

コンクリートに用いる混和材料の収縮低減効果に関する調査
(その1 調査の概要)

正会員 鹿毛忠継*1 正会員 加藤淳司*2
同 唐沢智之*3 同 大串浩治*4
同 大野吉昭*4

乾燥収縮 収縮低減剤 膨張材
収縮ひずみ予測式 文献調査

1.はじめに

鉄筋コンクリート造構造物に生じる有害なひび割れは、耐久性・水密性・耐力など建築物の性能低下に繋がるため、事前にひび割れの原因となる乾燥収縮ひずみ等の検討対策を十分に行う必要がある。コンクリートに乾燥収縮ひずみが生じる要因として、単位水量等の調合の影響、セメントや粗骨材の種類等の材料による影響が報告されている。一方、収縮ひずみを抑制する対策として、収縮低減剤や膨張材等の混和材料の効果について報告されており、鉄筋コンクリート造構造物の収縮ひび割れの制御設計手法として、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説(2006)」(以降、指針と記す)が示され、コンクリート調合や養生条件の影響を考慮した収縮ひずみ予測式が提案されている。

その1では、収縮低減剤および膨張材を使用したコンクリートの収縮ひずみの実測値を調査し、指針で示される収縮ひずみ予測式を用い、混和材料の収縮低減効果に関する評価を行った。その2では、測定材齢が異なる乾燥収縮ひずみの実測値から、最終乾燥収縮ひずみを予測し、使用材料や各混和材料の使用方法(種類・組合せ・使用量等)の収縮低減効果への影響、ならびに圧縮強度へ影響についても検討を行った。

2.調査方法

2.1 集計方法

その1では、コンクリート工学年次論文集で報告された論文を集計対象とし調査を行った。調査方法は、1980~2006年の期間で収縮低減剤または膨張材を使用したコンクリートの収縮ひずみが報告された論文を対象とし、表1に示す項目について集計を行った。集計は、基本となる項目(設計基準強度・呼び強度・調合名)、調合及び材料に関する項目(水セメント比・単位水量・単位粗骨材量、セメント・骨材及び混和材料の種類)、試験結果に関する項目(スランブ・空気量・圧縮強度・収縮ひずみ・試験体の寸法及び養生条件)に分類した。

2.2 収縮ひずみ予測式による予測値と実測値の比較方法

指針において、コンクリートの収縮ひずみの予測値は、コンクリートの材料・調合等を考慮した式(1)によって定められている。

この式より、コンクリートの調合と養生条件から求める予測値と乾燥収縮ひずみの実測値をセメントの種類及び混和材料の使用方法別に比較を行った。

ただし、セメント・骨材・混和材料の種類で指針に種類の影響による修正係数が示されていない材料に関しては、修正係数($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$)を1.0として扱った。

$$sh(t, t_0) = k \cdot t_0^{0.08} \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{h}{100} \right)^3 \right\} \cdot \left(\frac{t - t_0}{0.16(V/S)^{1.8} + (t - t_0)} \right)^{1.4 \cdot (V/S)^{-0.18}} \dots \text{式(1)}$$

$$k = (11 \cdot W - 1.0 \cdot C - 0.82 \cdot G + 404) \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3$$

ここに、 $sh(t, t_0)$: 乾燥開始材齢 t_0 日における材齢 t 日の収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)

- W : 単位水量(kg/m³)
- C : 単位セメント量(kg/m³)
- G : 単位粗骨材量(kg/m³)
- h : 相対湿度(%) (40% ≤ h ≤ 100%)
- V : 体積(mm³)
- S : 外気に接する表面積(mm²)
- V/S : 体積表面積比(mm) (V/S ≤ 300mm)

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: それぞれ、骨材の種類の影響、セメントの種類の影響、混和材の影響を表す修正係数

表1 集計対象および集計項目

項目	分類
集計対象	コンクリート工学年次論文集 集計期間: 1980年~2006年
基本	設計基準強度, 呼び強度, 調合名
調合及び材料	水セメント比(W/C), 単位水量(W) 単位セメント量(C), 単位粗骨材量(G) セメントの種類 ¹ , 骨材(種類・産地・岩種), 混和材料(膨張材・収縮低減剤) ²
試験結果	スランブ, 空気量, 収縮ひずみ(材齢別) 圧縮強度(材齢別), 試験体の寸法, 養生条件

1 セメント種類: 普通ポルトランドセメント(N)・早強ポルトランドセメント(H)・低熱ポルトランドセメント(L)・高炉セメントB種(BB)・シリカフェースメント(SFC)を示す。

2 混和材料: 収縮低減剤(SR)・膨張材(E)・併用(E-SR)を示す。

3. 乾燥収縮ひずみの調査結果

3.1 集計結果

調査を行った研究報告は全部で 346 件あり、そのうち乾燥収縮ひずみが報告された件数を表 2 に示す。セメントの種類が N・H・L・SFC・BB・不明、粗骨材の種類が碎石(岩種内訳:硬質砂岩・安山岩・不明)・種類不明で、混和材料の種類が膨張材または収縮低減剤の単体使用、膨張材・収縮低減剤併用または使用無しに分類された。

コンクリートに使用される材料の調査対象に対する割合は、セメントでは N が 77%、粗骨材では碎石が 39%、細骨材では砂が 78%・砕砂が 8%、混和材料は、収縮低減剤が 47%、膨張材が 12%、併用が 13%で使用されていた。粗骨材は種類不明が多く、また、収縮低減剤を用いた調査が調査対象の 60%であった。

