

コンクリート表面の美観確保に関する諸技術

片 野 啓三郎 川 西 貴 士
近 松 竜 一

Technical Skills for Acquisition of Aesthetic Concrete Surfaces

Keisaburo Katano Takashi Kawanishi
Ryuichi Chikamatsu

Abstract

“Sand streaking”, “air surface voids”, and “layer lines” are some defects that impair the appearance of concrete surfaces. The factors that cause these defects and the effects of reduction methods were examined experimentally in this study. Based upon the results, the following conclusions were drawn. (1) Concrete with a little bleeding effectively prevents sand streaking, which occurs on a vertical plane and at the joints of forms to close gaps in the forms. (2) Air surface voids can be effectively reduced by using spading tools or water-leaking forms. (3) Layer lines can be prevented by shortening the time interval of placing, disturbing concrete between layers at form side, and placing concrete carefully to be even so that mortar will not adhere to a form.

概 要

コンクリート構造物の美観を損なう不具合事象として、「砂すじ」、「あばた」および「打重ね線」を挙げ、これらの発生に及ぼす影響要因と、その低減対策の効果について実験的に検証した。その結果、(1) 砂すじを防止するにはブリーディングを少なくし、型枠の継目の隙間を生じさせないことが効果的であること (2) あばたの低減には、スパーディング処理や透水型枠の使用が効果的であること (3) 打重ね線を防止するには、打重ね時間間隔を短くし、層間のコンクリートを型枠際まで一体化させる必要があること、また、型枠際に打ち込む際は、打込み面が平らになるように配分し、型枠にモルタルができるだけ付着しないよう配慮する必要があることを確認した。

1. はじめに

コンクリートの表面の出来ばえは、構造性能を損なう可能性は低いものの、コンクリート構造物の美観に影響を与える。特に、打放しコンクリートやコンクリート二次製品などでは、供用後に多くの人に見られ構造物の評価につながるため、美観は品質の一つと考えられる。

美観を損なう不具合事象として、砂すじ、あばた、打重ね線などが挙げられる。これらの事象は、いずれもコンクリートの表面あるいは表層部に発生し、その発生要因としてはコンクリートの品質や施工方法に関わるものなど多岐にわたる^{1)・2)}。これらの不具合は、重大な場合、長期的には構造物の機能や性能に影響を及ぼす場合もある。したがって、これらの不具合の発生を防止することで、美観を保つとともに表層部のコンクリートを緻密にし、かぶりの耐久性を高めることができる。

大林組では、出来ばえの良いコンクリートを構築するために、これらの不具合事象に関する具体的な検討を進めている。本報では、「砂すじ」、「あばた」および「打重ね線」について、これらの発生要因とその対応策の効果について実験的に検討した。

2. 砂すじの発生と防止に関する実験

2.1 砂すじの種類と発生要因

砂すじは、自由水やセメントペースト、モルタルなどが外部へ流れ出し、コンクリート表面に細骨材が縞状に露出したものである。

砂すじには、コンクリートが接するせき板などの表面において鉛直方向に発生する場合(Photo 1(a))と、鉛直面に限らず、型枠などの継目に沿って発生する場合(Photo 1(b))があり、両方で発生メカニズムが異なる。

せき板などの鉛直面に発生する場合には、打重ね時に下層のコンクリートに溜まったブリーディング水が、上層のコンクリートを締め固める際に、型枠に沿って水みちを形成しながら上昇し、コンクリートの表面を洗い流すことで発生するといわれている³⁾。したがって、鉛直面に発生する砂すじは、型枠面を浮上するブリーディングが主要因として考えられる。一方、型枠の継目部に発生する場合は、型枠の継目からブリーディング水、セメントペーストあるいはモルタルが流出することが主な原因であり、継目の隙間の大きさが重要な要因になると考えられる。そこで、これらのブリーディングおよび型枠の継目の隙間に着目した実験を行った。

2.2 鉛直面に発生する砂すじに関する実験

ブリーディングが砂すじの発生に及ぼす影響を確認するために、幅600mm×高さ600mm×厚さ200mmの壁モデル試験体を使用した。この型枠の中にコンクリートを2層に分割して打ち込み、下層のコンクリート上に溜まったブリーディング水の上昇が砂すじの発生に及ぼす影響を実験的に検討した。

