3D データを利用した枯山水庭園の施工に関する研究

(精緻な三次元情報活用による新しい石庭設計手法の開発 その2)

三浦彩子 ——— * 1

キーワード:

三次元レーザースキャナー, 庭石, 日本庭園, 設計, 施工

Keywords:

3D scanner, Garden stones, Japanese garden, Design, Construction

DEVELOPMENT OF THE NEW METHOD OF CONSTRUCTING DRY LANDSCAPE ROCK GARDEN BY USING 3D DATA

(Precise measurement of garden stones and the use of 3D data in schematic design, Phase 2)

Ayako MIURA ——— * 1

We have designed a new Zen garden using the three-dimensional data of the garden stones. The site is in the precincts of temple established in 14th century, facility to practice, not for tourism. Exclusive and expensive, constructing traditional Japanese gardens is many people think. We have reduced the construction period nearly by half without much compromise in terms of the pursuit for fine designs. 3D-information accurate enough to describe the surface texture of each stone is very helpful in both stone arrangement and overall layout of the garden. 3D-printed model is also a useful tool to share the idea intuitively among client, builder and designer.

1. はじめに

伝統的な日本庭園の作庭数は減少しつつあり, それに関わる職人技術や知識の継承が危ぶまれている。伝統文化の存続のための手段のひとつとして, これまで職人の勘や経験に基づいてきた技能と, CG, CAD などの現代の情報システムとの融合を図ることが期待される。筆者は, 山梨県塩山市にある, 室町時代に創建された臨済宗寺院の向嶽寺本山において, 方丈前庭の枯山水庭園を設計する機会を得, 新しい設計および施工手法を試みることにした。具体的な手法として, 3D データの活用によって, 伝統的な作庭過程を本質的に大きく変更することなく, 工期の短縮, 手戻りの減少と, 材料の見積精度の向上を図ることを目的とした。汎用 3D スキャナーおよびソフトウェアによる庭石の 3D 測定 (写真 1, 図 1) から, データ処理, 3DCAD への読み込みに至る作業手順や, 3D データによる基本設計手法については, すでに「第 1 報」で報告した^{注 1)}。

(左)写真 1: 3D スキャナーを使って石の表面を測定する様子

(右)図 1: システム図

庭園の施工は, 東日本大震災の影響などによって遅延したが, 2012 年 2 月~4 月にかけて実施設計と現場施工が行われた。その後, 苔や生垣の定着・安定を保つために, 数ヶ月間の養生期間を経て, 2012 年 10 月に公開された。

本研究では, 実施設計, 工事関係者との打合せ, そして実際の施工に至る各過程における 3D データの活用法について実地検証を行った。従来の一般的な日本庭園の工程は, 単純な指図を基に石を仮組みし, 配置する庭石や樹木を想定しながら微調整を繰り返していた。これらの一連の作業は, 最終的には作庭者の美意識に委ねられるため, しばしばやり直され, 工程上のボトルネックとなっていた。予め図面や仕様書が用意され, その情報に基づいて工程管理や施工が進められる一般的な建築工事と異なっており, 不確定な要素が大きく, 費用や時間の発生要因となっていた。

本論文では, 自然石の 3D データを用いた庭石の据え方や, 3D 出力による縮小模型の活用について, 具体的な手法の提案を行うとともに, 作庭作業に対する 3D データによるシミュレーション技術の活用とその効果について報告する。

2. 実施設計

2.1. 計画の概要

今回, 作庭を行った敷地は図 2 の配置図に示すように, 仏殿兼開山堂の北側, 方丈の南側に位置する, 方丈と塀に挟まれた巾 28m 奥行 16m 程の長方形の敷地で, 南側 (塀側) に向かって 1%程度の下り勾配がある。計画

写真 2: 敷地 (平庭, 面積約 450 m²)

¹⁾ 名城大学理工学部建築学科 准教授・博士 (工学)
(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501)

¹⁾ Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Meijo Univ., Dr. Eng.

