

論文 PRC 単純箱桁橋の時間依存性挙動について

落合勝*¹・手塚正道*²・高橋昭一*³・佐藤良一*⁴

要旨：PRC部材として設計された道路橋の時間依存によるひずみ、応力、たわみ角を計測した。更に、載荷時材齢の応力履歴を考慮したstep-by-step法を用いて連続的にクリープ解析を行い実測値と比較した。その結果、死荷重作用後の数十日間を除き、概ね実橋の経時的変形挙動を予測しうることができた。

キーワード：PRC，実橋，クリープ，乾燥収縮，step-by-step法

1. まえがき

PRC部材は、RC部材とPC部材との中間領域の構造体であり、所要のひび割れ条件を満足するようにPC鋼材と鉄筋によって補強されたコンクリート構造体である。PRCの利点として、PCと比較した場合、PC鋼材量の減少により、クリープによる過度の変形が抑制できる、一般的にコストが低減できる、コンクリートの締固めが容易になる、等が挙げられる。このような点からも、近年、PRCがコンクリート橋に適用されるケースが増えてきている。

一方、実橋におけるPRC部材の長期挙動に関する研究はいくつか検討された例がある。例えば、石橋ら^[1]や、高橋ら^[2]の研究の中では、主としてコンクリートや鉄筋のひずみの評価を通じ、または直接的な計測を通してクリープ・乾燥収縮の値が議論されている。しかし、クリープ・乾燥収縮の値については統一的な結果が得られるまでには至っていない。また、クリープの影響を忠実に取り入れて、コンクリートおよび鉄筋のひずみ・応力、変形等の挙動を打設直後から忠実に計測し、比較検討した例はほとんど無いように思われる。

そこで、本研究は、まず打設から150日における変形挙動を実測を通じて明らかにした。更に、プレストレスの導入から死荷重が作用し、その後載荷材齢約135日までの連続的なクリープ解析を行い、実測値との比較検討を通じて、実橋のコンクリート応力・ひずみ、鉄筋応力および曲率に関して考察を行った。

2. 実橋の概要

実橋は、支間40.80mのPRC単純2主箱桁橋であり、PRC単純箱桁の道路橋としてはわが国最大支間長を有するものである^[3]。桁の支間中央における断面諸元および鋼材配置図を図-1に示す。設計においては、活荷重比率の小さい道路橋ということもあり、静荷重作用時において支間中央下縁に約30kgf/cm²の引張応力を発生させている。設計に用いたコンクリートの材料物性を表-1に示す。

施工は、支間中央付近に支柱を設けた支柱式固定支保工施工である。コンクリートの打設は2

*1 オリエンタル建設(株)技術研究所研究員(正会員)

*2 オリエンタル建設(株)技術研究所主任研究員(正会員)

*3 日本道路公団札幌建設局建設部構造技術課課長代理(正会員)

*4 宇都宮大学助教授 工学部建設学科、工博(正会員)

回に分けて行い、下床版およびウェブ打設後、15日間において上床版を打設した。上床版打設3日後にプレストレスを導入し、更に9日後に支保工を撤去した。なお、測定150日までに、橋面のアスファルト舗装は施工されていない。

3. 測定の概要

測定は、実橋のコンクリートのひずみ・応力・無拘束ひずみ、鉄筋応力、傾斜角、およびコンクリート温度である。図-2に実橋に埋設した計器の位置を示す。中央断面については、上縁から80mmの位置に埋込型ひずみ計および鉄筋計、100mmの位置に有効応力計および無応力計を埋設し、下縁から65mmの位置に埋込型ひずみ計および鉄筋計、100mmの位置に無応力計を埋設した。下床版にはひび割れが発生する可能性があるため、鉄筋計を橋軸方向に6本埋設した。また変形の経時的な測定に力点を置き、支点付近および支間1/4点付近の2ヶ所に傾斜計を設置し、たわみ角より曲率を算定した。

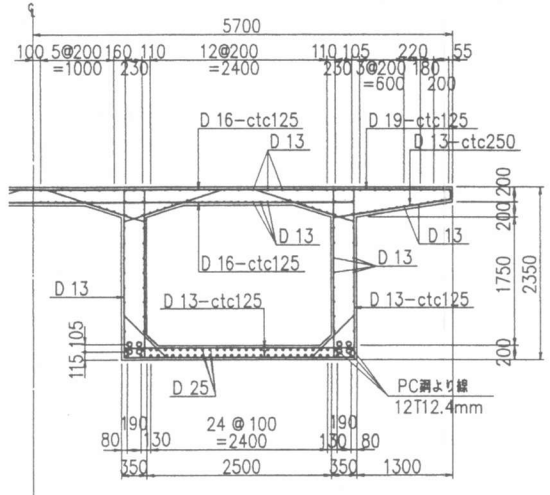


図-1 断面諸元及び鋼材配置図(中央断面)

