

委員会報告 「コンクリート構造物のクリープおよび収縮による 時間依存変形研究委員会報告」

阪田憲次^{*1}・井上正一^{*2}・大野義照^{*3}・佐藤嘉昭^{*4}・下村 匠^{*5}・椿 龍哉^{*6}

委員構成

委員長	阪田憲次 (岡山大学)	鈴木雅博 (ピー・エス)
代表幹事	下村 匠 (長岡技術科学大学)	田中敏嗣 (太平洋セメント)
幹事	大野義照 (大阪大学)	津吉 毅 (JR 東日本)
	佐藤嘉昭 (大分大学)	鶴田浩章 (九州大学)
	椿 龍哉 (横浜国立大学)	手塚正道 (オリエンタル建設)
委員	綾野克紀 (岡山大学)	沼尾達弥 (茨城大学)
	井上正一 (鳥取大学)	野口貴文 (東京大学)
	入矢桂史郎 (大林組)	橋田 浩 (清水建設)
	大野俊夫 (鹿島建設)	三橋博三 (東北大学)
	川口 徹 (大林組)	宮澤伸吾 (足利工業大学)
	岸 利治 (東京大学)	森本博昭 (岐阜大学)
	坂井悦郎 (東京工業大学)	安田正雪 (東洋建設)
	坂田博史 (フドウ建研)	山田和夫 (愛知工業大学)
	佐藤良一 (広島大学)	李 振宝 (耐震企画設計)

1. はじめに

コンクリートのクリープ・収縮は、古くからセメント・コンクリート工学における中心的研究課題のひとつであった。プレストレスの減少、有害なひび割れの発生、常時荷重下における構造物の経時変形および応力の再分配など、コンクリートのクリープ・収縮は構造物の種々の性能に直接・間接に影響する。

一方近年、コンクリート構造物の設計体系は、構造物の各種性能をより精緻に評価することを指向する性能照査型設計に確実に移行しつつある。従来にはない長大・巨大なコンクリート構造物が建

設され、100MPaを越える高強度コンクリートに代表されるように、使用材料の範囲も拡大している。コンクリートのクリープ・収縮現象を正しく取り扱い、適切に設計に反映させることは、ますます重要な課題となっている。

このような背景のもと、本研究委員会は、土木・建築・材料・構造・理論・応用の枠を越え、コンクリートのクリープ・収縮に関連する諸問題に対し組織的かつ集中的に取り組み、本分野の技術と研究の進展に寄与することを目的に活動を行ってきた。本稿は、その成果の概要について報告するものである。

-
- *1 岡山大学教授 環境理工学部環境デザイン工学科 工博 (正会員)
 - *2 鳥取大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)
 - *3 大阪大学教授 工学研究科建築工学専攻 工博 (正会員)
 - *4 大分大学教授 工学部福祉環境工学科 工博 (正会員)
 - *5 長岡技術科学大学助教授 工学部環境・建設系 博士 (工学) (正会員)
 - *6 横浜国立大学教授 工学部建設学科 Ph.D (正会員)

表-1 ワーキンググループ構成

WG名	主査・委員数	研究課題
WG1	井上正一主査・委員 5名	クリープ・収縮の試験・計測法，データベース 構造物の設計に適用するクリープ・収縮の予測式
WG2	大野義照主査・委員 12名 SubWG2-1 SubWG2-2 SubWG2-3	部材レベル・構造レベルにおける諸問題 <ul style="list-style-type: none"> ● コンクリート部材の乾燥収縮ひび割れ ● コンクリート構造物の温度応力・自己収縮応力 ● 構造物の長期力学性状
WG3	下村 匠主査・委員 8名	クリープ・収縮のメカニズムとそのモデル化に関する最近の研究 材料レベルにおけるクリープ・収縮問題へのアプローチ

2. 委員会の構成

本研究委員会は、材料レベルから構造レベルに至るまで、コンクリートのクリープ・収縮が関連する課題を対象としている。研究範囲が広範に及ぶので、表-1に示すように、研究対象の大まかな区分に対応したWG（ワーキンググループ）を設立し、調査研究を進めることとした。部材・構造レベルにおけるクリープ・収縮が関連する問題を取り扱うWG2では、さらに研究対象の焦点を絞った3つのSubWGを設け、集中的に当該課題の調査研究を行った。以下では、各WGの研究成果の概要を紹介する。

