

屋外用レーザーレンジファインダによる 遺跡のリアルタイム3D デジタル計測

— 島根県大社町出雲大社境内遺跡での事例 —

塚本敏夫 (財団法人 元興寺文化財研究所)

佐藤宏介 (大阪大学)

景山真二、石原 聡 (大社町教育委員会)

松尾充晶 (島根県教育庁文化財課)

松田重雄、那須 豊 (リーグルジャパン株式会社)

多湖真市 (株式会社守谷商会)

概 要

考古学では遺跡、遺物の持っている情報を最大限に引きだし、その資料的価値を残すことが重要である。しかし、膨大な発掘量を抱え、十分な情報を記録でいないのが現状である。したがって、発掘作業において短時間で正確なデータを取れる計測システムを開発することが急務である。

本報告では近年、目覚しく進歩した屋外用レーザーレンジファインダを用いた新しい遺跡計測システムを提案する。その中で特に、実際の発掘現場でレーザーレンジファインダを試みた事例を中心に紹介する。

Real time 3D digital measure of ruins by a business open-air laser range finder

Toshio Tsukamoto (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

Kosuke Sato (Osaka University)

Shinji Kageyama , Satoshi Ishihara (Taisha Town Board of Education)

Mitsuaki Matsuo (Shimane Prefecture Board of Education)

Shigeo Matsuda , Yutaka Nasu (Riegl Japan LTD)

Shinichi Tako (Moritani&CO.LTD)

It is important to draw the information which ruins, a relic have in archeology at its maximum and to leave the value of data. But, a vast quantity of excavation is held, and it is the present condition enough information not to be in records. Therefore, it is an urgent business accurate data in a short time concerning excavation work to develop an obtaining measure system.

New ruins measure systems using the business open-air laser range finder are proposed in this report recent years.

1. はじめに

文化財は人類の過去の足跡を現代から未来に伝える重要な情報資料であるとともに、その遺産を継承した人類共通の財産である。我々には文化財を残し、後世へ伝える義務と責任がある。

現在、わが国では年間1万件を越す発掘調査が行われており、膨大な発掘量を抱え、十分な調査ができないまま破壊され、なくなってしまう遺跡も少なくない。また、発掘調査によって出土した遺物は劣化しやすく、膨大な出土量を抱え、その記録・整理・保管・所存処理に迅速な対応をとることは難しく、経時変化とともに資料的価値を失っていくものが多い。

一方で、手作業による遺構図や遺物図面の作成や遺物接合・整理作業などの非効率な発掘調査や遺物整理の改善が指摘されており、かかり過ぎる発掘・整理作業の時間短縮や費用の抑制が社会的な問題になっている。

埋蔵文化財は資料的な価値を失わないうちに一刻も早く資料化、保存することが大きな課題である。したがって、膨大な埋蔵文化財を効率的で正確に資料化するために、新しいデジタル記録技術を開発し、普及させることが急務であると考えられる。

現在、遺跡の記録は平板測量等から航空測量に置き換わりつつあり、計測データのデジタル化や三次元的な立体復元の研究が行われ始めているが、まだまだ費用がかかりすぎるため、ほとんど手作業による遺構図の作成と写真による二次元的なデータ記録が主であるのが実状だ。しかし、近年、従来室内でしか使用できなかった赤外線レーザーを用いた三次元形状計測機（以下レーザーレンジファインダ）が屋外でも使用可能な状況となっており¹⁾、一部地形測量に利用されるようになった。著者らは長年出土遺物の保存の立場から三次元形状計測装置を使った文化財の3Dデジタルアーカイブを進める傍ら遺跡計測の先行研究を進めてきた^{2) 3) 4)}。昨年、今年と、島根県大社町出雲大社境内遺跡の御柱の遺構計測に屋外用三次元形状計測装置を利用した先行実験を行い、遺構計測にレーザーレンジファインダが非常に有効であることを確認できた⁵⁾。

本報告では近年、目覚しく進歩した屋外用レーザーレンジファインダを用いた新しい遺跡計測システムを提案することを目的とする。その中で重要な要素であるレーザーレンジファインダの遺構計測への試みを大型の石造物の計測や実際の発掘現場での実施事例を中心に紹介する。