表-1 コンクリート材料物性設計値

設計基準強度	350	kgf/cm ²
ヤング係数	2.95×10 ⁵	kgf/cm ²
クリープ係数	2.6	
乾燥収縮度	200×10 ⁻⁶	

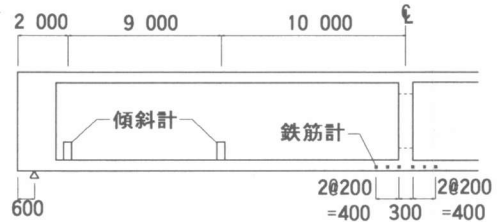
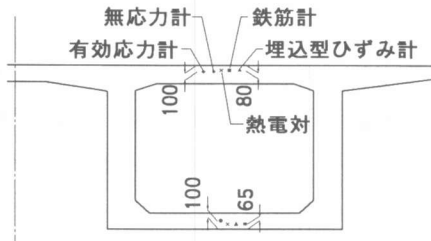


図-2 計器類位置図

コンクリートの強度は、実橋打設時に採取した円柱供試体(φ100×200)を用いて測定し、その結果を表-2に示す。養生条件としては、緊張時は現場養生の供試体、28日は20±3°Cの水中で養生された供試体を用いて試験を行った。

図-3に施工・測定計画および解析開始時期を示す。埋設した計測器については打設終了後から測定を開始し、傾斜計は緊張後から測定を開始した。

表-2 コンクリートの強度試験結果(単位:kgf/cm²)

		緊張時	28日
下床版	圧縮強度	423	420
	ヤング係数	3.11×10 ⁵	3.29×10 ⁵
ウェブ	引張強度	-----	26.0
上床版	圧縮強度	330	423
	ヤング係数	2.92×10 ⁵	3.22×10 ⁵
	引張強度	-----	30.3

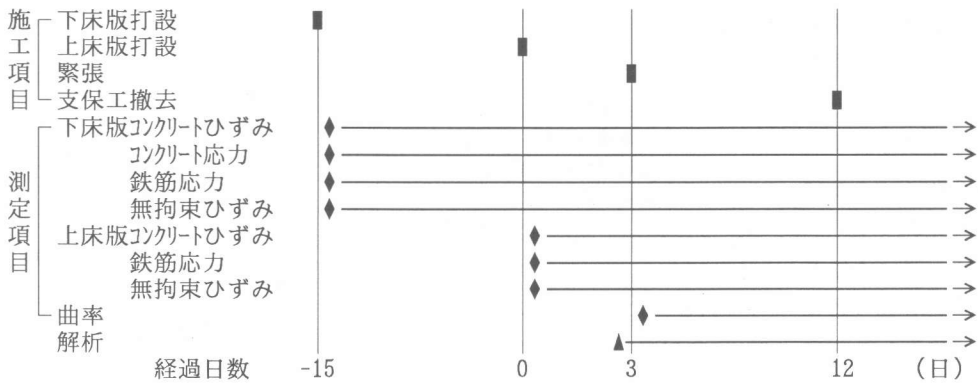


図-3 施工・測定計画および解析開始時期

4. 解析方法^[4]の概略

クリープ解析には、応力履歴を考慮したstep-by-step法を用い、プレストレスの導入から死荷重の持続荷重に至るまで連続的にクリープ解析を行った。実橋は、箱形断面で、部材高さによって変化するコンクリート幅に対して、断面を5層のコンクリートブロックに分け、多段鉄筋およびP C鋼材に関しては、その各々の高さを解析に取り入れた。また、上床版部と下床版部には15日間の材齢差が生じているが、解析では上下床版一体として計算をし、コンクリートの材料物性は上床版の値を用いた。なお、リラクセーションは小さいために考慮していない。

解析方法の概略は次の通りである。クリープ現象を忠実に取り入れるため、ひずみの直線性を仮定したコンクリート部、鉄筋およびP C鋼材を独立に取り扱い、ストレスロスに対しては外力=0、持続荷重が載荷された場合には、断面の釣合い条件を満足し、鉄筋、P C鋼材各位置でのひずみが一致するように断面のひずみおよび応力分布を求めた。したがって、鉄筋・P C鋼材の段数に応じた連立方程式を解くことになる。なお、今回の解析では時間ステップ数を14として計算を行った。

