

技術ノート

キーワード

斜張橋
施工管理
変位計

斜張橋桁形状計測のための 連通管式変位計の検討

Report on Displacement Transducer Using Water Level System
for Measuring Girder Elevation of Cable-Stayed Bridge

前田 研一*
Ken-ichi MAEDA

片山 哲夫**
Tetsuo KATAYAMA

内海 靖***
Yasushi UCHIUMI

町田 文孝****
Fumitaka MACHIDA

橘 吉宏****
Yoshihiro TACHIBANA

枝元 勝哉****
Katsuya EDAMOTO

1. まえがき

近年、斜張橋が長大化するに従い、架設時の安全性の確認および工期の短縮などから各架設段階ごとの各種誤差(死荷重・剛度の仮定誤差、製作・架設誤差など)を架設完了後まで累積させるのではなく、各架設段階ごとにシム厚を変化させることによりケーブル長の調整を行い各種誤差の消去に努めている。

架設時の精度管理は、各架設段階ごとに図-1に示すフローに従い行うため、その一連の作業が繁雑となることから、最近ではコンピュータを利用したシステムが多く用いられている。特に、架設工事現場にて使用するという特殊性から、操作性、機動性、経済性などに優れているパーソナルコンピュータを中心とし、大型電算機のオンライン・デマンド端末としたシステム構成となっている。このようなシステム構成にすることにより、管理値計算のような大規模演算を現場にてリアルタイムで処理することが可能となる。

斜張橋の架設工事において用いられているこのような精度管理システムは数種類あり、これらはほぼ同様のシステム構成となっている。しかし、これらの精度管理システムにおいて改良・開発の余地はまだ存在し、特に桁形状の計測と塔の倒れ量の計測は計測精度の向上や計測時間の短縮のため改良・開発が必要である。そのため、著者らは桁形状の計測方法として、従来の連通管方式の目視計測の自動化を図り、連通管の測点における水压を高性能の圧力変換器により計測し、形状データを求める方法について精度確認試験を行った。

