

【土木学会論文集 第391号／VI-8（報告） 1988年3月】

CCD カメラによる海洋構造物の形状測定

MEASUREMENT OF OFF-SHORE STRUCTURE USING CCD CAMERAS

小桜 義隆*・鳥居邦夫**・高田孝次***
*By Yositaka KOZAKURA, Kunio TORII
 and Kohji TAKADA*

Pipes are often adopted as the structural members of off-shore structures because of their isotropic properties. The details of connection joints of pipe structures are inevitably too complicated to measure their sizes precisely. Difficulties arise from trying to measure these joints, called 'nodes', with steel tapes.

This paper introduces a new measuring method, which was developed for measuring steel bridge members using CCD cameras. This method has already been proved to be an excellent method in measuring bodies with the sizes of decameters. One of the advantages of this method lies in the fact that processes can be performed without touching bodies to be measured. By virtue of this characteristic, one can obtain numerical results as far as the targets exist in the scope of the cameras despite the shape of the object. The results obtained, are exhibited in this paper.

Keywords : off-shore structures, CCD camera, nodes

1. まえがき

鋼構造物の完成検査は構造物を完成状態または部分的に組み立て、これを実測することによって行われるのが通例である。著者らは部材単品を個々に CCD カメラを使用して計測し、この結果をコンピュータに取り込んで完成形状のイメージを作り上げ、これを照査することによって構造物の完成状態を把握するシステムを完成し、報告した^{1)~3)}。このシステムは主として鋼橋、特にプレートガーダーを志向したものであるが、その応用範囲はかなり広く、複雑な形状をもつ構造物にも適用可能である。現在保有する CCD カメラおよびパーソナルコンピュータで海洋構造物の接合部（ノードとよばれている。以後この語彙を使用する）の模型を計測したので、これに関する報告を行おうとするのが本稿の目的である。

現在、シーバース、プラットフォーム等の海洋構造物は鋼管が多く使用されている。鋼管はその断面形状の等方性に起因するさまざまな力学的利点を有するために、あらゆる方向からの荷重を想定しなければならない海洋構造物には最適な鋼材であると推察されるのであるが、

その接合部はかなり複雑な構造にならざるを得ず、その製作は管の切断や組立ての点でかなりの技術的水準を要する。しかもその完成精度はかなり厳しい条件が要求されるから、完成したノードは寸法を正確に計測する必要がある。現在行われている方法は通常の光学測量機械とスチールテープを用いた伝統的なものであるが、かなりの手間と熟練を必要とする。また写真-1に示すように被測定物の形状がかなり入り組んだものであるため、計測が不可能な部分も生じる。他に計測法として、写真測量が考えられるが、現在の段階では要求精度（3 mm/10 m）を満たすことが困難である。

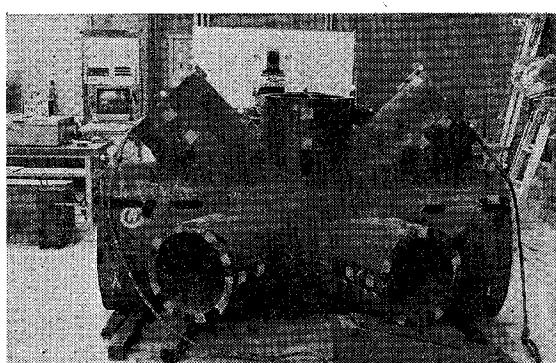


写真-1 ノードの模型

* 正会員 工博（株）横河橋梁製作所設計部
 （〒940-21 長岡市上富岡町 1603-1）

** 正会員 工博 長岡技術科学大学教授 建設系
 *** 工博 長岡技術科学大学教授 機械系

ここに新しい計測法を持ち込むことができれば、その効果は大きいと考え、本測定実験を行った。実験実施当時は1台のカメラしか保有せず、その移動可能距離が760mmに過ぎなかつたため、実物の測定は困難であると判定し、被測定物は1/5の模型を製作してこれに充てた。

