

山岳トンネル工事と明かり工事における 品質確保のシステム化

Development of Quality Assurance System for Tunnelling and Structure

宮田岩往* 五十嵐善一* 平井 崇* 北垣潤一*

要 旨

山岳トンネル工事と明かり工事を対象に、構造物の品質確保を目的とした施工管理システムの開発に取り組んだ。山岳トンネル工事については、山岳トンネル施工に関する地質図や出来形・品質管理などの書類（情報）をトンネルの測点と関連付けて一元的に整理し、測点毎に関連のある情報を簡単に参照できる「山岳トンネルデータベース」を開発し、施工現場への導入によりその有効性を確認した。また、鉄道高架橋構造物等の明かり工事については、「三次元配筋モデル」により、鉄筋の干渉箇所や過密状態を視覚的に確認すると共に、コンクリートの骨材やパイプレータと等しい径の球体モデルを用いて、鉄筋の間隙をコンクリートの骨材やパイプレータが通過できることを事前に把握することで、施工性の検討に有効であることを確認した。

キーワード：山岳トンネルデータベース、維持管理、三次元配筋モデル、施工シミュレーション

1. まえがき

建設業において業務効率化によるコスト削減や工期短縮、品質確保が重要な課題となっていることから、山岳トンネル工事と明かり工事を対象に構造物の品質確保を目的とした施工管理システムの開発に取り組んだ。

山岳トンネル工事では、従来からトンネル測点・地質平面図・地質縦断面図・地質名・支保パターン・掘削方法・補助工法的设计・実測値等のトンネル施工に関する様々な情報を、トンネル全延長に渡って巻物のような長い紙に記入して管理している（図-1）。しかしながら、従来の紙での管理では、管理図表と出来形管理や品質管理等の帳票が別々にファイリングされて保管されるため、管理図表のトンネル測点に関する情報を取り出すのに時



図-1 トンネル施工情報管理図表

間が掛かってしまう。そこで、山岳トンネルの施工に関する書類データ（地質図、出来形・品質管理等の情報）をトンネルの測点と関連付けて一元的に管理し、測点に関する情報を簡単に参照することができる「山岳トンネルデータベース」を開発した。また、このシステムは、データを EXCEL や HTML 形式で出力できるので、発注者に電子納品することにより施工中の情報共有だけでなく、竣工後の維持管理データとしても活用できる。

また、鉄道等の高架橋構造物等の明かり工事では、耐震性を高めるためにより多くの鉄筋が使用されると共に、景観への配慮から構造物自体のデザインも複雑なものが増えている。そのため配筋工事の難度が高くなり、設計どおりに配筋できない場合もある。そこで、鉄道高架橋構造物の設計図を基に、三次元 CAD を用いて鉄筋の三次元モデルを作成し、鉄筋干渉チェック機能により鉄筋の干渉状況や干渉箇所を特定した。これにより、鉄筋の過密状態も視覚的に表現することが可能となり、コンクリートの骨材やパイプレータが通過できることを事前に把握することで施工性の検討に活用した。

2. 山岳トンネルデータベース

2.1 システム概要

「山岳トンネルデータベース」は、山岳トンネル工事現場において従来からトンネル施工に関する様々な情報を記入して管理している「トンネル施工情報管理図表」をシステム化したものである。図-2に示すとおり、本

*管理本部情報システム部

システムでは、トンネル測点・地質平面図・地質縦断面図・地質名・支保パターン・掘削方法・補助工法の設計・実測値等の施工情報に加えて、切羽観察記録や、吹付コンクリート・覆工コンクリート・インバートコンクリート等の出来形管理記録や、スランプ試験・ロックボルト引抜試験等の品質管理記録の情報（書類データ）をトンネル測点と関連付けて管理することができる。

2.2 データ登録・参照

登録方法は簡単で、図-3に示すように、書類データを登録したい測点の書類名の上にドラッグ&ドロップすることで、測点と書類データが関連付けられ、

登録された書類データは、測点毎の書類名をクリックすることにより測点に関連した書類データを参照することができ、「フォルダへ」ボタンをクリックすることで書類フォルダ毎に登録された全測点分の書類データを参照することができる。また、事前に測点毎に必要な書類データ名を登録しておくことで、書類データが登録されていない書類名が赤字で表示され、書類データ登録時に黒字に変わる仕組みとなっているため、必要書類データの登録漏れチェックをすることができる。なお、登録可能なファイル形式に制限は無く、EXCEL、WORD、PDF等の様々な形式のファイルを登

