

西田橋の移設復元におけるデジタル情報の活用

Utilization of Digital Information on Nishida Bridge relocation and restoration

西村 正三 **

関 晃 ***

長谷場 良二 ****

吉原 進 *****

By NISHIMURA Syozo

SEKI Akira

HASEBA Ryozi

YOSIHARA Susumu

鹿児島県指定文化財である石造アーチ橋・西田橋の移設復元事業に際し、設計施工及び維持管理における情報の一元化という観点等から、情報をデジタル化し、種々な活用を試みた。ここでは、①西田橋及び西田橋御門の復元設計における活用、②石橋復元の施工管理における活用の可能性、③情報の一元管理の観点からの紹介システム、石材管理システムの構築、さらには、④資料館展示におけるCGアニメ制作等への活用、⑤工事報告書のための支援システム等について報告する。

1 はじめに

昨今文化財の調査・研究におけるデジタル情報の活用は、デジタルアーカイブ構想を含め多く報告されている。筆者が当該事業に参画した平成6年の段階において、その利用に対する理解度は低く、また一元管理するといった活用は図られていなかった。如何にすれば種々の調査で得られる膨大な画像情報や多様な図面情報の一元管理を効率良く行えるかを念頭に、デジタル情報の利活用モデル-いわばGISモデルを企画し、それに従い種々のシステムを構築した。その結果コンピュータのハード、ソ

フトの進展にも後押しされ、ほぼ初期の構想に沿ったデジタル情報の利活用を図ることができたと考え報告する。¹⁾

2 システムの全体構成

システムは、写真測量・座標管理・写真管理 及び3次元可視化システム等から構成されている。図-2にシステムの構成図をまた、図-3に各施工段階ごとのデジタル情報の流れとその成果を示す。