解析では、コンクリートのヤング係数は緊張時を除き、標準養生された材齢28日の値を用いた。表-3は解析に用いたクリープ、乾燥収縮を示したものである。CEB-FIP MODEL CODE 1990(以下、MC90という)によって、クリープ、乾燥収縮を求める場合には、図-4に示す実際の外気環境を参考にして、湿度は一定として80%を用い、温度は可変として着目点までの平均コンクリート温度を用いた。また、実橋の仮想部材厚は、70×70cmの検査用開口部が設けられており、これを考慮して、箱内部分を全てが外気に接触しているという仮定の下で算出した。

表-3 クリープ、乾燥収縮の組み合わせ

	クリープ係数	乾燥収縮ひずみ
Case1	MC90	MC90
Case2	MC90	0
Case3	MC90	下床版実測値
Case4	上床版実測値	MC90

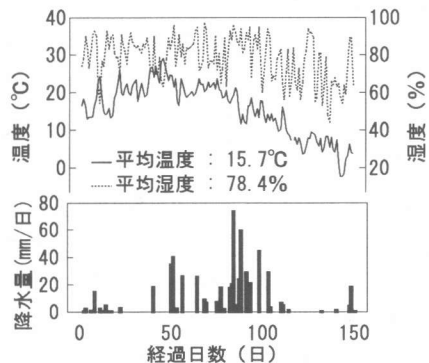


図-4 環境条件

5. 測定結果および考察

図-5, 6にクリープ係数、乾燥収縮ひずみの実測値をMC90による算出値と併せて示す。また、表-4は実測値とMC90の値を数値比較したものである。クリープ係数に関しては、実測値はMC90の値と比較して150日で

約50%程度大きくなっている。また、乾燥収縮に関しては上床版の実測値をみると、経過40日以降収縮ひずみの回復が生じている。これは、橋面が未舗装であるため、降雨の影響

によるものと思われる。一方、下床版は降雨の影響を受けないため、収縮の進行が進んでおり、150日で実測値はMC90の値の2倍強となっている。

図-7~9に上床版のコンクリートひずみ、応力および鉄筋応力の実測値を解析値と比較して示す。ひずみの実測値は、打設直後からの全ひずみから温度変化によるひずみを差し引いたもので、応力に関わるひずみと乾燥収縮ひずみの和を表したものである。解析値は、緊張直前から行っている。プレストレス力と自重の割合から、支保工が受け持つ死荷重は、全死荷重の60%とした。図-7によれば、ひずみの実測値は極初期材齢において大きな引張ひずみを示し、支保工撤去までの約12日間において、全ての解析値と実測値が一致していない。また、図-8, 9に示すように、鉄筋応力およびコンクリート応力も同様に引張応力の発生が認められる。その原因としては、①凝結前の水和熱によるひずみは、埋込型ひずみ計によれば相当に大きな値を示すこと、②水和熱の影響による微細なひび割れの発生、③プレストレス導入において、支保工の負担する桁重量の変化が不明確であること、等が挙げられる。

