

# 超軟弱地盤盛土への挑戦！ ～養老 I C 30万m<sup>3</sup>の盛土を経験して～

長谷川哲也<sup>1</sup>

<sup>1</sup>岐阜国道事務所 工務課 (〒500-8262 岐阜市茜部本郷1丁目36番地の1)

超軟弱地盤上のインターチェンジ建設における、30万m<sup>3</sup>の大規模盛土の施工に際し、施工中及び開通後の路面沈下が大きな課題であった。過去の当該地近辺の盛土施工の難航事例に鑑み、過去の事例を踏まえた設計手法の検討、不確定要素が内在することを前提とした設計を補う綿密な施工管理により、軟弱地盤上の大規模盛土工事を完了するとともに、次工事への応用並びに、発注者のインハウスエンジニアとしての役割について考察を述べる。

キーワード：軟弱地盤、動態観測、FEM解析、盛土施工方法の合理化

## 1. はじめに

現在、国土交通省では、「被災地の復旧・復興」「国民の安全・安心の確保」「生産性向上による成長力の強化」「地域の活性化と豊かな暮らしの実現」の4分野が重点化されており、今後の社会資本整備に当たっては、特に、生産性向上を導く社会資本ストック効果を重視することにより、我が国の経済成長を支えていくことが重要とされている。

その中で、生産性の高い物流ネットワークを構築し、交通渋滞の緩和等による迅速かつ円滑な物流を実現することで、民間の投資を喚起させることを目的の一つとし、現在、岐阜国道事務所において、東海環状自動車道（西回り）（以下、東海環状）の整備を行っているところである[図-1]。



図-1.位置図

本件は、東海環状のH29開通目標である養老JCT～養老IC(仮称)区間[写真-1]において、開通を間近に控え、最後に立ちほだかる軟弱地盤上の大規模盛土を題材としている。軟弱地盤盛土においては、これまで、盛土後の沈下量を考慮した設計・施工検討が十分でなかったことや、そもそも、軟弱地盤上の盛土構築においては、どうしても調査設計・施工段階において、不確定要素をはらむこと等から、想定外の挙動による工事の中断、供用後の路面不等沈下、排水不良、ひいては、舗装ひび割れ、破壊、段差発生等の不具合が発生した例が多数報告されている。

そのため、本事業を進める上で、「過去の軟弱地盤盛土の難航事例を踏まえた設計」、「軟弱地盤盛土の動態観測を踏まえた施工管理」、「学識経験者の助言を踏まえた沈下解析」等の様々な検討を行い、適切な沈下管理の基、軟弱地盤上の大規模盛土を期限内に構築した。

本論文は、その事業報告を行うとともに、次工事への応用並びに、発注者のインハウスエンジニアとしての役割について考察を述べる。

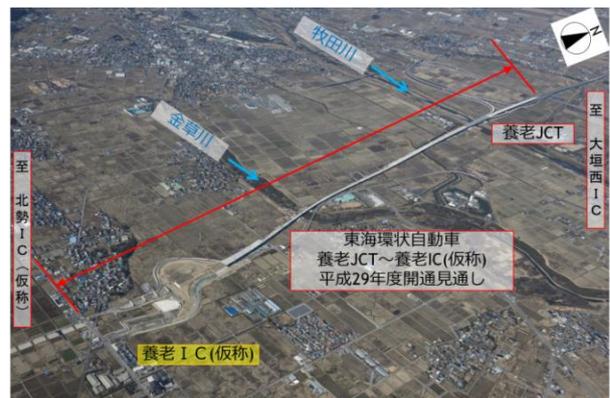


写真-1.養老JCT～養老IC(仮称)区間斜め写真

## 2. 養老IC(仮称)の地質と技術的問題点

当該区間は、厚い軟弱層を抱える超軟弱地盤地帯であり、過去、名神高速自動車の盛土工事等においても、供用後もなお、沈下が進んでいる報告もあることから、盛土構築に当たり、地盤条件を詳細に把握し、沈下に対する適切な設計・施工を行うことが最重要となる。以下に、地質構成から想定される課題と検討項目について述べる。

