合成アーチ橋のコンクリート打ち込み順序に関する研究

Study on Optimum Sequence of Slab Concrete Placing in Composite Arch Bridge

中村健志^{*}, 岸 雅之^{**}, 大山 理^{***}, 栗田章光^{****} Takeshi Nakamura, Tadayuki Kishi, Osamu Ohyama and Akimitsu Kurita

* 修(工),東日本高速道路㈱ 千葉管理事務所(〒263-0001 千葉県千葉市稲毛区長沼原町 177)

** 片山ストラテック㈱ 橋梁事業部 技術本部 設計部技術課(〒551-0021 大阪市大正区南恩加島6丁目2番 21 号)

*** 博(工),大阪工業大学講師都市デザイン工学科(〒535-8585大阪市旭区大宮5丁目16番1号)

**** 博(工), 大阪工業大学教授 都市デザイン工学科(〒535-8585 大阪市旭区大宮 5 丁目 16 番 1 号)

There are many design and constructed examples of the steel-concrete tied arch bridge in EU countries where the tension stiffening effect of concrete is taken into account. In designing of steel tied arch bridge having RC slab, however, the conservative design method, that is non-composite design, has been accepted in Japan. But in near future in Japan too, it seems that the composite design for tied arch bridge will be adopted. However, the adequate concrete placing sequence of the concrete slabs in composite tied arch bridge is not clarified perfectly. This paper reports the result concerning the optimum concrete placing method in composite tied arch bridge.

Key Words: composite arch bridge, sequence of slab concrete placing, shrinkage キーワード: 合成アーチ橋, コンクリート打ち込み順序, 乾燥収縮

1. はじめに

近年,わが国では道路橋や鉄道橋において鋼とコンク リートとを組み合わせた複合橋梁が,数多く施工される ようになってきた.複合橋梁は,鋼あるいはコンクリー トそれぞれのメリットを生かし,デメリットを補った構 造であり,合理的かつ経済的にも優れた構造形式となっ ている.その代表的な組み合わせは鋼桁とコンクリート 床版との合成構造である.今日,わが国のコスト縮減政 策と相まって,単純桁橋だけでなく連続桁橋についても 合成構造が多く採用されている.

一方、下路式アーチ橋においては、構造上、常に引張 力がコンクリート床版に作用するため、従来から非合成 としての設計が行われている.しかしながら、非合成と して設計を行った場合でも、コンクリート床版と鋼桁は、 スラブアンカーなどで結合されているため、実際には合 成挙動を呈している.また、乾燥収縮などの影響により、 コンクリート床版にひび割れが発生するといった問題 が生じることが多く報告されている.ここで、ヨーロッ パに目を向けると、連続桁橋だけではなく下路式アーチ 橋においても合成設計が行われている^{1)、2)}.**写真-1**およ び**写真-2**に、日本およびドイツにおけるアーチ橋の床組 構造の例を示す. 写真-1より、日本におけるアーチ橋の床組構造は、縦桁、横桁などを格子状に組み合せてコンクリート床版を 支持する構造であるのに対して、写真-2のドイツにおけ る合成アーチ橋の床組構造は、横桁のみでコンクリート



写真-1 日本におけるアーチ橋の例



写真-2 ドイツにおける合成アーチ橋の例

床版を支持する構造となっており、日本のアーチ橋のものと比較し非常に簡易な構造となっていることがわかる.

以上より、わが国においても実際に生じる合成挙動を 設計に反映し、経済的な設計が可能となる合成アーチ橋 が計画・施工されると考えられる.

しかしながら、合成アーチ橋の施工にあたりコンクリート床版に発生するひび割れの抑制が大きな問題となると考えられる.

そこで、本研究では、合成タイドアーチ橋を対象にコ

ンクリートの打ち込み順序に関する検討を行い、適切な 打ち込み順序の提案を行うことを目的としている.

2. 対象橋梁の概要

本研究に用いた対象橋梁は,橋長 100m,アーチライズ 16m のタイドアーチ橋である.側面,平面および横断面を図-1 に示す³.また,タイ材および横桁の断面諸量を表-1,アーチリブの断面諸量を表-2 に示すとともに材料特性値を表-3 に示す.



