

I - B361

ひずみ軟化を考慮した鉄筋コンクリート橋脚の非線形振動解析

八千代エソグニヤリツグ 正員 石川 義樹 八千代エソグニヤリツグ 正員 小倉 裕介
 北見工業大学 フォロー 大島 俊之 北見工業大学 正員 三上 修一
 北見工業大学 正員 山崎 智之

1. はじめに

多数の橋脚に用いられている鉄筋コンクリートの材料特性は強震時に非線形性を有する。特にコンクリートは引張側で脆性破壊し、更に弾性係数が負勾配となるひずみ軟化領域も存在することから、鉄筋コンクリートの非線形挙動は非常に複雑なものとなる。材料の降伏による剛性変化を考慮した非線形振動解析において、ひずみ軟化を考慮した場合、復元力特性は図-1の様に一時的に負勾配となる軟化部が発生し、解の一意性が失われる為、一般的な増分形の逐次積分による計算は不可能となる。これは非線形振動論におけるBifurcation Point（分岐点）と呼ばれる不安定問題に属する。この問題を解決する方法として構造物の系に蓄積されるひずみエネルギーが最小となるつり合い経路を選択する方法が考えられる。

本研究では軟化部における系のひずみエネルギーを評価することにより不安定領域後の応答を追跡する解析手法を示し、同解析手法によるひずみ軟化を考慮したRC橋脚の非線形振動解析を行い、履歴復元力をモデル化した解析を用いて応答性状及びエネルギー分布の比較検討することを目的とする。

2. 解析モデル

解析対象橋脚は釧路沖地震で被害を受けた依田橋橋脚であり、2段階に段落しが施されたT型円形橋脚である。同橋脚に対して図-2の様な離散質点系はり要素でモデル化を行い、地盤の影響を考慮して地盤ばねを配した。また、材料については鉄筋は降伏後その弾性係数が1/10となる弾塑性硬化型バイリニアモデルとし、コンクリートは図-3に示す様に応力-ひずみの関係を直線で近似し引張側でひずみ軟化を考慮した。

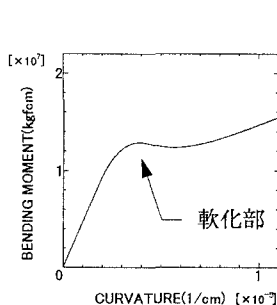


図-1 軟化部を有するM-φ曲線

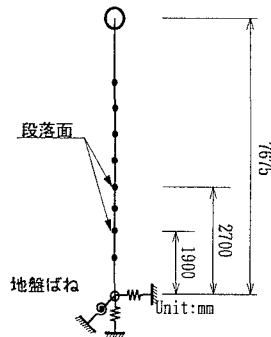


図-2 解析モデル図

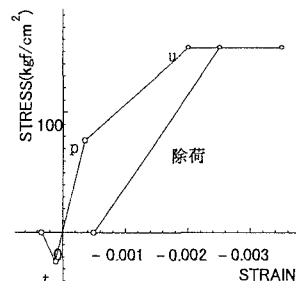


図-3 コンクリートの材料モデル

3. ひずみ軟化を考慮した非線形振動解析手法

材料のひずみ軟化を考慮した場合、先の図-1の様に軟化部が発生し1つの抵抗曲げモーメントに対して実現可能な曲率は2つ以上存在することから、系は複数のつり合い経路持ち不安定なつり合い状態を示す。そこで本研究ではひずみエネルギーに着目することにより不安定領域後の応答が可能となる解析手法を示す。

はり要素の一部が軟化して系のつり合い状態が不安定となる場合、複数の負の固有値が発生しその数が存在するつり合い経路を示す¹⁾。これらの固有値に対応する固有モードを調べると図-4の様な形状を示し、一つは1次モードとなり、もう一方は全く異なる変形挙動へ移行する可能性がある。そこで変位増分ベクト