### (1) 養老IC周辺の地質構成について

地質構成は下記に示す通りである。

- ・ 25m以深は、比較的N値の高い洪積層のレキ層であり、その上に、沖積層の(下部)粘土層～(中間)砂層～(最上部)粘土層の順序で分布
- ・ 地表より、洪積層のレキ層までの約25m程度は、N値が1以下と超軟弱な地盤が分布[図-2]

⇒粘性土が厚く、施工中・施工後の圧密沈下が課題。

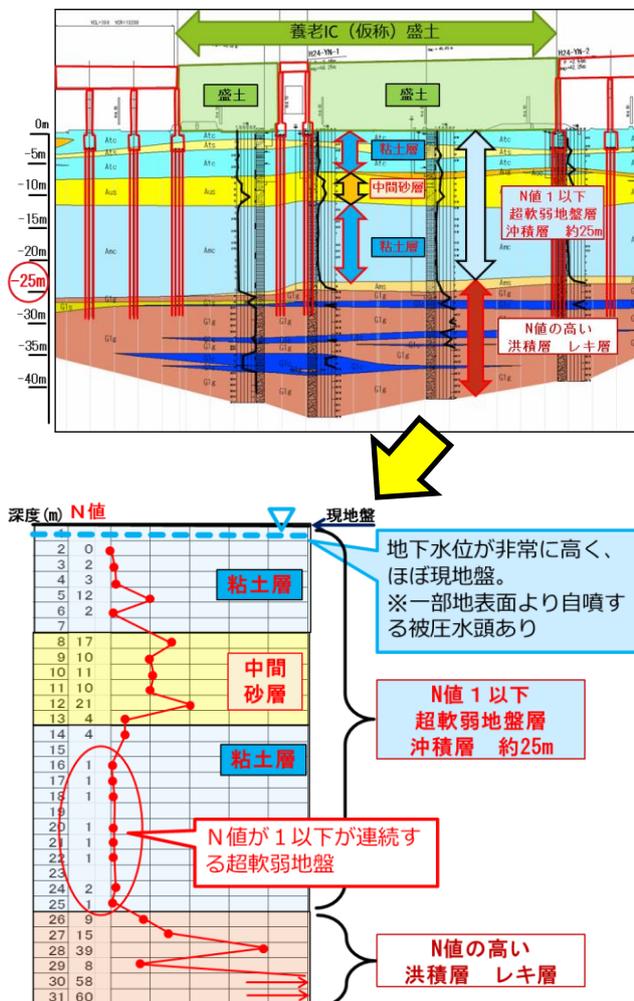


図-2.養老IC(仮称)地質図

(2) 技術的課題検討について上記、地質状況を踏まえ、施工中及び将来の盛土安定を確保するため、以下の3点の検討を行った。

- ①盛土の安定検討
- ②圧密沈下量の検討
- ③圧密沈下量に伴う側方変形に対する検討  
(沈下による地盤の引込みによる周辺民地帯への影響)

## 3. 検討内容と設計の考え方について

### (1) 盛土の安定検討

供用時の上載荷重や、圧密沈下促進のための余盛分も含めた盛土の安定計算を実施し、基礎地盤の滑り破壊を検証したが、急速施工で盛土を造成し、無対策で安定検討を行うと、円弧滑り破壊が発生し、安全率を満たさない予測となった。

盛土安定を図るためには、円弧滑り対策として、盛土端部(民地境界部)に深層混合処理が必要と考えた。

[写真-3]

### (2) 圧密沈下量の検討

許容残留沈下量の設定については、過去の事例等より、開通後のオーバーレイで対応可能な頻度、沈下量として、『供用後3年間で10cm以下』に設定し、沈下計算を実施した。

