

ホワイトコンクリートと 高精度型枠技術が創り出した 造形美



札幌芸術の森・野外美術館

桜田 健夫*

1. はじめに

北海道札幌市郊外の札幌芸術の森・野外美術館において、世界的な彫刻家ダニ・カラヴァン氏が、この地の自然環境に調和させた「隠された庭への道」をテーマとした屋外造形作品を製作された。

作品は、7つの屋外彫刻で構成され、全てをホワイトコンクリートで製作するもので、その形状とホワイトコンクリートの素材の美しさを最大限に表現することが要求された。

この芸術作品をホワイトコンクリートで製作することで、作家の要求を満足させるためには、次から次へと新たな問題が発生した。その解決のために、フランスのコンクリート・コンサルタントであるJ・P・オーリー氏の指導のもとに、試行錯誤の繰り返しと苦労の中で製作が続けられ、その結果、高い精度で緊張感のあるすばらしい作品

を完成させることができた。

本稿では、7つの作品の中から代表的な水路と、円錐の造形作品の材料と施工について紹介したい。

2. 工事概要

工事の概要を表1に示す。

表1 工事概要

工事名：札幌芸術の森・野外美術館第三期整備工事			
発注者：(株)空間造形コンサルタント（発注元・札幌市）			
設計：DANI KARAVAN（イスラエル）			
監理：JEAN・PIERRE AURY（フランス）			
施工：鹿島建設㈱札幌支店			
作品名：テーマ 隠された庭への道			
①水路	②円錐	③ゲート	④日時計
⑤7つの泉	⑥2つの丘	⑦立方体（椅子）	

3. 生コン工場の選定

ホワイトコンクリートを製造するには、以下の条件とプラントの稼働制限によるリスクのために引き受ける工場がなかなか決まらなかった。

- ① プラントが2つあること
- ② 白色セメント専用のサイロの確保
- ③ 骨材専用サイロの確保
- ④ 技術協力が得られること
- ⑤ 現場の近くであること

候補に挙がった工場との交渉は難航したが、最終的に札幌アサノコンクリート(株)苗穂工場の協力が得られ決定した。しかし、白色セメントの専用サイロが確保できず、袋詰めセメントによる手投入の手段を取った。そのために打設日はプラントに7人の人員を配属する必要がある。また、プラントタワーへセメントを揚げるリフトの設置やセメントの手投入用開口部を設ける等の措置を行った結果、ホワイトコンクリートの製造が可能になった。

4. 材料の選定

特に問題となったのは、白い骨材が北海道で入手できないことであった。そこで、使用実績のある四国の鳥形山産の骨材が選定されたが、運賃が非常に高価で、その使用量を極力抑えるための検討をオーリー氏と行った。その結果、細骨材は2/3の使用にとどめ、粗骨材は白さに影響が少ないことから北海道・函館上磯の義朗産の石灰石を使用することになった。

その他の材料についても、サンプル・試験資料等をフランスへ送りオーリー氏による試験練りによる検討が行われ、下記の材料が選定された。

- ① 白色セメント……………太平洋セメント製
- ② 粗骨材(砕石20mm) ……義朗産(北海道・上磯)
- ③ 細骨材(砕砂)……………鳥形山産(四国)

- ④ 同上(陸砂)……………幌延産(北海道)
- ⑤ 石粉(寒水)……………寒水フィルターK250
- ⑥ 着色顔料……………酸化チタン
- ⑦ 混和剤……………高性能AE剤

5. ホワイトコンクリートの調合計画

5-1. 基本調合計画

調合計画はオーリー氏の指示に基づいて試験練りやサンプリングを繰り返し行い、そのデータをオーリー氏に報告、連絡調整が行われ、基本調合計画を決定した。

引続きサンプルにより宮城県と大阪府にあるカラヴァン氏のホワイトコンクリートの作品との白さについて遜色ないことを確認し、また、呼び強度35Nに対して54Nと、白さ・強度とも良好なことがわかった。

