

### 3章 PC橋のクリープひずみのばらつきに影響を及ぼす要因

#### 3.1 概要

本章では、過去の文献に記述されているクリープひずみのばらつきに影響を及ぼす要因を抽出して、環境、配合、構造、設計、施工の項目ごとに分類し整理する。

対象とした文献は以下のとおりである。

表 3.1.1 文献リスト

No.	文献名	著者	訳者	発行年
1	コンクリート構造物の応力と変形 <sup>1)</sup>	A. Ghali R. Favre	川上洵 樫福浄 他	1995年1月
2	ネビルのコンクリートの特性 <sup>2)</sup>	A. M. Neville	後藤幸正 尾坂芳夫	1979年11月
3	コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮 <sup>3)</sup>	H. リュッシュ D. ユンクビルト	百島祐信	1976年11月

##### 3.1.1 弾性ひずみとクリープひずみ

クリープひずみの定義として以下のとおり示されている。

###### 【文献 No. 2】

「実測されるひずみは載荷速度により影響を受ける。載荷時間を5秒から2分ぐらいに長くすると、ひずみは15%も増加するが、2分から10分に長くしても、ひずみの増加量は非常にわずかである。この載荷時間(2~10分)は、普通の試験機で供試体を試験する場合に必要なとされる時間である。

荷重またはその一部が作用している間に起るひずみの増加は、コンクリートのクリープによるものである。しかし、瞬間ひずみが載荷速度によって相違することが弾性ひずみとクリープひずみを区別することを困難にしている。そのため、実用上は、両者を便宜的に区別している。すなわち、載荷中に生じるひずみは弾性ひずみであり、その後増加するひずみはクリープひずみである。」

#### 3.2 環境要因

##### 3.2.1 温度

###### 【文献 No. 3】

「温度上昇とともにセメントゲルは変形しやすくなり、乾燥は早められるので、クリープ変形と乾燥収縮変形も増加する。温度の上昇とともに温度の影響はますます明瞭になる。乾

燥しないように防護したコンクリートのクリープ挙動は 0℃から 20℃の間では僅かな影響しか認められないが、20℃から 100℃まで上昇するときは、クリープは2ないし3倍の値に増加する。

コンクリートが高温で乾燥するときは、最初に著しい乾燥流動が起り、乾燥したコンクリートはもはや流動しないので、後からは流動の速さは顕著に減少する。この進行度は勿論部材の厚さに著しく影響される。従って、原子炉構造物などの特別な場合には温度がクリープに及ぼす影響を無視することはできない。本書において残念ながらこのような特別の場合についての詳細にはふれていない。普通の場合には 0℃の平均温度のときには 20℃とは殆ど変わらないが、平均温度が 40℃のときは平均 25%大きくなる。」

### 3.2.2 湿度

#### 【文献 No. 2】

「クリープに影響を及ぼす因子として、最も重要なものの一つは、コンクリート周辺の大気の相対湿度である。あるコンクリートでは、相対湿度が低ければ低いほどクリープは大きくなる。この関係を、相対湿度 100%で養生した後に種々の湿度のもとで載荷した供試体の結果より、湿度を変えると、持続荷重載荷後の初期の段階で供試体ごとの収縮度は大きく異なる。この間のクリープの進行速度は、収縮に対応して変化する。しかし時間が経つと、その進行速度は互いに接近するようにみえる。

こうして、載荷中の乾燥はコンクリートのクリープを増大させるが、これはすなわち、付加的乾燥クリープを生じさせることになる。相対湿度の影響は、載荷前に供試体が周辺の大気と湿度平衡状態に達している場合には、非常に小さいか、あるいは殆んどない。このようなコンクリートに起るクリープは基本クリープと呼ばれている。このことから、材令が経過して載荷されるコンクリートのクリープは、周辺の相対湿度には殆んど影響されない。」

「収縮の大きいコンクリートは、一般にクリープも大きい。これは、2つの現象が同じ原因によるものであるということの意味するわけではなく、両者ともに水和したセメントペーストの同じ構造の性状に関係があるのであろう。一定の相対湿度で養生され、載荷されたコンクリートはクリープを生じるが、そのクリープはコンクリートから周辺の大気への顕著な水分損失を起さないし、また、クリープ回復する間に何ら重量増加も伴わない、ということ忘れてはならない。