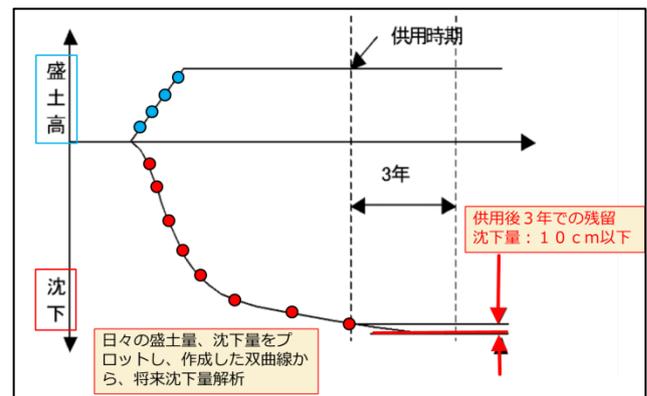


図-3.許容残留沈下量イメージ図

現況軟弱地盤に対し、無対策で計画高の盛土を行うと、圧密沈下量は最大約160cmで、許容沈下量を満たすまでに、約1,400日(3.6年)もの放置期間が必要との検討結果となった。

過去の事例等から、無対策で圧密させた場合に、残留沈下が大きく発生した旨の報告が多くされており、また、本現場の圧密層は、超軟弱で層も厚いことから、圧密沈下促進工法(バーチカルドレーン工法)を採用し、より確実に、期間内に圧密沈下を完了させる計画とした。

圧密放置期間を3ヶ月と設定し、補助工法のドレーン配置を70cmピッチで配置することで、H29開通目標を満足する計画とした。[写真-2]

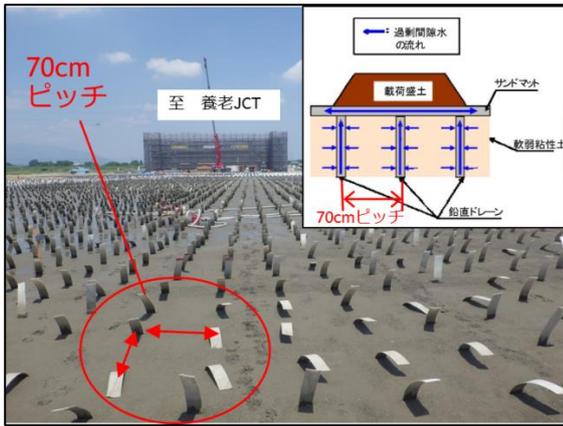


写真2.パーチカルドレーン施工とイメージ図

### (3) 圧密沈下に伴う側方変形に対する検討

養老IC(仮称)は、田んぼの真ん中に計画されたICであり、隣接する田は耕作を継続している。そのため、沈下による周辺田畑の引き込み影響が大きな課題である。無対策の状態の検討結果は[図-4]のとおりであり、側方影響30m程度、法尻で40cm程度沈下する結果となった。

