

コンクリートの破壊エネルギー試験における 破壊進行領域と破壊エネルギーの関係に関する検討

首都大学東京 学生会員 ○長岡 貴紀 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

一般に、コンクリートの破壊エネルギー試験では、切欠きが高いほど破壊エネルギーが小さくなる。これは、リガメント領域内における破壊進行領域の大きさの変化に伴い、ひび割れ進展方向のエネルギー分布が一様でないためと考えられる。本研究では、切欠き高さ a と骨材の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、破壊進行領域幅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 40% 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は表-1 に示すとおりである。骨材最大寸法 (d_{max}) 5mm に

表-1 計画配合

粗骨材の最大寸法 [mm]	スランブ [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
10, 20	8.0	4.5	40	43.1	172	430	731	968

おけるコンクリートの配合は表-1 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 d_{max} (5, 10, 20mm) に対して、切欠き高さ a (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80mm) を変化させた。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°C の水中養生を行い、その後材齢 28 日まで 20°C, 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¹⁾により供試体内部の微細ひび割れについて考察した。

表-2 力学的特性

d_{max} [mm]	a/W	圧縮強度 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	弾性係数 [kN/mm ²]
5	0.2~0.4	85.2	3.41	28.9
	0.5~0.8	92.6	3.53	29.0
10	0.2~0.4	63.0	3.38	31.2
	0.5~0.8	62.1	3.68	29.4
20	0.2~0.4	51.2	3.21	28.8
	0.5~0.8	62.6	3.62	29.7

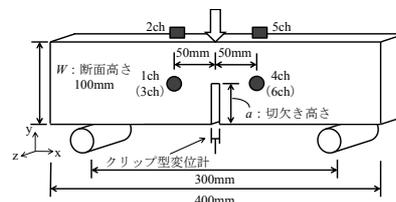


図-1 供試体概要

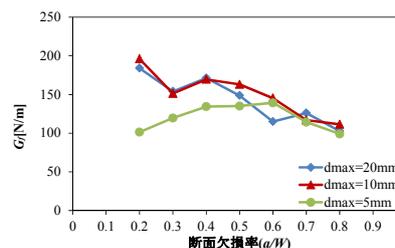


図-2 破壊エネルギー試験結果

3. 結果および考察

3.1 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 G_f と供試体断面高さ W に切欠き高さ a が占める割合を表した断面欠損率 a/W の関係を図-2 に示す。この図より、 $d_{max}=10, 20$ mm において、 a/W の増加に伴い、破壊エネルギーの減少が認められる。一方で、 $d_{max}=5$ mm では、 a/W の違いによる破壊エネルギーの変化は小さく、 a/W が破壊エネルギーに及ぼす影響は小さいと考えられる。ここで、 $d_{max}=10$ mm と $d_{max}=20$ mm の $a/W=0.5\sim 0.8$ は圧縮強度が同程度であり、これらの $a/W=0.5\sim 0.8$ における破壊エネルギーも同程度となっている。また、 $a/W=0.2\sim 0.4$ では $d_{max}=20$ mm の圧縮強度がやや小さいものの、 $d_{max}=20$ mm の破壊エネルギーは $d_{max}=10$ mm の破壊エネルギーと同程度である。このことから、圧縮強度 50N/mm² 以上である高強度コンクリートでは $d_{max}=10\sim 20$ mm の範囲で骨材の最大寸法の影響を受けにくい可能性が考えられる。

3.2 破壊エネルギーと AE イベント分布領域幅

計測によって得られた AE 信号に対して、AE 信号の最大振幅値の二乗と継続時間の積、すなわち式 (1) より AE エネルギー (E) を求めた。

$$E = V^2 \times T \tag{1}$$

ここに、 E : AE エネルギー [$V^2 \cdot \mu s$], V : AE 信号の最大振幅値 [Volt], T : AE 信号の継続時間 [μs]

