

(17) 生口橋(複合斜張橋)における  
クリープ変形について

本州四国連絡橋公団 向島工事事務所 藤原 享  
住友建設(株) 広島支店 正会員 ○森田 雄三  
日立造船(株) 向島工場 猪原 茂

1. はじめに

生口橋は図-1に示すように、側径間がプレストレストコンクリート箱桁、中央径間が鋼箱桁からなり、塔付近において剛結された連続桁系の複合斜張橋である。このため本橋の形状管理に際しては、側径間PC桁部施工時の上げ越し管理はもとより、中央径間鋼桁部の張出し架設時の形状管理および斜ケーブルの張力管理においても側径間PC桁部のクリープ・乾燥収縮による影響をあらかじめ算定し、この影響を鋼桁架設の各ステップで考慮した。また、クリープ・乾燥収縮の進行を確認する目的で以下に述べるようなPC桁内の応力・ひずみ計測を行った。ここでは、全体の形状管理のうち、主として側径間PC3径間部の施工完了時から中央径間鋼桁部の架設完了までにおけるコンクリートのクリープ・乾燥収縮による影響を述べるとともに、PC桁の計測により得られた結果について述べるものとする。

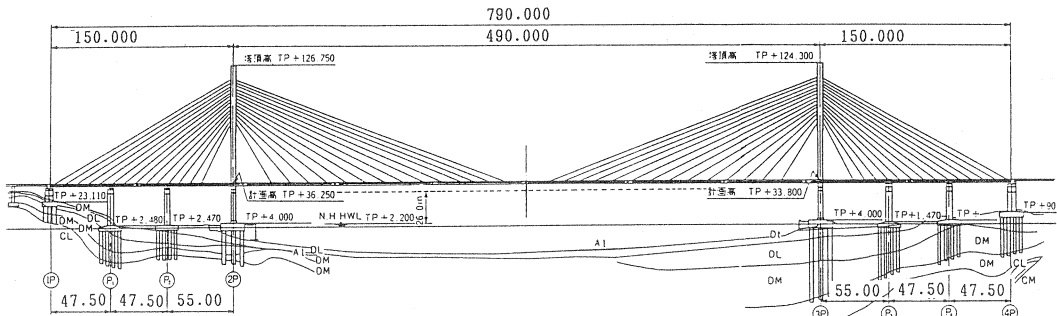


図-1 生口橋一般図

2. クリープ・乾燥収縮による影響

側径間部のクリープ・乾燥収縮による影響は斜ケーブル・塔を介して中央径間部の鋼桁にも形状変化を与えることとなる。塔の水平方向変位や中央径間部の鉛直方向変位に与える影響は側径間部の鉛直方向変形に比べ軸短縮による影響が支配的で、その約90%は軸短縮により生ずることを事前に確認した。すなわち、図-2の概念図に示すように、側径間部のクリープ・乾燥収縮による軸短縮によって側径間部の斜ケーブル定着点は塔側に移動する。これにより斜ケーブル張力は減少し、塔は中央径間側に変形し、この結果中央径間部の鋼桁は鉛直方向に変形することとなる。

このような構造特性をもつ複合斜張橋において、中央径間鋼桁架設時の形状管理や鋼桁完成以降におけるクリープ・乾燥収縮による影響をあらかじめ考慮しておく方法として以下の2通りが考えられた。1つはプレファブ方式の斜ケーブル無応力長を軸短縮分を考慮して製作しておく方法、もう1つはPC桁部の斜ケーブル定着点を軸短縮分移動してPC桁部の施工を行う方法である。本橋のPC桁

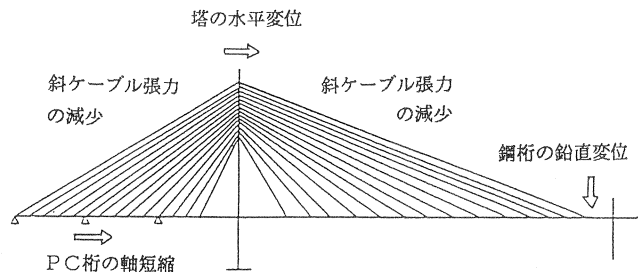


図-2 クリープ・乾燥収縮の影響

部の施工では架設によって発生する弾性変形とクリープ解析結果を考慮し、一般的な鉛直方向の上げ越し量のほか、水平方向の軸短縮量についても算定した。これにより、PC部の桁長を長くし、斜ケーブル定着点についても、この結果を考慮して水平方向変位分を移動させた位置とした。

### 3. クリープ解析

本橋の施工手順は以下である。(図-3)

