

論文 降雨含む供用環境下での収縮クリープ予測式に関する解析的検討

大野 又稔*1・幸良 淳志*2

要旨:降雨を含む供用環境下における PC 桁の 100 年間の有効プレストレス力および変形の評価に用いる収縮クリープ予測式を提案するため、収縮クリープのメカニズムに即した解析モデルにより、部材厚、相対湿度、降雨面数、月降雨日数をパラメータとした感度解析を実施した。降雨のモデル化方法を検討するため、降雨条件のみを変えた約 4 年間の暴露試験の再現解析を実施した。感度解析結果から、降雨を含む変動環境下における 100 年間の収縮ひずみおよび単位応力当たりのクリープひずみの簡易な算定式を提案し、解析値に対して収縮ひずみは±30%、単位応力当たりのクリープひずみは±20%の範囲で算定可能であることを確認した。
キーワード: 収縮, クリープ, 降雨, 部材厚, PC 桁, 長期変形, マルチスケール解析

1. はじめに

プレストレストコンクリート (PC) 桁は、コンクリートの収縮およびクリープにより、経時的にプレストレス力が減少するとともに、たわみが発生する。PC 桁に残存するプレストレス力および変形を精度よく予測するには、この収縮およびクリープを適切に評価することが重要となる。コンクリートの収縮やクリープの挙動は、配合、材料、寸法、乾燥面積、外気温度、外気湿度に依存し、特に供用環境下においては降雨の影響を大きく受ける^{1),2),3),4)}。供用環境下の PC 桁では、上面、側面など部位ごとに降雨や乾燥の条件が異なるため、収縮やクリープの挙動に差異が生じ、長期供用された PC 橋りょうにおいて、設計より過大なたわみが生じたことが報告されている⁵⁾。近年、PC 桁の長期的な変形を精度よく予測するため、構造物の環境条件を適切に考慮し、セメント硬化体の細孔構造と内部水分状態から、コンクリートの収縮クリープのメカニズムに立脚した詳細な変形評価手法について、多くの研究が進められている^{5), 6), 7)}。しかし、降雨による吸水挙動を適切に再現する手法については確立されていない。また、簡易的に PC 桁の長期的な変形を予測する手法として、部材断面を環境条件に応じて分割し、ファイバーモデルに部位ごとの収縮クリープ挙動を入力する手法がある⁵⁾。しかし、入力値となる部位ごとの収縮クリープ挙動について、降雨を考慮した簡易な算定式は確立されていない。

本研究では、ファイバーモデルを用いた PC 桁の長期変形予測の入力値となる、部位ごとの収縮クリープ挙動について、部位ごとの降雨や乾燥の条件に応じた算定式を提案することを目的とした。供用 100 年間の収縮クリープ挙動については、数年レベルの実験結果から外挿した従来の設計式^{8), 9)}ではなく、細孔構造と内部水分状態からメカニズムに即した解析^{6), 7)}に基づいて検討するこ

ととし、マルチスケール解析プログラム LINK3D を用いた。はじめに、降雨条件のみを変えた 2 地点での約 4 年間の暴露試験の再現解析により、降雨等のモデル化方法を検討した。次に、検討したモデル化方法に基づき、部材厚、相対湿度、降雨面数、月降雨日数をパラメータとした感度解析を実施し、部位ごとの降雨や乾燥の条件に応じた簡易な収縮ひずみおよび単位応力当たりのクリープひずみの算定式を検討した。

2. 解析概要

2.1 暴露試験の再現解析

使用材料および環境条件の異なる 2 地点において実施した、降雨条件のみを変えた暴露試験 (R: 降雨あり, D: 降雨なし) について、再現解析を実施した。暴露試験では、100×100×400mm の無筋コンクリート試験体を無載荷状態で静置し、試験体中心に設置した埋め込み型ひずみ計で、試験体長手方向のひずみ変化を約 4 年間計測した。再現解析では、図-1(a)に示す通り、試験体寸法の 1/8 モデルに対し、境界面の温度および湿度の設定方法を変えて、試験体長手方向のひずみ ϵ を出力した。境界面近くの要素を 10mm 厚、離れるに従い最大 20mm 厚となるように要素を分割した。表-1 に、再現解析の主な入力条件を示す。骨材自体の収縮量は不明であったため 0 と設定し、T 地点のセメントのslag置換率も不明であったため高炉セメント B 種の上限の 60%と設定した。図-

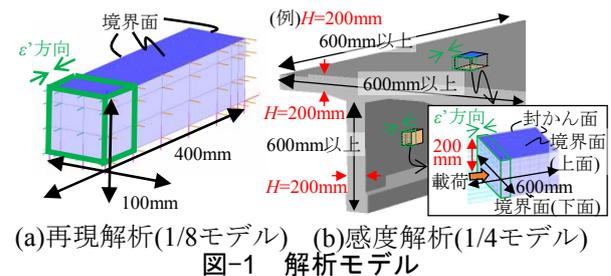


図-1 解析モデル

*1 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 修士(工学) (正会員)

