

報告 大仁高架 2 号橋のクリープ・乾燥収縮計測に基づいた免震支承の後ひずみ調整計画

吉田 健太郎*1・前田 克巳*2・増田 敏之*3・山下 幹夫*4

要旨：大仁高架 2 号橋は橋長 725m の 29 径間連続 PC 中空床版橋で、支承に免震支承を用いて地震力を分散する構造となっている。本橋は橋長が非常に長く、温度変化やコンクリートのクリープ・乾燥収縮が桁の橋軸方向変形量に与える影響が大きいため、予め変形量を的確に予測し、免震支承の後ひずみ調整を行う必要がある。

本報告では、橋体完成時から約 3 年間の測定結果と設計時における予測値を比較した結果について述べる。

キーワード：免震支承，クリープ，乾燥収縮，後ひずみ調整

1. はじめに

大仁高架 2 号橋は、図 - 1 に示す橋長 725m の長大橋で、快適な走行性、振動・騒音の低減、維持管理の容易さを目的とした 29 径間連続 PC 中空床版形式の上部構造である¹⁾。

本橋の架設地点は、日本有数の地震多発地帯であり、近い将来に東海地震の発生する確率が高いとされる伊豆半島に位置している。このため、地震力の分散と地震応答の低減を図ることを目的として、鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB) の免震支承を採用している。

このような上部構造が超多径間連続橋梁では、PC 桁特有のクリープ・乾燥収縮による残留変

形が大きな課題となり、本橋では桁端部で設計上 100mm 以上にもなる。また、温度変化においても桁伸縮量は ±75mm 程度生ずることが予想された。これらは、免震支承を通じて下部構造に常に大きな水平力を作用させることになり、全体の安定を損なうものとなる。このため、本橋梁では供用後、桁のクリープ・乾燥収縮が設計上許容される範囲内で進んだ後に支承の残留ひずみを取り除く方法を採用した。

本報告では、支承の残留変形を取り除く最適な時期を把握することを目的として、橋体完成後約 3 年間に渡って実施した現場計測結果について述べる。

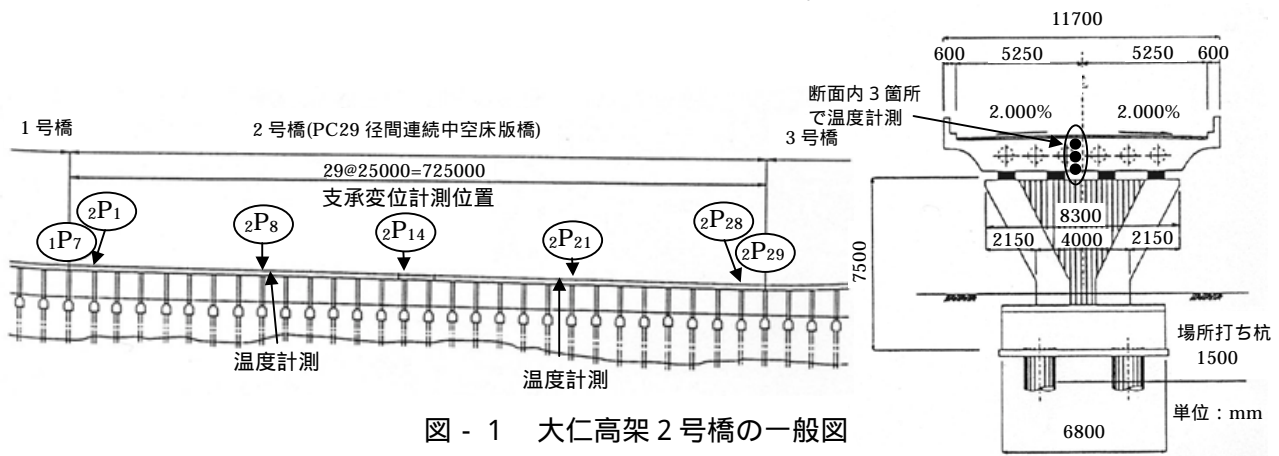


図 - 1 大仁高架 2 号橋の一般図

*1 鹿島建設(株) 技術研究所 土木技術研究部 (正会員)
 *2 静岡県 土木部道路総室国道室長
 *3 静岡県道路公社 工務部次長
 *4 開発コンサルタント(株) 技術本部長

