

リング拘束供試体を適用したポリマーセメントモルタルの爆裂メカニズムに関する一考察

太平洋マテリアル

正会員

○杉野

雄亮

同

正会員

常藤

光

同

正会員

谷辺

徹

群馬大学

非会員

高間

孝一郎

同

正会員

小澤

満津雄

1. 目的

コンクリートの爆裂性状の評価方法について、日本コンクリート工学会の高温環境下におけるコンクリートの性能評価委員会は、リング拘束加熱供試体を用いた爆裂試験方法を委員会法のひとつに提案している¹⁾。この試験方法は、一定の拘束条件下で一面加熱を行い、爆裂に起因する熱応力と水蒸気圧を測定し、爆裂性状を評価できる点に特徴がある。図1に供試体の形状寸法を、図2に引張ひずみ破壊のイメージをそれぞれ示す。本試験では、供試体の爆裂はリング材の拘束応力 (σ_{xy}) により面外方向へ引張ひずみ (ϵ_z) が生じ、引張ひずみ破壊が起点となり、さらに水蒸気圧等の影響により破壊片が面外に弾き飛ばされる現象であると説明されている。さらに、この爆裂発生メカニズムに基づき、2つのプロセスによる爆裂発生指標が提案されている。図3に爆裂発生指標を示す。本論文では、リング拘束供試体にて、ポリマーセメントモルタル (PCM) の爆裂試験結果から、前述の爆裂発生指標が PCM にも適用可能か確認を行った。PCM は市販品を用いた。また、比較用として普通セメントモルタル (NCM) も評価した。

2. 実験概要

表1に試験水準を示す。PCM は市販品から、濱崎らの研究の中で提案されている「かぶり厚さ確保のための補修材料・工法選定マニュアル(案)」の要求性能を満たす材料を用いた²⁾。PCM には 0.1vol% 程度の有機繊維が含まれていた。NCM は、砂セメント比 3.0、水セメント比 50% の配合とした。加熱条件は、RABT30 と ISO834 標準加熱曲線 60 分の 2 パターンとした。表2にモルタルの強度特性を示す。モルタルの強度レベルは同程度であることが分かる。リングの形状や測定方法は、「コンクリートの爆裂試験方法ーリング拘束供試体編(試案)」を参考とした¹⁾。モルタル内部温度、リング材のひずみと温度、モルタル内部の水蒸気圧は深さ 40mm まで測定した。拘束応力および引張ひずみ破壊指数の算出については、本試験方法の付属書 A,C を参考とした。破壊プロセスにおいて引張ひずみ破壊指数の限界値は 1 である。一方、爆裂プロセスについては具体的な爆裂破壊指数の定義はされていないが、付属書 B を参考とし、水蒸気圧を確認した。引張ひずみ破壊指数を算出するときの弾性係数は、日本建築学会のコンクリートの弾性係数残存比の提案式を用い、温度依存性を考慮した。見かけのポアソン比と引張破壊ひずみは、道越らの研究データを参考に、コンクリートの爆裂の生じやすい 200℃ の弾性域における平均的な値と定義した³⁾。

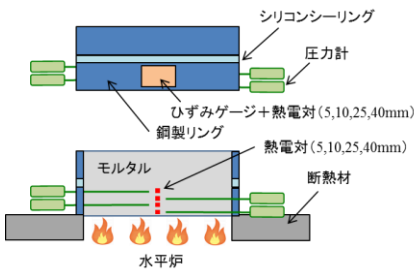


図1 リング拘束供試体

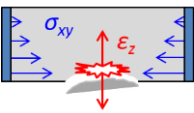


図2 引張ひずみ破壊

破壊プロセス 本論文の検討範囲		
	$I_{\epsilon-f} \leq I_{\epsilon-lim}$	$I_{\epsilon-f} \geq I_{\epsilon-lim}$
爆裂プロセス	限界値 以上	爆裂する
	限界値 以下	爆裂しない

図3 爆裂発生指標

表1 試験水準

水準	材料	加熱条件
NR	NCM	RABT30
NI		ISO60
PR	PCM	RABT30
PI		ISO60

表2 モルタルの強度特性

種類	圧縮強度 (MPa)	静弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	含水率 (%)
NCM	46.0	26.0	2.3	6.3
PCM	56.9	27.3	1.9	9.5

キーワード リング拘束加熱供試体, ポリマーセメントモルタル, 爆裂発生指標, 拘束応力, 水蒸気圧

連絡先 〒285-0802 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋マテリアル(株) 開発研究所 TEL 043-498-3921

