

# 委員会報告 高性能膨張コンクリートの性能評価とひび割れ制御システムに関する研究委員会報告

細田 暁<sup>\*1</sup>・盛岡 実<sup>\*2</sup>・谷村 充<sup>\*3</sup>・関田徹志<sup>\*4</sup>・坂井 悦郎<sup>\*5</sup>・岸 利治<sup>\*6</sup>

**要旨:** ひび割れ抑制のニーズが高まる中、我が国の誇るべき技術である膨張材に関する最新の知見を取りまとめた。また、JIS A 6202 法の代替となる軽量鋼製型枠を用いた膨張率の簡易な試験方法を提案し、理論的説明を加えた。さらに、膨張コンクリートのひび割れ抑制効果の定量的評価方法について、建築・土木の規準類への反映を念頭に体系的に分析を行い、山口県のひび割れ抑制システムを参考に、建築・土木の分野でのひび割れ制御のあり方について提言を行った。

**キーワード:** 膨張コンクリート、ひび割れ抑制、性能評価、膨張率の簡易試験法、ひび割れ制御システム

## 1. はじめに

1968年にカルシウムサルホアルミネート系の膨張材が上市され、また、世界で初めてとされる石灰系の膨張材も開発され、我が国では実構造物への適用も広まった。さらに、低添加型の膨張材の開発により、工事での使用が増加する傾向にあり、生コンクリートにおける膨張コンクリートの比率でみると、2006年は約1.6%で1994年の約0.4%に比べて4倍に増えているというデータもある。また、2001年の品確法の施行以降、ひび割れに関する意識が強まり、さらに土木学会および建築分野のJASS5において収縮率についての規定が設けられたこともあって、ひび割れ抑制材料としての膨張材にさらに期待が高まってきている。

このような中、JCIでは、「高性能膨張コンクリートの

性能評価とひび割れ制御システムに関する研究委員会」(委員長：坂井悦郎 東京工業大学教授)を設置して2009年度から2年間3つのWG{WG1(材料性能WG), WG2(ひび割れ抑制効果の評価方法WG), WG3(ひび割れ制御システムWG)}を立ち上げて活動を行った。本研究委員会の主な成果としては、膨張率の簡易試験法の確立、規準類への反映を念頭に置いた建築・土木分野におけるひび割れ抑制効果の定量評価手法の構築と整理、先駆的な山口県のひび割れ抑制システムを参考にしたひび割れ制御システムのあり方の提言などが挙げられる。本研究委員会の詳細については、2011年9月に委員会報告を行う予定である。

なお、JCIにおいては、2003年に「膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化研究委員会」(委員

表-1 委員構成

委員長 坂井 悦郎 東京工業大学	谷村 充 太平洋セメント(株) (WG2主査)
副委員長 岸 利治 東京大学生産技術研究所	田村 隆弘 徳山工業高等専門学校
幹事長 細田 暁 横浜国立大学 (WG3幹事)	半井 健一郎 群馬大学
安 台浩 東京大学生産技術研究所	二戸 信和 (株)デイ・シイ
今本 啓一 東京理科大学	野口 貴文 東京大学
伊與田 紀夫 明星セメント(株)	橋田 浩 清水建設(株)
臼井 達哉 大成建設(株) (2010年度途中まで)	丸山 一平 名古屋大学 (WG2幹事)
武田 均 大成建設(株) (2010年度途中より)	丸山 真一 東海旅客鉄道(株)
郭 度連 太平洋マテリアル(株) (WG1幹事)	宮澤 伸吾 足利工業大学
関田 徹志 鹿島建設(株) (WG3主査)	盛岡 実 電気化学工業(株) (WG1主査)
木野 淳一 東日本旅客鉄道(株)	石川 靖晃 名城大学
小林 哲夫 住友大阪セメント(株)	大崎 雅史 宇部興産(株)
斉藤 和秀 竹本油脂(株)	倉内 英敏 (株)太平洋コンサルタント (協力委員)
杉橋 直行 清水建設(株)	百瀬 晴基 鹿島建設(株) (協力委員)
杉山 央 宇都宮大学	三谷 裕二 太平洋セメント(株) (協力委員)
栖原 健太郎 電気化学工業(株)	保利 彰宏 電気化学工業(株) (通信委員)

\*1 横浜国立大学大学院 環境情報学研究院 准教授 博士(工)(正会員)

\*2 電気化学工業(株) 博士(工)(正会員)

\*3 太平洋セメント(株) 博士(工)(正会員)

\*4 鹿島建設(株) 博士(工)(正会員)

\*5 東京工業大学大学院 理工学研究科材料工学専攻 教授 工博(正会員)

\*6 東京大学 生産技術研究所 人間・社会系部門 教授 博士(工)(正会員)

長：辻 幸和 群馬大学教授)の委員会報告書が発刊されており、本委員会の成果はこれ以降の技術の進展の成果を取りまとめたものである。

## 2. 材料性能 WG (WG1) における検討

材料性能 WG においては、以下の3つを中心にして活動を行った。

- ①膨張コンクリートの適用条件や適用範囲の明確化。
- ②膨張コンクリートの簡易な品質管理手法の提案。
- ③膨張材の JIS 規格の検討

①の適用条件や適用範囲の明確化では、膨張コンクリートの性能を担保するために、また、リスクアセスメントの観点からその適用条件や適用範囲を明確にすることを目的とした。この活動は主に文献調査を中心に行った。2003年に第一期の膨張コンクリートに関する委員会の報告/シンポジウムが行われ<sup>1)</sup>、この際にも既往の文献調査が取りまとめられているので、ここでは、2003年以降を中心に調査し、整理した。

膨張コンクリートの性能に影響を及ぼす因子としては、水/結合材比、セメントの種類、温度依存性、膨張材の添加量、部材厚や単位セメント量などがあり、その影響について、最新の知見を取りまとめた。例えば、水/結合材比の影響について挙げる。水/結合材比が30%以下の場合には、未反応の膨張材が残存し、膨張が長期にわたって継続し、かつ遅れ膨張の危険性などが指摘されていた<sup>2)</sup>。しかし、郭らは水/結合材比が低い配合においては、膨張材の水和反応を早めて未反応膨張材を残存させないようにするために、粉末度の高い(粒度の細かい)膨張材の適用が有効であることを明らかにしている<sup>3)</sup>。

②の膨張コンクリートの品質管理手法の提案では、現状の品質管理方法として定められている JIS A 6202 に代替できる簡易な測定手法の検討を行った。簡易な測定手法の必要性として、レディミクストコンクリート工場の多くは JIS A 6202 の測定機器を保有しておらず、また、測定環境も整っていないことが挙げられる。現状では膨張材メーカーに測定試験体を送られ、限られた試験機関で測定が行われている。増え続ける膨張コンクリートのニーズに対応するためには、誰でも、どこでも、評価できる測定方法の検討が急務である。