実験には、水セメント比および単位水量を変化させることでブリーディング量を変えた3種類のコンクリートを使用した。実験に用いたコンクリートの配合および品質をTable 1に示す。ブリーディング水が型枠の表面に沿って上昇する状況を確認するために、下層のコンクリートはあらかじめ顔料を混ぜて着色しておいた。下層のコンクリートを締め固めた後、30分間静置し、ブリーディング水が下層のコンクリートの天端に溜まった状態で、上層のコンクリートを打ち込み、締め固めた。上層、下層のコンクリートとも型枠中央部にφ30mmの内部振動機を挿入し、10秒間振動を加えて、締め固めた。

脱型後のコンクリートの表面の状況をPhoto 2に示す。Photo 1に示すような顕著な砂すじは生じなかったものの、着色された下層のコンクリートのブリーディング水が、型枠面に沿って上昇している様子を確認した。また、ブリーディング量が多い配合ほど、ブリーディング水の上昇の程度も増加することを確認した。

2.3 型枠の継目部に発生する砂すじに関する実験

型枠の継目部に生じる砂すじは、継目の隙間の大きさが支配的な要因であると考えられる。型枠の隙間から流出するブリーディング水やモルタルの影響を確認するために、ブリーディング量および型枠の隙間の大きさを変えて実験を行った。実験には、Table 1に示す配合1および2のコンクリートを使用した。型枠の継目の隙間は、0mm、1mm、および2mmの3種類で実験を行った。前節の実験と同様に、幅600mm×高さ600mm×厚さ200mmの壁モデル試験体を用いた。コンクリートは2層に分けて打ち込み、各層とも、φ30mmの内部振動機を用いて10秒間締め固めた。型枠の継目の隙間からモルタルが流れ出し

た場合、モルタルを採取してその質量を測定した。

実験ケースおよび各ケースの脱型後の状況をPhoto 3に示す。また、各ケースにおける型枠の隙間からのモルタルの流出量の比較をFig. 1に、モルタルの流出量と砂すじ面積の関係をFig. 2に示す。

Photo 3およびFig. 1より、隙間がないケースについては、砂すじの発生は認められなかった。一方、型枠の継目の隙間が大きい場合ほど、モルタルの流出量も増大し、広範囲にわたって砂すじが生じることを確認した。

Fig. 2より、モルタルの流出量の増加に伴い、砂すじの面積率が増加する傾向が確認されたが、ブリーディング量については、顕著な差異は認められなかった。したがって、型枠の継目に発生する砂すじは、型枠の隙間の大きさが支配的な要因となることを確認した。

Table 1 コンクリートの配合および品質
Mix Proportion and Properties of Concrete

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				品質試験結果			
			W	C	S	G	スラン プ (cm)	空気 量 (%)	ブリー ディン グ量 (cm ³ /cm ²)	ブリー ディン グ率 (%)
1	60.0	41.0	180	300	725	1063	17.5	4.9	0.28	6.1
2	55.0	43.0	160	291	786	1062	9.0	4.9	0.15	3.6
3	40.0	48.0	160	400	834	921	9.0	4.7	0.03	0.6



