

(9) プレキャスト床版連続合成桁橋の クリープ・乾燥収縮の実験と解析

EXPERIMENT AND ANALYSIS ON THE EFFECTS OF CREEP AND SHRINKAGE IN

CONTINUOUS COMPOSITE GIRDER BRIDGE USING PRESTRESSED PRECAST CONCRETE SLABS

中井 博* 栗田章光** 亀井正博*** 瀬野靖久****
Hiroshi NAKAI Akimitsu KURITA Masahiro KAMEI Yasuhisa SENO

Since about 20 years ago, the damage of reinforced concrete slabs in highway bridges has been taken up as an important problem from the viewpoint of maintenance and management of bridges. Therefore, the various studies and developments on the composite girder bridges using precast concrete slabs have been performed.

This paper reports the interim results of experimental and analytical study on the effects of creep and shrinkage in composite girder bridge using prestressed precast concrete slabs. The approach bridge, which has two span continuous composite box girders of 40m + 40m length, of the Sugahara-Shirokita Ohashi bridge in Osaka was chosen as the study object. The experimental study is divided into two parts of indoor tests and field measurements. The indoor tests using prototype slabs were planned to obtain the creep coefficient and the drying shrinkage strain of concrete as the basic data for the analysis of the long term behaviour of the bridge. The field measurements were also planned in order to compare with the results of analysis.

1. まえがき

今日、道路橋におけるRC床版に多くの損傷が見られ橋梁の維持・管理上の大きな問題として取り上げられている。現在、道路橋のRC床版は、大部分が現場施工でありその際、気温、湿度および天候等の常に変動する自然条件や施工上の人的条件の影響のため、ある一定基準の品質を確保することが困難な状況下にある。したがって、このような問題に対処するために床版の急速施工や耐久性の向上ならびに現場工期の短縮化という面から、プレキャスト床版を用いた合成桁橋が次第に注目を集めるようになってきた。しかし、わが国においては、プレキャスト床版を用いた連続合成桁橋の実施例が少なく、中でもクリープ・乾燥収縮による桁挙動については、未知な部分がかなり残されている。

著者らは、このような背景のもとで、最近大阪市内に建設された菅原城北大橋アプローチ橋（プレキャストPC床版を有する2径間連続合成箱桁橋、スパン割：40+40m）を対象として、クリープ・乾燥収縮現象に関する一連の実験および解析を行っている。実験は大きく2つに分類され、1つは実橋に用いられるPC床版単体のクリープ・乾燥収縮実験であり、実物大の試験体を8体製作し各々条件を変化させて長期測定を行い設計上の基本データとなるクリープ係数および乾燥収縮量を把握しようとするものである。他の1つは、現場の長期測定実験で、コンクリートフランジのクリープ・乾燥収縮が合成桁にどのような影響を及ぼすのかを解析値と比較の上で、検討を加えようとするものである。

*：工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科 **：工修 大阪工業大学講師 工学部土木工学科
：工修 大阪市建設局 街路部立体交差課 *：工修 修成建設専門学校教諭 土木工学科

なお、実験を開始して以来、約180日（6カ月）が経過しており、クリープ・乾燥収縮の実験データおよび実橋におけるクリープ・乾燥収縮解析の結果について、以下で報告する。

2. 室内実験<PC版単体のクリープ・乾燥収縮実験>

(a) 実験目的

実橋（菅原城北大橋アプローチ橋）に用いられるプレキャストPC床版（以下、PC版と略す）は、橋軸方向と幅員方向との2方向にプレストレスが導入されているため、2方向のクリープ現象を起こすものと考えられる。したがって、本実験では、このようなPC版単体について設計上の基本データとなるクリープ係数および乾燥収縮量を把握するため、実物大のPC版単体を用いて、約2か年の予定で長期測定を実施する。