*2 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 修士(工学) (正会員)

2に、K地点での100日までの境界面の湿度入力条件を示す。温度、湿度、降雨の入力について、暴露地点付近の気象台データに基づき、日ごとに変えたケース(1d)と、期間平均で一定としたケース(ave)で解析した。

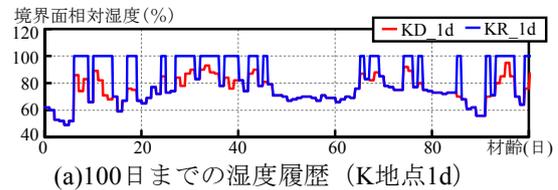
使用した解析モデル⁶⁾では、不飽和での水分移動を仮定しているため、降雨影響のない湿度変動環境下での水分挙動は良好に再現できるが、降雨などの液状水の吸水挙動は、境界面の相対湿度を100%と設定しただけでは、吸水量が過小に評価される^{4),10)}。疑似的に吸水と同等の水分移動を再現する方法として、降雨時間をそのまま、水分伝達係数により境界面相対湿度を100%以上に設定する方法¹⁰⁾や、境界面相対湿度を100%として、降雨時間を実際より長く設定する方法が考えられる。本検討のRでは、降雨環境を後者の方法で表現することとし、降雨が観測された日は24時間の境界面相対湿度を100%と設定する1dに加え、100%の時間を12,36時間に変えたケース(1d-12h,36h)を設定した。表-2に、再現解析のstep条件を示す。解析1stepあたりの日数は、水和が著しい材齢1日までは細かく、その後も日ごとの温湿度変化に追従できるように設定した。aveでの降雨の1cycle(雨と晴の1組)は、暴露地点付近気象台の計測期間の月平均降雨日数から設定した。材齢90日以降は、後述の感度解析での計算時間を短縮するため、1cycleが1か月となるように設定した。なお、本検討では、無載荷の暴露試験体を対象に再現したが、使用した解析モデルでは、乾燥による収縮駆動力と外力を等価に扱っていることから、収縮だけでなくクリープも同様であると考えた。

2.2 部材厚と環境作用に対する感度解析

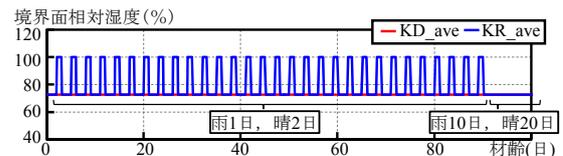
表-3に示す通り、部材厚 H 、乾燥面相対湿度 DRH 、降雨面数 F 、月降雨日数 R 、載荷応力 σ_c をパラメータとした、全176ケース(全組み合わせ360ケースから重複184ケースを除く)の感度解析を実施した。 H は、一般的な鉄道用PCT桁の部材厚を参考に設定した。なお、いわゆる有効部材厚 d では、 $H=d/2$ に相当する。 DRH は、図-3に示す、相対湿度を観測している全国155地点の気象台における、1981~2010年の30年平均値を参考に設定した。 F は、T桁ウェブなどで、両側面乾燥のような場合(0面)、T桁上フランジなどで、上面降雨、下面乾燥のような場合(1面)、下路桁ウェブなどで、両側面降雨のような場合(2面)を想定して設定した。 R は、図-3で全国の平均値は13~25日の範囲であったが、 R による影響を広範囲に把握するため、幅広く設定した。 σ_c は、 $0N/mm^2$ でのひずみを $\epsilon'_{無載荷}$ 、 $8N/mm^2$ でのひずみを $\epsilon'_{載荷}$ として、収縮ひずみ ϵ'_{sh} およびクリープひずみ ϵ'_{cr} の算定に用いた。なお、本解析の材料条件において、 σ_c が載荷開始材齢 t' における圧縮強度 $f_c(t')$ の40%以下の場合、 ϵ'_{cr} が σ_c に比例することを確認し、 σ_c をスパン35m

表-1 再現解析の主な入力条件

再現ケース	K地点(KR,KD)	T地点(TR,TD)
セメント種類	早強セメント	高炉セメントB種
水結合材比	40%	35%(スラグ60%)
単位水量	161kg/m ³	154kg/m ³
乾燥開始材齢 t_0	1日	10日
計測期間	4年	3年
外気温度	0~32(ave18)°C	0~31(ave20)°C
外気相対湿度	36~100(ave72.6)%	34~100(ave74.2)%



(a)100日までの湿度履歴(K地点1d)



