

ラーメン橋脚の耐震安全性に関する確率論的評価

京都大学工学部 正員 山田善一 京都大学大学院 学生員 野田 茂  
 京都大学大学院 学生員 小笠原洋一

1. まえがき

土木構造物の安全性に対する社会的要求が高まる中で、最適な破壊確率の設定による設計を可能にするためには、材料強度・外力などの客観的ならびに主観的不確定要因を明らかにする必要がある。また従来、構造物の信頼性解析は抽象的なモデルで推定が行われており、設計基準を必ずしも保証していない。定量的立場からも、本報告は不規則な地震動を受ける実際構造物の適用例について述べたもので、破壊確率に与える種々なパラメータの効果を確率過程論と静的解析による連鎖崩壊の応用で試みた。

2. 破壊確率の算定

対象構造物はFig.1のピア-とタワーである。

まず、強震動を震度法的な考え方で静荷重に置換し、古典的信頼性理論からモデルの破壊現象を実際設計における評価基準として設定した。構造物の破壊のパターンを座屈と降伏で分類して破壊の追跡を行ない、強度保証による系の非破壊効果の拳動をパラメトリックに調べてみた。算定式は省略する。

一般に、構造物の耐用年内に1.2度来襲する強震動のパワーは統計的に不規則で不明量であろう。この場合、接地点入力動・材料強度が正規定常確率過程で独立すると、F.E.M.と確率過程論を用いて真の破壊確率Qは強度の余裕 $\bar{z}_i$ によって次式で推定される。

$$Q^* \leq Q \leq Q^* \quad (1) \quad Q^* = \int_0^{\infty} (1 - [1 - F_z(\phi/s_i)] \exp[-P(\phi/s_i)]) dF_s(s_i) \quad (2)$$

$$Q_i = \int_0^{\infty} Q_i(s_i) dF_s(s_i) \quad (3) \quad Q^{**} = \max(\dots, Q_i, \dots) \quad (4)$$

$$F_z(\phi/s_i) = 1 - \prod_{i=1}^n \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\bar{z}_i^2}{\sigma_{z_i}^2}\right) \right] \quad (5)$$

$$P(\phi/s_i) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\sigma_{z_i}^2}{2\pi} \exp\left[-\frac{\bar{z}_i^2}{2\sigma_{z_i}^2}\right] \prod_{j=1}^n \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\bar{z}_j^2}{\sigma_{z_j}^2}\right) \right] \right) \quad (6)$$

$$Q_i(s_i) = 1 - \frac{1 - \exp\left(-\frac{\bar{z}_i^2}{\sigma_{z_i}^2}\right)}{\exp\left\{\frac{\pm \sigma_{z_i}^2}{2\pi} \exp\left(-\frac{\bar{z}_i^2}{2\sigma_{z_i}^2}\right)\right\}} \quad (7)$$

この結果地震危険度に対する一つの確率的評価ができる。

3. 計算例と結果

a) 静的解析による場合 ピア-の保証強度による非破壊効果の検討をFig.2に示すが、保証強度レベルに対する破壊のSensitivityはあまりない。ただ強度の大きな変動で

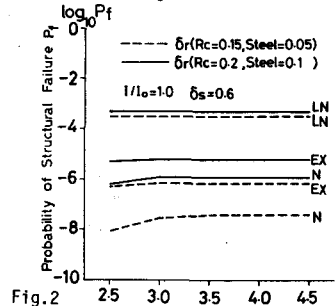
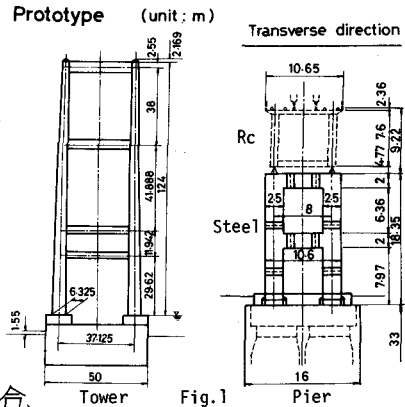


