

# プレストレスを導入した鋼・コンクリート合成 タイドアーチの構造特性

松田 浩\*・三浦 昌弘\*\*  
崎山 毅\*・森田 千尋\*

## Characteristics of Prestressed Tied Arch using Concrete-Filled Steel Arch Ribs

by

Hiroshi MATSUDA\*, Masahiro MIURA\*\*  
Takeshi SAKIYAMA\* and Chihiro MORITA\*

An arch structure can reduce the maximum bending moment and the applications of a prestressing technique to the steel structure make it possible to increase the load-carrying capacity as well as to enlarge the elastic region.

Furthermore, the ultimate strength of concrete-filled rectangular steel tubes is higher than the summation of each of steel and concrete ultimate strength under composite action of axial compressive forces and bending moments.

In this report, the structural characteristics of the concrete-filled tied arch are investigated.

### 1. まえがき

鉛直荷重を支配荷重とする構造物の合理的設計法には、(1) アーチのように形態抵抗による曲げ応力の排除、(2) 高性能な構造要素や部材の使用、(3) 主部材へのプレストレスの導入などが考えられる。

アーチ構造は桁構造と比べその力学的性状に優れ、また扁平アーチは景観的にも優れている。そのうえ鋼・コンクリート合成構造を用いれば、力学的特性の大きいなる向上を得ることができるものと考えられる。

鋼・コンクリート合成構造とは、薄肉断面の鋼部材の内部にコンクリートを充填し一体化したものであり、鋼管とコンクリートのそれぞれの強度の和である累加強度以上の強度を期待することができ、軸方向圧縮力または曲げモーメント、あるいはその両方を同時に受ける部材に対して、より高い剛性と優れた耐荷力特性を発揮できるようにしたものである。

筆者らはこれまで上記 (1), (3) を考慮して、景観的にも優れる扁平なタイドアーチを対象として、アーチ部材にプレストレスを導入した構造の耐荷力特性に関する研究を行ってきた。その結果、タイドアーチにプレストレスを導入すると、アーチ部材には逆モーメントを導入することになり、耐荷力が増大すること、最適な導入プレストレス量が存在すること、タイ材、アーチ部材との剛性比の影響が顕著であることなどがわかった。

本文は、上記 (1), (3) に加えて、(2) を考慮し、鋼管にコンクリートを充填した合成構造を用いたアーチ構造を対象としてその力学的特性を解析的に明らかにすること、およびこのような構造の実構造物への適用性を追求することを目的としたものである。

鋼部材にコンクリートを充填した合成柱をアーチリブに用いたアーチ橋に関する研究には文献 1) などが

平成9年4月25日受理

\*構造工学科 (Department of Structural Engineering)

\*\*大学院修士課程構造工学専攻 (Graduate Student, Department of Structural Engineering)

あり、合成柱として設計することにより鋼部材よりもより高い剛性と優れた耐荷力特性が発揮できることが報告されている。本文は文献 1) に基づき、コンクリートを充填した鋼アーチリブを用いたタイドアーチの構造特性について調べたものである。景観的にも優れる偏平なタイドアーチにプレストレスを導入したり、合成柱を用いたりすればそのメリットが生じてくるものと考えられる。

2. 鋼製アーチの基本構造特性

まずアーチ構造の基本特性を把握するために、ライズスパン比  $f/L$  をパラメータとして各荷重状態 (1/4 点集中荷重, 1/2 点集中荷重, 半載荷等分布荷重, 全載荷等分布荷重) に対する一般的な鋼製タイドアーチ構造に生じる各最大断面力を比較検討した。Fig. 1, Fig. 2 の横軸はライズスパン比  $f/L$  であり、縦軸は  $f/L=1/5$  の場合の断面力を基準としたときの、それぞれの  $f/L$  のアーチに生じる軸方向力および曲げモーメントの増加率である。なお、ライズスパン比  $f/L$  は  $1/5 \sim 1/15$  の範囲内の 8 ケースで解析した。