支保工撤去後から経過日数約30日程度までに、急速なひずみ、応力の増加がみられる。これについて

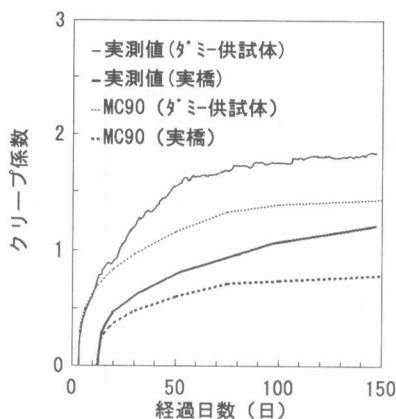


図-5 クリープ係数

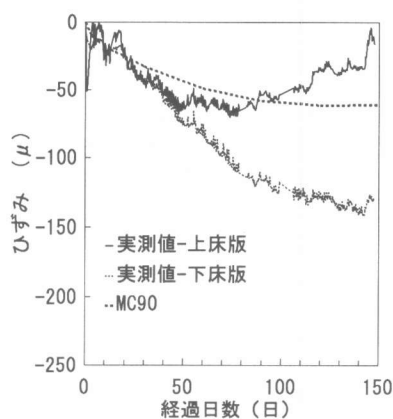


図-6 乾燥収縮ひずみ

表-4 クリープ係数および乾燥収縮ひずみ

経過 日数	クリープ係数		比 ϕ_1/ϕ_2	乾燥収縮ひずみ (μ)			比	
	実測値 ϕ_1	MC90 ϕ_2		上床版 ϵ_1	下床版 ϵ_2	MC90 ϵ_3	ϵ_1/ϵ_3	ϵ_2/ϵ_3
3	---	---	---	-6	-19	0	---	---
12	0	0	---	-28	-21	-17	1.66	1.24
20	0.48	0.37	1.27	-27	-23	-23	1.19	1.00
30	0.61	0.48	1.27	-44	-41	-31	1.43	1.35
60	0.86	0.66	1.30	-57	-76	-48	1.20	1.59
150	1.21	0.79	1.53	-16	-131	-60	0.27	2.18

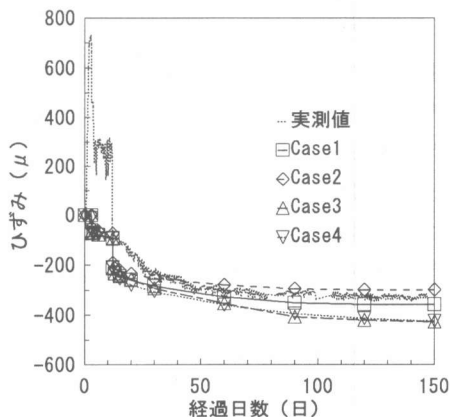


図-7 上床版コンクリートひずみ

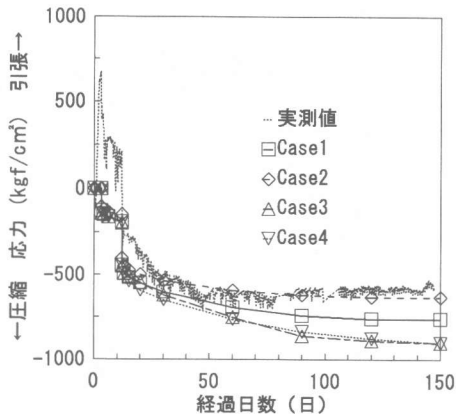


図-8 上床版鉄筋応力

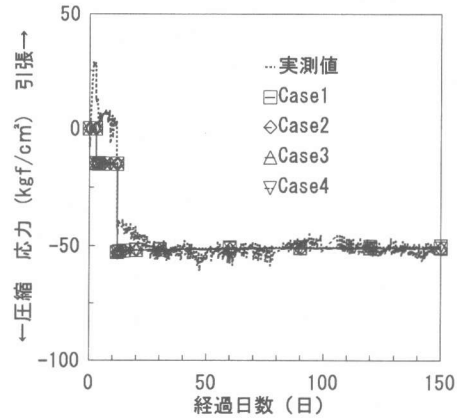


図-9 上床版コンクリート応力

は、実測のクリープ係数を用いても予測できない。また、微細なひび割れや水和熱による温度履歴を受けているとも考えられるが、現時点ではこの点について説明することはできない。しかし、経過40日以降では、上床版のコンクリートひずみに関して、乾燥収縮を0としたCase2が実測値と良く一致している。これは、経過日数約40日以降、上床版の乾燥収縮ひずみが回復しているためと考えられる。また、鉄筋応力についても同様のことが言える。このことから、約150日間の範囲で、上床版では、クリープの影響はそれほど大きくはなく、回復する乾燥収縮の影響度が高いということが言える。一方、図-9に示すコンクリート応力に関しては、解析値は材料特性の違いによる差はみられず、実測値と一致しているのは、応力が自重との釣合いで決まっているからと考えられる。

図-10に下床版のコンクリートひずみを示す。全体的には、乾燥収縮を0としたCase2が良く一致している。また、上下床版の乾燥収縮ひずみの中間的な値を持つMC90の値を用いたCase1,4も傾向は比較的一致している。しかし、下床版の実測乾燥収縮を用いて計算したCase3は、実測値を過大評価している。これは、更にデータを蓄えて論じなければならないが、上床版の回復ひずみによって、下床版の実測ひずみが伸びる方向の影響を受けたためと思われる。

図-11に下床版の鉄筋応力を示す。実測値は支間中央の隔壁の影響を受けていることも考え、最大値と平均値とを併せて示した。全体的な傾向は、MC90の乾燥収縮を用いたCase1,4が良く一致

