

地盤問題への取り組み JGC's Approach to Geotechnical Problem

佐藤 吉孝、石田 祐也
Yoshitaka Sato, Yuya Ishida

エンジニアリング本部シビル建築部
Civil & Building Department, Engineering Division

要旨

イージーオイルの頭打ちによりオイルアンドガスの開発は未開の地へと向かうため、コントラクターは難しい地盤問題への対応を迫られる。当社はマーケットの変化に対応すべく地盤に関するエンジニアリング技術を磨き競争力を強化している。本稿では、その具体例として地盤 FEM (Finite Element Method: 有限要素法) 解析を用いたソリューションの例を紹介する。

Abstract

Due to the increasing scarcity of easily obtained oil, the sites of oil and gas development are moving toward regions in more severe environments and therefore, we contractors, are facing more complicated soil problems. To maintain its competency in this field, JGC continues to develop innovative geotechnical engineering skills. Particularly, this document introduces geotechnical Finite Element Method analysis as one of the solutions to this problem.

1. 海外プラントにおける地盤問題

開発し易く市場への搬出も容易であったイージーオイルは頭打ちとなり、今後は北極圏や東アフリカなどの未開の地に残される資源の開発が進んでいく。このようなプロジェクトでは、プラントサイトはアクセスの困難な複雑地形に計画されるため、大規模造成工事を伴ったり、あるいは、軟弱地盤に関する諸問題を解決せねばならないなど難しい地盤問題を取り扱わなければならない。また、未開の地では既存の地盤データはほとんど期待できず、我々コントラクターは地盤工学のフロンティアへ挑戦することになる。

一方で、海外プラントマーケットにはアジア勢が新規プレイヤーとして加わり、受注競争はますます熾烈化している。最適コストで高品質なソリューションを顧客へ提供すべく、設計競争力を従来にも増して向上させることは急務である。特に、軟弱地盤上に計画されるプラントでは、杭や地盤改良の必要性から土構造物に係るコストは大きく、これらの技術的課題を解決しコストの最適化を図ることは国際競争を勝ち抜くための大きな課題である。

当社のシビル建築部は、この課題を克服するための一例として、地盤 FEM 解析を導入して設計技術の向上に努めている。地盤 FEM 解析は複雑な地盤挙動を精緻に予測するための有効なツールであり、地盤問題の最適解を算出するために活用できる。



Fig.1 Large-scale site preparation work

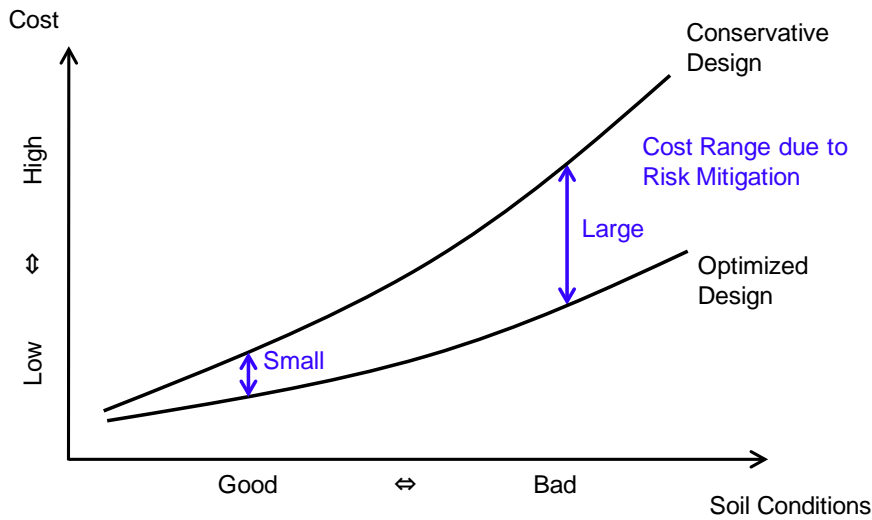
2. 地盤技術の向上による競争力強化

競争力強化という観点から、我々コントラクターがマネージすべき項目として、コスト、スケジュールとリスクが挙げられる。ただし、スケジュールは最適解を検討する際の制約条件に位置付けられることが多いため、ここでは議論の対象から外し、以下では土構造物に係るコストとリスクの関係について論じる。