Fig. 1 より、最大軸方向力はライズが低いほど大き

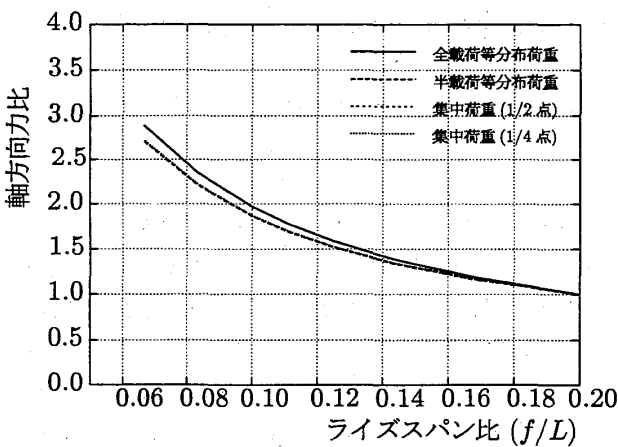


Fig. 1 鋼アーチの軸方向力比

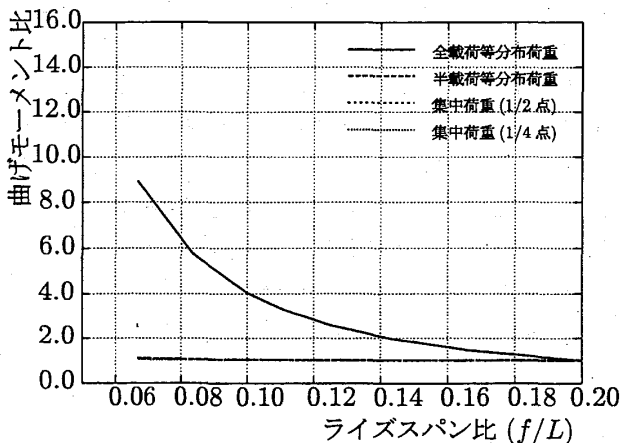


Fig. 2 鋼アーチの曲げモーメント比

くなり、荷重状況の違いにかかわらず同様の値を示すことがわかる。また、Fig. 2 より、低ライズアーチの最大曲げモーメントは、全載荷等分布荷重を受けた場合ライズスパン比が小さくなると大きくなり、 $f/L=1/15$  のとき、 $f/L=1/5$  の場合の最大曲げモーメントの約 9 倍の値を示す。これらの結果は文献 1) の 2 ヒンジ、固定アーチの結果と同じ傾向を示している。すなわち、アーチを低ライズ化する場合、全載荷等分布荷重は最大軸方向力をほとんど変化させないが、最大曲げモーメントに大きな影響を及ぼす。この結果はタイドアーチの場合にも該当する。鋼管にコンクリートを充填したアーチリブでは、鋼管のみの自重に比べて充填コンクリートの自重が全載荷等分布荷重として付加されるので、充填コンクリートが断面力に大きな影響を及ぼすことが予想される。

3. 鋼・コンクリート合成構造からなる上路アーチの構造特性

3.1 鋼・コンクリート合成構造の構造特性

Table. 1 設計条件

橋格	1 等橋
形式	2 ヒンジ上格式アーチ橋, 上路式タイドアーチ橋
アーチ支間	100.0m
幅員	7.0m
アーチリブ間隔	6.0m
床版厚	22.0cm
舗装厚	6.0cm
ライズスパン比	1/6, 1/15
鋼重	350.0kgf/m <sup>2</sup>
使用鋼材	SM490
コンクリート設計基準強度	$\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$
適用示方書	「道路橋示方書・同解説」(平成 6 年 2 月)

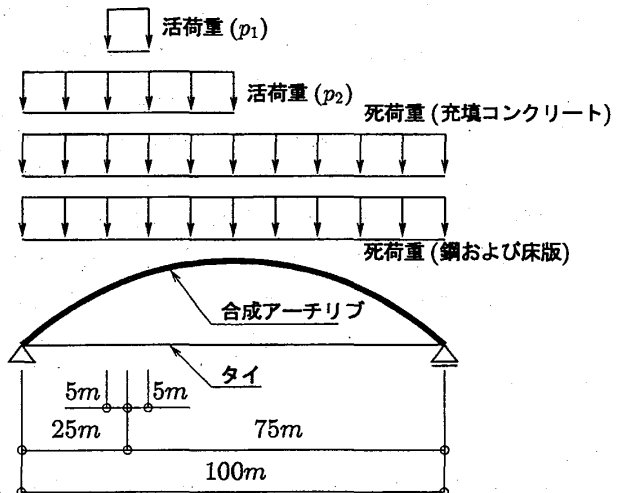


Fig. 3 荷重状況 (B活荷重)