本文は、高性能圧力変換器を用いた桁形状自動計測方法の精度確認試験と、その結果の考察および管理システ

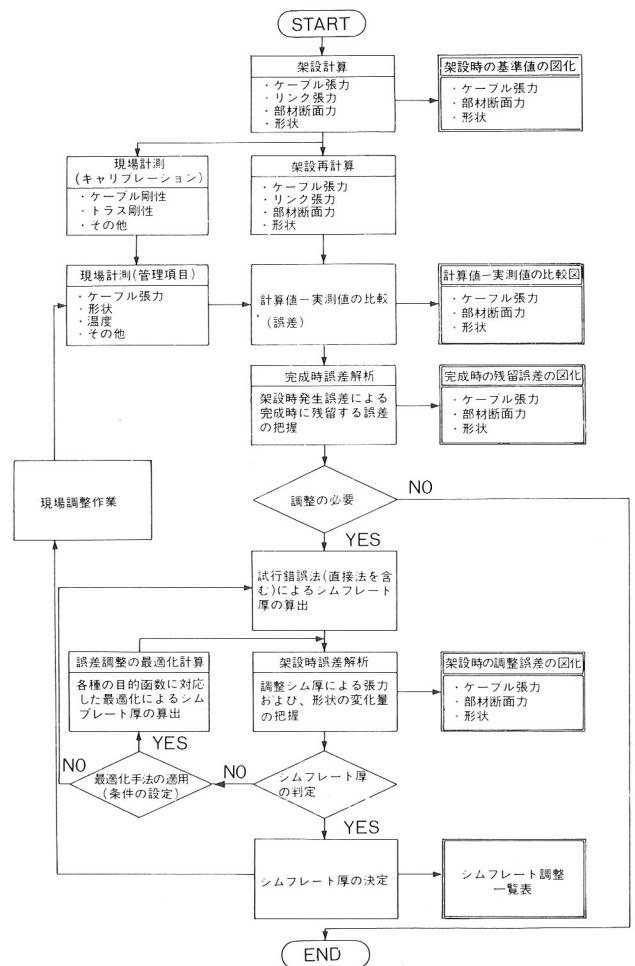


図-1 架設精度管理フロー

ムについて報告するものである。

2. 桁形状自動計測方法

桁形状計測は、計測点数が少ない中小の斜張橋では、従来どおりのレベルによる計測にて十分な精度および短

*川田工業㈱技術本部中央研究室室長 **川田工業㈱技術本部技術部長大橋課課長 ***川田工業㈱技術本部技術部長大橋課
****川田工業㈱技術本部中央研究室

時間の計測が可能であるが、長大斜張橋のように計測点数が多く、計測点間距離も長いうえに、大型重機など架設機材が橋上に配置されている場合には、レベルによる水準測量では盛り替え点数が多くなり、計測に長時間を必要とする。また、このようなことからレベルによる水準測量では、十分な精度を得ることは困難となる。そのため、長大斜張橋の桁形状計測は簡易な割に計測精度が期待できる連通管式水準測量に依ることがほとんどである。

目視による連通管式水準測量は、レベルに比べ精度の良い計測が可能であり、計測時間もレベルによる水準測量よりも短縮されるが、ある程度の時間を要するのは避けられず、また、計測距離が長い場合、レベルによる水準測量同様、連通管の盛り替えが必要であり、そのため測定データの整理は繁雑となりやすい。また、計測は夜間に行われるが、海上などでは船舶の航行の安全性のため照明が制約され、計測作業時の安全性が問題となる。この結果、最近では、計測の省力化、精度の向上、計測時間の短縮、計測作業の安全化などを目的とし、連通管式水準測量の自動化が図られてきている。

著者らは、測点の水頭圧を高性能圧力変換器によって計り、変位量を出力する図-2および写真-1に示すような連通管式変位計について、実橋および室内にて計測精度確認実験を行った。

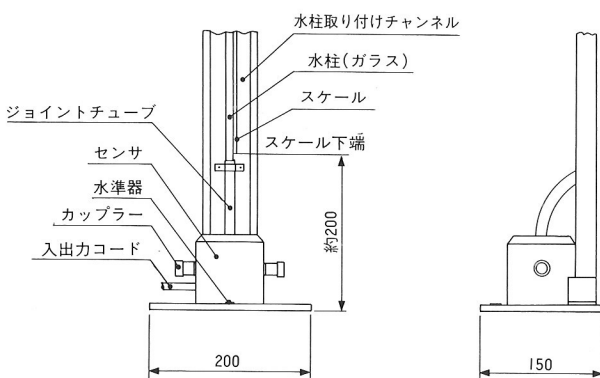


図-2 連通管式変位計

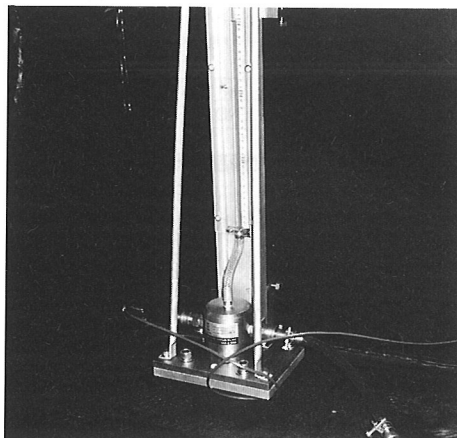


写真-1 連通管式変位計

(1) 実験方法

連通管式変位計の計測精度確認実験は、従来の計測方法(レベル、連通管の目視計測)との計測精度の比較を行う実橋実験と、連通管式変位計の特性を把握するための室内実験の二つの実験を行った。

実橋実験は、図-3に示す2面吊りファン型ケーブル配置の2径間連続鋼斜張橋の、図-4のような張出し架設時に実施した。連通管式変位計は測点①～③の鋼箱桁内に設置し、測点③に補給水槽を設け、また基準点とした。実験に使用した連通管式変位計の理論上の計測精度は0.5mmであった。なお、図-5に実橋実験時の連通管式変位計構成図を示す。

