

III-4 プリスプリッティング爆破工法におけるき裂の制止機構

京都大学大学院学生 正員 ○浅井達雄*

京都大学工学部 花崎敏一

京都大学工学部 正員 佐々宏一

京都大学工学部 伊藤一郎

1. 緒言

現在コンクリート構造物の解体作業には、スチールボールやブレーカーなどが用いられている場合が多いが、前者は局所的破壊には不適であるとともに振動が大きく、後者は騒音がはるばるに大きく、さらにかなりの期間を要する。そこで近年、火薬類を用いて有効にコンクリート構造物を破壊する方法が検討されるようになってきた。その方法の一つとして、いわゆるソフトな火薬を用いて目的を達成する特殊爆破工法がある。また、トンネル掘進において爆破工法を適用した場合のオーバーブレイク（余振り）を防止することは、トンネル完成後の地山岩盤を堅固に保持し、他方、コンクリート覆工時に必要はコンクリートの量を低下させるという点で重要なことである。このような場合にも特殊爆破工法が用いられる。特殊爆破工法の一つであるプリスプリッティング爆破工法は切断予定面（破壊しようとしている部分と、破壊せずに残しておく部分との境界面を切断予定面、切断予定面が自由面と交わってできる線を切断予定線と呼ぶことにする）に沿ってき裂（プリスプリット）を入れる作業（プリスプリッティング）とそれにひきつづいて行われる爆破（本爆破）との2つの段階をもつ。プリスプリッティング爆破工法は本爆破に起因する振動を低減させるという効果と、本爆破によって発生するき裂をプリスプリットにおいて制止するという効果とを有するものと考えられている。今回は、本爆破にソフトな火薬類を用いた場合のように準静的応力によって破壊が達成される場合について、とくにプリスプリットがき裂を制止する機構について検討を行なったので、その結果の一部を報告する。

2. 解析条件および結果

プリスプリッティングにおいては、切断予定面内に並行穿孔を行なって装薬孔列をつくって爆破する工法がとられる。この場合、各爆破孔を十分に配列して、ダイナマイトのような爆薬を用いれば、プリスプリットはあらかじめ切断予定面に沿う破砕帯となり、各装薬孔をかなり粗に配列し爆薬をデカップリング装薬した場合とか、いわゆるソフトな火薬を用いた場合には、プリスプリットは各装薬孔を結ぶヘアクラックとすることが多い。そこでプリスプリットを大きく2つに分類し前者のようなプリスプリットを破砕帯型プリスプリット、後者のようなプリスプリットをヘアクラック型プリスプリットと呼ぶことにする。破砕帯型プリスプリットは母体となる材料に比べ外力に対して変形しやすい状態になっており、ヘアクラック型プリスプリットは、母体となる材料がプリスプリットにおいて結合力を失っている状態であると考えられる。

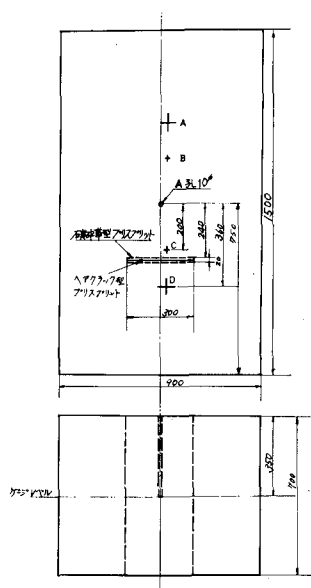
今回実施した応力解析は第1図に示したようなセメントスリットブロックを用いて実施した実験結

* 現在 日本アイビーエム株式会社勤務

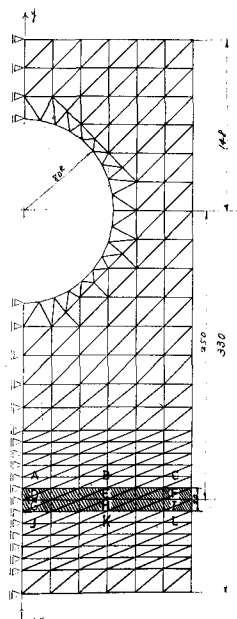
果と対比して検討し得るように、できるだけ実験条件と同一となるように設定したモデルを用いて行なった。すなわち、縦 150cm 、横 90cm 、厚 70cm のブロック内の図示の位置に破砕帯型およびヘアクラック型のプリスプリットを設定し、A孔を本爆破用の装薬孔とし、この内壁に爆発生成ガスによる圧力が作用するものとして解析を行なった。ブロックのヤング率は、 $2.304 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 0.100 を、強度としては、引張強度 46.7 kg/cm^2 を用い、破砕帯の弾性定数としては、ヤング率 $2.785 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 0.289 の値を用いた。なお、ヘアクラック型の場合は、そこで材料が不連続となっていると考えた。なお、上記の値は実験を行なった時に用いた材料の材料試験の結果から得られた値である。