2. 屋外用レーザーレンジファインダの大型石造物への試み

リアルタイム遺構計測システムの開発に先行して屋外用レーザーレンジファインダを大型石造物への適用試験を行った。

2-1. 巨大横穴式石室での実施例

(1) 計測対象遺構

熊本県竜北町に所在する大野窟古墳は6世紀後半に築造された古墳で現存径約3.9m、高さ11.5mの規模の円墳とされている。巨大な横穴式石室が墳丘の西南部に開口している。石室は阿蘇凝灰岩の切石で構築され、全長12.4m、玄室は長さ5.23m、幅2.9m、高さ6.48mで奥壁と側壁に巨石を据え、その上に大ぶりの切石を順次持ち送って頂上を一石で押さえている。奥壁には石棚を備えている。前室は長さ2.3m、幅2.16m、高さ1.92mで、巨石で囲われている。この横穴式石室は九州最大規模で、全国でも有数の巨石墳である。

(2) 計測の目的

玄室は非常に巨大であり、崩落が激しく正確な実測を行うことは現状では非常に危険を伴う。今回の目視確認においてもライトの設置位置（玄室左側壁腰石上）から右側壁の写真撮影は行えなかった。また、石室の崩壊状態については 2 次元的な写真やビデオ撮影では定量的に把握することが困難である。

