

はりの衝撃破壊に対する動光弾性実験

広島大学工学部 正 員 佐藤 誠
 広島大学大学院 学生員 清水 陽一郎
 清水建設(株) 正 員 〇崎山 郁夫

1. はじめに 土木構造物の中には落石覆工(ロックシェッド)や砂防施設、保護壁等、衝撃的な荷重を考慮すべき構造物も多く、これらの構造物の安全性を確保するために、衝撃荷重に対する構造物の力学的挙動及び耐衝撃性に関する究明と対策が多方面で求められている。ここでは、被衝撃体の基本構造部材としてのはり、落錐による衝撃荷重を受けて破壊する場合について、はり内の亀裂の進展状況を、複数の光源と複数のカメラを用いた動光弾性実験装置によって撮影し、得られた等色線縞模様写真から破壊過程を究明するとともに、破壊現象に対する動光弾性実験の適用性について検討した。

2. 実験方法及び実験模型 図-1に、動光弾性実験に用いたCranz-Schardin型の多重閃光撮影装置のシステムを、また図-2に、模型はりの形状、寸法、支持状態、衝撃位置を示す。模型はり上縁の2枚のアルミ箔をトリガーとし、落錐の落下によって遅延時間設定装置に信号が入力され、9個のフラッシュが次々に発光する。発光した光は2枚の視野レンズを通ることにより、各フラッシュと対角位置にある9個の使い捨てカメラレンズにそれぞれ集光される。この装置では1回の荷重入力に対して最高9駒までの一連の等色線縞模様写真を撮影することが可能であり、破壊現象のような再現が許されない現象もこの駒の範囲で撮影することができる。撮影開始時間は、亀裂が生じると予想される位置の動ひずみ波形を予め測定し、それが終局ひずみに達する時刻を参考にして設定した。なお、各フラッシュの閃光間隔は任意に設定できる。衝撃荷重は、図-2に示した左支点からの距離 X が $L/2$ 、 $L/3$ 、 $L/6$ の位置に、BCモデル(切欠き無し)に対しては重量300.3gの鋼製落錐($\phi 13\text{mm} \times 292\text{mm}$)を衝撃速度約4.5m/sで与え、またBNモデル(切欠き有り)に対しては重量149.9gの鋼製落錐($\phi 13\text{mm} \times 147\text{mm}$)を衝撃速度約4.8m/sで与えた。なお、模型はりは当研究室で製作した厚さ5mm または10mmのエポキシ樹脂板から切り出して作成した。

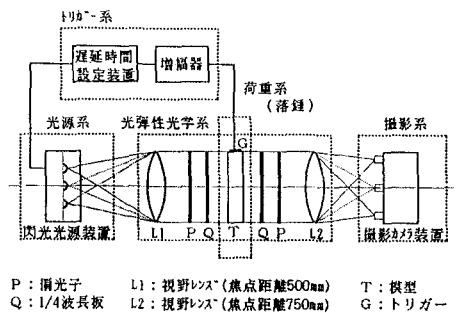


図-1 動光弾性実験装置

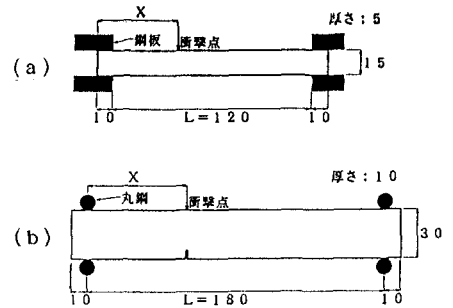


図-2 実験模型 (a) BCモデル (b) BNモデル (単位: mm)

3. 実験結果 写真-1に、BCモデル(切欠き無し)の $X = L/2$ の位置を衝撃した場合の等色線縞模様写真を、また図-3に、写真-1から読み取った亀裂の進展状況を示す。なお図-3には、衝撃位置が $X = L/3$ 及び $L/6$ の場合の亀裂進展状況を併せて示してある。写真-1及び図-3-(a)によると、まず衝撃点直下のはり下縁から760~780 μs の間で亀裂が発生し、上方にほぼ直線的に進展して800 μs 付近で上縁に到達する。その後この亀裂の途中から左右方向に新たな亀裂が発生しほぼ左右対称に進展する。この左右方向に発生する亀裂については、亀裂近傍の縞模様が不鮮明であるために、はり内部の応力状態からその原因を知ることは困難である。

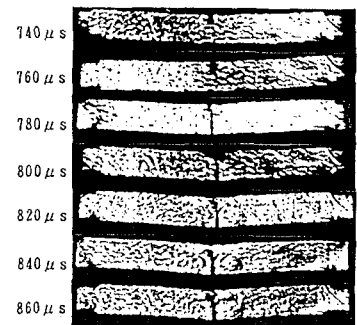


写真-1 BCモデル($X=L/2$)の等色線縞模様写真

しかし、破壊後の破断面を観察すると、最初に発生する中央の亀裂による破断面には多くの鋭い凹凸があり、また動ひずみ波形によると、左右方向に亀裂が発生する時刻でもまだ衝撃力は作用していることから、中央の破断面の凹凸の一つに対する、破断面近傍のせん断応力による応力集中がきっかけとなり、左右方向に新たな亀裂が発生したと考えられる。X = L/2及びL/3の場合は、他の実験模型においても図-3と同様な破壊形状となる場合が多いが、X = L/6の場合は、X = L/3の場合と同様な亀裂を生じる場合が多い。

