

IV-244

地震時の列車走行安全性を
考慮した耐震設計法の提案

東海旅客鉄道株式会社 正会員 澤田 尚夫

1. はじめに

鉄道構造物設計における列車の地震時安全性の検討については、「鉄道構造物等設計標準・同解説」の中で、軌道面の不同変位量（目違い・折れ角）の規制値が示されている。又、特殊構造物については、軌道面の横振動を考慮した検討の必要性が記されているが、具体的な検討方法の記載はない。地震時の安全性確保は、列車の高速化に伴い、その重要度を増し、一般構造物に対しても、不同変位量の規制に加えて、構造物の振動性状を考慮した検討をすることが望ましい。一方、設計時に応答解析等による検討を全ての構造物において実施することは実務上制約がある。本報告では、構造物の弾塑性地震応答解析の結果に基づいて作成された、簡便な走行安全性評価マニュアルを使用した構造物の設計計画方法を提案する。

2. 走行安全性評価マニュアルを利用した構造物設計

(1) 評価マニュアルの基本的事項

評価マニュアルによる構造物設計の概要を図-1に示す。評価マニュアルは、軌道面横振動の卓越振動数と振幅で示される走行安全照査図上で、安全領域にあることを確認することを基本とする。設計対象となる構造物は、ラーメン高架橋と桁式高架橋であるが、以下ラーメン高架橋の例の検討手順を示す。

(2) 設計条件の整理

検討に先立ち、以下の条件について整理をする。

- ① 構造物の諸元〔形式、寸法、支承条件、基礎形式、寸法〕
- ② 地盤条件〔N値、土質、単位体積重量、土層毎の深度〕
- ③ 想定地震〔地震の規模、周波数特性(応答スペクトル形状)〕
- ④ 設計塑性率

(3) 評価マニュアルの適応範囲

本検討は、構造物の応答値を、1次の固有振動数を用いて応答スペクトル法により算出するため、以下の2項目を満足することが必要である。

- ① 構造物の応答に主たる影響を与える振動モードが1次モードに近似できる。
- ② 構造物の応答に主たる影響を与える振動モードが2種類以上存在しない。

(4) 構造物の固有振動数の算出

ラーメン高架橋の固有振動数の算出は、次の簡便式による。

$$\text{I 種地盤} \quad f = 11.9 H^{-0.638} \quad (2.1)$$

$$\text{II 種地盤} \quad f = 11.4 H^{-0.639} \quad (2.2)$$

$$\text{III 種地盤} \quad f = 10.3 H^{-0.687} \quad (2.3)$$

〔ここに、 f ：固有振動数(Hz)， H ：構造物高さ(m) (Hz)

