

鋼道路橋床版の設計曲げモーメントに関する一考察

Design Bending Moment of Steel Highway Bridge Deck Slabs

永谷 秀樹*¹ 田中 伸尚*² 能地 宏行*³
 Hideki NAGATANI Nobunao TANAKA Hiroyuk NOUJI

Summary

The current Japan Highway Specifications are mainly standards for performance, where specific design bending moments are presented for the reinforced concrete slabs and pre-stressed concrete slabs of steel highway bridges. Based on the guideline descriptions, however, the design bending moment for deck slabs can be calculated considering the support conditions in the case of steel highway bridges. This report discusses the design bending moment for deck slabs with an effective span between supports exceeding 4.0m using FEM analysis, and considerations when calculating the design bending moment in such a manner.

キーワード：床版、設計曲げモーメント、FEM解析、合理化橋梁（鈑桁）

1. はじめに

近年、コスト縮減と構造の合理化を目的とした合理化橋梁が多く採用されている。この合理化橋梁では、合成床版やPC床版など高耐力・高耐久性を有する床版を用いることで、床版支間を拡大し、主桁本数を減少させている。したがって、これらの床版は従来の鉄筋コンクリート床版の適用支間4.0mを超えるものとなっている。

また、平成14年の道路橋示方書は、性能照査型の設計基準に移行しており、鋼道路橋の床版についても要求事項が明記されている。さらに、要求事項を満足するためのみなし規定として、鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版およびプレストレスとコンクリート床版について、具体的な設計曲げモーメントが示されている。ただし、その解説において、鋼橋における床版支点条件を考慮して設計曲げモーメントを算出してよいとしている¹⁾。本報告では、床版支間が4.0mを超える鋼道路橋床版の連続版中間支点部の設計曲げモーメントについてFEM解析を用いて検討を行い、その設計曲げモーメント算出に関する留意点について考察する。

2. 床版設計曲げモーメント式

合成床版のT荷重による設計曲げモーメントは、床版支間4.0mを超える連続版中間支点部の設計曲げモーメ

ントについては、鋼構造物設計指針PART B（平成9年）の「第7章 道路橋の鋼板・コンクリート合成床版の設計」における「7.4 設計断面力」²⁾、及び道路橋示方書Ⅱ鋼橋編（平成14年）の「8章 床版」の「8.3.4 床版の設計曲げモーメント」¹⁾に示される設計曲げモーメント式が参考となる。

ただし、表-1に示すように両者の間には大きな隔りがある。特に、道路橋示方書においては、床版支間が4.0mを超えることにより設計曲げモーメントが大きく増加することとなる。

ここで、道路橋示方書の解説においては、その設計曲げモーメントはコンクリート橋における設計曲げモーメントを準用しており、鋼橋の場合、桁による支持条件が異なるため、支持条件の違いを考慮した詳細な検討を行

表-1 設計曲げモーメント式の比較

適用基準	区分	設計曲げモーメントの種類	適用支間	設計曲げモーメント		
				橋軸直角方向	橋軸方向	
鋼構造設計指針 PART B	単純版	支間曲げモーメント	$0 \leq L \leq 8$	$+(0.114L+0.144)P$	$+(0.095L+0.098)P$	
	連続版	支間曲げモーメント	$0 \leq L \leq 8$	$+(単純版の80\%)$	$+(単純版の80\%)$	
		支点曲げモーメント		$-(単純版の80\%)$	—	
道路橋示方書Ⅱ鋼橋編	単純版	支間曲げモーメント	$0 < L \leq 6$	$+(0.12L+0.07)P$	$+(0.10L+0.04)P$	
	連続版	支間曲げモーメント	中間支間	$0 < L \leq 6$	$+(単純版の80\%)$	$+(単純版の80\%)$
		支点曲げモーメント	中間支点	$0 < L \leq 4$	$-(単純版の80\%)$	—
			$4 < L \leq 6$	$-(0.15L+0.125)P$		