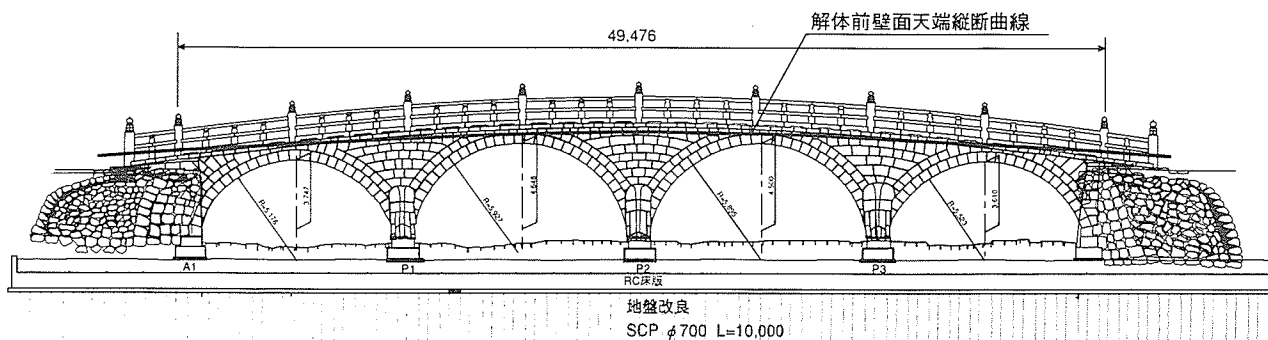


図-1 西田橋の復元図（側面図）

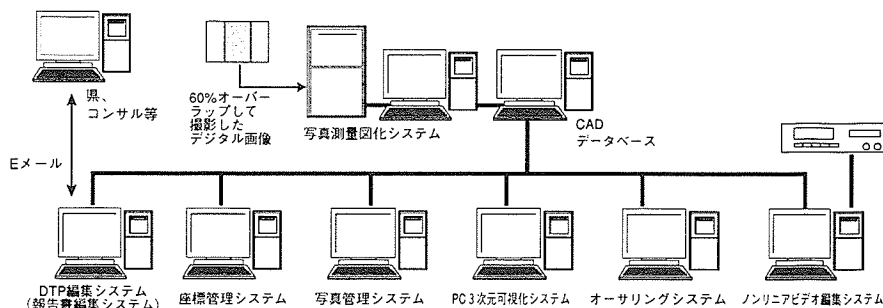


図-2 システムの全体構成

* Keywords: 石造アーチ橋、西田橋、移設復元、デジタル情報、GIS

** (株) 計測リサーチコンサルタント 技術士、1級建築士 (〒732-0029 広島市東区福田 1-665-1)

*** 正会員 (株) 協和コンサルタンツ **** 正会員 鹿児島県土木部道路建設課

***** 正会員 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 (西田橋解体復元調査委員会委員長)

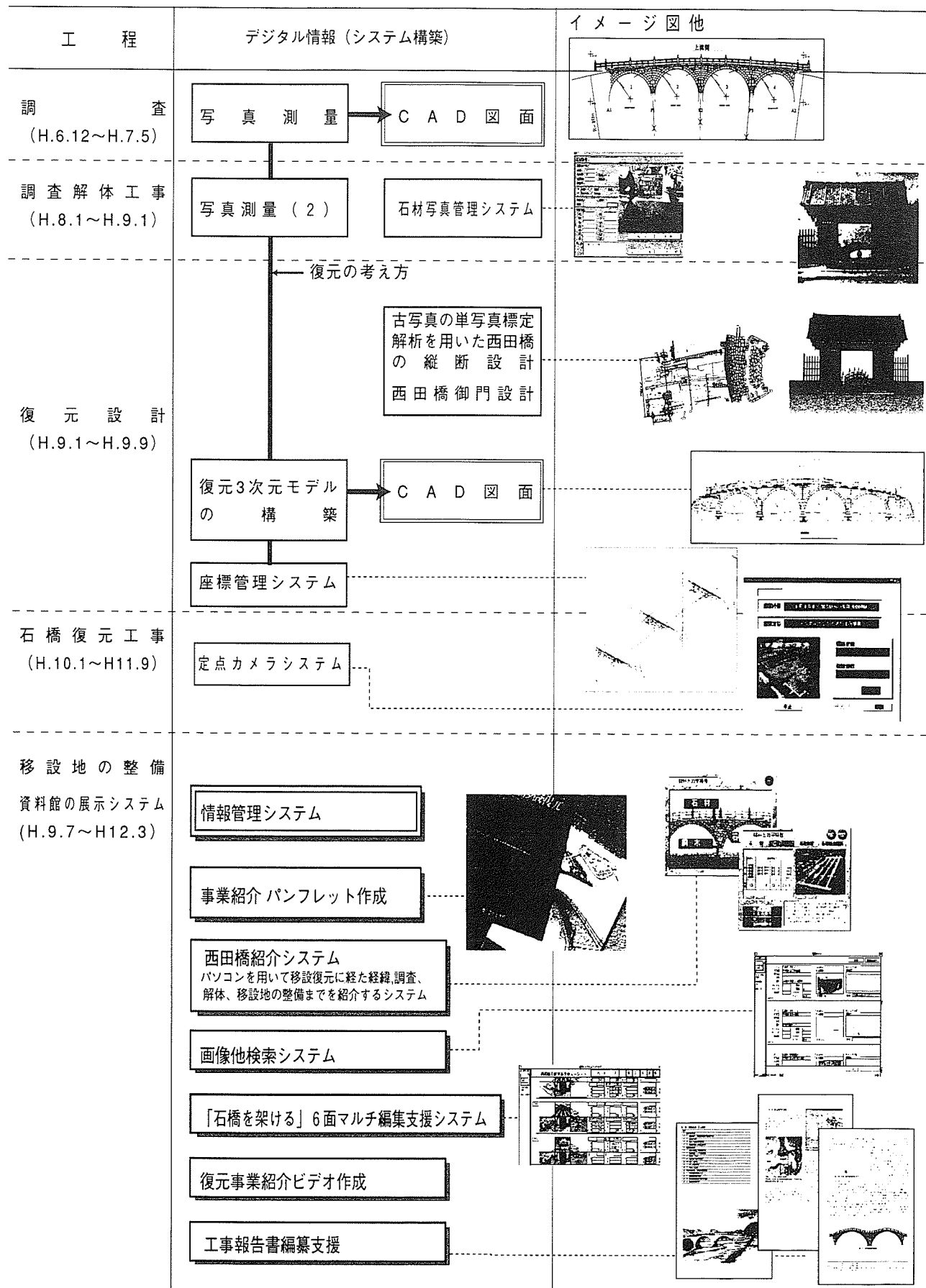


図-3 各施工段階ごとのデジタル情報の流れとその成果一覧

3. 復元設計における活用（古写真の単写真標定解析）

西田橋は歴史的建造物として、その当時の技術レベルや財政事情、さらには構造的、美的意図が最もよく現われた創建時の姿を基本として復元することにした。図-1の側面図に「現況縦断」として太線を記入しているが、これは解体前の橋面縦断曲線を示しており、復元では、明治の縦断改修前の姿として、古い写真の単写真解析結果や現場痕跡の検証から半径 88 間(160 m)の円弧に戻すこととした。また、西田橋御門についても、橋の性格を表す重要な施設として、併せて復元的に整備することとした。



写真-1 解析作業状況（左：写真/右CAD）

3.1 単写真解析

単写真標定とは座標値の判明している基準点を用いて、撮影されたカメラの位置と傾きを求め、対象箇所の座標を算定する技術である。デジタル化した各古写真をシステム上に読み込み、基準点の座標設定を行い、単写真解析を行う。なお本システムではマルチウインドウを用いて左のディスプレイには各古写真を表示し、算定する箇所にかマウスを移動させるのみで、右側ディスプレイ上に事前に作成した仮のCAD図の上に解析結果を重ね容易に確認ができるものとした。（写真-1）

