

論文

[2045] PC連続合成桁における中間支点の床版応力

正会員 川上 洵 (秋 田 大 学)

正会員 徳田 弘 (秋 田 大 学)

正会員 ○田中 純 (秋田大学大学院)

正会員 長江 進 (日本道路公団)

1. はじめに

高速道路によく用いられる橋梁形式の1つにPC連続合成桁橋がある。PC連続合成桁橋の中間支点には負の曲げモーメントが生じ、床版にひびわれが発生する原因ともなる。この負の曲げモーメントを低減する目的で、PC連続合成桁橋では中間支点上にまず1次床版を打設し、これにプレストレスを導入している。プレストレス量が大きくなると中間支点上の1次床版におけるPC鋼材、鉄筋の配置は非常に密なものとなり、施工上問題となる場合もある。

一方、道路橋示方書¹⁾においては、連続桁の中間支点上の設計モーメントに関し、反力は支承の中心点から45°の角度で図心の位置まで分布しているものとして、低減係数が示されている。

本研究は、PC連続合成桁橋の1次床版に関し、最初にプレストレスの導入状態をひずみ測定より明らかにし、その解析値と比較した。つぎに実橋の活荷重載荷試験を行い、中間支点上の曲げモーメントの橋軸方向への分布を測定するとともに、格子構造解析を行い、実測値を検討した。

これらの結果に基づき、中間支点上の負の曲げモーメントについての低減の妥当性を、道路橋示方書を対応させて考察を加えるとともに、1次床版に導入されるプレストレス量について考察したものである。

2. 橋梁概要

本研究で対象としたPC連続合成桁橋は、図-1に示す東北自動車道八戸線「吉田橋」の3径間連続桁である。横断面図に示すような4本主桁のうち、外桁のG4主桁および中桁のG3主桁を対象として、P6支点上の1次床版について解析を行った。

道路規格 1種3級B TL-20 TT-43

橋梁形式 3径間連続合成桁橋

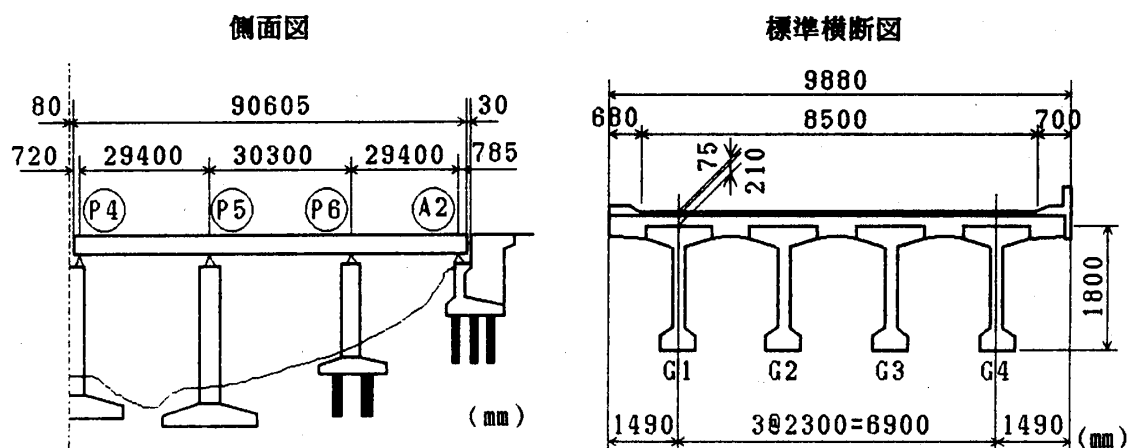


図-1 橋梁概要図

3. 1次床版プレストレス導入によるひずみ

対象としたPC連続合成桁橋のG4主桁の形状を図-2に示す。また、PC鋼材の配置と定着位置は、図-3のとおりである。図-3は、外桁であるG4主桁のP6支点上の有効幅内にある床版のPC鋼材配置を示しており、計12本のPC鋼材がG4主桁断面にプレストレスを与える。このことはP5支点上でも同様である。ここでは、1次床版内に応力測定のためコンクリートひずみゲージが設置されている。この測定用ゲージを用い、PC連続合成桁の中間支点上に生じる負の曲げモーメントに対し導入される1次床版プレストレスについて検討を行う。

