

III-5 火薬の爆発に起因するコンクリートの破壊と

プリスプリッティングの効果に関する報告

京都大学工学部 正員 佐々宏一 伊藤一郎

前田建設工業(株) 正員 桑原力 正員 小嶋啓雄

1. 緒言

近年コンクリート構造物を迅速にかつ経済的に除去する方法の一つとしてコンクリート破砕薬を利用する方法が開発され、すでにかなり使用されている。さて、構造物を破壊する場合には構造物全体を破壊する場合とその一部を破壊撤去しその他の部分は破壊せず新たな構造物の一部として使用する場合とがある。前者の場合は、いかに迅速にかつ経済的に除去するかのみについて考えればよいが、後者の場合にはそれに加えて除去する部分の破砕に際して除去しない部分を損傷しないようにすることが重要な条件となる。この条件を満足させる可能性のある方法の一つとして、破砕しようとしている部分と破砕せずに残しておく部分との境界面(以後この面を切断予定面と呼ぶことにする)に、 $30\sim 50^{\circ}$ 程度の孔間隔で一列に穿孔を行ない、これらの孔に火薬類を弱装薬して起爆し、これによって切断予定面にそうき裂をまず発生させ、その後破砕しようとしている部分を火薬類を用いて破砕すれば、すでに切断予定面にそうき裂が生成しているの、そのき裂を越えて破壊が破砕しないで残したい部分にまで及ばないであろうという考え方にもとづくものがある。

このように爆破によって切断予定面にそうき裂をまず発生させることをプリスプリッティング(Presplitting)と呼んでいる。そこでこの研究においては、プリスプリッティングをどのような火薬類を用いて行なえばよいか、およびプリスプリッティングによって生成した閉き裂(Closed-crack)、すなわち、力のほとんどどなりき裂によってそのき裂に対して交わるような方向に進展してきた別のき裂の進展を阻止しうるかという2点に重点を置いて検討することにした。

2. 研究方針と実験方法

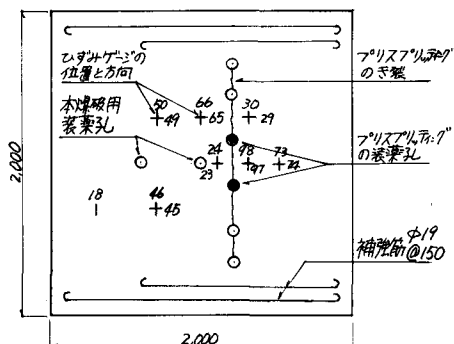
研究項目は次の2点について行なうことにした。オ1項目：プリスプリッティングのためにどのような火薬類をどのように使用すれば切断予定面以外の方向の不必要なき裂を発生させないで切断予定面のみに良好なき裂を発生させることができるかについて、オ2項目：プリスプリッティングによって生成したき裂によって、その後その近傍で行なう爆破に起因する破壊がプリスプリッティングによって生成しているき裂を越えてまで進展するかについて、の2項目である。さて、良好なプリスプリッティングを入れる方法としては爆薬をデカプリング装薬し、ガイドホールを用いてき裂の方向を制御する方法と燃速の遅い火薬を使用し、隣接孔内のガス圧との相乗作用を利用して主としてガス圧によってき裂を入れる方法とがある。前者についてはすでに検討を行っているの、今回はオ1項目の検討を燃速の遅い火薬、すなわち、コンクリート破砕薬や黒色火薬などを用いてプリスプリッティングを行なう場合について行なうことにした。そこで無限の拡がりを持つと考えられるコンクリート内で火薬が爆発したと考えた場合にコンクリート内にどのような応力状態が発生し、どのようなき裂がどれぐらいまで生成する

かについて実験を行ない、プリズプリットングの場合の孔間隔や装薬条件を求める資料とすることにした。そのために試料として $20 \times 20 \times 15$ の無筋コンクリートブロックを製作し、その 20×20 の面の中央から深さ 80 の装薬孔をあらかじめ穿孔しておき、その孔内で 30 程度の火薬を爆発させた場合に、材料内にどのような応力状態が発生し、それによってどのようなき裂が生成するかをブロック内に埋め込んでいる抵抗線ひずみゲージを用いて検討することにした。この実験に使用したコンクリートブロック数2個である。

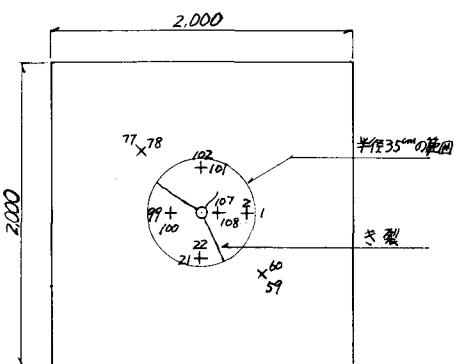
オ2項目の実験はオ1項目の実験と同じ大きさのコンクリートブロックを製作し、まずオ1図に示すようにブロック内でプリズプリットングを行ってき裂を入れ、ついでこのき裂に交わるような方向にき裂が入るような条件の爆破を行なって、プリズプリットングによって生成させたき裂によって後で行なう本爆破によるき裂が阻止されるかどうかについて実験を行なった。なおこのプリズプリットングによって生じたき裂がクローズドクラック(Closed crack)になるように鉄筋を入れて補強した。このブロックにもき裂確認用ゲージ及びひずみ測定用ゲージが埋込されている。またプリズプリットングによって生じたき裂に水が入っている場合と水が入らない場合との差について検討するため空中ブロック2、水中ブロック2を用いて実験を行なった。

