

5章 クリープ係数をパラメータとした主桁応力の感度解析

5.1 概要

国内のPC道路橋の設計では、一般的に道路橋示方書のクリープ係数を用いて設計を行っている。このクリープ係数は、コンクリート標準示方書や諸外国の各種基準に比べても大きな値を示しており、安全側の設計がなされていると言われているが、設計時に想定したたわみや主桁の伸縮が設計時以上に生じている橋梁も報告^リされているように、材料のばらつきや環境条件の違い等もあり実橋レベルでのクリープ係数が把握されているとは言い難い状況にある。

そこで、道路橋で一般的に採用されている代表的なPC橋を例に道路橋示方書に示されたクリープ係数を変化させ、断面力、合成応力度、せん断応力、たわみ、移動量に着目した感度解析を実施し、クリープ係数の違いによる設計上の影響を確認することとする。

感度解析を実施する構造形式は、PC橋でよく用いられている以下の4ケースとする(表5.1.1)。

表 5.1.1 感度解析を実施する構造形式

No.	構造形式 (架設方法)	製作方法 (打設方法)	橋長 (m)	支間割 (m)
①	3径間連続プレテン連結T桁橋	プレキャスト	62.9	3@20.0
②	3径間連続ポステン連結T桁橋	プレキャスト	138.6	3@45.0
③	3径間連続ラーメン箱桁橋 (片持架設)	場所打ち (分割打設)	190.0	55.0+80.0+55.0
④	6径間連続中空床版橋 (固定支保工架設)	場所打ち (分割打設)	151.0	6@25.0

5.2 プレキャスト方式連続T桁橋におけるクリープの影響による感度解析

5.2.1 検討ケース

表 5.2.1 に示す条件のプレキャスト方式連続T桁橋（①プレテン／②ポステン）において、表 5.2.2 に示すようにクリープ係数を変化させ、断面力・応力度・移動量・たわみの比較を行う。

表 5.2.1 設計条件

	形式①	形式②
構造形式	3 径間連続 プレテン 連結T桁橋	3 径間連続 ポステン 連結T桁橋
橋長	62.90m	138.60m
支間長	3×20.00m	3×45.00m
有効幅員	9.50m	9.50m
主桁高	1.10m	2.60m
主桁配置	0.580+9×1.060+0.580m	1.050+4×2.150+1.050m

表 5.2.2 感度解析の検討ケース

検討ケース	クリープ係数 ϕ		備考
	形式①	形式②	
CASE1	1.5	1.3	通常の 1/2
CASE2	3.0	2.6	通常のケース
CASE3	6.0	5.2	通常の 2 倍

5.2.2 3径間連続プレテン連結T桁橋(形式①)におけるクリープの影響による感度解析

(1) 設計条件

3径間連続プレテン連結T桁橋において、クリープ係数を変化させ、たわみ・応力度・断面力・移動量の比較を行う。モデルとする橋梁の設計条件・構造図を以下に示す。クリープ係数の変化は下表の3つのCASEとする。CASE2は、通常のプレテンション方式のJIS桁に使用されているクリープ係数($\phi=3.0$)を用いる。CASE2を基本とし、CASE1はその1/2倍、CASE3は2倍で設定する。

1) クリープ係数の変化の表

	縦締め(主桁)		横締め(横桁)		備考
	設計荷重時 ϕ (%)	主桁連結時 ϕ 1(90)	連結~設計時 ϕ 2(%)	ϕ (%)	
CASE1($\phi=1.5$)	1.50	0.65	0.85	1.30	通常の1/2倍
CASE2($\phi=3.0$)	3.00	1.30	1.70	2.60	通常
CASE3($\phi=6.0$)	6.00	2.60	3.40	5.20	通常の2倍

2) 設計計算に使用した設計条件

- ・主桁のコンクリート強度 $\sigma_{ck}=50$ (N/mm²)
- ・場所打ち部・連結部のコンクリート強度 $\sigma_{ck}=30$ (N/mm²)
- ・主桁の断面 JIS A 5373-2004 BS20 (改良)
- ・主ケーブル P C鋼より線 SWPR7BL 1S15.2 18本/1桁当り
- ・設計荷重: B活荷重

3) 設計計算に使用した構造図

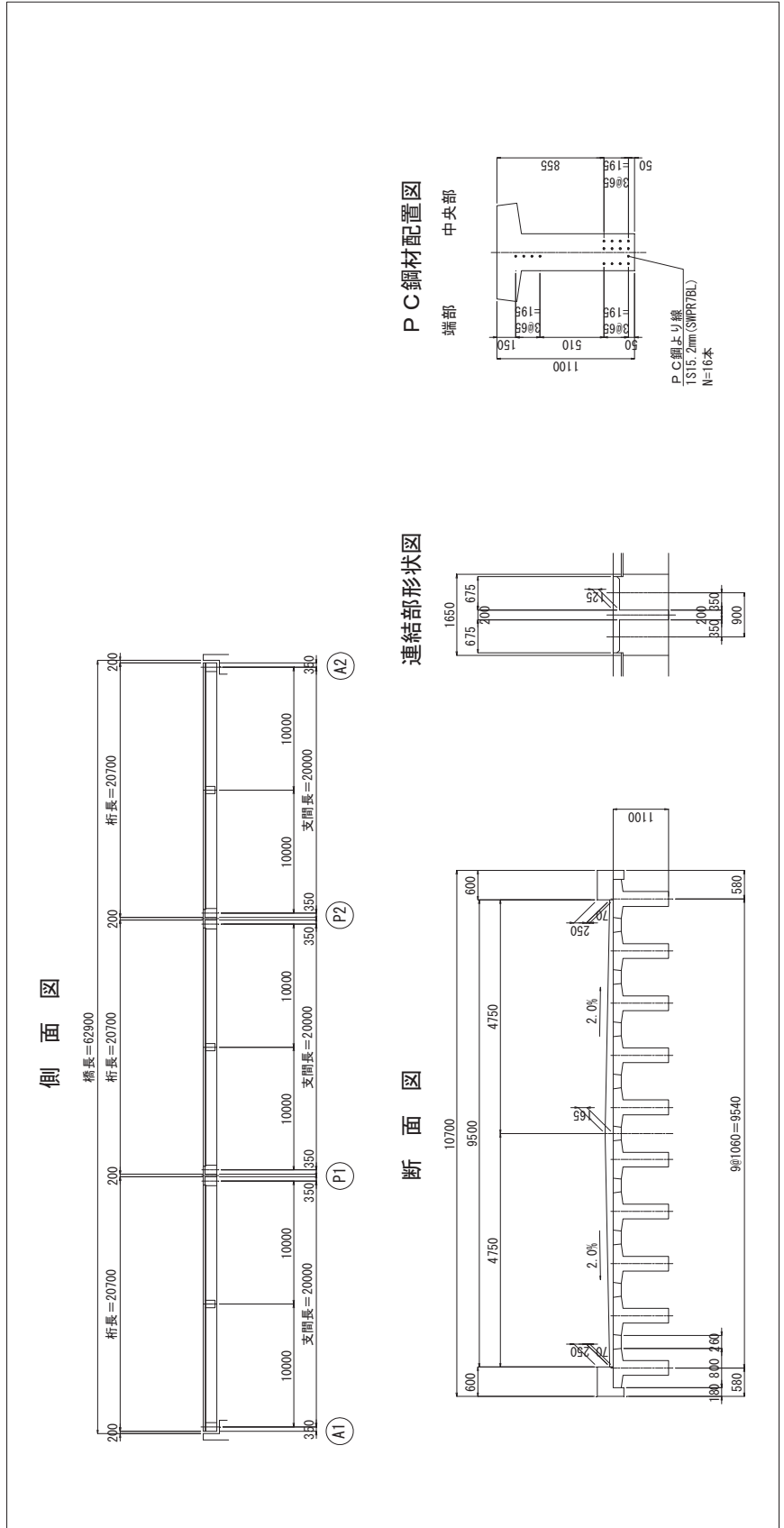


図5.2.1 プレテンション方式3径間連続T桁橋 構造図

(2) 計算結果

1) 断面力 (曲げモーメント)

- ・クリープによる不静定力: 曲げモーメント

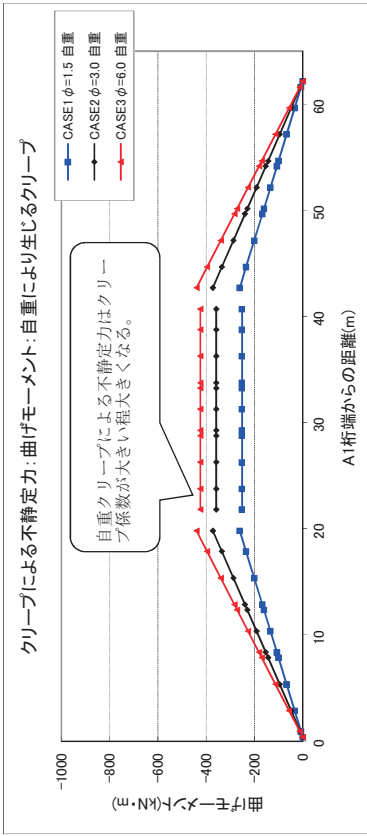


図5.2.2 自重により生じるクリープ曲げモーメント

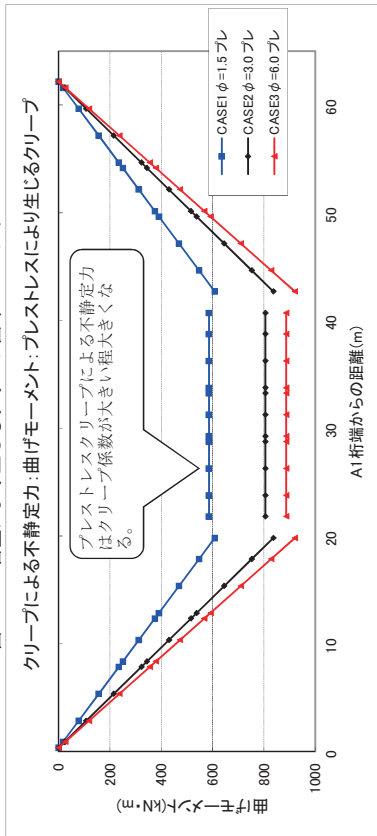


図5.2.3 プレストレスにより生じるクリープ曲げモーメント

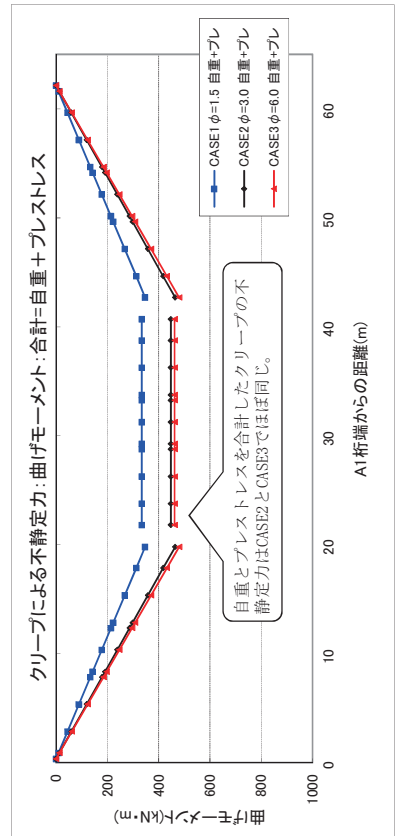


図5.2.4 自重+プレストレスにより生じるクリープ曲げモーメント

- ・設計荷重時の断面力: 曲げモーメント

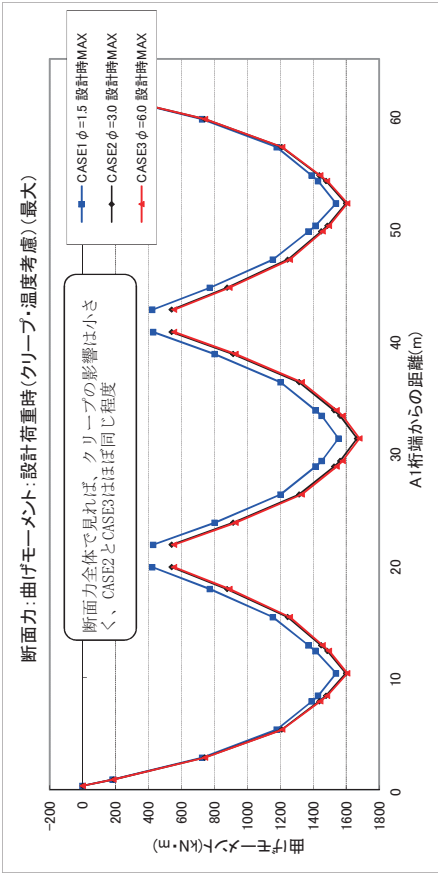


図5.2.5 設計荷重時最大曲げモーメント (クリープ・温度考慮) (最大)

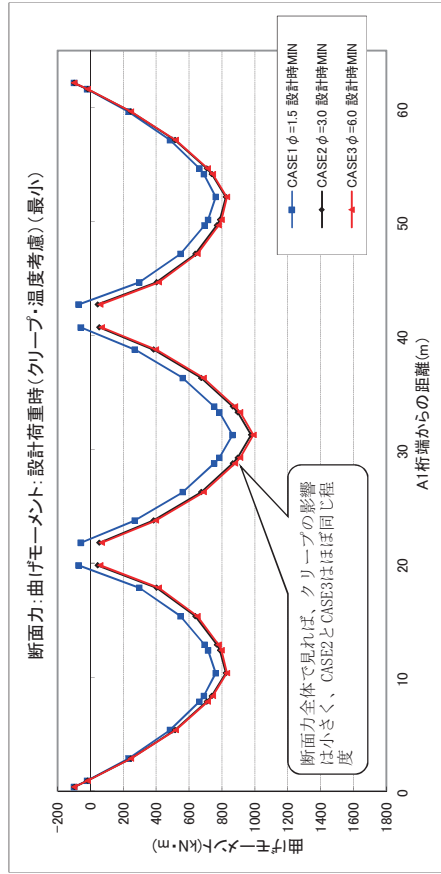


図5.2.6 設計荷重時最小曲げモーメント (クリープ・温度考慮)

- 2) 曲げ応力度
- ・クリープの不静定力による応力度

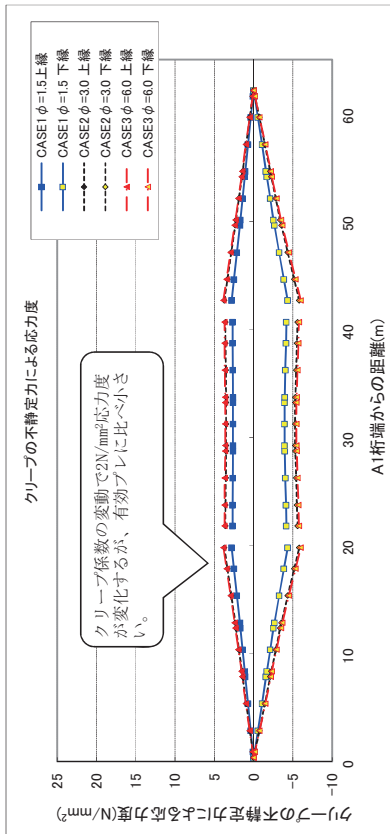


図5.2.7 クリープ不静定力による曲げ応力度

- ・有効プレストレスによる曲げ応力度

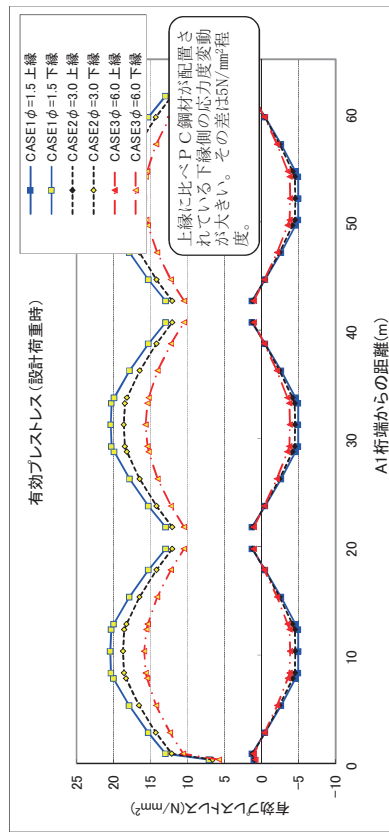


図5.2.8 有効プレストレスによる曲げ応力度

- ・合成応力度
- 死荷重時

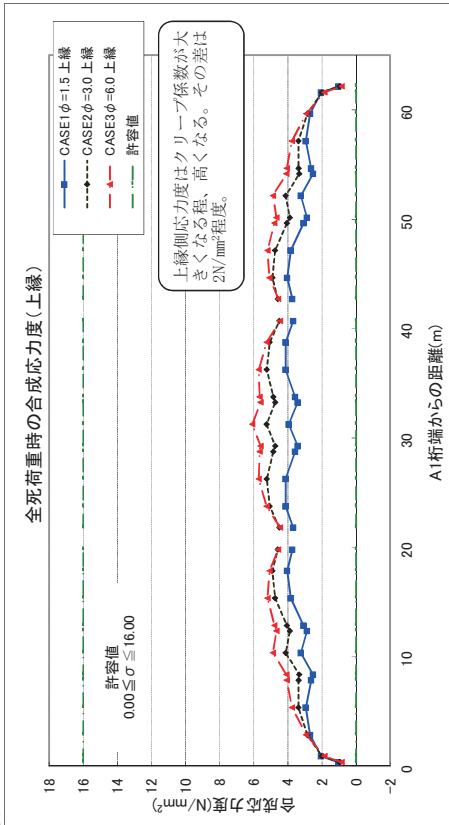


図5.2.9 全死荷重時の合成応力度 (上縁)

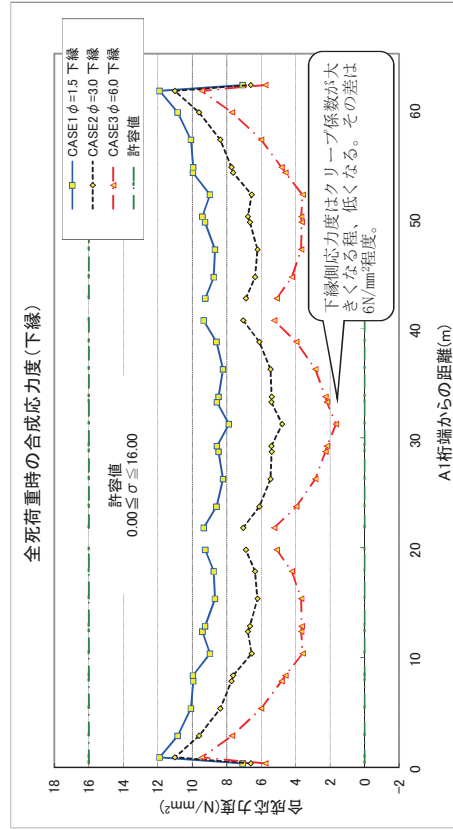


図5.2.10 全死荷重時の合成応力度 (下縁)

- 合成応力度
- 設計荷重時Mmax

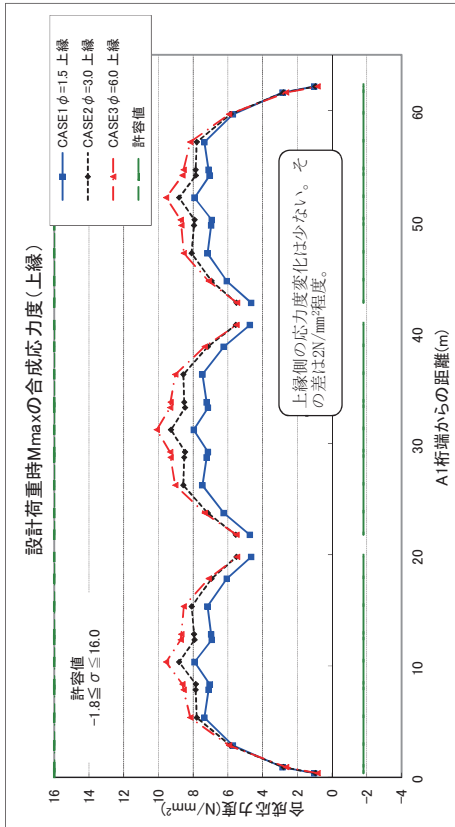


図5.2.11 設計荷重時Mmaxの合成応力度(上縁)

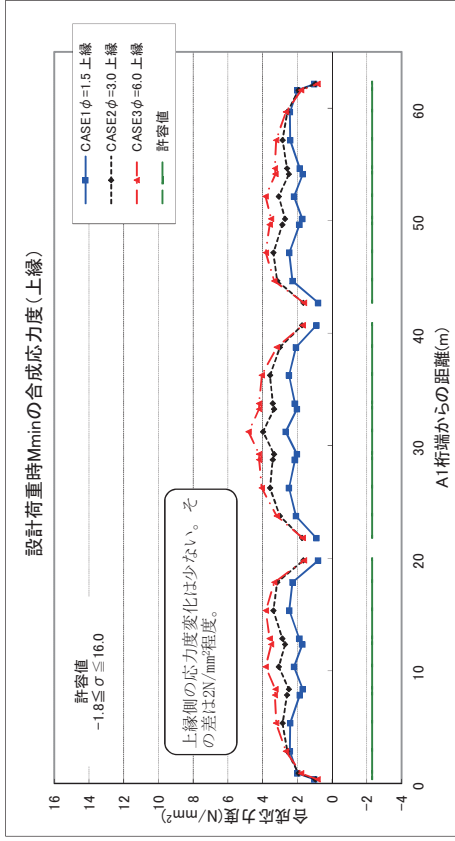


図5.2.13 設計荷重時Mminの合成応力度(上縁)