さらに、収縮とクリープの相互関係は、600日間載荷されたのち除荷してクリープを回復させた供試体を、その後水中に浸すと、2年以上前に除荷された応力度に比例する膨潤を起した。また、膨潤後の残留変形も同じような比例関係を示している。」

### 3.2.3 載荷時の材令

#### 【文献 No. 1】

「実際の供用条件下では、一般にコンクリートの応力はひずみに比例すると仮定でき、応

力の作用時（または、載荷後数秒内）に生じる瞬間ひずみは、次のように表される。

$$\varepsilon_c(t_0) = \frac{\sigma_c(t_0)}{E_c(t_0)} \quad (1.1)$$

ここで、 $\sigma_c(t_0)$ はコンクリートの応力であり、 $E_c(t_0)$ は応力が作用したときの材齢 $t_0$ におけるコンクリートの弾性係数である。 $E_c$ は割線弾性係数であり、その値は応力の大きさにより異なる。しかし、この差異は一般に無視できる程度のものである。 $E_c$ の値はコンクリート強度の 1/2 乗または 1/3 乗に比例するとされているが、載荷時の材齢により異なる。持続荷重のもとでは、ひずみは材齢とともにクリープにより増大する。任意材齢  $t$  における全ひずみは、瞬間ひずみとクリープひずみの和として表される。

$$\varepsilon_c(t_0) = \frac{\sigma_c(t_0)}{E_c(t_0)} [1 + \varphi(t, t_0)] \quad (1.2)$$

ここで、 $\varphi(t, t_0)$ は無次元係数で、載荷時の材齢 $t_0$ と任意材齢  $t$  の関数である。クリープ係数 $\varphi$ は瞬間ひずみに対するクリープひずみの比を表し、その値は載荷時の材齢が若材齢であるほど、応力の持続期間 $(t - t_0)$ が長いほど大きくなる。例えば、 $t_0$ を 1 ヶ月、 $t$ を無限大としたとき、クリープ係数は、コンクリートの品質、環境温度、湿度および部材寸法により 2～4 の値をとる。」

### 3.2.4 コンクリートの水和の度合い

【文献 No. 3】

「1944 年におけるプレストレストコンクリート指針の起草のとき、既に載荷材齢の影響は載荷開始までに経過した暦日だけで規定できないことは考慮した。何を考えるかという硬化温度と使用したセメントの反応速度に関するあるコンクリートの水和の度合いである。硬化温度は成熟度を求めるために確かめられた $\Delta t \cdot (T^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C})$ を用い、セメントの種類の影響は異なった曲線を用いてこれを考慮した。しかしこの二つの影響は、水和の度合いを定めるだけであるから、新提案では「有効材齢  $t$ 」というパラメータでまとめた。

このことは、セメントの反応速度を時間に関係のない係数で表すことによって簡単になる。すなわち、2つの相異なる速さで反応するセメント  $Z_a$  と  $Z_b$  が同一の相対強度に達するか同一の水和の度合い $\bar{\alpha} = \beta_t / \beta_{t=\infty}$ に達するために暦日で測った時間  $t_a$  と  $t_b$  を要したならば、比 $k_z = t_a / t_b$ は問題となる精度の範囲では如何なる値の $\bar{\alpha}$ を選んだかということは無関係である。 $\alpha$ についてゆっくり硬化するセメントに適合する数をとったならば、早く硬化するセメントについて $k_z$ の値は 2 と 3 の間にある。」

$$t = k_z \cdot \sum \frac{T^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C}}{20^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C}} \Delta t$$

「 $\Delta t$ はコンクリートの平均温度 $T^\circ\text{C}$ が略々同じときの暦日数である。」

### 3.3 配合要因

#### 3.3.1 コンクリートの強度

【文献 No. 2】

「許容応力度の範囲内では、クリープと応力度との比例関係は良好であると結論しても間違いではない。また、クリープ算定式及びクリープ推定図では、この関係が成立するものと仮定している。

この比例関係が成立する範囲外では、クリープは応力度が増大すると急激な割合で増加してゆき、それ以上になるとクリープ破壊 (time failure) を起す応力度/強度比が存在する。この応力度/強度比を、短期静的強度との比で表せば、0.8~0.9 である。クリープは、コンクリートの終局ひずみに相当するひずみ限界値に達するまで、全ひずみを増大させる。このことは、コンクリートの、少なくともセメントペーストでの、破壊に関して限界ひずみ概念が存在することを意味している。