加えて、JIS A 6202 では、恒温・恒湿環境下で基長棒を測定し、供試体を持ち帰って再び恒温・恒湿環境下で測定しなければならないため、現場測定ができない。膨張コンクリートを使用する目的は、膨張させることではなく、ひび割れを制御することである。したがって、現場のコンクリート構造物のひび割れを制御するための品質管理としては、現場環境における膨張コンクリート

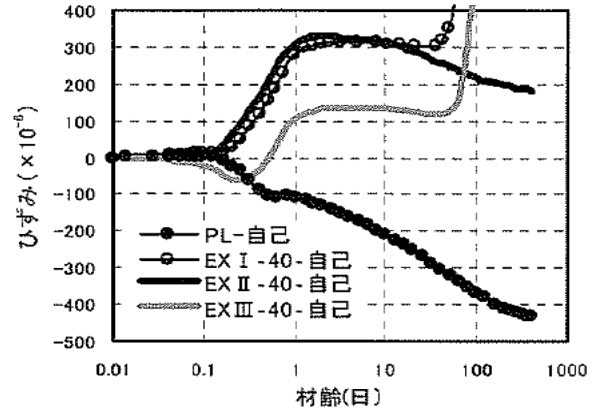


図-1 各種の膨張材を混和した超高強度コンクリートの自己寸法変化<sup>3)</sup>

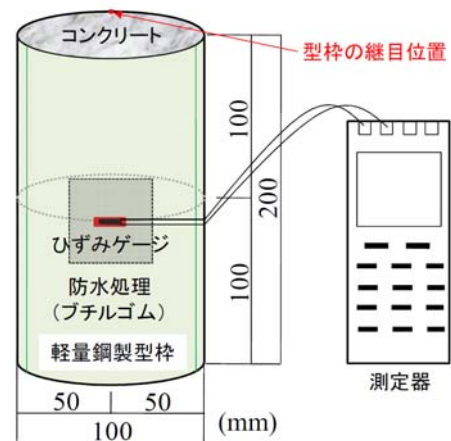


図-2 簡易試験方法の概要<sup>4)</sup>

の挙動を把握することが重要である。

③の膨張材の JIS 規格の検討では、現状の規格の問題点について検討した。特に、強熱減量が膨張材の風化の程度を計るためと認識されており、水和熱抑制型膨張材に含まれる有機成分が強熱減量として測定されてしまうことへの問題提起を行った。さらに、有機成分を含む水和熱抑制型膨張材の風化の程度を適切に測定することが可能な強熱減量の測定条件の提案も行った。

ここでは、②の「膨張コンクリートの品質管理手法の提案」を取り上げて概説する。

### 2.1 簡易な膨張コンクリートの品質管理手法の提案

辻らは、圧縮強度を測定するための軽量鋼製型枠を用いて、簡易に拘束膨張試験を行う方法を提案した<sup>4)</sup>。これは、軽量鋼製型枠の中央部の円周方向にひずみゲージを貼り付け、内側から膨張圧力を受けた軽量鋼製型枠のひずみを計測する方法である。測定方法の概要を図-2に、また、測定結果の一例を図-3に示した。膨張材の単位量が増すに従い、膨張ひずみも大きくなっており、その傾向は、水/結合材比が異なっても同様であった。

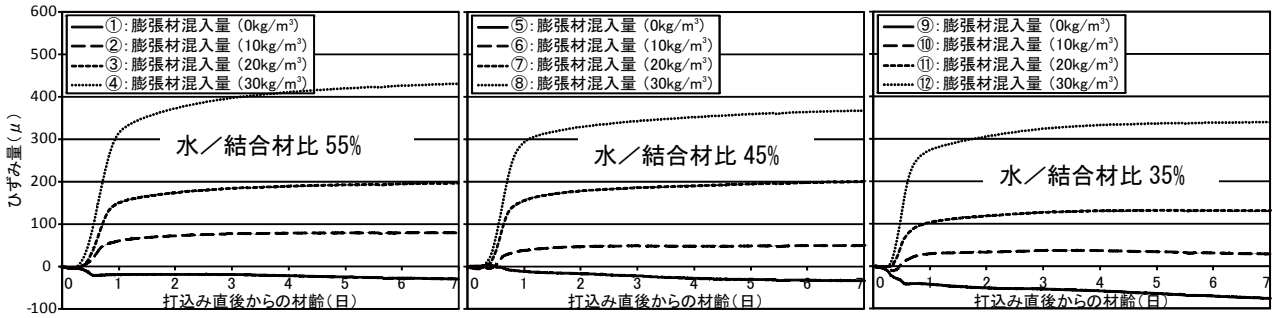


図-3 簡易試験方法による膨張挙動の試験結果の一例

円周方向

$$2ht\sigma_{\theta} = 2Rhp_{\theta}$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{p_{\theta}R}{t}$$

$$\varepsilon_{\theta} = 1/E_s (\sigma_{\theta} - \nu\sigma_z)$$

軸方向

$$2\pi Rt\sigma_z = \pi R^2 p_z$$

$$\sigma_z = \frac{p_z R}{2t}$$

$$\varepsilon_z = 1/E_s (\sigma_z - \nu\sigma_{\theta})$$

- $\sigma_{\theta}$  : 円周方向の応力
- $\varepsilon_{\theta}$  : 円周方向のひずみ
- $\sigma_z$  : 軸方向の応力
- $\varepsilon_z$  : 軸方向のひずみ
- $E_s$  : 鋼板のヤング係数 :  $2.1 \times 10^5$  (N/mm<sup>2</sup>)
- $\nu$  : 鋼板のポアソン比 : 0.3
- $p_{\theta}$  : 円周方向の圧力 (N/mm<sup>2</sup>)
- $p_z$  : 軸方向の圧力 (N/mm<sup>2</sup>)
- $R$  : 型枠の半径 : 50 (mm)
- $t$  : 鋼板の厚さ : 0.28 (mm)

