

地震被害予測システム「Quake Ranger® 3D」 を用いた合理的な液状化リスク評価 Reasonable Liquefaction Risk Assessment Using Seismic Damage Prediction System “Quake Ranger 3D”

樋口 匠輝
副島 紀代Masaki Higuchi
Michiyo Soejima

1. はじめに

過去の地震災害¹⁾では、一般的に身近な道路や家屋だけではなく、産業施設等も大きな被害を受けています。特に、沿岸部の事業所等においては、液状化による地盤の沈下や傾斜に起因して生産や物流に関わる施設や複数の設備などが被災することが懸念される(Photo 1)。迅速な復旧が不可能で事業所の停止期間が長期化する場合には、製品を出荷できなくなるといった事態が想定されます。

近年、企業価値向上の観点から、自然災害リスクに対する事業者の事業継続計画(BCP)策定が求められています。液状化被害防止を対象とする場合、事業所全体に液状化対策等を施すことは費用や操業の観点から現実的でない場合もある。そこで、Fig. 1に示すように、液状化の危険度や、重要業務の継続に不可欠で代替ができない施設など、様々な観点から液状化対策を行うべき対象を絞り込み、その優先度を検討、判断し、実施することが合理的である。その意思決定においては、必要な情報を正確に把握し、関係者間で合意形成することが重要である。

このような意思決定を支援するツールの1つとして、大林組では、地震被害予測システム「Quake Ranger® 3D」(以下、本システム)を開発した²⁾。本報では、地震時事業継続の検討における、本システムの効果的な活用方法について紹介する。

2. Quake Ranger 3Dを活用したリスク評価

本システムは工場施設等の比較的大きな領域内において、ボーリング調査等をもとに整理した地層構成データ、地盤特性データを用いて解析データを作成し、任意の地震動データを与えると、メッシュ分割した各地点での1次元地震応答解析や簡易液状化判定を自動で実施し、その評価結果を敷地全体について3次元表示する(Fig. 2)。簡易液状化判定には、各種基準・指針に規定されている液状化抵抗率FL(以下、FL値)による方法を用いている。

Fig. 3に、Fig. 2の地盤評価結果と構造物モデルを重ねて示した例を示す。ここで構造物モデルは、設計データのCAD等から作成可能である。この事例では2つの構造物の基礎杭は同じ長さや仕様であるが、杭先端部の地盤の液状化危険度(FL値)は異なる。このケースでは、被害を受ける危険性が高い左の構造物に液状化対策を実施するか、右の構造物のみで限定的に事業継続するかの判断