モデルの大きさ、形状、設定した条件を考慮して、破砕帯型の場合は不均質弾性体の、ヘアクラック型の場合は不連続弾性体の平面ひずみ問題として取り扱うこととし、有限要素法を用いて解析を行なった。第2図から第4図までは有限要素法における要素分割を部分ごとに分離して見やすいように示した図であって実際のモデルは第1図が第2図の半円形の部分に入りそれが第3図の長方形のくぼみに入った状態のものである。モデルは yz 面に対して対象であるから図に示すような境界条件を用いて解析した。なお、第2図、第3図および第4図に示した要素分割をそれぞれ部分1、部分2、部分3と呼ぶことにする。

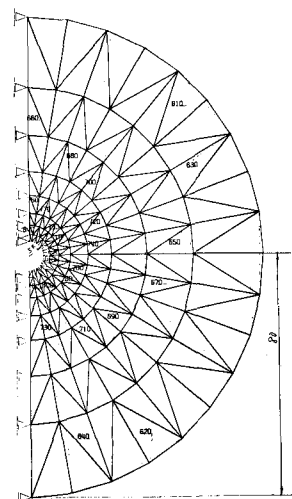
第5図～第8図はモデル内にプリスプリットが存在しない場合、すなわち、均質なブロック内にある装薬孔内にガス圧が作用した場合に材料内に発生する変位ベクトルの方向を部分1と2とについて示したものであって、第5図、第7図が全くき裂が発生していない場合であり、第6図および第8図は装薬孔内壁から y 軸の正および負方向に長さ z 装薬孔半径の 10.2 倍のき裂が生成した場合の計算結果を示したものである。これらの図から明らかになるように、き裂が進展する方向にある点ではき裂の先端に近づく方向に変位することになる。すなわち、き裂はその先端にある粒子を引き寄せながら発達してゆくことがわかる。この現象をき裂先端の材料吸引効果と呼ぶことにする。第9図と第10図とはそれぞれ破砕帯型およびヘアクラック型プリスプリットが存在する場合に装薬孔内壁にある一定の大きさの圧力が作用しており、装薬孔内壁から y 軸の正および負方向に、すなわち、対称面に沿って装薬孔内壁から装薬孔半径の 10.2 倍の長さのき裂が生成している場合について材料内の各点の変位の大きさをそれぞれ 1000 倍および 1000 倍して示してモデル全体の変位の概念を示した図である。また第11図は本爆破によって対称面内に生成したき裂が破砕帯型プリスプリットに到達した場合の変位の大きさを 100 倍してモデル全体の変位の概念として示した図である。なお、これらの図においては部分1の場所は除いてある。第9図から、装薬孔内にガス圧が作用しているにもかかわらず破砕帯型プリスプリットの幅はその中央部、すなわち、第3図に示したD、E、G、Hの部分において装薬孔内壁から発達してくるき裂のき裂先端の材料吸引効果によって大きく窄まっていることがわかる。また第10図から、ヘアクラック型プリスプリットは、ガス圧が装薬孔内壁に作用し始めてもいまだ装薬孔内壁にき裂が発生していないときには、装薬孔内壁に作用するガス圧によって *closed crack* となっているが、装薬孔内壁からプリスプリット方向にいったんある程度の長さのき裂が発達すると、き裂先端の材料吸引効果により *open crack* となることがわかる。このようにして、装薬孔内にガス圧が作用していても、き裂が発達してくるとプリスプリットを通しての力の伝達はおこななくなり、つい



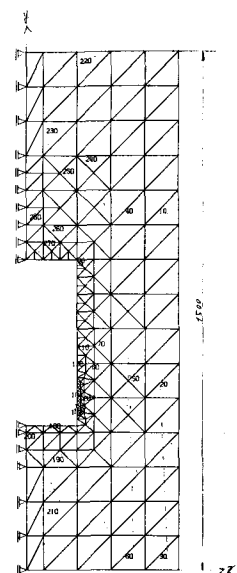
第1図 応力解析モデル



第3図 要素分割
(部分2)

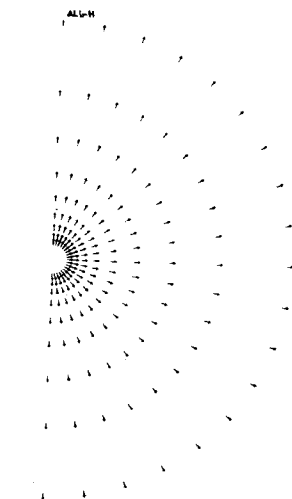


第2図 要素分割
(部分1)

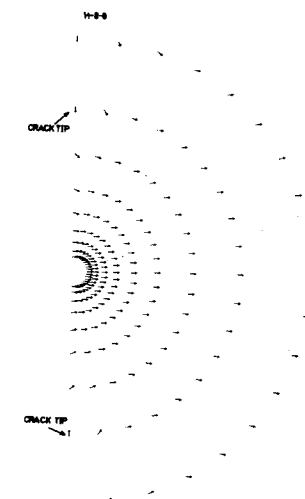


第4図 要素分割
(部分3)