(a) 鉛直面に生じた砂すじ (b) 型枠の継目に生じた砂すじ
At Vertical Plane At Joints of Forms

Photo 1 砂すじの事例
Examples of Sand Streaking

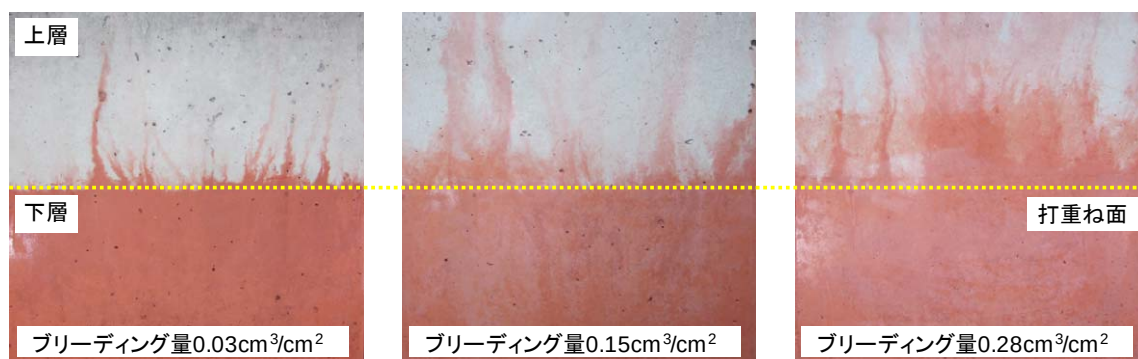


Photo 2 脱型後のコンクリート表面
Concrete Surface after Demolded

2.4 砂すじを防止する対策の検討

砂すじを防止するうえで、コンクリートの品質面からは、ブリーディングを低減する必要がある。たとえば高性能AE減水剤の使用などによる単位水量の低減や、単位セメント量の増加、石灰石微粉末の使用または細骨材率の増加などによる粘性の増加が挙げられる。また、施工面からは、打ち重ねる前に下層のコンクリートの上面に溜まったブリーディング水を除去する、打上り速度や1層の打込み高さを低減するなどの対策が挙げられる。

型枠の継目部に発生する砂すじを防止するには、型枠の隙間を低減することが重要である。打込み高さが大きい部材では、型枠に作用するコンクリートの圧力により、施工中に型枠の継目が開く場合が想定されるので、型枠および支保工を強固に組み立てることが重要である。また、型枠の隙間が開かないような工夫として、型枠を組み立てる際に継目に隙間テープを貼り付け、側圧が作用したとしても隙間が開くのを物理的に防止する方法が考えられる。

前節の実験において、継目の隙間の大きさを2mmとしたケースを対象として、ポリウレタン製の隙間テープを型枠端部に貼り付けることで隙間を塞いだ場合についても併せて検討を行った。隙間テープの貼付け状況をPhoto 4に、また、脱型後のコンクリートの表面の状況をPhoto 5に示す。

Photo 5に示すように、隙間テープを設けることで砂すじは防止できることを確認した。なお、仮に、型枠を組み立てた後に隙間が見つかった場合には、シーリング材等で隙間を埋めるなどの方法も考えられる。

3. あばたの発生と低減に関する実験

3.1 あばたの発生要因に関する実験

あばたは、せき板に接するコンクリートの表面に気泡が溜まった状態で硬化したものである。コンクリートの打込み時に混入したエントラップトエアが、締固めに際して型枠の表面に移動し、そのまま溜まった場合に発生する。

あばたは、粘性が高いコンクリートほど生じやすく、また、型枠が傾斜するほど発生しやすいことが知られている。スランブが同じコンクリートでも水セメント比が小さい場合ほど粘性が大きくなる。また、鉛直面の型枠であっても、施工誤差によって数%の傾きが生じる場合が想定される。そこで、水セメント比や型枠の傾斜があばたの発生に及ぼす影響について検討した。

実験には、水セメント比の異なる配合2および3 (Table 1)の2種類のコンクリートを使用し、コンクリートの粘性を変化させた。また、型枠には、鉛直に組み立てた場合および3%の傾斜を設けて組み立てた場合の2種類を用いた。試験体は、前述の実験と同様に、幅600mm×高さ600mm×厚さ200mmの壁モデル試験体を用