5-2. 調合計画の改善

水路のモックアップの確認のために来日したオーリー氏は、気泡が多く発生していることを見て調合の見直しを行った。そのポイントは、セメントを含めた全ての材料の粒度分布が連続することが理想であると説明し、寒水量を多くするなどの調合の改善を行った。

6. 水路の施工

6-1. 型枠製作上の対策

作品は図1、写真1にみるように、V型で半円の繰り返しの延べ90mに及ぶものであるため、工区割りは半円分(10m)として9分割で施工した。

型枠の製作に当たっては、特殊な形状と精度の確保のため多くの問題があった。その解決のためにモックアップでの検討も行いながら色々な工夫と対策が下記に示すように行われた。

- ① 躯体天端ラインが、平面での曲線に高さの

* 鹿島建設㈱ 札幌支店

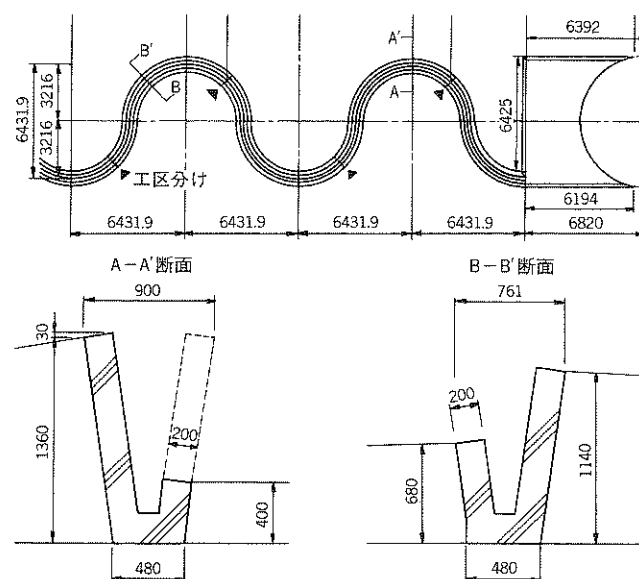


図1 水路平面・断面図

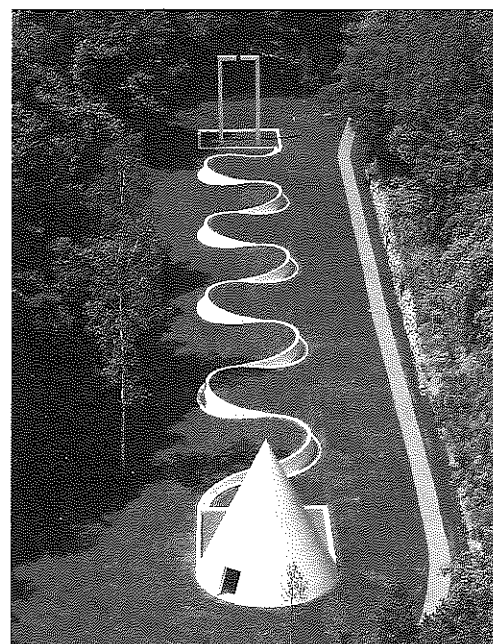


写真1 水路の全景

2次曲線が加わった3次元曲線の特殊なものであるため、製作図はオートCADを駆使し、3D図面での寸法出しを行って作図した。

② 面材・櫛形桟木の加工は“ベシックNCルーター”と呼ばれるコンピュータ制御の木工

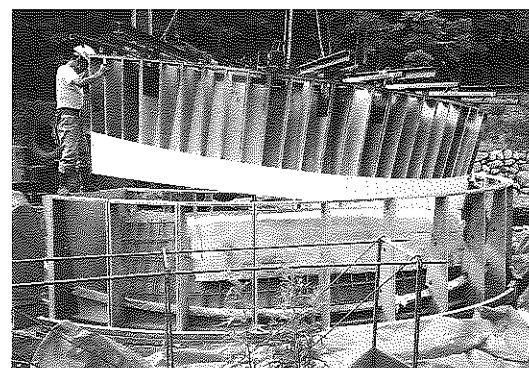


写真2 水路内型枠の吊り込み

加工機で1mmの誤差もなく加工された。

③ 木コン穴を無くすためにセパレーターを止めた。そのために内枠は剛性を上げた一体組み立てとして、クレーンによって取り付け脱型を行う吊り枠納めにした(写真2)。

④ 内枠が前記の納めとなったことで、内枠の脱型を容易にするため、門型フレームをジャッキアップする工夫をした(写真3)。

⑤ 内枠面材のジョイントと針穴を隠して平滑度を上げるため、全面パテ処理してウレタン塗装仕上げを行った。



