

## 緩傾斜の斜め鉄筋コンクリート部材の耐久性を考慮した施工方法の検討

中日本高速道路(株) 正会員	○ 野島 昭二
川田建設(株) 正会員	遠野 利之
川田建設(株)	水野 聡
(一社)日本建設機械施工協会施工技術総合研究所	博(工) 渡邊 晋也

Abstract : Asakegawa Bridge's substructures in Shin-Meishin expressway has slant reinforced concrete members. Placing Concrete in slant member is very difficult. Because angle of slant members are 25-30 degree gentle slopes, and arranged four layer D51 rebar in 1.5m thickness. Therefore we compared various methods of placing concrete using full-scale specimen. In addition, we evaluated durability by measuring air permeability at the surface of hardened concrete. AS a result, it was confirmed that to improve workability and durability, when installing form while ready-mixed concrete placing and compact.

Key words : Slant reinforced concrete member , Air permeability , Permeable form

## 1. はじめに

朝明川橋は、新名神高速道路の新四日市ジャンクションの西側に位置する橋梁である。二級河川朝明川と国道365号と交差し、河川内施設などの条件により、構造形式は図-1に示すように、側径間に比べ中央支間が非常に大きい鋼・PC混合3径間連続アーチ補剛箱桁を採用している。このため、P1橋脚側では斜めの鉄筋コンクリート部材（以下、「斜材」という。）を配置して、支点上の断面力を低減する構造としている。斜材の角度は、左側（P2側）斜材で約30度、右側（A1側）斜材で約25度である。さらに、部材厚さ1.5mの断面にD51鉄筋を4段配置する必要があり、コンクリートの施工難易度が非常に高いものとなっている。そこで、各種の施工手順に基づき実物大の試験体を作製する試験施工を実施することとし、施工性の比較、課題の抽出を行うこととした。さらに、硬化したコンクリートの表面透気係数を測定することにより、施工手順の違いによる耐久性の評価も併せて行った。その結果、コンクリートを打ち込みながら、打ちあがりに合わせて型枠を設置し、締固めを十分に行う手順が、施工性、耐久性ともに良好であることが判明した。さらに、斜材のコンクリート上面の表面気泡を抑制するためには透水型枠を使用することが有効であり、透水シートの種類によって表面気泡の生じる傾向が異なることを明らかにした。

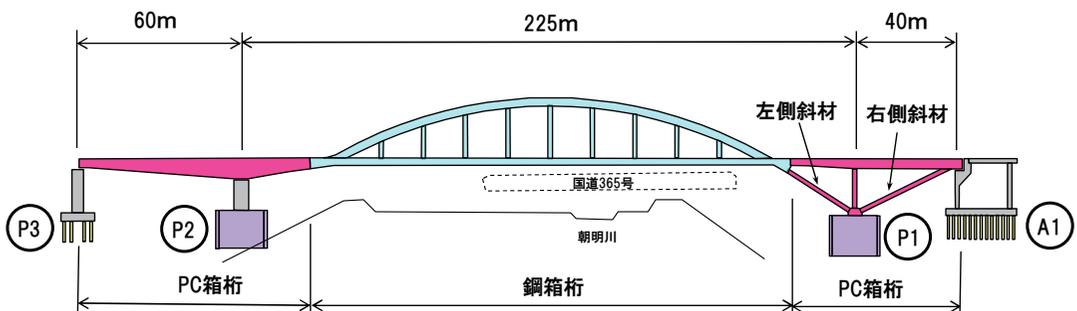


図-1 朝明川橋の橋梁一般図

## 2. 試験概要

### 2.1 試験体

試験施工に用いる試験体の形状は図-2に示すとおり、実構造物の傾斜を再現したものとしている。部材の厚さは約半分の800mmとし、主鉄筋D51を2段と配力鉄筋D22を配置した。透水型枠に使用する透水シートは大きく分けて不織布、または織物をベースとしたタイプがあるが、試験施工ではコンクリート表面の仕上がり面に織物跡が残らない不織布タイプを選定した。試験施工の結果を確認したのち、透水シートのタイプによる表面気泡の生じ方を比較するため、図-3に示す表面気泡確認試験体を作製し確認を行った。