*1(株)宮地鐵工所 技術本部設計部技術開発グループ課長代理

*2(株)宮地鐵工所 技術本部設計部設計グループサブリーダー

*3(株)宮地鐵工所 技術本部設計部設計グループ

う際には、別途設計曲げモーメントを算出してもよいとしている¹⁾。

- ・床版厚：240mm
- ・ハンチ厚：80mm
- ・舗装厚：75mm

3. 解析対象とT荷重載荷位置

解析対象は合成床版を適用した合理化橋梁（鉸桁）を想定し、桁配置は図-1、図-2に示す通りである。

なお、T荷重の載荷方法は、図-1、図-2に示す以下の2種類とした。

- ①中央分離帯を含め幅員構成を考慮して載荷
- ②中央分離帯を無視し幅員方向に無制限に載荷

また、載荷位置については、着目する床版の中間支点位置に発生する曲げモーメントが最大となるように決定している。

なお、床版厚、ハンチ厚、舗装厚は次の通りである。

4. 解析モデル

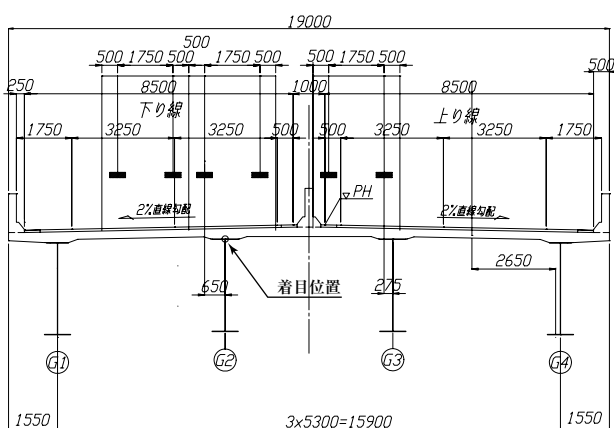
解析は弾性解析とし、以下の2種類のモデルによる解析を行っている。

- ①床版単体モデル：床版のみをシェル要素にてモデル化
- ②全体モデル：床版をソリッド要素、主桁をシェル要素にてモデル化

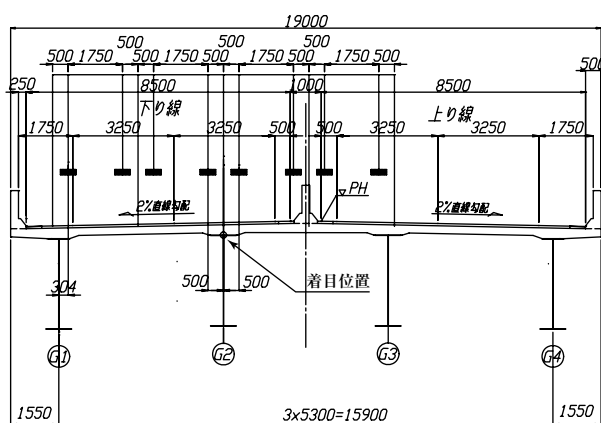
各解析モデルの詳細を以下に示す。

(1) 床版単体モデル

1) 適用要素

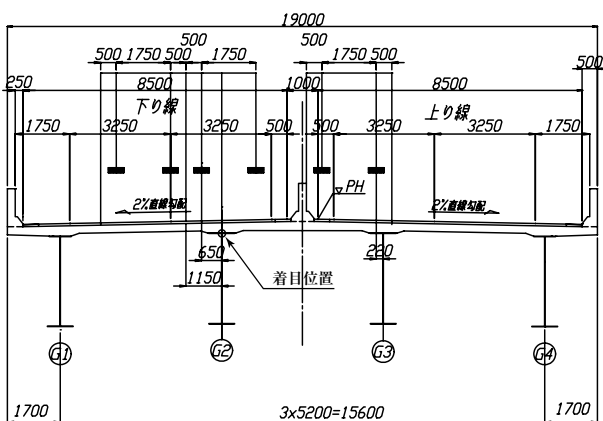


(1) 中央分離帯考慮

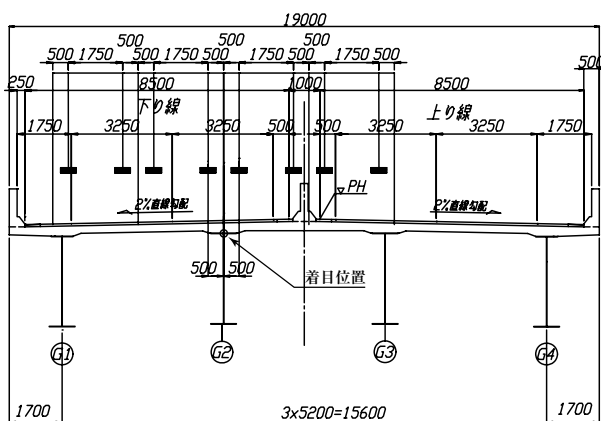


(2) 中央分離帯を考慮しない

図-1 桁配置とT荷重の載荷位置（床版単体モデル）



(1) 中央分離帯考慮



(2) 中央分離帯を考慮しない

図-2 桁配置とT荷重の載荷位置（全体モデル）

床版：3次元シェル要素

要素寸法は曲げモーメント着目位置で50mm×150mmとしている。

厚さは240mmで一定。

モデル化範囲は、床版支間の4倍以上としている。

2) 材料定数

等方性材料として以下の定数を考慮した。

- ・ヤング率 = $2.8 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
- ・ポアソン比 = 0.16667

