

コンクリート部材に生じる  
収縮ひび割れ発生条件に関する研究

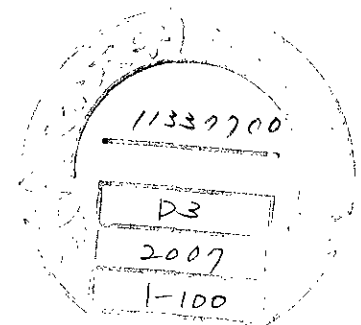
大分大学大学院工学研究科

博士後期課程

博士論文

2007年 2月

濱永 康仁



目次

第1章 序論	・・・1
1.1 研究背景	
1.2 研究目的	
1.3 論文の構成	
1.4 用語の定義	
第2章 既往の研究	
2.1 乾燥収縮ひび割れ試験方法に関する研究	・・・7
2.2 ひび割れ発生条件に関する研究	
第3章 試験装置の開発	・・・26
3.1 はじめに	
3.2 試験装置開発の背景	
3.3 試験装置の開発	
3.4 試験装置の性能評価実験	
3.5 まとめ	
第4章 乾燥収縮ひび割れ試験	・・・49
4.1 はじめに	
4.2 実験計画	
4.3 実験方法	
4.4 実験結果	
4.5 まとめ	
第5章 ひび割れ発生条件の検討	・・・90
5.1 はじめに	
5.2 収縮ひび割れに影響を及ぼす各種要因	
5.3 ひび割れ発生条件の検討	
5.4 まとめ	
第6章 実構造物におけるひび割れ予測	・・・106
6.1 はじめに	
6.2 収縮ひび割れ幅の予測方法の基礎理論	
6.3 修正ベースマレー法によるひび割れ幅の予測手法	

6.4 小柳法によるひび割れ幅の予測手法

6.5 予測結果の比較

6.6 まとめ

第7章 結論

・・・126

# 第 1 章

## 序論

## 1.1 研究背景

近年コンクリート構造物において、ひび割れの発生が数多く報告されている。ひび割れの発生は、コンクリート構造物の外観を損ねるだけでなく、防水性、耐久性の低下などを生じさせ、コンクリート構造物の寿命を縮める原因となっている。特に、高強度コンクリートの場合、若材齢における温度応力や自己収縮によるひび割れの危険性が挙げられる。

コンクリートに発生するひび割れは極めて多種多様な原因によるため、その抑制対策もそれぞれ異なることになるが、未だに解決されていないひび割れとして代表的なものが乾燥収縮と温度伸縮によるひび割れである。その理由は、これらのひび割れの発生原因がただ一つの原因によるものではなく設計、材料・調合、施工、構造、使用環境などすべての要因が影響するため、発生原因の究明にあたってはそのいくつかを対象として総合的に考える必要があり、これらをすべて解決した上で初めてひび割れの抑制対策が構築できる。本研究では、未だ解決されていないひび割れの1つであるコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ（乾燥収縮ひび割れ）に着目した。

各学会における乾燥収縮ひび割れに関する研究の動向<sup>1.1)</sup>を表-1.1.1に示す。乾燥収縮ひび割れに関する研究は、古い時代では「キレッツ」として表記されており、1956年の建築雑誌9

表-1.1.1 乾燥収縮ひび割れに関する研究の動向<sup>1.1)</sup>

	日本建築学会	土木学会	日本コンクリート工学協会
1950年代	・鉄筋コンクリート構造物のキレッツ特集 (建築雑誌)		
1970年代	・鉄筋コンクリート造のひび割れ対策(設計・施工)指針・同解説 ・コンクリート造のきれい特集 (建築雑誌)		・コンクリートのひび割れ(JCI特集号)
1980年代	・建築物の耐久計画に関する考え方 ・高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針 ・建築物の調査・劣化診断・修繕の考え方(案)・同解説	・コンクリート構造物の耐久設計指針(試案) ・コンクリート標準示方書「維持管理編(試案)」	・コンクリートのひび割れ調査・補修指針 ・コンクリートとひび割れ(JCI特集号)
1990年代	・RC造建築物の耐久性調査・診断・および補修指針(案)・同解説	・クリープ・乾燥収縮小委員会 ・コンクリート構造の時間依存性変形・ひび割れ評価研究小委員会	・コンクリートの長期耐久性研究委員会 ・コンクリート構造物のクリープおよび時間依存変形研究委員会
2002年		・コンクリート標準示方書(性能照査型に改訂)	
2003年	・鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れメカニズムと対策技術の現状一		・コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針
2005年			・コンクリート構造物の収縮ひび割れの予測と制御(JCI特集号)
2006年	・鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説		

