モニタリングを用いたPC橋の曲げひび割れ発生に関する信頼性評価

三井住友建設(株)　正会員　○玉置　一清
神戸大学大学院　殿井　杏梨
神戸大学大学院　正会員　森川　英典

1．はじめに

プレストレストコンクリート橋(以下，PC 橋)は，活荷重載荷時において曲げひび割れが発生しないようプレストレスが導入されており，死荷重時において曲げひび割れが発生することは通常考えられない．万一，PC グラウトの充填不良部に劣化因子が侵入し，PC 鋼材に腐食が生じた場合，PC 橋のプレストレス及び曲げ耐荷力は大きく低下するものの，一般的な試算では，プレストレスが 50%程度低下するまで，死荷重時に曲げひび割れが発生することはなく，目視点検において，この劣化現象の初期段階を捉えることは困難であると考えられる．一方，道路橋示方書で規定されるB活荷重は，事故渋滞等により橋梁上に大型車が満載された状態を想定したものである．**図-1** に，支間 30m の単純桁橋上に大型車が渋滞したイメージを示す．上下線で 6 台が限界で，B活荷重と同じモーメントとなるためには，1 台の車両重量は 72t と試算され，この状態が発生することはまず考えられない想定である．そこで，本研究は，実橋において実際の活荷重により発生する曲げひずみをモニタリングし，残存プレストレスの評価から，対象橋梁に活荷重載荷時に曲げひび割れが発生する確率の信頼性評価を試みたものである．

図-1　重車両が満載されたイメージ

2．モニタリングシステムと実橋検証データ

図-2 にモニタリングシステムのイメージを示す．実橋検証の詳細は既報[1)]によるものとし割愛するが，長期計測を行うため，FBG 方式の光ファイバひずみセンサを採用している．測定は年 1 回の頻度で 24 時間連続 100Hz サンプリングを行っている．実橋検証は，日本海側のM橋および瀬戸海沿岸のS橋で，いずれも PC 単純T桁である．一例として，S 橋における無載荷時のひずみ(≒静ひずみ)の経時変化を**図-3** に，100Hz の動ひずみ測定例を**図-4** に示す．

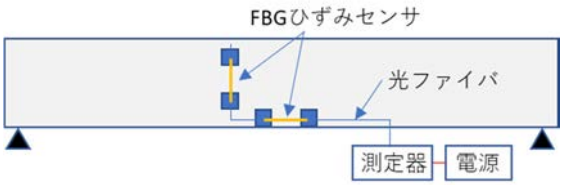

図-2　モニタリングのイメージ

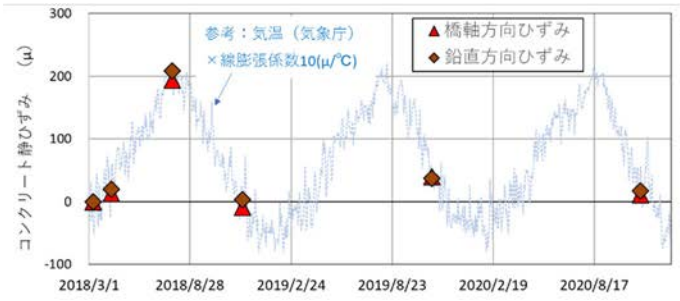

図-3　静ひずみの経時変化（S 橋）

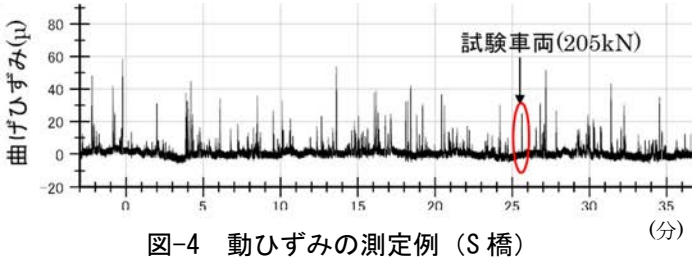

図-4　動ひずみの測定例（S 橋）

3．活荷重による曲げひずみ実測値(Weigh in motion)

24 時間連続の 100Hz 動ひずみからピーク抽出した車両通過時の曲げひずみの頻度(台数)分布を**図-5** に示す．両橋の復元設計よりB活荷重による曲げひずみは 200μ程度と計算されたが(**表-3** 参照)，実測最大値はその半分以下であることがわかった．S橋では，3 か年計測を実施したが，この分布傾向にほとんど変化は生じていない．

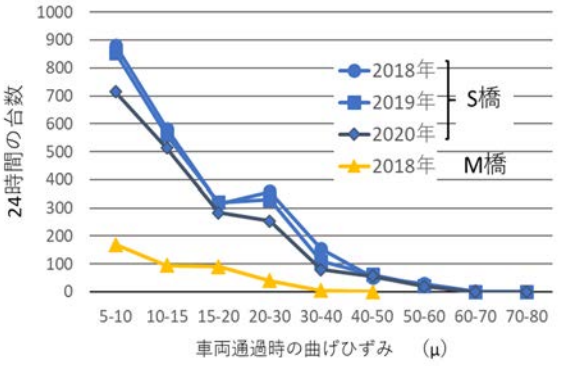

図-5　車両通過時の曲げひずみ頻度分布

キーワード　モニタリング，Weigh in motion，残存プレストレス，曲げひび割れ，信頼性評価
連絡先　〒104-0051　東京都中央区佃２丁目１番６号　三井住友建設(株)土木技術部　TEL 050-3137-3285

