

RC 構造物の最適化による部材の非線形性能と復旧性に関する一考察

北武コンサルタント (株) 正会員 ○阿部 淳一 (財) 鉄道総合技術研究所 正会員 谷村 幸裕
北武コンサルタント (株) 正会員 渡邊 忠朋 北海学園大学 正会員 杉本 博之

1. 目的

現行の鉄道構造物の耐震設計基準¹⁾では、復旧性に着目した設計が行われている。たとえば RC 構造物では、部材の非線形性能²⁾から算定される 4 段階の損傷レベルを用いて、耐震性能に応じた損傷レベルの限界が規定される。一方、部材の終局は、モデル化した現行の非線形性能における終局よりも、実構造では大きな変形を許容できる場合があることがわかっている³⁾。そこで本研究では、現行の非線形性能と、より大きい非線形性能を簡易に設定したモデルで、初期建設コスト最小下のもと最適設計を試みる。そして得られる設計解から復旧コストを算定し、構造物に生じるトータルコストを比較して、部材の非線形性能と復旧性に関して考察を試みるものである。

2. 最適設計問題

対象とするのは、図-1 に示す鉄道 RC ラーメン高架橋である。地盤は G3 地盤とし、杭基礎とした。使用材料はコンクリートの設計基準強度を 27N/mm² (杭は 30N/mm²)、鉄筋は SD345 とした。設計の対象とするのは、柱、上層梁、および地中梁とした。設計変数は表-1 に示される 12 変数とした。設計空間を表-2 に示す。目的関数は、初期建設コストの最小化問題とし、次式に示される。

$$OBJ = C_0 = C_{S0} + C_{C0} \rightarrow \min \tag{1}$$

$$C_{S0} = \sum W_s \times C_{Ws} \tag{2}$$

$$C_{C0} = \sum A_c \times C_{Ac} \tag{3}$$

ここで、OBJ: 目的関数、C₀: 初期建設コスト、C_{S0}: 鉄筋に関するコスト C_{C0}: コンクリートに関するコスト、W_s: 鉄筋の重量(ton)、C_{Ws}: 単位重量あたりのコスト(=110 unit/ton)、C_{Ac}: 単位体積あたりのコスト(=20 unit/m³)である。

制約条件は標準¹⁾より、部材の損傷レベル、およびせん断力に対する照査を行う。部材の限界損傷レベルは、柱部材を 4、梁部材を 3 とした。地震波は G3 地盤—スペクトル II 地震動とした。解析は、時刻歴応答解析とし、Newmark-β 法、積分間隔は 0.001sec とした。また、減衰はひずみエネルギー比例型とし、RC 部材の減衰乗数は 0.02、基礎-地盤バネは 0.20 とした。

3. 非線形性能と復旧費用

本研究では、RC 部材の非線形性能を 2 種類用いて検討を試みる。一つは図-2 の実線に示した標準に規定されるモデルで、以降、モデル 1 とする。もう一つは大きな変形を許容することを表したものとして、標準の θ_n を 2 倍とした図-2 の点線のモデルとし、以降モデル 2 とする。損傷レベルはいずれも Y 点までを 1、M 点までを 2、N 点までを 3、

キーワード RC、非線形性能、復旧性、最適耐震設計

連絡先 〒062-0020 札幌市豊平区月寒中央通 7 丁目北武第 2 ビル 北武コンサルタント(株) TEL011-851-4329

表-1 設計変数

設計変数	解析方向	部材	部位
1	L & C	柱	断面幅 B
2	L & C	柱	せん断補強鉄筋径 D1
3	L	上層梁	断面高さ H1
4	L	上層梁	鉄筋段数 J1
5	L	上層梁	せん断補強鉄筋径 D2
6	L	地中梁	断面高さ H2
7	L	地中梁	鉄筋段数 J2
8	L	地中梁	せん断補強鉄筋径 D3
9	C	上層梁	鉄筋段数 J1
10	C	上層梁	せん断補強鉄筋径 D2
11	C	地中梁	鉄筋段数 J2
12	C	地中梁	せん断補強鉄筋径 D3

表-2 設計空間

部材		断面幅	断面高さ	段数	せん断補強鉄筋径
柱		B1=600~1000 (500mm 間隔)	H1=B1	1 or 2	D13, D16, D19, D22
上層梁	L 方向	ハンチ部	H2=H3+400	1 or 2	D13, D16, D19, D22
		一般部	H3=B2+200~500 (100mm 間隔)		
	C 方向	B1	H4=H2-100	1 or 2	D13, D16,
地中梁	L 方向	B2	H6=B1+200~500 (100mm 間隔)	2 or 3	D13, D16, D19, D22
地中梁	C 方向	B1			

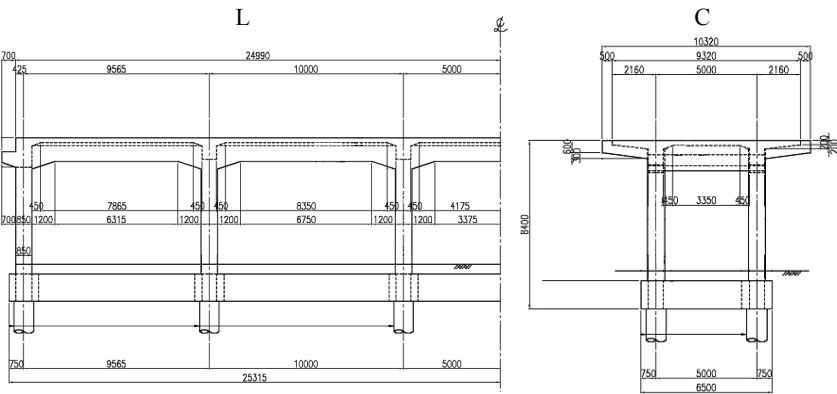


図-1 構造モデル

それ以上を 4 とした。復旧コストの算定は、各モデルで得られた最適解に対して、100gal～1000gal まで 100gal 刻みで地震動を入力し各部材の損傷レベルをそれぞれ算出する。各部材の損傷レベルから補修コストを算定し、地震動の発生確率を乗じて期待補修コストとし、これを復旧コストとしている⁴⁾。損傷レベルに応じた補修コスト、および復旧コストの算定方法は参考文献 4)に詳しい。また復旧コストの算定は、札幌を対象に算定した図-3 の 100 年超過確率のハザード曲線を用いた。

