

3章 プレストレス状態と部材性能の関係

3.1 概要

2章までの検討においても、PC道路橋の健全性の評価レベルの向上には、プレストレス導入状態を必要な精度で評価できることが重要な課題であると考えられた。

PC部材のプレストレス状態を計測するための技術については、様々な開発の取り組みが進められているものの、少なくともPC道路橋の部材の健全性を的確に評価する目的に対しては、精度上の課題や部分的な破壊などによる部材への悪影響の懸念、実施の容易性などの面で汎用性のある実用的な手法とはいえず、PC道路橋の定期的な点検において併用されるなどの活用には至っていない。

一方、非破壊検査技術をはじめ各種の計測技術は土木分野以外にも含め各方面で様々な技術開発が盛んに行われており、医療や設備管理などの分野で高度利用が実現しているものもある。これらの技術の中には道路橋のプレストレスの評価に応用可能なものもある可能性があると考えられた。

このような背景から、今後の技術の進展にも期待すると、PC道路橋の健全度評価に適用可能な計測手法等の技術開発が促進されるためには、開発目標として、被評価の側から計測技術に求める具体的な要求性能水準やニーズを明らかにして提示することも重要と考えられた。

そこで本章では、我が国で一般的なPC道路橋を対象に橋梁形式、規模をパラメーターとした試設計を行い、プレストレス導入量（応力状態）と橋および部材の性能の関係を明らかにすることで、健全性評価に必要な検査技術等に対する要求性能（異常検知や性能評価の観点からの計測精度や把握すべき工学的指標の定量的閾値）の明確化を試みた。

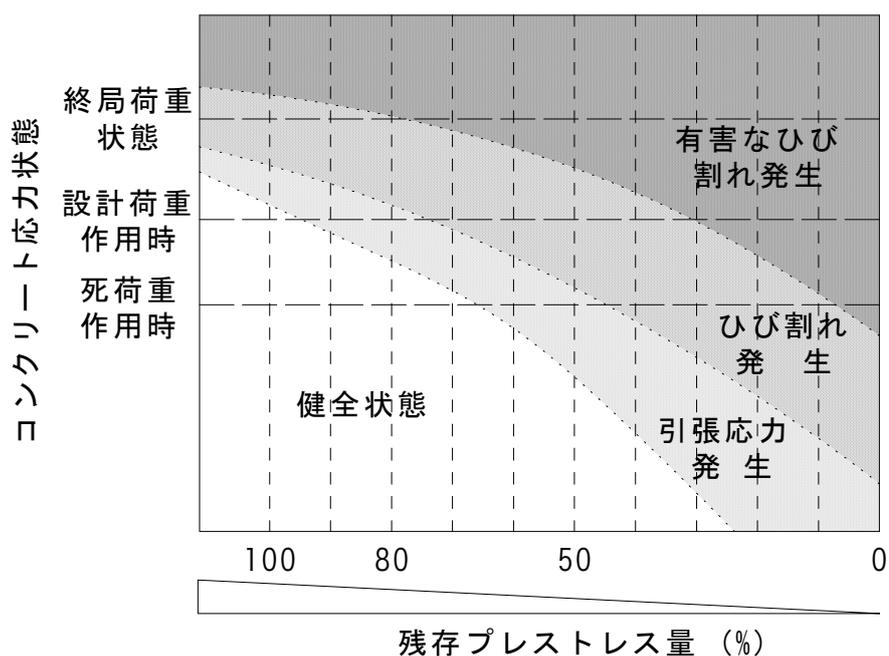
また、現在一般に行われる目視点検では着目されていない、全体的なひび割れの発生状況及びひび割れ発生時期と残存プレストレス量及び載荷荷重との関係、並びに外観目視点検によるプレストレス状態の異常検知の可能性について、載荷試験とその再現解析によって検討した。

3.2 検査技術に求められる性能水準の検討

(1) PC 道路橋の異常検知に必要な閾値の設定

図 3.2.1 に一般的な PC 道路橋の主げた部材を想定して、残存プレストレス量と構造物に生じるイベント（引張応力発生、ひび割れ発生等）の関係のイメージを示す。同じく表 3.2.1 に残存プレストレス量とひび割れとの関係の例を示す。

通常、供用中の橋梁は、図 3.2.1 の「死荷重作用時」と「設計荷重作用時」の破線の間が存在していると考えられる。例えば維持管理において、「設計荷重作用時」における「有害なひび割れ」や「ひび割れ発生」などを閾値としてそれに達する以前にプレストレス量の減少やそれによる応力状態の異常を検知できれば、実際に「ひび割れ発生」などの変状が生じていない状態で補修や補強の対策が行えることから安全性など所要の性能が損なわれることなく合理的な対応が可能となると考えられる。また検査技術に対してはその閾値に対してある程度以上の余裕が確保されているか否かの評価ができることが第一の要求性能水準となる。逆に十分な余裕が確保されている領域での残存プレストレス量の絶対値を正確に把握すること、および安全余裕を失った段階に対応する残存プレストレス量の絶対値を正確に把握することは、健全度評価の観点から有効性は低いと言える。



注) 残存プレストレス量の値は例である。

図 3.2.1 残存プレストレス量と健全性の関係のイメージ図

表 3.2.1 残存プレストレス量とひび割れとの関係

		残存プレストレス量			
		100%	70%程度	60%程度	50%程度
抵抗断面		全断面有効	ひび割れが生じることで全断面有効ではなくなる		
死荷重作用時	コンクリート縁応力度	引張応力度は発生しない		引張応力度が発生する	
	ひび割れ	発生しない			発生する
設計荷重作用時	コンクリート縁応力度	許容引張応力度以下	許容引張応力度を超える		
	ひび割れ	発生しない	許容ひび割れ幅以下	発生する	
			($w \leq 0.005C$)	($w > 0.005C$)	
終局荷重状態	曲げ破壊耐力	曲げ破壊耐力は変化しない			
	破壊モード	残存プレストレスが少なくなると脆性破壊する可能性がある			