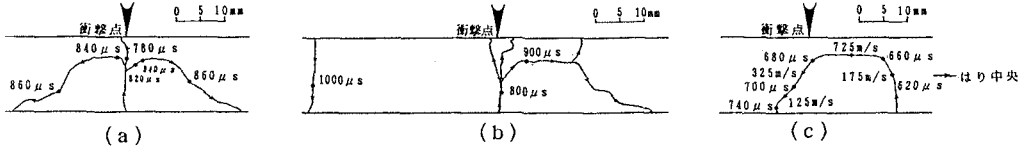


図-3 BCモデルの亀裂進展状況 (a) X=L/2 (b) X=L/3 (c) X=L/6

写真-2に、BNモデル(切欠き有り)のX = L/3の位置を衝撃した場合の等色線縞模様写真を、また図-4に、写真-2から読み取った亀裂の進展状況を示す。なお図-4には、衝撃位置がX = L/2及びL/6の場合の亀裂進展状況を併せて示してある。写真-2及び図-4-(b)によると、470 μs付近で切欠き先端から亀裂が発生し 520 μs 付近まではり中央方向に緩やかに曲がりながら上方に進展する。その後急激に向きを変え、ほぼはり軸方向と平行に進展し、最終的にはり上縁に向かって進展して破断する。亀裂の進展速度は、亀裂が発生してほぼ直線的に進展する間は約725m/sと大きく、その後はり中央方向に曲がりながら進展する間は約260m/sまで減速する。はり内の縞模様注目すると、450~480 μsでは亀裂の近傍以外は明らかに上縁が圧縮、下縁が引張りとなる曲げの状態であり、その曲げの中立軸を意味する暗点がはり高中央に現れている。500~530 μsでは亀裂の両側に亀裂の進行によって曲げ応力が解放されたために発生したと思われる波面があり、また進展する亀裂の先端から次々に発生した表面波と考えられる縞も現れている。X = L/2及びL/3の場合は、他の実験模型全てが図-4と同様な破壊形状となるが、X = L/6の場合は、図-4と同様な破壊形状となるパターンと、切欠き先端からはり中央方向に緩やかに曲がりながら上縁に達するパターンの2つのパターンが存在する。

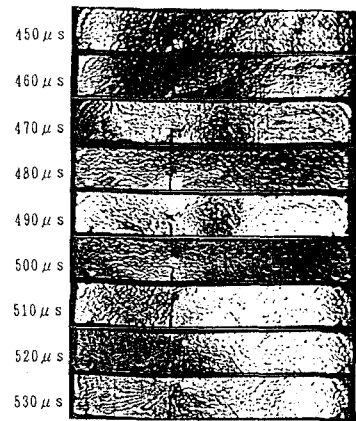


写真-2 BNモデル(X=L/3)の等色線縞模様写真

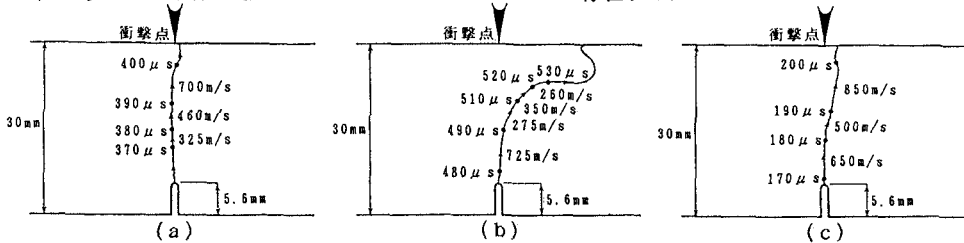


図-4 BNモデルの亀裂進展状況 (a) X=L/2 (b) X=L/3 (c) X=L/6

4. まとめ 多重閃光撮影装置を用いた動光弾性実験によって、衝撃荷重を受けて破壊するはり内を亀裂が刻々と進展する状況を10~100 μs間隔で捕らえ、そこから亀裂の進展開始位置、進展方向、進展速度等を知ることができた。しかし、本実験結果では、亀裂近傍の縞模様が不鮮明であったため、亀裂先端の応力状態と亀裂の進展方向や進展速度等との関係について十分に検討できなかった。その主たる原因は撮影カメラ装置にあると考えられ、今後はその点を改良して実験を行う必要があろう。また、実験的に亀裂開始の状態を検討するためには、与える衝撃力及び撮影開始時間について十分に検討する必要がある。