

I - B 90

軟弱地盤を有する橋梁の地震時保有耐力法と動的相互作用に関する一検討

開発工営社 正会員 青地知也
 開発工営社 正会員 今井 彰
 開発工営社 正会員 松井義孝

1. 解析の目的

本モデルは、泥炭層を想定した橋梁モデルで基礎型式は鋼管杭とした。このような軟弱な地層では地震時において地盤の非線形性が卓越しその挙動は複雑になると思われる。本モデルでは、地震時における橋梁全体系の挙動をより正確に把握し耐震安定性を検証するため橋梁構造物～基礎～周辺地盤系の動的相互作用の解析を行う。そしてそれらの結果、地震時保有水平耐力法と動的解析の数値を比較する事によって橋梁全体系の耐震安定性を検証する。

2. 解析理論

本解析は、静的解析では地震時水平保有耐力法を用い、動的解析では動的サブストラクチャー法を用いている。地震時保有耐力法の考え方は、道路橋示方書・V（第5章）において周知の通りである。ここでは、動的サブストラクチャー法について述べる。これは地盤と構造物に分離して解析し、地盤の効果を構造物に寄与させる方法である。まず入力基盤面波及び収束物性値を求めるため重複反射理論による1次元地盤波動伝播解析を行い、次に地盤（杭を含む）の解析としてFEMによる複素応答解析で地盤の変形及びフーチング上面中央部の複素剛性（ ik/c_0 ）と有効入力地震動を算出する。それらを用いて橋梁構造物全体系の解析による非線形動的応答解析を用い、その動的相互作用解析結果と、静的地震時保有耐力法との比較をしている。

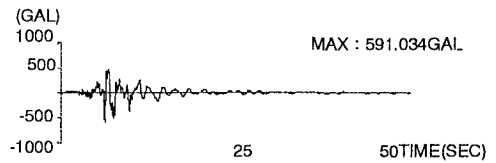


図-1 入力地震波（振幅調整波）

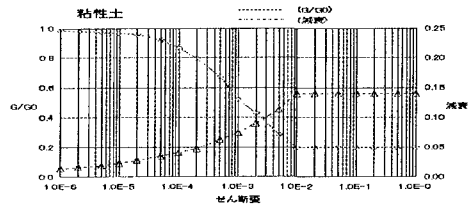


図-2 地盤の非線形特性（粘性土）

表-1 地盤の物性値

| 層厚 (m) | 地質 | せん断波速度 (m/s) | 単位重量 (kN/m ³) | ポアソン比 | せん断剛性 (kN/m ²) |
|--------|---------|--------------|---------------------------|-------|----------------------------|
| 3.950 | 粘性土 | 158.740 | 1.7 | 0.49 | 4371.1 |
| 2.500 | 砂質土 | 153.094 | 1.8 | 0.49 | 4301.5 |
| 2.650 | 粘性土 | 158.740 | 1.7 | 0.49 | 4371.1 |
| 1.580 | 砂質土 | 145.370 | 1.8 | 0.49 | 3381.5 |
| 4.790 | 粘性土 | 167.967 | 1.7 | 0.49 | 4667.3 |
| 3.890 | 砂質土 | 177.918 | 1.8 | 0.49 | 5814.1 |
| 4.200 | 粘性土 | 181.283 | 1.7 | 0.49 | 6347.8 |
| 3.300 | 砂礫(砂礫層) | 284.551 | 2.4 | 0.49 | 19829.2 |
| 15.00 | 砂礫(砂礫層) | 300.000 | 2.4 | 0.49 | 22040.8 |

3. 解析に用いた振幅調整波と地盤物性値

入力地震波は図-1に示したT2-III-1 東神戸大橋N12W（日本道路協会発行）である。モデル図は図-3に示す。地盤の物性値は表-1に示す。ただし、土のせん断剛性は動的なものとし、せん断波速度より求めた¹⁾。ポアソン比については自然地盤（無限縁）のため、せん断変形による上下動を無視するため0.49を固定値とした。また地盤の非線形特性は、粘土、砂質土、砂礫の3種類に分類し一般的な値として図-2（粘土の場合）に示すものを仮定した。なお基盤面は線形である。

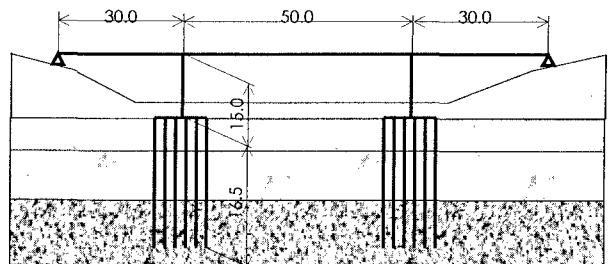


図-3 モデル図

キーワード：橋梁の地震応答解析，動的相互作用，サブストラクチャー法，杭基礎，地震時保有水平耐力法
 連絡先：〒060-0004 札幌市中央区北4条西5丁目1番地アスティ45ビル13階

