

# 橋梁撤去・架設の 3D シミュレーション技術の開発と現場への適用

## 現地状況やクレーンの動きを忠実に表現

田 辺 重 男・工 藤 朗 太・松 山 浩 一

道路の通行止めや鉄道の線路閉鎖を伴う橋梁の撤去・架設工事は、厳しい時間的制約の下で行われ、トラブルや手戻りの発生は許されない。これに対応するため、特に架設事例が多いクレーンによる橋梁撤去・架設工事を忠実に表現できる 3D シミュレーション技術を開発した。本技術は 3D レーザースキャナーで取得する現地状況の点群データと実際のクレーンの動きを表現するクレーンシミュレーションソフトから構成される。本技術を実橋の架設に適用し、事前に架設手順を精査・修正した。これにより、トラブル、手戻り無く予定通り所定の時間内に作業を終了した。

キーワード：橋梁、クレーン、架設、3D、点群データ、施工シミュレーション、三次元モデル

### 1. はじめに

国土交通省における CIM 導入、推進の動きを受け、建設現場における三次元モデルのいろいろな利用方法が試されている。なかでも施工状況を三次元的に事前確認でき、実作業の課題、問題をあぶり出すことができる施工シミュレーションは、広く行われるようになってきた。特に、実作業における手戻り、失敗が大きな安全問題、社会問題を引き起こす可能性のある工事において、施工シミュレーションは必要不可欠である。鉄道上空、道路上空での橋梁撤去・架設工事は、まさにこの要件にあてはまるものである。線路閉鎖、道路通行止めを実施した上で、限られた時間内に確実に作業を終わらせる必要があり、線路、道路の開放が遅れた場合、社会に及ぼす影響は非常に大きなものになる。

このような観点から、特に工事事例の多いクレーンによる橋梁の撤去・架設に着目し、3D シミュレーション技術を開発した。また、それを実工事に適用し、その効果を検証した。

### 2. 橋梁撤去・架設の 3D シミュレーション技術の開発

開発にあたって、以下の要件を設定した。

- ①橋台、橋脚だけでなく、地形、周辺構造物、架空線、電柱など現地状況をすべて実配置、実形状で再現できること。

- ②クレーンのすべての動きをコマ送りではなく、連続的に表現できること。また、クレーンの動作中にクレーンおよび吊荷の干渉チェックを行えること。

- ③シミュレーションしたクレーンのすべての動きは保存され、修正できること。

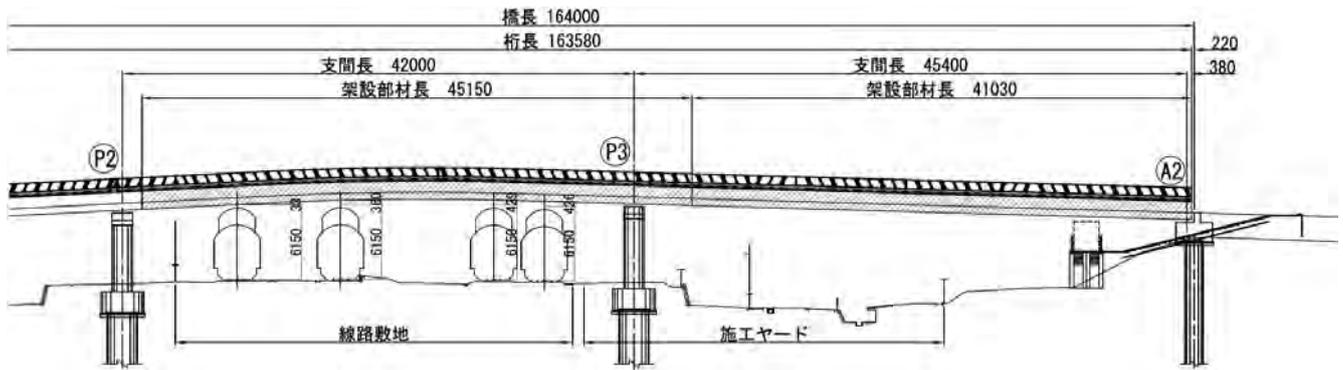
上記の①については、現地状況を 3D レーザースキャナーにより点群データ化することにより実現した。②、③については、モニタ上のクレーンの移動、アウトリガーの張り出し、アッパー部の旋回、ブームの伸縮・角度変更、フックの昇降および視点移動を手元のゲーム用コントローラで操作でき、また、これらすべての動きを数値データとして保存し、修正できるクレーンシミュレーションソフトを開発した。

