

論文の内容の要旨

申請者 永田 真

論文題目

近接爆発を受ける RC 構造物の損傷およびリスク評価法に関する研究

近年、爆破テロ事件が世界的に増加しており、爆破テロによる爆発荷重に対する効果的かつ合理的な耐爆構造設計法が広く求められている。爆薬から十分に離れた位置で生じる爆発（遠距離爆発）に関する実験は、これまでに多数行われている。遠距離爆発の条件下では、部材には等分布荷重が作用するものとして仮定されることが多い。一方で、爆破テロのように構造物に近接した状態で爆発荷重が生じる場合（近接爆発）は、等分布荷重を仮定することができないため、近接爆発による分布荷重を迅速かつ簡便に評価する手法の確立が求められている。また、遠距離爆発に対する構造物の安全性評価においては、一質点系モデルを用いた解析法が広く用いられている。一方で、近接爆発においては、爆発荷重の時間的および空間的分布が複雑になるため、一質点系モデルを用いた応答評価の適用は非常に難しいとされている。

爆発事故や爆破テロ等による爆発荷重の発生確率は極めて低いが、一旦発生すると甚大な被害が生じて社会的な影響が大きくなる。爆発荷重に対する構造物の危険度や損傷レベルを定量化する手法としてリスク評価法がある。リスク評価法は、特に地震に対するリスク工学の分野で精力的に研究されてきたが、爆発テロのような人災に対する研究例は少なく、また構造物に対するリスク評価についても検討を行う必要がある。

そこで、本研究では世界的に増加している爆破テロなど、爆発荷重に対する構造物の設計法に関する基礎的な研究として、近接爆発を受ける鉄筋コンクリート(RC)部材および構造物の損傷およびリスク評価法について検討したものである。

はじめに、近接爆発による爆風圧の荷重分布特性を調べるため、爆薬量と離隔距離を変化させ、爆風圧の計測実験を行った。計測した爆風圧に基づいて、離隔距離（爆薬中心から部材表面までの距離）、爆薬量および部材長から求まる分布係数を提案し、近接爆発によって部材に作用する最大圧力（最大反射圧）および力積（反射力積）の分布特性を近似的に評価する式を提案した。提案式を用いることで、最大反射圧および反射力積の分布特性をある程度再現することが可能となった。

次に、RC 梁に対する近接爆発実験を行い、RC 梁に作用する反射圧、RC 梁の最大応答変位と残留変位、軸方向鉄筋のひずみおよび支点反力を計測した。実験で得られた軸方向下端鉄筋のひずみから、初期の応答段階では高次の変形モードを示すことがわかった。さらに、近接爆発による分布荷重を考慮した一質点系モデルによる曲げ応答評価法について提案を行い、その妥当性を検証した。提案したモデルによる応答解析法は、実

験結果をやや過大に評価するが、近接爆発荷重を受ける RC 梁の変位応答をある程度再現した。また、数値解析を行い、実験の再現性を確認するとともに、提案した一質点系モデルと実験の変位応答の差異について考察を行った。数値解析の結果から、梁中心軸から梁幅方向の距離が増加するにしたがって、希薄波の影響によって作用する反射力積が減少していること、爆風圧の時間的分布が RC 梁の破壊性状に影響を与えることがわかった。

続いて、爆破テロによる爆発荷重を受ける RC 構造物のリスク評価概念の構築を行った。爆破テロの発生頻度と死者数の関係に基づいて、超過確率と爆薬量の関係であるハザードカーブを作成した。構造物を柱、梁および床スラブ部材ごとに一質点系モデルに置換し、材端回転角から損傷評価を行った。ここでは、基礎的段階として部材には等分布荷重が作用し、曲げ破壊するものと仮定した。部材の損傷レベルに基づいて構造物全体の被害レベルを評価する手法を提案し、被害レベルごとの損傷確率と爆薬量の関係である構造物全体のフラジリティカーブを作成した。構造物の被害レベルと損失の関係を設定することにより、建物および人的損失額と爆薬量の関係であるロスカーブを求めた。算出したハザード、フラジリティおよびロスカーブを用いて、爆破テロに対するリスクカーブを作成した。リスクカーブを用いることにより、発生確率の異なる爆破テロに関するリスクを損失額として評価することが可能となった。

最後に、近接爆発を受ける RC 構造物のリスク評価法に対して検討を行った。まず、各部材に作用する荷重に関しては、近接爆発による荷重分布特性を考慮した。また、部材の破壊モードについては、曲げ破壊に加えて柱および梁部材についてはせん断破壊を、床スラブ部材については直接せん断破壊を考慮した。さらに、爆発位置から部材までの間にある床スラブ部材による爆風圧の低減効果を考慮した。提案した損傷評価法の妥当性を検証するため、実被害との比較検討を行い、提案モデルによって実被害における破壊状況をある程度再現することを確認した。以上の点を考慮した上で対象構造物のリスク評価を行い、期待損失額および予想最大損失から爆破テロによる平均的な損失を示すとともに、地震災害と統一的に比較する方法を示した。