

高知城周辺の液状化判定と三の丸石垣の地震応答解析

高知高専 学生会員 ○沖 克也 有澤 元希
高知高専 正会員 岡林 宏二郎

1. はじめに

本研究の目的は、今後発生が予想されている南海地震に対して、高知城周辺の液状化判定と高知城跡三の丸石垣の安定性について検討することである。高知城の石垣は、その高さや形状から見ても第一級の文化財であり、伝統技術によって修復することが必要なことはもちろんであるが、それと同時に工学的な面からの安定性についての評価も重要である¹⁾。本研究では、MDMに新望月の式を用いて高知城周辺の液状化判定を行った。FLUSHを用いた三の丸石垣の動的FEM解析では、MDMで用いた基盤波ではなく、MDMを用いて基盤波から5点の地表波を算定し、地表波をその土の盛土下部に与えて解析を行った。

2. MDMモデルを用いた高知城周辺の液状化判定

本研究では、四国地盤情報DB(CD-ROM)²⁾を用いて地層構造メッシュを作成し、地層毎の非線形モデルをパラメータとし、せん断剛性とひずみ依存性を取り入れたMDM(Momentary Deformation Modulus)モデル(以下MDMとよぶ)を用いて高知城周辺5地点の解析を行った。基盤層における加速度波形は、東南海・南海地震公開データ(CD-ROM版 平成16年10月内閣府)のうち南海・高知県データの高知城の波形を入力した。図-1に高知城の基盤波の加速度波形を示す。地層毎の液状化は、液状化に対する抵抗値 F_L を式(1)より算出した。 F_L 値の液状化の判定は、 $F_L > 1$ の場合に液状化に対して安定であり、 $F_L \leq 1$ の場合に液状化が起こる。平面的な液状化は P_L 値により判定した。

$$F_L = R/L \quad \dots(1)$$

ここで、R;動的せん断強度比、L;地震時せん断応力比を示す。

求めた高知城周辺5地点の P_L 値による液状化の判定結果を図-2に示す。5地点の内、M164地点の F_L 値分布と P_L 値の液状化判定結果を図-3に示す。

図-2より、高知城の東側の方が西側に比べ P_L 値が大きくなっており、西側より東側で液状化が起こりやすいことがわかった。しかし、各地点とも P_L 値の値が1.5より大きくなっており、高知城周辺は、液状化危険度が極めて高いことがわかった。図-3より、砂やシルトの層で F_L 値が小さくなっており、砂やシルトの多い層で液状化が起こりやすいことがわかった。

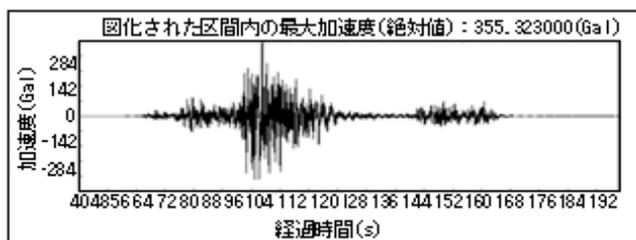


図-1 高知城周辺の加速度時刻歴波形

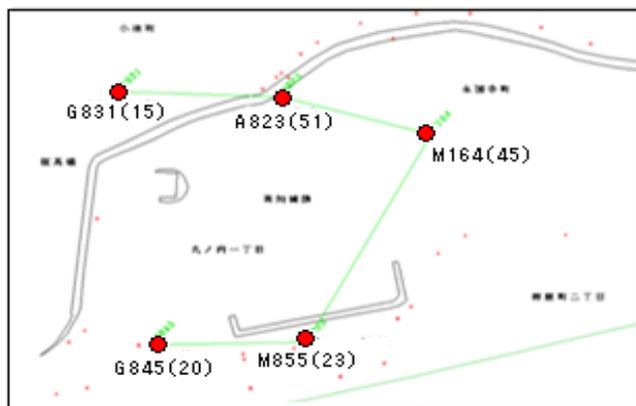


図-2 各地点の液状化判定平面図

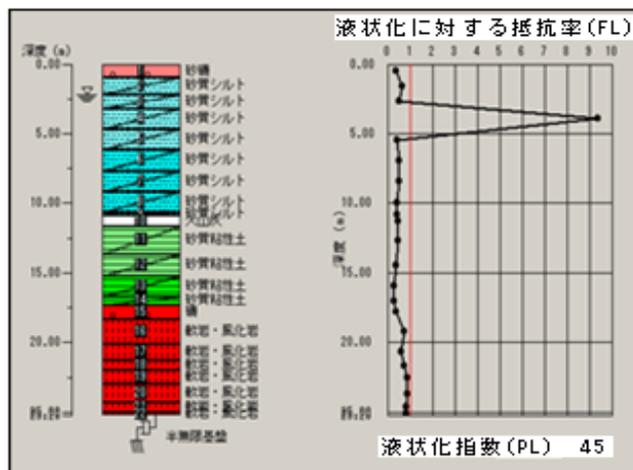


図-3 M164の F_L 値と P_L 値の液状化判定結果

3. 三の丸石垣の地震応答解析

三の丸石垣の地震応答解析には、全応力法による地盤一構造物連成系モデルの相互作用解析プログラム「SuperFLUSH/2D for Windows」を用いた。MDMを用いて、基盤波から高知城周辺5点の地表波を算定して、地表波をその土の盛土下部に与え解析を行った。図-4に液状化判定 P_L 値が大きいM164地点の地表波を示す。図-5に解析モデルとした高知城城壁の断面と材料区分を示し、表-1に材料定数を示す。図-6にM164地点の地表波を用いた加速度応答スペクトルを示す。図-7にM164地点の地表波を用いた相対変位分布を示し、図-8にM164地点の地表波を用いたせん断応力分布を示す。

