

地震による構造物の損傷発生時期と修復過程の違いを考慮した LCC 評価

会員種別 ○八木太朗*
会員種別 高田毅士**

LCC 補修シナリオ 地震被害
損傷確率

はじめに

地震リスクマネジメントの分野においてライフサイクルコスト (LCC) を建物の性能指標や設計案や補強案の選択基準として用いる研究が試みられており、地震に対する構造物の損傷を仮定し、損傷に対する修復コストを算定する手法が考えられている。しかし従来のライフサイクルコストを評価する試みでは損傷の発生時期や程度によらず建物の損傷は必ず補修するものとして費用が算出されることになる。このような仮定は必ずしも現実に即しているとは言えない。1995 年兵庫県南部地震コンクリート系建物被害調査報告書¹では鉄筋コンクリート系建物の被災度別にその後の処置方法を追跡調査した結果がまとめられているが、被災度が軽微な建物の半数以上、小破～大破の建物の 20～30%程度が被災後に特別な工事を施さない放置を選択している。また、大破においては 40%が撤去を選択している。このことはユーザーによって補修の要否に対する判断基準が異なることを示している。このように建物が損傷を受けたときにユーザーが必ず補修を施すとは考えにくい。損傷の程度や発生時期によってユーザーは補修を行わないことも考えられる。損傷度によるユーザーの補修の要否判断を取り入れた LCC 評価については高橋²がいくつかの補修シナリオに対する LCC の検討を行っているが損傷時期によるコストの変化や損傷に対するユーザーの対応が変化することが LCC に与える響を評価した例がないことから、本研究では損傷の程度や損傷の時期を考慮して定めた補修シナリオが異なる場合に構造物の LCC に及ぼす影響を評価する。

損傷時のコスト評価

t 年に損傷度 d の損傷が発生したときユーザーの対応は 1.補修を行う、2.補修を行わない、のどちらかと考えられる。それぞれの場合に応じてコストを定義する。

1.補修を行う、の場合には損傷に対するコストとして補修コスト C_{fd} を支払うこととする。

2.補修を行わない、の場合には補修コストは発生しないが損傷によってその後損なわれる利益 $B_d(T+t_0-t)$ をコストとして評価する。ここで B_d は無被害の建物から得られる年利益と損傷度 d の建物から得られる年利益の差であり、 T は建物の供用期間(年)、 t_0 は評価開始年である。

補修シナリオ

検討する補修シナリオを表 1 に示す。ここでは損傷度 d を 1,半壊、2.全壊の 2 つに設定し、一方の損傷度に対する対応を固定しもう一方の損傷度に対する対応を図 1 に示

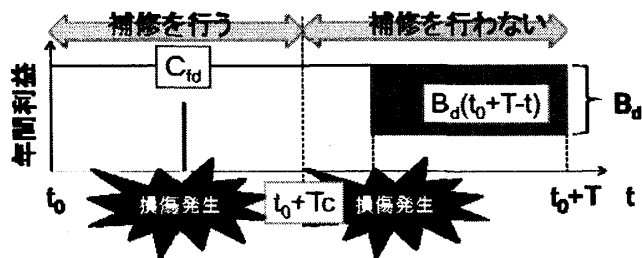


図 1 損傷時期とコスト

表 1 検討する補修シナリオ

	半壊したときの対応	全壊したときの対応
シナリオ 1	$t_0 + T_c$ 年まで補修それ以降は補修せず使用	補修
シナリオ 2	$t_0 + T_c$ 年まで補修それ以降は補修せず使用	放棄
シナリオ 3	補修せず使用	$t_0 + T_c$ 年まで補修それ以降は放棄
シナリオ 4	補修	$t_0 + T_c$ 年まで補修それ以降は放棄

表 1 解析に用いたパラメータ

初期コスト C_i	1.0
半壊補修コスト C_{f1}	0.5
全壊補修コスト C_{f2}	1.0
評価期間 T (年)	50
選択を変える時点 T_c	1~50 (1 年刻み)
半壊の年損傷確率 P_{f1}	0.0023
全壊の年損傷確率 P_{f2}	0.00068
半壊から全壊への年間損傷確率 P_{f12}	0.0257
半壊時の年利益差 B_1	0
全壊時の年利益差 B_2	0.01~0.2 (0.01 刻み、時間については一定)