そこで、非接触式のレーザーレンジファインダを用いた3D形状データ計測を行った。

(3) 計測器

計測装置： LPM-2 5HA（リーグル社製）

(4) 計測方法

玄室を前後 2 分割で計測した。

(5) 計測結果

側壁の中段付近が崩落している状態がよくわかる。

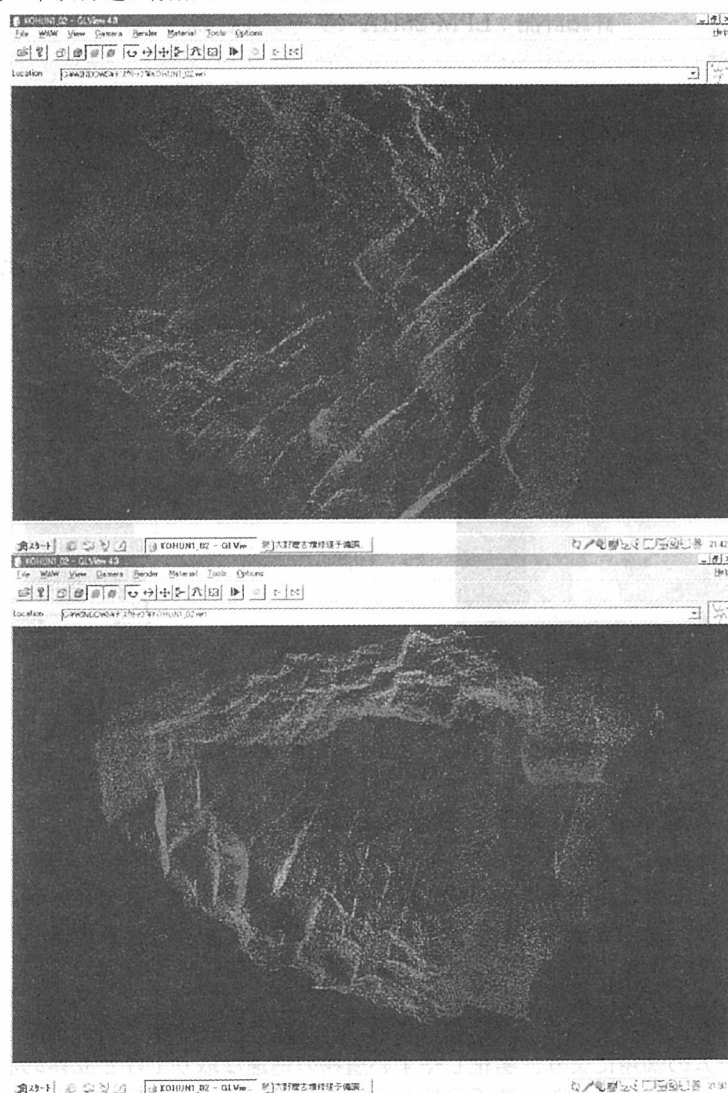


図-1 3D デジタル計測による玄室（上：右側壁、下：左側壁）

2-2 摩崖仏（大型石造物）での実施例

(1) 計測対象

香川県大川町富田に所在する西教寺奥の院摩崖仏は凝灰岩の岩盤に鎌倉時代初頭に彫られた薬師如来像である。現在まで正確な寸法は測られていないが推定で高さ5 m程度の規模とされている。下半身に当たる部分は岩盤が剥落してわからなくなっている。

(2) 計測の目的

摩崖物は非常に巨大であり、今まで正確な実測を行なったことがなく、崩落が激しく現状では非常に危険な状態である。そこで、非接触式のレーザーレンジファインダを用いた3D形状データ計測を行った。

(3) 計測器

計測装置 : 輪郭計測 : LMS-Z210 (リーグル社製)

詳細計測 : LPM-25HA (リーグル社製)

(4) 計測方法

摩崖仏が大型で傾斜地にあるため岩盤全体の輪郭計測を粗取り用の計測器で全方位から4分割で計測し、薬師如来像を刻んだ面のみ細密用の計測器で2方向から計測した。

(5) 計測結果

計測の結果、薬師如来像が鮮明に計測でき、不明であった全長や顔の寸方が確認できた。



写真-1 摩崖仏の3Dデジタル計測風景

LPM-25HA

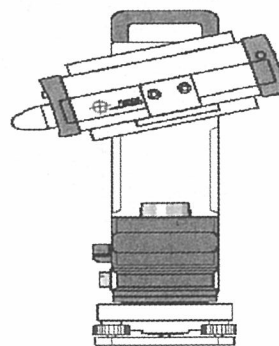


図-2 詳細計測用レンジファインダ

3. リアルタイム遺構計測システムの提唱と概要

(1) 開発目的

現在の遺跡発掘作業では発掘作業が完成した場合のみ、遺跡全体の図化に写真測量を用いているケースはあるが、発掘の途中で写真測量を行なうことはほとんどないのが実状である。また、発掘途中の遺構図や発掘した遺物の出土状況図は手測りで行なわれており、

特に、重層的に出土する遺物群を各層序毎にリアルタイムで3次元デジタル計測し、計測時にデータをチェックし、計測後直ぐに遺物を取り上げ、下層の発掘作業に進める高速発掘が可能となる。このシステムの適用により、劣化しやすい遺物の迅速な取り上げと立体的な出土状況のデータ取得ができる。また、発掘後に時系列的な発掘状況の可視化、層序的な出土状況の再現や可視化が容易に行うことができ、取得データの有効的活用がはかられる。

(2) 遺構計測システムの概要

① 遺構のフレーム点群の設定

計測する遺構に基準となる粗い基準点を設定し、トータルステーションにより基準点群を計測する。

② 遺跡の粗いデジタル計測（全体輪郭計測）

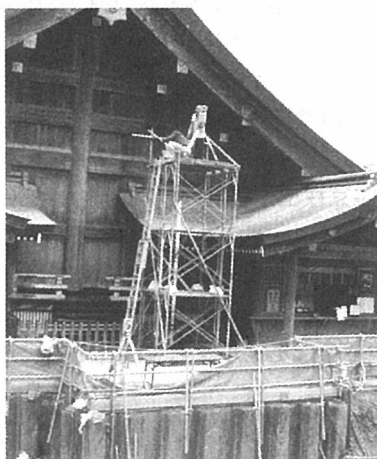
全体計測用レーザーレンジファインダーにより基準点群を3点以上含む遺構面全体の計測する。

③ 出土状況のリアルタイムデジタル計測

計測視野内に基準点を3点以上設定し、出土状況の詳細なデータを高細精レーザーレンジファインダーでデジタル計測を行う（遺構面積、計測精度により分割計測を行う）。その場で計測データを確認し、発掘状況に応じてリアルタイムでレイヤー毎にデジタル計測を繰り返す。

