

健全性評価のためのPCT桁橋を対象としたひずみ計測方法に関する検討

東電設計(株)	修(工)	○小林 賢司
東京理科大学	正会員 博(工)	加藤 佳孝
飛島建設(株)	学(工)	石塚 健一
(株)高速道路総合技術研究所	正会員 修(工)	村西 信哉

キーワード：PCT桁，ひずみ計測，見かけの中立軸，実橋

1. はじめに

本報告では、供用開始後40年以上経過したPC道路橋を対象に、主桁の健全性を監視するためのひずみの計測方法について検討した。本検討における健全性の監視は、目視により確認可能な変状の有無にかかわらず、何らかの理由により耐荷力が低下した構造物の挙動の変化を捉えることに主眼を置いている。そのため、主桁の変形挙動を評価する観点から載荷荷重に対する応答ひずみの計測を試みた。

ひずみの計測は、曲げモーメントが最大となる耳桁の支間中央が望ましいが、ひび割れや剥落などによりその箇所での計測が困難な場合も想定される。加えて主桁のひずみに対して壁高欄が影響することも想定される。そこで、対象橋において試験車走行時のひずみの計測から、壁高欄の影響および耳桁と中桁、それぞれの支間中央とPC鋼材曲げ上げ開始点付近のひずみについて検討した。また、得られたひずみ計測結果に基づくPC鋼材残存緊張力の監視手法についても考察した。さらに、車線を変えて試験車を走行させることにより、走行位置による測定値のばらつきを確認した。

2. 計測概要

計測対象の橋梁を写真-1に、主桁の側面図および断面図を図-1、図-2に示す。対象橋は、桁高1.4m、支間長20mの6本の主桁(T型断面)で構成されている。両端の耳桁には壁高欄が設置されており、中央分離帯を境に片側2車線の道路橋となっている。計測径間は、目視により変状が見られない比較的健全な径間を選定した。

表-1に計測概要を示す。計測断面の違いによる影響を把握するために、「G1桁の支間中央」，「G1桁の側方(横桁近



写真-1 計測対象の橋梁



図-1 側面図

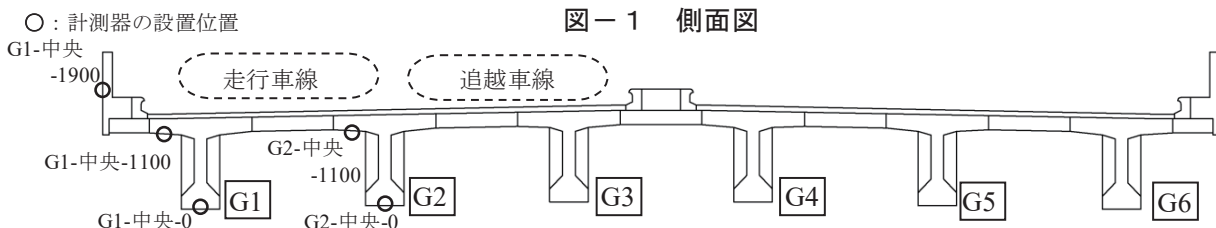


図-2 断面図(支間中央)

傍)」、 「G2桁の支間中央」の3断面を対象とした(図-1参照)。また、計測器の設置は桁の圧縮側(上フランジ下面)および引張側(桁下面)の2点を基本とし、G1桁の支間中央に対しては図-2のように壁高欄も計測することで、主桁の応答に対する壁高欄の影響を調査した。計測器は、長さ60mmのコンクリート用ひずみゲージと評点距離0.7mの光ファイバ(支間中央のみ)を用いた。

載荷荷重として、20tラフタークレーン1台(前輪軸重:100kN,後輪軸重:100kN)を走行車線および追越車線に対してそれぞれ2回ずつ走行させ、走行位置の違いによる計測結果のばらつきを確認した。

表-1 計測概要

桁 No	断面	計測器		計測器の設置箇所
		f ^{※1}	g ^{※1}	
G1	中央	○	○	壁高欄(1900) ^{※2} 圧縮側(1100) ^{※2} 引張側(0) ^{※2}
	側方	—	○	圧縮側(1100) ^{※2} 引張側(0) ^{※2}
G2	中央	○	○	