(b)100日までの湿度履歴(K地点ave)

図-2 再現解析の境界面相対湿度入力条件

表-2 再現解析のstep条件

材齢	解析1step	降雨1cycle(雨/晴日)
~1日	0.02日	封かん
~30日	0.1日	K: 1/2日, T: 2/3日
~90日	0.2日	
90日~	0.2日	K: 10/20日, T: 12/18日

表-3 感度解析のパラメータ

部材厚 H	200,400,600,1000mm
乾燥面相対湿度 DRH	60,70,80%
降雨面数 F	0面: DD(上面乾燥, 下面乾燥) 1面: RD(上面降雨, 下面乾燥) 2面: RR(上面降雨, 下面降雨)
月降雨日数 R	0,5,15,25,30/30日
載荷応力 σ_c	0,8N/mm ²
外気温度	20°C
解析期間	100年

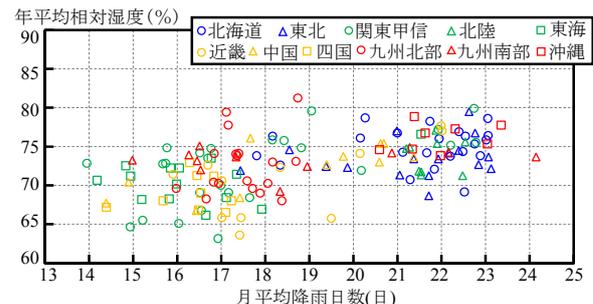


図-3 155地点気象台の30年平均値

の一般的な鉄道PCT桁のスパン中央断面の上縁における、永久作用による応力を参考に設定した。外気温度は20°C一定とし、材齢100年まで解析した。

図-1(b)に示す通り、PC桁の部材厚 H の部材の乾燥および応力条件における橋軸方向の変形と同等となるように、部材厚直交方向の2辺が、部材厚の3倍となる解析モデルの1/4モデルに対し、上下面を境界面、側面を封かんとして、境界面の湿度履歴を変えて、載荷方向のひずみ ϵ' を出力した。これは、部材厚直交方向の2辺が部

材厚より十分な長さを有し、側面からの乾燥の影響が小さく、かつ中央断面で平面保持が成立する状況を想定し、さらに、境界面が部材厚となる対称の2面にあり、境界面と載荷方向が平行となる部材を想定した。境界近くの要素が20mm厚、離れるに従い最大200mm厚となるように要素分割した。表-4に、感度解析の主な入力条件を示す。一般的なPC桁への使用を想定し、解析上の $f_c(28)$ が40N/mm²、 $f_c(t)$ が35N/mm²を満足し、さらに乾燥による影響が顕著になるように、水結合材比および単位水量を高く、 t_0 および t' を早く設定した。表-5に、感度解析のstep条件を示す。再現解析のaveを参考に、解析時間が短くなるように設定した。

3. 暴露試験の再現解析

3.1 細孔内相対湿度およびひずみ

図-4(a),(b),(d),(e)に、KおよびT地点のDおよびR環境での ϵ' の履歴について、計測値と解析値(1d, ave)を示す。なお、 ϵ' には温度ひずみが含まれている。さらに解析終了時点(降雨日)の細孔内相対湿度 RH_{in} および ϵ' の断面分布を示す。 RH_{in} より、Rでは降雨により境界面付近の RH_{in} が高くなり、Dに比べて断面全体の RH_{in} が高い。また、Dの1dがaveより高いが、乾湿繰り返しにおける水分移動経路のボトルネック効果によると考えられる。 ϵ' の断面分布は、断面内で一様である。 RH_{in} が不均一であっても、境界条件が対称で、 ϵ' 方向に十分な長さを有している場合、断面で平面保持が成立し、断面中心の ϵ' は断面内平均と一致することから、解析値の ϵ' の履歴は断面内平均から求めた。1dの ϵ' の履歴は、計測値の季節変動およびDとRの大小関係を再現できている。しかし絶対値で見ると、K地点では計測値より約200 μ 小さく、T地点では約200 μ 大きい。これは、骨材の収縮量やスラグ置換率が実際と解析で異なっていたことが要

因の一つと考えられる。次にaveは、1dの季節変動の範囲内にあり、またDとRの大小関係を再現できている。Dのaveが全体的に1dの季節変動の平均より大きい要因として、上述のボトルネック効果により RH_{in} が高く保たれ、収縮駆動力が小さくなったことが考えられる。