範囲の北側の境界から南へ約3mの位置に、直線状に既存の石組があるが、今回は特に手を加えていない。図3の断面図に示すように、庭園と仏殿兼開山堂の敷地との間には約70cmの高低差があり、境界には仮設の木堀があったが、作庭前に築地堀が新築された。庭園に対する主要な鑑賞視点としては、庭園に南面した方丈の3室及び縁側からの静的視点場が想定される。加えて、通用門から書院玄関へと至る石畳を歩きながら眺める動的な視点場、あるいは東側にある庫裏の玄関口より出て西方を望む際に鑑賞する視点場などが想定される。

工事前の敷地の状況は写真2のようで、既に整地されて全面に白砂が敷かれており、小ぶりの石が2個仮置きしてある他は、敷地東側端に五葉松が1本植えられるのみであった。寺院の施設を整備する過程で方丈前庭を作庭することとなったが、庭の性格としていわゆる「観光目的」ではなく、創建以来、今日まで禅道場として機能している空間であることが重視された（一般には非公開）。いわゆる禅宗庭園ではあるが、銘石や銘木を配置して仏教の逸話を視覚化するような通俗的な形式ではなく、むしろ近隣の山から産出する自然石を組合せ、抽象的な思索の対象となる様式が設計に求められた。

図2：配置図（縮尺1：700）

図3：断面図（縮尺1：300）

図4：平面図（縮尺1：300）

実施案は、図4の平面図に示すように、13個の石（円柱形に加工した1石を除きすべて自然石）、杉苔で覆われた築山、勅使門側に庭園領域の明確化と西側の景観に対する目隠しとしてキンメツゲを壁状の形態に植えた生垣、一面の白砂からなり、写真3の合成図に示すように、‘その1’でシミュレーション図（図3:配石を三次元モデルで表現したシミュレーションCG）として示した案と最終形態とがほぼ一致している。形状そのものは、比較的単純であるが、使用する石には1基8tを超えるものもあり、築山の容量も大きく、庭園工事としては比較的大規模である。今回の作庭にあたっては、伝統的日本庭園や庭石の取扱いに関して専門的知識を有している地元の専門業者が選定され、石の向きや、それぞれの石の持つ表情の生かし方などについて、貴重な助言を得ることができた。

2.2. 石の据え付け

3Dデータを活用することによって、従来の絵図や抽象的な設計概念を記したエスキスに代わって、設計意図を施主・施工者・設計者の三者が共有することが可能となった。また、素材となる庭石などの自然材料について、あらかじめ形状寸法や重量をより正確に把握することが可能となり、運搬、設置といった作業を円滑に実施することができた。特に、今回のような石を主体とした造園では、石の選定、仮組みによる検討、現地での調整などに多くの労力が割かれることになるが、模型や3DCADなどを活用することによって、意思疎通や完成イメージの共有などにも効果が認められた^{注2)}。

2.3. 築山の形状

築山は、地元の山で採取した赤土で構成し杉苔で覆った。左右に大きな2山、石の足元に2箇所山の山があり、土量は約20m³、表面積は約90m²という規模である。一般的な日本庭園では、自然の山の稜線を模した例が多いが、今回の築山の輪郭は円弧を組み合わせたもので、一定の斜面角があり頂部は平らである。そこに自然石を加えてその一部を露出させたが、通常の図面のみでは把握しにくいイメージも、後述する石を埋め込んだ築山模型によって具体的に把握でき、設計者、施主、施工業者の意思疎通がより確実なものとなった。

