

(47) PC中空桁の変形計測試験

株式会社 ピー・エス 正会員 ○久保明英
 同 上 正会員 中井聖棋
 同 上 正会員 加藤卓也

1. はじめに

弊社では名古屋市内において1990年8月より1991年3月末にかけてPC中空桁の製作及び架設工事を行なった。製作本数は71本で内49本は直線桁であり、ピー・エス社滋賀工場にてプレテンション方式にて製作した。残り23本は最大曲率半径100mの桁3本を含む曲線桁及びレールをPC桁にプレキャスト枕木を介せず取り付け直結タイプと呼ばれる直線桁であり、架設地点近くのヤード(名古屋市)にてポストテンション方式で製作した。

本PC桁の場合、桁変形の過大な進行はその使用に支障をきたす。クリープ・乾燥収縮による変形はその計算方法を道路橋示方書にも規定されているけれども、使用材料及び設置環境に大きく依存し正確に予想することは難しい。そこで本試験ではPC桁の変形追跡調査を行い、PC桁の変形を予想するための資料を収集し、たわみ変形解析結果との比較を行なった。なお本工事では、桁の上ぞり変形が大き過ぎる場合には桁受け支承高を低くする、あるいは橋面荷重載荷時期を調節する等で桁天端計画高を確保した。

また、曲線PC桁の製作上の留意点も共に報告する。

2. PC桁変形計測試験

2-1 計測方法

(1) 変形計測対象桁

プレテンション桁に関しては全桁プレストレス導入直後に仮置き場所へ移動した後の変形を計測してある。また、次のプレテン桁6本、ポストテン桁5本に関しては特に変形計測対象桁として計測を行った。

プレテンション桁 : 1桁, 2桁, 3桁, 4桁, 41桁, 42桁

ポストテンション桁 : 4桁, 7桁, 13桁, 14桁, 15桁

(2) 計測方法

桁のたわみは両支点位置及び支間中央の桁上面のレベル読み値の差として計測した。レベルのターゲットの最小目盛りは0.5mmである。

曲線桁に関しては桁端でたわみ角、桁端と支間中央でねじれ角の変化を計測した。これらの角変化は最小読み値1/10000radの傾斜計を用いて計測した。

2-2 PC桁コンクリート諸定数

PC桁標準断面形状を図-1に示す。なお、実際には桁上面にカントがついており、断面諸元が桁ごとに多少異なっている。PC桁の弾性係数を表-1に、コンクリート配合を表-2に示す。

コンクリート		単位	プレテン桁	ポストテン桁
強度	1次緊張時	kg/cm ²	350	250
	2次緊張時	kg/cm ²	-	350
	設計	kg/cm ²	500	450
弾性係数	1次緊張時	kg/cm ²	3.4 × 10 ⁵ (2.95)	2.9 × 10 ⁵ (2.55)
	2次緊張時	kg/cm ²	-	3.0 × 10 ⁵ (2.95)
	設計	kg/cm ²	3.6 × 10 ⁵ (3.3)	3.4 × 10 ⁵ (3.2)

表-1 コンクリート諸定数

()の値は設計用値

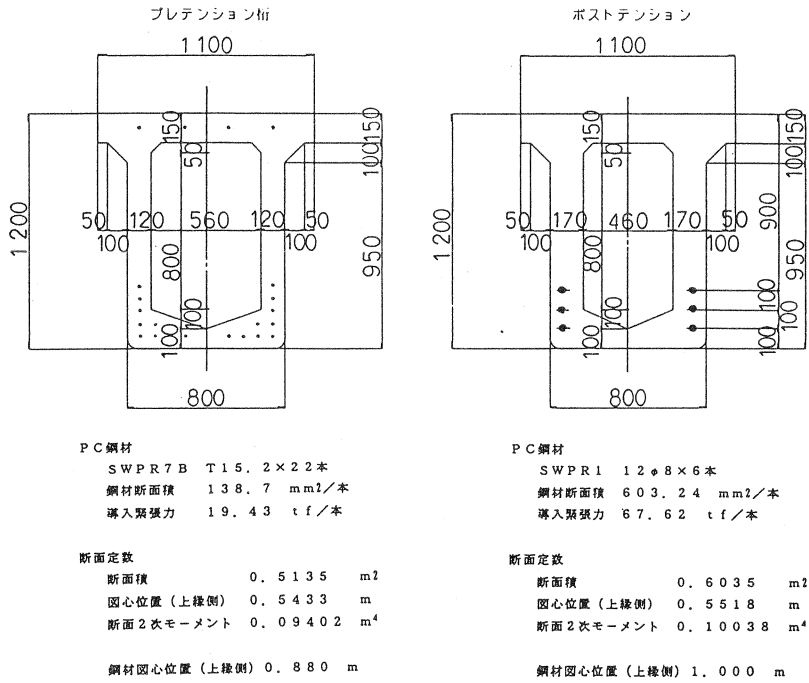


図-1 PC桁標準断面形状

PC桁種類	粗骨材最大寸法(mm)	スランブの範囲(cm)	空気量の範囲(%)	水セメント比W/C(%)	細骨材率S/a(%)	単位量(kg/m ³)				
						水W	セメントC	細骨材S	粗骨材G	混和剤M174 150
プレテン	20	8	2	37.1	39.0	175	472	669	1083	4.72
ポストテン	25	8	4	34.0	38.1	161	474	550	1170	7.11