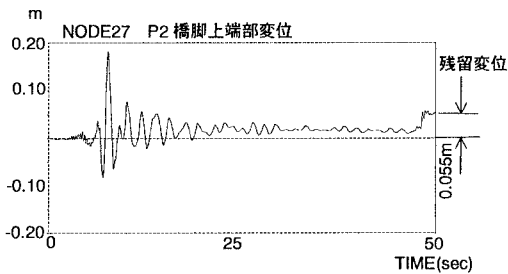
表－2 杭体の応答塑性率の検討

| | 杭先端の絶対変位(m) | 杭頭の絶対変位(m) | 杭の水平相対変位(m) | 基礎の降伏変位(m) | 基礎の応答塑性率 | 保有耐力法の設計値 | 保耐での基礎の塑性率の制限値 | 判定 |
|-------|-------------|------------|-------------|------------|----------|-----------|----------------|----|
| 外側1本目 | 0.094398 | 0.26589 | 0.17149 | 0.060 | 2.722 | 塑性しない | 4 | OK |
| 2本目 | 0.094007 | 0.26588 | 0.17187 | 0.060 | 2.728 | 塑性しない | 4 | OK |
| 3本目 | 0.093809 | 0.26577 | 0.17196 | 0.060 | 2.730 | 塑性しない | 4 | OK |

基礎の塑性率の制限値 4 : 道路橋示方書・同解説V P.186

表－3 橋脚の応答塑性率についての検討

| | 最大曲率(1/m) | 最大モーメント(t・m) | 降伏曲率(1/m) | 応答塑性率 | 保有耐力法の設計値 | 保耐での橋脚の許容塑性率 | 判定 |
|---------|-----------|--------------|-----------|-------|-----------|--------------|----|
| P1 橋脚基部 | 0.0044215 | 4215.9 | 0.0012608 | 3.507 | 4.237 | 5.297 | OK |
| P2 橋脚基部 | 0.0040141 | 4209.8 | 0.0012608 | 3.184 | 4.237 | 5.297 | OK |



図－4 時刻歴応答変位

表－4 残留変位についての検討

| | 残留変位(m) | 保有耐力法の設計値(m) | 保耐での残留変位の許容値(m) | 判定 |
|---------|---------|--------------|-----------------|----|
| P1 橋脚天端 | 0.033 | 0.046 | 0.138 | OK |
| P2 橋脚天端 | 0.055 | 0.046 | 0.138 | OK |

※残留変位の取り扱いについて

残留変位は、片振れによってずれた振幅の中心ではなく、安全側を考え、振幅の最大値をとり、それを残留変位と見なしている。

4. 考察

橋梁構造物～基礎～周辺地盤を考慮した全体系の動的応答解析の結果は、地震時保有水平耐力法の設計数値と比較し橋梁の耐震安定性を検証した。以下に、それらの検証結果を考察する。

- 1) **杭体の応答塑性率に対する検証** 地震時保有水平耐力法における基礎設計は地震時の慣性力と地盤バネ、杭体の剛性の関係から変位を求めるが地盤の変形が考慮されていない。杭は基本的に地盤変形に追随する様に変形するので、慣性力と言うより地盤からの強制変位により変形する。表－2で示した動的解析ではこの様な基礎～周辺地盤の関係を考慮し解析しているため塑性の判別に違いが生じた。ただし動的解析の結果のような変形が生じたとしても、杭体の応答塑性率は許容値以下であり、杭体は十分な耐震性を有していることを検証できた。
- 2) **橋脚基部の応答塑性率に対する検証** 表－3に示してあるように、動的解析によって生じる応答塑性率は地震時保有耐力法による結果よりも小さく、十分な耐震安定性を有している。
- 3) **橋脚の残留変位に対する検証** 残留変位は表－4において、P2の $\delta = 0.055\text{m}$ をみると、これは許容変位 ($\delta = 0.138$) 以下であり十分な耐震安定性を有している。

5. あとがき

本解析は、橋梁構造物～基礎～周辺地盤系の相互作用解析を試み泥炭層の軟弱地盤を意識した橋梁全体の耐震安定性の一検討を試み有意義な結果を得たと思われる。今後は、さらに軟弱な地盤特性と構造物との相互作用の問題に取り組んで参る所存である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（V耐震設計編），平成8年12月
- 2) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，平成9年3月
- 3) 日本建築学会：入門・建物と地盤との動的相互作用，1996年4月
- 4) 土質工学会：土質地震工学
- 5) 土木学会：動的解析と耐震設計シリーズ