有害なひび割れの明確な定義はないが、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編では、コンクリートの耐久性を確保するためには、コンクリート表面に生じる設計上のひび割れ幅を鋼材の腐食に対する耐久性の観点から許容ひび割れ幅以下であることを照査するのが合理的であると、ひび割れ幅を 0.2mm 程度以下となるように鉄筋応力度を規定している¹⁾。

また、2007 年制定コンクリート標準示方書[設計編] (土木学会) や、コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 2003 (日本コンクリート工学協会) では、ひび割れ幅の限界値として表 3.2.2 および表 3.2.3 のように設定している。

表 3.2.2 鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値²⁾

8.3.2 鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値			
(1) 鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値は、構造物の環境条件に応じて定めるものとする。環境条件は、一般に、表 8.3.1 に示す「一般の環境」、「腐食性環境」および「特に厳しい腐食性環境」に区分してよい。			
表 8.3.1 鋼材の腐食に対する環境条件の区分			
一般の環境	塩化物イオンが飛来しない通常の屋外の場合、土中の場合等		
腐食性環境	1. 一般の環境と比較し、乾湿の繰返しが多い場合および特に有害な物質を含む地下水位以下の土中の場合等鋼材の腐食に有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で海水中や特に厳しくない海洋環境にある場合等		
特に厳しい腐食性環境	1. 鋼材の腐食に著しく有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で干満帯や飛沫帯にある場合および激しい潮風を受ける場合等		
(2) 鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値は、環境条件、かぶりおよび鋼材の種類に応じて表 8.2.2 のように定めてよい。ただし、表 8.3.2 に適用できるかぶり c は 100 mm 以下を標準とする。			
表 8.3.2 鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値 w_a (mm)			
鋼材の種類	鋼材の腐食に対する環境条件		
	一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境
異形鉄筋・普通丸鋼	0.005c	0.004c	0.0035c
PC 鋼材	0.004c	—	—

表 3.2.3 耐久性または防水性からみた補修の要否に関するひび割れ幅の限度³⁾

表-4.1 耐久性または防水性からみた補修の要否に関するひび割れ幅の限度

区 分	環 境 ²⁾ その他の 要因 ¹⁾	耐久性からみた場合			防水性からみた場合
		きびしい	中 間	ゆるやか	—
(A) 補修を必要とする ひび割れ幅 (mm)	大	0.4以上	0.4以上	0.6以上	0.2以上
	中	0.4以上	0.6以上	0.8以上	0.2以上
	小	0.6以上	0.8以上	1.0以上	0.2以上
(B) 補修を必要としない ひび割れ幅 (mm)	大	0.1以下	0.2以下	0.2以下	0.05以下
	中	0.1以下	0.2以下	0.3以下	0.05以下
	小	0.2以下	0.3以下	0.3以下	0.05以下

注：1) その他の要因（大，中，小）とは，コンクリート構造物の耐久性および防水性に及ぼす有害の程度を示し，下記の要因を総合して定める。

ひび割れの深さ・パターン，かぶり（厚さ），コンクリート表面の塗膜の有無，材料・配（調）合，打継ぎなど

2) 主として鋼材のさびの発生条件からみた環境条件

なお、表 3.2.3 に示されているひび割れ幅の限度は

- a. ひび割れ幅と鉄筋の腐食に関する既往の研究
- b. 防水性からみた許容ひび割れ幅に関する既往の研究
- c. 諸外国の許容ひび割れ幅に関する規準・規格
- d. 許容ひび割れ幅に関するアンケート調査結果（第 1 次、第 2 次）

などをもとに定められている³⁾。

(2) 残存プレストレス量に着目した感度解析

1)概要

実績が多い PC 上部工（①プレテンション方式スラブ桁橋、②ポストテンション方式T桁橋、③場所打ち PC 中空床版橋、④場所打ち PC 箱桁橋）について、橋や部材の性能の観点からのしきい値となりうる状態と残存プレストレス量の関係を支間長をパラメーターとして感度解析を実施した。

本感度解析では表 3.2.4 に示す 5 段階の応力状態について試算を行った。

表 3.2.4 感度解析の応力状態表

LEVEL	応力度の概要	下縁側応力度制限値
LEVEL-1	標準設計基本ケース 標準設計に示すプレストレスを導入したケース	設計荷重時 $\sigma_c > -1.5\text{N/mm}^2 (\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2)$ $\sigma_c > -1.8\text{N/mm}^2 (\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2)$
LEVEL-2	設計荷重時において、下縁側に引張応力が発生するケース	設計荷重時 $\sigma_c = 0.0\text{ N/mm}^2$
LEVEL-3	設計荷重時において、下縁側が許容引張応力を超える応力状態となり、ひび割れ（許容ひび割れ幅）が発生するケース	設計荷重時 許容ひび割れ幅 $W_a = 0.005\text{ C}$
LEVEL-4	死荷重時において、下縁側に引張応力度が発生するケース	死荷重時 $\sigma_c = 0.0\text{ N/mm}^2$
LEVEL-5	死荷重時において、引張強度（ひび割れ発生応力度）に達するケース	死荷重時 $\sigma_c = \sigma_{tk}$ $\sigma_{tk} = -2.44\text{N/mm}^2 (H=0.45\text{m})$ $\sim -1.17\text{N/mm}^2 (H=2.60\text{m})$

ここに

- ・ プレストレスの損失（摩擦損失、セットロス、弾性変形損失、クリープ・乾燥収縮、レラクセーション）は同じ考え方とし、導入時のプレストレス力を変化させることで比較する。
- ・ LEVEL-1 の曲げ応力度の許容値は、道示Ⅲ 表-3.2.3 に従う。
- ・ LEVEL-3 の許容ひび割れ幅 $W_a < 0.005\text{C}$ は、一般の環境の値を使用する。
- ・ ひび割れ幅の算出式は、次式に従い算出する。

$$W = K \times \{4 \cdot C + 0.7 (C_s - \phi)\} \times (\sigma_s / E_s + \epsilon_{cs})$$