3. WG1（予測式，データベース，試験法）

3.1 クリープ・収縮の予測式

予測式においては、まず、クリープおよび乾燥収縮ひずみの元データとして、RILEM、CEBおよび最近構築されたJSCEのデータベースの内容を調査し、つぎに現在提案されている予測式の高強度域への適用性を検討した。

コンクリートのクリープ・収縮のデータベースとしては、RILEM、CEB、およびJSCEのデータベースが有名である。これらのうち、RILEMとCEBのデータベースが欧米諸国において行われた実験データを収集しているのに対し、JSCEのものは日本国内で発表された研究論文を中心に実験データを収集してデータベースを作成している。これらのデータベースに含まれる項目・内容の詳細は、次節3.2の(2)に示す通りで、データベースを共有するためにデータ項目の統一化が望まれる。

なお、最近のデータベースには高強度コンクリートに関するデータも収録され始めている。

つぎに、高強度コンクリートが含まれたこれらのデータを基に各国の示方書に示されている予測式、すなわち、JSCE式、CEB式およびACI式の精度を検討した。その結果、各予測式の精度は、それぞれの予測式が構築された適用範囲内（代表的な要因については表-2参照）に対しては、およそ±40%程度の範囲にあることが分かった。また、適用範囲外の高強度コンクリートの乾燥収縮ひずみに対しては、JSCEモデルは実験値に対して大きめの値を、それ以外の予測式は小さめの値を予測しており、いずれの予測式においても高強度コンクリートの乾燥収縮ひずみを正確に予測できないことが分かった。

表-2 各予測式の適用範囲

	JSCE モデル	CEB モデル	B3 モデル	CZ モデル
圧縮強度(MPa)	< 70	20-90	17-69	20-69
セメント量 (kg/m ³)	260- 500		160- 721	
水セメント比 (%)	40-65		35-85	
相対湿度 (%)	45-80	40-100		
セメントの種類	N	N, L, R, H		
容積/表面積比	100- 300			

N：普通，L：低発熱，R：早強，H：高強度

一方、現在提案されているクリープ予測式は、適用範囲外の高強度コンクリートに対しても、適用範囲内のクリープと同様に、ほぼ±40%の精度で予測可能であることが明らかになった。

3.2 クリープ・収縮のデータベース

(1) データベースの特徴

コンクリートのクリープと収縮のデータベースは、Wagner が 1958 年にクリープに関して 185 件を集めて以来、種々のものが作られてきている¹⁾。最近作成されたものでは、RILEM の TC-107 技術委員会のもの(1993 年)がクリープについて約 360 件、収縮について約 260 件、土木学会 308 小委員会のもの(2000 年)が我が国のデータを対象にクリープについて約 360 件、収縮について約 470 件のデータを収録している。これらのデータベースはコンクリートの標準的な供試体に関するデータを対象としている。

(2) データ項目

データベースの各データは、土木学会 308 小委員会のものを例にとると、材料(12 項目)、配合(8 項目)、コンクリートの特性(9 項目)、供試体形状(5 項目)、養生条件(5 項目)、環境条件(6 項目)、計測条件(3 項目)、鋼材使用時の条件(3 項目)、荷重条件(7 項目)、およびひずみデータから構成される。これらのデータ項目については、記述の書式および項目の重要度を設定する必要がある。ACI 126 委員会の報告書²⁾にコンクリートの材料特性に関するデータベースの書式についてまとめられているが、クリープ・収縮のデータベースについても表-3 に示すようなものが考えられる。

表-3 クリープ・収縮のデータ項目の例

データ番号	データ項目名	重要度*	書式
37.1	計測位置の分類	1	整数
37.2	計測長	1	実数
37.3	計測器等の詳細	2	文字列
...