月号において「鉄筋コンクリート構造物のキレツ特集」の中では、鉄筋コンクリート構造物に生じる乾燥収縮ひび割れを科学的に調査、研究した報告は昭和5,6年頃から散見されると記されている。当時は鉄筋コンクリート構造物のひび割れ防止はかなりの難問題で、その防止対策に対して参考となる解説が特集内に掲載されている。その後、1970年代には日本建築学会において、鉄筋コンクリート造のひび割れ対策（設計・施工）指針・同解説が刊行され、建築雑誌に「コンクリート造のきれつ（ひびわれ）特集」が、日本コンクリート工学に「コンクリートのひび割れ特集」が組まれており、鉄筋コンクリート造建物のきれつの傾向、対策および問題点やさらにきれつ発生原因を的確に把握するために必要な調査の基本項目とチェックリストを掲げ、あわせて発生原因ときれつのパターンの関係などが明確に示されるようになり、さらにきれつ発生に伴う障害、きれつと仕上げ材との関係、きれつの防止策、きれつに対する補修・補強などについても記載されている。1980年代以降は、各学会ともに指針類などが整備され、コンクリート構造物にとって有害なひび割れを防止するための事前対策やひび割れが発生した後の補修・補強などの事後対策に関しても配慮されるようになった。最近では、日本建築学会から、「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説」が刊行され、近年の研究成果を反映した収縮ひび割れ対策の仕様設計の手法に加えて、新たに性能設計の手法とその適用例が示されている。表-1.1.1において研究の動向をみてみると、鉄筋コンクリート構造物に生じる乾燥収縮ひび割れに関する研究は、ひび割れ発生防止という観点からひび割れ制御へと研究が移行していることが分かる。

コンクリートのひび割れ発生の予測と抑制については古くから取り組まれているがひび割れ発生のメカニズム、部材内のひび割れの分布状況、コンクリートの伸び能力環境条件など種々の問題を抱えたまま解決されずに現在に至っている。

## 1.2 研究目的

ひび割れ発生のメカニズムについては図-1.1.1<sup>1)2)</sup>に示す模式図によって説明できる。

コンクリートは、空気中にさらされると必ず乾燥収縮を生じる。その量は、調合・部材の寸法・乾燥条件などいろいろな要因に左右される。乾燥収縮ひび割れはコンクリート部材が自由に収縮しようとした時に、拘束を受けることによって生じる。この拘束には、外部から受けるものと、内部から受けるものがある。

外部拘束の例として、コンクリート構造物の基礎、あるいは周辺を壁と梁に囲まれた壁、コンクリートに埋め込まれた鉄筋などがある。例えば、壁体と周辺の梁、柱とを切り離して自由収縮させたとすると、両者の断面寸法の違いから収縮ひずみ量に差が生じる。よって一体化を保つためには壁は周辺の柱、梁から引張られることになる。壁のコンクリートは弾性およびクリープ変形するが、その引張応力がコンクリートの引張強度を超えたときにひび割れが発生する。

内部拘束はコンクリート自体によるもので、この図のようにコンクリート部材の収縮量を細い棒状にモデル化するとよくわかるが、コンクリート部材は表面と内部では乾燥を受ける条件が違うために収縮ひずみ量に差が生じる。しかしながら実際には一体となって収縮するため、表面部分は引張力、内部は圧縮力を受けた状態になる。コンクリートの乾燥収縮ひび