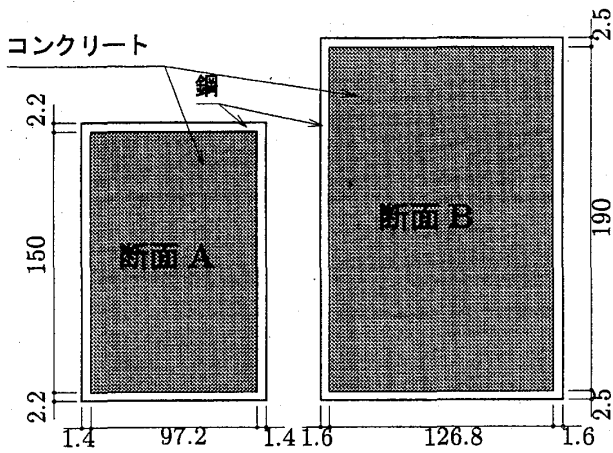


Fig. 4 断面形状 [cm]

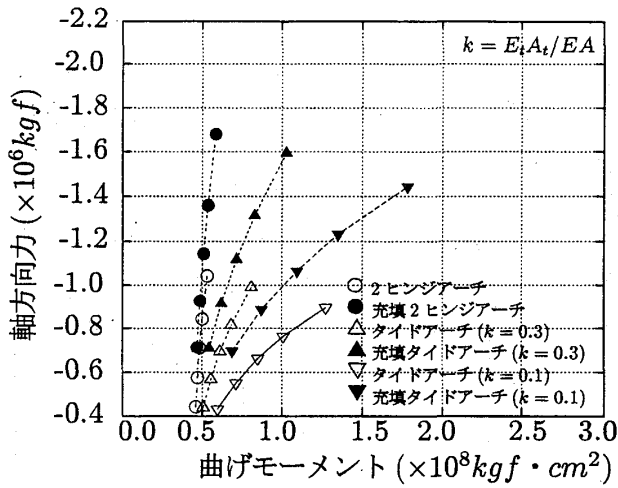


Fig. 5 境界条件の違いによる鋼アーチとコンクリート充填アーチの断面力の変化 (断面A, 細長比  $a = 160.6$ )

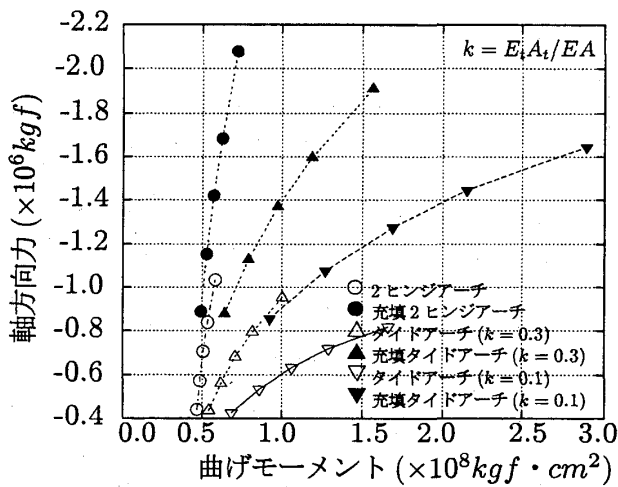


Fig. 6 境界条件の違いによる鋼アーチとコンクリート充填アーチの断面力の変化 (断面B, 細長比  $a = 126.6$ )

Table. 1 に示すようなスパン長100mの2ヒンジ上路式アーチ橋の設計条件に基づき、鋼アーチ橋およびコンクリート充填鋼アーチ橋に発生する断面力を比較検討した。なお、Fig. 3 は道路橋示方書に従った設計荷重であり、Fig. 4 に示す断面AおよびBは、それぞれ  $f/L=1/6$  および  $1/15$  のとき鋼アーチに作用する断面力をもとに、許容応力度法により決定したものである。