(b) 実験概要

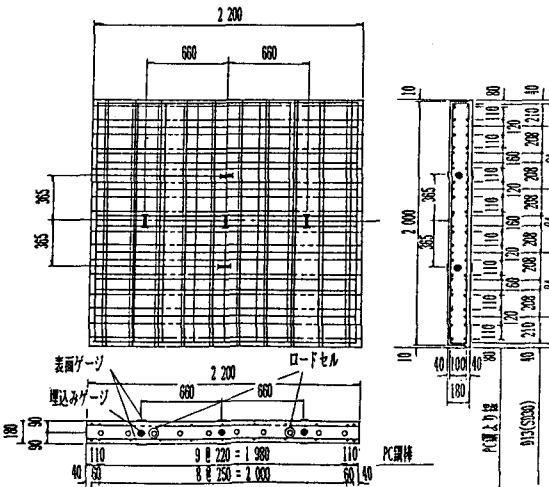
試験体の寸法は、幅員方向のPC鋼線（プレテンション）の必要付着長（ $l=65\phi$ ， $\phi=12.4\text{mm}$ ）と測定区間および橋軸方向のPC鋼棒（ポストテンション）の緊張力の精度管理等を考慮して決定した。また、幅員方向および橋軸方向の導入プレストレス量は、実橋と同一とし、橋軸方向は打設後40日目に導入し、うち1体については導入後9日目に解放を行うものとした。ゲージについては、埋込型ひずみ計と表面ゲージとを併用し、またPC鋼棒の緊張力はセンターホール

表－1 試験体の種類

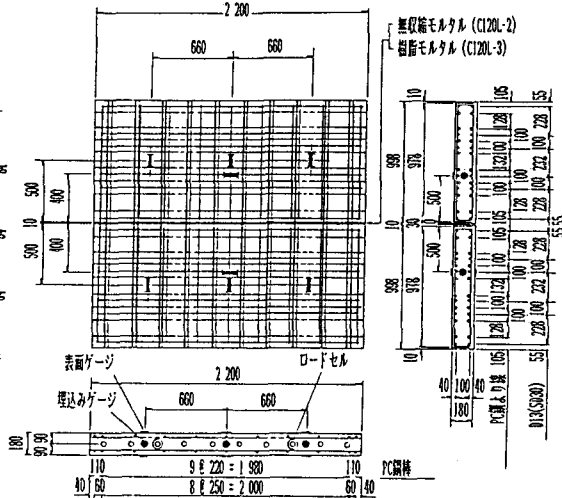
型ロードセルを2カ所に取り付けて常時測定できるようにしている。実験内容と試験体の種類を表－1に、各試験体の寸法、配筋量およびゲージ位置等の詳細を図－1～4に示す。また、表－2には、材令28日の材料試験結果を示す。なお、試験体C120L-2およびC120L-3については、実橋で用いられる目地材（無収縮および樹脂モルタル）の影響も見るため、目地を含んでいる。

試験体	記号	幅員方向 プレ (kgf/cm^2) 量	橋軸方向 プレ (kgf/cm^2) 量	試験体寸法 (mm) (幅×長さ×厚さ)	試験目的
1-1	C120L-1	100	120	2 200×2 000×180	クリープ
1-2	C120L-2	"	"	2 200× $\begin{matrix} 998 \\ 998 \end{matrix}$ ×180	クリープ 目地(無収縮モルタル)の影響
1-3	C120L-3	"	"	"	クリープ 目地(樹脂モルタル)の影響
2	C65L	"	65	2 200×2 000×180	クリープ
3	C35L	"	65→35(*1)	"	クリープ
4	S100L	"	0 (*2)	"	乾燥収縮
5	SOL	0 (*3)	0 (*2)	"	乾燥収縮
6	SPL	0 (*4)	0 (*4)	1 100×1 000×180	乾燥収縮

(*1)：65kgf/cm²導入し、5日後に35kgf/cm²までリリースを行う (*3)：鋼線を配置する
(*2)：鋼棒を配置しグラウトを施す (*4)：ブレンコンクリート