- ①側径間PC桁部のワーゲンによる張出し施工。
- ②側径間PC桁部の支保工施工部の施工。
- ③PC桁部連結による3径間連続系の完成。
- ④PC桁と鋼桁接合部ブロックとの接合。
- ⑤中央径間鋼桁ブロックの張出し架設。
- ⑥中央径間中央部閉合ブロックの閉合。
- ⑦橋面工の施工。

クリープ解析は、これらの施工手順に従い側径間部施工前および中央径間架設前の二度にわたって行った。側径間施工前のクリープ解析では主として、側径間部の鉛直方向・水平方向の上げ越し量を算定することを目的とし、中央径間施工前のクリープ解析では中央径間部の形状管理に供する目的で行った。

以下に、中央径間架設前に実施したクリープ解析の基本方針を述べる。

- 1) 解析に用いた構造系は、鋼桁の製作キャンバー等を無視した完成構造系座標とし、平面骨組構造解析により算定した。
- 2) 側径間PC桁部のコンクリート材令は、すでに施工されたPC桁の施工ブロック(標準L=3.0m)毎の実材令を基に斜ケーブル定着点間を1部材(L=9.5m)として、この平均材令を用いて解析した。
- 3) 中央径間鋼桁架設時のクリープ解析の出発点はPC桁施工完了時点とし、それ以降のクリープ・乾燥収縮による影響を算定した。なお、PC桁完成時点の持続荷重としてはPC桁部の架設系を追った断面力およびPC桁内のプレストレスを考慮したものである。鋼桁架設時に生ずる断面力については、あらかじめ鋼桁架設時の解体計算に用いられた架設時荷重・鋼桁自重・斜ケーブル張力を使用し、順次組立計算による弾性解析を行い、これにより発生する持続荷重を用いてクリープ解析を行った。
- 4) クリープ・乾燥収縮の進行度合については、道路橋示方書(コンクリート橋編)およびコンクリート道路橋設計便覧に基づき算定した値を用いた。
- 5) クリープ変形の成分は、フロー成分と遅れ弾性成分( $\varphi_{\infty}=0.4$ )の両方を考慮した。なお、仮設機材による断面力は遅れ弾性成分のみ考慮し、フロー成分はケーブル張力・桁自重等の持続荷重のみ考慮した。
- 6) クリープ解析の結果としては、各鋼桁ブロックの架設および斜ケーブルの架設・緊張を1ステップとし、鋼桁架設開始から $t=\infty$ に至るまで全22ステップについて算定した。なお、本橋は中央径間鋼桁閉合後暫定完成系として上下2車線用の一期橋面工の施工後供用され、最終完成系として二期橋面工が施工され上下4車線の供用が予定されている。このため、クリープ解析では最終完成系に至るまでにクリープ・乾燥収縮が進行するものと考え、二期橋面荷重に対しては遅れ弾性成分のみ考慮した。

上記の方針で行ったクリープ解析について、表-1に2P側の結果を参考として示す。

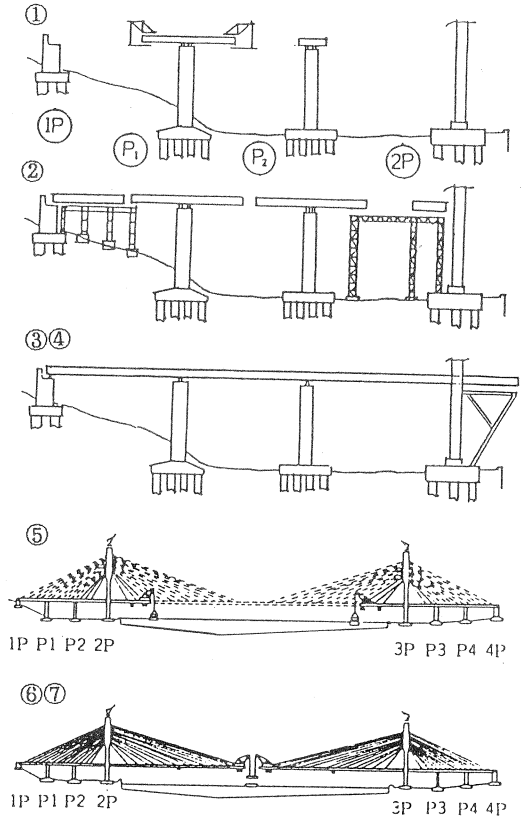


図-3 施工手順

表-1 クリープ解析の結果

(単位mm)