3) 拘束条件

拘束条件は、主桁腹板上で鉛直変位のみを拘束した。

4) 載荷荷重

載荷寸法は、舗装厚75mmと床版厚1/2による広がりをして図-2の通りとし、荷重強度は道路橋示方書に準拠して100kNとした。

解析モデル図を図-3に示す。

(2) 全体モデル

1) 部材形状と適用要素

床版：ソリッド要素（均一材料）

一般部厚：240mm、ハンチ部厚：320mm

ハンチ形状は約1：3の勾配も持たせ、縦・横断勾配は考慮しない。

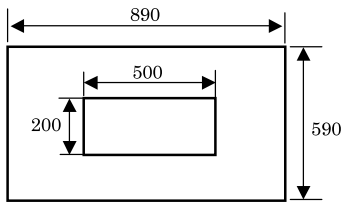


図-2 載荷寸法（床版単体モデル）

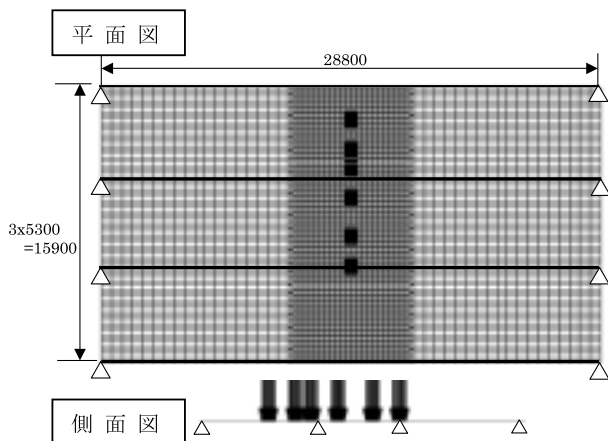


図-3 床版単体モデル

主桁：シェル要素

フランジ：幅600×厚さ19mm、

腹板：高さ2400×厚さ12mm

横桁：ビーム要素

横桁間隔：6.0m、

フランジ：幅340×厚さ16mm、

腹板：高さ1600×厚さ9mm

垂直補剛材：ビーム要素

横桁取付位置にのみ設置

高さ140×厚さ：14mm

モデル化範囲は床版支間の4倍以上としている。

2) 材料定数

構成材料は等方性材料として以下の定数を考慮している。

コンクリート：

ヤング率 = $2.8 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比 = 0.167

鋼材：

ヤング率 = $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比 = 0.3

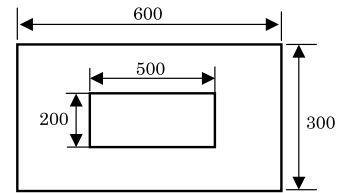


図-4 載荷寸法（全体モデル）

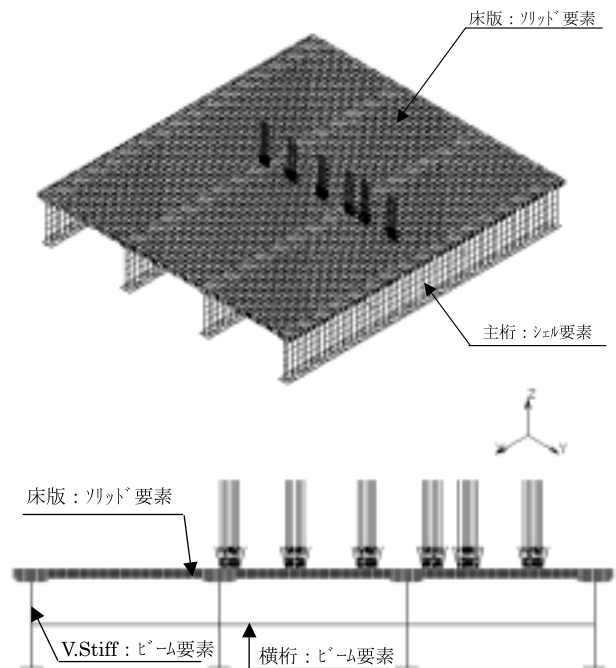


図-5 全体モデル

3) 拘束条件

鉛直変位のみを主桁下フランジの腹板位置で橋軸方向全長に渡り拘束している。

4) 载荷荷重