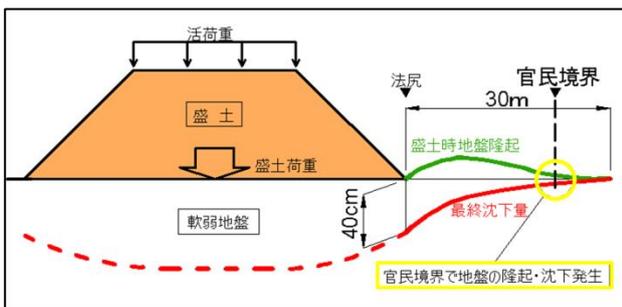


図-4.側方影響模式図

上記①で民地境界部に深層混合処理が必要と述べたが、民地への側方流動を遮断しても、深層混合処理が必要となったため、総合して必要強度を設定し、施工することとした。

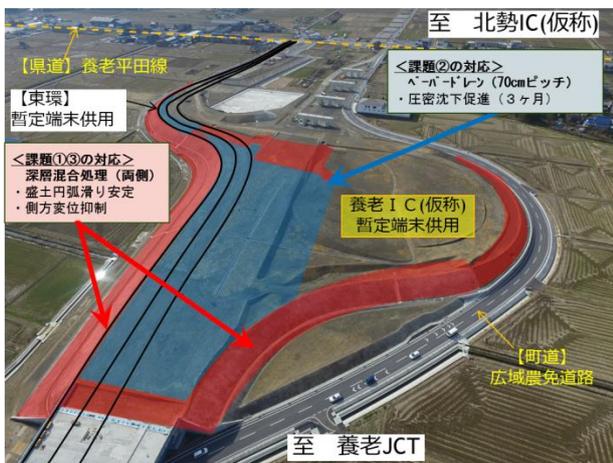


写真3.軟弱地盤の課題と対策工まとめ

## 4. 設計を踏まえた現場施工管理

### (1) 施工管理方法について

設計段階では、種々地質調査を実施し、前述した技術的課題について、地盤改良等の対策を講じるが、軟弱地盤上に盛土を構築する場合、設計での地質定数及び施工段階での施工手順等、前提条件に多くの不確定要素が内在しているため、施工段階で得られる動態観測等により、その不確定要素を検討し、盛土を確実に完成させるために情報化施工を以下のとおり実施した。[図-5]

#### ①盛土の安定検討

盛土内に「沈下板」を、官民境界に「地表面変位杭」を設置し、日々の盛土施工において、沈下量、変位量を測定し、設計の妥当性を検討した。

#### ②圧密沈下の検討

「沈下板」により沈下量を測定し、最終沈下量予測から、設計の妥当性を検討した。

#### ③圧密沈下に伴う側方変形に対する検討

「地表面変位杭」にて、盛土施工に伴う変位量を測定し、民地への影響について、設計の妥当性を検討した。

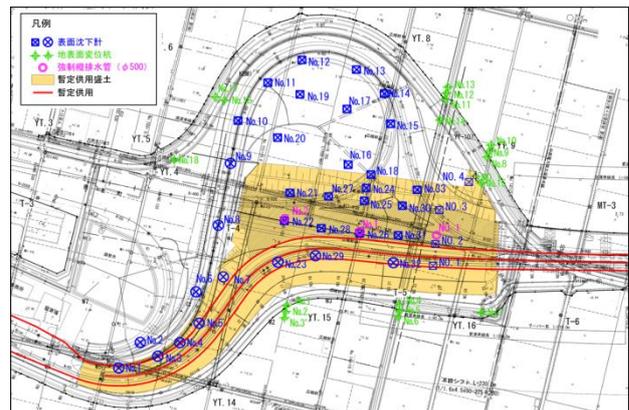


図-5.動態観測平面図

### (2) 現場施工の計測と検証について

上記に示す情報化施工を実施し、計測値について、「①盛土の安定検討」、「③圧密沈下に伴う側方変形に対する検討」については、ほぼ設計値以内に収まった。「②圧密沈下の検討」においては、想定通りとならず、当初設計において、最大断面の沈下量は160cm程の予測であったが、盛土立ち上げ途中において、既に、当初想定を超える不測の結果が得られた。以下に、本対策について、詳述する。

#### a) 設計と観測結果の相互の解析について

本施工箇所は、インターチェンジのため、単路部と異なり、盛土形状が複雑であることに加え、軟弱地盤内に中間砂層が介在している。現場にて通常行う『双曲線法』解析では、[図-6]のとおり、日々の盛土立上げ量と沈下量を測定し、測定して出来た沈下曲線から、将来沈下量を予測するものであるが、1軸的な解析であることから、本沈下解析のみでは、本現場の複雑な挙動を適切にとらえることができないと判断した。