* : 1 (必須の項目), 2 (記述が望ましい項目)

(3) データベースの問題点

標準供試体レベルの試験体を対象としたデータベースを構築するとき、既往のデータとの整合が問題となるものがある³⁾。そのため、各データについてデータの妥当性や記述の充実度を適切に評価することが必要である。また、実際のコンクリ

ート構造物の長期変形挙動を予測するためには、部材レベルの試験体や実構造物のデータも蓄積する必要がある。さらに、最新のデータに対応するためには、継続的にデータベースを更新することが必要となる。

3.3 クリープ・収縮の試験方法

(1) 規格試験

クリープの標準的な試験方法として、我が国においては JIS 原案「コンクリートの圧縮クリープ試験方法(案)」が提案されている。国外においては、ASTM C-512 および RILEM TC107-CSP (1998) が圧縮クリープの試験方法を規格化している。引張、曲げ、ねじり、あるいは多軸応力状態におけるクリープ試験については、それぞれの目的に応じたクリープ試験方法が用いられている。

乾燥収縮の試験方法については、我が国では、JIS A 1129 に「モルタル及びコンクリートの長さ試験方法」として規格化されている。ASTM C157 (Standard Test Method for Length Change of Hardened Cement Mortar and Concrete) でもほぼ同様の方法が提案されているが、“長さ変化”とは、外部荷重や温度変化を除く他の要因で生じる供試体の長さの増減と定義されており、試験装置やひずみの測定方法は乾燥収縮のみならず自己収縮ひずみの測定にも応用できる。

自己収縮に関しては、「セメントペースト、モルタル及びコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法(案)」および「コンクリートの自己収縮応力試験方法(案)」が日本コンクリート工学協会から提案されている。

(2) 試験方法と結果の整理法

クリープおよび収縮に関する規格化された試験方法と結果の整理方法を概説する。

クリープ試験の場合、載荷システムとしては、①必要最小限の努力で常に一定の荷重を保持できる(精度±3%)、②供試体内の応力分布を、常に均一な状態に維持できる、③クリープひずみと弾性ひずみの明確な区別は困難であるため、できるだけ速く載荷できる機構を備えている、などの事項が要求される。

ひずみの測定方法としては、コンタクトゲージ（ダイヤルゲージ）、表面接着型ひずみゲージ、埋込み型ひずみゲージ、変位計などが用いられているが、長期にわたって安定的に測定できることが条件である。この条件は乾燥収縮や自己収縮の測定にも当てはまる。なお、載荷時材齢や乾燥開始材齢、試験開始前までの供試体の養生、クリープ試験の場合は載荷後の供試体の状態がシールされているか否か、環境条件（温度と湿度）、などの試験条件によって測定される結果は大きく異なることになるので、実験の目的に応じて試験条件を定め、試験結果を整理する必要がある。

4. WG2（部材レベル・構造レベル）

4.1 乾燥収縮ひび割れ

(1) はじめに

実構造物ではコンクリートの体積収縮や体積膨張が何らかによって拘束された場合にひび割れが発生しやすく、コンクリート構造物の耐久性や美観性などが脅かされることは少なくない。このため、コンクリートのひび割れ発生を予測するとともに、コンクリートのひび割れの防止あるいは制御をいかにするかが重要な課題となっている。実構造物との対応を留意した収縮ひび割れに関する研究の進展のために、コンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験が JIS 原案として発表されて以来、多くの研究者により各種の要因と水準について一軸拘束収縮試験が実施されてきており、一方では実構造物のひび割れ発生予測が試みられている。

(2) 一軸拘束収縮試験の現状と課題

ひび割れ発生材齢に及ぼす水セメント比、湿潤養生期間、スランプ、単位水量、粗骨材の種類、混和材料の種類および拘束度の影響について、既往の研究を整理して示すとともに、ひび割れ発生限界などについてとりまとめた。一軸拘束収縮試験におけるひび割れ発生材齢は、水セメント比が40～45%以下になると早くなると考えられ、この傾向は湿潤養生過程の自己収縮ひずみの影響が大きく、クリープによる応力緩和が少ないことによると推察されている。また、ひび割れ発生材齢は、

