

石橋調査を支援する写真測量・CGシステムの開発 *

Research on Stone Masonry Bridge by Photogrammetry and Computer-Graphic Systems

重乗俊寛 **

西村正三 **

辻目英正 ***

長谷場 良二 ****

吉原 進 *****

By SHIGENORI Toshihiro NISHIMURA Shouzou NIGEME Eisei HASEBA Ryouji YOSHIHARA Susumu

本報告は、江戸時代後期 岩永三五郎が甲突川に架けた五石橋のうち県の指定文化財である西田橋を対象とし、歴史的建造物移設復元のための情報収集という観点から、各石材の座標抽出管理と、他の調査で得られた3次元的な情報等を一括管理するためのパソコンを用いたCGシステムの構築等について紹介するものである。その結果当システムは、先人の技術技法が随所に残されている西田橋等、後世に伝えるべき対象物を記録、移設、修復、維持管理等の他、広く伝承する際に一つの有効な手段であることが実証できた。

1 はじめに

これまで歴史的建造物の調査は、従来の測量手法を用いて対象物の立体座標が記録される事が多く、記録が曖昧であり、また精度上問題が有るほかに、情報自体が十分活かしきれないと言った報告がなされている¹⁾。文化財としても価値の高い西田橋の3次元情報をいかに正確にかつ迅速に収集・記録し、また復元に向けて如何に情報を有効に活用できるよう加工するかは重要な課題である。また西田橋に限らず同じく岩永三五郎らの手により構築され、既に解体調査された玉江橋や高麗橋等の石橋やその他の事例について、それらの類似性、相違点等をコンピュータを用いて迅速に統計処理等できれば、石橋構築に関わる技術や技法の研究を支援する為のシステム化が期待される。本報告ではこれらの課題に対して、工学・情報処理技術的な立場から、如何にしたら歴史的建造物の調査・研究に有効なシステムの構築化が図れるかについて報告するものである。具体には、(1)現況の情報を収集する写真測量システムと、(2)得られた数値・画像情報を保存、検索、抽出する座標管理システムと写真管理システム、及び(3)それらの情報をパソコン上で任意の位置からCG描画できるPC3次元可視化システムについて報告する。これらのシステムを用いることにより、建築関係や文化財関係等と言った他分野との学際的な情報交換あるいは復元に向けての情報伝達にも支援することができるものと考えられる。

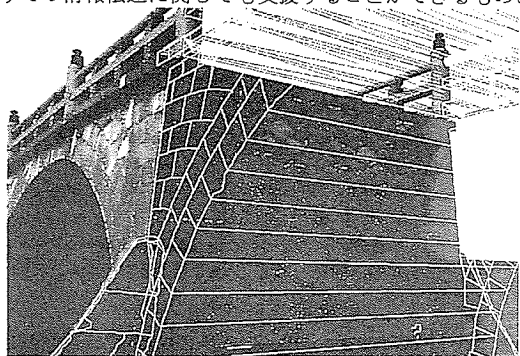
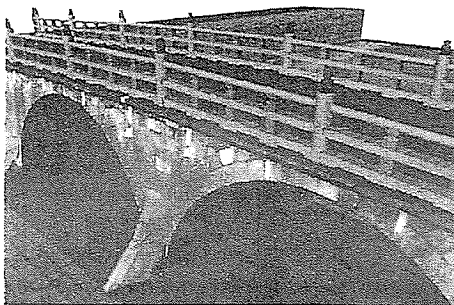