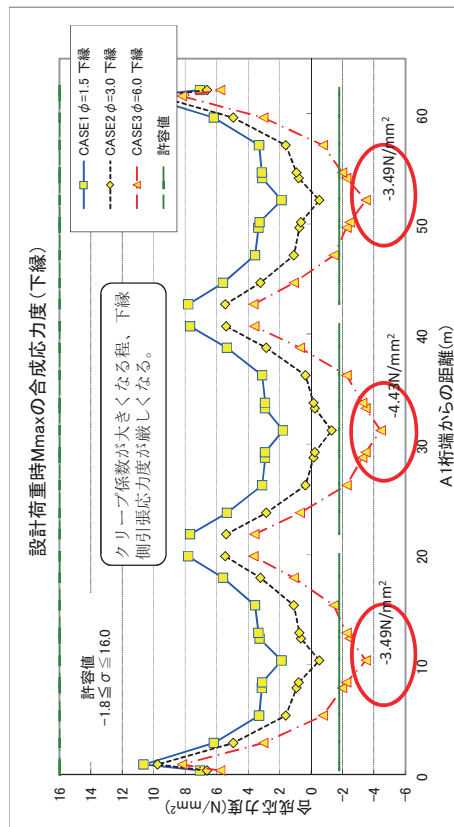


図5.2.12 設計荷重時Mmaxの合成応力度(下縁)

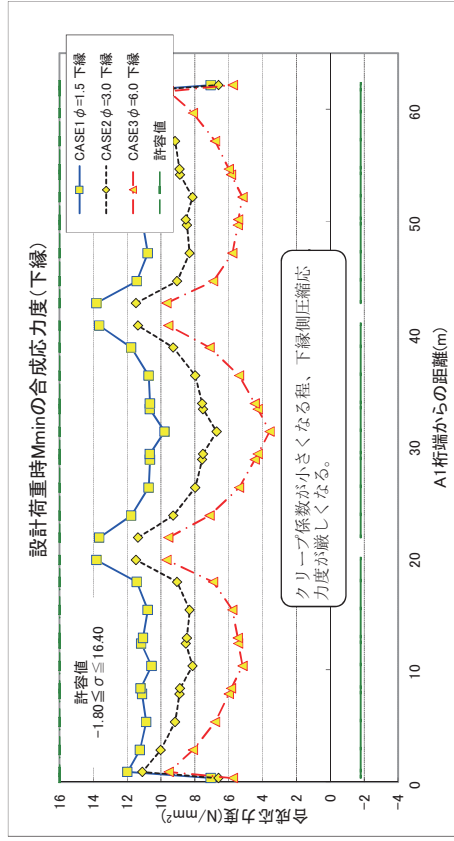


図5.2.14 設計荷重時Mminの合成応力度(下縁)

3) 断面力 (せん断力)

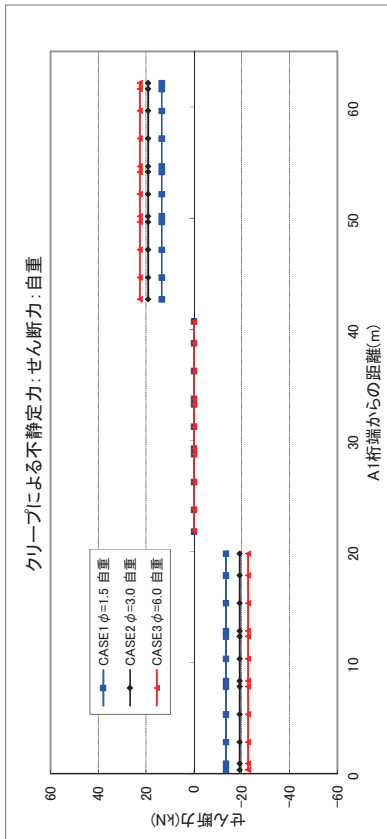


図5.2.15 自重により生じるクリープせん断力

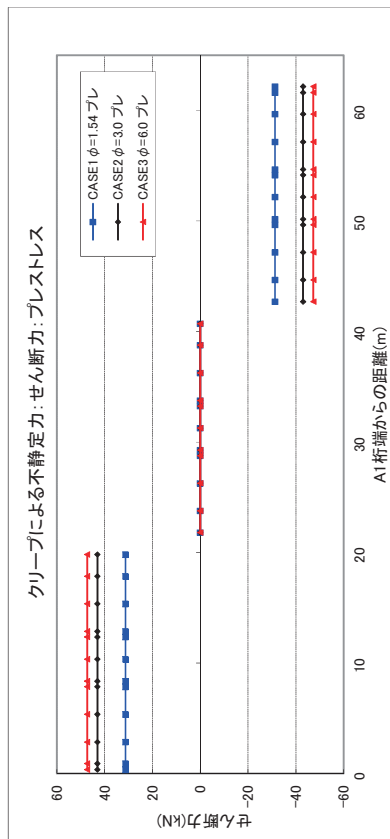


図5.2.16 プレストレスにより生じるクリープせん断力

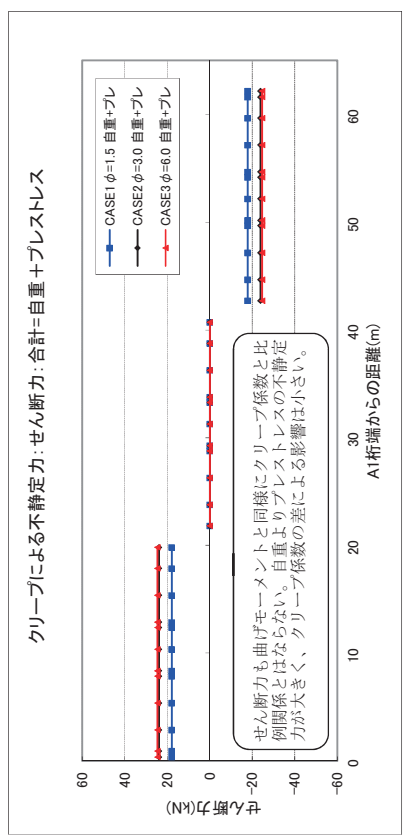


図5.2.17 自重+プレストレスにより生じるクリープせん断力

4) 斜引張応力度

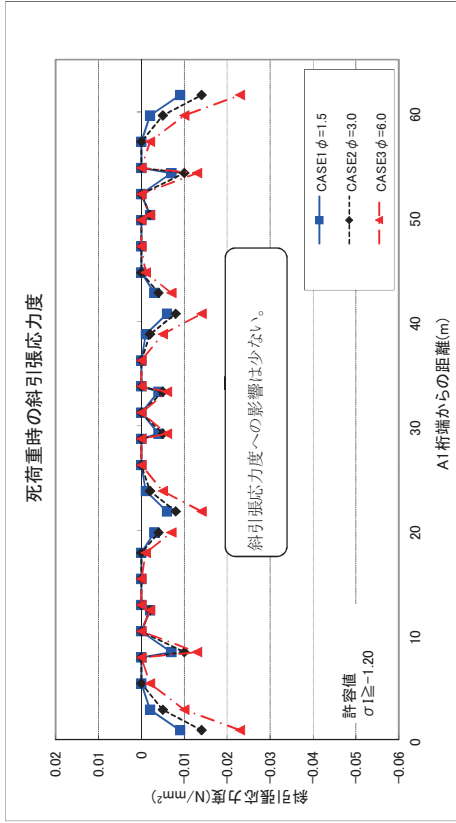


図5.2.18 死荷重時の斜引張応力度

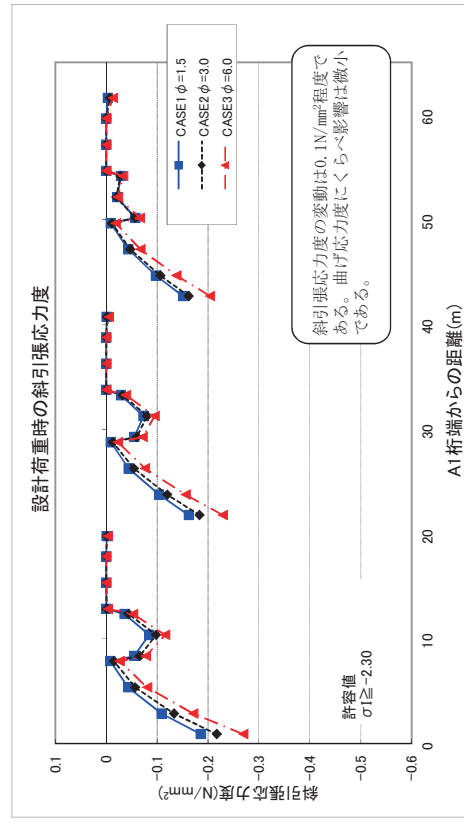
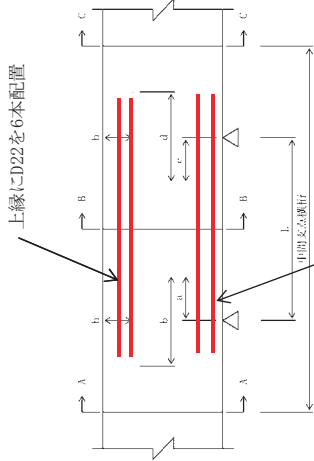


図5.2.19 設計荷重時の斜引張応力度

5) 連結部の鉄筋応力度・曲げ破壊安全度

表5.2.4 連結部の鉄筋応力度・曲げ破壊安全度

主桁番号		CASE1 ($\phi=1.5$)				CASE2 ($\phi=3.0$)				CASE3 ($\phi=6.0$)			
		負の曲げ		正の曲げ		負の曲げ		正の曲げ		負の曲げ		正の曲げ	
鉄筋配置	単位	A-A	B-B	C-C	A-A	B-B	C-C	A-A	B-B	A-A	B-B	C-C	B-B
		1段目鉄筋	mm	D22	D22	D22	D22	D22	D22	D22	D22	D22	D22
2段目鉄筋	本	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
配置	本												
曲げモーメント													
設計荷重時	kN·m	0	0	0	223.132	0	0	0	339.654	0	0	0	355.072
設計荷重時(温度差非考慮)	kN·m	-173.671	-220.036	-149.825	307.125	-48.429	-96.617	-30.621	423.646	-29.825	-78.285	-12.918	439.064
設計荷重時(温度差考慮)	kN·m	-173.671	-220.036	-149.825	321.327	-48.429	-96.617	-30.621	437.848	-29.825	-78.285	-12.918	453.266
曲げ応力度(死荷重時) $\sigma_s \leq 100.00$	N/mm ²	0	0	0	63.593	0	0	0	96.801	0	0	0	101.195
曲げ応力度(温度差非考慮) $\sigma_s \leq 10.00$, $\sigma_s \leq 160.00$	N/mm ²	3.27	2.567	2.821	2.277	0.912	1.127	0.577	3.141	0.562	0.913	0.243	3.256
コンクリート応力度 σ_c	N/mm ²	82.136	100.369	70.858	87.53	22.904	44.071	14.482	120.739	14.105	35.71	6.11	125.133
曲げ応力度(温度差考慮) $\sigma_s \leq 11.50$, $\sigma_s \leq 184.00$	N/mm ²	3.27	2.567	2.821	2.383	0.912	1.127	0.577	3.247	0.562	0.913	0.243	3.361
コンクリート応力度 σ_c	N/mm ²	82.136	100.369	70.858	91.578	22.904	44.071	14.482	124.786	14.105	35.71	6.11	129.181
鉄筋応力度 σ_s	N/mm ²	1	0.943	1.109	3.007	1.189	1.101	1.332	2.370	1.223	1.129	1.373	2.305
曲げ破壊安全度 $F \geq 1.0$	-												



上縁にD22を6本配置
最下縁にD22を4本配置
2断面にD22を4本配置

図5.2.20 連結部の検討断面および鉄筋配置

6) 支承の移動量

「道路縮小方書Ⅲ」に従って、CASE1~CASE3の移動量の算出を行った結果を下表に示す。

表5.2.5 支承の移動量 (単位: mm)

項目	CASE1 ($\phi=1.5$)		CASE2 ($\phi=3.0$)		CASE3 ($\phi=6.0$)	
	8.0	3.6	8.0	3.6	8.0	3.6
温度変化 ΔL_T	8.0	3.6	8.0	3.6	8.0	3.6
コンクリートの乾燥収縮 ΔL_s	1.05	2.10	2.10	4.20	4.20	8.40
コンクリートのクリープ ΔL_c	5.0	9.9	9.9	19.8	19.8	39.6
コンクリートのプレストレスによる弾性変形 ΔL_p	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
けたの活荷重によって生じるたわみの影響 ΔL_r	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
移動量の合計 $\Sigma \Delta L$	23.7	28.6	28.6	38.5	38.5	48.4

移動量計算条件

- 温度変化 $\Delta T = 40$ (°C) : 普通の方とする。
- 乾燥収縮係数 $\alpha = 10 \times 10^{-6}$
- 伸縮けた長 $L = 20000$ (mm)
- 乾燥収縮係数 $\epsilon_{cs} = 180 \times 10^{-6}$: プレストレスを導入するときのコンクリート材は28日とする。
- プレストレッシング直後のPC鋼材に作用する引張力 $P_t = 2889914$ (N)
- コンクリートの断面積 $A_c = 415550$ (mm²)
- コンクリートのヤング係数 $E_c = 2.95 \times 10^4$ (N/mm²)
- クリープ係数 ϕ' : 数値は上表に示す。プレストレスを導入するときのコンクリート材は28日とする。
- けたの中立軸から、支承の回転中心までの距離 $h_i = 733.3$ (mm) : けたの高の2/3とする。
- 支承上のけたの回転角 $\theta = 1/300$ (ラジアン)

クリープ係数の変化により断面力が変化するため、連結部の鉄筋応力度や曲げ破壊安全度が変化する。本モデルにおいては、CASE-2で鉄筋量を決定したため、他のケースでは鉄筋応力度や曲げ破壊安全度は満足していない。

クリープ係数が大きくなるほど、移動量は大きくなる。

7) たわみ：2径間目の支間中央部 (単位：mm) *鉛直下方向を正とする。
表5.2.6 支間中央部のたわみ量

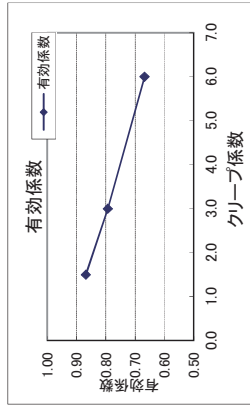
	プレ 導入時		プレ 設計時		主桁 自重		場所打ち コン		橋面 荷重		活荷重		クリープ		構造系 変化の クリープ		プレ 導入直後		全死 荷重時		設計 荷重時	
	δ_{pt}	δ_{pe}	δ_{d0}	δ_{d1}	δ_{d2}	δ_{dL}	δ_{d1}	δ_{d2}	δ_{dL}	δ_{pt}	δ_{pe}	δ_{d1}	δ_{d2}	δ_{dL}	δ_{pt}	δ_{pe}	δ_{d1}	δ_{d2}	δ_{dL}	δ_{2}	δ_{3}	
CASE1($\phi=1.5$)	-38.40	-33.40	14.20	2.50	0.70	6.30	-17.40	9.50	-24.20	-23.90	-17.60											
CASE2($\phi=3.0$)	-38.40	-30.50	14.20	2.50	0.70	6.30	-34.20	12.70	-24.20	-34.70	-28.30											
CASE3($\phi=6.0$)	-38.40	-25.70	14.20	2.50	0.70	6.30	-67.30	13.00	-24.20	-62.60	-56.30											

注： $\delta_{1} = \delta_{pt} + \delta_{d0}$
 $\delta_{2} = \delta_{pe} + \delta_{d0} + \delta_{d1} + \delta_{d2} + \delta_{pt} + \delta_{pe}$
 $\delta_{3} = \delta_{2} + \delta_{L} + \delta_{s}$

8) プレストレスの有効率

表5.2.7 プレストレスの有効率

クリープ係数	1.5	3.0	6.0
導入直後のプレストレス	1157.54	1157.54	1157.54
クリープ・乾収縮ロス	135.20	222.02	367.89
レラクセーションロス	17.36	17.36	17.36
有効プレストレス	1004.98	918.16	772.79
有効係数	0.8682	0.7932	0.6676



(3) まとめ

- 断面力について
 - 構造系変化のクリープによる断面力はクリープ係数と比例関係とはならない。「主桁自重」の構造系変化のクリープによる不静定力は図5.2.1のように橋梁の中央部を下から押し上げる形となる。
 - 一方「プレストレス」のクリープによる不静定力は「主桁自重」とは逆に上から押し下げる形となる。一般的にプレキャストPC桁では「プレストレス」の断面力は「主桁自重」の断面力より大きい。そのため、合計では「プレストレス」が勝ち、クリープによる断面力は橋梁全体を上から押し下げる形となる。クリープ係数を大きくした場合、この押し下げる力が大きくなるが「プレストレス」自体がクリープロスの増加により小さくなるため、正・負のどちらにも変動する可能性がある。
- 曲げ応力度について
 - クリープ係数を増やせると断面力や有効プレストレスが変化するため、応力度の許容値を満たさなくなる場合が生じる。特に曲げ応力度の変動は感度が大きく、斜引張応力度の感度は小さい傾向にある。
 - 本モデルでは、クリープ係数を変動させることで、支間中央の桁下縁の合成応力度や連結部の曲げ破壊安全度(負曲げ)の許容値を満たさなくなった。一般的にクリープ係数が大きくなる場合は有効プレストレスが下がるため、引張縁での許容値は厳しくなる。
- 移動量について
 - クリープ係数の増加ともない、移動量は増加する。
- たわみについて
 - クリープ係数が大きくなるほど桁のたわみは大きくなる。
 - 構造系変化のクリープによるたわみはクリープ係数と比例関係とはならない。
- 有効係数について
 - クリープ係数が2倍になると79%から67%に10%以上低下する。
 - また1/2倍になると79%から87%に上昇する。

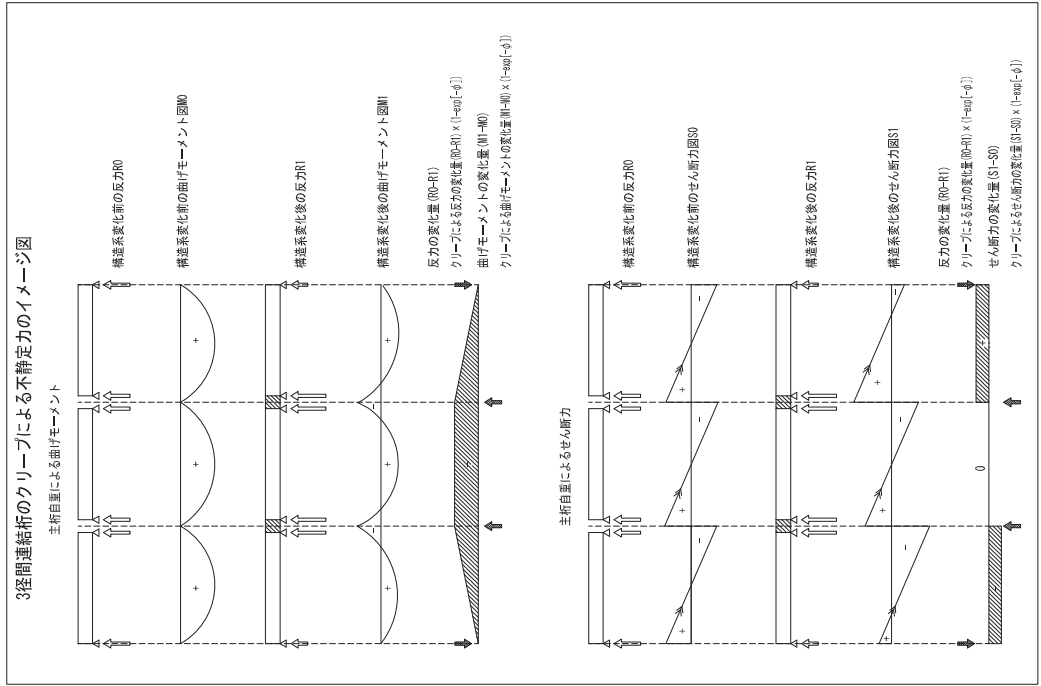


図 5.2.21 不静定力のイメージ図

5.2.3 3径間連続ポステン連結T桁橋（形式②）におけるクリープの影響による感度解析

(1) 設計条件

3径間連続ポステン連結T桁橋において、クリープ係数を変化させ、たわみ・応力度・断面力・移動量の比較を行う。モデルとする橋梁の設計条件・構造図を以下に示す。クリープ係数の変化は下表の3つのCASEとする。CASE2は、通常の設計に使用される道路橋示方書IIIに示されている早強ポルトランドセメントを使用した場合のクリープ係数を用いる。CASE2を基本とし、CASE1はその1/2倍、CASE3は2倍で設定する。