1次床版プレストレス導入によるコンクリートひずみを、測定用ゲージのプレストレス導入直前のひずみと、プレストレス導入直後のひずみの差から求め、これを実測値とする。

得られた実測値に対し解析値を示し、設計どおりのプレストレスが導入されているかを検討する。解析方法は、有限要素法を用いて、G4主桁を曲げと軸力を受ける梁として解析する。連続梁であるG

4主桁のP5, P6上の1次床版にプレストレスを導入すると、1次床版には軸力と偏心モーメントが作用し、これにともない各支点には不静定反力が生じ梁に不静定モーメントが作用する。これらを重ね合わせることで計算するが、有限要素法による解析では、プレストレス導入により節点に作用する外力は、外力を代入する節点を1次床版内のPC鋼材の定着位置に設けることで行う。定着位置の節点には、プレストレスによる圧縮力を軸力として与え、またPC鋼材の偏心

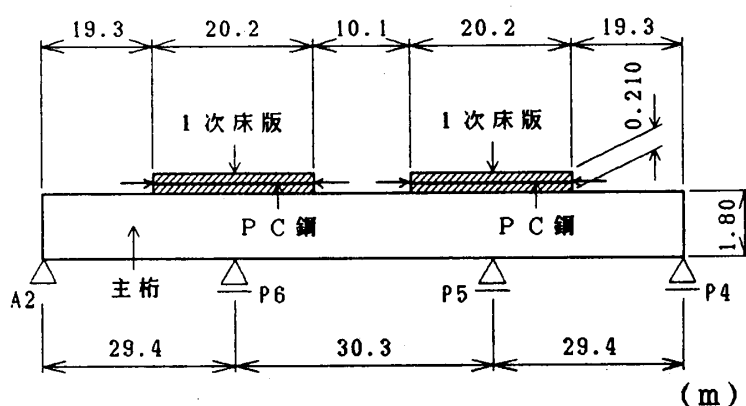


図-2 主桁の構造形式

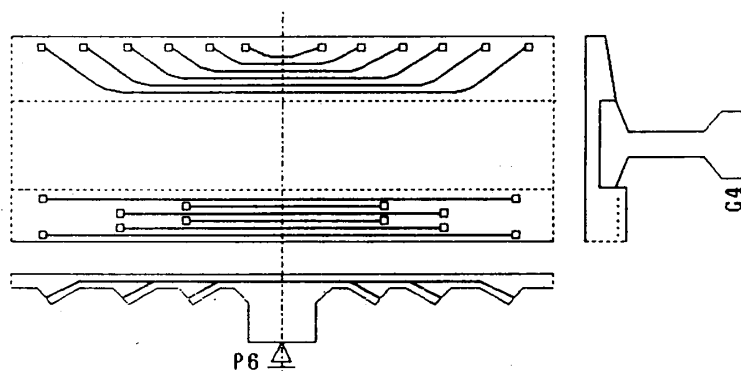


図-3 G4主桁のPC鋼配置

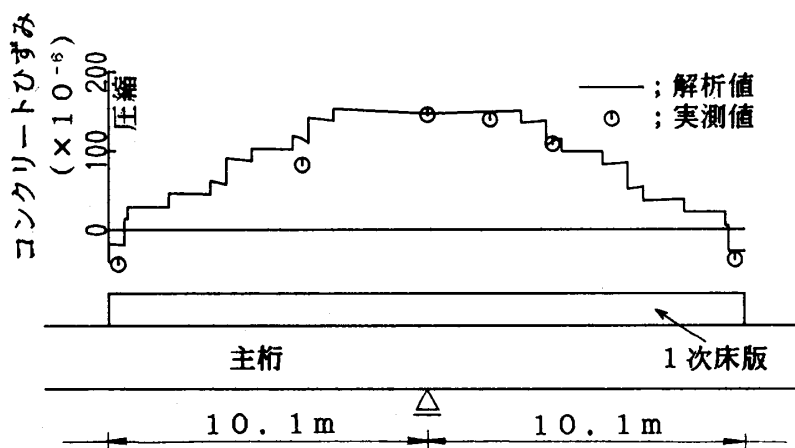


図-4 1次床版プレストレスによるひずみ

による偏心モーメントを与えることで計算する。

1次床版プレストレスによるコンクリートひずみの実測値と解析値を、P6支点上で比較したものを図-4に示す。

この結果をみると実測値と解析値はよく一致しており、P6支点上で実測最大値は 145×10^{-6} の圧縮ひずみを示し、1次床版端部では 40×10^{-6} の引張ひずみであった。

4. 活荷重載荷試験

連続桁の中間支点上には、計算上大きな負の曲げモーメントが生じるが、実際にその値を測定した前例はあまりみられない。ここでは、実際に対象としたPC連続桁橋に対し活荷重載荷試験を行ったときの、床版上縁のひずみを実測し、解析値と比較し考察することで、1次床版プレストレス導入量を検討するための指標とするものである。

これについては、床版上縁ひずみ、荷重の横断方向の分配、中間支点上の負の曲げモーメントについて考察を行うものである。

(1) 載荷試験方法

活荷重載荷試験の対象としたPC橋は3径間連続、4本主桁の格子構造であり、これに活荷重として30tfトラックを図-5のように載荷する。荷重載荷方法は、横断方向の中心に対し対称載荷（ケース1, 2, 4, 5, 6）および偏載荷（ケース3, 7）の計9ケースを考え、そのときのひずみを測定する。また、載荷試験は、床版打設後の橋面工前に行った。

(2) 解析方法

解析方法は、対象としたPC橋を格子構造として、要素の各節点にせん断力、曲げモーメント、ねじれモーメントが作用する剛性マトリックスを用い有限要素法で解析する。これに作用する活荷重による外力は、トラックの輪荷重を集中荷重として解析を行った。

(3) 床版上縁ひずみ

実測結果より得られた床版上縁のひずみと構造解析より得られた結果を比較すると図-6のとおりである。ここでは全9ケースのうち、P6支点上に最も大きな負の曲げモーメントが生ずるケース1