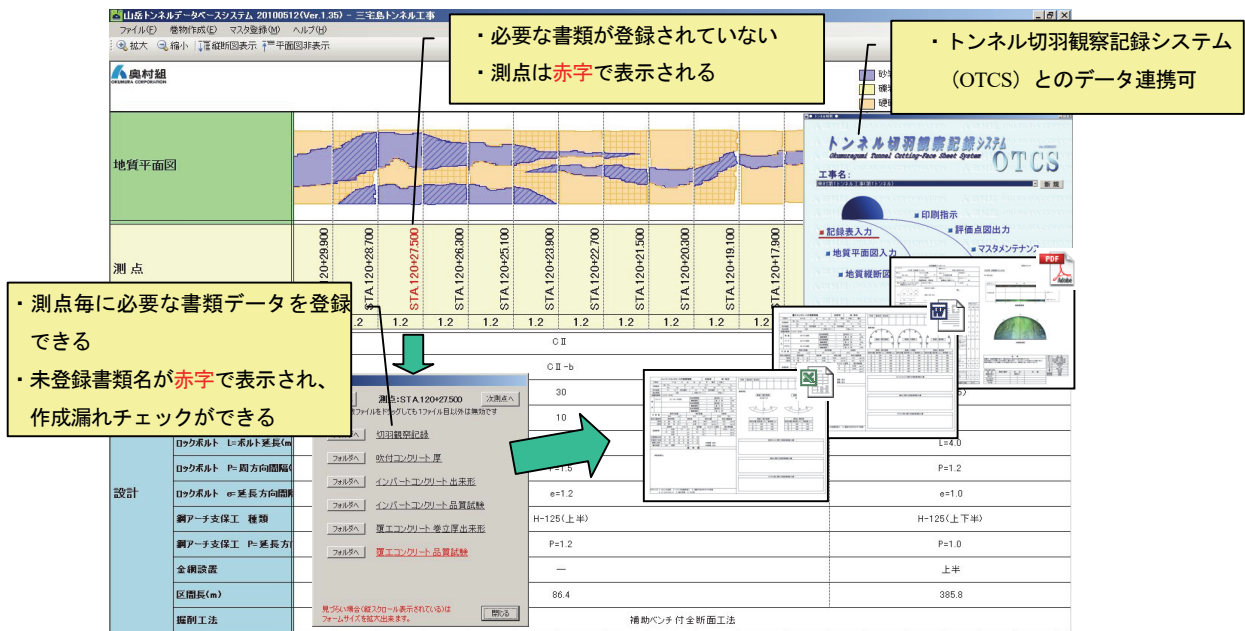


図-2 山岳トンネルデータベース概要



図-3 書類データ登録・参照方法

録することが可能である。また、このシステムは LAN でデータ共有が可能であり、データを一元的に管理することができるので、例えば、昼夜勤務で担当職員が不在の場合でも、工事所の全職員が常に最新のデータを確認することができる。これにより、施工中の情報共有を図ることができ、施工データを次の工程にフィードバックすることができる。また、本システムは既開発の「トンネル切羽観察記録システム (OTCS)」とのデータ連携が可能で、同システムに入力した測点情報・地質平面図・地質縦断面図・切羽観察記録のデータを本システムに取り込むことができるので、同システムとの併用により施工管理の効率化を図れる。

2.3 登録データの出力

本システムに登録されたデータは、図-4に示すように、EXCEL・HTML 形式の管理ファイルに書類データがリンクされた形で出力することが可能であり、出力データ (EXCEL・HTML 形式の管理ファイル+登録されたデータ) を発注者に電子納品することができる。本システムの出力データを電子納品することにより、竣工後の維持管理データとしても有効に活用できるため、発注者 (国土交通省) に好評であった。