3.2 環境作用についての相対評価の妥当性確認

図-4(c),(f)に、K, T地点の計測値と解析値の比較を示す。Dの1dの解析値は、骨材の収縮量やスラグ置換率などの材料条件の差異により、収縮駆動力および抵抗力が異なるものの、環境条件と収縮メカニズムが一致しているため、計測値と絶対値は一致していないが、概ね比例関係にあると考えられる。同材料で環境が異なるRの場合、適切な降雨のモデル化による解析値は、Dの1dの近似線上にあると考えられるが、Rの1d, 1d-36hは概ね線上に、1d-12hは線の右にある。降雨時に境界面相対湿度を24時間100%と設定した1dでは、実降雨時間での急激な水分移動を実際より長い時間をかけて疑似的に表現しており、時点ごとの挙動にはかい離があるが、年スケールでの挙動は概ね表現可能であり、Dと同じ比例関係で計測値を評価可能であることがわかる。また、Dのaveは1dの平均値よりもやや大きい程度、Rのaveは概ね1dの平均値程度である。設計では要求性能ごとに安全側

表-4 感度解析の主な入力条件

セメント種類	普通セメント
水結合材比	50%
単位水量	175kg/m ³
乾燥開始材齢 t_0	18日
載荷開始材齢 t'	18日

表-5 感度解析のstep条件

材齢	解析1step	降雨1cycle(雨/晴日)
~1日	0.02日	封かん
~18日	0.1日	封かん
~30日	0.1日	R5:1/5日,R15:1/1日,R25:5/1日
~60日	0.5日	
~90日	1日	R5:1/5日,R15:3/3日,R25:5/1日
~100年	5日	R5:5/25日,R15:15/15日,R25:25/5日

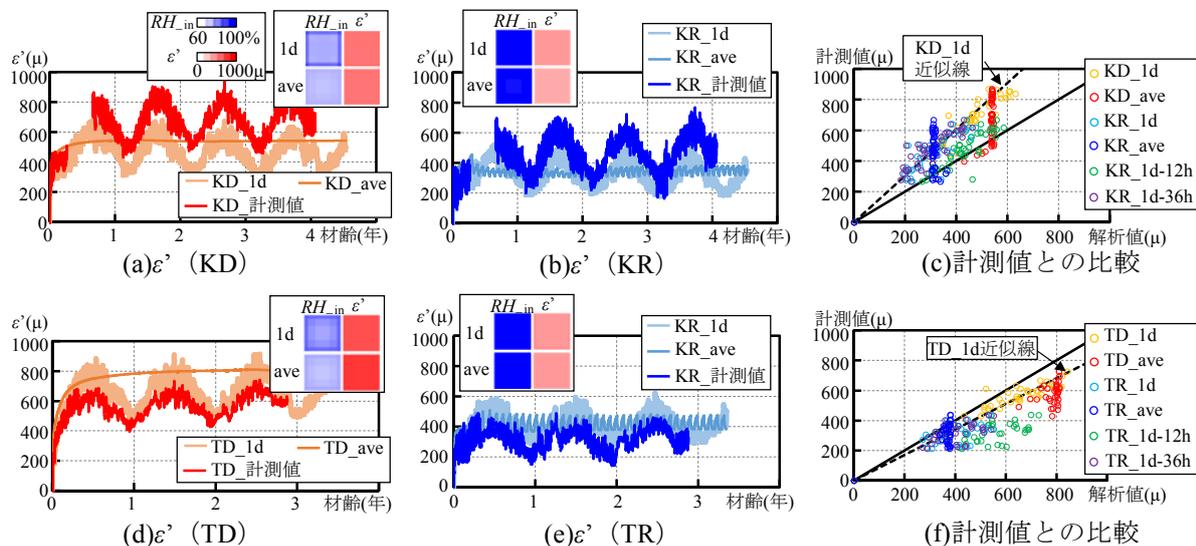


図-4 感度解析によるひずみの履歴

となる収縮クリープの大小が異なることから、感度解析では ave のモデル化方法を参考とし、季節変動を除く湿度、降雨に対する収縮クリープの相対値で整理した。

4. 部材厚と環境作用に対する感度解析

4.1 収縮およびクリープ予測式の式形状の検討

図-5(a)に、境界条件が非対称なケース ($F=1$ 面) を例に、感度解析結果の $\varepsilon'_{\text{無載荷}}$ から式(1)で算定した材齢 t_0 から材齢 t までの収縮ひずみ $\varepsilon'_{\text{sh}}(t, t_0)_{\text{ana}}$, $\varepsilon'_{\text{sh}}(t, t_0)_{\text{ana}}$ を式(2)および式(3)により、step 時間で重みづけした最小二乗法で回帰した $\varepsilon'_{\text{sh}}(t, t_0)_{\text{cal}}$ の例を示す。さらに、例示した $R=5$ 日のケースと他が同条件の $R=15$ 日のケースについて、材齢 100 年の降雨日における RH_{in} および ε' の断面分布を示す。また、図-5(b),(c)に、全ケースの全 step における、式(2)および式(3)の回帰精度を示す。

