

## 第 7 章

### 結論

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、環境条件の影響などが明確にされていないといった種々の問題を解決されずに現在に至っている。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、コンクリートの力学的特性を明らかにする必要があり、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は、コンクリートの拘束応力を正確に算出できず、また、拘束率を設定し常に一定に保つことが非常に難しいといった問題を抱えている。

本論文は、その様な問題点を改善し、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試験装置を開発し、それをを用いて行った実験結果を元にコンクリートの乾燥収縮ひび割れ発生条件について検討を行ったものである。

**第1章「序論」**においては、本研究における目的を述べるとともに、本論文の構成を示した。

**第2章「既往の研究」**において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した。従来のひび割れ試験には一軸拘束型として、内部拘束型および外部拘束型、多軸拘束型としてリング型および4辺拘束型があり、また、コンクリート供試体ひずみを制御する引張装置型やVRTM試験機などがあることを示した。これらに共通した課題点として、供試体に生じる応力を測定できないこと、供試体のひずみを測定できないこと、供試体の拘束率を自由に設定できないことなどが挙げられる。それらの課題を克服しているVRTM試験機についても、試験装置自体が大きく同時に多数の試験を行うことができないといった課題がある。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た。

**第3章「試験装置の開発」**においては、第2章においてまとめた従来の収縮ひび割れ試験方法について考察を行った。その結果より収縮ひび割れ試験に必要であると考えられる性能を持った試験装置を新たに開発し、性能評価実験を行った。その結果、引張強度試験では、万能試験機の結果を用いた場合と同程度の結果が得られ、また全ての供試体のほぼ中央部付近で破断することが確認できた。また、引張クリープ試験では、設定した荷重を測定期間中、高い精度で制御できていることが確認できた。さらに、乾燥収縮ひび割れ試験では、設定した拘束率を試験期間中、精度良く制御していることが確認できた。以上のことより、開発した試験装置はコンクリートの収縮ひび割れ試験を行うにあたって十分な性能を有していることが分かった。

**第4章「乾燥収縮ひび割れ」**においては、第2章で開発した拘束率を自由にコントロールできる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。その結果、拘束率が高くなるほど、また水セメント比が大きくなるほどひび割れ発生期間は短くなるが、乾燥開始材齢はひび割れ発生期間には影響を及ぼさないこと、拘束率が低くなるほど最大拘束応力は小さくなるが、水セメント比や乾燥開始材齢は最大拘束応力に大きな影響を及ぼさないこと、拘束率が低くなるほど最大ひずみは大きくなるが、拘束率 60%と比較して拘束率 40%では小さくなること、また、乾燥開始材齢が遅くなるほど最大ひずみは小さくなるが、水セメント比は大きな影響を及ぼしていないことを明らかにした。

**第 5 章「ひび割れ発生条件の検討」**においては、第 4 章で得られた実験結果を元にコンクリートの収縮ひび割れ発生条件について検討を行った。その結果以下に示すひび割れ発生条件を提案することができた。

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= 2.57 \times 10^{-4} \cdot x^{1.56} \cdot K^{0.43} \cdot t_0^{-0.13} \cdot \sigma_0 \\ \varepsilon_{\max} &= 7.68 \times 10^{-4} \cdot x^{2.43} \cdot K^{-0.40} \cdot t_0^{-0.38} \cdot \varepsilon_0\end{aligned}$$

ここに、 $\sigma_{\max}$  : 最大拘束応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 水セメント比(%)

$K$  : 拘束率(%)

$t_0$  : 乾燥開始材齢(日)

$\sigma_0$  : 乾燥開始時の引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon_{\max}$  : 最大ひずみ (×10<sup>-6</sup>)

$\varepsilon_0$  : 乾燥開始時の限界ひずみ (×10<sup>-6</sup>)

**第 6 章「構造物おけるひび割れ予測」**においては、第 5 章で提案したひび割れ発生条件を用い、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である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を取り上げ、実構造物のひび割れ調査結果とひび割れ幅の予測結果を比較検討した。その結果、小柳法においてはひび割れ本数が調査結果に比べて多くなっているがひび割れ幅においてはいずれの予測式においても調査結果とほぼ同等の結果が得られることが分かった。

**第 7 章「結論」**においては、各章の結論をまとめ、今後の検討課題について述べた。

以上より、拘束率を自由に制御できる収縮ひび割れ試験装置を開発し、コンクリートの収縮性状に及ぼす、拘束率、乾燥開始材齢、調合の影響について実験を行うことができた。その結果、最大拘束応力および最大ひずみについてのひび割れ発生条件を提案することができた。

しかしながら、提案した予測式は拘束率を一定に保持できる試験装置を用いた実験より得られたものであり、拘束率が変化する実際の構造物に適用する際にどのような利用方法があるかといった検討は今後の課題である。

謝辭

本論文は大分大学大学院工学研究科博士前期課程および博士後期課程に在籍していた平成14年から現在に至る5年間の研究結果を取りまとめたものです。

本研究を行うにあたり、研究当初の基礎的な部分から現在に至るまで直接御指導頂いた大分大学工学部教授：佐藤嘉昭先生、同助手：清原千鶴先生(現：同客員研究員)ならびに大谷俊浩先生には丁寧なご指導を頂きました。ここに厚く感謝の意を表します。

本論文の作成に当たり、北九州市立大学国際環境工学科教授：永松静也先生、大分大学工学部教授：井上正文先生、同教授：菊池健児先生ならびに同教授：真鍋正規先生からは貴重な助言を頂きました。心より深くお礼申し上げます。

研究を遂行するに当たり、大分大学福祉環境工学科建築コース技術職員：遠矢義秋氏、(株)さとうベネック建設本部技術部技術課副長 上田賢司氏には貴重なご意見を頂くとともに研究活動を行いやすい環境を整えていただきました。心より深くお礼申し上げます。

また、本論文で用いた実験データを得るために、材料施工研究室に在籍していた卒論生や修論生に多大な協力を頂きました。深く感謝いたします。

本論文はこのように多くの皆様方の御支援によって完成したものです。ここに重ねて感謝の意を表します。