

東京大学 学生員 山脇 良雄

東京大学 正 員 佐藤 尚次

東京大学 正 員 西野 文雄

1. はじめに

現在、骨組構造物の設計に対しては、一般に弾性理論に基づき構造解析が用いられている。これに対して、塑性理論に基づき解析法も各種の設計法が使われている¹⁾。この両者の解析法に対して、一般に終局耐力に関しては塑性解析のほうが弾性解析よりも優れていると信じられているように思われる。したがって、現在弾性解析を許している場合でも、設計論的にそれがよいという理由からではなく、実用に便利で大きな不都合はないなどといった消極的理由によるものと思われる。しかし、このようにこの2つの解析法の明確な比較は行なわれていない。本研究では、弾性及び塑性解析に基づいて材料配分を行ない、両解析法による配分方法の優劣を比較する二ヒを試み、その比較を行ない判断する基準として、与えられた一定の材料のもとで、ある載荷荷重に対して破壊確率が最小となるような材料配分となっているものが最適であるという基準を考える。この基準のもとで、弾性解析および塑性解析に基づいて設計した構造物に対して数値計算を行ない、破壊確率を調べてみる。

2. 破壊確率の計算

対象とする構造物モデルとして、橋梁構造物によく現れる変断面ばり構造を取りあげ、2径間連続ばり、および先端を支持した片持ばりに、等分布荷重・移動荷重のみが載荷する問題を取り扱う。(図-1参照)

考えている構造物に対して、弾性解析および塑性解析により抵抗モーメントの配分を行なう。ここで、総材料は一定であるという条件は、抵抗モーメントの総和が一定であるという条件と近似する。別として、2径間連続ばりでの設計結果を図-2に示す。

破壊条件として、次の2つのものを取りあげて、これらの条件における構造物の破壊確率を計算して両解析法を比較する。

I. ある1つの断面の作用モーメントが抵抗モーメントの限界値に達した時

II. メカニズム状態を構成した時

破壊確率を計算するにあたって次の仮定をおく。

1) 変断面はりの各要素の抵抗モーメント M_{Ri} は、互いに独立な確率変数であるとし、その確率分布は正規分布に従うものとする。

2) 荷重値 w は、確率変数ではなく確定量として取り扱う。

3) 等分布移動荷重の先端の位置はスパン上に一様に確率分布する問題を取り扱う二ヒとし、異なる載荷状態は互いに独立であるとする。これは道路橋上での交通事故を想定した仮定であり、この載荷状態は実際の荷重条件でも最も厳しいものがあると思われる。

4) はりの曲げ剛性は抵抗モーメントに比例する。

5) 自重は考慮しない。

これらの仮定は、破壊確率を比較する立場からすれば本質を失うものではない。数値計算では、荷重値 $w=1.0$ 、スパン $l_0=1.0$ 、スパンあたりの抵抗モーメントの総和 $\sum M_{Ri}=0.1638$ の値を用いて計算を行なった。

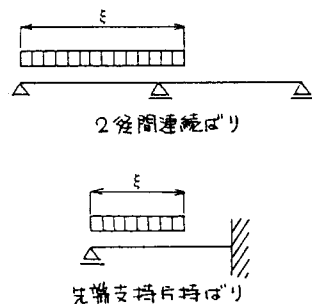


図-1 構造物モデルと作用荷重

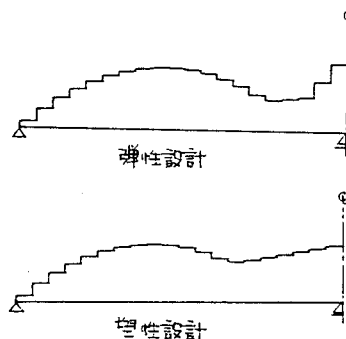


図-2 2径間連続ばりでの抵抗モーメントの分配形状

3. 数値計算例Bの考察

荷重の載荷長が ξ であるときの破壊確率を $P_f(\xi)$ とすると、3)の仮定により、構造物全体としての破壊確率 P_f は、橋長を L として $P_f = \frac{1}{L} \int_0^L P_f(\xi) d\xi$ により与えられる。図-3、図-4は2径間連続ばり、先端支持片持ばりにおける $P_f(\xi)$ と両解析法について比較したものである。添字の1, 2はそれぞれ破壊条件I, IIに対応する。全体としての破壊確率 P_f は二の曲線の下面積に相当する。

