

補修費を考慮したRC ラーメン高架橋の最適耐震設計

北武コンサルタント株式会社 正会員 ○渡邊 忠朋
 北海学園大学工学部土木工学科 正会員 杉本 博之
 日本高圧コンクリート株式会社 正会員 朝日 啓太

1. まえがき

現行の耐震設計示方書類^{1) 2)}で提案される設計法では、大規模な地震動に対して構造物には損傷を受けることが許容されている。一般には、補修補強を前提としているため、補修費用を要することになるが、設計の工学的価値基準としての目的関数は、初期建設費用のみに着目しているのが実状である。

そこで本研究では、地震動による構造物の補修費用に着目し、地震動による構造物の損傷から補修費用を推定し、補修費用も初期建設費用に加算したトータルコストを目的関数として設計を試み、初期建設費用のみに着目した設計解との比較検討を行った。以下に、その概要を示す。

2. 地震動による部材の損傷状況の推定

部材は、軸方向鉄筋の降伏、かぶりコンクリートの剥離、軸方向鉄筋の座屈等の部材の非線形性と損傷状況をリンクさせた曲げモーメント M と部材角 θ 関係のテトラリニアモデルの骨格曲線を用いた（図-1）³⁾。なお、損傷程度に応じて、レベル1~4の損傷レベルを設定している。部材の損傷レベルからは、元の健全な状態に戻すのに必要な補修工法を判断することができる。各折れ点と損傷状況、損傷レベル、補修工法を関係を表-1に示す。静的非線形解析から算定される構造物全体系の荷重変位曲線と応答変位の関係を用い、部材の損傷レベルの判定を行った（図-2）。なお、地震動による構造物の応答の算定には非線形スペクトル法を用いた。荷重変位曲線の折れ点は、いずれかの部材が図-1のY、M、Nに達した点である。折れ点毎に構造物を構成する部材の損傷レベルを表示すると、表-2のマトリックスのようになる。

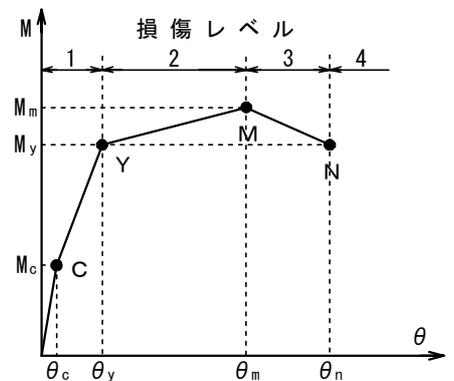


図-1 曲げモーメントと部材角の関係

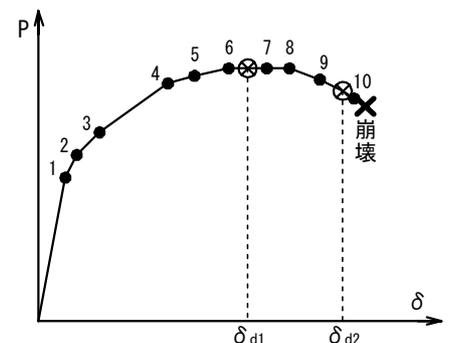


図-2 荷重変位曲線の一般図

3. 最適設計問題の定式化

本研究の目的関数は、初期建設費用と地震動による補修費用の和とした。

$$TC = iC + rC \quad (1)$$

表-1 損傷状況と補修工法

| 損傷レベル | 損傷状況 | 補修工法の一列 |
|-------|------|--|
| 1 | C | 無補修 |
| | Y | 曲げひび割れ |
| 2 | M | 曲げひび割れまたは、曲げおよびせん断ひび割れ、ひび割れ幅の拡大、かぶりコンクリートの剥離 |
| 3 | N | かぶりコンクリートの剥離、内部コンクリートの損傷、軸方向鉄筋の座屈、帯鉄筋の変形 |
| 4 | N以降 | 同上、場合により軸方向鉄筋および帯鉄筋の破断 |

表-2 損傷レベルマトリックス

| 部材 | 折れ点 | 折れ点 | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 10以降 |
| 部材① | I端 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 崩壊 |
| | J端 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| 部材② | I端 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | J端 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 部材③ | I端 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | J端 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |

キーワード 性能照査, 耐震設計, 補修費用, 遺伝的アルゴリズム

連絡先 〒062-0020 札幌市豊平区月寒中央通7丁目4-7 TEL 011(851)3012 FAX 011(851)3433

ここに、 TC ：トータルコスト

iC ：初期建設費用

rC ：地震動による損傷のための補修費用

補修費用は、補修を行うための工法と、実際に部材の性能を取り戻すための工法に大別できる。後者は前述した損傷レベルに応じて部材を健全な状態に戻す補修で、表-1に示している。前者は損傷の発生した部位によって、補修を行う前に足場や掘削等が必要となる。この損傷部位に関する補修工法を表-3に示す。