### 2.2 コンクリート配合

コンクリートのスランプは、コンクリート標準示方書に準じて施工性を考慮した12cmとした。試験施工に用いたコンクリートの配合を表-1に示す。

### 2.3 施工手順

コンクリートの施工手順は上型枠の設置の有無を条件として、施工条件が不利となるよう、型枠を設置しない手順は30度、型枠を設置する手順は25度の試験体を用いることとした。試験施工で確認する手順の条件を表-2に示す。ケース1, 2は上型枠を設置せずにて仕上げで施工可能かを見極めるもので、だれ防止のためにケース1には鉄筋の上面に金網を設置している。ケース3, 4は上型枠を設置するが、施工開始時は型枠は設置せずにコンクリート打込みを開始し、コンクリートの打ちあがりに応

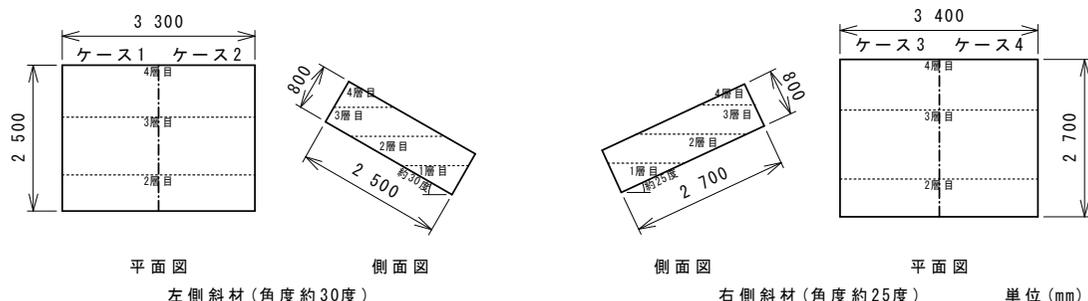


図-2 施工手順確認用の試験体

表-1 コンクリートの配合

呼び名		水セメント比	細骨材率		
40-12-20 N		42.6%	44.7%		
単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	
376	160	776	1 010	2.256	

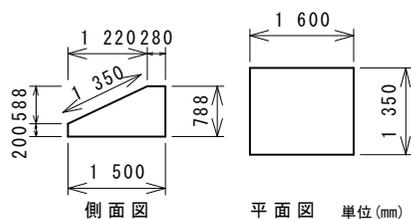


図-3 透水型枠比較用の試験体

表-2 施工手順の条件

手順種別	上型枠	金網	コン止めクシ	仕上げ	振動機		
					棒状	軽便	型枠
ケース1	—	設置	使用	こて仕上げ	使用	使用	—
ケース2	—	—	使用	こて仕上げ	使用	使用	—
ケース3	設置 (塗装合板)	—	—	上型枠撤去後 こて仕上げ	使用	使用	使用
ケース4	設置 (透水シート)	—	—	なし	使用	使用	使用

じて型枠を設置する手順とした。コンクリート打込み前に上型枠を設置すると、コンクリートの締固めが十分に行えないと判断したためである。ケース3はコンクリート打込み完了後、コンクリート表面の仕上げのタイミングを見計らって上型枠を撤去し、こて仕上げを行う。ケース4は上型枠を設置したまま、あと追いの加振として型枠バイブレータを使用し締固めを完了する。ケース3の上型枠は塗装合板とし、ケース4は透水シートを貼付した透水型枠を用いた。いずれのケースも、コンクリートの1層あたりの締固め厚さは500mmを目標とし、計4層で仕上げる計画とした。試験体の作製後は、耐久性の評価を行うため、7日間の湿潤養生を実施し、その後は屋外環境で暴露養生した。