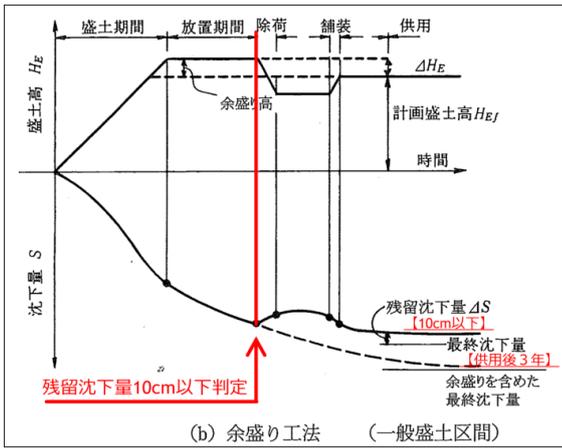


図-6.双曲線法 判断イメージ

このため、一般的に行う『双曲線法』による将来沈下解析と併せて、『二次元FEM解析』を追加で行い、施工の検討を行うものとした。

また、本解析を行うに当たり、解析手法、モデル設定、パラメータ設定が、予測値の精度を大きく左右するため、岐阜大学との連携協力に関する協定書より、学識経験者の助言を伺いながら進めることで、合理的かつ確実な施工を目指した。[写真-5]



写真-5.岐阜大学の学識経験者との打ち合わせ状況

b) 二次元FEM解析について (モデル構築)

二次元FEM解析は、以下の点で、より現場条件を再現した解析手法といえる。

- ・複雑なI C盛土の挙動を、二次元的に把握可能
- ・現場における载荷条件 (時系列) を表現可能

以下ステップにより、解析の流れを示す。

【STEP 1】モデルの設定

二次元FEM解析を行うにあたり、解析に使用するプログラム選定を行い、過去の使用実績・現場条件の再現性等から、「DACSAR (関口・太田モデル)」を採用することとした。[図-7]

参表 5-7 よく用いられる構成モデルの例と特徴					採用
	線形弾性	Duncan-Chang	弾完全塑性 (Mohr-Coulomb)	修正 Cam-Clay	関口・太田
入力パラメータの数	少	中	中	多	多
計算コスト	低	中	中	高	高
応力-ひずみ関係	直線	双曲線 (非線形弾性)	弾性域は直線	非線形 (弾塑性)	非線形 (弾塑性)
除荷・再載荷の表現	×	○	△	○	○
変形係数の拘束圧依存性	×	○	×	○	○
破壊挙動	×	△	○	○	○
ダイレイタンシー	×	×	○	△	△
圧密解析	×	×	×	○	○
異方性	×	×	×	×	○
クリープ挙動	×	×	×	×	○
初期応力や解析ステップの違いが最終結果へ与える影響	無	有	有	有	有

○: 適, △: 場合によっては適, ×: 不適

図-7.FEM解析モデルについて

【STEP 2】解析断面設定

解析断面は、動態観測位置を踏まえて、以下、2断面を設定した。[図-8]

<解析断面A>[図-8(2)]

条件: 最も高盛土となる断面であり、盛土地盤が、両側を深層混合改良体にて側部拘束されたモデル

<解析断面B>[図-8(3)]