湿潤養生期間が2日以内では早くなる傾向にあり、粗骨材の種類、混和材料および拘束度の違いにもより異なるが、スランプや単位水量の大小では顕著な差は認められていない。ひび割れ発生限界点については、収縮応力が割裂引張強度の45～90%に達した点、あるいは拘束引張ひずみが概ね100～300×10⁻⁶の範囲で引張伸び能力を越えた点などが提案されている。その比率や拘束引張ひずみのいずれもひび割れ発生材齢が長くなるほど大きくなる傾向があり、ひび割れ発生限界点が明確になっていないことがひび割れ発生の予測を困難にしており、部材内の応力状態をできる限り正確に把握しようとの試みもなされている。なお、ひび割れ発生材齢のばらつきなどの課題も残されているものの、各タイムインターバルの増加応力はクリープの進行による応力緩和を受けながら、最終ステップで加算されるStep-by-Step法の一軸モデルを適用し、拘束引張ひずみの実測値が平均値より10%変動した場合のひび割れ発生材齢の範囲を求めた結果、実験によるひび割れ発生材齢の範囲と概ね一致した例などを示した。

(3) 部材レベルにおけるひび割れ発生予測の現状と課題

RC 橋脚の構造部材のコンクリートについて供試体レベルから実寸法レベルまでのクリープ・収縮特性を実験した例などを示し、乾燥収縮ひずみやクリープの既往の主な予測式についての寸法依存性に対するその適用性についてさらに検討が必要であることを示した。また、割裂引張強度の寸法依存性や、鉄筋とコンクリートの付着すべり特性がひび割れ発生後のひび割れ幅やひび割れの分散性に影響を及ぼすことなどについて示した。実構造物におけるひび割れ発生予測は、コンクリートの物性値が経時的に変化することや雰囲気温度・湿度が刻々と変化することも相俟って容易ではないが、ひび割れ発生材齢の予測では、鈴木、大野らの一軸拘束収縮試験における試験結果から収縮応力に与える架構材の拘束の程度、部材厚、湿度環境の相違によるコンクリートの性質を考慮して実部材のひび割れ発生材齢を予測する方法な

どを紹介した。また、ひび割れ幅（許容幅）予測では、各種のひび割れ幅推定式、ならびに外壁ひび割れ幅の解析例などを紹介し、その適応性について検討を加えた。

4.2 温度応力・自己収縮応力とクリープ

(1) はじめに

温度応力・自己収縮応力の予測にクリープの影響を反映させるためには、荷重時材齢の影響など若材齢に特徴的な要因について定量的に評価し、応力解析に適用できるクリープモデルを構築する必要がある。また、温度応力の発現性状に合わせて、圧縮・除荷・引張の応力状態に対応できるものでなければならない。

(2) 温度および応力状態が変化する条件下でのクリープひずみの予測方法

温度応力の計算で、クリープの影響を反映させる方法の一つに有効弾性係数法がある。この方法は、実務の分野で広く用いられているが、荷重期間の影響および応力の変化などには厳密には対応できない。温度応力など変化する応力に対して精度よくクリープの予測を行うためには、クリープひずみと荷重時材齢および荷重期間等との関係を表わすクリープ式を求め、それを用いて変化する応力に対するクリープ挙動を評価する必要がある。

図-1に、温度応力の変化と類似した圧縮・除荷・引張という応力変化を与えた状態でのクリープ試験結果と、一定応力のクリープ試験から求めた圧縮クリープ式を用いた重ね合わせ法による解析値とを示す。ここでは、引張クリープと圧縮クリープとは等しいと仮定している。図から、圧縮から引張へと応力が反転した後のクリープについて、解析値は実測値に比べやや大きくなるが、全般的には解析の推定精度は概ね良好である。

荷重応力を一定とし、荷重中の温度を変化させた場合の実測値と重ね合わせ法による解析値とを図-2に示す。温度が上昇するとクリープが増加する傾向が見られるが、実測値と解析値はこの条件においても概ね一致している。