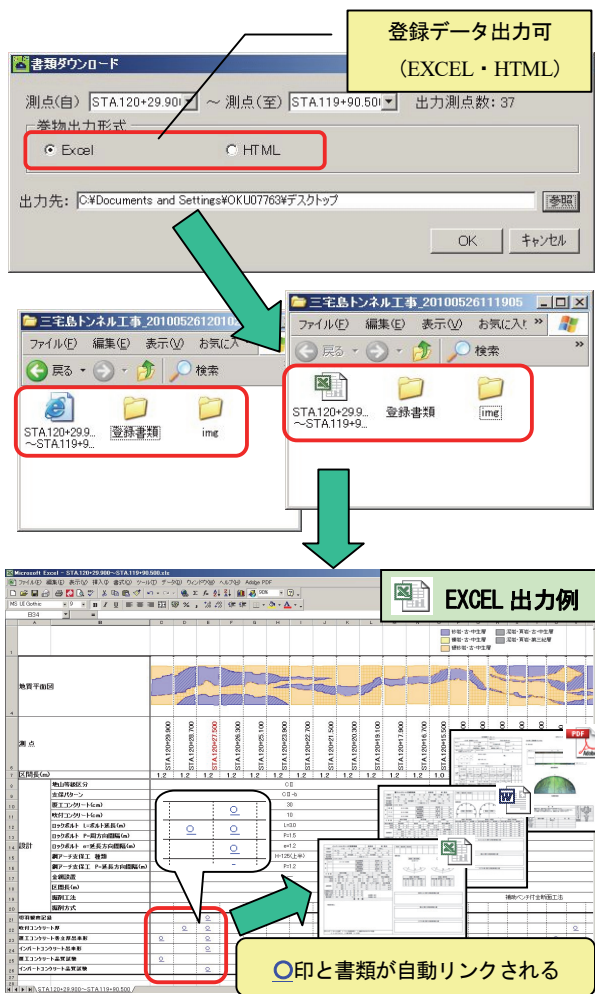


図-4 登録データ出力例

3. 三次元配筋モデルの現場適用

3.1 現状の課題と概要

鉄道等の高架橋構造物で耐震性を高めるためにより多くの鉄筋が使用されると共に、景観への配慮から構造物自体のデザインが複雑化し、配筋の難度が高く設計どおりの配筋が難しくなり、さらには配筋できない場合もある。他にも鉄筋コンクリート構造物の配筋に関する課題がいくつか挙げられている¹⁾が、設計上の課題としては以下のようなものがある。

- i. 部材ごとに図面を作成しているため、各部材を重ね合わせた際に鉄筋が干渉している場合がある
- ii. 設計図面が二次元 CAD で鉄筋に太さを与えずに点と線で作成されているため、細部においてフックの取り合いなどで鉄筋が干渉し、配筋できない場合がある

また、施工上の課題としては、以下のようなものがある。

- i. 場所打ち杭頭部が基礎や地中梁と接合する箇所等で、設計どおりに鉄筋が組めない場合がある
- ii. 鉄筋組立手順を考慮していないため、設計どおりのスターラップ形状では、実際に配筋できない場合がある
- iii. 複雑な配筋や組立手順に対応できる技量を持つ鉄筋工が少なくなっている

そこで、配筋問題が多く発生している鉄道等の高架橋構造物の施工現場に「三次元配筋モデル」を適用し、システムの有効性と課題および今後の方向性を検討した。

3.2 三次元モデルの作成

Autodesk 社の三次元モデル設計ツールである RevitStructure と NavisWorks を用いて、鉄道高架橋工事の二次元設計図面を基に、図-5に示すような「三次元配筋モデル」を作成した。

