

鉄道函体に支持された跨線橋の撤去計画と函体の安全照査について

全日本コンサルタント株式会社 技術部

木村 泰三

松下 逸雄

山本 悟

論文要旨

J R奈良駅付近高架事業に伴い、J R関西線と立体交差する大宮跨線橋を撤去する必要があった。跨線橋直下には近鉄奈良線のRC地下ラーメン（以下、函体）があり、跨線橋ラーメン橋脚の片側基礎と土工区間の盛土が函体上に支持されていた。この跨線橋の撤去に伴い函体の安全性と変状が懸念された。そこで本稿は、函体の安全性を確保した撤去計画の立案と函体の安全性の検証について述べるものである。

キーワード：跨線橋、鉄道函体、上載荷重、計測管理

まえがき

J R奈良駅付近連続立体交差事業（以下、J R連立事業）は関西線 2.2km と桜井線 1.3km を高架化し、併せて周辺道路網を整備することで交通の円滑化と分断された市街地の一体化を図るものである。奈良市の中心部と大阪を結ぶ国道 369 号（大宮通り線）は、交通量が 26,000 台/日の幹線道路であり、J R奈良駅の北側約 400m 位置で J R関西線と跨線橋（大宮跨線橋）で立体交差していた。この大宮跨線橋は J R連立事業により高架化されるレール高とほぼ同じ高さであり、高架計画に支障することから撤去し平面道路化する必要があった。

一方、跨線橋直下の地中部には近畿日本鉄道株式会社（以下、近鉄）奈良線の函体が併走しており、跨線橋ラーメン橋脚の片側基礎を支持していた。そこで、跨線橋を撤去することで鉄道函体上の上載荷重が変化することから、函体の安全性と変状が懸念された。

本稿は跨線橋の撤去計画の立案と函体の安全性の検証およびその補強設計について報告し、併せて撤去工事各施工段階における函体の変状を把握することを目的とした計測管理計画についても述べる。跨線橋撤去前の平面図を図 - 1 に示す。