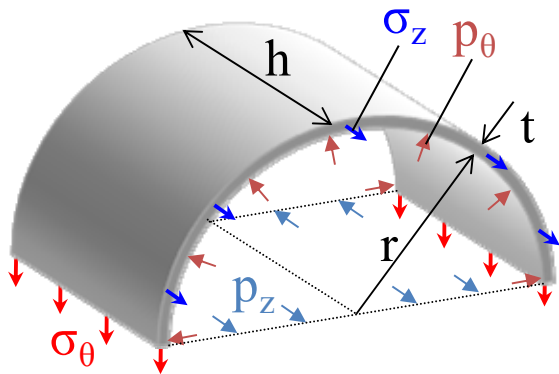


図-4 薄肉円筒モデルの概要

## 2.2 簡易測定方法の妥当性の検証

辻埜らは、軽量鋼製型枠を用いた膨張測定方法は、内部膨張圧を受ける薄肉円筒モデルとして取り扱うことができることを提唱し<sup>5)</sup>、それに基づく簡易測定方法の

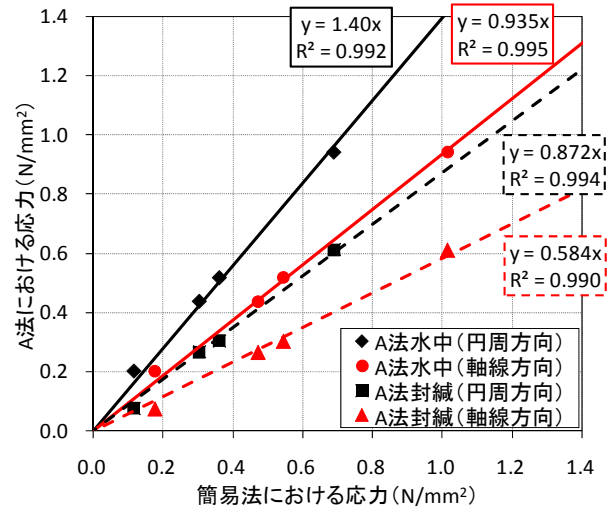


図-5 JIS A 6202 法での応力と簡易試験での応力の関係

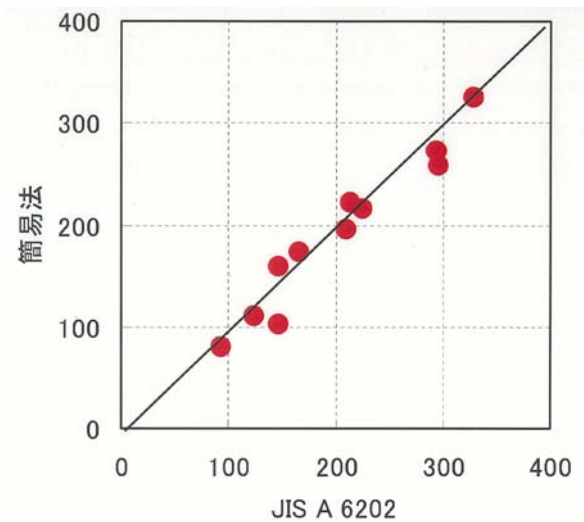


図-6 JIS A 6202 法と簡易方法の測定結果の対比

妥当性についても検討している。図-4 に薄肉円筒モデルの概要を示した。円周方向は式(1)で、軸方向は式(2)でそれぞれ表すことができる。なお、軽量鋼製型枠に生じるひずみ量から薄肉円筒モデルを利用することで内部膨張圧力を明らかにすることが可能である。

図-5に JIS A 6202 法での応力と簡易試験での応力の関係を示した。JIS A 6202 法の一軸拘束膨張試験と簡易試験法に生じる応力は膨張材の混入量にかかわらず、一次関数の関係で表現することができる。

### 2.3 JIS A 6202 との対比について

従来の JIS A 6202 法と、簡易方法との対比のため WG1 では、共通試験を行った。試験機関は 5 箇所、膨張材の種類は 2 種類とし、セメントや骨材は各試験機関で入手できるものとした。統一した要因として、水/結合材比を 50% とし、使用する高性能 AE 減水剤は同じものを使用した。

図-6に JIS A 6202 法によるひずみの測定結果と簡易方法によるひずみの測定結果の関係を示した。試験機関や使用材料が異なっているにもかかわらず、JIS A 6202 法と簡易方法の測定結果はほぼ 1 対 1 に対応しており、本簡易試験方法は JIS A 6202 法の代替になる可能性が示唆された。

### 3. ひび割れ抑制効果の評価方法 WG (WG2) の成果

WG2 では、膨張コンクリートの部材・構造物レベルにおける性能評価方法の高度化・汎用化に資することを目的として、以下のテーマを中心に研究を行った。

- ・ 拘束膨張ひずみ ( $150 \times 10^{-6}$  以上) の位置づけ
- ・ 初期ひび割れ問題に関わる応力評価方法
- ・ 曲げひび割れ幅等部材使用性能の評価方法
- ・ 収縮規定化に対応した膨張効果の取扱い
- ・ コンクリート工場製品の評価方法
- ・ 実構造物レベルの性能検証事例

また、収縮補償コンクリートに関する ACI 規準「Guide for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete (ACI 223)」を調査し、構造設計上の要件を整理した。さらに、マスコンクリート構造物や建築構造物を対象としたケーススタディ解析を行い、膨張コンクリートの使用効果を検討した。得られた主な知見を以下に概説する。

#### 3.1 拘束膨張ひずみの位置づけ

1970 年代の土木・建築両学会の指針類を調査した。土木では、無拘束でも強度が低下しない範囲であることや適用実績より、収縮補償用コンクリートの膨張ひずみ

(JIS A 6202 附属書 2 の拘束膨張試験による材齢 7 日の値) の標準が  $150 \sim 250 \times 10^{-6}$  とされた<sup>6)</sup>。建築では、①ひび割れ防止上の乾燥収縮ひずみの限界値  $500 \times 10^{-6}$ 、②膨張コンクリートの乾燥収縮ひずみ  $640 \times 10^{-6}$  (普通コンクリートの乾燥収縮ひずみ  $800 \times 10^{-6}$ ) とし、②と①の差を丸めて  $150 \times 10^{-6}$  以上とされた (図-7)<sup>7)</sup>。収縮ひび割れ制御指針<sup>8)</sup>では、②の効果を安全側に無視して、膨張コンクリートによる乾燥収縮ひずみの低減効果としては  $150 \times 10^{-6}$  以上を見込むことができるとしている。