これらを三次元 CAD ソフト上にアドオンすることで橋梁撤去・架設シミュレーションを可能にした。次章において、実工事への適用事例を通して本技術の詳細を説明する。

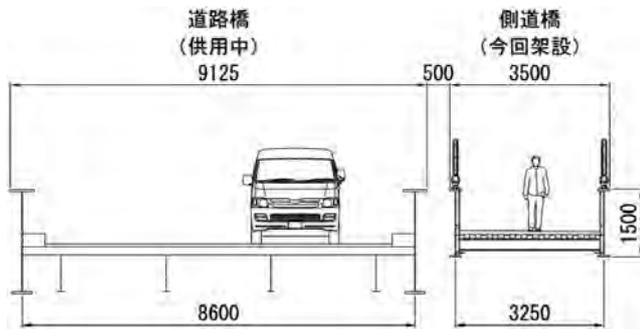
### 3. 実工事への適用

#### (1) 適用する工事の概要

JR 筑豊本線を跨ぐ国道 201 号立岩大橋には歩道がないため、新たに歩行者専用側道橋（以下、側道橋と略す）が道路橋に隣接して架設されることとなった。側道橋は鋼 4 径間連続デッキ床版桁橋であり、そのうち、P2 橋脚から A2 橋台の 2 径間分の架設に本技術を適用した（図—1, 2 参照）。