2.4. 材料の数量見積

使用する石の重量は、測定した3Dデータによって得られた体積に比重を乗じて算出した。その他、築山に使用する客土の土量、苔を貼る表面積などの設計データも、3DCADデータにより算出した。各材料の正確な数量を算出することによって、クレーンなどの施工機械の選定をより的確に行うことが可能となった。今回の作庭では、比較的大きな石を上下に重ねた造形を採用し、上に載る石で片持ち梁を構成して、築山の上部に張り出させた（安全のためにステンレス鋼棒を挿入したが、計算上は安定している）。このような意匠を採用する場合、3Dデータを用いることによって、重心の位置や片持部の長さをより厳密に調整することができ、後述する3D出力を用いた樹脂模型を併用することによって、不定形で凹凸のある石の組み合わせにも対応できる。

2.5. 全体工程

図5の工程表に示すとおり、2012年3月中旬に重機用搬入路の整備を開始し、既存砂利・庭石の一次撤去、既存樹木の移動、築山位置・形状の測り出し、庭石搬入・据付、築山形成と地被類工事、新しい砂利の補充・砂紋整備、生垣植付を順次進め、庭園本体については4週間弱の工期で4月初旬に竣工した。その後、苔や生垣の養

写真3: 3DCADと実像の合成図

写真4: 測定対象の自然石

石置場にある検討対象の石（地盤面からの高さ約1.6m、重量約1.07t）

図6: シェーディング処理したメッシュデータ

測定データに基づいて作成した3Dメッシュデータで、全体を三分割して測定し、データ上で結合した。

写真5: 立体模型

粉末造形により出力した立体模型（縮尺1:20）。立体模型の活用によって、設計段階での具体的な検討が容易になった。

図 5: 作庭の工程 (2012 年 2 月 - 4 月)

生などを経て、2012 年 10 月に完成披露が行われた。庭園本体の工期を 4 週間弱に短縮できた要因は、CG や CAD などの情報システム技術を活用することによって、庭石の据付を短期間に終了できたことが大きく寄与している^{注 3)}。

3. 3D データの現場への適用

3.1. 図面への適用

現代の建築設計は、対象物を縮尺図面として表すことによって成立している。しかし、庭園の設計は、視覚的に得られる物体の形状だけではなく、周囲の建築物や自然環境との調和、歴史的背景、宗教的な思想背景などといった抽象的な概念を考慮して成立するものである。しかし、従来の認識方法はそれぞれの立場での概念のみにとどまっていたため、施主、設計者、施工者の三者が、作庭のあり方について吟味し、三者の間で共通した認識を育むことは困難であった。

今回の作庭にあたっては、基本設計の段階で、作庭で使用する石材の 3D スキャニングを実施した（写真 4 測定対象の自然石）。多くの石は、その一部が土に埋まった状態や、他の石に挟まれていることが多く、意匠的に現して使う部分については重機を使って立て起こして測定の準備を行った。次に、測定データを処理し、3D 図面

ファイルに変換した(図 6 シェーディング処理したメッシュデータ)。実施設計の段階では、個々の測定データを用いて、図 7 の 3D-CAD 図に見られるように、石組みの詳細、築山との位置関係の検討を行った。測定した自然石に加えて築地塀や築山などの要素を合成し配置することで、全体構想から詳細にいたる検討を、正確かつ充分に行うことができた。特に、選択した石をどのようにして据えるかは、作庭の重要な表現内容であり、実際の大きな石を眼前にして、それを据えた様子を正確に想像するのは容易ではないが、図 8 の 3D メッシュ図に見られるように、埋め込みの角度や深さについて、画面上でさまざまな方向から瞬間的に確認することが可能となった。

今回は、3D データや 3D 出力された模型を用いることによって、より客観的な情報を共有し、現場における石の選定や据え付け作業を円滑に進めただけではなく、作庭という創作活動のツールとしても有効に機能した。3D データや 3D 出力された模型は、恣意的な操作を経ない客観情報であるため、単に現場での石の据え直しを避け経費を節約する経済的効率性に貢献するだけでなく、作庭の創造的構築を助ける道具となった。