④ データ合成

計測したデータをDXFデータに変換し、CAD 写真-2 出雲大社境内遺跡の計測風景
上で精度の違うデータを絶対座標系に変換し、合成する。



4. 出雲大社境内遺跡でのリアルタイム遺構計測試験

(1) 計測対象遺跡

島根県大社町出雲大社境内遺跡は出雲大社の宮司である出雲国造千家家に残された古代出雲大社が高層神殿であったことを示す柱の図面が記された『金輪御造営差図』と同じ仕組みの巨大な柱が出たことで話題を集めた遺跡です。柱は3本を一組とし、直径3mにもなり、発掘された日本最大の柱である。平成12年度に調査区の3箇所の柱の確認と宇豆柱の調査が、平成13年度には心御柱の調査が行われた。この出雲大社境内遺跡を計測対象とした。

(2) レーザーレンジファインダーの選定

レーザーレンジファインダーには全体計測用と詳細計測用の二種類の計測器を使用した。

●全体計測用レンジファインダー

- ① 計測スピード②視野範囲(2~350m)
- ③操作性(可搬性)④計測精度(2.5cm)
- ⑤カラー画像同時の取得からリーグル社製LMS-Z210を選定した。

●詳細計測用レンジファインダー

- ① 計測スピード②視野範囲(2~20m)
- ③操作性(可搬性)④計測精度(8mm)
- からリーグル社製LPM-25HAからを選定した。

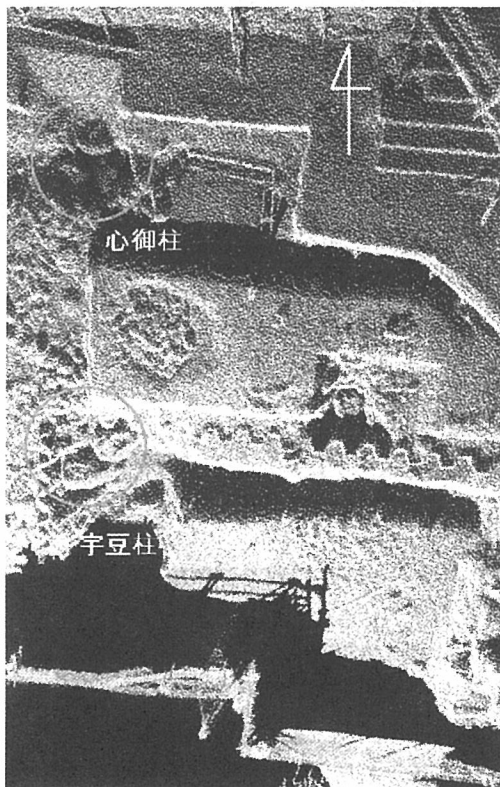


図-3 出雲大社境内遺跡の距離画像

(3) 出土状況の遺構計測試験 (H12 年度)

