

骨材強度が骨材周辺の応力状態に及ぼす影響

学生氏名 小島 拓矢
指導教員 栗原 哲彦

1.はじめに

コンクリートは複合材料であるため、その破壊挙動は骨材やモルタル部等の各種構成材料の強度差に左右される。コンクリートの破壊現象は骨材周辺の局所的な応力集中に起因する。そこで、物体表面に生じる応力を非接触・非破壊で可視化できる赤外線応力画像システムを用い、表面応力状態を検討することで破壊メカニズムの解明の手がかりに繋がると考えられる。本研究では、赤外線応力画像システムを用いて骨材強度が骨材周辺の応力状態に及ぼす影響を捉え、骨材周辺の破壊メカニズムを検討した。

2.実験概要

2.1 赤外線応力画像システムの原理

物体に圧縮・引張力が急激に生じると、変形が断熱的に行われ温度変化が生じる(熱弾性効果)。測定された温度変化に対し、熱弾性係数を掛け合わせることで応力を算出することができる。したがって、断続的に载荷を受ける物体表面の温度変化量を計測することで、物体表面の応力状態を可視化することができる。

2.2 使用材料 配合

使用材料は、本研究室水道水・普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm^3)・相模川水系川砂(密度 2.58g/cm^3)・AE 減水剤・AE 助剤である。使用するモデル骨材(表 1)は強度・ヤング係数の異なる石材・木材・鉄筋を用いた。ここで、配合を表 2 に示す。供試体は、断面中央部にモデル骨材(20mm)を配置したモルタル供試体(100mm×50mm)とし、脱型後に 28 日間水中養生した後、気中養生することでモルタル中の水分を蒸発させたものを使用した。

表 1 モデル骨材強度

	モルタル	石材	木材	鉄筋
圧縮強度(N/mm ²)	30	28.1	53.6	440

表 2 配合表

水セメント比 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
		水 W	セメント C	細骨材 S	混和剤	
55	46	159	300	829	AE減水剤 3.00	AE助剤 3.00

2.3 試験方法

サーボパルサー試験機にて、各種供試体に繰返し荷重による割裂引張試験(周波数 5Hz、载荷時間 2 時間)を行った。表 3 に载荷条件を示す。赤外線応力画像システムを用いて取得した応力分布図と、応力分布図測定後に同供試体を静的に割裂引張破壊させ、応力分布と破壊状況を比較・検討した。

表 3 载荷条件

	上限荷重(kN)	下限荷重(kN)
モルタル	1.7	0.3
石材	1.6	0.6
空洞	0.8	0.2
木材	1.0	0.3
鉄筋	1.6	0.6

3.実験結果 考察

各供試体の载荷荷重は異なるため、応力分布図は応力値の可視領域が異なる。以下、各供試体を定性的に考察した。

(1)モルタル供試体の場合

モルタル供試体の、取得した応力分布図と破壊後の供試体をそれぞれ図 1、写真 1 に示す。また応力分布図中の供試体・モデル骨材の輪郭を点線で表記する。図 1 より、測定面広域に圧縮応力が分布していることが確認できる。これは、モルタルを用いた既往の光弾性実験の結果¹⁾と応力分布形状が酷似している。よって、粗骨材の影響を受けないため広域に応力が分布したといえる。また写真 1 より、粗骨材の影響を受けないため、ひび割れは载荷軸上で直線的に生じていることが確認できる。なお、後に示す全てのモデル骨材配置供試体について、ひび割れは骨材 - モルタル界面を通過した。

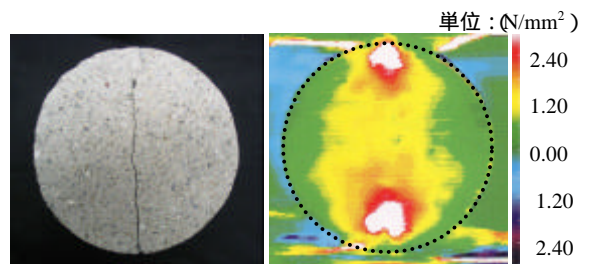


写真 1 破壊後の供試体

図 1 応力分布図

(2)モデル骨材に石材を用いた場合

石材を配置した供試体の、取得した応力分布図と破壊後の供試体をそれぞれ図 2、写真 2 に示す。図 2 より、モデル骨

材を囲むように圧縮応力が分布していることが確認できる。載荷点から供試体に伝達した応力は、骨材中を伝達する応力と骨材を迂回する応力に分けられる²⁾。モデル骨材に石材を用いた場合、骨材強度とモルタル強度が近似しているため、骨材中を伝達する応力と骨材を迂回する応力が同程度と考えられる。その結果、モルタル供試体とは異なる応力分布図だが、図2の骨材周辺で応力集中は確認できず、測定面広域に分布したと考えられる。

(3) 供試体断面中央部が空洞の場合

断面中央部が空洞の供試体の、取得した応力分布図と破壊後の供試体をそれぞれ図3、写真3に示す。図3より、空洞部の左右端で圧縮、上下端で引張の応力集中が確認できる。これは、載荷点から伝達した応力が空洞部を迂回したことで、空洞部周辺では図4(a)に示すような応力状態となり、空洞部の左右端で圧縮・上下端で引張の応力集中が確認できた。