2. 残留ひずみ処理方法と現場計測概要

2.1 残留ひずみ処理方法

支承の残留ひずみ処理方法を 図 - 2 に示す。

支承の下フランジを油圧ジャッキにより押し出すことで、残留変位量を調整する方法を採用している²⁾。

2.2 現場計測概要

計測は、図 - 1 に示す位置で、支承の変位と桁のコンクリート温度について行った。設計上残留変形処理を予定している橋体完成から8年後までの計測実施時期を、表 - 1 に示す。

なお、設計においては「道路橋示方書・同解説 (1992年2月)」³⁾をもとに、上部工の施工条件を加味してクリープ・乾燥収縮の計算を行った。また、支承の調整量は、下部構造の耐荷性能等より設定される制約条件⁴⁾を考慮して決定を行った。

表 - 1 計測実施時期

計測回	計測時期	計測暦日	備考
1	一次調整前	1997年10月28日	
2	竣工時	12月12日	クリープ・乾燥収縮 約20%進行
3	1ヵ月後	1998年1月12日	
4	1.5ヵ月後	2月6日	
5	3ヵ月後	2月27日	
6	6ヵ月後	5月27日	
7	9ヵ月後	8月27日	
8	1年後	11月27日	
9	1.5年後	1999年6月2日	
10	2年後	11月29日	クリープ・乾燥収縮 約40%進行
11	3年後	2000年11月27日	
12	4年後	2001年11月	クリープ・乾燥収縮 約60%進行
13	5年後	2002年11月	
14	6年後	2003年11月	
15	7年後	2004年11月	
16	8年後	2005年11月	クリープ・乾燥収縮 約70%進行

3. 計測結果と考察

計測結果を表 - 2 に示す。本橋では、竣工時に施工時における残留変形の処理（一次調整）を行い、変位計測の原点及び基準値（竣工後計測初期値）を設定した。このため、表中には竣工後初期値からの変位量である支承現位置と施工時からの累積変位を併せて示した。