コンクリートの強度はクリープに大きな影響を及ぼす。すなわち、広い範囲にわたって、クリープは載荷時のコンクリート強度と反比例関係にある。したがって、クリープを応力度/強度比の1次関数として表すことができる。ある一定配合のコンクリートでは、強度と弾性係数とは相関があるから、したがって、クリープと弾性係数との間にも関連がある。」

#### 3.3.2 コンクリートの弾性係数の特性

【文献 No. 2】

「破壊強度に対する応力度の比が同じ (例えば 0.5) であれば、強度の高いコンクリートほど大きい変形を示す。しかし2種類のコンクリートで比較すると、強度の比率よりも変形の方がかなり小さく、割線弾性係数はコンクリートの強度が高いものほど大きい。この傾向は、種々の等級の鋼材における傾向と対照的である。その理由は、恐らくセメントペーストの強度が、結合材の剛性にも影響を与えると思われるゲルススペース比に支配されているからであろう。一方、鋼材の強度は、空隙にではなく、結晶の構造と結合面とに関係しており、そのため、鋼材の剛性は強度の影響をうけない。」

「弾性係数は、試験時の供試体の状態によっても影響される。例えば、湿った供試体の弾性係数は乾いた供試体のそれよりも大きい。圧縮強度の場合は逆の関係になる。さらに、骨材の性質は一般にコンクリートの圧縮強度に影響を及ぼさないが、弾性係数には影響を与える。それゆえ、骨材の弾性係数が大きいほどコンクリートの弾性係数も大きくなる。粗骨材の粒子の形状や表面性状も、コンクリートの弾性係数や応力度ひずみ曲線の曲率に影響を及ぼすことがある。」

「弾性係数と強度との関係は、配合 (弾性係数は一般にセメントペーストよりも骨材の方が大きい) や、供試体の材令によって相違する。材令が進むほど、弾性係数は強度よりも急激に増大する。」

「弾性係数と強度は、温度が約 230°C までの間、恐らくそれ以上の時でも、温度に関して

ほぼ同じように変化するので、両者の関係は温度に影響されない。しかし強度が同一の場合には、初期養生温度の低い方が弾性係数はやや大きくなる。したがって、蒸気養生したコンクリートは、湿潤養生した同強度のコンクリートよりも弾性係数が小さいが、その差は10%以内である。」

「ある一定配合のコンクリートでは、強度と弾性係数とは相関があることから、したがって、クリープと弾性係数との間にも関連がある。」

「強度がクリープに影響を及ぼすことから、与えられた応力のもとで、クリープはコンクリートの水セメント比と密接な関係があるといえるが、しかし、同一の応力度強度比では、クリープは水セメント比とはあまり関係がない。」

### 3.3.3 セメントの種類による特性

#### 【文献 No. 2】

「セメントの種類は、それが載荷時のコンクリートの強度に影響するので、クリープにも影響を及ぼす。このため、種々のセメントを用いたコンクリートにおけるクリープの比較には、セメントの種類がコンクリートの早期強度に与える影響を考慮すべきである。この観点から、各種ポルトランドセメントおよびアルミナセメントの両方とも殆んど同じ程度のクリープが生じるが、強度発現の速度にいくらか影響されるものであるといえる。これは、初期の研究データに反して、大気中および水中のどちらにおけるクリープにもあてはまるものであり、高炉セメントを用いると普通ポルトランドセメントを用いる場合よりもクリープが大きくなる。」

セメントの粉末度は、初期材令における強度発現に影響を与え、それゆえクリープに影響を及ぼす。しかし、粉末度それ自体がクリープに影響を与える因子であるとは思われない。このことに反するような結果の多くは石こうによる間接的な影響のためであろう。セメント粒子が細かければ細かいほど、必要石こう量は多くなる。したがって、実験室で石こうを加えずにセメントを再粉砕すると非常に凝結の遅れるセメントができるが、このセメントは収縮とクリープが非常に大きいものである。」

「コンクリートの水セメント比が同一で、応力度/強度比 0.5、相対湿度 55%でのクリープ試験を行った結果として、載荷時の材令は、すべてのコンクリートが同一の強度となるように選定した。粉末度の最も大きいセメントのクリープが、最初は最大であったにもかかわらず、1,000 日後には最小となった報告がある。この理由は、恐らく、粉末度の最も大きいセメントの場合、実際の応力度/強度比が急速に減少するほど強度増進が大きいであろう。」

