

各種粉体混和材を用いたコンクリートの収縮ひび割れ抵抗性

白井 裕規・下村 匠

要旨：コンクリートに混和材を混入し、一軸拘束試験を行った。混和材の混入によってコンクリートのひび割れ抵抗性は低くなった。そして、ひび割れ抵抗性の原因を収縮特性、応力緩和特性、ひび割れ発生条件に分解し、実験を行った。その結果、フライアッシュや高炉スラグを混入した配合では、初期材齢の強度低下が、高強度配合では初期材齢の収縮の増大がひび割れ抵抗性低下の原因であることを明らかにした。

キーワード：ひび割れ抵抗性、収縮特性、応力緩和特性、ひび割れ発生条件

1. はじめに

フライアッシュや高炉スラグなどの混和材は現在、資源の有効利用としてコンクリートに用いられている。混和材を混入することによってコンクリートの諸性質を改善する効果がある。しかし、混和材を混入することによって中性化が起きる、収縮ひび割れが発生するなど使用における注意が必要である。ここでは、収縮ひび割れに注目することとした。

コンクリートは自己収縮と乾燥収縮によって体積変化し、変化を拘束されると引張力が導入され、収縮ひび割れが発生する。この収縮によるひび割れを一般的に評価するためにはひび割れ抵抗性の構成要因となる3つの因子、収縮特性、応力緩和特性、ひび割れ発生条件に分解してひび割れ抵抗性を評価する必要がある。

そこで本研究では、混和材を混入することによってひび割れ抵抗性がどう変わるか確かめるために一軸拘束試験を行った。

そして、もしひび割れ抵抗性が変わるのであれば、ひび割れ抵抗性の3つの構成要因である収縮特性、応力緩和特性、ひび割

れ発生条件のうちどの因子が変わるのかを確かめるために実験を行った。

2. 実験概要

本研究では、拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験とコンクリートの自由収縮試験を中心に行った。

拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験の型枠はJIS規格に基づくものを使用する。拘束試験は打設後表面をラップで覆い封緘養生する。養生は温度20度、湿度60%の恒温室内で行う。材齢が7日に達したら封緘を解き、底板と側板、端板を外し乾燥を開始させる。試験体にひび割れが発生したら拘束収縮ひずみの測定を終了する。本試験は、コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性を直接試験していることになる。ひび割れが発生するか否かにより、またひび割れが発生するものについてはひび割れ発生に要した日数により、ひび割れ抵抗性を評価することができる。

コンクリートの自由収縮試験の型枠は100×100×400mmの鋼型枠を使用する。ひずみゲージには埋め込み型のゲージを使

用し、試験体の中心に配置されるよう番線を用いて固定する。コンクリート打設直後から1時間間隔でコンクリートの自由収縮ひずみを測定する。養生は温度20度、湿度60%の恒温室内で行う。材齢が7日に達したら封緘を解き、乾燥を開始させる。

拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験とコンクリートの自由収縮試験の試験体の概要を図-1に示す。

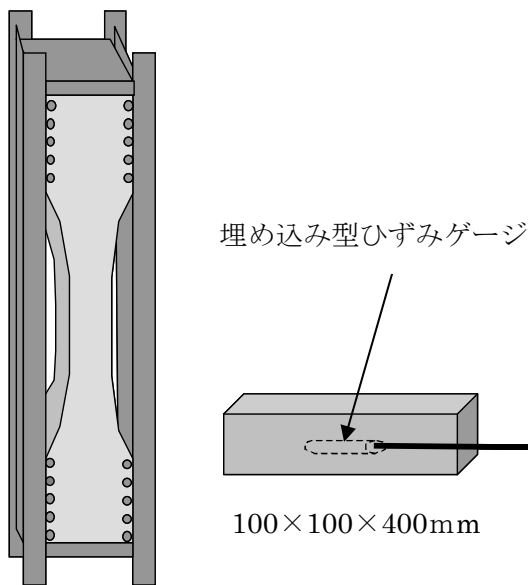


図-1 一軸拘束試験体と自由収縮試験体

3. 配合条件

本実験では配合を2つのシリーズに分け、シリーズ1は普通コンクリートの一部をフライアッシュや高炉スラグに置き換えたものである。水結合材比を50%に統一し、フライアッシュの産地を実験のパラメータとした。

シリーズ2は混和材に高炉スラグとシリカフェウムを使用し、水結合材比を下げ、高強度化を狙った配合である。

各配合の配合表を表-1, 2に示す。

表-1 配合表 (シリーズ1)