© Japan Society of Civil Engineers

4．残存プレストレスの評価

図-3 の静ひずみに変化がない(＝線膨張ひずみに一致する)ことから，モニタリング期間中，残存プレストレスの低下は全く生じていないことは評価できる．しかし，残存プレストレスの絶対量は把握することはできない．現在の調査技術では，残存プレストレス量の把握は微破壊手法によるほかなく，プレストレス低下の可能性が低い橋梁では極力実施を避けたいと判断される．そこで，残存プレストレス調査を実施しないで，ひび割れ発生確率の信頼性評価をするため，PC 橋の損傷事例分析[2)]およびモニタリング結果から残存プレストレスの確率を下式により仮定した．

①残存プレストレスの平均値 ＝ $\{(1-\alpha 1\times\alpha 2)-\Delta\varepsilon d/(1-\alpha 1\times\alpha 2)\varepsilon pe\}\times$有効プレストレス

ここで，　有効プレストレス　:設計計算書もしくは，PC 鋼材配置図から復元設計を実施

$\alpha 1$:PC グラウト不良を考慮した係数(**表-1**)，$\alpha 2$:環境条件等から腐食しやすさを考慮した係数(**表-2**)

$\Delta\varepsilon d$　:モニタリングによる静ひずみの変化，εpe:有効プレストレスによるひずみ

②残存プレストレスの分散　①残存プレストレスの平均値－死荷重ひずみ　を 2σ とする

表-1　PC グラウト不良を考慮した係数

使用鋼材	施工年	$\alpha 1$
PC鋼より線	1989年以前	0.3
PC鋼線	1990年以降	0.1
PC鋼棒	すべて	0.3

表-2　環境条件等と腐食しやすさの関係

架橋地点	橋面防水(建設当初)	上縁定着	PC鋼材が腐食している確率	$\alpha 2$【暫定】
積雪地域	無	有	高	1.0
		無	中	0.5
	有	有		
		無		
非積雪地域	無	有	低	0.2
		無		
	有	有		
		無		
海岸から100m以内	すべて	すべて	高	1.0

5．曲げひび割れ発生の信頼性評価

活荷重ひずみ実測値を**表-3**に示す3段階に分け，曲げひび割れ発生をモンテカルロシミュレーションした結果を**図-6**に示す．PC グラウト不良が存在する確率が高い 1989 年以前の PC 橋では，B 活荷重時にひび割れが生じる確率は β =0 前後(確率 50%)となるが，実際の活荷重では、β は 1 以上(確率 10%以下)であると評価される．

表-3　曲げひび割れ発生シミュレーションの条件

	(着色部は、モニタリング実測値)		M橋	S橋
橋梁諸元	建設年		1978年	1962年
	架橋地点		積雪地域	非積雪地域
	橋面防水　(建設当初⇒現在)		無⇒有	無⇒有
構造	支間	単純T桁	28.2m	26m
	桁高		1.5m	1.4m
	PC鋼材(上縁定着有)		**12φ8×8本**	12φ7×8本
抵抗側	静ひずみの変化(=プレストレスの減少)	Δεd モニタリング開始時～	0μ	0μ
	有効プレストレス	(復元設計)	**870μ**	668μ
作用側	死荷重ひずみ		480μ	462μ
	B活荷重ひずみ		210μ	205μ
	活荷重ひずみ実測値	**第1段階** 24時間の最大ひずみ	50μ	80μ
		第2段階 上位100台の最小値	20μ	40μ
		第3段階 死荷重時	0μ	0μ

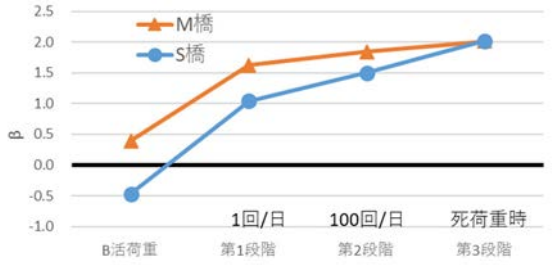

図-6　車両通過時に曲げひずみが生じる確率

6．まとめ

(1)動ひずみを測定するモニタリングシステムにより，実際の活荷重による曲げひずみを把握することができる．地域，路線により大きく異なるが，その最大値は B 活荷重の半分以下程度であった．

(2)微破壊調査を実施しない場合の残存プレストレス量を PC 橋の損傷分析から仮定し，実際の活荷重に対してシミュレーションを実施した結果，曲げひび割れが発生する確率は 10%程度以下と評価される．

参考文献

1)玉置，湯浅，森川，殿井，高橋:重交通下における既設 PC 単純桁の動的挙動に関する一考察，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 18 巻，2018 年

2)青木:プレストレスコンクリート橋における PC 鋼材破断とその調査および性能評価に関する研究，埼玉大学学位論文，2016 年

© Japan Society of Civil Engineers