これらの計測結果を設計値と比較検討することにより、残留ひずみ処理の時期の見込みを得るため、次の手順により検討を行った。

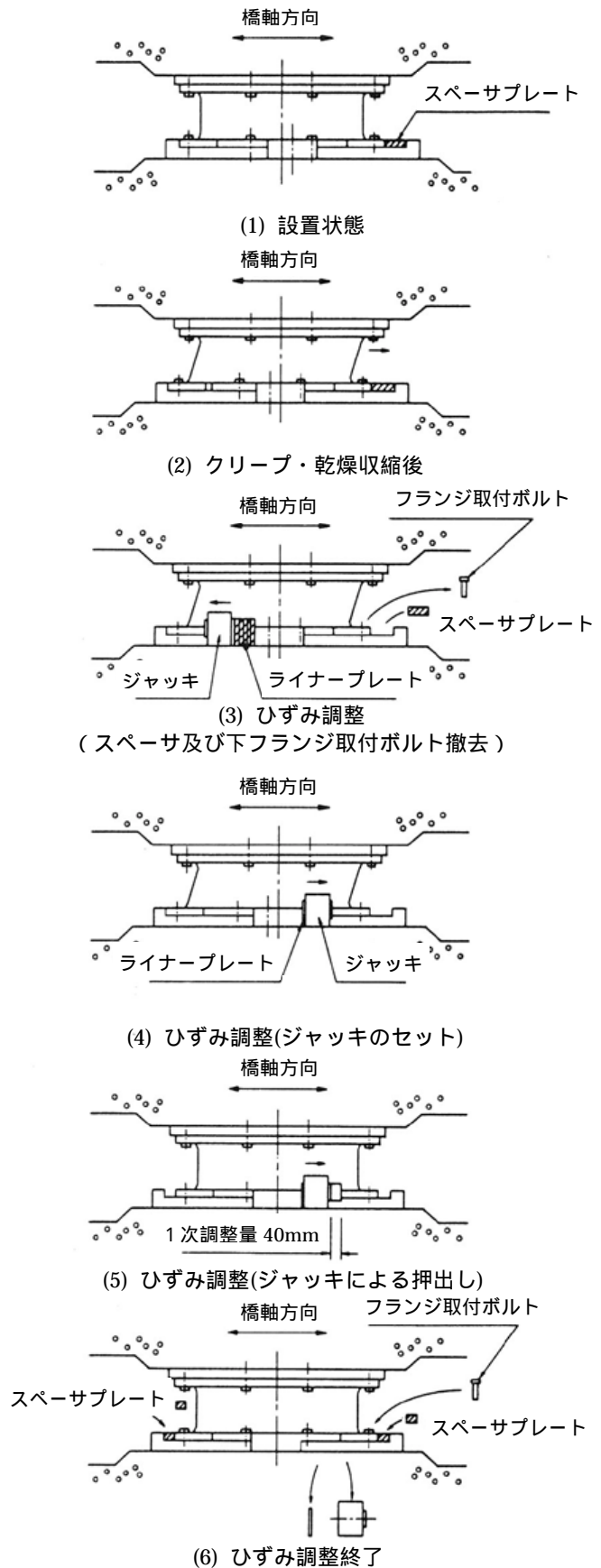


図 - 2 残留ひずみ処理方法

表 - 2 支承変位計測結果

計年・月・日	測後経過日数	成り終日数	桁の平均温度℃	作業内容	橋脚位置（下段：構造中心からの離れ：m）						作業内容	桁の平均温度℃	成り終日数	計年・月・日
					2P1			2P2						
					2P1	2P8	2P14	2P21	2P28					
					337.5	162.5	12.5	162.5	337.5					
				一次調整前	-43	-52	-5	-50	-31	一次調整前	17.2	0	10.30	
				竣工後計測初期値	1(-69)	-11(-61)	-10(-10)	-17(-67)	25(-45)	竣工後計測初期値	9.4	45	12.12	
1998. 1.12	102		4.3	竣工後第1回計測	-12(-82)	-16(-66)	-9(-9)	-14(-74)	9(-61)	竣工後第1回計測	3.8	76	1998. 1.12	
2. 6	127		5.6	第2回計測	-11(-81)	-16(-66)	-9(-9)	-24(-74)	9(-61)	第2回計測	5.8	101	2. 6	
2.27	148		8.6	第3回計測	9(-71)	-13(-63)	-8(-8)	-20(-70)	18(-52)	第3回計測	8.8	122	2.27	
5.27	237		21.3	第4回計測	25(-45)	4(-46)	-7(-7)	-5(-55)	43(-27)	第4回計測	22.6	211	5.27	
8.27	329		29.7	第5回計測	34(-36)	9(-41)	-7(-7)	0(-50)	50(-20)	第5回計測	29.8	303	8.27	
11.27	421		11.4	第6回計測	-26(-96)	-21(-71)	-10(-10)	-30(-80)	-11(-81)	第6回計測	10.7	395	11.27	
1999. 6. 2	608		24.9	第7回計測	11(-59)	-2(-52)	-8(-8)	-11(-61)	28(-42)	第7回計測	23.9	582	1999. 6. 2	
11.29	788		11.3	第8回計測	-34(-104)	-23(-73)	-10(-10)	-32(-82)	-14(-84)	第8回計測	12.1	762	11.29	
2000.11.27	1152		18.7	第9回計測	-36(-106)	-24(-74)	-10(-10)	-33(-83)	-23(-93)	第9回計測	18.5	1126	2000.11.27	

()内は累積変位を示す。 構造中心に向かう橋体短縮を負とする。

一次調整量	70	50	10	50	70	一次調整量
二次調整量	50	40	0	40	50	二次調整量
許容残留変位	±57	±42	±60	±44	±50	許容残留変位

- 橋体の変形中心の確認
- 橋体の見かけの線膨張係数を推定
- 上記の「見かけの線膨張係数」による実測 支承変位の温度補正
- 設計値との比較
- 許容範囲との比較

3.1 橋体の変形中心の確認

竣工後に計測した橋軸方向変位分布を図 - 3 に示す。この図から、本橋は橋体中央部(2P14と2P15の中央部、構造中心)を中心に、橋軸方向の変形を生じていることが確認される。なお、この図は累積変位を図化したものであり、変形中心が明確になるように、1号橋側に向かう変位を正として作図した。