☆ アークのみの 検川 岡 山 田 里			
	タイ材	横桁	
上フランジ(mm)	300×13	300×20	
ウェブ(mm)	9×1700	13×1200	
下フランジ(mm)	300×14	350×25	
断面積(mm ²)	23400	30350	

表-1 タイ材および横桁断面諸量

表-2 アーチリブ断面諸量

上フランジ(mm)	1200×30.5
ウェブ(mm)	$2 \times 22 \times 950$
下フランジ(mm)	1000×20
断面積(mm ²)	98400
アーチリブの断面2次モーメント(mm ⁴)	1.52×10^{10}

表-3 材料特性值

鋼材のヤング係数 E_s (N/mm ²)	2.0×10^{5}
コンクリートのヤング係数 <i>E</i> _c (N/mm ²)	2.8×10^4
ヤング係数比 n	7.14
コンクリートの圧縮強度 (N/mm ²)	30

3. 剛度変化に伴う軸力への影響評価

コンクリート打ち込み順序の検討の際に、コンクリートがすでに打ち込まれている区間と、打ち込まれていない区間ではタイ材の剛度に変化が生じるため、タイドアーチ橋の水平軸力 X_aの算出時に影響を与える可能性がある.そこで、以下の3ケースについて、単位荷重載荷時における水平軸力X_aの算出式を誘導し、数値解析を行う.

1) コンクリート打ち込み前

$$X_{a} = \frac{\int_{0}^{L} \frac{M_{o}}{I\cos\varphi} y dx}{\int_{0}^{L} \frac{y^{2}}{I\cos\varphi} dx + \int_{0}^{L} \frac{\cos\varphi}{A} dx + \frac{L}{A_{t}}}$$
(1)

2) 支間中央にコンクリートを打ち込んだ場合

$$X_{a} = \frac{\int_{0}^{L} \frac{M_{o}}{I\cos\varphi} y dx}{\int_{0}^{L} \frac{y^{2}}{I\cos\varphi} dx + \int_{0}^{L} \frac{\cos\varphi}{A} dx + \frac{L - L_{c}}{A_{t}} + \frac{L_{c}}{A_{t}} + \frac{L_{c}}{A_{t}}}$$
(2)

3) コンクリート打ち込み終了後

$$X_{a} = \frac{\int_{0}^{L} \frac{M_{o}}{I\cos\varphi} y dx}{\int_{0}^{L} \frac{y^{2}}{I\cos\varphi} dx + \int_{0}^{L} \frac{\cos\varphi}{A} dx + \frac{L}{A_{t} + \frac{A_{c}}{n}}}$$
(3)

ここで,

L:支間長

L_c: コンクリート打ち込み長

- A,: タイ材の断面積
- A::コンクリート床版の断面積
- A:アーチリブの断面積
- I:アーチリブの断面2次モーメント
- n:ヤング係数比
- M_o:静定基本系による曲げモーメント (単純梁における曲げモーメント)
- φ:任意点におけるアーチ軸線の角度

また, x 軸は橋軸方向, y 軸は橋軸方向に対して鉛直方 向をそれぞれ示している.

上記の算出式に対象橋梁の諸数値を代入し、剛度変化 に伴う水平軸力への影響評価を行った.なお、コンクリ ート打ち込み長 *L*。の値は、次節に詳細を示すが 40m と した.

各ケースにおける水平軸力の影響線算出を行った.各 点における縦距を表-4ならびに図-2に示す.ここで、縦 距とは、単位荷重の載荷に伴う任意点における影響線の 値であり、単位は無次元である.

0.000 0.000 0.000 0 0.381 10 0.382 0.383 20 0.721 0.722 0.724 30 0.987 0.989 0.991 40 1.156 1.158 1.161 1.214 1.216 1.219 50 1.156 1.158 1.161 60 0.991 70 0.987 0.989 0.721 0.722 0.724 80 90 0.381 0.382 0.383 100 0.000 0.000 0.000 0 20 40 60 80 100 0.0 0.2 → 打ち込み前 0.4 ━ 支間中央打ち込み 0.6 📥 打ち込み終了後 ╦ _{0.8} 1.0 1.2 1.4 橋軸方向距離 (m) 図-2 水平軸力 Xaの影響線縦距の数値計算結果

表-4 水平軸力 Xaの影響線縦距の算出結果

前

X(m)

打ち込み 支間中央 打ち込み

打ち込み

終了後

表-4 ならびに図-2 より, タイ材の剛度を変化させても 水平軸力 X_aの値は, ほとんど変化しないことがわかった. 以上より, コンクリート打ち込みによるタイ材の剛度の 増加は, タイドアーチに作用する水平軸力にほとんど影 響がないと言え, コンクリート打ち込み順序の検討に際 し, 考慮する必要がないことがわかった.

