

コンクリートの破壊エネルギー試験における 破断形状と破壊エネルギーの関係

首都大学東京 学生会員 ○板東 真輝 正会員 大野 健太郎
首都大学東京 正会員 宇治 公隆 正会員 上野 敦

1. はじめに

コンクリートの破壊エネルギーは、切欠きはりの3点曲げ試験から得られる荷重-開口変位曲線下の面積と供試体の自重がなす仕事量の合計値をリガメント面積で除すことで得られる¹⁾。ここで、リガメント面積とは、供試体幅と切欠き上部の供試体高さの積であり、2次元の場合、切欠き先端から載荷点を結ぶ1本の線と与えられ、破断面の凹凸性状は考慮されない。しかし、同一のリガメント面積であっても、個々の供試体で破断形状は異なり、実際のひび割れ進展面積とリガメント面積は異なる。本研究では、断面欠損率(切欠き高さ/供試体高さ、 a/W)と骨材最大寸法をパラメータとして、コンクリートの破壊エネルギー試験を実施し、破断面の凹凸性状と破壊エネルギーの関係について検討した。

2. 実験概要

骨材の最大寸法を5、10、20mmとし、水セメント比を50%としたコンクリート供試体を作製した。作製したコンクリートの計画配合を表-1に示す。なお、骨材最大寸法5mmにおけるコンクリートの配合は表-1

表-1 計画配合

粗骨材の最大寸法 [mm]	スランプ [cm]	空気量 [%]	水セメント比 W/C [%]	細骨材率 s/a [%]	単位量[kg/m ³]				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad
10, 20	8.0	4.5	50	46.3	172	344	811	952	C×0.3%

中の粗骨材を除いた配合とした。供試体寸法は100×100×400mmであり、各骨材最大寸法 d_{max} (5、10、20mm) に対して、切欠き高さ a を変化 (30、50、60、70mm) させた。供試体数は各水準につき5体とした。供試体は材齢14日まで20℃の水中養生を行い、その後材齢28日まで20℃、60%R.H.の恒温恒湿環境下で気中保管を行った。破壊エネルギー試験は材齢28日から4日以内で実施した。実験に使用したコンクリートの力学的特性を表-2に示す。試験は図-1に示すように、切欠き下部に設置したクリップ型変位計にて開口変位を測定し、同時に荷重を記録した。載荷速度は載荷点の変位速度で0.05mm/minとした。また、供試体には図-1に示すようにAEセンサを貼付し、SiGMA (Simplified Green's functions for Moment tensor Analysis) 解析²⁾により供試体内部の微細ひび割れについて検討した。試験後、ワンショット3D測定器にて破断面の表面積の測定を行った。

表-2 力学的特性

d_{max} [mm]	圧縮強度 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	弾性係数 [kN/mm ²]
5	65.10	4.00	27.30
10	46.20	3.10	26.10
20	42.40	3.37	26.00

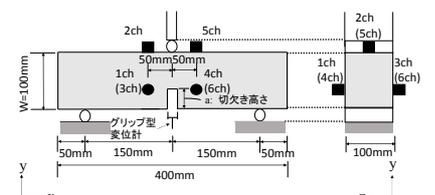


図-1 供試体概要

3. 破断形状の評価方法

破断面の凹凸率は図-2 (a)および式(1)のとおり切欠き中央を基準面とし、主ひび割れ全表面積に対する、±2.5mm以上の表面積の割合として算出した。なお、図-2 (b)のように、載荷点とひび割れ最終到達点の距離が5mmを越え、主ひび割れが予定破断面から大きく外れた供試体は破断面の凹凸率を評価できないため、検討対象から除いた。

$$\text{凹凸率(\%)} = \frac{\pm 2.5\text{mm以上の表面積} S'}{\text{全表面積} S} \times 100 \quad (1)$$

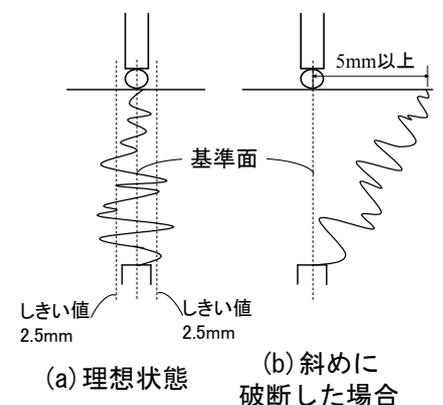


図-2 破断形状測定概要

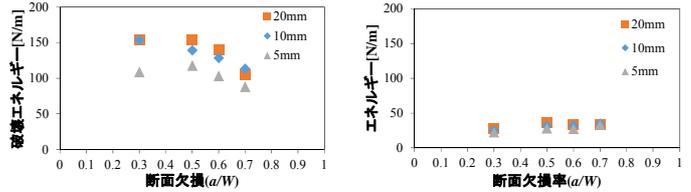
キーワード 破壊エネルギー、破断形状、破壊進行領域、骨材最大寸法、断面欠損率、AE法

