

(55) 鋼管コンクリート構造を適用したコンクリートアーチ橋の架設工法
- 合成アーチ巻立て工法 (CLCA工法) -

NEW CONSTRUCTION METHOD OF CONCRETE ARCH BRIDGE APPLIED THE
STEEL TUBE FILLED CONCRETE - CLCA METHOD -

大 浦 隆* 河 村 哲 男*
Takashi OHURA Tetsuo KAWAMURA

Joushi Bridge and Asahi Bridge are constructed by new construction method which is named "CLCA Method" (Concrete Lapping method with pre-erected Composite Arch). This is one method to construct the concrete arch rib using steel tube in which the concrete is filled, as the embedded type of arch centre. Using this construction method it can be possible to reduce the steel material because of high strength against axial force compared with Arch Centre Method and Melan Arch Method. Firstly we report about the design and construction of this method, secondly we inform a part of performance test executed during the arch rib construction.

1. まえがき

コンクリートアーチ橋は完成形の構造系が合理的であるばかりでなく、その独特の景観美より、従来より多く採用されている橋梁形式である。しかし、コンクリートアーチ橋はその施工法が重要な課題であり、構造物の材料費に比して、その架設資材および設備に多額の工費を要する。このため、施工時の安全性を確保し、かつ経済的な架設工法の開発が強く望まれている。

本報告は、コンクリートアーチ橋の新しい架設工法である「合成アーチ巻立て工法」(Concrete Lapping method with pre-erected Composite Arch:CLCA工法)の設計・施工法についての概要を述べ、また実際に施工された城址橋(アーチスパン 82m)、旭橋(58m)のアーチリブ施工に伴って行った実証試験結果について一部述べるものである。

2. 合成アーチ巻立て工法

本工法は合成柱の構造理論をコンクリートアーチ橋の構築方法に応用した施工法である。すなわち薄肉角形鋼管をアーチリブ軸線に架け渡した後、鋼管内にコンクリートを充填し、より剛性の高い鋼とコンクリートの合成構造とし、これを支保工として特殊移動作業車によりアーチリブコンクリートを順次巻立てていくものである。軸方向力に秀れた性質が生かされ、セントル工法やメラン工法に比較して鋼材量を大幅に減少できることが最大の特長である。その他、次のような利点を有している。

* ピー・エス・コンクリート株式会社 第一技術部 主任研究員

1) 施工の初期の段階で鋼管を閉合するため、耐震、耐風安定性に優れ、さらにコンクリートが充填された合成アーチは、強固な構造となるので、アーチリブの施工は、極めて安全性の高いものとなる。

2) 鋼アーチ→合成アーチ→RCアーチと段階的な施工法であるが、トラス工法、ピロン工法などのカンチレバー工法のように、大きく構造系が変化することがないため、設計、施工管理が容易である。

3) アーチリブ施工用のワーゲンが、前方でも支持できることから、軽量化でき、またブロック長が大きく取れることから工期の短縮を図ることができる。

4) 合成アーチはSRC部材として有効に働き、靱性に優れ最終耐力が向上する。

5) 経済的な架設工法である。

3. 施工

概略施工順序図を図-3に示した。鋼管の閉合は両橋とも施工性、経済性を考慮してロアリング工法により行った。巻立てコンクリートはスプリング工後両橋台より左右交互に打設した。1ブロック長は、城址橋で5m、旭橋で3.5mである。旭橋では巻立てコンクリート自重によるアーチリブ鉄筋への影響を減らすため施工段階に従って斜材を順次緊張している。