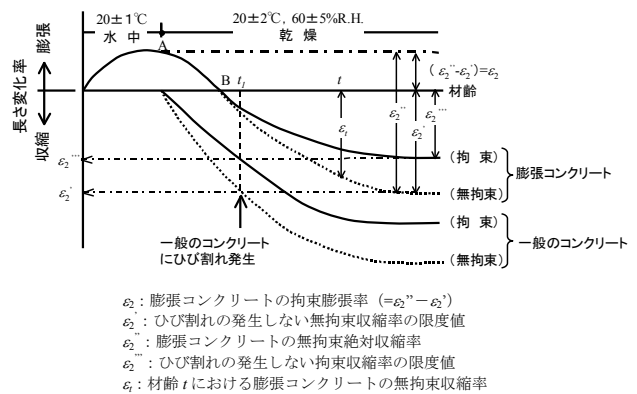
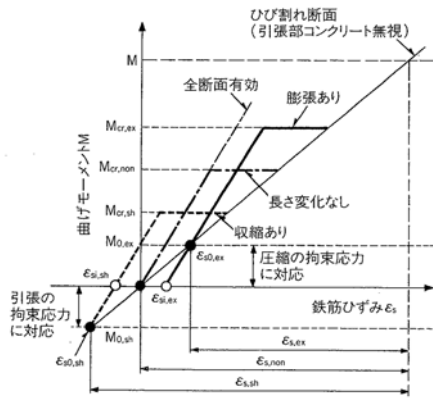


図-7 拘束膨張・収縮性状モデル

#### 3.2 初期ひび割れ問題に関わる応力評価方法

膨張コンクリートの初期ひび割れ制御効果は、構造物の断面寸法や形状などの構造条件、周辺温度などの環境条件に応じて異なるため、ひび割れ制御を合理的に行うためには、部材のひずみ・応力の挙動を正確に予測することが求められる。最近では、解析技術の進歩を背景に、膨張コンクリートの効果を解析的に定量評価する方法の開発が進んでいる。膨張コンクリートの効果を解析評価するための具体的な方法が示されたものとして、JCI「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008」がある。また、マスコンクリートソフト作成委員会では、膨張ひずみをエネルギー一定則 (従来の仕事量一定則とは異なる) により算定する方法を示し、温度応力解析ソフト「JCMAC3」に反映している。解析手法については、線形クリープ則に基づいた増分型有限要素クリープ解析が主流である。

一方、解析に使用する膨張コンクリートの材料モデルについては、それぞれの機関で独自に提示されているものも多く統一的なものはないので、それらについて調査を行い、整理した。膨張ひずみの扱いでは、鉄筋比 0.1% の微拘束下における膨張ひずみを用いる方法、複数の鉄筋比におけるひずみを基に無拘束下の膨張ひずみを推定して用いる方法、膨張拘束圧に応じて膨張ひずみを変化させる方法、線膨張係数を変化させることで膨張ひずみを考慮する方法など、様々なモデルに分類された。また、膨張ひずみの温度依存性を考慮し、部材の温度分布・温度履歴に応じて膨張ひずみの最大値や発現速度の変化を表現できるモデルも提示されていた。クリープの影響については、ヤング係数に補正係数 (低減係数) を乗じることで考慮するモデルがほとんどであった。補正係数の値は、既存の指針類で示されている値と比較して小さく設定しているものが多く認められた。また、若材齢時クリープを計測し、膨張コンクリート用のクリープ式を定めたモデルもあった。



●：鉄筋位置のコンクリート応力度=0の状態  
○：載荷直前の鉄筋ひずみ（ケミカルプレストレスに対応）

図-8 収縮・膨張が鋼材ひずみの変化量に及ぼす影響

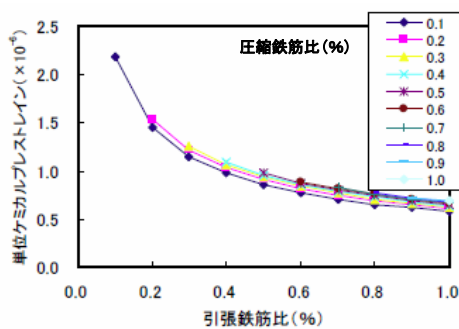


図-9 ケミカルプレストレスの試算例

### 3.3 曲げひび割れ幅の評価方法

土木学会では、膨張コンクリートが曲げひび割れ幅を抑制する効果を陽な形で考慮する方法を取り入れている。設計施工指針<sup>9)</sup>では、膨張コンクリートを用いたRC部材の場合、無載荷状態から曲げひび割れ発生荷重以上の荷重レベルまでに生じる鋼材のひずみ増加量が、ほぼ導入されるケミカルプレストレスの量だけ小さくなることを考慮した曲げひび割れ幅算定式を示している。この考えを踏襲しつつ、最新の示方書<sup>10)</sup>では、曲げひび割れ幅算定式における自己収縮の影響の扱い方を拡張し、収縮補償用コンクリートを用いる場合は、鋼材位置のコンクリートの応力度が圧縮から0に達するまでの鋼材ひずみ（ケミカルプレストレスとケミカルプレストレスに対応する鋼材ひずみの和）を考慮する評価方法を示している（図-8）<sup>11)</sup>。RC部材に導入されるケミカルプレストレス・ストレインの算定について、仕事量一定則を活用した方法や試算例（図-9）を取りまとめた。建築での扱いについては、現状の設計式を整理し、膨張コンクリートの効果を陽な形で考慮するための方法論を検討した。また、膨張コンクリートの変位・変形やせん断挙動に関する最新の知見を調査し、構造性能評価の方法論についても検討を加えた。

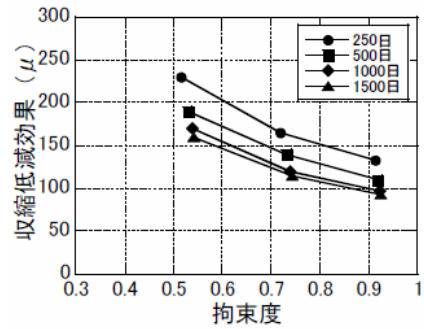


図-10 膨張コンクリートの収縮低減効果の試算例

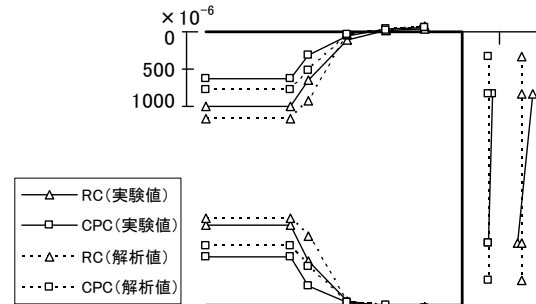


図-11 ボックスカルバートの引張鉄筋ひずみの分布

### 3.4 収縮規定化に対応した膨張効果の取扱い

建築分野では、JASS5で乾燥収縮の制限値（JIS A 1129の乾燥収縮試験による乾燥期間6か月の値）が規定されたこともあり、コンクリートの収縮・収縮ひび割れ制御に大きな関心が集まり、膨張材への期待も大きい。JIS A 1129の試験では、材齢7日以降の収縮を測定するため、それより以前に発現する膨張材の効果を評価できない。一方、建築部材の拘束条件等を勘案して、初期膨張応力を乾燥収縮ひずみの低減効果に換算する手法が検討されており、一般的な建築構造物では、 $100 \sim 150 \times 10^{-6}$ 程度見込めるとした知見が得られている（図-10<sup>12)</sup>）。