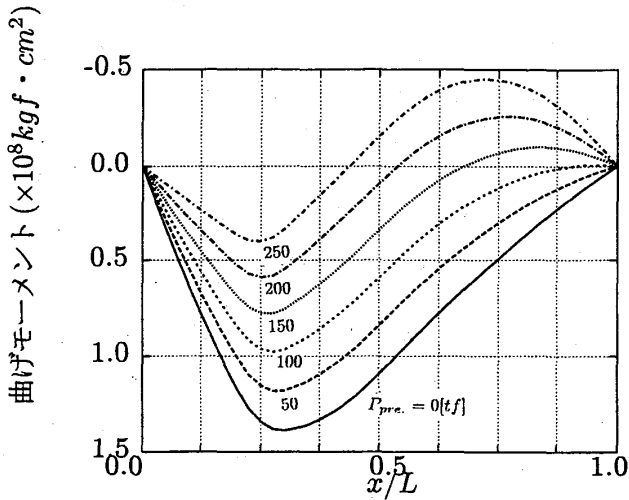
Fig. 4 の断面A およびB を有する鋼アーチを基準として、タイドアーチとした場合、およびコンクリートを充填したアーチとした場合の、アーチリブの1/4点 (荷重作用点) の断面力の比較結果をFig. 5, およびFig. 6 に示す。タイドアーチではタイの断面積が鋼アーチリブの断面積の3割, 1割として計算したものである。なお、図中の各点は各構造系において、下から順に  $f/L=1/6, 1/8, 1/10, 1/12, 1/15$  のときの値である。これらの図より、低ライズの場合、コンクリートを充填すると、断面力が大きくなるのがわかる。また、タイドアーチにおいてタイの剛性が低ければ、コンクリートを充填したときの断面力の増加が大きくなるのがわかる。すなわち、タイドアーチでは2ヒンジアーチに比べて充填コンクリートによる断面力増加量が大きくなるので、2ヒンジアーチほどには鋼重減が図れないことがわかる。

しかしながら、プレストレスを導入することによりコンクリートの自重による断面力の増加分を相殺できると考えることができる。そこで、前述のようなタイドアーチにプレストレスを導入し断面力の変化を調べ、プレストレス導入の効果を検討した。

### 3.2 プレストレスを導入した鋼・コンクリート合成構造の構造特性

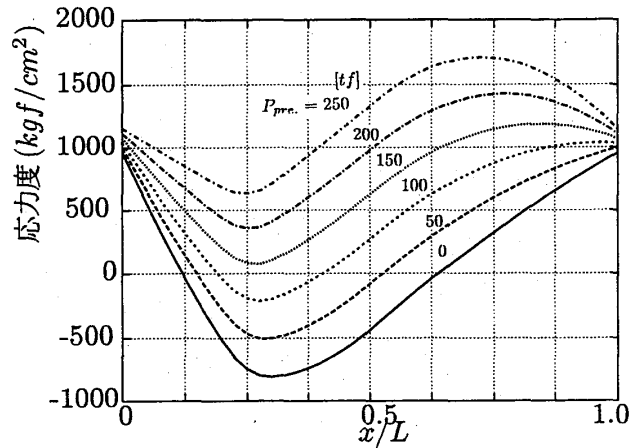
#### (1) 鋼製箱型断面

まず、 $f/L=0.05$  の場合の鋼製箱型断面をもつアーチ橋について、プレストレスを変化させて導入したときの曲げモーメントの変化をFig. 7 に示す。なお、図の横軸はアーチ橋軸方向の位置の無次元量、縦軸は曲げモーメント量を示している。同図より、プレストレスを導入することによって曲げモーメントは小さくなるのがわかる。また同様に軸方向力の変化をFig. 8 に示す。曲げモーメントとは反対に軸方向力はプレストレスの導入に伴って一様に増加する傾向を示している。軸方向力が増加し曲げモーメントが減少するため、部材断面に対するプレストレスの有効性は評価しにくい。このため、部材断面の応力度を算出し、プレストレスの効果を検討した。



