

コストと労力からみた鉄道用ラーメン高架橋の合理的耐震設計法について

鎌田 則夫¹・石橋 忠良²・小林 薫³

¹正会員 東日本旅客鉄道(株) 建設工事事務 構造技術センター (〒151 東京都渋谷区代々木2-2-2)

²正会員 工博 東日本旅客鉄道(株) 建設工事事務 構造技術センター (〒151 東京都渋谷区代々木2-2-2)

³正会員 東日本旅客鉄道(株) 建設工事事務 構造技術センター (〒151 東京都渋谷区代々木2-2-2)

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の耐震設計を行う場合、全ての構造物を動的解析により検討することや変形性能を詳細に計算することは、多くの労力・期間・コストを費やすこととなる。

1 質点系構造物に置換が可能な構造物を前提として、非線形性を考慮した簡易降伏強度スペクトルを使用し、せん断耐力 (V_{yd}) と部材が曲げ耐力に達するときのせん断力 (V_{mu}) との比 (V_{yd}/V_{mu} 以下、耐力比という) をある程度大きくすることで自動的に所要のじん性率を確保し、じん性率の照査を省くこととすれば、実務上での耐震設計はさほどの労力を必要としない。

ここでは、以上のような簡易な設計フローによって設計したものと、阪神・淡路大震災以前に設計したものとの施工コストの比較、および動的解析の結果から詳細にじん性率を設定した場合の構造物の施工コストの比較例を紹介する。

2. 耐力比とじん性率の関係

RC 柱の変形性能に関する既往の研究¹⁾では、帯鉄筋量を増加させることにより、部材の変形性能が向上し、破壊形態も曲げ降伏以降、交番載荷により曲げひび割れが斜めひび割れへと進展し、せん断破壊、あるいは圧縮部コンクリートの圧壊および引張鉄筋の破断により終局状態にいたる形態となっていることが報告されている。

また、帯鉄筋を高密度に配置したRC柱の変形性能については、帯鉄筋比 0.6%以上においてもその増加に伴い、じん性率は向上すること。耐力比 3.2 程度までは、その増加に伴い、じん性率は向上することが報告されている。²⁾

ここで、図-1 に帯鉄筋比の違いによる交番載荷試験結果から求めた耐力比とじん性率の関係について示す。

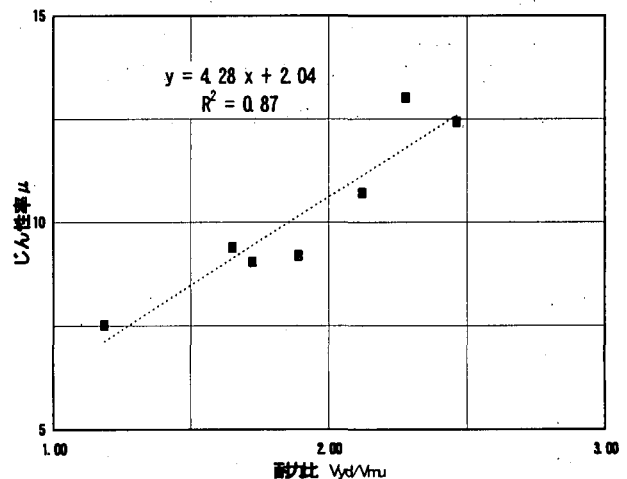


図-1 耐力比とじん性率の関係

図-1 から耐力比とじん性率は直線的な関係が見られ、耐力比 2 以上とした場合、じん性率として 10 以上確保できることが判る。²⁾

設計する上では、以下の (1) 式により照査すれば、じん性率 10 が確保されることとなる。

$$V_{yd}/V_{mu} \geq 2 \quad (1)$$

ここで、

V_{yd} : 曲げ降伏が想定される区間のせん断耐力で、土木学会・設計編 (6.3.3) による。なお、 V_{yd} 算出に用いる γ_b は 1.3、 V_{sd} に用いる γ_b は 1.15 とする。

V_{mu} : 部材が曲げ耐力に M_u に達するときの部材各断面のせん断力。なお、 V_{mu} を算出する場合の曲げ耐力 M_u は、鋼材の実引張降伏強度 f_y を考慮し、かつ断面内の全軸方向鉄筋を考慮して算出するものとする。