载荷寸法は、舗装厚による荷重の広がりを考慮して、**図-4**の载荷寸法とした。

解析モデルを**図-5**に示す。

5. 解析結果

(1) 床版単体モデル

図-6に代表して、中央分離帯を考慮した载荷方法における床版上面の橋軸直角方向の発生応力度のコンターを示す。また、**図-7**には変形図を示す。ここで、支点部において発生する最大応力度 (σ_{max}) は、中央分離帯を考慮した場合は 5.196N/mm^2 、中央分離帯を考慮しない場合には 5.861N/mm^2 となる。この結果より、単位幅

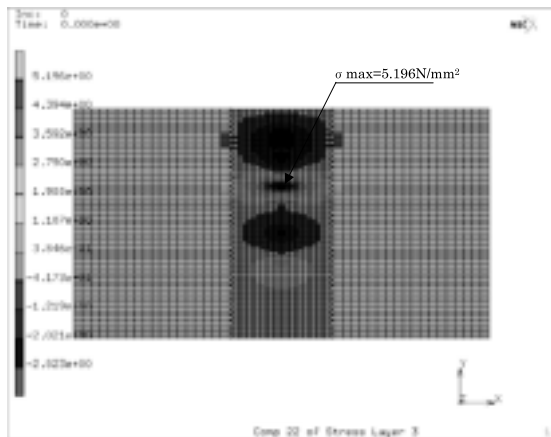


図-6 床版上面の橋軸直角方向の応力分布 (単体モデル)

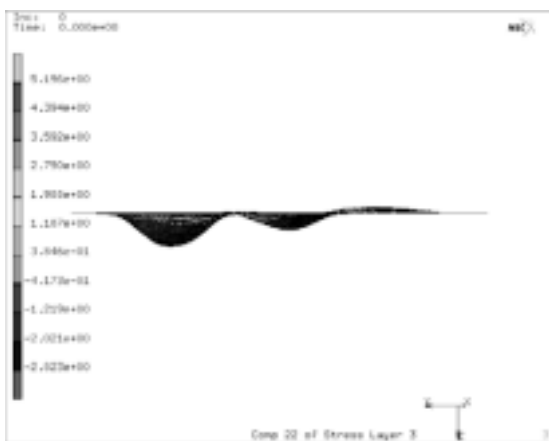


図-7 変形図

(1 m)の床版断面(幅1000mm×厚さ240mm)の断面定数 $W = 240^2 \times 1000/6 = 96 \times 105\text{mm}^3$ から床版に発生している橋軸直角方向の曲げモーメント ($Md0$) は以下のように算出される。

$$Md0 = (\sigma_{max}) \times (W) / 10^6 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

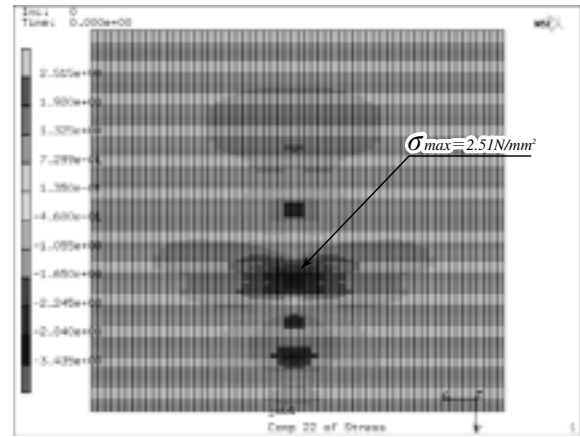
さらに、設計曲げモーメント (Md) には、道路橋上方書に準拠した衝撃係数 ($20 / (50 + 5.3) = 1.362$) と鋼構造設計指針と同様の割増し係数 ($1.0 + 0.20 \times (1 - (5.3 - 2.0) / 10) = 1.134$) を考慮して次式より算出する。

$$Md = Md0 \times 1.362 \times 1.134 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