- ・ LEVEL-5 の引張強度 σ_{tk} は、寸法効果を考慮して次式に従い算出する。

$$\sigma_{tk} = K1 \times 0.23 \times \sigma_{ck}^{2/3} / \gamma_c$$

$$K1 = 0.6 / (h)^{1/3}$$

2) 試算条件

① 橋梁形式と支間長

(社)日本橋梁建設協会などの資料を参考に、代表的な橋梁形式を抽出し、それぞれに対して標準的な支間長を選定する。

主な PC 橋の形式毎の標準的な適用支間長の範囲と、本検討で用いた橋梁形式および支間長を表 3.2.5 に示す。

表 3.2.5 PC 橋の形式毎の標準的な適用支間長

	支間長					考 察
	10	20	30	40	50	
P C 橋	プレテンション単純スラブ桁橋					検討対象
	プレテンション単純T桁橋					
	ポストテンション単純T桁橋					検討対象
	単純合成桁橋 (少主桁, コンボ橋)					
	場所打ち単純中空床版橋					検討対象
	場所打ち単純箱桁橋					検討対象
	連結合成桁橋 (コンボ橋)					
	連続中空床版橋					
	連続箱桁橋 (固定支保工架設)					
	連続箱桁橋 (移動支保工架設)					
	連続箱桁橋 (押出し架設)					
	連続箱桁橋 (張出し架設)					
	連続主版桁橋					
	Tラーメン箱桁橋 (固定支保工架設)					
	Tラーメン箱桁橋 (張出し架設)					
	連続ラーメン箱桁橋 (固定支保工架設)					
	連続ラーメン箱桁橋 (張出し架設)					
	斜張橋					

試算ケースを表 3.2.6 および図 3.2.2~3.2.4 に示す。

表 3.2.6 検討ケース一覧表

ケース	主桁形状	支間長(m)	コンクリート	PC 鋼材
①	プレテンション方式 スラブ桁橋	L=10m	$\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$	1S12.7 N=21
②		L=15m		1S15.2 N=14
③		L=20m		1S15.2 N=18
④	ポストテンション方式 T 桁橋	L=20m	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	7S12.7 N=4
⑤		L=25m		7S12.7 N=5
⑥		L=30m		12S12.7 N=4
⑦		L=35m		12S12.7 N=5
⑧		L=40m		12S15.2 N=4
⑨		L=45m		12S15.2 N=5
⑩	場所打ち中空床版橋	L=20m	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	12S15.2 N=10
⑪		L=30m		12S15.2 N=16
⑫	場所打ち箱桁橋	L=40m	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	12S15.2 N=14

また、考慮する荷重を以下に示す。

- a) 主桁自重
- b) 橋面荷重
- c) 活荷重 (B 活荷重)
- d) プレストレス

検討ケースの断面形状図

JIS A 5373-2004 プレテンション方式スラブ桁橋			
	支間長	材料	標準断面図
①	10.0m	$\sigma_{ck}=50$ N/mm^2 1S12.7 $N=21$	
②	15.0m	$\sigma_{ck}=50$ N/mm^2 1S15.2 $N=14$	
③	20.0m	$\sigma_{ck}=50$ N/mm^2 1S15.2 $N=18$	

図 3.2.2 プレテンション方式スラブ桁橋の標準断面

建設省標準設計 ポストテンション方式T桁橋		
支間長	材料	断面図
④ 20.0m	$\sigma_{ck}=40$ N/mm ² 7S12.7 N=4	【支間 20m～35m】
⑤ 25.0m	$\sigma_{ck}=40$ N/mm ² 7S12.7 N=5	
⑥ 30.0m	$\sigma_{ck}=40$ N/mm ² 12S12.7 N=4	
⑦ 35.0m	$\sigma_{ck}=40$ N/mm ² 12S12.7 N=5	
⑧ 40.0m	$\sigma_{ck}=40$ N/mm ² 12S15.2 N=4	【支間 40m～45m】
⑨ 45.0m	$\sigma_{ck}=40$ N/mm ² 12S15.2 N=5	

図 3.2.3 ポストテンション方式T桁橋の標準断面

場所打ち PC 橋			
支間長	材料	標準断面図	
⑩ 20.0m	$\sigma_{ck}=40$ N/mm ² 12S15.2 N=10	<p>ポストテンション方式 PC 単純中空床版橋</p>	
⑪ 30.0m	$\sigma_{ck}=40$ N/mm ² 12S15.2 N=16	<p>ポストテンション方式 PC 単純中空床版橋</p>	
⑫ 40.0m	$\sigma_{ck}=40$ N/mm ² 12S15.2 N=14	<p>ポストテンション方式 PC 単純箱桁橋</p>	

