態で 20 日経過したが目に見えるひび割れは無い。
- ② 気中状態 100 日経過後の調査で不規則な格子状に 0.1mm 以下のひび割れが水濡れで浮き出る。

※発生率: 50%, 幅: 0.08mm, 量: 格子状で 1.3 本/m<sup>2</sup>

#### (5) 施工 3-1 (P7 の打設 2, 3)

- ① 環境シート養生中(打設 38 日)はひび割れが無い。
- ② 足場解体後気中状態で 20 日経過(打設後 76 日)し、微細なひび割れを 1 ヶ所確認 (0.06mm×0.5m)。
- ③ 気中状態 45 日経過後の調査で不規則な格子状に 0.1mm 以下のひび割れが水濡れで浮き出る。

※発生率: 40%, 幅: 0.08mm, 量: 格子状で 1.1 本/m<sup>2</sup>

#### (6) 施工 3-2 (P7 の打設 4)

- ① フィルム養生中(打設 34 日)はひび割れが無い。
- ② フィルム養生解体後気中状態で 92 日経過角部に 1m 間隔位で水平方向 0.06mm×80cm 程度のひび割れを 10 本程度確認

※発生率: 22%, 幅: 0.06mm, 量: 水平方向 0.3 本/m<sup>2</sup>

#### (7) 施工 4-1 (P3 の打設 2, 3), 4-2 (P3 の打設 4)

- ① 環境シート撤去後 40 日目でひび割れが無い。
- ② 足場解体後気中状態で 120 日経過(打設後約 4 ヶ月)し、角部から水平方向ひび割れを 10 数ヶ所確認。水濡れでわかる 0.06mm×3m 程度。

※発生率: 10%, 幅: 0.06mm, 量: 水平方向 0.2 本/m<sup>2</sup>

貫通補強鉄筋定着鋼材部は 3 ケースを比較する。

#### (8) 施工 1-1 (P4, P5, P8, P9 の打設 1)

- ① 貫通補強鉄筋定着鋼材部上の全個所にほぼ鉛直で 3m のひび割れが発生。型枠解体時に確認され、ひび割れ幅は 0.1mm~最大 0.3mm。

#### (9) 施工 5 (P6, 7 の打設 1)

- ① 貫通補強鉄筋定着鋼材部上に全箇所ひび割れが発生。型枠解体時に確認され、幅は 0.06mm~0.15mm で中央から上部に向かい最長 1.2m。

#### (10) 施工 6 (P3 の打設 1)

- ① 施工後 210 日経過し、ひび割れを確認できない。
- ② 気中状態で 70 日経過後、角部から水平方向にひ

び割れ 3 ヶ所発生。幅 0.06mm 以下でほぼ全周。

※発生率: 5%, 幅: 0.06mm, 量: 水平方向 0.1 本/m<sup>2</sup>

### 5.3 事前対策の評価

前項の施工品質確認結果から、事前対策工の効果を評価した。事前検討では気候の影響(温度、湿度等)をそれほど考えていなかったが、仕上がり状態を見ると同じ施工方法・手順でひび割れの発生状況に差異が認められたため、施工時期を評価項目に加えた。

試験施工にあたり、打設から 1 ヶ月間が乾燥収縮ひび割れの発生防止に重要と考えて事前対策を実施した。その結果、1 ヶ月の計画養生期間中はどの施工組み合わせでもひび割れはほとんど発生しなかった。ところが、完成した RC 巻立てコンクリートが気中状態に置かれ、風雨や日照を自然に受け始めると、写真-9 のような不規則な格子状のひび割れが発生してきた。

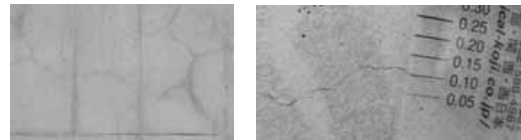


写真-9 P5に発生した不規則な格子状ひび割れ

ひび割れがまず角部で等間隔に発生した事や弱点となる施工ジョイント上のひび割れが多いことから、既設と定着する内面側拘束力が卓越して表面側の乾燥収縮ひずみに補強コンクリート強度が負けて発生していると考えられる。しかし、打設から 50 日~60 日経過後はどうしてこのような不規則な格子状に発生したのか解明できていない。今後、RC 巻立て補強施工方法の改善を進めながら早急に原因を明らかにして対策工を明らかにしたいと考えている。

次に各事前対策工の評価結果を示す

#### (1) ひび割れ発生を抑制できるコンクリート配合

- ① すべて高性能 AE コンクリートで施工したため普通コンクリートとの比較はしていない。しかし、RC 巻立て工の狭隘な部位を施工する場合、コンシステンシーとワーカビリティを両方満足する施工性が確保できた高性能 AE コンクリートは品質確保の重要な手段と評価し、急にスランプダウンするまでの約 110 分間は「丁寧な施工」に十分な時間だった。
- ② 膨張コンクリートは P3 で施工 4 と 6 に使用した。施工 4 と施工 3 を比較するとひび割れの発生率、量とも 1/4 に減少し、幅も 0.06mm 以下で 2/3 程度に縮小した。RC 巻立て工では膨張コンクリートがひび割れ発生の抑制、低減方法として効果を期待できる。
- ③ 施工 6 の膨張コンクリート+トウグリッドは施工 1-1, 施工 5 では発生した定着鋼材上のひび割れを抑えた。RC 巻立て部材内に断面欠損率が大きい鋼材を配置した箇所では有効な手段である。
- ④ 施工 4-1, 4-2 は施工 1-3, 1-4, 3-1 および 3-2 と比べひび割れ発生率、大きさとも約 1/2 に減少し、ひび割れが進展する前段で収束している。膨張コ