$$\varepsilon'_{\text{sh}}(t, t_0)_{\text{ana}} = \varepsilon'_{\text{無載荷}}(t) - \varepsilon'_{\text{無載荷}}(t_0) \quad (1)$$

$$\varepsilon'_{\text{sh}}(t, t_0)_{\text{cal}} = \frac{\varepsilon'_{\text{sh}\infty} \cdot (t - t_0)}{\beta + (t - t_0)} \quad (2)$$

$$\varepsilon'_{\text{sh}}(t, t_0)_{\text{cal}} = \left[1 - \exp\left\{-a(t - t_0)^b\right\}\right] \cdot \varepsilon'_{\text{sh}\infty} \quad (3)$$

ここで、 $\varepsilon'_{\text{sh}\infty}$, β , a , b : $\varepsilon'_{\text{sh}}(t, t_0)_{\text{ana}}$ を回帰する 1 ケースごとの変数、である。 $R=5$ 日の RH_{in} の断面分布より、降雨面側の上面は降雨で RH_{in} が高く、乾燥面側の下面に向かって徐々に RH_{in} が低い。 ε' の断面分布より、下面側で収縮が大きく断面内でひずみ差がある。一方、 $R=15$ 日では、水分逸散に比べて降雨頻度が高いため、下面付近でも RH_{in} が高く、上下でひずみ差があるが $R=5$ 日より ε' が小さい。また、 ε' は概ね高さに比例して分布しており、境界条件が非対称であっても、境界面が対称かつ ε' 方向に十分な長さを有していれば、断面で平面保持が成立し、断面中心の ε' は断面内平均と一致する。一般的な PCT 桁の上フランジのように、部材厚に対して桁高が高い場合、部材自体の曲率よりも部材軸方向の変形の影響が大きいと考えられることから、解析値の ε' の履歴は断面内平均で整理した。一定環境下での数年レベルの実験から作成された式(2),(3)であるが、メカニズムに即した変動環境下での 100 年間の解析でも、同程度の高い精度で回帰可能であった。感度分析から簡易な算定式を検討するにあたり、少ない変数の方がより簡便であると考え、式(2)で回帰した変数 $\varepsilon'_{\text{sh}\infty}$ および β について、環境作用に対する感度分析を行うこととした。

図-6(a)に、感度解析結果の $\varepsilon'_{\text{載荷}}$ および $\varepsilon'_{\text{無載荷}}$ から式(4)で算定した材齢 t' から材齢 t までの単位応力当たりのクリープひずみ $\varepsilon'_{\text{cr}}(t, t', t_0)/\sigma'_{\text{c_ana}}$, $\varepsilon'_{\text{cr}}(t, t', t_0)/\sigma'_{\text{c_ana}}$ を式(5)および式(6)により、step 時間で重みづけした最小二乗法で回帰した $\varepsilon'_{\text{cr}}(t, t', t_0)/\sigma'_{\text{c_cal}}$ の例を示す。さらに、 $R=5, 15$

日の材齢 100 年の降雨日における RH_{in} および ε' の断面分布を示す。また、図-6(b),(c)に、全ケースの全 step における、式(5)および式(6)の回帰精度を示す。

$$\varepsilon'_{\text{cr}}(t, t', t_0)/\sigma'_{\text{c_ana}} = (\varepsilon'_{\text{載荷}}(t) - \varepsilon'_{\text{無載荷}}(t) - \varepsilon'_{\text{載荷}}(t'))/\sigma'_{\text{c}} \quad (4)$$

$$\varepsilon'_{\text{cr}}(t, t', t_0)/\sigma'_{\text{c_cal}} = A \log_e(t - t' + 1) \quad (5)$$

$$\varepsilon'_{\text{cr}}(t, t', t_0)/\sigma'_{\text{c_cal}} = \left[1 - \exp\left\{-a(t - t')^b\right\}\right] \cdot \varepsilon'_{\text{cr}} \quad (6)$$

ここで、 $\varepsilon'_{\text{ei}}(t')$: 載荷前後 step でのひずみ変化、 A , a , b , ε'_{cr} : $\varepsilon'_{\text{cr}}(t, t', t_0)/\sigma'_{\text{c_ana}}$ を回帰する 1 ケースごとの変数、である。 RH_{in} および ε' の断面分布より、降雨による RH_{in} の勾配に応じて下面側でクリープが大きく、断面内で高さに比例して ε' が分布している。解析値の ε' の履歴は断面内平均で整理した。一定環境下での数年レベルの実験から作成された式(5),(6)であるが、メカニズムに即した変動環境下での 100 年間の解析においては、式(5)の方が少ない係数で若材齢から高精度で回帰可能であった。よって、式(5)で回帰した A について、環境作用に対する感度分析を行うこととした。