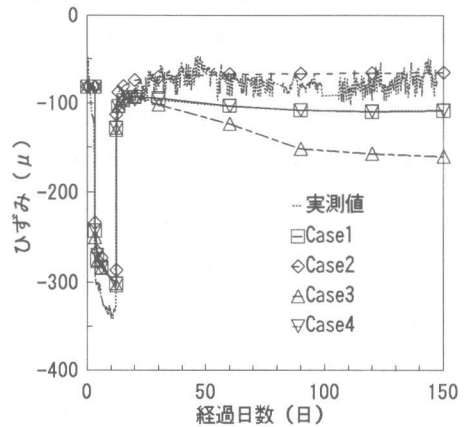


図-10 下床版コンクリートひずみ

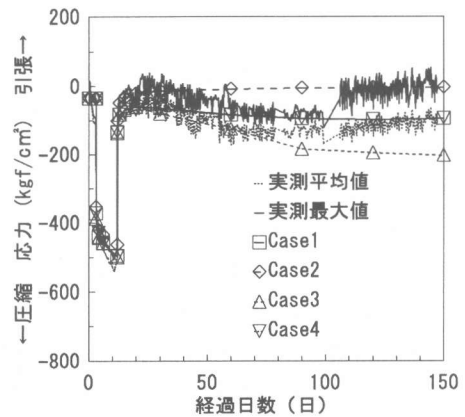


図-11 下床版鉄筋応力

している。Case2は上床版の乾燥収縮が進行している範囲では過小評価し、Case3は上床版のひずみが回復している範囲では過大評価している。しかし、どのCaseにおいても解析値は実測値を良く表している。

図-12に支保工撤去後の曲率を示す。実測値は、傾斜計から得られるたわみ角から、死荷重を等分布荷重と仮定して算出した値である。経過約50日までは、いずれの解析値も実測値を過小評価している。しかし、その後の挙動はいずれも実測値と大きな差はない。ただし、実測のクリープ係数を用いたCase4は他のCaseよりもやや大きく評価している。

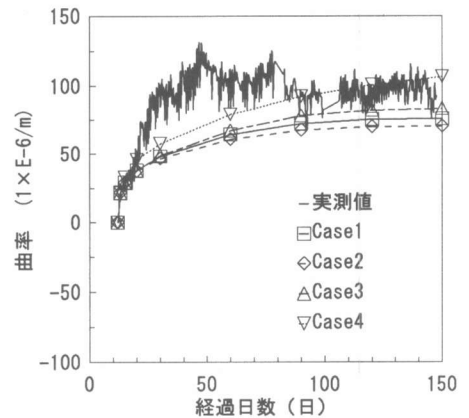


図-12 曲率

6. まとめ

P R C単純箱桁橋のコンクリートひずみ・応力、鉄筋応力、たわみ角を測定し、載荷時材齢を考慮したstep-by-step法に基づくクリープ解析を行い、比較検討した結果、本研究の範囲内で、以下のことが分かった。

- (1)MC90による乾燥収縮の予測値は、降雨を受ける場合は、定性的にも実測値と異なった。また、降雨の影響がない場合は、箱内部分が全て外気に露出していると仮定してもMC90の予測値は、実測値よりかなり小さかった。
- (2)MC90によるクリープ係数の予測値は、約150日で、実橋において65%、ダミー供試体で80%程度であった。
- (3)しかし、4つのCaseで解析を行った結果は、支保工撤去後の約30日間までを除き、比較的一致し、150日の範囲内では、材料物性の相違による大きな差は見られなかった。ただし、下床版の乾燥収縮ひずみの実測値を用いた解析では、下床版のコンクリートひずみや、鉄筋応力を圧縮側に大きく評価する傾向がみられた。

7. あとがき

今後、更に長期間にわたって計測を継続し、部材の挙動、材料物性の相違、解析方法の妥当性や問題点について検討していく予定である。最後に、本研究の解析にあたり、宇都宮大学大学院山本浩嗣氏に多大なる御協力を頂いたことを心から感謝いたします。

参考文献

- [1]石橋忠良, 浦野哲司: P R C桁の実橋測定とその考察, プレストレストコンクリート, Vol.29, No.2, pp18-26, 1987
- [2]高橋広幸, 山内博司ほか: 観音寺高架橋の長期計測についての中間報告, 土木学会年次学術講演会, Vol.47, No.5, pp206-207, 1992
- [3]鈴木隆, 川尻克利ほか: アネップ川橋のたわみ管理, プレストレストコンクリート技術協会シンポジウム論文集, Vol.4, pp423-428, 1994
- [4]山本浩嗣, 佐藤良一ほか: P R C部材の長期変形挙動の検討, コンクリート工学年次講演会論文集, Vol.16, No.2, pp973-978, 1994