

論文

[2104] PC 三径間連続ラーメン橋のクリープに関する一考察

正会員○森 理太郎 (三井建設PC技術部)
 正会員 米倉 宏行 (三井建設PC技術部)
 正会員 竹内 光 (三井建設PC技術部)
 加島 清一郎 (三井建設PC技術部)

1. はじめに

本橋梁は橋長109.2m、中央支間長52.0mの3径間連続ラーメン橋であり、張り出し架設工法により施工されたものである。この種のPC多径間連続ラーメン橋等の不静定構造物は、施工中と完成後の構造系が異なる特徴を持ち、施工中は片持ち梁形式であり、完成後は連続梁形式となる。完成後クリープの進行や気温の変化によって不静定力が発生し、支承反力も同時に変化する。

従来よりこのクリープの挙動については、桁内にひずみ計を埋設したり、桁のたわみ量の測定等により多くの測定・研究がなされてきたが、本研究は支承反力の増加に着目し、完成後約2年間にわたり随時支承反力を測定してきた。この測定データをもとにクリープの進行に対する考察を行い、今後の設計・施工管理に役立てることを目的としている。

2. 橋梁概要

本橋梁の一般形状図を図-1に示す。

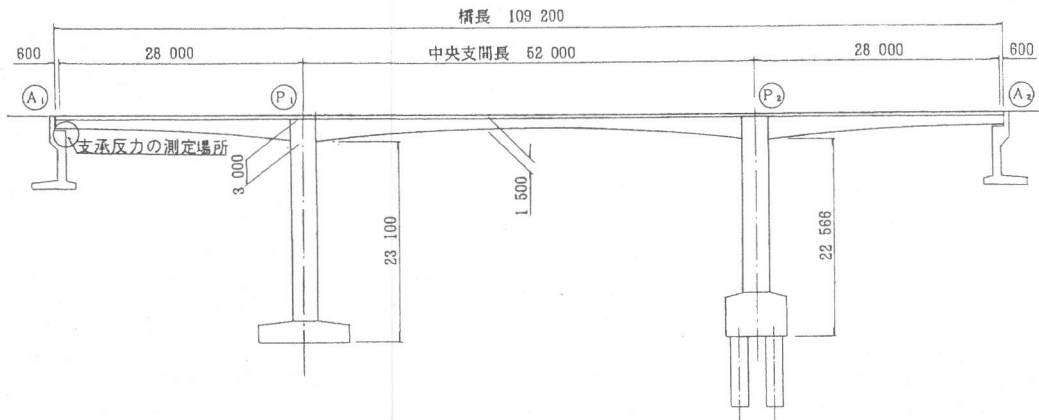


図-1 一般形状図

2.1 設計及び施工の概要

本橋梁の設計及び施工は、道路橋示方書・同解説(昭和53年制定, (社)日本道路協会), コンクリート道路橋設計便覧(昭和60年制定, (社)日本道路協会)及び施工便覧(昭和59年制定, (社)日本道路協会)に準拠して行った。設計条件を表-1に示す。

施工手順は柱頭部から左右対称に施工を行う張り出し架設工法を採用した。側径間端ブロックは吊支保工により施工し、最後に中央径間ブロックを施工し閉合した。施工時期は、柱頭部の施工が4月に始まり、中央径間の閉合を8月に行った。

2.2 使用材料

本橋梁に使用したPC鋼材は、橋軸方向については全てPC鋼より線（SWPR7B，9T12.7）を使用しており、仮設ケーブルが28本、側径間連続ケーブルが8本、中央径間連続ケーブルが20本配置されている。床版横締めはPC鋼棒（SBPR80/95，φ32）で60cmピッチに配置されている。

コンクリートの設計基準強度は上部工，下部工でそれぞれ400，240kgf/cm²である。表-2にコンクリートの配合を、表-3にコンクリートの力学的性質について示す。