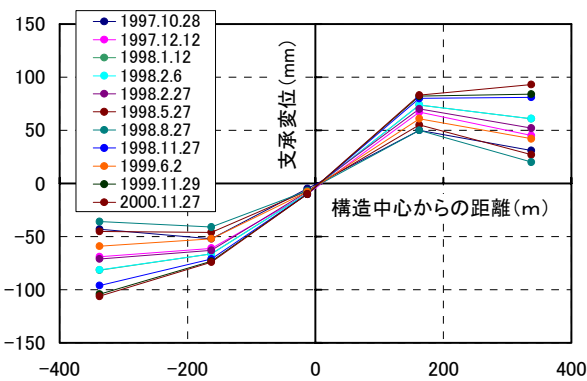


図 - 3 橋軸方向支承変位分布（累積変位）

3.2 橋体の見かけの線膨張係数について

支承変位の温度変化による影響を検討するため、各測定年月日内の主桁平均温度変化量 Δt に対応する支承変位の変化量 $\Delta \delta$ を求めた。

表 - 3 温度変化による支承変位変化量

橋脚	測定年月日	主桁平均温度(℃)	温度変化量 Δt (℃)	支承変位(mm)	支承変位変化量 $\Delta \delta$ (mm)	単位支承変位変化量 $\Delta \delta'$ (mm/m)
2P1	1997.10.28	18.9		-43		
	12.12	12.3	-6.6	-69	-26	-0.0770
	1998. 1.12	4.3	-8.0	-82	-13	-0.0385
	2. 6	5.6	1.3	-81	1	0.0030
	2.27	8.6	3.0	-71	10	0.0296
	5.27	21.3	12.7	-45	26	0.0770
	8.27	29.7	8.4	-36	9	0.0267
	11.27	11.4	-18.3	-96	-60	-0.1778
	1999. 6. 2	24.9	13.5	-59	37	0.1096
	11.29	11.3	-13.6	-104	-45	-0.1333
2000.11.27	18.7	7.4	-106	-2	-0.0059	
2P8	1997.10.28	18.9		-52		
	12.12	12.3	-6.6	-61	-9	-0.0554
	1998. 1.12	4.3	-8.0	-66	-5	-0.0308
	2. 6	5.6	1.3	-66	0	0.0000
	2.27	8.6	3.0	-63	3	0.0185
	5.27	21.3	12.7	-46	17	0.1046
	8.27	29.7	8.4	-41	5	0.0308
	11.27	11.4	-18.3	-71	-30	-0.1846
	1999. 6. 2	24.9	13.5	-52	19	0.1169
	11.29	11.3	-13.6	-73	-21	-0.1292
2000.11.27	18.7	7.4	-74	-1	-0.0062	
2P21	1997.10.28	17.2		-50		
	12.12	9.4	-7.8	-67	-17	-0.1046
	1998. 1.12	3.8	-5.6	-74	-7	-0.0431
	2. 6	5.8	2.0	-74	0	0.0000
	2.27	8.8	3.0	-70	4	0.0246
	5.27	22.6	13.8	-55	15	0.0923
	8.27	29.8	7.2	-50	5	0.0308
	11.27	10.8	-19.0	-80	-30	-0.1846
	1999. 6. 2	23.9	13.1	-61	19	0.1169
	11.29	12.1	-11.8	-82	-21	-0.1292
2000.11.27	18.5	6.4	-83	-1	-0.0062	
2P28	1997.10.28	17.2		-31		
	12.12	9.4	-7.8	-45	-14	-0.0415
	1998. 1.12	3.8	-5.6	-61	-16	-0.0474
	2. 6	5.8	2.0	-61	0	0.0000
	2.27	8.8	3.0	-52	9	0.0267
	5.27	22.6	13.8	-27	25	0.0741
	8.27	29.8	7.2	-20	7	0.0207
	11.27	10.8	-19.0	-81	-61	-0.1807
	1999. 6. 2	23.9	13.1	-42	39	0.1156
	11.29	12.1	-11.8	-84	-42	-0.1244
2000.11.27	18.5	6.4	-93	-9	-0.0267	

$\Delta \delta' = \Delta \delta / L$ $\Delta \delta'$: 単位支承変位変化量 (mm/m) $\Delta \delta$: 支承変位変化量 (mm)
 L : 変形中心からの距離 (m) 2P1, 2P28: 337.5(m) 2P8, 2P21: 162.5(m)