(基礎上面から天端まで)〕

※(2.1)～(2.3)式は、既存の新幹線構造物を質点-バネ系にモデル化し、固有値解析法により固有振動数を算出した結果から回帰分析を行って算出した。(図-2)。

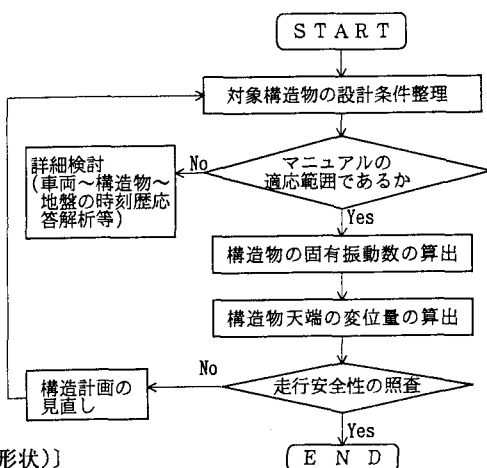


図-1 走行安全性評価マニュアルによる耐震設計の概要

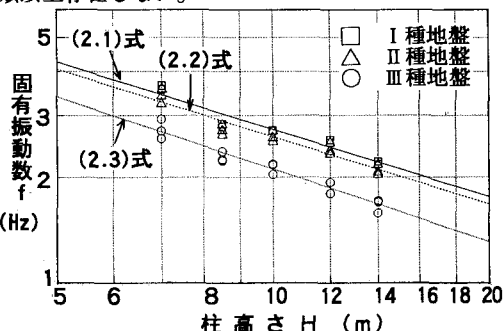


図-2 ラーメン高架橋の高さと固有振動数の関係

(5) 構造物天端軌道面の地震時の変位振幅量および加速度振幅量の算出

①振幅量は、1次モードのみを考慮した応答スペクトル法により算出する。応答スペクトル法により算出される振幅量は、構造物重心位置の振幅であるため、次の補正を乗じて構造物天端軌道面の振幅量に変換する。

ラーメン高架橋 変位 1.01倍
加速度 1.11倍

※補正量は、既存の新幹線高架橋の振動モデルの時刻歴応答解析による天端の応答値と、1次モードのみを考慮した応答スペクトル法から算出した構造物の重心位置の応答値を比較して算出した。（図-3）

②用いる応答スペクトルは次のいずれかを設定する。

- 対象地盤の応答特性と同種の地盤の応答解析結果から得られた応答スペクトル
- 示方書等に示される標準加速度応答スペクトル

※aについては、種々の地盤と地震動の組み合わせによる応答解析結果の中から適するスペクトルを使用する。

③構造物の減衰定数(h)は、 $h=0.05\sim0.1$ を標準とする。

(6) 構造物の非線形特性の考慮

検討に大規模地震を想定した場合は、構造物の塑性化による固有振動数の低下を考慮する。地震時の固有振動数は、設計塑性率ごとに表-1の低下率により求める。

※上記の低下率は、柱部材の非線形特性を考慮した地震応答解析結果より算出した。（図-4）

(7) 走行安全照査図を用いた安全性の評価判定

構造物の固有振動数と天端軌道面の変位振幅あるいは加速度振幅で表される走行安全照査図上で、算出された振動数、振幅が安全領域にあることを確認し、所要の安全性を満足しない場合は、構造計画を見直す。

3. まとめ

構造物設計時における列車の地震時安全性の評価を簡便に実施する検討手順をマニュアル形式で提案した。この検討方法で、構造物設計時に詳細な地盤～構造物～車両の応答解析を実施することなく、列車の走行安全性を照査することができる。今後以下の課題を検討し、マニュアルの適用範囲の拡大と信頼性の向上を図ってきたい。

- ・簡便式(2.1～2.3式)の精度向上
- ・応答スペクトルの整理
- ・地盤～構造物の応答解析結果及び、実測値のデータベース化
- ・走行安全照査図作成のための、走行車両のシミュレーション方法の確立

【参考文献】

- 1)運輸省鉄道局，鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，平成4年10月
- 2)社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，平成2年2月

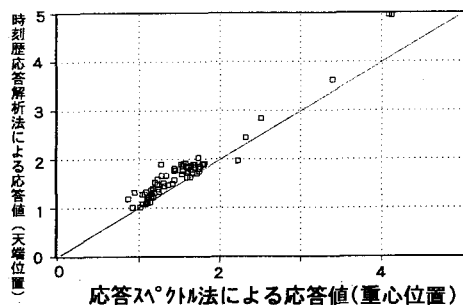


図-3 解析法による応答値の比較（加速度応答）

表-1 設計塑性率毎の固有振動数低下率

設計塑性率	1	2	3	4
固有振動数低下率	1.0	0.8	0.75	0.7

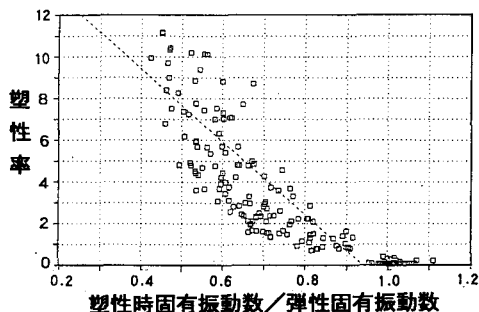


図-4 塑性率と固有振動数低下の関係