4. コンクリート打ち込み順序の検討

4.1 コンクリート打ち込み順序の諸条件

3 での解析結果より、本節でのコンクリート打ち込み 順序の検討において、打ち込みによるタイ材の剛度の変 化を考慮せずに解析を行う.

まず,検討条件を以下に示す.

- わが国における1日の最大コンクリート打ち込み量 100m³を考慮し、打ち込み長は40mとする⁴.
- 2. コンクリートの打ち込みステップは7日とする.
- 3. 左右対称にコンクリートを打ち込む.
- 4. 端部のコンクリート打ち込み長を極力少なくし、かつ、最終ステップに打ち込む.

4.2 コンクリート打ち込み順序の決定

コンクリートの打ち込みにより、コンクリート床版に 作用する応力は、弾性応力(桁の変形により発生する応 力)ならびに乾燥収縮応力の影響が大きくなる.しかし、 乾燥収縮応力は打ち込み順序の違いによる影響はなく、 打ち込みの日数に依存している.

そこで、コンクリートの打ち込みは、対象橋梁の影響 線を用いてコンクリートの弾性応力が最も小さくなる 順序とする.ここで、図-3に対象橋梁のタイ材に作用する軸力の影響線を示す.

タイドアーチ橋におけるタイ材の影響線は図-3 に示 すとおり軸力のみある.また,全支間どの箇所において もタイ材の影響線は図-3 に示す影響線であるため,支間 中央付近に荷重を載荷した場合に最大の引張力が発生 することがわかる.初回施工分(Step-1)のコンクリート打 ち込み荷重はタイ材のみが負担する,つまり,コンクリ ートには軸力が作用しないためStep-1の打ち込み区間は, 全径間を一度に施工できない場合,支間中央付近のでき るだけ広範囲に打ち込むのが好ましいと考えられる.そ して,Step-2 以降の打ち込み区間は,支間中央より左右 対称に端部に向けて施工するのが最も弾性応力を低減 できることがわかる.以上より,本研究において提案す る施工ステップを図-4 に示す.



図-3 対象橋梁のタイ材に作用する軸力の影響線



図-4 対象橋梁におけるコンクリートの打ち込み順序



図-5 アーチリブの拘束を考慮したモデル

5. 合成アーチ橋における乾燥収縮解析

5.1 合成アーチ橋における乾燥収縮解析

現在、非合成アーチ橋におけるコンクリート打ち込み 順序の検討の際、乾燥収縮の影響は、当然のことながら 考慮する必要がない. しかしながら, 合成アーチ橋にお けるコンクリート打ち込み順序の検討の際には乾燥収 縮の影響を考慮する必要がある. ここで, 合成アーチ橋 の床組構造は前述したとおり縦桁が省略され、横桁のみ で構成されている. したがって、本研究における乾燥収 縮解析は、タイ材とコンクリート床版の合成断面で行う. さらに、タイ材はアーチリブにより拘束されているため、 拘束の影響を評価する必要がある、つまり、通常の合成 桁における乾燥収縮は、コンクリートの収縮を鋼材(タイ 材)が拘束するため、コンクリートに引張が作用する.し かし、実際には、タイ材の圧縮変形をアーチリブが拘束 するため、タイ材の圧縮変形は小さくなると考えられる. つまり、タイ材のみで考えた場合より、アーチリブの拘 束を考慮した場合の方が、コンクリート床版に作用する 引張応力は大きくなると考えられる.

5.2 アーチリブの拘束の評価方法

アーチリブによる拘束の評価方法として、本研究では、 アーチリブの拘束をばねに置き換えることで、拘束によ りコンクリート床版に作用すると考えられる引張力を ばねによる張力に置き換えて評価する方法を考案した. 図-5 に本研究で考案したアーチリブの拘束をばねに置 き換えたモデルを示す.ここで、P_{sh}は、鋼材の圧縮変形 により合成断面に作用する軸圧縮力である.図-5に示す とおり、ばねの作用により内的不静定力Xが作用する. この内的不静定力Xの作用により合成断面の変形量は減 少すると考えられ、その変形量をu'とする.その際、ア ーチリブの拘束を考慮したばねの伸びもu'となること がわかる.