地盤は物性値のバラツキが大きくかつ複雑な弾塑性挙動を示すため、正確な予測は難しく不確実性を伴う。また、限られた地盤調査位置から広大なプラントサイトの土層構成を推定するため、ある程度の誤差は避けられず、よって土構造物の設計にはリスクが存在する。やみくもに土構造物の仕様を低減してコストを下げることはリスクの増加に繋がりにかぬない。

また、地盤条件によっても計画段階に考慮せねばならないリスクの大きさは異なる。例えば、当社の主要なビジネスフィールドである中東や北アフリカでは、地盤条件は比較的良好であり地盤リスクは小さいといえるが、前述したように、今後挑んでいく未開の地のプロジェクトでは地盤リスクは大きくなる。

Fig.2 に地盤条件とコスト、リスクの関係の概念図を示す。地盤条件の良い地域では設計に考慮すべきリスクは少なく設計手法の違いによるコスト差は小さいが、地盤条件の悪い地域では設計に考慮すべきリスクは大きく設計手法の違いによるコスト差は増大する。従い、地盤条件の悪い地域においてコスト削減を達成するためには、土構造物に対して高精度な評価を実施しリスクを見極める必要がある。我々シビルエンジニアは高度な技術力をもって、「良く分からないから安全側に決めておこう」といった類のセーフティマージンを排除し、コスト削減を達成することを目的としている。



- ① 地盤条件の悪い地域では土構造物に係るコストは増大する。
- ② 地盤条件の悪い地域では設計に考慮すべきリスクは大きく、設計手法の違いによるコスト差も増大する。

Fig.2 The relationship between cost and risk

3. 高精度評価への取り組み

土構造物の高精度評価を実施するための手法の1つとして地盤 FEM 解析が挙げられる。以下では、当社における地盤 FEM 解析の活用例について紹介する。

3. 1 基礎地盤の改良範囲の最適化

軟弱地盤上に大型タンク基礎などを設計する場合には、基礎形式の選択によってコストが大きく異なってくる。例えば、予測される基礎の不等沈下量がタンクの設計/運転の要求による許容値に対して過大で、直接基礎としての設計が不可能な場合を想定する。杭基礎もしくは地盤改良併用の直接基礎の選択が解決策となるが、改良範囲を最適化することで地盤改良併用の直接基礎の方がより低コストに抑えられることが多い。このような場合、地盤 FEM 解析を活用して地盤改良併用の直接基礎の沈下予測を行うことで、改良範囲の最適化を図ることができる。

以下、150,000kLの原油タンク基礎の設計例を示す。Fig.3を参照されたい。

軟弱シルト層が 20m ほど堆積した地盤に計画され、地盤改良無しでは不等沈下が大きくタンクの設計許容値を満足することが出来ないと仮定する。そこで、深層混合処理による地盤改良を併用した直接基礎として設計を行うとする。

従来の設計であれば、安全側の判断として軟弱シルト層の全厚 20m を改良するところだが、地盤 FEM 解析を活用して不等沈下量をより正確に評価することで改良範囲の最適化を図ることができる。結果、表層 12m の改良でもタンクの不等沈下制限値を満足する結果が得られた。