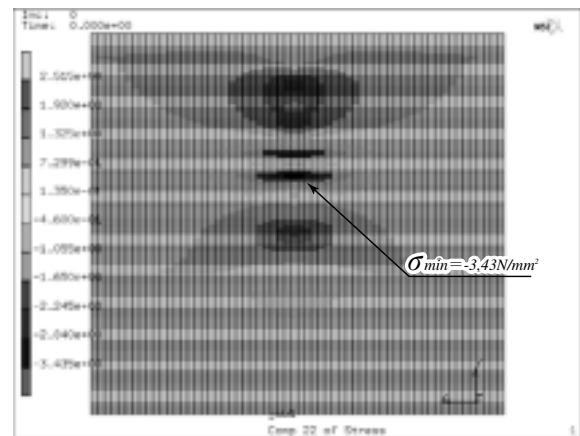
解析結果より算出された設計曲げモーメント**表-2**に示す。なお、同表に鋼構造設計指針PART Bより算出される設計曲げモーメントとの比較も示す。

表-2 床版の中間支点部設計曲げモーメント (床版単体モデル)

項目	単位	FEM解析		鋼構造設計指針 PART B
		中央分離帯考慮	中央分離帯考慮無し	
設計曲げモーメント	kN・m	79.8	90.1	59.9
比率	-	1.33	1.50	1.00



(1) 床版上面



(2) 床版下面

図-8 床版上・下面の橋軸直角方向力の分布 (全体モデル)

(2) 全体モデル

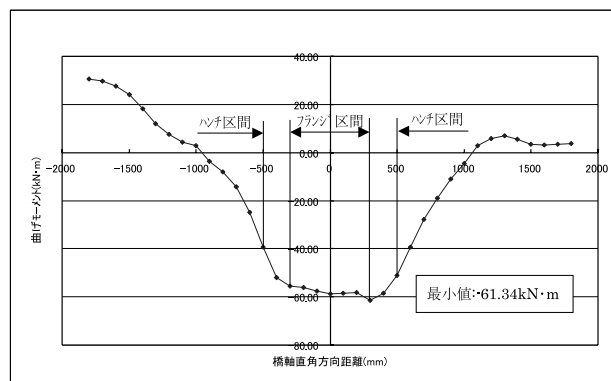
図-8に代表して、中央分離帯を考慮した荷重方法における床版上面・下面の橋軸直角方向の発生応力度のコンターを示す。この発生応力度より、床版単体モデルと同様に設計曲げモーメントを算出する。この際、床版支間が若干異なるため、衝撃係数は1.362、割増し係数は1.136となる。

また、図-9に橋軸直角方向の距離に対する設計曲げモーメントの変化を示す。この図から分かるように、主桁上で設計曲げモーメントの増加する割合が小さくなっている。これは、床版単体モデルの解析結果では見られない現象であり、桁の支持条件を詳細に考慮したことによる影響と考えられる。

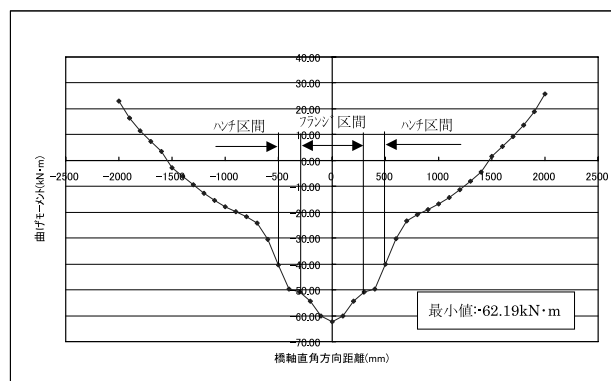
この解析結果より算出された設計曲げモーメント表-3に示す。なお、同表に鋼構造設計指針PART Bより算