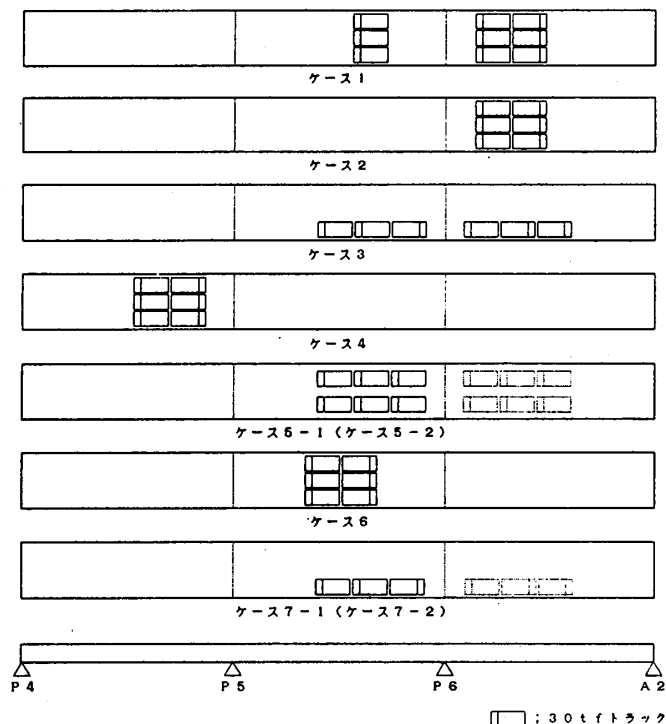


図-5 活荷重載荷のケース

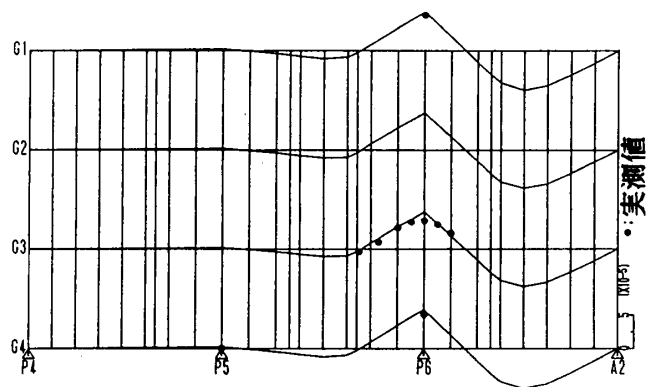


図-6 (A) 床版上縁ひずみ (ケース1)

と偏載荷のケース3を示した。なお、ケース1は横断方向に対し対称載荷であり、ケース3は横断方向に対し非対称載荷したものである。

これらの結果より、実測値（○印）と解析値（実線）は、P6支点上付近のひずみを除いて一致しており理論どおりのひずみが生じていると考えられる。

P6支点上付近に着目すると、解析値が支点で尖った形になっているのに対し、実測値はそれよりも低減した値で曲率をもって分布しているのがわかる。これは格子解析では、桁理論により支点を点として計算しているのに対し、実際の支点においては支承が幅を持っているため支点反力は分布荷重となり、また、横桁、桁の高さの影響を受けて、中間支点上のひずみが尖った形とならず低減された分布となるからである。

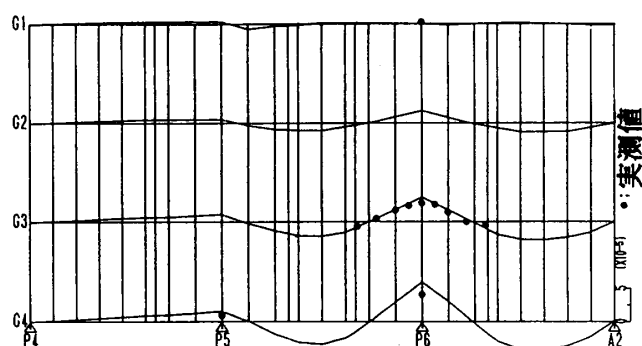


図-6 (B) 床版上縁ひずみ (ケース3)

(4) 荷重の横方向の分配

ここでは、載荷された荷重が4本の主桁にどのように分配されているかを確認し、横断方向の分配が理論どおりになされているかを検証するものである。

実測値と解析値の比較は、床版上縁のひずみとともに桁下に設置したひずみ測定ゲージに対しても行った。図-7にP6支点の床版上縁、P5とP6の中間の床版下縁における比較を示す。

