

地盤-構造物連成解析モデルの検討

新日本技研(株) 東京支社 温 留 漢
新日本技研(株) 東京支社 正会員 伊東 賢

1. 目的

大地震時の緊急輸送路を確保する目的から、設計年次の古い橋梁についてもレベル 2 地震に対する安全性が求められている。設計実務で一般に用いられている地震時保有水平耐力法は、エネルギー一定則に基づく近似方法であり、特に既設橋脚基礎へ適用した場合、増し杭などの大規模な補強が必要になることが多い¹⁾²⁾。既設橋脚基礎工の耐震性の評価には、地震時保有水平耐力法のほか、有限要素法を用いた事例³⁾も報告されているが、設計実務にそのまま適用するには課題も多い。また、強震時を想定した杭基礎と周辺地盤との複雑な動的相互作用及び構造物と地盤の非線形性を考慮できる解析手法が要求される。すなわち、地震時の材料非線形性を合理的に取り入れた実務対応の耐震設計法の整備が必要となる。

本研究の目的は、実務に適用できる杭基礎と周辺地盤の複雑な動的相互作用を比較的容易に表現できる解析モデルを構築することである。本稿では、自然地盤の重複反射解析手法と、地盤-構造物連成モデルを適用した場合の地表面付近の応答を比較検討することで、連成モデルの妥当性を検証したものである。

2. 対象橋脚及び解析モデル

検討対象としたのは S55 年道示により設計された場所打杭基礎（φ1000）を有する 2 柱式ラーメン橋脚である。解析に用いた連成モデルは、橋脚躯体及び杭基礎を梁要素、地盤を質点系の非線形せん断バネ、地盤と構造物の相互作用を非線形せん断バネに置換したものである。用いた連成解析モデルを図 1 に示す。橋脚及び杭構造の履歴法則は、修正武田型とする。地表面記録地震動は「道路橋示方書 V 耐震設計編」に規定されている地震動を用いた。

3. 対象自然地盤

本文の自然地盤解析に用いる地盤は表 1 に示しているように成層地盤として分割する。地盤の非線形性は下記の式 (1) と (2) に示す H-D モデルで設定した。

自然地盤の解析モデルにおけるひずみレベルと剛性低減率及び減衰の関係を図 2 に示す。 γ_y は基準ひずみであり、 h_{max} は最大減衰である。

基準化ひずみは表 1 に示す地盤データより算定した。自然地盤解析では地盤のひずみ増大に伴う剛性低下と減衰の増加を等価線形形で近似し、これに次元波動理論を適用した方法である。応答計算は、まず微小ひずみ時の剛性と減衰定数を用いた線形応答ひずみを第一次近似とする。次に、第一近似によって求められた応答ひずみに応じて等価剛性、等価減衰定数を剛性と減衰のひずみ依存曲線から設定し、応答ひずみの第 2 近似を定め、仮定ひずみと応答ひずみの誤差が十分小さくなるまでこの手順を繰り返す。

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_r}} \quad (1)$$

$$\frac{h}{h_{max}} = 1 - \frac{G}{G_0} \quad (2)$$

4. 解析結果

図 3 に自然地盤解析での地表面応答加速度のスペクトルを示す。図 4 及び図 5 に自然地盤解析モデル及び地盤-構造物連成解析モデルの地表面加速度応答時刻歴と変位応答時刻歴を示す。図 1 に示すような自然地盤の解析モデルについては、地表面の強震記録と解析値の加速度応答スペクトルが非常によく一致していることから自然地盤解析モデルが妥当と判断できる。図 4 及び図 5 に示すように、自然地盤解析と地盤-構造物連成解析モデルとの表面加速度時刻歴波形はほぼ一致している、最大変位としては地盤-構造物連成解析モデルのほうが若干大きい。これはマクロに捉えれば、慣性力の影響と考えられる。これが耐震設計に与える要因としては、地盤-構造物連成解析モデルと自然地盤解析を比較すると、加速度が支配的になる構造物及び地盤変位が支配になる地中構造物である杭基礎に対しては地盤-構造物連成解析モデルは安全側の評価になるこ

キーワード 自然地盤, 等価線形化法, 既設橋脚, 杭基礎, 相互作用

連絡先 〒105-0014 東京都港区芝 2-1-23 新日本技研(株)東京支社 TEL 03-3453-4321

とである。

表1 地盤定数

層厚	平均	土質	γ
m	N 値		kN/m ³
5.770	24	Ag	18
3.450	24	Ag	19
2.400	23	Ds	18
2.200	19	Dc	20
2.200	30	Ds	20
1.400	22	Dg	17
1.850	50	Dc	20
1.300	4	Dg	17
1.000	13	Dc	17
1.330	50	Ds	20