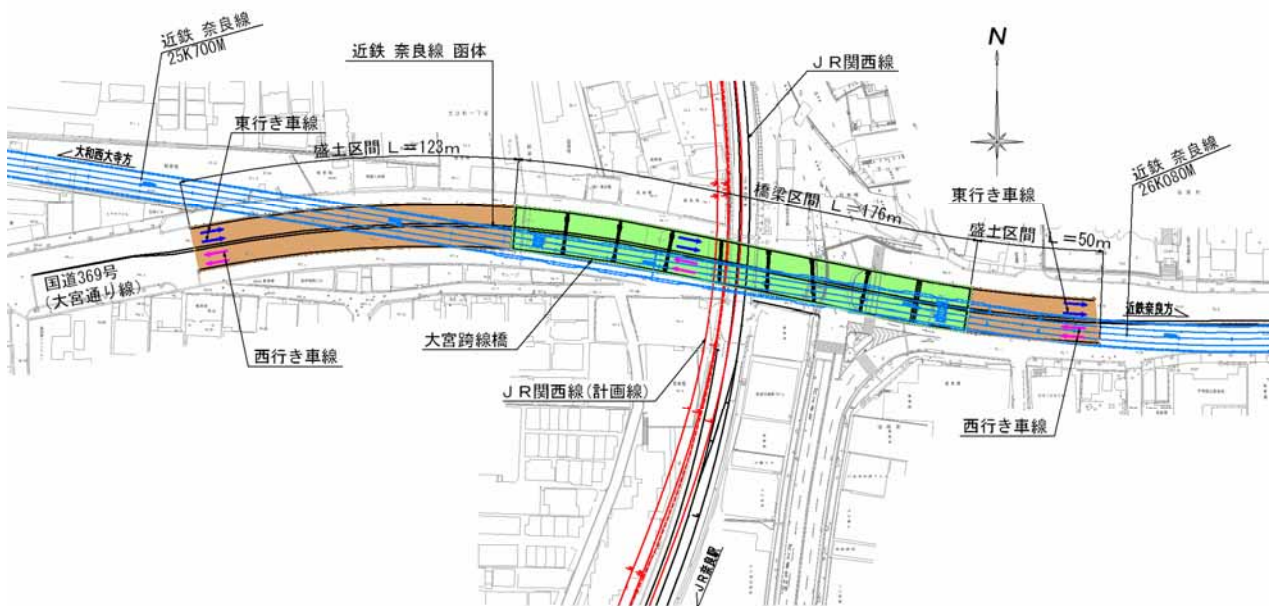


図 - 1 平面図（跨線橋撤去前）

1. 跨線橋の概要

大宮跨線橋は西行き、東行き各2車線の4車線道路であり、延長は盛土区間 L = 173m と橋梁区間 L = 176m の全長 L = 349m である。上部工は全区間 6 主桁鋼非合成板桁構造であり、JR 関西線と立体交差する単純桁（橋長 18.50m）と、4 径間連続桁（西側 橋長 80m、東側 橋長 77.5m）で構成されている。下部工はラーメン式鋼製橋脚であり、

南側基礎が近鉄函体の上床版に直接支持されている。また、盛土区間では近鉄函体の上床版に盛土が搭載されており、その影響範囲は西側で L = 98m、東側で L = 50m である。以下に、跨線橋撤去前の縦断面図を図 - 2 に、盛土区間の横断面図を図 - 3 に、橋梁区間の横断面図を図 - 4 に示す。

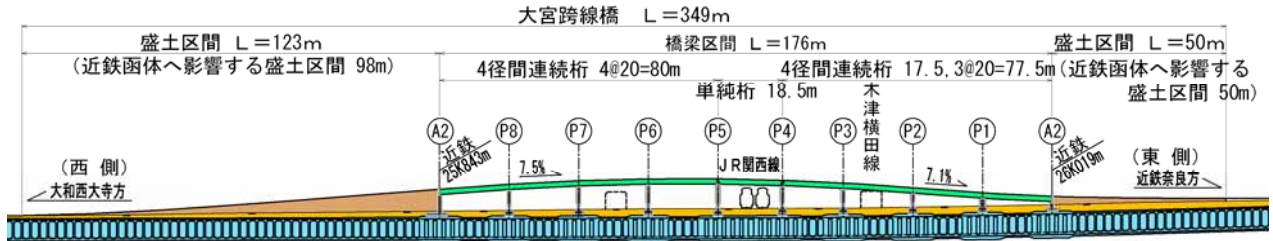


図 - 2 縦断面図（跨線橋撤去前）

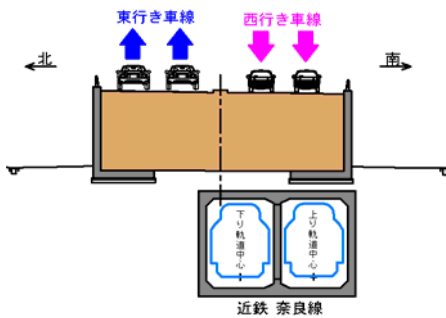


図 - 3 盛土区間 断面図(跨線橋撤去前)

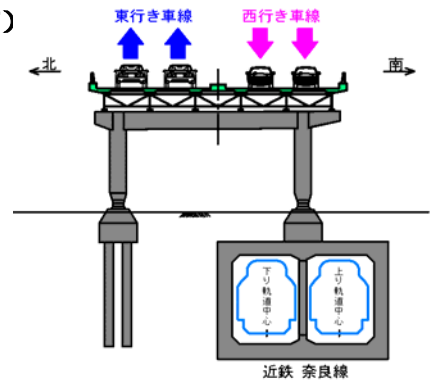


図 - 4 橋梁区間 断面図(跨線橋撤去前)