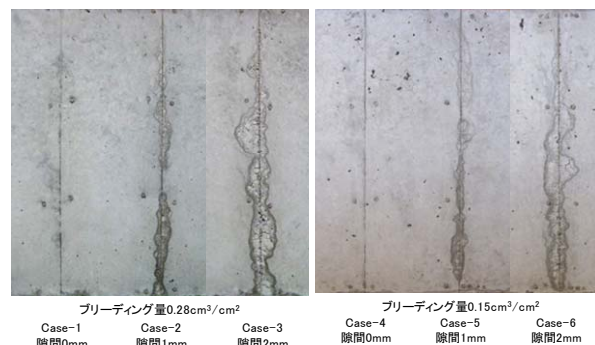


Photo 3 型枠の継目位置における砂すじの発生状況
Occurrence of Sand Streaking at the Joint of Forms

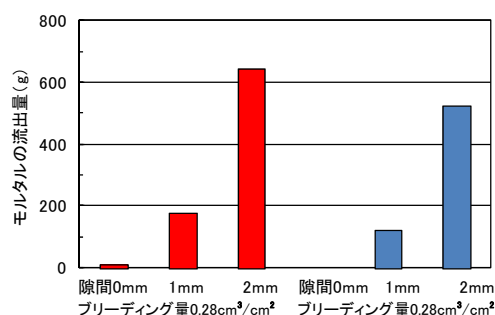


Fig. 1 型枠の隙間からのモルタルの流出量
Amounts of Mortar Flowed Out of Crevice of Forms

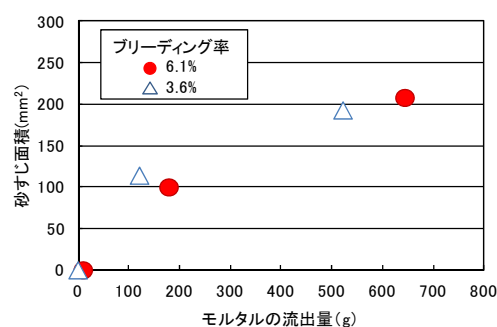


Fig. 2 モルタルの流出量と砂すじ面積の関係
Relationship between Area of Sand Streaking and Amounts of Flowed Mortar

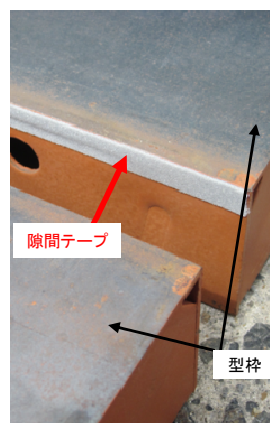


Photo 4 隙間テープ
Airtight Tape



Photo 5 隙間テープによる砂すじの防止効果
Effect of the Airtight Tape on Reduction of Sand Streaking

いた。試験体の天端面まで1層で打ち込んだ後、φ30mmの内部振動機により10秒間締め固めた。

脱型後のコンクリートの表面の状況をPhoto 6に示す。水セメント比が40%のコンクリートの方があばたの面積率が1%程度大きい結果となった。型枠の傾斜については、優位な差は認められなかった。3%程度の傾斜では、あばたの発生に与える影響は小さいことがわかった。

3.2 スペーディングによるあばたの低減効果の検証

打ち込んだコンクリートと型枠内面との間に存在する気泡や空隙を除去する目的で行う操作をスペーディングという。ここでは、市販されている各種の器具を用いた場合のあばたの発生に及ぼす影響を確認した。

使用した器具の概要をTable 2に示す。また、比較として、木槌によるたたきのみを実施した場合も実験を行った。試験体は、前章までの実験と同様に、幅600mm×高さ600mm×厚さ200mmの壁モデル試験体を用いた。試験体の天端面まで1層でコンクリートを打ち込み、φ30mmの内部振動機により5秒間締め固めた後、各種の器具を用いてスペーディングを実施した。実験には、Table 1に示す配合3のコンクリートを使用した。

結果をPhoto 7に示す。木槌によるたたきのみを行った場合に比べ、各種の器具でスペーディングや型枠際の振動締め固めを実施することにより、あばたの発生を1%程度低減できることを確認した。したがって、あばたの低減には、内部振動機による締め固めのみでなく、スペーディングや型枠際の振動締め固めを行うことが重要であることがわかった。

3.3 透水性シートによるあばたの低減効果の検証

型枠の傾斜が大きくなり、スペーディングによる対応が困難な場合、透水性シートを貼り付けた型枠(以下、透水型枠)を用いることであばたを大幅に軽減できることが知られている^{4)・5)}。そこで、実大壁モデルのハンチ部(縦500mm×横500mm×幅5000mm)を用いて、透水性シートによるあばたの低減効果を検証した。

実験では、型枠傾斜角度45°の部位を対象とし、木製型枠および透水型枠を使用した場合であばたの発生に及ぼす影響を比較した。実験に使用したコンクリートは水セメント比50%、スランプ8cmとした。結果をPhoto 8に示す。透水性シートの使用により、あばた面積率が6.0%から0.1%にまで大幅に低減された。