図－1 C120L-1,S100L,SOLの詳細図



図－2 C120L-2,C120L-3の詳細図

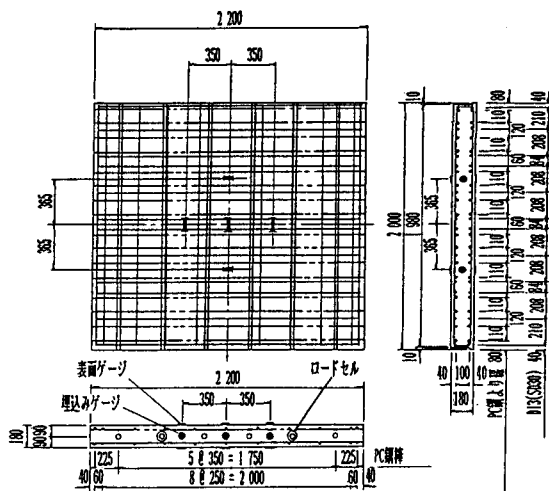


図-3 C65L,C35Lの詳細図

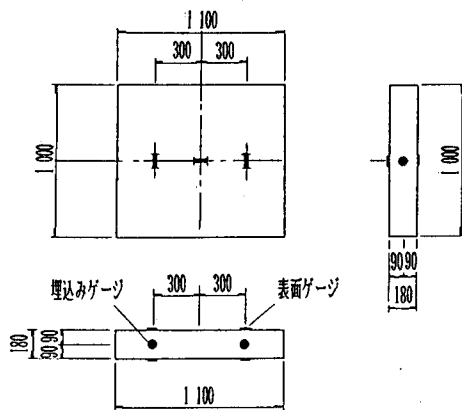


図-4 SPLの詳細図

(c) 材令に伴うひずみ実測値の変動

図5～8には、各供試体のひずみおよびPC鋼棒の張力減少量を示す。なお、これらの図は、すべて幅員方向のプレストレス導入時（SOL、SPLについては材令3日）からのひずみの経時変化を表している。これらの図から明らかのように、幅員方向および橋軸方向の2方向にクリープが生じているのがわかる。そこで、現時点までの各供試体のクリープ係数を表-3に示しており、現時点においては各供試体ともほぼ0.5程度である。また、PC鋼棒の張力もクリープに伴って徐々に減少しており、それらの具体的な値についても同様に表-3に示した。

表-3 クリープ係数およびPC鋼棒の張力変化

試験体の種類	クリープ係数（橋軸方向）	PC鋼棒の張力（tf）
C120L-1	0.46	44.6 → 41.3（7.4%減）
C120L-2	0.42	51.5 → 47.1（8.5%減）
C120L-3	0.43	50.8 → 46.8（7.9%減）
C65L	0.49	44.3 → 41.8（5.6%減）
C35L	0.24（～解放前） 0.20（解放後～）	44.8 → 43.4（3.1%減） 24.4 → 23.2（4.9%減）

表-2 材料試験結果

材令	t (日)	28
圧縮強度	12/3打設	457.2
	12/6打設	480.8
	1/6打設	488.7
	無収縮	701.2
	樹脂	691.9
弾性係数 E_c ($\times 10^5$ kgf/cm ²)	12/3打設	3.95
	12/6打設	3.54
	1/6打設	3.33
	無収縮	1.88
	樹脂	1.18
引張強度 σ_t (kgf/cm ²)	12/3打設	43.4
	12/6打設	38.2
	1/6打設	39.6
	無収縮	0.20
ポアソン比 ν	12/3打設	0.22
	12/6打設	0.23
	1/6打設	0.19
	無収縮	0.20
	樹脂	0.22