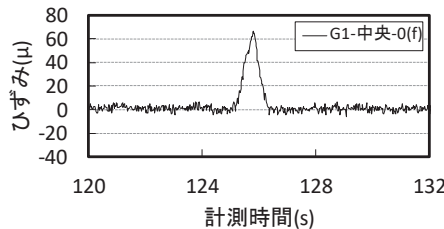
※1 f: 光ファイバ, g: ひずみゲージ

※2 ()内の数値は桁下面からの高さ(mm)を示す

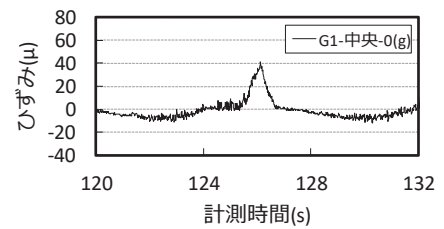
3. 計測結果

3.1 計測器の比較

図-3に光ファイバとひずみゲージによる引張側の計測ひずみ(G1桁の支間中央)を示す。符号は正が引張ひずみ、負が圧縮ひずみ



(a) 光ファイバ



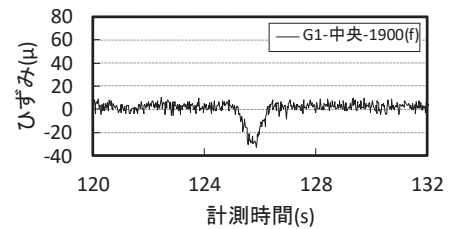
(b) ひずみゲージ

図-3 引張側の計測ひずみ

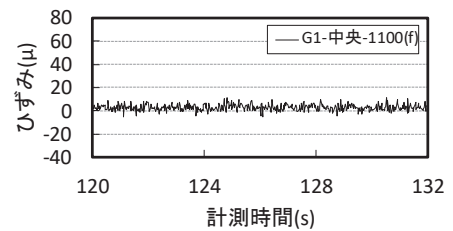
両者とも125s付近で試験車の走行によるひずみが計測されているが、ひずみゲージの結果は絶対値が20μ程度小さい。この理由として、ひずみゲージの計測では200Hz以上をカットするようフィルタをかけており、ひずみのピーク値を計測できなかった可能性が考えられる。そのため本報告では、光ファイバの計測結果を基本として議論するが、G1桁の支間中央と側方との比較に対してはひずみゲージの結果を用いる(表-1参照)。

3.2 壁高欄の影響

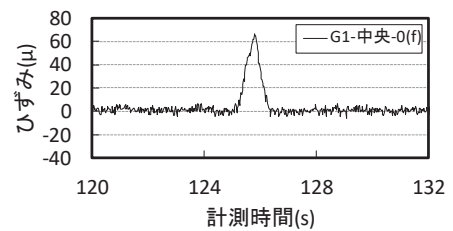
3.4節で後述するように、本検討では荷重に対して桁の圧縮側と引張側におけるひずみの計測を目的としている。引張側の計測位置は、ひずみが最大となる桁下面が適当と考えられるが、圧縮側の計測位置については、壁高欄の影響を考慮して設定する必要がある。そこで、壁高欄を含めた場合の荷重に対する主桁のひずみを調査した。G1桁の支間中央における壁高欄、圧縮側および引張側のひずみの時刻歴を図-4に示す。同図より、試験車が通過した125s付近において、壁高欄で30μ程度、引張側で60μ程度のひずみが計測されている。圧縮側ではひずみの変化がほぼ見られない理由として、



(a) 壁高欄



(b) 圧縮側



(c) 引張側

図-4 G1桁支間中央のひずみ

主桁と壁高欄を一体として図心高さを算出すると桁下面から約1100 mmの位置となり、今回の圧縮側の計測位置が図心高さ近傍であったためであると予想される。また、G1桁の支間中央における試験車通過時の最大ひずみ分布を図-5に示す。計測された3点のひずみは、概ね直線上に分布している。これより、主桁と壁高欄は一体となり載荷荷重に対して抵抗していることが分かる。