地盤 FEM 解析を活用することで、基礎の不等沈下に対する評価精度が向上しコスト削減に繋がった例である。

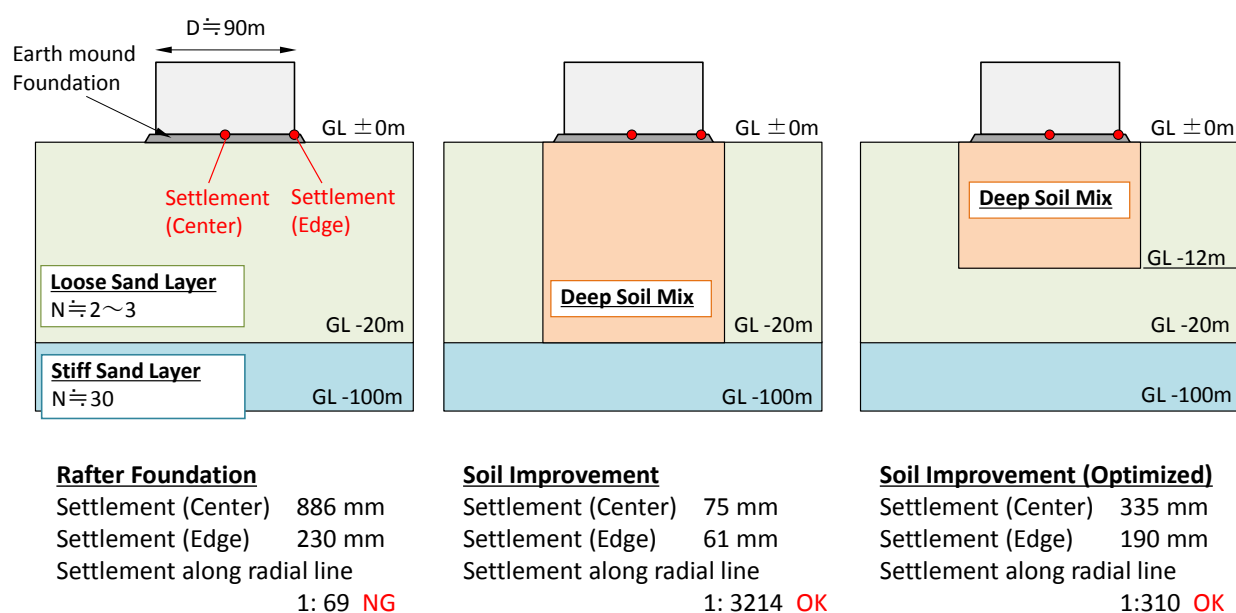


Fig.3 Case study of soil improvement depth

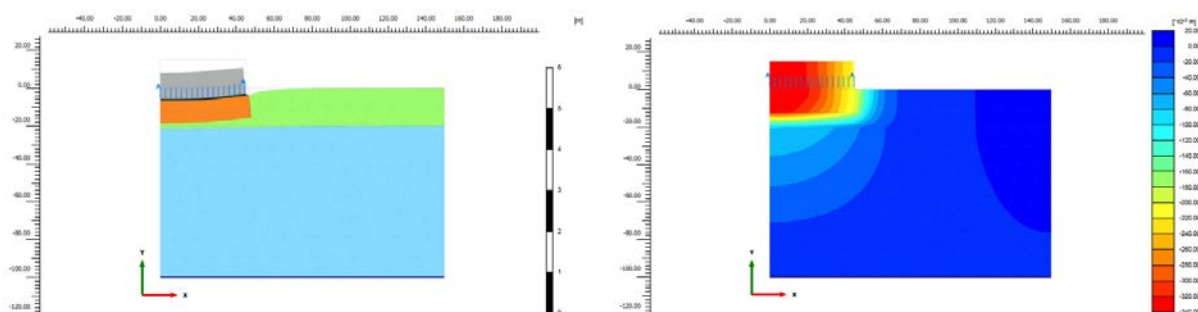


Fig.4 FEM analysis result

3. 2 地盤 FEM 解析の計測施工への適用

地盤 FEM 解析を用いることで評価精度は向上するが、地盤の不確実性は土質物性値に潜んでおり完全に排除できるものではない。特に、継時的に変形量が増大していく正規圧密の粘性土地盤では、十分な調査を実施しても将来的な沈下量を正確に予測することは難しい。そこで、近年では初期施工時に沈下計測を行い、これを中長期の予測にフィードバックする手法が提案されている。この手法は盛土や埋立てを伴うプロジェクトに適用されるが、地盤 FEM 解析を適用することで互層地盤における沈下量の予測精度が向上し、さらに地盤の側方変形が予測可能になるなど、大きなアドバンテージが得られる。

Fig.5 に計測施工のステップを示す。まず現地盤の地盤調査を実施し、地盤の沈下量を FEM 解析により事前予測しこれより造成計画を立てる。次に、盛土および埋立て期間中に沈下量を計測し予測値と比較する。FEM 解析にて沈下量の実測値を再現できるように圧密物性値の補正を行う。これにより造成計画を修正、また圧密完了後の地盤剛性を設定し基礎設計へ反映する。

