

疲労寿命の不確実性を考慮したコンクリート橋梁部材の 耐疲労信頼性評価法に関する基礎的研究

広島工業大学工学部 正会員 ○中山 隆弘 第一技研 林 雄作 安部工業所 森本 仁

1. まえがき いかなる材料でも、その疲労寿命には大きなばらつきが存在する¹⁾。しかし、高性能のコンピュータが普及し、かなりの実験データの集積があるにもかかわらず、その供用期間中に過酷な不規則変動荷重を受ける橋梁部材の疲労破壊に対する安全性照査においては、一部の研究^{2), 3)}を除き、いまだ確定論的あるいは準確率論的な照査がなされるのが一般的である。しかし、近年の国際的な動向を見れば、構造設計における安全性の照査が構造信頼性理論をベースにして行われようとしていることが分かる⁴⁾。また、徐々にではあるが、ライフサイクルコスト (LCC) を考慮した建設計画も普及しつつあり⁵⁾、統計的な予測の容易な現象については LCC を最小とする最適設計が可能であるとの指摘もある⁶⁾。

本研究はこのような状況に鑑みて行われたもので、発表者のこれまでの研究成果^{7), 8)}と他の研究者によって上げられた成果⁹⁾等を基にして、コンクリート橋梁部材の交通荷重による耐疲労信頼性について検討することが主たる目的である。今回は、発表者の知る限り、これまでほとんど議論がなされていない問題、すなわち各応力振幅の疲労寿命の相関性と不規則変動荷重を受ける構造部材の耐疲労信頼度との関係について基礎的な研究を行った。

2. 既往の研究 鋼材にしるコンクリート材にしる、これまでの研究によって、それらの疲労寿命にかなりのばらつきがあることは周知の通りである。ここでは、西林・阪田・井上によって行われたコンクリート材に対する疲労試験の結果⁹⁾を示し、さらに、変動荷重を受けるコンクリート部材の破壊確率の算定法に対して最近行われた吉川・中林・山内⁸⁾および対象は鋼構造部材であるが、吉川らのようなシミュレーション手法ではなく、安全性指標を用いた Okura・Watanabe・Ishikawa²⁾の研究概要について述べる。

2.1 一定振幅の応力下におけるコンクリート材の疲労寿命 西林らの疲労試験結果⁹⁾を整理した結果が表-1 である。表中の応力比は、コンクリートの圧縮強度の平均値に対する応力振幅の比である。この表より明らかなように疲労寿命の変動係数は極めて大きく、78%から 100%に達している。確率分布形としては、ワイブル分布もしくは対数正規分布に従うとしている。

2.2 変動荷重を受けるコンクリート部材の疲労破壊確率の評価 吉川らはマイナー則をベースにして、作用応力の頻度分布と S-N 曲線が与えられたときのコンクリート部材の疲労破壊確率をモンテカルロ・シミュレーション法によって算出する手法を提案している³⁾。本研究と並行して、著者らもその手法によりシミュレーションを試みた。紙面の都合上、解析条件は文献 3) に委ねるが、結果の一部を図-1 に示す。図中のマイナー数は一定応力振幅下の疲労寿命の期待値を用いて求められる、言わば「期待累積損傷度」あるいは「期待疲労損傷度」である。図より、疲労寿命の変動係数が破壊確率に極めて大きく影響を及ぼしていることが理解できる。

2.3 新しいパラメータによる道路橋の耐疲労信頼性評価 大倉らも変動応力下における材料の疲労寿命評価則であるマイナー則と、構造信頼性解析法のひとつである AFOSM 法を用いて、供用開始後の走行車両による鋼橋の疲労破壊に対する信頼度を評価する手法を提案している²⁾。ここでは、ある条件下で求められたプレートガーダーの下フランジと縦補剛材の溶接部の耐疲労信頼度の評価結果を文献 2) より引用して図-2 に示す。横軸の $\Psi 1t$, $\Psi 1d$ は供用期間における車両の交通量や荷重強度の経年変化に関係するパラメータである。図より横軸が 1 のとき、すなわち供用期間の最終年における安全性指標 β が 2 (破壊確率にすれば約 2.3×10^{-2}) であることが分かる。

3. 一定応力振幅における材料の各疲労寿命間の相関性と変動応力下での耐疲労破壊信頼度との関係 上述の吉川らや大倉らの研究では、一定応力振幅における材料の各疲労寿命間には完全な相関性が成立するとしている。一方、横堀¹⁾が主として鋼の疲労問題について調査した結果によれば、疲労寿命のばらつきは、応力振幅の減少によって著しく増す。仮にこのことを是認すれば、前述の仮定は成り立たないことになる。したがって、本研究では材料が図-3 に示す 3 段の繰返し応力を受けるとして、大倉らと同様、マイナー則と AFOSM 法によって、一定応力振幅における材料の各疲労寿命間に完全な相関性が成立するとした場合と完全にそれらが独立とした場合の 2 ケースについて耐疲労破壊信頼度の評価を試みた。あくまで数値解析による検討ということで、各応力振幅に対する疲労寿命の平均値は適当に仮定し、変動係数としては、0.2, 0.4, 0.6 および 0.8 の 4 ケースを考えた。さらに、確率分布形としては正規分布とワイブル分布の 2 種類を想定した。

