

I-813

地盤-基礎-構造物系の非線形動的応答解析

京都大学大学院 学生員 永田 和寿 京都大学工学部 正 員 渡邊 英一
 京都大学工学部 正 員 杉浦 邦征 京都大学工学部 正 員 宇都宮智昭

1. はじめに

近年、沖合海洋空間、大深度地下や軟弱地盤上などの過酷な自然環境での構造物建設ニーズが高まり、これらを技術的に裏付けるための構造解析や構造実験が盛んに行われるようになった。とりわけ、地盤-基礎-構造物系の動的相互作用を考慮し、波力、風力、地震などの動的外力作用下における構造物の終局耐力を明らかにすることは構造物の安全を確保する上で重要である。そこで、本研究は橋梁構造物を対象として地震力が作用した場合の地盤-基礎-構造物系の動的応答解析を行い、動的相互作用について検討を行った。

2. 解析手法および解析モデル

地盤-基礎-構造物系を動的相互作用の影響を調べるため、Fig. 1 に示すように地盤の影響も考慮した3自由度(構造物、基礎のスウェイ、およびロッキング)にモデル化し、以下に示すような弾性系に対する運動方程式を誘導した。

$$[M]\{\ddot{Y}\} + [C]\{\dot{Y}\} + [K]\{Y\} = -[M]\{f\}\ddot{Z} \quad (1)$$

ここで、

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_0 & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix}, [C] = \begin{bmatrix} c & -c & -cH \\ -c & c+c_H & cH \\ -cH & cH & cH^2+c_R \end{bmatrix}, [K] = \begin{bmatrix} k & -k & -kH \\ -k & k+k_H & kH \\ -kH & kH & kH^2+k_R \end{bmatrix}$$

$$\{Y\} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_0 \\ \theta \end{Bmatrix}, \{f\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

k, k_H, k_R は弾性剛性を表す。ただし、非線形解析においては復元力項 $[K]\{Y\}$ をバイ・リニア型でモデル化した。

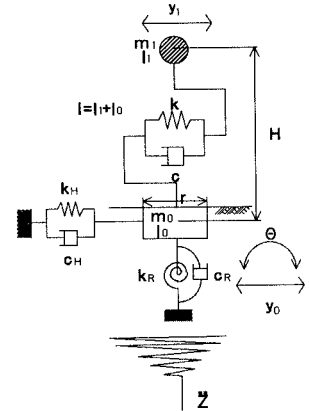


Fig. 1 3自由度モデル

時刻歴応答解析を行うにあたり、ニューマークのβ法(β=1/6)を用いた。時間刻みは、非減衰固有値解析を行った結果(Table 5)、最小周期が0.145(sec)であることから0.001(sec)とし、復元力モデルには、バイ・リニアモデルを用い、基本2次勾配は弾性剛性の10%とした。入力波形には、道路橋示方書V耐震設計編に地盤種別で与えられている弾性応答解析用(レベル1)および保有水平耐力照査用(レベル2)を用いた。モデルの諸元をTable 1~4に示す。そこで、動的相互作用の影響を明らかにするために、地盤種別(I種地盤およびIII種地盤)、地震力(レベル1およびレベル2)、降伏復元力を変化させたパラメトリック解析を行った。

Table 1 構造物の諸元

減衰定数h	0.05
ばね定数k	110 tonf/cm ²
重量m ₁	1500 tonf
橋脚長H	1500 cm
回転慣性I ₁	521684 tonf・cm ²

Table 2 基礎の諸元

重量m ₀	1500 tonf
幅r	800 cm
回転慣性I ₀	93112 tonf・cm ²
減衰定数h _H	0.1
減衰定数h _R	0.1

Table 3 地盤の諸元

	単位重量 γ (tonf/m ³)	せん断波速度 V _s (m/s ²)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (tonf/m ²)
I種地盤	2.0	250	0.35	12755
III種地盤	1.8	150	0.45	4133

Table 4 地盤のばね定数

	スウェイばね 定数 k _H (tf/cm)	ロッキングばね 定数 k _R (tf/cm)
I種地盤	2687	935
III種地盤	444636554	170255379

Table 5 固有値解析(単位:sec)

	固有周期	
地盤種別	I種地盤	III種地盤
1次モード	0.946	1.222
2次モード	0.188	0.275
3次モード	0.145	0.210

3. 解析結果および考察

I種地盤のレベル2の加速度波形を入力した場合の変位時刻歴曲線をFig. 2~5に示す。Fig. 2~5はそれぞれ基礎を固定した場合の構造物の水平方向および基礎を固定しない場合の構造物の水平方向y₁、基礎のス

