

京都大学 学生員 六郷恵哲
京都大学 正員 小柳 治

1. まえがき

コンクリートの破壊過程は、内部ひびわれの増加過程である。他方、外力仕事や損失エネルギーなどのエネルギー量に注目すれば、コンクリートの破壊過程は、損失エネルギーの増加過程である。本研究においては、コンクリートの曲げ載荷時の荷重方向の供試体変位を計測し、ひびわれの進展を荷重変位曲線から得られた損失エネルギーに関連づけるとともに、荷重変位曲線を用いて、曲げ破壊過程と圧縮破壊過程とを比較検討した。

2. 実験概要

(a)供試体 コンクリートの種別は、普通強度碎石コンクリート、標準砂モルタル、軽量コンクリート、高強度碎石コンクリートの合計4種類である。圧縮強度は、円柱供試体($\phi 10 \times 20$ cm)から求めた。曲げ強度は、角柱供試体($4.75 \times 10 \times 39$ cm)に中央集中載荷(スパン33 cm)を行なって求めた。なお、エネルギーの定量化に用いた供試体は、上記角柱供試体のスパン中央引張面に、正三角形(高さ1 cm)の断面の切欠きをもったものである。供試体は、脱型後試験枠令(17 $\pm$ 3日)まで、20 $^{\circ}$ C水中養生とし、水中から取り出した直後の供試体を、湿潤状態で試験した。各種コンクリートの圧縮強度と曲げ強度を、表-1に示す。

(b)試験機と変位計測 サーボ制御方式の剛性試験機を用いた。変位計測は、写真-1に示すように、角柱供試体にケージ型たわみ計を取付け、曲げ載荷時の上下両載荷点間の鉛直方向の相対変位(たわみ)を計測した。

(c)エネルギーの定量化 図-1に示すように、点Pで除荷すると、点Pにおいて外荷重によって供試体に加えられたエネルギー E_t が、弾性ひずみエネルギー E_r と、損失エネルギー E_l に交換されていることがわかる。

(d)ひびわれ面積の定量化 供試体は、曲げ破壊過程の途中で除荷を行ない、黒色のコンクリート混和剤を用いて曲げひびわれの着色を行なった。混和剤が十分乾燥した2~3日後に、再び載荷して供試体を破断し、破断面での着色部分の面積から、先の除荷時まで生じていたひびわれ面積を求めた。

3. 実験結果と考察

(a)各種コンクリートの曲げ強度 最大耐力後の変形制御は、切欠きのない供試体の方が、切欠きのある供試体よりも困難であって、切欠きのある供試体しか変形制御ができなかった。本実験で用いた載荷方法では、切欠きのあるモルタルや軽量コンクリートの供試体の最大耐力後の変形制御についても、困難な場合が多かった。供試体底面に切欠きがある場合とない場合の曲げ強度(実断面で計算)は、表-1に示すとうりである。すなわち、切欠きのある供試体の曲げ強度の、切欠きのない供試体の曲げ強度に対する比は、普通コンクリートよりも、モルタルや軽量コンクリートにおいては小さくなる。

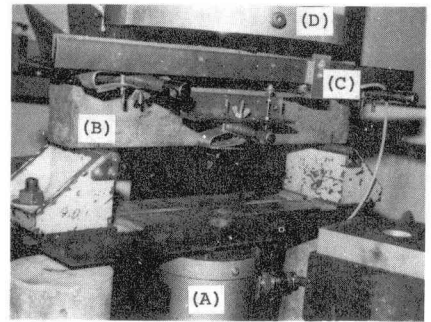


写真-1 載荷装置 (A: ロードセル, B: 供試体, C: たわみ計, D: 圧盤)

表-1 各種コンクリートの強度

コンクリートの種類	普通 コンクリート	モルタル	軽量 コンクリート	高強度 コンクリート
圧縮強度 σ_c (kg/cm ²)	245	216	276	591
曲げ強度 切欠きなし σ_b (kg/cm ²)	48.7	46.6	54.6	82.6
強度 切欠きあり σ_b' (kg/cm ²)	43.7	32.9	38.2	67.9
σ_b'/σ_b	0.90	0.71	0.70	0.82