ここでは、応力と温度が変化する状態におけるクリープ推定法として重ね合わせ法の適用性を示

した。本手法は、クリープの応力依存性などの点において理論的には完全ではないが、実用上は変化する応力や温度の状態に対して適用が可能と考えられる。

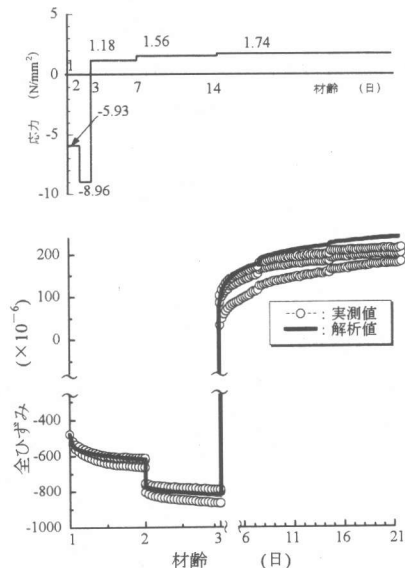


図-1 実測値と解析値（応力変化）

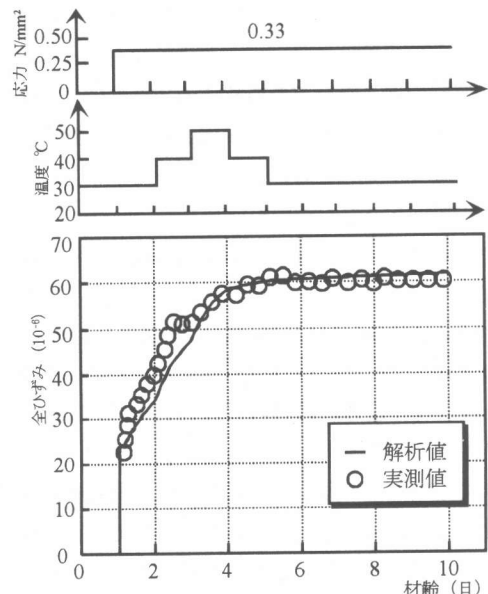


図-2 実測値と解析値（温度変化）

4.3 構造物の時間依存変形挙動

コンクリート構造物は、コンクリートのクリープおよび収縮という時間に依存する挙動により、作用荷重の増減がなくても経時的に変形は進行している。このために、桁や梁、スラブのたわみが進行し、またその変形の進行が拘束される場合には拘束応力が生じ、PC 構造物ではプレストレス導入力が低下することになる。これらの現象は、長期的に見た場合大きな値であり、コンクリート構造物の設計上考慮しなければならない。

一般に、コンクリート構造物において、クリープおよび収縮を考慮しなければならない項目として、次の4項目がある。

- 長期変形（主に、たわみ）
- 曲げひび割れ幅
- 変形拘束（不静定構造物の二次応力、合成部材の内部応力など）
- PC 鋼材・鉄筋とコンクリート間の応力再配分（主に、プレストレスの減少）

これらの項目については、解析による厳密解が得られないことから、仮定を設けた解析方法や実験式がこれまでに多く提案され、設計に用いられてきた。本報告書では、これら設計で考慮しなければならない項目について、一般的なクリープおよび収縮の取り扱い方を概説するとともに、建築および土木分野において規準化されている算定式を紹介している。さらに、最近の研究を紹介し、今後の動向を外観している。

建築分野では、従来の仕様規定の設計から性能規定型の設計に移行しつつあり、また「住宅の品質確保の促進等に関する法律」の制定にともない、従来に増してたわみやひび割れに対する関心が高まっている。土木分野では、性能照査型の設計の導入を進めており、これまでのクリープおよび収縮の終了時点を対象とした設計から、時間軸を考慮でき、現象に対応した設計を目指して研究が行われている。しかしながら、実際のコンクリート構造物の長期性状に関する測定データは乏しく、研究成果の検証が今後の課題として残っている。データの蓄積が望まれるところである。

5. WG3（メカニズム・数学モデル、材料レベル）

5.1 メカニズムと数学モデルに関する研究

(1) はじめに

コンクリートのクリープ・収縮に関するメカニズムの解明とその数学的記述（モデル化）は、古くから研究されてきた課題であり、この分野の研究成果の総括は、内外において過去何度か試みられている⁴⁾⁵⁾。数値解析技術の発達、破壊力学的知見の導入、自己収縮の顕在化などを背景とし、クリープ・収縮に関する基礎的な研究課題はますます裾野を広げる傾向にある。現象の正しい理解と記述が、より精度が高く適用範囲の広い予測手法の確立に繋がることは一般的真理であるが、構造物の設計技術との関係を常に意識し、重要度の高いと思われる問題を確実に解決しなければならない。そのような観点から、本 WG では、クリープ・収縮に関する近年の研究を概観し、以下の課題について、委員の視点から解説することとした。