制約条件として、耐震性の照査、各部材のせん断破壊の照査および損傷レベルの照査を行った。最適化を行う部材は、柱、上層梁、地中梁および杭を対象とした。柱および梁部材は、それぞれ正方形、長方形断面として、断面幅 B 、断面高さ H 、軸方向鉄筋本数 N 、軸方向鉄筋段数 J を、また杭部材は、円形断面として、断面径 D 、軸方向鉄筋本数 N を設計変数とした。

4. 数値計算

1層5径間の鉄道RCラーメン高架橋を設計対象として数値計算を行った。なお、杭部材は補修が困難であり補修を前提にした設計解の比較には不適切と考え、補修の必要がない損傷レベル1に制限している。目的関数は、初期建設費用のみと、地震動による補修費用を考慮し初期建設費用に加算したトータルコスト（以下、 TC ）とした。前者による設計は、部材の損傷レベルを2に制限した耐震性能Ⅱ、3に制限した耐震性能Ⅲについて設計を行った。また後者による設計は、損傷レベルに制限を与えず設計を行った。それぞれの設計を初期建設費用のみと、これに補修費用を加算した TC について比較した。これを図-3, 4に示す。補修費用は、L2地震動（スペクトル1, 2）¹⁾による損傷を考慮した。

耐震性能Ⅱ、Ⅲの設計を比較すると、損傷レベルの制約がゆるい耐震性能Ⅲの設計は、目的関数である初期建設費用は小さくなるが、その分損傷レベルが大きくなり補修費用が大きくなる。

初期建設費用による耐震性能Ⅱ、Ⅲの設計と TC による設計について比較すると、 TC による設計は、初期建設費用が大きいものの、 TC が耐震性能Ⅱ、Ⅲの設計よりも大幅に小さくなる傾向が見られる。初期建設費用を大きくすることで、損傷を抑え補修費用が小さくなったためと考えられる。

5. あとがき

本研究では、RCラーメン高架橋を対象として設計耐用期間中に発生する地震動による補修費用を考慮した設計を試み、初期建設費用に着目した設計解との比較を行った。その結果、補修費用を考慮した設計がトータルコストが低くなる結果が得られた。これは、補修費用を考慮した設計の有用性を示唆するものである。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編，丸善株式会社，1999。
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書(耐震設計編)，1996。
- 3) 渡邊忠朋，谷村幸裕，瀧口将志，佐藤勉：鉄筋コンクリート部材の損傷状況を考慮した変形性能算定手法，土木学会論文集，No.683/V-52，pp.31~45，2001.8。

表-3 損傷部位と補修工法

| 損傷部位 | 補修工法 |
|------|-------------------|
| 上層梁 | 足場工，軌道撤去，防水工，軌道敷設 |
| 柱上端 | 足場工 |
| 柱下端 | 掘削工，埋戻工 |
| 地中梁 | 掘削工，土留工，埋戻工 |

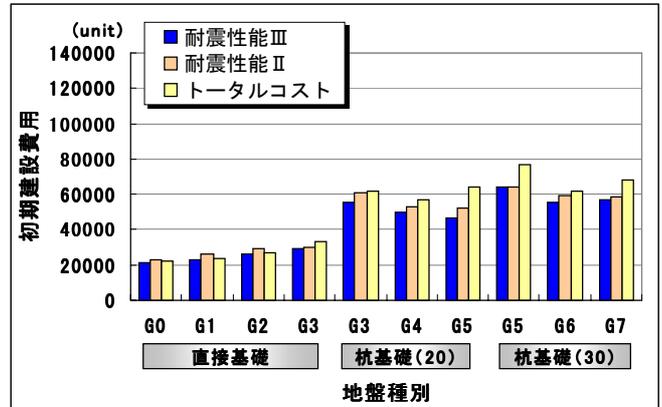


図-3 初期建設費用の比較

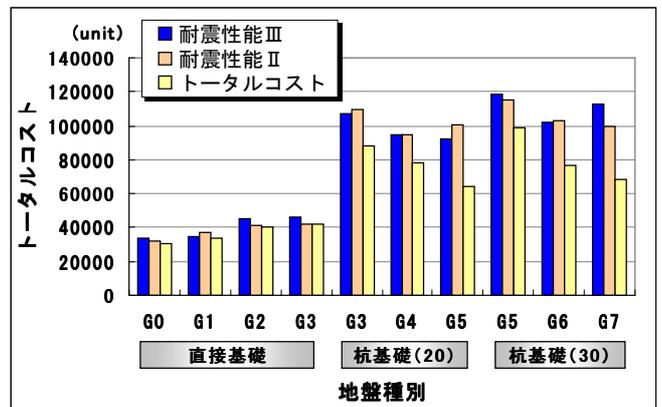


図-4 トータルコストの比較