ホワイトコンクリートを用いた 大規模野外彫刻への挑戦

CHALLENGE TO LARGE-SCALE OUTDOOR MONUMENTS WITH WHITE CONCRETE

阿部保彦 —*1 桜田建夫 —*2
小坂保孝 —*2 柿崎正義 —*3

Yasuhiko ABE —*1 Tateo SAKURADA —*2
Yasutaka KOSAKA —*2 Masayosi KAKIZAKI —*3

キーワード:

野外彫刻, ホワイトコンクリート, 高流動コンクリート, 打放し, 揚重, 反転

Keywords:

Outdoor monument, White concrete, Self-compactable concrete, Exposed concrete, Lifting, Reversing

Large-scale outdoor monuments were made with exposed white concrete. A major hollow cone monument was designed as 7m heights, 7m base diameters and 24m³ concrete volumes. To prevent air voids of the surface of the cone and concrete pouring joints, the cone form was set upside-down (V shape) and self-compactable concrete was poured continuously. After concrete hardened, the cone, with steel form work and steel supporting frame (total 120ton weights) was reversed into right posture, by overhead cranes putted on a temporary steel frame with computer control. The sculptor was satisfied with the results of these concrete works.

1. はじめに

1999年7月、札幌芸術の森野外美術館の一面に、自然空間を彫刻作品とした日本で初めての環境造形「隠された庭への道」が完成した。この作品は、環境造形の分野で世界的に評価の高い彫刻家ダニ・カラヴァン氏の設計・監理によるもので、図1に示すように7つのエレメントからなり、最後に自然林の中の庭へ行きつくようになっている。全体の規模は、敷地約1ヘクタール、道の全長約300mである。各エレメントの中核をなしている白いフォルムには、カラヴァン氏のコンセプトを具現化するために不可欠な素材として、なめらかな肌を持つホワイトコンクリートが用いられた。本報告は、芸術家の要求する美しいフォルムを、打放しコンクリートで完成させることに挑戦した工事報告である。なお今回は、7つのエレメントの中心的フォルムであり、形状・大きさの点で、設計・施工上最も多くの困難を伴った第5エレメント「円錐」を中心に報告する。

図1 全景図

2. 工事概要、円錐エレメントの概要

2.1 工事概要

- a. 工事名：札幌芸術の森野外美術館第三期整備工事
(テーマ名「隠された庭への道」)
- b. 発注者：(株)空間造形コンサルタント (発注元：札幌市)
- c. 所在地：札幌市南区芸術の森2丁目
- d. 設計：ダニ・カラヴァン (イスラエル)
- e. コンクリートコンサルタント：ジャン＝ピエール・オーリー
(フランス)
- f. 工期：1998年3月15日～1999年3月10日

2.2 「円錐」の概要

高さ7.0m、底部直径7.0mの中空円錐で、内部床中央にある直径70cmのガラス窓の下に1年を通して「眠れる雪」を見ることができ、森の中の8箇所に取り付けられたマイクが集めた鳥のさえずりや風の音をスピーカーで円錐内部に響かせる。スピーカー電源はソーラー・パネルによる太陽エネルギーから得られている。円錐は、内部・外部ともホワイトコンクリートによる打放し仕上げである。「円錐」の断面を図2に示す。

*1 鹿島技術研究所建築技術研究部 上席研究員
(〒182-0036 調布市飛田給2-19-1)
*2 鹿島建設総事業本部札幌支店建築部工事事務所 所長
*3 三友エンジニアリング(株) 専務取締役

*1 Supervisory Research Engineer, Building Engineering Department Kajima Technical Research Institute
*2 Project Manager, Kajima Corporation, Construction Group, Sapporo Branch
*3 Managing Director, Sanyu Engineering