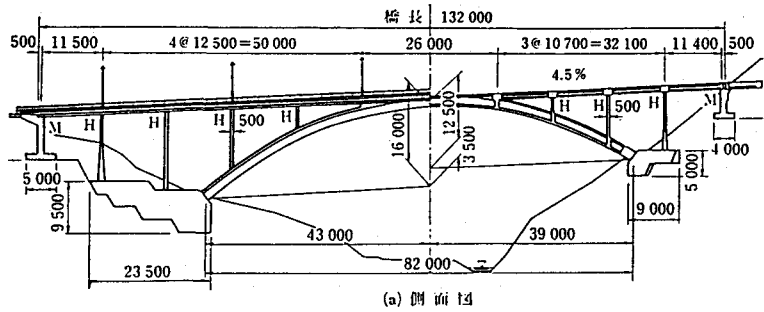


図-1 城址橋

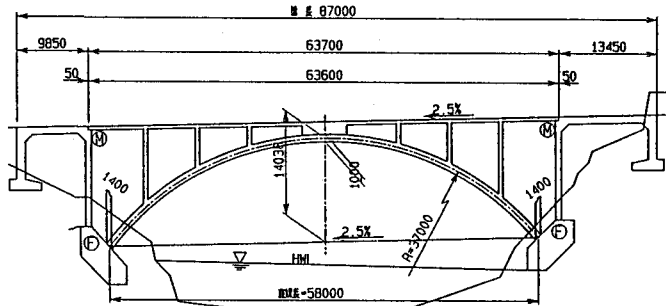


図-2 旭橋

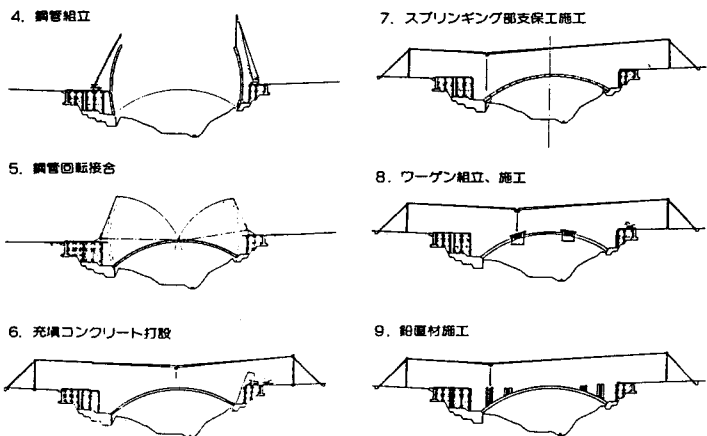
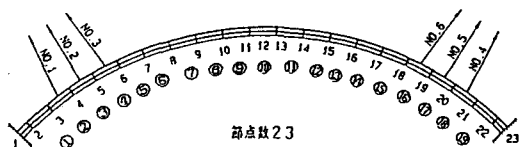


図-3 概略施工順序図(例: 城址橋)



1	①A	2	②B	3	MO.1C	4	③B	5	MO.4C	6	④B	7	MO.2C
8	⑤B	9	MO.5C	10	⑥B	11	MO.3C	12	⑦B	13	MO.6C	14	⑧B
15	⑨B	16	⑩B	17	⑪B	18	⑫B	19	⑬B	20	⑭B	21	⑮B
22	⑯B	23	⑰B	24	⑱B	25	D	26	A				

A: ブロック打設後支保工撤去、 B: ブロック打設、 C: ギール緊張、
D: ギールMO.1 - MO.6 解放、 E: 移動型作業車
1-26は施工段階、①-⑮はブロック番号を示す。

図-4 旭橋の施工順序(斜吊り含む)

4. 設計方法

コンクリートアーチ橋の完成時の設計は、従来のものと変りがないので、ここではアーチリブ架設時の設計について述べる。

4. 1 充填コンクリート打設時

鋼管の設計は道示Ⅱ(鋼橋編)により鋼部材として計算した。構造系は2ヒンジアーチで、考慮した荷重は、①鋼管および充填コンクリート重量、②温度変化、③作業荷重、④地震荷重、⑤風荷重である。また面内、面外の座屈に対する安全性も照査した。