この結果を見ると、破壊条件Iについては、どちらの構造物形式においても弾性設計のほうが塑性設計よりも P_{f1} は小さくなっている。破壊条件Iでは、変断面はりの各断面が弾性状態にあるときに作用するモーメントが重要であるので、設計段階でこれを考慮している弾性設計のほうが破壊確率が小さくなるのは当然であると言える。

破壊条件IIでは、2径間連続ばりの場合には破壊確率 P_{f2} は、塑性設計の場合、 $P_{f2} = 1.92 \times 10^{-3}$ であり、弾性設計の $P_{f2} = 3.17 \times 10^{-3}$ よりも小さくなっている。一方、先端支持片持ばりでは、弾性設計のほうが塑性設計を下まわっている。二山より、メカニズム状態を構成したときも破壊と考える場合でも、必ずしも塑性解析による強度の分配が破壊確率を小さくするとは限らないことがわかる。断面の塑性化も考慮した場合、最初の塑性ヒンジが形成されるとモーメントの再分配が起こり、それによって2つめの塑性ヒンジが生じたときに、メカニズム状態を構成される。したがって、破壊条件IIでは、モーメントの再分配状態の破壊確率 P_{f2} への影響が大きいが、設計に際してこれは考慮していない。上記の計算例に対してこの面から検討を加え、考察し、2径間連続ばりにおいて、モーメントの再分配を考慮した強度の分配を試みた。図-5にその分配形状を示す。このように強度配分された設計に対して破壊確率を計算すると $P_{f2} = 1.83 \times 10^{-3}$ となり、弾性解析、塑性解析による設計のどちらよりも P_{f2} が小さくなるという結果を得た。

4. まとめ

数値計算例により、塑性解析による材料配分が終局耐力に関して、必ずしも優れているとは限らないということが明らかになった。さらに、弾性解析、塑性解析による材料配分以外に最適配分が存在する場合がありうる。このように、破壊確率の面から設計法の優劣を考える手は、今後更に発展するに期待される。

【参考文献】

1) 塑性設計小委員会：塑性設計の現状と将来の展望

JSSC, Vol. 3, No. 15, 1967-3

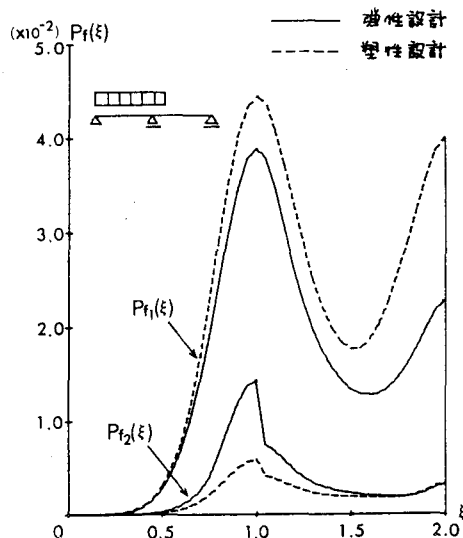


図-3 2径間連続ばりにおける $P_{f1}(\xi)$ と $P_{f2}(\xi)$ の分布

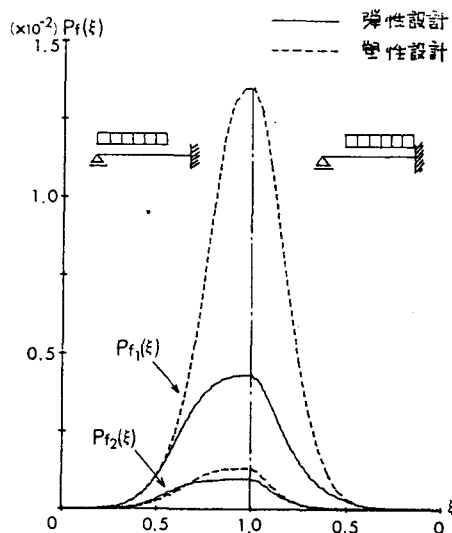


図-4 先端支持片持ばりにおける $P_{f1}(\xi)$ と $P_{f2}(\xi)$ の分布



図-5 モーメントの再分配を考慮した
最終モーメントの分配形状