Fig. 2 Influence of Proof Load Level on Probability of Structural Failure

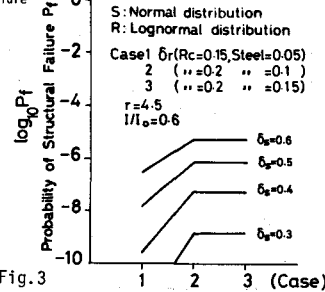
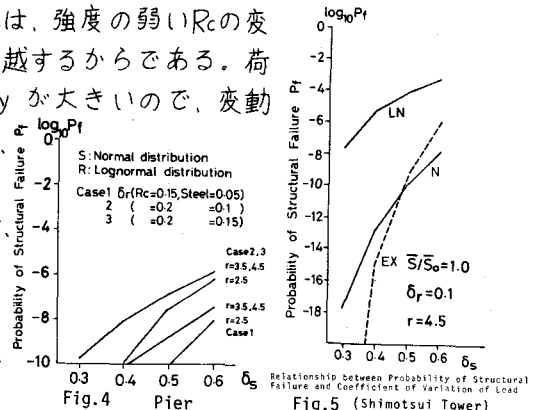
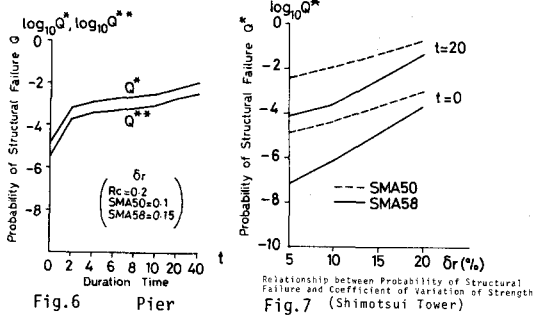


Fig. 3 Influence of Coefficient of Variation of Strength on Probability of Structural Failure (Rahmen Type's Pier)

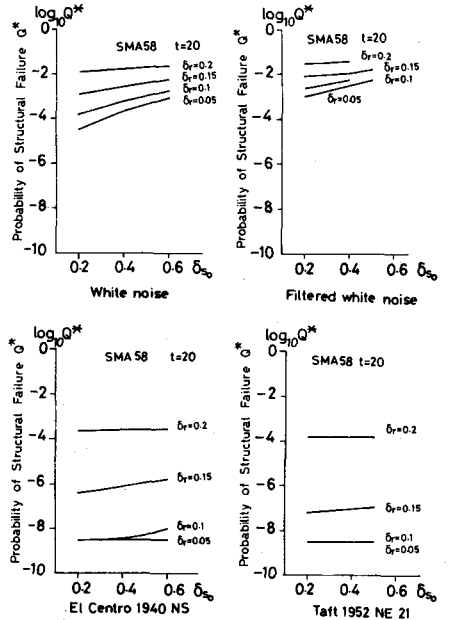
かつ荷重分布が Normal のとき、信頼性向上効果がみられる。また荷重分布形状の特徴より、LN.の場合に破壊確率が大きい。Fig.3によると Case 1 と 2 の強度の変動で破壊に差を生じているが、Case 2 と 3 ではそうでもない。これは、強度の弱い  $R_c$  の変動による破壊への効果が鋼のばらつきよりも卓越するからである。荷重の変動が小さいと系の破壊に対する Sensitivity が大きいので、変動を小さく見積もる場合には注意を要する。また、保証強度を上げれば、信頼性向上効果が Fig.4 からかなり高まることを確認できる。この場合、部材強度の変動が小さくて、逆に荷重の変動が大きいても安全度が高い。Fig.5 はタワーの結果である。破壊確率は作用荷重の分布の変化に強く影響を受けており、その変動が大きいと差が接近してくる様子を示している。



b) 動的解析による場合 Fig.6 は White noise 地震を受けるピア-の  $Q^*$  と  $Q^{**}$  を示したもので、両者の確率の差より真の破壊確率は容易に類推されよう。また  $\delta_r$  と同様に  $R_c$  の系全体の破壊確率に占める割合が大きいこともわかった。タワー-鋼材の種類による破壊への影響が Fig.7 である。SMA58 の材料強度の変動で破壊が敏感に変化している。Fig.8 は地震動の本来有しているパワーの強さが不規則であると仮定して求めた  $Q^*$  を示している。強震記録よりも擬似外乱での破壊が大きい。強震記録による破壊確率は強度の変動が 10% を超過すると急に増大し、15% から 20% へ 5% 増えるだけで 10<sup>3</sup> 倍も大きな確率となる。逆に、擬似外乱の作用では強度の変動の影響をそれほどみない。しかし、そのばらつきが小さいほど、地震動のパワーの変動に大きな影響を受けている。



4. あとがき  
本報告は特に更構造物の経済的設計の観点から部材強度・外力の不確定要因が大きく耐震安全性に影響することを確認した。更用上からもこれらの効果を設計法にどのような形で取り入れるか、今後の問題である。他の結果は当日報告する予定である。



1) D.Veneziano et. al. ; ASCE, ST1, April, 1978      2) 白木・