2. 測定項目

ノードの計測値として最終的に要求される量は図-1に示す

- 1) 主管の長さ L_i および枝管の長さ l_i
- 2) 主管と枝管のなす角度 θ_i
- 3) 主管と枝管との偏心量 δ_i

である。

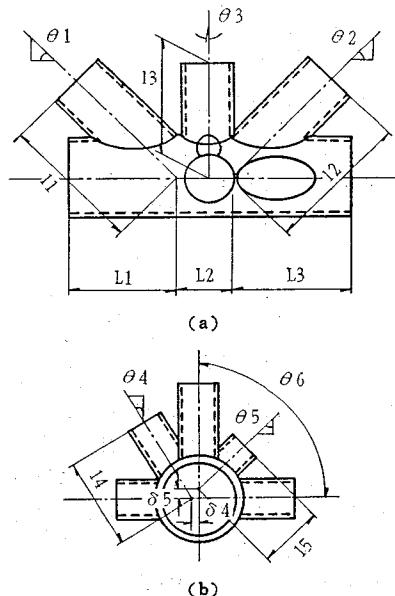


図-1 要求計測寸法

管の長さは軸線上を計測し、管の交角は軸線のなす角度で定義される。軸線は管の芯を結んで得られる線であるから、芯を求めることが肝要である。しかし、管は真円ではないのでこれを決定することが必要となってくる。

したがって、上記のような項目に関する値を決定するには

- 1) 主管および枝管の芯
- 2) 主管および枝管の軸線の方向

を知ることが必要である。これらの求め方を以下に述べる。

(1) 管の芯

管の断面は真円ではなく、ひざんでいるのが普通である。そこで、次のような方法によって管の芯を決定することとした。

- 1) 管の開口部にターゲットを取り付け、これを測定してそれらの三次元座標値を求める。
- 2) 得られた輪郭点に最も近い平面を算出する。
- 3) 上記で得られた平面上に測点を投影する。
- 4) 投影点群より最小二乗法によって管断面の芯を決定する。

(2) 管の軸線

管の軸線は求めた芯を通るものとし、その方向は管の側面に引かれているけがき線の方向であるとした。けがき線上には一本につき2個のターゲットができるだけ距離をおいて取り付け、これを測定してその方向を求めた。管の加工はすべて、このけがき線を基準にして行われるので、この方針をとることが最も妥当であると判断したのである。

3. 測定結果およびその誤差の評価

写真-2は測定状況の写真である。中央奥の白板の前にベッド上を移動するCCDカメラが置かれており、左端のパーソナルコンピュータでこれをコントロールしている。右手前に被測定物であるノードがあり、電球のターゲットが取り付けられているのがわかる。パイプ側面に貼られた紙状のものは、蛍光紙であり、左側に置かれた紫外線ランプによって紫外線の照射を受けて光り、ターゲットの役目を果たしている。カメラから隠れたターゲットが存在するのがみえるが、図-2に示すとおり、ノードを回転させてA,B,C,Dの方向から測定することにより、全点を測定できるようにした。この場合、各方向相互の位置関係は重複する測点を照査することにより、確認した。