(4) モデル骨材に木材を用いた場合

木材を配置した供試体の、取得した応力分布図と破壊後の供試体をそれぞれ図5、写真4に示す。図5より、骨材の左右端で圧縮の応力集中が確認できる。骨材強度がモルタル強度に比べ高いため、骨材中を伝達する応力が骨材を迂回する応力より先高く、図4(b)に示すような応力状態になると予測していたが異なる結果を得た。その要因として、供試体に気中養生を行った結果、骨材自体が乾燥収縮し、モルタル部との付着力が低下した。その結果、骨材 - モルタル界面で剥離が生じ、骨材を迂回する応力が増加したと考えられる。また写真4より、骨材とモルタル部が完全に剥離し、繰返し荷重による割裂引張試験時に付着力が低下していたことを確認した。

(5) モデル骨材に鉄筋を用いた場合

鉄筋を配置した供試体の、取得した応力分布図と破壊後の供試体をそれぞれ図6、写真5に示す。図6より、骨材の左右端で応力集中が確認できないのに対し、骨材の上下端で圧縮の応力集中が確認できる。これは、骨材強度がモルタル強度に比べ高いため応力が骨材中を伝達したこと、載荷板と鉄筋間のモルタルが(1)に示した載荷板と載荷板間のモルタルとほぼ同条件であること、また各供試体に共通して載荷点付近に圧縮の応力集中が生じることが要因であると考えられる。その結果、骨材の上下端に分布していた圧縮応力が、骨材に吸収されるように収束したと考えられる。

4. 結論

モデル骨材配置供試体に繰返し荷重による割裂引張試験を行い、赤外線応力画像システムを用い表面応力状態を検討した。その結果、骨材強度及び骨材とモルタル部の付着が骨材周辺の応力分布に影響を及ぼすことが明らかになった。

謝辞

適切なご指導及びご鞭撻を賜りました本学構造実験棟技士である仲宗根茂技士に、心より深く感謝いたします。

参考文献】

- 1) 浅井 貞重、割裂引張試験法についての考察、コンクリート工学年次論文集、15巻、pp.447-452、1993
- 2) 石井 旭、割裂引張試験における骨材周辺の応力状態、土木学会第59回年次論文集、pp.601-602、2003
- 3) 岡田 清、最新コンクリート工学、p.23、国民科学社、1986

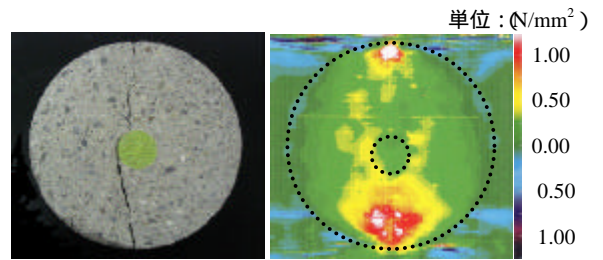


写真2 破壊後の供試体

図2 応力分布図

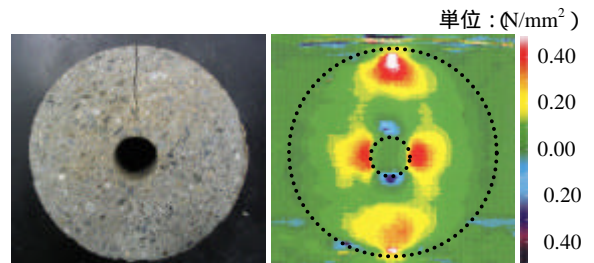
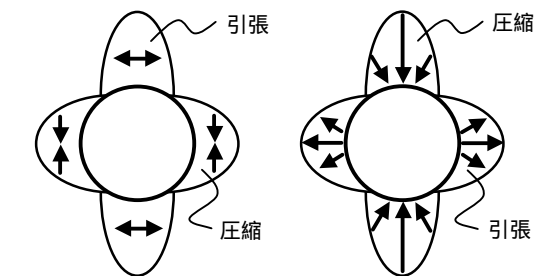


写真3 破壊後の供試体

図3 応力分布図



(a)骨材強度 < モルタル強度 (b)骨材強度 > モルタル強度

図4 骨材周辺の応力状態³⁾

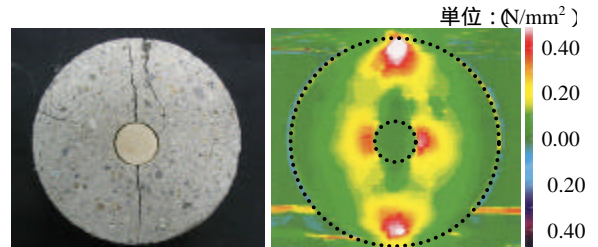


写真4 破壊後の供試体

図5 応力分布図

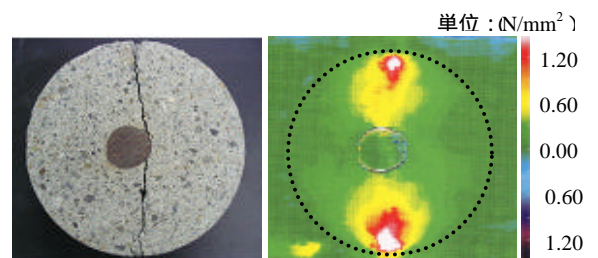


写真5 破壊後の供試体

図6 応力分布図