

静的破碎剤によるコンクリートの 破碎条件について

長崎大学 ○正会員 原田哲夫
九州工業大学 正会員 出光 隆
九州工業大学 正会員 渡辺 明

1. まえがき

破碎剤スラリー充填孔には、主としてハンドハンマー、クローラドリル等による円孔が用いられているが、ひびわれ方向をコントロールしやすくするため、孔内面に切欠きを設けたり、偏平にしたシース管を充填孔として、あらかじめ埋め込んでおくなどの工夫がなされている。あるいは、コンクリートカッターで設けた細い溝を用いることも考えられる。いずれの場合も、破碎設計を行うには、どの程度の膨張圧で被破碎体に貫通ひびわれが生じるか、すなわち、それらの破碎条件を求めておく必要がある。これまで、円孔の場合については、ある程度明らかになってきているが、楕円孔等応力集中を利用した場合の破碎条件は十分には解明されたとはいえず、また、円孔の場合を基本に、統一的な評価ができれば、破碎設計はより簡便なものになると考えられる。

本文では、その第一段階として、円孔の場合の破碎条件を基本において、楕円孔の破碎条件との関係等について検討を行った。

2. 実験概要

2-1 膨張圧の測定方法

ボーリング孔(円孔)用の直接的膨張圧測定法には、「内管」を用いてきたが、楕円孔およびコンクリートカッター溝用として新たに「ダイヤフラム型圧力計」を作製した。図1のように厚さ3mmの鋼板に円形の凹部を設け、その部分にひずみゲージ(4ゲージ法)を貼付したものと厚さ1.8mmの鋼板とをエポキシ系接着剤ではりあわせ一体とした板状の圧力計である。両者とも、孔(溝)中に埋め込み、膨張圧はひずみ値より求める。

2-2 供試体

円孔および楕円孔の先端の曲率半径を変化させた円筒供試体をコンクリート、モルタルで作製した。内径は、標準の32mmの他に48mm, 40mm, 22mmとし、外径は100mm~600mmの間で、種々変化させた。高さは150mmとした。

2-3 破碎圧力の定義

図2は、コンクリート円筒供試体について、膨張圧の経時変化をダイヤフラム型圧力計で、計測した一例である。膨張圧が最大値を示した時点で、貫通ひびわれが観察され、膨張圧の急激な低下がみられたので、この時点の圧力を破碎圧力とした。

3. 実験結果および考察

1円孔円筒供試体の破碎は、図3に示すように2通りの破碎パターンが観察された。すなわち、外内径比 k が $k < 5$ の場合は、貫通ひびわれが瞬時にして入るのに対して、 $k > 5$ では、ひびわれが進展しながらの破碎であった。ひびわれの進展は、アセトンを含ませた脱脂綿で、注意深く観察した。この場合、ひびわれ幅は、やっと確認できる程度であっ

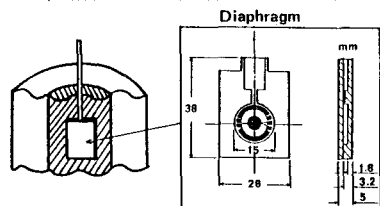


図1 ダイヤフラム法

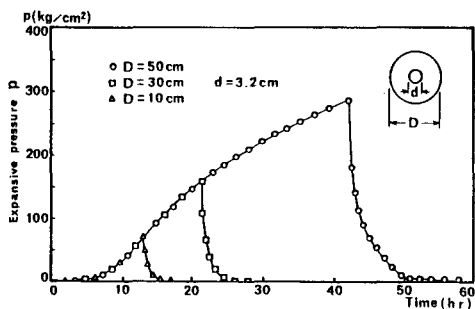


図2 破碎までの膨張圧の経時変化

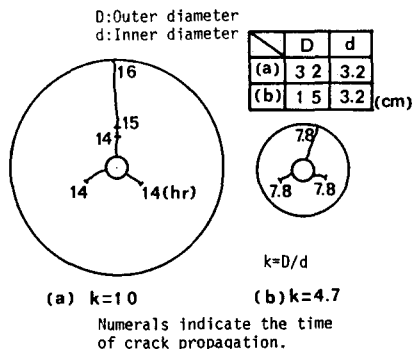


図3 k による破碎モードの違い

た。ひびわれが進展しても、膨張圧に変化はみられず、単調に増加していた。図4は破碎圧力 p_u を割裂引張強度 σ_t で除して無次元化したものと k の関係を示したものである。 $k < 5$ では、

$p_u/\sigma_t = k - 1$ --- (1) 近くに存在しているが、 $k > 5$ ではだいに別の曲線に移行しているようである。 $p_u/\sigma_t = 0.8k$ --- (2) はこれまでの実験結果の上限値である。