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL 042-677-2775

4. 結果及び考察

4.1 破壊エネルギー試験結果

破壊エネルギー試験によって得られた破壊エネルギーと断面欠損率の関係を図-3(a)に示す。図-3(a)より、 $d_{max}=10、20\text{mm}$ では、 $d_{max}=5\text{mm}$ より破壊エネルギーが大きくなり、 $d_{max}=10$ と 20mm の差は小さいことがわかる。さらに、 d_{max} によらず、断面欠損率が増加するに伴い、破壊エネルギーの減少が認められた。



(a) 破断時まで (b) 最大荷重時まで
図-3 破壊エネルギーと断面欠損率の関係

次に、最大荷重までに消費されたエネルギーと断面欠損率の関係を図-3(b)に示す。これより、 d_{max} および断面欠損率によらず、エネルギーはほぼ一定の値を示した。このことから、初期ひび割れの形成に必要なエネルギーは、供試体寸法および骨材の最大寸法の影響を受けにくいことが示唆された。

4.2 破断形状と破壊エネルギーの関係

破壊エネルギーと凹凸率の関係を図-4に示す。この図より、凹凸率の増加に伴い破壊エネルギーが増加することがわかる。このことから、破断面の凹凸率と破壊エネルギーは相関することが推察される。

4.3 AE-SiGMA 解析結果

図-5に AE-SiGMA 解析結果の一例、図-6に破壊エネルギーと破壊進行領域幅の関係を示す。ここで、AE エネルギーが低い AE イベントがコンクリートのひび割れ形成に直接影響するとは考えにくい³⁾。そのため、図-5に示すように、AE イベント位置の平均値 μ および標準偏差 σ より、 $\mu \pm 2\sigma$ で表される範囲に着目すると、比較的 AE エネルギーの大きな AE 源($1 > E(\text{volt}^2 \times \mu\text{s})$)が集中している領域であることがわかり、この幅を破壊進行領域幅と定義した。図-6より、破壊進行領域幅が増加するに伴い、破壊エネルギーは増加傾向を示した。このことから、破壊エネルギーは破壊進行領域幅の影響を受けることが示された。

4.4 破壊進行領域幅と凹凸率の関係

図-7に破壊進行領域幅と凹凸率の関係を示す。図中の白抜きプロットは、計測された AE 源の数が他の供試体と比較して十分ではなかったため、近似線の対象から除いた。図-7より、破壊進行領域幅の増加に伴い凹凸率が増加する傾向にある。

5. 結論 4

初期ひび割れの形成に必要なエネルギーは骨材最大寸法および断面欠損率に関わらず一定の値を示した。破壊エネルギーと破断面の凹凸率は相関し、破断面の凹凸率の増加に伴い、破壊エネルギーは増加傾向を示した。すなわち、初期ひび割れの形成に必要なエネルギーは一定であり、その後のひび割れ進展特性ならびに最終的な破断形状が破壊エネルギーに影響することが示唆された。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：切欠きはりをを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法, JCI-S-001-2003.
- 2) 大津政康, 重石光弘, 湯山茂徳, 岡本享久：AE モーメントテンソル解析のための SiGMA コードの開発, 非破壊検査, Vol.42, No.10, pp.570-575, 1993.
- 3) 大野健太郎, 川瀬麻人, 宇治公隆, 上野敦：AE 法による切欠き高さが異なるコンクリートはりの破壊進行領域形成に関する考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, 2011.

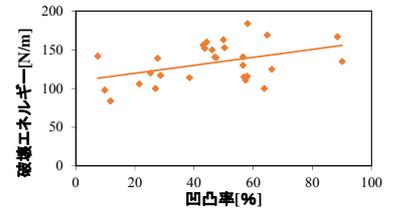


図-4 破壊エネルギーと凹凸率の関係

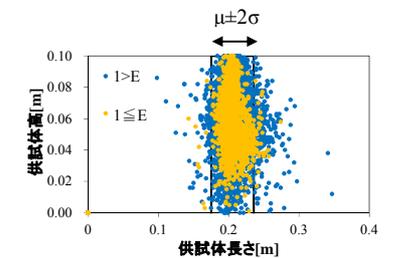


図-5 AE-SiGMA 解析結果 ($d_{max}=20\text{mm}$, $a/W=0.3$)

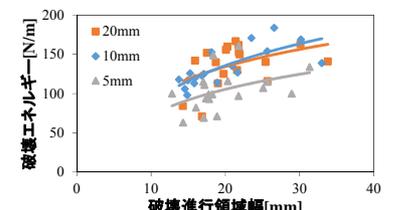


図-6 破壊エネルギーと破壊進行領域幅の関係

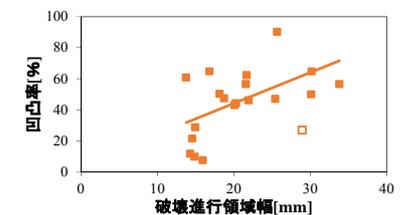


図-7 破壊進行領域幅と凹凸率の関係