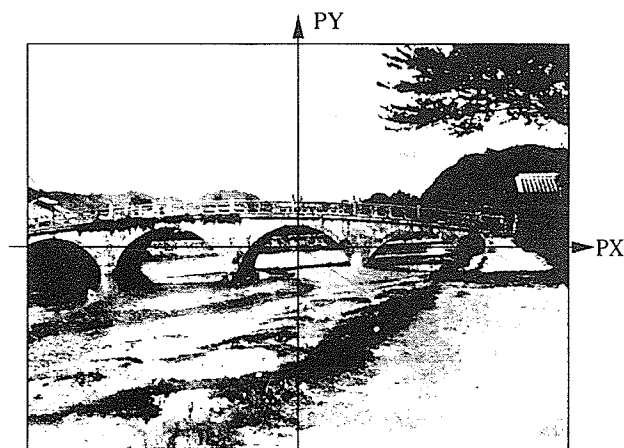


写真-2 明治5年ごろの西田橋下流側（鹿児島市史 大正5年刊）

3.2 西田橋の縦断設計²⁾

明治5年に撮影された写真-2を用いて、単写真標定により、その縦断線形を概略算定した。標定する際の基準となる点としては、解体時とも変化してないと考えられる下流側の水切りやアーチ石の計6点がこの写真から読み取れる。この6点を用いて当時の縦断線形を推定したものである。尚1枚の単写真のみでは、対象の3次元座標を算定できないことから、ここでは橋面敷石のX座標を（ $X = 115.860$ ）として算定した。

●単写真標定結果をもとにした円曲線の推定

1. 計測点 橋面上31点を測定。

解析結果：半径 $R = 161.224\text{m}$ 、

Y、Z座標 128.463、 -153.019

カメラ視点座標		カメラ回転角	
EX	219.290	α	93.600
EY	115.005	β	-0.336
EZ	5.332	γ	1.110

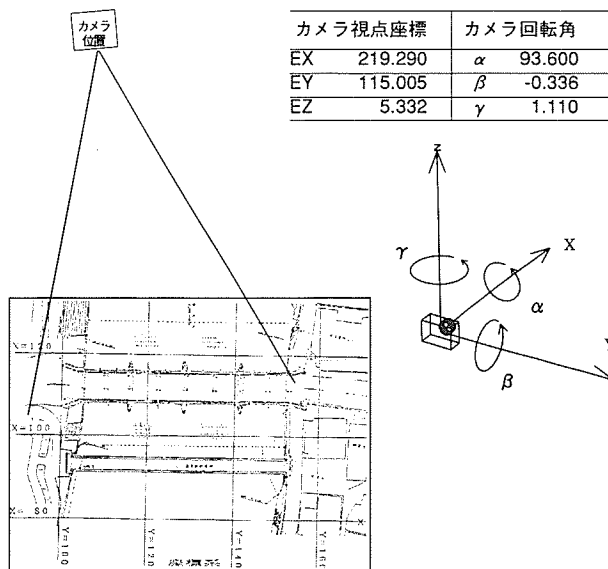


図-3 カメラの視点推定

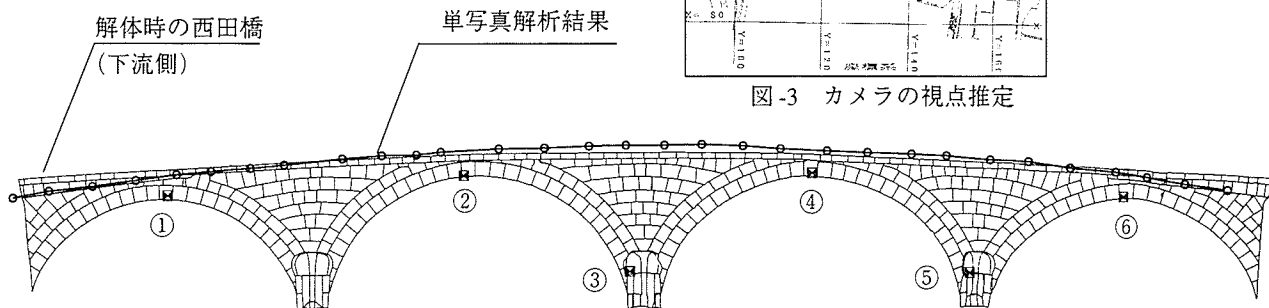


図-4 基準座標点位置及び橋面縦断解析結果（31点を測定） ①～⑥は基準点（上流側から図化）

3.3 西田橋御門設計

西田橋御門が映った写真は明治5年（1872）の天皇行幸の際に撮られたものである。発掘調査で確認された橋との位置関係を保って、写真や市内蔵の仙巖園門などから構造仕様を推定して復元的に整備することとした。写真標定の拠りどころとなる下記資料をもとに解析条件を整理し、御門形状寸法設定の基礎資料とした。

1) 発掘調査の成果

柱、控え柱の礎石の根石と考えられる遺構の平面座標

2) 明治5年頃撮影の写真（尚古集成館蔵）

写真は西田橋の反対側から撮ったもので、解放された門扉の向こうに西田橋の高欄擬宝珠6本（T2～T7）が確認できる。

上記1)、2)を基本に、また3.2復元設計で紹介した高欄擬宝珠6本の座標値を標定要素として御門形状の推定を行うこととした。解析の手順と結果を（図-5、6）にまとめて示す。

解析の結果 当該写真はトリミングがなされ、かつ基準となる擬宝珠天端がほぼ写真の中央に位置する等、精度の高い標定には至らなかったため、CGで構築した御門モデルを同一座標内に構築して、細部の構造寸法の設定を行った。³⁾