載荷中におけるコンクリート強度の変化は、クリープがセメントの種類の違いによる影響を受けない、という上述のことを評価するのに重要である。載荷時における応力度/強度比を同一にしたものでは、クリープは、載荷時からの強度の相対的増進が大きければ大きいほど小さい。したがってクリープは、低熱、普通、早強セメントの順で次第に大きくなる。

しかしながら、一定の(早期)材令における同一の応力度(応力度/強度比一定ではない)では、クリープが早強、普通、低熱セメントの順で次第に大きくなることは疑いの余地がない。これらのことは、クリープの影響因子についての情報を十分に吟味する必要があることを明らかにしている。」

### 3.3.4 セメントの水和熱によるクリープへの影響

【文献 No. 1】

「セメントの水和熱による温度上昇は、ある期間、たとえば1週間程度で徐々に最高温度に達し、その後、長期間にわたり、ゆっくりと降下する。温度変化による応力は、時間を小さな区間に分割し、その区間の中間点で温度あるいは応力の増加が生じると仮定して解析することができる。なお、各区間において適当なクリープ係数と弾性係数を用いる。このようにクリープの影響を考えると、クリープと弾性係数の変化を無視した計算結果とは、相当異なった応力となる。」

「初期材令において作用する応力は、小さな弾性係数と大きなクリープ係数のために相対的に大きなひずみを生じさせる。初期材令での温度上昇は、長期材令で生じる大きさの温度降下による温度応力に比べ、小さな応力で拘束される。」

「コンクリートのクリープ係数は温度が高いとき、より大きな値となることはよく知られている。」

### 3.3.5 骨材

【文献 No. 2】

「通常用いられる普通骨材には認めうるほどにクリープする傾向はなく、それゆえにクリープの主因はセメントペーストにあるとするのが妥当である。しかし骨材は、収縮の場合におけると同様な拘束効果によって、また、母岩のいくつかの物理的性質によって、コンクリートのクリープに影響を与える。この拘束効果は、セメントペーストにはクリープが起り、骨材には一般にクリープが起らない、という事実から生じてくる。それゆえ、骨材の影響はコンクリートの有効クリープを減らすことになる。したがって、クリープはコンクリート中のセメントペーストの容積含有率の関数である。」

「通常用いられる配合のもののはほとんどは、骨材の容積率の変動およびそれによるクリープの変動は小さいと思われる。骨材の粒度分布、最大寸法および形状は、クリープに影響を及ぼす因子といわれている。」

「骨材の空隙率もコンクリートのクリープに及ぼすことが知られている。しかし、空隙率の高い骨材は一般に弾性係数が低いので、空隙率単独ではクリープへの影響因子ではないかもしれない。一方、骨材の空隙率は、コンクリート中の水分の移動に直接的な役割を果たしているが、吸水率は空隙率以上に水分移動に関係している。なお、水分の移動はクリープと関係がありそうである。」

骨材には鉱物型から岩石型の範囲に及ぶ大きな差異があるため、種々の骨材を用いたコンクリートのクリープの大きさを一般的に述べることは不可能である。」「すなわち、相対湿度 50%で 20 年間放置した後では、砂岩骨材を用いたコンクリートは、石灰岩の骨材の場合よりも 2 倍以上大きなクリープを示している。」「骨材の異なるコンクリートのクリープひずみの間には、相対湿度 65%で、載荷後 18 か月のものでは、最大クリープは最小クリープの 5 倍であった。この場合クリープは、下記の骨材の順で大きくなった。すなわち、玄武岩、石英、砂利、大理石および花崗岩、砂岩。」

「一般的に、構造用軽量骨材コンクリートのクリープ度は、普通骨材コンクリートのそれにほぼ等しいといえる(ただし、どの比較の場合でも、軽量コンクリートと普通コンクリートとの間の骨材の容積率はそれほど違っていないことを前提とする)。さらに軽量骨材コンクリートの弾性変形は、普通コンクリートのそれよりも一般に大きいので、軽量骨材コンクリートでは、クリープと弾性変形の比が小さい。」

