

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題	月夜野大橋の長期的なクリープ計測と一考察
著者	今井 遥平, 千々和伸浩, 永来 良吾
出典	プレストレストコンクリート工学会 第29回シンポジウム論文集, pp. 179-182
発行日	2020, 10

月夜野大橋の長期的なクリープ計測と一考察

清水建設(株) 正会員 修士(工学) ○今井 遥平
 東京工業大学 正会員 博士(工学) 千々和伸浩
 国土交通省 永来 良吾

キーワード：中央ヒンジ，長期，クリープ，張出し施工，連成解析

1. はじめに

月夜野大橋は、1982年に竣工した4径間有ヒンジPCラーメン箱桁橋である（図-1，表-1）。上部工工事には、我が国で初めて移動式架設桁を用いた張出し架設工法（P&Z工法）が採用された（写真-1）。本橋は、当時としては長大な中央径間をもち、中央ヒンジを有する構造であるため、竣工してから38年間、継続してスパン中央部の長期的なたわみ計測を実施している¹⁾。本報告では、現在まで計測した有ヒンジ橋のクリープにおける長期的なたわみの変化量と、3次元構造-材料応答連成解析システムによる解析結果を比較し報告する。

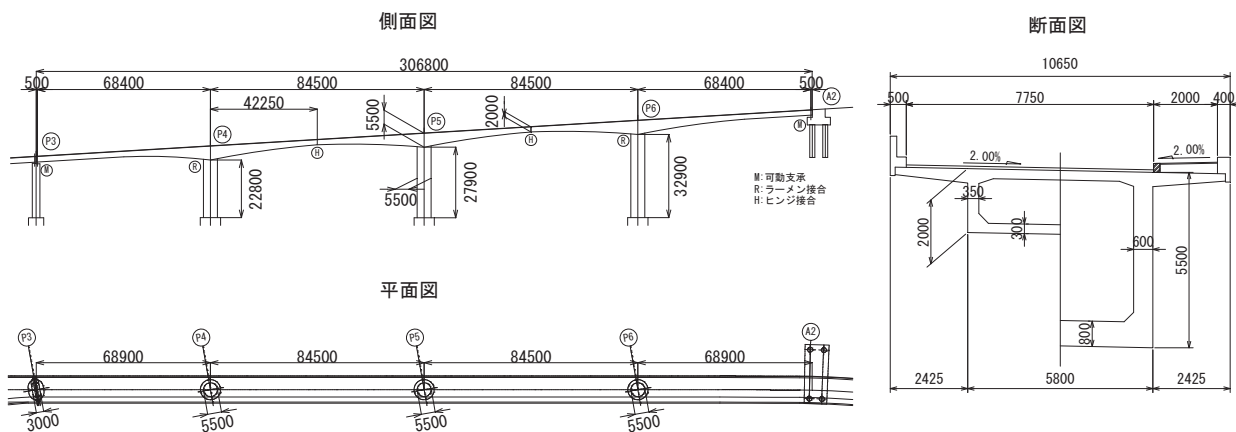


図-1 月夜野大橋 橋梁一般図

表-1 橋梁概要

橋梁名	：月夜野大橋
架設場所	：群馬県利根郡みなかみ町
竣工時期	：1982年（昭和57年）
構造	：4径間連続有ヒンジPCラーメン箱桁橋
橋長	：68.5m+2×84.5m+68.2m=306m
幅員	：車道7.75m 歩道2.0m
架設工法	：P&Z工法



写真-1 施工時写真

2. たわみ計測について

2.1 計測概要

たわみ計測は、地覆上部に設けた測量鉤（全43点）を計測しており、1982年～1986年は年3回、その後は1～5年程度の頻度で同点の計測（全32回）を実施した。後半の計測は、年1回以下の計測であるため、計測時期を統一して12月前後の計測とした。最新の計測は2019年12月に実施したものであり、同データを含めて報告する。

2. 2 計測結果

竣工後から継続的に実施している完成時高さと橋面高さの差を図-2 に示す。中央ヒンジを有さない側径間部は、竣工後目立ったたわみは確認されないが、中央ヒンジ部では、竣工後 20 年間で大きなたわみが確認され、その後の挙動は落ち着いていることがわかる。