写真3 水路型枠の組立

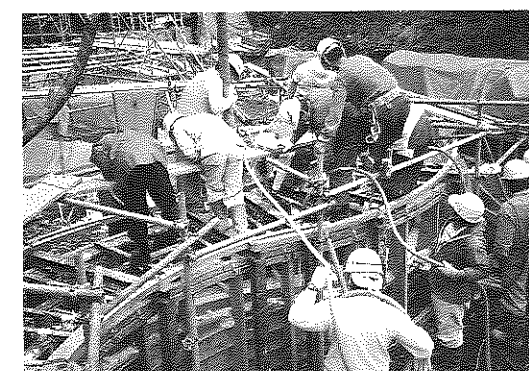


写真4 水路へのコンクリート打設状況



写真5 水路型枠の脱型

⑥ 躯体天端は金ゴテのピン角仕上げの精度確保と脱型時のカケ防止のために、側板天端を1/4の斜カットの工夫をした。

6-2. 打設方法の確立

打設方法の模索のため、モックアップにより色々な条件での打設を繰り返し試みたが、斜め壁

表2 バイブレータの操作基準

振動時間	直径(mm)	40	30	25
	挿入(秒)	1	1	1
	振動(秒)	26	18	10
	引き抜き(秒)	5	5	5
移動	合計(秒)	32	24	16
	挿入間隔(m)	0.4	0.3	0.2
	1層当たりの挿入数	25	33	50
	1層当たりの時間(分)	13	13	13

注：振動秒数は数えて行う。

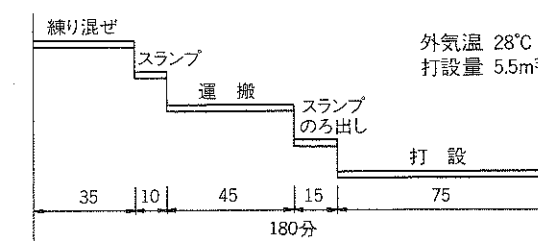


図2 実験打設の時間経過

である特性のため良い結果が得られなかった。

そこで、水路の本打設の立ち会いで来日されたオーリー氏に、水路の打設方法の技術仕様について指導を得た。そのポイントは打設時のスランプは12cm前後で、締固めは径の異なる3本のバイブレータを直列にして技術仕様の数値を守って操作するものであった(写真4, 5)。

以下に技術仕様のポイントを示す。

- ① 打設コンクリート量：5.5m³、時間：1時間
- ② 1層の打設時間：17分、打設高さ：0.5m
- ③ 打設人員：5人で構成される2班
- ④ 打設用バイブレータ：φ40mm 2台
- ⑤ 締固め用バイブレータ：φ40mm + φ30mm + φ25mm各2台
- ⑥ バイブレータの締固め深さ：1層目の打設0.4m、2層目の打設0.6m
- ⑦ 締固めの操作時間(表2)