		PC桁部水平変位				塔水平変位	鋼桁鉛直変位
		1P	P1	P2	2P	2P塔頂	中央径間中央
PC桁部完了時から 鋼桁閉合時まで	クリープ	15.9	12.6	8.5	0.0	35.4	-8.5 *
	乾燥収縮	4.7	3.0	1.3	-0.8	-0.7	-0.9 *
鋼桁閉合時から 暫定完成時まで	クリープ	1.8	1.3	1.0	0.1	2.1	-5.2
	乾燥収縮	1.3	0.9	0.5	-0.1	1.4	-3.1
暫定完成時から t=∞まで(最終完成系)	クリープ	18.4	14.1	8.3	-1.2	23.3	-53.5
	乾燥収縮	15.9	10.8	5.8	-0.3	16.5	-35.8
合 計		58.0	42.7	25.4	-2.3	78.0	-107.0

\* : 鋼桁部中央径間中央部の鉛直変位は桁架設後から鋼桁架設完了時までにおける変位である。

4. PC桁の計測

側径間PC桁内には、クリープ・乾燥収縮によるひずみの進行度合を確認するとともに、PC桁の一部の断面では中央径間の鋼桁架設中に応力度がクリティカルになることからPC桁の応力度を確認する目的でひずみ計等を設置した。設置場所は図-3に示すように、3P側の側径間3径間系の中央断面(塔支点よりL=68.75m:A断面)、塔付近断面(塔支点よりL=10.50m:B断面)の2断面とし、埋込み型ひずみ計(測温機能付き)および有効応力計を埋設した。図-4に2断面内のひずみ計等の配置状況を示す。乾燥収縮の進行度合を確認するため、無応力状態の供試体(0.5m×0.4m×0.3m)を製作し、この中にひずみ計を埋設した。このほか、クリープ・乾燥収縮の影響を総合的に把握する方法として、側径間部橋脚上のゴム沓にポテンシヨ式変位計を設置して沓の変形量を計測した。

測定されたデータから、クリープ・乾燥収縮によって生じたひずみとして以下に示す方法で整理した。

○ひずみ計による全ひずみ量:  $\Sigma \epsilon$

$$\Sigma \epsilon = \epsilon_0 + (\epsilon_t) + \epsilon_c + \epsilon_s + \epsilon_{o2} + \epsilon_{t2} + \epsilon_{c2} + \epsilon_{s2}$$

○有効応力計によるひずみ量:  $\epsilon e$

$$\epsilon e = (\sigma_0 + \sigma_{o2} + \sigma_{t2} + \sigma_{c2} + \sigma_{s2}) / E$$

$$= \epsilon_0 + \epsilon_{o2} + \epsilon_{t2} + \epsilon_{c2} + \epsilon_{s2}$$

$\sigma_0$ 、 $\epsilon_0$  : 荷重による応力とひずみ

( $\epsilon_t$ ) : 温度によるひずみ

(ひずみ計温度により補正)

$\epsilon_c$  : クリープによるひずみ

$\epsilon_s$  : 乾燥収縮によるひずみ

(供試体より測定可能)

$\sigma_{o2}$ 、 $\epsilon_{o2}$  : 荷重による二次応力とひずみ

$\sigma_{t2}$ 、 $\epsilon_{t2}$  : 温度による二次応力とひずみ

$\sigma_{c2}$ 、 $\epsilon_{c2}$  : クリープによる二次応力とひずみ

$\sigma_{s2}$ 、 $\epsilon_{s2}$  : 乾燥収縮による二次応力とひずみ

○クリープ・乾燥収縮によるひずみ量:  $\epsilon^{cs}$

$$\epsilon^{cs} = \Sigma \epsilon - \epsilon e = \epsilon_c + \epsilon_s$$

5. 精度管理と計測結果

鋼桁架設中の精度管理は、鋼桁架設・斜ケーブルの架設・緊張を終えた1サイクル終了時点で主桁・塔の形状および斜ケーブル張力を測定し、各施工段階で算定した設計値との誤差に対して斜ケーブルの張力調整(シム調整)を行った。シム調整量は主桁・塔の変形や斜ケーブル張力が事前に定めた管理目標値内である

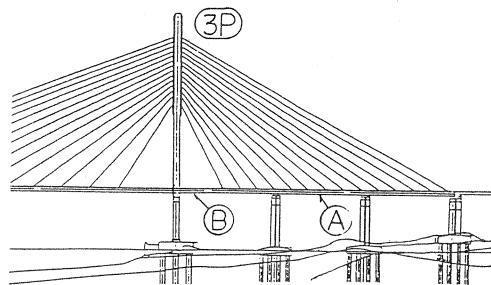


図-4 PC桁計測位置

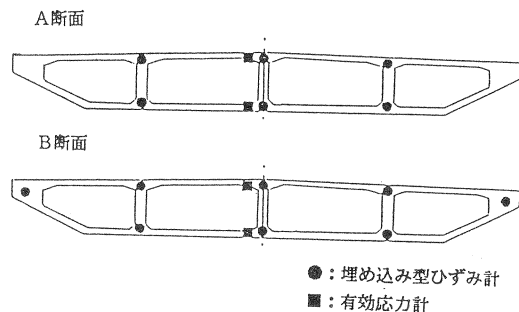


図-5 ひずみ計の配置

ことを確認するとともに、それ以降の架設ステップや完成時に有害な残留誤差が残らないよう管理した。この際、クリープ・乾燥収縮による影響は、各架設段階の設計値に反映した。すなわち、クリープ解析によって求めた各施工段階のPC桁部の上げ越し量(鉛直・水平方向)を基本座標系に加算した座標系を用いて、各段階の設計値を算定した。また、精度管理システムでは、架設中に発生した誤差に対する要因分析としてクリープ・乾燥収縮の影響も考慮できるものとした。