ここで、ばねの伸び u は、アーチリブによる拘束の ばね定数をkg とすると以下のとおり算出される.

$$u' = \frac{X}{k_R} \tag{4}$$

また、合成断面の変形量は、タイ材とコンクリート床

版の合成断面のばね定数を k, とした時, 以下のようになる.

$$u' = \frac{P_{sh} - X}{k_v} \tag{5}$$

よって,内的不静定力 X の算出式は,以下のように 算出される.

$$X = \frac{k_R}{k_v + k_R} P_{sh} \tag{6}$$

5.3 ばね定数の算出

1) 合成断面のばね定数kyの算出式の誘導

まず,水平力X_aが作用する時の合成断面の変位算出式 を式(7)に示す.

$$\delta_a = \frac{X_a}{E_s A_{\nu}} \ell = \frac{X_a}{E_s \left(A_t + A_c / n_{c,t}\right)} \ell \tag{7}$$

ここで,

 $E_s:$ 鋼材のヤング係数

A_v: 合成断面の断面積

- $A_t: タイ材の断面積$
- *n*_{c,t}: 任意材齢 t におけるヤング係数比

ℓ:タイ材の長さ(アーチ橋の支間長)

式(7)から,合成断面のばね定数 k,を算出すると,以下のとおり算出される.

$$k_{\nu} = \frac{E_s A_{\nu}}{\ell} = \frac{E_s \left(A_t + A_c / n_{c,t} \right)}{\ell} \tag{8}$$

2) アーチリブのばね定数 kgの算出式の誘導

アーチリブの変位算出式として,式(9)に示される2ヒンジアーチ橋の水平力 X_a=1 が作用した場合の水平変位算出式を用いる.

$$\delta_{aa} = \int_0^\ell \frac{M_a^2}{EI} ds + \int_0^\ell \frac{N_a^2}{EA} ds \tag{9}$$

ここで, *M*・

なお、式(9)は、アーチリブの曲線方向の式であるため、 変位を算出する際は、水平方向に置き換える必要がある.

ここで, *ds* = *dx*/cos φより, 式(9)は次のように書き換 えることができる.

$$\delta_{aa} = \int_0^\ell \frac{y^2}{EI\cos\varphi} dx + \int_0^\ell \frac{\cos\varphi}{EA} dx \tag{10}$$

式(10)の解を得るのは煩雑であるため,積分式を式 (11)のような微小区間の和を求める式に変換することに よりアーチリブの変位算出を行う.

$$\delta_{aa} = \frac{\ell}{n} \sum_{x=0}^{\ell} \frac{y^2}{EI \cos \varphi} + \frac{\ell}{n} \sum_{x=0}^{\ell} \frac{\cos \varphi}{EA}$$
(11)

ここで,

n:分割数

また、 $\cos \varphi$ は、 $1 + \tan^2 \varphi = 1/\cos^2 \varphi$ であるので、アー チの軸線式を利用し、以下のように表される. なお、fはアーチクラウン高さを示す.

$$\tan \varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{4f\left(\ell - 2x\right)}{\ell^2} \tag{12}$$

$$\cos\varphi = \sqrt{\frac{\ell^4}{\ell^4 + \left\{4f\left(\ell - 2x\right)\right\}^2}} \tag{13}$$

よって、アーチリブのばね定数 k_R は、 $X_a=1$ であることから、アーチリブの水平変位 δ_{aa} を用いて以下のように表すことができる.

$$k_{R} = \frac{1}{\delta_{aa}} \tag{14}$$

3) 応力算出式

アーチリブの拘束を考慮した乾燥収縮によりコンク リート床版に作用する応力の算出式は以下のとおりで ある. なお,引張を正としている.

$$\sigma_{c} = \left\{ -\frac{1}{n_{c,t}} \left(\frac{P_{sh}}{A_{v}} + \frac{M_{sh}}{I_{v}} z_{c} \right) \right\} + \frac{X}{n_{c,t}A_{v}} + E_{c,t}\varepsilon_{s,t}$$
(15)

ここで, 第1項:タイ材の拘束を考慮する項 第2項:アーチリブの拘束を考慮する項 第3項:自由収縮による引張力

6. 数値計算結果

6.1 コンクリート打ち込みにより発生する引張応力(弾 性応力)の算出結果

まず,コンクリート打ち込みによりタイ材と合成され たコンクリート床版に作用する引張応力の算出結果に ついて述べる.タイドアーチ橋においてはコンクリート 打ち込みによってタイ材に作用する軸力は全支間で一 定である.しかし,コンクリートは段階的に施工し,順 次タイ材と合成されるため,コンクリート床版に作用す る引張応力は Step-1~Step-4 で施工される範囲ごとに異 なる.例えば,初回施工(Step-1)により発生する引張応力 はコンクリート床版には作用しない.ここで,各ステッ プにおいて発生する軸力および既設のコンクリート床 版に作用する引張応力の値を表5にまとめて示す.なお, Step-4 に作用する軸力および引張応力は合成後死荷重に よるものである.