写真1. 1 CG表現による西田橋

*keyword: 写真測量、座標管理、写真管理、PC3次元可視化システム

** (株) 計測サーコンソルト

*** 正会員 ほつま土木計画 (株) 元 (株) 協和コンサルツ

**** 正会員 鹿児島県土木部都市計画課

***** 正会員 鹿児島大学工学部教授 西田橋解体復元調査委員会委員長

2 システムの全体構成

システムの全体構成と調査の概要イメージを以下に示す。システムは・写真測量・座標管理・写真管理及び・PC3次元可視化システムから構成されている。

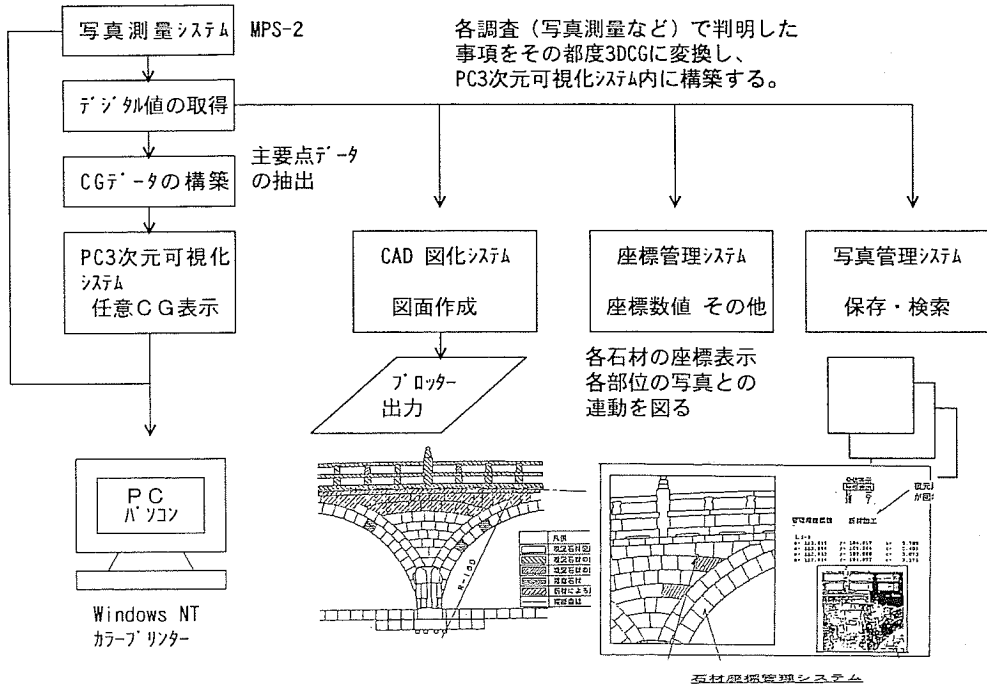


図2. 1 システムの全体構成

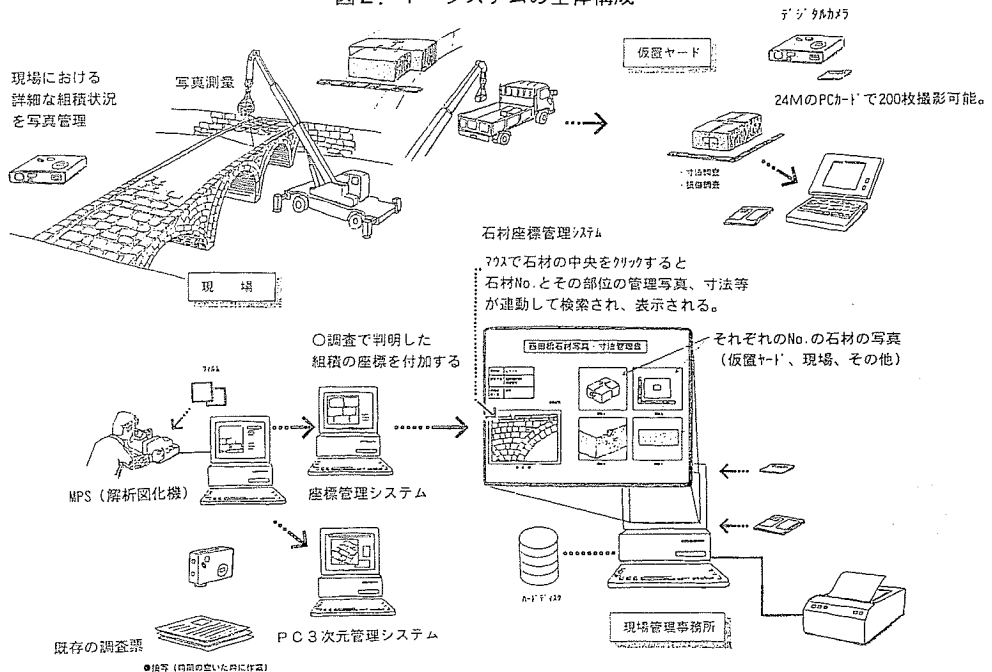


図2. 2 調査の概要イメージ

3 写真測量及び調査

(1) 写真測量の流れ

