

断面内の相対湿度差がPC桁の長期たわみに及ぼす影響

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 修士 (工学) ○宮本 祐輔
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 博士 (学術) 渡辺 健

キーワード：長期たわみ，ファイバーモデル，相対湿度，収縮，クリープ

1. はじめに

鉄道橋梁の長大化や列車の高速化に伴い、たわみ管理の重要性が高まってきており、プレストレストコンクリート(PC)桁の長期変形を精度よく予測する手法が求められている。供用環境下のPC桁は、上面・下面など部位ごとに降雨や乾燥の条件が異なり、断面内のひずみ差による曲率が生じることから、長期変形を精度よく予測するためには、これらの影響を適切に考慮する必要がある^{1),2)}。

そこで、部位に応じたコンクリートの収縮クリープ特性を考慮可能なファイバーモデル²⁾を用いて、断面内の相対湿度差がPC桁の長期たわみの予測値に及ぼす影響について報告する。

2. 解析の概要

2.1 解析対象の構造物

表-1に示すとおり、支間26~43mの鉄道PC桁(単純桁)を対象に、T桁、ホロー桁、下路桁、箱桁の4種類の構造形式について検討した。なお、コンクリートの材料特性は全構造形式で共通とし、普通コンクリート、単位水量175kg/m³、水セメント比50%、圧縮強度40N/mm²である。

表-1 解析対象の構造物の諸元

構造形式	形状 (m)		体積表面積比 (m)			鉄筋比 (%)			PC 鋼材 緊張力 (N/mm ² /本)	荷重 (kN/m)	
	支間	主桁高さ	上層	中層	下層	上層	中層	下層		主桁※	上載
PCT桁	26.1	1.8	149	125	157	0.40	0.44	0.36	1320.0	80.4	49.4
PCホロー桁	29.0	1.5	146	300	145	0.35	0.14	1.10	1230.0	198.2	87.4
PC下路桁	43.8	1.0	273	300	300	0.31	0.26	0.29	1299.0	346.9	62.9
PC箱桁	34.7	2.2	192	300	154	0.41	0.28	0.29	1154.4	173.1	91.9

※主桁荷重は横桁を除く自重を示しており、間詰めコンクリートの自重も含む

2.2 構造物のモデル化

PC桁を線材(ファイバー)にてモデル化し、任意形コンクリート鉄道橋設計プログラム「JR-CONST ver. 6.2」を用いて長期たわみを算出した。これは、コンクリートの収縮ひずみやクリープ係数の時間依存、および鋼材の拘束による影響などを考慮可能な解析プログラムである。橋軸直角方向の断面は、図-1に示すように上層、中層、下層に3分割し、これらを剛な線材で結合した。このとき、断面の分割方法は、断面剛性や配筋による力学抵抗、雨掛りの有無によるコンクリートの含水状態などを考慮した。また、橋軸方向の分割方法は、一定の解析精度が得られる範囲で、分割数が最小となる16分割とした。