2. 跨線橋の撤去計画の立案

跨線橋の撤去順序を図-5 に示す。

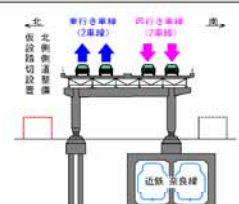
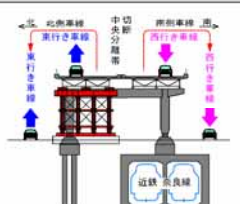
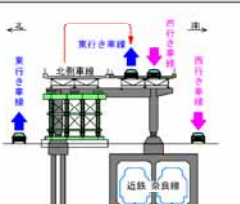
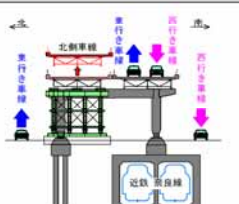
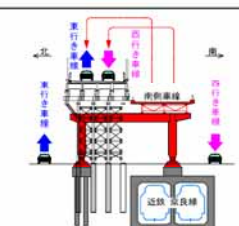
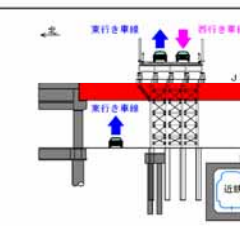
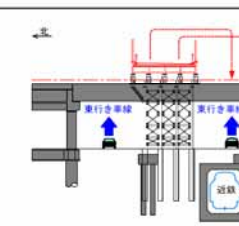
1. 北側側道の整備	2. 中央分離帯切断	3. 南側車線対面通行化	4. 北側車線嵩上げ
①仮設踏切設置と北側側道の整備	①両側道部へ1車線を切替 ②中央分離帯切断 ③仮橋脚設置	①南側車線を対面通行化 ②北側車線を閉鎖	①北側車線橋梁部のジャッキアップ
			
5. 北側車線対面通行化		6. 平面4車線通行化	
①北側車線を対面通行化 ②南側車線を閉鎖 ③南側跨線橋の撤去	④JR橋梁架設	①JR関西線の高架切替 ②平面4車線通行化 ③北側跨線橋の撤去	
			

図 - 5 撤去順序図

跨線橋の撤去計画を立案する条件は以下の通りである。

大宮跨線橋の撤去期間中も4車線（西行き、東行き各2車線）の通行を確保しなければならない。

大宮跨線橋の撤去工程はJRの橋梁架設時とJR関西線の高架切替え時に合わせるよう計画しなければならない。

JR橋梁の架設後軌道を敷設するため、JR高架橋FLと大宮跨線橋桁下との施工離隔として1.5m必要である。

上記条件より、南北の側道を車線として整備し供用させた。また、跨線橋の撤去計画は中央分離帯部で南北に分割し、南側跨線橋を対向2車線の立体交差道路として供用しながらJR高架橋との必要離隔を確保するため、北側跨線橋を最大3.0m嵩上げし、2車線を北側へ切替えて南側跨線橋を撤去する。さらに撤去済みの南側の道路整備を進め、JR関西線の高架切替えと同時に平面4車線道路に切替える計画とした。

3. 撤去計画に対する跨線橋の検討

前述した撤去順序で計画を進める上では以下に示す跨線橋の検討が不可欠であった。

中央分離帯部切断により発生する片持床版の照査
北側跨線橋の嵩上げ計画

(1) 片持床版の照査

中央分離帯部の中央で床版を切断することから、連続版構造であったコンクリート床版が片持床版構造に変化し、応力超過が懸念された。

照査の結果、床版は連続版構造であることから鉄筋は支

点部と径間部の曲げモーメントに抵抗するため折曲げ鉄筋を使用していた。このため、切断箇所の端支点部付近で許容値に対して63%応力超過する箇所が発生したため、南北を分割する前に床版の補強を行う必要があった。

補強工法は床版上面にエポキシ樹脂で炭素繊維成形板を圧着する炭素繊維補強工法と床版下面を支える補強ブラケット工法の2案を比較検討し、施工性に優れた炭素繊維補強工法を選定した。

(2) 北側跨線橋の嵩上げ計画

北側跨線橋は主桁下面とJR高架橋FL面の離隔を1.5m確保することが前提条件であり、JR関西線交差部で最大3.0mの嵩上げが必要であった。北側跨線橋の嵩上げ計画図を図-6に、横断面図を図-7に示し、検討結果を以下に示す。

計画縦断は嵩上げ範囲を極力短くし、かつ跨線橋始終点の交差点まで影響させないため、道路構造令の特例値9.0%を採用した。

橋梁縦断勾配を約7.0%から9.0%に変更するために必要となる勾配調整コンクリートを抑制するため、JR交差部の両側4径間連続の既設桁を3分割に切断した。鉄道函体に作用する上載荷重を極力小さくするため、既設橋脚の前後に鋼製仮橋脚を設置し、分割した既設桁をそれぞれ2径間と3径間の連続桁とした。