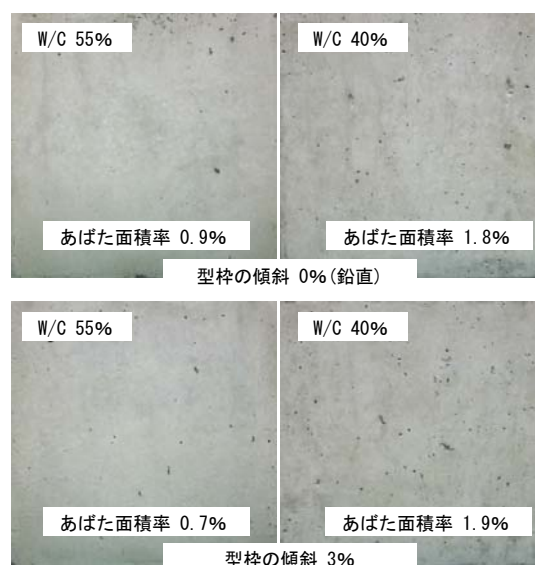


Photo 6 あばたの発生に及ぼすコンクリートの粘性および型枠の傾斜角度の影響
Influence of Viscosity of Concrete and Angle of Tilt of Form on Occurrence of Air Surface Voids

Table 2 スペーディング用器具と振動機の概要
Outline of Spading or Vibrating Tools

器具の種類	概要と使用方法
楕状気泡抜き取り器具	・アルミ製の柄の先端にピアノ線を平行に配した楕状の器具 ・打ち込んだコンクリートの型枠に沿って小さく上下にゆすりながら挿入し、引き抜く
回転式スペーディングロッド	・らせん状のロッドがモーターで回転する機械。 ・打ち込んだコンクリートの型枠面にロッドを差し込み、回転しながら型枠面に押し当てるように移動する
型枠振動機	・型枠の外側から接触させてコンクリート表面を締め固めるタイプの振動機
板状内部振動機	・先端にヘラやパンチングプレートを装着した内部振動機 ・打ち込んだコンクリートに型枠に沿って挿入する

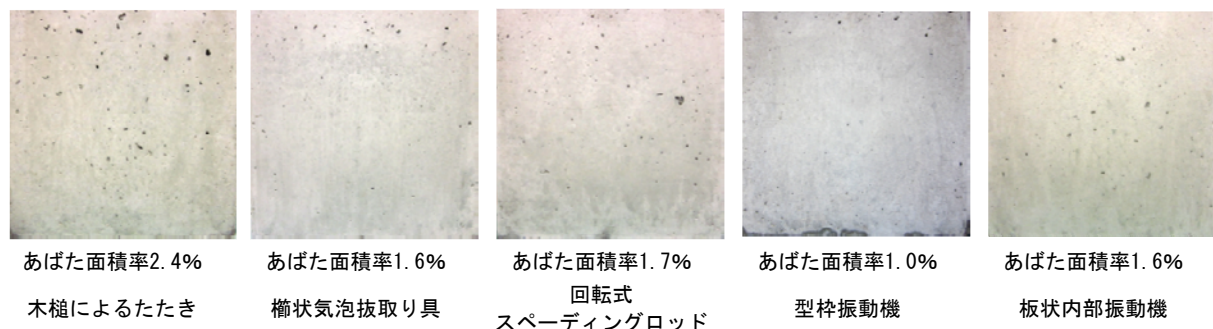


Photo 7 スペーディングや型枠際の振動締め固めによるあばたの低減効果
Effect of Spading or Vibrating on Reduction of Air Surface Voids

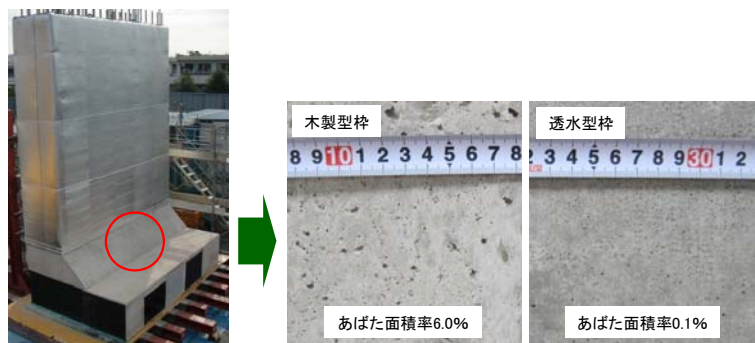


Photo 8 透水性シートの使用によるあばたの低減効果
Effect of Water-Leaking Form on Reduction of Air Surface Voids



Photo 9 側壁部に生じた打重ね線の例
Example of Layer Streaking Occurred at Sidewall

4. 打重ね線の発生と防止に関する実験

4.1 打重ね条件による打重ね線の発生状況の相違

コンクリートを層状に分けて打ち込んだ場合、型枠を取りはずした後の側面に、Photo 9に示すような線状のすじが生じることがある。このすじは、コンクリートを打ち重ねた履歴が表面の色むらとして残ったもので、本報では、“打重ね線”と呼ぶこととする。