3. 設計者からの要求事項と施工上の課題

3.1 「円錐」に対する要求事項

設計者との数々にわたる打合せの結果、「円錐」に対する要求事項は次のようなものであることが分かった。

- 素材にはホワイトコンクリートを用い、限りなく白くすること。
- 打継ぎ目がないよう、一体成形にすること。
- 内外表面とも打放し仕上げとし、平滑な表面であること。特に外表面は、大きな気泡、木コン穴のないこと。
- 上記c項を実現するために、設計者から、「円錐」を逆さまにしたV字状でコンクリートを打設する方法が提案された。V字の底側は気泡が少ないので、硬化後に再度反転してこの面を上側にするためである。

3.2 施工上の課題

上記a～d項の要求により、施工に関わる技術的な問題点として次の諸点が浮上してきた。

- ホワイトコンクリートを製造するための材料選定、調合設計およびコンクリート製造工場の選定。
- 表面が平滑で、面板の接続部分に段差がなく、コンクリート打設や硬化後の反転に絶えられる十分な剛性を持つ型枠の設計、製作。
- 外側に木コン穴が残らず、かつ所定の鉄筋位置、かぶり厚を確保できる配筋方法。
- 図2に示すような断面・形状および配筋状態の型枠の中に、打込み欠陥がないように、連続してコンクリートを打設する方法。
- コンクリート硬化後の「円錐」を無事に反転する方法。

次節以降に、これら課題への対応策と、その結果について述べる。

4. 施工方法

4.1 ホワイトコンクリートの使用材料、調合、製造

(1) 使用材料

材料の選定は、コンサルタントのオーリー氏の指導の基に行われた。セメントは、白セメントを用いた。白い骨材として、設計者側は当初四国鳥形山産の石灰石砕砂・砕石を用いることを希望していたが、運搬費用の点を考慮して、特にコンクリートの白さに影響を与える細骨材の一部にのみ使うことにした。粗骨材および残りの細骨材は出来るだけ白い北海道産の石灰岩砕石および陸砂を用いた。また、セメントと細骨材との間の粒度分布のギャップを極力小さくするため白色石粉カンスイ K250、およびコンクリートを白に近づけるための着色剤として酸化チタンも用いられた。使用材料の産地・銘柄、品質等を表1に示す。

(2) 調合

「円錐」以外の一般のエレメントに用いるホワイトコンクリートの調合は、気泡が少なくワーカビリティがよいこと、練上がりから打上がりまでの想定時間2時間後でもスランプの低下が少ないこ

図2 「円錐」の断面・寸法図

表1 ホワイトコンクリートの使用材料

種類 (記号)	産地・銘柄	品質他
セメント	T社製白色セメント	密度 3.05g/cm ³
細骨材 1(S1)	四国鳥形山産砕砂	密度 2.63g/cm ³
細骨材 2 (S2)	北海道幌延産陸砂	密度 2.65g/cm ³
粗骨材	北海道函館産砕石	G2050 密度 2.70g/cm ³
白色石粉	NS社製カンスイ K250	比重 2.50
着色剤	M社製酸化チタン	マイン白、比重 4.2
分離低減剤	S社製	水溶性セロースエーテル
高性能 AE 減水剤	NB社製	カルボキ酸系
AE 剤	NB社製	7Mキルエーテル型
流動化剤	NB社製	マリンスルホン酸系

とに重点を置いて、試験練りおよび模擬部材への試験打設を繰り返し、オーリー氏の立会い・指導、および最終的にはカラヴァン氏の確認を受け、表2上欄のような基本調合を決定した。

一方、「円錐」のコンクリートにおいても、当初は表2の基本調合を使用する予定で、「円錐」の実大部分模型に、調合、打込み方法および振動締固め方法をいくつか変えた施工実験を行ったが、設計者側が満足する肌合いを実現出来なかった。

そこで、複雑な形状をしたもの、配筋が密な部分および型枠の下側に打込む場合等の充填が困難な部位に対して、確実な充填が期待できる高流動コンクリート¹⁾を提案した。練上がりから打込みまでの2時間にわたりスランプが60±5cmであるようなコンクリート