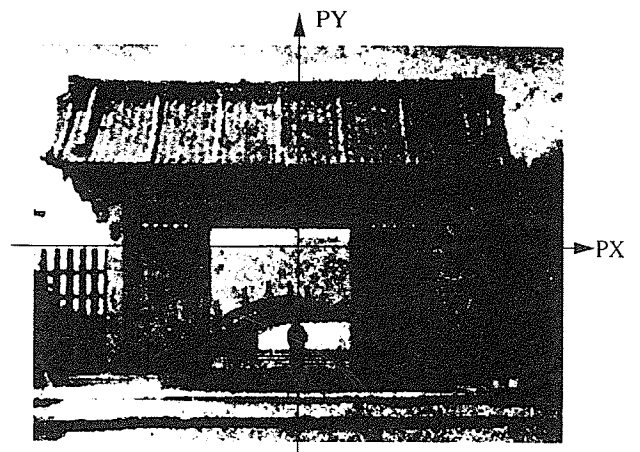


写真-3 西田橋御門（尚古集成館蔵）

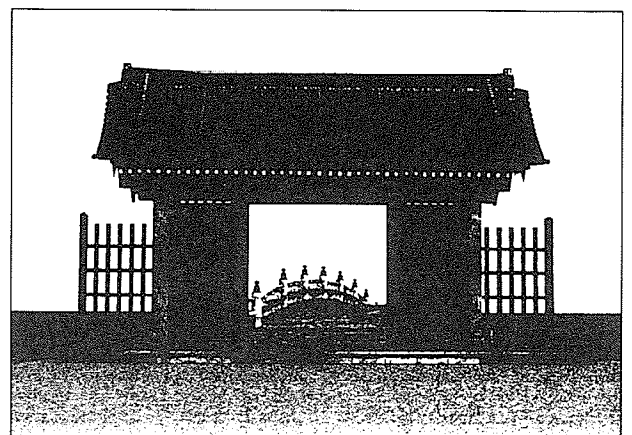


図-6 CGでモデル化した御門

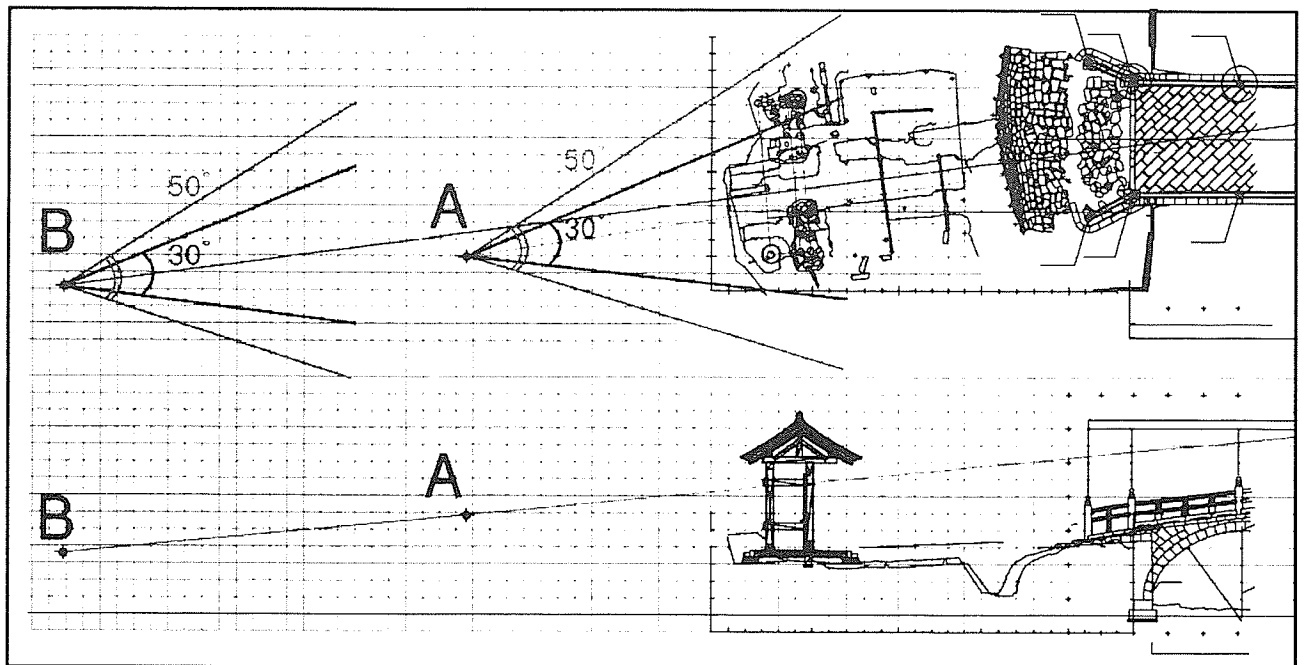


図-5 発掘調査結果と御門モデル

4. 施工管理における活用及び可能性 (写真測量データの活用)

4.1 座標（算定）管理システム

写真測量データを加工し、構成する各石材の形状を任意の箇所から描画し、その座標値を表示することが可能なシステムとした。しかし復元施工時の組積段階においてはそのポイントが石材上に遺されていないため、施工時の測量においてそのポイントを特定することが出来なかった。その結果概略の位置特定としての使用に留まった。