現形状を忠実に把握し解体復元に必要な図面資料（縮尺 1 : 20）と各石材の 3 次元座標算出を目的に写真測量を実施した。従来の測量に比べ写真測量を用いることによる利点としては 1)一定の精度を保持しながら石橋の複雑な三次元形状をデジタルな形で把握し 2)現地作業工程の短縮を図ることが可能である。3)撮影した写真フィルムを保存することにより、後日随時に三次元座標の復元が可能である。西田橋のように後世に記録を伝えるべき対象物にとっては、データの保存という観点から特に有効である。

写真測量により数値化した範囲は西田橋橋体、護岸、敷石である。各調査の流れ及び概要を以下に示す。

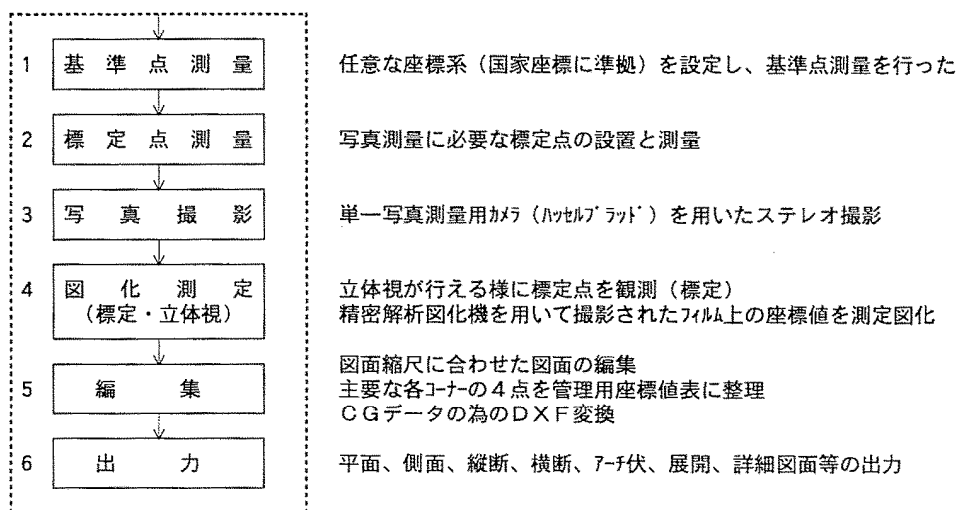


図 3. 1 写真測量の流れ

(2) 基準点測量 及び 標定点測量

図 3. 2 に示す様座標系を設定し、基準点測量及び標定点測量を行った。高欄、壁石、水切石、アーチ石内側の標定点は以下に示す 30 mm 角の標定点を計 378 点、護岸測定用には計 200 点、敷石用には 57 点それぞれ設置し光波測距儀等を用いて、3 次元の座標 (X, Y, Z) を測量した。

