

III-116 コンクリート破砕薬による材料の破壊について

京都大学工学部 伊藤一郎, 正員 佐々宏一
西松建設株式会社 正員 谷本親伯

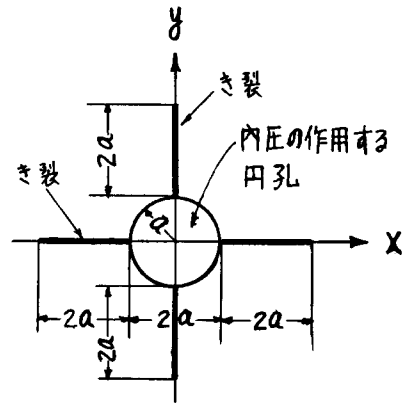
1. 緒言

火薬類を用いてコンクリート構造物を破壊するのは手軽であり、かつ、経済的であるが、従来は爆破振動や飛石などのために市街地での火薬類の使用は困難であった。しかし、近年コンクリート破砕薬と呼ばれる一種の弱い火薬が開発され、これを用いることによって市街地におけるコンクリート構造物の破壊がかなり容易に行なえるようになってきた。そこでわれわれはこの種の火薬類の合理的な使用法について検討する資料を得るために、コンクリート破砕薬による材料の破壊機構について検討したのでその結果について報告する。

2. 装薬室内に作用するガス圧による材料の破壊

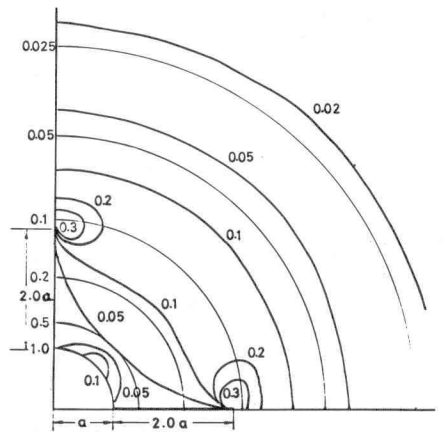
現在市販されているコンクリート破砕薬の燃焼速度はかなり遅く、 100 m/s 程度のものが多い。したがって、その燃焼によって装薬室内壁に作用する圧力の立ち上り時間はダイナマイトの場合のそれ(数マイクロ秒)よりもかなり長く 10 ms 程度となる。そこでまず、このようにゆっくりと立ち上る圧力が装薬室内壁に作用した場合に弾性体内にどのような応力状態が生成するかを弾性理論を用いて検討した。その結果、圧力の立ち上り時間が 10 ms 程度であれば爆発に起因する波動はほとんど発生せず、材料内の応力状態は装薬室内壁に時間とともに徐々に変化する準静的な圧力が作用すると考えた場合のそれとほぼ等しくなった。したがって、コンクリート破砕薬の爆発に起因する材料内の応力状態は、波動を考慮しない静的な応力解析法で解析しようものと考えられる。

さて、かなりの長さをもつ円柱状装薬の場合には問題をほぼ2次元的に取り扱っているので、ここでは簡単にすむために2次元問題として考えてみることにする。弾性理論によれば、無限の板のりをもつと考えられる弾性体内に存在する円孔内壁に圧力 P が作用した場合に円孔内壁の接線方向に作用する応力 σ_θ は内圧 P と等しい値をもつ引張応力となる。コンクリート破砕薬の爆発によって装薬室内壁に作用する圧力の最高値は $1,000 \text{ kg/cm}^2$ 程度であると推定されるので、内圧が材料の強度に達したときに内壁から半径方向のき裂が発生するものと考えられる。そこで、このように半径方向のき裂が発生した場合の材料内の応力状態を有限要素法を用いて解析してみた。その一例として、第1図に示すように円孔の軸を z 軸とする直交座標の x 軸および y 軸をもって xy 平面に長さ $2a$ (a は円孔の半径) のき裂が発生した場合の等引張主応力線を示したのが第2図である。なお、図に示す細線はき裂が存在しない場合の、太線はき裂が存在する場合の等引張主応力線であって、それぞれの線に付した数字は引張主応力の値を内圧 P で除した値である。