1) クリープ係数の変化の表

表5.2.8 クリープ係数の変化

	設計荷重時		縦締め(主桁)		横締め(横桁)		備考
	$\phi(\infty)$	$\phi(1.90)$	主桁連結時 $\phi(1.90)$	連結～設計時 $\phi(2(\infty))$	$\phi(\infty)$	$\phi(\infty)$	
CASE1($\phi=1.3$)	1.30	0.45	0.45	0.85	1.30	通常の1/2倍	
CASE2($\phi=2.6$)	2.60	0.90	0.90	1.70	2.60	通常	
CASE3($\phi=5.2$)	5.20	1.80	1.80	3.40	5.20	通常の2倍	

2) 設計計算に使用した設計条件

- ・主桁のコンクリート強度 $\sigma_{ck}=40$ (N/mm²)
- ・場所打ち部・連結部のコンクリート強度 $\sigma_{ck}=30$ (N/mm²)
- ・主ケーブル P C鋼より線 SWPR7BL 12S15.2×5本/1桁当り
- ・設計荷重：B活荷重

3) 設計計算に使用した構造図

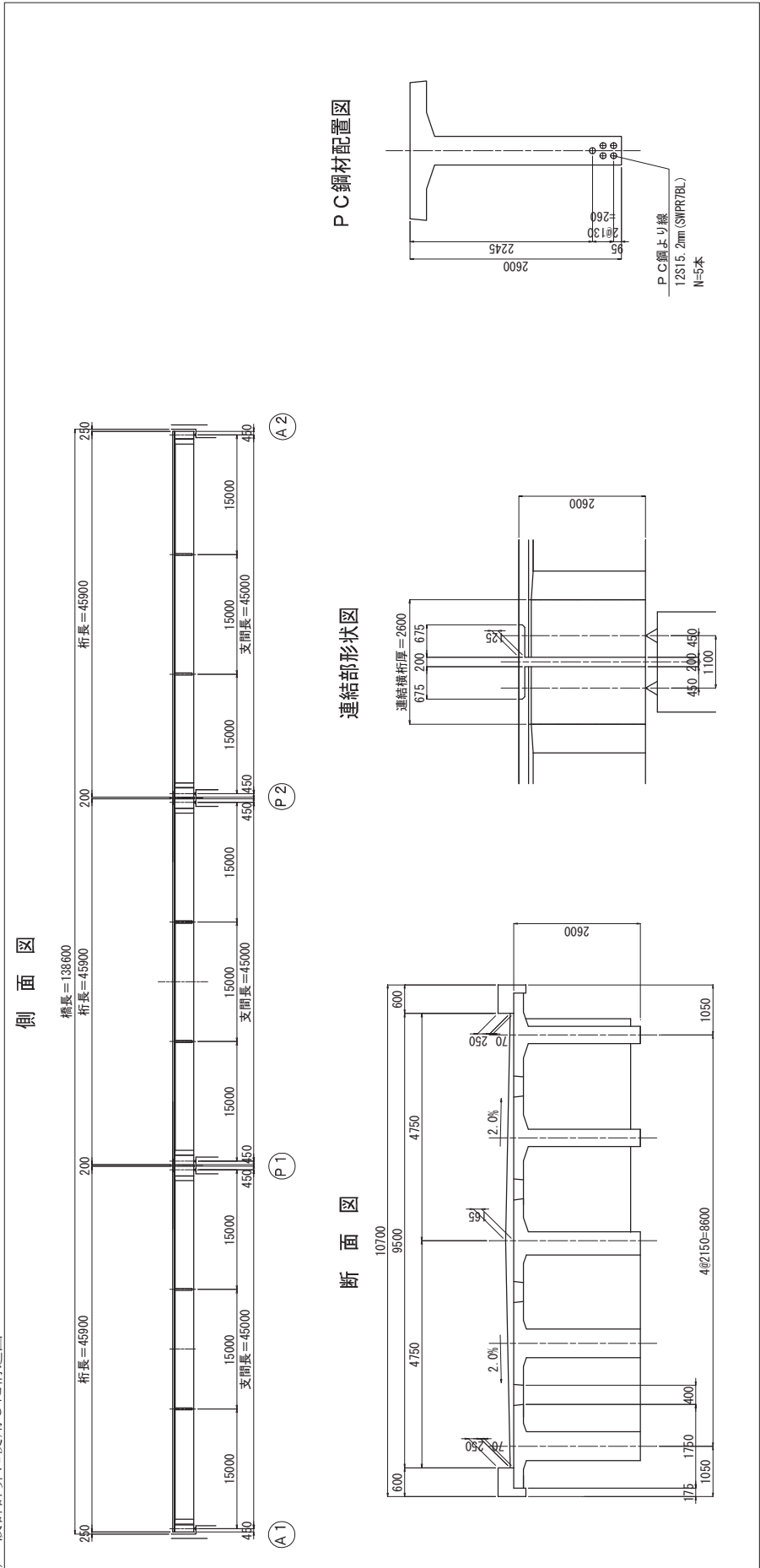


図5.2.22 ポステンション方式3径間連結T桁橋 構造図

(2) 計算結果

1) 断面力 (曲げモーメント)

- ・ クリープによる不静定力: 曲げモーメント

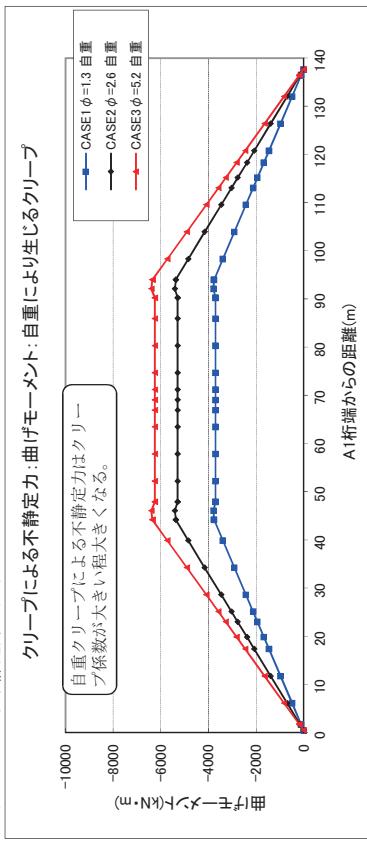


図5.2.23 自重により生じるクリープ曲げモーメント

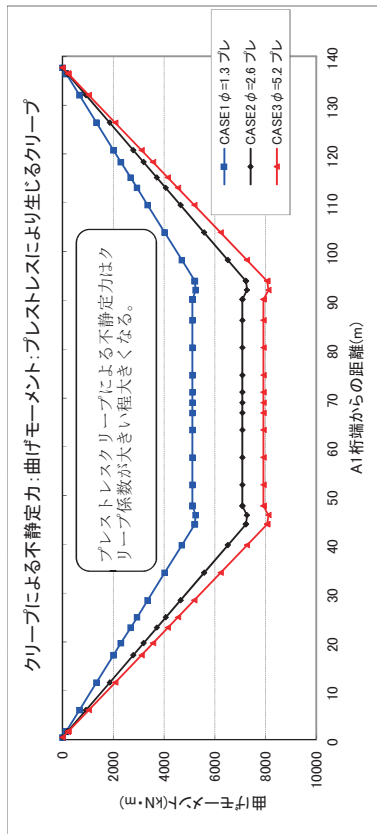


図5.2.24 プレストレスにより生じるクリープ曲げモーメント

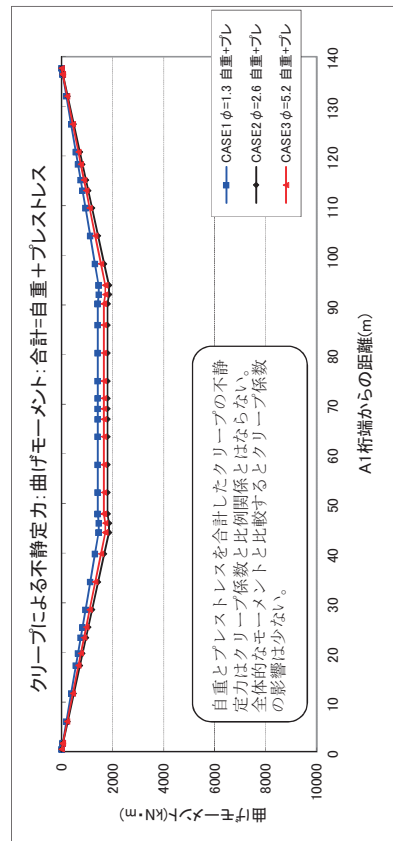


図5.2.25 自重+プレストレスにより生じるクリープ曲げモーメント

- ・ 設計荷重時の断面力: 曲げモーメント

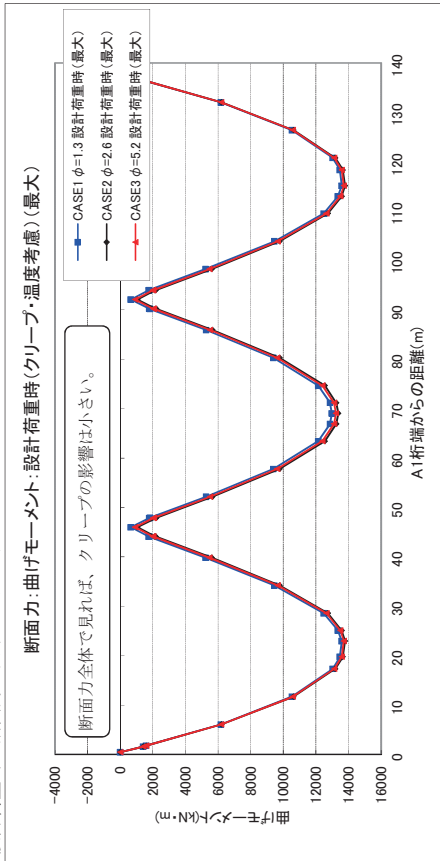


図5.2.26 設計荷重時最大曲げモーメント (クリープ・温度考慮)

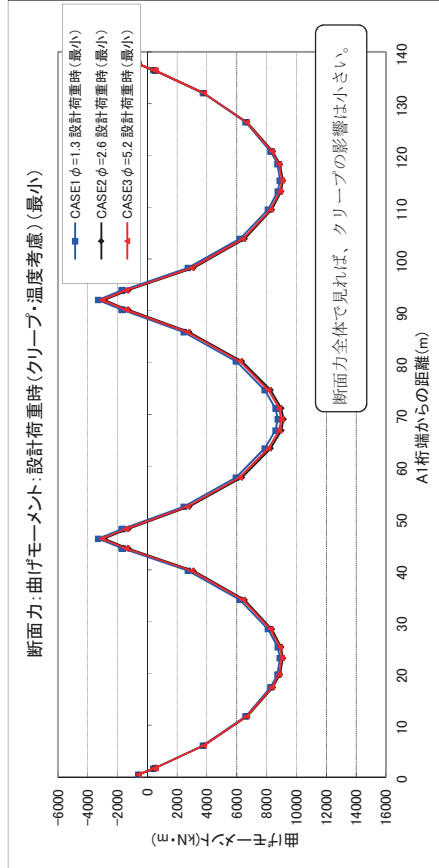


図5.2.27 設計荷重時最小曲げモーメント (クリープ・温度考慮)

2) 曲げ応力度

- ・クリーブの不静定力による応力度

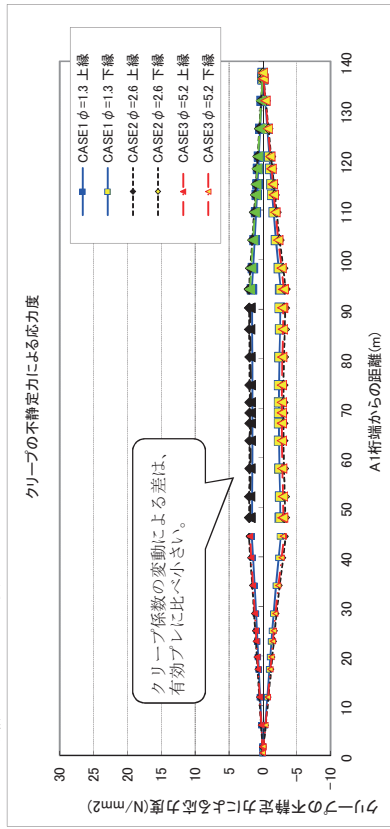


図5.2.28 クリーブ不静定力による曲げ応力度

- ・有効プレストレスによる曲げ応力度

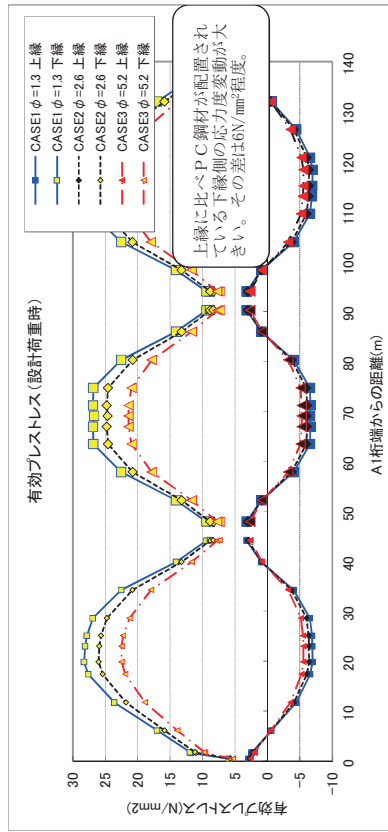


図5.2.29 有効プレストレスによる曲げ応力度

- ・合成応力度

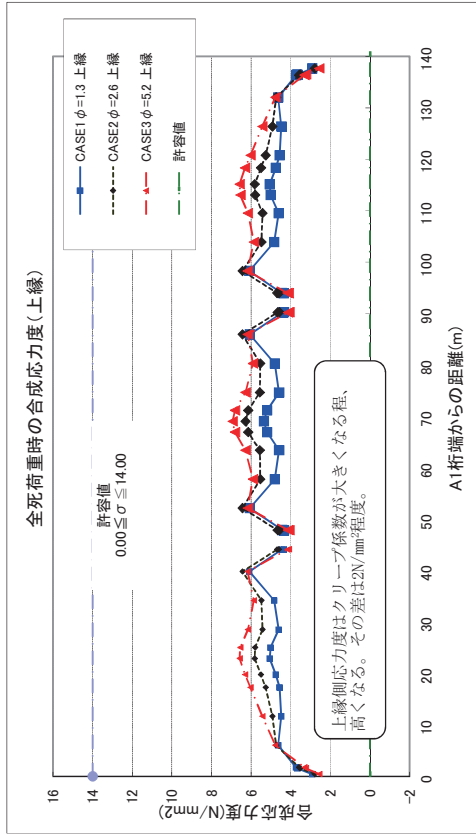


図5.2.30 全死荷重時の合成応力度 (上縁)

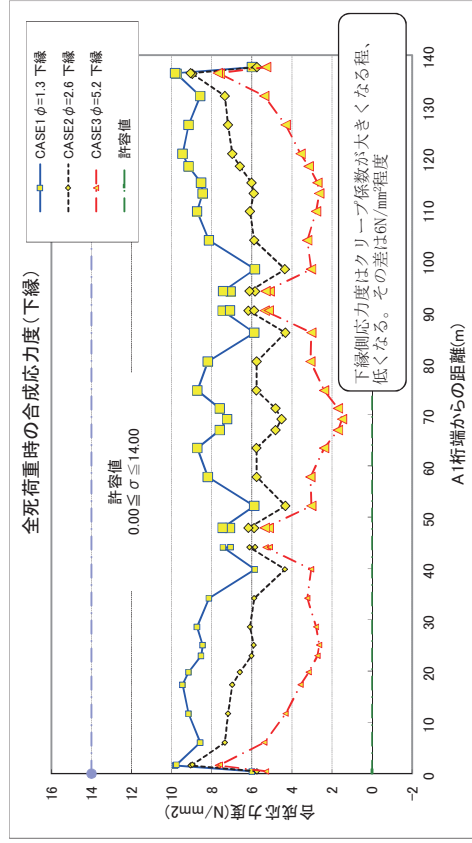


図5.2.31 全死荷重時の合成応力度 (下縁)

・合成応力度
設計荷重時Mmax

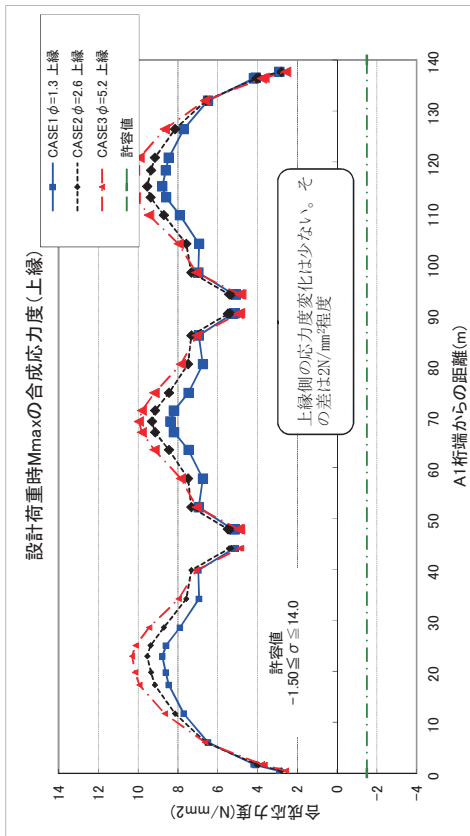


図5.2.32 設計荷重時Mmaxの合成応力度 (上縁)

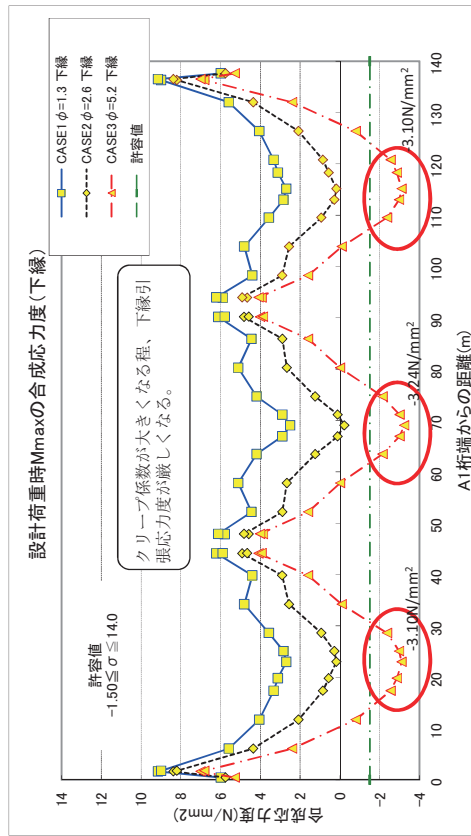


図5.2.33 設計荷重時Mmaxの合成応力度 (下縁)

設計荷重時Mmin

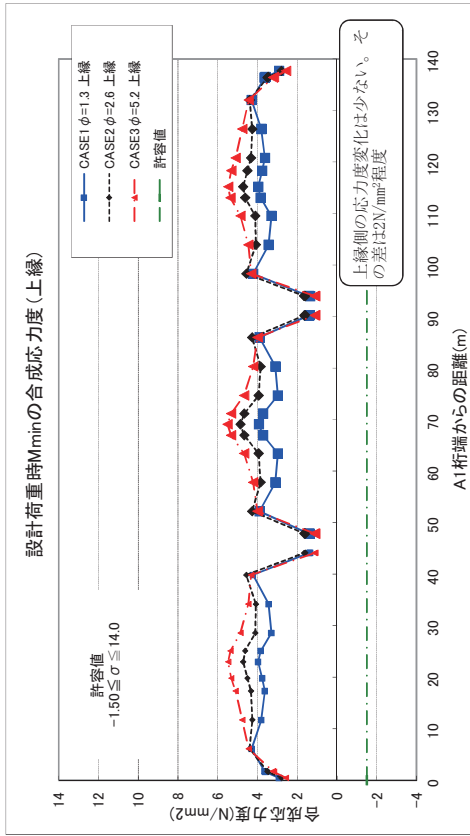


図5.2.34 設計荷重時Mminの合成応力度 (上縁)

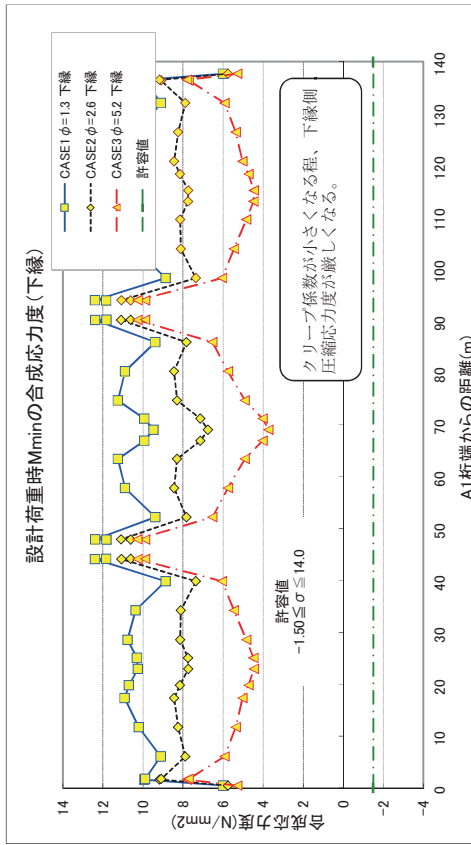


図5.2.35 設計荷重時Mminの合成応力度 (下縁)

