

実務設計に適応する鉄道橋上下部一体静的非線形解析方法

株式会社白石 正会員 ○ 久保田 翼 正会員 劉 春山

1 はじめに

平成11年10月に、「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」^[1]が改定された。従来の設計標準などを大きく変更した内容となっている。

応答スペクトル法により耐震設計に当たり、ラーメン橋など橋梁の上下部一体としたモデルで、解析の必要な場合は多々である。一方、これらの解析を行う必要なソフトが整備されていないのが現状である。筆者らは、上部構造および基礎躯体の $M \sim \theta$ (ϕ)の関係、基礎の地盤バネの履歴曲線を求めておき、RESP^[4]をソルバーとして用い、解析結果を自動処理するように、実務設計に適用できる鉄道橋上下部一体静的非線形耐震解析システムを開発した。

以下にケーソン基礎を有するラーメン橋梁の実務に適する上下部一体静的非線形解析方法を説明する。

2 実務に適する上下部一体非線形解析方法の考え方

ケーソン基礎を有する鉄道橋の耐震設計において、下記の特徴があげられる。

- (1) 上部構造に対して、負の剛性勾配を考慮するテトラリニア型モデルが要求されている。
- (2) ケーソン基礎躯体に対して、負の勾配を考慮しなくてもいい。
- (3) 文献[2]に説明したように、砂質土の場合、ケーソン基礎前背面鉛直方向せん断反力度の上限値は基礎前背面水平地盤反力度の関数となっている。
- (4) 底面の浮上がり現象を考慮する。

(1)、(2)について、RESPを用いれば、対応できる。一方、(3)、(4)については、各節点回転バネ、底面回転バネ、底面せん断バネの反力～変位の履歴曲線を求めておき、さらに、これらの曲線をRESPに適応する折れ線のバネモデルに転換する必要がある。(2)、(3)、(4)の特徴を考慮し、開発された単独のケーソン安定計算プログラムより、各バネの反力～変位の履歴曲線を求めることができる。

上下部一体静的非線形解析方法の考え方をまとめると、図-1のとおりである。

3 単独のケーソン安定計算解析モデル

各節点回転バネ、底面回転バネ、底面せん断バネの反力～変位の履歴曲線を求めるため、単独のケーソン安定計算を行う。計算モデルは図-1(c)となる。基礎躯体、各種の地盤バネの特性を表-1のように設定する。図に

示した節点回転バネは、表-1の前背面鉛直バネより算出する^[2]。また、図-1(c)に示した地震荷重は、橋脚の断面曲げモーメントの反曲点位置に作用させる。解析は荷重増分法で行う。安定解析はそれぞれの基礎にて、実施する必要がある。

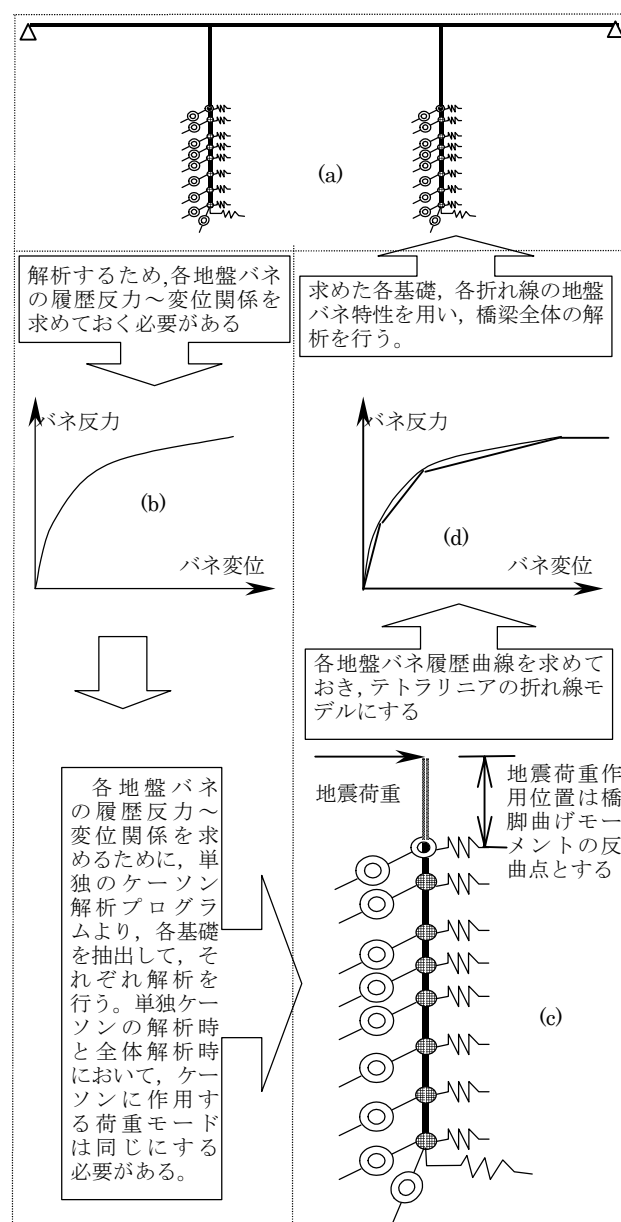


図-1 解析フローチャート

前背面の水平バネをトリリニアバネで評価する。文献[2]表-1に示したように、ケーソン基礎前面の水平地盤反力度の上限値は抵抗土圧の三次元的な効果を考慮した受働土圧と静止土圧の差であり、下限値は静止土圧と主