第1図 応力解析条件説明図

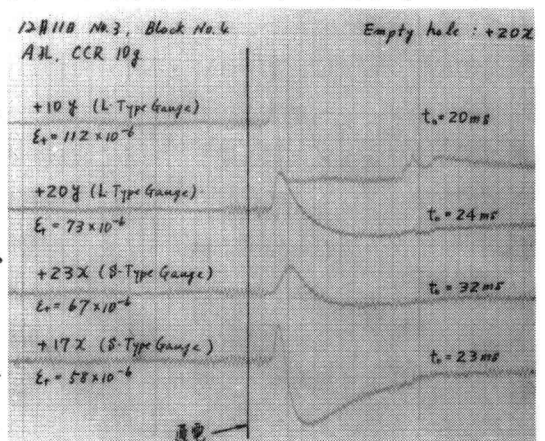
第2図より、半径方向にき裂が発生するとその先端には応力集中が発生し、き裂先端近傍の引張応力の値はき裂が発生してはいない場合と比べてその奥に発生する応力よりもかなり大きな値となることがわかる。さらにまた、半径方向に4本のき裂が発生した場合には内孔内壁に発生する応力値はき裂先端近傍に発生してはいないよりも小さくなっている。このことは、ガス圧によって発生する半径方向のき裂の数は4本以上にはなり得ないことを意味している。このようなき裂の状態と材料内の応力状態との関係を多くの条件の場合について計算することによって、き裂の進展によって材料内の接線方向の引張応力がどのように変化するかを検討した。その結果、き裂が進行してくる方向にある奥に作用する接線方向の引張応力の値は、き裂の先端がその奥に近づいてくると大きくなり、き裂の先端がその奥に最も近づいた時にその最高値を示し、き裂の先端がその奥を通過すると急激に消失すること、および、き裂の進行方向に直交する方向の接線方向の引張応力はき裂が進展してもその影響をほとんど受けないことなどが明らかとなった。したがって、き裂が進行する方向にある奥の引張応力はき裂が有限の速度で進行するから、爆源からの距離が遠くになるにつれて引張応力が最高値に達するまでの時間が長くなることになる。そこで上記の有限要素法による解析結果を確かめるとともに、ガス圧による材料の破壊についてさらに検討するために、セメントモルタルブロックをコンクリート破砕薬を用いて破壊する実験を実施した。



第2図 直交する4方向にき裂が存在する場合の等引張主応力線図

3. コンクリート破砕薬によるセメントモルタルブロックの破壊実験

実験に使用したセメントモルタルブロックの大きさは $0.9\text{ m} \times 1.0\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ であって、装薬と同一平面内に装薬の中心を原点とする直交座標のx軸およびy軸上の奥の接線方向の応力が測定できるように爆源からの距離を変えてあらかじめ応力ゲージを埋め込んでおき、コンクリート破砕薬の一種であるCCR 10gを用いてこれを破壊し、それによって材料内に発生する接線方向の応力とブロック側面の変位および変位速度とを測定した。得られた応力記録の一例を示したのが第3図であり、側面の変位および変位速度記録を示したのが第4図である。なお、第3図および第4図に示した方シロウラムが得られたブロックは爆破によって2個に分離し、生成したき裂の幅はほぼ 1 mm であった。なお、応力記録に示す $+10\text{ g}$ とか $+20\text{ g}$ といいのは、xとよば $+10\text{ g}$ であれば装薬の中心からx軸の正方向に 10 cm 離れた奥の接線方向の応力記録であるという意味である。さて、第3図に示した応力記録において、それぞれ奥の応力が