3) 断面力 (せん断力)

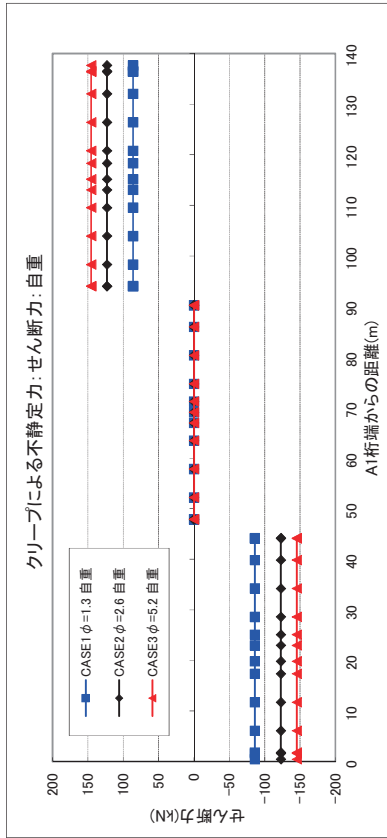


図5.2.36 自重により生じるクリープせん断力

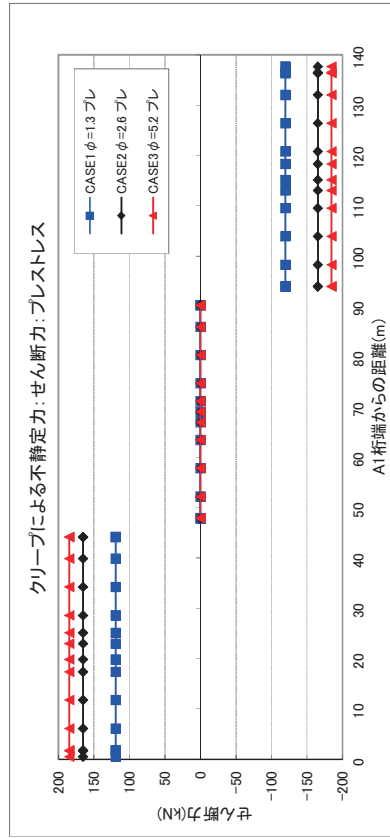


図5.2.37 プレストレスにより生じるクリープせん断力

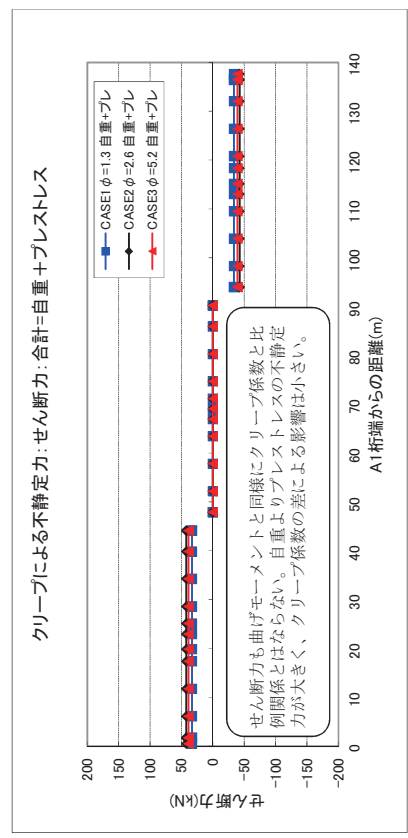


図5.2.38 自重+プレストレスにより生じるクリープせん断力

4) 斜引張応力度

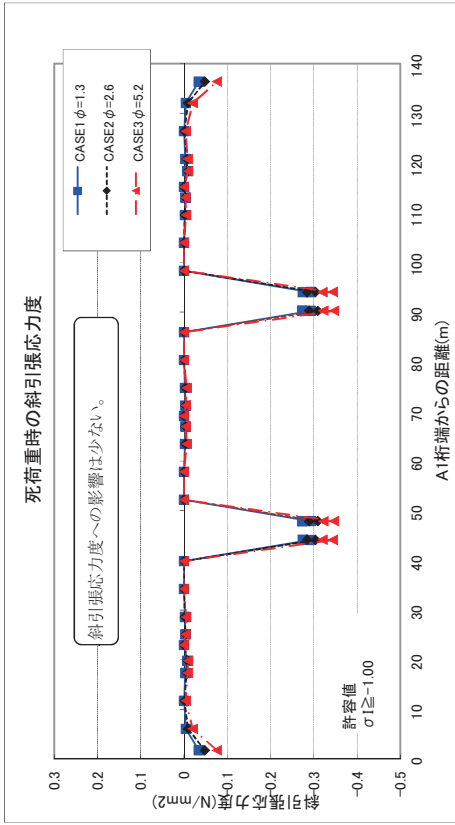


図5.2.39 死荷重時の斜引張応力度

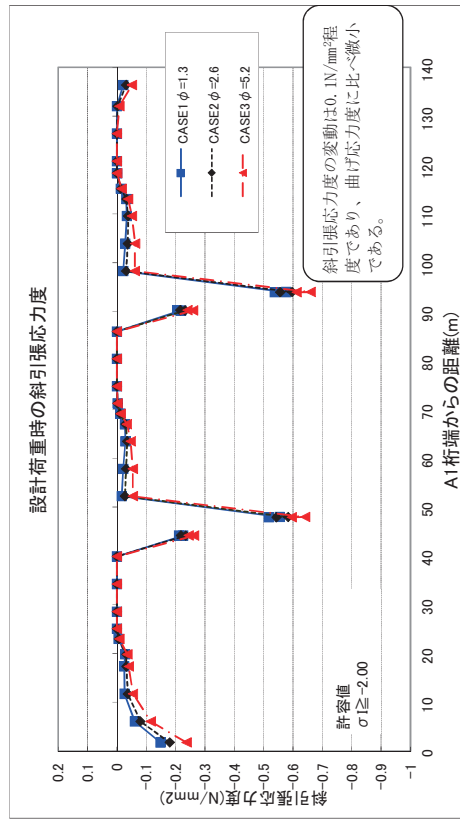


図5.2.40 設計荷重時の斜引張応力度

5) 連結部の鉄筋応力度・曲げ破壊安全度

表5.2.9 連結部の鉄筋応力度・曲げ破壊安全度

項目	CASE1($\phi=1.3$)			CASE2($\phi=2.6$)			CASE3($\phi=5.2$)		
	G5			G5			G5		
	負の曲げ	正の曲げ	単位	負の曲げ	正の曲げ	単位	負の曲げ	正の曲げ	単位
鉄筋配筋	A-A	B-B	C-C	A-A	B-B	C-C	A-A	B-B	C-C
1段目鉄筋	D22	D22	D22	D22	D22	D22	D22	D22	D22
本数	14	14	14	14	8	14	14	14	14
径	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2段目鉄筋	D22	D22	D22	D22	D22	D22	D22	D22	D22
本数	11	11	11	11	11	11	11	11	11
径	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
上げモジュール									
死荷重時	-6.734	-185.530	-21.218	0.000	0.000	0.000	0.000	214.910	0.000
設計荷重時(温度差非考慮)	-2939.473	-3297.443	-2868.671	626.592	-2534.009	-2897.003	-2480.128	1027.033	-2680.083
設計荷重時(温度差考慮)	-2939.473	-3297.443	-2868.671	651.083	-2534.009	-2897.003	-2480.128	1051.523	-2680.083
曲げ応力度(死荷重時) $\sigma_s \leq 100.00$				0.000	0.000	0.000	0.000	19.943	0.000
鉄筋応力度 σ_s	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
曲げ応力度(温度差非考慮) $\sigma_s \leq 10.00$, $\sigma_s \leq 160.00$				4.886	0.781	4.316	4.224	1.280	4.565
コンクリート応力度 σ_c	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
鉄筋応力度 σ_s	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
コンクリート応力度 σ_c	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
鉄筋応力度 σ_s	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
曲げ破壊安全度 $F \geq 1.0$				1.028	0.966	1.057	2.118	1.085	1.014
移動量の合計 $\Sigma\Delta L$				53.7	64.5	64.5	18.0	8.1	18.0

6) 支承の移動量

「道橋指示方書Ⅲの4.1.3支承移動量」に従って、CASE1~CASE3の移動量の算出を行った結果を下表に示す。

表5.2.10 支承の移動量 (単位: mm)

	CASE1($\phi=1.3$)	CASE2($\phi=2.6$)	CASE3($\phi=5.2$)
温度変化 ΔL_t	18.0	18.0	18.0
コンクリートの乾燥収縮 ΔL_d	8.1	8.1	8.1
コンクリートのクリープ係数 ϕ'	1.0	2.0	4.0
コンクリートのプレストレスによる弾性変形 ΔL_p	10.9	21.8	43.5
けたの活荷重によって生じるたわみの影響 ΔL_r	5.8	10.9	10.9
移動量の合計 $\Sigma\Delta L$	53.7	64.5	86.3

移動量の計算式

$$\Delta L_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$$

$$\Delta L_d = \epsilon_{cs} \cdot L$$

$$\Delta L_c = P_j / (E_c \cdot A_c) \cdot \phi' \cdot L$$

$$\Delta L_p = P_j / (E_c \cdot A_c) \cdot L$$

$$\Delta L_r = \Sigma (h_i \times \theta_i)$$

移動量計算条件

- 温度変化 ΔT : 40 (°C) ; 普通の地方とする。
- 線膨張係数 α : 10×10^{-6}
- 伸縮けた長 L : 45000 (mm)
- 乾燥収縮度 ϵ_{cs} : 180×10^{-6} ; プレストレスを導入するときのコンクリート材合は28日とする。
- プレストレス ϵ_{ps} 直後のPC鋼材に作用する引張力
 - $P_i = 8766560$ (N)
- コンクリートの断面積
 - $A_c = 1242000$ (mm²)
- コンクリートのヤング係数
 - $E_c = 2.92 \times 10^4$ (N/mm²)
- クリープ係数 ϕ' ; 数値は上表に示す。プレストレスを導入するときのコンクリート材合は28日とする。
- けたの中立軸から、支承の回転中心までの距離
 - $h_i = 1733.3$ (mm) ; けた高の2/3とする。
- 支承上のけたの回転角
 - $\theta = 1/300$ (ラジアン)

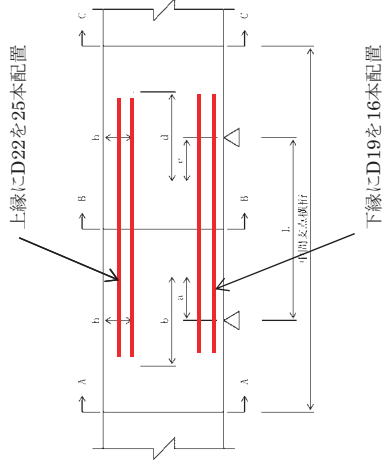


図5.2.41 連結部の検討断面および鉄筋配置

クリープ係数の変化により断面力が変化するため、連結部の鉄筋応力度や曲げ破壊安全度が変化する。本モデルにおいては、CASE2で鉄筋量を決定したため、他のケースでは鉄筋応力度の許容値を超えるまでの変動は生じなかったが、曲げ破壊安全度は許容値を超えている。

クリープ係数が大きくなるほど、移動量は大きくなる。

7) たわみ：2径間目の支間中央部 (単位：mm) *鉛直下方向を正とする。

表5.2.11 支間中央部のたわみ量

	プレ 導入時	プレ 設計時	主桁 自重	場所打ち コン	橋面 荷重	活荷重	クリープ	構造系 変化の クリープ	プレ 導入直後	全死 荷重時	設計 荷重時
	δ_{pt}	δ_{pe}	δ_{d0}	δ_{d1}	δ_{d2}	δL	δ_{pt}	δ_{qcd}	$\delta 1$	$\delta 2$	$\delta 3$
CASE1($\phi=1.3$)	-113.40	-98.70	69.10	3.50	1.10	15.90	-28.10	13.00	-44.40	-40.10	-24.20
CASE2($\phi=2.6$)	-113.40	-91.10	69.10	3.50	1.10	15.90	-54.30	16.40	-44.40	-55.30	-39.40
CASE3($\phi=5.2$)	-113.40	-79.10	69.10	3.50	1.10	15.90	-105.10	14.60	-44.40	-95.80	-79.90

注： $\delta 1 = \delta_{pt} + \delta_{d0}$

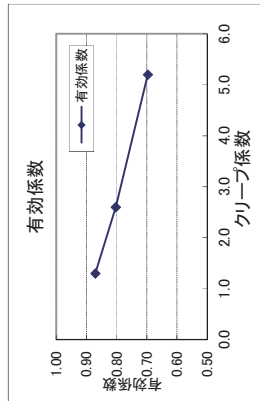
$\delta 2 = \delta_{pe} + \delta_{d0} + \delta_{d1} + \delta_{d2} + \delta_{qcd} + \delta_{qcd}$

$\delta 3 = \delta 2 + \delta L + \delta s$

8) プレストレスの有効率

表5.2.12 プレストレスの有効率

クリープ係数	1.3	2.6	5.2
導入直後のプレストレス	1003.89	1003.89	1003.89
クリープ・乾燥収縮ロス	115.15	182.85	289.24
レラクセーションロス	15.06	15.06	15.06
有効プレストレス	873.68	805.98	699.59
有効係数	0.8703	0.8029	0.6969



(3) まとめ

全体の傾向は、プレテンと同様で以下のとおり。

- 1) 断面力について
 - ・構造系変化のクリープによる断面力はクリープ係数と比例関係とはならない。
 - 「主桁自重」の構造系変化のクリープによる不静定力は図5.2.21のように橋梁の中央部を下から押し上げる形となる。
 - 一方「プレストレス」のクリープによる不静定力は「主桁自重」とは逆に上から押し下げる形となる。
 - 一般的にプレキャストP.C.桁では「プレストレス」の断面力は「主桁自重」の断面力より大きいため、合計では「プレストレス」が勝ち、クリープによる断面力は橋梁全体を上から押し下げる形となる。
 - クリープ係数を大きくした場合、この押し下げる力が大きくなるが「プレストレス」自体がクリープロスの増加により小さくなるため、正・負のどちらにも変動する可能性がある。
- 2) 曲げ応力度について
 - ・クリープ係数を変動させると断面力や有効プレストレスが変化するため、応力度の許容値を満たさなくなってしまう場合が生じる。特に曲げ応力度の変動は感度が大きく、斜引張応力度の感度は小さい傾向にある。
 - 一般的にクリープ係数が大きくなる場合は有効プレストレスが下がるため、引張線での許容値は厳しくなる。
- 3) 移動量について
 - ・クリープ係数の増加ともない、移動量は増加する。
- 4) たわみについて
 - ・クリープ係数が大きくなるほど桁のたわみは大きくなる。
 - ・構造系変化のクリープによるたわみはクリープ係数と比例関係とはならない。
- 5) 有効係数について
 - ・クリープ係数が2倍になると80%から69%に10%以上低下する。
 - ・また1/2倍になると80%から87%に上昇する。

5.2.4 解析結果

(1) 断面力について

- ・ クリープの影響によって生じる断面力は、自重によるクリープ（以下「自重クリープ」という。）とプレストレスによるクリープ（以下「プレストレスクリープ」という。）の不静定力である。道路橋示方書のクリープ係数を基準に、その値を1/2倍、2倍と変化させた場合、クリープ係数が大きいほどそれぞれの不静定力の絶対値は大きくなる。
- ・ 自重クリープの不静定力は負の曲げモーメント、プレストレスクリープの不静定力は正の曲げモーメントを生じさせるため、それぞれのクリープによる不静定力は相殺しあう関係にある。
- ・ 有効プレストレスは、クリープ係数が大きくなる程、クリープによるプレストレスの減少量が多くなるため減少する。このため、クリープ係数が大きくなる程、プレストレスクリープの不静定力の増加率は低下する。従って、自重クリープとプレストレスクリープの不静定力を合計した値は、必ずしもクリープ係数と比例関係にはならず、クリープ係数が大きい方が、絶対値が小さくなる場合もある。
- ・ クリープ係数の影響が最も顕著な中央径間支間中央部の全死荷重時の曲げモーメント比で比較（クリープ係数 1/2倍：道示値：2倍）した場合、プレT連結桁での比率は（0.90：1.00：1.01）、ポスト連結桁での比率は（0.96：1.00：0.99）となる。
- ・ 中間支点部の側径間側のせん断力で比較した場合、プレT連結桁での比率は（1.04：1.00：0.99）、ポスト連結桁での比率は（1.01：1.00：1.00）となり、クリープ係数の変化の影響は曲げモーメントと比較すると小さい。

(2) 有効プレストレスについて

- ・ クリープ係数が大きいほどプレストレスの損失が大きくなり、有効プレストレスが小さくなる。
- ・ 逆にクリープ係数が小さいほどプレストレスの損失が少なくなる。

(3) 曲げ応力度について

- ・ 主桁の上縁側と下縁側では、下縁側のほうがクリープ係数の変動に対して感度が高く、クリープ係数が大きくなると、引張応力度が増加する。
- ・ 連結鉄筋を配置する中間支点の上縁側は、クリープ係数の変化に対し、感度が低く、引張応力度の変動量も下縁側と比較し小さいものの、(1)の断面力の項で示したとおり、自重クリープとプレストレスクリープは比例関係にないため、本検討におけるポステン桁（形式②）の場合は、クリープ係数が大きくなっても小さくなくても鉄筋応力度や曲げ破壊安全度は、厳しくなる傾向となった。

(4) 斜引張応力度について

- ・ (1)で示すようにクリープ係数を 1/2 倍・2 倍に変化させても発生するせん断力の変化は少なく、曲げ応力度と比較しクリープ係数の変化の影響は小さいと言える。
- ・ 各構造形式ともクリープ係数の変化によって斜引張応力度が若干 (0.1N/mm^2 以内) 変化するが、影響は少ない。

(5) 鉛直変位について

- ・ クリープ係数に比例してプレストレスによるクリープたわみも大きくなり、クリープ係数が大きければ上側への反り量も大きくなる。
- ・ 自重の少ないプレキャスト桁は、上側への反り量に大きな差が生じ、クリープ係数の影響を受けやすい。
- ・ 構造系変化のクリープによるたわみは、断面力と同様に自重とプレストレスの影響でクリープ係数と比例関係とはならない。

(6) 水平変位について

- ・ 全ての構造形式ともクリープ係数に比例して主桁の変位 (短縮量) が大きくなる。

5.3 3径間連続ラーメン箱桁橋におけるクリープの影響による感度解析

5.3.1 検討ケース

3径間連続ラーメン箱桁橋（形式③）において、クリープ係数を変化させ、たわみ・応力度・断面力・移動量の比較を行う。

構造形式	3径間連続ラーメン箱桁橋
支間長	55.0m+80.0m+55.0m
有効幅員	9.50m
主桁高	2.20m~4.70m
架設方法	片持架設（場所打ち）

クリープ係数の変化は表 5.3.1 に示す3つのCASEとする。

表 5.3.1 感度解析の検討ケース

柱頭部着目

	構造系完成時 (150)	クリープ終了時 (∞)	備考
CASE1 ($\phi = 1.3$)	0.82	1.30	通常の1/2
CASE2 ($\phi = 2.6$)	1.63	2.60	基本ケース
CASE3 ($\phi = 5.2$)	3.27	5.20	通常の2倍

径間中央部着目

	構造系完成時 (150)	クリープ終了時 (∞)	備考
CASE1 ($\phi = 1.3$)	0.16	1.30	通常の1/2
CASE2 ($\phi = 2.6$)	0.31	2.60	基本ケース
CASE3 ($\phi = 5.2$)	0.62	5.20	通常の2倍

5.3.2 3径間連続ラーメン箱桁橋（形式③）におけるクリープの影響による感度解析

(1) 条件

1) 構造図

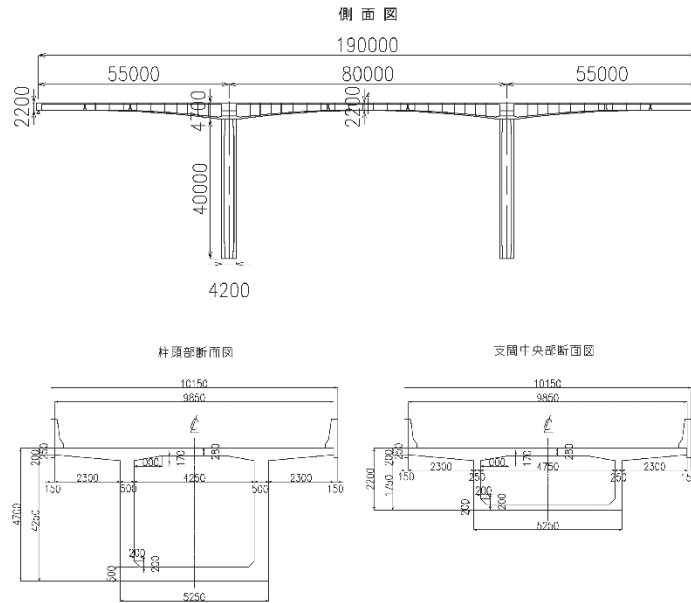


図 5.3.1 3径間連続ラーメン箱桁橋 構造図

2) 設計条件

- ・ 上部工コンクリート強度 $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$
- ・ 橋脚コンクリート強度 $\sigma_{ck}=27\text{N/mm}^2$
- ・ 主ケーブル
 - 内ケーブル : 12S12.7 (SWPR7BL)
 - 内ケーブル : 19S15.2 (SWPR7BL)