表2 コンクリート調合表

種類	呼び強度	スランプ°	空気	水セ	細骨	単位	質量 (kg／m³)							(C×%)	
		スランプ°フロー (cm)	量 (%)	ト比 (%)	材率 (%)	水量 (kg／m³)	セメント	細骨材		粗骨材	白色 石粉	チタン	分 離 低減剤	高性能 AE 減水剤	AE 剤
								S1	S2						
一般	35	12	4.0	39.4	46.1	142	360	508	252	1018	80	11	－	1.2	0.0005
円錐		60	4.0	44.4	48.4	160	360	475	230	953	150	11	0.5	1.7	0.001

を目指して、試験練りと小型模型による打設実験を繰り返した。その結果、設計者側の承認を得て表2下欄に示す計画調合を決定した。

(3) 製造

ホワイトコンクリートの製造工場としては、①JIS表示許可工場、②多種類の使用材料に対して専用の貯蔵・計量設備を有す、③特殊コンクリートの試験練りや連続出荷に協力的な工場、をさがしたが、②の条件を完全に満たす工場はなく、①および③を満たす工場を選定した。セメント、混和材は袋詰めのを工場タワーの上部まで荷揚げし、開封して手投入した。運搬時間は1時間を要した。

4.2 型枠、配筋

型枠は、コンクリート打込み時や反転時の衝撃、変形に耐えられるように、また表面精度確保のために、周辺を補強フレームで固めた鋼製とした。

なお、木コン穴が壁面の美観を損なうためセバレータの使用が出来なかったため、コンクリート打込み時に内型枠が浮上し、また芯ズレを起こすのを防止する対策として、補強フレーム上部にH鋼製架台、内型枠先端に軸ボルトを取り付けた。型枠と補強フレームの概要を図3に示す。

扇形曲面である面板の切断には、コンピューターベンダーを用い、曲げ加工には厚25mm鋼板で定盤治具板を作り、バイスで挟み付ける事により精度の向上をはかった。また面板の凹凸およびジョイント部の目違いをなくすため、厚2mmのF.R.P塗り仕上げを行った。

鉄筋位置確保のための鉄筋スペーサーは、コンクリート打設によって変形した場合、コンクリート表面に不具合が生じるおそれがあるので、これの使用は取り止め、代わりに図4に示すような鉄筋支持金物を約1m間隔で取り付けた。

4.3 コンクリートの打込み

(1) 準備

高流動ホワイトコンクリートは、図5に示すように、ピストン式ブーム付きポンプ車の125Aブーム管の先に、100A水平管3m、テーパ管(4→3インチ)および先端に打込み用ビニールホース(φ120)を用いて打ち込むことにした。

打込み用ビニールホースは、型枠内部にコンクリートが分離なしにスムーズに流し込まれるように、内型枠に先組みされた鉄筋内にあらかじめ90度間隔で長さを約50cmずつ変えて挿入しておいた。

3mの水平管は、ブーム配管から壁内に直接打ち込むことによるコンクリート分離の防止のために設けた。

(2) 出荷

出荷前に、実機ミキサーによる試験練り、品質試験を行った結果、スランプフローが58cmであったので、スランプフローを目標値60cmに近付けるために、高性能AE減水剤の使用量をセメント量×1.7%から1.9%に増やした。

(3) 打込み

コンクリートの圧送速度は $5\text{m}^3/\text{hr}$ 以下にした。コンクリートの打込みは、これまでの実績および施工実験の結果から、図5に示すように、打込み箇所4箇所からの廻し打ちとした。

1回の打込み高さが平均0.5mに達した時点で、先付けホースを約50cm引き抜き、次の打込みを行った。打込み高さが約3.7mに達した時点で、水平管の使用をやめ、ブーム配管に直接先付けホースを接続し廻し打ちを続行した。ただし、先付けホースは最低3

図3 型枠および補強フレームの概要

図4 鉄筋支持金物

図5 コンクリート打込み方法

mの横引き配管とした。圧送用水平管の回転および先付けホースの引き抜きにはトラッククレーン車を用いた。振動締め固めは原則として行わなかったが、打足し部ができる場合には、ダブル配筋の中間部に細い竹棒等を挿入して外壁表面に振動を与えないように細か