JR高架橋に支障する既設P5橋脚を撤去し、JR交差部は2連の仮桁を架設する計画とした。

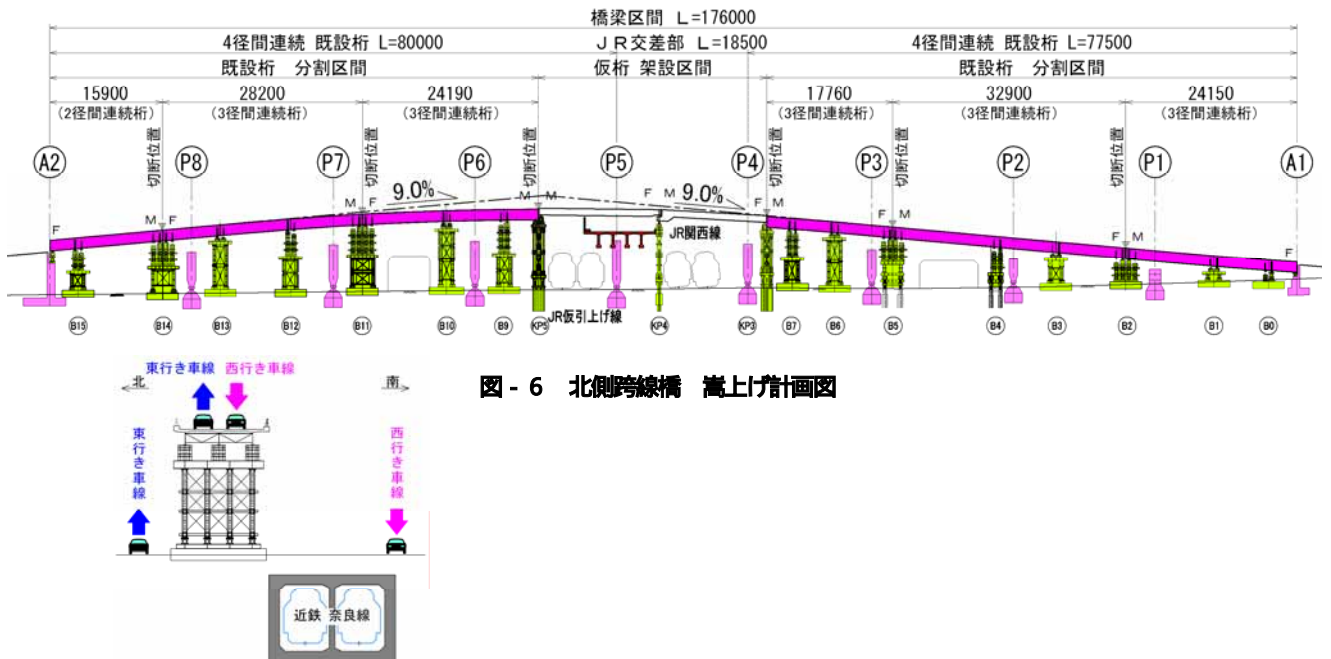


図-6 北側跨線橋 嵩上げ計画図

図-7 北側跨線橋 横断面図

4. 撤去計画に対する鉄道函体の安全検討

前述した通り、大宮跨線橋の下部工はラーメン式鋼製橋脚で全ての片側基礎が近鉄函体の上床版で支持されており、盛土区間の土荷重はそのまま、近鉄函体への上載荷重となっている。

よって、跨線橋の撤去は函体に作用する上載荷重を変化させることになり、函体の安全性を照査し問題がある場合は補強方法を策定することが撤去計画を進める上での重要な課題であった。具体的な検討項目を以下に示す。

(1) 盛土の偏載荷状態における函体の安全検討

(a) 函体に作用する偏載荷重

盛土区間における西側 A2 橋台背面部の撤去計画横断面図を図-8に示す。撤去計画は北側跨線橋を嵩上げ後、対向2車線道路として供用し、その期間中に南側2車線の盛土を撤去し、平面2車線道路を整備する計画である。

これに伴って函体に作用する上載荷重は、北側2車線の嵩上げ量1.55m分の荷重が増加し、南側2車線の盛土5.9m分の重量が減少することになる。この施工段階が近鉄函体にとって最も危険な荷重状態となる。

