X線 CT法を用いたコンクリートの圧縮破壊エネルギーに関する一考察

東京工業大学大学院 学生会員 渡辺 健,フェロー会員 二羽 淳一郎 港湾空港技術研究所 フェロー会員 横田 弘,正会員 岩波 光保

1.はじめに

破壊エネルギーG_Fは、引張力が作用したコンクリートのひび割れ形成に要するエネルギーとして定義されている.同様の観点から、圧縮力作用下においてコンクリート中に形成されたひび割れ面積と、消費されたエネルギー(圧縮破壊エネルギーG_{Fc}¹⁾)には、強い相関があると考えられる.そこで本研究では、コンクリートの一軸圧縮載荷試験を行い、X線CT(Computed Tomography)法およびアクリルロッド法を利用することで、ひび割れ面積および消費エネルギーを実験的に推定し、その関連について検討を行った.

2.実験概要および結果

(1)供試体作製および載荷試験

実験に使用した供試体の概要を表 - 1 に示す.断面形 状が 100 mm (=D)の円柱供試体を 2 体用いた.供試体 作製の際に,載荷軸方向に 40 mm 間隔にひずみゲージ (測定長:3 mm)を貼付したアクリルロッド(1辺10mm) を供試体中央に鉛直に埋設し,測定されたひずみをコ ンクリートの局所ひずみ とした.供試体は,最大荷重 の 10%まで耐力が低下した段階を終局状態として載荷 を終了し,完全に除荷した後,破壊片がなるべく剥離 しないよう布で梱包した.

(2)X線CT法による内部ひび割れ評価

次に,X線CT法を用いて,上述した供試体の内部破 壊状況の可視化を行った.供試体の水平断面を 10mm 間隔で撮影し,撮影画像はX線CT試験機より出力さ れたフィルムを,デジタルカメラで撮影することで, パソコンに取り込んだ.

X線 CT 法は,供試体に X線を照射し,供試体を透 過する X線量を画像化することで,供試体内部の可視 化を行う手法である.得られる X線 CT 画像は撮影対 象の X線吸収率の相違,すなわち対象物質の密度に依 存して変化する.既往の研究では,白黒の濃度を示す CT 値の違いに着目することで,空隙,モルタルおよび 粗骨材を区別している²⁾.

(3)実験結果

得られた実験結果および破壊性状を図 - 1 および図 - 2(a)に示す.いずれの供試体も破壊が局所的に生じ,局所吸収エネルギーA_{INT} (図 - 1)を用いて設定される破壊域は,図 - 2 に示される領域であった¹⁾.X線CT画像を見ると,供試体上部でひび割れが多く,中心より放射状に見られた.一方,高さ 40mm 付近ではひび割れはほとんど観察されず,平均応力 - 局所ひずみ関係も,ほぼ完全な除荷挙動を示した.

3.ひび割れと消費エネルギーの関連

X線CT画像の色の濃度に着目することにより,ひび 割れ部の抽出を行った(図 - 3).抽出されたひび割れ部

表 - 1 供試体概要					
供試体名	高さH (mm)	H/D	W/C	G _{max} (mm)	max (MPa)
A13-0.6-3	300	3	0.6	13	28.48
A20-0.6-4	400	4	0.6	20	29.98

(MPa) 30 20 10 0 5000 ^(µ) 0 (a) 280mm (b) 240mm (c) 200mm (d) 160mm ・X線CT試験機使用条件 管電圧 120kV,管電流 130mA, スライス厚 10mm, X 線照射時 間 1.5 秒 ・断面中央はアクリルロッドに よる低密度部 局所吸収エネルギーA_{INT}:平均

 (e) 80mm
(f) 40mm
積を掛け合わせた値¹⁾
図 - 1 供試体底面からの各高さにおける X 線 CT 画像 および平均応力 - 局所ひずみ関係(A13-0.6-3)

応力 - 局所ひずみ曲線下の面

キーワード:X線CT法,圧縮破壊エネルギー,圧縮破壊の局所化,内部破壊状況の可視化,ひび割れ面積 連絡先:〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1東京工業大学大学院理工学研究科 土木工学専攻 二羽研究室 TEL:03-5734-2584, E-mail:96b31400@cv.titech.ac.jp







(a) X線 CT 画像 (b) 40% (c) 60% (d) 80% (e) ひび割れ長さ また,ひひ割れ長さ 1。は抽出 (A13-0.6-3:240mm)(面積率 22%)(面積率 32%)(面積率 66%) l_c(942mm) 部を線画像化し,その長さを 計測した.
図 - 3 ひび割れ部検出手法^{注)} (ただし,中央の黒色部はアクリルロッド)

面積の供試体断面積に対する比を面積率とする.さら に,検出された領域を線画像化し,その長さを各断面 に形成されたひび割れ長さ l。と定義した(図 - 3(e)).供 試体 A13-0.6-3 より得られた結果を,供試体高さごとに 図 - 2(c)(d)に示す.底面からの高さ 280mm 部分では 破壊が激しかったために,アクリルロッドとコンクリ ートの付着が低下し,局所ひずみが正確に計測でき なかったが,それ以外の位置では破壊性状,A_{INT},面積 率および l。に強い相関が見られた.

そこで,40mm 間隔で A_{INT} を測定したひずみゲージ に最も近い位置で計測された l_c と,ゲージ貼付間隔で ある 40mm を掛け合わせることで,局所部(100 × 40mm)に形成されたひび割れの面積を推定した.したが って, A_{INT} をこの面積で除すことで,引張時の破壊エ ネルギーG_F と同様の概念である,圧縮力作用下におけ るコンクリートの「単位ひび割れ面形成に消費された エネルギー」が近似的に算出される.なお,算出に当 たってひび割れ長さの値は,それぞれの局所部に含ま れる3 断面より計測された l_c の平均値とした.それぞ れの供試体の算出値を図 - 2(e)(h)に示す.その結果, 多少のばらつきが見られるものの,ほぼ $1.0 \sim 2.0$ N/mm の間で一定となり,畑中ら³⁾の推測した 1.0N/mm より 若干大きめの値を示した.なお,この値は引張に対す る破壊エネルギーG_F=0.16N/mmの約10倍である.

4.まとめ

ー軸圧縮破壊したコンクリート供試体に対して,X 線 CT 法による内部ひび割れの可視化手法を適用して 検討を行った.その結果,吸収されたエネルギーとひ び割れ性状には強い相関が見られた.また,単位ひび 割れ面形成に消費されたエネルギーを算出した結果, 破壊が局所的に生じているにもかかわらず,ほぼ一定 値となることが示された.

参考文献

- Lertsrisakulrat, T., Watanabe, K., Matsuo, M. and Niwa, J.: Experimental Study on Parameters in Localization of Concrete Subjected to Compression, 土木学会論文集, No.669/V-50, pp.309-321, 2001.2.
- 2) 天明敏行,堤 知明,村上祐治,尾原祐三:X線CT法による超硬練りコンクリートの骨材分布と締固め,コンクリート工学年次論文集,Vol.23,No.2,pp.1297-1302,2001.6.
- 3) 畑中重光,水野英二,小池狭千朗,谷川恭雄:供試体寸法 の異なるコンクリートの圧縮破壊性状に関する実験的研 究,コンクリート工学論文集,Vol.5,No.1,pp.65-73,1994.1.