また、コンクリートの収縮、鉄筋比と部材の拘束度から、収縮ひび割れの本数と幅が算出される修正ベース・マレー式<sup>8)</sup>が実務設計に用いられている。WG2ではコンクリートの収縮量や膨張材の有無を要因とした独自の拘束ひび割れ試験を実施しており、有用な結果が得られれば、ベース・マレー式への膨張効果の反映も検討し、委員会報告書に取りまとめる予定である。

### 3.5 コンクリート工場製品の評価方法

コンクリートに圧縮力を積極的に導入させて、ひび割れ発生耐力の向上などを期待するケミカルプレストレスコンクリートは、既に40年以上の実績を有し、ヒューム管、ボックスカルバート、合成鋼管などのコンクリート工場製品に適用されている。一方、その効果を定量的に評価して、設計に反映させる統一的な手法は未だ確立されていないのが現状であった。しかし、最近では、

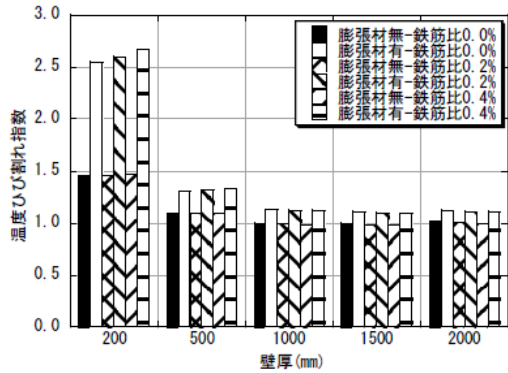


図-12 温度ひび割れ指数の比較

仕事量一定則の仮定と積層モデルによる断面解析，さらにマトリックス骨組解析の組合せにより，ボックスカルバートなどのケミカルプレストレス・ストレインを算定する手法が提案されており（図-11<sup>13)</sup>，膨張コンクリートの性能照査法としての展開が期待される。

### 3.6 検証事例と使用効果に関するケーススタディ

#### (1) 実構造物レベルの性能検証事例

土木構造物では，フーチングに壁を打設する実大モデル，箱桁鋼床版モデル，壁体を模擬した打重ね試験体，大型 PC タンク，マッシブなスラブ状構造物などに膨張コンクリートを適用した際の性能検証事例を取り上げ，解析評価の視点も入れて取りまとめた。

建築構造物では，主に収縮ひび割れの抑制を目的に，開口がある，複雑な形状である，美観上の理由からひび割れ誘発目地を設けたくないなど，ひび割れが発生しやすい条件において膨張コンクリートが用いられている。部材厚さの薄い壁部材では，腰壁をはじめ，不規則開口を有する外壁やアーチ状壁部材など，床部材では，デッキスラブや土間スラブへの適用事例を取りまとめた。また，超高強度コンクリートで製造した RC 柱のひび割れ抑制についても最新の知見を示した。

#### (2) 使用効果に関するケーススタディ

膨張コンクリートの使用が初期ひび割れ抑制に及ぼす効果を解析的に検討した。使用効果の定性的傾向を数値的に示すことを目的とした解析では，ごく一般的な既設底版上に打設される壁状構造物モデルを用い，膨張コンクリートの温度ひび割れ指数を普通コンクリートの場合と比較した。温度上昇時の表層部ひび割れの観点では，膨張コンクリートの使用が厳しい方向に作用する可能性があること，壁厚が増すほど膨張コンクリートの効果は相対的に小さく評価されるが，一定レベルの効果が確保される傾向にあること（図-12<sup>14)</sup>などの知見を取りまとめた。

建築構造物のケーススタディでは，解析対象を複層の壁部材に絞り，隣接躯体の拘束や施工手順の影響を解析

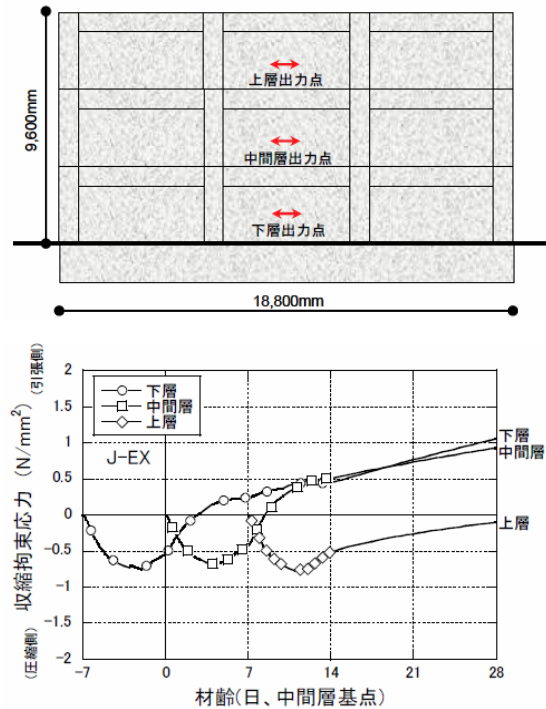


図-13 解析モデルと各階着目点の応力履歴

的に検討した。下層部の隣接躯体が拘束体となり， $0.7\text{N/mm}^2$  程度のケミカルプレストレスが導入されること，隣接する先打設の躯体が収縮過程にある場合には見かけ上のケミカルプレストレスが増大するが，上層が膨張時には中間層の引張応力が急激に大きくなることが懸念されること，などの知見が得られた。

### 3.7 期待される成果

WG2 では，部材・構造物レベルにおける膨張コンクリートの性能評価に焦点を当て，現状の理解にはじまり，今後進むべき方向性を様々な視点から研究し，多くの有用な知見を得ることができた。実務設計に役立つ，学会標準・指針に反映されるなど，成果の横展開が期待される。

## 4. ひび割れ制御システム

### 4.1 検討の方向性

WG3 では，膨張材を使用する上で最も大きなモチベーションとなっていると考えられる RC 構造物のひび割れ制御を対象に，その必要性と意義，さらには産・官・学でのひび割れ制御への取組みについて調査した。加えて，ひび割れは，RC 構造物の品質（耐久性）が設計・施工において確保されたかを表す“評価指標”となっている現状を示し，ひび割れ制御を合理的に達成するための仕組みについて，土木分野を中心に技術論に留まらず社会的なマネージメントの視点も含めて検討し，最終的には公共工事の発注の在り方や，基準類の整備の方向性について提言することを目指した。以下，土木・建築の分野

