

剛体ばねモデルを用いた地盤一構造物系の地震時応答解析

佐賀大学大学院 学生員 ○横町 将司
 佐賀大学 正会員 荒牧 軍治
 佐賀大学 正会員 古賀 浩二
 佐賀大学 正会員 古賀 勝喜

1. はじめに

平成7年に起こった兵庫県南部地震をきっかけとして道路橋示方書・耐震設計編が全面的に改訂された。改定案の段階では、軟弱地盤地域における橋梁の耐震設計には動的解析で照査することが義務づけられていたが最終的には大幅に削除され、動的解析の義務は免除された。これは、設計現場に及ぼす影響が大きくなり、すぐに対応ができず混乱を招く恐れがあったためと考えられ、動的解析の必要性がないと判断されたものではない。佐賀、白石平野には超軟弱な有明粘土層が厚く堆積しており、基礎一地盤系相互作用を含む弾塑性動的解析の技術の確立が急務の課題である。骨組み構造理論に基づく動的弾塑性解析の技術は確立しており、使い勝手の良いプログラムも市販されているが、地盤の変形まで考慮した簡便なプログラムは発売されていない。

本研究では RC 単柱橋脚、複数の杭基礎、超軟弱地盤から成る地盤一構造物系を対象とした弾塑性地震時応答解析プログラムの開発と有明粘土地盤内における橋梁の動特性を検討することを目的に始めた研究の第1段階である。ここでは弾塑性の取り扱いが容易な剛体ばねモデルによる弾塑性解析について述べる。

2. 剛体ばねモデル

与えられた構造体を有限個の剛体ブロックに分割し、塑性関節を一般化した法圧力とせん断荷重に抵抗する 2 種類のばね系でつなぐモデルが剛体ばねモデルである。このモデルは塑性が要素内で起こるのではなく、要素の接合点に起きると考えるため、破壊解析を行うのに適している。

k_d 、 k_s をそれぞれ法線、せん断ばねのばね定数とすると、静的平衡方程式は次式で与えられる。

$$\begin{Bmatrix} Y_1 \\ X_1 \\ M_1 \\ Y_2 \\ X_2 \\ M_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{dd} & 0 & -k_{dG} & -k_{dA} & 0 & k_{dG} \\ k_{sd} & k_{sA} \frac{l}{2} & 0 & -k_{sA} & k_{sA} \frac{l}{2} & 0 \\ & k_{sd} + \frac{1}{4} k_{sA} l^2 & k_{dG} & -k_{sA} \frac{l}{2} & -k_{sd} + k_{sA} \frac{1}{4} l^2 & -k_{dG} \\ & & k_{dA} & 0 & -k_{dG} & 0 \\ & & & k_{sA} & -k_{sA} \frac{l}{2} & 0 \\ & & & & k_{sd} + \frac{1}{4} k_{sA} l^2 & k_{dG} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \phi_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \phi_2 \end{Bmatrix}$$

SYM

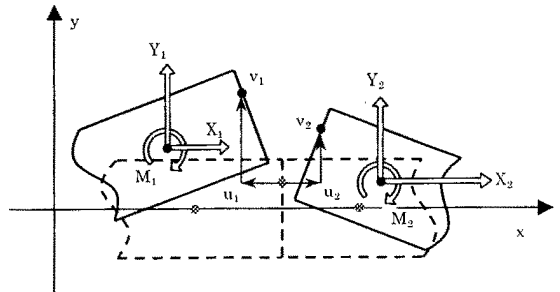


図-1 ばねでつながる要素の相対変位と外力

積分した結果を次の定数で定義する。

$$k_{sA} = \int k_s dA = k_s A \quad k_{dG} = \int k_d y dA = k_d G_y$$

$$k_{dA} = \int k_d dA = k_d A \quad k_{sd} = \int k_d y^2 dA = k_d I_y$$

$A = \iint dA$ はりの断面積

$G_y = \iint y dA$ はりの断面2次モーメント

$I_y = \iint y^2 dA$ はりの断面2次モーメント

3. 非線形動的解析の手順

弾塑性による影響(Q)を考慮した運動方程式は次式で与えられる

$$[M]\ddot{X} + [C]\dot{X} + [K]X - \{Q\} = \{P\}$$

計算に当たっては繰り返し収束計算が不要である酒井らの方法を用いる。時間積分法を適用するにあたり、

調整外力ベクトル $\{Q\}$ を算定する手順は以下の通りである。ある時間、強制変位を受け続けた物体があり、バイリニアな復元力特性を持っている場合を考える。この時、図のような履歴を経過したとする。いま、物体に生じた変形が u であったとすると B における復元力が実際に発生する大きくなり、初期剛性 K_0 で u が作用したときの復元力より小さな値となる。