表-2 配合表

2-3 PC桁の製作

(1) プレテンション桁

プレテン桁は桁長19.96m, 支間19.28mで桁両端は余盛りして桁高を高くしておき, 緊張すると弾性変形により桁上面が所定の高さとなるように設計した。桁下支承部にはラーをつけ, 変形した状態で桁受け面が水平となる。プレテン桁は57℃の温度で高温蒸気養生し, コンクリート打設後16時間以上経過した時点でプレストレスを導入する。

(2) ポストテンション桁

ポストテン桁はクリープ・乾燥収縮による変形を小さく抑えるため, 桁を仮置き場へ移動する前に6本のケーブルの内最下段の2本を緊張(1次緊張)し, 残りの4ケーブルは桁架設直前に緊張(2次緊張)することとした。ポストテン桁は桁長19.96m, 支間19.36mの桁高一断面であり, 下側にそった状態で製作し, 緊張すると弾性変形により支間中央部が上がり桁上面計画高に近くなるように設計してある。

2-4 クリープ・乾燥収縮によるたわみの計算

(1) たわみの計算

曲線桁の自重による変形及びプレストレスによる変形は、立体骨組計算プログラムパソコン版を用いて計算した。なお、クリープ・乾燥収縮の検討には次の直線桁単純支持の公式を用いて計算した。

$$\delta d = \frac{5 \cdot w \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

式中の記号の意味は次の通りである。

- w : 桁自重
- l : 支間
- E : 桁の弾性係数
- I : 断面2次モーメント

プレストレスによるたわみは次式で計算した。

$$\delta p = \frac{n \cdot P_t \cdot e \cdot l^2}{8 \cdot E \cdot I}$$

式中の記号の意味は次の通りである。

- n : PC鋼材本数
- e : PC鋼材偏心量

P_t : 緊張直後に桁に残っている支間中央部平均の緊張力で、セットロス及びシースとの摩擦損失を差引、さらに桁の弾性変形に伴う減少を考慮した値であり、下の値を仮定した。

プレテン桁 P_t = 19.43 × 0.96 = 18.65 tf/本
 ポステン桁 P_t = 67.62 × 0.9 × 0.96 = 58.42 tf/本

(2) クリープ係数の計算

クリープ係数は道路橋示方書の2.1.7「コンクリートのクリープ及び乾燥収縮の影響」に示されている方法で計算する。実際の中空断面で部材の仮想厚さを計算すると39cmであるが、これを用いると実測値と大きく異なってしまう。ここでは充実断面を仮想して部材厚を66cmとしてクリープ係数を計算することとした。部材厚を66cmとして計算したクリープ係数を表-3に示す。

(3) クリープ・乾燥収縮によるたわみの計算

表-3に示すクリープ係数を用いてクリープ・乾燥収縮によるたわみ計算値を算出する。当初PC桁に導入されたPC鋼材緊張力は時間の経過に伴い減少するが、ここでは2-4(1)のP_tが3週間で95%、4週間で94%、16週間で91%に低減すると仮定した。計算結果を表-4に示す。表-4でクリープ変形2-①、2-②は2次緊張以後のクリープ変形及び経過日数である。プレテン桁は高温蒸気養生しているため、養生期間中に材令が早く進行する。養生期間は1日であるがこの間に進む材令を4日と仮定する。

ポステン桁は端部ではPCケーブルを曲げ上げているため、PCケーブルによる曲げモーメントは低下し

(クリープ係数)

假令時の材令 (t0) = 2.00
 クリープ係数 (α0) = 66.0
 部材の仮想厚さ (cm) = 4
 四角型に対する基本クリープ係数 (φd0) = 2.0
 フロー型に対する基本クリープ係数 (φf0) = 15.0
 平均温度 (°C) = .00025
 基本乾燥収縮係数 (εs0) =