3. 実験結果および考察

項目(1)のための実験はNo.17ブロック、No.27ブロックを用いて行なった。No.17ブロックの場合はコンクリート破砕薬の一種であるSLBⅢ型 $30g$ をブロック中央に装填し、セメントモルタルタンピングを実施して起爆した。この爆破ではブロック外壁に達するき裂は全く認められず、いわゆる“奥鳴り”の状態であった。この爆破によってオ2図に示した各点に発生したひずみの記録(オ3図)を有限要素法によって求めらる装薬を中心とする半径方向のき裂の進展にともなう接線方向の応力の変化の一般的性質を参照して解析することによってSLBⅢ型 $30g$ の爆発によってコンクリートブロック内にオ2図に示すような方向に長さ 35 程度の半径方向のき裂が生成したと推定できた。このことによってSLBⅢ型 $30g$ を用いてプリズプリットを行なう場合には(30gの薬包数個をある間隔でデキャージした場合も同様)その孔間隔は 30 程度が好ましいことが明らかとなった。またこれは穿孔精度が悪く孔近傍で孔間隔が 60 以上となるとプリズプリットを入れることが困難となることを示している。またSLBⅢ型 $30g$ の爆発による装薬室内壁に作用した圧力を圧力計を用いて測定したところ最高圧として 800 という値が得られた。



オ1図 項目(2)の実験方法説明図
(オ3ブロック) 番号はゲージNo

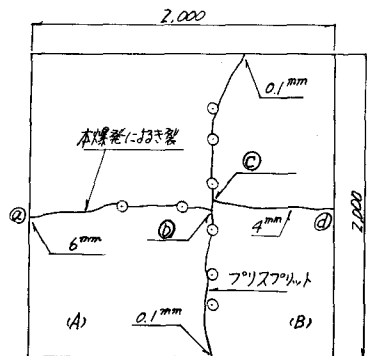
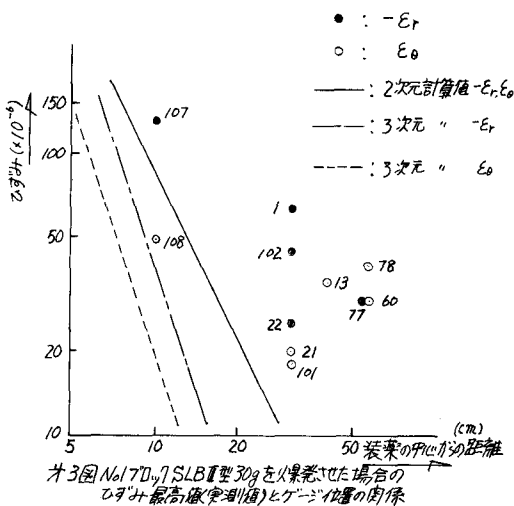


オ2図 SLBⅢ型 $30g$ の爆発によるNo.17ブロックに生成したき裂の様相の推定
(装薬を含む平面)

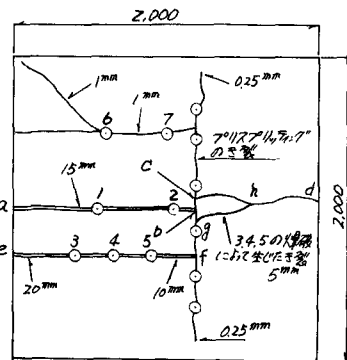
この圧力値 800kg を用いて装薬を柱状(2次元問題),および球状(3次元問題)と仮定した場合に材料内に発生する応力状態を材料が破壊しないと仮定した場合について計算して実測値と比較したのがオ3図である。図に示すように実測した値がかなり大きいのは装薬孔内壁から半径方向のき裂が生成したことによる応力増加に起因するものである。

No.270.7 は No.70.7 と同様な方法で黒色火薬 5g を用いて行なう。たところ内部に発生した半径方向のき裂の長さは 15mm 程度であると推定され、装薬室内壁に作用した圧力の最高値は 400kg であった。