$p_u/\sigma_t = (k^2 - 1)/(k^2 + 1)$ --- (3) は、孔内周応力が引張り強度に達した時、破碎が生じるという最大応力説に基づく式である。しかし、実際はもっと高い膨張圧でないと破碎は起こっていない。式(1)は、円筒を薄肉と考えるか、完全塑性体とみなした場合の破碎条件式であり、平均応力 $\bar{\sigma}_\theta$ が引張強度 σ_t に達したとき、破碎が起こることを表わしている。

上記の現象を破壊力学の観点から、検討してみる。図5は、R.J.Cliftonら¹⁾による内圧を受ける円筒の応力拡大係数(K_I^*)と切欠き(クラック)長さの関係を示したものである。同図によれば、 $k < 5$ では、 K_I^* は切欠き長さとともに単調増加しており、一旦ひびわれが生じたら瞬時にして破碎が起こることを示している。一方、 $k > 5$ では、 K_I^* が下に凸の部分があり、ひびわれが生じても圧力を増加しなければ、ひびわれは進展しないことを示しており、定性的には、上記の現象をよく説明できる。

図6は、円孔の場合を規準に、楕円孔の先端半径 ρ を小さくしていった場合の応力集中係数の逆数(β)と、破碎圧力の関係を示した結果である。応力集中度に比例して、破碎圧力が小さくなることがわかる。 ρ が0となる極限は、楕円孔が長さ d のクラックになったことを表わし、 $K_I = p_c \sqrt{\pi \cdot d / 2}$ なる応力拡大係数をあたえる。

図4で同一 k に対して、内径32mmと48mmの破碎圧力を比較した場合、48mmの方が破碎圧力が低めにでており、寸法効果の影響がみられる。いま、孔を一種のクラックと考え、 K_I が等しいとき破碎が生ずるとすれば、 $p_{48} = p_{32} / \sqrt{1.5}$ となる。図7は p_{48} と p_{32} の関係をプロットしているが、実測値は $p_{48} = p_{32} / \sqrt{1.5}$ 上によくのっていることがわかる。

以上のことは、楕円孔のように応力集中を利用した破碎設計では、円孔の場合の破碎条件式に係数 β を乗じたものを破碎条件式として使用すればよいことを、さらには破壊力学を用いて、破碎条件式が統一的に評価できることを示唆している。

終りに、実験に多大な協力をいただいた長崎大学卒論生 小野 晃、楠葉貞治 両君に深謝いたします。

(参考文献) 1) R.J.Clifton, E.R.Simonson, A.H. Jones and S.J.Green, "Determination of the Critical-stress-intensity Factor K_{Ic} from Internally Pressurized Thick-walled Vessels," Experimental Mechanics, pp.233-238, June 1976.

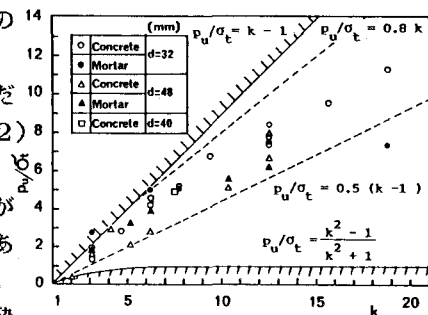


図4 p_u/σ_t と k の関係

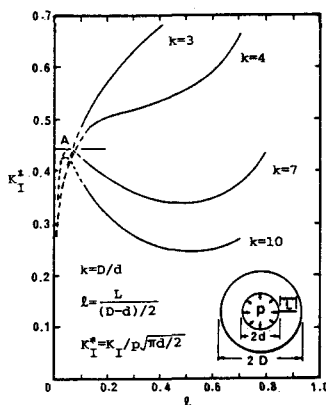


図5 内圧を受ける円筒の
応力拡大係数

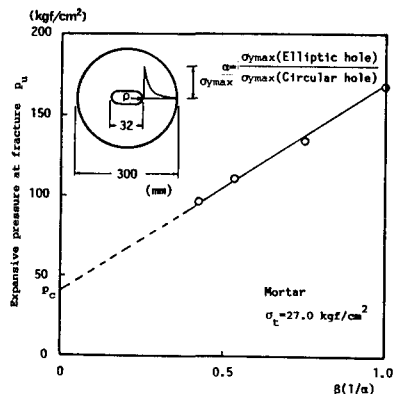


図6 破碎圧力と応力集中係数の
逆数との関係

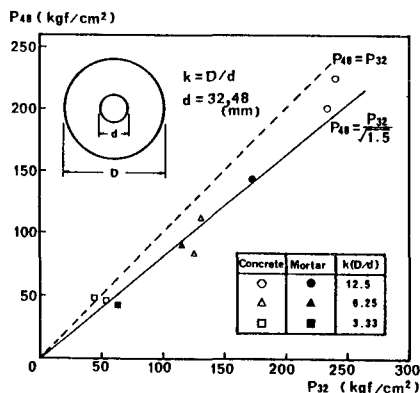


図7 寸法効果