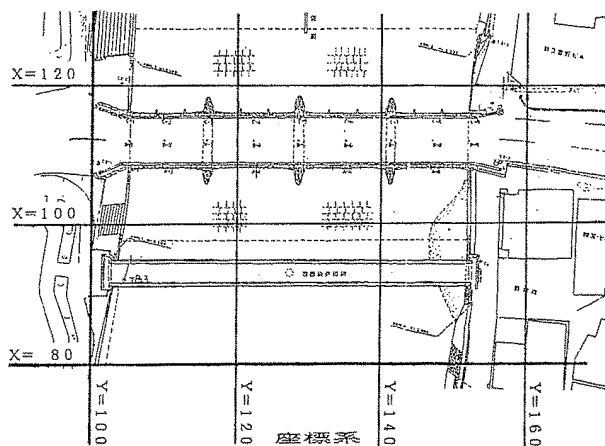


図 3. 2 座標系の設定

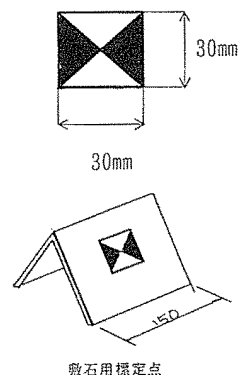
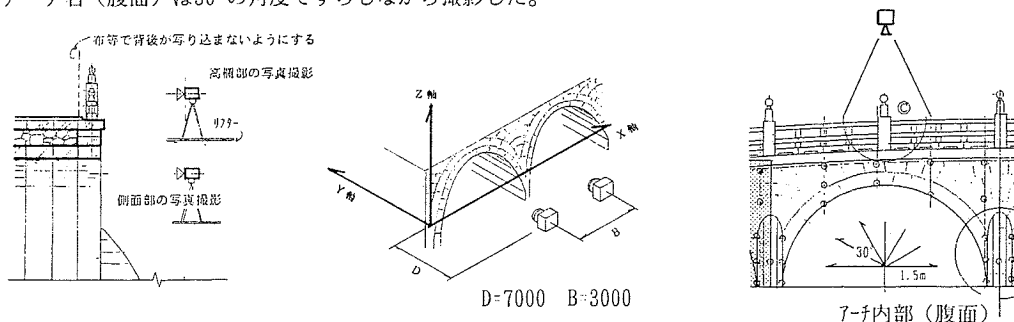


図 3. 3 標定点

(3) 写真撮影

撮影に使用したカメラは焦点距離 $f=50\text{mm}$ 、フィルムサイズ 60×60 の計測カメラ（ハッセルブラッド）である。橋体の側面は、壁面から 7.0m の距離を保ち、 3.0m 間隔で撮影した。空中からはゴンドラを用いて橋面から 10m の位置で、アーチ石（腹面）は 30° の角度でずらしながら撮影した。



(4) 図化測定

三次元データを導く解析図化機は、ADAMTECHNOLOGY社製の解析図化機（MPS-2）を用いた。解析図化機から得られる三次元データの精度は、写真縮尺・フィルムの平面度・解析図化機の機械精度およびオペレータの観察能力等により決まるが、これらを総合的に含めた時の精度は、下記に示す計算式で導かれ、X、Z方向 2mm 、Y方向 4.5mm 程度を確保出来る。各石材の形状や合端を縮尺 $1/20$ で忠実に表現するために、各石材は凡そ30点程度のポイントを計測した。（図3.4）

$$(1) \delta P = 1.4 \times \delta OBS \times \frac{D}{f} \quad (2) \delta Z = \delta P \times \frac{D}{B}$$

δP (mm) : カメラ軸に対して正射影面方向の標準偏差
 δOBS (mm) : 観測時の標準偏差 通常10ミクロン
 D (mm) : 撮影距離
 B (mm) : ベース間距離
 f (mm) : 焦点距離

(5) 編集

上記で得られた3次元データを基に、必要な図面縮尺に合わせ図面の編集を行った。作成した図面は平面側面、縦断、横断、7-7伏、展開、詳細図等でありその一例を図3.5に示す。