Photo 1 沿岸部における液状化被害の例
Example of Liquefaction Damage in Coastal Area

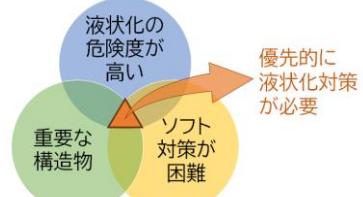


Fig. 1 情報と意思決定のイメージ
Image of Information and Decision Making

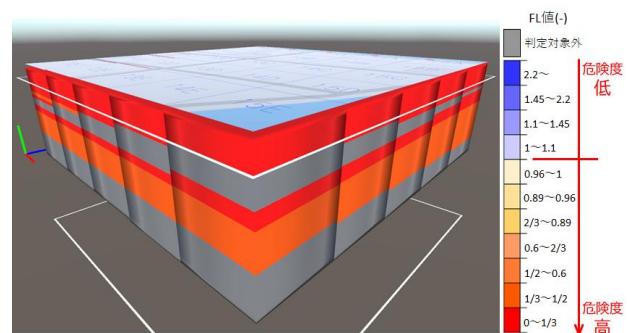


Fig. 2 Quake Ranger 3Dでの3次元表示 (FL値)
3-dimensional View (FL) in Quake Ranger 3D

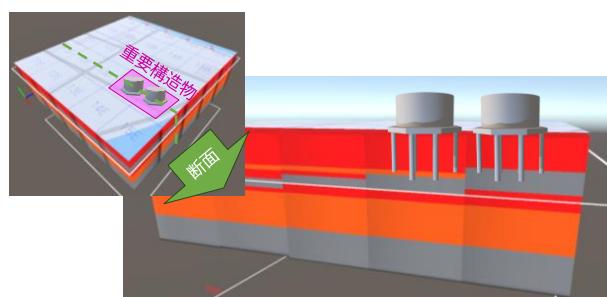


Fig. 3 Fig. 2の断面表示と重要構造物
Cross-sectional View of Fig. 2 and Important Structures

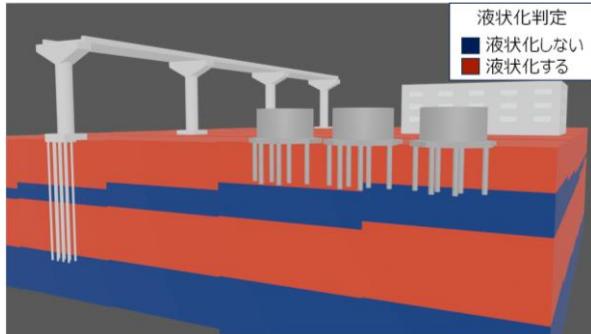


Fig. 4 液状化判定結果と構造物の重ね合わせ
Overlaying of Liquefaction Diagnosis and Structures

断が選択できる。このように、施設内の被害程度を俯瞰的に表示する機能により、合理的な液状化対策の策定と意思決定をサポートする。

また、本システムでは種々の条件を変えた計算を容易に実行できる機能を実装している。例えば、地震動のタイプや大きさ、地盤改良の範囲や仕様を変えた複数の液状化リスク評価を実行することで、地震動の規模に応じた段階的かつハード、ソフト対策を組み合わせた、合理的で実現性の高い事業継続計画の策定が可能となる。

事業所には、生産設備以外にも建物や道路など、適用される設計基準が異なる様々な構造物が存在する。本システムでは道路橋示方書（平成29年）や建築基礎構造設計指針(2019)等、代表的な設計基準に基づく計算手法を実装しており、評価方法を選択可能である。前述の基準は生産設備の地盤評価においても参照されることが一般的で、評価対象構造物に応じて適宜使い分けることで、様々な構造物の集合である事業所の地震リスク対策への適用性を考慮した。

3. 評価結果のデータコラボレーション

本システムでは、3次元の結果表示データを3D CADデータとして出力することができ、構造物の設計モデルなど他の情報と重ね合わせることが容易である。

Fig. 4に、3D CGソフトBlenderを用いて、本システムから出力した簡易液状化判定の結果に、構造物モデルを重ね合わせた例を示す。タンクや建物、高架橋などの構造物モデルを重ねることで、それぞれの構造物単体のリスクのみならず、あるエリアのリスクを俯瞰的に把握することが可能となる。例えばFig. 4からは、タンクの液状化被害が物流を担う近接した高架橋に及ぼす影響と、高架橋の被害がタンクの安全性に及ぼす影響があり得ることが直感的に理解できる。このように、3Dモデル上で複数の情報を重ね合わせることで、多面的なリスクを踏まえた総合的な意思決定を行うことができる。

一方、本システムでは簡便さを優先し地震応答解析を土柱モデルに基づく1次元解析で実行しているため、メッシュ境界線上において不連続（階段状）に評価結果（数

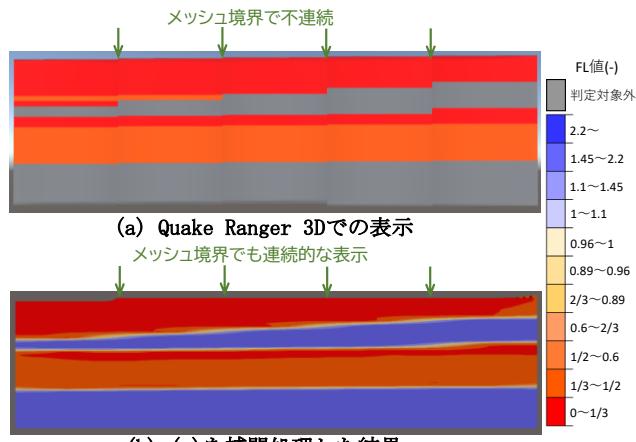


Fig. 5 補間処理による連続的な表示の例
Example of Continuous Display Using Interpolation

値）が変化することとなる。そのため、例えばFig. 4の中の中央のタンクでは杭の位置によって液状化判定結果が異なる。従来は検討したい構造物に合わせてメッシュ分割を工夫するか、メッシュの境界線付近については安全側の判断をしてきたが、本システムでは合理的な判断に繋げることを目的として、判定結果を連続的な3次元表示とする技術を別途開発した。Fig. 5に、この技術を用いて連続的な3次元表示とした結果を示す。メッシュ境界線上においても連続的で滑らかな表示になっていることが分かる。この技術では、クリギングと呼ばれる手法を用いて、土柱モデルの計算結果を3次元的に補間することで、連続的に滑らかな3次元表示を実現している。クリギングでは補間推定値のばらつき（標準偏差）を計算することもできるため、補間表示の信頼度の評価も可能である。

4. おわりに

本報では、地震時の事業継続を検討するにあたり、地震被害予測システム「Quake Ranger 3D」の活用方法について紹介した。本システムを用いることで、事業所全体の液状化リスクを把握するとともに、想定される被害や継続すべき重要業務への影響について関係者間で認識を共有することが容易となる。これにより、液状化対策を行うべきエリアを絞り込み、効果的に対策を施すことで、事業継続のための合理的な意思決定が可能となる。今後も、本報で紹介した技術や様々な対策技術を通じて、災害時の事業継続の実現に繋げていきたい。

参考文献

- 1) 地震被害調査チーム：令和6年能登半島地震被害調査報告、大林組技術研究所報、No.88, 2024.
- 2) 水谷、他：地震対策の意思決定を支援する3次元可視化技術、大林組技術研究所報、No.88, 2024.