(2) 乾燥収縮

乾燥収縮はコンクリート中の水分の逸散にともなう生じる体積変化であるので、そのメカニズムを考察する際には、以下の手順に分けて考えるのが適当である。

- ① コンクリート中の水分の移動
- ② 水分の逸散にともなうコンクリートの体積変化（非拘束収縮ひずみ）
- ③ 各部分に不均一な非拘束収縮ひずみが導入された場合の有限供試体の変形

したがって、単に乾燥収縮といっても、一般に我々が実験や計測により観察しているのは、③の結果生じる供試体の変形であり、およそコンクリート中の水分分布が不均一である以上、純粋な非拘束収縮ひずみではない。

さて、①のコンクリート中の水分の移動に関しては、水分移動現象の中でも、乾燥収縮に関連する形態を認識する必要を指摘している。すなわち、実構造物の乾燥収縮を予測するには、構造物が通常の大気に接した状態（不飽和状態）で生じる乾燥・吸湿、表面が液状水に接した状態（部分飽和状態）で生じる吸水現象の評価が重要となる。こ

のうち、線形または非線形拡散型モデルに基づき、乾燥・吸湿過程を解析する研究は盛んに試みられており、着実に進歩している。しかし、吸水過程を含めて、水分移動現象を統一的に評価できる解析手法は確立されていない。実構造物は、降雨にさらされ、部分的に地中や水中にある場合が多いことから、精度の高い乾燥収縮の予測のためには、吸水過程を考慮することが不可欠である。今後の研究が望まれる。

②の水分の逸散にともなう体積変化は、セメント化学における古典的研究課題であった⁵⁾。セメント硬化体自体の収縮メカニズムは、理学的側面に関しては、長らく新説が登場していない。一方、この部分を数値計算可能な数学モデルで表し、コンクリート中の水分移動解析、応力解析と組み合わせ、有限供試体の乾燥収縮挙動を予測する研究は近年盛んに試みられている。

③の応力解析では、不均一な水分分布にともなうコンクリート有限供試体中の内部拘束を適切に表現する構成則の確立が中心的課題となる。自己収縮、温度応力と異なり、乾燥収縮ではコンクリート表面の局所的な引張応力が卓越する(図-3)。これによる表面部の微視的な破壊を考慮して、有限供試体の変形挙動を論じるアプローチが提案されている⁴⁾。この問題は、乾燥クリープとも関連するため、報告書では併せて解説している。

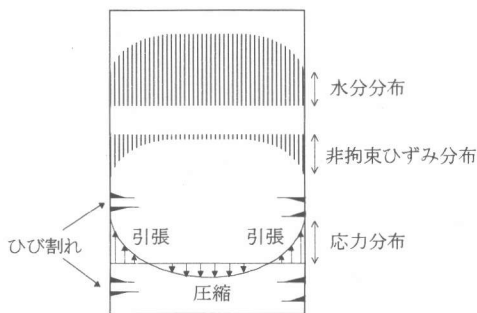


図-3 コンクリート有限供試体の乾燥収縮

(3) 自己収縮

自己収縮は、近年注目されている新しい問題であり、JCIにおいて専門の研究委員会が設けられ、

活発な研究がなされている⁶⁾。しかし、構造物の設計の観点からは、自己収縮も乾燥収縮も構造物の性能に同様の影響を及ぼすため、統一的に評価できることが必要である。すなわち、自己収縮をコンクリートのクリープ・収縮問題全体の中で捉える必要があるため、本研究委員会においても取り上げることとした。