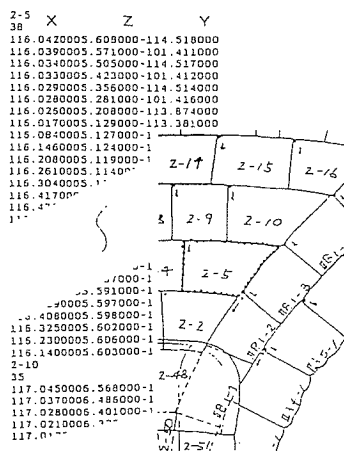


図3.4 各石材の計測ポイント

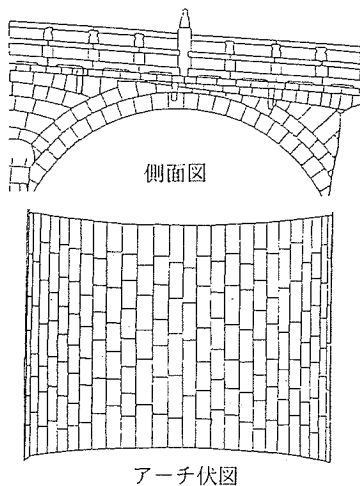


図3.5 作図の一例

4 座標管理システム

先に述べた様に各石材は凡そ30点程度の座標を有している。復元時の管理に於いてはこれらの座標値は余りにも膨大である。そこで各石材毎の主要な4点程度を管理座標値として抽出し、また任意箇所座標値や石材情報などが迅速に表示できる復元施工支援システムの構築が必要であると考えた。その為には写真測量を用いて計測された座標値をデジタル値としてコンピュータ上に格納し、検索、抽出などが効率的に実行できる座標管理システムを開発したものである。

(1) 具体的機能

具体的な機能としては、ディスプレイ上に石橋の形状を平面的に表示し、それをマウスによって拡大、縮小をおこない、任意の領域を表示させる表示機能。マウスにより任意の箇所を選択することで、その箇所の座標値や石材情報などを表示させる機能。石材番号をキー入力することにより、その石材の位置を画面表示させる機能。また解体調査で得られた事項、例えば要補修石材か、新材で組み直す必要が有る石材か否かについての調査事項を入力し表示できる機能等である。また後述する写真管理システムとの連動が可能となるように設計しており、任意の石材を選択すると、それに関連した写真の画像を表示することなども可能である。また、人の直感的な判断を損なわないようユーザーインターフェースにも優れたものとなるように配慮した。本システムは、WindowsベースのPC（パーソナル・コンピュータ）で稼働し、近年のハード的な性能の飛躍的向上により、その処理速度は十分に実用的なものとなっている。ソフト的にはWindowsの持つOS機能として、32ビットCPUの本来のメモリ空間を利用することが可能となり、かつ仮想記憶をサポートすることにより、容量的な面からも調査で得られる三次元情報を全て格納することが可能である。またWindowsベースのPCは既に広く使用されていることから、調査に関わる関係者がこのシステムを用いて自由に情報の検索、抽出を行なうことができ各調査段階での指導、助言を得易いものとなっている。画面の一例を図4.1に示す。