## 2.4 耐久性の評価方法

各施工手順で作製する過程で施工性の評価は可能であるが、出来上がったコンクリートの性能を評価することは困難である。施工性に難があったとしても、よほど作業手順にミスがないかぎり、試験体の範囲内では機械的なコンクリート性能の差は生じない。そこで、施工性の評価に加えて、硬化した試験体のコンクリート表面の透気係数を測定し耐久性を評価することとした。透気係数の測定には、基礎研究の実績<sup>1)</sup>があるダブルチャンバ方式のTorrent法を用いた。透気係数の測定箇所では、静電容量式のコンクリート水分計を用いて、コンクリートの表面水分率の計測も行った。

## 3. 試験結果

### 3.1 施工性の確認結果

#### (1) ケース 1

傾斜面におけるコンクリートのダレ、および打ちあがりに伴う噴きあがりの防止のために金網を設置したが、金網がコンクリートの打込み、締固めに支障となり、写真-1に示すように施工性に劣った。また、ダレ、噴きあがりの防止にもあまり効果がなく、上層部の締固めはすでに締め固めた下層部の噴きあがりを気にしながらの施工となり、十分な締固めが困難な状況であった。こて仕上げも、傾斜面におけるダレのため、仕上げのタイミングが難しく、こて塗りを相当繰り返すことにより、表面はモルタル層が厚くなる傾向がうかがえた。傾斜面上のこて仕上げのため、出来形はある程度の不陸は容認せざるを得ない。



写真-1 金網部の打込み状況

#### (2) ケース 2

ケース1に比べ金網がないため、コンクリートの打込み、締固めの施工性は良い傾向であるが、コンクリートの打ちあがりに伴う状況はケース1と同様であった。すなわち、締固め、仕上げの施工性に課題が多い施工手順である。

#### (3) ケース 3

コンクリート打込み開始時は上型枠を設置していないため、当初の打込み、締固めの作業性に問題はない。写真-2に示すように傾斜部へのコンクリートの打ちあがりに伴い上型枠を設置するため、下層のコンクリートを十分に締固めながら上層部の打込み、締固めが可能である。最上部までの打込み、締固めを行ったのちに、コンクリートの仕上げのタイミングを見計らって上型枠を撤去

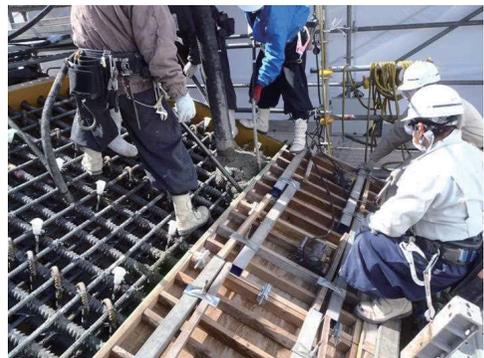


写真-2 上型枠の設置状況

するが、そのタイミングを見極めるのが困難である。すなわち、撤去が早すぎるとダレが生じ、上型枠を設置した効果が半減する一方、遅すぎるとコンクリートの硬化が進みすぎて仕上げが行えない。さらに、上型枠固定用の金具類が傾斜面上に設置していることから、仕上げの施工性が非常に悪い。試験施工では範囲を限定した施工であるため、こて仕上げのタイミングを十分に見極めることができるが、実構造物の施工面積を考慮すると、対応が困難なことが想定できる。

(4) ケース 4

コンクリートの打込み、締固めについてはケース3と同様に、良好な施工が期待できるものである。型枠パイプレータを併用することにより、傾斜面表面付近の締固めも促されているようで、透水型枠継目では、写真-3に示すようにブリーディングが排水されていた。傾斜部最上段は上型枠が設置できないため、写真-4に示すように開口部を最小化し、仕上げのタイミングを十分に見極めてこて仕上げすることで対応可能であることが確認できた。