### 3.4 構造要因

#### 3.4.1 部材厚

【文献 No. 3】

「部材厚が遅れ弾性変形及び基礎流動に及ぼす影響は無視できるほどに小さい。これに反し、乾燥流動は、或る湿度勾配について薄い部材は厚い部材よりも早く乾燥することに注意しなければならない。湿度勾配が少なくなればこの差は小さくなり、水中養生の場合にはなくなる。」

#### 3.4.2 構造物に及ぼす影響

【文献 No. 2】

「マスコンクリートでは、クリープは本質的にひびわれ発生の原因となりうる。これは、拘束されたコンクリート全体が、水和熱の発生とその後のクーリングとによる温度変化の反復を受ける時に起りやすい、また、クリープは温度の急激な上昇により起される圧縮応力を緩和するので、何らかのクーリングが施されると残っている圧縮応力はすぐに消えていく。さらにクーリングを施すと引張応力が現われクリープ進行速度が時間とともに低下することによって、温度が初期(打込み時)温度に下る前でもひびわれが発生しうる。このために、マスコンクリート内部の温度上昇は、低熱セメント、少ないセメント量、配合用材料のプレクーリング、コンクリートの打込み高さの制限、コンクリート中に埋設したパイプ網を利用した冷却水の循環によるコンクリートのクーリング等を用いて管理しなければならない。

クリープが不利な影響を与えるもう一つの例は、変形が増大することによってクリープが構造物の安定性に影響を及ぼすことである。たとえクリープが構造物の終局強度に影響を与えない場合でも構造物の性能にかぎり、クリープの効果は極めて重大なものと

なりうる。これは、例えば、巨大なターピン発電機の基礎台の場合にあてはまる。すなわち、もしクリープによりこの不静定構造物の支柱に不等変位が起き、また、収縮により梁(長さ約 50m もありうる)の勾配が変化したとすれば、それによって発電機の軸線を狂わせるのである。同様に、高層建物においても、場所によりクリープの程度が異なれば、仕切りには移動やひびわれが起り、梁とスラブにも構造的影響を与えかねない。」

### 3.5 設計要因

#### 3.5.1 設計要因

【文献 No. 1】

「PC 部材における鉄筋は、PC 鋼材の引張力の減少量に影響を及ぼす。プレストレスの導入による圧縮力の一部を鉄筋が負担するため、鉄筋の圧縮力は時間とともに増大する。その結果、鉄筋を用いた PC 部材のコンクリート残存圧縮力は、鉄筋のない PC 部材のそれと比較して、 $t = \infty$ においてかなり小さな値となる。

PC 鋼材の引張力の減少量は、鉄筋がないときのみ、コンクリートの圧縮力の減少量に等しい。絶対値を比較すると、一般にコンクリート圧縮力の減少量は、PC 鋼材引張力の減少量より大きく、その差はクリープ、乾燥収縮、リラクセーションの影響により鉄筋に作用する圧縮力にほかならない。

軸ひずみと曲率もまた、大きな影響を受け  $t = \infty$ における軸ひずみと曲率は、鉄筋により大きく減少する。従って変位を計算するにあたっては、鉄筋の影響を考慮しなければならない。」

#### 3.5.2 設計に及ぼす影響

【文献 No. 2】

「クリープはひずみとたわみに、また、しばしば応力分布にも影響を及ぼすが、その効果は構造物の種類によって異なる。無筋コンクリートのクリープは、応力が非常に高いときには、破壊が生じる限界ひずみへの接近を早めるが、このクリープ自体は強度に影響を与えるものではない。すなわち、持続荷重が急速に載荷された静的終局荷重の 85~90%以上である場合にのみ破壊が生じる。低い持続応力度のもとではコンクリートの容積が減少し(何故なら、クリープポアソン比が 0.5 以下であるために)、この容積減少はコンクリートの強度を増加させると考えられる。」

「持続荷重を受ける鉄筋コンクリート単純梁の終局荷重に及ぼすクリープの影響は大きくはないが、たわみはかなり増大し、多くの場合、設計上の支配的条件ともなりかねない。

Granville と Thomas によれば、持続荷重を受ける梁には 2 つの異なった中立面がある。その 1 つは応力度がゼロの平面で、もう 1 つはひずみがゼロの平面である。これは、コンクリートのひずみが増大すれば、鋼材の応力度が増加し、その結果、圧縮域コンクリートの高さが増大して中立軸が下るからである。よって、弾性ひずみ分布は変化するが、クリープひ