荷重載荷ケースは、床版上縁ひずみと同様対称載荷のケース1と非対称載荷のケース3である。

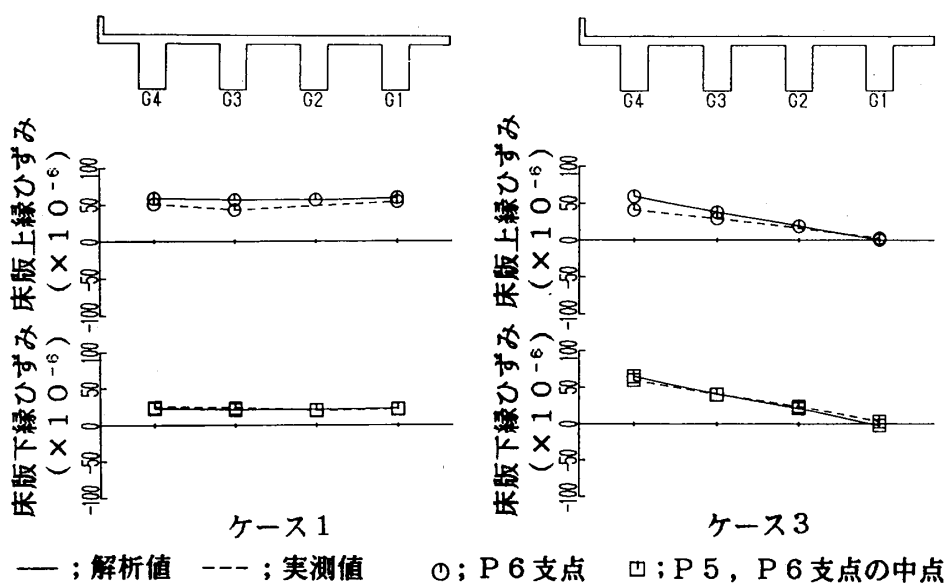


図-7 荷重の横断方向分配

この結果から対称荷重では、荷重は4本の主桁に均等に分配されていることがわかる。また、非対称荷重においてもひずみの分布が一定の直線となっており、各主桁の分配が理論どおり行われていることがわかる。

(5) 中間支点上の負の曲げモーメント

ここでは、(3)で述べた中間支点上のひずみを曲げモーメントに換算し、従来の道路橋示方書の規定と比較する。なお、中間支点上付近に最も測点の多いG3主桁を対象とした。