3. 実験結果

表3に爆裂発生プロセスと試験結果を示す。破壊プロセスについては、引張ひずみ破壊指数が限界値を超えると、条件を満たすとした。爆裂プロセス条件については、水蒸気圧の測定結果から条件を満たす可能性があるか考察した。図4にNRの爆裂深さの推定結果を示す。NRは爆裂が発生しているため、爆裂深さの経時変化の推定を実施し、引張破壊ひずみを100 μ 、見かけのポアソン比を0.15とすることで精度よく推定することができた。その他の水準においては、爆裂が発生していないが、NRと同様の熱間データで爆裂発生指標を評価することを試みた。その結果、NIは引張破壊ひずみに達して破壊プロセスを満たしたが、PR、PIは引張破壊ひずみに達していなかった。図5にNIの引張ひずみ破壊指数と水蒸気圧を示す。NIは引張ひずみ破壊指数が限界値を超え、破壊プロセスを満たした。一方、水蒸気圧は上昇したあと徐々に低下し、NRの水蒸気圧のように爆裂時に生じる急激な圧力低下を起こしていない。このため、ひび割れ等から徐々に水蒸気圧が抜け出た可能性があると考えられる。しかし、NRと同様の熱間データでは、引張ひずみ破壊指数が限界値に達したときに水蒸気圧が抜けておらず、爆裂が発生する可能性が高く、実現象と結果が異なる。引張ひずみ破壊指数の算出方法については今後データを積み重ねて検証する必要がある。図6に各水準の5mm位置の拘束応力と水蒸気圧の経時変化を示す。NR、PRの拘束応力は、リング材温度がひずみゲージの測定可能な範囲にある10分までのデータを示す。NR、NIの拘束応力が6MPaを超えるのに対し、PR、PIの拘束応力は2~3MPa程度と低く、引張ひずみ破壊指数に影響し、破壊プロセスを満たさなかったと考えられる。PRとPIの拘束応力が小さい原因として、高温領域のPCMの熱膨張量が小さいことや、残存弾性係数が低下して応力が緩和された可能性が考えられるが、さらに熱間データを確認して検討する必要がある。水蒸気圧は緩やかに減少しており、繊維やひび割れの影響で水蒸気圧が逸散した可能性があり、爆裂プロセスを満たしていない可能性がある。

4. まとめ

- (1) NRは爆裂が発生し、コンクリートの熱間データで爆裂深さを精度よく推定することができた。
- (2) NIは破壊プロセスを満たすが、爆裂プロセスを満たしていない可能性がある。
- (3) PR、PIの拘束応力はNR、NIよりも低く、引張破壊指数に影響し、破壊プロセスを満たさなかったと考えられる。PR、PIの拘束応力が小さい原因については、さらにPCMの熱間データを確認して検討する必要がある。

参考文献

- 1) 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報告書：日本コンクリート工学会，2017.9
- 2) 濱崎仁，鹿毛忠継，萩原一郎，吉田正志，茂木武，根本かおり：鉄筋コンクリート造建築物のかぶり厚確保に関する研究，建築研究所，No.147，2013.3
- 3) 道越真太郎，小林祐，黒岩秀介：圧縮力を受けるコンクリートの高温時におけるひずみ挙動，日本建築学会構造系論文集，72巻，621号，pp.169-174，2007

表3 爆裂発生プロセスと試験結果

水準	破壊プロセス	爆裂プロセス	爆裂の発生
NR	○	○	有り
NI	○	△	無し
PR	×	△	無し
PI	×	△	無し

○：条件を満たす，×：条件を満たさない，△：明確でない

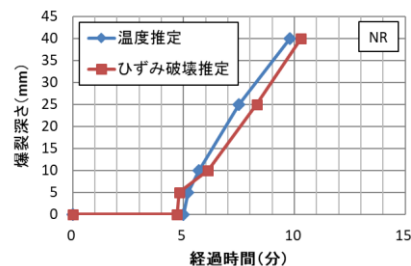


図4 NRの爆裂深さの推定結果

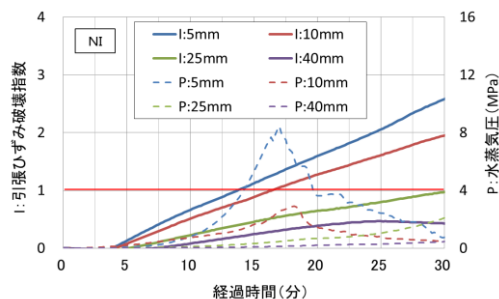


図5 NIの引張ひずみ破壊指数と水蒸気圧

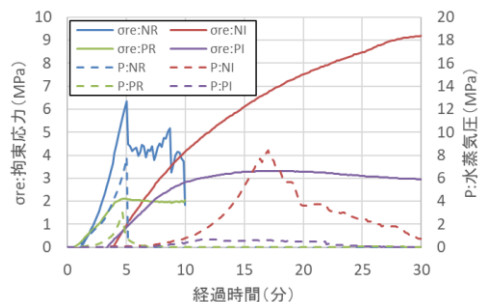


図6 5mm位置の拘束応力と水蒸気圧