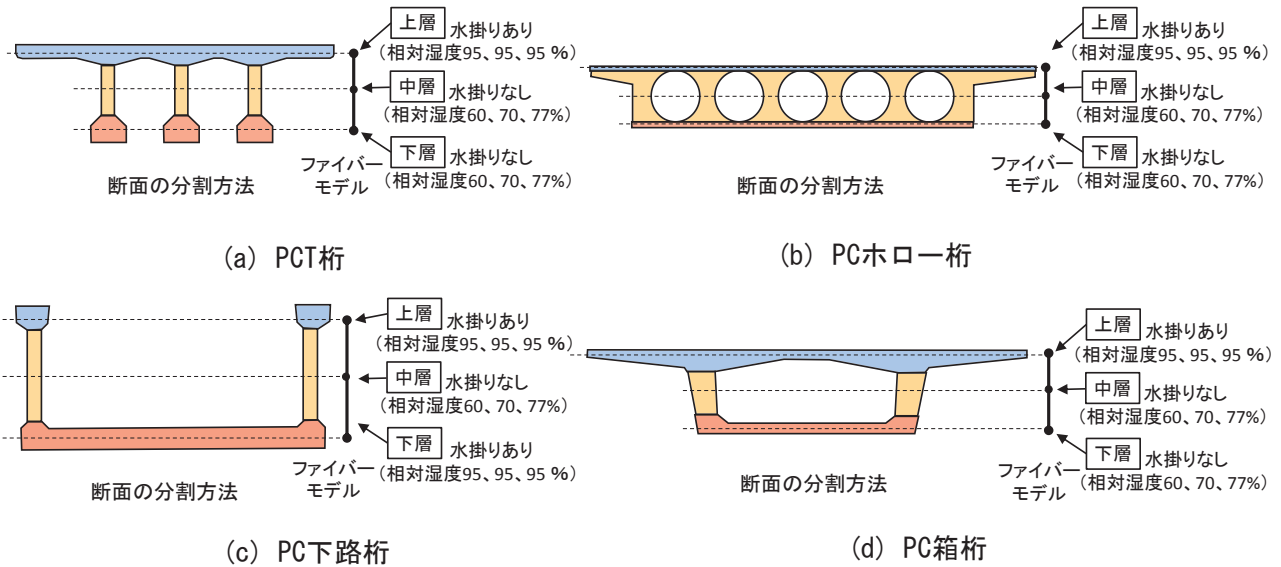


図-1 各構造形式の断面分割方法と相対湿度の設定およびファイバーモデルによるモデル化

2.3 解析条件

(1) 収縮・クリープ

土木学会コンクリート標準示方書(設計編)による算定式³⁾を用いることとし、図-1に示すように水掛りに応じた各層の相対湿度を考慮して収縮クリープ特性を算出した。

水掛りが無い部位の相対湿度は、気象庁のウェブサイト⁴⁾にて公開されている気象データに基づいて設定した。具体的には、図-2に示す通り、47都道府県の県庁所在地(気象データが存在しない箇所は、同一県内の最寄りの観測所)における2016年

1月1日~2018年12月31日の3年間の気象データを調査した結果を踏まえ、年平均相対湿度の最大値(77%)、平均値(70%)、最小値(60%)の3種類を設定した。一方、水掛りのある部位は、降雨の影響やコンクリートの品質などを考慮して相対湿度を設定することが望ましいと考えられるが、それらの影響程度は明らかとなっていないため、既往の検討²⁾を参考に、相対湿度95%に固定した。

(2) 施工ステップ

施工ステップは全構造物で共通とし、脱型材齢8日、プレストレス導入材齢18日、上載荷重載荷材齢31日とした。主桁自重は、プレストレス導入時(材齢18日)と同時に作用させた。なお、プレストレス導入時期と上載荷重載荷時期は異なるが、この影響は小さいとして、プレストレス導入時期のクリープ係数を適用した。解析ではこれらの条件に基づき、施工時から材齢80年までの桁の支間中央における鉛直変位を算出した。

3. 解析結果

図-3に、相対湿度別鉛直変位の経時変化、鉛直変位成分の経時変化、材齢80年での鉛直変位成分を示す。鉛直変位は支間中央での鉛直変位を示しており、鉛直下向きの変位を正として示している。また、鉛直変位成分のうち「弾性」とは、弾性変形による鉛直変位を示しており、桁の自重・PC鋼材