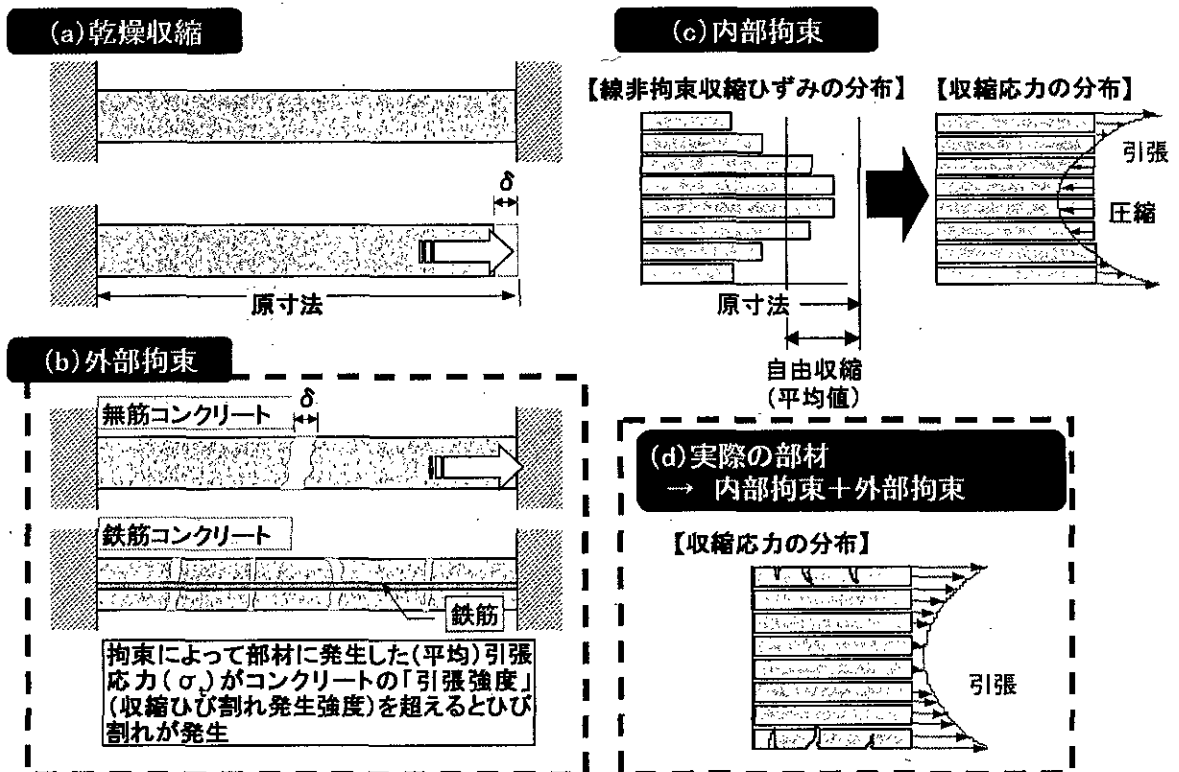


図-1.1.1 乾燥収縮ひび割れ発生メカニズム

割れ性状を解明するためにはこの外部拘束と内部拘束の両者によって生じる応力を正確に把握しなければならない。

コンクリートは打設直後から収縮変形し、その変形量と拘束割合に応じて生じる引張応力は徐々に増加する。拘束されたコンクリートの挙動は乾燥しながら極めてゆっくりとした時間で引張られる場合の破壊という問題に置き換えられる。また、ひび割れの発生は刻々と変化する強度やヤング係数などコンクリートの力学特性に密接に関わってくる。コンクリートのひび割れ発生メカニズムを解明するためには、若材齢時からのコンクリートの力学特性を明らかにする必要がある。刻々と変化するコンクリートの諸性状を把握するためには精度の高い試験装置が不可欠である。従来の乾燥収縮ひび割れ試験装置では、コンクリートの拘束応力を正確に算出すること、また、拘束率を設定し常に一定に保つことは非常に難しいのが現状である。

そこで、本研究は外部拘束によってコンクリートに生じる引張応力を明らかにし、ひび割れ発生条件について提案することを目的とし、引張試験装置を改良した自動制御型の拘束試験装置を作製した。これは、拘束率および荷重を任意に設定し制御でき、ロードセルによりコンクリートの拘束応力を直接測定できるものである。本研究では作製した試験装置の評価実験を行うとともに、コンクリートの収縮ひび割れに影響を及ぼす要因として、①拘束率、②乾燥開始材齢、③コンクリートの調合に着目し、それぞれの異なる条件下で乾燥収縮ひび割れ実験を行い、コンクリートの応力やひずみを測定し、これらの実験結果について検討を行った。その実験結果よりコンクリートの乾燥収縮ひび割れ発生条件に関する考察を行った。