く締め固めた。

4.4 反転

コンクリート打込み後の「円錐」は、型枠、補強フレームを入れると、総重量 120 トンに及ぶ。反転工法として、300 トン走行クレーンを用いる方法も検討したが、搬入路確保が困難であったので、重仮設工法に実績のある M 建設工業の直吊り移動構台によるパワーリンクシステムを使用して、型枠をつけた状態で反転する工法を採用した。これは、仮設構台を組立て、上部に梁・桁を設け、それに取り付けた玉掛け調整装置(パワーリンク)を用いて、[円錐]を、吊上げ→90度回転→降ろし→水平移動→吊上げ→90度回転→降ろし、を繰り返すものである(図 6 参照)。これら一連の操作は全てコンピュータが行う安全性の高い工法である。所要時間は 2 日である。

5. 施工結果

5.1 コンクリートの受入れ検査結果

運搬車 6 台全てについて行った受入れ検査結果を表 4 に示す。これによると全体を通しての出荷時から打込み終了までのスランブフローの範囲は、 $59 \pm 4 \text{ cm}$ であり、当初の目標値 $60 \pm 5 \text{ cm}$ 以内であった。出荷から打込み終了までの所要時間の平均は約 110 分で、この間のスランブフローの変化は、 $+2 \sim -3 \text{ cm}$ であり、非常に安定していた。現場到着時の空気量は $3.9 \sim 4.2\%$ であり、目標値 $4.0 \pm 1.5\%$ を満足していた。現場到着時のコンクリート温度は、1~6 車で $19 \sim 17^\circ\text{C}$ を示した。

現場水中養生による材齢 4 週の圧縮強度は、平均で 59.2 N/mm^2 であり、呼び強度を十分に満足していた。

5.2 運搬・打込み所要時間

生コン車 1 車当たりの出荷時から打込み終了までの所要時間は 90~130 分で、当初想定した最大所要時間より 50 分以上短かった。これは、コンクリートの品質が安定していたため、ポンプ圧送、打込みにトラブルがなくスムーズに施工ができたためである。全体で 24 m^3 のコンクリートの打込みに要した時間は 3 時間 40 分であった。

5.3 「円錐」表面の仕上がり

脱型直後の確認では、外壁表面にジャンカや打足し部の欠陥は認められず、打足し部にわずかな色むらが認められた。この色むらは、材齢 2 ヶ月後には消失した。また、内壁表面の気泡は、非常に少なく、全体として設計者の満足のいく仕上がりになった(写真 1 参照)。

6. おわりに

全く経験のなかった芸術作品を暗中模索の中で製作した。外国人の彫刻家を相手に出来上がりの品質のレベルに関する考え方の違いや、それを伝える言語の言いまわしに非常に困難さを感じた。しかし、工事を進めていく中で良い作品を作ろうとするお互いの気持ちが通じ合い、最後は設計者からお褒めの言葉をいただいたことで、それまでの苦勞が報われたと思う。この工事に協力を惜しまなかった関係者に紙面を借りて深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説、pp.19~20、1997

表 4 高流動ホワイトコンクリートの受入れ検査結果

(上段：時刻、中段：空気量(%), 下段：スランブフロー(cm))

生コン車	1 車目	2 車目	3 車目	4 車目	5 車目	6 車目
出荷時	13:40	14:20	14:55	15:40	16:15	16:40
	2.7	2.5	5.5	3.5	4.9	3.5
	62×59	60×62	58×59	56×57	56×56	58×59
現場到着時	14:40	15:10	15:50	16:40	17:18	18:17
	3.9	4.2	4.1	4.0	4.2	4.0
	63×63	64×65	62×62	57×60	59×59	58×58
打込み開始時	15:13	15:30	16:04	16:47	17:25	18:20
	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—
打込み終了時	15:28	15:50	16:40	17:20	18:10	18:55
	—	—	—	—	—	—
	61×62	63×63	60×60	55×55	58×60	55×56

図 6 反転工法の概要

写真 1 「円錐」完成した姿

[2000年 4 月 20 日原稿受理 2000年 7 月 26 日採用決定]