

鉄筋コンクリート橋脚の非線形性を考慮した設計変数の集約方法

(株) 長大 正会員 ○田中 賢太
 福井工業大学 正会員 谷脇 一弘
 福井工業大学 正会員 竹田 周平

1. はじめに

橋梁構造物の耐震設計においては、構造物が備えるべき耐震性能を明確に規定し、設計においてその性能を満足していることを照査する性能照査型設計法の考え方が取り入れられている。しかしながら、大規模地震により強い非線形挙動をする橋梁システムの支承、橋脚、基礎構造の剛度など、橋梁各部の諸特性について、建設費、地震被害を受けた時の補修費などを最小にする見地から最適に決定する方法については、ほとんど研究が行われておらず、設計者が試行錯誤的にそれらの諸特性を決定しているのが現状となっている。

そこで、筆者の一人は、これらの状況を踏まえて、大規模地震時の要求性能を満足し、かつコストを最小とする構造諸元を決定することができる最適耐震設計法に関する研究^{たとえば 1)}を行っている。この研究では、鉄筋コンクリート橋脚の断面諸元に関して数多くのパラメータを変化させて、コスト最小となる断面諸元と、設計変数である降伏曲げモーメントとの関係を近似していた。しかし、この手法では設計パラメータとコストの関係を導入するために多くの労力を要し、汎用性がなく実用化に障害となる。そこで、本研究では、汎用的な性能規定型の最適耐震設計法を開発するため、Suboptimization の手法を用いて、設計変数として考慮すべき橋脚断面のサイズ、鉄筋量を降伏曲げモーメントに集約する方法について研究を行ったものである。

2. 鉄筋コンクリート橋脚の非線形履歴特性

本研究では、橋梁システムを構成する要素として、一般的な鉄筋コンクリート橋脚を考慮するものとする。大規模地震を考慮した場合の鉄筋コンクリート橋脚の非線形履歴特性は、その基部に主たる塑性ヒンジが生じる場合が想定されるため、その塑性ヒンジ区間で非線形履歴特性を代表させるものとする。鉄筋コンクリート橋脚の非線形履歴特性としては、図-1 に示す剛性低下型の Takeda モデルが用いられている。このような橋脚の動的特性を 1 個の代表的なパラメータで定義しようとする場合、エネルギー吸収量を支配するパラメータとして、降伏曲げモーメント M_y が重要となる。

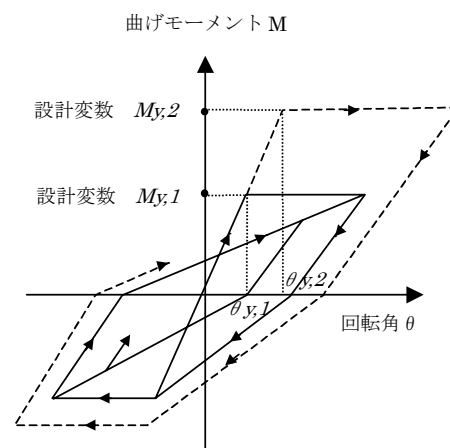


図-1 RC 橋脚の非線形履歴モデル

3. 橋脚断面の設計変数の集約

橋脚の非線形履歴挙動は、材料強度、断面寸法、鉄筋量、軸力状態などによって異なるものとなるが、本研究では、Suboptimization の手法を用いて、全体系の最適化過程において考慮する設計変数を、柱基部の初降伏曲げモーメント M_{y0} に集約させるものとする。すなわち、橋脚の初降伏曲げモーメント M_{y0} とコストの関係を明確にし、ある設計変数 M_{y0} に対応した最も経済的な断面形状、鉄筋量を自動的に決定することを目的とする。Suboptimization の手法に基づく橋脚断面の設計変数の集約は、次式で表される最小化問題で定式化することができる。

$$\begin{aligned}
 &\text{Find} \quad \mathbf{B}, \mathbf{H}, \mathbf{A}_s \quad \text{which} \\
 &\text{minimize} \quad \text{COST}(\mathbf{B}, \mathbf{H}, \mathbf{A}_s) \\
 &\text{subject to} \quad M_{y0}(\mathbf{B}, \mathbf{H}, \mathbf{A}_s) \geq \bar{M}_{y0}
 \end{aligned} \tag{1}$$

式(1)において、設計変数 $\mathbf{B}$, $\mathbf{H}$, $\mathbf{A}_s$ は、それぞれ RC 橋脚断面の幅、高さ、および主鉄筋量であり、それ
 キーワード 最適耐震設計, RC 橋脚, Suboptimization, 降伏曲げモーメント, 分枝限定法

連絡先 〒550-0013 大阪府大阪市西区新町二丁目 20 番 6 号 (株) 長大 西日本構造事業部 TEL 06-6541-5795

らの設計変数の関数である初降伏曲げモーメント My_0 が初降伏曲げモーメントの目標値である $\overline{My}_0$ 以上となる制約条件のもとで、建設費（COST）を最小化する問題として定式化している．なお、本研究では、式(1)を離散変数型の最小化問題として取り扱い、ラグランジュ双対法を用いた分枝限定法により解くものとした．