ステップ	発生軸力 (kN)	作用引張応力 (N/mm ²)
Step-1	1721.7	_
Step-2	1072.3	0.69
Step-3	1145.5	0.09
Step-4	1522.7	0.34

表-5 各ステップにおける発生軸力と作用引張応力

6.2 乾燥収縮による引張応力の算出結果

つぎに、5で述べたアーチリブの拘束を考慮した乾燥 収縮によりコンクリート床版に作用する引張応力の算 出結果について述べる.まず、道路橋示方書⁵⁰を用いて 算出した各ステップにおける乾燥収縮ひずみ、乾燥収縮 に伴うクリープ係数、ヤング係数ならびにヤング係数比 の値を表-6に示す.

さらに、表-6の諸数値を用いて、対象断面の各材齢に おける断面諸量を算出し、その結果を表-7に示す.

そして、アーチリブの拘束による影響を算出する.ま ず、各材齢における合成断面のばね定数は、式(7)に表-7 の諸数値を代入し、以下のように算出される.

$$t=7: k_v = \frac{2.0 \times 10^5 \times 192392}{100 \times 10^3} = 384784 \,\text{N/mm}$$
 (16)

$$t=14$$
: $k_v = \frac{2.0 \times 10^5 \times 174350}{100 \times 10^3} = 348700$ M/mm (17)

$$t = \infty : k_v = \frac{2.0 \times 10^5 \times 88080}{100 \times 10^3} = 176160 \,\text{N/mm}$$
(18)

ステップ	材齢(日)	乾燥収縮 ひずみ	クリープ係数	ヤング係数 (N/mm ²)	ヤング 係数比
Step-1	0		_	28000	7.14
Step-2	7	1.48×10^{-5}	0.30	24386	8.20
Step-3	14	2.85×10^{-5}	0.57	21782	9.18
Step-4	∞	20×10^{-5}	4.00	9333	21.43

表-6 各ステップにおける乾燥収縮に関する諸量

表-7 各材齢における断面諸量

ステップ	材齢(日)	断面積 A _v (mm ²)	断面2次モーメント <i>I</i> _v (mm ⁴)
Step-1	0		
Step-2	7	192392	1.75×10^{10}
Step-3	14	174350	1.73×10^{10}
Step-4	8	88080	1.56×10^{10}

表-8 各ステップ材齢における作用軸力、内的不静定力の算出結果

ステップ	材齢(日)	作用軸力 P _{sh} (N)	内的不静定力 X (N)
Step-2	7	500961	281
Step-3	14	861793	534
Step-4	8	2587200	3169

表-9 アーチリブの拘束を考慮する場合の乾燥収縮による引張応力

ステップ	材齢(日)	コンクリート床版上縁 (N/mm ²)	コンクリート床版下縁 (N/mm ²)
Step-1	0		
Step-2	7	-0.01	0.07
Step-3	14	-0.01	0.12
Step-4	8	0.14	0.52

表-10 アーチリブの拘束を考慮しない場合の乾燥収縮による引張応力

ステップ	材齢(日)	コンクリート床版上縁 (N/mm ²)	コンクリート床版下縁 (N/mm ²)
Step-1	0	_	_
Step-2	7	-0.01	0.07
Step-3	14	-0.01	0.12
Step-4	8	0.14	0.52

さらに、アーチリブのばね定数の算出を行う. ここで、 式(11)を用い、対象橋梁において、分割数 n = 100 とした場合、単位水平荷重 $X_a=1$ が作用した場合のアーチリブの変位を算出すると以下のようになる.

$\delta_{aa} = 4.63 \times 10^{-3} \text{ mm}$

よって、式(14)より、アーチリブの水平変位算出式から求められるばね定数kgの値は、以下のとおり算出され

る.

$$k_{R} = \frac{1}{\delta_{aa}} = \frac{1}{4.63 \times 10^{-3}} = 216 \,\text{N/mm}$$
 (19)

算出されたばね定数の値を用い, アーチリブの拘束を 考慮した内的不静定力 X の算出を行った. 各ステップ における作用軸力 P_{sh} および内的不静定力 X の算出結 果を**表-8**に示す.