表 3 村尾³ と組谷⁴ によるフラジリティのパラメータ

フラジリティの種類	λ	ζ
無被害から全壊	4.51	0.410
無被害から全半壊	4.07	0.514
半壊から全壊	3.173	0.649

Taro YAGI, Tsuyoshi TAKADA

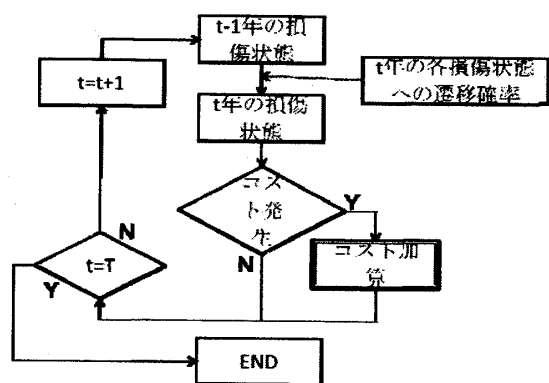


図2 解析フロー

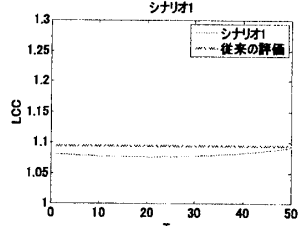


図3 シナリオ1の適用結果

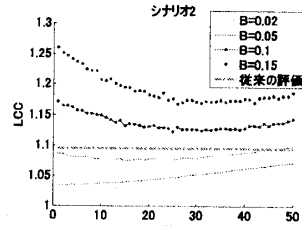


図4 シナリオ2の適用結果

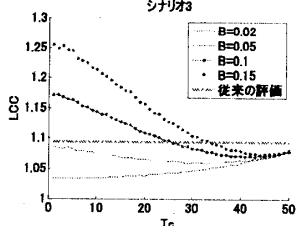


図5 シナリオ3の適用結果

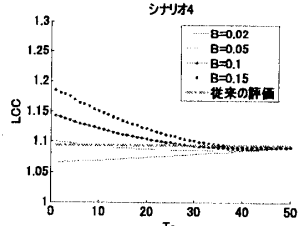


図6 シナリオ4の適用結果

すように $t_0 + T_c$ 年を境に変えるという4つのシナリオについて評価した。たとえばシナリオ1では半壊については図1のように発生が $t_0 + T_c$ 年より前ならば補修するが $t_0 + T_c$ 年以降ならば補修せず、全壊となった場合には発生時期によらず補修を行う。したがって $T_c = 1$ ならば発生時期によらず半壊の場合には補修せず、 $T_c = 50$ ならば発生時期によらず半壊の場合には必ず補修することとする。

適用例

仙台市における木造建物について前章で示した4つのシナリオについて評価した。解析に用いたパラメータを表2に示す。年損傷確率については本研究では神田らによるハザード評価の手法⁵を用いて解析した仙台市における確率論的地震動ハザードと、村尾³らの木造建物の無被害から半壊、無被害から全壊の損傷度をベースに半壊から全壊の損傷確率を評価した組谷⁴によるフラジリティカーブ(表3)から算出した。

解析はモンテカルロシミュレーションによって行った。図2に解析フローを示す。

適用結果

それぞれのシナリオの期待LCCを図3~6に示す。横軸は損傷に対する対応を変える年 T_c であり、縦軸は期待LCCである。各図の一点鎖線は従来の損傷の程度や発生時期によらず常に補修する場合の期待LCCを示している。

シナリオ1についてみると $T_c = 51$ で期待LCCは最大値をとっている。 $T_c = 20$ で最小値となり、そのときの期待補修コストは従来の評価に比べて15%ほど小さい。このシナリオではユーザーが半壊に対して補修を行わない期間があると従来のLCC評価は過大評価であるといえる。

シナリオ2~4では従来のLCC評価との差は B_2 の値によって異なる。 B_2 が小さい時には従来の評価より小さく、 B_2 が大きいほど大きくなる傾向にある。結果から $B_2 = 0.02$ 以下のときには損傷に対して常に補修を行わないことが期待LCCを最小にすることがわかった。またシナリオ3、4ではある T_c を設定することで B_2 によらず従来の評価より期待LCCを小さくすることができる。

結論及び今後の課題

本研究では損傷の発生時期と修復過程の違いを考慮したLCCの評価モデルを提案した。このモデルでは従来のLCC評価では考慮されていない次の点を考慮している。

- ・ 損傷発生時期による損傷による影響度の違い
- ・ 損傷発生時期によるユーザーの対応の違い

これらの点を考慮することで従来のいついかなる損傷を受けても必ず修復するという仮定の下でのLCC評価に比べて、より現実に即した評価を行うことができる。またユーザーに最適な対応シナリオを示すことができる。

また、適用例として仙台市の木造建物について4つの補修シナリオにもとづきモンテカルロシミュレーションを用いて期待LCCを評価し、ユーザーの損傷時の対応によって期待LCCの値が大きく異なることを示した。

本研究では1つ損傷度に対してのみユーザーの対応を時間によって変化させるシナリオを考慮したが、今後各損傷度に対して行うことで期待LCCを最小にする対応シナリオを提案することができる。またユーザーの損傷に対する傾向を把握し T_c の分布を与えることで地震被害によって発生する損害を従来の評価よりも現実に即した形で評価することができる。

参考文献

- 1 日本建築学会近畿支部鉄筋コンクリート構造部会：1995年兵庫県南部地震コンクリート系建物被害調査報告書、日本建築学会、1996.7
- 2 高橋典之、塩原等、小谷俊介：鉄筋コンクリート建物の補修シナリオを考慮したライフサイクル耐震修復経費、日本建築学会関東支部研究報告集I、No.73、pp351-354、2003.2
- 3 村尾修、山崎文雄：自治体の被害調査に基づく兵庫県南部地震の建物被害回数、日本建築学会構造系論文集、第527号、pp189-196、2000.1
- 4 組谷彰太郎：ハザード重畳を考慮した確率論的リスク評価手法、東京大学大学院修士課程修士論文、2007
- 5 神田順、他：地震危険度評価手法、<http://ssweb.k.u-tokyo.ac.jp/help/SHA.pdf>

*東京海上日動リスクコンサルティング(株)

**東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 教授・工博

* TOKIO MARINE & NICHIDO RISK CONSULTING Co.,Ltd.

** Prof., Graduate School of Eng., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.