表-1 設計条件

橋種	プレストレストコンクリート道路橋
型式	三径間連続ラーメン橋
施工法	張り出し架設工法（PAC）
橋格	一等橋
橋長	109.200m
支間	28.000+52.000+28.000m
有効幅員	7.000m
活荷重	TL-20
温度変化	±15.0℃
温度差	5℃
水平震度	KH=0.19（橋軸方向） 0.20（橋軸直角方向）
雪荷重	100kgf/m ²

表-2 コンクリートの配合

工種	Gmax (mm)	セメントの 種類	呼び強度 (kgf/cm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位重量(kg/m ³)				
								C	W	S	G	Ad
上部工	25	早強	400	8	4.0	37.5	39.8	427	160	705	1081	1.068
下部工	25	普通	240	12	4.0	54.0	45.5	307	166	827	1018	1.535

3. 測定概要

3.1 支承反力の測定方法

支承反力の測定は、一般形状図（図-1）に示すようにA1橋台側で行った。支承反力の測定方法を図-2に示す。支承反力は橋台と主桁との間に油圧ジャッキを4台据え付け、主桁をジャッキアップする直接的な方法で行った。測定方法は電動ポンプによりジャッキの圧力を徐々

に上げ、荷重と変位をデータロガーによりモニターしながら測定する。主桁の変位が1mmに達したらジャッキの圧力を止め徐々に下げる。図-3は荷重と変位の関係を概念的に示したものである。図-3に示した最初の傾きは沓のバネ強さを表し、次の変曲点はジャッキが沓の荷重をすべて受け替えたときの支承反力を示す。その後の傾きは主桁の曲げ剛性（EI）を表している。

3.2 支承反力の補正方法

完成後の支承反力の変動は、おもに次の3つの不静定力の要因で起こると考えられる。

- ①主桁上床版とその他の部材との温度差による日変動
- ②主桁全体の温度変化による年変動
- ③クリープ、乾燥収縮の進行に伴う変動

表-3 コンクリートの力学的性質

工種	材齢 (日)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	*アソビ比
上部工	2	340			2.31*10 ⁵	0.247
	7	436	36.3	48.1	2.63	0.191
	28	525	38.8	50.5	3.30	0.233
	103	533	36.8	80.9	3.53	0.267
下部工	7	206			1.52	0.185
	28	315	26.2		2.07	0.192
	189	344			3.05	0.248

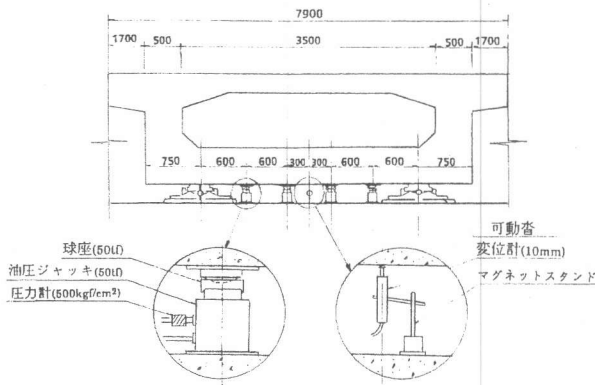


図-2 支承反力の測定方法

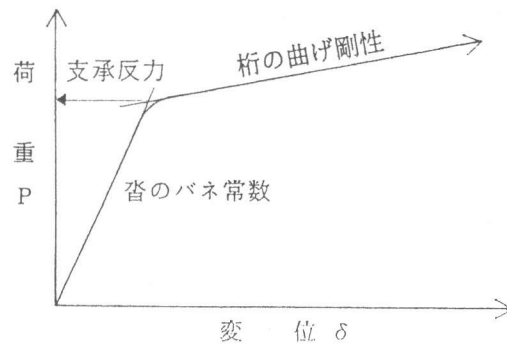


図-3 荷重と変位の概念図

クリープの進行度合を支承反力の測定結果より求めるためには、上記の要因のうち①、②の温度に関する要因を取り除かなければならない。そこで、今回は以下の方法に従って温度の影響を除外し、支承反力の補正をする。