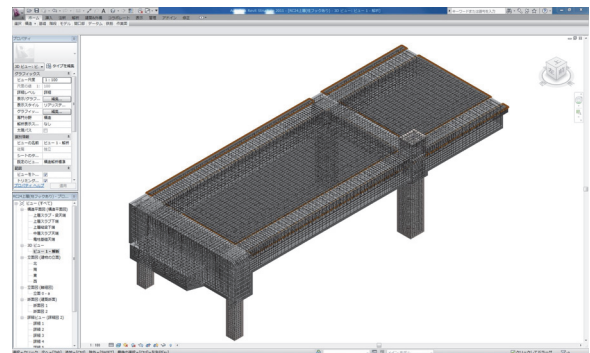


図-5 3次元配筋モデル

作成手順は、以下のとおりである²⁾。

- i. RevitStructure 標準の部材 (基礎・柱・梁・スラブ等) を用いて高架橋構造物 (外形・形状) の三

- 次元モデルを作成する (図-6)
- ii. 配筋できないと予想される箇所や、コンクリート打設が可能か検討が必要な箇所 (例えば、杭頭部、基礎部、地中梁、梁の接合部、桁受部等) を特定する
- iii. i で作成した構造モデルの各部材に対して、RevitStructure 標準の配筋機能を利用して、配筋モデルを配置する
- iv. iii で配筋モデルを配置する際、図-7 に示すように二次元配筋図を断面方向の下図として表示させておき、RevitStructure 標準の配筋機能を用いて鉄筋形状タイプ・鉄筋径を選択し、位置合わせをして配置を行う
- v. 主筋組立図のタイプごとにグループ化を行い、連続して配筋モデルを配置する

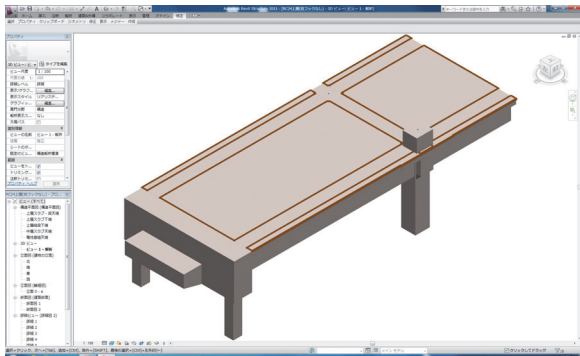


図-6 構造物の3次元モデル

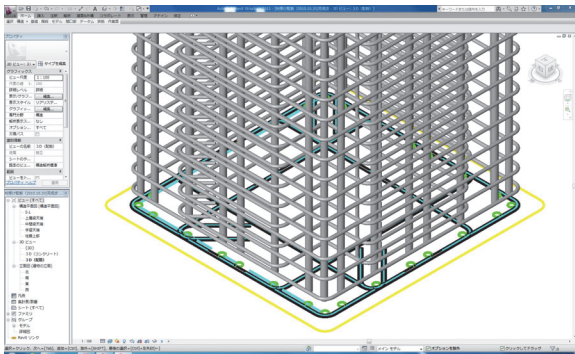


図-7 配筋モデルの配置手順

3.3 鉄筋干渉チェック

「三次元配筋モデル」では、鉄筋の太さが表現されており、二次元図面では確認できなかった鉄筋の干渉状況が表現できる (図-8)。

鉄筋干渉チェックの手順は、以下の通りである。

- i. 作成した配筋モデルのうち、干渉チェックを行う鉄筋を特定 (選択) する
- ii. RevitStructure の鉄筋干渉チェック機能を用いて、鉄筋の干渉状況と干渉位置を特定する

- iii. 干渉チェックを行った結果は、図-9 のように鉄筋の干渉箇所が赤色で表示されると共に、干渉箇所数や干渉した部材が表示される
- iv. iii で赤色に表示された干渉箇所をクリックすることにより、干渉している鉄筋の詳細が表示される (図-10)