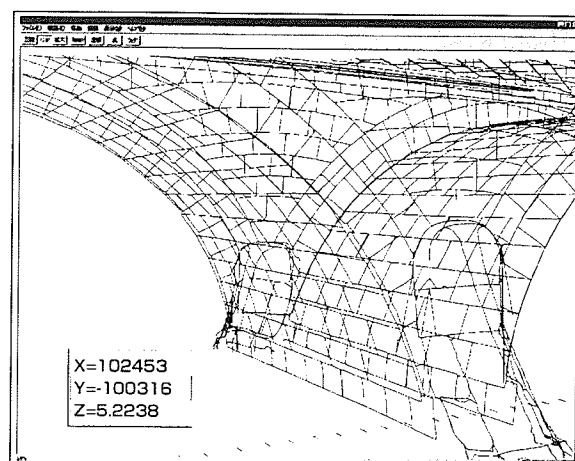


図-6 座標管理システム

4.2 オルソ写真での管理

以上の様に図面や座標のみでは、各石材のもつ複雑な形状を十分に、伝達することは難しい。そこで写真測量データと写真を基にした正射投影画像（オルソフォト）の応用が考えられる。オルソフォトは構造体表面の凹凸による歪みがなく、写真画像のもつ多様なアナログ情報（色や肌合い等）に数値情報を付加したものであり、CADとの重ね合わせが容易で、そのまま貼り合わせることで、石橋全体のモザイク画像を作成することができる。局所に把われやすい施工現場で、完成系という全体から見る施工管理システムとして、今後はもっと利用されても良い手法と考える。

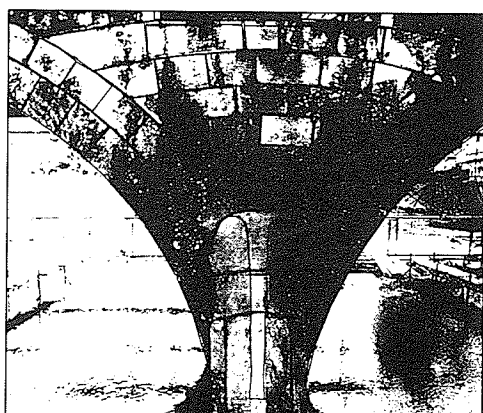
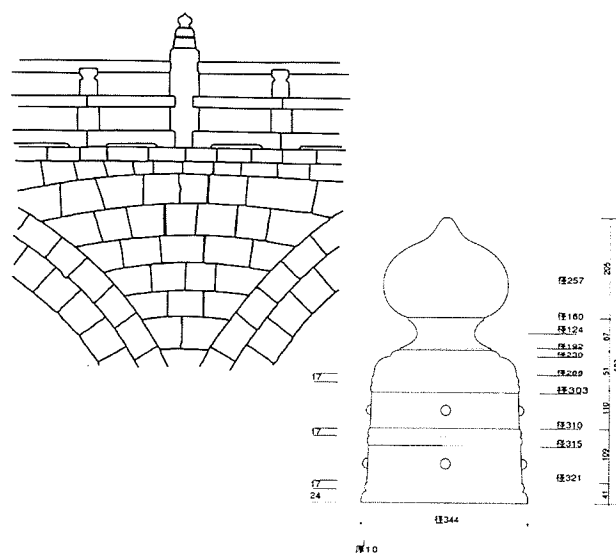


図-7 正射投影画像の応用

4.3 実測と写真測量データの役割分担

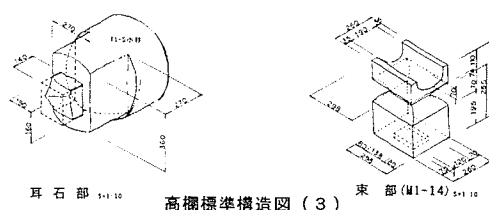
通常写真測量の図化作業は、写真測量の技術者（オペレータ）が実施する。

そのため文化財の専門家からは1) 対象が何であるかを理解せず図化している。2) 描かれた図が学問的でない。3) 欲しい所の寸法の計測が不能。などと指摘される。文化財の専門家にとって、例えば石材表面の仕上げ方や組積み手法の図を描くこと自体が、学問することであり、図を描くことは、解釈をすることである。一方、施工技術者にとっては、欲しい所の座標の計測を可能とするシステム化が要求される。これら3者における緊密な協力体勢、情報伝達を図る為には、デジタル写真測量により現場での図化やオルソ画像の作成を行ない、その都度文化財専門家からの指導を得ながらの作業が必要となる。図-8は写真測量の図化レベルと実測作業による図化レベルの比較を示している。



小柱用擬宝珠

高欄標準構造図（2）



高欄標準構造図（3）

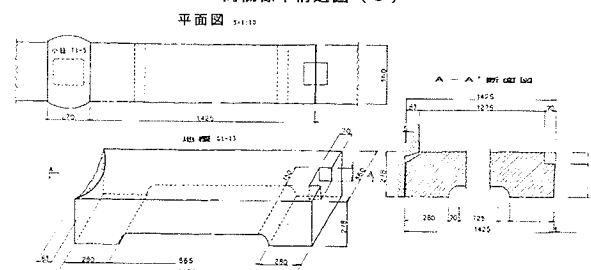


図-8 実測と写真測量データの役割分担

5. 情報の一元管理における活用

5.1 石材写真管理システム

西田橋の石材総数は約 3000 個（護床敷石約 4000 個を除く）に及んだ。

解体時（平成 8 年当時）市販のデジタルカメラは 40 万画素程度ではあったが、調査及び整理時の負担を軽減させること、各石材の解体・補修・新石材加工の情報を、保存性に優れたデジタル情報として記録し、また迅速に検索して、文化財的な調査研究を支援する側面から石材写真管理システムとして試行的に進めた。その後建設省は写真管理基準の改定に関する通知を行い、市販のデジタルカメラの画素は 200 万画素以上へと向上し、事業の後半では高解像度の画像に移行した。その結果格納した画像は西田橋 4292 枚（734MB）で CD-ROM として格納している。このデータベースは今後の維持管理システムとしての機能追加が望まれる。