### 1.3 論文の構成

本論文はコンクリートの乾燥収縮ひび割れの発生条件の確立を目指しており、そのために必要な収縮ひび割れ試験装置の開発、乾燥収縮ひび割れ実験の成果などを取りまとめており以下に示すような7つの章により構成されている。

**第1章「序論」**では、研究の背景および目的ならびに論文の構成および本論文において使用されている用語および用語の意味について述べている。

**第2章「既往の研究」**では、収縮ひび割れ試験装置に関する研究とひび割れ発生条件に関する研究について文献調査を行った。コンクリート部材にひび割れを発生させるには、コンクリートの自由収縮を何らかの方法によって拘束させる必要がある。拘束方法として種々の方法がこれまでに考案されひび割れ試験が行われており、それらの試験方法を取りまとめ、その特徴について紹介する。ひび割れ発生条件については、主に JIS A 1151 に準拠した一軸拘束試験方法により得られた試験結果を基にひび割れ発生条件について検討を行っている既往の研究を紹介し、これらを取りまとめることとした。

**第3章「試験装置の開発」**では、これまで正確に把握することが困難であった拘束応力を直接測定でき、ひずみや応力を自動的に制御できる収縮ひび割れ試験装置の概要について述べ、試作装置を用いて各種評価実験を行い、収縮ひび割れ試験のみならず引張荷重下における各種の材料試験に適用可能な多目的試験装置であることを確認した結果を述べている。

**第4章「乾燥収縮ひび割れ試験」**では、第3章で開発した収縮ひび割れ試験装置を用いて、拘束率、乾燥開始材齢および調合の異なる条件下で乾燥収縮ひび割れ試験を行い、コンクリートの応力やひずみを測定し、これらの実験結果について検討を行った。

**第5章「ひび割れ発生条件の検討」**では、第4章で述べた乾燥収縮ひび割れ試験によって得られた「拘束応力ー拘束引張ひずみ」曲線を詳細に検討し、コンクリートのひび割れ発生条件について提案を行った。

**第6章「構造物におけるひび割れ予測」**では、第5章で提案したひび割れ発生条件を用いて、鉄筋とコンクリートの付着の取り扱いを比較的簡単に単純化した収縮ひび割れ幅の簡易予測法（修正ベースマレー法・橋田式）と鉄筋の付着の取り扱いが複雑な非線形増分解法による小柳法により実構造物に生じるひび割れの幅を予測した結果について述べている。

**第7章「結論」**では、各章の結論をまとめており、今後の課題について述べている。



## 1.4 用語の定義

本論文で用いている用語および用語の意味を以下に述べる。

収縮ひずみ	乾燥収縮ひずみ，自己収縮ひずみおよび温度ひずみの和で，その中には，炭酸化収縮ひずみも含まれているものとする。
乾燥収縮ひずみ	コンクリートが乾燥を受けることによって生じるひずみ。その中には，炭酸化収縮ひずみも含まれているものとする。
乾燥収縮ひび割れ	構造体や部材の乾燥収縮ひずみが，周囲の他の部材や境界条件によって拘束を受けて自由に収縮できない結果生じるひび割れ。
拘束ひずみ	乾燥収縮ひび割れ試験における拘束コンクリート中のひずみ
拘束引張ひずみ	自由収縮ひずみと拘束ひずみの差
拘束率	自由収縮ひずみに対する拘束引張ひずみの比（百分率）
拘束応力	収縮ひび割れ試験においてコンクリート試験体に生じる応力
最大拘束応力	収縮ひび割れ試験における拘束応力の最大値
最大ひずみ	最大拘束応力時の拘束引張ひずみ
限界ひずみ	引張強度試験における引張強度時のひずみ

### 【参考文献】

- 1.1)三橋博三・佐藤嘉昭：収縮ひび割れの予測と制御の現状，コンクリート工学，vol.43，No.5，pp.4-10，2005
- 1.2)上田賢司：コンクリート部材に生じる乾燥収縮ひび割れの予測に関する基礎的研究，大分大学・学位論文，1999