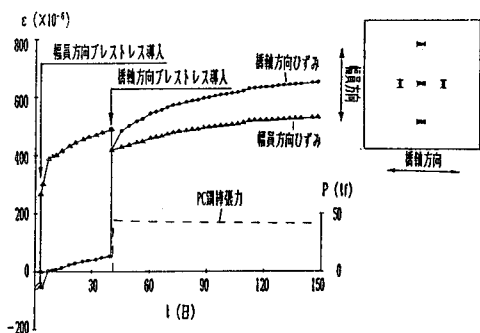


図-5 C120L-1の材令～ひずみ図

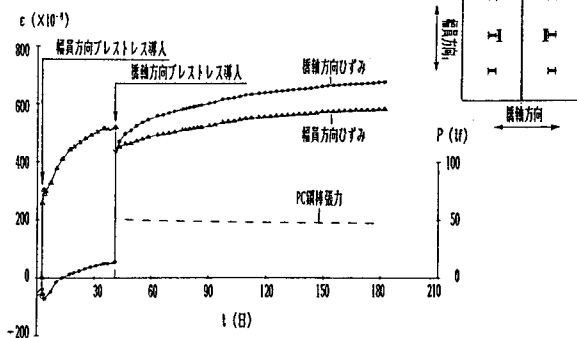


図-6 C120L-2の材令～ひずみ図

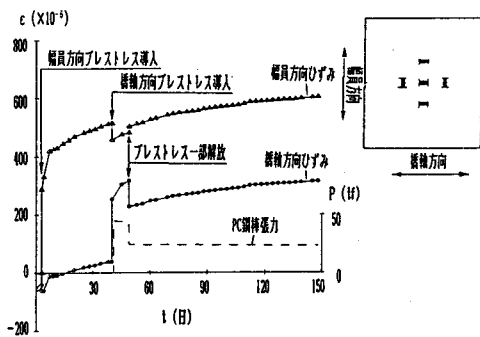


図-7 C35Lの材令へひずみ図

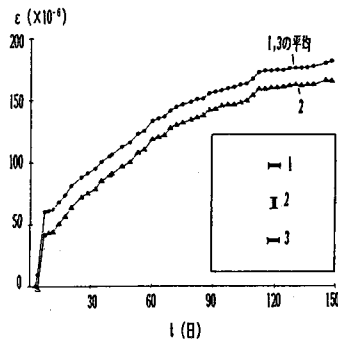


図-8 SPLの材令へひずみ図

3. 現場実験<実橋のクリープ・乾燥収縮実験>

(a) 実験目的

実橋は、プレキャストPC床版を用いた2径間連続合成箱桁橋（支間40.000+40.000m）であり、そのプレキャストPC床版には幅員方向はプレテンション方式で、橋軸方向はポストテンション方式でプレストレスが導入されている。そして、さらに橋軸方向のプレストレスは桁断面の軽減を意図して、端支点より27m区間で解放を行い、中間支点付近は床版の引張力をおさえるため解放は行わないという設計がなされている。これらの実橋の一般図を図-9に、プレストレス導入・解放の詳細図を図-10に示す。

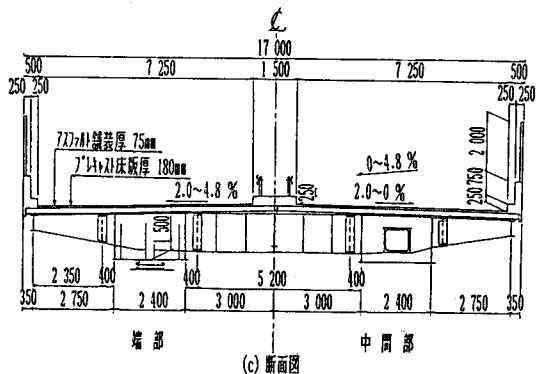
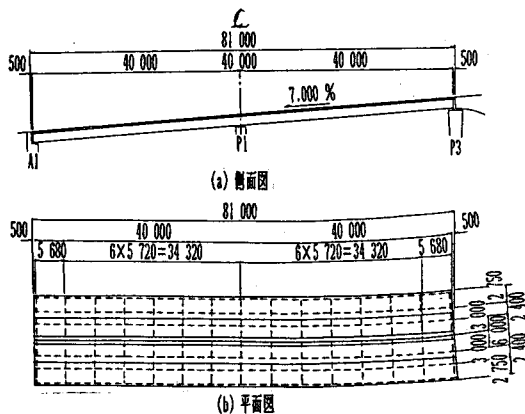


図-9 菅原城北大橋アプローチ橋一般図

本実験では、このような工法で施工される実橋においてプレキャストPC床版のクリープ・乾燥収縮によって生ずる床版および鋼桁の応力変化や、桁のたわみ変化などの経時挙動について把握するため、数年間の長期測定を行うものである。

(b) 実験概要

測定位置は、図-11に示すように、9断面であり、埋込ゲージ、表面ゲージおよびダイヤルゲージを用いて測定を行っている。なお、図中の断面A、B、CおよびC'は、長期ひずみの測定点である。また、図-12には、断面A（中間支点上断面）のゲージ取付位置の詳細を示す。

(c) 実験経過

各施工段階に従った現場実験データは採取したが、クリープ・乾燥収縮に関するデータは、現状ではまだデータ不足につき、明示するまでに至っていない。

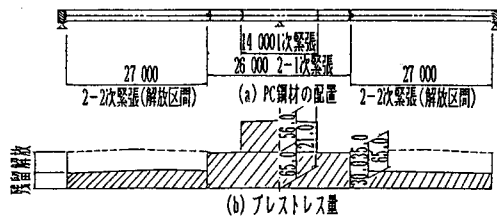


図-10 プレストレスの詳細図

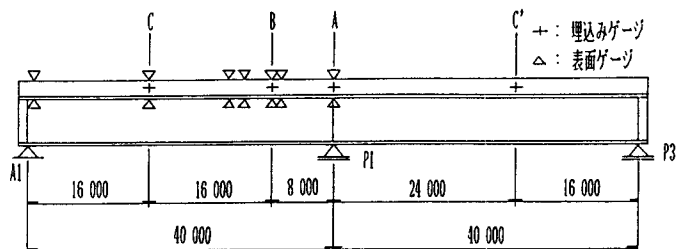


図-1 1 ゲージ取付位置 (側面図)