主な機能：復元図面をベースにして、石橋を構成する石材位置と石材調書・写真をリンクした検索機能。
（検索は、石材位置と石材番号の 2 種類とした）

部 位：壁石上／下流側面、水切石、基礎石他

出 力：石材調書・写真の印刷機能（4 A 縦型）

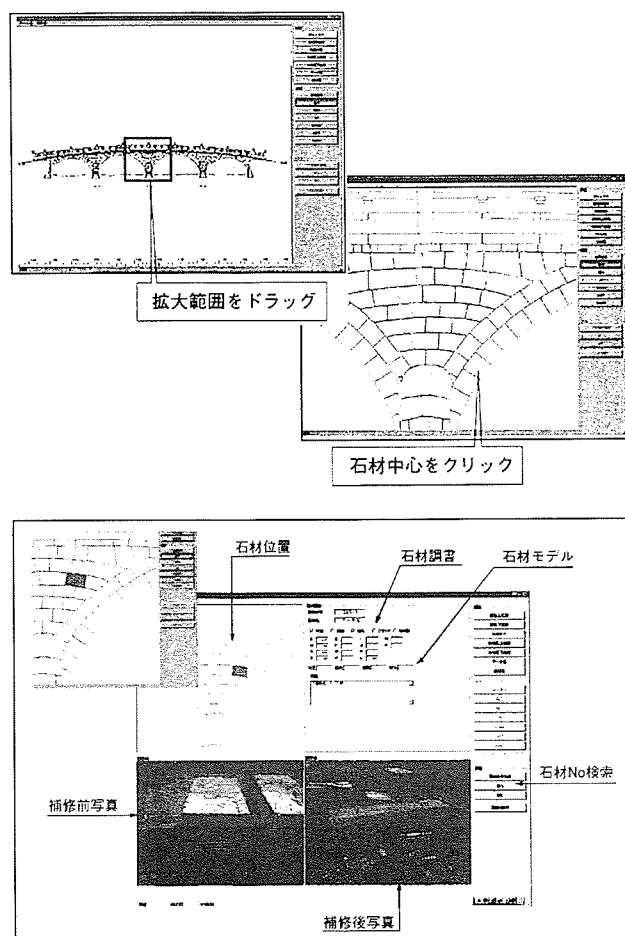


図-9 写真管理システム

5.2 西田橋紹介システム

記念館は、復元された石橋を外から見るだけでは理解できない、石橋の歴史や技術、移設保存に関する一連の事業記録などについて、展示を中心に情報提供することを目的として整備している。その展示の一つとして、調査・解体・復元で得られた情報—いわば報告書の一般向け情報を 1) 材料と力学特性 2) 築造技法 3) 復元設計 4) 歴史 5) 復元施工の記録の各項目に分けて、写真とイラスト、コメントで判りやすくマルチメディアで紹介するパソコンシステムとして公開している。

- 1) 材料と力学特性 石材 桐木 基礎地盤
石橋構造解析
- 2) 築造技法 アーチ基礎 護床敷石 アーチの構成 橋体側面 橋面 高欄
橋取り付け部 縦断の改変状況
橋取り付き部 縦断の改変状況
- 3) 復元設計 改変の状況 復元の方針
基礎地盤処理 橋面と取り付け部の復元 橋詰めの形状 高欄の復元 擬宝珠復元 部材の補修、補強 御門の整備
- 4) 歴史 西田橋年表
- 5) 復元施工の記録 定点画像他

