

施工中に沈下した底版に対応する ボックスカルバート設計手法の立案

さとうかずき あまのまさと うへはらまさと いわたたかひろ
○佐藤和輝¹・天野雅人¹・上原将人¹・岩田高裕¹

¹中日本建設コンサルタント（株）（〒460-0002 名古屋市中区丸の内1丁目16番15号）

本稿は、道路ボックスカルバート（内空幅8.5m、高さ5.9m）の施工時における対応に関する報告であり、当該工事では、ボックスカルバート底版及び側壁下ハンチ部の構築後、躯体の沈下が生じたことを受け、ボックスカルバート内の車道建築限界確保のため、当初設計から内空高を増加させるボックスカルバート設計手法について報告するものである。

Key Words :ボックスカルバート, 沈下, 段落とし鉄筋, 定着長, 薄層増厚, 上げ越し

1. はじめに

(1) 経緯及び目的

道路相互の立体交差部に計画されたボックスカルバート（内空幅8.5m、高さ5.9m）の工事において、底版及び側壁下ハンチ部を構築後、施工済みの躯体が沈下した。これにより、当初設計の内空高 $H=5.9\text{m}$ で施工すると、道路の建築限界が不足することが判明した。

ここで、当該ボックスカルバートの施工状況を下図に示す（図1-1参照）。

本設計では、施工済みの底版を活用した上で、道路の建築限界確保のため、ボックスカルバート内空高を増加させることを主な目的とした。

なお、鉄筋については、当初設計の形状にて全量加工済みであり、加工済み鉄筋を活用する必要があった。

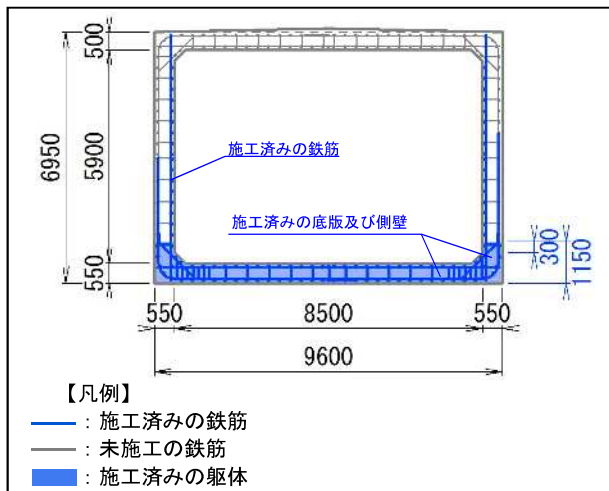
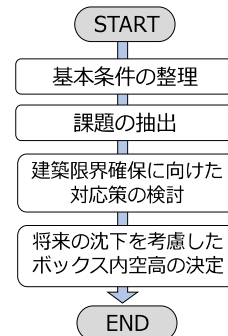


図1-1 ボックスカルバート施工状況

2. 実施方針

沈下したボックスカルバートの内空高の変更に向けた検討フローを以下に示す。



3. 基本条件の整理

当該ボックスカルバートの当初設計における諸元は以下の通りである。

- ・内空断面： $B=8.5\sim 9.29\text{m}$, $H=5.9\text{m}$
- ・延長： $L=57.7\text{m}$
- ・土被り：本線直下 最小0.5m以上
(本線直下の最小土被り0.51m)

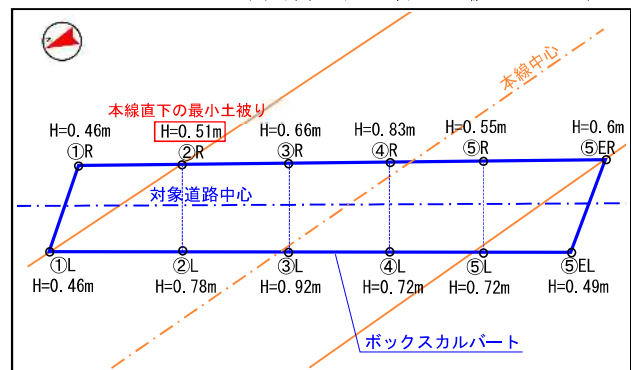


図3-1 土被り状況

ボックスカルバート使用材料の規格及び許容応力度を下表に示す。

表3-1 使用材料の規格，許容応力度

		規定値等
コンクリート	設計基準強度	30N/mm ²
	許容付着応力度	1.8 N/mm ²
	許容曲げ圧縮応力	10.0 N/mm ²
	許容せん断応力度	0.25 N/mm ²
鉄筋	種類	SD345
	許容引張応力度	180 N/mm ²
	定着長算出時における引張応力度の基本値	200N/mm ²
	主鉄筋かぶり	純かぶり80mm

4. 課題の抽出

(1) ボックスカルバート基礎部の地質状況

当該箇所の地質は、地表より軟弱層のローム層及び凝灰質粘性土層，その下層に砂質土層が堆積している状況であった。当初設計では、直近の施工済みボックスカルバートの基礎部の対応及び施工時の状況等を踏まえ、洪積層である砂質土層を支持層とした。また、支持力対策としては、表層部の軟弱層を削り取り、良質材に置き換える計画としていた。