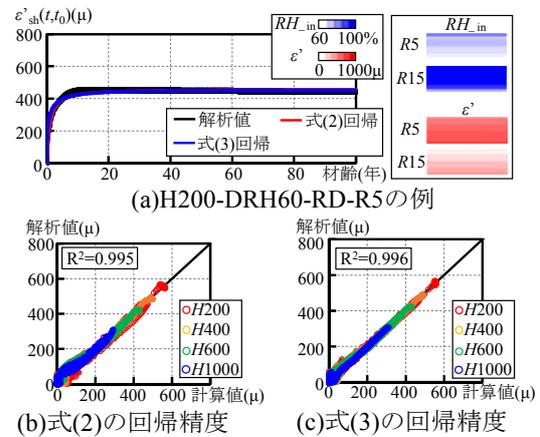


図-5 感度解析による収縮の予測式形状検討

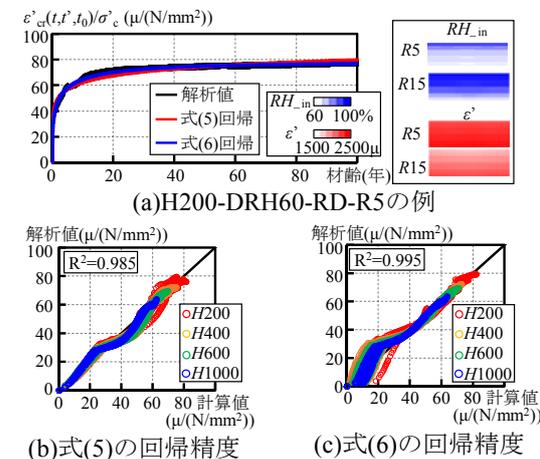


図-6 感度解析によるクリープの予測式形状検討

4.2 $\epsilon'_{sh\infty}$ と β とAに対する感度分析

図-7に、回帰した変数 $\epsilon'_{sh\infty}$, β , Aに対する, H , H^2 , \sqrt{H} の相関を示す。また同条件の点から図中の近似式形状を類推し, 最小二乗法で近似した近似線の例を示す。従来の設計式^{8),9)}の $\epsilon'_{sh\infty}$ は, H に依存させない場合, 線形に減少させる場合, 非線形に減少させる場合があるが, 図-7(a)より, 今回の感度分析の範囲では, 線形に減少するとして表現可能と考えられる。 β は, H^2 に線形に増加する場合と, \sqrt{H} に線形に増加する場合があるが, 図-7(b),(c)より, \sqrt{H} に線形に増加するとして表現可能と考えられる。Aは, H に依存させていないが, 図-7(d)より, DRH=100% (基本クリープ) での係数 A_{RH100} も含めて, \sqrt{H} に線形に減少するとして表現可能と考えられる。図-8に, $H=200\text{mm}$ の回帰した変数 $\epsilon'_{sh\infty}$, β , Aに対する, DRH, Rの相関と近似線を示す。図-8(a),(d)より, $\epsilon'_{sh\infty}$ は(100-DRH)の一次関数かつ(30-R)の二次関数で表現可能と考えられる。図-8(b),(e)より, β は(100-DRH)の一次関数, (30-R)の二次関数で表現可能と考えられる。図-8(c),(f)より, $(A-A_{RH100})$ は(100-DRH)の一次関数,

(30-R)の二次関数で表現可能と考えられる。なお, 他のHにおいても, 同様の式形状で近似可能であった。ここで, $\epsilon'_{sh\infty}$ と β に対するRの近似式では, Rが一定値(30-b)以上で0に底打ちとなる形となっているが, これは図-5(a)のR=15日のようにRH_{in}が飽和し続ける状態を示している。図-9に, 回帰した変数 $\epsilon'_{sh\infty}$, β , Aに対するFの相関について, RH_{in}が飽和状態とならなかったR=5日の例と近似線を示す。 $\epsilon'_{sh\infty}$, β , Aは, (4-F)の一次関数で表現可能と考えられる。