3.3 計測位置の影響

計測位置の影響は、引張側のひずみの計測結果から検討する。光ファイバにより計測した、G1桁およびG2桁の支間中央における引張側の計測ひずみの時刻歴を図-6に示す。同図は、試験車が走行車線を通じたケースの計測結果である。G2桁のひずみは、G1桁よりも20 μ 程度小さいものの、試験車の走行に対してG1桁と同様にひずみが計測されている。また、ひずみゲージにより計測した、G1桁の支間中央および側方における引張側のひずみの時刻歴を図-7に示す。同図より、断面の違いによりひずみのピーク発生時刻が異なるが、側方のひずみは試験車の走行に対して支間中央と同様に計測されていることが分かる。以上のことから、中桁の支間中央および耳桁の側方部においても、耳桁の支間中央と同様にひずみを計測することが可能であると考えられる。

3.4 見かけの中立軸高さによる健全性評価

主桁の健全性を支配する要因の一つとして、PC鋼材の残存緊張力が挙げられる。本研究では、中立軸高さに着目し、PC鋼材の残存緊張力を監視するための手法について検討する。ここでの中立軸高さとは、圧縮側と引張側のひずみの計測から得られるひずみ分布において、ひずみがゼロとなる見かけ上の中立軸高さである。

ある残存緊張力状態において計測器を設置し荷重に対するひずみを計測した場合、主桁は弾性体であると仮定すると、荷重作用時の見かけの中立軸高さは荷重の大きさによらず一定となり、桁の断面図心に一致する。その後、継続して計測する中で緊張力の低下が生じると、死荷重状態においてプレストレスの低下に伴うひずみの変化が計測され、見かけの中立軸高さが断面図心と異なるようになる。この状態では、荷重の増加に伴って見かけの中立軸高さは断面図心に漸近する。したがって、荷重の増加に伴う見かけの中立軸高さの変化を捉えることにより、PC鋼材の残存緊張力の変化を監視できる可能性があると考えられる。