3.2. 模型の活用

3D スキャニングによって得られた 3D モデルに基づき、正確な縮小模型を作成することによって、より具体的な検討を実施すること

が可能となった。今回は、通常の模型（縮尺 1：50）に加えて、3D プリンターを利用した模型（縮尺 1：20 による石の模型）を製作し、配置計画、据え方、築山との関係性の検討などに活用した（写真 5, 6）。

今回使用した 3D プリンターは、樹脂粉末（白色不透明ナイロン系、DURAFORM™ PA）をレーザーの熱で焼き固めていく方式^{注 4)}で、従来から用いられていた溶かした樹脂を紫外線で硬化させながら積層させる方法に対して、層状模様が比較的目立たず、仕上がり質感も石に近くなるという特徴がある。また、写真 7 のように、完成した模型を重ねて石の組み合わせの検討をした後、切り欠いて使用する場合も想定して、後の加工が容易にできるように中空^{注 5)}を選択した。

この模型を用いた施工前の最終確認では、写真 8 の施工中の築山と 3D 模型（手前）のように、スチレンボードで製作した築山の模型を工事現場で切り欠いて、3D 出力した石を埋め込み、施工者との打合せに使用した。実際に手に取ることのできる模型により、感覚的な検討がし易くなり、確実な意思疎通が可能となった。

図 7： 3D-CAD 図

図 8： 3D データを用いた据え方の検討

4. 結論

本研究では、枯山水庭園の実施設計、工事業者との打合せ、そして実際の作庭に至る各過程において、3D データを活用する手法について報告した。3D データの導入は、個々の石の据え方の微細な検討に加え、3D 出力を利用した縮小模型と併用することにより、現場での具体的な検討を行うためのツールとして有用性が高いが、本研究

による成果を 4.1. および 4.2. に、今後の展開を 4.3. に記述する。

4.1. コスト

石組を主体とした作庭作業では、石を搬入するためのトラックや、据付に欠かせないクレーンといった施工機械のレンタル料などのコストを低減することは、さまざまなメリットがある。今回の作庭のように、数値化されたデータを活用することによって、事前に石の据え方（向き、深さ、石同士の位置関係）を決めることが可能となり、工期の短縮に貢献した。施主と施工業者、設計者が設計意図を共有することによって、作庭作業のスムーズな進行に寄与し、結果的にコストダウンにつながったと考える。

今回の 3D 測定に要した人工は、下記の示す通りである。

- 1) 測定（石置場にある 12 個の自然石をスキャンして 3D データ化する作業）：3 人×2 日
- 2) データ処理（スキャンデータの欠損部分の穴埋め、エラーの修正を行い、複数のスキャンデータを結合し 1 つのオブジェクトを生成する作業）：1 人×3 日
- 3) 3D 出力：3D データ（加工石 1 個を加え、全 13 種類をそれぞれ 2 個、合計 26 個を、1：20 に縮小）に基づき模型を出力する作業（外注）：4 日

一連の作業を実施するためには 1 週間程度を要するが、これによって得られた成果は上記のコストダウン効果を含めても意義があると考えられる。

4.2. 意匠

今回用いた手法は、作庭の意匠設計における思想的部分、美的部分の検証にも大いに扶助するものであった。庭園に使用する銘石や銘木は、一般に高価で、価値判断が難しい。また、石の持つ表情をよく観察し、最適な据え方を導き出すことは、特に日本庭園の場合は重要であり、複数の石を組み合わせるための手段として 3D データ及び 3D 模型の有効性が認められた。

日本庭園の造形は、複数の石を組み合わせることで成立するが、不定形の石を無駄なく組み合わせ、より魅力的な景観を演出するための手段として、イメージを具現化した 3D 出力による模型は、有効であった。