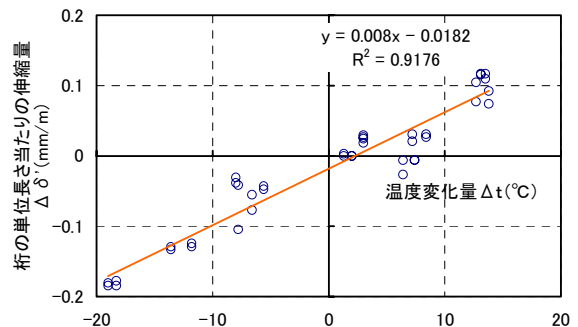


図 - 4 見かけの線膨張係数

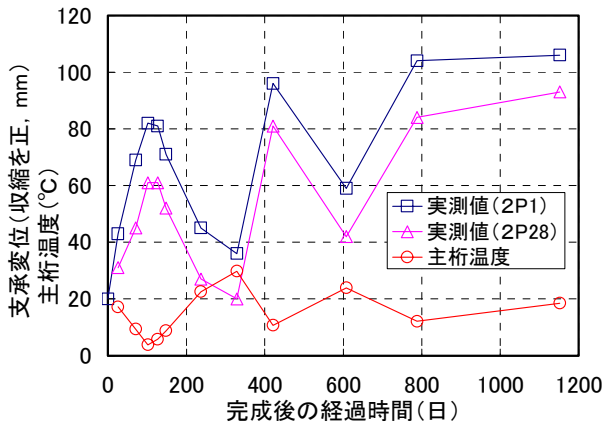


図 - 5 支承変位及び主桁温度の経時変化
(2 P 1 , 2 P 2 8)

さらに、支承変位が主桁の長さ変化に等しいものとして桁の単位長さ当りの変化量 δ を求めた。その結果を表 - 3 に示す。なお、支承変位には累積変位を用いている。

主桁平均温度変化量 Δt と桁の単位長さ当りの変化量 δ の関係を図 - 4 に示す。

直線回帰すると、両者の関係には高い相関が見られ、桁の見かけの線膨張係数に相当する回帰直線の勾配として 0.008mm/m ($=8.0 \times 10^{-6}/$) が得られた。

3.3 支承変位の温度補正

支承変位及び主桁平均温度の経時変化を、図 - 5, 6 に示す。主桁平均温度は、1号橋側及び3号橋側ともに大差ないため、3号橋側の測定値を図示した。

支承変位は主桁平均温度の変化に対応して変動しながら、クリープ・乾燥収縮の影響で徐々に増加する状況を確認することができる。

橋体完成後の支承変位の経時変化を設計値と比較するため、表 - 4 に示す実測支承変位の温度補正を行った。なお、温度補正に当たっては、前節で求めた見かけの線膨張係数 $8.0 \times 10^{-6}/$ 及び実測の主桁平均温度を用いて、該当橋脚位置での設計基準温度 (15) 時の温度補正量を求め、実測値を補正した。

3.4 設計値との比較

実測支承変位の経時変化と設計値の比較を、図 - 7, 8 に示す。なお、設計値としては、変形中心に対して対称位置にある 2 P 1 と 2 P

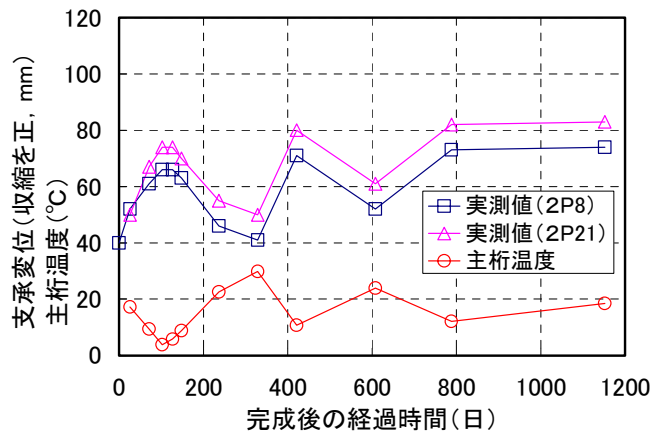


図 - 6 支承変位及び主桁温度の経時変化
(2 P 8 , 2 P 2 1)

