

単柱型橋脚と門形ラーメン橋脚の弾塑性域における破壊確率の比較

中央大学工学部土木工学科 学生会員 中本 啓
 中央大学工学部土木工学科 学生会員 石原 弘隆
 中央大学工学部土木工学科 学生会員 星井 秀之
 中央大学工学部土木工学科 正会員 佐藤 尚次

1. 緒言

図-1 に示すような単柱型橋脚と一層門形ラーメン橋脚を考える。弾性限界、座屈限界状態に基づく許容応力度設計法の範疇では、単柱型橋脚の方が経済設計となる事が多いようであるが、不静定構造である門形ラーメン橋脚は塑性状態での余裕があり、単純にこれらと比較するのは難しい。ここでは3径間連続非合成箱桁を支える鋼製橋脚において、この二つの橋脚形式が建設にほぼ同じだけの材料を必要とする時、つまり体積が同一であるという設計条件の下で、モンテカルロ法により破壊確率を算出、比較する事でどちらの橋脚形式を採用すべきか検討する。

まずは、二つの橋脚形式を共に許容応力度設計法で設計し、弾性域に限定した場合で破壊確率を算出、比較する。次に、一部が塑性ヒンジ化した後も耐力保持が期待できる門形ラーメン橋脚についてのみ、塑性域を踏まえて「重量最小化」と「耐力最大化」の多目的最適設計を考える。そこで改めて同体積の単柱型橋脚と破壊確率を比較する事で、塑性域までを対象とした検討を行う。

2. 弾性域における破壊確率

各橋脚形式を許容応力度設計法によって設計する場合は、図-2 に示すように断面板厚を設計する。その方式としては、補剛材を用いない代わりに柱部と梁部のそれぞれ適当な場所で変断面を用いた。断面板厚の算出結果を表-1 に示す。「体積を同一にする」という条件がある為、単柱型橋脚の方が強度に余裕のある設計となった。

破壊確率を算出する際に用いる性能関数は、設計の支配方程式である安定照査式と応力度照査式を変形して用いた。算出された破壊確率を表-2 に示す。結果より単柱型橋脚の方が地震荷重に対して破壊確

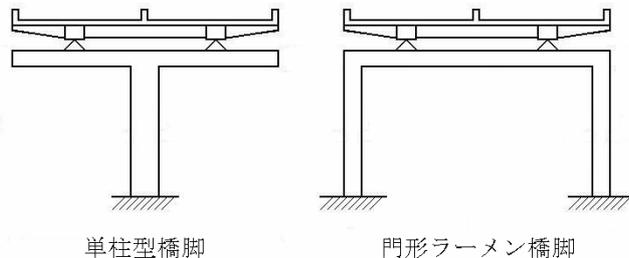


図-1 各橋脚形式の正面図

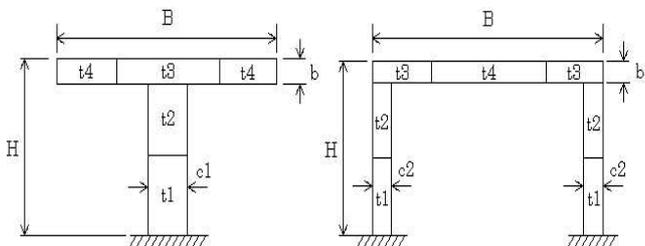


図-2 許容応力度設計法の設計モデル

表-1 断面板厚[mm] 表-2 弾性域の破壊確率

単柱型橋脚		門形ラーメン橋脚		全体・局部座屈 断面破壊			
t1	64.0	t1	44.0	単柱型橋脚	D+L	0	0
t2	60.0	t2	55.5		D+E	6.60E-05	6.60E-05
t3	65.0	t3	55.0	門形ラーメン橋脚	D+L	0	0
t4	60.0	t4	47.0		D+E	0	1.31E-03

率が高い事が分かる。これは柱部が一本であるため受け持つ断面応力が大きい為、また柱部の有効座屈長が門形ラーメン橋脚より長い為座屈耐荷力がより低下する為と考えられる。しかしながら最も高い破壊確率を算出したのは門形ラーメン橋脚であり、設計強度に余裕のある単柱型橋脚の方がやはり破壊確率が低くなった。よって弾性域内のみを考慮するのであれば、単柱型橋脚の方が適していると言える。

3. 塑性域における破壊確率

塑性域を踏まえた設計を考える門形ラーメン橋脚は、計算の簡略化の為、図-3 に示すように柱部と梁部で等断面設計とする。尚、多目的最適設計を考え

キーワード：橋脚 弾塑性 多目的最適化 破壊確率

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学工学部土木工学科設計工学研究室 Tel:03-3817-1816

る為の説明変数は柱部と梁部の全塑性モーメント M_{p1} 、 M_{p2} を用いる。目的関数は「重量」と「耐力」であるが、「耐力」を定式化する際には門形ラーメン橋脚で起こりうる全ての崩壊機構を考慮しなければならない。図-4 に可能な6種類の崩壊機構を示す。そこで各々の崩壊機構を仮想仕事の原理により数式化し、図-5 のように P_v - P_h 座標上に安全域と破壊域を表現する。ここで(P_v, P_h)を乱数によって発生させ、破壊確率 pf を算出することができる。この破壊確率 pf を最小化する事が即ち耐力を最大化する事と解釈し「破壊確率最小化」を目指す。また、全塑性モーメントは圧縮力との組合せ相関を考慮し、全体・局部座屈が起きないものとして考える。