キーワード ケーソン基礎 鉄道橋 非線形解析 地盤バネ 履歴曲線

〒101-0032 東京都千代田区神田岩本町1-1-4 TEL:03-5687-8325 FAX:03-5687-6493

働土圧の差である。勾配 k_H をもつ上限値のバネと下限値のバイリニアバネをそれぞれモデル化することができるが、図-2のように2つバイリニアバネを1つのトリリニアバネとした。

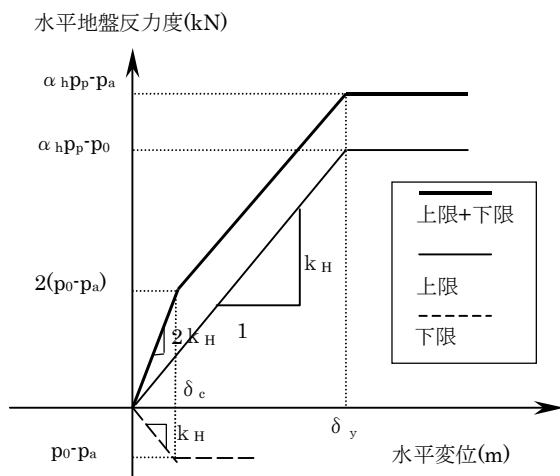


図-2 前背面地盤バネのトリリニアモデル

表-1 単独のケーソン解析モデルにおける抵抗要素の特性

抵抗要素種類	バネの特性
基礎躯体	トリリニア非線形(M~φ)
前背面水平バネ	トリリニア非線形 ^[2]
前背面鉛直バネ	バイリニア非線形 ^[2]
底面回転バネ	浮上りを考慮
底面水平せん断バネ	浮上りを考慮

4 各節点回転バネ、底面回転バネ、底面せん断バネ反力～変位の履歴曲線から折れ線のテトラリニアモデルへ

RESPによる全体の解析を実施するために、3項により計算した各節点回転バネ、底面回転バネ、底面せん断バネの履歴曲線を折れ線型モデルに簡略化する必要がある。プログラムで処理するので、より正確にモデル化できる。

図-3を参照して、計算した荷重増分点が $n-1$ 点の場合に対し、バネ履歴曲線を折れ線のモデルに転換する方法を説明する。

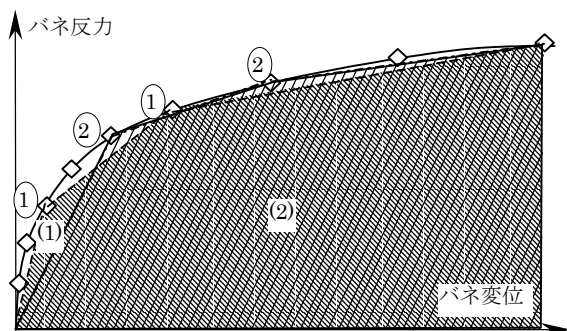


図-3 折れ線のモデルの組合せ方法

図-3では、2パターンの結び方しか示されていないものである。原点と最後の点を必ず結ぶようにすると、結びパターンの数 m は式-1で求めることができる。

$$m = C_2^{n-2} = \frac{(n-2)(n-3)}{2} \quad \text{式-1}$$

図-3では、2パターンの折れ線と横軸とに囲まれた面積も示されているが、 m パターンの折れ線と横軸とに囲まれた面積を $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m$ で表すと、最大面積は式-2で求められる。

$$A_{\max} = \text{MAX} (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m) \quad \text{式-2}$$

$A_{\max}$ と対応した折れ線はバネの履歴曲線を代表できるバネモデルとする。

5 上下部一体とした橋梁全体の静的非線形解析モデル

RESPより橋梁全体の解析において、上部構造、基礎本体および3項と4項の方法で計算した各地盤抵抗バネの特性を表-2にまとめた。

表-1 上下部一体とした橋梁全体解析における抵抗要素の特性一覧表

抵抗要素種類	バネ特性
上部工桁	線形
橋脚躯体	テトラリニア非線形 (M~θ)
基礎躯体	テトラリニア非線形 (M~θ)
前背面水平バネ	トリリニア非線形
節点回転バネ	テトラリニア非線形
底面回転バネ	テトラリニア非線形
底面水平せん断バネ	テトラリニア非線形

6 あとがき

下記のような考え方で、本文に提案された橋梁全体解析法における上部工は弾性部材とした。

(1) 上部工の非線形性は橋梁全体の等価固有周期に影響が少ない。非線形スペクトル法により、構造の等価固有周期を求めるときは、構造の水平剛性を用いて算出する。上部工の非線形性は構造の水平剛性に影響が少ないためである。

(2) 本文が提案した解析方法で得た上部工の断面力は、断面を照査するのに用いることができる。弾性部材としての断面力なので、危険側の設計にはならない。

また、軸力変動に関して調査したところ、ラーメン橋梁全体の変位に対する影響は、無視できる程度の結果となったため、本解析方法では軸力変動が無視された。

本解析方法を基づいたプレポスト処理プログラムを整備したため、比較的複雑な耐震解析が効率よく行える。

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」，平成11年10月
- (2) 「ケーソン基礎における地盤の前背面鉛直せん断摩擦力による基礎降伏震度への影響検討」，第50回土木学会発表会
- (3) 総合技術研究所，わかりやすいケーソン基礎の計画と設計，平成9年12月
- (4) 3次元汎用静的・動的な非線形解析プログラム RESP-T マニュアル，構造計画研究所