4. 2 巻立てコンクリート打設時

巻立てコンクリート打設時は、巻立てが終了したコンクリートアーチリブ部材と未だ終了していない合成アーチ部材の両方でアーチが構成されている。コンクリートアーチリブ部材は通常のRC部材として設計されるが、コンクリート中の鋼管は、応力度に及ぼす影響が小さいので無視した。

合成アーチ、つまり鋼管コンクリート部材は、鋼管を鉄筋に換算したRC部材として設計した。たわみや断面力算出の骨組解析では、実ヤング係数比を使用した全断面有効として、応力度の算出は $n=1.5$ とした鉄筋コンクリート理論(以下RC理論と称す)でおこなった。せん断力に対しては鋼管ウェブのみが抵抗するものとして照査した。

4. 3 合成アーチ部材の鋼・コンクリート合成効果

本工法は合成柱の構造理論を適用したものである。合成柱の構造特性は、

- 1) 鋼管とコンクリートの共働効果による耐力の増加
- 2) 鋼管とコンクリートの共働効果による剛性の増加
- 3) 曲げ変形能力、すなわち曲げを受けるときの靱性が大きい
- 4) 鋼埋め込み桁、プレビーム等と同様に鋼断面積に対する付着面積の比が極めて大きい。

しかしながら、本工法においての合成アーチ部材の検討を許容応力度法で行っている限り、1)、3)の特性は、潜在的な能力としてはあるものの直接設計に関係するものではない。2)、4)が直接関係するものである。

一般に、鋼・コンクリート合成部材はずれ止めを用いて合成効果を確保する。本工法では以下の理由により、特にずれ止めの必要性はないものと判断した。

- (1) 架設時の一時的な部材であり、永久構造物ではない。
- (2) アーチ形状の特性で、合成アーチ部材のせん断力が小さい。
- (3) 4)で述べたように付着面積が大きい。
- (4) 密閉構造ゆえに乾燥収縮の影響は無視できる。

以下に城址橋の架設時の最大せん断力及び付着応力度を示す。このときの圧縮縁の付着応力度を、圧縮縁にのみ付着がある場合を算出した。その結果、 2.1 kg/cm^2 となり一面のみの付着応力度でもかなり小さく、自然付着力（粘着作用と摩擦作用）で十分合成を確保できると考えられる。

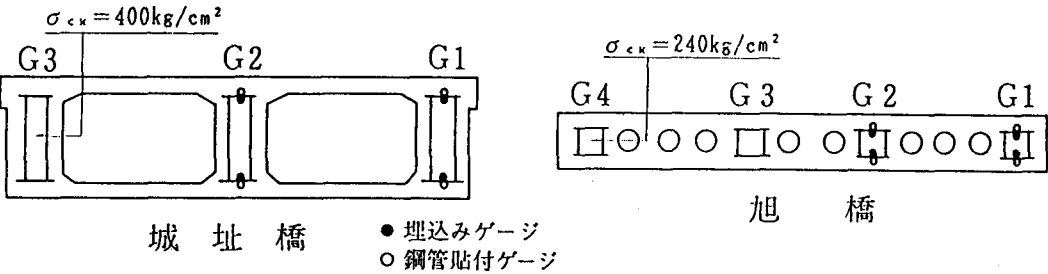
2) の剛性の増加に対しては、充填コンクリートに圧縮強度の高いものが有利である。すなわちコンクリートのヤング係数を大きくできるため、合成アーチ部材の剛性が高まり、巻立て架設中のたわみを小さくできそして巻立てコンクリート部の曲げモーメントを減少させることが出来る。さらに鋼管コンクリート断面としては、圧縮応力度をより多くコンクリートが負担することができ、鋼材量を減少させることができる。ただし、本設計で用いたようにヤング係数比 $n = 15$ の一定値を使用すればこの効果は無いものになる。