4.3. 今後の展開

3D データや 3D 出力を利用した縮小模型は、恣意的な操作を経ない情報であり、単に現場での石の据え直しを避け経費を節約する、経済的効率性に貢献するだけではなく、作庭の創造的構築を助ける道具となりえる。3D データの導入は、庭園の設計段階において、石の特徴を把握し、さらにコンピュータ内で景観シミュレーションを繰り返すことによって、設計の検討に役立てることが可能となる。また、施工段階では施主や施工者に対して、より直感的な理解をもたらす、庭園に対する具体的な考え方を共有できるというメリットがある。その結果、施主・設計者・施工者が同じ立場で参画できる環境が提供できる。従来の作庭作業は、人間の感性や職人の感覚に依存する面が大きかったが、こうした経験的知恵や、職人の励みなどを実現しながら、現代の生産システムとの親和性を確保していくことが、今後の課題である。

謝辞

最後に、新しい作庭方法の開発に際し、多大な御協力を頂いた塩山向嶽寺、川村造園及び関係各位に心から謝意を表します。

写真6： 粉末造形した庭石の模型

13種類の3Dメッシュデータを、20分の1の縮尺で出力した。模型の実寸は、最長辺約4.5～17cmである。

写真7： 模型による石組の検討

出力した複数の模型を使って、石を隣接させたり直接重ねたりする石組の検討が容易となった。

写真8： 施工中の築山と3D模型（手前）

注

- 注1) 具体的な機材や手法については、前稿「3D データ導入による作庭方法の構築 その1」（参考文献1）で述べた。カナダ CREAFORM 社セルフポジショニング携帯型3次元レーザースキャナー・REVSCANを選択した。小型軽量（機内持ち込み手荷物サイズのスーツケースに収まる程度）であり、基準点を示すための外部装置を必要としない。手で保持し、対象から約30cmの距離（被写界深度）を保ちながら、撫でるようにして測定し、石の特徴を把握するのに充分な解像度が得られる。スキャナーの主な仕様：重量980グラム、寸法160x260x210mm、分解能0.1mm、精度最大80μm、被写界深度30cm。
- 注2) 禅庭の作庭においては、材料の種類・量・配置といった通常の建設工事で基本となる情報に加えて、その背景にある禅思想を共有しなければならない。施主→設計者→施工者と指示が一方的に下される建築工事とは、着想から工事完成までの意思決定の様相が異なる。
- 注3) 今回は13石を搬入・据付するのに、5日間を想定し重機等を手配し、実際はほぼその通り遂行できた。参考文献2の造園工事工程表によれば、一般的な景石据付作業は3週間程度とされるため、従来の工事期間と比較すると、かなり短期間に完了したと言える。
- 注4) 実際の設計業務は長期間に及ぶことを想定しており、数年間は大きな劣化なく使用したい。製作委託による最新型の装置による粉末造形方式は、樹脂の粉末をレーザーで焼き固め積層していくことで立体を形成する方法である。物質的な安定性が比較的高く、質感が石に近いところが好ましいため、今回選択した。
- 注5) 3D プリントの料金は、造形時間（機械の作動時間）に比例する。作動時間は、外形ではなく、固化する箇所の体積に比例する。今回使用した機械では、50x50x50cm範囲内での出力が可能。ソリッドを造形すると、内部全ての箇所にレーザーを当てて樹脂の固化を行うため、膨大な作動時間となるが、強度を確保できる厚さ3mmで中空に出力することで、コストダウンできる。中空化に伴い、模型1個当たり直径約15mmの穴x2が発生するため、その箇所の正確な凹凸表現はできない。

参考文献

- 1) 三浦彩子，小嶋優介：3D データ導入による作庭方法の構築（その1. 精緻な三次元情報活用による新しい石庭設計手法の開発），日本建築学会技術報告集第38号，pp. 371-374，2012. 2
- 2) 斎藤勝雄：庭工事段取と労務，斎藤勝雄作庭技法集成第4巻，河出書房新社，p. 75，1978

写真9： 完成した庭（2012年4月撮影）

[2013年6月11日原稿受理 2013年8月12日採用決定]