実際には点支承をもつ連続梁の中間支点上の負の曲げモーメントに対し、道路橋示方書では、以下の式により低減している。

$$M_d = M_{0d} - \frac{r v^2}{8} \quad \dots\dots\dots (1)$$

M_d : 中間支点上の低減された設計曲げモーメント

M_{0d} : 中間支点上の設計曲げモーメント

$$r = \frac{R_{0d}}{v} \quad \dots\dots\dots (2)$$

R_{0d} : 中間支点の設計支点反力

v : 断面の図心位置における支点反力の部材方向の仮想分布幅

(1)式の規定により格子計算より算出した値を低減したものと、実測値を比較したものを図-8に示す。格子計算とこれを低減したものを実線で、実測値を○印で示した。

なお、ケース4は対象としているP6支点には正の曲げモーメントが生じるので除いた。

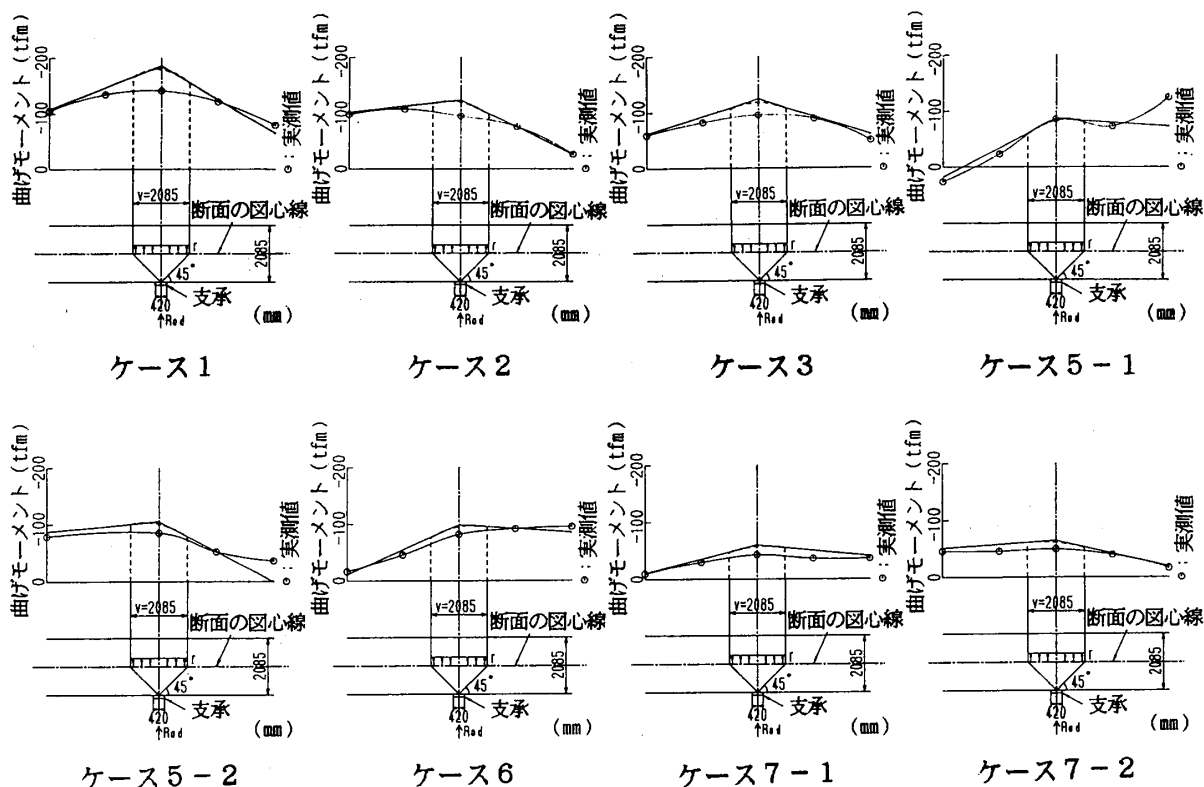


図-8 中間支点上の負の曲げモーメント

本載荷試験の結果をみると、実測された曲げモーメントは示方書で低減したものよりさらに小さな曲げモーメントであった。これらの曲げモーメントを実測、解析そして示方書によるものを比較すると表-1のとおりである。

表-1 P6 支点上の曲げモーメント (tf・m)

ケース	実測値①	解析値②	示方書③	①/③
1	-140.9	-185.2	-178.7	0.7885
2	-95.01	-123.6	-119.7	0.7937
3	-95.01	-124.3	-117.8	0.8065
5-1	-85.19	-85.90	-82.46	1.033
5-2	-85.19	-105.7	-101.8	0.8368
6	-81.91	-99.14	-95.82	0.8548
7-1	-42.59	-60.16	-57.23	0.7442
7-2	-49.15	-64.10	-60.55	0.8117