ワイブル分布とした場合の解析結果を図-4(a)～(b)に示す。両図の比較により、まず期待疲労損傷度が 0.30 から 0.80 の範囲では、疲労寿命の変動係数が極めて破壊確率に大きな影響を及ぼしていること、また、一定応力振幅における材料の各疲労寿命がそれぞれ完全に独立であるとした場合と完全相関とした場合との破壊確率の差異は、疲労寿命の変動係数によって異なることが分かる。

4. まとめ 今回は極めて簡単な数値モデルによって、疲労寿命のばらつきが疲労破壊確率におよぼす影響を検討した。今後本手法をより実際問題に近い対象に適用して、例えば、道路橋の LCC 計画などへの応用を考えたい。

表-1 コンクリートの疲労寿命のばらつき

応力比(%)	70	75	80	85
平均値(回)	735628	237872	12357	1004
標準偏差	635462	219416	9564	1058
変動係数	0.864	0.922	0.774	1.054

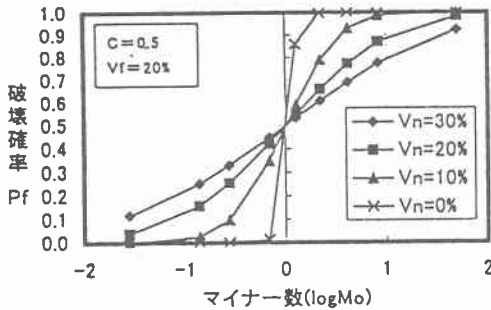
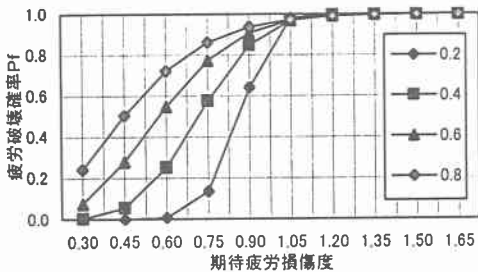


図-1 変動荷重を受けるコンクリート部材の疲労破壊確率



(a)独立と仮定した場合

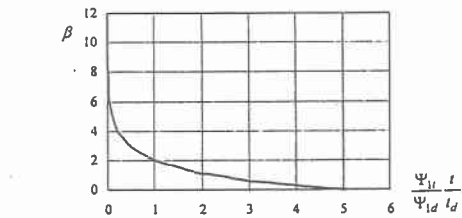


図-2 変動荷重を受ける鋼溶接部の疲労破壊に対する安全性指標

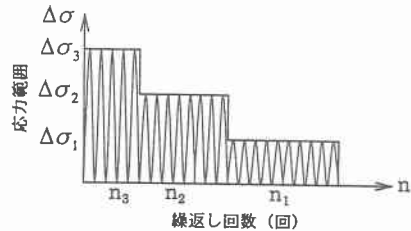
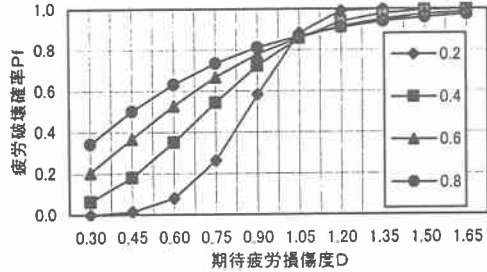


図-3 3段繰り返し応力



(b)完全な相関性があると仮定した場合

図-4 各応力振幅に対する材料の疲労寿命の相関性と疲労破壊確率との関係

【参考文献】

- 1) 横堀武夫:材料強度学(第2版), 1974. 10. 2) I.Okura, H.Watanabe, T.Ishikawa: Fatigue Reliability Assessment of Highway Bridge Using New Parameters, Structural Safety and Reliability(Proc. of ICOSSAR'97), Balkema, Rotterdam, pp.1889-1896, 1998. 3) 吉川弘道, 中林秀和, 山内洋志: 変動荷重を受けるコンクリートのマイナー数の評価と破壊確率に関する基礎的考察, 土木学会論文集, No. 520/v-28, pp. 259-268, 1995. 8. 4) ISO2394: 構造物の信頼性に関する一般原則 5) 土木学会構造工学委員会: ライフサイクルコストに関するワークショップ, 1999. 11. 6) 安田 登: 電力土木構造物へのライフサイクルコストに関する検討の現状, 4)の pp. 6-10. 7) 中山隆弘, 川谷充郎, 車谷真吾, 古岩功三: 交通車両による振動の影響を考慮した道路橋の信頼性工学的疲労損傷予測, 材料, Vol. 47, No. 12, pp. 1239-1244, 1998. 12. 8) 古岩功三, 中山隆弘: 交通荷重を受ける橋梁部材の耐疲労信頼性評価法に関する基礎的研究, 第 51 回土木学会中国支部研究発表会講演概要集, I-33, pp. 65-66, 1999. 6. 9) 西林新蔵, 阪田憲次, 井上正一: 変動荷重下におけるコンクリートの疲労特性に関する研究, 材料, 第 31 巻, 第 350 号, pp. 1114-1120, 1982.