(1) 温度補正

ほぼ4時間おきに測定した3回のデータを1組と考え、その間(約8時間)にはクリープの進行はなく、補正後の支承反力は同値であると仮定し、(1)式をたてる。

$$\begin{aligned}
 P_1 - \Delta t_1 \cdot \alpha - (T_1 - T_{AVE}) \cdot \beta &= P' \\
 P_2 - \Delta t_2 \cdot \alpha - (T_2 - T_{AVE}) \cdot \beta &= P' \\
 P_3 - \Delta t_3 \cdot \alpha - (T_3 - T_{AVE}) \cdot \beta &= P'
 \end{aligned} \quad \text{----- (1)}$$

- ここに、
- P_1, P_2, P_3 : 各測定毎の支承反力 (tf)
 - $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$: 各測定毎の上床版とウェブとの温度差 (°C)
 - T_1, T_2, T_3 : 各測定毎の主桁全体の平均温度 (°C)
 - T_{AVE} : 測定3回 (T_1, T_2, T_3) の主桁全体の平均温度 (°C)
 - α : 温度差に対する補正係数 (tf/°C)
 - β : 温度変化に対する補正係数 (tf/°C)
 - P' : 温度補正後の支承反力 (tf)

(1) 式の3元連立方程式を解き、補正係数(温度差: α , 温度変化: β) 及び補正後の支承反力 (P) を求める。

(2) 初期値補正

温度補正した支承反力をさらに初期値補正を行う。本橋梁では、中央径間の打設閉合が7月の最後であったので、8月の平均温度を初期値として前項で求めた α, β, P' を用いて、(2) 式で補正する。

$$P' - (\Delta t - \Delta t_i) \cdot \alpha - (T - T_i) \cdot \beta = P \quad \text{----- (2)}$$

- ここに、 Δt_i : 8月の上床版とウェブとの平均温度差 4.6 (°C)
 Δt : 測定時の上床版とウェブとの温度差 (°C)
 T_i : 8月の主桁全体の平均温度 21.5 (°C)
 T : 測定時の主桁全体の平均温度 (°C)
 P : 全補正後の支承反力 (tf)
 α, β, P' : (1) 式参照

以上の方法により温度差、温度変化による支承反力の変動は補正でき、変動はクリープ及び乾燥収縮の影響のみとなる。

4. 測定結果と考察

4.1 支承反力の測定結果

支承反力の測定は側径間端ブロック打設後44日目に開始し、それ以来約2年間に及ぶ測定を行い、現在も継続している。前項で述べたように、上床版とウェブの温度差や主桁全体の温度変化によって支承反力は大きく変動することから、測定は4時間毎に24時間実施した。支承反力の測定結果を図-4のグラフに図示する。

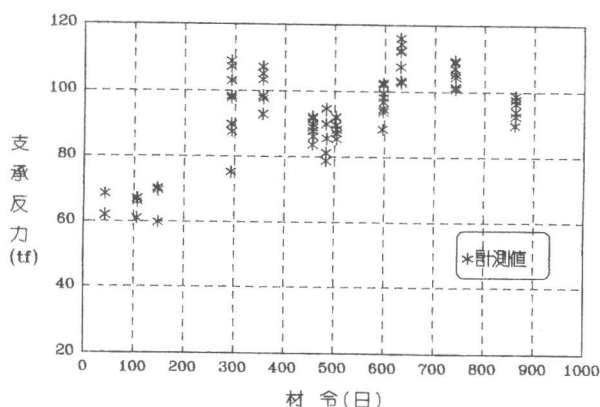


図-4 支承反力の測定結果

測定結果より、1日の支承反力の変動は通常10~15 tf前後であるが、場合によっては20~30 tfにも及んでいることがわかる。1日の主桁全体の平均気温の変動は少ないことから、これらの1日の支承反力の変動は上床版とウェブの温度差による影響が大きいと考えられる。

