

# 国立京都国際会館展示施設の新築工事における「墨入れコンクリート」の施工管理について

○赤池 亨<sup>1</sup>・岩村 正一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 京都営繕事務所 (〒606-8395京都府京都市左京区丸太町川端入ル東丸太町34-12)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 営繕部 整備課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

国立京都国際会館展示施設の新築工事において、既存建物との調和を図るため意匠設計上の要求として「墨入れコンクリート」の施工が計画された。「墨入れコンクリート」とするには、調合計画、スランプ値の管理、打設計画に至るまで、通常の施工計画とは異なる検討が必要となった。近畿地方整備局営繕部においては「墨入れコンクリート」の打設は初めてであり、その施工管理手法については手探り状態で進めた。様々な検討と試験を繰り返した結果、良好な表面仕上げの墨入れコンクリートを打設する事ができたので、その結果について報告する。

キーワード コンクリート、新手法、施工管理

## 1. はじめに

国立京都国際会館は1966年に整備された我が国最初の国立国際会議場である。当館本館はコンクリート打ち放し仕上げの外観であり、一部に「墨」を添加したプレキャストコンクリートを使用している。本館建築後既に50年が経過し、展示スペースの確保が不十分となったことなどの理由により、敷地内に展示施設を増築する運びとなった。そこで、今回増築する展示施設外観に本館外観と調和するよう「墨入れコンクリート打ち放し仕上げ」を採用した。この仕上げはJISを外れた規格であり、また近畿地方整備局営繕部では現場打設の施工実績がないため、採用に当たり施工段階での検証が必要となった。

今回、良好な表面仕上げの「墨入れコンクリート」を打設することを目指し、そのために適切な調合計画および適切な施工計画についての検証を行ったので、その結果について報告する。



写真-1 国立京都国際会館本館全景

## 2. 施設概要および墨入れコンクリートの採用

当館本館は「周辺の山並みの美しさに調和させる自然に溶け込むデザイン」、「当時の現代的社会的機能への対応」、「自然および歴史的建築的風土との照応」をデザインコンセプトに建設された建物である。

当施設は京都市景観条例の対象地区に立地している。今回、展示施設を増築にあたり景観に配慮した建物となるように市と協議を行い、「既存施設との調和と革新」を展示施設のデザインコンセプトとした。展示施設の工事概要を次に示す。

工事場所：京都市左京区岩倉大鷲町422

敷地面積：154,246㎡

構造規模：展示場、鉄骨鉄筋コンクリート造

(一部鉄骨造) 地上2階、延べ床面積 4,527㎡

工期：平成28年3月～平成30年6月



図-1 今回建設の展示施設全景パース

「調和」の具体的な手法としては、既存施設の基壇部分と高さを統一することや、既設本館に合わせた墨入れコンクリート仕上げを採用することとした。

特に、既設本館には「墨を添加したプレキャストコンクリート」を一部使用しており、展示施設の外壁にも一部に「墨入れコンクリート仕上げ」を採用した。

今回はコンクリートに黒色の「顔料」を添加することで「墨入れコンクリート」とし、薄い黒色となるようにした。顔料の主成分は無機顔料の酸化鉄を使用した。

設計段階にて、無機顔料を添加してもコンクリート性能に影響が無いことを示す技術資料を建築主事へ提出し、了解を得ていた。この際の顔料添加量は概ねセメント重量比 4% 程度とした。

力をコンクリートで負担する構造である。補正値を追加した強度（以下呼び強度）が 30 N/mm<sup>2</sup> 以上となるかを確認する。

1回目の試験練りの結果、強度は十分満足した。しかし、スランプ値は顔料添加前の 19.5cm に対して、顔料添加後は13cm となり、かなりのスランプロスが生じた。スランプロスとは、例えば生コンの存置時間、気温、配合など何らかの原因により流動性能が著しく落ちた状態のことである。

スランプロスを軽減させるため、調合計画を再検討する事になった。（表-1 参照）

表-1 試験練り 1回目の結果

《 2017年1月27日 試験練り結果 》					
※30-18-20N 呼び強度30N/mm <sup>2</sup> スランプ値18cm 粗骨材最大20mmを示す。					
No.	配合	混和剤	顔料	スランプ (cm)	備考
1	30-18-20N	T社 高性能A E 減水剤 収縮低減型	—	19.5	ベース コンクリート
2	30-18-20N	T社 高性能A E 減水剤 収縮低減型	4%	13.0	顔料 No. 4330 (粉末)

