

長崎大学 工学部 正会員 ○原田哲夫
九州工業大学 工学部 正会員 渡辺 明

1. まえがき

膨張剤系の破砕剤を用いて、岩石やコンクリート構造物の破砕解体と無騒音、無振動かつクリーンに行なう、いわゆる静的破砕工法が注目を集めている。この破砕剤を用いて破砕設計を行なうにあたっては、破砕の主役となす膨張圧の推定方法、被破砕体の亀裂発生時膨張圧および亀裂発生機構等を明らかにする必要がある。亀裂発生に必要な膨張圧(以後破壊内圧と呼ぶ)は、直接的な測定がむずかしく、現在のところ供試体の貫通亀裂発生時間と鋼管に貼付した歪ゲージにより間接的に推定する方法等が採られている。そこで、破壊内圧は被破砕体固有の値と考え、より直接的な破壊内圧測定法として、破砕剤を油圧に置きかえた「油圧式内圧試験装置」を試作し、この装置により、実験的検討を行なった。

2. 実験概要

2-1 供試体 内径(0.6~3.2cm)、外径(7.5~30cm)と種々変化した中空厚肉円筒供試体とモルタル、コンクリートおよびセメントペーストにより作製した。実験の3日前まで水中養生(20℃)後、円筒内周部、端面に被覆を行ない材令28日で実験に供した。セメントペーストは材令4日で行なった。供試体の諸性質は表1に示すとおりである。

2-2 油圧式内圧試験装置および実験方法 図1に示す装置中央部に供試体をセット後、Oリングとはめ込んだ厚板と上下にボルトナットで締めつけることにより、圧油の漏れを防止している。この時の締めつけ力は、ボルトに貼付した歪ゲージにより一定となるよう注意を払った。次に、手動式油圧ポンプを用いて、各圧力段階で内周圧の測定を行ないながら破壊まで加圧した。その際の圧力は、ブルドン管式圧力計、圧力変換器により検出している。

3. 実験結果および考察

3-1 破壊の定義 写真1に示す①の亀裂発生時点を「破壊」とし、この時の最大圧力を「破壊内圧」とした。今回の実験では破壊は急激に起こり、瞬時にして外周部が5~10mm程度開口した。なお、①の破壊は円筒の中心軸を含む縦断面で起こっているの、円周方向引張応力 σ_θ により誘起されたことが分る。

3-2 各種被覆における破壊内圧の比較 圧油の浸透による破壊を防止することは、破砕剤を用いた場合の破壊内圧と比較する上にも重要である。破壊内圧に影響せず、かつ施工性と実験精度上最適と思われる被覆方法を種々試みた。表2にモルタル供試体の場合の破壊内圧と比較して示す。同表によれば、どの被覆においてもほぼ均一の破壊内圧であるが、被覆無しの場合には有に比べ約3割低い。これは、圧油が供試体内を押し割るように浸透したためと考えられる。現在のところ、被覆方法(1)が最良と考えられ、よって今回は、この被覆により実験を行なった。

3-3 $P_{bc}/\sigma_c \sim R_o$ 曲線 図2は、破壊内圧と割裂引張強度の比 P_{bc}/σ_c 、外半径 R_o の関係で、高さ15cmの供試体各3本ずつの平均値をプロットしたものである。ここに、曲線(1)、(2)は佐藤氏らにより与えられたもので、脆性材料

表1 供試体の諸性質 (kgf/cm²)

	圧縮強度	引張強度	弾性係数
コンクリート	362~398	26.8~29.0	2.83~3.72×10 ⁵
モルタル A C:S=1:3 油圧式	382~437	22.2~27.6	2.68~3.08×10 ⁵
モルタル B C:S=1:3 油圧式	385~474	30.0~32.6	2.52~3.25×10 ⁵
セメントペースト	473~572	23.2~30.6	—

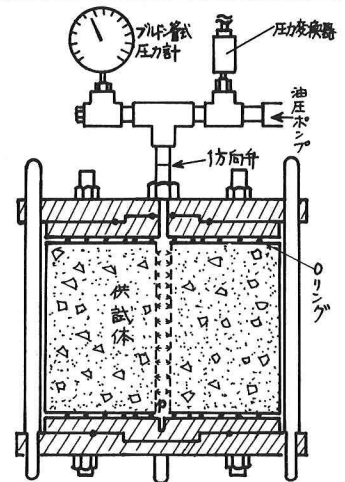


図1 試験装置概略

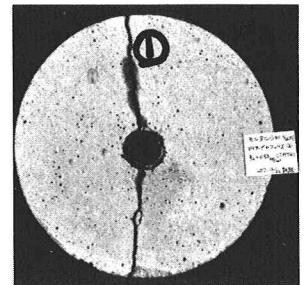


写真1 油圧による破壊性状

の破壊には、平均応力説とその適用限界で起こる2種類の形式があり、応力分布、延性の影響により異なってくるが、(I),(II)はそれぞれ上下限値を与える曲線である。即ち、「延性の影響が大きくなれば(I)に、より脆性的になれば(II)に漸近する。従って、すべての材料の内圧破壊はこの2曲線に囲まれる領域に存在するという研究である。

