

1. はじめに

残存供用期間中の構造物の劣化進行とその間に見舞われる地震災害危険度から、採るべき耐震対策の合理的決定法について検討した。

レベル2地震動が設計荷重として導入する以前の耐震設計基準を旧基準とすると、施設の管理者は旧基準で想定していなかったレベル2地震動で事故が発生しても管理者に起因する過失がない限り免責される。しかし、施設管理者はすでに新しい基準が施行されていることを知っており、担当施設に対して管理者の置かれた制約条件の中で実行可能な性能設計を行うことができるはずである。この場合、性能設計を実施しなかった場合の破壊確率と実施した場合に改善する破壊確率の差異について検討した。

本研究では経年腐食が進行する構造物として水門を検討対象とする。

2. 解析手法

2.1 モデル化

構造物のモデル化

図1は構造物が鋼板で出来ているとし、その最大応力発生部位付近の腐食状態をモデル化したものである。

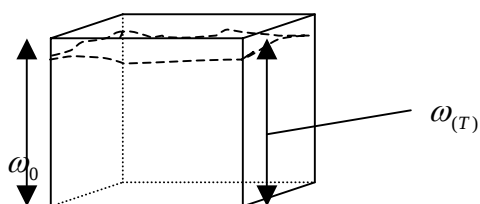


図1．表面が腐食した構造物モデル

劣化パターンのモデル化

構造物断面は海水による腐食により断面は減少する。腐食による鋼板減少量は次式でモデル化できるとする。

$$\omega_{(T)} = \omega_0 - aT^C = \omega_0 \left[1 - \frac{aT^C}{\omega_0} \right] = \phi_{(T)} \omega_0 \quad (1)$$

ここで、 ω_0 ：初期の板厚

ここでは、議論を簡単化するため、構造物に発生する最大応力は地震時動水圧に起因する曲げモーメントによる曲げ応力であると仮定する。このとき、時刻Tにおける応力 $\sigma_{(T)}$ は次式で表される。

$$\sigma_{(T)} = \frac{1}{\phi_{(T)}^2} \sigma_D \quad (2)$$

ただし、 σ_D ：設計時の応力

2.2 定式化

構造物の残存強度の定式化

地震後の補強対策として、補強・補修を行わない（パターン1）、初期強度レベルまで補修する（パターン2）、残存供用期間中のレベル2地震動に対して十分な強度まで補強する（パターン3）の3案（図2）を想定する。

それぞれのパターンに対応する構造物の残存強度 $R_{(T)}$ は次式で求められる。

パターン1・・・ $R_1 = \phi_{(T)1}^2 R_0$

パターン2・・・ $R_2 = \phi_{(T)2}^2 R_0$ (3)

パターン3・・・ $R_3 = \phi_{(T)3}^2 R_0$

ϕ ：板厚減少率 R_0 ：初期強度

図2に3パターンの概念図を示す。

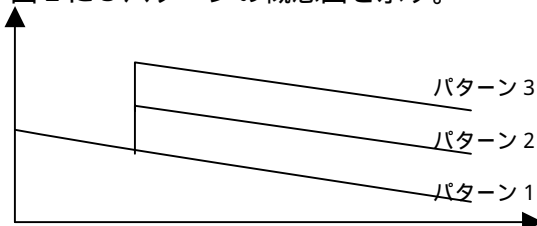


図2．3パターンの概念図

破壊確率の定式化

いま、旧基準において5%,95%非超過確率の特性値R,Sに対する安全率S.Fで設計された構造物はレベル1地震動に対する耐震設計がなされていたとする。このとき、構造物の初期強度は次式で求められる。

$$\mu_{R_0} = \mu_{S_1} + \beta_0 \sqrt{\sigma_{R_0}^2 + \sigma_{S_1}^2} \quad (4)$$

ただし、初期安全指標は次式より算定する。

$$S.F = \frac{1-1.645\delta_R}{1+1.645\delta_S} \cdot \frac{1+\beta_0\sqrt{\delta_R^2+\delta_S^2-(\beta_0\delta_R\delta_S)^2}}{1-\beta_0\delta_R^2}$$