3.2 収縮ひずみ予測式の予測値と実測値の比較

図 1 は、セメント種類別の実測値と予測値の比較を示す。予測値は、セメントが N・L・BB、粗骨材が碎石、混和材料が収縮低減剤・シリカフュームなど指針で修正係数が示されている調査を対象とし算出した。ただし、碎石の岩種は区別せず、膨張材や特殊材料(石灰粉やアルミニウム粉など)を使用した調査は対象外、また標準的な養生条件(温度 20℃、湿度 60%)を対象とした。N の場合の予測値と実測値は、ややばらつきが認められるが概ね一致している。L の場合の予測値は実測値より若干高く、BB の場合は予測値が低めの傾向を示した。なお、L の場合、修正係数 $\alpha_2=0.6$ とすると実測値と予測値が概ね一致する。

図 2 は、混和材料の使用方法別の実測値と予測値の比較を示す。セメントの種類は N を対象とし、粗骨材は碎石で岩種の区別をせず、特殊材料は除外した。混和材料使用無し・収縮低減剤単体使用の場合は、ばらつきはあるものの予測値と実測値は概ね一致した。一方、膨張材を単体使用の場合は、ばらつきが大きく、予測値 $500\sim 800 \times 10^{-6}$ に対し実測値が $100\sim 500 \times 10^{-6}$ と小さい値を示す場合が認められた。長さ変化試験は、一般的に脱型後 7 日間水中養生を行った後、基長を行うが、膨張材を用いたコンクリートは主にこの養生期間に初期膨張を生じる。そのため、試験において基長までの養生期間を 1 日とする場合などでは、初期膨張の影響により収縮ひずみの予測値と実測値に差が生じる。また、併用した場合も実測値の大小と比較し予測値の変化が少なく、膨張材の評価がされていないことが要因と考えられる。

4. まとめ

収縮ひずみの予測値は、セメントが N の場合、良好な推定結果を示し、L の場合は、予測値より実測値の乾燥収

縮ひずみが小さい結果となった。また、収縮低減剤については、良好な推定結果を示すが、膨張材については、一部予測値が実測値の収縮ひずみより小さい結果を示す。これは、膨張材の初期膨張の影響であり、収縮ひずみを予測する場合には、膨張量、試験材齢や養生条件等の影響について、具体的な評価方法が検討される必要がある。参考文献 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)、pp.53-60

表 2 使用材料別の乾燥収縮ひずみ報告件数

項目	件数	項目	件数	項目	件数			
セ メ ン ト	N	107	粗 骨 材	硬質砂岩	62	混 和 材 料	E	26
	H	1		安山岩	8		SR	101
	L	13		岩種不明	55		E-SR	28
	SFC	2	種類不明	197	使用無し	59		
	BB	9						
	不明	7	表は、調査対象とした研究報告 346 件のうち乾燥収縮ひずみが報告された件数とする。					

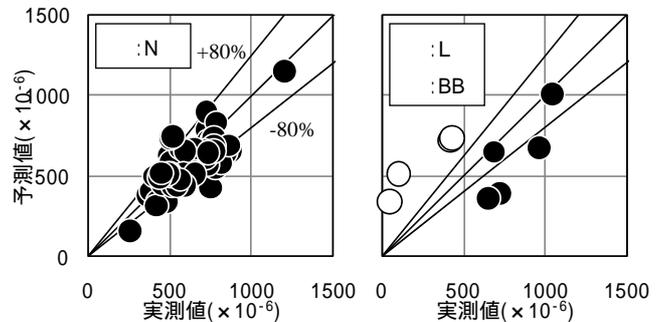


図 1 実測値と予測値の関係(セメント)

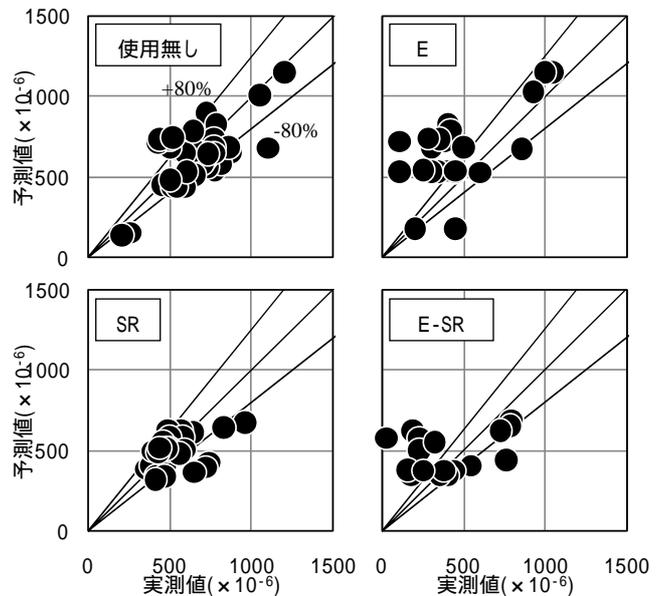


図 2 実測値と予測値の関係(混和材料)

*1(独)建築研究所材料研究グループ Ph.D.

*2 飛鳥建設(株)技術研究所

*3 鉄建建設(株)エンジニアリング本部技術センター

*4(財)ベターリビング つくば建築試験研究センター

*1 Building Research Institute, Ph.D.

*2 Research Institute of Technology, Tobishima Corporation

*3 Technical Research Institute, Tekken Corporation

*4 Center for Better Living Tsukuba Building Research and Testing Lab.