5. 実橋試験結果および考察

4. 2で述べた設計々算法等の妥当性を確認するため実橋実証試験を行った。ここでは合成アーチ部材の挙動について述べる。

5. 1 試験方法

図-7に示すように、鋼管の上縁、下縁にひずみゲージを鋼管内の上縁、下縁に埋込みゲージを設置し、鋼管及び充填コンクリートの応力度を測定した。測定は、巻立てコンクリート打設毎に行った。



鋼管 SS41

図-7 ゲージ設置図

⑭ ブロック 打設時

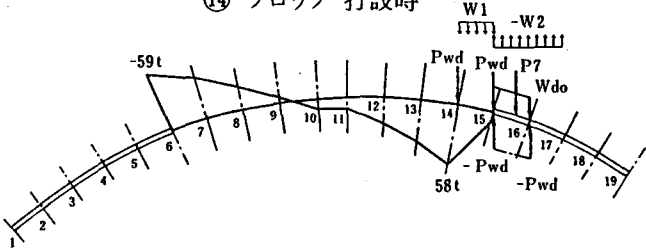


図-5 合成アーチ部のせん断力図（城址橋）

上面のみ付着有り

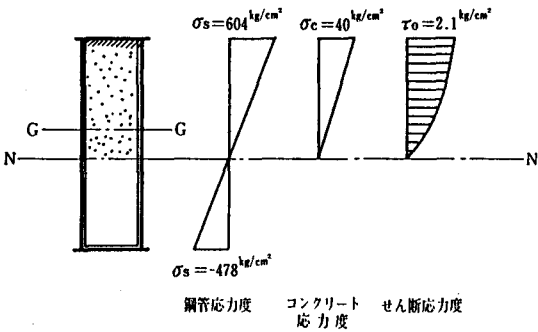


図-6 付着応力度（城址橋）

5. 2 試験結果

図-8～11に主要点の施工段階毎の応力度の変化を示す。旭橋の施工段階数が多いのは架設途中斜材を緊張しているためである。計算値は比較の意味で計算書に使用した $n=15$ のRC理論の他に実ヤング係数比 n （城址橋は $n=7$ ，旭橋は $n=7.78$ ）のRC理論と全断面有効理論による値も示した。曲げモーメントによる応力度が圧縮となる部分、例えばクラウン部の下縁や1/4点の上縁は鋼管および充填コンクリートともに、ヤング係数比 n が同じなら全断面有効理論とRC理論ではおおよそ同じである。曲げモーメントによる応力度が引張となる部分は両理論による応力度に差が生じ、逆に n が異なってもほとんど同じ値を示す。（図-8の鋼管上縁応力度 参照）