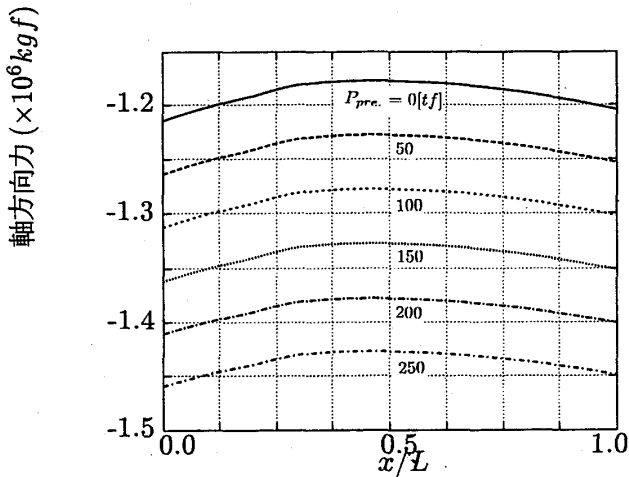
(鋼製箱型断面,  $f/L = 0.05$ , 断面 B)

Fig. 7 曲げモーメントの変化



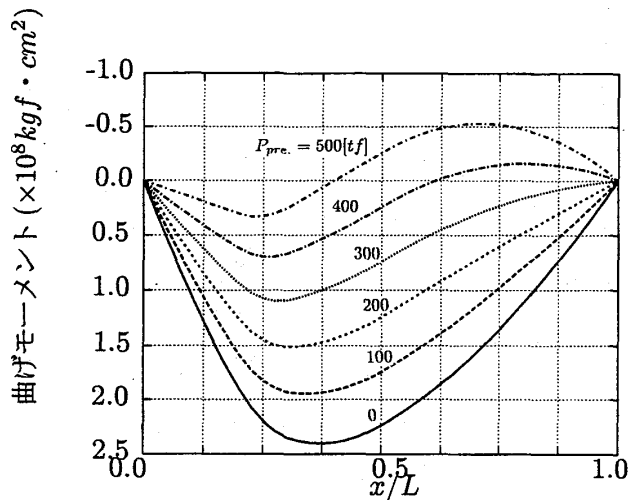
(鋼製箱型断面,  $f/L = 0.05$ , 断面 B)

Fig. 10 下縁応力度の変化



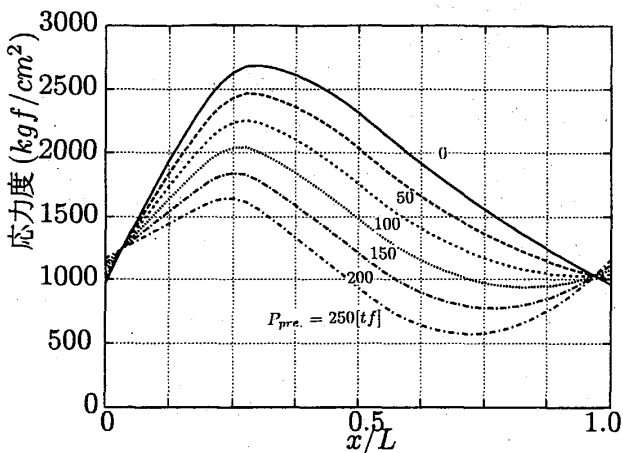
(鋼製箱型断面,  $f/L = 0.05$ , 断面 B)

Fig. 8 軸方向力の変化



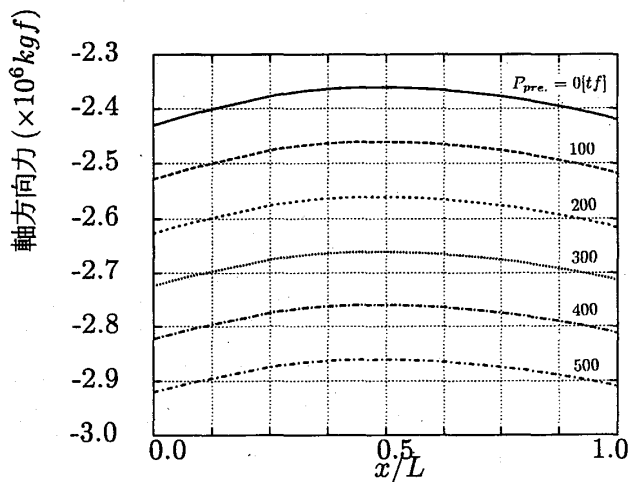
(鋼・コンクリート合成断面,  $f/L = 0.05$ , 断面 B)

Fig. 11 曲げモーメントの変化



(鋼製箱型断面,  $f/L = 0.05$ , 断面 B)

Fig. 9 上縁応力度の変化



(鋼・コンクリート合成断面,  $f/L = 0.05$ , 断面 B)