表-3 床版の中間支点部設計曲げモーメント

項目	単位	FEM解析		鋼構造設計指針 PART B
		中央分離帯考慮	中央分離帯考慮無し	
設計曲げモーメント	kN・m	61.3	62.2	58.9
比率	-	1.04	1.06	1.00



(1) 中央分離帯考慮



(2) 中央分離帯を考慮しない

図-9 橋軸直角方向への設計曲げモーメント分布

出される設計曲げモーメントとの比較も示す。

ここで、中央分離帯を考慮しない場合には、T荷重が偏載されることによりハッチ部に応力が集中する傾向があるため、中央分離帯を考慮しない場合に比べ荷重荷重の合計は小さくなるが設計曲げモーメントはほぼ同等となっている。

6. 考察

今回の2種類の解析モデルによる解析結果より、床版の中間支点部の設計曲げモーメントについて以下の事項が考察される。

- ・床版単体モデルの解析結果による設計曲げモーメントは、桁の支持条件を詳細に考慮した全体モデルに比べ大きな値を示す。
- ・床版単体モデルでは、荷重方法に中央分離帯を考慮することにより、中央分離帯を考慮しない場合に比べ設計曲げモーメントが10%程度減少する。
- ・全体解析モデルでは、ハッチ部における応力集中の影響により、床版単体モデルのように、荷重方法に中央分離帯を考慮しても設計曲げモーメントは低下しない。
- ・鋼構造設計指針PART Bによる設計曲げモーメントに比べ、桁の支持条件を詳細に考慮した全体モデルの解析結果では6%、床版単体モデルの解析結果では50%上回る結果となった。

7. まとめ

以上の検討結果より、床版の設計曲げモーメントをFEM解析を用いて算出するには、以下の事項について留意する必要があると考えられる。

- ・床版単体のみをモデル化した場合には、解析に桁の支持条件が詳細に反映されないため、設計曲げモーメントを過大に評価する可能性があると考えられる。
- ・したがって、床版単体の解析モデルを用いて算出された設計曲げモーメントが過大となる場合には、桁の支持条件を詳細に反映した全体モデルを用いて設計曲げモーメントを算出することにより、合理的な設計が可能となる。
- ・中央分離帯を考慮して、実際に荷重可能な荷重状態にて設計曲げモーメントを算出することにより、設計曲げモーメントは小さくなる可能性がある。

・ただし、床版をソリッド要素にて詳細にモデル化した場合には、ハンチ部に若干の応力集中が発生するため、載荷状態の決定についてはハンチ部の応力についても着目することが望ましいと考えられる。

<参考文献>

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解析 II 鋼橋編，平成14年3月
- 2) 土木学会：鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物，平成9年版
- 3) 玉越隆史，川畑篤敬：鋼道路橋床版の設計と留意点，第三回床版シンポジウム講演論文集，2003.6.

2008.3.3 受付

グラビア写真説明

HM14工区（D）上部・橋脚工事

本工事は江東区有明二丁目に位置し、高速湾岸線と高速晴海線（築地方面へと延伸する新規路線）を接続する有明ジャンクション（仮称）のD連結路を架設する橋梁工事で、複数の工事が輻輳する工程管理の難しい工事となりました。

当該路線は、開発が進む有明地区を經由し、晴海通り～銀座へと続き将来は都市部を貫通する路線へと変貌していくものと思われます。是非その移り変わる風景とともに見守りください。（清水 達也）

イクスピアリペDESTリアンデッキ

本橋は、東京ディズニーランドの敷地と駐車場を結ぶ連絡橋として建設されました。連絡橋の上空にはカラフルな色彩のモノレールが通り、駐車場から連絡橋を渡ると正面にはディズニーランドの施設を望むことができます。

開いた花びらを連想させるような珍しい形状の橋脚は、粘土細工で作るのも困難と思われ、工場製作の際には非常に苦労しましたが、担当者の努力の甲斐があり無事に施工する事が出来ました。その姿はディズニーランドに隣接する歩道橋としてピッタリのものとなりました。

竣工後には施主のオリエンタルランド（株）および発注者の京成建設（株）より感謝の言葉を頂きました。

（久留宮 航）