図 3.2.4 場所打ち PC 橋標準断面

3) 試算結果

感度解析の計算結果一覧を表 3.2.7 および図 3.2.5～3.2.12 に示す。

表 3.2.7 感度解析計算 結果一覧表

形式	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
検討ケース	プレテンション方式スラブ桁		ポストテンション方式T桁橋									
桁長 (m)	10.50	15.00	20.70	20.70	25.70	30.80	35.80	40.90	45.90	20.70	30.70	40.70
支間長 (m)	10.00	15.00	20.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	20.00	30.00	40.00
桁高 (m)	0.45	0.60	0.80	1.40	1.60	1.80	2.10	2.30	2.60	1.00	1.40	2.40
使用PC鋼材	IS12.7	IS15.2	7S12.7	7S12.7	12S12.7	12S15.2	12S15.2	12S15.2	12S15.2	12S15.2	12S15.2	12S15.2
PC鋼材本数	21	14	18	4	5	4	5	4	5	10	16	14
セットロス (mm)	0	0	0	9	9	12	12	11	11	11	11	11
LEVEL-1	1250	1350	1350	1350	1390	1330	1290	1370	1310	1350	1340	1310
LEVEL-2	1279	1331	1305	1386	1449	1355	1298	1347	1289	1411	1411	1349
初期緊張力 σp (N/mm ²)	656	902	961	996	1137	1073	1063	1136	1103	1110	1081	1113
LEVEL-3	571	700	700	770	828	816	837	816	837	1070	1122	1092
LEVEL-4	449	489	622	661	730	721	737	767	721	875	971	962
LEVEL-5	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
緊張力比率 ①に対して	102.3%	98.6%	96.7%	102.6%	104.2%	101.9%	100.6%	98.3%	98.4%	104.5%	104.5%	103.0%
LEVEL-2	52.5%	66.8%	71.2%	73.8%	81.8%	80.7%	82.4%	82.9%	84.2%	66.1%	73.6%	75.6%
LEVEL-3	45.7%	51.9%	51.9%	57.0%	59.6%	61.3%	62.8%	61.1%	62.3%	79.4%	83.9%	83.4%
LEVEL-4	35.9%	36.2%	46.1%	49.0%	52.5%	54.2%	57.1%	56.0%	55.0%	65.0%	72.6%	73.4%
LEVEL-5	6.73	6.82	6.20	7.70	7.91	8.43	8.15	8.86	8.33	2.30	2.07	1.83
死荷重時 下縁応力度 σcl (N/mm ²)	7.02	6.62	5.69	8.15	8.75	8.86	8.29	8.40	7.89	2.76	2.50	2.21
LEVEL-1	2.51	2.12	1.81	3.22	4.29	4.02	3.94	4.24	3.91	-1.12	-1.35	-1.27
LEVEL-2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LEVEL-3	-2.44	-2.22	-2.02	-1.44	-1.38	-1.33	-1.26	-1.22	-1.17	-1.61	-1.44	-1.21
LEVEL-4	-0.28	0.20	0.51	-0.45	-0.84	-0.43	-0.14	0.46	0.44	-0.46	-0.43	-0.38
LEVEL-5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
設計荷重時 下縁応力度 σcl (N/mm ²)	-4.50	-4.51	-3.88	-4.93	-4.46	-4.84	-4.35	-4.16	-3.98	-3.88	-3.85	-3.48
LEVEL-1	-7.01	-6.63	-6.70	-8.15	-8.75	-8.86	-8.29	-8.40	-7.89	-8.40	-8.40	-8.21
LEVEL-2	-9.45	-8.84	-7.72	-9.59	-10.13	-10.19	-9.55	-9.82	-9.02	-4.37	-3.94	-3.42
LEVEL-3	IS12.7 N=21	IS15.2 N=14	IS15.2 N=18	D19 N=3	D19 N=3	D19 N=3	D19 N=3	D19 N=3	D19 N=3	D16 N=61	D16 N=61	D16 N=47
LEVEL-4	40mm	40mm	40mm	48mm	48mm	48mm	48mm	48mm	48mm	48mm	48mm	48mm
LEVEL-5	61.25mm	61.25mm	61.25mm	114mm	114mm	114mm	114mm	114mm	114mm	125mm	125mm	125mm
鋼材間隔	LEVEL-1	LEVEL-2	LEVEL-3	LEVEL-4	LEVEL-5	許容値	標準設計に示すプレストレスを導入したケース(標準設計基本ケース)	設計荷重時において、下縁側に引張応力度が発生するケース($\sigma cl=0.0N/mm^2$)	設計荷重時において、下縁側に許容引張応力度を超える応力状態となり、ひび割れ(許容ひび割れ幅)が発生するケース(設計時 $W_a=0.005C$)	死荷重時において、下縁側に引張応力度が発生するケース($\sigma cl=0.0N/mm^2$)	死荷重時において、引張強度(ひび割れ発生応力度)に達するケース($\sigma cl=\sigma tk=-2.44\sim-1.21N/mm^2$)	コジック体数値は、制限値を超えているケースを示す。
設計荷重時 引張ひび割れ幅 W (cm)	0.020	0.020	0.020	0.024	0.024	0.044	0.047	0.055	0.051	0.046	0.053	0.055
LEVEL-1	0.043	0.039	0.039	0.040	0.047	0.044	0.046	0.049	0.048	0.017	0.016	0.015
LEVEL-2	0.069	0.062	0.065	0.047	0.055	0.051	0.053	0.056	0.055	0.027	0.025	0.024
LEVEL-3	0.043	0.039	0.039	0.040	0.047	0.044	0.046	0.049	0.048	0.017	0.016	0.015
LEVEL-4	0.069	0.062	0.065	0.047	0.055	0.051	0.053	0.056	0.055	0.027	0.025	0.024
LEVEL-5	0.043	0.039	0.039	0.040	0.047	0.044	0.046	0.049	0.048	0.017	0.016	0.015
許容値	0.069	0.062	0.065	0.047	0.055	0.051	0.053	0.056	0.055	0.027	0.025	0.024

標準設計に示すプレストレスを導入したケース(標準設計基本ケース)
 設計荷重時において、下縁側に引張応力度が発生するケース($\sigma cl=0.0N/mm^2$)
 設計荷重時において、下縁側に許容引張応力度を超える応力状態となり、ひび割れ(許容ひび割れ幅)が発生するケース(設計時 $W_a=0.005C$)
 死荷重時において、下縁側に引張応力度が発生するケース($\sigma cl=0.0N/mm^2$)
 死荷重時において、引張強度(ひび割れ発生応力度)に達するケース($\sigma cl=\sigma tk=-2.44\sim-1.21N/mm^2$)
 コジック体数値は、制限値を超えているケースを示す。