### 3. 調合計画における検証

現場施工段階では、顔料を添加しても施工性に問題が無いことを実際に確認する必要があった。

まず、「コンクリート打設前の調合計画」について検証を行った。

#### 3-1. 当初設計時の調合計画による試験練り

当初設計図書に明示された調合計画の一部を次に示す。

- ・顔料添加前のコンクリート：JIS規格品とする
- ・材料：普通ポルトランドセメント
- ・設計基準強度：24 N/mm<sup>2</sup>
- ・スランプ値：18cm（スランプの許容差±2.5cm）
- ・顔料：重量比 4%程度含有

顔料の主原料は酸化鉄とし、メーカー既製品から黒色 No. 4330（粉末状のもの）を選定した。

なお、固まる前の生コンクリートの流動性を増して施工性を高めるため、次の混和剤を使う予定とした。

- ・混和剤 T社 高性能AE減水剤 収縮低減タイプ

【2017年 1月27日】（試験練り 1回目）

まずは、設計図書通りの配合計画で問題が無いか、施工現場へ持ち込んで良いかどうかを確認するために、事前に工場にて1回目の試験練りを行った。

一つ目のポイントはコンクリートがほどよく打設が出来るかどうかの施工性の確認である。ここではスランプ値が大きく関係する。スランプ値が大きいと流動性の高いコンクリートとなるが、値が大きすぎるとゆる過ぎるコンクリートとなり、セメントと骨材が打設時に分離するなど、均質なコンクリートにならない事もある。そのため建築工事としてはスランプ値の標準を概ね 18cm 程度としている。

もう一つのポイントは固まった後の圧縮強度の確認である。鉄筋コンクリートは引張力を鉄筋で持たせ、圧縮

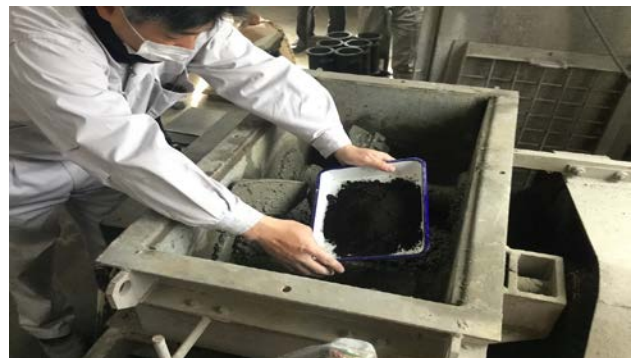


写真-2 JIS規格品の調合コンクリートに顔料を添加

#### 3-2. スランプロスの原因追及

顔料を添加した事によりスランプロスが発生したのは明確であったため、顔料メーカーへ過去の事例について問合せしたが、今回の様にかかなりのスランプロスが生じた事例はなかったと回答があった。その為、現場主体で試験練りを繰り返し行うことで、スランプロスの原因の追及を行った。

【2017年 2月 2日】（試験練り 2 回目）

2回目の試験練りでは、顔料添加前のコンクリート（以下ベースコンクリート）のスランプ値を大きくして、顔料添加後のスランプ値が規定値内に収まるかどうかの

検証を行った。

1回目の試験結果を考慮し、JIS規格は外れることになるが顔料添加前のスランプ値を22.5cm にして検証した。結果は顔料添加後のスランプは18cm となり、スランプロスが発生したがちょうど良いスランプ値となった。

【2017年 4月 4日】（試験練り 3 回目）

2 回目の試験結果を踏まえ、より細かい調査による検証を行った。顔料添加前の時点でJIS規格は外れることになるが、

- ・細骨材率を 2%下げて粗骨材の割合を変えたもの
- ・水量を重量比で 5kg増やしたもの

をそれぞれ調合したものを比較した。

その結果、細骨材率や水量がスランプロスに関係する事が分かった。

一般的に関西地区の骨材事情は良くないとされている。それは、きめの細かい丸みを帯びた流動性の高い「山砂」が手に入れにくく、山の岩を細かく砕いた「砕砂」を利用しているからである。当然砕砂は山砂に比べて尖った部分が多く、流動性を増すために水を多く必要とする。コンクリート量と水量の比率では水量が多くなり、乾燥収縮によりひび割れの発生原因にもなり、品質上は好ましくないため、一般的なコンクリートには各種混和剤を添加して調合補正を行い品質を確保している。(図-2 参照)