図-3,4および5に測定結果を示した。括弧内の数字は別に行なった従来の方法による測定との比較した値である。

図-4には括弧でくくられた数字が記載されていない。この図に示す測定値は従来の方法では測定不可能であったものであるため、比較する測定値が存在しない。

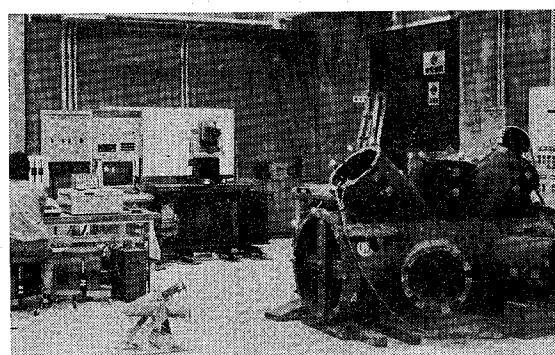
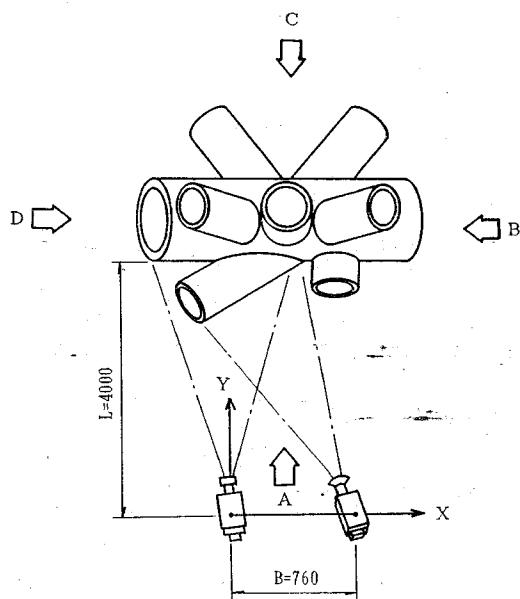
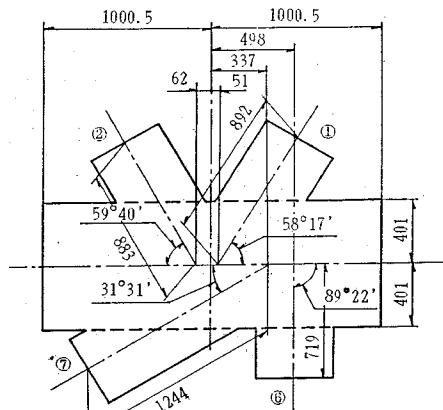


写真-2 測定の状況

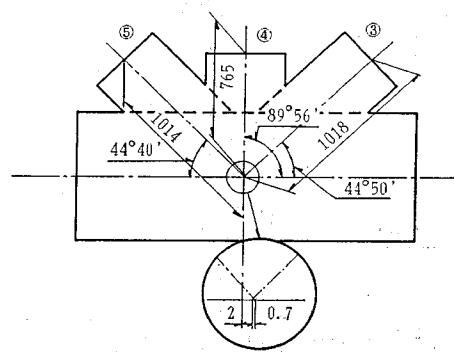


注) 実際の測定ではカメラを固定し、Node を回転した。

図-2 ノードの測定面

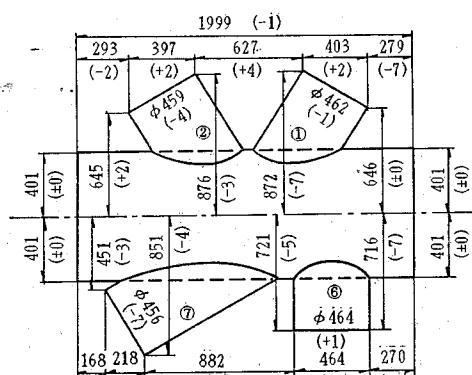


(a)

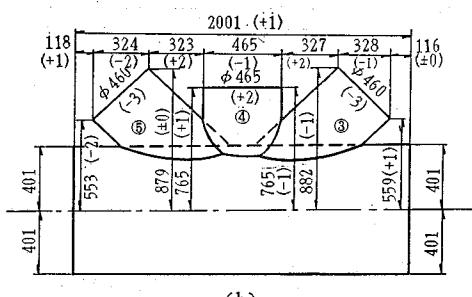


(b)

図-4 ノードの測定結果 (2)



(a)

