

I - B 184 R C 橋脚の地震時弾塑性応答におけるエネルギー収支

中央コンクリート(株) 正員 太田 雅仁 八千代エンジニアリング(株) 正員 小倉 裕介  
 北見工業大学 正員 大島 俊之 八千代エンジニアリング(株) 正員 石川 義樹  
 北見工業大学 正員 三上 修一

1. はじめに

構造物の損傷をエネルギーの観点から評価した研究は以前から行われてきた。その中で、秋山ら<sup>1)</sup>は Housner によるエネルギー論を発展させ塑性ひずみエネルギーを入力エネルギーと対比させることで構造物の損傷を評価する耐震設計法を提案した。また藤野、西岡ら<sup>2)</sup>はエネルギー論に立脚した耐震設計を確立するために、構造特性や入力地震動などの様々なパラメータに対する塑性ひずみエネルギー量を定量的に把握する研究を行った。

そこで、本研究は実際の RC 橋脚を離散質点系はり要素にモデル化し、地震動を入力して曲げ振動弾塑性応答解析<sup>3)</sup>を行った。その結果、入力地震動の影響によって時刻歴のエネルギー収支、特に塑性ひずみエネルギーがどのように変化するかを比較検討した。また、入力エネルギーに対する塑性ひずみエネルギーの比  $W_p/E$  でも検討を行った。

2. 解析モデル

山形自動車道笹谷 IC~一般有料道笹谷 T.N 間にある阿古耶橋 (P-5 橋脚) を図-1 の離散質点系はり要素にモデル化した。地盤反力は質点 1 に配した地盤バネで考慮した。橋脚は矩形断面(1100x200cm)の壁式橋脚である。

図-1 の各断面に対するそれぞれの履歴復元力モデルを図-2 に示し、各点はそれぞれ断面の弾性限界 :  $c$ 、引張側鉄筋の降伏点 :  $y_0$ 、圧縮側コンクリートが最大圧縮応力に達する点 :  $c_{max}$ 、圧縮側コンクリートが終局ひずみに達する点 :  $u$  を表す。履歴経路は曲率が  $y_0$  点 (鉄筋降伏) 以下のときは原点指向、それ以上の曲率を経験すると原点と  $y_0$  点とを結ぶ直線の傾きで除荷するようにした。

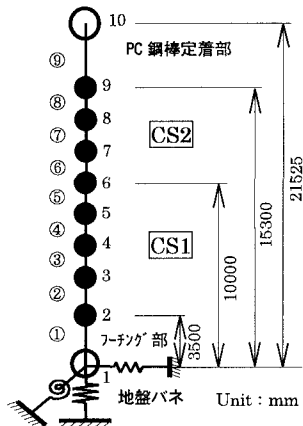


図-1 解析モデル

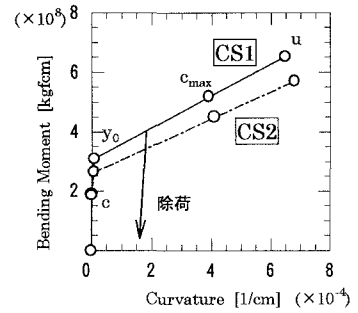


図-2 履歴復元力モデル

3. エネルギー計算

構造物の振動が継続している間では、全内部ひずみエネルギー  $W_t$  は弾性ひずみエネルギー  $W_e$  と塑性ひずみエネルギー  $W_p$  の和であることから、弾性ひずみエネルギー  $W_e$  を定義し、塑性ひずみエネルギー  $W_p$  を求める。

$$W_t = W_e + W_p \quad \dots(1)$$

弾性変位ベクトル  $\{\Delta u_e\}$  を時々刻々の復元力  $\{\Delta R(t)\}$  と弾性剛性マトリックス  $[K_e]$  で表すと次式となる。

$$\{\Delta u_e\} = [K_e]^{-1} \{\Delta R(t)\} \quad \dots(2)$$

上式の剛性マトリックスは曲げ剛性  $EI_c$  によって決定される。図-3 に示すようにに曲げモーメントが  $0 \sim c$  間は原点

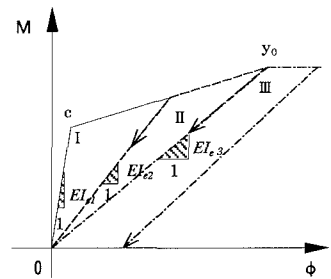


図-3 原点指向時の曲げ剛性

Key Words : エネルギー収支、塑性ひずみエネルギー、弾塑性応答解析

連絡先 : 〒090-8507 北海道北見市公園町 1 6 5 番地 Tel (0157) 26-9476 Fax (0157) 23-9408

とc点を結ぶ傾き、 $c \sim y_0$ 間では各サイクル中の初期曲げ剛性となる。 $y_0$ 点以降を経験したときは原点と $y_0$ 点とを結ぶ傾きで一定となる。そして弾性変位ベクトルから速度ベクトルを求め、時々刻々の復元力との積として定義した。そこで、ある時刻 $t$ までの弾性ひずみエネルギー $W_e$ は次式となる。