さて、本実験結果もこの領域内に収まっていることが分る。セメントペーストでは k_0 の小さいうちから(II)に近づいている。コンクリート、モルタルでは k_0 が5までは(I)近くにあり、破壊は平均応力説にしたがって起こったものと考えられる。しかし、 k_0 が大きくなるにつれ(I)から離れ、ある限界値($P/P_0 = 2.5 \sim 4$)に漸近する傾向がある。この場合、 k_0 の4倍近くの圧力を負荷しなければ破壊が起こらないということは、最大応力の内周部分が引張強度に達しても、応力の小さい部分がこれを支持しているためと考えられる。また、破壊内圧には骨材もなんらかの影響を与えていると思われるが、今回の実験ではこの影響は明確にはでていない。

3-4 内周歪 円筒の内側円周方向の歪の挙動と破壊まで調べた。その1例を図3に示す。同図によれば、破壊まではほぼ直線的に伸びており、通常いわれている伸び能力の2~3倍と大きい。また、圧縮試験より求まる弾性係数、ポアソン比を用いて、 $\epsilon_0 = \frac{P(k_0+1) + \nu_c(k_0^2-1)}{E_c(k_0^2-1)}$ により計算した値に比べ、実測値はその勾配が小さい。この理由には、引張弾性係数、ポアソン比が σ - ϵ 軸応力状態(引張 σ -圧縮 ϵ)では異なってくるのが考えられる。

3-5 破壊機構 写真1,2はそれぞれ油圧、破砕剤による破壊例である。いずれの場合も、まず引張応力により①の亀裂が生じた後、他の箇所にも亀裂が生じる。油圧では断面を2分割する破壊であるのに対し、破砕剤を用いた場合は3~4方向に亀裂を生じるが、多くはほぼ120°を形成する破壊モードとなる。これは、①の亀裂発生後も持続作用する内圧で生じる最大曲げモーメント位置は180°方向となるが、弾性係数をもった破砕剤が充填されかつ破砕剤と内周壁面とが附着もあるため、120°方向にその位置がずれたためと考えられる。

4. あとがき

1 円孔円筒供試体では、引張強度の4倍近い圧力と負荷しなければ破壊しないことがわかった。今後、円孔以上の場合についても検討を行ない、破砕設計理論式の確立を図る予定である。最後に、有益な御助言を賜った九州工大 出光先生並びに、実験に御協力戴いた長崎大学卒業生 金武寛文、赤田 実両氏に深謝致します。

[参考文献] 木) 出光 隆, 岡田雅文, 新徳雅男: 靱性破砕剤の膨張圧測定に関する研究 土木学会西部支部研究発表会 (1983.2)
 木2) 佐藤和郎, 茂村達也, 永井文雄: せいの性材料がうる円筒の内圧破壊に及ぼす延性の影響 機械学会論文集(A編) 391号(1979.3)

表-2 各種被覆における破壊内圧の比較 (モルタル A)

被覆方法	無	1 VM7-A+C8060	2 VM7-A+C8060	3 C8060+C8060	4 マイワリ27 リンアラマス	5 C8060 2層	備考
破壊内圧 (kg/cm ²)							
1	67.5	100.0	121.3	101.6	108.6	90.0	外径15mm
2	69.8	99.0	99.0	99.8	93.5	83.0	内径22mm
3	60.5	95.9	—	88.5	—	81.0	高さ15mm
平均	65.9	98.3	110.2	96.5	101.0	84.7	$k_0=26.7$

1) VM7-A (アクリル系接着剤) 2) C8060 (シリコン系接着剤) 3) C1500 (エポキシ系接着剤)

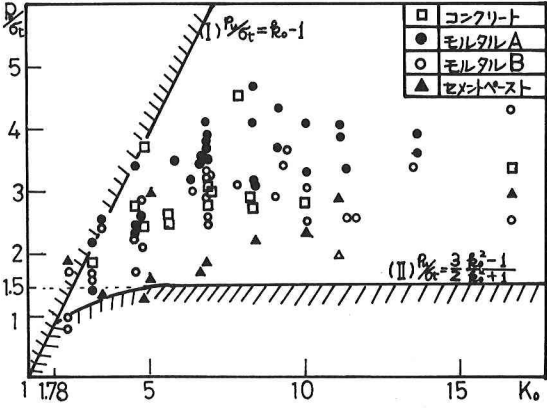


図-2 破壊内圧 P_0 と円筒の内外径比 k_0 の関係

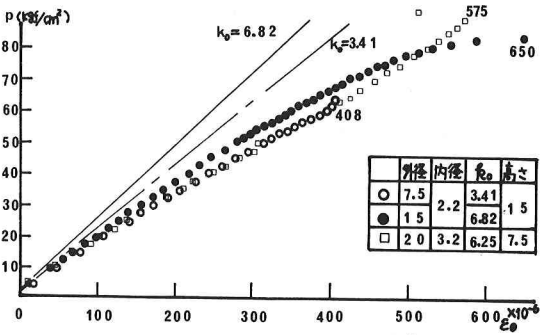


図-3 圧力 P と内周歪 ϵ_0 の関係

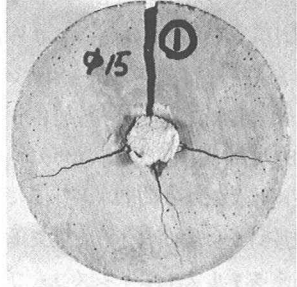


写真2 破砕剤による破壊例(形状)