Fig. 12 軸方向力の変化

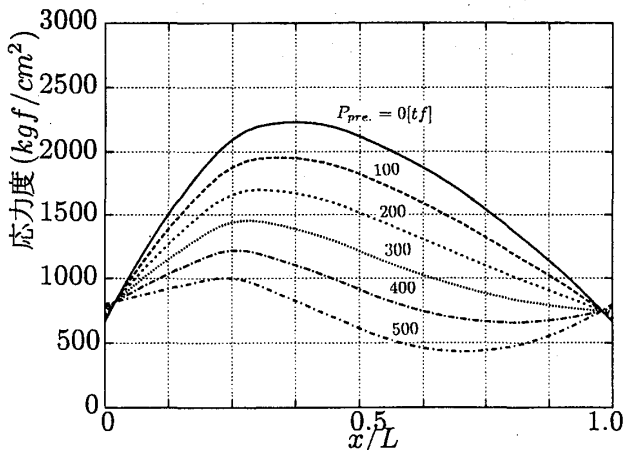
Fig. 9, Fig.10は  $f/L=0.05$  の場合の鋼製箱型断面をもつアーチ橋のプレストレスの導入に伴う部材断面の上縁および下縁の応力度の変化を示したものである。同図より、250 [tf] 程度のプレストレスの導入によって上縁の圧縮応力度（最大2700 [kgf/cm<sup>2</sup>]）および下縁の引張応力度（最小800 [kgf/cm<sup>2</sup>]）は減少し、上縁、下縁ともに最大応力度（圧縮）が1700 [kgf/cm<sup>2</sup>]、最小応力度（圧縮）が700 [kgf/cm<sup>2</sup>] 程度に変化する（下縁の引張応力度は圧縮応力度に変化する）。以上より、鉛直荷重を受けるアーチ部材へのプレストレスの有効性は確認された。

(2) 鋼・コンクリート合成断面

次に、同一断面にコンクリートを充填し、さらにプレストレスの導入したときの曲げモーメントおよび軸方向力の変化をそれぞれ Fig.11および Fig.12に示す。プレストレスの導入による断面力の変化の傾向は鋼製

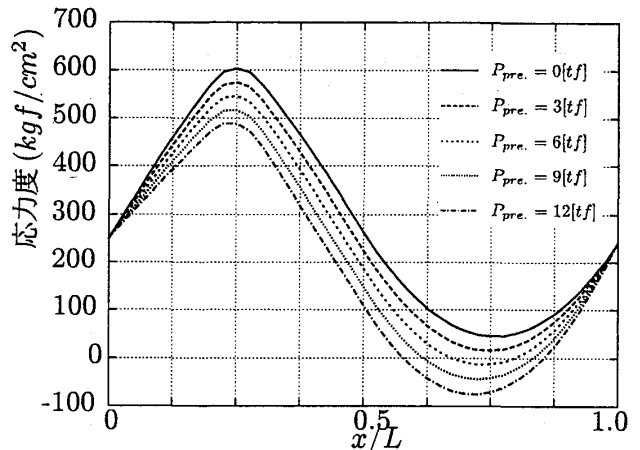
箱型断面の場合と同様であるが、プレストレスを導入しないとき ( $P_{pre} = 0$  [tf])、箱型断面の場合と比べて曲げモーメントは約1.6倍、軸方向力は約2倍の値を示し、コンクリートの自重がアーチに対して不利な影響を及ぼしていることがわかる。一方、部材断面の上縁および下縁の応力度の変化をそれぞれ Fig.13, Fig.14に示す。同図より、500 [tf] 程度のプレストレス量が必要ではあるが、上縁の圧縮応力度（最大2200 [kgf/cm<sup>2</sup>]）および下縁の引張応力度（最小900 [kgf/cm<sup>2</sup>]）は減少し、上縁、下縁ともに最大応力度（圧縮）が1100 [kgf/cm<sup>2</sup>]、最小応力度（圧縮）が600 [kgf/cm<sup>2</sup>] 程度に変化する。