ただし、本研究において、1 つの AE イベントに対する AE エネルギーは、6 個の AE 信号から得られる AE エネルギーの平均値として算出した。

AE イベント位置標定結果と AE エネルギーの関係を図-3 に示す。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を及すとは考えにくい²⁾。そのため、AE イベント位置標定結果を対象に、供試体長軸方向の AE イベント数が正規分布であると仮定し、AE イベント位置の平均値 μ および標準偏差 σ より、 $\mu \pm \sigma$ で表される範囲を AE イベント発生領域の幅、すなわち破壊進行領域幅と定義した。図-3 より、この破壊進行領域幅内に $1 < E$ である AE イベントが集中していることがわかる。ここで、図-4、図-5 に断面骨材寸法比と破壊進行領域幅および破壊エネルギーの関係をそれぞれ示す。断面骨材寸法比とは、供試体断面高さ W と骨材最大寸法 d_{max} の比であり、断面内の不均一性を表す指標である。図-4、図-5 より、同一の断面骨材寸法比であっても、すなわち断面内の不均一性が同程度であっても、破壊進行領域幅および破壊エネルギーは、 d_{max} によって異なることがわかる。なお、 $d_{max}=5mm$ では、破壊進行領域幅は断面骨材寸法比が大きく変化しても、 $d_{max}=10, 20mm$ の破壊進行領域幅 (15~30mm) と同程度となる特徴を有する。このことは、破壊進行領域幅がとる範囲は骨材最大寸法に依存せず、供試体形状に依存していることを示唆すると考えられる。また、 $d_{max}=5mm$ の破壊エネルギーはほぼ一定の値を示し、 $d_{max}=5mm$ と $d_{max}=10, 20mm$ で大きく異なる傾向にある。破壊エネルギーと破壊進行領域幅の関係 (図-6) から、破壊エネルギーは破壊進行領域幅のみで評価できず、骨材最大寸法も考慮する必要がある。

4. まとめ

圧縮強度が $50N/mm^2$ を超える高強度コンクリートでは、断面骨材寸法比に対する破壊エネルギーは、骨材の最大寸法が 10mm および 20mm と 5mm では異なる傾向を示し、骨材の最大寸法が 5mm の場合では、断面骨材寸法比によらず破壊エネルギーはほぼ一定の値を示した。一方で、骨材の最大寸法が 10mm および 20mm の場合では、破壊エネルギーは、断面骨材寸法比の増大に伴い増加傾向を示し、破壊進行領域幅も、断面骨材寸法比によって増加する傾向を示した。よって、断面骨材寸法比に対する破壊進行領域幅は、いずれの骨材最大寸法においても同程度の幅を示し、破壊進行領域幅は供試体形状の影響力が大きいと推察される。また、破壊エネルギーは破壊進行領域幅の影響を受けるものの、骨材の最大寸法によってその影響度は異なる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 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, N0.10, pp.570-575, 1993.
- 2) 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.

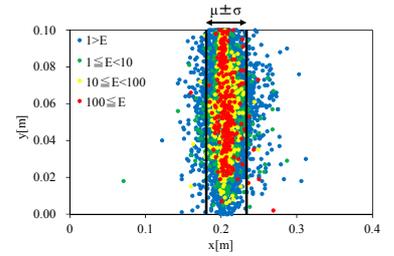


図-3 AE エネルギー別分布図

($d_{max}=5mm, a/W=0.2$)

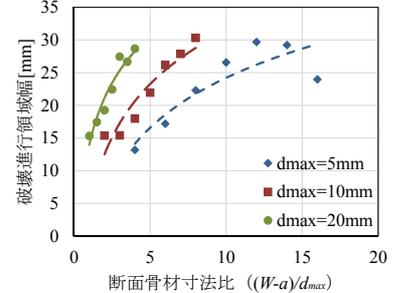


図-4 破壊進行領域幅と断面骨材寸法比

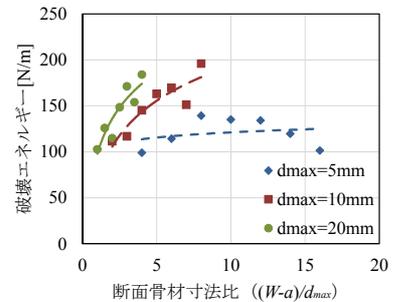


図-5 破壊エネルギーと断面骨材寸法比

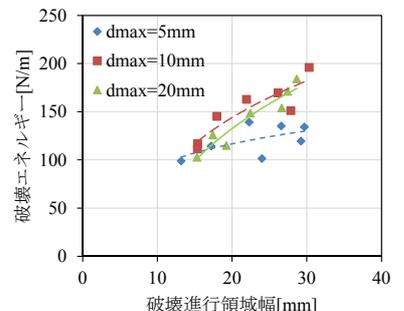


図-6 破壊エネルギーと破壊進行領域幅