図一 側道橋側面図

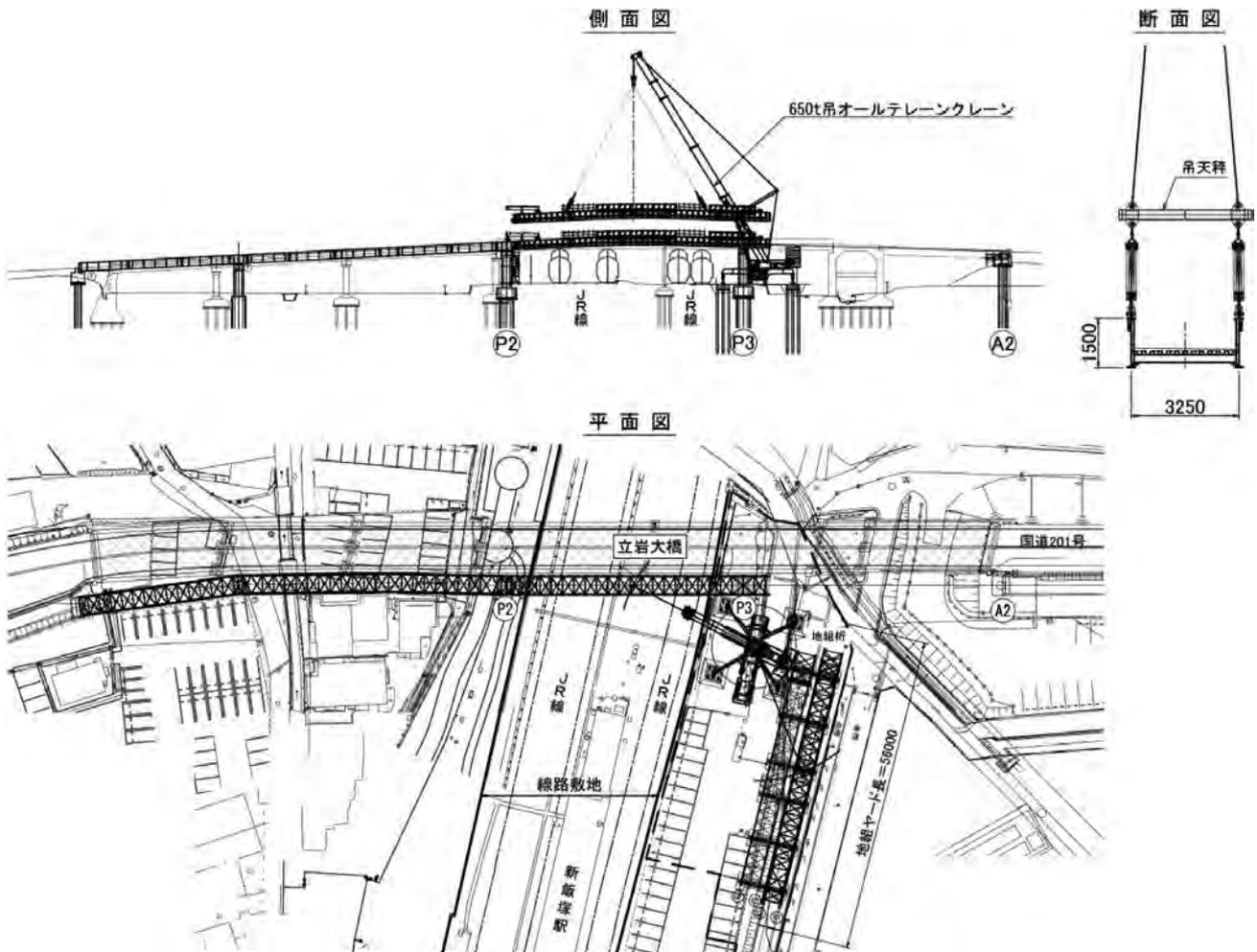


図二 道路橋と側道橋の断面図

架設方法は、650t吊りオールテレーンクレーンを用いたクレーン架設である。また、JRの営業線を跨ぐことから、夜間の線路閉鎖時間内に各径間分をそれぞれ一括架設し、計2夜間で架設を行う(図一3参照)。

(2) 3Dシミュレーションの必要性

鋼桁の架設は、夜間の線路閉鎖時間内に行う必要がある、また、国道の通行規制を伴うことから、トラブルの発生は許されないものであった。したがって、事



図一3 架設要領図 (P2-P3間)

前に綿密なシミュレーションを実施して作業手順を確認することが重要であった。従来のシミュレーションは、想定されるクレーンの動きを平面図、側面図などの二次元の図面上に描画し、周辺との干渉をチェックすることで行ってきた。しかしながら、二次元図面での検討では、現地状況を細部にわたって正確に把握することや、クレーンの動きを開始から終了まで全て連続的に確認することは困難である。このため、本技術を適用し、実際の作業における想定外の干渉などトラブルの発生要因について精査する必要があった。

(3) 架設シミュレーション

(a) 現地状況の再現

現地状況を詳細に再現するため、およそ 300 m 四方の範囲を、3D レーザースキャナーを使用して 8 箇所からスキャンした。スキャンに要した時間は半日程度である。点群データを図-4 に示す。

線路敷地内での 3D レーザースキャナーの使用は許可されないため、線路敷地内の地表面付近の現地状況の再現は十分ではないが、架設シミュレーションにおいて影響はなかった。

(b) クレーンおよび鋼桁の CAD データの作成

クレーンシミュレーションソフトにおいて、汎用的なクレーンのデータはライブラリとして準備されている。しかしながら、本工事に使用する 650 t クレーンはライブラリに準備されていないため、あらたに 3D データを作成した。また、架設対象の鋼桁も 3D データとして作成した。

(c) 架設シミュレーションと手順変更

架設シミュレーションは、三次元 CAD ソフト上に現地状況の点群データおよび架設対象の鋼桁の 3D データを読み込み、そこに 650 t クレーンデータを配置して実施した(図-5 参照)。最初にクレーンオペレータ、作業員の意見を基に現場で作成した架設手順案をシミュレーションし、全員で確認した。その結果、クレーン動作に干渉のないことを確認できた。しかしながら、作業員等から安全性をより一層高めるための活発な意見が出され、それをもとに以下に示す作業手順の改善をおこなった。作業手順の改善は数値データの修正により行った(表-1 参照)。

