

愛媛大学工学部 フェロー 森 伸一郎
愛媛大学大学院 学生会員 ○平田 昭博

1. はじめに

近年、杭基礎構造物の地震応答解析では地盤や杭といった構成要素の非線形解析が行われ、地震時の挙動を正確に把握できるようになってきた。しかし、このような非線形解析は計算が煩雑で解析時間もかかる。そこで本研究では、エネルギー一定則によって、地震時における杭の非線形応答を杭材の線形応答より簡便に評価することを目的とした。

2. エネルギー一定則による曲率の算定

図-1 にエネルギー一定則の概念図を示す。エネルギー一定則では、杭の M-φ の線形最大応答点(φ_e, M_c)から骨格曲線とφ軸で囲まれる面積が等価であるとして求められる等価最大応答点(φ_{eq}, M_{eq})を算定する。本研究ではこの線形解析から求めた等価最大応答点と非線形解析によって算定した非線形最大応答点(φ_p, M_p)を比較、検討する。以下にエネルギー一定則における曲率の算定式を3区間に対応させて示す。

E_e < E_c の場合

$$\phi_{eq} = \phi_e$$

E_c < E_e < E_y の場合

$$\phi_{eq} = \phi_c + \frac{1}{K_2} \left(-M_c + \sqrt{M_c^2 - K_2 \left(\frac{M_c^2}{K_1} - 4E_e \right)} \right)$$

E_y < E_e < E_u の場合

$$\phi_{eq} = \phi_y + \frac{1}{K_3} \left(-M_y + \sqrt{M_y^2 - K_3 \left(\frac{M_c^2}{K_1} + \frac{M_y^2 - M_c^2}{K_2} - 4E_e \right)} \right)$$

ここで、

$$E_e = \frac{M_e \phi_e}{2}$$

$$E_c = \frac{M_c \phi_c}{2}, E_y = E_c + \frac{(M_y + M_c)(\phi_y - \phi_c)}{2}$$

$$E_u = E_y + \frac{(M_u + M_y)(\phi_u - \phi_y)}{2}$$

3. 解析手法とモデル

図-2 に解析対象とする道路橋基礎を示す。解析は質点系モデルの1つである Penzien モデルを用いた。解析条件等は参考文献1)と同様なものを用いた。ただし、本解析では地盤は全て非線形ばねとしてモデル化しており、その復元力特性は Ramberg-Osgood モデルを用いた。また、相互作用ばねは全て線形ばねとしてモデル化した。杭はRC場所打ち杭で3×4=12本で構成され、加振方向は橋脚直角方向である。また、杭先端の支持条件はピン支持である。杭の復元力特性には、骨格曲線をトリリニアとし、除荷時には剛性が低減し、さらに復元力の符号が変わる

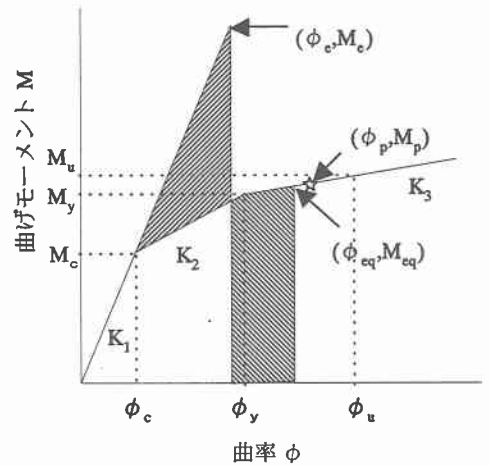


図-1 エネルギー一定則の概念図

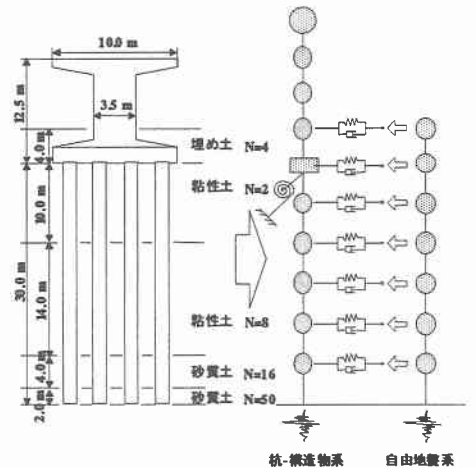


図-2 解析対象と解析モデルの概念図

表-1 杭の M-φ 関係の特性点

区間 (m)	ひび割れ時		降伏時		終局時	
	Mc (kNm)	φc (m ⁻¹)	My (kNm)	φy (m ⁻¹)	Mu (kNm)	φu (m ⁻¹)
0~2.4	675	2.3*10 ⁻³	2199	2.4*10 ⁻³	3190	2.1*10 ⁻²
2.4~10	675	2.3*10 ⁻³	2225	2.4*10 ⁻³	3190	1.2*10 ⁻²
10~30	648	2.3*10 ⁻³	1556	2.2*10 ⁻³	2105	1.4*10 ⁻²

表-2 入力地震波一覧

タイプ	地震波	最大加速度
I	1978 KAIHOKU BRG. LG.	319 cm/s ²
	1968 ITAJIMA BRG. LG.	363 cm/s ²
	1995 KPI NS	679 cm/s ²
II	1995 JR TAKATORI STA. NS	687 cm/s ²
	1995 OGAS FUKIAI N27W	736 cm/s ²
	1995 JMA KOBE OBS NS	812 cm/s ²