4.3 収縮およびクリープ予測式の検討

部材厚および環境作用に対する感度分析結果より, 収縮ひずみの予測式は, 式(2), (7), (8)で表現可能であり, 単位応力当たりのクリープひずみの予測式は, 式(5), (9)で表現可能と考えられる。

$$\epsilon'_{sh\infty} = \frac{a_1(100-DRH)(30-R-b_1)^2(4-F+c_1)}{H+d_1} \quad (7)$$

$$\beta = a_2(100-DRH)(30-R-b_2)^2(4-F+c_2)(\sqrt{H}+d_2) \quad (8)$$

$$A = \frac{a_3(100-DRH)(30-R)(30-R-b_3)(4-F+c_3)+e_3}{\sqrt{H}+d_3} \quad (9)$$

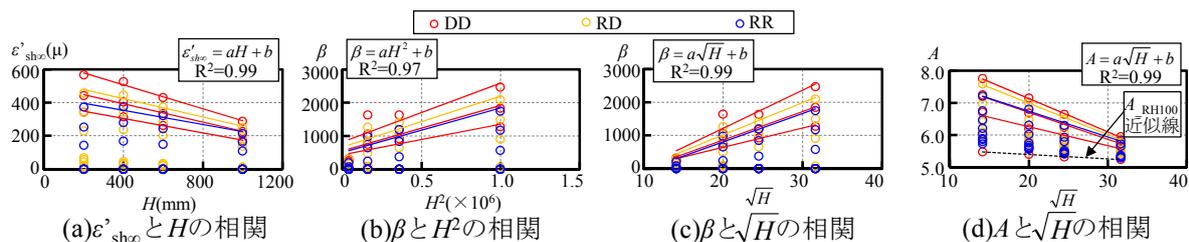


図-7 $\epsilon'_{sh\infty}$, β , Aに対するHの相関

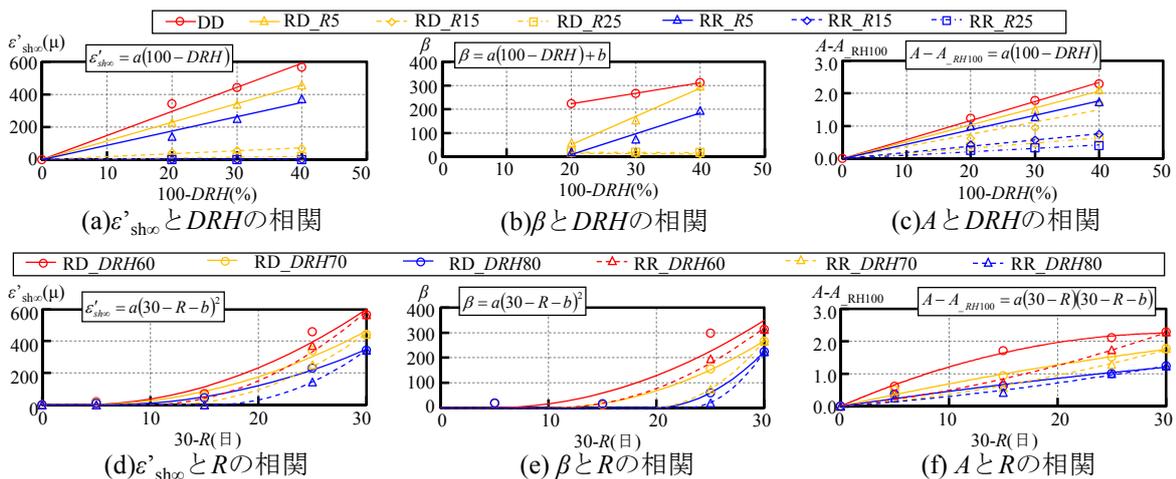


図-8 $\epsilon'_{sh\infty}$, β , Aに対するDRH, Rの相関(H=200mm)

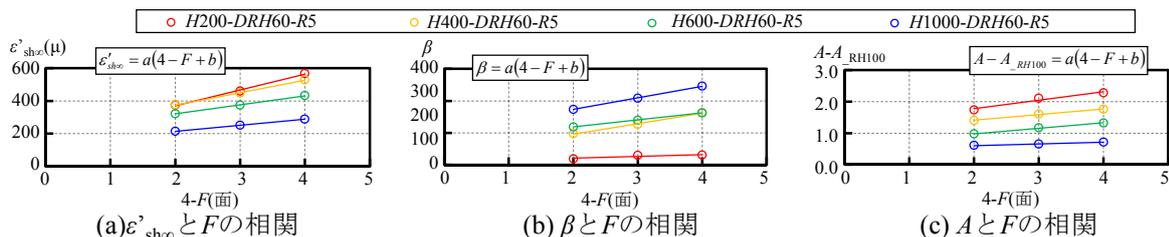


図-9 $\epsilon'_{sh\infty}$, β , Aに対するFの相関 (R=5日)

ここで、 $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2, d_2, a_3, b_3, c_3, d_3, e_3$: 同一材料に対して1つ定まる係数、である。図-10に、式(2),(7),(8)から算定した $\varepsilon'_{sh}(t, t_0)$ と、式(5),(9)から算定した $\varepsilon'_{cr}(t, t_0)/\sigma'_c$ について、解析値との比較を示す。