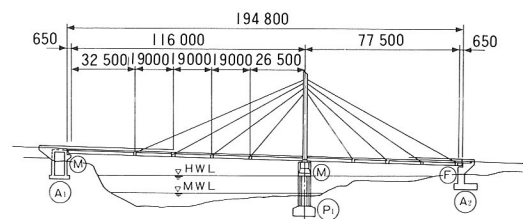


図-3 実験を行った橋梁の一般図

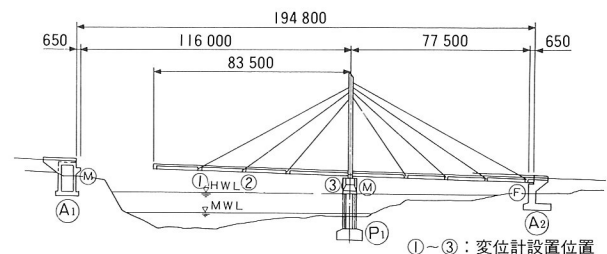


図-4 実験時の架設系

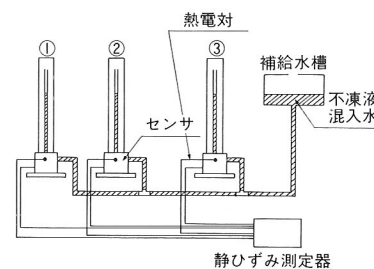


図-5 連通管式変位計構成図

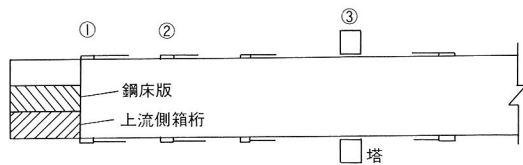
図-6に実験項目を示す。実橋における実験は、

- ① CASE-1：主桁の張出し架設時の変形
- ② CASE-2：張出し先端にクレーン車(総重約40t)を載荷した時の変形

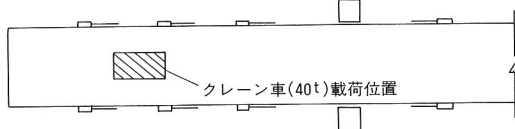
の2ケースとし、おのこのケースについて連通管式変位計、レベルおよび連通管の目視による計測を行い、計測精度の確認を行うこととした。

室内実験は、

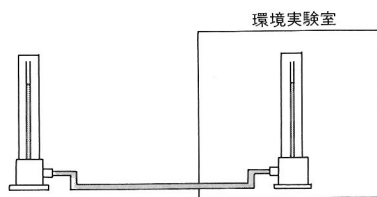
- ① 長大橋などでは測点が多数あり、測点間にて温度差が生じる可能性がある。このため、連通管式変位計の測点間に温度差が生じた場合の計測値の影響を確認する必要がある。
- ② 連通管式変位計は、設置時には水準器を使用して鉛直に測点にセットされるが、実際には、張出し架設時の橋体の変形により既に設置された連通管式変位計の鉛直度は必ずしも保たれていない。このため、連通管式変位計の傾斜による計測値への影響を確認する必要がある。
- ③ 連通管内に水を注入した時に混入される気泡は、空気抜き作業によっても完全に除去されず、計器内に微小なものが存在する可能性がある。このため、残存気泡による計測値への影響を確認する必要がある。



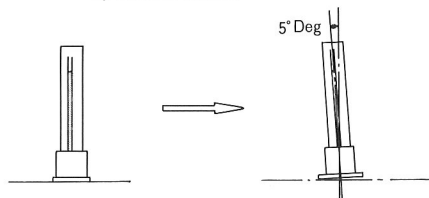
a) CASE-1 主桁の張出し架設



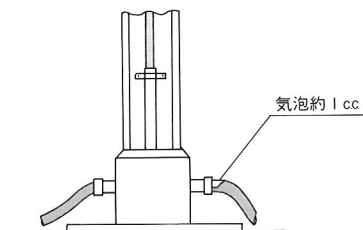
b) CASE-2 クレーン車の載荷



c) CASE-3 温度差



d) CASE-4 傾斜角



e) CASE-5 残存気泡

図-6 実験項目

を目的として、次の3ケースについて実施した。

- ① CASE-3：連通管式変位計の測点間に温度差を生じさせる。
- ② CASE-4：連通管式変位計に傾斜角(5°)を生じさせる。
- ③ CASE-5：連通管式変位計の高性能圧力変換器近傍に1cc程度の気泡を混入させる。

(2) 実験結果

a) CASE-1, 主桁の張出し架設

CASE-1の計測結果を表-1に示す。架設前・後の連通管式変位計による自動計測値と水位の目視による読み取り値との差は±1mm程度であり、両者の計測結果は合致していた。また、連通管式変位計による自動計測値とレベルによる計測値との差は最大3.6mmであったが、レベルの読み取り誤差などを考慮すると両者の計測結果は合致しているものと考えられた。