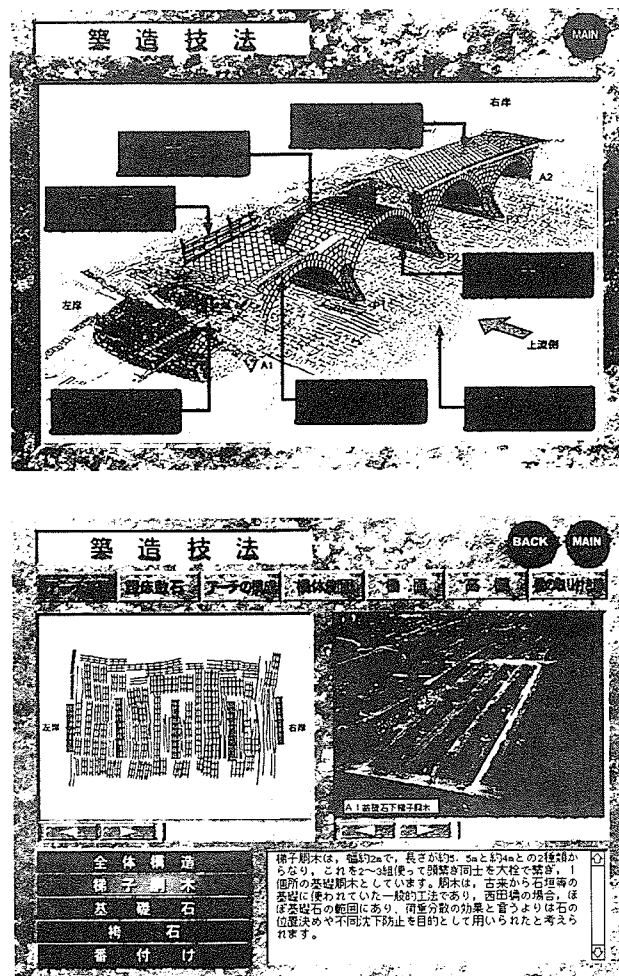
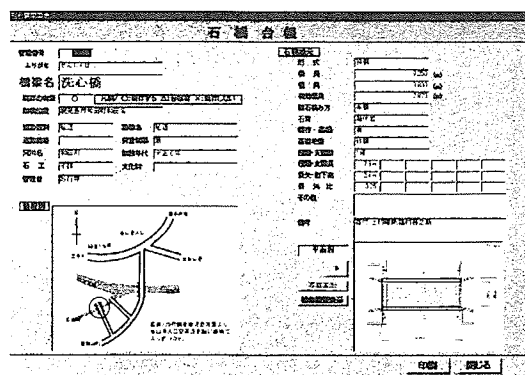
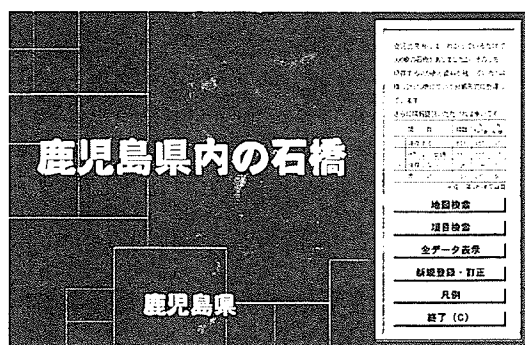


図-10 紹介システム

5.3 鹿児島県内石橋検索システム

本システムは、別途実施した鹿児島県内の石橋調査（約900橋 現存499橋）台帳を、パソコンに登録し、各種キーワード（製作者/連数など）や地図から構造規模や画像を検索可能なデータベースである。記念館において、一般利用者が自由に県内の石橋情報を引き出せる。また、新たに付加された情報の追加・更新などが可能であり、県内石橋情報を集約し、今後の石橋の保存や維持管理等に係わる情報を一元管理できるものである。なお今回システムでは手書きの図面を全てイラストレータを用いて再度描起しており、PDFファイル形式にすることにより、必要に応じて図面を拡大して見ることも可能となる。



その他の仕様

地図上の石橋は、現存、消滅などで色を分けて表示。単検索と複数検索が可能で、効率的に検索作業を行うことが可能。

補修事例、補修履歴の追加記入が可能。

図-11 鹿児島県内石橋検索システム

6. 広報活動における活用

そのほかデジタル画像情報を基に、事業紹介の為のパンフレット作成や工事説明用の看板製作、資料館展示におけるCGなどを迅速に行うことができた。以下では架橋手法をCGで表現したCG制作及び定点デジタルカメラについて紹介する。

6.1 CGアニメーション

記念館のメイン展示として石橋をかける技術を紹介するジオラマとCGやビデオで描く6面のテレビモニターを用いたマルチ画面がある。

CGは、工程の進み具合や、見えないところを描き、理解をよりしやすくする。西田橋の3次元CADデータを用いて、当時の架橋手法をCGで表現した。作成した内容は、当時の支保工として明治期の文献⁴⁾を基に寸法を割り出し、クサビの撤去の仕方などある程度の想定はあるものの、復元時のビデオ画像なども組み込み6面マルチとして一般に公開している。

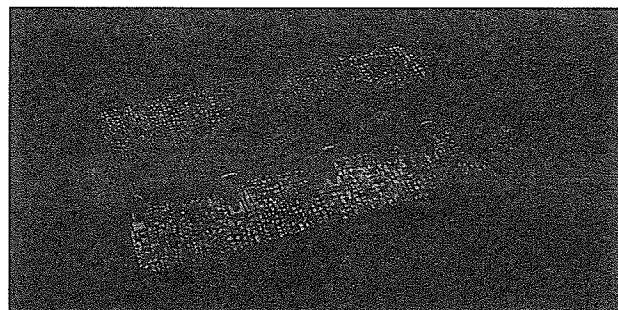
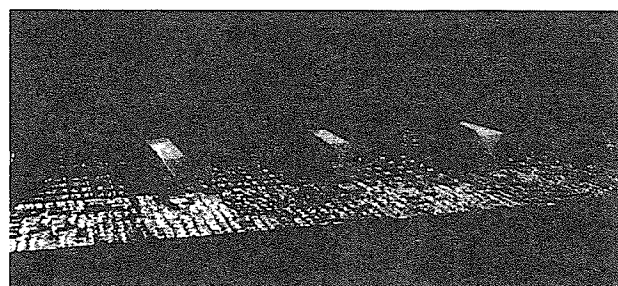