と過去の最大点を指向するという武田モデルを用いた。杭の M- ϕ 関係の特性点を表-1 に示す。入力地震波は、タイプ I の地震波 2 波、タイプ II の地震波 4 波の合計 6 波を用いた。表-2 に入力地震波の一覧を示す。

4. 解析結果と考察

解析は異なる 6 個の波形を用いたが、どの波形においても分布形状がよく似ているため、タイプ I 地震動の KAIHOKU 波とタイプ II 地震動の KPI 波を代表させて論ずる。

図-3 に KAIHOKU 波における杭の最大曲げモーメント分布を示す。この図において、杭の線形曲げモーメント分布と非線形曲げモーメント分布の形状に大きな違いがあり、その値も大きく離れていることがわかる。代表的な点を取り、(線形解析/非線形解析)の値(α とする)を求めると、4 m(杭頭部)、15 m では 3.64、32 m では 6.05 である。これに対し、エネルギー一定則による曲げモーメント分布と非線形曲げモーメント分布を比較すると、分布形状がよく似ており、その値も近いことがわかる。ここで、(エネルギー一定則/非線形解析)の値(β とする)を求めると、4 m、15 m、32 m においてそれぞれ 0.60、0.80、0.57 となり、 α に比べ格段に改善されている。図-4 に KAIHOKU 波における杭の最大曲率分布を示す。この図においても杭の線形曲率分布と非線形曲率分布の形状に大きな違いがあり、エネルギー一定則による曲率分布と非線形曲率分布はよく似ている。 α の値 0.16、0.39、0.10 に対して、 β の値は 0.45、0.94、0.48 である。図-5 にタイプ II 地震動である KPI 波における杭の最大曲率分布を示す。この図においても、図-4 と同様にエネルギー一定則による曲率分布は非線形曲率分布とよく似ている。

次に、レベル 2 などの大きな地震力の下では変形が重要であるので、各波形における最大曲率分布の代表点(4 m、15 m、32 m)の比較を行う。図-6 は異なる 6 個の波形において、4 m、15 m、32 m 地点の最大曲率をもとに α または β の値で表したものである。この図において、 α は 0.1~0.4 付近に分布しているが、 β は 0.5~1.2 付近に分布しており、エネルギー一定則を用いることで非線形応答に近づくことがわかり、エネルギー一定則の適用性が認められる。

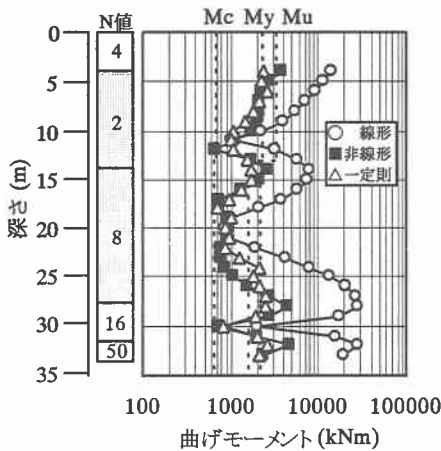


図-3 杭の最大曲げモーメント (KAIHOKU 波)

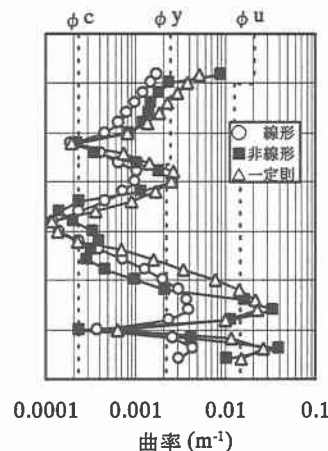


図-4 杭の最大曲率 (KAIHOKU 波)

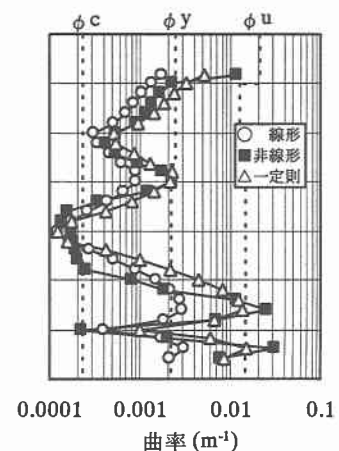


図-5 杭の最大曲率分布 (KPI 波)

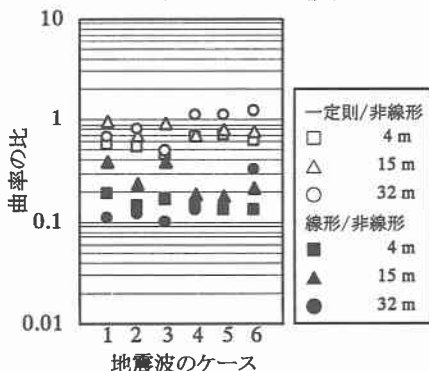


図-6 各地震波の曲率の比

5. 結論

杭の線形応答結果にエネルギー一定則を用いることで最大曲げモーメント、最大曲率の分布形状と分布のピーク値が非線形応答結果に近い評価が可能となる。線形解析の曲率が非線形解析の曲率の 10%~40%であるのに対し、エネルギー一定則による曲率は 50%~120%となり、その適用性が認められる。

参考文献 1) 森 伸一郎, 平田 昭博: 地盤-杭基礎構造物系の地震応答に及ぼす系構成要素の非線形性の影響, 構造工学論文集 Vol.48A, 土木学会, 2002.3. 掲載予定