4.2 支承反力の補正結果

支承反力の測定結果を前項で述べた方法で補正を行った。補正後の支承反力の計測値と道路橋示方書に従って算出した計算値を示したのが図-5のグラフである。計算値の算出に用いた湿度は実測値である80%とし、材令の計算も各月の平均橋体温度を用いた。補正した支承反力は、計算値に比べ若干(5~10 tf前後)低いもののクリープの進行度合はよく合っていることが明かである。

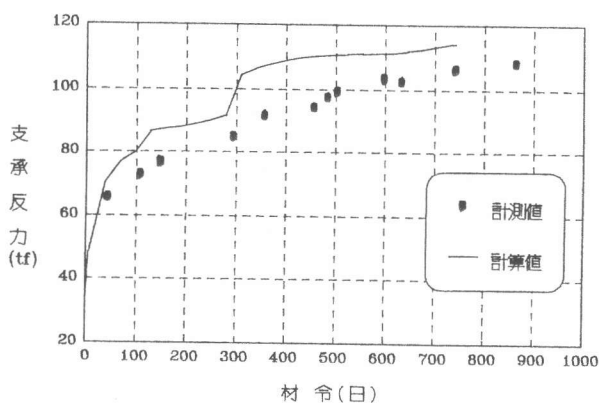


図-5 補正後の支承反力

また、温度補正時に求めた主桁とウェブの温度差に対する補正係数 α 、主桁全体の温度変化に対する補正係数 β は、それぞれ次の値であった。

$$\alpha = 3.48 \text{ (tf/°C)}, \quad \beta = 0.20 \text{ (tf/°C)}$$

設計上では温度差に対する支承反力の変動量は4.0 (tf/℃)であり、補正方法の妥当性が得られた。また、変動係数も15%程度であった。温度変化に対する支承反力の変動量は設計上では0.58 (tf/℃)であり、実測の補正係数のほうがかなり小さい値となり、変動係数も27%と温度差に比べて大きな値となっている。これは、1日の温度差に比べ温度変化は非常に小さく補正に対しバラツキがでやすいためである。またこの結果より、乾燥収縮による支承反力の変動は、設計上温度変化による変動と同じであるため、2~3 tf程度であると推定される。

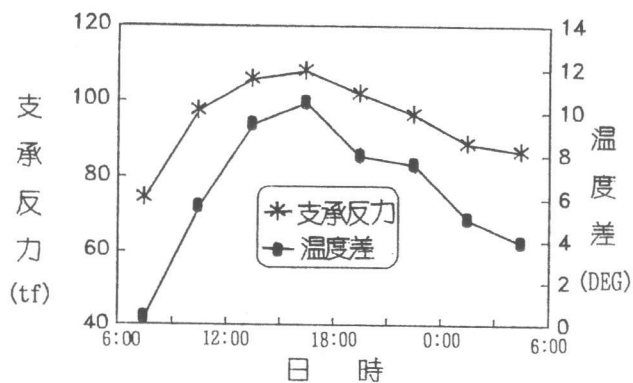


図-6 1日の支承反力の変化

図-6は、ある24時間の支承反力の測定結果とその時の上床版とウェブとの温度差を示したグラフである。このとき温度差は約10℃にも達し、支承反力の変動も約30 tfであった。

4.3 クリープ係数の算出

構造系が変化する場合のクリープによる不静定力を近似的に算出する方法としてF. Dischingerの式がある。

$$\Delta R\phi = (R_0 - R_1) \cdot (1 - e^{-\phi}) \quad \text{----- (3)}$$

$$\phi = -1 \ln \{1 - \Delta R\phi / (R_0 - R_1)\} \quad \text{----- (4)}$$

- ここに、 $\Delta R\phi$: クリープによる反力の変化量 (実測値, tf)
 R_0 : 全体同時施工状態での反力 (計算値, tf)
 R_1 : 張り出し架設状態での反力 (計算値, tf)
 ϕ : クリープ係数