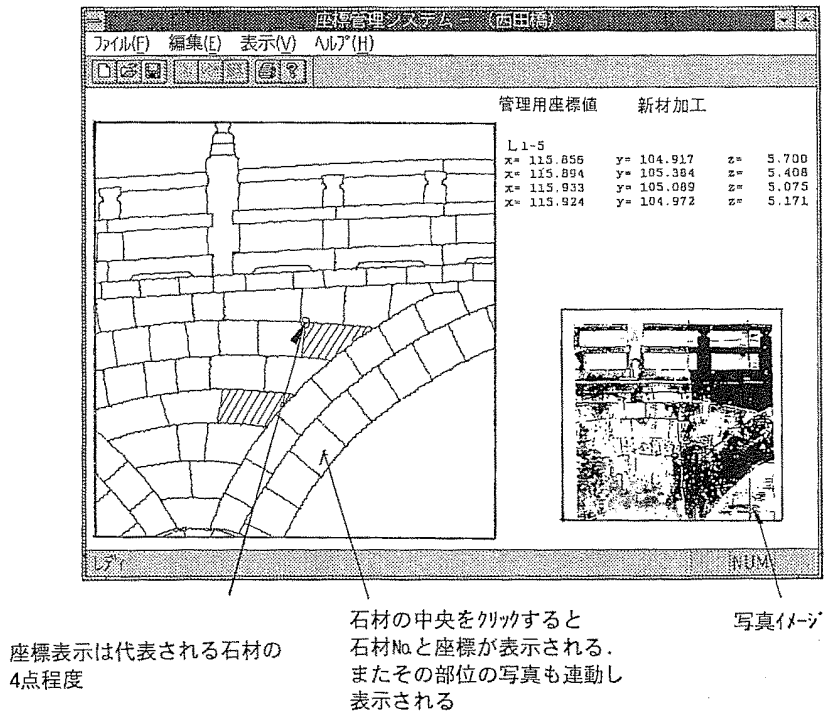


図 4. 1 座標管理システム 画面の一例

5 写真管理システム

既に調査解体された玉江橋や高麗橋等の石材調書作成では、石橋解体現場と石材保管ヤードの2箇所で開催した、各部位の状況、石組工法、破損石材の状況を写真等を添付し報告している。西田橋に於いても石材調書を作成する必要がある。西田橋の石材総数は約12,000個が想定され、解体調査進行にともなって新たに付加される石材の写真や情報の整理、管理には膨大な時間と労力を要するものと予想された。また解体現場と仮置きヤードで撮影される同一石材の写真管理をいかに正確に合理的に行うかが課題としてあげられた。そこで調査及び整理時の負担を軽減させること、膨大な調査情報を迅速に検索し、文化財的な調査研究を支援する側面からデータベースを利用した写真管理システムを構築することとした。

(1) 写真管理データベースの構築

本システムは図5.1に示す様、情報入力、検索、位置管理の各詳細システムからなり、システム設計にあたっては以下の事項が可能なシステムとした。1) 調査した膨大なデータを迅速にデータ化しデータベースを更新できる。2) 基本的には画像入力はデジタルカメラで撮影した画像情報を格納することとし、石材NO、要補修石材か否かについての調査事項を入力し、プリンターに出力できる機能を有する。3) 検索は、石材NOや表示画面を指定することでその写真が検索でき、当該石材の属性情報を確認、表示、出力できる機能を有する。また前述した座標管理システムとも連動し現況石材の3次元計測情報を表示すると共に、復元時の施工管理にも利用可能な様、既存石材の配置箇所を画面に表示出来るシステムとしている。調査で用いたカメラは、低廉な小型・軽量のデジタルカメラ（解像度40万画素）であるが、記憶媒体にメモリーカード（200枚撮影可能）を使用している為、撮影した画像をその日の内にパソコンのハードディスク内へ蓄積させることで、繰返し撮影が可能となる。フィルムに比べて画質は画素密度で1/100程度と劣るが通常のプリントサイズ出力では管理用画像としては使用に耐えうるものと判断した。収集された膨大な調査データは、整理され又活用されることで、はじめて価値がある。本写真管理システムもしかりであり、日々の調査情報が迅速に入力・更新され、それらがきちんと管理されることで、付加価値の高いツールとなる。