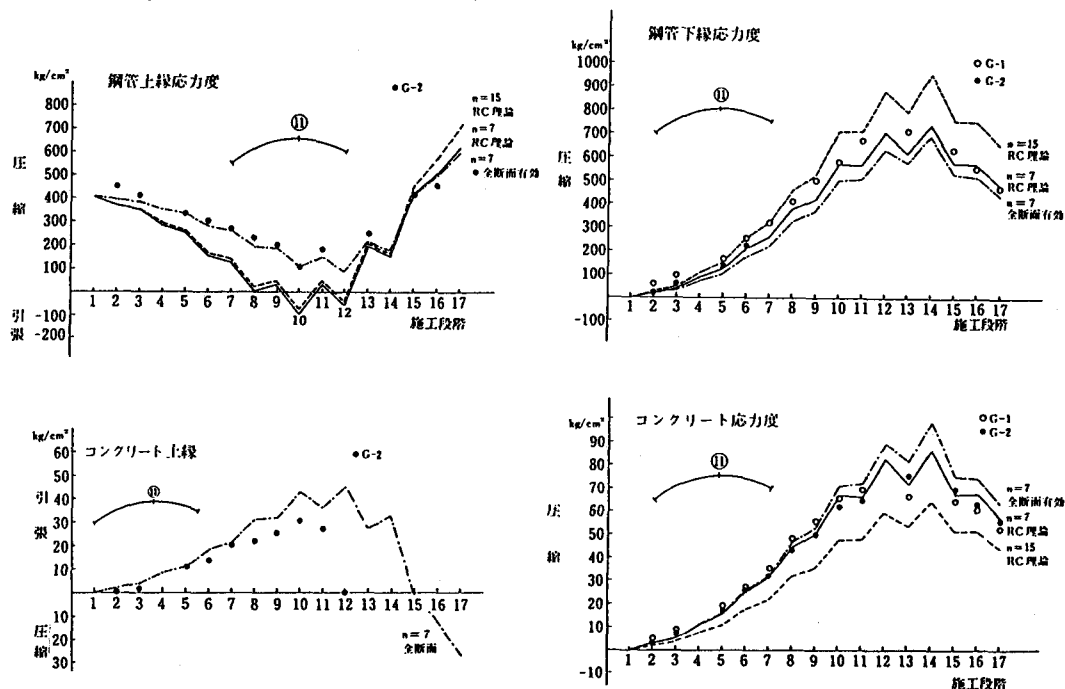


図-8 城址橋クラウン部の応力度

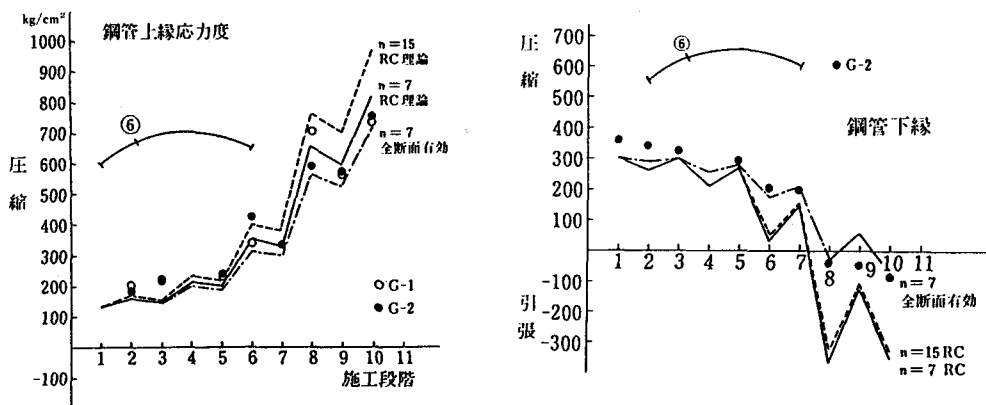


図-9 城址橋1/4点の応力度（鋼管）

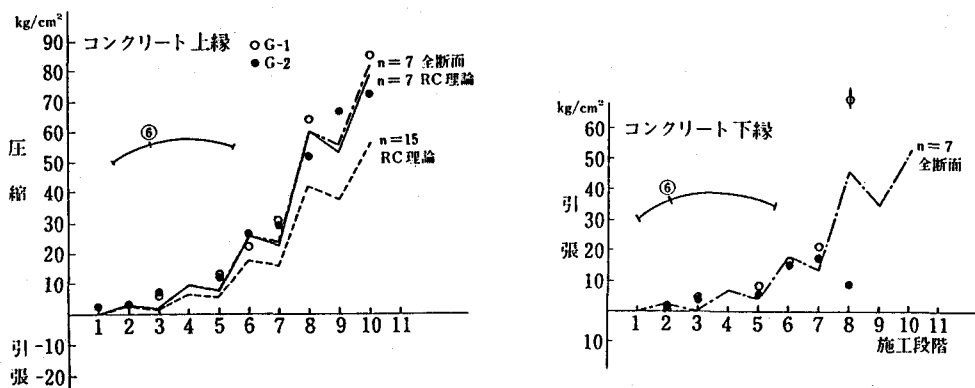


図-10 城址橋1/4点の応力度(充てんコンクリート)