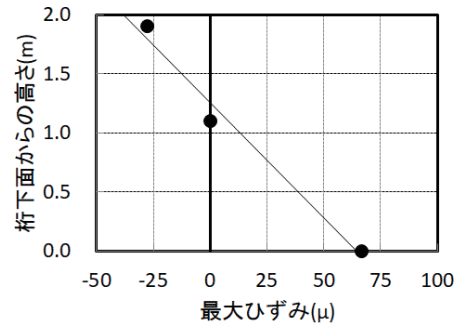


図-5 最大ひずみ分布

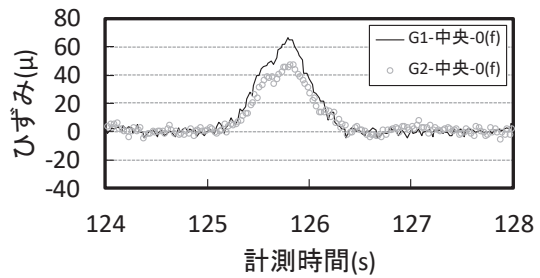


図-6 桁の違いによる比較

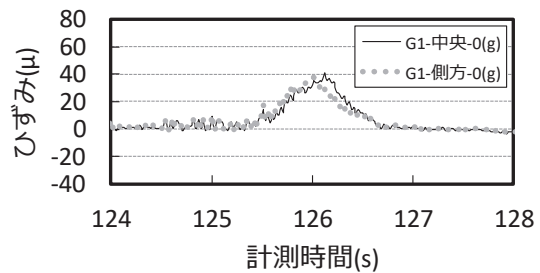


図-7 断面位置の違いによる比較

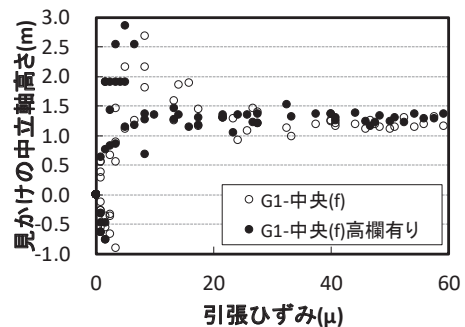
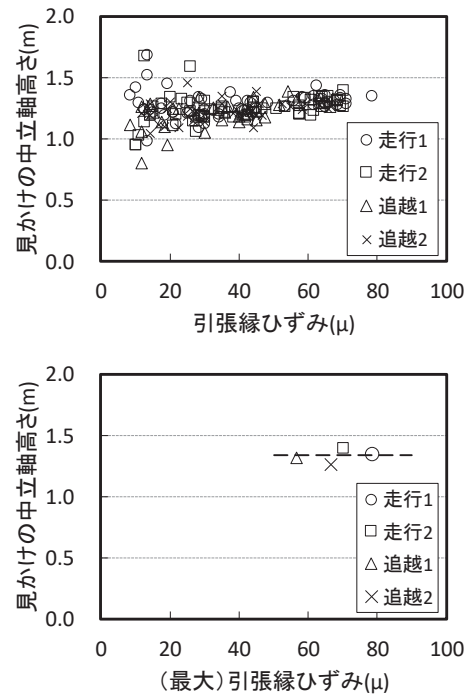


図-8 見かけの中立軸高さ

本報告では、残存緊張力の低下による荷重－見かけの中立軸高さ関係の変化を検討する前段階として、ある緊張力状態においてひずみの計測から自動車等の動的荷重の作用に対する見かけの中立軸高さの算定の可能性について検討した。光ファイバ計測による、G1桁の支間中央における載荷荷重に対する見かけの中立軸高さを図－8に示す。なお、最大荷重に達するまでの荷重の値は不明であるため、横軸は引張ひずみとしている。同図より、引張ひずみの増加（載荷荷重の増加）に伴い見かけの中立軸高さが1.0m前後に収束していく傾向が見られる。これより、動的な荷重に対しても見かけの中立軸高さを算定可能であると考えられる。また、図－5に示すようにひずみ分布は概ね直線であるため、壁高欄を計測せずとも圧縮側と引張側のひずみの計測から見かけの中立軸高さを算出可能であると考えられる。なお、圧縮側のひずみを計測するために、可能な限り断面図心高さよりも上側で計測することが望ましいと考えられる。

3.5 試験車の走行位置による測定値のばらつき

光ファイバにより計測したG1桁の支間中央における、走行ケースの違いによる見かけの中立軸高さの比較を図－9上図に示す。また、図－9下図は各走行ケースにおける最大引張ひずみ発生時の見かけの中立軸高さとその平均値（破線）を示している。図－9上図より、見かけの中立軸高さは引張ひずみが10μ程度からひずみの増加に伴い一定値に収束する傾向となっており、走行ケースの違いによらず同様な結果となっている。また、図－9下図より追越車線を走行したケースは走行車線のケースよりも最大引張ひずみが20μ程度小さくなるが、計測結果から算出された見かけの中立軸高さの差は、最大でも10%以下（走行2回目と追越2回目の比較）である。以上のことから、試験車の走行位置の違いにより、計測ひずみの大きさは異なるものの、自動車荷重に対するひずみ計測のばらつきが小さいことを確認した。



図－9 走行ケースの違いによる見かけの中立軸高さの比較

4. おわりに

本報告では、供用開始後40年以上経過したPC道路橋を対象として載荷荷重に対するひずみを計測し、主桁の健全性を監視するためのひずみの計測方法について、計測位置および自動車の走行位置の影響の観点から検討した。その結果、以下に示す知見が得られた。

- ① 中桁の支間中央および耳桁のPC鋼材曲げ上げ開始点付近（側方）においても、耳桁の支間中央と同様にひずみを計測することが可能である。
- ② 今回の対象橋においては、主桁と壁高欄が一体となり挙動している。
- ③ 圧縮側と引張側のひずみの計測から、動的な荷重に対する主桁の見かけの中立軸高さを算定可能である。
- ④ 載荷荷重としての試験車の走行位置が異なる場合でも、自動車荷重に対するひずみ計測のばらつきは小さい（見かけの中立軸高さの差は10%以下）。

謝辞：本検討の一部は、建設技術研究開発助成制度による「PC桁の健全性評価のためのPC鋼材緊張力の非破壊監視システムの開発」の研究の一環として平成30年度に実施したものです。ここに、関係各位のご協力とご理解に深く感謝の意を表します。