① 遺跡全体のデジタル計測

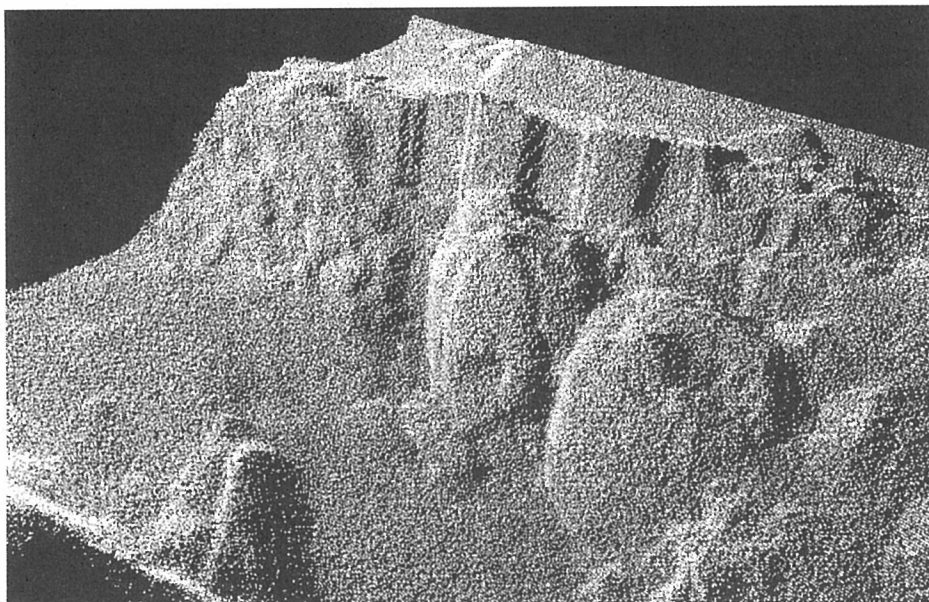
全体計測用レーザーレンジファインダによる遺構の全体計測を行った。

櫓上からの遺構全体の計測と 4 方向からの分割計測を行った。その際、視野内に基準点を 3 点以上設定し、基準点の世界座標をトータルステーションで計測した。

② 宇豆柱出土状況の詳細計測

全体計測用レーザーレンジファインダで計測範囲を絞って分割計測を行った（当時まだ詳細計測用の計測器がリリースされていなかった）。その際、視野内に基準点を 3 点以上設定し、トータルステーションで計測した。

尚、宇豆柱はミノルタ製 VIVID700 での詳細計測も同時に行った。



図ー4 宇豆柱の出土状況の距離画像

③ 計測結果

計測試験の結果、野外での遺跡計測にもレーザーレンジファインダが有効であることが確認できた。

(4) リアルタイム遺構計測試験 (H13 年度)

① 計測スケジュール

計測は●調査開始直後（裏込め石最上面）●調査中（裏込め石の撤去途中）、●心御柱抜き取り時の計三回を時系列的に行なった。

② 調査開始直後（裏込め石最上面）の詳細計測

詳細計測用 LPM-25HA で計測範囲を絞って分割計測を行った（今回は調査区内の矢板の転倒防止のため H 鋼の梁による補強が行なわれたため、北側からは計測できなかった）。その際、視野内に基準点を 3 点以上設定し、トータルステーションで計測した

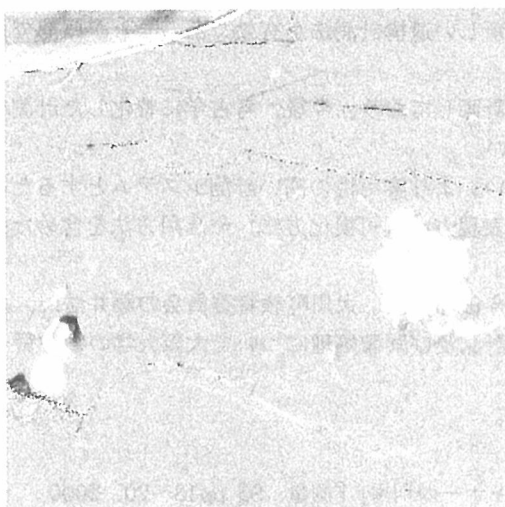
③ 調査中（裏込め石の撤去途中）のリアルタイム遺構計測

裏込め石の撤去途中の取り外し作業をリアルタイムでデジタル計測を行った。

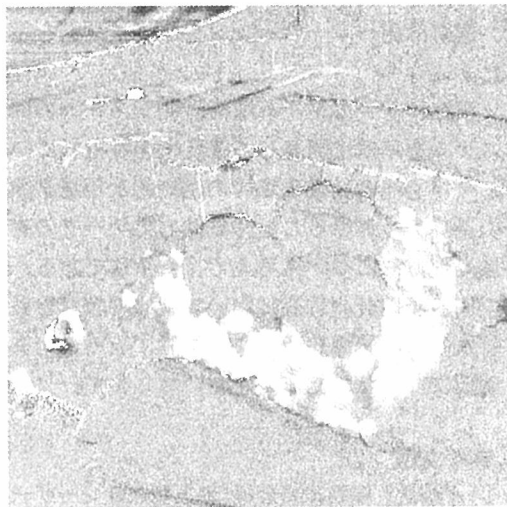
今回は計測スピードを重視してリアルタイム計測には LMS-Z210HA を使用した。