支承反力の測定結果より不静定力のみを取り出し測定時におけるクリープ係数を(4)式より求めることができる。図-7のグラフに測定結果より求めたクリープ係数の推移と道路橋示方書により算出したクリープ係数の計算値とを示す。図-5の補正した支承反力のグラフ同様、計測値より求めたクリープ係数は計算値より若干低いものの進行度合はよくあっており、完成後約2年後にはおよそクリープ係数 $\phi = 1.0$ を示している。

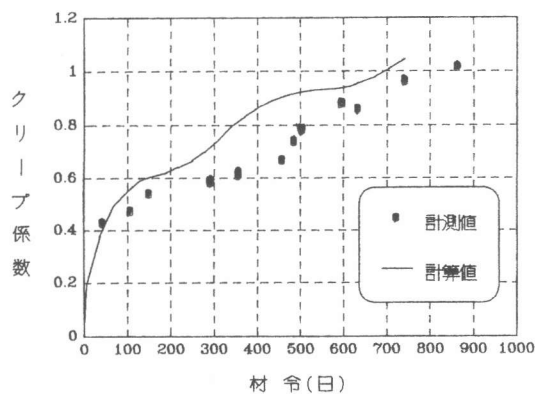


図-7 クリープ係数の経時変化

5. まとめ

今回連続ラーメン橋の支承反力に着目して、その測定結果より温度差及び温度変化による支承反力の変動、またクリープ挙動の進行について考察をおこなってきたが、その結果をまとめると次のことがいえる。

- 1) ラーメン橋などの不静定構造物の支承反力は温度の影響により大きく変動する。このような温度の影響を取り除き、真の支承反力すなわちクリープの進行による支承反力を求めるために前述の方法で補正を行った。その結果、変動係数が α で15%、 β で27%となりほぼ満足できる補正方法であった。
- 2) 補正結果より、支承反力の変動は主桁全体の温度変化よりも主桁とウェブとの温度差の影響が大きく、その値は $\alpha = 3.48$ (tf/°C)であり設計上の値(4.0 tf/°C)とほぼ同じであった。
- 3) 支承反力は閉合時期によって大きく変動する。例えば閉合を夏季に行えば上床版とウェブの温度差が大きく、また主桁の温度も高いために冬季には支承反力は小さい値となる。反対に冬季に閉合を行えば支承反力は夏季に大きな値となる。このようなことから今後は閉合時期を考慮に入れて設計を行う必要があると考えられる。
- 4) 補正後の支承反力の測定結果より不静定力は時間の経過とともに増加しており、この不静定力よりクリープ係数を求めると設計値とほぼ同じ値を示し、完成後約2年でおおよそ $\phi = 1.0$ であった。

支承反力の測定によってクリープの進行度合を把握する方法は、従来の埋設ひずみ計等の方法と比較すると直接的な方法であるが、それでも温度などの環境の影響が大きい。今回述べた補正方法により温度の影響はかなり除かれ、精度よくクリープの進行を追うことができた。

実橋でこのような長期間支承反力を測定できることは非常に希であり、よい精度でクリープの挙動に対するデータが収集できており、今後このようなPC橋梁の設計の貴重な資料となると思われる。さらに今後も定期的に測定を続けていく予定である。

[謝辞]

本測定の実施に際しご協力をいただいた㈱三井の森、三井不動産㈱及びフォレストJV作業所の関係各位に対し感謝の意を表します。

・参考文献

- 1) 米倉宏行・平田健治・松本敏夫： π 型ラーメン橋の設計における一考察(その2)、土木学会第45回年次学術講演会、Vol.1、pp640-641、1990.9
- 2) 米倉宏行・森理太郎・竹内光・加島清一郎：PC三径間連続ラーメン橋のクリープに関する研究、第2回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp35-40、1991.11
- 3) H. リュッシュ・D. ユンクビルト：コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮、鹿島出版会、1976