「重量最小化」と「破壊確率最小化」の多目的最適化問題を、遺伝的アルゴリズムを利用して解く事によりパレート最適解を導いた。得られたパレート最適解のうち、どの点を設計点とするかが問題になってくるが、設計する門形ラーメン橋脚のライフサイクルコスト

$$C_T = C_I + p_f \times C_f$$

C_T : トータルコスト、 C_I : 初期コスト (30万円/t)

C_f : 破壊時コスト (初期コスト C_I の10倍)

を考え、トータルコスト C_T が最小となる点を設計点とする。このグラフを図-6 に示し、算出された結果を表-3 に示す。さらに、門形ラーメン橋脚とほぼ同体積になるように単柱型橋脚を設計し、破壊確率を算出した結果を表-4 に示す。

4. 結言

弾性域における破壊確率は単柱型橋脚の方が低かったが、塑性域における破壊確率で比較すると予想通り門形ラーメン橋脚の方がやや低くなった。

基本的に鉛直荷重に対して主に軸力材として機能する単柱型橋脚の方が、相対的に曲げモーメントの作用の下で門形ラーメン橋脚よりも材料を有効に活用でき、節約が可能である。よって同体積ならば、単柱型橋脚の方が破壊確率は小さくなると言える。しかし、弾性域では各橋脚形式の破壊確率の差が大きくなるものの、塑性化の条件ではこの差は小さくなるし、図-5 のような破壊条件に対する最適化を図る意味で、門形ラーメン橋脚の有用性も出てくるものと思われる。

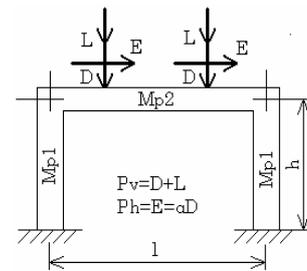


図-3 多目的最適設計モデル

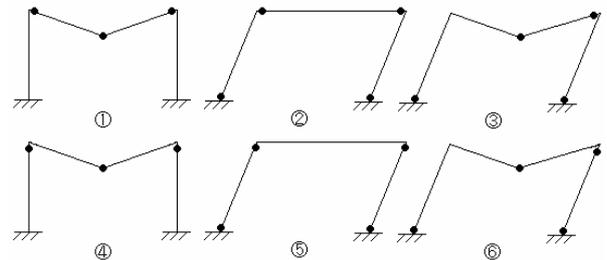


図-4 可能な崩壊機構

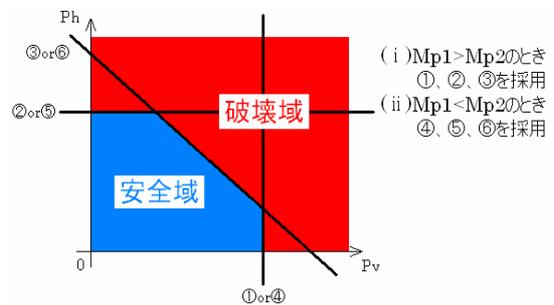


図-5 安全域と破壊域

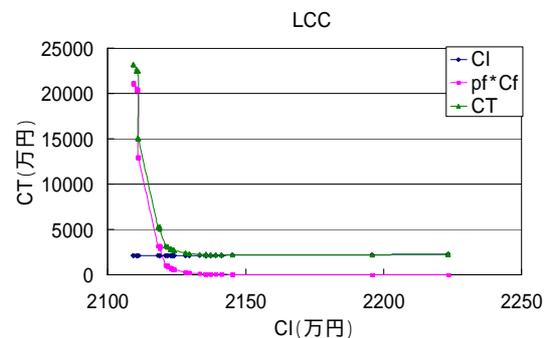


図-6 ライフサイクルコスト

表-3 多目的最適設計の設計点

M_{p1} (kN·m)	M_{p2} (kN·m)	破壊確率 pf	重量 W (kN)	体積 (m^3)	C_I (万円)	$pf \times C_f$ (万円)	C_T (万円)
15971.07	16286.04	0.001265	713.74	9.09	2141.23	27.09	2168.32

表-4 同体積の単柱型橋脚

体積 (m^3)	破壊確率 pf
9.10	0.004699

参考文献

- 1) 忠直樹「橋脚形式による設計余裕度の相違に関する一考察」2001年度卒業論文
- 2) 菊池武志「複数の限界状態を有する鋼製橋脚の信頼設計評価」2002年度修士論文
- 3) 土木学会編 成瀬輝男、松下貞義共著「新体系土木工学 38 鋼構造物の設計」 技報堂出版
- 4) 土木学会編 星谷勝、高岡宣善、尾坂芳夫共著「新体系土木工学 12 土木構造設計法」 技報堂出版
- 5) 三宮信夫、喜多一、玉置久、岩本貴司共著「遺伝的アルゴリズムと最適化」 朝倉書店