図-6よりM164地点の最大加速度は約 1500 cm/s^2 であり他の地点と変わらないが、周期が 1.3 s と長くなっていた。卓越周期が長いほど応力が大きくなることがわかった。また、これにより石垣の相対変位は他のケースよりも大きくなり、図-7に示すように最大で 8.0 cm 移動することがわかった。石垣の上部では 6.0 cm 、中部では 3.0 cm 、下部では 2.0 cm 左方向に移動することがわかる。これから、石垣の下部から上部にいくほど変位が大きくなることがわかった。

図-8から最大で $2.2 \times 10^5\text{ KN/m}^2$ のせん断応力が作用し、石垣中央の変曲点で最大になることがわかった。さらに石垣の自重が大きい下方の法尻部分でもせん断応力は大きくなっていることがわかる。これより、地震動により石垣中央から下方にかけてせん断応力が大きくなることがわかった。

4. まとめ

- 1) 高知城周辺の液状化判定の結果、各地点とも P_L 値が15より大きくなっており、高知城周辺は液状化の危険度が極めて高いことがわかった。
- 2) 地盤の基礎部の卓越周期が長いほど石垣で地震波が増幅され、応力が大きくなることがわかった。

5. 参考文献

- 1) 西田一彦：高知城三の丸石垣F面の安定性の検討報告書、2006。
- 2) 四国地盤情報活用協議会：四国地盤情報データベース、CD-ROM版、2004.10。

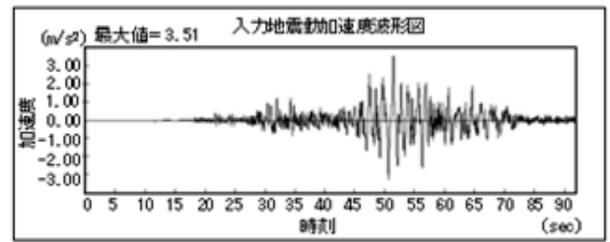


図-4 M164地点の地表波

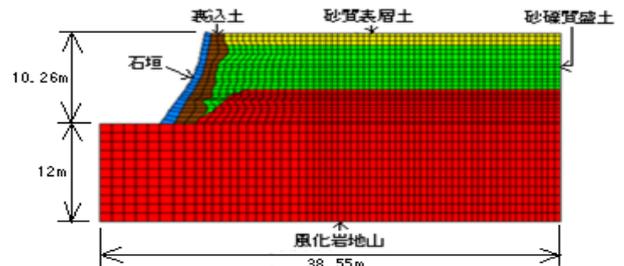


図-5 高知城城壁の断面と材料区分

表-1 材料定数

材料名	単位体積重量 (KN/m ³)	せん断弾性係数 (KN/m ²)	減衰定数(%)	ポアソン比
石垣	25	300000	2.5	0.4
表込土	20	100000	3	0.45
砂質表層土	16.7	40000	4	0.47
砂質盛土	15.8	20000	4.2	0.48
風化岩地山	17	180000	3	0.42

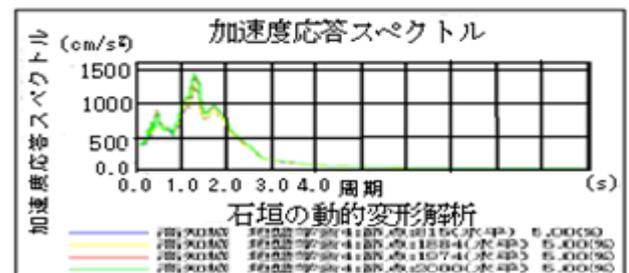


図-6 M164地点の加速度波形

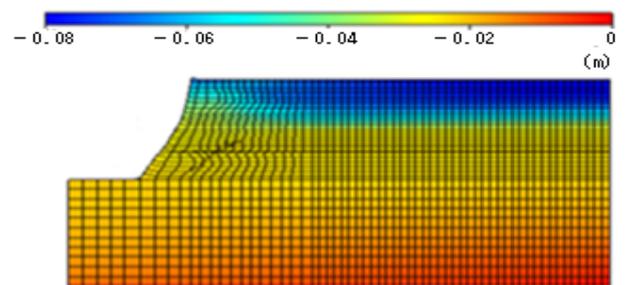


図-7 M164地点の相対変位分布図

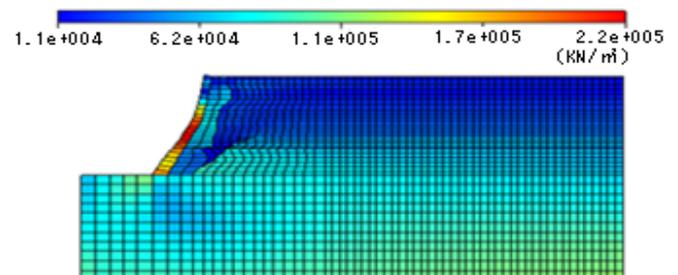


図-8 M164地点のせん断応力分布図