計測は取り上げ前と調査区の石を 1 / 3 取り上げた段階、全て取り上げた段階の 3 回連続的に行なった。

〔効果〕 通常の発掘作業では石を 1 面取り除く毎に、下の石の図面を作成する。リアルタイム遺構計測が導入された場合、この作業が飛躍的に短縮化できる。また、取り上げ途中の段階的な図面も作成可能であり、差分を測ることにより、石の Z 方向の深さ（埋め込まれていた深さが読み取れる）。



図一5 距離画像の差分表示
(石を 1 / 3 取り上げた段階)



図一6 距離画像の差分表示
(石を全て取り上げた段階)

④ 心御柱抜き取り時のリアルタイム遺構計測

心御柱の取り上げ作業をリアルタイムでデジタル計測を行った。

今回は精度を重視してリアルタイム計測には LPM-25HA を使用した。

計測は取り上げ前と柱を 1 本取り上げる毎に 3 回連続的に行なった。

〔効果〕 通常の発掘作業では柱を 1 面取り除く毎に、図面を作成する。リアルタイム遺構計測が導入された場合、この作業が飛躍的に短縮化できる。

（４） リアルタイム遺構計測の今後の課題

ハード面

- ① 計測器：レーザーレンジファインダについてはリアルタイム計測を行うには高精細用の高速化や RGB 対応が標準で望まれる。また、普及化のため大幅なコストダウンが望まれる。
- ② システム：考古学に特化した計測システムの開発が望まれる。

ソフト面

- ① データ合成：今回は反射テープによる特徴点の落とし込みと後処理での手作業による合成を行なったが今後はその場で自動合成する方法が望まれる。
- ② 野帳機能：遺物包含層では遺物の個体識別が必要であり、3D データとの対応付けが必要となる。取得したテックチャにペン入力で書き込む機能を追加したい。
- ③ データ送信：取得したデータをリアルタイムで遠隔地に送信し、データの確認を行ないたい（オープンな発掘データ）。そのための大容量データ送信が望まれる。
- ④ 可視化：現在の図面替わる考古学に特化した表現方法やインターネットなどでの公開方法が望まれる。

4. おわりに

遺跡計測ヘレーザレンジファインダを用いた新しい遺構計測法が有効であることが確認できた。

現在、リアルタイム遺構計測システムの開発を計画しており、今後、考古学に特化した計測システムを早期に開発して普及化を目指していきたい。

今年も他の発掘現場での継続的な現場試験を行い、より実用性の高い計測システムとするための基礎データ得ることや計測したデータの有効な表現方法（可視化方法）や活用方法を含めた画像処理方法について考えて行く予定である。

尚、現地計測調査において竜北町教育委員会の今田郁代氏、大川町教育委員会の藤井浩氏、大谷女子大の藤澤典彦氏にお世話になった。また、計測及び画像処理について大阪大学の多井賢一朗氏になった。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 『測量』編集委員会編「地上型 3D レーザースキャナーの利用」『測量 9』pp13～20, 2000
- 2) 塚本敏夫「三次元形状計測による文化財のデータ保存システム構築と応用（4）レンジファインダを用いた新しい遺構計測システムの試み」『日本文化財科学会第 15 回大会 研究発表要旨集』pp222-223, 1998
- 3) 塚本敏夫「三次元形状計測による文化財のデータ保存システム構築と応用（5）レンジファインダを用いたリアルタイム遺構計測の試み」『日本文化財科学会第 16 回大会 研究発表要旨集』pp194-197, 1999
- 4) 塚本敏夫「コンピュータを使った文化財の記録」『保存科学の今そして未来』pp76-90, 1999
- 5) 塚本敏夫, 佐藤宏介他「屋外用レーザレンジファインダによる遺跡の高速三次元デジタル計測」『日本文化財科学会第 18 回大会 研究発表要旨集』pp230-231, 2001