高強度コンクリートの内部水分挙動が 爆裂現象に及ぼす影響

2021.12.28 中性子イメージング専門研究会



1. 研究背景・目的

爆裂発生理論に関する通説1)

- ・ 水蒸気圧説 (Miller, Harmathyら)
- 熱応力説 (Bazant, 斎藤ら)
- 上記の複合説
- 完全飽和水蒸気圧説
- 沸騰液膨張蒸気爆発説
- 蒸気流との摩擦力説

既往の研究 - 影響因子となる条件

■ 含水率が大きいほど爆裂が生じやすい

→ コンクリート内部の水分と爆裂の関係は確認されていない

コンクリートに拘束を施すことで爆裂深さや範囲が大きくなる

→ 実構造物内部の鉄筋による拘束の影響は明らかになっていない



爆裂発生メカニズムを解明するため、高温加熱下における コンクリート内部の水分分布および鉄筋拘束の影響を明らかにする



引用:JCI

「高温環境下におけるコンクリートの性能評価に関する研究委員会」

2. 実験概要



<u>中性子ラジオグラフィ 測定概要</u>





試験装置(KUR研究用原子炉B-4ポート)

取得した中性子透過画像





2. 実験概要

試験体概要

基準調合(1m³分の調合)

W/C(%	Air(96)	D _{max}	絶対容積(L/m ³)					質量(kg/m ³)					
)	All (70)	(mm)	W	С	SF	S	G	W	С	SF	S	G	
18	1.5	20	160	255	40	213	312	160	800	89	560	843	
								ノリカフィ		・大井川	産陸砂	G・佐野	



2. 実験概要

試験体概要

基準調合(1m ³ 分の調合)													
W/C(%	Air(0/2)	D _{max}		絶対	」容積(L∕।	m³)		質量(kg/m ³)					
)	All (%)	All (%)	(mm)	W	С	SF	S	G	W	С	SF	S	G
18	1.5	20	160	255	40	213	312	160	800	89	560	843	

W:水 C:セメント SF:シリカフューム S:大井川産陸砂 G:佐野産石灰岩



2. 中性子ラジオグラフィを用いた水分定量化

中性子透過強度の減衰率を考慮し、<u>水分強度分布</u>を取得



2. 中性子ラジオグラフィを用いた水分定量化

減衰率差分:
$$\Delta P_w = -\ln \frac{I_t}{I_{t=0}} = \lambda_w \rho_w \delta_c$$

コンクリートの体積当たりの水重量は、 $\Delta W = \frac{\Delta P_w}{\lambda_w \delta_c}$
ペーストの体積当たりの水重量は、 $\Delta W_p = \frac{\Delta P_w}{\lambda_w \delta_c V_p}$

 λ_{w} :水の質量吸収係数 [-] ρ_w :水のコンクリート中のかさ密度 [g/cm3] δ_c :コンクリート厚さ(=水のかさ厚さ) [cm] *V_n*:コンクリートに対するペーストの体積割合 [-]

キャリブレーション実験

②V_p:ペースト割合 算出式の決定 ① *λ_w*: 質量吸収係数の決定 1 $\lambda_w = 3.2516$ [cm²/g] 0.8 差分水分強度Δln(I/I0) 0.6 Vp(%) y = 3.2516x0.4 $R^2 = 0.9646$ 0... 0.2 0 0.05 0.1 0.2 0 0.15 単位面積当たりの自由水量(g/cm²) 水分強度と面積当たりの自由水量

100 80 60 40 RH 0% y = 348.43x - 38.21820 RH 25% y = 302.03x - 35.768 RH 80% y = 233.59x - 32.155 RH 100%y = 215.82x - 30.765 0 0.2 0.4 0.6 0.8 0 $\lambda c(cm2/g)$ ペースト割合と質量吸収係数

飽水、絶乾状態 における算出式 $\lceil V_p = a\lambda_c + b \rfloor$ をそれぞれ決定

3. 実験 I (バーナーを加熱源とした実験)

加熱中の差分水分量の経時変化



4.実験Ⅱ(ヒーターを加熱源とした実験)

内部温度・ひずみの測定

- コンクリート中の内部温度の測定により水分挙動への影響を明らかにする
- 加熱中におけるコンクリートのひずみ測定により
 鉄筋による拘束の
 影響を確認



試験水準						
W/C	18%					
含水状態	飽水 / 気乾 / 絶乾					
鉄筋	有 / 無					
骨材種	石灰岩					
	合計6水準					



熱電対設置の様子



4.実験Ⅱ(ヒーターを加熱源とした実験)

相対含水率の算出方法



4.実験Ⅱ(ヒーターを加熱源とした実験)

含水状態による爆裂性状の違い



飽水試験体(100%)

気乾試験体(80%)

絶乾試験体(25%)

▶ 相対含水率80%程度で爆裂が生じやすい傾向

コンクリート内部における水分分布の定量



4. 実験Ⅱ (ヒーターを加熱源とした実験)

加熱1:55後(爆裂直前)における各水準の相対含水率分布および水蒸気圧分布



- 爆裂が生じた試験体で爆裂位置付近に自由水の存在が確認された
- 爆裂位置付近において気乾試験体の水蒸気圧が高い

→ 自由水が水蒸気圧の発達に影響している

4. 実験Ⅱ (ヒーターを加熱源とした実験)

気乾試験体における最大水蒸気圧の変化



爆裂直前まで増加した最大水蒸気圧が爆裂後に低下する傾向を示した →コンクリート内部における水蒸気圧の発達が爆裂の要因となった可能性

5. まとめ

- 中性子ラジオグラフィによる水分の定量化手法を適用し、加熱下のコンクリートの水分挙動を定量的に評価した。
- 異なる含水状態の高強度コンクリートについて、相対含水率80%程度の場合 に爆裂が発生しやすい傾向が示された。爆裂が生じた試験体は、発生した時間 に爆裂位置付近で自由水の存在が確認された。
- 3. 気乾状態の試験体において、爆裂前後の時間に水蒸気圧の増加と減少の傾向が 見られた。これより、爆裂現象の発生に水蒸気圧が寄与した可能性が示唆され た。

今後の展望

- 1. 異なる含水状態における爆裂性状の違いを分析
- 2. 水蒸気圧の実測値との比較