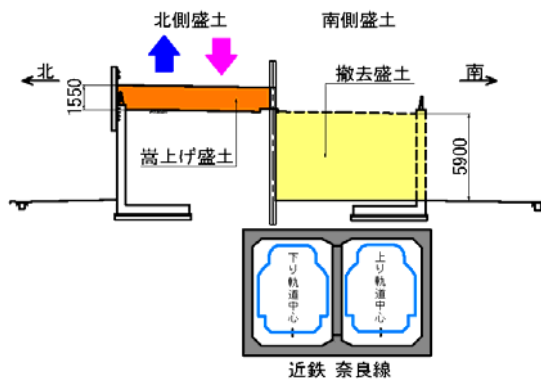


図-8 撤去計画横断面図

(b) 検討方針

函体の照査を行う上での条件を以下に示す。

- 1) 設計手法および基準は建設年次の基準を適用することとし、許容応力度法による照査とする。
- 2) 荷重状態は一時的で短期であることから許容値は仮設時割増し係数1.25を適用する。

(c) 照査結果

照査の結果、函体に作用する上載荷重が北側嵩上げ分 27.9 kN/m^2 と南側の撤去盛土分 106.2 kN/m^2 による荷重差 134.1 kN/m^2 分の偏荷重が作用したことから、上床版が許容値に対して18%応力超過する結果となった。

(e) 対策工

上記の照査結果を踏まえ、函体の対策工は以下に示す条件に基づき決定した。

- 1) 南側盛土は平面道路2車線分を供用する暫定道路縦断計画があるため、盛土の撤去量を調整することはできない。
- 2) 函体の内側からの補強は列車の建築限界に支障することからできない。
- 3) 函体に作用する荷重差を軽減し、許容値内に収めるためには北側道路の嵩上げによる重量を軽減し、さらに既設盛土の重量を軽減する必要がある。

上記に示す条件から決定した対策工を図-9に示す。北側嵩上げ材料に軽量のEPSを選定し、さらに既設盛土を1.9mすき取ってEPSに置き換え、函体に作用する荷重差を 72.0 kN/m^2 に軽減することによって函体の安全性を確保した。

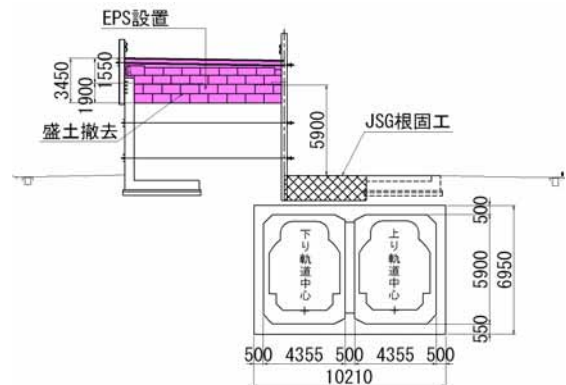


図-9 対策工横断面図

(2) 跨線橋撤去順序における函体縦断方向の検討

函体に作用している跨線橋の上載荷重は、跨線橋の撤去に伴い函体横断方向に変化するとともに、橋脚に作用する反力の変化や橋脚撤去によって函体の縦断方向に対しても変化する。そこで前述した横断方向の検討に加え、跨線橋の撤去順序に伴う上載荷重の変化について縦断方向においても検討を行うこととした。具体的な検討項目を以下に示す。

各撤去段階において函体に発生する応力状態を把握し、函体の安全性を確認する。

各撤去段階において函体の挙動を把握し、撤去期間中の計測管理計画を立案する上での基礎資料とする。

(a) 函体に作用する上載荷重の整理

各撤去段階において函体に作用する上載荷重を整理した。荷重ケースは撤去段階を12ステップに分割し、函体

建設時の応力状態を初期値としてステップ毎の解析を行った。(表 - 1 参照)

(b) 解析条件

函体縦断方向の解析を行う上での条件を下記に示す。また、解析モデルを図 - 10 に示す。

- 1) 解析は函体を弾性支承上の梁・パネモデルとして解析する。
- 2) モデル化の起終点は盛土撤去の影響が少ない位置とし、節点は函体のタイプの変化点および10m毎に設ける。
- 3) モデル化する函体の断面諸元はタイプ毎に算出した剛性とする。
- 4) 応力照査を行う函体の鉄筋量は、上床版と下床版に配置している配力筋を主鉄筋として扱い断面照査を行う。

(c) 照査結果

1) 函体の安全照査

各撤去段階における函体の応力状態と照査結果を表 - 1 に示す。表内の数値は盛土区間で盛土高が最も高く、撤去前の状態で最も発生応力が大きかった A2 橋台背面の M 断面部材番号 として示している。

解析の結果、函体の全断面において橋梁各撤去段階での応力度が函体の許容値を満足していることが検証できた。よって立案した跨線橋の撤去順序で鉄道函体の安全性に問題ないことが確認できた。