表-8の算出結果を用いて,各ステップにおけるアーチ



リブの拘束を考慮した乾燥収縮によるコンクリート床 版に作用する応力の算出を行った.その結果を表-9に示 すとともに、アーチリブの拘束を考慮しない、つまり、 通常の乾燥収縮解析により得られた各ステップにおけ る応力の値を表-10に示す.なお、表中における符号の 正は引張、負は圧縮を示している.

表-9および表-10より,乾燥収縮終了時においてもアー チリブの拘束による引張応力の増加はほとんど見らな かった.以上のことから,アーチリブによる拘束の影響 は,設計上無視できると考えられる.

最後に、各ステップにおけるコンクリート床版に作用 する引張応力の合計値を図-6~図-9に示す.図-6~図-9 より、コンクリート打ち込みに際して、床版に作用する 引張応力は2.0N/mm²を超えることはなく、コンクリー トの打ち込みおよび合成後死荷重ならびに乾燥収縮の 影響によって、コンクリート床版にひび割れが発生しな いことを確認した⁹.

7. まとめ

本研究は、合成タイドアーチ橋を対象に、コンクリートを打ち込んだ際の剛度変化が発生軸カへ与える影響、 影響線を用いた適切な打ち込み順序の決定、さらに、ア ーチリブの拘束を考慮した合成アーチ橋における乾燥 収縮解析手法の提案をとりまとめたものである.

その結果,以下の知見が得られた.

(1) 本研究にて検討した合成タイドアーチ橋において,



コンクリートの打ち込みによってタイ材の有効断 面積は、打ち込み前のタイ材断面積に対してコンク リート床版を考慮した場合で約8倍,鉄筋のみを考 慮した場合で約3倍増加するが、作用軸力にはごく 僅かしか影響を及ぼさなかった.また、今回の検討 対象よりも支間が大きい橋梁の場合、タイ材の断面 積/コンクリート床版断面積がさらに大きくなる ため、コンクリートの打ち込みによる剛度変化は小 さくなる傾向となる.このため合成タイドアーチ橋 の場合、一般的にタイ材の剛度変化は作用軸力へは ほとんど影響しないものと考えることができ、合成 タイドアーチ橋におけるコンクリートの打ち込み 順序の検討の際には、施工ステップに伴う剛度の変 化を考慮せず、コンクリートに作用する引張応力の 算出を行うことができる.

- (2) 合成タイドアーチ橋におけるコンクリートの打ち 込み順序は、タイドアーチの影響線から支間中央に 先行して打ち込み、その後、左右対称にコンクリー トを打ち込む方法を採用することにより、床版に発 生する引張力を最も低減できる.また、今回検討対 象とした支間100m程度の橋梁であれば、適切な打 ち込み順序を採用することで、合成後死荷重ならび に乾燥収縮を考慮した状態で、コンクリート床版に 作用する引張応力をひび割れ発生限界以下に抑え ることができることがわかった.
- (3) 合成タイドアーチ橋における乾燥収縮による引張応力の算出に際して、アーチリブがタイ材の変形を拘束することによりコンクリート床版に付加され

る引張応力は本研究で提案した算出式によれば設計上無視できる大きさであると考えられる.したがって、合成タイドアーチ橋における乾燥収縮解析に際しては、通常の合成桁の乾燥収縮による応力算出式を用いても問題ないことがわかった.

参考文献

- 1) 中井 博, 栗田章光監訳:ドイツにおける最近の鋼・ コンクリート合成橋梁, 森北出版(株), 2003年6月.
- 2) 長井正嗣, 奥井義昭:鉄筋コンクリート床版が引張り 材として主構作用に寄与する合成タイドアーチ, 橋 梁と基礎 pp.44~47, (株)建設図書, 2003年9月.

- 3) 中村健志:合成アーチ橋の設計・施工法に関する研究, 大阪工業大学修士学位論文, 2007年2月.
- 4) (社)日本橋梁建設協会:コンクリート床版施工の手引き, 2004年4月.
- 5) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I 共通編, II鋼橋編(平成14年3月),丸善(株),2002年3月.
- 6) 土木学会:コンクリート標準示方書(2002年制定)-施 工編 - 2002年3月.

(2007年9月18日受付)