ごとに、これら調査と検討の結果概要を報告する。

## 4.2 土木分野でのひび割れ制御

### (1) 土木分野におけるひび割れ制御の意義と必要性

土木分野においても、品確法の施行以降特に、ひび割れに対する意識が一層高まっている。通常のひび割れであれば、構造物の耐力に影響するものではないが、美観的には無いほうがよく、耐久性の観点からは有害なひび割れはあってはならないというのが一応の共通認識であろうが、構造物の建設に関わる発注者、設計者、施工者、作業員、材料供給者、検査員、市民などの間で必ずしも認識が一致しているわけではない。有害なひび割れが発生した場合、工事評定で減点されるシステムとなっているが、ひび割れの発生原因も十分に解明できているとは言えず、種々の摩擦が生じている現状にある。また、ひび割れを抑制する技術は種々あるものの、実構造物における抑制技術の効果が明確でないため、抑制対策を発注システムに根拠をもって取り込むことが困難な状況にあるのが一般的である。このような状況において、データベースを核に、ひび割れ抑制システムを構築した山口県の事例は注目に値する。

### (2) 山口県のひび割れ抑制システム

山口県では、ひび割れに苦慮する施工者からの陳情もあり、平成 17 年度から山口宇部線の実構造物により各種のひび割れ抑制対策を試した。実構造物による実験である。手探りの状況であったが、産官学の連携での試験施工が始まった直後から、例えばボックスカルバートの頂版の軸方向の非貫通ひび割れが発生しなくなるなど、「施工由来のひび割れ」と呼ばれる一部のひび割れが激減した。一方で、橋台たて壁や胸壁のひび割れなどは、丁寧な施工を行っても生じる場合が多いことが判明し、これらに対しては設計段階からひび割れ抑制対策を講じる必要があることを、関係者が認識したことが最大の収穫であった。

平成 18 年度から、ひび割れ抑制システム（図-14）の施行が始まった。施工者は、すべての打設リフトにおいて、図-15 に示すような打設管理記録を提出する。打設管理記録には、構造諸元や、ひび割れ制御鉄筋の増加や膨張材の使用などの採用されたひび割れ抑制対策、コンクリートの情報、打設時の諸条件、打込み後のコンクリートの温度履歴、発生したひび割れの諸情報などがまとめられている。

打設管理記録はデータベースとして山口県の HP で公開されており、このデータベースに基づいてひび割れ抑制対策が対策資料としてまとめられており、これに基づいて新たな構造物の設計がなされる。「施工状況把握チェックシート」という 29 項目からなる打設時の監督員のチェックシート（図-16）も日々の実務の中で用いら

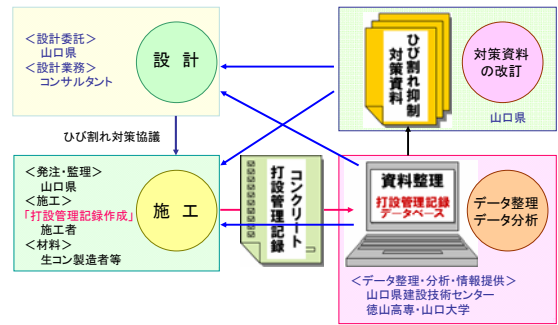


図-14 山口県のひび割れ抑制システムのフロー

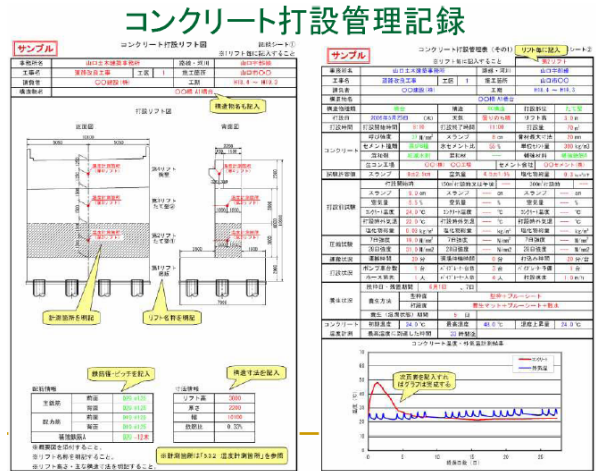


図-15 打設管理記録

【施工状況把握チェックシート（コンクリート打設時）】						
事務所名	山口土木建築事務所	工事名	〇〇県道 道路改良工事	工区	1	
構造物名	〇〇橋 AI橋台	部位	たて壁	リフト	2	
請負者	〇〇建設(株)	確認者	〇〇技師			
配合	27-8-208B	確認日時	2006/5/25(木) 7:30~12:00			
打込み開始時刻	予定 8:00 実績 9:10	打設開始時気温	22.0℃	天候	曇りのち晴	
打込み終了時刻	予定 12:00 実績 13:30	打設量(m3)	100	リフト高(m)	3.0	
施工段階	チェック項目					
	準備	運搬装置・打込み装置は汚れていないか。	—	〇		
	型枠面は塗らされているか。	—	〇			
	型枠内部に、木屑や結束線等の異物はないか。	—	※1			
	かぶり内に結束線はないか。	—	〇			
打込み	既コンクリート表面のレイタンス等は取り除き、ぬらしているか。	—	〇			
	コンクリート打設作業人員に余裕を持たせているか。	—	6人	〇		
	パイプレータの予備を準備しているか。	—	4台中1台	〇		
	発電機のトラブルがないよう、事前にチェックをしたか。	—	—	〇		
	運搬は雑足はじめてから打ち終わるまでの時間は適切か。	—	50分	〇		
締固め	ポンプや潤滑性を確保するため、先送りモルタルの圧送等の処置を施したか。	—	〇			
	鉄筋や型枠は乱れていないか。	—	〇			
	垂直かつ打込み位置近くに打設し、横移動させていないか。	—	〇			
	一区内のコンクリートは、打込みが完了するまで連続して打ち込んでいるか。	—	〇			
	コンクリートの表面が水平になるように打込んでいるか。	—	〇			
養生	一層の高さは、40~50cm以下か。	—	50cm	〇		
	2層以上に分けて打ち込む場合は、上層のコンクリートの打込みは、下層のコンクリートが固まり始める前に行っているか。	—	〇			
	ポンプ配管等の吐出口から打込み面までの高さは、1.5m以下としているか。	—	約1.8m	※2		
	表面にブリーディング水がある場合は、これを取り除いてからコンクリートを打ち込んでいるか。	—	〇			
	パイプレーターを下層のコンクリートに10cm程度挿入しているか。	—	〇			
改善事項等	パイプレーターは鉛直に挿入し、挿入間隔は50cm以下か。	—	〇			
	締め固め作業中に、振動機を鉄筋等に接触させていないか。	—	〇			
	パイプレーターでコンクリートを横移動させていないか。	—	〇			
	パイプレーターは、穴が埋らないように徐々に引き抜いているか。	—	〇			
	硬化を始めるまでに乾燥するおそれがある場合は、シートなどで日よけや風よけを設けているか。	—	〇			
コンクリートの露出面を保湿状態に保っているか。	—	〇				
保湿状態を保つ期間は適切か。	—	10日間	〇			
型枠および支保工の取外しは、コンクリートが必要な強度に達した後であるか。	—	〇				
※1 型枠内部に結束線(鉄筋)が落ちていたため、打設前に取り除かれた。						
※2 挿入口から打込み面までの高さが、明らかに1.5m以上であったため、日答で改善指示した。						
上記※1、※2についての改善と、次回打設時も施工状況把握を行うことを、工事打合せ簿にて指示する。						