6-3. 経時変化によるスランプ低下対策

水路の打設をオーリー氏の立ち会いで行ったが、生コンの練り混ぜ開始から打設終了までに図2に

表3 スランブの経時変化の実績

工区	月/日	外気温 (℃)	混和剤		スランブ(cm)		
			種類	C×%	出荷時	現着時	完了時
実験	7/15	28	SP-8N	0.7	15.5	14.5	5.0
1	9/18	21	SP-8HR	1.2	17.0	15.0	13.0
2	9/29	24	SP-8HR	1.2	18.0	16.0	13.0
3	10/6	21	SP-8S	1.4	17.0	17.0	14.0
4	10/15	20	SP-8S	1.2	16.0	16.0	13.0
5	10/24	14	SP-8S	1.1	16.0	15.5	13.5
6	11/2	10	SP-8S	1.1	17.0	16.0	15.0

示す時間を要し、打設開始時14cmだったスランブが5 cmまでに低下するという問題が発生した。

スランブ低下の改善のため、作業効率の向上による時間短縮と経時変化によるスランブ低下の少ない調合計画の見直しの検討が行われた。

(1) 時間短縮への改善

- ① 練り時間の短縮のためにセメントの手投入の投入口を2個所に増やした
 - ② 打設用ホースの移動に障害となった養生上家を打設後に架設した
 - ③ バイブレータを配置替えし、増員した
- 以上の改善で、30分以上の短縮ができた。

(2) スランブ低下の少ない調合計画

スランブ低下対策として遅延型混和剤の使用による調合計画の検討を行うこととなり、(株)ボポリス物産の協力を得て混和剤の種類・混入量を調整し、試験練りを繰り返し検討した結果、レオビルドSP-8HRを使用した調合で決定した。

なお、外気温が低下した10月からは、混和剤をSP-8Sタイプに切り替えて行った。

施工実績については、表3に示すように打設中の低下が3 cm以内に納まる良い結果であった。

7. 円錐の施工

7-1. 円錐の製作方法の模索

作家の要求品質は、継目のない一体成形で、気泡が少なく平滑であることを強く要求された。

しかし、図3のような円錐形状を製作するため

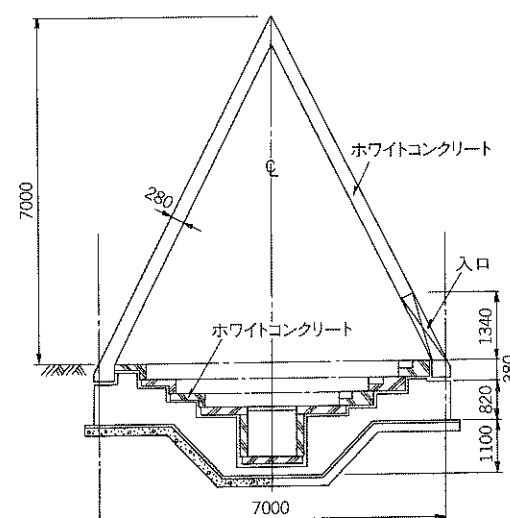


図3 円錐断面図

の作家の要求を満足させる施工法が選定できず、深刻な問題となった。そこで、最終手段として作家より打診のあった円錐を逆さまで打設し、それを反転させる方法に踏み切った。

このため反転方法の検討、コンクリートの調合・打設方法に関する検討が必要となった。

7-2. 反転工法の選定

反転する円錐の総重量が120 tもあるため、反転に300 tクレーンの合吊りを検討したが、重機の搬入が不可能であり断念した。そこで、重仮設工事に実績のある宮地建設工業(株)と検討した結果、大掛かりな直吊り移動構台(図4、写真6)の架設による重仮設直吊り工法のパワーリンクシステムにより反転可能と確認され採用となった。

7-3. 円錐コンクリートの調合の検討

(1) 高流動コンクリートの採用

当初、通常のコンクリート打設で考えていたが、深さが8 mもあり、斜め壁であるため棒状バイブレータが使用できない。また、鋼製型枠で型枠振動型バイブレータの使用にも問題があるため、ノン・バイブレーション打設のできる高流動コンク