3) PC鋼材概略配置図

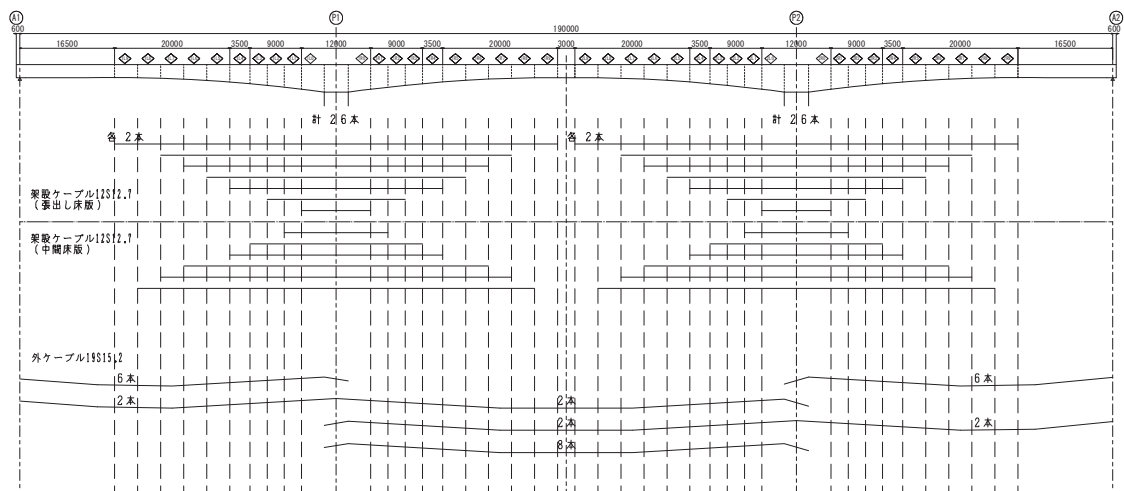


図 5.3.2 PC鋼材配置図

4) 解析ステップ

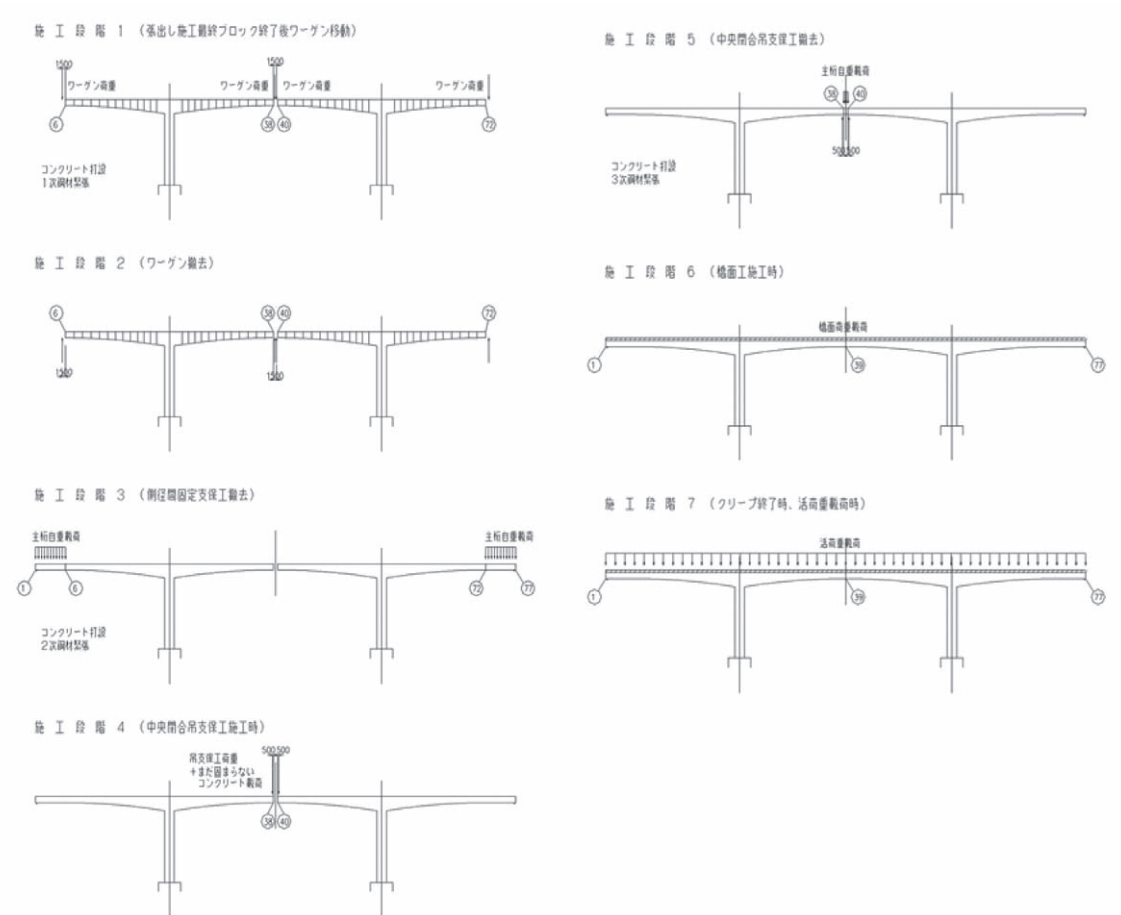


図 5.3.3 施工ステップ図

5) クリープ係数変化表

クリープ係数の変化は表 5.3.2 に示す 3 ケースとする。CASE2 は、一般に使用される道路橋示方書に示されている早強ポルトランドセメントを使用した場合のクリープ係数を用いる。CASE2 を基本とし、CASE1 はその 1/2 倍、CASE3 は 2 倍で設定する。

表 5.3.2 クリープ係数の変化

・着目部材No19 (P1柱頭部)

	構造系完成時 (150)	クリープ終了時 (∞)
CASE1 ($\phi = 1.3$)	0.82	1.30
CASE2 ($\phi = 2.6$)	1.63	2.60
CASE3 ($\phi = 5.2$)	3.27	5.20

・着目部材No32 (P1-P2径間中央部)

	構造系完成時 (150)	クリープ終了時 (∞)
CASE1 ($\phi = 1.3$)	0.16	1.30
CASE2 ($\phi = 2.6$)	0.31	2.60
CASE3 ($\phi = 5.2$)	0.62	5.20