一方で、京都地区は良質な山砂が確保できるため、その分水量を減らした調合計画が可能となるが、今回はそのことが災いする皮肉な結果となった事が分かった。(図-3 参照)骨材事情の悪い関西地区で、顔料添加後にスランプロスの発生がみられなかった理由が想定出来た。

### 3-3. 調合計画変更による改善策の検討

前述のとおり、スランプロスは細骨材と水量に関係することが分かった。しかしながら、顔料添加前のコンクリートをJIS規格の認定品とする際には、どのメーカーのどの種類の混和剤とするか、どこの産地の骨材を利用するかを決められている為、容易に材料を変更することが出来ない。そのため、今回使用する細骨材を京都地区以外のものに変更することは出来なかった。

【2017年 5月24日】（試験練り 4 回目）

今回は、3回目までの試験結果を踏まえ、施工業者からの提案を基に次のように変更し試験練りを行った。

・顔料添加後のスランプロスが確実に起こることが分かったため、設計と協議し、ベースコンクリートのスランプ値を18cmから21cmに変更した。スランプ値の変更が構造的に問題無い事は確認している。

- ・顔料添加率は 3%, 4 %の 2種類を比較した。

なお、コンクリートの練り混ぜ後の時間経過によるスランプ値の確認も同時に行った。(表-2 参照)

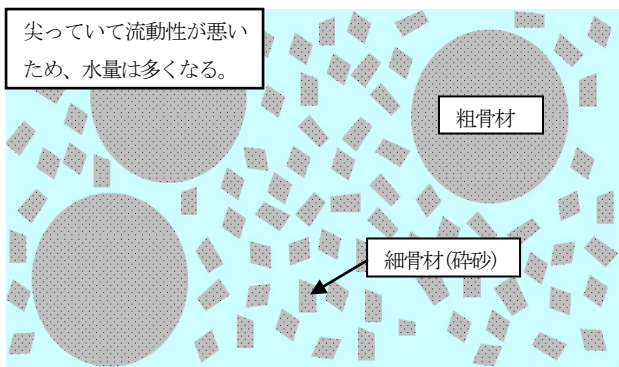


図-2 細骨材を砕砂とした場合のイメージ

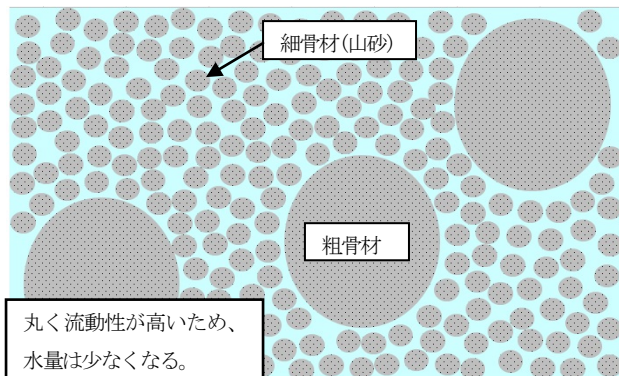


図-3 細骨材を山砂とした場合のイメージ

表-2 試験練り 4 回目の結果

《 2017年5月24日 試験練り結果 》					
No.	配合	混和剤	顔料	スランプ (cm)	備考
1	30-21-20N	T社 高性能A E 減水剤 収縮低減型	—	20.5	ベースコンクリート
				↓	
			3%	14.0	顔料 No. 4330 (粉末)
		スランプロス発生	3%	15.0	5分経過後
			3%	12.5	練混ぜ時間60秒増
3	30-21-20N	T社 高性能A E 減水剤 収縮低減型	—	20.5	ベースコンクリート
				↓	
			4%	14.0	顔料 No. 4330 (粉末)
		スランプロス発生	4%	12.5	5分経過後
			4%	12.5	練混ぜ時間60秒増

その結果、ベースコンクリートのスランプ値を変更し、顔料の配合を変えても、想定通り施工性の確保が十分出来る値にはならない事が分かった。

【2017年 6月 9日】（試験練り5回目）

今までの試験練りではJIS規格のコンクリートを調査した後に顔料を添加していたが、今回は混和剤を配合する前に顔料を添加し、スランプロスとなるかの検証を行った。その結果、顔料添加後にスランプロスが発生した。また、経時が経過するにつれ、更にスランプロスが進むことが分かった。