$$W_e = \int_0^t \dot{u}_e^T \{R(t)\} dt \quad \dots(3)$$

よって、全内部ひずみエネルギーから弾性ひずみエネルギーを引くことで時々刻々変化する塑性ひずみエネルギーを求めた。

#### 4. 弾塑性応答解析

解析モデル（図-1）の運動方程式を組み図2の履歴復元力を用いて、Wilson's  $\theta$ 法( $\theta=1.4$ )で逐次積分することにより応答計算を行う。また、その運動方程式の各項に $\dot{u} dt$ を乗じて、運動エネルギー $W_K$ 、減衰エネルギー $W_D$ 、全内部ひずみエネルギー $W_i$ 、及び入力エネルギー $E$ も計算した。入力波形は加速度スペクトルで振幅調整したI種地盤標準加速度波形（(a)宮城沖及び(b)兵庫県南部地震）である。次に解析結果及び考察を述べる。各地震動に対するエネルギー収支、応答変位、 $W_p/E$ 時刻歴をそれぞれ図-4, 5, 6に示す。エネルギー収支では塑性ひずみエネルギーに着目すると(a)では時間経過とともに徐々に増加し、入力エネルギーの大部分を塑性ひずみエネルギーで分担している。また、(b)では5~10秒間で急激にその後も徐々に増加し、(a)と比較して入力エネルギーに対する減衰エネルギーの分担が(b)のほうが大きく、解析終了時の吸収量は小さい。橋脚頂部の応答変位を見ると、(a)では最大変位が40cmに達し振幅も大きい。(b)では最大変位は30cmで、すぐに減衰し振幅も小さい。橋脚基部付近が塑性化することによって塑性ひずみエネルギーが増加し、また応答変位は大きくなる。そして $W_p/E$ 時刻歴を見ると、(a)では2秒で(b)では2、5秒で急激に増加し、解析終了時の値は(b)のほうが小さい。これは図-4から入力エネルギーに対する減衰エネルギーの割合が大きいと考えると考えられる。

#### 5. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると以下のようになる。

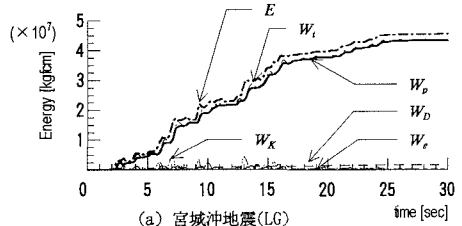
- 1) RC橋脚を骨組み要素にモデル化し弾塑性応答解析を行い、時刻歴に変化する塑性ひずみエネルギーを計算した。また入力エネルギーで塑性ひずみエネルギーを無次元化した値 $W_p/E$ も時刻歴で表示した。
- 2) 入力地震動によって塑性ひずみエネルギーは時刻歴で大きく変化し、 $W_p/E$ では解析開始から任意の値に収束するまでに影響が表れる。

本研究は平成10年度文部省科学研究費（代表者 大島俊之）の補助を受けて行われました。

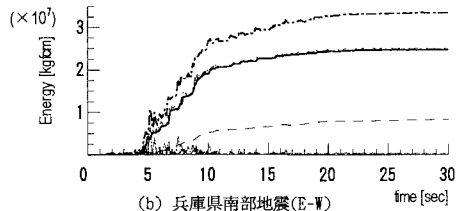
参考文献 1) 秋山宏：建築物の耐震極限設計、東京大学出版、1980。

2) 大野、西岡、藤野：構造物が地震時に受ける塑性ひずみエネルギー量の定量的評価、土木学会論文集 No.333, pp91-99, 1983.5。

3) 大島、三上、山崎ら：M- $\phi$ 関係が部分軟化する柱部材の非線形曲げ振動応答解析における安定性の検討、土木学会論文集 No.598/1-44, pp211-226, 1998.7。



(a) 宮城沖地震(LG)



(b) 兵庫県南部地震(E-W)

図-4 エネルギー収支

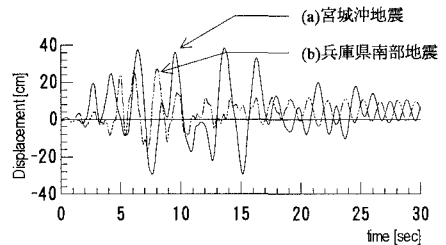


図-5 応答変位（橋脚頂部）

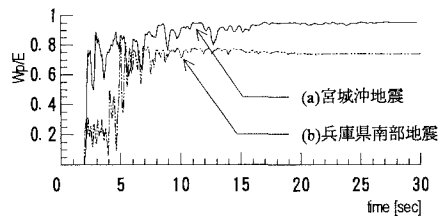


図-6  $W_p/E$ 時刻歴