3. 降伏強度スペクトルと耐力比の照査による耐震設計フロー

現在、検討されている鉄道構造物の耐震設計法では、動的解析による解析を基本とし、構造系が単純で一質点系の線材モデルに置換可能かつ塑性ヒンジの発生個所が明らかな場合は、簡易動的解析法として降伏強度スペクトルを用いることが提案されている。³⁾

図-2に設計塑性率 μ_{rd} を10とした場合の設計用降伏強度スペクトルの1例を示す。

この図は、レベル2地震動として直下型と海洋型地震の両方の特性を包含するよう作成したものである。

また、設計がより簡易に行えることを目的として、等価固有周期の違いによる設計水平震度の変化をなくし、0.5秒以上は一律に設定したものである。

この設計方法においても、耐力比を2以上としてじん性率10以上を確保すれば、図-2の設計用降伏強度スペクトルとの組み合わせで、より簡易な耐震設計が可能となる。その設計フローを図-3に示す。

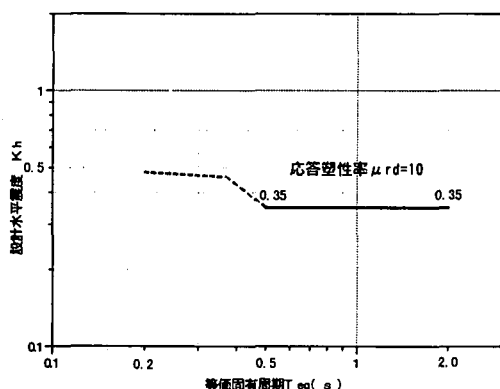


図-2 設計用降伏強度スペクトルの1例

4. 設計・施工上のコスト比較

(1) 設計計算上の労力

現在、複雑な挙動を示す構造などは動的解析の結果から、変形性能の照査を行うことが推奨されている。

この場合、各部材の持つ応答特性から個々の塑性率を求め、変形性能を計算することとなる。構造形態の違いはあるが、モデルを組むために多くの労力を要する。

設計用降伏強度スペクトルを用いる設計法では、特に労力のかかる計算は必要ない。

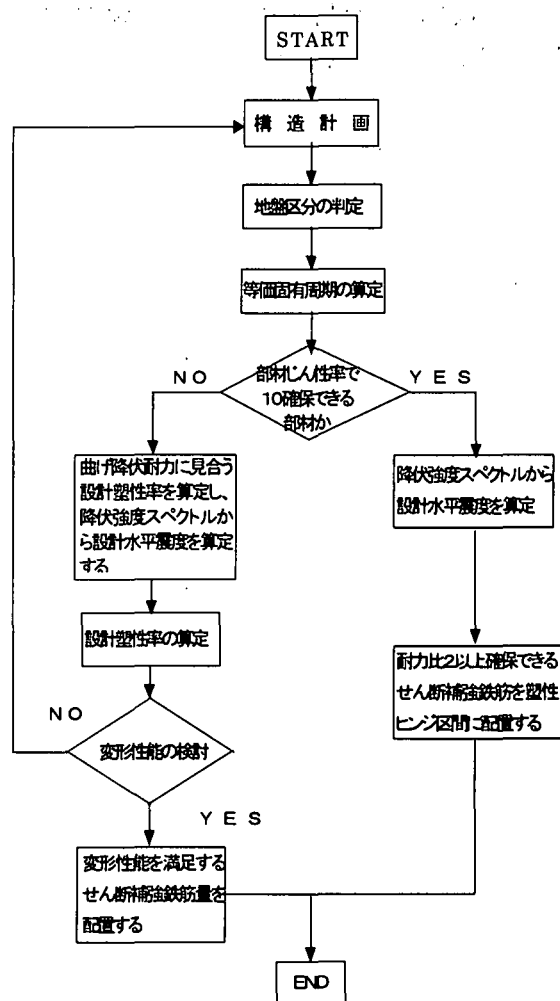


図-3 設計フロー

また、曲げ耐力の計算は通常の設計計算と変わらず、変形性能を計算すること自体がなくなるため増加労力は今までよりも減少する。

(2) 工事費の比較

a) 阪神・淡路大震災以前と設計用降伏強度スペクトルを用いて設計した場合のコスト比較

阪神・淡路大震災以前の手法により、一般的な鉄道高架橋を設計・施工した場合（設計塑性率4、設計水平震度 $K_h=0.323$ ）と、図-2の設計用降伏強度スペクトルを用いて、耐力比を2以上確保する設計を行った場合の工事費を試算（設計塑性率10、設計水平震度 $K_h=0.35$ ）した。