図-16 施工状況把握チェックシート

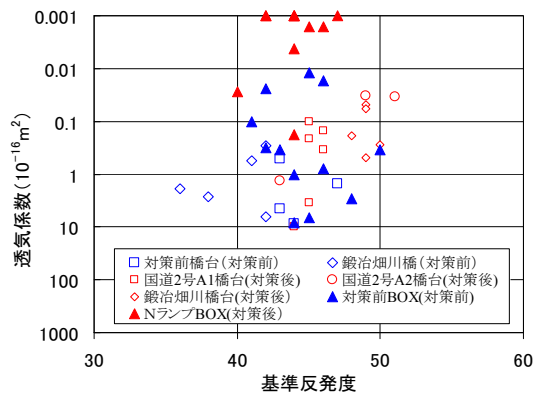


図-17 山口県の構造物の表層品質

れており、「施工の基本事項の遵守」がシステムの肝の一つとして認識されている。基本事項が遵守された施工の記録が毎回取得されデータベース化されることの意義は非常に大きい。ひび割れ抑制対策の効果も、毎回の工事で検証されることになる。

山口県のひび割れ抑制システムのひび割れ抑制に対する定量的な効果は、平成23年度からJCIに設立された「データベースを核としたコンクリート構造物の品質確保に関する研究委員会」（委員長：田村隆弘教授 徳山工業高等専門学校、幹事長：細田 暁准教授 横浜国立大学）にて、議論が深度化される予定である。

山口県のひび割れ抑制システムからは、今後も継続的に、構造物の品質確保のための有用な知見が得られるものと期待している。総合評価方式の改善のための知見、ひび割れ制御設計手法の改善、ひび割れ抑制対策の高度化、ひび割れの検査に関する知見、などが本委員会報告書にもまとめられている。

### (3) ひび割れ抑制と表層品質の関連

山口県のひび割れ抑制システムにおいて、「施工の基本事項の遵守」が肝の一つであったことから、構造物の表層品質の向上も同時に達成されていると考え、実工構造物の調査を行った<sup>15)</sup>。ひび割れ抑制対策の施行の前後で、テストハンマーによる基準反発度に大きな違いは見られなかったが、トレント試験による透気係数は大幅に低下し、表層品質の向上が確認された（図-17）。ひび割れが抑制された構造物では、表層品質も向上していることが分かり、ひび割れを抑制することの意義が明確になったと考えている。

また、他の構造物の調査においても、膨張コンクリートを用いた構造物では、表層品質が高い場合が多く、微細ひび割れなどの欠陥の抑制や、膨張材の効果期待した丁寧な施工の結果であろうと考えており、今後より多くのデータを蓄積していく予定である。

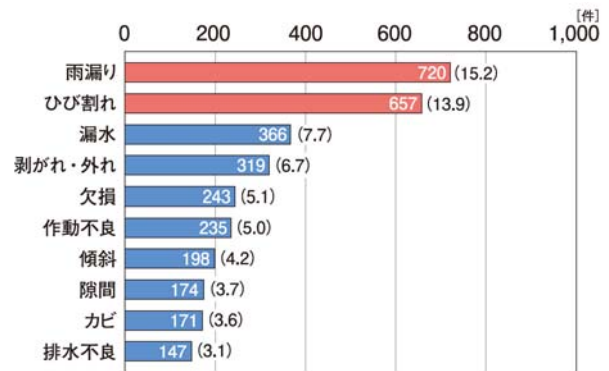


図-18 建築紛争相談の項目<sup>16)</sup>

### (4) 土木分野における収縮とひび割れの問題

垂井高架橋での過大な収縮等を起因としたひび割れの問題を受けて、土木学会でもコンクリートの収縮の設計での取り扱いの議論が活発になされている。例えば、鉄道構造物の桁においては、ひび割れ幅の設計値が限界ひび割れ幅に至らないようにすることが桁の断面や鉄筋配置の支配要因となっており、過大な収縮を設計で見込むと不経済な構造となる。膨張コンクリートを活用することで、経済的な構造となる可能性が大きく、このような考え方を報告書に取りまとめた。

### 4.3 建築分野でのひび割れ制御

#### (1) 建築分野におけるひび割れ制御の意義と必要性

建築分野では、ひび割れに関わる瑕疵の問題が顕在化している。瑕疵とは欠陥を意味し、建築の場合には引き渡す建物の品質や性能が当初の約束（契約）と異なり、価値や機能が損なわれている状態を表すとされている。特に住宅に関して、住宅の品質確保の促進等に関する法律（以下品確法）が施行され、発注者や買主のひび割れに関する関心も大きくなる傾向にある。その要因として、同法に関連し、構造耐力上主要な部分に瑕疵が存在する可能性とひび割れとの関係の技術基準が初めて示されることが挙げられる（建設省告示第1653号）。

品確法では、住宅供給者が住宅性能評価書に記述された性能を有する住宅の建設工事を実施し、この契約に反すると考える場合に買主は指定住宅紛争処理機関に紛争処理を申請することが可能となる。紛争処理のバックアップの役割を有する住宅リフォーム・紛争処理支援センターの資料では、図-18に示すように相談件数全体のうち対象となる不具合事象として漏水（雨漏り）とひび割れの割合が最も多い<sup>16)</sup>。このことから、建築分野においてひび割れが大きな社会的問題となっていることが伺われる。しかしながら、ひび割れの発生自体が建物の機能性を損なう大きな障害になることは少なく、むしろ施工品質の評価指標として扱われ、数値での表現と発見が容易であるため相談項目となっていることが考え