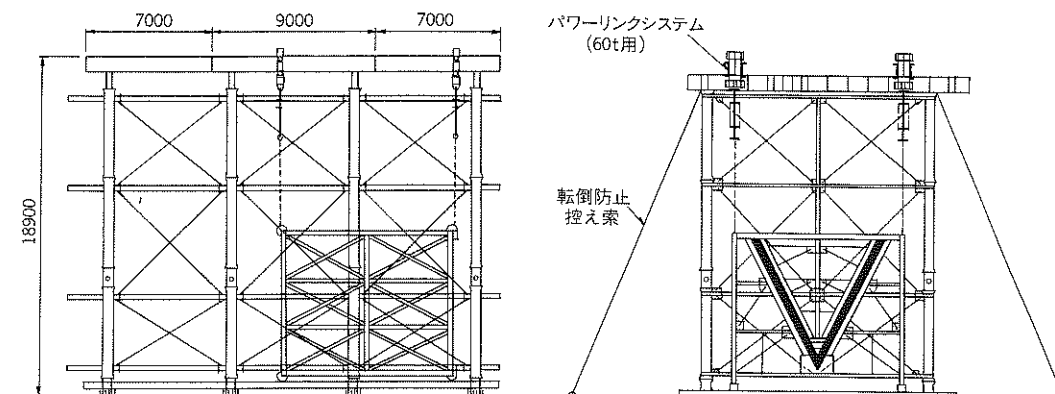


図4 直吊り反転構台図

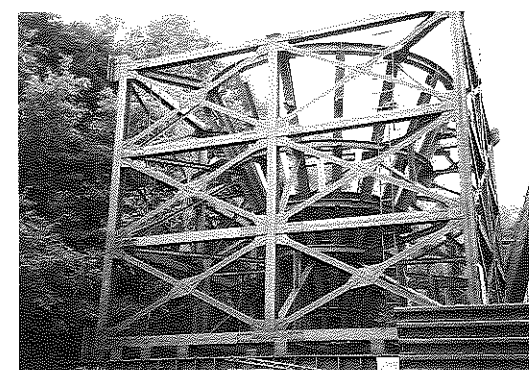


写真6 円錐外型枠の組立

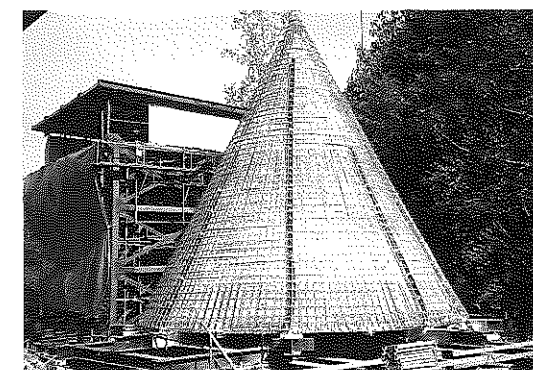


写真7 内型枠組立の完了

リートによる打設を採用することとなった。

(2) 高流動ホワイトコンクリートの調合計画

ここでの課題は、経時変化に対して打設時のフロー値が60cm±5 cmの範囲に納まる調合計画の検討であった。そのための試験練りでは、高性能AE減水剤の種類と添加量および石粉・増粘剤で添加量の調整を行ったが、フロー値の低下や分離等の問題を克服できず困難をきわめた。

そこで、オーリー氏に来日要請し、鹿島技術研究所の協力を得て、試験練りによる検討が行われた。この結果、高性能AE減水剤(SP・8S)をC×1.7%・石粉150kg/m³・増粘剤0.5kg/m³とする調合が最終的に決まった。

7-4. 鋼製型枠の製作上のポイント

円錐型枠については、以下に示すような表面の

平滑度、木コン穴を無くす対策、反転応力対策、高流動コンクリートによる側圧と浮き上がり対策等があった。

- ① 高流動コンクリートの側圧計算を行い、面材厚さの決定と桟木の補強対策を行った。
- ② 扇形面板の曲げ加工は、コンピュータにより曲げポイントをけがき、NCベンダーで曲げ加工を行って、高精度の面板を製作した。
- ③ 面材の仕上げは、サンドブラストをかけ、あらかじめ工場でFRP塗り仕上げを行い、組み立てジョイントは現場で施工した。
- ④ 内枠は写真7のように一体組み立てとし、クレーンの合吊りで反転して後挿入する方法をとった。
- ⑤ セパレーターでの固定ができないので、内枠のズレ防止と浮き上がり防止を兼ねて、内枠