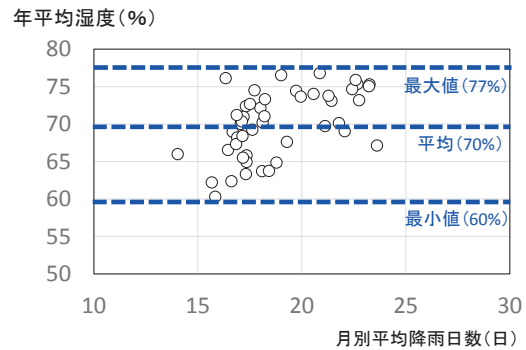


図-2 47都道府県における年平均相対湿度と月別平均降雨日数の関係

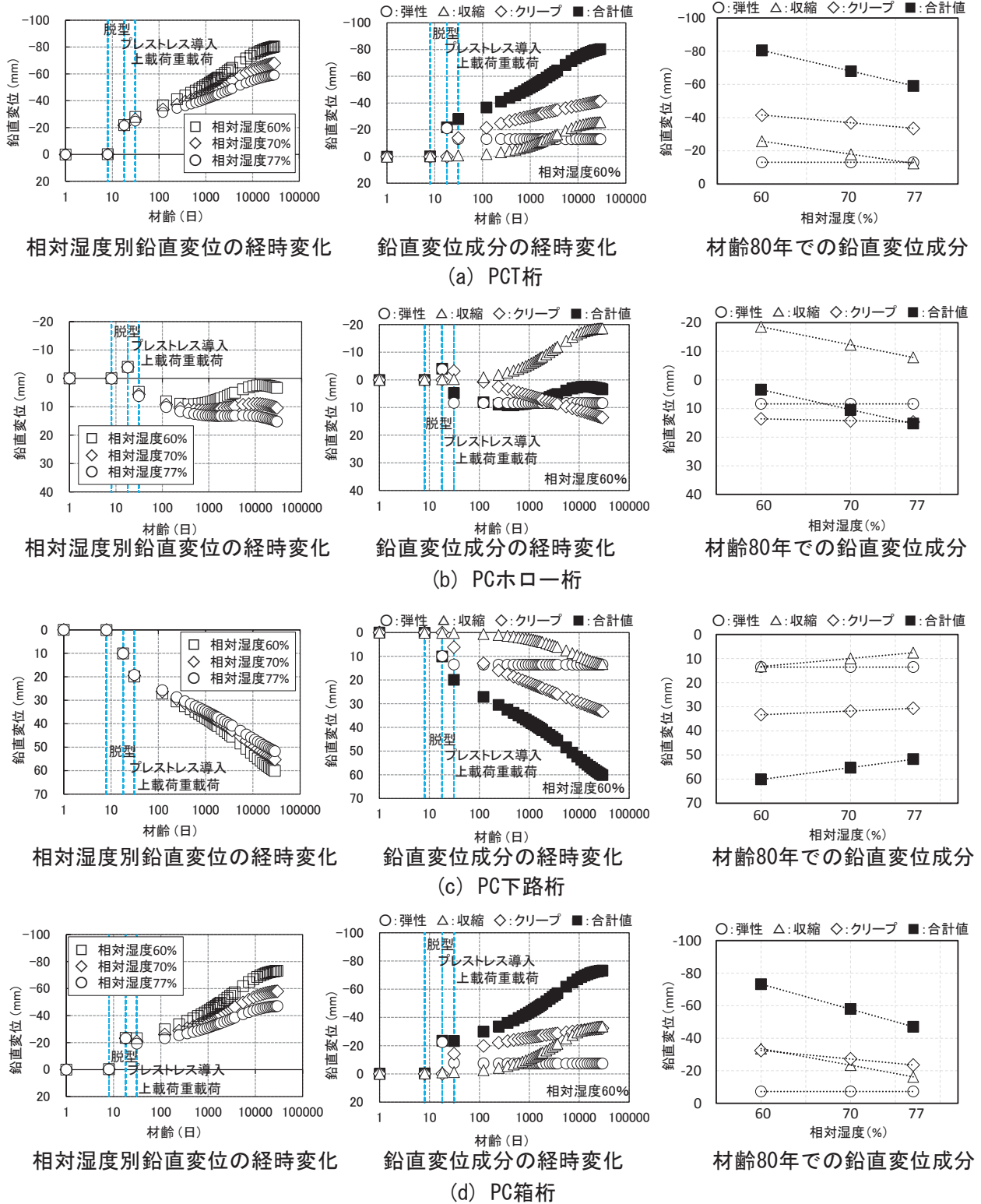


図-3 各構造形式の鉛直変位の経時変化およびその成分

緊張（リラクゼーションの影響を含む）・上載荷重による弾性変形を示している。「収縮」は、コンクリートの乾燥収縮および自己収縮による変形を示しており、鉄筋の拘束による影響や、収縮に起因するプレストレスロスによる変形を考慮している。また、「クリープ」は、弾性変形に伴うクリープ変形を示しており、特に有効プレストレスの変化に伴うクリープ変形を考慮している。