打重ね線は、内部の打重ね面は一体化しており、上下層のコンクリートが内部でも一体化していない“コールドジョイント”とは異なる。両者は外観上は区別が付きにくく、コンクリートの美観を損なう原因となるため、できるだけ防止することが望ましい。

打重ね線は、打重ね面が乾燥したり、ブリーディング水が多い状態で打ち重ねると生じやすくなる。また、型枠に付着したモルタルが乾いた状態で新たにコンクリートを打ち重ねると、付着したモルタルの跡が表面に模様として残ることがある。ここでは、打重ね線を再現し、その防止対策の効果について実験的に検討した。

打重ね部の施工方法による影響を確認するために、打重ね時間間隔を0.5hr、1.0hrおよび2.0hrと変え、打重ね部を内部振動機で締め固めることを想定して、突き棒で10回突固めを行う場合と突固めを行わない場合について実験を行った。縦100mm×横100mm×高さ400mmの型枠に、上層と下層を200mmずつ半分に分けてコンクリートの打込みを行った。打重ね部の突固め方法をFig. 3に示す。使用したコンクリートは水セメント比47%、スランプフロー50cmとした。

脱型後の試験体表面の状況をPhoto 10に示す。コンクリート標準示方書〔施工編〕に示される許容打重ね時間間隔の範囲内においても、突固めを実施しない場合に打重ね線が発生した。そして、打重ね時間間隔が長くなるほど、打重ね線が顕著に表れる結果となった。打重ね線を防止するには、内部振動機を下層のコンクリートまで挿入し、上下層を一体化させることが重要であることを確認した。型枠面にまで振動が伝わりにくい場合は、桟木等で突いてかき乱す方法もあるものと思われる。また、できるだけ打重ね時間間隔を短縮することがポイ

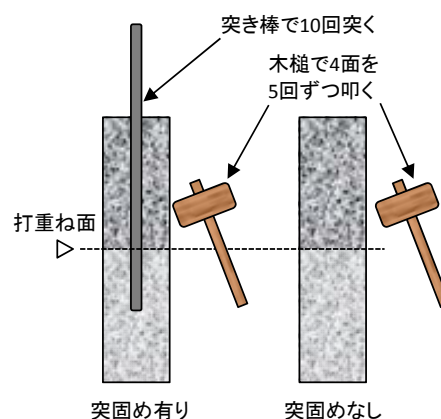


Fig. 3 打重ね部の突固め方法
Rodding Method at Placing on Consolidated Concrete

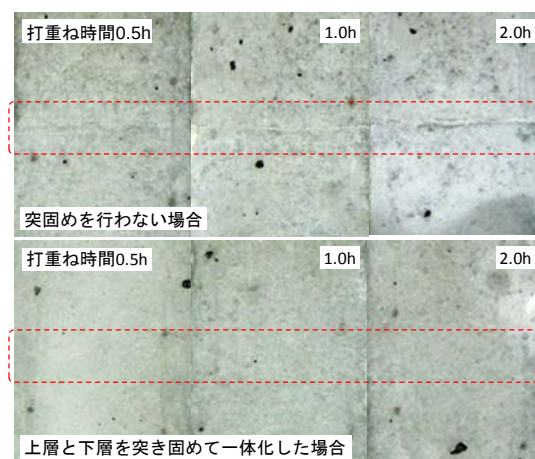


Photo 10 試験体表面の状況
Appearance of Concrete Surface

ントとなる。

4.2 打重ね部の打込み方法の工夫

型枠へのモルタルの付着による影響を確認するために、打重ね部の型枠に人為的にモルタルを付着させた状態で上層のコンクリートを打ち重ね、打重ね線の再現実験を行った。幅600mm×高さ600mm×厚さ200mmの型枠内にコンクリートを山にして打ち込んだ後に締め固めを行った。

30分が経過した後に上層のコンクリートの打込みを行い、脱枠後のコンクリート表面の状況を確認した。下層のコンクリートの施工状況をPhoto 11に示す。使用したコンクリートは水セメント比40%，スランプ8cmとした。