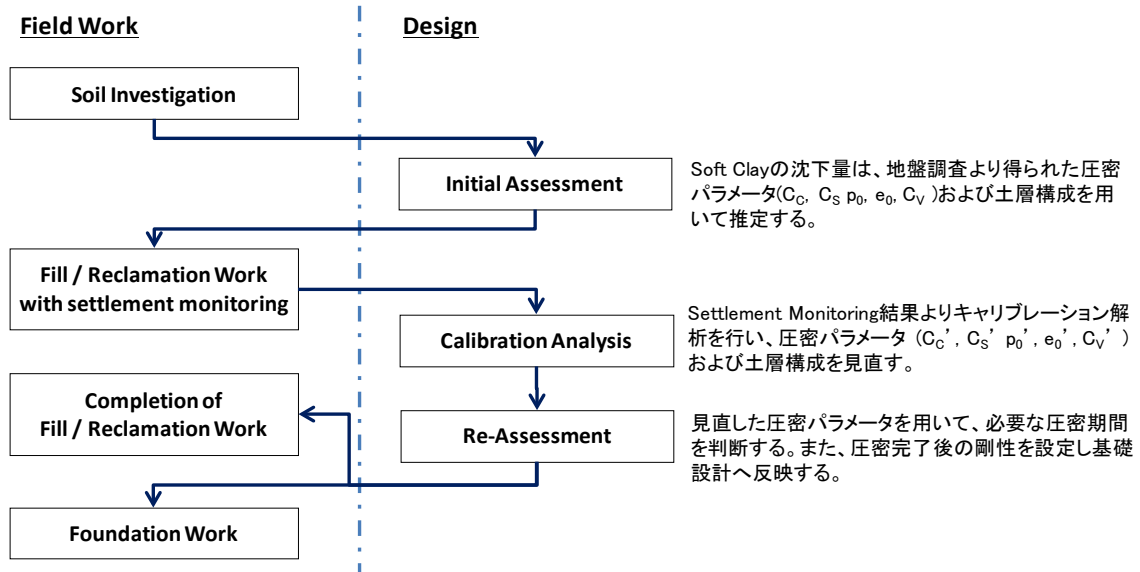
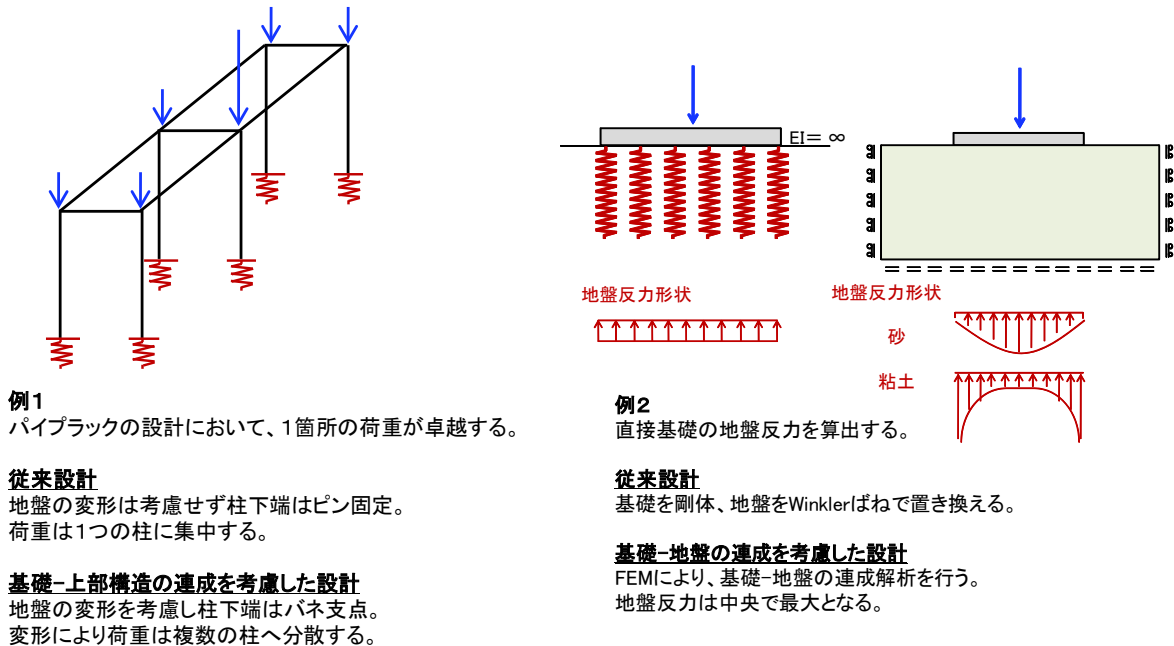