今、運動方程式は初期剛性を用いて考えているので、

$$Q = F_B - F_A$$

として外力調整ベクトルとし剛性低下の影響を考慮する。

酒井らは、外力調整ベクトルに対する応答を中央差分法に求めることにより収束計算を行わずに、非線形性を取り扱うことができる優れた方法を提案している。本研究においては取り扱いが簡便な酒井の方法を採用することとした。

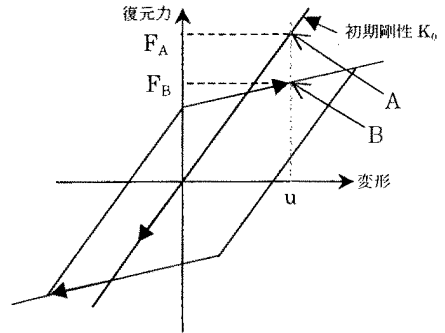


図-2 調整外力ベクトルの概略

5. 解析モデル

本研究では、「耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書」において使用されている橋脚を使用し、モデル化を行った。まずは、地盤・杭を除いたモデルを作成し、弾塑性応答の解析方法の確立をはかった。

図-3 は計算に用いたモデルであり、諸定数は報告書の 11～20 ページの値を用いた。

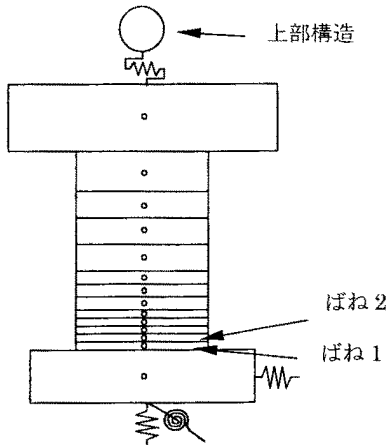


図-3 解析モデルの概略

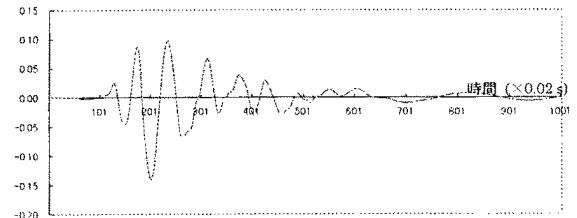


図-4 橋脚天端における時刻歴変位

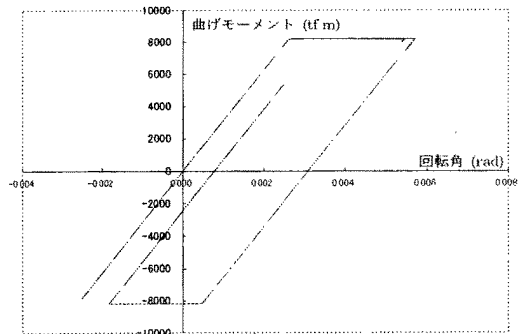


図-5 ばね 1 (橋脚基部) における復元力特性

6. 考察とまとめ

図-4 は橋脚天端の変位を、図-5 はばね 1 における復元力特性を示している。いずれも安定に解を得ることができ、剛体ばねモデルに酒井の方法を適用した

弾塑性動的解析の手法は確立できた。現在、杭基礎構造を有する橋脚において、地盤変形を考慮した動的解析を行っている。解析結果については講演時に発表する予定である。

参考文献

- 1) 川井忠彦:離散化極限解析法概論、培風館
- 2) (社)日本道路協会:道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説、1997
- 3) (財)土木研究センター:耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書、1997
- 4) 酒井久和・澤田純男・土岐憲三:収束計算を行わない動的非線形 FEM のための時間積分法、土木学会論文集 No.507/I-30,137-147,1995