【2017年 6月16日】（試験練り6回目）

今回は、次の様に条件を設定して、JIS規格調合と「混和剤」の相性の検証を行った。

- ・実際には京都地区では使用できないが大阪地区で使用可能な混和剤を使用して比較をした。
- ・顔料を粉末タイプと顆粒タイプを用いて比較した。顆粒タイプとは粉末タイプをのりの様なもので少しだけ固めて、つぶつぶ状にしたものである。
- ・顔料添加率を 2 %にして比較した。

なお、ベースコンクリートのスランプ値は 21cm を基本とした。

顔料添加率、顔料タイプ、混和剤を変更した結果、スランプロスは改善されて、良好な結果を得ることが出来た。（表-3参照）

### 3-4. 調査計画の決定

【2017年 6月23日】（試験練り 7回目）

前回の大阪地区で使用可能な混和剤の良好な結果を踏まえて、今回は、京都地区において実現可能な配合計画の検証を行った。コンクリート工場や工事受注者の本社研究担当とも協議した結果、次の条件にて検証を行った。

- ・実際に京都地区で使用可能な混和剤の中から、別メーカーの「遅延型」の混和剤を使用した。なお、遅延型にはコンクリートの硬化を遅らせる効果がある。
- ・顔料添加率は 3%, 4%で比較した。
- ・顔料を粉末タイプと顆粒タイプで比較した。

検証の結果、次の配合がスランプロスが少なく、時間経過による変化も少ない良質で安定した材料となることが分かった。（表-4 参照）

- ・混和剤は別メーカーの「遅延型」とする。
- ・顔料は「顆粒タイプ」とする。
- ・顔料添加率は「3 %」とする。

混和剤は当初「T社 高性能 AE 減水剤 収縮低減タイプ」を使用する予定であった。しかし、様々な検証を行い、京都地区特有の骨材事情を把握した結果、コンクリートのひび割れ防止抑制効果のある「収縮低減型」よりも、顔料添加後のスランプロスを減らせるであろうと思われる「遅延型」を使用の方が良好な結果になることが分かった。

表-3 試験練り 6 回目の結果

《 2017年6月16日 試験練り結果 》					
No.	配合	混和剤	顔料	スランプ (cm)	備考
1	30-21-20N ( JI S外)	M社 高性能AE 減水剤 (大阪地区採用)	-	21.0	ベースコンクリート
		混和剤を大阪地区のものに変更	4%	19.5	顔料 No. 4330 (粉末)
			4%	18.0	30分後
			4%	13.5	60分後
4	30-21-20N	T社 高性能AE 減水剤 収縮低減型	-	22.0	ベースコンクリート
		顔料を顆粒に変更	4%	20.0	顔料 No. 355 GP (顆粒)
			4%	17.0	30分後
			4%	13.5	60分後 テストピース採取
3	30-21-20N	T社 高性能AE 減水剤 収縮低減型	-	22.0	ベースコンクリート
		含量を2%に変更	2%	21.5	顔料 No. 4330 (粉末)
			2%	20.5	30分後
			2%	17.0	60分後 サンプル作成

表-4 試験練り 7 回目の結果

《 2017年6月23日 試験練り結果 》					
No.	配合	混和剤	顔料	スランプ (cm)	備考
1	30-21-20N ( JI S適合)	M社 高性能AE 減水剤 (遅延型)	-	20.0	ベースコンクリート
		混和剤を遅延型に変更	4%	20.0	顔料 No. 4330 (粉末)
			4%	18.0	30分経過後
			4%	16.0	60分経過後
2	30-21-20N ( JI S適合)	M社 高性能AE 減水剤 (遅延型)	3%	21.0	顔料 No. 4330 (粉末)
		顔料を3%に変更	3%	19.0	30分経過後
			3%	18.5	60分経過後
			3	30-21-20N ( JI S適合)	M社 高性能AE 減水剤 (遅延型)
顔料を顆粒に変更	3%	21.0			30分経過後
	3%	19.0			60分経過後

【2017年 7月 6日 (試験練り 8 回目 最終確認)

7回目の試験練りで良好な結果が出たが、1回の結果で進めることはせず、外気温や湿度が違う状況でも同様の結果が出るかの検証を行った。

その結果は良好であった。前回同様に顔料添加率は4%よりも3%の方が施工性が良質であった。

顔料添加率を3%まで減らすと「墨入れコンクリート」の仕上がりの色が薄くなるのが懸念された。しかし、その色味を設計担当に確認したところ、イメージした色とはさほど変わらないと確認できたため、添加率を3%に変更する事の実現性が得ることが出来た。