Fig.5 Flow diagram of measuring construction

特に軟弱な粘性土地盤では、地盤の不確実性によるリスクは大きいですが、計測施工を実施しこれを設計に反映することで、沈下に対する評価精度を向上させプロジェクトの地盤リスクを低減させることができる。

3. 3 上部構造-基礎-地盤の連成解析

従来設計では上部構造、基礎、地盤の設計は別々に実施するため、それぞれの連成挙動は評価されてこなかった。このため、設計の仮定は実挙動と異なってくるが、これは設計経験に裏付いた安全係数の考え方によってカバーされてきた。例えば、従来設計と連成を考慮した設計では Fig.6 のような挙動の相違が生じてくる。



例1
パイプラックの設計において、1箇所の荷重が卓越する。

従来設計
地盤の変形は考慮せず柱下端はピン固定。
荷重は1つの柱に集中する。

基礎-上部構造の連成を考慮した設計
地盤の変形を考慮し柱下端はバネ支点。
変形により荷重は複数の柱へ分散する。

例2
直接基礎の地盤反力を算出する。

従来設計
基礎を剛体、地盤をWinklerばねで置き換える。

基礎-地盤の連成を考慮した設計
FEMにより、基礎-地盤の連成解析を行う。
地盤反力は中央で最大となる。

Fig.6 Comparison of conventional design and coupled analysis design

当社では上部構造・基礎・地盤の連成解析を行うことでより合理的な設計を目指している。連成挙動を考慮し、より実挙動を再現した設計を行うと同時に、従来行ってきた上部構造、基礎、地盤の個別設計の最適化ではなく、全体の最適化を目標とする。

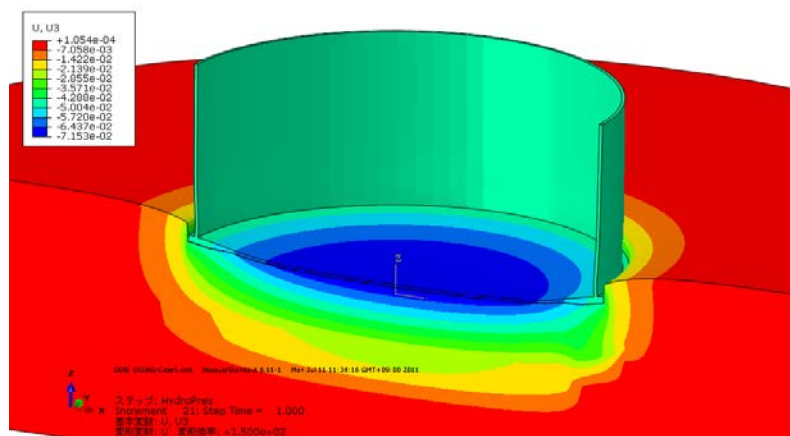


Fig.7 Coupled analysis of LNG Tank, Foundation and Ground

4. おわりに

以上、当社の競争力強化への取組みの一例として地盤 FEM 解析の活用を紹介した。今後も様々な地盤の諸問題へ適用し、土構造物設計の高精度評価を目指していく。

我々コントラクターのマーケットは、東南アジア、中東、ロシア、オーストラリア、南米、東アフリカなど世界中に広がっており、今後はさらに地盤工学のフロンティアへ挑んでいく。土構造物の設計においては、本稿で紹介した FEM 解析技術の活用に加えて、各地域で異なる地盤物性を正しく理解することが特に重要であるため、当社は各地域の経験豊富な地盤コンサルタント各社と事業連携して知識を蓄積させている。「国境なきシビルエンジニア」として、世界中の顧客にソリューションを提供していきたい。