項目(2)の実験のうち空気中実験には No.3470.7 ,水中実験には No.5670.7 を使用した。各ブロックにプリスプリットによってき裂予定線に用き裂を入れたのち、オ1図に示すようにき裂に直交する方向に並べられた本爆破用の装薬孔を用いてプリスプリットの破壊阻止効果を調べた。得られた結果の一例として、まず、オ4図は No.370.7 の本爆破後のき裂の様相を示したものである。これによると本爆破のき裂がプリスプリットを通過したように見えるが埋込ゲージを用いて測定したひずみ記録においてプリスプリットに対して本爆破側(A)の臭のひずみが最高値に達したのちほぼ5mm遅れて反対側(B)の臭のひずみが最高値に達していることから、これは本爆破によってき裂a-bがまず生成しその巾が大きくなるとブロック側面に入っている鉄筋を介してカガプリスプリットの背後に伝達されプリスプリットの方に並行な方向に引張応力が発生しそれによってき裂c-dが生成したものと考えられる。これはb臭とc臭とが一致しないことから推定することが出来る。つぎに水中で実施した No.570.7 の破壊状況について説明することにする。 No.570.7 を用いて実施した3回の本爆破によって生成したき裂の様相を一まとめにして示したのがオ5図である。このブロックにおいてまず図に1,2と示してある装薬孔を用いて本爆破を行なった。この場合にはオ4図に示した No.370.7 の場合と同様にき裂a-b, c-dが生成した。先にも示したように、き裂c-dは側面に入っている鉄筋が力を伝達したために生じたものである。そこで鉄筋が存在しない場合の破壊の様相について検討するために、装薬孔3,4,5および6,7を新たに穿孔して本爆破を行なった。この場合にはき裂a-b, c-dによって鉄筋の存在による影響が除外されているので、鉄筋が存在しない場合の爆破条件



オ4図 No.370.7 本爆破のき裂
(黒色火薬 $20\text{g} \times 2\text{孔} = 40\text{g}$)



オ5図 No.570.7 の本爆破におきき裂
1,2火薬破 SLBⅢ型 $20\text{g} \times 2\text{孔} = 80\text{g}$
3,4,5 " " $20\text{g} \times 2 \times 3 = 120\text{g}$
6,7 " " $20\text{g} \times 2 \times 2 = 80\text{g}$

となる。まず、装薬孔3,4,5を用いて行なった爆破ではき裂e-f, g-hが発生した。この場合に発生したき裂g-hはこの爆破によってa-b-f-eで囲まれている部分がき裂e-fの中を増大させるような方向に移動したときにプリスプリットの面の凸凹を介して作用した力によって生じた引張応力に起因するものであると推定できた。また、6,7孔を用いて行なった爆破ではプリスプリットの背後にはき裂は全く発生しなかった。

以上のように今回の実験によつてオ6図に示すような爆破孔の配置で本爆破を行う場合には、本爆破によって分離した部分(A)が移動するときにプリスプリットの面の凸凹を介して作用する力によってき裂x-yが発生する可能性があることがわかった。したがつてオ7図に示すような爆破孔配置として本爆破によつて部分(A)が移動する場合にその移動によつてプリスプリットの中がなくなりその面の凸凹を介して力が作用しないようにすればき裂x-yの発生を阻止するものと考えられる。

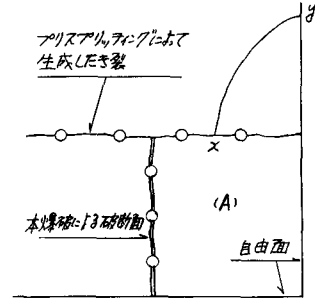
なお、今回の実験ではプリスプリットの内部に水が存在する場合の実験結果と存在しなかつた場合のそれとの間には顕著な差異は認められなかった。

4. 結 言

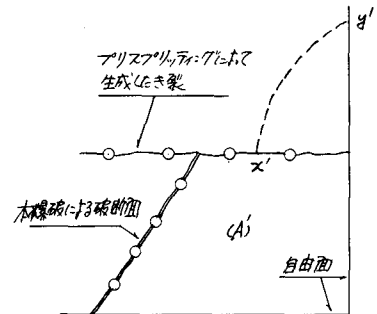
今回の実験で明らかになつた結果を要約して示すと次のとおりである。(1) SLBⅢ型30g および黒色火薬20gがコンクリート内で爆発した場合に装薬室内壁に作用する圧力最高値はほぼ 800 kg/cm^2 である。(2) SLBⅢ型30gがコンクリート内で爆発した場合に発生するき裂は装薬を中心として半径35cm程度の長さである。(3) SLBⅢ型30gをデキチラージとしてプリスプリッティングを行なう場合には孔間隔は60cm以下とするのがよい。

(4) プリスプリッティングによつて発生したき裂の幅が200~300ミクロン程度の閉き裂であってもコンクリート破砕薬や黒色火

薬などのガス圧を主体として材料を破壊する火薬を用いて本爆破を行なえば、そのき裂はプリスプリットを越えて進展しない。また本爆破の爆破孔は本爆破によつて分離したブロックの推線方向がプリスプリットの幅が開く方向となるように穿孔するのがよい。(5) プリスプリットの破壊阻止効果は空中、水中でも同じ効果を示す。



き裂x-yは(A)の移動においてプリスプリットの摩擦力の反逆によつて生じる
オ6図 プリスプリッティングと本爆破によつて生じるき裂説明図



本爆破においてプリスプリッティングのき裂が開く方向なのでき裂x-yは出来ない
オ7図 推奨されるパターン