以上の結果より、プレストレスの導入によって、コンクリートを充填した場合の縁応力度を鋼製箱型断面の縁応力度よりも小さくすることが可能であることがわかる。



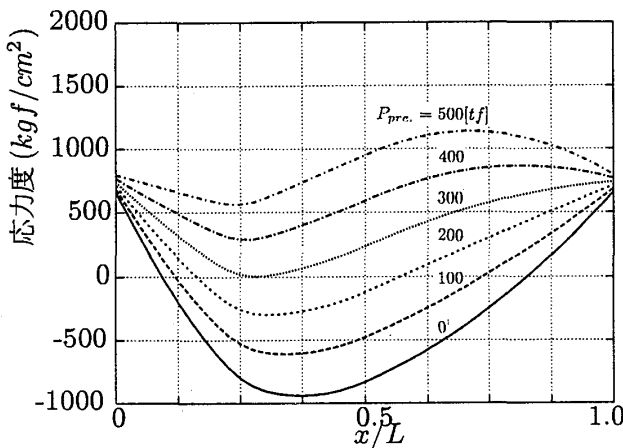
(鋼・コンクリート合成断面,  $f/L = 0.05$ , 断面 B)

Fig.13 上縁応力度の変化



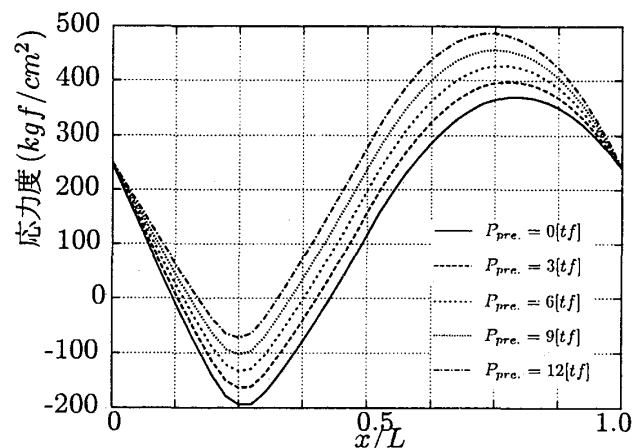
(鋼・コンクリート合成断面,  $f/L = 0.2$ , 断面 B)

Fig.15 上縁応力度の変化



(鋼・コンクリート合成断面,  $f/L = 0.05$ , 断面 B)

Fig.14 下縁応力度の変化



(鋼・コンクリート合成断面,  $f/L = 0.2$ , 断面 B)

Fig.16 下縁応力度の変化

前述では  $f/L=0.05$  の扁平アーチを対象として解析を行ったが、次に  $f/L=0.2$  のアーチを対象として同様な解析を行った。  $f/L=0.2$  の場合の鋼・コンクリート合成断面を有するアーチ部材の上、下縁応力度をそれぞれ Fig.15, Fig.16に示す。同図より、プレストレスの効果は前述と同様に確認できる。しかし、  $x/L=0.25$  の上縁での最大応力度は減少していくが、  $P=12 [tf]$  程度で  $x/L=0.75$  の下縁での最大応力度が  $x/L=0.25$  の上縁での最大応力度よりも大きくなるため、ライズスパン比が大きい場合はプレストレスの効果はあまり期待できないことがわかる。

#### 4. まとめ

1. アーチ橋のライズが高い場合、アーチ効果は大きくなるが、プレストレスの効果はあまり期待できない。これに対して、扁平なアーチ橋の場合はプレストレスの大きな効果を期待できる。
2. コンクリート充填アーチ橋は、コンクリート充填分だけ作用断面力は大きくなるが、コンクリートとの合成効果により鋼製アーチよりも作用応力度

を減ずることができる。そのうえプレストレスの導入は、鋼製アーチよりもさらなる効果が発揮できる。

今後現実的なプレストレス量を考慮し解析、文献 4) による照査、および弾塑性有限変形解析を行い、鋼・コンクリート合成アーチの構造特性について検討していく予定である。

#### 参 考 文 献

- (1) 佐々木他；コンクリートを充填した鋼アーチリブを用いたアーチ橋...，構造工学論文集 Vol. 40 A(1994) pp.1425-1436
- (2) 道路橋示方書・同解説（平成6年2月）
- (3) 松田他；鋼・コンクリート合成タイドアーチの構造特性，土木学会西部支部研究発表会講演概要集（平成8年度） pp.32-33
- (4) 阪神高速道路公団；合成柱（充てん方式）を有する鋼製橋脚の設計・施工指針（案）