ただし、 δ_x は確率変数 x の変動係数。

このとき、レベル1、レベル2地震動を受けた構造物の破壊確率は次式で求められる。

$$Pf_1 = P[R_{(T)} < S_1 | EQ_1] = \Phi[-\beta_1] \quad (5)$$

$$Pf_2 = P[R_{(T)} < S_2 | EQ_2] = \Phi[-\beta_2]$$

ここで、

$$\beta_1 = \frac{\mu_{R(T)} - \mu_{S1}}{\sqrt{\sigma_{R(T)}^2 + \sigma_{S1}^2}}, \quad \beta_2 = \frac{\mu_{R(T)} - \mu_{S2}}{\sqrt{\sigma_{R(T)}^2 + \sigma_{S2}^2}} \quad (6)$$

リスクの定式化

前述の3パターンに対応する供用期間中の全コストを比較する。いま、各構成コストを以下のように定義する。

(1) 初期投資 C_1

構造物を建設するときに発生したコスト

(2) 耐震補修 C_2

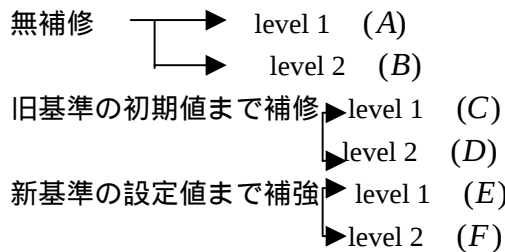
旧基準に従うような耐震補修

(3) 新基準まで補強 C_3

新基準に従うような耐震補強

(4) 損失コスト C_4

地震動により構造物が崩壊したときの損失コスト。



$$(A) \quad C_1 + Pf_A \cdot C_4$$

$$(B) \quad C_1 + Pf_B \cdot C_4$$

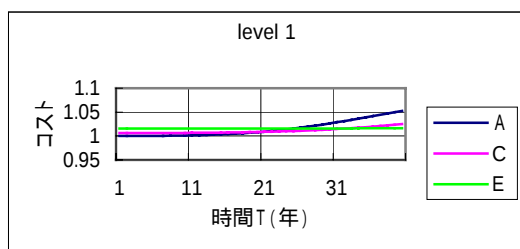
$$(C) \quad C_1 + C_2(\Delta R_C) + Pf_C \cdot C_4$$

$$(D) \quad C_1 + C_2(\Delta R_D) + Pf_D \cdot C_4 \quad (7)$$

$$(E) \quad C_1 + C_3(\Delta R_E) + Pf_E \cdot C_4$$

$$(F) \quad C_1 + C_3(\Delta R_F) + Pf_F \cdot C_4$$

3、数値計算と考察



図—3.1 レベル1時の時間Tとコストの関係

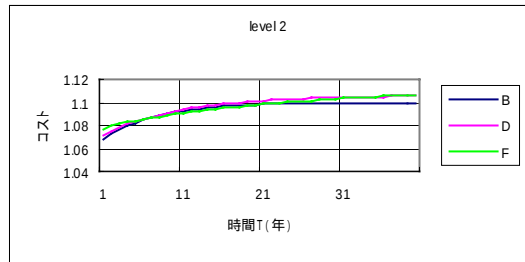


図4 レベル2の時間とコストの関係

二つの図にレベル1, 2を分けて表示してある。現在の強度と構造物建設時の初期強度 R_0 の差を補強にかかるコストに乗してコストの違いをだしてみた。結果レベル1地震動を想定した場合は時間が経過するにつれおのおののコストが増加し、共有期間が長いほど新基準に従った補強をしたほうが期待値が小さくなり、グラフはきれいに描けたのだが、レベル2の場合は、各パターンの破壊確率が思っていた以上に高く100%の値に限りなく近づいてしまい、リスクの期待値を表したグラフではパターン1、パターン2とともにある値より上がらなくなってしまい、終始パターン3の期待値が他のより高くなってしまった。各パターンの期待値が一定だと仮定してグラフを作成すればレベル1のグラフと同じような結果が得られたと思われる。

4、結論

結論として各パターンのリスクを算定し現段階での最適な耐震投資パターンを決定する。各パターンのリスクをグラフ化すると時間Tの長短によって最適なパターンが異なっていることがわかる。

参考文献

- 1) Melcheres, R.E.: Structural Reliability Analysis and Prediction
- 2) 星谷 勝、中村 孝明：地震リスクマネージメント
- 3) 田代嘉宏：確率と統計