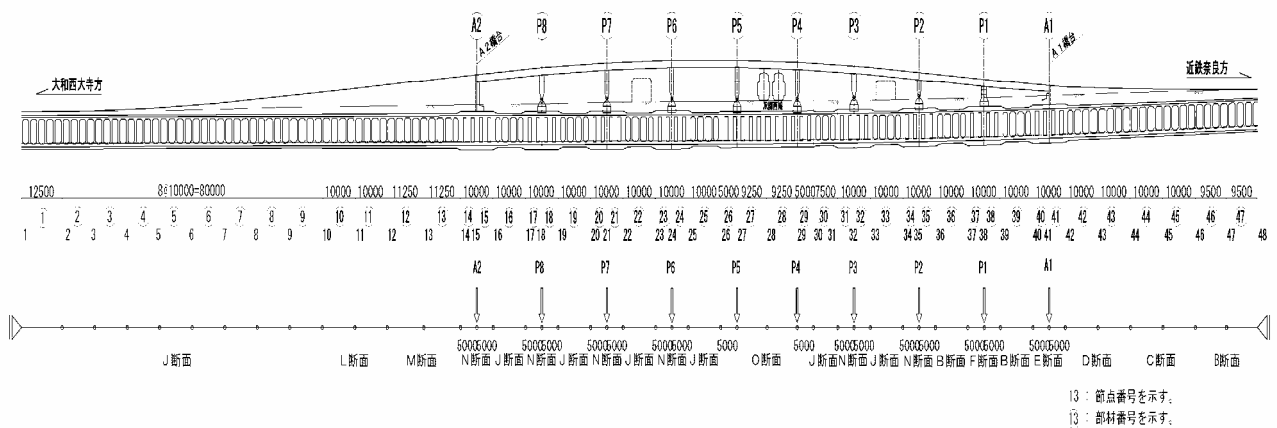


図 - 10 解析モデル

表 - 1 各撤去段階の照査結果

解析ステップ	撤去状況	発生曲げ モーメント(kN-m)	⑬部材(M断面)			
			応力度(kN/mm ²)		許容値(kN/mm ²)	
			σ_c	σ_s	σ_{ca}	σ_{sa}
ステップ(0)	跨線橋撤去前(施工前)	17802.53	0.10	159.0	8.0	180.0
ステップ(1)	北側跨線橋 嵩上げ時	17043.93	0.09	152.1	10.0	225.0
ステップ(2)	北側跨線橋 2車線供用時	15627.61	0.08	139.5		
ステップ(3)	南側跨線橋 撤去時(P5橋脚撤去)	15626.39	0.08	139.5		
ステップ(4)	南側跨線橋 撤去時(P4橋脚撤去)	15627.59	0.08	139.5		
ステップ(5)	南側跨線橋 撤去時(P6橋脚撤去)	15596.67	0.08	139.2		
ステップ(6)	南側跨線橋 撤去時(P3橋脚撤去)	15596.93	0.08	139.2		
ステップ(7)	南側跨線橋 撤去時(P7橋脚撤去)	15644.54	0.08	139.6		
ステップ(8)	南側跨線橋 撤去時(P2橋脚撤去)	15644.47	0.08	139.6		
ステップ(9)	南側跨線橋 撤去時(P8橋脚撤去)	16377.83	0.09	146.2		
ステップ(10)	南側跨線橋 撤去時(P1橋脚撤去)	16377.82	0.09	146.2		
ステップ(11)	南側跨線橋 撤去時(橋台、盛土撤去)	-1805.20	0.01	16.1	8.0	180.0
ステップ(12)	北側跨線橋撤去 完了時(撤去完了)	2098.95	0.01	18.7	8.0	180.0

注) 1 ステップ(1)からステップ(11)の許容値は仮設時割増し係数1.25を適用する。

2) 函体の挙動

各撤去段階における函体の予測変位を図-11に示す。盛土や橋脚を撤去するに従い上載荷重が減少するため、函体は浮き上がる挙動を示す。また、A2橋台背面付近の部材番号の断面が大きな挙動を示し、浮き上がり量が最も大きいケースは当該断面上にある盛土を撤去した時(ステップ11)であり、その浮き上がり量は5.4mmであった。跨線橋の撤去完了時(ステップ12)の最終浮き上がり量は6.3mmの結果を得られた。