① 旋回開始時期の変更

最初の架設計画では、線路閉鎖前に鋼桁を吊り上げ、線路敷地外の上空で旋回する予定であった。これ



図-4 点群データによる現地状況の再現

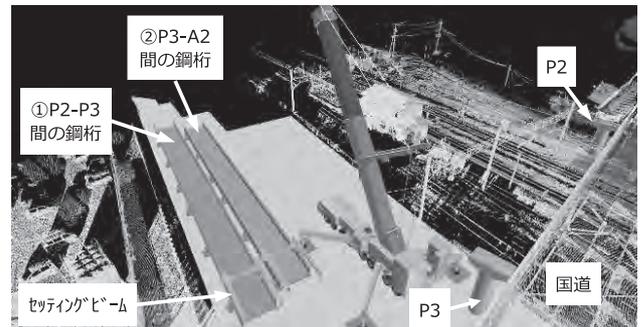
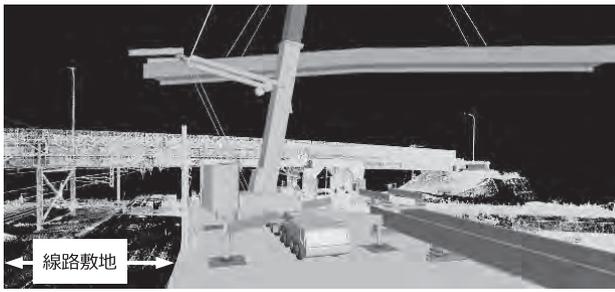


図-5 クレーンおよび鋼桁の 3D データ

表-1 クレーンの動きの数値データ

No	フレーム	位置(X)	位置(Y)	位置(Z)	重体	回転台	ブーム	アック	ワイヤ長さ	ブーム長さ	アタッチ
1	50	-28294.9	71627.7	18	165.7	0	0	0	0	15.3	FALSE
2	50	-28294.9	71627.7	18	165.7	0	45	0	0	15.3	FALSE
3	40	-28294.9	71627.7	18	165.7	0	45	0	0	50.3	FALSE
4	40	-28294.9	71627.7	18	165.7	32	57.4	0	0	50.3	FALSE
5	40	-28294.9	71627.7	18	165.7	32	57.4	0	18.5	50.3	FALSE
6	40	-28294.9	71627.7	18	165.7	32	57.4	0	18.5	50.3	TRUE
7	40	-28294.9	71627.7	18	165.7	32	57.4	0	12	50.3	TRUE
8	40	-28294.9	71627.7	18	165.7	32	70	0	12	50.3	TRUE
9	40	-28294.9	71627.7	18	165.7	170	70	0	12	50.3	TRUE
10	40	-28294.9	71627.7	18	165.7	170	70	-34.3	12	50.3	TRUE
11	40	-28294.9	71627.7	18	165.7	254.2	70	-118.5	12	50.3	TRUE
12	40	-28294.9	71627.7	18	165.7	254.2	61.5	-118.5	12	50.3	TRUE
13	10	-28294.9	71627.7	18	165.7	254.2	61.5	-118.5	15.3	50.3	TRUE

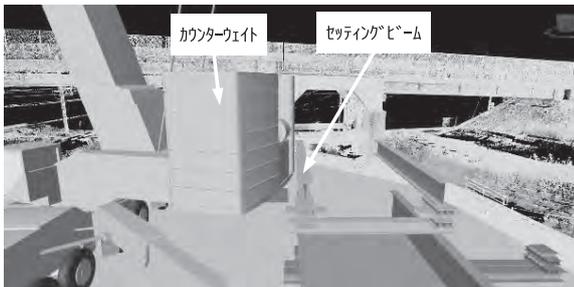


図一六 線路敷地内に侵入する鋼桁

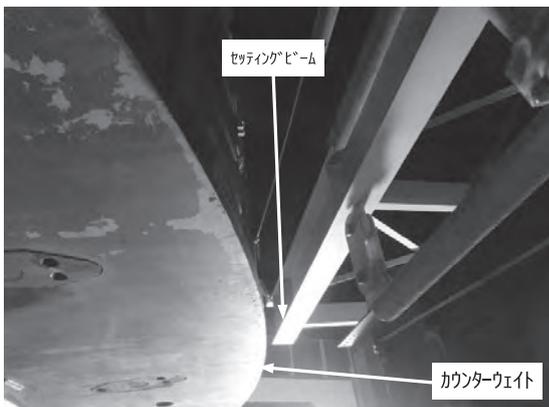
は、少しでも時間に余裕を持たせることを目的としたものであった。シミュレーションの結果では、鋼桁の旋回により、鋼桁の一部が線路敷地内の上空を侵すことが判明した（図一六参照）。このため、鋼桁の旋回は線路閉鎖後に開始することとした。

②地組み済み鋼桁の事前移動

鋼桁 2 径間分を同時に地組みするため、地組みした桁とクレーンとの離隔は狭い。地組みした鋼桁は、後から架設する P3-A2 間の鋼桁のほうがクレーン側にある。このため、最初に P2-P3 間を架設する際、クレーンのカウンターウェイトが、P3-A2 間の鋼桁上のセッティングビームに接近する。二次元図面上で、離隔 8 cm 程度を確保でき干渉がないことは確認済みであったが、3D シミュレーションで再確認した。3D シミュレーションでも干渉は見られなかったものの、極めて接近する状況が実感をもって確認された（図一