(2) 計算結果

1) 断面力比較

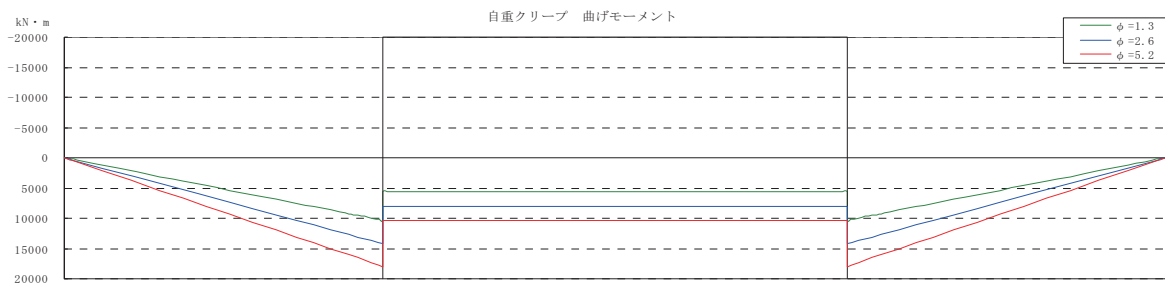


図 5.3.4 自重クリープ 曲げモーメント

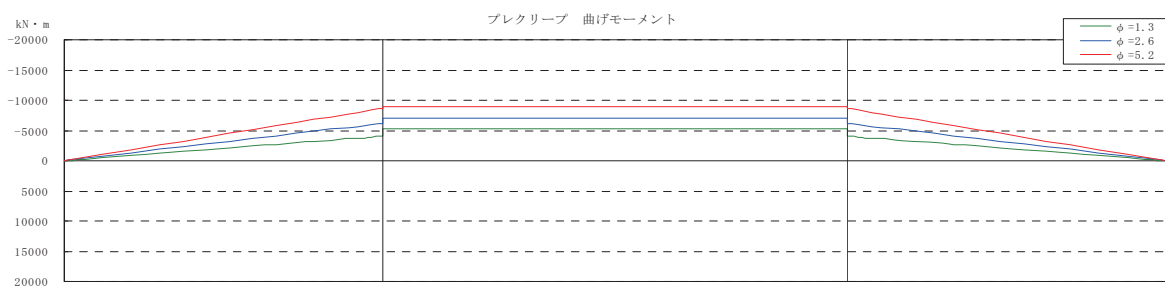


図 5.3.5 プレストレスクリープ 曲げモーメント

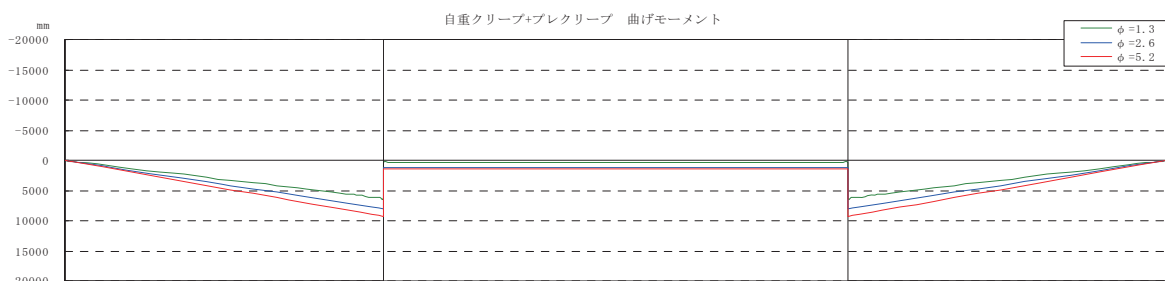


図 5.3.6 自重+プレストレスクリープ 曲げモーメント

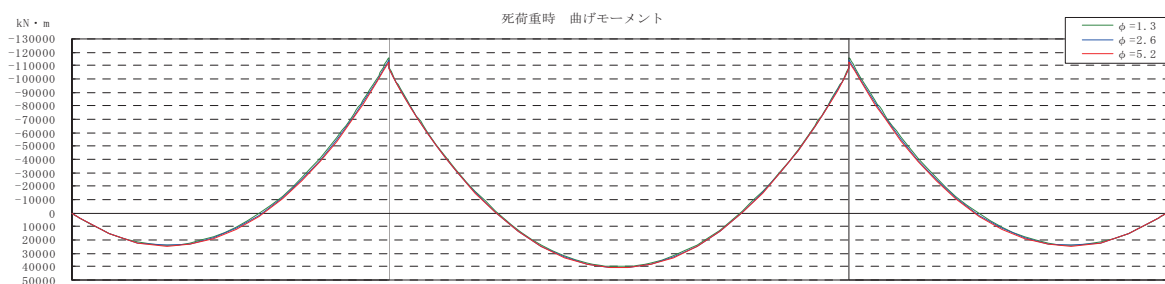


図 5.3.7 死荷重時 曲げモーメント

2) 曲げ応力度比較

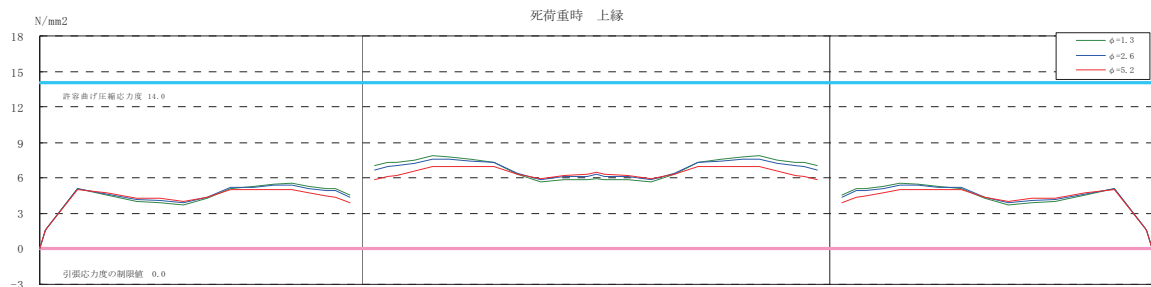


図 5.3.8 死荷重時 上縁曲げ応力度

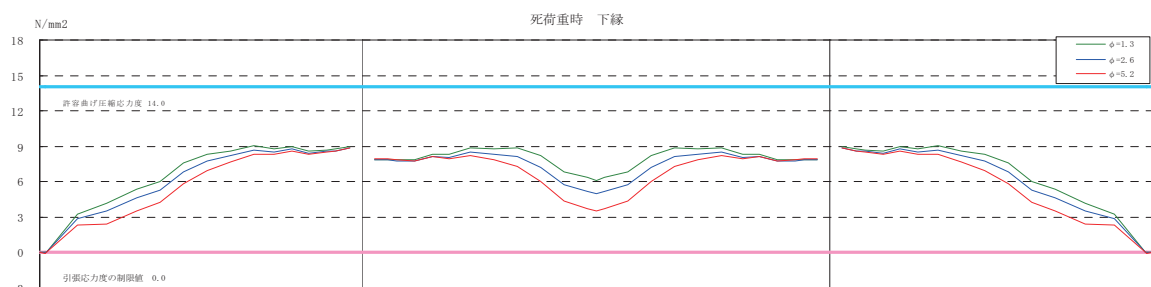


図 5.3.9 死荷重時 下縁曲げ応力度

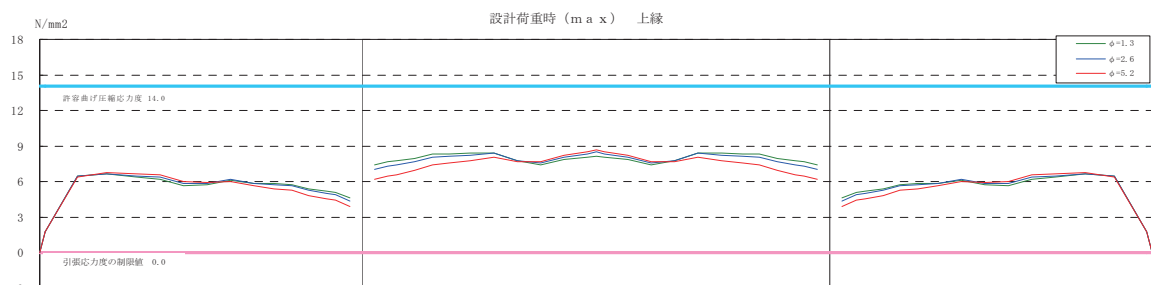


図 5.3.10 設計荷重時 Mmax 上縁曲げ応力度

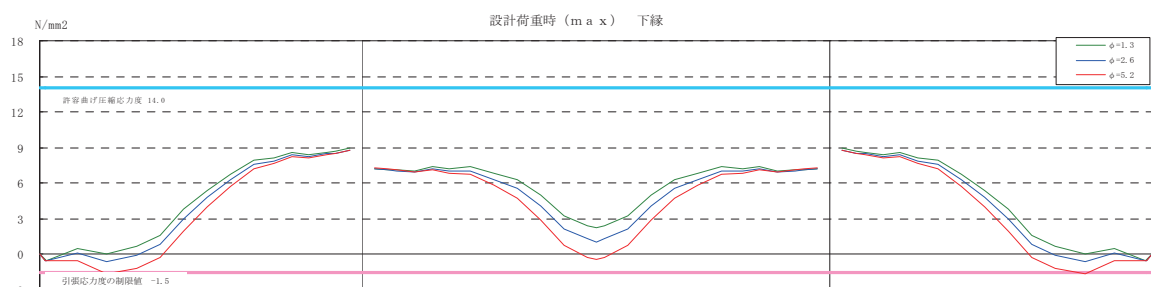


図 5.3.11 設計荷重時 Mmax 下縁曲げ応力度

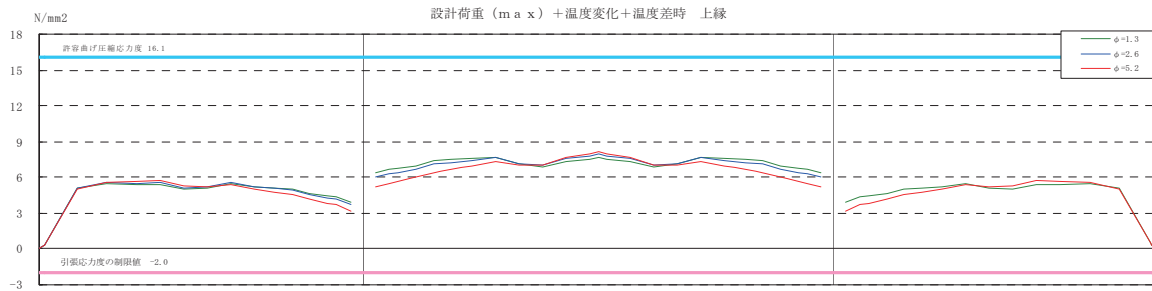


図 5.3.12 設計荷重時 Mmin 上縁曲げ応力度

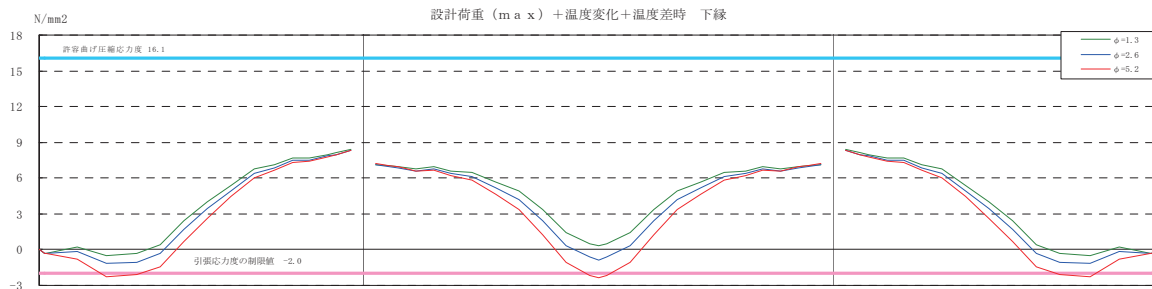


図 5.3.13 設計荷重時 Mmin 下縁曲げ応力度

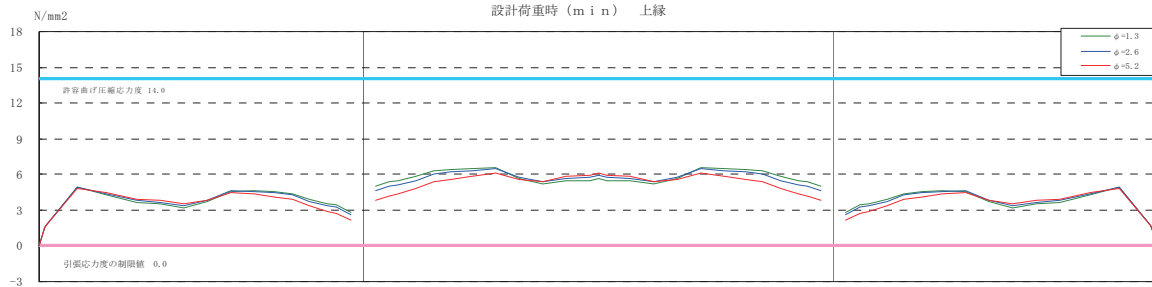


図 5.3.14 温度荷重時 Mmax 上縁曲げ応力度

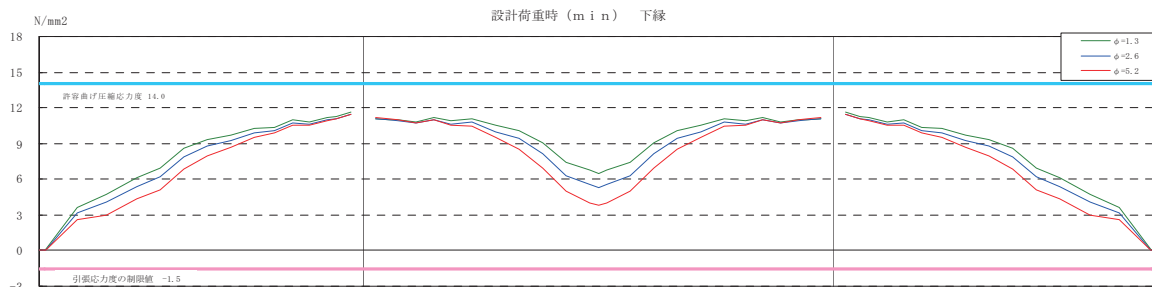


図 5.3.15 温度荷重時 Mmax 下縁曲げ応力度

3) たわみ比較

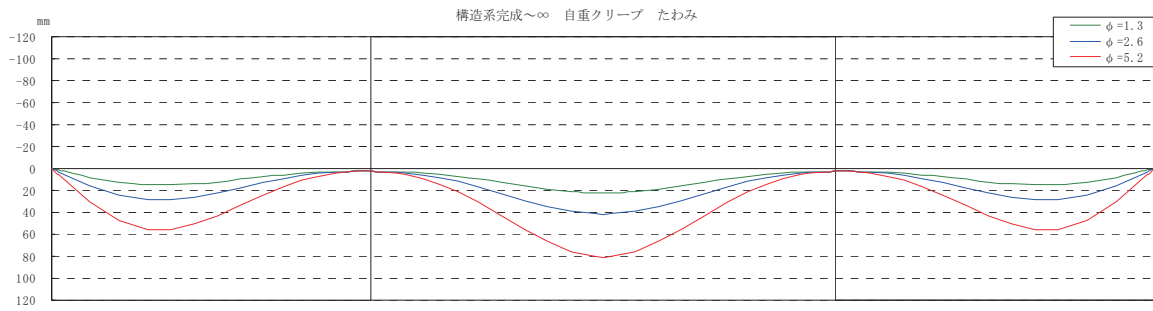


図 5.3.16 自重クリープ たわみ量

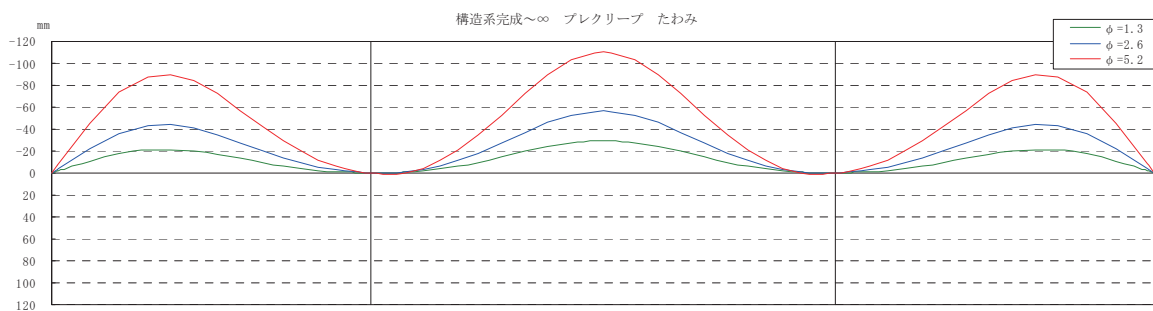


図 5.3.17 プレストレスクリープ たわみ量

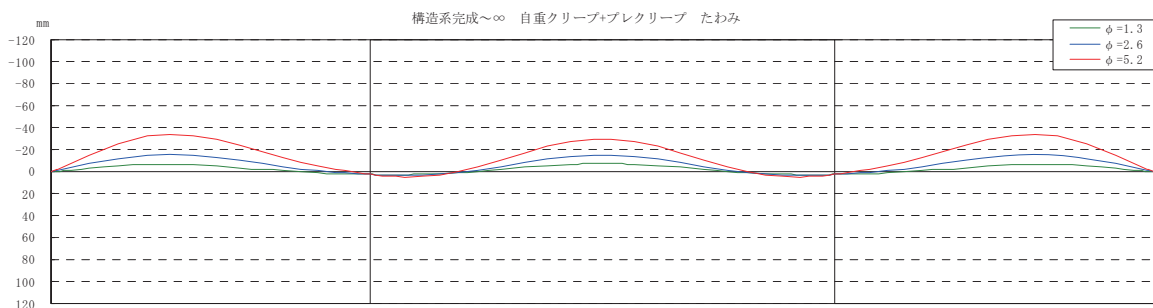


図 5.3.18 自重+プレストレスクリープ たわみ量

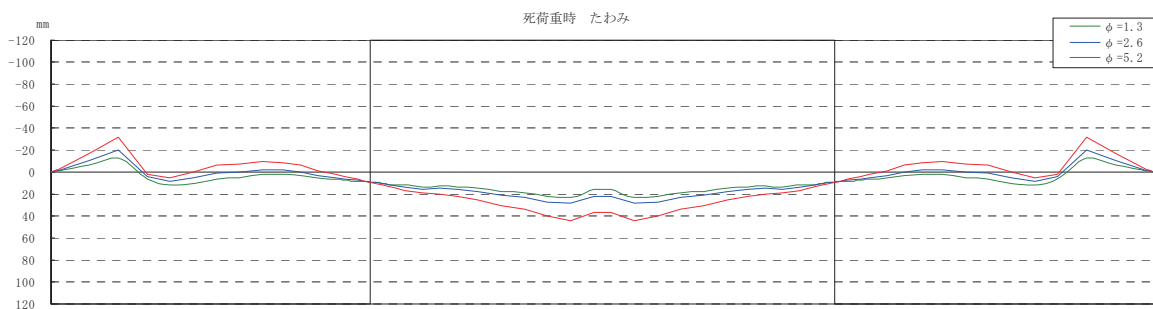


図 5.3.19 死荷重時 たわみ量

4) 斜引張応力度比較

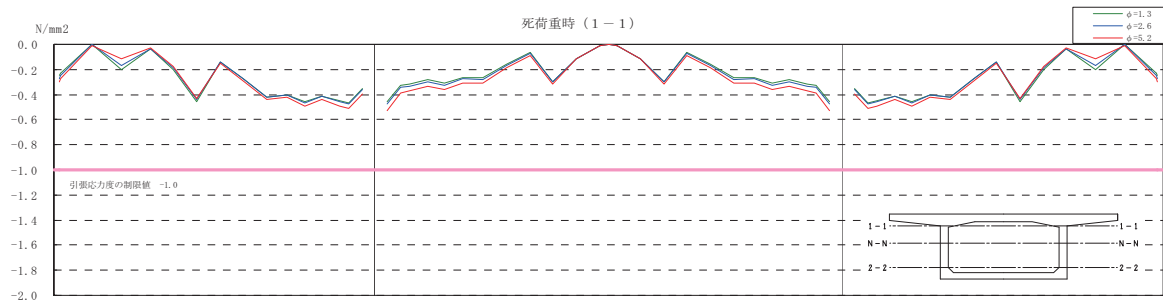


図 5.3.20 死荷重時（上床版付け根） 斜引張応力度

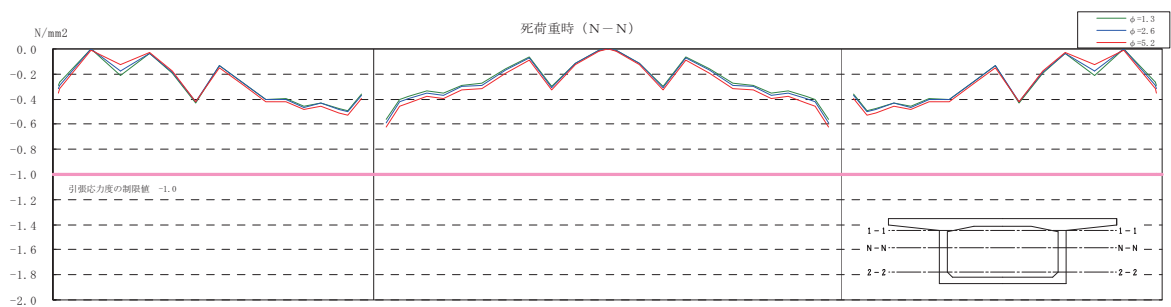


図 5.3.21 死荷重時（中立軸） 斜引張応力度

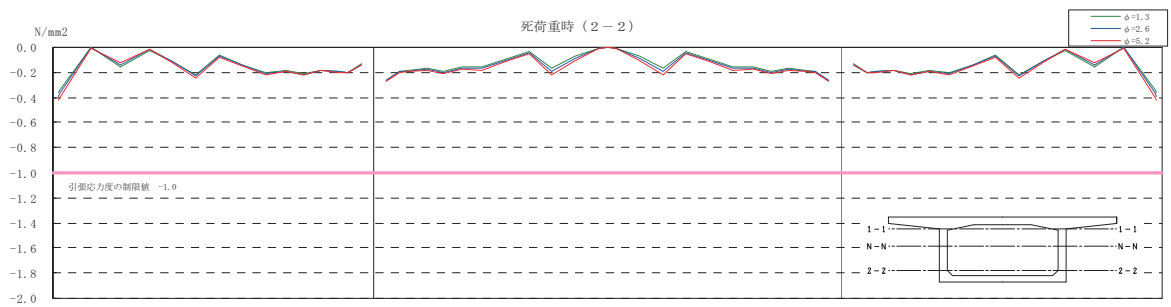


図 5.3.22 死荷重時（下床版付け根） 斜引張応力度

5) たわみ集計

構造系完成時～クリープ終了時 (∞) までのクリープたわみ

表 5.3.3 P1-P2 支間中央部のたわみ集計

	自重クリープ	プレクリープ	計
CASE1 (φ = 1.3)	20.56	-29.29	-8.73
CASE2 (φ = 2.6)	41.58	-56.19	-14.61
CASE3 (φ = 5.2)	80.18	-109.61	-29.43

鉛直下方向を正とする (単位:mm)

6) 桁端伸縮移動量集計

表 5.3.4 桁端伸縮移動量の集計

	A1			
	δ _P	δ _S	δ _{Pφ}	δ
CASE1 (φ = 1.3)	28.65	11.08	21.14	60.86
CASE2 (φ = 2.6)	26.59	11.08	39.28	76.94
CASE3 (φ = 5.2)	21.37	11.08	74.73	107.18

右向きを正とする (単位:mm)

	A2			
	δ _P	δ _S	δ _{Pφ}	δ
CASE1 (φ = 1.3)	-28.65	-11.08	-21.14	-60.86
CASE2 (φ = 2.6)	-26.59	-11.08	-39.28	-76.94
CASE3 (φ = 5.2)	-21.37	-11.08	-74.73	-107.18

右向きを正とする (単位:mm)

$$\delta = \sum \delta_P + \delta_S + \delta_{P\phi}$$

δ_P : プレ弾性分

δ_S : 乾燥収縮

δ_{Pφ} : プレクリープ

5.3.3 解析結果

(1) 断面力について

- ・ クリープの影響によって生じる断面力は、自重クリープとプレストレスクリープの不静定力である。道路橋示方書のクリープ係数を基準に、その値を1/2倍、2倍と変化させた場合、クリープ係数が大きいほどそれぞれの不静定力の絶対値は大きくなる。
- ・ 自重クリープによる不静定力は負の曲げモーメント、プレストレスクリープによる不静定力は正の曲げモーメントを生じさせるため、それぞれのクリープによる不静定力は相殺しあう関係にある。
- ・ 本ケースの場合では、自重クリープとプレストレスクリープの不静定力を合計した値は、全断面でクリープ係数が大きい程、絶対値が大きくなっている。
- ・ クリープ係数の影響が最も顕著な中央径間支間中央部の全死荷重時の曲げモーメント比で比較（クリープ係数1/2倍：道示値：2倍）した場合、0.98：1.00：1.00程度の比率で変化する。本ケースのような、死荷重比率の大きい場所打ち桁では、クリープ係数の変化の影響は、プレキャスト桁に比べ小さい。

(2) 有効プレストレスについて

- ・ クリープ係数が大きいほどプレストレスの損失が大きくなり、有効プレストレスが小さくなる。
- ・ 逆にクリープ係数が小さいほどプレストレスの損失が少なくなる。

(3) 曲げ応力度について

- ・ 主桁の上縁側と下縁側では、下縁側のほうがクリープ係数の変動に対して感度が高い。下縁側はクリープ係数が大きくなると、全長にわたり引張応力度が増加する。
- ・ 上縁側で引張応力度が大きくなる柱頭部付近においても、クリープ係数が大きいほど引張応力度が増加する。
- ・ 連続ラーメン箱桁の様な変断面構造では、断面係数の大きい柱頭部付近より、断面係数の小さい支間中央部付近の断面がクリープの影響を受けやすい。

(4) 斜引張応力度について

- ・ クリープ係数を1/2倍・2倍に変化させても発生するせん断力の変化は少ない。そのため、各構造形式とも斜引張応力度の変動は少なく、曲げ応力に比べクリープ係数の変化の影響は小さいと言える。

(5) 鉛直変位について

- ・ 場所打ち桁では、自重クリープにより下側にたわみ、プレストレスのクリープで上縁側に反る。その絶対値はクリープ係数に比例するが、プレストレスのクリープの影響の方が大きいことから、クリープ係数が大きくなると上側に反る方向となる。
- ・ 足し合わせたクリープたわみ差は、支間長に比べさほど小さくなくクリープ値を変化させても道示の基準値から 1cm~2cm の変動の範囲にある。

(6) 水平変位について

- ・ クリープ係数に比例して主桁の変位（短縮量）が大きくなる。
- ・ クリープ係数を倍とした CASE3 において、標準の CASE2 に比べ 30mm 程度の増加である。

5.4 6径間連続中空床版橋におけるクリープの影響による感度解析

5.4.1 検討ケース

6径間連続中空床版橋（形式④）において、クリープ係数を変化させ、たわみ・応力度・断面力・移動量の比較を行う。

構造形式	6径間連続中空床版橋
支間長	6@25.0m
有効幅員	9.50m
主桁高	1.20m
架設方法	固定支保工（分割打設）
分割施工	3分割による主桁製作（2径間+2径間+2径間）
施工日数	主桁製作は1施工区分あたり45日で施工 橋面工は主桁製作完了から30日後に施工

検討ケースは以下の3ケースとする。

CASE1:基本ケースのクリープ係数を1/2とした場合

CASE2:道路橋示方書に基づき材齢を考慮したクリープ係数

CASE3:基本ケースのクリープ係数を2倍とした場合

各ケースにおけるクリープ係数の値を表5.4.1に示す。

表 5.4.1 感度解析の検討ケース

CASE1 : 基本ケースの1/2

	STEP1 (45日)	STEP2 (45日)	STEP3 (30日)	クリープ終了時
施工区分1の部材	0.539	0.632	0.685	1.439
施工区分2の部材	—	0.539	0.600	1.439
施工区分3の部材	—	—	0.494	1.439

CASE2 : 基本ケース

	STEP1 (45日)	STEP2 (45日)	STEP3 (30日)	クリープ終了時
施工区分1の部材	1.078	1.264	1.370	2.878
施工区分2の部材	—	1.078	1.200	2.878
施工区分3の部材	—	—	0.988	2.878

CASE3 : 基本ケース2倍

	STEP1 (45日)	STEP2 (45日)	STEP3 (30日)	クリープ終了時
施工区分1の部材	2.156	2.528	2.740	5.756
施工区分2の部材	—	2.156	2.400	5.756
施工区分3の部材	—	—	1.976	5.756

5.4.2 6径間連続中空床版橋（形式④）におけるクリープの影響による感度解析

(1) 設計条件

1) 構造図

検討する構造モデルを図5.4.1および図5.4.2に示す。

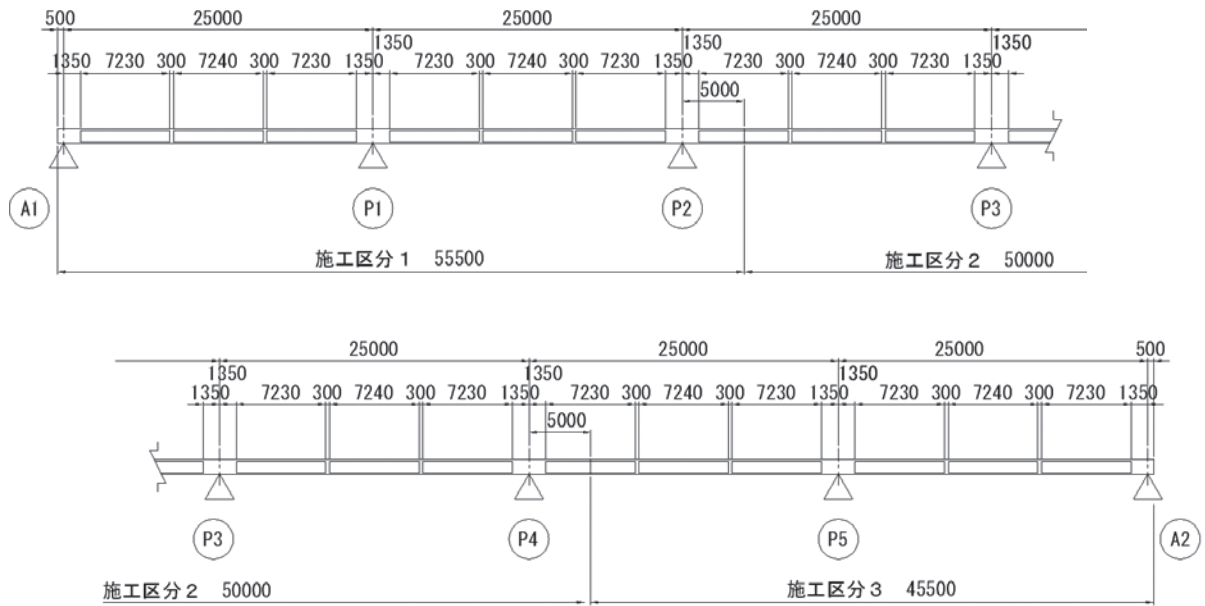


図 5.4.1 側面図

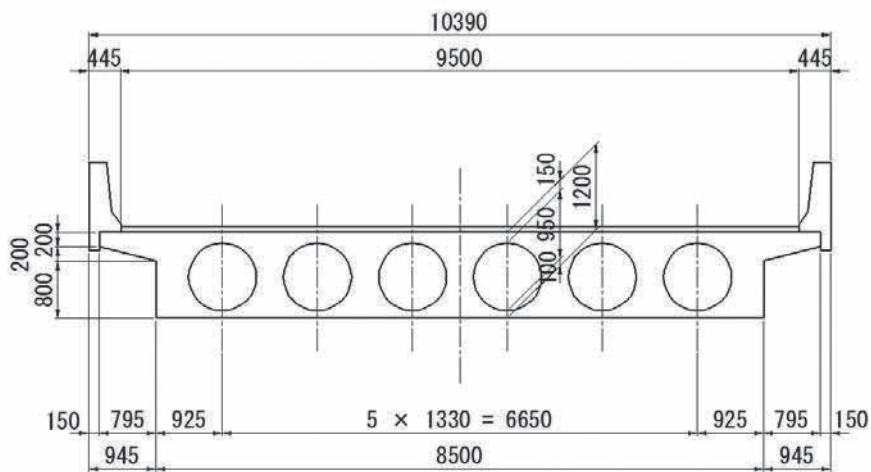


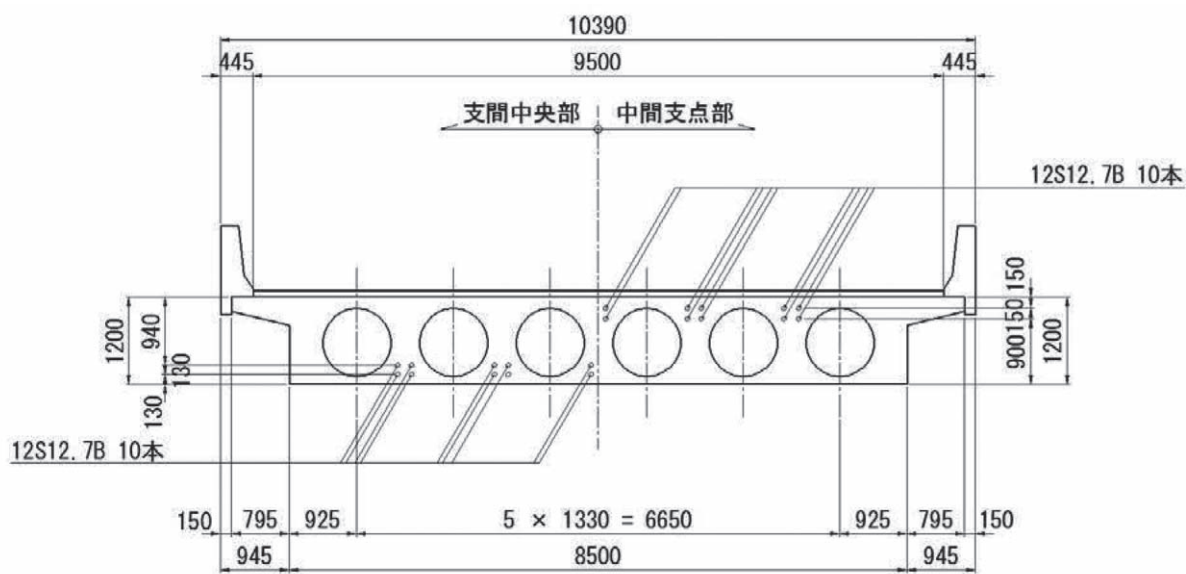
図 5.4.2 断面図

2) 材料条件

上部工コンクリート強度 : $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$
主ケーブル : 12S12.7 (SWPR7BL)