その結果、表-1に示すように阪神大震災以前の設計法に比べ、約0.4%程度の増加費用で済む結果となっている。

b) 動的解析と設計用降伏強度スペクトルを用いての設計した場合のコスト比較

図-4に示すような、1層7径間の鉄道高架橋を弾

塑性時刻歴地震応答解析（解析用地震波：神戸海洋気象台 NS 成分、減衰定数 5%）により検討を行った例⁴⁾では、図-5に示すように最大応答塑性率で 6.96 となっている。この場合、必要じん性率としては、7 以上あればよいこととなる。

ここで提案している設計用降伏強度スペクトル ($\mu_{rd}=10$) を用いて、耐力比を 2 以上とする場合は、動的解析結果から配置する帯鉄筋量より増えることとなる。その施工コストを比較したものが表-2 である。

ここで、鉄筋の加工・組み立て費は土木コスト情報⁵⁾により、鉄筋単価は建設物価⁶⁾により試算した。

表-1 阪神大震災以前と降伏強度スペクトルによる設計との鉄筋量と工事費比較

	A：阪神大震災以前による設計	B：降伏強度スペクトルによる設計
設計水平震度：Kh	0.32	0.35
設計塑性率	4	10
柱 1 本当たり軸方向鉄筋量	D32-22 本	D32-24 本
柱 1 本当たり帯鉄筋量	D13-1.5 組 ctc10cm Ps=0.475%	D16-1 組 ctc10cm Ps=0.993%
柱 1 本(m)当たり鉄筋工事費	158,000 円/本 (31,600 円/m)	203,000 円/本 (40,600 円/m)
差額 全体工事費率	9,000 円/m 0.4%	

- ※ 1) 検討した高架橋は、図-4に示す 1 層 7 径間（L=70m）である。
 2) 高架橋の工事費は、構造物本体のみで 200～260 万円/m とした。