表-2 収縮ひび割れ解析とひび割れ対象の建物概要

記号	調査対象物件			コンクリート条件			
	物件概要	解析に供する構造条件	階数	呼び強度	W/B (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	乾燥収縮率 (μ)
A-1	物件A 立体 駐車場	フラットデッキスラブ スラブ:160mm×6000mm D13@150mm(ダブル) 鉄骨はり:700-300-13-24(2本)	2F	24	53.0	171	545
A-2			3F	24	53.0	171	545
A-3			4F	24	53.0	171	545
A-4			5F	24	53.0	171	545
B-1*	物件B 生産 施設	フラットデッキスラブ スラブ:150mm×13250mm D10@200mm(ダブル) 鉄骨はり:596-199-10-15(3本) 800-358-16-28(2本)	2F	27	53.8	180	807
B-2*			3F	27	53.8	180	807
B-3			4F	27	53.8	177	807
B-4			5F	27	53.8	177	807
C-1	物件C 商業 施設	山型デッキスラブ スラブ:80mm×8050mm D13@150mm Φ6@150mm 鉄骨はり:588-300-12-20(1本) 600-300-12-22(2本)	3F1工区	27	54.1	176	749
C-2			3F2工区	27	54.1	176	749
C-3			4F1工区	27	54.1	176	749
C-4			4F2工区	27	54.1	176	749

\*B-1, B-2は膨張材および収縮低減剤を使用  
収縮低減剤の影響は上記乾燥収縮特性値を0.7倍にすることで反映

られる。

(2) 膨張材が建築物のひび割れ制御に果たす役割ー収縮ひび割れを対象として

ここでは、建築物の収縮ひび割れ制御における膨張材の効果に関し、床部材を対象として定量的に示す。床部材における膨張材の効果は、梁部材等に拘束を受ける床部材に生じる収縮拘束応力とコンクリートのひび割れ発生強度の比である応力強度比の解析値で表した。解析の対象は、表-2に示す3つの建物の床部材で、B-1およびB-2のみが膨張材を用いたコンクリートである。

また、表-2の各床部材について、施工後のひび割れ調査を実施した。調査では、発生したひび割れの長さおよび最大幅を測定し、ひび発生状況を定量化するため、ひび割れ幅とひび割れ長さの積を調査面積で除して得られる値をひび割れ密度と定義して結果を整理した。

図-19は、膨張材の効果を検査と解析の結果で表している。これらから、ほとんどの床部材では、多くのひび割れが発生する傾向にあり、ひび割れが不可避となることがわかる。それに対して、膨張材を混和した場合には、応力強度比が小さくなりひび割れを大きく低減する可能性を示唆している。

以上、建築物の床部材では、一般にひび割れ発生の危険度が大きい傾向にあり、ひび割れの制御方法は限られているが、その有力なひとつとして膨張材が位置付けられると考えられる。

5. まとめ

ひび割れの抑制された高品質の構造物、建築物が世の中で強く求められており、膨張材は大きな役割を期待されている。本委員会では、膨張コンクリートの材料面の研究の進展、ひび割れ抑制効果の評価方法の研究の進展とこれまでの経緯の整理、土木と建築の分野におけるひび割れ制御のあり方についての提言などを報告書に取

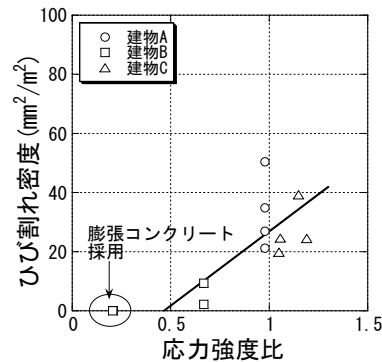


図-19 膨張材の効果

りまとめた。膨張率の簡易試験方法や、ひび割れ抑制効果の評価方法などは、実務で使われていく中でブラッシュアップされ、さらに研究が進展することを期待する。ひび割れの問題は、建設のシステム全体の問題が凝縮された複雑な問題であり、山口県のひび割れ抑制システムなどを参考に、ひび割れが合理的に抑制され、関連する技術や制度が継続的に進歩するように、システムとしての議論が活発になされることを期待する。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会, 膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化に関するシンポジウム, 2003
- 2) 盛岡実, 坂井悦郎: 膨張材を混和した低水結合材比モルタルの膨張挙動, 膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化に関するシンポジウム, pp.103-108, 2003
- 3) 郭度連, 谷村充, 佐竹紳也, 柴垣昌範: 膨張材による超高強度コンクリートの収縮低減, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.471-476, 2008
- 4) 辻埜真人, 橋田浩, 菊地俊文, 田中博一: 膨張材と石灰石骨材を併用した低収縮コンクリートに関する検討(その2 膨張コンクリートの品質管理方法) 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), A-1, pp.925-926, 2010.9
- 5) 辻埜真人, 橋田浩, 湯浅竜貴, 高橋圭一: 膨張コンクリートの簡易拘束膨張試験方法, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, 2011(印刷中)
- 6) 土木学会: 膨張コンクリート設計施工指針(案), コンクリートライブラリー 45, 1979
- 7) 日本建築学会: 膨張材を使用するコンクリートの調査設計・施工指針案・同解説, 1978
- 8) 日本建築学会: 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, 2006

- 9) 土木学会：膨張コンクリートの設計施工指針，コンクリートライブラリー 75，1993
- 10) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書[設計編]，2008
- 11) 谷村充，佐藤良一ほか：若材齢時長さ変化を考慮した RC 曲げ部材のひび割れ・変形の一般化評価方法，土木学会論文集，No.760/V-63，pp.181-195，2004
- 12) たとえば，百瀬晴基，閑田徹志：膨張材による収縮低減効果の定量化，日本コンクリート工学協会「コンクリートの収縮特性評価およびひび割れへの影響」に関するシンポジウム論文集，pp.71-76，2010
- 13) 栖原健太郎，辻幸和ほか：CPC ボックスカルバートの解析方法の一提案，セメント・コンクリート論文集，No.40，pp.316-322，2011
- 14) 倉内英敏，谷村充，丸山一平：膨張コンクリートの温度ひび割れ指数に関する解析的検討（土木学会・第 66 回年次学術講演会講演概要集に投稿）
- 15) 吉田 早智子，細田 暁，林 和彦，内田 晃：表面吸水試験および透気試験による山口県の構造物の表層品質評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，2011（印刷中）
- 16) 住宅リフォーム・紛争処理支援センター：住宅相談と紛争処理の状況，2010