ンクリートでもひび割れを無くせないが、RC 巻立て補強工ではひび割れ抑制の有効な手段である。

## (2) ひび割れを抑制できる補強材の設置

- ① 施工 2-1, 2-2 で型枠残置や環境シート養生が 28 日の計画期間取れない箇所に、ハイパーネットを写真-4 の形状で配置したが、施工 1 と比べて発生率、発生量とも 20% 程度の差異で、ひび割れ抑制の効果は確認できない。一方、施工 3-2, 4-2 のようにフィルム養生や膨張コンクリートとの組合せではひび割れ発生率、量が 1/4 に減少し、0.06mm 以下の微細なひび割れだった。ハイパーネットは単独使用では効果が現れず、湿潤養生等との併用で効果を発揮する補助工法と評価する。
- ② トウグリッドも同様で、施工 6 (前項(1)-(3)) では有効な結果だったが、施工 5 ではひび割れは発生し、大きさが 1/3 程度に縮小できた。部材の弱点でひび割れが予想される部分に、膨張コンクリートとの併用で使用する補強材と評価する。

## (3) 打設直後からの湿潤養生方法

- ① 環境シート養生中は施工全般でひび割れが発生せず有効な養生方法と評価する。しかし、初期養生期間後、気中環境に移行してからほぼすべての施工組合せで微細なひび割れが発生した。施工 3 のフィルム被覆で 1 ヶ月以上湿潤養生継続では、ひび割れ発生率、量とも 30% 程度低減し、ひび割れ幅も 0.08mm 以下であったため、長期湿潤養生継続が重要なひび割れ防止手段と認識する。
- ② 被膜養生はすべての組合せで施工したが、気中環境移行後、ひび割れが発生していることから効果が小さかった。今回使用した被膜養生剤は表面含浸型で造膜量が小さい材料だった。現在、当作業所修繕工事で使用している表面造膜型養生剤「RIS フルコート」は、薄いフィルム状膜をコンクリート表面に 1 時間程度で形成する。造膜した状態は比較的堅固なオブラート状で、コンクリート内の水分散逸を防止しているため、長期湿潤養生にはより物理的被膜に近い表面造膜型養生剤がより効果を発揮すると予測する。

## (4) 施工時期について

- ① 寒中施工した施工 1-1, 1-2 と通常時施工の施工 1-3, 1-4 ではひび割れの発生率、量、大きさが約 40% 低減した。施工途中で寒中養生等を行って

る期間は問題ないが、気中環境移行後の気候条件で乾燥収縮程度が変化していると考えられる。RC 巻立て補強では、新規構造物より補強コンクリートへのストレス因子が多く、施工時期選定も重要で、できる限りコンクリート養生が容易な春・秋等の施工も有効な手段と考える。

## 6. まとめ

今回の RC 巻立て補強試験工事では「耐久性、美観に優れたコンクリート」の施工を目指して計画・検討→施工→事実の把握・対策検討→施工を短い期間だが繰り返した。追加対策と作業員の習熟から構造物の仕上がりは段階的に良くなり、最後に施工した P3 は、写真-10 のようにほとんどひび割れも無く完成している。



写真-10 P3の完成写真

今回の試験工事を通じて、コンクリート湿潤養生の重要性を再確認した。今までは 1 ヶ月を目処に湿潤養生を計画していたが、コンクリートの水和反応と乾燥化は 1 年程度継続するため、コストと工程を高いレベルで両立させて「RC 巻立て補強工事では躯体湿潤養生 1 ヶ月以上」を管理目標として施工に臨みたい。

**謝辞**：RC 巻立て補強試験工事のご指導を頂いた西日本旅客鉄道株式会社新幹線管理本部神戸土木技術センターの皆さま並びに計画から施工までたくさんの相談に応じて頂いた本・支社の皆さまと協力会社・メーカーの皆さまに深く感謝いたします。

### 【参考文献】

- 1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書施工編，pp.28-41, pp.109-129, pp.230-239, 2007.

**Summary** Piers of viaducts of the Sanyo-shinkansen railway line were seismically retrofitted by wrapping them with reinforced concrete linings on a trial basis. The objective of the trial construction was to acquire know-how for executing construction causing no quality problems and for constructing highly durable concrete structures pleasing to the eyes as efficiently as possible because seismic retrofit involved embedding numerous anchors in the existing framework and applying thin linings. Preliminary examinations were made for quality enhancement and corrective measures that were identified based on the results of preliminary examinations were applied during construction.

At a point one year from the completion of the trial work, construction methods were identified for reflecting the results of evaluation of preliminary measures in future seismic retrofit by applying reinforced concrete linings.

**Key Words** : Pier, Seismic Retrofit, Reinforced Concrete Lining, Prevention of Concrete Cracking, Penetration Reinforcing Rod