以上により、約5ヶ月間にわたる検証の結果、調査計画が決定した。

#### 4. 施工計画における検証

次に、「コンクリート打設時の施工計画」について検証を行った。

##### 4-1. 施工計画時の課題

施工性の良い材料を使用してもコンクリート打設時に慎重に施工を行わない限り、型枠を脱型した後、良好な表面仕上げのコンクリート打放しとする事は出来ない。例えば、コールドジョイントによる色むらやジャンカと呼ばれる打設不良箇所などが生じてしまうことがある。(写真-3 参照) そのため、打設時点での施工手順を慎重に検討する必要があった。

コンクリート打設時はバイブレーターで振動を与えたり、木づちをたたきながら施工する必要があるが、どの程度の間隔や時間で行えば一番良い打設が出来るかを検証する必要がある。バイブレーターは現代のコンクリート打設になくはならない道具であるが、長い時間かけ過ぎたり、施工の間隔をとらずに使うと、コンクリートに過剰な振動がかかり、セメントと水、骨材などを分離させてしまう危険性があり、品質を低下させる原因にもなり得る。



写真-3 ジャンカの不具合例

##### 4-2. モックアップを作成しての試験施工

コンクリートは一度打設をすればやり直しが出来ないため、慎重に施工を行う必要がある。そのため、モックアップを作り試験施工による検証を行った。

試験用の型枠を組んで、バイブレーターをかける時間を10秒、20秒、30秒、40秒の4パターンで行い、型枠脱型後にどのような仕上がりになるかを確認した。(図-4 参照)

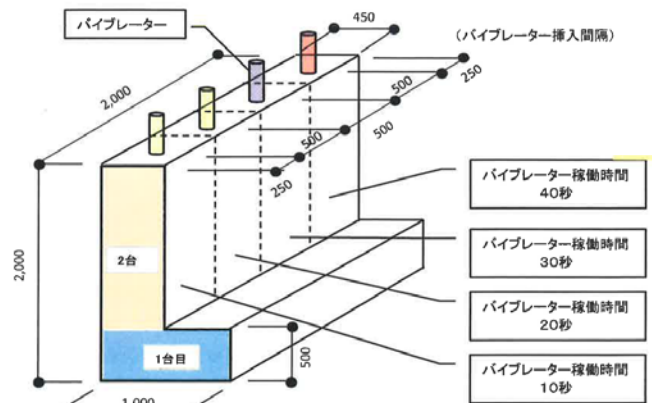


図-4 モックアップによる試験施工

その結果、バイブレーターをかける時間の違いによる仕上がりの変化は見られなかった。(写真-4 参照) 混和剤を「遅延形」にしたため、コンクリートが固まりにくくなったことが影響したと推測される。

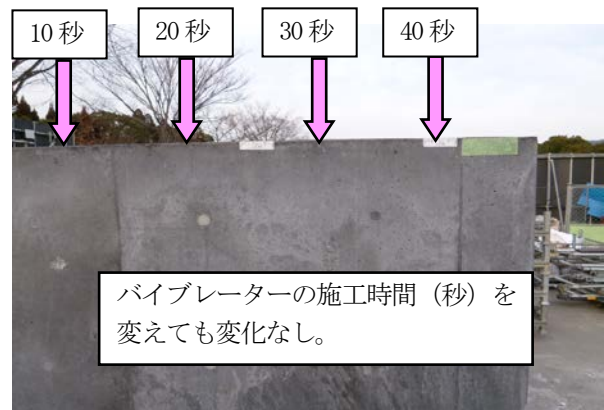


写真-4 モックアップの墨入れコンクリート

##### 4-3. 新たなる課題

しかし、モックアップにおける試験施工時に新たなる課題が発生した。通常のコンクリートは1時間もしないうちに段々硬化していくが、混和剤に「遅延型」を使った今回のコンクリートはなかなか硬化しない傾向であった。このため、試験施工した型枠の下部からコンクリートが抜け落ちてしまい、通常の施工工程区分で施工する事は難しい事が分かった。(図-5 参照)