①部材の状態と導入緊張量の関係

4種類の橋梁形式毎に、各状態レベル（LEVEL1～5）に応じて必要となる初期緊張力と支間長の間を関係を図3.2.5～3.2.8に示す。

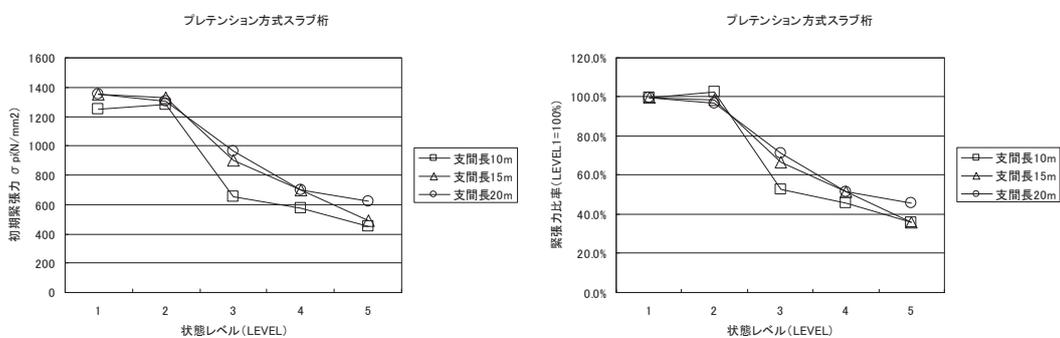
同じ橋梁形式では支間長による初期緊張力の差は小さい。

各ケースで、状態レベル1, 2はほぼ同じ初期緊張力であるのに対し、状態レベル3～5ではいずれも初期緊張力が状態レベル1, 2に対して大きく乖離（ほぼ20%以上の低下）する結果となった。ここでは状態レベル1の初期緊張力に対する各状態レベルに対応する初期緊張力の割合を「緊張力比率（%）」と称している。

状態レベル3は設計活荷重時に桁下縁でひびわれが発生する可能性が高い状態であるが、道路橋の場合通常は設計活荷重の載荷頻度が大きくないことを考えると、死荷重で桁下縁に引張応力が発生する状態である状態レベル4に至るまでに余裕がある段階であるといえる。よって、状態レベル3に近い緊張力状態であることが検知できれば、実際には桁にひびわれが生じていないか、少なくとも顕著なひびわれがなく補修や補強が容易かつ予防的に実施できる段階において、プレストレス状態の異常を検知できるものと考えられる。

一方、状態レベル3～5では、それらに対応する緊張力の差はそれ程大きくならず、設計活荷重時にひび割れが発生する可能性があるレベルにまで緊張力が低下した場合には、設計活荷重以下の載荷であってもひび割れが発生する可能性がある。また、健全度の評価として状態レベル3に対応する緊張力以下まで緊張力が低下した場合には、耐荷力の見極めの観点では重要であるものの、予防的な補修・補強を行うかどうかを判断するための厳密な緊張力低下量の推定は、必要性が低いと考えられる。

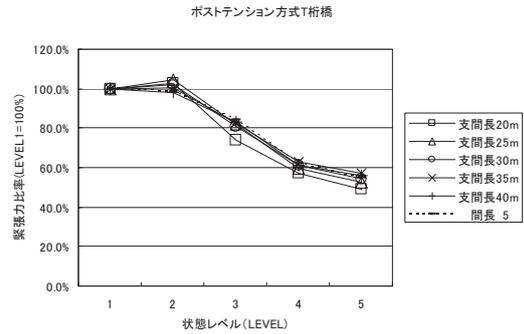
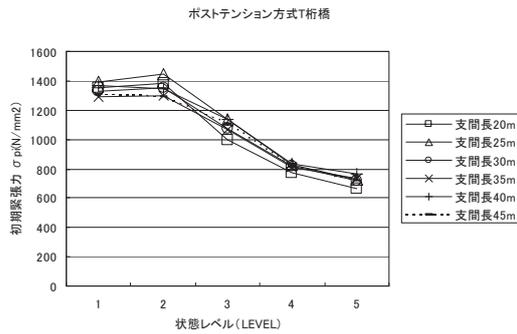
これらから、今回試算を行った一般的なPC道路橋の場合、維持管理の段階でのプレストレス力の異常検知技術に対する要求性能は、初期導入力の20%程度以上の低下の有無のみが検知できればよく、それ以下の低下の検知能力や数%単位での精度の高い減少量の検知能力は必須ではないものと考えられる。



(a)状態レベルと初期緊張力の関係

(b)状態レベルと緊張力比率

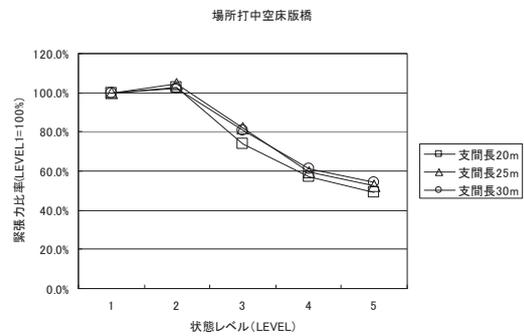
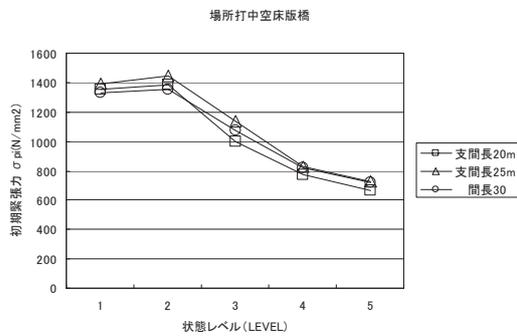
図 3.2.5 状態レベルと緊張力の試算結果（プレテンション方式スラブ桁橋）