報告書では、乾燥収縮と自己収縮の境界領域に位置する問題、たとえば、自己収縮と乾燥収縮のメカニズムの比較、統一的予測法などに力点を置いて論じている。

(4) クリープ

クリープは、レオロジーモデルを用いて比較的容易に数学的記述が展開できることから、現象のメカニズムの解明に関する研究と数学的モデル化に関する研究が互いに独立に行われてきた感が強い。そのような中で、Bazant等の提案したソリディフィケーション理論(solidification theory)は、メカニズムに立脚した定量的なクリープモデルとして示唆に富むものであると考えられる。しかし、本研究は我が国に広く知られているとはいえない。そこで本WGでは、コンクリートの基本クリープに関する既往の研究を網羅的に取り上げることにはせず、本理論の解説に報告書の紙面を割くことにした。

乾燥クリープについては、有限供試体の乾燥収縮において現れる内部拘束による表面のマイクロクラック(図-3)を原因のひとつと考える研究を紹介している。

若材齢クリープは、マスコンクリート構造物の温度応力解析に関連する問題であるため、WG2で取り上げられているが、基礎的な研究課題としても興味深いため、WG3でも調査研究を行った。若材齢クリープのモデル化では、コンクリートの水和度を表すパラメータの導入が不可欠である。しかし、水和度は、研究者によって異なる方法により考慮されており、共通の比較が困難である。この点に主眼を置き、既往の研究を調査した。

その他、クリープに関しては、引張クリープ、高温クリープについて調査研究を行った。

5.2 材料レベルにおけるクリープ・収縮問題

コンクリートのクリープ・収縮に関する研究は、全体として、コンクリートはクリープ・収縮することを前提として、現象の予測を目的とする研究が多い。しかし、材料開発により、コンクリートのクリープ・収縮に関する性質を改善あるいはコントロールすることであれば、ひび割れなどの構造物レベルの問題が一気に解決できる可能性を秘めている。そのような観点から、材料レベルの研究は重要であると考え、本WGで取り上げることとした。膨張材や収縮低減剤に関する最近の研究に焦点を当て解説している。

また、コンクリートのクリープ・収縮に関する性質の改善を目的としたものではないが、軽量骨材、再生骨材など、近年適用実績が増え、クリープ・収縮に関する研究成果も蓄積されている材料についても、取りまとめている。

6. 研究成果の公表とシンポジウム

本研究委員会の活動は2001年3月をもって終了した。すでに「コンクリート工学」誌上で案内されているように、本委員会の研究成果の報告と、クリープ・収縮に関する一般公募論文の発表を内容としたシンポジウムを企画している(表-4)。

本稿で概要を紹介した委員会の研究成果は、シンポジウム論文集と合本の委員会報告書として出版される予定である。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会クリープ・乾燥収縮小委員会：コンクリートのクリープおよび乾燥収縮，コンクリート技術シリーズNo.24, pp.56-97, 1997.
- 2) ACI Committee 126: Guide to Recommended Format for Concrete in Materials Property Database, ACI 126.3R-99, ACI, 1999.
- 3) Muller, H.S.: Considerations on the Development of a Database on Creep and Shrinkage Test, Creep and Shrinkage of Concrete, Ed. by Bazant, Z.P. and Carol, I., E&FN Spon, pp.859-871, 1993.
- 4) Bazant, Z.P. (ed.): Mathematical Modeling of Creep and Shrinkage of Concrete, John Wiley and Sons, 1988.
- 5) 近藤連一編：多孔材料一性質と利用一，技報堂，1973.
- 6) 日本コンクリート工学協会：自己収縮研究委員会報告書，1996.

表-4 「コンクリート構造物のクリープおよび収縮による時間依存変形」に関するシンポジウム

期日：2001年7月31日(火)

場所：早稲田大学国際会議場井深ホール

プログラム：

午前の部：委員会報告

10:00～10:10 開会挨拶(阪田憲次)

10:10～10:45 委員会報告1：メカニズムとそのモデル化・材料レベル(下村 匠・坂井悦郎)

10:45～11:20 委員会報告2：試験法・データベース・予測式(綾野克紀・椿 龍哉・佐藤嘉昭)

11:20～12:00 委員会報告3：部材・構造物レベル(安田正雪・森本博昭・手塚正道)

午後の部：一般論文発表

13:00～14:45 セッション1：材料・メカニズム・数学モデル(一般論文7件)

15:05～16:50 セッション2：試験・計測・データベース・予測式，部材・構造物(一般論文7件)

16:50～17:00 閉会挨拶(下村 匠)