表-1 主桁の張出し架設時計測結果

ケース名	計測状態	計測時刻	水位の目視計測			自動計測			レベル計測		
			測点①	測点②	測点③	測点①	測点②	測点③	測点①	測点②	測点③
CASE1-1	上流側箱桁架設前	10:54	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	上流側箱桁架設後	11:44	79.0	42.0	0.0	79.5	40.9	0.0	80.0	44.5	0.0
CASE1-2	鋼床版架設前	14:28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	鋼床版架設後	14:55	5.0	3.0	0.0	5.9	3.9	0.0	4.0	2.0	0.0

(単位: mm)

b) CASE-2, クレーン車の載荷

CASE-2の計測結果を表-2に示す。CASE-1の計測結果同様、連通管式変位計による自動計測値と水位の目視による読み取り値とはよく合致していた。また、レベルによる計測値とは最大6mm程度の差があったが、CASE-1と同様にレベルの読み取り誤差などを考慮すると両者の結果は合致しているものと考えられた。

表-2 クレーン車載荷時計測結果

ケース名	計測状態	計測時刻	水位の目視計測			自動計測			レベル計測		
			測点①	測点②	測点③	測点①	測点②	測点③	測点①	測点②	測点③
CASE-2	クレーン車載荷前	10:09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	クレーン車載荷	10:52	86.0	60.5	0.0	86.4	59.1	0.0	92.5	62.5	0.0
	クレーン車除荷	10:58	—	7.0	0.0	16.7	6.4	0.0	18.0	4.5	0.0

(単位: mm)

c) CASE-3, 温度差

CASE-3の計測結果を表-3に示す。4ケースの水頭(19, 224, 607, 941mm)時に同様の温度変化を与えたところ3個の変位計とも温度変化による指示値は異なり、各水頭ごとの基準温度20°Cに対する指示値も異なっていた。しかし、水頭19mmの時の計測計を基準値とし変化量を求めると3個の変位計とも変化量は一致した。これは、

変位計内部の歪ゲージと受感材料の弾性係数が温度変化に伴い変化するという感度変化に起因したものである。

表-3 温度変化を与えたときの変位計指示値の変化

ケ ー ス		0℃	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃
変位計 No. 1	①水頭 19mm	2.8	1.8	0.0	-2.1	-3.5	-4.9
	②水頭 224mm	2.1	1.4	0.0	-1.4	-2.8	-3.5
	③水頭 607mm	1.1	0.7	0.0	-0.7	-1.4	-1.1
	④水頭 941mm	-1.1	0.0	0.0	0.4	1.1	2.1
	感度変化②-①	-0.7	-0.4	0.0	0.7	0.7	1.4
	感度変化③-①	-1.1	-0.7	0.0	0.7	1.4	2.5
	感度変化④-①	-2.1	-0.7	0.0	1.1	2.5	3.2
変位計 No. 2	①水頭 19mm	-2.1	-1.1	0.0	1.1	2.1	2.5
	②水頭 224mm	-2.8	-1.8	0.0	1.8	3.2	3.9
	③水頭 607mm	-4.2	-2.1	0.0	2.8	4.9	6.0
	④水頭 941mm	-6.0	-3.2	0.0	3.5	7.0	9.8
	感度変化②-①	-0.7	-0.7	0.0	0.7	1.1	1.4
	感度変化③-①	-1.4	-0.4	0.0	1.1	1.8	2.1
	感度変化④-①	-1.7	-1.1	0.0	0.7	2.1	3.9
変位計 No. 3	①水頭 19mm	3.2	1.4	0.0	-0.4	-1.1	-2.1
	②水頭 224mm	2.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	③水頭 607mm	1.4	0.4	0.0	1.4	1.8	1.8
	④水頭 941mm	-0.4	-0.7	0.0	1.4	3.2	4.6
	感度変化②-①	-0.4	-0.4	0.0	0.4	1.1	2.1
	感度変化③-①	-1.4	-0.7	0.0	1.4	1.8	1.8
	感度変化④-①	-1.8	-1.1	0.0	0.0	-1.4	2.8

