

# 静的破砕剤によるコンクリートの破壊条件に関する研究

山口大学 正会員 中川浩二  
徳山高専 正会員 工藤洋三

宇部興産 大高 聡  
山口大学 学生員 新田宏基

## 1. まえがき

市街地における岩盤の掘削、破砕やコンクリート構造物の解体は騒音、振動、飛石、粉塵などの発生がなるべく少ない、いわゆる低公害破砕（解体）工法であることが必要とされる。

近年、その社会的要求に答えるために開発され、実用化されつつあるのがセメント系静的破砕剤である。しかし、膨張圧の力学的特性及び発現、さらには膨張圧発現による岩質材料の破壊機構に関する資料はほとんどみられない。そこで本研究では、膨張圧を受ける岩質材料の破壊の発達についての一つの仮定を与え、それより求めた破壊条件式と実験結果とを比較、検討する。

## 2. 理論

静的破砕剤の膨張圧による被破砕体の応力状態を弾性的に考えて、次の仮定を設ける。膨張圧により、円周方向応力が被破砕体の破壊応力 $\sigma_t$ に達すると孔壁に多数のクラックが放射状に一樣に発生し、クラックの発達した部分（クラック域）ではクラックに平行な方向の応力伝達は可能であるが、クラックに垂直な方向（円周方向）には引張応力は伝達されないとする。さらに膨張圧が増大すると、それらのクラックのうち卓越したクラックが側壁まで延び、被破砕体を破壊すると考える。

円柱供試体（図-1）において膨張圧 $\sigma_i$ が作用する時、 $r=a$ （孔壁）にクラックが発生するとする。その時円周方向応力 $\sigma_\theta$ は肉厚円筒理論より式となり、破壊応力 $\sigma_t$ に等しくなる。

$$\sigma_\theta = \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} \cdot \sigma_i = \sigma_t \quad (\sigma_\theta = \sigma_\theta(r=a)) \quad (1)$$

ゆえに孔壁にクラックを発生させるのに必要な膨張圧 $\sigma_i$ は次式となる。

$$\sigma_i = \frac{b^2 - a^2}{b^2 + a^2} \cdot \sigma_t \quad (2)$$

次にクラックが半径 $r$ まで発達した時、クラック域では半径方向圧縮力は伝わるが、円周方向引張力は伝達されないと考えれば、クラックの発達していない部分の応力状態は半径 $r$ の孔に内圧 $\sigma_i \cdot \frac{a}{r}$ （ $\sigma_i$ は破砕剤の膨張圧）が作用した状態と同等となる。さらにクラックが延びるためには、半径 $r$ における円周方向応力が $\sigma_t$ と等しくなることが必要となり、

$$\sigma_\theta = \frac{a}{r} \cdot \sigma_\theta = \frac{a}{r} \cdot \frac{b^2 + r^2}{b^2 - r^2} \cdot \sigma_i = \sigma_t \quad (3)$$

となり、半径 $r$ においてクラックを発生させるのに必要な膨張圧 $\sigma_i$ は

$$\sigma_i = \frac{b^2 - r^2}{b^2 + r^2} \cdot \frac{r}{a} \cdot \sigma_t \quad (4)$$

である。

例として、 $a=1\text{cm}$ 、 $b=15\text{cm}$ の場合、クラック進展に必要な膨張圧 $\sigma_i$ とクラック域の半径 $r$ との関係を図-2に

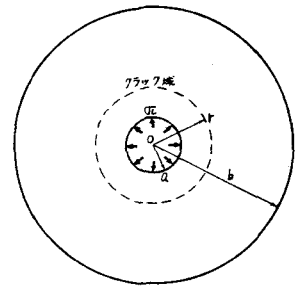


図-1. 円柱供試体概略図

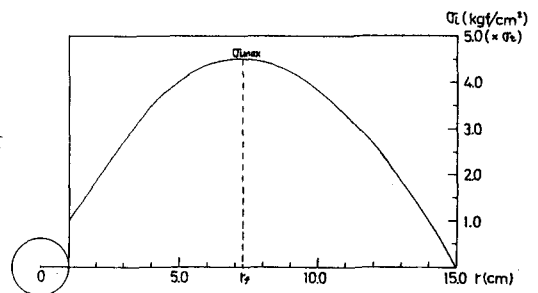


図-2. クラック進展に必要な膨張圧 $\sigma_i$ とクラック域の半径 $r$ との関係図

示す。同図より、 $r = r_f$ において $\sigma_t$ が最大値 $\sigma_{tmax}$ を得ることがわかる。すなわち $\sigma_t$ が $\sigma_{tmax}$ に達すればクラックの進展にそれ以上の内圧は必要でなくなり、それ以後は不安定な応力状態の結果、クラックは側壁まで延びることを示している。そこで $\sigma_{tmax}$ とその時の $r(r_f)$ を求める。式(4)を $r$ で微分して、

$$\frac{d\sigma_t}{dr} = \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{(b^2 + r^2)^2} (-r^4 - 4b^2r^2 + b^4) = 0 \quad (5)$$