配合名	使用粉体	産地	水結合材比 W/B (%)	内割り置換率 F/(C+F) (%)
NC				0
O-10		ONODA	50	10
O-20				20
JC-20	フライアッシュ	酒田		50
N-20		能代		
T-20		中電三隅		
C-20		四電橋本		
BB-50	高炉スラグ		20	

表-2 配合表 (シリーズ2)

配合名	使用粉体	水結合材比 W/B (%)	高炉スラグ 置換率 C x (%)	シリカフェウム 置換率 C x (%)
H-40	高炉スラグ	40	40	5
H-80		25		
H-100	シリカフェウム	20		

4. ひび割れ抵抗性

ひび割れ抵抗性は一軸拘束試験を行い評価する。一軸拘束試験を行い、試験体にひび割れが発生したときの材齢をひび割れ発生日数として抽出する。各配合のひび割れ発生日数を抽出した結果を図-2に示す。シリーズ1, シリーズ2共にすべての配合において普通コンクリートの比べて早期にひび割れが発生している。したがって、コンクリートに混和材を混入することによってひび割れ抵抗性が低下したということになる。

次に、何故混和材の混入によってひび割れ抵抗性が低下したのかを検証する。

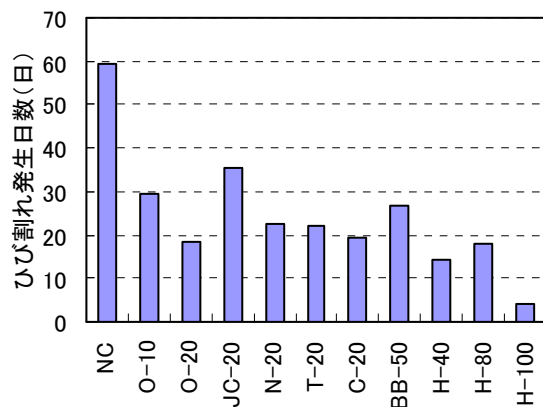


図-2 各配合のひび割れ発生日数

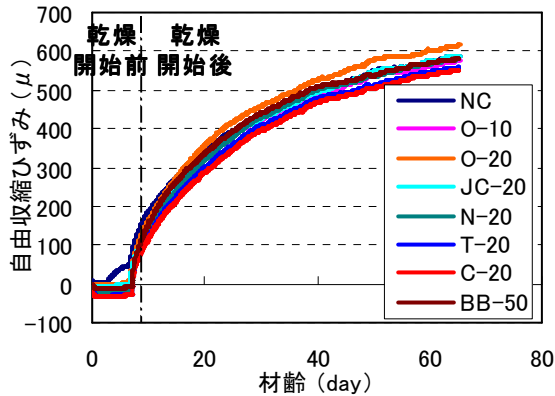


図-3 自由収縮の経時変化（シリーズ1）

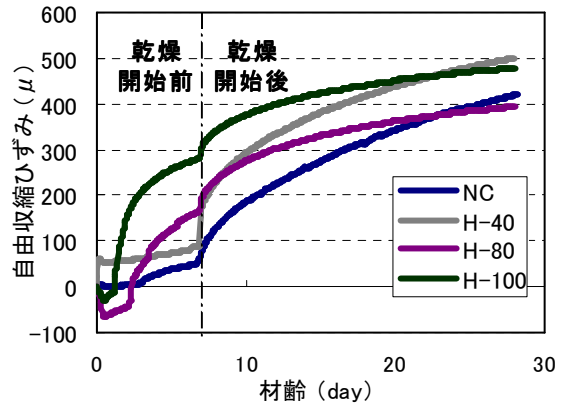


図-4 自由収縮の経時変化（シリーズ2）

5. 収縮特性

シリーズ1とシリーズ2の自由収縮の測定結果を図-4, 5に示す。

まずは、シリーズ1について見てみると、普通コンクリートと混和材を配合したコンクリートの自由収縮量に大きな差がないということがわかる。このことから、シリーズ1のひび割れ抵抗性低下の原因は収縮特性ではないということになる。

シリーズ2について見てみると普通コンクリートに比べて、H-80, 100の配合では自己収縮が、H-40の配合では乾燥収縮が大きいことがわかる。材齢25日程度では収縮量に大きな違いがない。このことから、シリーズ2では初期の材齢の収縮量が大きいことがひび割れ抵抗性低下の原因の1つといえる。

6. 応力緩和特性

コンクリートに発生する断面平均応力を以下の式より求める。

$$\sigma = \frac{A_s}{A_c} E_s \varepsilon \quad (1)$$

ここに、 σ ：拘束ひずみによるコンクリー

トの断面平均応力 (N/mm^2)、 A_s ：拘束鋼材の断面積 (mm^2)、 A_c ：コンクリートの断面積 (mm^2)、 E_s ：拘束鋼材の弾性係数 (N/mm^2)、 ε ：拘束鋼材のひずみである。