鋼桁架設中から鋼桁閉合までに測定したPC桁内の応力・ひずみを図-6、図-7に示す。また、これより求めたクリープ・乾燥収縮によるひずみ量と設計値との比較をを図-8、図-9に示す。なお、各図は鋼桁のサイクル架設開始から閉合までの約10ヶ月の期間について示したものである。

これによると、塔付近のB断面では斜ケーブルによる橋軸方向力が増加することから断面の上下面ともほぼ一様な応力変動が生じ、これに伴ってクリープひずみも一様の増加している。一方、側径間中央のA断面では斜ケーブルの緊張と呼応して曲げモーメントが生じ、上下面のクリープひずみの発生状況が異なっていることがわかる。クリープ・乾燥収縮によるひずみ変化は、2断面とも断面下側のひずみ量については設計値と差異がなく、予想したクリープの進行状態と考えられる。また、クリープ・乾燥収縮による影響をマクロ的に把握するため行った沓の変形測定結果においても、当初予想したPC桁の軸短縮量とよく一致していた。

6. あとがき

クリープ・乾燥収縮によって塔や中央径間鋼桁部に大きな影響を与えるため、設計段階からこの影響を十分検討した。その結果、架設完了後の形状誤差も非常に小さく、今回のクリープ・乾燥収縮の影響に対して行った処理方法の妥当性を実測データからも検証した。

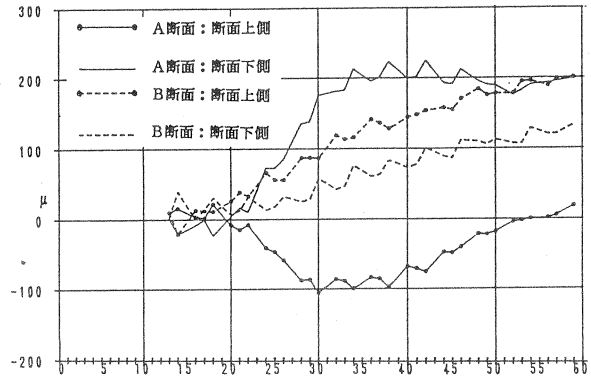


図-6 ひずみ量測定値

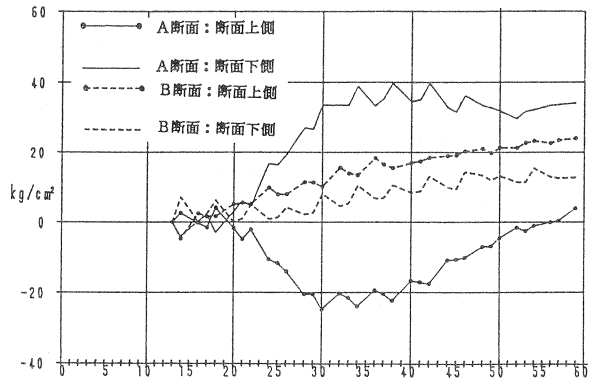


図-7 有効応力計測定値

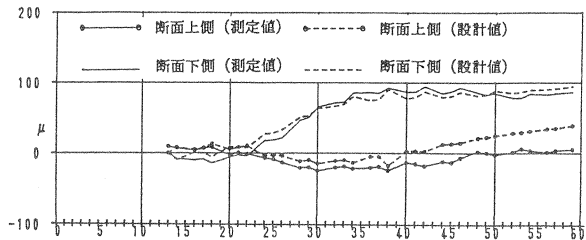


図-8 クリープ・乾燥収縮ひずみ (A断面)

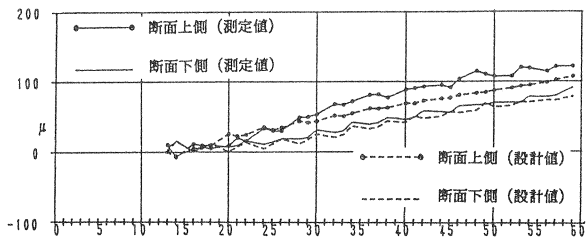


図-9 クリープ・乾燥収縮ひずみ (B断面)