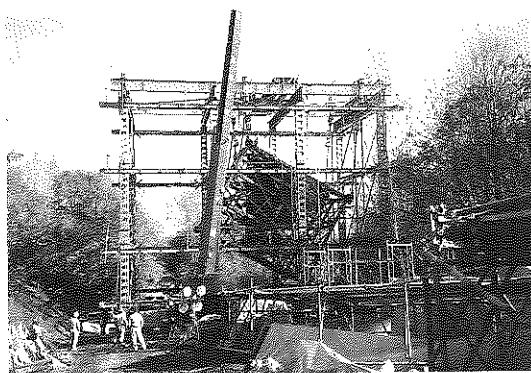


写真8 反転作業の状況

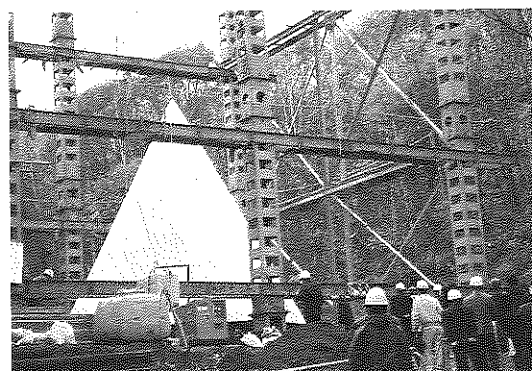


写真9 反転後の脱型状況

表4 フロー値の実績 (単位: cm)

	1台目	2台目	3台目	4台目	5台目	6台目
出荷時 0分	62×59	60×62	58×59	56×57	56×56	58×59
現着時 60分後	63×63	64×65	62×62	57×60	59×59	58×58
打設終了時 100分後	61×62	63×63	60×60	55×55	58×60	55×56

注: コンクリート温度は19℃, 生コン車1台は4.0m³

の先端部を高張力鋼鋼棒によりフレームに固定させた。また、浮き防止のために内枠上部に350H鋼の梁桁で固定する対策も行った。

7-5. 円錐コンクリートの打設

(1) 打設壁が斜めであるため鉄筋が障害となり、コンクリートホースの挿入ができない。そのため、内枠先組みの鉄筋内に深さを替えて8本のホースをセットし、打設時、そのホースを引き上げながら流し込みを行った(写真7)。

(2) ブーム車よりの落下高さによる分離の防止のため、ブーム車からのホースに打設床で水平横配管を接続して流速を落とす対策をとった。

(3) コールドジョイント防止のため、コンクリートの流し込みは高さ50cm程度として、あらかじめセットしたホースを順次引き上げながらの回し打ちとした。

以上により打設した結果、豆板も無く打ち足し部の不具合もない良好な状態であった。

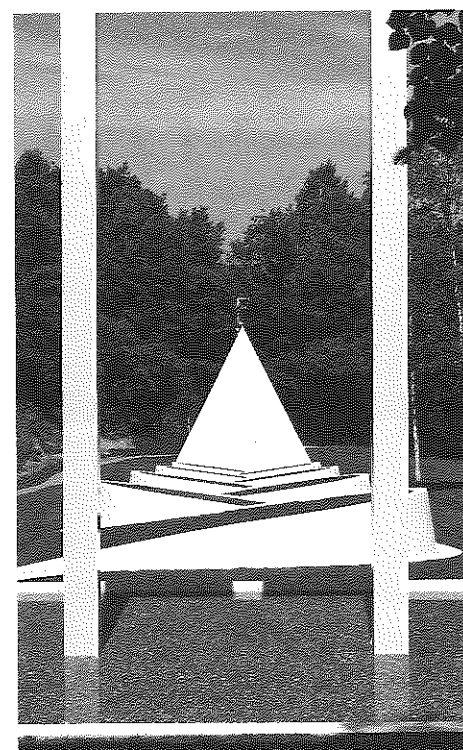


写真10 完成した水路と円錐

7-6. フロー値の実績

先述の調査で打設したが、フロー値の低下が見られず、生コン車は全車ともコンクリートのフロー値が許容値内で納まったので、念のため用意した後添加剤も使わず良好なフロー値で打設できた(表4)。