当該ボックスカルバートの施工時においては、軟弱層の目視確認及び撤去が行われ、基礎盛土(C-40)が構築されていた。そのため、沈下原因としては、基礎地盤の砂質土層または基礎盛土(C-40)の沈下も考えられたが、最終的な沈下量とその原因は不明であった。

(2) 将来の沈下への対応(課題点①)

当該ボックスカルバートの最終沈下量が不明確であり、将来の沈下に対し、柔軟な対応が可能な計画とすることが課題であった。

なお、当該箇所の沈下量については、動態観測による計測が実施され、その推移は図4-1に示すとおりである。

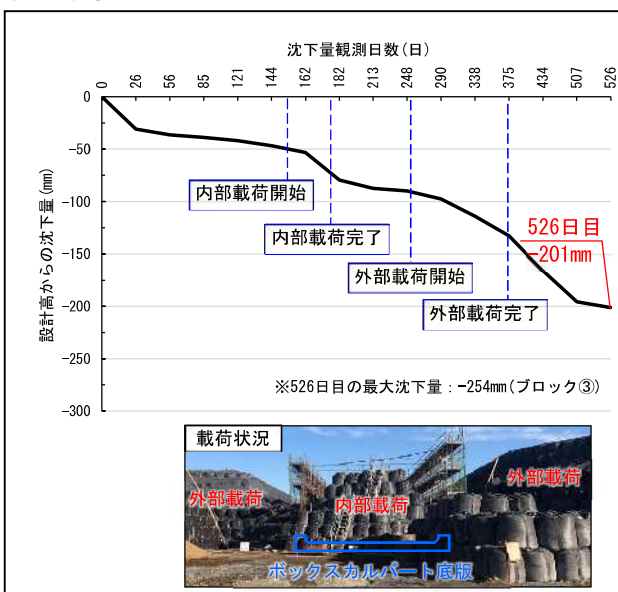


図4-1 沈下量の推移(全ブロック平均値)

(3) 施工済みの底版段落とし鉄筋

ボックスカルバートの配筋は、経済性の観点から、主鉄筋量の低減のため、段落としを行う仕様としている。また、段落とし部の鉄筋長は、鉄筋が計算上不要となる点(抵抗曲げモーメントと設計曲げモーメントの交点)から、有効高に定着長を加えた長さとしている(図4-2参照)。

ここで、使用するコンクリートの付着応力度は $\tau_{0a}=1.8\text{N/mm}^2$ であり、この付着応力度を用いた鉄筋の必要定着長は、「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」に示される式(1)より 27.8ϕ となる。これに対し、当初計画では、 27.8ϕ をラウンドアップした 30ϕ の定着長を確保していた。

$$l_a = \frac{\sigma_a}{4\tau_{0a}} \cdot \phi \quad (1)$$

ここに、 l_a : 付着応力度より算出する必要定着長(mm)
 σ_a : 鉄筋の引張応力度の基本値(N/mm²)
 τ_{0a} : コンクリートの付着応力度(N/mm²)
 ϕ : 鉄筋の直径(mm)

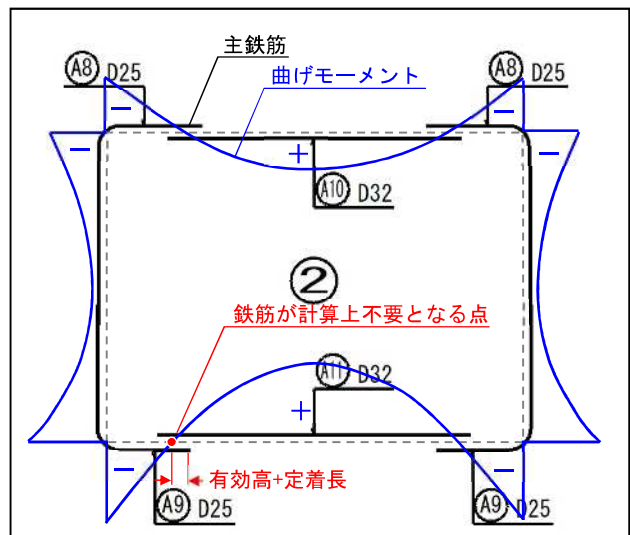


図4-2 段落とし部の鉄筋長の設定方法

(4) 施工済みの底版鉄筋の定着長不足(課題点②)