図-3 に竣工時の橋面高さと計画高さの差を示す。竣工時には、P5-P6 ヒンジ部において、表-2 に示す合計約 140mm の上げ越し量が加味されていた。しかし、現状まで 160mm 程度のたわみが生じており、20mm 程度計画高より低い状況である。

前述したたわみ状況については、「H26 月夜野大橋補修検討業務」にて再現解析を実施して応力検討を行っており、ヒンジ部のたわみは進行しているものの、主桁の応力と状態としては、現行の基準を満足していることが確認されている。

また、2018 年の橋梁点検での主桁における点検結果は、「緊急対応の必要がある損傷、速やかに補修の必要がある損傷」は確認されていない。

3. 材料-構造応答連成解析について

3. 1 解析手法

計測された長期たわみを評価するため、既報^{2), 3), 4), 5)}における再現結果と比較を行った。ここで用いた解析手法は、東京大学コンクリート研究室で開発されてきた材料-構造応答連成解析システム DuCOM-COM3⁶⁾である。

本解析システムは水和発熱モデル、空隙形成モデル、水分移動モデルを核に、コンクリートの練り混ぜを起点とした、超長期に渡る水和進行とそれに伴う多孔質体としてのコンクリートの材料挙動変化を再現する DuCOM システムと、多方向ひび割れモデルに基づき鉄筋コンクリート構造物の力学的挙動を再現する COM3 システムを連成することによって構築されるマルチスケール解析システムである（図-4）。実構造物を構成するコンクリートは、構造物中の局所部位ごとに経験する環境条件は異なるため、たとえ同じロットのフレッシュコンクリートであっても、経年後の物性が同じものになるとは限らない。本解析システムでは各時間・各部位ごとに、質量・エネルギー・運動量保存則を満たす解として温度や湿度といった熱力学状態量が算出されるとともに、その条件下におけるコンクリートの強度や剛性等の前の時間計算ステップから変化量が評価される。この変化量を累積していくことで、任意時間経過後のコンクリート構造物中の任意部位における材料物性が仮想空間上に再現されることになる。長期たわみのような構造物全体のマクロな時間依存変形については、算出された各箇所での熱力学量を空隙スケールごとの水分挙動特性に合わせたレオロジーモデルに与え、各時間において各