これによると実測値は全体に、解析値を示方書の規定より低減した値より2割程度小さいことがわかる。また本橋の場合、横桁の厚さが2mであり支点付近の剛度にかなり影響を与えていると思われるので、これもまた示方書の値より小さな曲げモーメントを示した一因と考えられる。

5. 中間支点上の負の曲げモーメントの低減

道路橋示方書では支承幅を0として、45°で分布する応力を考慮して設計曲げモーメントの低減を示している。これは、支点付近の応力を2次元弾性問題による有限要素法より求め、桁理論による解との比から得られたものである。しかし、図-8からわかるように実測値は、もう少し広く、平均で約30°程度で分布しているようであり、設計曲げモーメントに対しても、低減率を若干大きくしてもよいと思われた。

一方、実橋の設計荷重は、本試験に用いた載荷荷重とほぼ等しい活荷重および死荷重であり、それらにより発生する曲げモーメントに対し1次床版のプレストレス量が決定されることになる。図-4の床版に導入するプレストレスのレベルと、図-7にみられる活荷重を比較し、さらに上記の死荷重およびプレストレスのロス等を考慮しても本橋の1次床版は十分安全な設計となっている。

6. まとめ

PC連続合成桁橋では中間支点上の負の曲げモーメントに対しプレストレスで抵抗するが、このプレストレス量を決定するための中間支点の設計曲げモーメントは、道路橋示方書の規定値より余裕をもっていることが確認された。中間支点上の1次床版は、PC構造ということもあって断面厚の薄い床版内に複雑な鉄筋配置となり、施工上の問題としても上げられている。本研究の設計曲げモーメントに対する考察は、すべて実測より得られた結果を前提としており、同じタイプの橋梁の設計、施工において有用な結果と考えられる。よって、これからの橋梁設計においては、PC鋼材の配置などに関し施工性の向上を考えると、連続桁中間支点上の床版に関する設計を再考してもよいと思われる。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説 I コンクリート橋編 III 共通編 日本道路協会, 1990年