「遅延型」の混和剤により流動性がよくなりジャンカ等の出来にくいコンクリートとなった反面、数時間しても固まらないコンクリートを施工する事となった。

この調合計画で良好な表面上げの墨入れコンクリートとするための最善の施工計画の検討を行った。

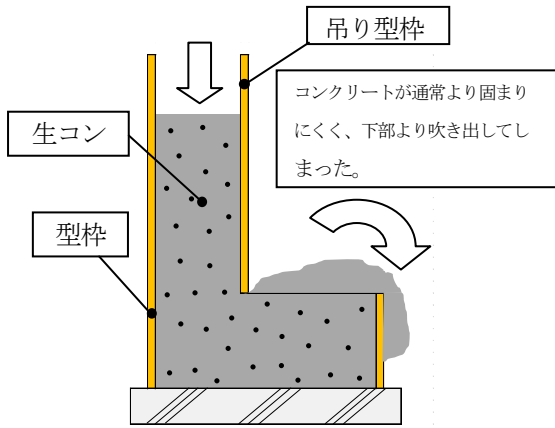


図-5 試験施工時の打設状況

リートが上がった状態でタタキをしっかりと行った。  
 ・ブリーディング水の影響が色ムラの原因となるため、ブリーディング水が出始める前の打設後約60分を目安に打ち重ねを行った。

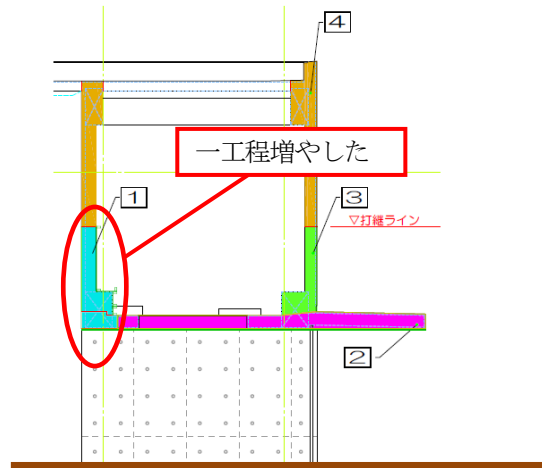


図-7 検討後の打設順序 (断面図)

#### 4.4. コンクリート打設工程の一部変更

モックアップの試験施工の結果を踏まえ、型枠下部からコンクリートの吹き出しが起らないように、当初想定していた打設順序の変更を検討した。(図-6 参照)

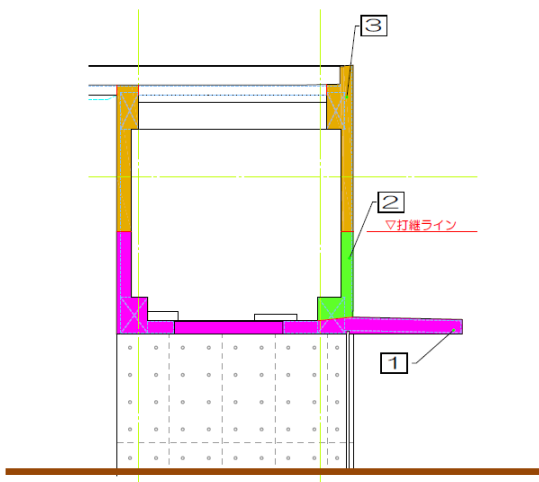


図-6 当初想定した打設順序 (断面図)

検討の結果、打設手順を細分化して一工程増やす事で吹き出し防止対策を行った。(図-7 参照)

これらの試験施工の状況を鑑みて、打設計画について、次の基本方針を立て本施工に取りかかった。

- ・試験施工時に塗装型枠に水湿をしたところ、表面が白濁したので、打設当日の型枠への水湿を控えた。
- ・固まりにくいコンクリートのため、振動系パイプレーターの使用に頼りすぎず、竹棒なども併用した。
- ・打設時には、足元だけでなく型枠天端近くまでコンク

#### 5. まとめ

これまでの検証をもとに施工を試みた結果、コンクリート強度は基準値を満たした上で、薄い黒色で良好な表面仕上げの墨入れコンクリートを打設する事が出来た。(写真-5)

今回、「墨入れコンクリート打ち放し仕上げ」に関して、調合計画および施工計画について検証を重ねることができ、その中で新たに品質管理の重要性に気づくことが出来た。それと共に、今後の「通常のコンクリート打ち放し仕上げ」の施工管理においても今回の検証が参考になるであろうと考えている。



写真-5 墨入れコンクリート仕上がり状況

当該建物の設計、施工  
 設計：日建設計 施工：(株)大林組(図・写真等提供)  
 (国立京都国際会館展示施設建築工事)