条件: 盛土地盤が、片側を深層混合改良体にて側部拘束されたモデル

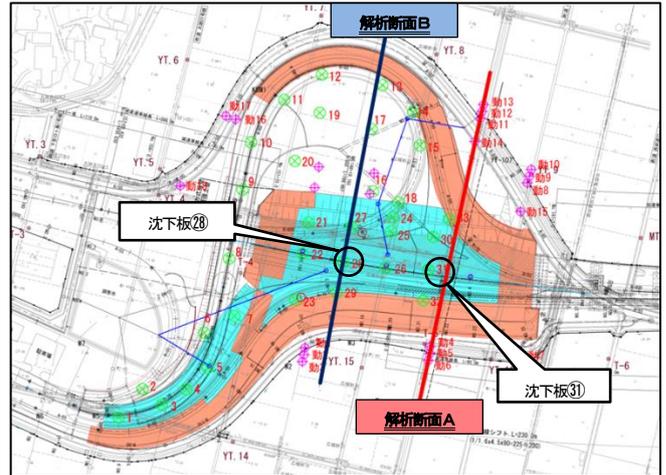


図-8(1).FEM解析 平面図

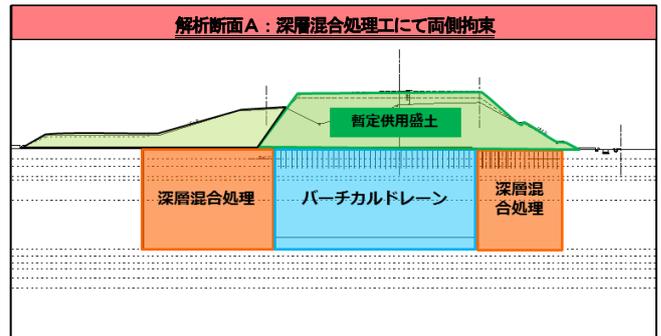


図-8(2).FEM解析 断面A設定

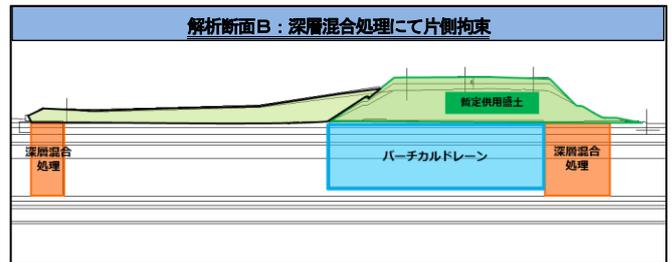


図-8(3).FEM解析 断面B設定

【STEP 3】解析実施

解析を行ったところ、解析結果では、現場の実挙動に比べ、沈下量は小さく、また、沈下スピードが遅い結果となり、合致しなかった。(H28.12時点で、現場2.8m沈下に対し、FEM解析1.1m[沈下差は1.7m])

そのため、原因分析を行い、以下2点の改善を実施

- ・(改善1) 地盤定数の再設定
- ・(改善2) 盛土施工条件の再設定

**【STEP 4】 (改善1) 地盤定数の再設定**

精度のよい解析結果を得るためには、換算式の値ではなく、極力、直接試験で得た値を使用すべきである。

本解析により、多数のパラメータを使用するが、特に影響の大きいものを分析し、以下、再設定を行った。

- ・  $\phi'$  (有効せん断抵抗角) :

多くのパラメータに影響を与える重要なパラメータであり、一般手法として、換算式からの推計値であったが、解析結果への影響が大きいと判断し、追加地質調査を行い、直接試験である三軸圧縮試験からデータを抽出した。

⇒**結果** : 実試験値から換算値へ変更し精度向上した。

- ・ 地盤定数設定のデータ領域 :

地盤定数は、養老地区全域のデータではなく、養老IC部のみのデータを限定使用し、統計的処理にて定数を設定した。

⇒**結果** : 全域のデータと、養老IC部のみのデータで、大きな差は発生しなかったため、若干の精度向上に留まった。

- ・ 中間砂層の変形係数Eの設定 :

変形係数Eは、粘性土の間に存在する中間砂層が、上載荷重に対して示す、版的な剛性である。一般的には、道路橋示方書により、孔内水平載荷試験結果及びN値からの推計値であるが、実現場と照らしあわせると、版強度の評価が過大と想定されるため、『地盤変形解析における水平変位の評価法に関する研究・調査(地盤工学会)』による過去の研究・調査から版強度を下げて設定する方針とした。

- ・ ドレイン設置による砂層剛性の評価 :

さらに、実現場においては、バーチカドレインが700mmピッチで打設されているため、その打設に伴う版の強度低下を考慮した変形係数の再設定が必要と分析し、その打設に伴う砂層の剛性変化の影響を評価した。

強度低下の評価方法は、確立していないが、学識経験者の指導のもと、以下の手法で低減した。

「解析断面A」・・・深層混合改良工により中間砂層が変形拘束され、荷重伝搬に対する版剛性の影響が小さい。さらに、ドレイン設置により密度増加され、中間砂層の剛性低下はないと仮定した。 [図-9(1)]