(a) 状態レベルと初期緊張力の関係

(b) 状態レベルと緊張力比率

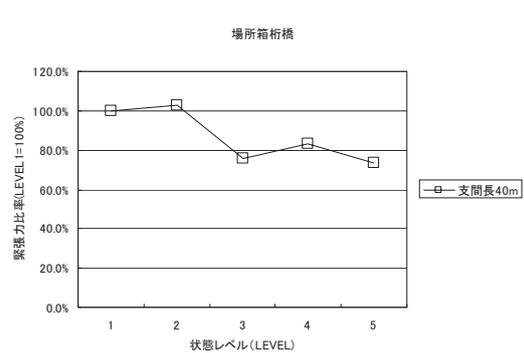
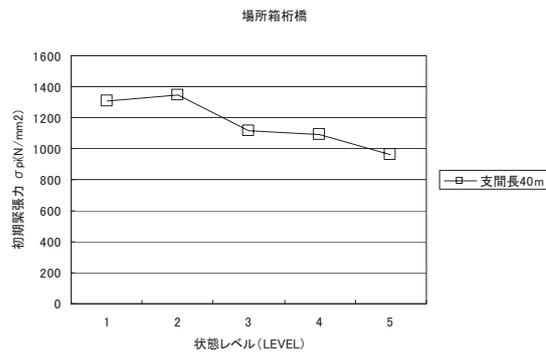
図 3. 2. 6 状態レベルと緊張力の試算結果 (ポストテンション方式 T 桁橋)



(a) 状態レベルと初期緊張力の関係

(b) 状態レベルと緊張力比率

図 3. 2. 7 状態レベルと緊張力の試算結果 (場所打ち中空床版橋)



(a) 状態レベルと初期緊張力の関係

(b) 状態レベルと緊張力比率

図 3. 2. 8 状態レベルと緊張力の試算結果 (場所打ち箱桁橋)

②部材の状態と発生応力度の関係

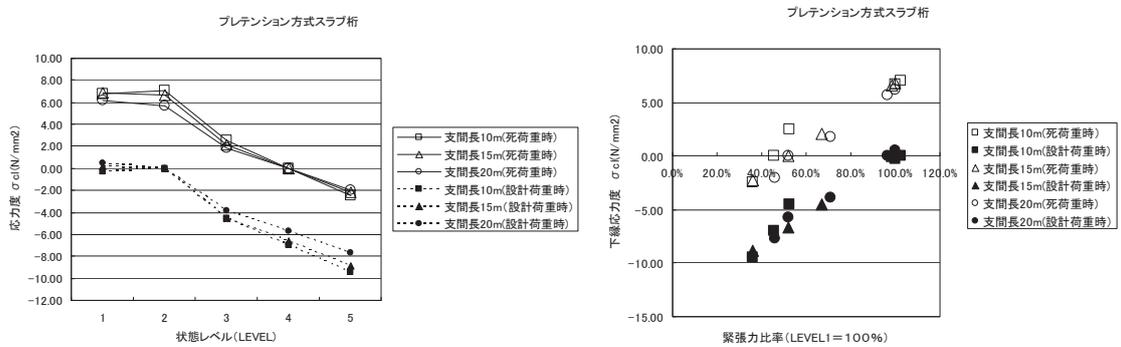
各状態レベル (LEVEL1~5) における死荷重状態と設計活荷重状態の桁下縁の応力度の関係を図 3.2.9~3.2.12 に示す。

各橋梁形式とも、支間長による状態レベルと桁下縁応力度の大きさの差は小さい。

各ケースで、当然であるが状態レベルが異なっても桁下縁応力度の死荷重時と設計活荷重時の差は一定となっており、載荷試験などによる載荷荷重の差による発生応力度の差分では緊張力の低下などプレストレスの異常を検知することは困難であることが明らかである。

一方、緊張力比率と桁下縁応力の関係からは、いずれのケースにおいても支間長にかかわらず、緊張力比率が 80% までは死荷重状態では桁下縁の応力はひび割れ発生にはある程度余裕が確保されており、60% 程度になると死荷重状態でもひびわれが発生する危険性の高い水準となっていることがわかる。逆にこれらの橋梁形式で死荷重状態において明確な曲げひびわれが発生している場合には 20~40% 程度プレストレスが減少している可能性が高いものと推定できる。

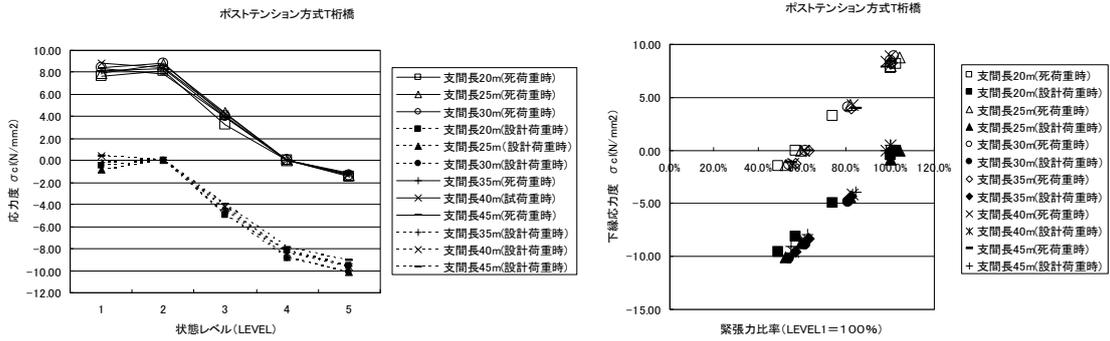
また、状態レベル 1 と有害なひび割れが発生するレベル 3 の発生応力度の差は、死荷重時、設計活荷重時ともに概ね 4N/mm^2 程度となっている (表 3.2.8 参照)。そのため初期状態からの応力変化が 4N/mm^2 程度あることが確認できればひび割れ発生の危険性の高い段階までプレストレスが低下していることが評価できる。



