

I-A158

時系列信頼性解析による劣化進行を有する
脆性構造システムの破壊プロセスに関する研究

茨城大学工学部

学生会員

金沢 勝治

同上

正会員

呉 智深

1. 本研究の背景および目的

近年の兵庫県南部地震により数多くの脆性構造物が露出され、様々な脆性破壊現象が発生した。この現象はこれまでの設計基準がこれらの破壊現象、および破壊プロセスをあまり重要視していなかったことが原因として挙げられるといっても過言ではない。これらのことを教訓に各種脆性化機構に関して十分に解析し、現在の安全対策の改善、防災対策、適切な補修および補修法などが早急に求められている。

本研究では荷重と部材の抵抗値という不確定要因がある確率分布に従うものと仮定し、時間依存性である脆性構造物の破壊現象に対して、マルコフ理論による時系列信頼性評価手法の有効性を検証する。また昨年の研究の発展として部材の抵抗値を時間とともに低下させ構造物の信頼性の推移を比較し、検証する。

2. 本研究の算定条件の定義

条件として荷重は時間 t の間に 1 回だけ発生するものとし、また荷重の発生時間は微小時間と仮定する。本研究では死荷重などは無視し、荷重の重複および連続的な発生は考慮に入れないものとする。そして部材の破壊は（荷重値 > 抵抗値）の場合に発生し、それ以外では何ら損傷しないものとする。また構造システムの破壊はその構造物が本来の機能を果たさなくなった場合であり、本研究のモデルにおいてはすべての部材が破壊した場合になる。時系列解析では $t = 1$ 年として 100 年間の信頼性を評価している。

実際の解析では図 1 のモデルを用いるわけだが、荷重は部材が破壊される度に再配分されるものとする。また破壊確率の算定手順は図 2 のモンテカルロシミュレーションのフロー図で示す。

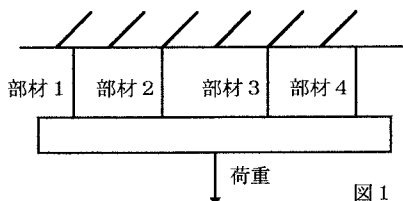


図 1

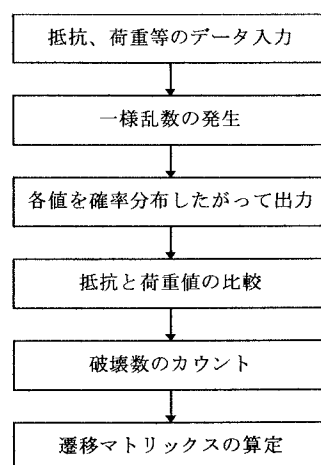


図 2

3. 時系列劣化を考慮した抵抗の定義

今までの研究では部材の抵抗値が時間に依存せず、得られる結果が非現実的ではないと思われる。そこで部材の劣化を時間の関数として、信頼性解析を行う手法を提示する。

まず部材の劣化式を次のように定義する。

$$R(t) = -a \times r \times t + R_0$$

$$R_{\min} = \frac{R_0}{2}$$

ここで R_0 : 初期抵抗、 $R_{\min}$: 抵抗の最小値、 a : 劣化率、 r : 一様乱数である。本研究では劣化が 20 年後に停止し、その後は最小値を維持するように劣化率を設定してある。また実際のプログラムでは劣化は 1 年間は変化せず図 3 のような階段状を示す。

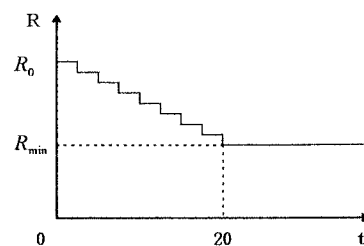


図 3

キーワード マルコフ理論 脆性構造物 モンテカルロシミュレーション

〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL 0294-38-6101 FAX 0294-35-8146