図-12 CGアニメーション画像

6.2 定点デジタルカメラ画像

西田橋及び鹿児島市により復元された、高麗橋にあっては近傍にデジタルカメラを設置し、パソコンを用いて自動的に1日あたり4枚の施工進捗状況の画像をハードディスクに格納し、凡そ6～10ヶ月にもわたる全工程を20秒で説明する工事記録ビデオの素材とした。（西田橋にあっては途中台風の襲来などからカメラを撤去せざる負えなくなり連続撮影には至っていない。）

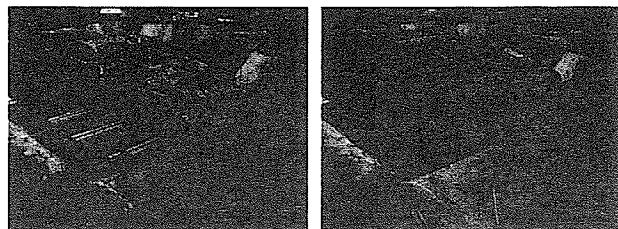


写真-4 定点撮影画像（高麗橋）

7. 工事報告書のための支援システム等

数年間にわたる西田橋に関する業務の総まとめであり、膨大な量の情報を一冊の報告書に集約する為の支援システムを考えた。報告書作成にあたっては、整理、構成の効率化を図り、印刷作業との連携も容易な、デジタル情報によって行うものとした。

7.1 仕様

本報告書の仕様は、A4サイズ 白黒ページが約350ページ、カラーが5ページ程度であり、なるべく図、イラスト、写真を用いて判り易い内容となるよう努めることとした。

素材はさまざまな媒体であり、これらの素材を如何にしてデジタル情報として集約するかが、大きな課題であった。テキスト情報及び画像情報はファイルメーカーを用いてデータベース化し、作業の効率化を図った。

まず、それまでの検討過程での文書情報はワード文書、エクセル文書に統一し、執筆者（鹿児島県その他）からの修正、加筆情報は主にE-mailによって作業本部に集約した。遠隔地に点在する執筆者があたたかも1つの場所で共同作業をしているような擬似的環境の実現を目指して編集作業を行なおうとしたが、ルールや電子データの形式を標準化する必要があった。

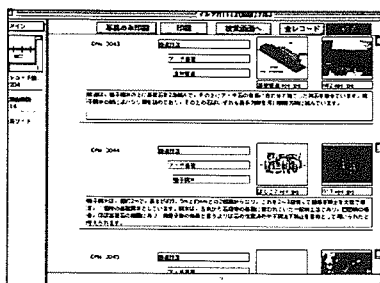


図-13 素材データの検索システム

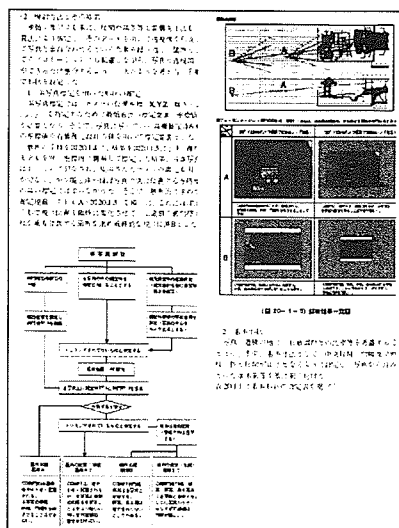


図-14 出力例

8 おわりに

以上西田橋の移設復元事業に係わり開発したシステムとその活用について報告した。

写真測量システム

解体時の構造・規模、復元設計に必要な図面資料の作成を目的とした写真測量は、複雑な石橋の三次元形状を把握する上で有効であった。また文化財的な調査研究の面から、アーチライズとアーチ円弧、橋面縦断と壁石円弧の中心との係りなど、設計者の円弧に対するこだわりを定量的に把握する上でも有効であった。

座標管理システム

石材個々の座標値とそれを補完するアナログ情報としてのオルソ画像は、施工管理システムとして有効な手法の一つと考える。

写真管理システム

途中ハードの更新により解像度の変更はあったが、図面をベースに、写真やコメントをリンクしたデータベースは有効であった。

CG可視化システム

3次元CADを用いて構造物を管理することにより、3次元CGモデルへのデータ変換が容易であった。CGは当時の架橋手法・技術を立体的に表現する事ができた。

価値観が多様化している現在、人々の意見の総合化を図りながら土木遺産を適切に保存、管理していくためには民主的な合意形成システムの構築が急務である。コンピュータの持っている能力をどう活用し、歴史的建造物の調査と研究にいかに関与するかについては、コンピュータを利用しようとする側の責任において考えていかねばならない。本報告のデジタル情報の活用におけるアプローチが、今後の歴史的建造物の調査と研究に何らかの形で寄与できれば幸いである。

注記及び参考文献

- 1) 既に報告したものとして
重乗俊寛、西村、迹目、長谷場、吉原「石橋調査を支援する写真測量・CGシステムの開発」土木史研究16、pp.255_262、1996
- 2) 長谷場 良二、鳥巢、吉原「石造アーチ橋・西田橋の移設復元方針」土木史研究18、pp.351_362、1998
- 3) 「鹿児島県指定文化財（建造物）西田橋移設復元工事報告書」鹿児島県土木部、pp.246_250、2000
- 4) 橋本勘五郎「洗玉石見橋見積書」1891