(a) 状態レベルと応力度の関係

(b) 緊張力比率と下縁応力度の関係

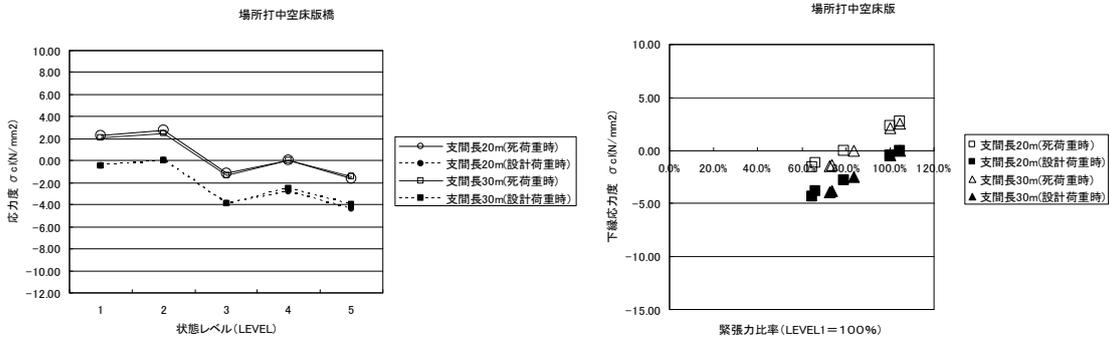
図 3.2.9 状態レベルと応力度の試算結果 (プレテンション方式スラブ桁)



(a) 状態レベルと応力度の関係

(b) 緊張力比率と下縁応力度の関係

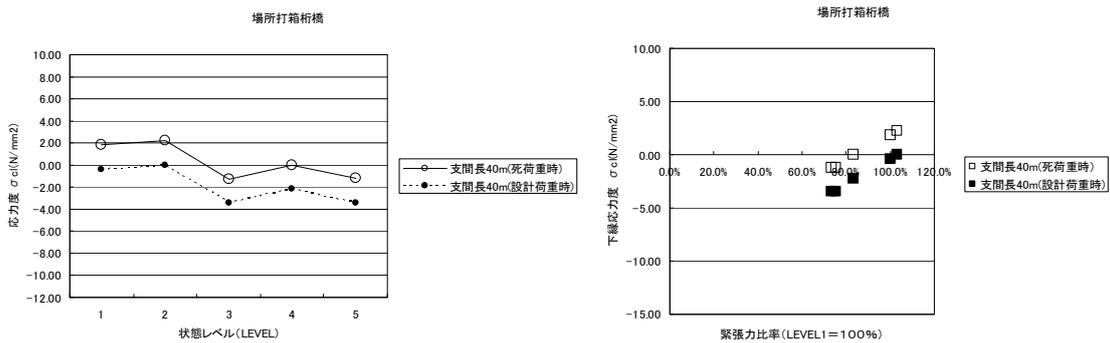
図 3.2.10 状態レベルと応力度の試算結果 (ポストテンション方式T桁橋)



(a) 状態レベルと応力度の関係

(b) 緊張力比率と下縁応力度の関係

図 3.2.11 状態レベルと応力度の試算結果 (場所打中空床版橋)



(a) 状態レベルと応力度の関係

(b) 緊張力比率と下縁応力度の関係

図 3.2.12 状態レベルと応力度の試算結果 (場所打箱桁橋)

表 3.2.8 プレストレス減少量を把握するコンクリート応力度

	支間 長 (m)	死荷重時下縁応力度 (N/mm ²)			平均値(N/mm ²)	
		LEVEL-1	LEVEL-3	減少量	構造別	全体
プレテンション方式スラブ 桁橋	10.0	6.7	2.5	4.2	4.4	4.1
	15.0	6.8	2.1	4.7		
	20.0	6.2	1.8	4.4		
ポストテンション方式T桁橋	20.0	7.7	3.2	4.5	4.3	
	25.0	7.9	4.3	3.6		
	30.0	8.4	4.0	4.4		
	35.0	8.2	3.9	4.2		
	40.0	8.9	4.2	4.6		
	45.0	8.3	3.9	4.4		
場所打中空床 版橋	20.0	2.3	-1.1	3.4	3.3	
	30.0	2.1	-1.3	3.4		
場所打箱桁橋	40.0	1.8	-1.3	3.1		

③部材の状態とひび割れ幅の関係

各状態レベル 3～5 における設計活荷重状態の桁下縁のひび割れ幅算出結果を図 3.2.13 に示す。

同じ状態レベルであっても橋梁形式によってひび割れ幅の値にはばらつきがみられるものの、橋梁形式毎には支間長の相違によらず同じ設計手法による場合には状態レベルに応じて概ね同程度のひび割れ幅となっている。

そのことから、同じ設計基準等の設計手法による場合には橋梁形式毎に代表的な橋梁について状態レベル毎のひび割れ幅を予め求めておくことで、既設橋のひび割れから状態レベルがある程度推定可能となる可能性がある。ただし現在のところ計算で算出されるひび割れ幅と実際の橋に生じるひび割れ幅や実際にひび割れが発生する確実性については知見が十分でなくこれらの解決が前提である。