表 - 4 温度変化に伴う支承変位補正量

温度係数: $8.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

計測年月日	橋脚番号	2P1	2P8	橋脚番号	2P21	2P28
	変形中心からの距離 L(m)	337.5	162.5	変形中心からの距離 L(m)	162.5	337.5
	温度変化量 $\Delta t(^{\circ}\text{C})$	支承変位補正量 (mm)	温度変化量 $\Delta t(^{\circ}\text{C})$	支承変位補正量 (mm)		
1997.10.28	3.9	11	5	2.2	3	6
12.12	-2.7	-7	-4	-5.6	-7	-15
1998.1.12	-10.7	-29	-14	-11.2	-15	-30
2.6	-9.4	-25	-12	-9.2	-12	-25
2.27	-6.4	-17	-8	-6.2	-8	-17
5.27	6.3	17	8	7.6	10	21
8.27	14.7	40	19	14.8	19	40
11.27	-3.6	-10	-5	-4.2	-5	-11
1999.6.2	9.9	27	13	8.9	12	24
11.29	-3.7	-10	-5	-2.9	-4	-8
2000.11.27	3.7	10	5	3.5	5	9

注: 温度変化量は設計基準温度 15.0°C に対する値を示す。

28 及び 2 P 8 と 2 P 2 1 では大差がないので、一つの曲線として表示した。

これらの図から次の事項が考察される。

- (1) 温度補正により温度の影響はほとんど取り除かれており、補正に用いた見かけの線膨張係数及び補正方法はほぼ妥当であると考えられる。
- (2) 温度の影響を取り除いた支承変位は、施工時温度条件 (設計では 15 度) の仮定誤差により初期値に若干の差があるものの、経時変化はほぼ設計通りであると考えられる。

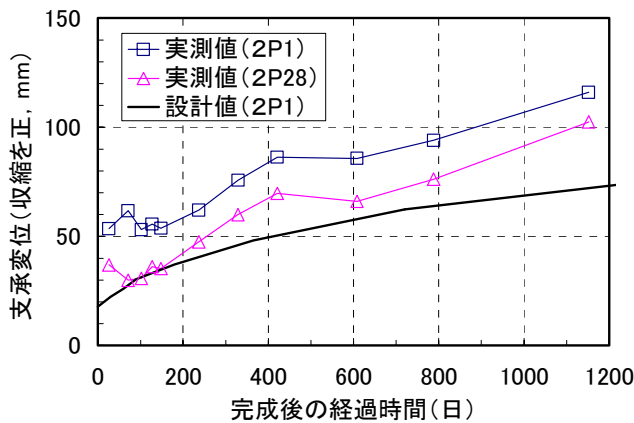


図 - 7 支承変位の経時変化(温度補正後)
(2P1, 2P28)

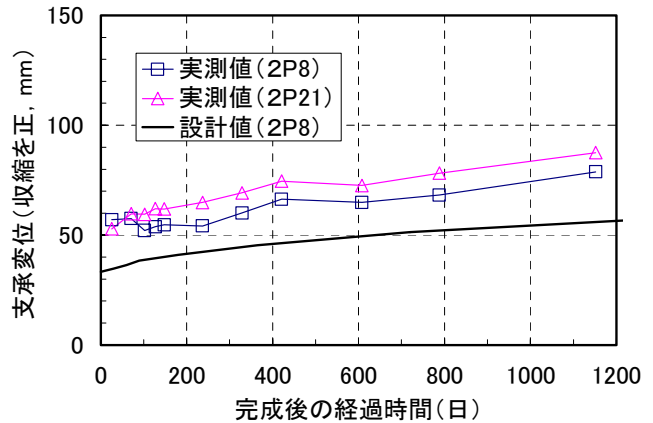


図 - 8 支承変位の経時変化(温度補正後)
(2P8, 2P21)