実測結果を見ると、城址橋、旭橋とも、どの部分も実ヤング係数比を使用した計算値に近い値を示した。両理論による差が顕著に現れる曲げにより圧縮側となる鋼管の応力度をみると、城址橋のクラウン部や1/4点では全断面有効、旭橋のクラウン部ではRC理論に近い値を示している。これは図-8と図-9のコンクリート上縁応力度に見られるように、充填コンクリートが城址橋ではかなり後半の施工段階まで引張応力度を負担し、旭橋では最後の斜材緊張後早期にクラックが入り引張応力度を負担していないことからもうづけられる。

どの測点でも鋼管上縁、下縁、コンクリート上縁、下縁の応力度に大きな矛盾はなく、それぞれの理論値にほぼ一致している。全断面有効及びRC理論の差があるにせよ、鋼管とコンクリートが一体となって外力に抵抗していることは明かである。これは、城址橋と旭橋の場合に見られる

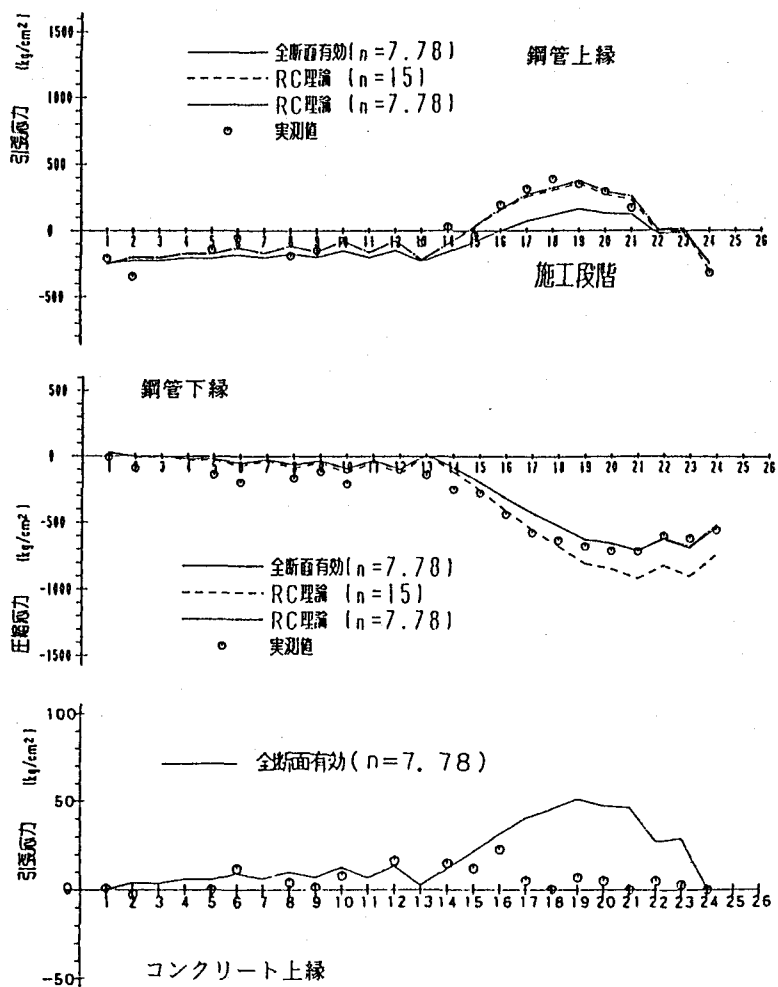


図-11 旭橋クラウン部の応力度

ように鋼管コンクリート断面の形状あるいは充填コンクリートの強度が異なっても、同じであることを示している。

外主構と内主構との間に何らかの差があるかどうかを調べたが、城址橋については、両主構そろってゲージが最後まで正常に作動したものが少なかったこともあって、はつきりとしたことは、分らなかったが図-8のコンクリート下縁、図-9の鋼管上縁でみる限りは有意差はないようである。設計の際の検討では、横構の存在により分配はほぼ均等であつたので、本結果と一致している。旭橋もほぼ同様の結果であつたので図中の実測値は平均値で表している。