有効ひずみは以下の式より求める。

$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_{sh} - \varepsilon_r \quad (2)$$

ここに、 ε_{eff} ：有効ひずみ、 ε_{sh} ：自由収縮ひずみ、 ε_r ：拘束ひずみである。

応力-有効ひずみの傾きを有効弾性係数として求め、比較することによって応力緩和特性を評価できる。図-5に各配合の有効弾性係数算出結果を示す。

混和材を混入した配合はいずれも普通コンクリートより有効弾性係数は小さくなっている。すなわちクリープによる応力緩和は普通コンクリートより優れているということになる。よって各シリーズともに応力緩和特性がひび割れ抵抗性低下の原因ではないということになる。応力緩和特性の観点からはむしろひび割れ抵抗性増大に寄与していることになる。

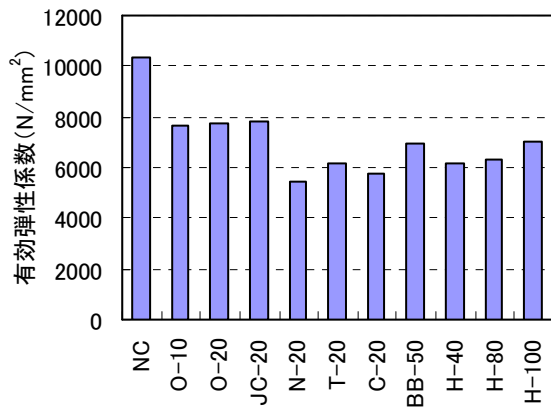


図-5 各配合の有効弾性係数

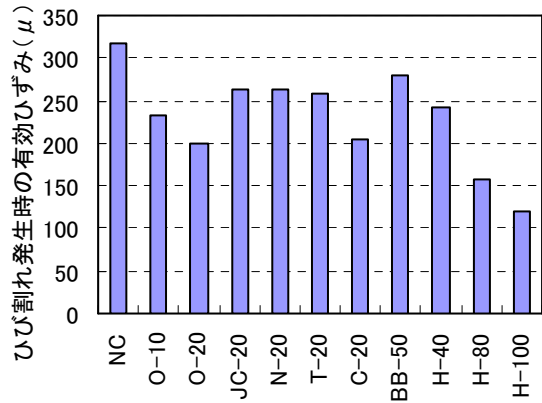


図-7 各配合のひび割れ発生時の有効ひずみ

7. ひび割れ発生条件

各配合のひび割れ発生応力を図-6 に、ひび割れ発生時の有効ひずみを図-7 に示す。ひび割れ発生時の応力、有効ひずみは、それぞれコンクリートのひび割れ発生限界引張応力、限界引張ひずみであるので、いずれもひび割れ発生基準の一表現形式と考えることができる。混和材を混入したコンクリートはいずれも、普通コンクリートに比べて、ひび割れ発生応力が小さく、ひび割れ発生時の有効ひずみも小さいことがわかる。すなわち、ひび割れ発生条件の観点からは、混和材混入により、収縮ひび割れ抵抗性が低下する方向にコンクリートの性質が変化したといえる。

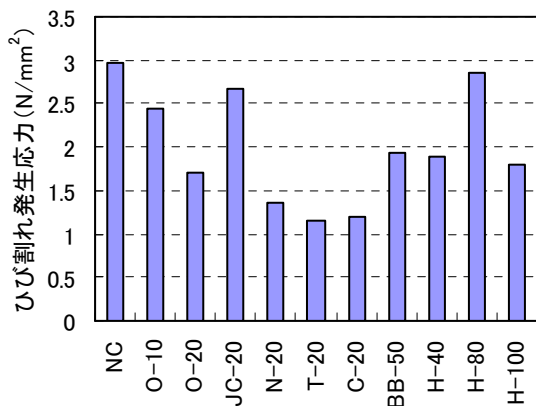


図-6 ひび割れ発生時の拘束供試体の引張応力

8. まとめ

拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験とコンクリートの自由収縮試験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 混和材を混入することによってコンクリートのひび割れ抵抗性は低下する。
- (2) フライアッシュや高炉スラグによりセメントの一部を置換した配合では、ひび割れ発生条件の低下とひび割れ発生条件がひび割れ抵抗性低下の原因となった。
- (3) 高炉スラグとシリカフェームを混入した高強度コンクリートでは、自己収縮による初期材齢の収縮の増大とひび割れ発生条件の低下がひび割れ抵抗性低下の原因となった。

参考文献

- (1) 土木学会, フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針 (案), 2003.3
- (2) 日本建築学会, 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの技術の現状, 1992.6