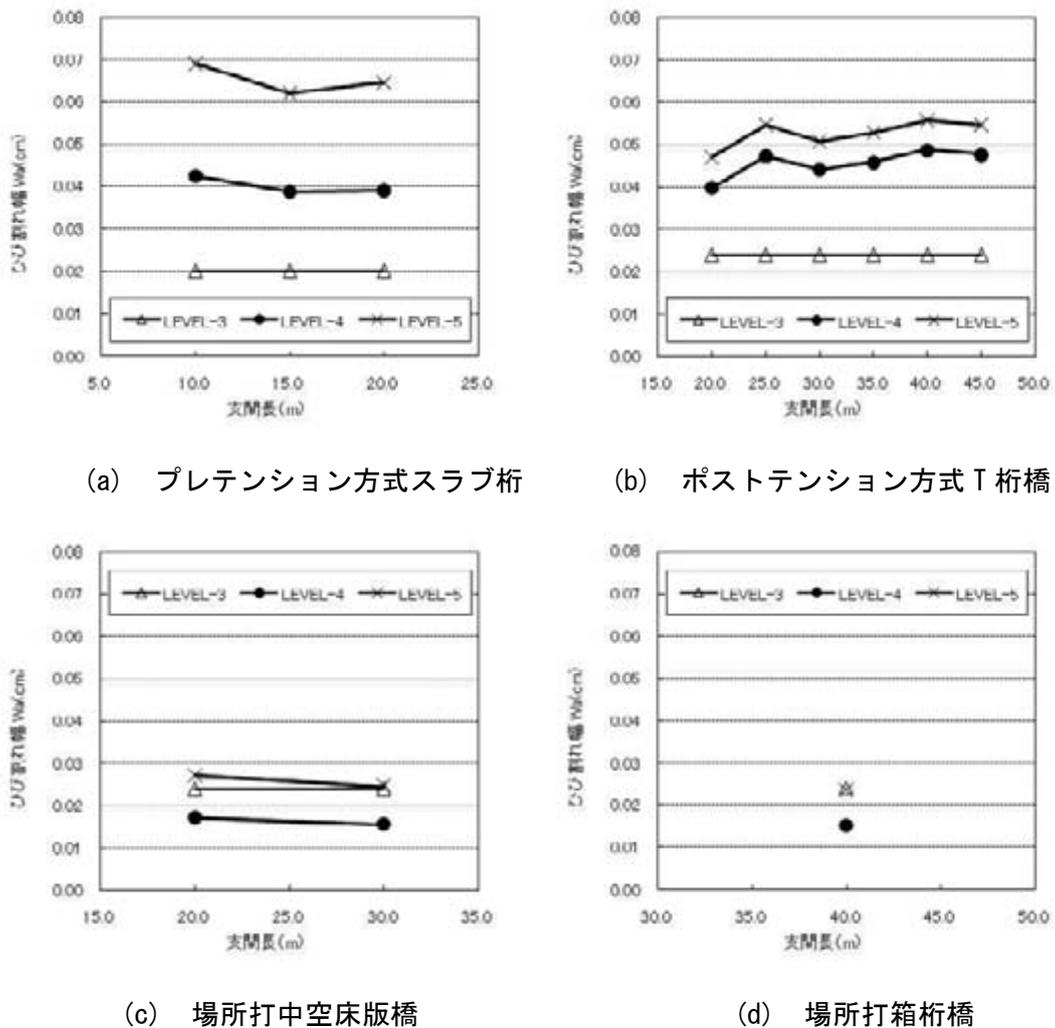


図 3.2.13 設計活荷重によるひび割れ幅算出結果

(3) まとめ

今回試算を行った一般的な PC 道路橋の場合、維持管理の段階でのプレストレス力の異常検知技術に対する要求性能は、初期導入力の 20%程度以上の低下の有無が検知できることのみであり、それ以下の低下の検知能力や数%単位での精度の高い減少量の検知能力は必須ではないものと考えられる。

残存プレストレスが 80%までは死荷重状態では桁下縁の応力はひび割れ発生にはある程度余裕が確保されるが、60%程度になると死荷重状態でもひびわれが発生する危険性の高い水準となっている可能性が高い。逆にこれらの橋梁形式で死荷重状態において明確な曲げひびわれが確認される場合や、そのひび割れが閉じていても、軽微な荷重によってひび割れが開き始めるような場合には 20%~40%程度のプレストレス減少が生じている可能性がある。また、同じ荷重状態に対して初期状態からの桁下縁の応力変化が 4N/mm^2 程度生じると、ひび割れ発生の危険性の高い段階までプレストレスが低下している可能性が高い。

同じ設計基準等の設計手法による場合には橋梁形式毎に代表的な橋梁について状態レベル毎のひびわれ幅やひび割れ発生荷重を予め求めておくことで、既設橋のひび割れ幅や載荷試験によってひび割れ発生荷重を実測するなどにより状態レベル（残存プレストレス量）がある程度推定できる可能性がある（図 3.2.14）。ただし現在のところ計算で算出されるひび割れ幅と実際の橋に生じるひびわれ幅や実際にひびわれが発生する確実性については知見が十分でない。また載荷試験によってひび割れを新たに生じさせることは橋梁の健全性に悪影響を与えることになるため供用中橋梁へは適用上の問題があると考えられる。

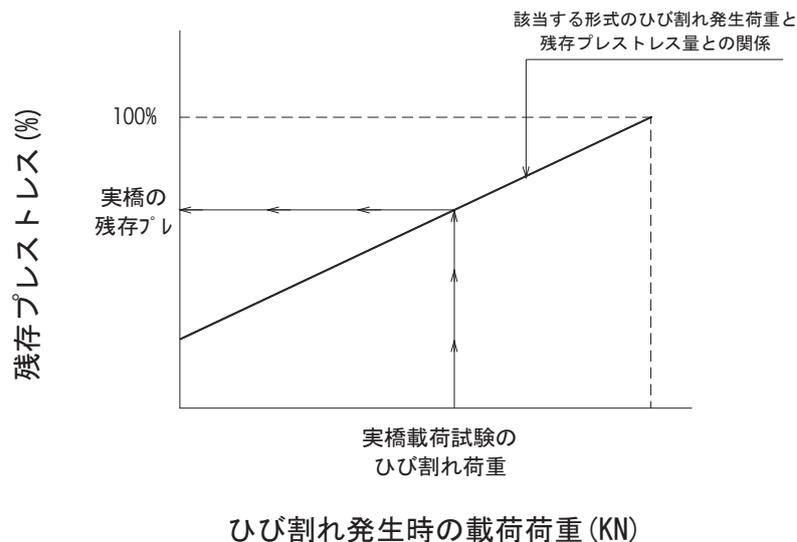


図 3.2.14 ひび割れ発生時の載荷荷重と残存プレストレスの関係のイメージ図

【3章 参考文献】

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編 平成14年3月
- 2) 土木学会：2007年制定 コンクリート標準示方書 設計編
- 3) (社)日本コンクリート工学協会 コンクリートのひび割れ調査,補修・補強指針-2003-