

衝撃荷重による損傷リスクを考慮した性能評価に関する基礎的研究

九州大学大学院

学生会員 ○成田 一晃

九州大学大学院

正会員 園田 佳巨

九州大学大学院

正会員 玉井 宏樹

1. 背景と目的

大規模な地震、津波、土砂災害等の自然災害は、社会に甚大な被害を及ぼすにも関わらず、その発生時期の予測が非常に困難である。そのため、構造物は自然災害に対するリスクマネジメントを行うことにより、経済性を著しく損ねることのない範囲で、必要な安全性が確保される必要がある。しかし、衝撃分野においてリスク解析を行う手法はまだ確立されていない。本研究では衝撃荷重に対する構造部材の挙動を定量的に把握するとともに、発生頻度を勘案することによってリスクを定量化し、現在の人々だけでなく、将来の世代に対しても合意を得られるような設計目標を設定する手法について検討した。

2. 損傷リスクの定量化

2.1 損傷度解析

本研究では衝撃荷重を受けた構造部材の損傷の程度を把握するために、構造部材の一例として、図-1に示すようなRC梁を考え、図-2のようにモデル化し、有限要素法を用いた解析を行った。解析手法としては、RC梁に重錘を落下させる衝撃応答解析を行った後に、静的載荷を実施した。衝撃荷重を受けた梁が、破壊に至るまでに吸収し得るエネルギー、つまり、荷重-変位関係のグラフに囲まれる面積を、無損傷の梁と比較した場合の面積比の割合を損傷度 D と定義することにより、損傷の度合いを表現した。無損傷の梁の吸収し得る破壊エネルギーを G_{FO} 、衝撃荷重を受けた梁の吸収し得る破壊エネルギーを G_F として式(1)により損傷度 D を求めた。

$$D = 1 - \frac{G_F}{G_{FO}} \quad (1)$$

破壊の定義であるが、既往の研究例を参考に、梁中央の残留変位が純スパンの $1/50$ 、つまり 16mm に達した時点を破壊と見なした。また、D8、D10、D13の3種類の主鉄筋径を設定し、各主鉄筋径における重錘の入力エネルギー $E(\text{J})$ と損傷度 D をプロットし、滑らかな曲線で結んだものを図-3に示す。

2.2 外力発生頻度の予測

一般的に、自然災害における外力の大きさの分布関数は、対数正規分布に従うことが多い。外力の大きさと超過確率の関係を表したものはハザード曲線と呼ばれ、ここでは、重錘の入力エネルギーの分布関数が図-4に示すような対数正規分布に従うと仮定し、縦軸を超過確率に変換することで求められるハザード曲線を図-5に示した。

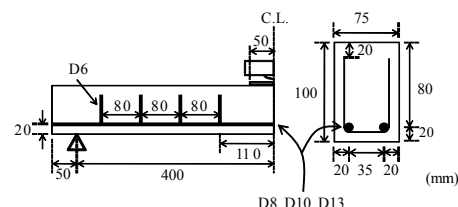


図-1 解析対象としたRC梁

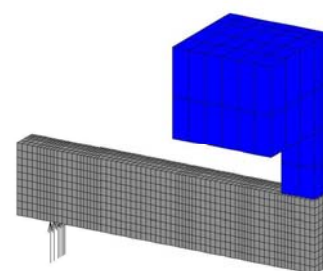


図-2 解析に用いたRC梁のモデル

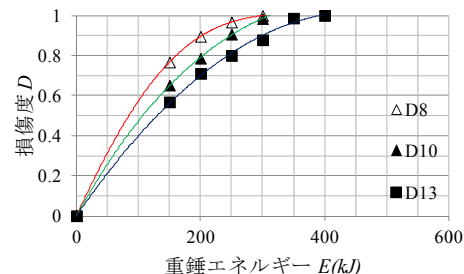


図-3 各主鉄筋径における重錘エネルギーと損傷度の関係

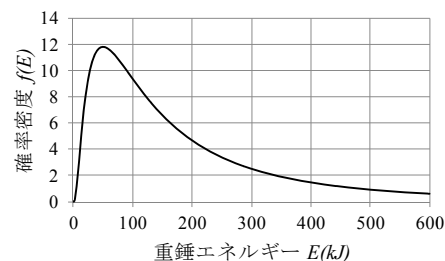


図-4 仮定した重錘の分布関数

キーワード 災害リスク、損傷度解析、破壊エネルギー

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 九州大学 TEL 092-802-3370

2.3 損傷率によるリスクの定量化

本研究では、ある外力の発生頻度の下、起こり得る損傷度の期待値を損傷率として定量化した。損傷率を求めるにあたって、2.1 で求めた損傷度解析と 2.2 で求めた外力発生頻度の結果から損傷度と超過確率の関係を導出した。この損傷リスク曲線の面積にあたるのが損傷率である。各主鉄筋径における損傷リスク曲線を表したものが図-6 であり、表-1 に各主鉄筋径における損傷率を示した。