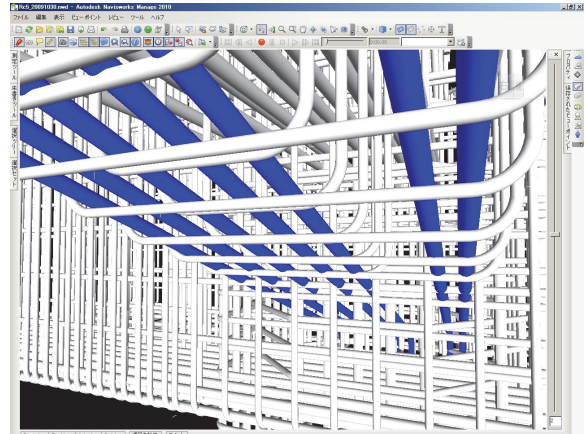


図-8 鉄筋干渉状況

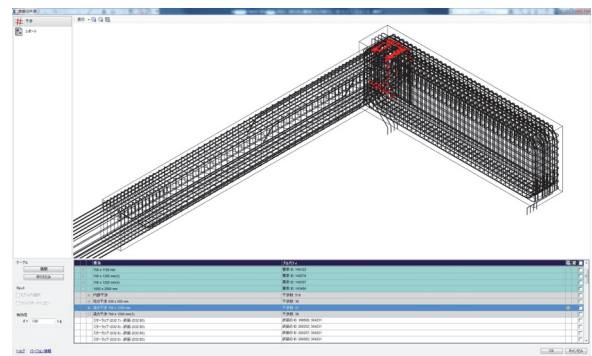


図-9 鉄筋干渉チェック

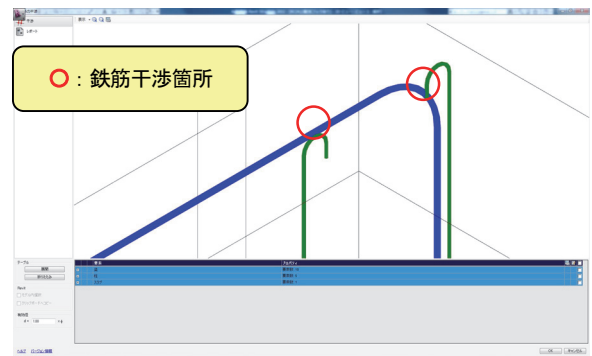


図-10 鉄筋干渉状況 (詳細)

3.4 過密状態の把握およびコンクリート打設 (骨材通過) シミュレーション

「三次元配筋モデル」において、鉄筋の太さが表現されたことにより、鉄筋の干渉状況だけでなく鉄筋の過密

状態も明確になる。二次元図面ではわかりにくい鉄筋の過密状態が図-11 に示す桁受部の「三次元配筋モデル」により明確になった。そこで、コンクリート打設時にコンクリートが確実に充填できるかの検討を次の手順で行った。

- i. RevitStructure で作成した配筋モデルのデータを NavisWorks 形式のデータとしてエクスポートする
- ii. i でエクスポートする際に RevitStructure で作成した鉄筋の形状タイプ名、鉄筋径等属性情報も NavisWorks に受け渡される
- iii. NavisWorks でコンクリート骨材の最大粒径と等しい径 (25mm) の球体モデルを作成する
- iv. 鉄筋の間に iii で作成した骨材球体モデルを通過させ、コンクリート打設 (骨材通過) のシミュレーションができる (図-12)

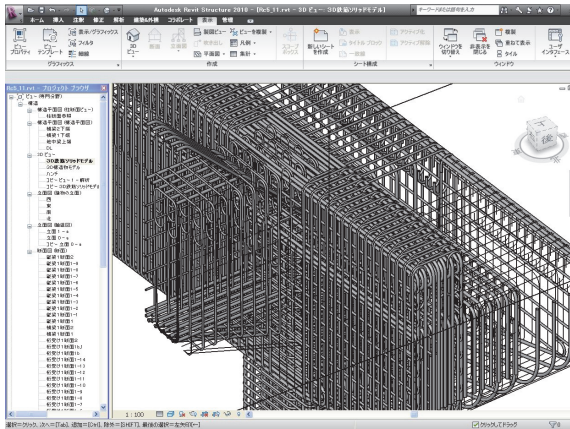


図-11 桁受部配筋状況

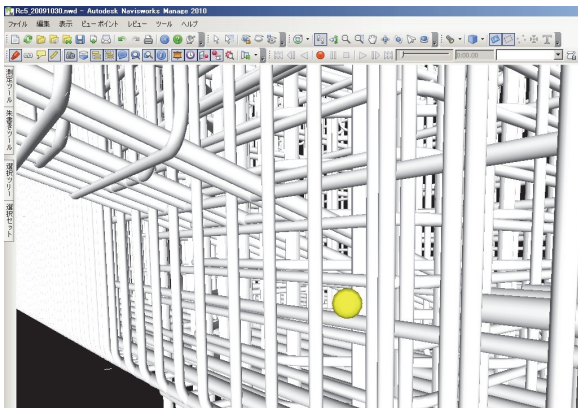


図-12 骨材通過シミュレーション

3.5 コンクリート打設 (パイプレータ挿入確認) シミュレーション

3.4 でシミュレーションを行った鉄道高架橋工事と別の工事では、設計の仕様が高流動コンクリートとなっていたが、縦断勾配が急なためコンクリート表面仕上げの

施工性を考慮して、普通コンクリートへの変更を検討していた。しかし、普通コンクリートへ変更するためには、確実にパイプレータを挿入しての振動締め込みが可能であることを証明する必要がある。そこで、このケースでは、「三次元配筋モデル」にパイプレータと等しい径 (43mm) の球体モデルを通過させてコンクリート打設シミュレーションを行った。