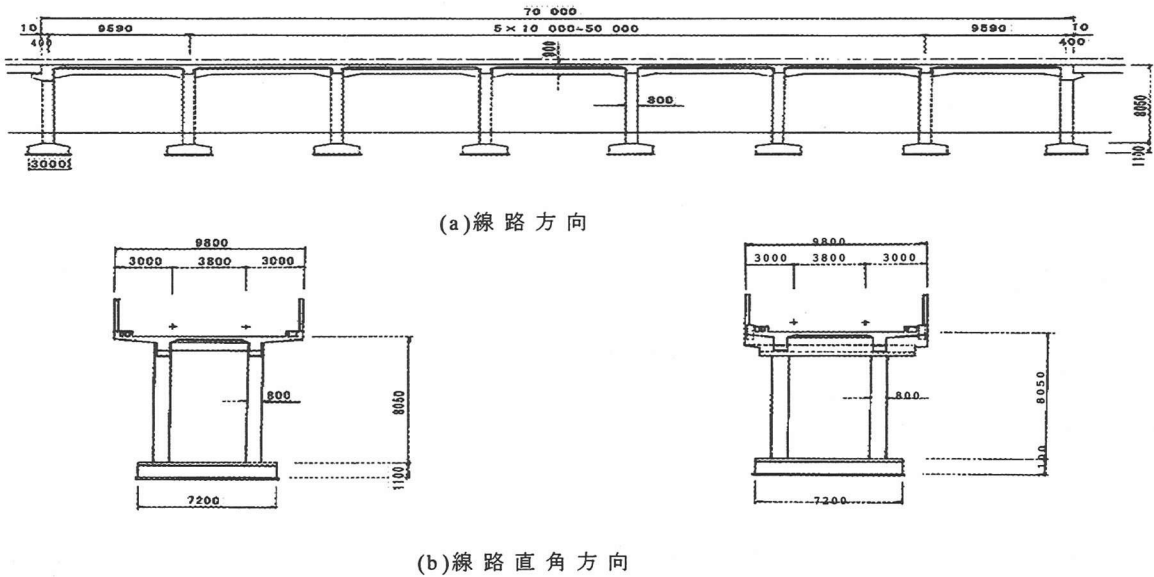


図-4 RCラーメン高架橋スケルトン

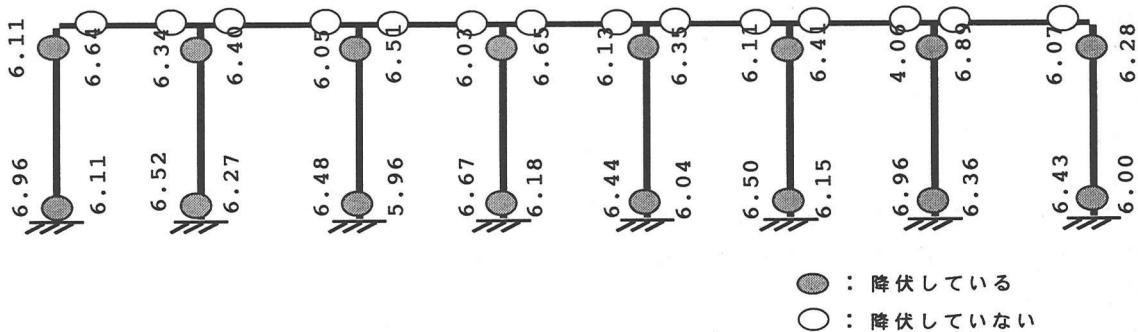


図-5 応答塑性率

表-2 必要じん性率の違いによるコスト比較

必要じん性率	$\mu = 7$	$\mu = 10$
2D 区間帯鉄筋量	D13-2 組 ctc10cm $P_s = 0.634\%$	D16-2 組 ctc10cm $P_s = 0.993\%$
中間部 帯鉄筋量	D16-1 組 ctc10cm $P_s = 0.497\%$	D16-1 組 ctc10cm $P_s = 0.497\%$
柱 1 本当たり帯鉄筋重量・鉄筋工事費	0.42 t/本 44,300 円/本	0.57 t/本 59,850 円/本
m 当たり工事費 全体工事費比率	8,900 円/m 0.34%	12,000 円/m 0.46%
差 額 全体工事費比率	3,100 円/m 0.12%	

※ 1) 検討した高架橋は、図-4 に示す 1 層 7 径間 ($L = 70\text{m}$) である。

2) 高架橋の工事費は、構造物本体のみで 200~260 万円/m とした。

この結果から見ると、m 当たりのコスト差は 3,100 円程度であり、高架橋全体工事費に占める割合とすれば、僅かな差額でしかない。例えば、高架橋 1 km での土木のみの施工費はおおよそ 20~26 億円程度である。帯鉄筋による増加費は 310 万円/km であり、動的解析に要する費用 (1 ラーメンとして) とさほど変わらない結果となる。

設計塑性率を厳密に計算した結果から最終的に反映されるものは、この帯鉄筋量の大小でしかなく、対価として得られるものは小さいものといえる。

耐力比を 2 以上確保できる帯鉄筋量を設定することは、この例から見た場合では、安全サイドに、しかもさほどのコストアップにもならず済むということがいえる。

5. まとめ

構造系が単純で一質点系に置換できる構造物は、複雑な解析を伴わなくとも簡易に設計できる方法を示した。今後、多くの一般的な構造物の耐震設計は、わかりやすく簡易な方法で設計できるようにしておく方が計算の労力や精度を考えた場合、合理的ともいえる。簡易な構造物まで複雑な設計法をとった場合、大きなミスを誰も発見できずに設計・施工されてしまう方がより危険とも考えられる。

参考文献

- 1) 石橋忠良, 吉野伸一: 鉄筋コンクリート橋脚の地震変形能力に関する研究, 土木学会論文集, No.390/V-8, pp57-66, 1988.2
- 2) 中山弥須夫, 石橋忠良, 鎌田則夫, 鬼柳雄一: 帯鉄筋を密に配置した RC 柱の変形性能, コンクリート工学年次論文

報告集, pp.783-788, Vol.19, No.2, 1997

- 3) (財) 鉄道総合技術研究所編: 新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料, 1996.3
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書 耐震設計編, RC ラーメン高架橋の設計計算例, pp27-45, 1996.8
- 5) (財) 建設物価調査会: 土木コスト情報, pp4-8, 1997.10
- 6) (財) 建設物価調査会: 建設物価, pp12, 1997.12