写真-3 ブリーディングの排水状況

3.2 耐久性の確認

試験施工による試験体作製より材齢約4週と8週で耐久性の評価を実施した。ここで、ケース1と2では施工性が同等であったこと、出来形としてはケース2が優っていたことから、ケース1の評価は行わないこととした。コンクリート表面の状態をデジタルカメラで接写したものを図-4に示す。参考比較のため、塗装型枠を用いた試験体側面の状態も合わせて示す。ケース2の表面状態は不陸が大きく表面積も大きい状態と見てとれる。これに対して、ケース4は不陸が少なく側型枠面と同等とみなせる表面状態である。ケース3は、ケース2とケース4の中間程度の仕上がり状態である。そのほかの特徴として、ケース2はセパ穴がないのに対してケース3、4はセパ穴が表面に現れており、あと処理が必要である。



写真-4 最上段の開口部

	ケース 2	ケース 3	ケース 4	側型枠面
2 層目				
3 層目				
4 層目				

図-4 試験体のコンクリート表面の状態

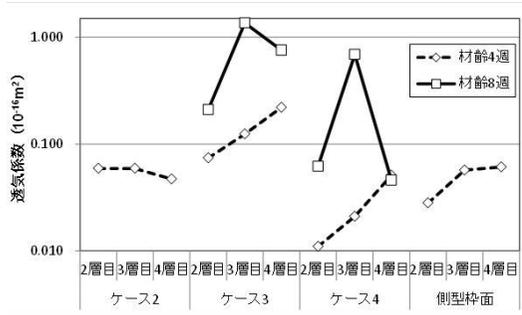


図-5 各試験体の透気係数

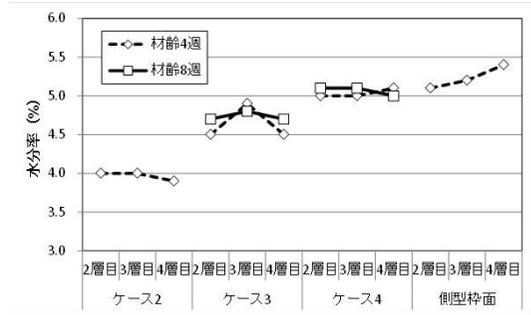


図-6 コンクリートの表面水分率

透気係数、および表面水分率の測定結果を図-5、図-6に示す。コンクリートの表面水分率は、おおむね4.0～5.5%の範囲であるため、透気係数測定に支障のない範囲である。ケース2については、試験施工の結果を踏まえ施工手順として選定する可能性が少ないことから、材齢4週のみ測定としている。測定結果より、透気係数は、ケース3>ケース2>ケース4となった。ケース4の材齢4週と8週は、側型枠面と同程度の値となっており、コンクリート表面としては十分な耐久性が確保できていると判断できる。ケース3、4とも材齢が4週より8週の方が透気係数が大きくなる傾向がある。試験施工の湿潤養生は危険側の評価とするため1週としたが、実施工では工程に影響がない範囲で湿潤養生期間を延ばすことにより、より密実なコンクリート表面が得られることとなり、材齢の経過に伴う透気係数の増大の抑制が見込まれる。

### 3.3 実構造物の施工手順の選定

試験施工で得られた施工性に関する情報、および耐久性の検証結果より、ケース4の施工手順を基本に実施工の計画を立案することが望ましいと判断する。試験施工はかざられた範囲の作業量のため、実際の作業量に換算した人員配置を計画することが必要である。

### 3.4 透水シートの選定

ケース4の試験体の透気係数を測定する際、測定値が極端に大きい値が得られる場合が若干認められた。測定箇所コンクリート表面を詳細に確認すると、写真-5に示すように、脱型時には確認できなかった表面気泡が内在していた。このため、透水シート比較試験体を作製し、不織布タイプと織物タイプの透水シートで表面気泡の発生に違いがあるか確認した。その結果、写真-6に示すよう