検討手順と結果を以下に示す。

- i. RevitStructure で「三次元配筋モデル」を作成し、NavisWorks にエクスポートする (図-13)
- ii. NavisWorks でパイプレータと等しい径 (43mm) の球体モデルを作成する
- iii. 梁 (1000mm×2000mm) およびスラブのコンクリート打設時に、柱 (500mm×500mm) のコンクリート水平打継部までパイプレータが挿入できることを確認するため、ii の球体モデルを梁天端から垂直方向に通過させて、コンクリート打設 (パイプレータ挿入) シミュレーションを行った (図-14)

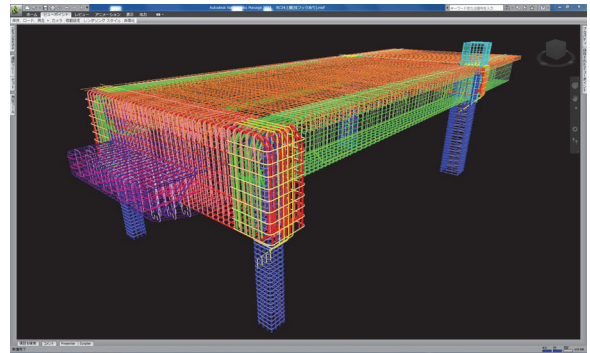


図-13 3次元配筋モデル

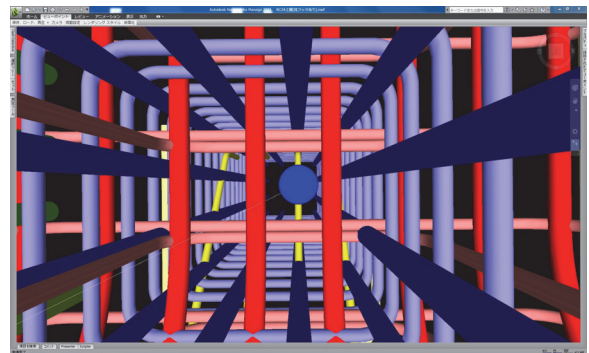


図-14 パイプレータ挿入シミュレーション

- iv. シミュレーションの結果、鉄筋に支障することなく、柱の打継部までパイプレータを挿入できることを確認した
- v. 「三次元配筋モデル」作成時に、部位ごとに鉄筋の色を付けたことにより、鉄筋の区別が容易できると好評であった

4. あとがき

山岳トンネル工事と明かり工事の施工品質確保を目的とした施工管理システム化に取り組んだ。

山岳トンネル工事については、「山岳トンネルデータベース」を開発し、施工現場へ適用した結果、最新施工データの情報共有化により次工程への迅速なフィードバックが可能となり、施工品質の向上に有効であることを確認した。また、施工情報管理データを電子納品することにより、発注者の維持管理データとして有効であることが確認できた。今後は、全ての山岳トンネル現場への普及・展開を図る予定である。

明かり工事については、「三次元配筋モデル」を鉄道高架橋工事に適用し、鉄筋干渉チェック・コンクリート打設（骨材通過・バイブレータ挿入）シミュレーションを行うことにより、事前に施工上の問題点等を明確に表現することができた。今後は、鉄筋が干渉した際の干渉解消機能のシステム化を目指す予定である³⁾。

【参考文献】

- 1) 藤澤泰雄、五十嵐善一、山口修平、「三次元配筋設計支援システムによる効率化の検討について（その1）－現状の課題と今後の方向性－」、第64回土木学会年次学術講演会、VI-259、2009.9
- 2) 小林三昭、五十嵐桂一、「三次元配筋設計支援システムによる効率化の検討について（その2）－システムの構築－」、第64回土木学会年次学術講演会、VI-260、2009.9
- 3) 五十嵐善一、「三次元配筋モデルの施工現場への適用について－現状の効果と課題および今後の方向性－」、第65回土木学会年次学術講演会、VI-525、2010.9