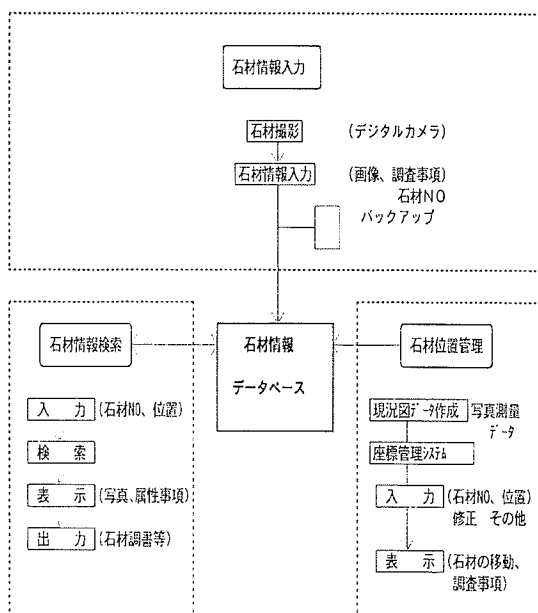


図5.1 写真管理システムの詳細

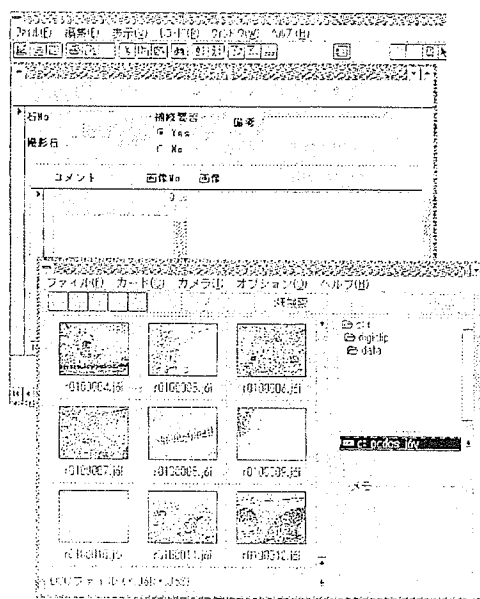


図5.2 写真管理システムの表示例

6 PC 3次元可視化システム

写真測量を実施し各石材の座標（X，Y，Z）を得た。その得られた座標をCGデータに変換することで立体的に石組み等をCGで表現する事が可能となる。例えば地中探査結果や解体調査時に判明した新たな事項を簡単に追加・更新が可能で有れば、常に最新の情報をCG構造型式の中に集約して表現する事が可能となる。また現場事務所等で調査担当者自らがマウス等の簡単な操作で任意視点からのCG画像を立体的に表示する事が出来れば、文化財関係者からの助言や指導を具体的に得易くなる。これまでCGを現場事務所で行う際の問題点としては1)ほとんどのCGシステムはEWSを主体としている為高価であり 2)システムの操作習得には時間を要する等の問題があった。これらを解決するためにPCの上で稼働するOpenGL（Windows-NT）を用いて、大容量のデータを簡便に取り扱えるPC 3次元可視化システムを構築することとした。

当システムにより調査担当者自らが簡単な操作で任意視点からのCG画像を表示する事が出来るものとなり、1)各工程終了時の文化財関係者の立ち会いに際し、ビジュアルに情報伝達が可能で、また委員会やその他に対しての情報公開の際有効に活用できる。2)各石材の組積構造等を3次的に表現表示することで、解体調査図書の作成を支援することが出来る。そのほか実写では表現しきれない調査結果等をCG動画としてVTRに編集し、石橋の復元・研究・普及活動に活用できる等である。以上、各段階に於ける調査で得られた各石材などの形状、その配置箇所を迅速に3次元情報化（CG化）することによる利点がある。