3. 人間の意思決定を設計に反映させる手法に関する検討

3.1 重みと安心度を用いた目標設計値の設定に関する概念

防災構造物に関して、被災直後には安全性への注目が高まるが、時間の経過とともに、経済性との両立が求められることは容易に想定できる。そこで、これらの要求性能の変化を設計に反映させる手法について考察する。表-2 を参考に、被害レベルとコストの重みを α_i, α_2 とすれば、被害レベルの重み α_d 、コストの重み α_c は式(2)、式(3)のように与えられる。

$$\alpha_d = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2}$$
 (2)

$$\alpha_c = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$
 (3)

また、被害レベル、コストに関する安心度 β_d, β_c の定量化にあたり、表-4 のような数値を与えるると式(4)を用いて総合的な安心度 β_i が算出可能である。

$$\beta_i = \alpha_d \cdot \beta_d + \alpha_c \cdot \beta_c$$
 (4)

3.2 主鉄筋径の異なる RC 梁に対する安心度の試算

主鉄筋径の異なる 3 種類の梁の損傷率に対して安心度の変化を式(2)、式(3) および式(4)を用いて試算することを考える。まず、被害レベルとコストの重み関係について被災直後は $\alpha_1:\alpha_2=9:1$ (安全性を追求)、一定期間経過して冷静な判断(経済性も考慮)ができる場合には $\alpha_1:\alpha_2=5:5$ (安全性と経済性を両立) が成立すると仮定する。次に、各主鉄筋径の梁に対して、被害レベルとコストに関する安心度について考える。被害レベルに関して、損傷率から判断した梁の主鉄筋径 D8, D10, D13 の安心度 β_d がそれぞれ 0 (かなり不満), 0.5 (不満), 0.75 (少し不満) と仮定し、コストに関しては D8, D10, D13 の安心度 β_c が 1.1 (大いに満足), 1.0 (許容), 0.75 (少し不満) と仮定した場合、総合的な安心度の時間による変化は表-4 のように試算できる。このことから、本研究において仮定した条件下では、安全性に敏感な被災直後、また、経済性との両立を求められる一定期間経過後の両方において比較的高い安心度を得られるのは主鉄筋径 D13 の梁であることを定量的に表現することができた。

4. 結論

本研究では、衝撃荷重に対する損傷のリスクを定量化するとともに、人間の安心度を数値化し、それを設計に反映させるための手法に関する基礎的な概念について検討した。今後は、安心度を実際にどのようにして求めるか、また、設計に対する具体的な適用方法について考察を行い、本手法の有用性を確立していく必要がある。

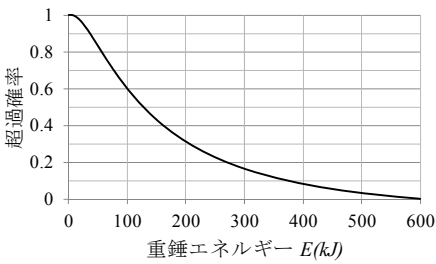


図-5 仮定した分布関数から求めたハザード曲線

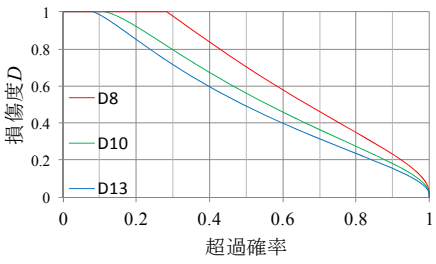


図-6 損傷リスク曲線

表-1 各主鉄筋径における損傷率

主鉄筋径	損傷率(%)	破壊吸収エネルギー(kJ)
D8	67	234 → 77
D10	57	300 → 129
D13	52	428 → 206

表-2 被害レベルとコストの重み関係

重み		言語表現
被害	コスト	
1	9	経済性を追求
3	7	どちらかというと経済性を追求
5	5	判断できない
7	3	どちらかというと安全性を追求
9	1	安全性を追求

表-3 安心度の数値化

言語的表現	大いに満足	許容	少し不満	不満	かなり不満
数値表現 β	1.1	1.0	0.75	0.5	0

表-4 安心度の時間による変化

主鉄筋径	被災直後	一定期間経過後
D8	0.11 (かなり不満)	0.55 (不満)
D10	0.55 (不満)	0.75 (少し不満)
D13	0.75 (少し不満)	0.75 (少し不満)