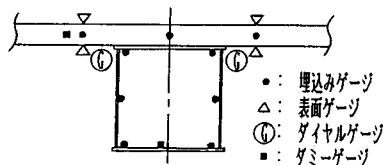


図-1 2 ゲージ取付位置 (断面A)

4. 実橋におけるクリープ・乾燥収縮解析

(a) 解析条件

実橋のクリープ・乾燥収縮による応力・変形解析においては、Trost-Bazant法を用い、主桁1本に着目して解析を行った。以下には、解析条件および断面形状を示す。

スパン長 : $L=40.000+40.000$ m

死荷重 (自重+後死荷重) : $W_d=9.15$ tf/m

導入プレストレス : $P_t=30$ tf/ケーブル

解放プレストレス : $P_r=20$ tf/ケーブル

コンクリートの弾性係数 : $E_c=3.0 \times 10^5$ kgf/cm²

鋼桁・PC鋼材の弾性係数 : $E_s=E_p=2.1 \times 10^6$ kgf/cm²

クリープ係数 : 道示Ⅲの進行曲線を用いる ($t=100, 200, 300, 400$ 日) (表-4 参照)

乾燥収縮量 : 道示Ⅲの進行曲線を用いる ($t=100, 200, 300, 400$ 日) (表-4 参照)

レラクセーション係数 : $\rho=0.8$

断面形状 : 図-1 3

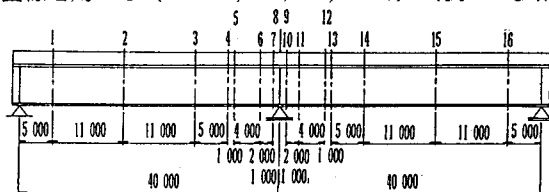
表-4 クリープ係数 $\phi(t)$ および乾燥収縮量 $\epsilon_{sh}(t)$ の値

t (日)	100	200	300	400
$\phi(t)$	0.70	1.11	1.32	1.45
$\epsilon_{sh}(t)$	41×10^{-6}	81×10^{-6}	107×10^{-6}	125×10^{-6}

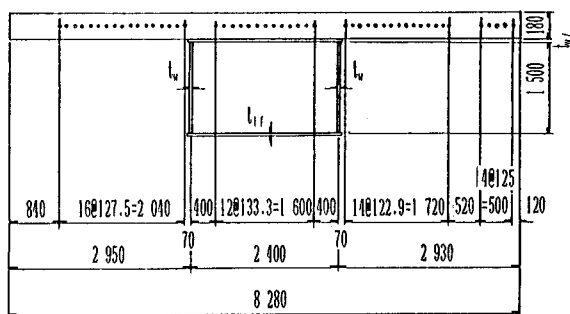
(b) 解析結果

以上の条件の下で、実橋のクリープ・乾燥収縮解析を行った結果を、以下に示す。

図-1 4および図-1 5は、断面2および8 (中間支点上断面) のクリープ・乾燥収縮による変化応力度である。これらの図より明らかなように、クリープ・乾燥収縮によって床版部分は次第に引張応力を、また鋼桁部分は圧縮応力を受けるようになり、 $t=400$ 日の時点で断面2においては床版部分で約43%、また鋼桁部分で約19%、断面8 (中間支点上断面) においては床版部分で約56%、また鋼桁部分で約29%の応力損失がそれぞれ生ずるものと考えられる。変形についてはたわみに着目し、クリープ・乾燥収縮によって生じるたわみを図-1 6に示す。この図から、クリープ・乾燥収縮によって桁は次第にたわむようになるが、中間支点付近においてはクリープによって桁がそり上がる傾向を呈している。