脱枠後のコンクリートの表面の状況をPhoto 12に示す。型枠に付着したモルタルの跡がそのまま表面に残る結果となった。型枠際の打込み方法の工夫をFig. 4に示す。コンクリートを一箇所に山にして打ち込むと、締固めの際に打込み面が下がるため、型枠面にモルタルが付着しやすくなる。コンクリートを打ち込む際には、コンクリート標準示方書〔施工編〕に記載されているとおり、できるだけ打込み面が水平になるようにこまめに配分し、モルタルがなるべく付着しないように配慮することが重要であると考えられる。

5. まとめ

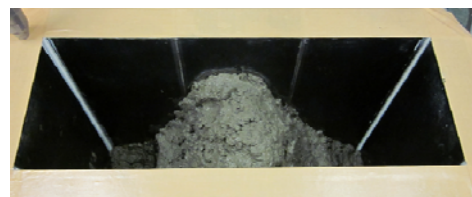
本研究では、コンクリート構造物の美観を損なう不具合事象として、「砂すじ」、「あばた」および「打重ね線」を挙げ、これらの発生に及ぼす影響要因と、その低減対策の効果について定量的に検証した。これによって得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 鉛直面に発生する砂すじを防止するには、ブリーディングを低減するとともに、型枠際に溜まったブリーディング水を除去することが効果的である。
- 2) 型枠の継目に沿って発生する砂すじを防止するには、測圧により型枠の継目が開かないように、型枠を強固に組み立てたり、隙間テープを貼り付けるなどの工夫が効果的である。
- 3) あばたの発生を低減するには、専用の器具を用いて、型枠面のスケーディングや振動締固めを行うことが効果的である。
- 4) 傾斜の大きい部材の施工においては、透水性シートを型枠に貼り付けることで、大幅にあばたを低減できる。
- 5) 打重ね線を防止するには、打重ね時間間隔を短縮することと、内部振動機を下層のコンクリートまで挿入し、上下層を一体化させることが必要がある。
- 6) 型枠際にコンクリートを打ち込む際には、できるだけ打込み面が平らになるように配分し、型枠にモルタルが付着しないよう注意する必要がある。

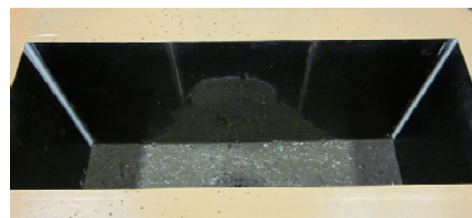
今後は、これらの知見を多くの現場に適用することで実績を重ね、コンクリート構造物の更なる美観向上に努める予定である。

参考文献

- 1) 和泉意登志：コンクリートの表現を生かす技術 コンクリートという素材を造る，建築技術，No.611，pp.102-107，(2001)



(1) 型枠際に山になるように打込む



(2) 締固め後、型枠にモルタルが付着する

Photo 11 下層コンクリートの施工状況
Casting of Under Layer Concrete



Photo 12 型枠に付着したモルタルの跡
Trace of Mortar Adhering to the Form

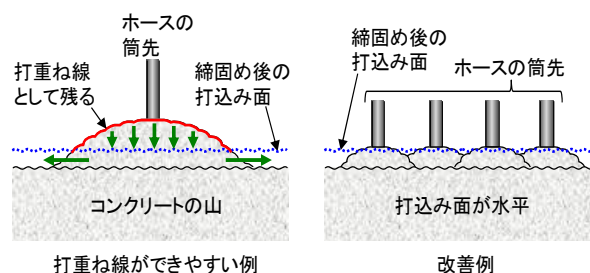


Fig. 4 型枠際の打込み方法の工夫
Care of Placing Concrete at Form Side

- 2) 和泉意登志：建築の立場から、コンクリート工学，Vol.40，No.5，pp.95-102，(2002)
- 3) 辻正哲，他：コンクリート表面欠陥の一種である砂すじおよび砂縞の発生メカニズムに関する研究，第62回セメント技術大会講演要旨，pp.294-295，(2008)
- 4) 牛島栄，他：各種脱水型枠を用いたコンクリート表面性状および耐久性，セメントコンクリート論文集，No.47，pp.450-455，(1993)
- 5) 竹田宣典，他：透水性シートを用いた型枠によるコンクリート表面の品質改善，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.11，No.1，pp.683-688，(1989)