4. 計算例

計算例として、図-2 に示す RC 橋脚断面を想定し、目標とする初降伏曲げモーメント値を満足し、かつコストが最小となる橋脚諸元を決定した．着目方向は橋軸方向とし、橋軸方向の橋脚幅は 2.0m～3.0m の間で変化、直角方向の橋脚幅は 5.0m で固定の条件としている．鉄筋については、橋軸方向に 2 段配置、直角方向に 1 段配置とし、鉄筋径は、D16, D19, D22, D25, D29, D32, D35, D38 の中から選択するものとした．また、横拘束筋については、D16 を 300mm 間隔で配置すると仮定し、横拘束筋の体積比 ρ_s は 0.0053 で一定値としている．これらの条件下で、橋脚基部断面の軸力を $N=10000\text{kN}$, 13000kN , 16000kN の 3 ケースとして、満足すべき初降伏曲げモーメント $\overline{My}_0$ を $20000\text{kNm} \sim 95000\text{kNm}$ に変化させ、式(1)の最小化問題を解いた結果を図-3 に示す．また、軸力 $N=10000\text{kN}$ とし、 My_0 の各目標値に対して構造諸元を決定した結果を表-1 に示す．

図-3 の結果から、いずれの軸力状態においても、決定した橋脚諸元における初降伏曲げモーメントとコストの関係は、ほぼ線形となっており、離散型の設計変数（ H , As ）の中から、確実に適切な構造諸元を決定できていることがわかる．

また表-1 の結果から、目標とする初降伏曲げモーメントを 20000kNm から 95000kNm と大きくするに従い、その保有すべき断面性能レベルに応じて、柱幅を最小限にとどめ鉄筋量を多くする場合、または、鉄筋量を最小限にとどめ柱幅を大きくする場合の意志決定が建設費を最小とするように適切に決定されていることがわかる．

5. まとめ

本研究は、全体系の最適耐震設計を汎用的に行う際に必要となる設計変数を、Suboptimization の手法により RC 橋脚基部の初降伏曲げモーメント My_0 に集約させ、それと 1 対 1 の関係となる橋脚諸元を建設コストを最小にするという観点から、確実かつ効率的に決定できる方法を示した．今後は、本手法を用いることによって、より汎用的な橋梁全体系の最適耐震設計手法の開発を行う予定である．

参考文献

1) 田中賢太，大久保禎二：大規模地震による損傷度および変位量を保証する橋梁システムの最適性能設計法
構造工学論文集 Vol.48A 2002 年 3 月 pp277-288 など

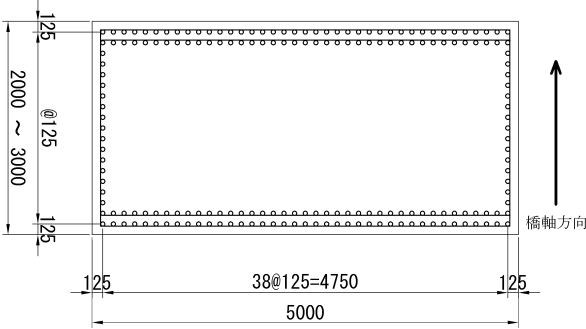


図-2 RC 橋脚断面

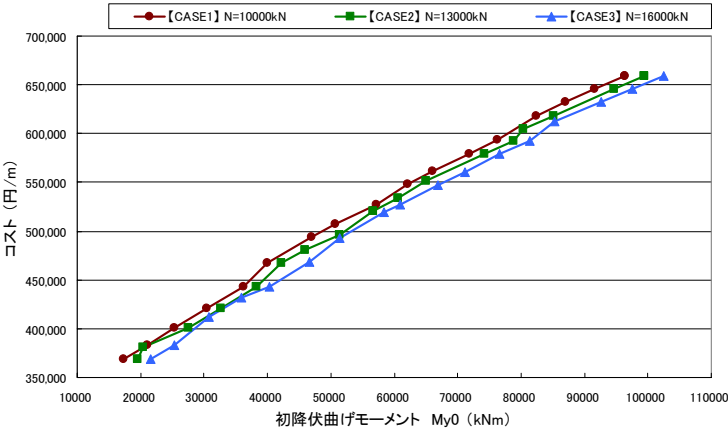


図-3 初降伏曲げモーメント My_0 と建設コストの関係

表-1 軸力 $N=10000\text{ kN}$ における橋脚の断面諸元

【CASE 1】 $N=10000\text{kN}$						
初降伏曲げモーメント My_0	コスト最小化問題により決定したRC橋脚の断面諸元	目的関数				
目標値 (kNm)	設計値 (kNm)	直角方向幅 B (mm)	橋軸方向幅 H (mm)	鉄筋断面積 As (mm ²)	主鉄筋呼び名	コスト (円/m)
20000	21098	5000	2000	286.5	D19	383,742
25000	25412	5000	2000	387.1	D22	400,625
30000	30505	5000	2000	506.7	D25	420,697
35000	36247	5000	2000	642.4	D29	443,471
40000	39999	5000	2200	642.2	D29	467,754
45000	47007	5000	2200	794.2	D32	493,516
50000	50710	5000	2100	956.6	D35	507,738
55000	57109	5000	2000	1140.0	D38	526,981
60000	62099	5000	2400	956.6	D35	547,757
65000	65978	5000	2500	956.6	D35	561,097
70000	71769	5000	2400	1140.0	D38	579,574
75000	76301	5000	2500	1140.0	D38	593,259
80000	82335	5000	2700	1140.0	D38	618,481
85000	86967	5000	2800	1140.0	D38	632,166
90000	91645	5000	2900	1140.0	D38	645,852
95000	96371	5000	3000	1140.0	D38	659,311