表-2 竣工時の上げ越し量の内訳

計算上算出された上げ越し量	80 mm
美観上の上げ越し量（余裕量）	40 mm
地覆線形に伴う変更	20 mm
合計	140mm

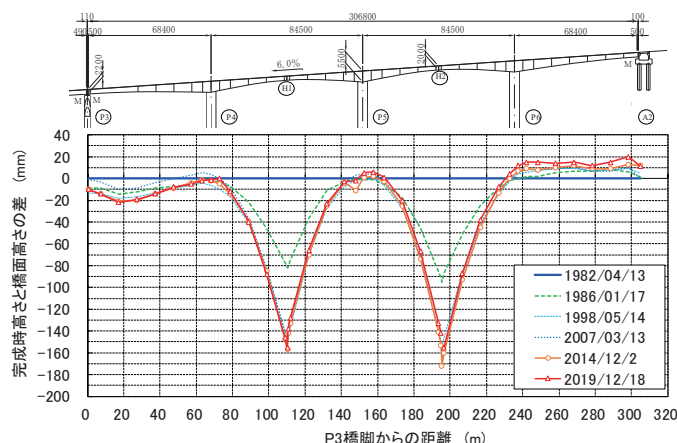


図-2 完成時からの橋面高さの変化

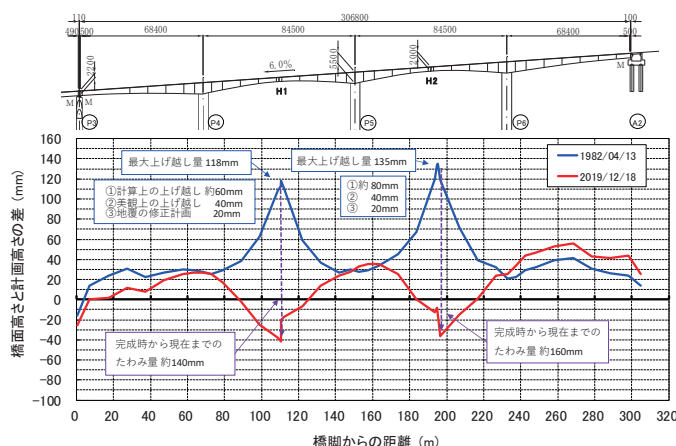


図-3 計画高さとの差

部位に作用する重力やコンクリートの空隙構造に由来した収縮駆動力に対して算出される応答変形量を、構造体全域にわたって積分することで評価される。

月夜野大橋をはじめとして一般の構造物では、クリープ変形を予測するのに線形クリープ則が用いられ、施工ステップによる荷重の変化も考慮されているものの、設計の前提として一様な材料物性が仮定される。一方、DuCOM-COM3は、構造物中の各所での材料物性の発現や熱力学状態量の違いを精緻に評価するシステムとなっており、材料物性値を一様なものではなく、寸法や部位に依存した構造応答値であるとして計算に用いることが両者の大きな違いである。

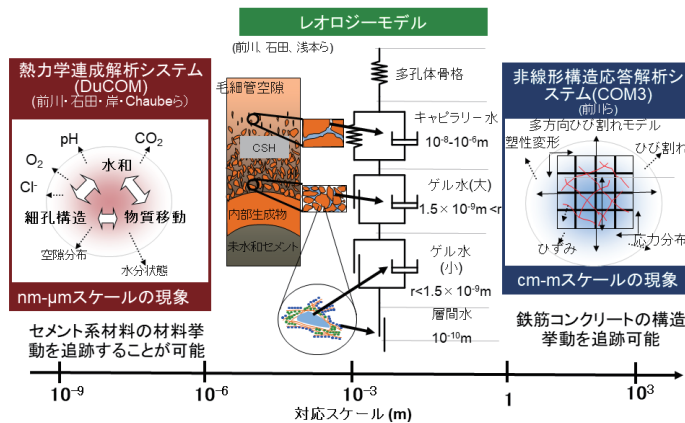


図-4 DuCOM-COM3システム概念図

表-3 1m³あたりのコンクリート配合 (kg)

C	W	S	G	Ad	備考
423	165	639	1108	1.05	夏季
440	167	629	1099	1.10	他

表-4 仮定する環境条件

月	1	2	3	4	5	6
気温 (°C)	-1	-1	2	8	14	18
相対湿度 (%)	73	72	71	70	74	81
月	7	8	9	10	11	12
気温 (°C)	21	23	19	12	6	1
相対湿度 (%)	85	85	88	83	77	73

今回の解析にあたっては既報³⁾と同じく、段階施工を仮定した計算を行った。施工サイクルはP&Z工法の施工記録を元にして推定した。一つの張り出し部は6ブロックに分けて施工されるが、今回の計算では6月2週目から1ブロック目の施工が開始され、9月までで施工が完了すると仮定する。また施工における上げ越し量や緊張力の記録も入手できなかったことから、上げ越しはないものとし、緊張量は設計値を初期導入緊張力として与えて評価することとした。

本解析システムでは水とセメントの接触を起点に、任意環境下における材料物性の変化を追跡するため、コンクリートの配合と環境条件が必要となる。コンクリートの配合については記録に基づいて設定した(表-3)。環境条件については施工時における現地の気象記録がないため、みなかみ町と近い気象にあると推測される、軽井沢観測所の気象データによる各月平均値を用いて代替した(表-4)。なお日変動や日射や風による影響、また雨や雪、結露による水分供給は無視した。養生は封緘養生として標準施工サイクルに合わせて再現する。施工開始から1250日経過後に橋面工が行われるが、それまではいずれの表面も外気暴露されたとした。上面舗装後は、舗装によって上面は封緘条件に近い状態となるが、舗装の劣化等によって雨水が供給され湿潤状態になっていく可能性もある。状況が判然としないことから、ここでは二つの条件を仮定して実態を評価することとした。仮定した条件は、上路面が外気によって乾燥され続ける条件と、舗装下に初期から雨水が浸入し上路面が湿潤状態で維持される条件との両極の二つの条件である。

3. 2 比較検討結果

図-5に今回の計測結果と解析結果の比較図を示す。解析は施工から100年間についてのものである。最新の記録である橋齢38年ではたわみが138mmから163mmとなる結果となっており、この値はほぼ解析で仮定した二つの条件での結果の間に収まっている。ごく初期のたわみ進行については解析と実測値との間に差があるが、これは施工装置の撤去や施工中の上げ越しによって生じるセグメントブロックあるいは断面内局所部位ごとの応力状態の違い、あるいは仮定した養生中あるいはその後の温湿度条