表-6 に示す、式(7),(8),(9)の各係数は、step 時間で重みづけした最小二乗法により1つに定めた。降雨を含む変動環境下における解析値に対して、提案した算定式により、 $\varepsilon'_{sh}(t, t_0)$ はほぼ±30%の範囲内で算定可能であり、 $\varepsilon'_{cr}(t, t_0)/\sigma'_c$ はほぼ±20%の範囲内で算定可能である。ここで、表-6 の係数による算定値は相対値であり、絶対値を求めるには補正が必要である。図-11 に、降雨のない一定環境下における供試体の数年レベルの実験値から求められた既往の算定式⁹⁾と、提案した算定式の比較を示す。なお既往の算定式の適用可能な、 $H=200\text{mm}$, $F=0$ 面、 $R=0$ 日の材齢3年までの値を比較した。提案した算定式は、既往の算定式に対して概ね一様に比例している。すなわち、今回の配合のコンクリートに対し、降雨を含む変動環境下における $\varepsilon'_{sh}(t, t_0)$ および $\varepsilon'_{cr}(t, t_0)/\sigma'_c$ の絶対値は、表-6 の係数による算定値を $\varepsilon'_{sh}(t, t_0)$ で 1.75 倍、 $\varepsilon'_{cr}(t, t_0)/\sigma'_c$ で 1.61 倍することで算定できると考えられる。今後、異なる配合についても、同様に係数、補正を求め、配合条件も含めた簡易な算定式を検討したい。

5.まとめ

- (1) 使用材料および環境条件の異なる2地点において実施した、降雨条件のみを変えた暴露試験について、細孔構造と内部水分状態に基づく解析プログラムによる再現解析を実施し、温度、湿度、降雨を期間平均で一定とするモデル化方法により、季節変動を除く温度、湿度、降雨に対する相対評価が可能であることを把握した。
- (2) 部材厚、乾燥面相対湿度、降雨面数、月降雨日数、載荷応力をパラメータとした、全176ケースの感度解析を実施し、乾燥による影響が顕著な普通セメントコンクリートを用いた一般的なPC桁部材について、国内屋外の変動環境下における100年間の収縮ひずみおよび単位応力当たりのクリープひずみの算定式を提案した。降雨を含む変動環境下における解析値に対して、提案した算定式により、収縮ひずみは±30%、単位応力当たりのクリープひずみは±20%の範囲内で算定可能であることを把握した。

参考文献

- 1) 大野又稔, 渡辺健: 要素試験体の水分・収縮評価に基づく供用環境下PC桁の変形予測, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, 2017
- 2) 浅沼潔, 竹下治之, 藤井学: 部材厚さが乾燥収縮に

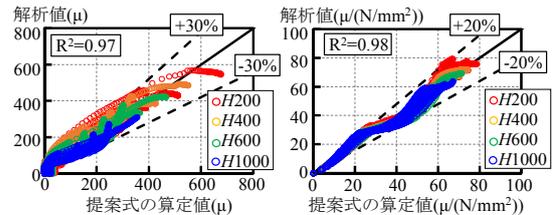


図-10 収縮クリープ算定式の解析値との精度

表-6 算定式の係数

	a	b	c	d	e
式(7)	5.39E-3	10.4	1.32E+4	1.36E+3	-
式(8)	9.23E-6	22.0	2.34E+3	-11.6	-
式(9)	3.21E-5	-10.3	101	88.5	605

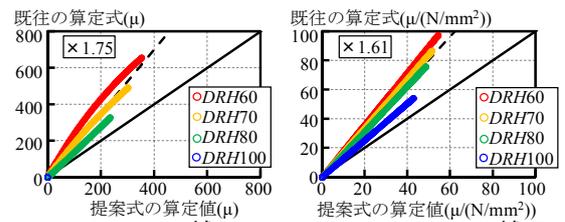


図-11 収縮クリープ算定式の補正

及ぼす影響とその評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, 1995

- 3) 和田宣史, 佐藤良一, 袖山隆行, 雪田憲子: コンクリートのクリープ・収縮の寸法依存性に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, 1999
- 4) 浅本晋吾, 玉置一晴, 大塚歩, 睦好宏史: 実環境作用に着目したコンクリートの収縮特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, 2007
- 5) 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挙動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, 2013.4
- 6) Koichi Maekawa, Tetsuya Ishida and Toshiharu Kishi: Multi-scale Modeling of Structural Concrete, Taylor & Francis, 2009
- 7) 下村匠, 前川宏一: 微視的機構に基づくコンクリートの乾燥収縮モデル, 土木学会論文集, No.520, V-28, pp.35-45, 1995.8
- 8) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物), 丸善, 2004
- 9) 土木学会: 2012年制定コンクリート標準示方書 [設計編], 2013.3
- 10) 鈴木雄大, 小林薫: 実環境下における小断面コンクリート部材の収縮ひずみ解析手法の実務的運用に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, 2014