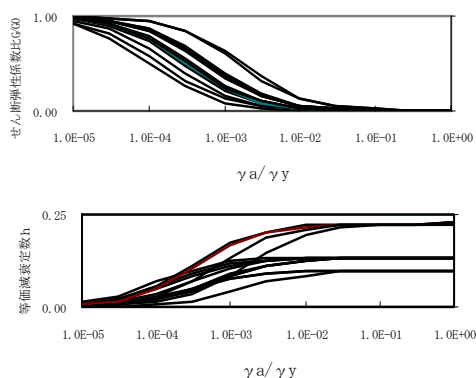


図2. 自然地盤モデル

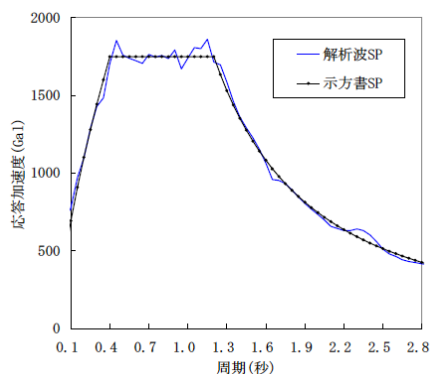


図3. 加速度応答スペクトル(SP)

5. まとめ

杭基礎を有する既設ラーメン式橋脚を対象に、レベル2地震動を入力とする地震応答解析を行い、同種構造物の耐震設計に対する適用性を検討した。地盤の応答解析として、自然地盤解析法と地盤-構造物連成解析法を適用した結果、地表面の加速度応答は両手法でほぼ同じであり、地表面応答変位はやや等価線形化手法の方が小さくなり、地盤-構造物連成解析法が安全側の

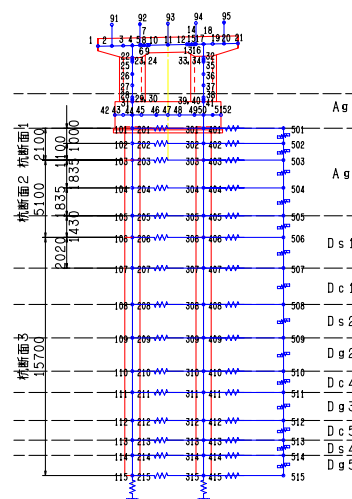


図1. 地盤-構造物連成解析モデル

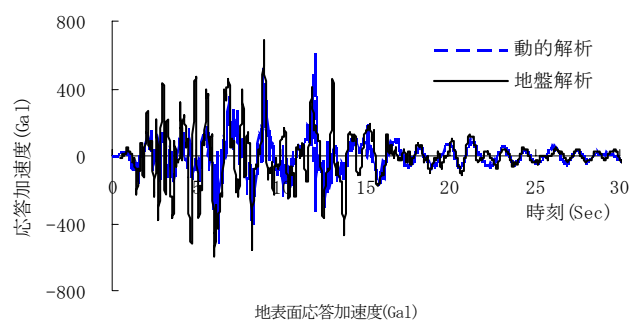


図4. 地表面応答加速度時刻歴比較

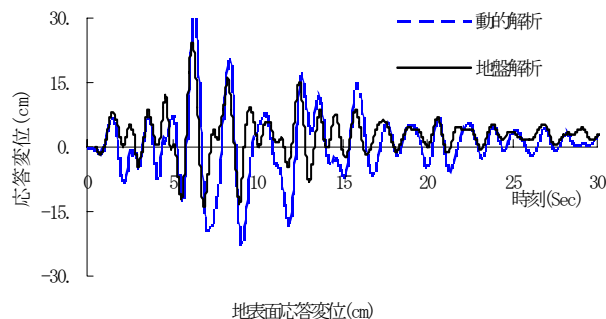


図5. 地表面応答変位時刻歴比較

評価を与えることがわかった。既設構造物の基礎の耐震性能照査に対しては、構造条件、地盤条件などを総合的に考慮し、地盤と構造物の相互作用効果を厳密に考慮した連成解析モデルが有効な手法であることがわかった。今後非線形性の検討を含めた手法の確立することが必要である。

参考文献

- 1) 道路協会 道路橋示方書・同解説
- 2) 道路橋の耐震設計に関する資料 日本道路協会
- 3) 青島ら2次元FEM解析による杭基礎の連成解析と地震時保有水平耐力法の比較 第3回地震時保有水平耐力に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集 1999年12月