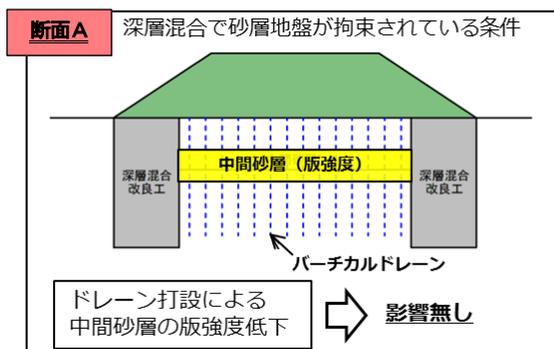


図-9(1).中間砂層の剛性低下について【断面A】

「解析断面B」・・・深層混合改良工が片側のみであり、中間砂層が拘束されていないため、版的な挙動に対する剛性が明らかに低下するものとし、変形係数の低減を行う。 (配置間隔から85%に低減) [図-9(2)]

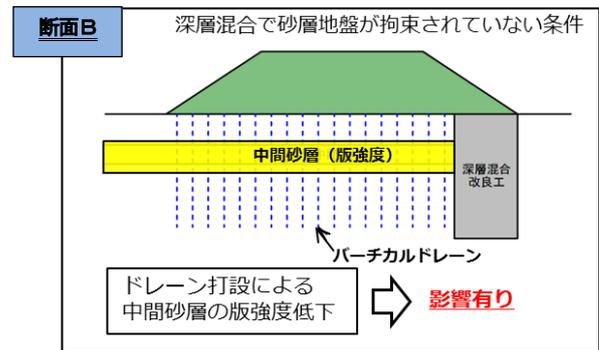


図-9(2).中間砂層の剛性低下について【断面B】

⇒**結果** : 大きく精度向上した。【沈下差は1.3m】

**【STEP 5】 (改善2) 盛土施工条件の再設定**

STEP 4 までにおいて、大きく改善したものの、依然として現場の挙動に合致しないため、再度、盛土の施工条件を見直したところ、計画高まで盛上げる上で、盛土施工時の沈下分の追加土量が、解析において条件設定されておらず、解析と現場が乖離していたことが判明し、見直しを行った。

⇒**結果** : 概ね傾向が一致した。【沈下差は0.4m程】

以上より、解析結果と実現場条件を熟考し、原因を推察し、設計条件の妥当性の検証を行うことで、適切な解析モデルを構築させた。

**c) 残留沈下量の最終判断について (結果)**

最終的に盛土の圧密完了後、圧密促進のために余分に盛土していた余盛り土量の撤去を行う。一般的に盛土の圧密完了の判定は、双曲線法での解析結果から行うが、本現場においては、前述した実挙動に合致したFEM解析での残留沈下量の確認を行い、余盛りを撤去するタイミングの判断を行った。

上記判断を行うため、先に述べた2断面にて検証を行い、以下のとおり、双方の断面で、供用後3年で10cm以下の沈下量を満足する結果となった。

<解析断面A> [図-10(1)]

条件 : 両側を深層混合改良体にて側部拘束されたモデル  
結果 : 供用後3年で、3.3cm沈下 (≦10cm)

<解析断面B> [図-10(2)]

条件 : 片側を深層混合改良体にて側部拘束されたモデル  
結果 : 供用後3年で、6.7cm沈下 (≦10cm)