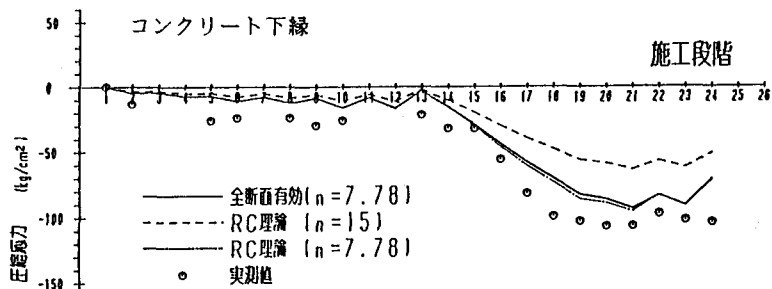


図-1 1' 旭橋クラウン部の応力度

5. 3 まとめ

以上、試験結果を簡単にまとめると次の様である。

- 1) 実測値は $n=15$ の RC 理論値には一致せず、実ヤング係数比を使用した計算値に近い値を示した。
- 2) 鋼管とコンクリートは一体とした挙動を示し、コンクリートの引張応力度の負担の有無により、RC 理論、全断面有効理論の二通りが現れた。
- 3) 主構間の荷重の分配はほぼ均等であつたと推定される。

結果的には、実ヤング係数比による全断面有効による計算が試験結果と良く一致したところもあったが、設計々算に用いる計算法としては実ヤング係数比を用いた RC 理論が以下の理由により適当と考えられる。

- (1) 合成アーチ部材は、架設時の一時的な構造部材であり、永久荷重時のクリープの影響を考慮する $n=15$ の RC 理論を使用する必要はない。
- (2) 合成アーチ部材は、鋼管の圧縮応力度でほとんど断面が決まり、この圧縮応力度に対して全断面有効による計算値は危険側の値を与える。
- (3) 実際に、高応力レベルではコンクリートの引張力を負担する部分が減少し、RC 理論の方に近くなる。

6. あとがき

合成アーチ巻立て工法によるアーチリブの設計・施工および実証試験の一部について概略を述べた。城址橋、旭橋とも工程どおり何事もなく工事を完了することができた。試験結果も予想されたものとは言え、ほぼ満足できる結果を得ることができた。

本試験結果を整理している中で、本工法のように軸圧縮力が卓越する構造物に対して鋼管コンクリート構造は極めて有利であることをあらためて感ずることができた。本報告が類似の構造物を計画する際の参考になれば幸いである。

最後に CLCA 工法の設計・施工・試験等多方面にわたって御指導をいただいた名古屋大学島田、田辺、加藤先生及び秋田大学徳田、川上両先生他、城址橋、旭橋の関係各位に感謝の意を表する次第である。

[参考文献]

- 1) 大浦・加藤・田辺・島田：コンクリートアーチ橋架設用アーチ支保工への鋼管コンクリート構造の適用に関する実験的研究、コンクリート工学 V o 1. 22, No 12, 1984. 12

- 2) 大浦・加藤・河村：コンクリートアーチ模型の破壊試験、コンクリート工学、Vol. 23、No.9、1985. 9
- 3) 川上・高橋・大浦・水城：合成アーチ巻立て工法によるコンクリートアーチ橋の施工と実証試験 第111回コンクリート工学年次講演会
- 4) 佐藤・佐川・小林：合成アーチ巻立て工法によるコンクリートアーチ橋の施工ー城址橋ーコンクリート工学Vol. 27, No.6
- 5) 「鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン」土木学会
- 6) 合成柱（充てん方式）を有する鋼製橋脚の設計・施工指針（案）昭和61年3月 阪神高速道路公団