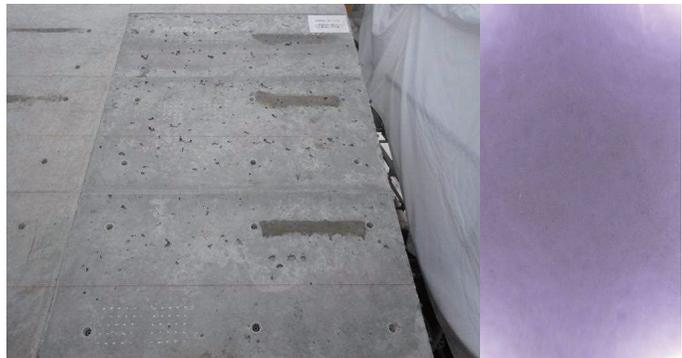


写真-5 不織布タイプの表面気泡の状況と透水シート



写真-6 織物タイプの表面状況と透水シート

に織物タイプの方が表面気泡の発生が少ないことが判明した。検討対象の斜材の傾斜角度では、不織布タイプより織物タイプの方が、コンクリート締固め中の空気の抜けが促されやすいと推察する。この結果をもとに、実構造物では、織物タイプの透水シートを用いた透水型枠を採用することとした。

#### 4. 実構造物での施工

試験施工の結果をもとに、実構造物の施工計画を立案し実施することとした。すなわち、コンクリート打込み開始時には上型枠は設置せず、コンクリートの打ちあがりに伴い型枠を設置する手順で施工を進めることとした。実施工では、斜材の部材厚さは試験施工の2倍程度あり、分割施工を行ったとしても1日あたりのコンクリートの打込み量は最大300m<sup>3</sup>を超えることから、2パーティで施工することを基本とした。上型枠は、速やかな設置が可能となるように、事前に仮設置を行い、セパ穴の位置を調整、確認したうえで、設置順序、場所を明示した。コンクリートの打込みは部材中心から左右の端部に向かって移動し、型枠1枚分の高さごとに打ちあげていくこととした。ここで、型枠1枚（横180cm×縦90cm）は水平方向に2分割して継目を設け、透水シートよりブリーディング、余剰空気が排出されやすいよう工夫を加えた。作業の内容として、ポンプ筒先保持、筒先締固め、後追い締固め、型枠組立て、かぶり部分締固め、型枠振動締固めなどがあるが、どの工種も作業が輻輳することから、工種ごとに専任の作業者を割りあてた。施工状況を写真-7に示す。



写真-7 斜材コンクリートの施工状況

コンクリート打込み後の養生は、湿潤養生期間を最低1週間確保したうえで、型枠脱型後は可能なかぎり保水テープを接着することにより、表面乾燥を防止する養生を実施した。

養生完了後は、透気係数を測定し、試験施工で確認した耐久性が再現できているか確認する予定である。

#### 5. 結論

緩傾斜の斜材の施工方法について、施工性のみならず耐久性も考慮したうえで検討を行った結果、コンクリートを打込みながら型枠を設置して、十分な締固めを行うことが最も効率的で効果的な施工方法であることを明らかにすることができた。その際、透水型枠を用いることで耐久性が向上し、良好な出来形を得ることが可能となる。さらに透水シートの選定も、施工条件を考慮して事前に確認することが重要である。施工は、一般的な人員配置では対応できないものの、事前に十分な準備を行い、施工手順を作業に携わる全員で熟知することにより、耐久性の高いRC構造物を建造することが可能となった。

今後、施工した斜材の詳細調査を実施し、完成した構造物の耐久性の評価を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 野島昭二・渡邊晋也・藤原貴史・谷倉泉：透気係数を用いたコンクリートの品質評価と測定条件に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.2134-2139，2014.7