全構造形式で、各層の相対湿度の設定値に依存して鉛直変位の増減傾向が異なった。以下に構造形

式ごとの特徴を示す。

PCT桁・PC箱桁では、上載荷重載荷後の材齢の進行に伴って、鉛直変位が負（上反り）方向に増加した。これは、鉛直変位成分の経時変化に示すように、弾性による変形はPC緊張時のコンクリートの弾性係数に依存して一定で推移するが、収縮・クリープによる変形は材齢の進行に伴って負方向に増加したためである。なお、相対湿度を低く設定するほど上反り傾向は顕著であった。これは材齢80年での鉛直変位成分に示すように、相対湿度が低いほど乾燥収縮が進行し、断面のひずみ差による変形が大きくなったためと考えられる。

PCホロー桁では、上載荷重載荷後から材齢400日程度までは正（下反り）方向に変形し、その後は負（上反り）方向に変形した。初期の正方向への変形は、上載荷重載荷時の弾性変形が正側であったことから、クリープによる変形が正方向に増加したためである。一方、材齢400日以降はクリープに比べて収縮による変形の影響が大きくなり、湿度差が大きいほど負方向に変形した。すなわち、鉛直変位の経年変化は、時間に応じて変化する収縮とクリープ変形の大小関係に依存するものと推測される。

PC下路桁では、上載荷重載荷後の材齢の進行に伴って、鉛直変位が正（下反り）方向に増加した。これは、鉛直変位成分のうち収縮およびクリープによる変形の両方が、材齢の進行に伴って正方向に増加したためである。これは、上載荷重載荷後に正側に弾性変形していたことに加えて、断面内の湿度差により下層に比べて中層の収縮が進行したことで、下反りの曲率が生じたためと考えられる。なお、下路桁は他の構造形式に比べて、相対湿度差による鉛直変位の変化が少なかった。これは、PC鋼材が多く配置されている下層の相対湿度は一定値（95%）であるのに対して、相対湿度が変化する中層はPC鋼材量が少ないため、乾燥収縮が生じても有効プレストレスに与える影響が小さかったためと考えられる。

以上の検討結果より、永久作用後の材齢の進行に伴う鉛直変位の増減傾向は、収縮およびクリープのそれぞれの変形方向に加えて、構造形式に応じた断面内の相対湿度差によって変化する可能性があることがわかった。すなわち、永久作用後の弾性変形の正負や、水掛りを受ける部位によって、収縮による変形がクリープを打ち消すように働くか、または同一方向に促進されるかが決まり、これらの影響度は断面内の相対湿度差に起因するひずみ差に依存すると考えられる。

4. おわりに

ファイバーモデルを用いて、断面内の相対湿度差がPC桁の長期たわみの予測値に及ぼす影響について検討した結果、今回の検討範囲では、以下の知見が得られた。

- (1) 断面内での相対湿度差が大きいほど、PCT桁・PC箱桁・PCホロー桁は上反り方向に変形し、PC下路桁は下反り方向に変形した。
- (2) 材齢の進行に伴う鉛直変位の増減傾向は、収縮およびクリープそれぞれの変形方向に加えて、構造形式に応じた断面内の相対湿度差を考慮して判断する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) Ohno, M., Chijiwa, N., Suryanto, B. and Maekawa, K. :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, pp.47-58, 2012
- 2) 渡邊忠朋, 土屋智史, 坂口淳一, 笠井尚樹: 断面の部位別に時間依存変形を考慮した線材モデルによるPC橋梁の長期たわみ解析, 土木学会論文集E2, Vol.69, No.2, pp.207-226, 2013
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], 2018.3
- 4) 気象庁ウェブサイト: <http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html> (閲覧日: 2019.2.28)