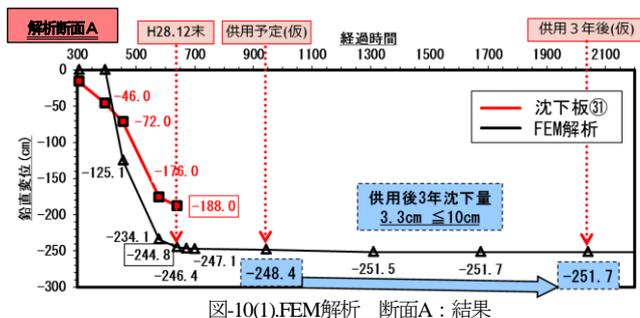


図-10(1).FEM解析 断面A：結果

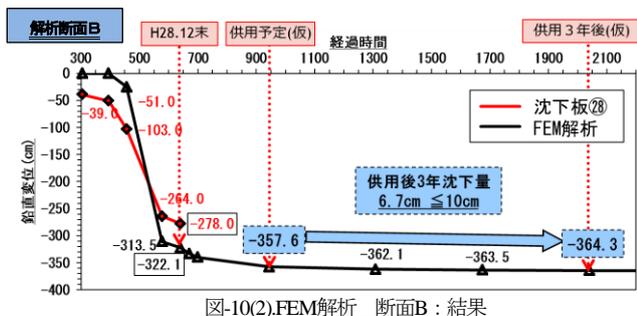


図-10(2).FEM解析 断面B：結果

#### (4) 今後の展開～次施工区間のコスト縮減～

今回、養老IC(仮称)でのFEM解析において構築した解析モデルを元に、今年度、詳細設計中の養老海津地区の軟弱地盤解析に反映させることで、より合理的な軟弱地盤対策工の立案ならびに地盤変位の精度向上を図ることが可能となる。

今回工事を行った養老IC(仮称)に比べ、養老海津区間は、さらに長区間の軟弱地盤盛土であり、本件同様、用地境界の影響遮断壁等、大規模な地盤改良が必要となることから、今回の解析をフィードバックした合理設計により大きなコスト縮減が見込まれる。

さらに、今後は以下の点に注意して施工を進めることが重要と考える。

##### a) データの記録、継続調査

これまで工事において蓄積したデータを、今後、確実に引き継いでいくため、施工記録を電子化し、保管の徹底を行っている。また、工事が完了しても、所内の定期観測業務等を活用し、継続観測を行っており、予測値との整合をモニタリングしていく。

##### b) 適切な事前地質調査の実施について

今回の養老IC(仮称)において、特筆すべきこととして、十分な地質調査が行われておらず、追加ボーリング調査を実施し、設計条件を再設定したことが挙げられる。適切な事前の地質調査を行い、合理的な設計を行うことで、コスト縮減が図られると考える。

##### c) ICTの導入について

今回は、GPSを用いた盛土締め固め管理等、部分的なICT導入に留まったが、先線区間においては、測量・設計から、施工、管理までの全てにICTを導入する、「I-Construction」の活用を目指すことが重要である。

また、今回は、沈下版での沈下管理としたが、ICTを導入し、面的な沈下管理を行うとで、より正確に、3

次的に沈下の流れが把握でき、沈下解析にも有利になるよう施工検討を行う。

## 5. まとめ

軟弱地盤上の盛土は、最新の知見で計画しても、どうしても調査設計・施工段階に不確定要素が内在するため、過去の事例等を鑑みても、困難な現場施工となることが多い。本現場においても、当初設計時に想定した沈下量を大きく超える沈下量が発生したが、その沈下挙動を正確に把握するため、FEM解析を追加で実施し、また学識経験者と連携して進める等、追加対策を講じることで、適切な沈下管理の基、軟弱地盤上の盛土を期限内に構築することができた。

本事業を進める中で、合理的な設計施工のため、事前調査段階において、適切で十分な地質調査を心がけることが、重要なことだと痛感した。

今回のこれらの検討結果を次工事の設計に反映させることでコスト縮減等合理的な設計施工に繋がると考える。

## 6. 最後に～インハウスエンジニアとして～

公共事業として社会資本整備を担っている我々職員は、最も経済的で、合理的な手法にて、公共施設の調達をすべきである。本件のような不確定要素をはらむ案件においては、設計の課題をとらえ、過去の事例、現場条件を的確にとらえることが重要である。そして、事前の地質調査、解析方法等技術的判断に加え、学識経験者等、人的資源との連携を行い、事業を適切にマネジメントしていくことが発注者の責務と考える。

このために、日々業務で直面する課題に対応できるよう、技術的能力を研鑽し、更なるインハウスエンジニアの資質を高めることが必要であると考える。

また、今回の施工にあたり、自身も地盤工学を勉強するいい機会となり、土木に理解を深める良い機会となったため、人材育成の観点で、今回学んだことを後輩に伝え、指導していくこともあわせて行っていく所存である。

**謝辞：**本報告の作成にあたり、技術的助言をいただきました岐阜大学の学識経験者をはじめとする関係者各位に感謝の意を表し、本報告を終わります。