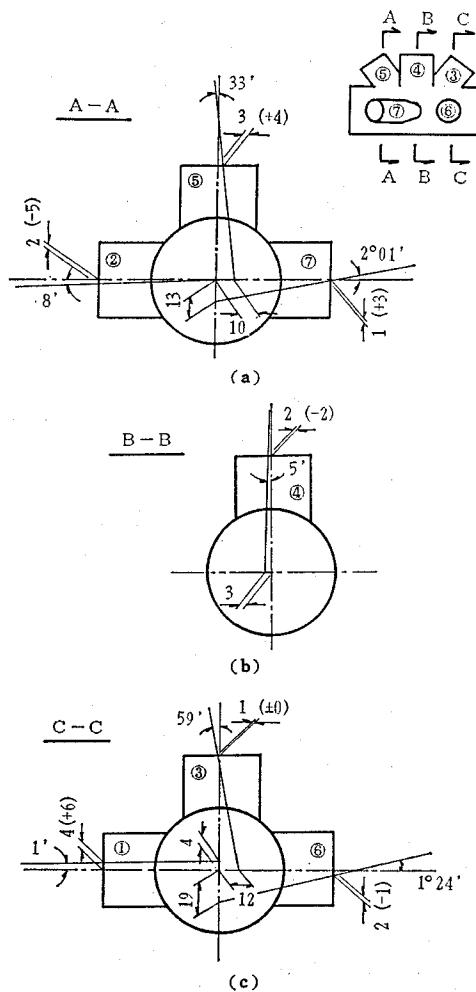


(b)

注) カッコ内の数値 = (今回の計測値) - (従来の計測値)
ただし、枝管直徑については
カッコ内の数値 = (今回の計測値) - φ 463
φ 463は巻尺による計測値の平均

図-3 ノードの測定結果 (1)

今回の実験装置の測定精度に関しては、水平角 θ_L (または θ_R)、鉛直角 ϕ 、基線長 B の誤差をそれぞれ $e_{\theta L}$, e_{ϕ} , e_B として三次元座標値 (x, y, z) の誤差推定 (誤差伝播の法則を適用) を行うと、図-6 (a) のグラフに示すとおりで、 x, z 方向の誤差 $2e_x, 2e_z$ が 2 mm 以内、 y 方向の誤差 $2e_y$ が 5 mm 以内であることが保証されている。したがって、実測結果も 2, 3 の例外を除きこの範囲の精度を満足しており、当初より期待した精度が得られたといえるであろう。本方法は非接触の測定であるため、被測定物を動かさない限り、その測定精度は乱される要素が非常に少なく、安定した結果が得られる利点を有しております。今回実施した測定結果の分散も図-3 中の実測値と従来の方法による測定値との差は、上記の傾向を忠実に反映していると考えられる。ただ、 y 方向 (奥行方向) の測定精度が x 方向のものに比べてよくない結果がみられる。これは図-6 (a) に示すように、 y 方向の誤差がこの装置の基線長 (760 mm) の下では x 方向のものに比較してかなり劣ることを示しており、測定値はこのことを忠実に反映した結果であると考えられる。試みにこの基線長を本測定における最適値と考えら



注) カッコ内の値=(今回の実測値)-(従来の計測値)

図-5 ノードの測定結果(3)

れる 8 m に伸ばした状態で誤差の評価を行うと 図-6 (b) に示すとおりとなる。 x, z 方向の誤差に比べ、 y 方向の誤差が何ら遜色のないレベルにまで落ちてきており、カメラを 2 台据えて測定を実施すれば良好な精度が得られることを示唆している。ただし、従来のスチールテープによる直接測定法による誤差がこの中に含まれているから、この誤差を明らかにすることが今後の課題として残されている。

また、今回の測定にかかわらず、カメラ自身がもつさまざまな制約を考慮に入れて、最も良好な精度が得られると考えられる測定状態を想定し、その誤差の評価を図-7 に示した。基線長は 20 m と長くなってしまい、かなりのスペースを必要とすることがわかる。この場合、適当な入射角を保持できる視野内に存在するターゲットに関しては 1 mm 以内の誤差で三次元座標が得られることを示している。