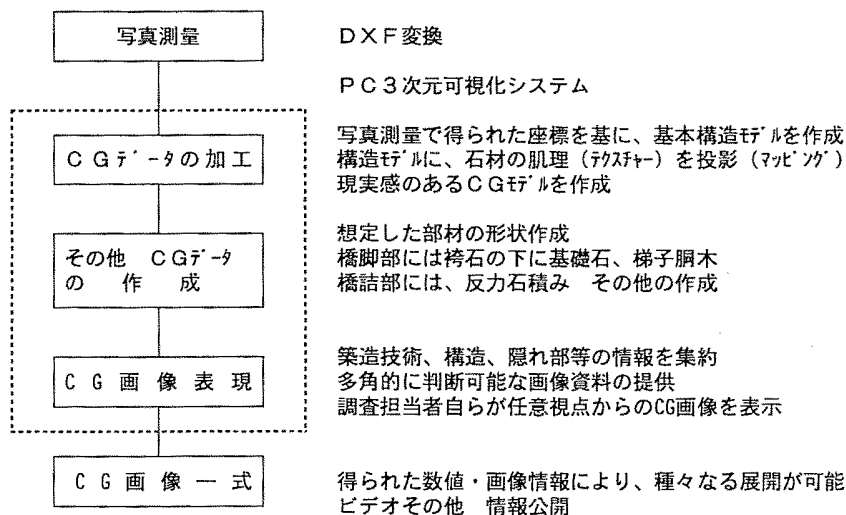


図6. 1 CG制作の流れ（PC 3次元可視化システム）

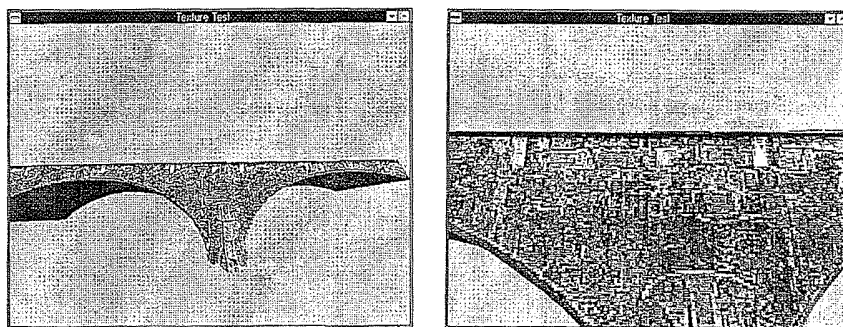


図6. 2 PC 3次元可視化システム 画面の一例

7 おわりに

以上西田橋の解体調査に先行して筆者らが試行した、歴史的建造物の調査・研究に有効なシステム構築について工学・情報処理技術的な立場から報告した。そのうち写真測量は、写真自体が文化財としての西田橋を忠実に記録し後日随時に3次元座標を復元できる他、移設復元施工する際の有力な資料になるものと考ええる。今後の課題としては調査と併行しながらのリアルタイムなデータ取得である。例えば 写真測量の自動図化（デジタル写真測量）といった新技術の開発は現在地形図を作成する時の航空写真測量分野では筆者らも既に研究開発を進めているが、歴史的建造物の調査分野においてはより精度を高めた上での活用が要求される。CGの活用にあたっては、写真測量で得られた3次元データを用いることで忠実にモデルを構築することが出来ると確認され、またパソコンで動作するPC3次元可視化システムは、調査担当者自らがマウス等の簡単な操作で任意視点からのCG画像を表示することで、文化財関係者からの助言を得て、より文化財的な物の見方等の指導を受けることができ有効なシステムであると判断された。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先人が作りあげてきた土木遺産を適切に保存、管理していくためには民主的な社会合意形成システムの構築が急務である。そのとき土木技術者は、高度な専門知識を、一般住民が理解できるよう「通訳」という役割も果さなければならない。今後システムの高度化、低廉化、CGデータの蓄積化を考えればよりその傾向は加速され、CGは「通訳」ツールとしてますます有望になると考える。CG画像のもつ視覚情報の多様性、柔軟性、直感性等の特性と他分野例えば文化財関係者の物の見方等をこれからの合意形成システムの中に如何に取り込むかが今後の課題と考える。

参考文献

- 1) 日本写真測量学会：写真測量とリモートセンシング P.64-68, 1993/4

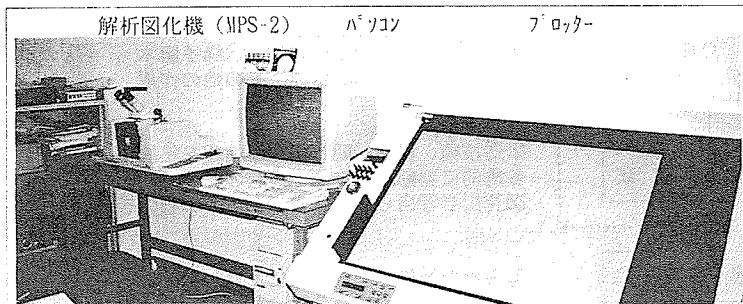


写真7.1 写真測量・解析システム

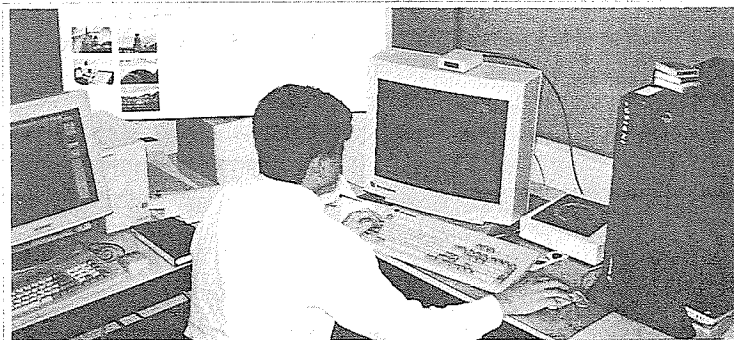


写真7.2 座標管理、写真管理、PC3次元可視化システム