3) 鋼材配置

支間中央部と中間支点上のPC鋼材の配置を図5.4.3に示す。



注) 鋼材本数は全断面の本数を示す。

図 5.4.3 PC鋼材配置図

4) 解析ステップ

施工ステップを図 5.4.4 に、クリープ計算用の施工日数を表 5.4.2 に示す。

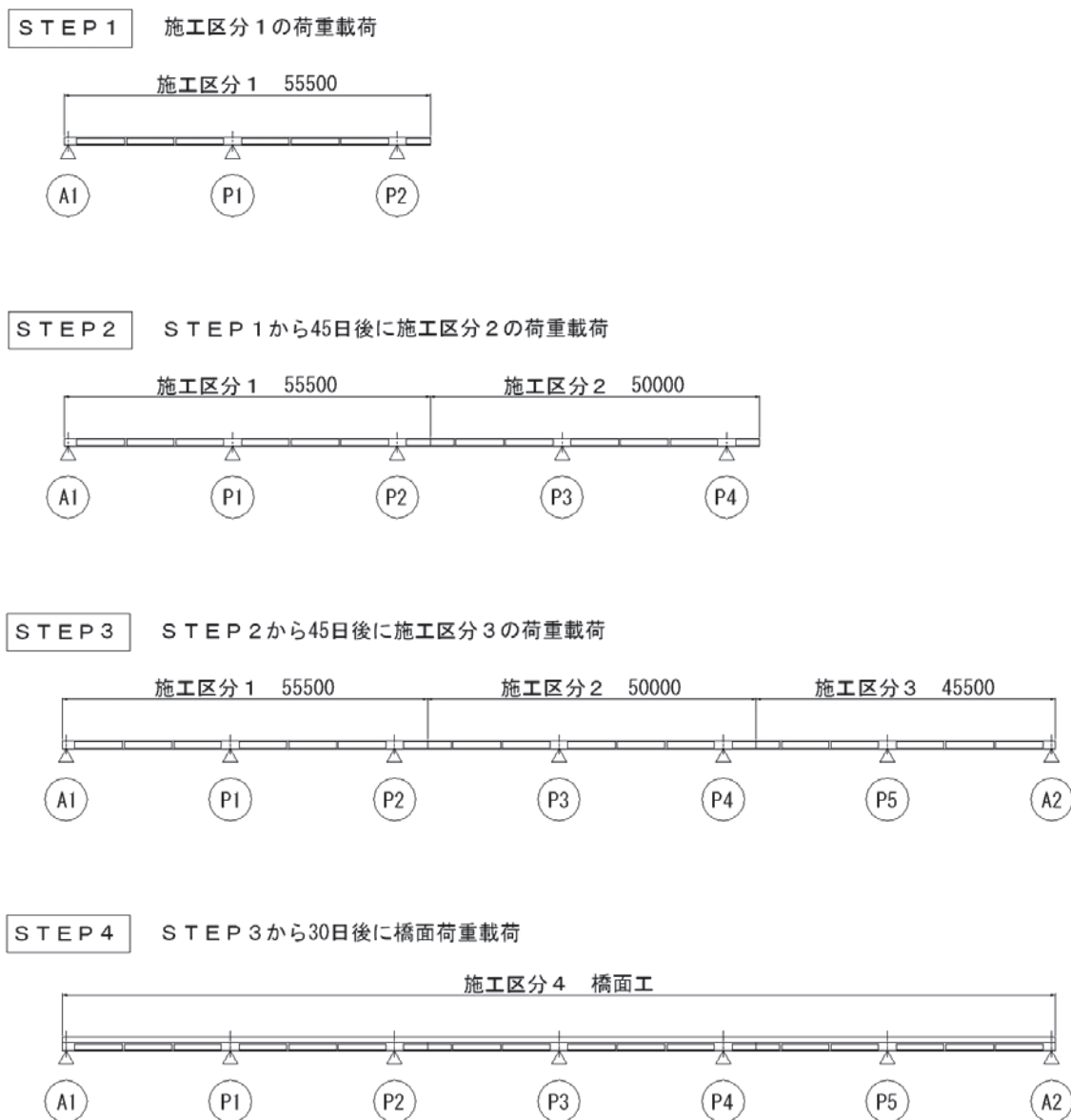


図 5.4.4 施工ステップ概要図

表 5.4.2 施工ステップ毎の施工日数表

	材齢		施工日数
	STAT	END	
STEP1	0	45	45
STEP2	45	90	45
STEP3	90	120	30
STEP4	120	∞	∞

(2) 計算結果

1) 断面力比較

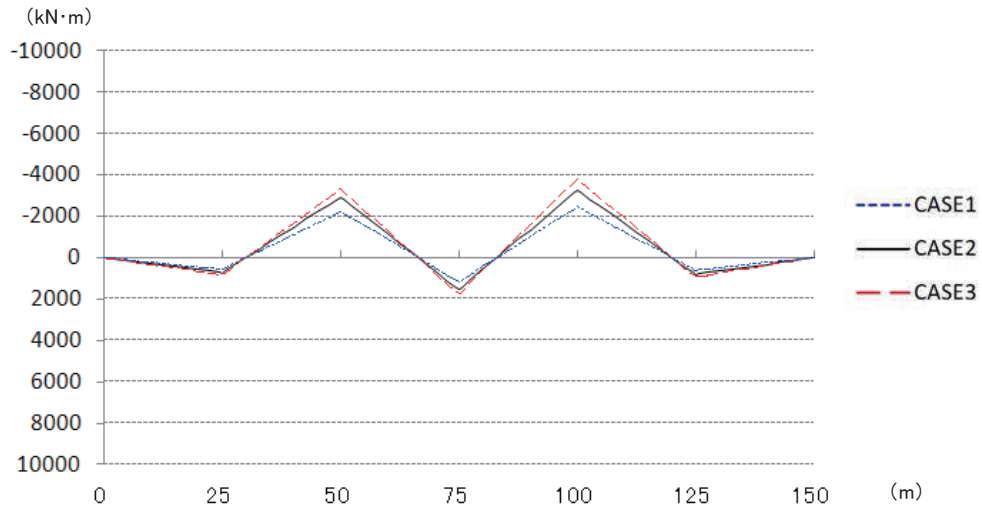


図 5.4.5 主桁自重+橋面荷重 クリープによる断面力

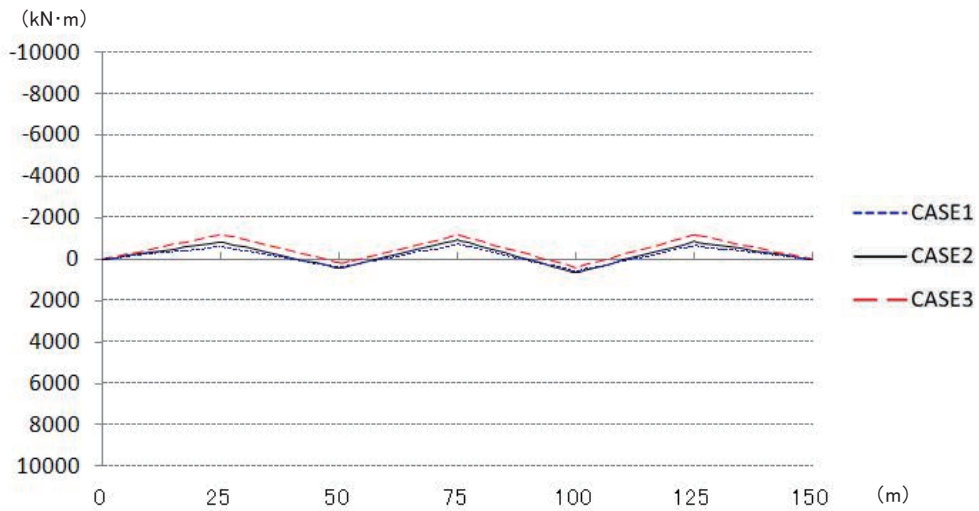


図 5.4.6 プレストレス クリープによる断面力

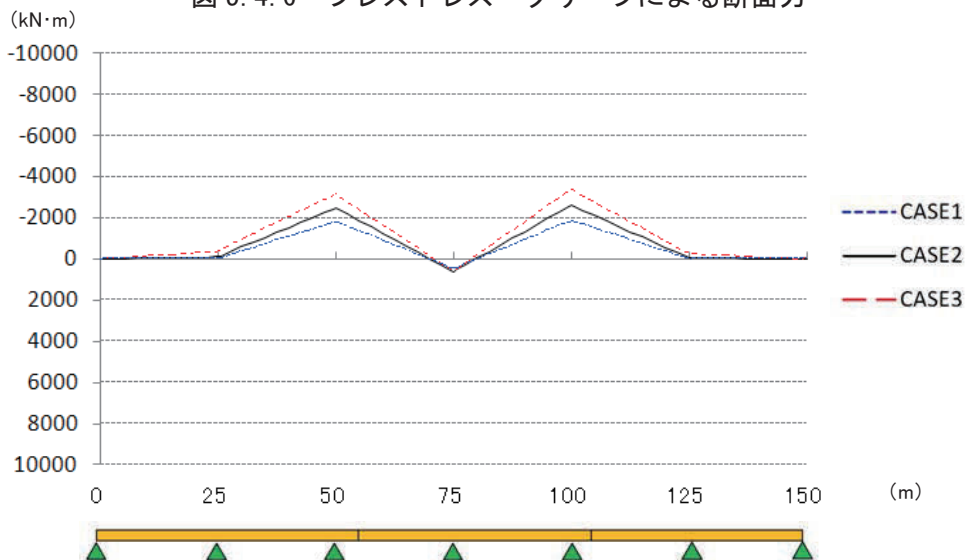


図 5.4.7 自重+プレストレス クリープによる断面力

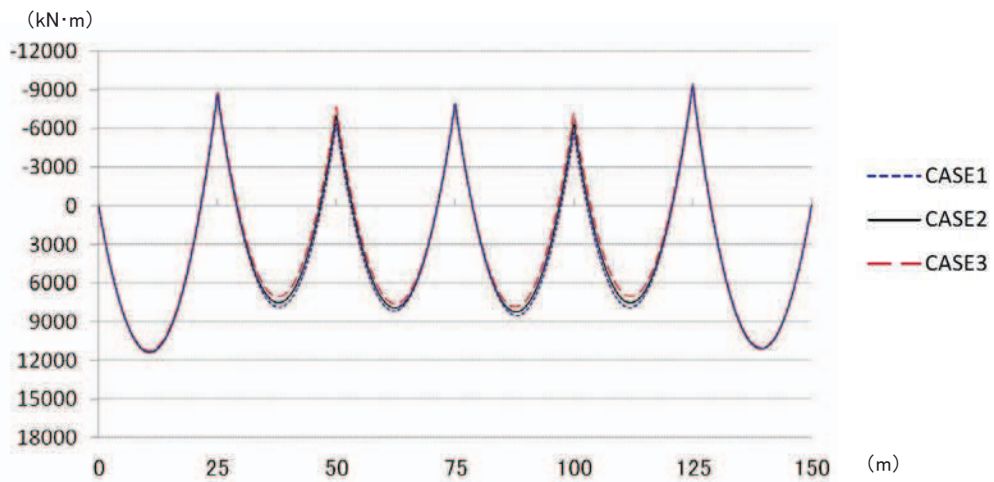


图 5.4.8 全死荷重時 断面力

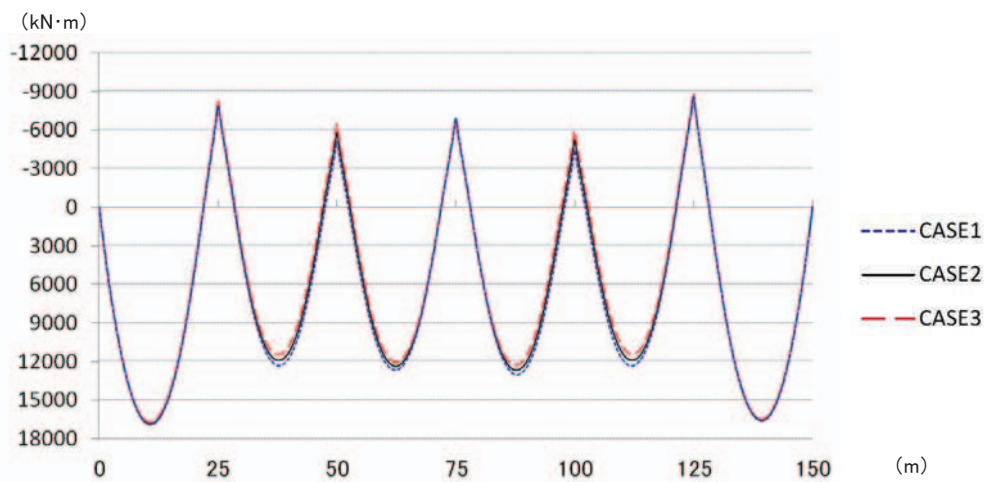


图 5.4.9 設計荷重時（最大） 断面力

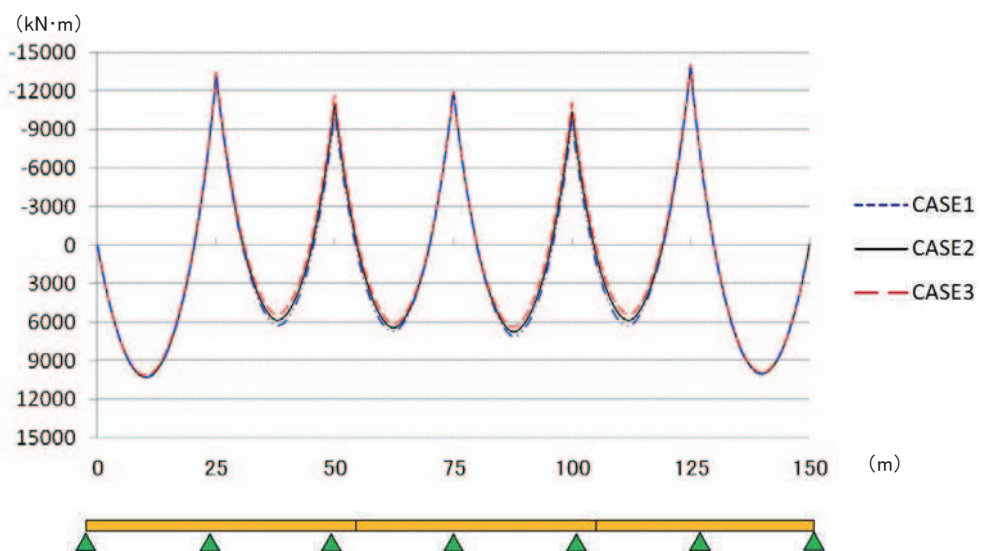


图 5.4.10 設計荷重時（最小） 断面力

2) 曲げ応力度比較

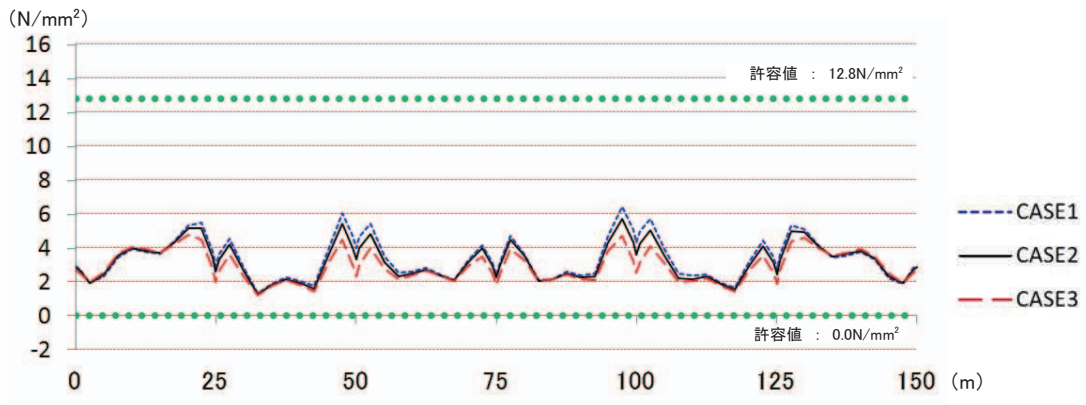


図 5.4.11 死荷重時 上縁合成応力度

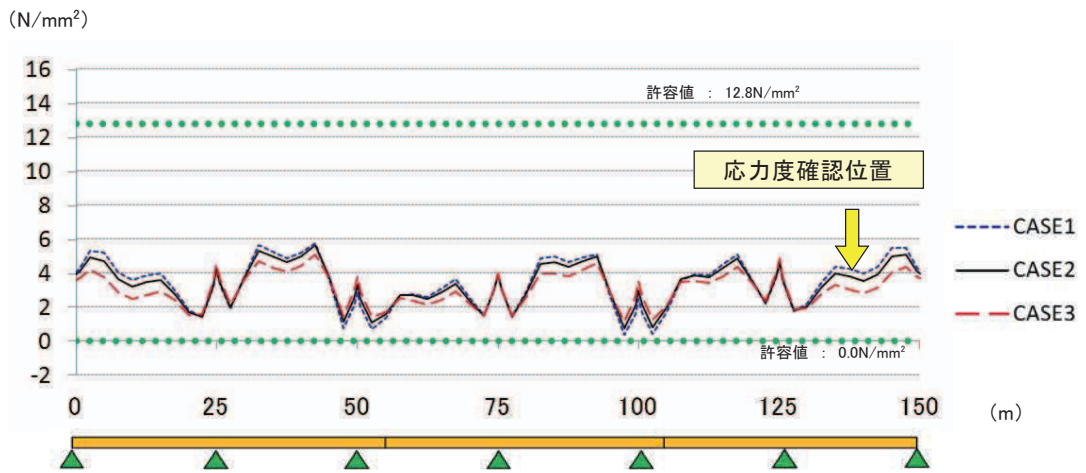


図 5.4.12 死荷重時 下縁合成応力度

○死荷重時合成応力度の確認

表 5.4.3 死荷重時合成応力度

死荷重時合成応力度の比較 : 第6径間支間中央(下縁)

	主桁・橋面	自重クリープ	有効プレ (有効係数)	プレ2次	プレ2次 クリープ	死荷重時	(N/mm ²)
CASE1	-5.30	-0.18	11.03 (0.92)	-1.36	0.07	4.26	+0.43
CASE2	-5.30	-0.24	10.64 (0.88)	-1.36	0.09	3.83	
CASE3	-5.30	-0.28	9.93 (0.81)	-1.36	0.10	3.09	-0.74