4. 計算結果

両モデルの計算結果を示す。図-4 に最適解の各断面、図-5 には各モデルの初期建設コスト、および復旧コストを示す。図-5 に示されるように、初期建設コストはモデル 2 のほうが 3 割程度低い結果となっている。一方、復旧コストでは、モデル 2 はモデル 1 の 3.4 倍程度と高い結果となっている。この要因を詳細に検討すると、モデル 2 はモデル 1 に比べ同じ地震動強度でも損傷が発生する部位が多い、あるいは損傷レベルが大きいこと、またモデル 1 の損傷が 300gal から発生しているのに対し、モデル 2 では 200gal から損傷が発生していることが大きな要因であった。

トータルコストを比較すると、 θ_n を 2 倍としたモデル 2 よりも、現行の標準のモデル 1 のほうが 4 割程度低い結果となった。本来、構造物の安全性に対する照査¹⁾に着目すると、より大きな変形性能を有することが望ましいが、復旧性に着目すると必ずしも変形性能が大きい方が望ましいわけではない結果がこれらの検討により得られた。

5. まとめ

RC 構造物の終局に対するモデル化に着目し、最適耐震設計を行い、得られる設計解から初期建設コストと復旧コストの和であるトータルコストの比較を行った。結果、現行の基準によるモデル化に比べ、より大きな終局を再現したモデル化のトータルコストは高くなり、構造物の復旧性に着目すると、必ずしも変形性能が大きいことが望ましいわけではない結果が得られた。

参考文献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計：鉄道総合技術研究所，1999。
- 2) 渡邊・谷村・瀧口・佐藤：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。
- 3) 田所・田中・谷村・黒川・服部・室野：鉄筋コンクリート柱の崩壊に関する限界の評価法，土木学会論文集 E，Vol. 64，No. 2，pp. 298-313，2008。
- 4) 阿部・杉本・渡邊：地震リスクを考慮した設計地震動強度算定に関する研究，土木学会論文集 A，Vol. 63，No. 4 pp. 780-794，2007。

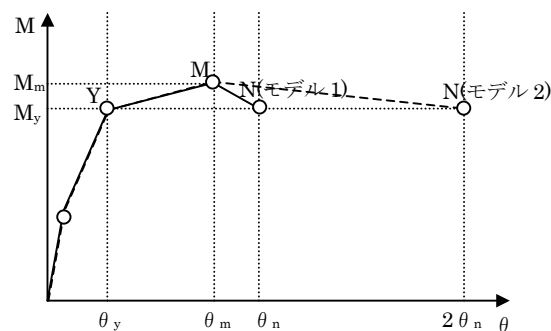


図-2 RC 部材の非線形性能

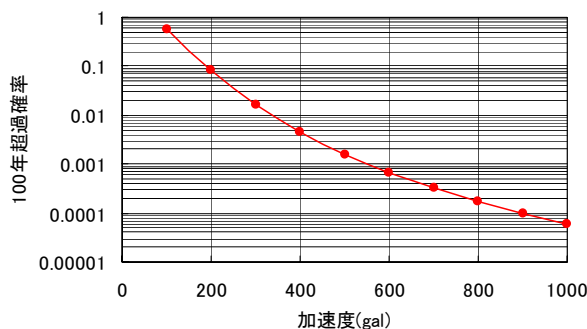


図-3 ハザード曲線

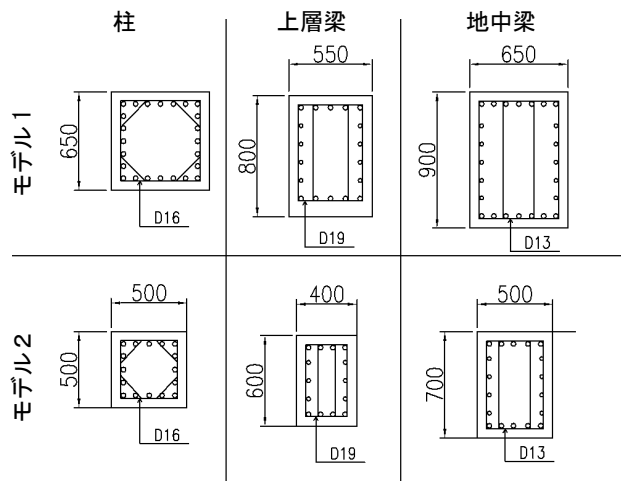


図-4 断面諸元

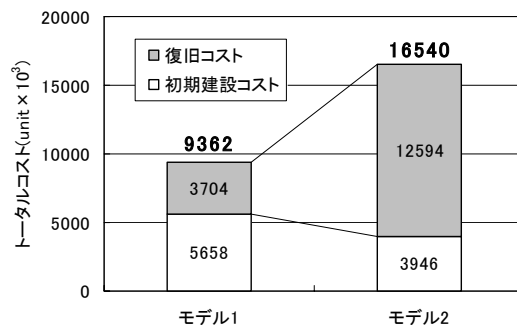


図-5 トータルコスト