7-7. 円錐の反転施工

反転するために採用した直吊り移動構台の工法

は、図4に示すように円錐の周辺に架設構台を組み立て、その上部に梁桁を設置し、そこに取り付けた直吊り用の玉掛調整装置(パワーリンクシステム)のチェーンを円錐フレームの四隅に接続してチェーンの昇降操作により回転させるものである。この操作はコンピュータの自動制御で行われ、負荷状態の確認もできる安全性の高い工法である。

反転作業の1日目は、本体を吊り上げてからチェーンの上下により90°(横向き)までの回転を行った(写真8)。回転は見た目ではわからないほどのスピードである。それから、横向きの本体は下部に設置してある軌条桁のチルトタンクの上に載せて、1日目の反転作業を終えた。

2日目は、円錐本体をチルトタンクで元の位置に横移動させて、前日と同じ方法で残りの90°の回

転をさせ、180°の反転が終了した。その後、型枠の脱型を行い、問題のないことを確認した(写真9)。

8. むすび

今回のホワイトコンクリートの作品は、内外より高い評価を受けることができたが、この実現には多くの問題が発生し、その解決に多大なる時間と労力を費やした。しかし、妥協を許さない作家の情熱と、作品の造り込みでのオーリー氏の技術指導力、そして施工に携わった全ての関係者の熱意と協力のお陰で完成できた。誌上を借りて、関係者に対し心より感謝申し上げる。

近着の国内図書

- * コンクリート工学** 1月号(日本コンクリート工学協会)
 (特集/構造物の高性能化を目指す21世紀のコンクリート技術)
- * 基礎工** 1月号(総合土木研究所)
 (特集/21世紀を迎える基礎工)
- * 建設** 1月号(全日本建設技術協会)
 (特集/21世紀の公共事業/新省庁の概要-国土交通省ほか)
- * ZENNAMA** 1月号(全国生コンクリート工業組合連合会・協同組合連合会)
 (建設CALS/ECと生コン産業)
- * 橋梁と基礎** 1月号(建設図書)
 (空き缶を再利用した軽量合成床版橋の開発/PP工法を用いたRC単柱式橋脚の耐震補強設計施工/〔講座〕進化する建設マネジメント⑨ブリッジマネジメント(その1))
- * 土木技術資料** 1月号(土木研究センター)
 (特集/21世紀の新技术)

*** 建材試験情報** 1月号(建材試験センター)
 (新春特集/建築物の性能表示時代来る!)

*** 施工** 1月号(彰国社)
 (特集/建設現場で取り組むゼロエミッション)

*** 土木技術** 1月号(土木技術社)
 (新春紹介/「国土交通省」誕生)

*** 建築技術** 2月号(建築技術)
 (特集/外断熱ってしてる)

*** 建築仕上技術** 1月号(工文社)
 (特集/光触媒技術の建材への応用-建築材料への光触媒の応用ほか/建築仕上材必須 分り易い高分子化学/現場のためのポリマー混入モルタル講座)

*** ダム日本** 1月号(日本ダム協会)
 (滝沢ダムの設計と施工について)

*** 電力土木** 1月号(電力土木技術協会)
 (総説/極低温下におけるコンクリート構造物)

*** 建築雑誌** 1月号(日本建築学会)
 (特集/行く世紀, 来る世紀2)

*** 土木学会誌** 1月号(土木学会)
 (特集/21世紀未来都市の祖型)