有効プレストレスの変化に大きく影響を受ける結果となった。

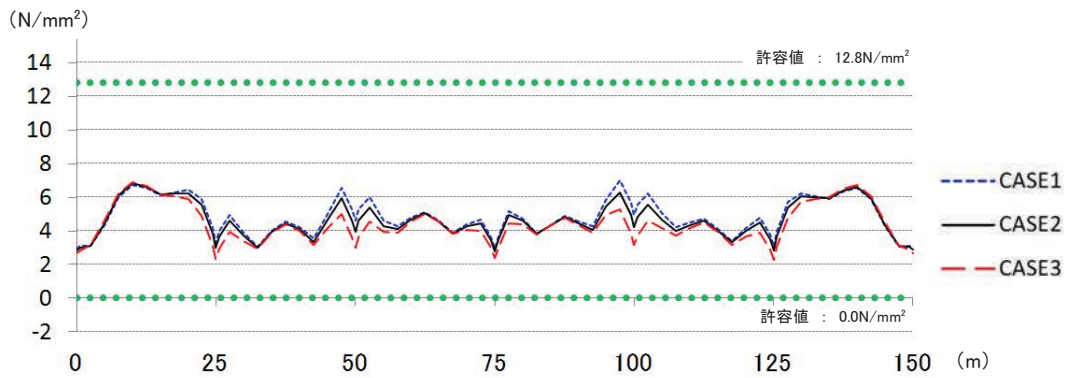


図 5.4.13 設計荷重時Mmax 上縁合成応力度

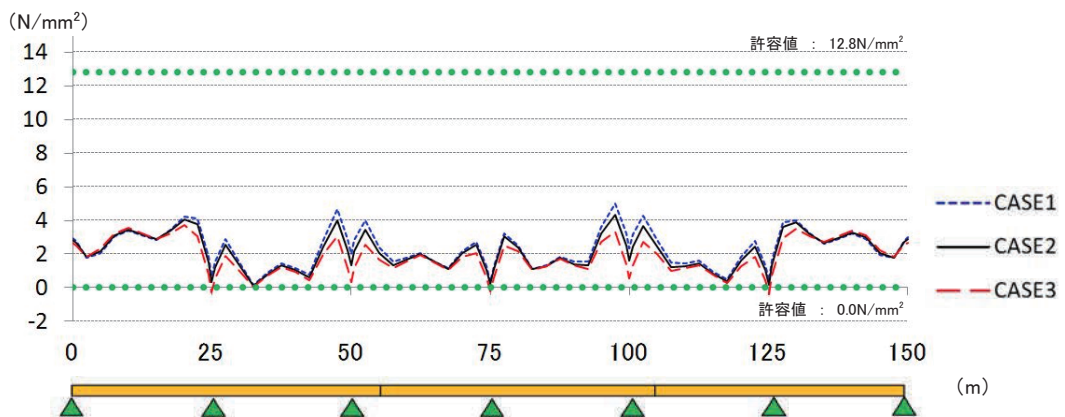


図 5.4.14 設計荷重時Mmin 上縁合成応力度

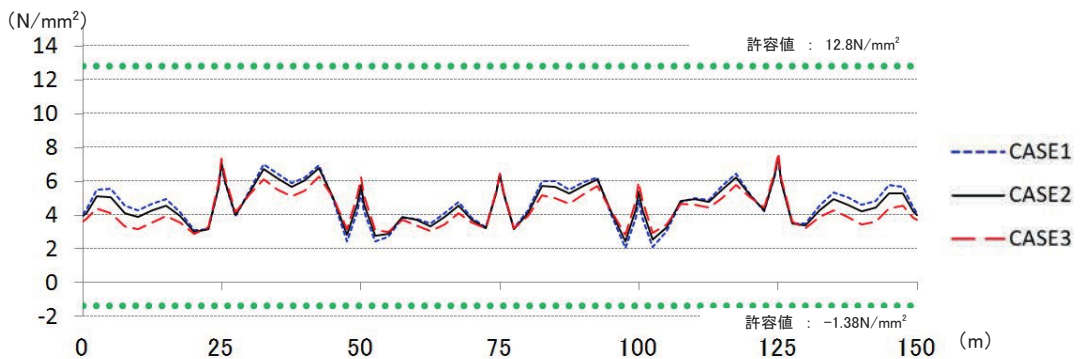


図 5.4.15 設計荷重時Mmax 下縁合成応力度



図 5.4.16 設計荷重時Mmin 下縁合成応力度

3) 斜引張応力度比較

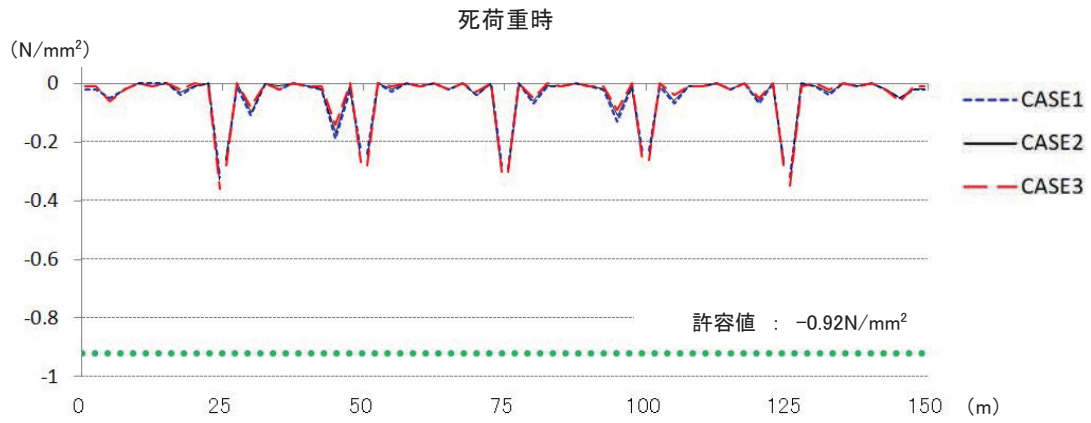


図 5. 4. 17 死荷重時 斜引張応力度

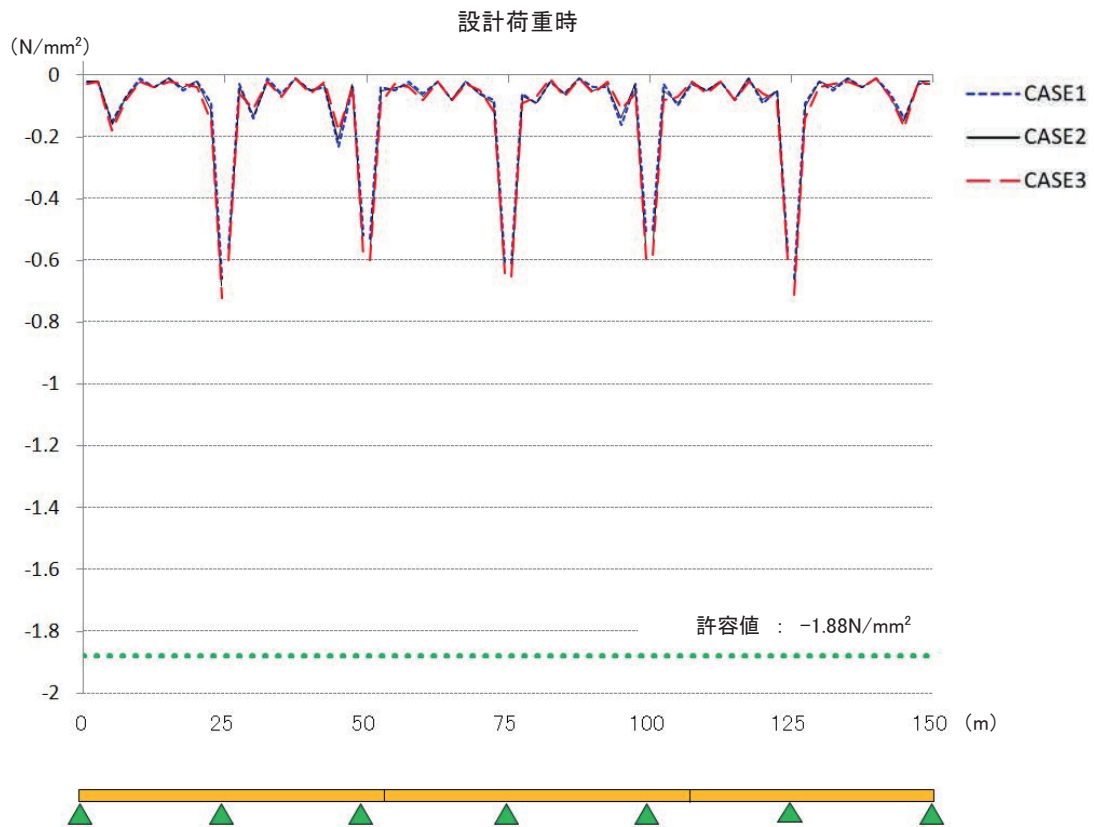


図 5. 4. 18 設計荷重時 斜引張応力度

4) たわみ比較

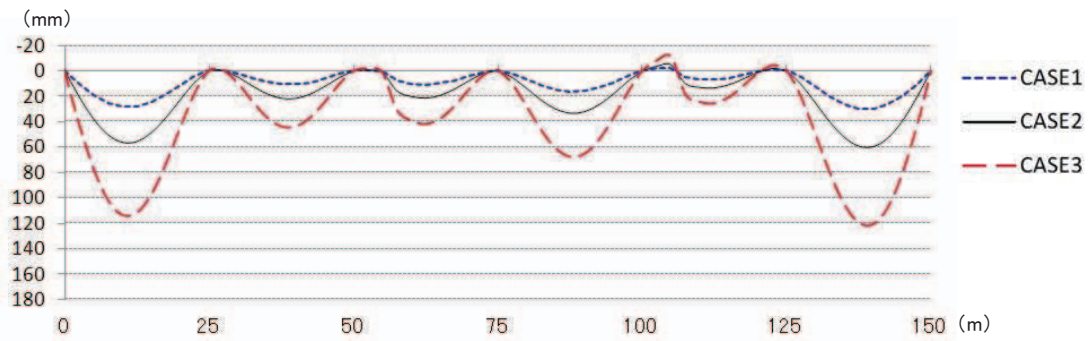


図 5.4.19 自重 クリープ たわみ

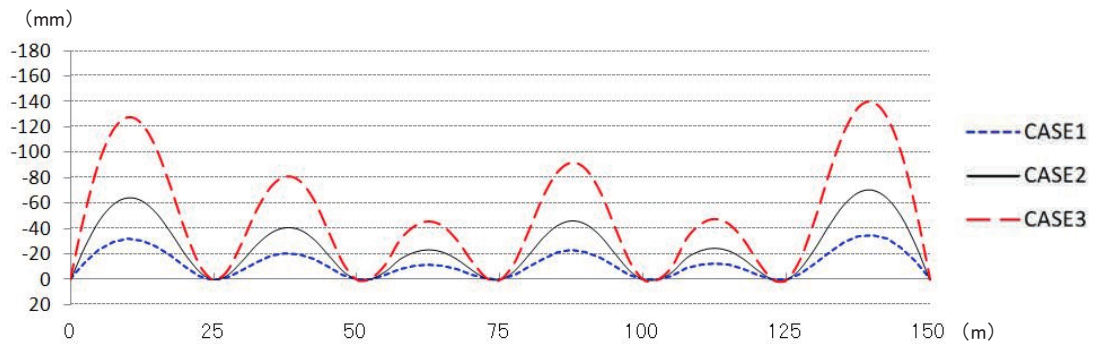


図 5.4.20 プレストレス クリープ たわみ

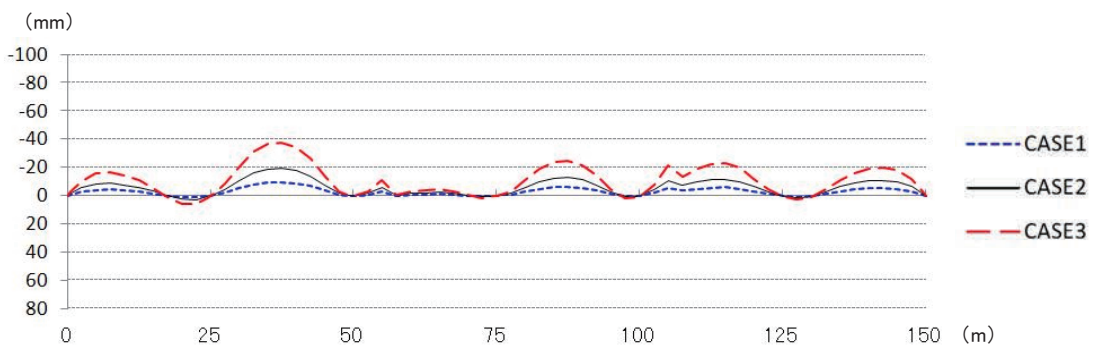


図 5.4.21 自重+プレストレス クリープたわみ

○死荷重時たわみ値の確認

表 5.4.4 死荷重時たわみ

たわみ量の比較 : 第2径間支間中央付近

●プレストレス導入直後 (単位mm)

	主桁荷重	導入直後 プレストレス	合計
CASE1	8.558	-15.240	-6.682
CASE2	8.558	-15.240	-6.682
CASE3	8.558	-15.240	-6.682

※鉛直下方向を正とする。

●全死荷重時 (単位mm)

	主桁荷重	橋面荷重	自重クリープ	有効 プレストレス	プレストレス クリープ分	合計
CASE1	8.558	0.678	10.658	-13.620	-21.915	-15.641
CASE2	8.558	0.678	21.474	-12.082	-43.946	-25.318
CASE3	8.558	0.678	43.362	-7.807	-88.206	-43.415

※鉛直下方向を正とする。

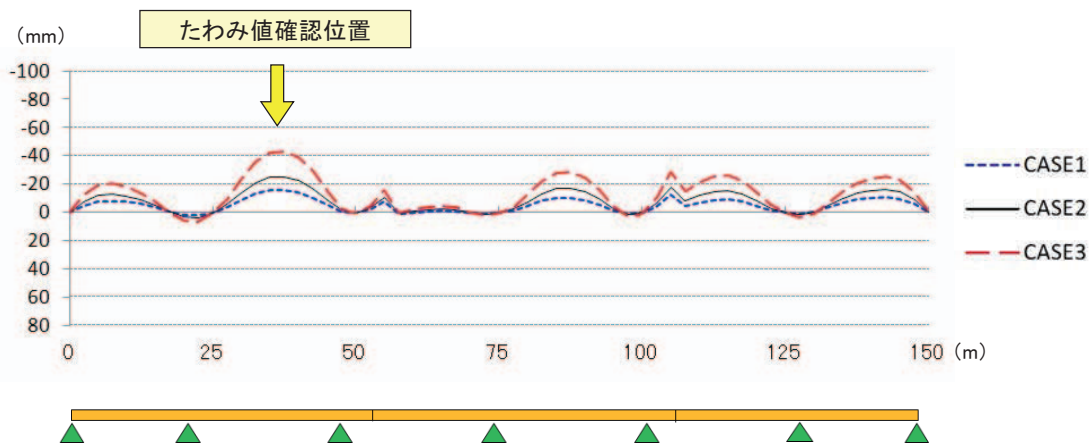


図 5.4.22 死荷重時 たわみ

5) 移動量比較

表 5.4.5 桁端移動量の比較

桁端伸縮移動量比較 : A2支点(A1固定の場合) (単位mm)

	プレストレス 弾性分	乾燥収縮	プレストレス クリープ分	合計
CASE1	-8.258	-19.688	-25.359	-53.305
CASE2	-8.258	-19.688	-50.961	-78.907
CASE3	-8.258	-19.688	-100.502	-128.448

※右向きを正とする。

5.4.3 解析結果

(1) 断面力について

- ・ クリープの影響によって生じる断面力は、自重クリープとプレストレスクリープの不静定力である。道路橋示方書のクリープ係数を基準に、その値を 1/2 倍、2 倍と変化させた場合、クリープ係数が大きいほどそれぞれの不静定力の絶対値は大きくなる。
- ・ 自重クリープとプレストレスクリープの不静定力は、逆符号の曲げモーメントを生じさせるため、クリープによる不静定力は相殺しあう関係にある。
- ・ 本ケースの場合では、自重クリープとプレストレスクリープの不静定力を合計した値は、全断面でクリープ係数が大きいほど絶対値が大きくなっている。
- ・ クリープ係数の影響が最も顕著な中央径間支間中央部の全死荷重時の曲げモーメント比で比較（クリープ係数 1/2 倍 : 道示値 : 2 倍）した場合、1.04 : 1.00 : 0.95 の比率で変化する。本ケースのような、分割施工の場合は、クリープ係数を大きくすると、曲げモーメントは全体的に負側に移行する傾向となる。

(2) 有効プレストレスについて

- ・ クリープ係数が大きいほどプレストレスの損失が大きくなり、有効プレストレスが小さくなる。
- ・ 逆にクリープ係数が小さいほどプレストレスの損失が少なくなる。

(3) 曲げ応力度について

- ・ クリープ係数を変化させて応力変動が大きい箇所に着目すると、合成曲げ応力度は、不静定力の変化よりも有効プレストレスの変化に大きく影響を受けており、クリープ係数が大きいほど、引張応力度が大きくなっている。
- ・ 上縁、下縁とも、全体的にクリープ係数が大きい方が、引張応力度が大きくなっている。
- ・ 打継目に近い支点の下縁側では、部分的に、クリープ係数が小さいほうが引張応力度が大きくなっている。これは、クリープ係数が小さいと、クリープによる主桁変形を拘束する影響が小さくなり、自重クリープによる負曲げモーメントが減少していることに起因する。

(4) 斜引張応力度について

- ・ クリープ係数を 1/2 倍・2 倍に変化させても発生するせん断力の変化は少ない。そのため、曲げ応力度に比べ、クリープ係数の変化の影響は小さいと言える。

(5) 鉛直変位について

- ・ 自重クリープにより下側にたわみ、プレストレスクリープで上縁側に反る。その絶対値はクリープ係数に比例するが、プレストレスクリープの影響の方が大きいことから、クリープ係数が大きくなると上側に反る方向となる。
- ・ 足し合わせたクリープたわみはプレキャスト桁ほど大きくはないが、クリープ係数を倍とした CASE3 は、標準の CASE2 と比較して 1.72 倍のたわみ量となった。
- ・ クリープ係数を 1/2 とした CASE1 は、標準の CASE2 と比較して 0.62 倍のたわみ量となった。

(6) 水平移動量について

- クリープ係数に比例して主桁の変位（短縮量）が大きくなる。
- クリープ係数を倍とした CASE3 は、標準の CASE2 と比較して 1.63 倍の移動量となった。また、クリープ係数を 1/2 とした CASE1 は、標準の CASE2 と比較して 0.68 倍の移動量となった。

5.5 まとめ

以上、クリープ係数を変化させ4ケースの構造形式で感度解析を行った結果、以下のことが言える。

(1) 断面力について

- ・ クリープの影響によって生じる断面力は、自重クリープとプレストレスクリープの不静定力である。道路橋示方書のクリープ係数を基準に、その値を1/2倍、2倍と変化させた場合、4つの構造ケースともクリープ係数が大きいほどそれぞれの不静定力の絶対値は大きくなる。
- ・ プレストレス力は、自重に抵抗するように導入されるため、基本的には自重クリープによる断面力とプレストレスクリープによる断面力は、それぞれ逆符号になり、相殺しあう関係になる。
- ・ 有効プレストレスは、クリープ係数が大きくなる程、クリープによるプレストレスの減少量が多くなるため減少する。このため、クリープ係数が大きくなる程、プレストレスクリープの不静定力の増加率は低下する。従って、自重クリープとプレストレスクリープの不静定力を合計した値は、必ずしもクリープ係数と比例関係にはならず、クリープ係数が大きい方が、絶対値が小さくなる場合もある。
- ・ クリープ係数の影響が最も顕著な中央径間支間中央部の全死荷重時の曲げモーメント比で比較（クリープ係数1/2倍：道示値：2倍）した場合、プレT連結桁（0.90：1.00：1.01）、ポスト連結桁（0.96：1.00：0.99）、箱桁橋（0.98：1.00：1.00）、中空床版橋（1.04：1.00：0.95）となる。
- ・ 中間支点部の側径間側のせん断力で比較した場合、クリープの影響が大きなプレキャスト桁では、プレT連結桁（1.04：1.00：0.99）、ポスト連結桁（1.01：1.00：1.00）となり、クリープ係数の変化の影響はほとんど無い。
- ・ 自重クリープとプレストレスクリープによる断面力の合計は、全死荷重時の断面力に対して比率が小さいため、全体的に見た場合、クリープ係数の変化の影響は少ない。特にせん断力に関してはその差はほとんどない。

(2) 有効プレストレスについて

- ・ クリープ係数が大きいほどプレストレスの損失が大きくなり、有効プレストレスが小さくなる。
- ・ 逆にクリープ係数が小さいほどプレストレスの損失が少なくなるため、有効プレストレスが大きくなる。

(3) 曲げ応力度について

- ・ 主桁の上縁側と下縁側では、下縁側のほうがクリープ係数の変動に対して感度が高く、クリープ係数が大きくなると、引張応力度が増加する。
- ・ 特にプレキャスト桁は、主桁の断面係数が小さいためプレストレスによる圧縮応力度が高く、クリープ係数の変動による応力度変化が大きい。
- ・ 連続ラーメン箱桁のような変断面構造では、断面係数の大きい柱頭部付近より、断面係数の小さい支間中央部付近の断面がクリープの影響を受けやすい。

- ・ 上縁、下縁とも、全体的にクリープ係数が大きい方が、引張応力度が大きくなっており、コンクリートの曲げ引張応力度の評価においては、クリープ係数が大きい方が安全側（曲げ引張応力度が大きい側）の評価となっているといえる。
- ・ 分割施工の場合には、打継目に近い支点の主桁下縁側でクリープ係数が小さいほうが部分的に曲げ引張応力度が大きくなるケースもあるため注意が必要である。

(4) 斜引張応力度について

- ・ (1)で示すようにクリープ係数を1/2倍・2倍に変化させても発生するせん断力の変化は少ない。そのため、各構造形式とも斜引張応力度の変動は少なく、曲げ応力度に比べ、クリープ係数の変化の影響は小さいと言える（本検討の範囲では 0.1N/mm^2 以内）。

(5) 鉛直変位について

- ・ 全ての構造形式ともクリープ係数に比例してプレストレスによるクリープたわみも大きくなり、クリープ係数が大きければ上側への反り量も大きくなる。特に自重の少ないプレキャスト桁は、上側への反り量に大きな差が生じ、クリープ係数の影響を受けやすい。
- ・ 全死荷重時のたわみ量（クリープ係数1/2倍：道示値：2倍）は、支間 $L=20\text{m}$ のプレT連結桁で（ $-23.9\text{mm} : -34.7\text{mm} : -62.6\text{mm}$ ）、支間 $L=45\text{m}$ のポスT連結桁（ $-40.1\text{mm} : -55.3\text{mm} : -95.8\text{mm}$ ）と影響が大きい。
- ・ 場所打ち桁では、自重クリープにより下側にたわみ、プレストレスクリープで上縁側に反る。その絶対値はクリープ係数に比例するが、プレストレスクリープの影響の方が大きいことから、クリープ係数が大きくなると上側に反る方向となる。

(6) 水平変位について

- ・ 全ての構造形式ともクリープ係数に比例して主桁の変位（短縮量）が大きくなる。

(7) まとめ

- 自重クリープとプレストレスクリープによる不静定力は、クリープ係数を大きくすると、その絶対値は大きくなるが、それぞれ逆符号で相殺する関係にあり、それぞれ足し合わせた場合には、クリープ係数を変化させることの影響は小さい。特に、曲げモーメントと比較し、せん断力に与える影響は小さい。
- クリープ係数が大きいほどクリープによるプレストレスの損失が大きくなり、有効プレストレスが小さくなる。一方で不静定力に対する影響は比較的小さいため、クリープ係数が大きいほど、曲げ応力度は引張側に厳しい値が算出される傾向となる。道路橋示方書のクリープ予測式は、各国の基準と比べ大きい値が算出されるため、クリープに与える不確定要素を取り込み安全側のクリープ係数を与えていると考えることができる。ただし、分割施工の場合には、クリープ係数が小さいほうが、主桁下縁側の引張応力度が部分的に大きくなる場合もあるため、注意が必要である。
- 断面剛性が低いプレキャスト桁などは、断面剛性が大きい場所打ち桁などと比較すると、クリープ係数の変化が応力度に与える影響が大きいため、一般的に用いられるコンクリートのクリープ係数と大きな違いがあると考えられる材料を用いる場合には、その材料特性を把握し感度解析等を実施するなどして安全性を確認することが望まれる。
- 鉛直変位、水平変位とも、クリープ係数に比例して変位が変化するため、クリープ係数の精度が、橋の変形に与える影響は大きいといえる。

【5章 参考文献】

- 1) 千々和伸浩, 石田哲也, 前川宏一: コンクリートの微細空隙中の水分とPC橋の長期変位, 橋梁と基礎, pp. 38~41, 2011年1月