(単位: mm)

d) CASE-4, 傾斜角

CASE-4の計測結果を表-4に示す。水位が1000mmのとき、水柱を5°傾斜させると、連通管式変位計の計測値は4mm変化した。一般に、連通管を設置する際の測点の水頭は最高2m程度になるため、このことから、水柱の鉛直度が保たれない場合、真値に対し計測値は最大1cm程度の誤差を持つ可能性がある。しかし、補正計算をした場合の誤差量は1mm以下であることから、実際に使用する際には、鉛直度の補正を行うことにより使用に供すると考えられた。

表-4 傾斜角を与えた時の計測結果

水位	0°時測値	5°傾斜させた時の計測値	傾斜角の補正計算値
0	0	0	0
200	200	200	200.8
400	400	398.3	399.8
600	600	597.6	599.9
800	800	796.9	799.9
1000	1000	995.9	999.7

(単位: mm)

e) CASE-5, 残存気泡

CASE-5の計測結果を表-5に示す。気泡の残存による計測値の変化は0.6mm程度であり、1cc程度の残存気泡では、計測上、問題にならない量だった。しかし計測の正確さを期すためには、気泡の除去に最大限の努力をしなければならないと考えられる。

表-5 残存気泡による影響の計測結果

水位	気泡無し	気泡有り	差
0	0	0	0
200	200	200.0	0
400	400	399.6	0.4
600	600	599.7	0.3
800	800	799.4	0.6
1000	1000	999.4	0.6

(単位: mm)

(3) 結論

連通管式変位計の精度確認および特性の把握を行うため実験を実施し、以下の事項が確認できた。

- ① 実橋にて計測精度確認実験を行ったところ、連通管式変位計は斜張橋の架設時精度管理計測に必要な精度(±5mm以内)を備えている。
- ② 現状の連通管式変位計の測点間に温度差が生じると、計測時に温度変化した場合、計測器の感度変化により指示値も変化する。しかし、温度変化が生じたとしても計測器の特性を把握し、温度計測を行うことにより補正が可能である。ただし、将来的には感度変化の影響を無視できるように計測器の改造が必要である。
- ③ 連通管式変位計の鉛直度が変化するに伴い、変位計の出力値も変化する。水位1000mm、傾斜角5°の場合、出力値は4mmの変化を示す。このため、使用する際には、変位計に傾斜計などの角度計測器を取り付け、計測値の補正を行う必要がある。
- ④ 連通管内に残存する気泡が変位計の出力値に与える影響は、残存気泡の体積が1cc程度ならほとんど無視できる。ただし、残存気泡量が多くなれば出力値に影響するため、気泡の除去に最大限の努力をしなければならない。

なお、橋体の振動により連通管内の水位が変化し、それに伴い変位計の出力値がバラツクことが考えられる。

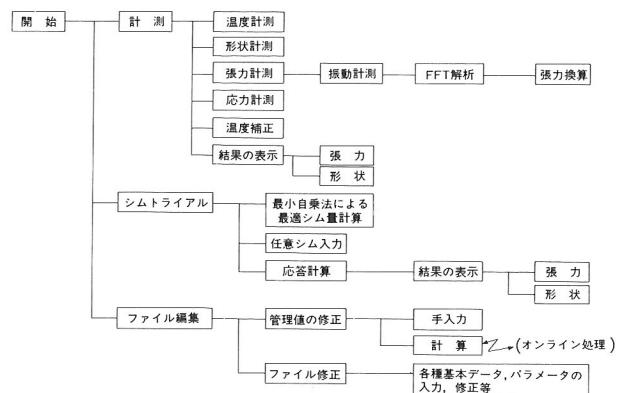


図-7 システム構成

これについては、計測器内でデータのサンプリングを数秒の間に繰り返し行い、その結果を平均化して計測値として出力するシステムにすることにより解消することが可能である。