ずみは打消されないので、新たな応力度に関する中立軸の位置で残存引張りひずみが残るようになる。この応力度に関する中立軸より上の位置では、応力が作用していても、任意時点においてひずみゼロの所がある。これは、応力履歴が任意時点におけるひずみに影響を及ぼすという興味ある例である。

鉄筋コンクリート柱では、クリープが起ると荷重がコンクリートから鉄筋へ次第に移行するようになる。いったん鉄筋が降伏すると、荷重の増加分はコンクリートが受けもつようになり、したがって、鉄筋およびコンクリートのどちらも、破壊が生じる前にその全強度が発揮されることとなる。これは、設計計算式から理解できることである。不静定構造物においては、クリープは、収縮、湿度変化、あるいは支点沈下等による応力集中を緩和する場合がある。また、すべてのコンクリート構造物では、クリープは不均一収縮による内部応力を低減させるので、ひびわれ発生が低減する。構造物におけるクリープの効果を算定する際、実際の時間依存性変形は、コンクリートの無拘束状態におけるクリープのではなく、鉄筋の量と位置により修正した値なのである、ということを知ることが大切である。」

### 3.6 施工要因

#### 【文献 No. 1】

「構造物において、内的要因が劣化の発生に大きな影響を及ぼすことがある。たとえば、既設構造物においては使用材料が内的な要因となってアルカリシリカ反応や塩害等の劣化を生じさせていることもある。また、使用材料のほかにコンクリートの締固めや養生等に関する不適切な施工が原因となってコンクリートの品質が設計上の前提条件を十分に達していない場合、鋼材のかぶりが確保されていない場合には、これらが内的な要因となって構造物の劣化が促進し、断面欠損が生じ、クリープに影響する場合がある。」

### 3.7 まとめ

本章では、図書や文献などに記述されているクリープひずみのばらつきに影響を及ぼす要因を抽出して、環境、配合、構造、設計、施工の項目ごとに分類しとりまとめた。整理した結果を表 3.7.1 に示す。

表 3.7.1 クリープひずみのばらつきに影響を及ぼす要因

分類	要因	
環境	温度	コンクリートの温度が高くなると、クリープ変形と乾燥収縮変形も増加する
	湿度	乾燥はコンクリートのクリープを増大させる
	材齢	クリープ係数は、載荷材齢が若材齢であるほど、また、応力の持続期間が長いほど大きくなる
	水和の度合い	材齢は水和の度合いを考慮して有効材齢を設定する
配合	強度	ある範囲では、クリープは載荷時のコンクリート強度と反比例関係にある
	弾性係数	強度と弾性係数は相関があることから、クリープと弾性係数の間にも相関がある
	セメント種類	セメントの種類の影響は小さい
	水和熱	時間を区切り、適当なクリープ係数と弾性係数を用いて、温度変化による応力を算出すると、無視した場合と比べると相当異なった応力となる
	混和剤	減水剤及び凝結遅延剤の多くは、クリープを増大させる
	骨材	骨材の拘束効果、母岩の物理的性質がクリープに影響を与える
構造	部材厚	薄い部材は早く乾燥する 水中養生の場合には差が無くなる
設計	鉄筋の影響	PC部材における鉄筋は、圧縮力の一部を鉄筋が負担するため、コンクリートの残存圧縮力及び変位に影響を及ぼす
施工	コンクリートの品質によっては、これらが内的な要因となって構造物の劣化が促進し、断面欠損が生じ、クリープに影響する可能性がある	

過去の文献では、クリープひずみのばらつきに影響を及ぼす要因として、環境条件、コンクリートの配合、部材寸法、施工品質のほかに、PC部材における鉄筋が、コンクリートの残存圧縮力や変形に及ぼす影響についても記されている。これを踏まえ6章、7章では鉄筋の配置がクリープに及ぼす影響度合いを把握するための実験や感度解析を行った。

【3章 参考文献】

- 1) A. Ghali, R. Favre=著：川上洵，樫福浄 他=訳：コンクリート構造物の応力と変形：技報堂出版，1995年1月
- 2) A. M. Neville=著：後藤幸正，尾坂芳夫=監訳：ネビルのコンクリートの特性：技報堂出版，1979年11月
- 3) H. リュッシュ，D. ユンクビルト=著：百島祐信=訳：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年11月