ウェイ方向 y_0 、基礎のロッキング方向 θ の応答変位の時刻歴を表している。ここで、それぞれの降伏復元力はレベル1を入力加速度として弾性応答解析を行ったときの最大復元力とした。その結果、構造物の水平変位はいずれの場合も約2秒後に最大値に達し、基礎を固定しない場合の方が基礎を固定した方に較べて10 cmほど大きくなっている。これは、ロッキング運動により構造物が水平方向に付加的に変位するためであると思われる。

これらの動的応答解析のまとめをTable 6に構造物の絶対水平変位の最大値で示す。I種地盤およびIII種地盤に対してもレベル1よりもレベル2の方が最大変位は大きくなるが、特に、III種地盤では、基礎が固定か否かによってその値は大きく異なることが分かる。

降伏復元力をパラメトリックに変化させた解析結果をFig. 6～8に示す。これらの図は、I種地盤に対して弾性応答解析を行ったときの最大復元力を基準値と設定し、それぞれの降伏復元力をこの基準値に対して8割、および8割と低減させて応答解析を行った結果を示している。その結果、いずれの自由度を変化させた場合も降伏復元力を6割に低減させたときにおいてはおよそ降伏変位の3～5倍の大きな応答変位を生じ、基礎のロッキング振動、構造物の水平振動、基礎のスウェイ振動の順で応答に敏感であることが分かる。

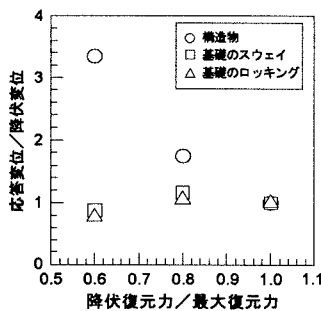


Fig. 6 応答結果
(構造物)

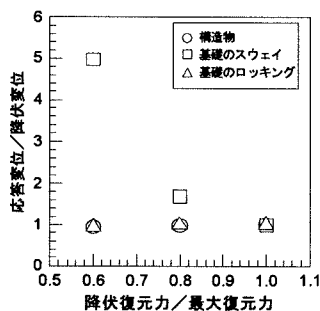


Fig. 7 応答結果
(基礎：スウェイ)

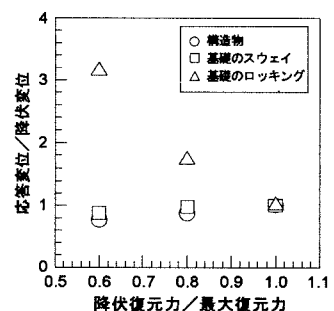


Fig. 8 応答結果
(基礎：ロッキング)

4. 結論

本研究は、地盤－基礎－構造物系の動的相互作用の影響を検討するために、橋脚・基礎の3自由度モデルを用いて、応答解析を行った。その結果、以下に示すような動的相互作用が明らかになった。

(1) 基礎を固定するか否かによって応答結果は特にIII種地盤で大きく異なり、軟弱地盤などにおいては基礎を考慮しなければならないことを示している。(2) I種地盤よりもIII種地盤の方が、応答は大きく表れるが、III種地盤よりもI種地盤の方がパラメータの変化に敏感である。(3) 基礎のロッキング運動が、構造物の水平変位応答に与える影響は大きい。

なお、パラメトリック解析の詳しい結果は講演当日発表する予定である。

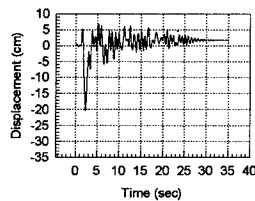


Fig. 2 変位時刻歴曲線
(構造物：基礎固定)

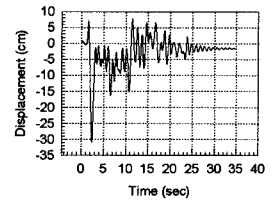


Fig. 3 変位時刻歴曲線
(構造物：基礎固定しない)

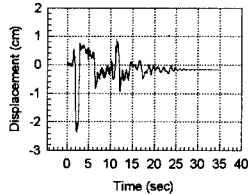


Fig. 4 変位時刻歴曲線
(基礎：スウェイ)

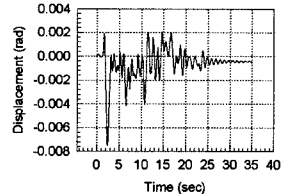


Fig. 5 変位時刻歴曲線
(基礎：ロッキング)

Table 6 解析結果 (単位: cm)

地盤種別	I 種地盤		III 種地盤	
入力波形	レベル1	レベル2	レベル1	レベル2
基礎を固定	2.74	20.2	4.29	17.8
基礎を固定しない	4.83	30.1	14.4	36.1