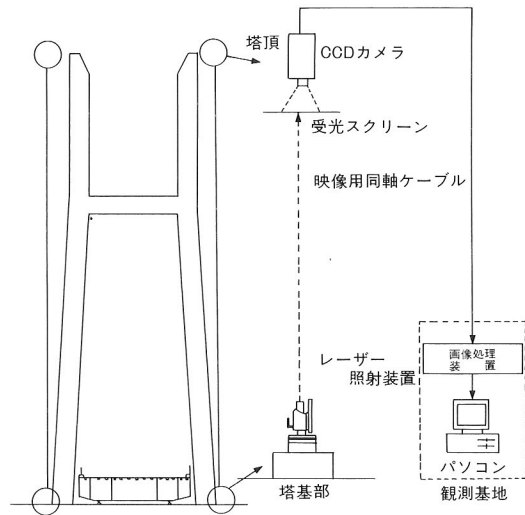


図-8 塔の倒れ計測

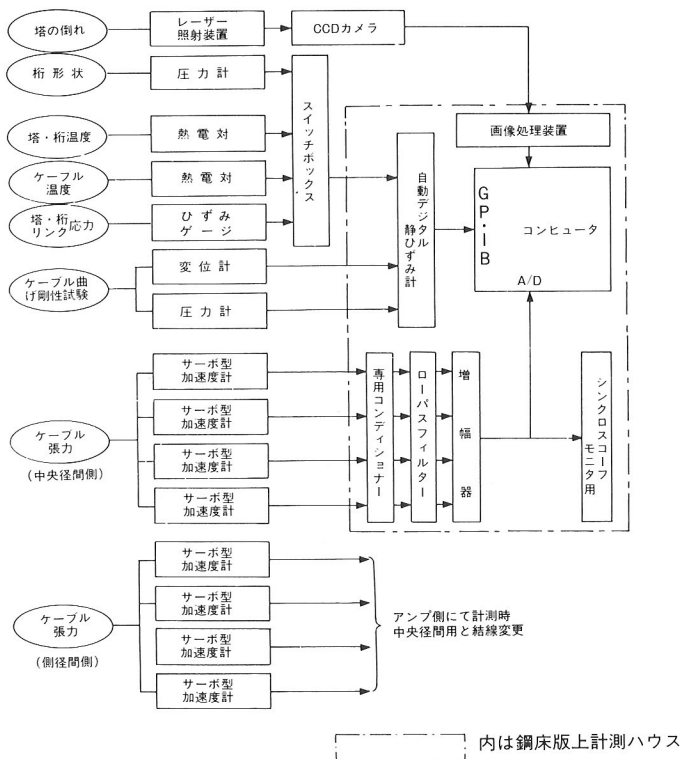


図-9 計測ブロック

3. 架設精度管理システム

図-7に示すシステム構成は、管理値計算などの計算上大容量を必要とする処理内容以外は、すべてをパーソナルコンピュータにて処理するシステム構成となっている。

ケーブル張力計測は、経済性、作業性および計測精度など総合的な比較から振動法による計測が現在のところ

一般的である。また、塔の倒れ量の計測は、従来、重錘やトランシットを用いて行われてきたが、斜張橋の長大化により塔高も高くなったため、従来の計測方法では所定の計測精度を確保することが困難となってきた。このため、従来の計測方法にハイテク機材を使用し、精度の向上を図る図-8のような計測方法が考えられている。これらの計測方法と桁形状の計測に連通管式変位計を用いた場合の計測ブロック図を図-9に示す。

4. あとがき

本文は、斜張橋の桁形状計測方法として連通管式変位計を用いるために計測精度の確認および特性の把握を行い、その有効性が確認されたことについて報告した。しかし、斜張橋の架設時精度管理は、計測の自動化を図るにつれ、管理システムのオペレータとして計測データの正誤の判断や計器の原理などに精通した者を必要とすることから、将来的には、誰もが管理を行えるようなシステムを構築しなければならないだろう。

参考文献

- 1) 前田・作田・西土・町田・富沢・内海：ケーブル構造物の施工管理システム, 川田技報, Vol.5, 1986年1月。
- 2) 西岡・片山・内海・前田・町田・越後：本四斜張橋・櫃石島橋の面材架設時施工管理システムの開発, 川田技報, Vol.6, 1987年1月。
- 3) 森本・野田・中山・町田・橋：FCC工法におけるたわみ管理システムの開発, 川田技報, Vol.7, 1988年1月。
- 4) 本州四国連絡橋公団ほか：櫃石島橋上部工工事報告書, 1988年3月。
- 5) 石岡・井下・亀井：菅原城北大橋主橋梁部の架設時精度管理, 橋梁と基礎, 1989年7月。