第3図 接線方向の応力記録の一例

最高値に達するまでの時間も引張ひずみが消失する状態と有限要素法による材料内の応力解析結果および実際に生成したき裂の状態とを対比して検討することによって、上記の応力解析結果が妥当であること、および、材料内の撓線方向のひずみを測定することによって生成したき裂の様相を推定しうることが明らかとなった。さらにまた、ひずみ記録より、替葉室近傍が破壊したのは通電から20~30ms後であることがわかる。一方変位記録をみてみると、通電後10msほど経過したときから内圧に起因する変位が現われており、その変位はその後しばらくほぼ一定であるが、通電後120ms経過したときと多数に増大している。この後の変化がブロックが分離した瞬間を示している。したがって、図3図と図4図とを対比することによって、替葉孔近傍が破壊を開始してからブロックが分離するまでのかなりの時間がかかっていることがわかる。これはき裂内へ爆発生成ガスが進入し、これがき裂をさらに発達させていることを意味している。図5図は、ブロック側面へ内圧によって変位を生じ始めてからブロックが分離するまでの時間と生成したき裂の中心との関係を示したものであるが、図より、上記の時間とき裂の中心との間には密接な関係があること、および、弱替葉の場合にはき裂内に進入したガスの圧力による破壊が材料の破壊にかかりやすいことがわかる。

4. 結 言

今日の研究によって得られた主な結果をまとめると次のとおりである。(1) コンクリート破砕薬のように燃焼速度が速い火薬類を用いて材料を破壊する場合に、替葉孔内壁から発生する半径方向のき裂の数は4本以下である。(2) 材料内の撓線方向のひずみと生成したき裂の様相との間には密接な関係があるので、ひずみを測定することによって表側に現われるき裂を目に見えな「Closed Crack」を検出することができ。(3) コンクリート破砕薬の爆発によって材料が破壊する場合には、き裂内へ進入した爆発生成ガスの圧力によるき裂の助長が材料の破壊にかかりやすい。

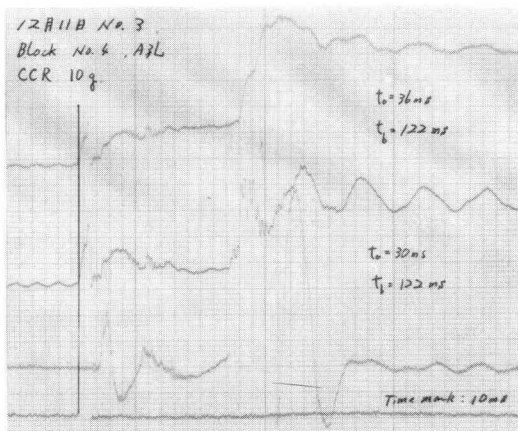


図4 図 ブロック側面の変位(上, 中央)
および変位速度(下)記録。

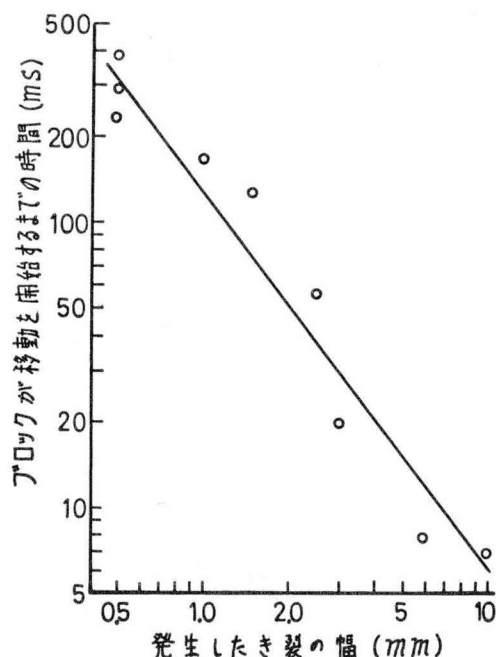


図5 図 ブロックが分離するまでの時間と
き裂の中心との関係。