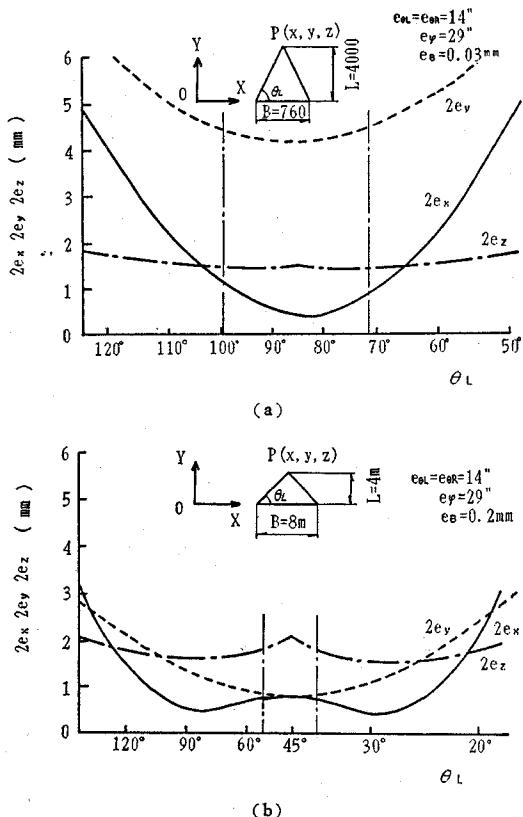


図-6 測定精度

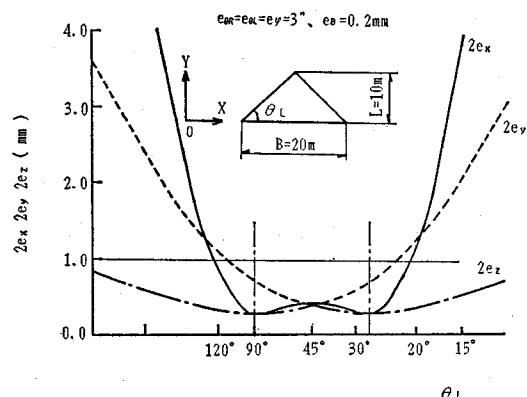


図-7 最適状態における測定誤差

4. 測定の能率

今回の測定では、合計 114 点の測定を行った。測定に要した時間は、測定者一人で約 1 時間程度であった。これは、従来の測定法を探った場合、3 人程度の要員を用意して 8 時間を必要としたことと比較すると格段の省力化となることがわかる。ただし、この測定のために要するターゲットの取付けにはかなりの労力を必要とした。ターゲットに改良を加えて省力化を図ることが今後の課

題である。また、カメラを2台以上設置して測定を行うことは、精度の向上に資するばかりではなく、作業能率にも著しい好影響を及ぼすと考えられる。

5. 結 語

従来、その測定にはかなりの労力を必要とされてきたノードの測定に、著者らが開発した CCD カメラを用いる測定法を適用し、良好な結果が得られることを示した。現在の計測装置で十分実用可能と考えられるが、ターゲットの改良、基線長の延長等によって、さらに好結果が得られると期待される。

参 考 文 献

- 1) Kozakura, Y., Torii, K. and Takada, K.: A Study of the Errors of Steel Bridge Members and their Effect on the Accuracy of their Shop Assembly, Proc.

of JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol. 2, No. 1, pp. 245 S~254 S, April, 1985.

- 2) 鳥居邦夫・小桜義隆・高田孝次・長谷川謙一:鋼構造の完成検査法に関する—提案, 土木学会論文集, 第361号/VI-3, pp. 79~85, 1985年9月。
- 3) 深谷俊恒・宮島主計・出嶋慶司・片山生一・小桜義隆・白石典之:部材及び仮組立の検査に関する自動化システム検証実験報告, 横河橋梁技報, 第16号, 昭和62年。
- 4) 中川徹・小柳義夫:最小二乗法による実験データ解析, 財団法人東京大学出版会, 昭和57年。
- 5) 一瀬正巳:誤差論, 培風館, 昭和57年。
- 6) 本間仁・春日屋伸昌:次元解析・最小二乗法と実験式, コロナ社, 昭和54年。
- 7) 安居院猛・中嶋正之:コンピュータ画像処理, 産報出版, 昭和57年。
- 8) 赤坂隆:数值計算, コロナ社, 昭和57年。
- 9) 日本写真測量学会:写真による三次元測定応用写真測量, 共立出版, 昭和58年。

(1987.4.30・受付)