件と実際との違いといった、実施工と設計・解析との状況の違いに由来するものと推測される。約100日経過後のたわみ進行速度は概ね同じであるが、これは解析が実際の乾燥やクリープの進行速度を良好に再現しているためと考えられる。計測結果におけるたわみ進行も停滞傾向にあるが、解析結果においてもたわみ進行速度はかなり遅くなっており、上路面が湿潤という最もたわみが進行しやすい条件であっても、ここから更に32年の時間、つまり施工完了から現在までの時間と同じくらいの時間をかけて（橋齢70年時点）たわみがようやく8mm大きくなる程度であると推測される。

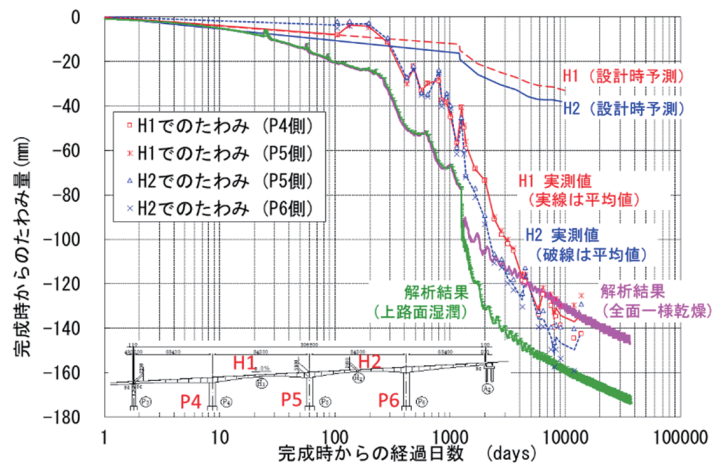


図-5 たわみ推移の比較

じくらの時間をかけて（橋齢70年時点）たわみがようやく8mm大きくなる程度であると推測される。

4. まとめ

中央ヒンジ部のクリープ挙動は、一般的なクリープ係数を用いた解析では再現できない大きなたわみを生じることがある。クリープによるたわみは、8,000日程度で進行速度の低減を確認した。

上路面が常に湿潤でたわみが最も出やすい条件での連成解析による再現解析で、橋齢38年（現在）でたわみ162mmという結果が確認されており、おおむね現地に即した解析方法も提案されている。今後は、全体的なたわみ進行量が相対的に小さいステージ入っており、今後のたわみ推移についても長期的な視点から評価していく必要がある。

参考文献

- 1) Witchkreangkrai, E., Tsuchida, K., Maeda, T., Watanabe, Y.: Long-term deflection monitoring of a cantilever prestressed concrete bridge with intermediate hinges over 25 years, Proceedings of the CONCREEP 8, pp.595-600, CRC Press, Sep. 2008
- 2) 千々と伸浩, 杉田恵, 石田哲也, 前川宏一: セメント硬化体中の微視的機構モデルに基づく実PC橋の長期時間依存変形シミュレーション, コンクリート工学年次論文集, VOL. 32, pp. 407-412, 日本コンクリート工学会, 2010年7月
- 3) Koichi Maekawa, Nobuhiro Chijiwa, Tetsuya Ishida: Long-term deformational simulation of PC bridges based on the thermo-hygro model of micro-pores in cementitious composites, Cement and Concrete Research, VOL. 41, NO. 2, pp.1310-1319, May 2011
- 4) 大野元寛, 千々と伸浩, 前川宏一: コンクリート中の細孔水に起因する変形駆動力が実PC橋の長期クリープたわみに及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, VOL. 33, pp. 467-472, 日本コンクリート工学会, 2011年7月
- 5) Motohiro Ohno, Nobuhiro Chijiwa, Benny Suryanto, Koichi Maekawa: An Investigation into the Long-Term Excessive Deflection of PC Viaducts by Using 3D Multi-scale Integrated Analysis, Journal of Advanced Concrete Technology, VOL. 10, NO. 2, pp. 47-58, Japan Concrete Institute, Feb. 2012
- 6) Koichi Maekawa, Tetsuya Ishida, Toshiharu Kishi: Multi-Scale Modeling of Structural Concrete, Taylor and Francis, Nov. 2008