4. 信頼性評価手法

信頼性評価手法としてはマルコフ理論を適用する。ここでマルコフ理論の概要を説明すると一般的にある状態から他の状態へ遷移が生じる確率は、それ以前のすべての段階におけるシステムの状態に依存する。しかしその遷移確率が現在の状態でのみ決まると仮定したとき、その変化の過程をモデル化したものがマルコフ理論である。そしてシステムの現在の状態に遷移確率を掛け合わせたものが t 時間経過後の信頼性になる。部材の劣化を考慮に入れる場合はその時間毎の遷移確率行列を求め、そのすべての行列の積で信頼性が評価できる。時間 t 経過後の遷移によるシステムの状態確率の一般式を次式に示す。

$$T(t) = P(t) \cdot P(t-1) \cdots P(3) \cdot P(2) \cdot P(1) \cdot \begin{pmatrix} p_1(0) \\ p_2(0) \\ \vdots \\ p_n(0) \end{pmatrix}$$

ただし部材の劣化を考えない場合
 $P(t) = P(t-1) = \cdots = P(3) = P(2) = P(1)$

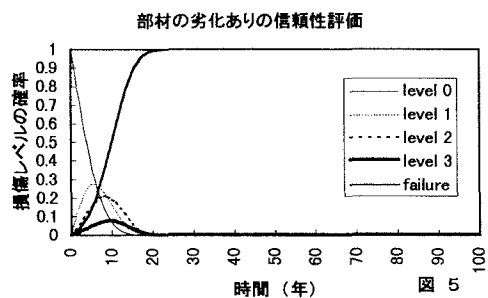
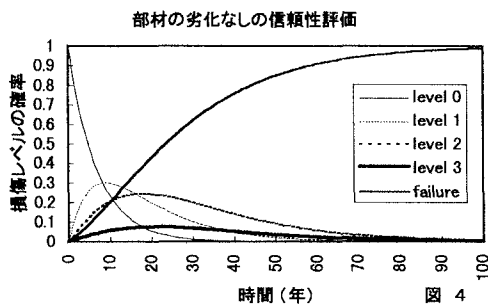
5. 解析結果

図1に示されている構造システムについての信頼性を解析する。部材および荷重の状態を示すデータを表1に示す。これによって得られた脆性構造モデルの時系列信頼性を図4、5に示す。

考察として部材が劣化しない場合に比べ、劣化する場合は全体的に曲線が左の方へ遷移している。そして破壊を示す Failure の曲線は劣化を考慮していない場合に比べ考慮している場合は2倍程度の確率の高さを示していることがわかる。またこの構造物の破壊確率が20年後にほぼ1に近い値を取り部材の劣化の最小値の設定時間と同じ値である結果から、構造物の信頼性は部材の劣化曲線に大きく依存することがわかる。このことから今後部材の劣化曲線の定義式をさらに詳細に表現する必要がある。そのため破壊力学を用いたクラックの進展の時間—荷重の関係を示す理論的な解析手法等の導入が今後必要であると思われる。また部材レベルでの補修計画を考慮に入れた信頼性評価も今後検討が必要である。

	部材 1	部材 2	部材 3	部材 4	荷重
平均	0.5	0.7	2.0	1.0	1.2
標準偏差	0.1	0.21	0.4	0.1	0.48

表 1



6. 結論および課題

脆性部材により構成される構造物の部材単位での破壊過程をマルコフ理論を適用することにより、構造物の時系列信頼性を表現することができた。また部材の劣化を時系列的に表現し、信頼性を検証することによってより詳細な破壊プロセスを提示することができた。

これからの課題としては、対象とする部材の脆性破壊プロセスを詳細に克服するため破壊力学等を適用したさらなる検証の必要性がある。また複雑な構造物への適用、補修計画、防災システムを考慮に入れた信頼性評価も考えている。

参考文献

1. 金沢他：時系列信頼性解析による脆性構造システムの破壊プロセスに関する研究、土木学会第52回年次学術講演会講演概要集 I-A150 pp298-299, 1997.9
2. Sankaran Mahadevan: Time-variant reliability of brittle structural systems Journal of Engineering Mechanics, Vol.121, No.3, March, 1995