表 - 5 実測温度に基づく推定支承変位

橋脚		2P1			2P8			2P21			2P28		
変形中心からの距離(m)		337.5			162.5			162.5			337.5		
実測年間最大温度差() (設計基準温度+15 に対し)		-10.7, +14.7						-11.2, +14.8					
経過日数	ひずみ調整	温度降下時	15時	温度上昇時	温度降下時	15時	温度上昇時	温度降下時	15時	温度上昇時	温度降下時	15時	温度上昇時
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
		-28.9	±0	+39.7	-13.9	±0	+19.1	-14.6	±0	+18.9	-30.2	±0	+40.0
0		-11.2	17.7	57.4	19.4	33.3	52.4	18.0	32.6	51.5	-12.7	17.5	57.5
30		-6.5	22.4	62.1	20.9	34.8	53.9	19.5	34.1	53.0	-8.0	22.2	62.2
60		-2.9	26.0	65.7	22.5	36.4	55.5	21.1	35.7	54.6	-4.4	25.8	65.8
90	一次ひずみ調整	1.5	30.4	70.1	24.5	38.4	57.5	23.0	37.6	56.5	0.0	30.2	70.2
90		-68.5	-39.6	0.1	-25.5	-11.6	7.5	-27.0	-12.4	6.5	-70.0	-39.8	0.2
180		-61.7	-32.8	6.9	-22.8	-8.9	10.2	-24.3	-9.7	9.2	-63.3	-33.1	6.9
365		-50.8	-21.9	17.8	-18.5	-4.6	14.5	-20.0	-5.4	13.5	-52.4	-22.2	17.8
720		-36.6	-7.7	32.0	-12.5	1.4	20.5	-14.2	0.4	19.3	-38.4	-8.2	31.8
1500		-19.0	9.9	49.6	-4.3	9.6	28.7	-6.2	8.4	27.3	-21.0	9.2	49.2
3000	二次ひずみ調整	0.4	29.3	69.0	4.4	18.3	37.4	2.3	16.9	35.8	-1.8	28.4	68.4
3000		-49.6	-20.7	19.0	-35.6	-21.7	-2.6	-37.7	-23.1	-4.2	-51.8	-21.6	18.4
6000		-28.1	0.8	40.5	-25.9	-12.0	7.1	-28.2	-13.6	5.3	-30.5	-0.3	39.7
10000		-20.4	8.5	48.2	-22.4	-8.5	10.6	-24.8	-10.2	8.7	-22.8	7.4	47.4
二次調整量(変形中心に向い)		50.0			40.0			40.0			50.0		
L1地震時の許容ひずみ		57.0			42.0			46.0			50.0		
L2地震時の許容ひずみ		65.0			49.0			66.0			67.0		

また、温度に関する事項として

- (3) 設計で考慮した最大温度差は 30 (±15) であるのに対し、実測の最大温度差は 25.4 ~ 26.0 で、設計値内に収まっている。
- (4) 設計で仮定した部材の線膨張係数は 10.0×10^{-6} であるのに対して、実測データから推定した桁の見かけの線膨張係数は 8.0×10^{-6} で、設計値よりやや小さい値となっている。

3.5 許容範囲との比較

クリープ・乾燥収縮による塑性ひずみが今後設計通りに進行するものと仮定して、今までに得られた実測桁温度及び桁の見かけの線膨張係

数を用いて、後ひずみ調整時期を検討した。その結果を表 - 5 に示す。ここでは、設計上予定している竣工後 8 年に後ひずみ調整を行う場合を示した。図 - 9 はこれを図化したもので、現在までの支承位置の推移及び移動量の許容範囲を併記した。