(a) 側面図



(b) 断面図

断面番号	l_v	l_{vl}	l_{ll}
1, 16	9	10	10
2, 3, 14, 15	9	11	22
4, 13	9	10	13
5, 6, 11, 12	14	12	25
7, 8, 9, 10	16	19	36

(c) 基本寸法

図-1 3 解析に用いた実橋の諸寸法
(主桁1本当たり: 単位 mm)

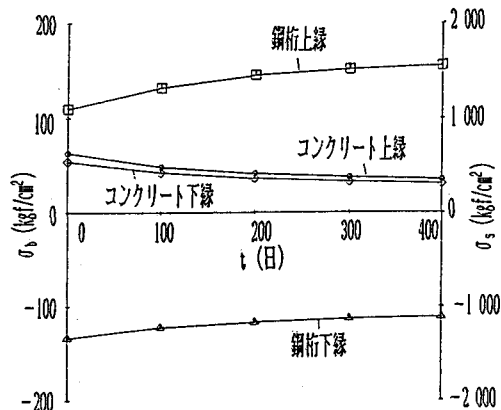


図-14 クリープ・乾燥収縮による変化応力度 (断面2)

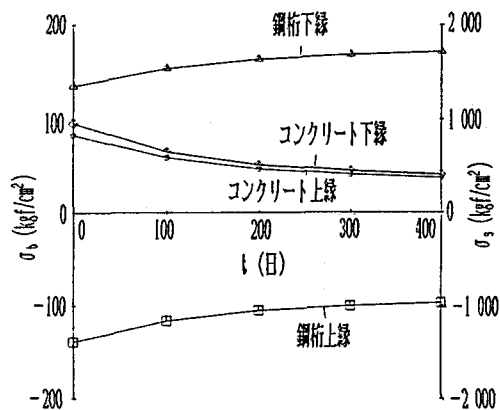


図-15 クリープ・乾燥収縮による変化応力度 (断面8: 中間支点上断面)

5. 実験結果の考察

室内実験、現場実験とも現在進行中であり、とくに現場実験においては、実験を開始したばかりでデータ量が不十分ではあるが、これまでの段階で明らかになったことや考えられることとして、次のようなことが挙げられる。

- (1) C120L-1 (目地無し) と C120L-2 (目地有り) とのひずみを比較すれば、どちらもほぼ同じ値を示しており、結果的に目地材の影響はあまりないものと考えられる。
- (2) プレストレスを一部解放した試験体 C35L については、解放後ひずみの経時変化がゆるやかになった。また、この試験体のひずみについては、解放後の回復クリープの影響が含まれている。
- (3) 幅員方向、橋軸方向ともプレストレスを導入していない試験体 S0L (鉄筋配置) および SPL (無筋) については、幅員方向、橋軸方向ともほぼ同等の乾燥収縮ひずみが生じている。
- (4) 実橋の解析においては、道路橋示方書Ⅲで規定されているクリープおよび乾燥収縮の進行予測値を用いたが、約6カ月間の室内実験データから判断して、この種の床版のクリープ係数および乾燥収縮量は示方書規定値よりかなり小さくなると考えられる。

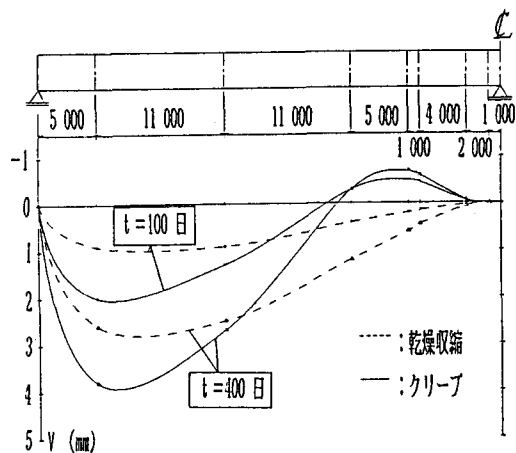


図-16 クリープ・乾燥収縮によるたわみ

6. あとがき

今後、室内および現場での長期測定データの分析と4. で述べたような実橋の長期にわたる経時挙動の解析を詳細に行い、この種の橋梁設計へ有用なデータを提供したいと考えている。

参考文献

- 1) 中井 博編：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工、森北出版、1988年5月
- 2) 栗田・赤尾：マトリックス法による鋼・コンクリート合成構造の乾燥収縮・クリープ解析、合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、土木学会、1986年9月