キーワード：ひずみ軟化、分岐点、負の固有値、ひずみエネルギー

〒153 東京都目黒区中目黒 1-10-21

TEL 03-3715-5185

FAX 03-3715-2055

ル $\Delta\{u\}$ を1次モードを示す固有ベクトル $\{v\}$ を用いて次式で仮定する。

$$\Delta\{u\} = \alpha\{v\} \quad \dots(1)$$

ここで α は任意のスカラーである。またエネルギーに着目すると軟化部中ではひずみエネルギーは極小に向かって減少し、その間に解放されるエネルギーは運動エネルギーに変換され系は安定なつり合いへと瞬時に移行するので、 α の決定はひずみエネルギーが最小となる位置での値となる。実際の解析では式(1)に任意の α を与え、繰り返し計算にて安定なつり合い経路を選択して不安定領域の突破を行う。

4. 動的応答解析

解析は橋脚モデルに加速度をsin波（振幅400gal、周期0.4sec）で入力し、解析時間は10sec、時間間隔 Δt は 2.5×10^{-5} secとしてWilsonの θ 法（ $\theta = 1.4$ ）を用いて逐次積分を行った。以後、解析結果についての簡単な考察を行う。図-6は1回目段落し部における曲げモーメント曲率曲線履歴である。ひずみ軟化を考慮した解析では安定なつり合い経路への飛び移りが確認でき、飛び移り後は断面の損傷により剛性低下が見られる。また両解析での相違点は除荷後の履歴にあり、モデル化した解析では平行四辺形状の経路を描くのに対し、軟化を考慮した解析では比較的小さな面積を描く。図-7は水平変位応答の比較であるが、ひずみ軟化を考慮した解析の方がやや変位が大きく約0.5secにて最大変位となるが、この付近で橋脚基部や変断面部が軟化していることから断面損傷が大きな要因と考えられる。図-8はひずみエネルギーの比較を示しており、エネルギーの最終的な蓄積量はモデル化した解析が軟化を考慮した解析の約4倍となる。これは先に述べた履歴経路に関係し履歴曲線の描く面積がエネルギーの蓄積量を意味する。モデル化した解析は履歴経路の面積がひずみ軟化を考慮した解析に比して大きい為、このような結果が得られたと考えられる。

5. まとめ

以上より本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 系のひずみエネルギーに着目した解析手法により不安定領域後の応答の追跡が可能となった。
- (2) ひずみ軟化を考慮した解析と履歴復元力をモデル化した解析との比較を行い、構造物の系に蓄積されるひずみエネルギーと履歴復元力特性との関係を明らかにした。

参考文献

- 1) 中村、田辺：鉄筋コンクリートはりのポストピーク挙動に関する解析的研究、土木学会論文集、No.490/V-23, pp81-90, 1994.5

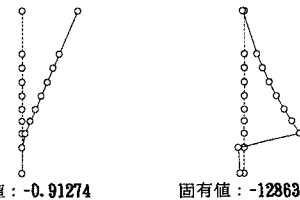


図-4 負の固有値に対応する各固有モード

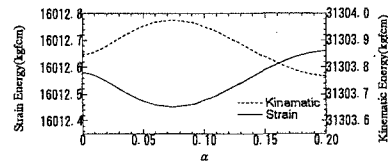
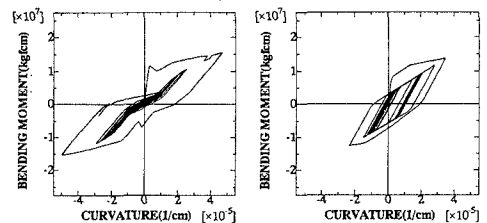


図-5 不安定領域でのエネルギーの変化



ひずみ軟化を考慮した解析 履歴復元力をモデル化した解析

図-6 曲げモーメント-曲率曲線履歴

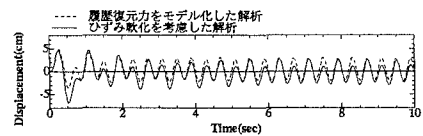


図-7 橋脚上端部の水平変位応答の比較

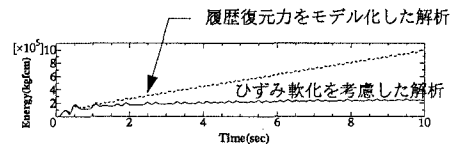


図-8 ひずみエネルギーの比較