図一七 カウンターウェイトとセッティングビームの接近



写真一 実工事でのカウンターウェイトとセッティングビーム

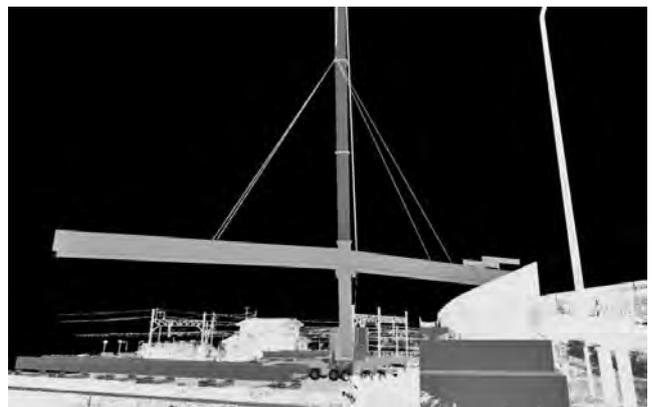
7 参照)。そのため、より安全に旋回中の干渉を回避することを目的として、クレーンの設置後、P3-A2 間の鋼桁を移動させ、離隔を 15 cm 程度まで広げた。結果として、実際の架設において干渉することはなかった（写真一 1 参照）。

(4) 実架設との比較検証

当日の架設は、図一八のタイムスケジュールに示した通りトラブルなく進捗し、所定の時間内に作業を終了することができた。同一視点でのシミュレーション画面と写真を、それぞれ図一九と写真二に示す。両者の比較からシミュレーションが忠実に実施状況を表現できていることがわかる。

作業工程	所要時間	0:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	5:00	
線路閉鎖	200		1:00	→						4:20
キ電停止	213		0:54	→						4:27
国道規制	20 15		1:15 1:10	1:35 1:25						
市道規制	30 15		0:50 1:00	1:20 1:15						
準備工	15 30		0:15 0:30							
玉掛けセット、 重心確認	35 30		0:40 1:00							
クレーン旋回 (市道上)	25 15		1:15 1:15							
クレーン旋回 (線路上)	20 10		1:35 1:25							
仕口桁調整	40 15		2:15 1:40							
仕口仮添接 ・本締	55 70		3:10 2:50							
玉掛け撤去	40 30		3:50 3:20							
クレーン 旋回戻し	10 10		3:30 4:00							
後片付け	10 10		4:10 3:40							

図一八 タイムスケジュール



図一九 シミュレーションでの架設状況



写真一 2 実工事での架設状況

#### 4. おわりに

橋梁撤去・架設の3Dシミュレーション技術を開発し、実工事に適用した。現地状況を忠実に再現できるため、これまでは見過ごされてきた架設手順の細部にまで目を届かすことができ、細かな干渉などトラブルの芽を事前に摘み取ることができた。また、クレーンのすべての動きを、あたかもクレーンオペレータの感覚で連続的に表現でき、それをあらゆる視点から確認できることは、クレーンオペレータ、作業員にとっても新鮮な体験であり、彼らの積極的な意見を引き出し、安全な作業手順を考える強力なツールにもなった。今後の発展形として、シミュレーションで得た数値データを基に実際のクレーンを作動させる仕組みを

構築すれば、クレーン動作の自動化も考えられる。

われわれ建設会社が、CIM導入を考える場合、忘れてならないのはそれを現場でいかに生かすかである。現場で働く人々の作業性向上、安全性向上に寄与し、彼らから支持される技術であることが重要である。

なお、本文に示した三次元CADソフトはAutodesk Navisworksであり、また、クレーンシミュレーションソフトは既存ソフトである3D建機ナビ(東電設計)を改良したものであることを付しておく。

JICMA

#### [筆者紹介]

田辺 重男 (たなべ しげお)  
 ㈱安藤・間  
 土木事業本部 技術第二部  
 橋梁グループ長



工藤 朗太 (くどう ろうた)  
 ㈱安藤・間  
 土木事業本部 技術第二部  
 橋梁グループ



松山 浩一 (まつやま こういち)  
 東電設計㈱  
 システム企画部 ITイノベーショングループ