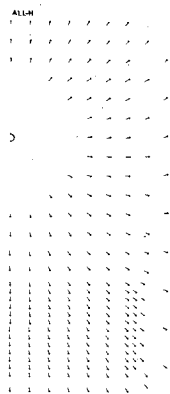
にき裂がプリスプリットに達すると第11図に示すようにこのき裂はガスの逸散する道となり、プリスプリットの端部に応力集積がおこるものの、プリスプリットがある程度の長さをもてば、本爆破によるき裂はプリスプリットで制止されることになる。第12図は第5図から第11図までの図からとくにヘアクラック型プリスプリットの場合について、プリスプリットが本爆破によるき裂を制止する機構を説明している図である。



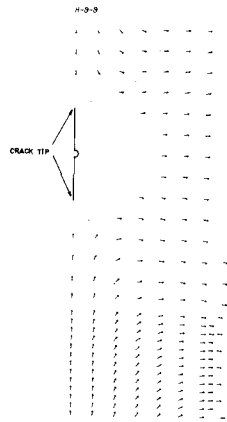
第5図 均質な場合の装薬孔周辺の
変位ベクトル方向



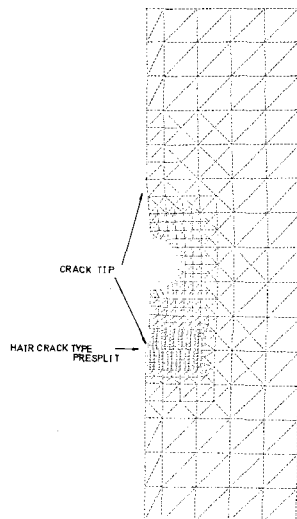
第6図 均質な場合におけるき裂
発生後の変位ベクトル方向



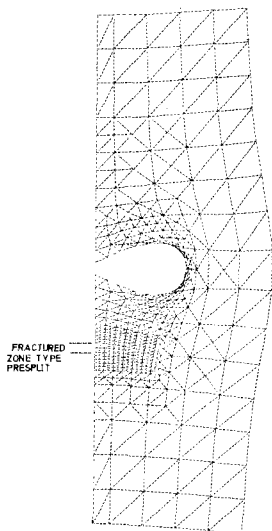
第7図 均質な場合の変位ベクトルの方向



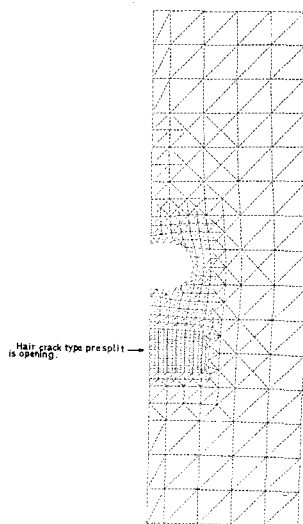
第8図 均質な場合におけるき裂発生後の変位ベクトルの方向



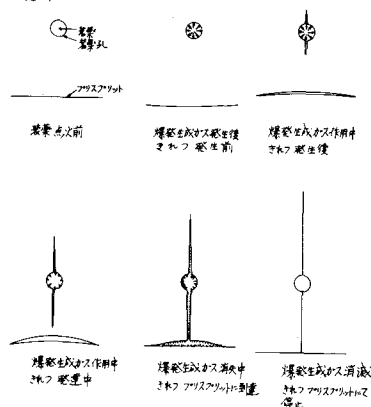
第9図 ヘアクラック型プリスプリットにき裂が到達した場合のモデル全体の変形の概念図



第10図 破砕帯型プリスプリットが存在する場合におけるき裂発生後のモデル全体の変形の概念図



第11図 ヘアクラック型プリスプリットが存在する場合におけるき裂発生後のモデル全体の変形の概念図



プリスプリットにおいて本爆破によるき裂の増大を抑制される機構

3. 結 言

今回の解析によって得られた結果を要約すればつぎのとおりである。(1)爆源を中心とする半径方向のき裂が発達するときには、き裂先端の材料吸引効果が現れる。(2)薬孔内壁からある程度の長さのき裂が発達するとプリスプリットはき裂先端の材料吸引効果によってたとえclosed crackであってもOpen crackとなる。(3)このため プリスプリットを通して力の伝達はおこななくなる。(4)本爆破によるき裂の先端がプリスプリットに接近するほど(2)(3)の傾向は強まる。(5)本爆破によるき裂がプリスプリットに達したとき最も破壊しやすい部分はプリスプリットの端の部分である。(6)プリスプリットの長さが短い場合を除けばプリスプリットはき裂を制止することができる。これらのことは実験的にも確かめられた。

なお本研究に用いた計算機は京都大学大型計算機センターのFACOM 230-60, 270-20/30 および日本アイ・ビー・エム大阪データセンターのIBM S/360 M/65である。