N O	日	α	βd(t-t0)	βf(t)	βf(t0)	φ(t,t0)
1	1.0	1.667	.273	.101	.012	.287
2	2.0	1.667	.297	.167	.012	.427
3	3.0	1.667	.318	.212	.012	.526
4	4.0	1.667	.338	.246	.012	.601
5	5.0	1.667	.355	.272	.012	.660
6	6.0	1.667	.372	.293	.012	.709
7	7.0	1.667	.387	.310	.012	.750
8	8.0	1.667	.400	.325	.012	.785
9	9.0	1.667	.413	.338	.012	.816
10	10.0	1.667	.425	.350	.012	.844
11	11.0	1.667	.437	.360	.012	.870
12	12.0	1.667	.447	.369	.012	.893
13	13.0	1.667	.458	.378	.012	.914
14	14.0	1.667	.467	.386	.012	.933
15	15.0	1.667	.476	.393	.012	.952
16	16.0	1.667	.485	.400	.012	.969
17	17.0	1.667	.493	.407	.012	.986
18	18.0	1.667	.502	.413	.012	1.001
19	19.0	1.667	.509	.419	.012	1.016
20	20.0	1.667	.517	.424	.012	1.030
21	21.0	1.667	.524	.430	.012	1.044
22	22.0	1.667	.531	.435	.012	1.057
23	23.0	1.667	.538	.440	.012	1.070
24	24.0	1.667	.544	.445	.012	1.082
25	25.0	1.667	.551	.449	.012	1.094
26	26.0	1.667	.557	.454	.012	1.105
27	27.0	1.667	.563	.458	.012	1.117
28	28.0	1.667	.569	.462	.012	1.127
29	29.0	1.667	.575	.467	.012	1.138
30	30.0	1.667	.580	.471	.012	1.148
31	35.0	1.667	.606	.490	.012	1.197
32	42.0	1.667	.638	.513	.012	1.257
33	56.0	1.667	.690	.553	.012	1.356
34	60.0	1.667	.703	.562	.012	1.381
35	90.0	1.667	.773	.622	.012	1.529
36	120.0	1.667	.819	.657	.012	1.627
37	240.0	1.667	.913	.784	.012	1.908
38	365.0	1.667	.957	.862	.012	2.082
39	730.0	1.667	.994	.993	.012	2.358
40	1095.0	1.667	999	1.064	.012	2.504
41	1460.0	1.667	1.000	1.112	.012	2.599
42	1825.0	1.667	1.000	1.146	.012	2.666
43	30000.0	1.667	1.000	1.297	.012	2.969

表-3 クリープ係数

ている。表-4の計算値の欄右側の値はその効果を考慮した値であり、左側のプレストレスによる変形値より1次緊張で1mm、2次緊張で2mm差し引いてある。なお、PC鋼材緊張力の摩擦による減少量及びケーブル曲げ上げによるプレストレス変化量は立体骨組計算の結果を参考にして決めた。

プレテンション桁

(単位:mm)

	計算値	1桁	2桁	3桁	4桁	4.1桁	4.2桁
自重 プレストレス 弾性変形 Σ	-7.2 20.1 12.9	8.5	11.0	7.0	8.5	8.5	12.0
クリープ変形 ①	7.4 4週	3.7 4週	5.0 4週	7.5 8週	5.0 4週	6.0 4週	6.0 4週
クリープ変形 ②	12.1 16週	4.4 16週	3.5 18週	8.5 12週	-	9.0 12週	-

ポストテンション桁

(単位:mm)

	計算値		4桁	7桁	13桁	14桁	15桁
自重 プレストレス 弾性変形 Σ	-9.5 10.3 0.8	-9.5 9.3 -0.2	1.5	-0.5	-1.1	-6.6	-6.3
クリープ変形 1-①	0.3 3週	-0.2 3週	-2.8 1週	-	-0.3 4週	1.6 3週	1.0 2週
プレストレス (2次緊張)	14.5	12.5	9.6	7.1 クリープ含	8.0	10.0	13.6
自重 プレ(1次) プレ(2次) クリープ変形 初期0たわみ 実際のたわみ	-9.5 9.8 14.5 0.3 15.1	-9.5 8.8 12.5 -0.2 11.6	8.3 -1.2	6.6 -2.3	6.6 -9.1	5.0 -15.5	8.3 -11.0
	3週後仮定	3週後仮定	9/27	10/15	12/7	11/24	12/5
クリープ変形 2-①	4.2 4週	3.1 4週	4.6 4週	-	-1.2 5週	4.6 4週	2.5 3週
クリープ変形 2-②	8.9 16週	7.2 16週	2.2 16週	7.1 12週	-1.2 16週	1.8 16週	3.5 9週

表-4 クリープ・乾燥収縮によるたわみ変化量

2-5 結果の評価

高温蒸気養生したPC桁のクリープ変形を予測するには、養生期間中の材令進行を適当に評価する必要がある。そのためクリープ変形追跡調査の結果に合わせるには、高温蒸気養生の1日を材令4日程度に評価する必要がある。また、中空断面のクリープ係数を計算する場合、仮に充実断面として仮想部材厚を計算し用いた方が、実測値に近いクリープ変形を計算できることが分かった。

3. 曲線PC桁製作上の留意点

- ①鉛直方向の荷重により桁各断面は回転するがその回転軸は曲率中心方向であり、各断面平行ではない。従って、変形前に同一円の2半径上にあった支承ラインは同一円錐の2母線上の線となる。この時桁には鉛直変形だけでなく横変形も生じる。
- ②緊張時、PC鋼材はシースのR内側方向に引き寄せられる。この点配慮を怠ると非対称PC鋼材配置となり、桁に思わぬ横変形が生じることになる。
- ③通常桁吊具は桁端の中充部に埋め込まれる。しかし、曲線桁の重心は桁端を結ぶ直線からそれるため通常の吊り方では桁が傾く危険がある。曲線桁を吊る場合慎重な検討が必要である。