これらの図からも見られるように、各支承位置がいずれも設計値より若干変形中心寄りであるが、ほぼ設計値通りであることが確認される。

従って、今後の支承変位の推移にもよるが、後ひずみ調整は設計通り竣工後 8 年もしくは若干早めに実施してもよいものと考えられる。

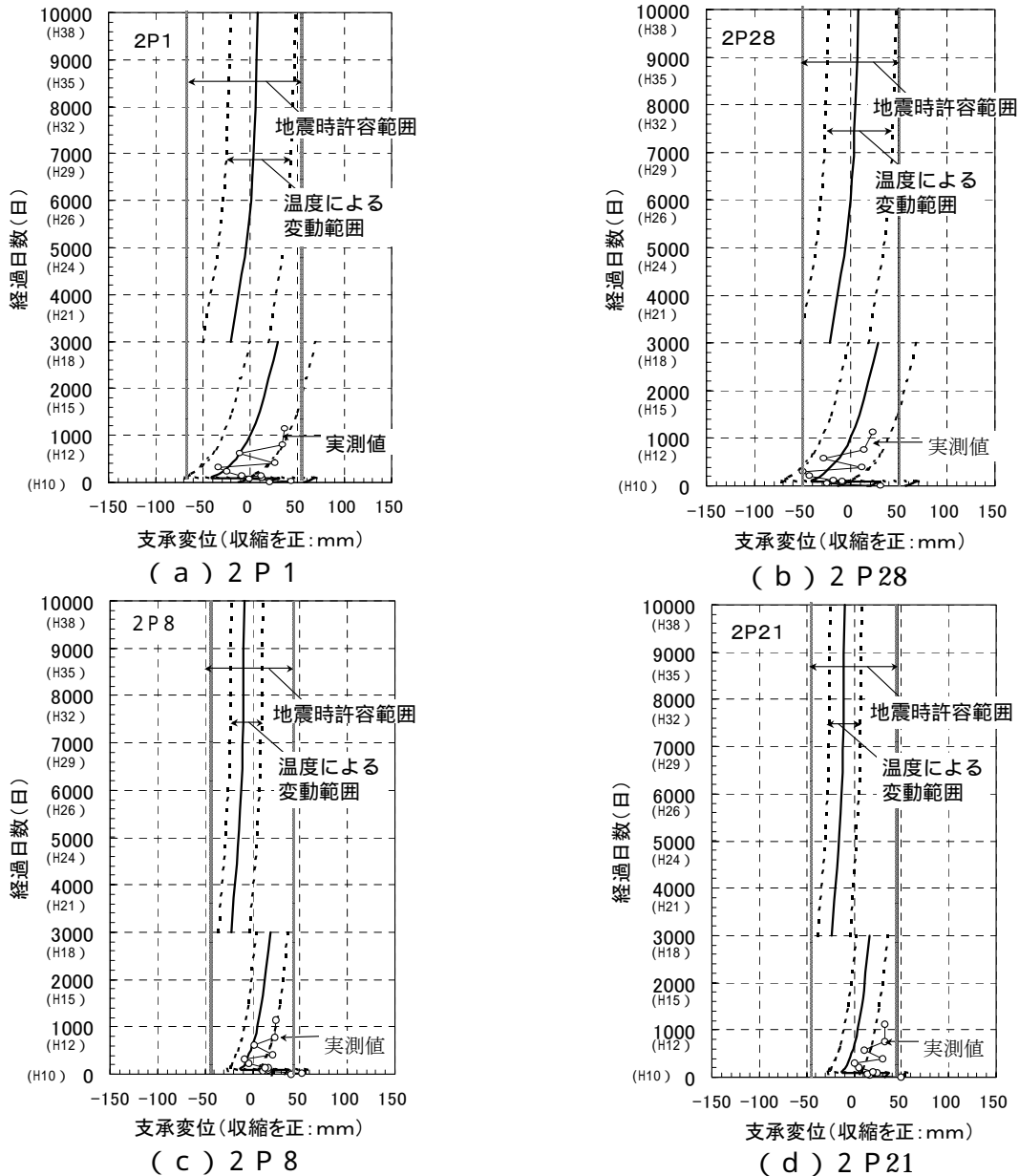


図 - 9 支承変位 (収縮を正 : mm)

4. まとめ

橋体完成後約3年間の計測結果から得られた知見は以下の通りである。

- (1) 現在までの桁のクリープ・乾燥収縮による支承変位の進行は若干早いもののほぼ設計値通りであり、支承の現在位置も許容範囲に収まっている。
- (2) 現状では後ひずみ調整時期は設計通りか若干早めに実施するのが望ましい。

なお、今後も引き続き現場計測を行い、支承変位の推移を監視して、最適な後ひずみ調整時期を把握するとともに、データの信頼性の向上を図る予定である。

参考文献

- 1) 今井博志, 坂根勝郎, 影嶋圭司: 日本最長多径間免震橋梁 大仁高架橋(上部工)の設計と施工, 橋梁, pp.68-75, 1997.9
- 2) 小野田隆夫, 増井明弘, 山下幹夫: 超多径間連続免震橋梁 大仁高架橋, 橋梁, pp.3-14, 1995.6
- 3) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, , 1994.2
- 4) (財)土木研究センター: 建設省道路橋の免震設計法マニュアル(案), 1992.12