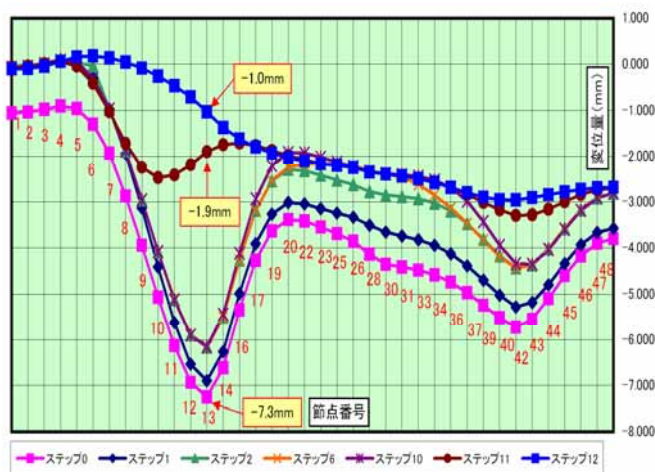


図-11 函体の変位量

上記検討により跨線橋の撤去に伴う各施工段階に対して、函体の安全性と挙動を把握した。また、函体は鉄道が営業している重要構造物であり、列車運行に影響を与えることなく跨線橋の撤去を進める必要がある。

さらに、各撤去段階での函体の実際の挙動を把握する必要があることから、計測管理計画を立案し撤去期間中の函体の挙動監視を行った。以下に管理計画を示す。

(1) 計測管理基準値の策定

函体横断方向の計測管理基準値を表-2に示す。函体横断方向の管理基準値は撤去前の応力状態を把握した後、函体の限界耐力になる相対変位量を算出した。

表-2 計測管理基準値(函体横断方向)

1次管理値	2次管理値	管理限界値
4.5mm 管理限界値の60%	6.0mm 管理限界値の80%	7.5mm

函体縦断方向の管理基準値は、前述した“函体縦断方向の検討”から各撤去段階に対して函体の安全性が確認できたことから図-11に示す各断面の浮き上がり予測量を管理基準値として採用した。

(2) 計測計画

計測項目を表-3に、計測器設置図を図-12に示す。計

測器は10mを基本として配置し、1断面に対し両側壁に各1台沈下計を設置することとした。これにより、軌道縦断方向と軌道直角方向の沈下変位を管理することとした。

表-3 計測項目

計測項目	計測器	数量
鉛直変位	水盛り式沈下計	沈下計 39箇所(上り線)
		沈下計 39箇所(下り線)
	基準水槽	12台
温度	温度計	9点

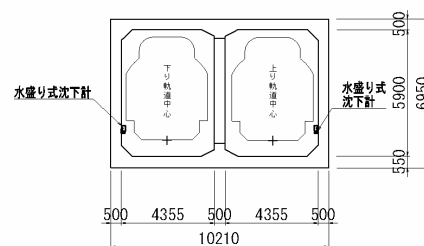


図-12 計測器設置図

(3) 計測結果

計測期間は事前と事後の計測4ヶ月を含め、北側跨線橋の撤去が完了するまでの47ヶ月であった。撤去期間中の計測結果は函体の横断方向の最大相対変位量が2.2mmであり、1次管理値以内であった。一方、縦断方向の最終浮き上がり量は予測値に6.3mmに対して7.1mmと若干大きい値となったが、概ね予測に近い結果であった。

あとがき

大宮跨線橋の撤去工事は平成17年4月より着工し、平成21年3月に無事完了した。大宮跨線橋の撤去工事を進める過程で近鉄函体への影響が懸念されたが、

各撤去段階において函体に作用する上載荷重を整理した上で函体の安全性検証と補強対策を立案した。函体の変状を事前に予測解析し、撤去工事中の函体の挙動を計測により監視した。

等の対策を実施することで鉄道函体の安全性を確保し、列車運行に影響を与えることなく工事を完了させることができた。

謝辞

本報告を作成するにあたり、ご指導、ご助言およびご協力いただきました近畿日本鉄道株式会社ならびに関係各位に深く感謝の意を示す次第です。

参考文献

- 1) 近畿日本鉄道株式会社：設計仕様書(土木関係)解説、平成13年5月。
- 2) 近畿日本鉄道株式会社：技術基準(鉄道土木施設)解説、平成14年7月。