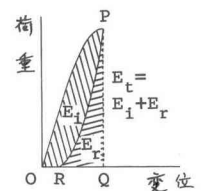


図-1 エネルギーの定量化

(b) ひびわれ面積と損失エネルギー 高強度コンクリート供試体で切欠きのある場合の、損失エネルギーとひびわれ面積の関係を写真-2 に示す。破断面で観察される平均ひびわれ深さと損失エネルギーとの関係を図-2 に示す。この図からわかるように、切欠きのあるコンクリート供試体の曲げ破壊過程においては、切欠きからのひびわれの成長が損失エネルギーとほぼ比例関係にある。コンクリートの破壊過程が内部ひびわれの増加過程であることから、図-2 の結果は、本実験で用いた曲げ載荷時の変位計測方法の精度が十分なことを示している。また、荷重変位曲線から求めた損失エネルギーは、コンクリートの内部組織の破壊の度合を定量的にあらわすパラメータとなる。

(c) 曲げ破壊過程と圧縮破壊過程 普通コンクリートの圧縮試験において 載荷除荷を数回繰返した場合の荷重変位曲線の一例を図-3 に示す。切欠きのある供試体を用いた曲げ試験で、載荷除荷を繰返した場合の荷重変位曲線の一例を図-4 に示す。これらの図から、圧縮破壊に比較して 曲げ破壊では、最大耐力点までの荷重変位曲線に直線部分が多く、最大耐力点以前での載除荷による損失エネルギーが、比較的小さいことがわかる。損失エネルギーは内部組織の破壊の度合を定量的に示しているため、これらの図から、コンクリートの圧縮破壊過程においては、最大耐力点以前の比較的荷重の小さな段階からひびわれが発生し、発生したひびわれが拘束されて さらに新しい安定状態にはいるという過程を続けるのに対して、曲げ破壊過程では、主に比較的高い荷重レベルでひびわれが発生し、発生したひびわれが、より崩壊に結びつきやすいことが説明される。また、これらの荷重変位曲線からわかるように、最大耐力点における 損失エネルギー E_L と 弾性ひずみエネルギー E_n との比 E_L/E_n は、曲げ破壊の方が圧縮破壊よりも小さい。曲げ破壊過程では、最大耐力点後に、弾性ひずみエネルギーが損失エネルギーに変換され、外力仕事の増分よりも損失エネルギーの増分の方が、はるかに大となる。このことが、曲げ破壊過程の変形制御を困難にしている理由の1つと考えられる。

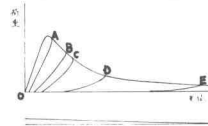
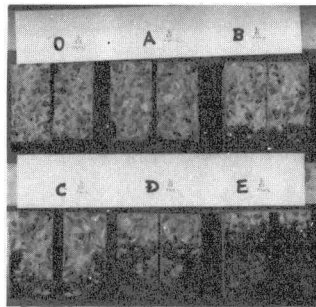


写真-2 ひびわれ面積

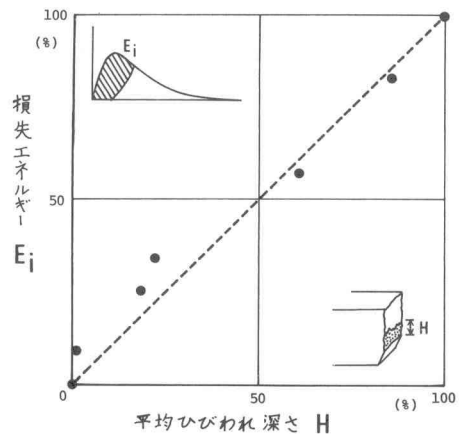


図-2 損失エネルギーと 平均ひびわれ深さ

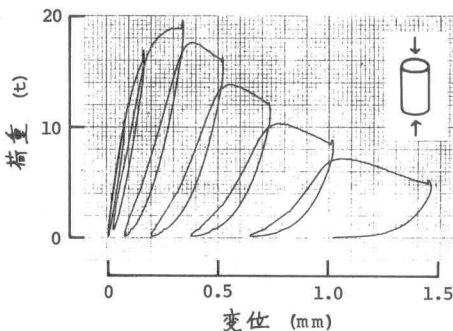


図-3 圧縮載荷時の荷重変位曲線

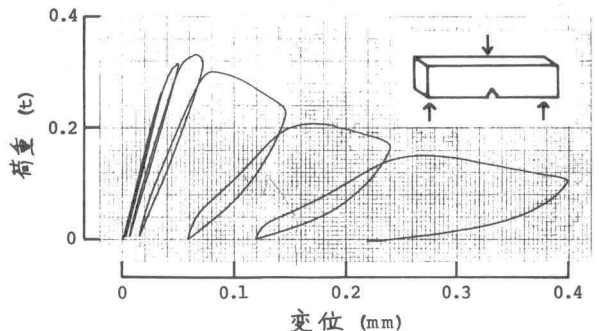


図-4 曲げ載荷時の荷重変位曲線