となり、 $a \leq r \leq b$ 、 $r^2 > 0$ より

$$r_f = \sqrt{b^2 - 2a^2} \quad (6)$$

となる。これを式(4)に代入すると次式となる。

$$\sigma_{tmax} = 0.3 \cdot \frac{b}{a} \cdot \sigma_c \quad (2.1a < b) \quad (7)$$

また、 $a < b < 2.1a$ では式(4)より次式となる。

$$\sigma_{tmax} = \frac{b^2 - a^2}{b^2 + a^2} \sigma_c \quad (a < b < 2.1a) \quad (8)$$

図-3に $\sigma_{tmax}$ と $b/a$ との関係を示す。

### 3. 実験

図-4に示す中央に円孔を有する円柱状供試体(内径2cm、外径30cm、高さ20cm)をコンクリートで作製し、28日間湿潤養生した後、3方向OA、OB、OCに各々孔壁より2cm毎にひずみゲージを円周方向表面に貼った。尚、供試体の圧縮強度、引張強度はそれぞれ199kgf/cm<sup>2</sup>、21.0kgf/cm<sup>2</sup>であった。破砕率スラリーは木比30%、充填の際供試体中への水分浸透を防ぐため、ポリエチレンチューブを用いてその中へ充填した。

実験は20℃一定の恒温室内で行ない、練り混ぜ時刻を開始時刻とし、48時間後まで1時間毎にひずみを測定した。また同時に圧力配管用炭素鋼管を用いて肉厚円筒理論より膨張圧を測定した。

### 4. 実験結果と考察

実験の結果、円柱状供試体はおよそ鋼管より計算された膨張圧380kgf/cm<sup>2</sup>あたりで破断している。前の理論に従えば、材料の破断応力の約4.5倍がこの供試体の破断膨張圧に対応し、このことから破断応力 $\sigma_c = 846$ kgf/cm<sup>2</sup>が求められる。孔壁の引張応力が $\sigma_t$ に達するまでは材料は弾性であり、それ以後はクラックの発達にともなって供試体は非弾性挙動をすることを考えられる。いま、 $\sigma_c = 80$ kgf/cm<sup>2</sup>として弾性論により計算すると、それぞれのゲージ位置 $r = 3, 5, 7, 9$ cmでの円周方向応力は $\sigma_\theta =$

9.29, 3.57, 2.00, 1.35 kgf/cm<sup>2</sup>、半径方向応力は $\sigma_r = -8.57, -2.86, -1.28, -0.63$  kgf/cm<sup>2</sup>となる。従ってこれに対応するひずみはポアソン比 $\nu = 0.2$ として55.0, 20.7, 11.3, 7.38  $\times 10^6$ となる。またこれ以後、供試体中にはクラックが発達するための挙動は非弾性となる。図-5に例として、1つの方向(図-4中、OA方向)の各ひずみゲージのひずみを示す。これによると、応力-ひずみ曲線は $\sigma_c = 80$ kgf/cm<sup>2</sup>程度まではほぼ直線状であり、発生するひずみも予測された値に近い。また、この応力値あたりから応力-ひずみ曲線は曲線状になることも認められる。

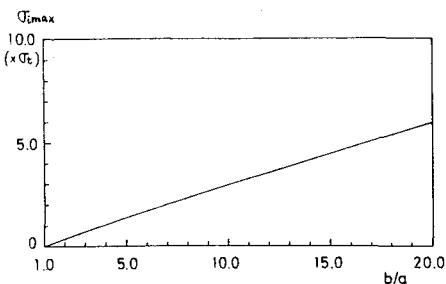


図-3.  $\sigma_{tmax}$ と $b/a$ との関係図

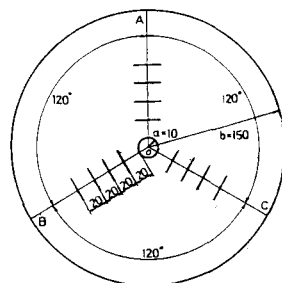


図-4. 実験円柱状供試体の概略図

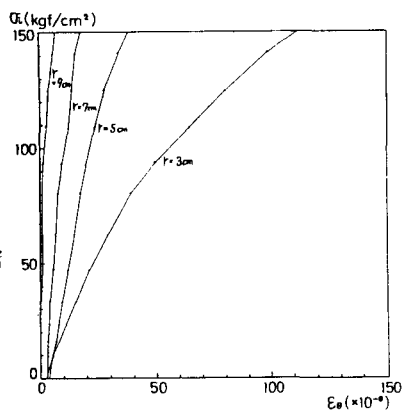


図-5.  $\sigma_t \sim \epsilon_\theta$ 曲線(OA方向)