ボックスカルバート内空高を増加させた場合、鉄筋が計算上不要となる点が底版内側へ移動するため、底版外側鉄筋の定着長が不足することが判明した(図4-3参照)。

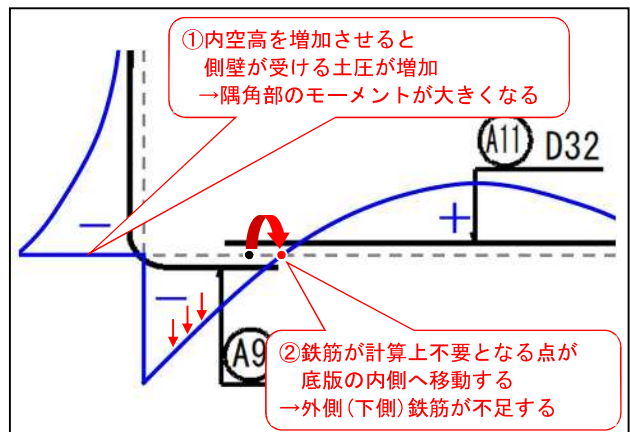


図4-3 曲げモーメント図

これに対し、施工済みの躯体（底版、側壁下ハンチ部）及び鉄筋を活用するとともに、未施工部の加工済み鉄筋を使用し、内空高を増加させることが課題であった。

なお、内空高増加時における施工済み部材に作用する引張応力は、許容値を満足し、鉄筋径等を変更する必要はなかった。

5. 課題解決に向けた対応

(1) 将来的な沈下量の把握

設計にあたって、最終沈下量を予測するため、ボックスカルバート直近における地質調査を提案した（ボーリング調査及び圧密試験）。調査の結果、当該箇所にて堆積していた砂質土層は、シルトが混じっており、圧密沈下することが判明した。また、圧密試験の結果より、最終沈下量は約0.3mと予測された。

(2) 将来的な沈下を考慮した上げ越し（対応①）

上記の結果より、予測沈下量は0.3mであるものの、将来において予想外の沈下が発生する可能性を考慮し、上げ越しを行うことを提案した。そして、上げ越し量については、土被り及び舗装厚、舗装の維持管理等を鑑みて0.2mと設定した。

なお、道路管理者との協議の上、ボックス頂版が下層路盤に一部食い込むことを許容した。その結果、内空高の増加量としては、最終沈下量0.3mに上げ越し量0.2mを加えた0.5mとし、本設計における目標内空高を $H=6.4\text{m}$ とした。

(3) 底版鉄筋の定着長不足解消に向けた着目点

当初設計の定着長は、 30ϕ を確保しており、必要定着長の計算値 27.8ϕ に対して 2.2ϕ の余裕を有する状況である（図5-1参照）。

この余裕について、理由は定かでないが、施工時のコンクリート強度のバラツキ等を考慮して設定されたものと考えられる。

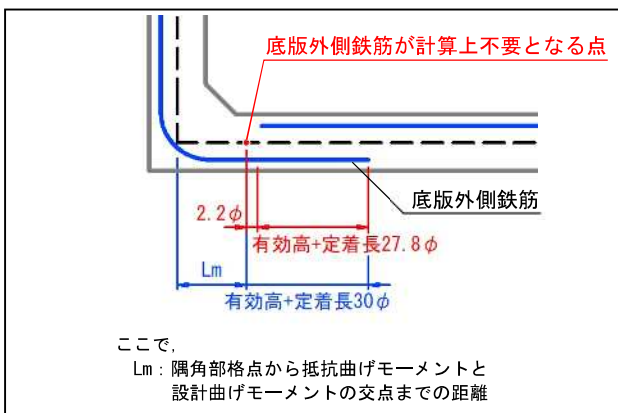


図5-1 当初設計における鉄筋の定着長

上記の点に着目し、定着長の余裕を活用することで、目標内空高を確保するための対応案を検討した。

(4) 定着長の余裕を活用した内空高の変更（対応②）

定着長の余裕 2.2ϕ を活用するにあたり、施工済みコンクリートの現場発現強度を確認した。施工時のコンクリート管理図を確認した結果、設計基準強度 30N/mm^2 に対し、28日強度は 36.3N/mm^2 以上（平均 38.4N/mm^2 ）であった。

また、シュミットハンマー試験により強度確認した結果、現場発現強度は 35N/mm^2 以上であった。

以上のことから、設計基準強度が確保されており、施工済みの底版鉄筋の定着長は、必要定着長の 27.8ϕ 以上確保すれば問題ないと判断した。本設計における各鉄筋の定着長を以下に示す。

- ・施工済みの底版： 27.8ϕ 以上
- ・未施工の頂版及び側壁： 30ϕ 以上

はじめに、定着長の 2.2ϕ の余裕を使用し、当初の鉄筋及び部材厚における内空高の限界値を確認した。その結果、内空高 $H=6.13\text{m}$ ($5.9+0.23\text{m}$)であり、目標内空高を確保できなかった。これに対し、内空高をさらに増加させた場合に定着長を確保するため、下記の2案について検討した。

a) 第1案：土圧軽減案（ガラス発砲混合軽量盛土）

当案では、裏込め土の単位体積重量を小さくし、ボックスカルバート側方の土圧を軽減することで、側壁下部の曲げモーメントを小さくする。これにより、鉄筋が計算上不要となる位置を調整する。

しかし、単位体積重量の変化に対して、曲げモーメントの変化量が大きく、鉄筋が計算上不要となる点を当初位置に近づけるためには、単位体積重量を細かく調整する必要があった。施工時において、裏込め土の単位体積重量を厳密に調整することは難しく、施工誤差により定着長が不足する可能性があるため、不採用とした。

b) 第2案：薄層増厚案

当案では、施工済みの底版内面及び側壁外面を増厚し、内空断面の縦横比を変化させることで、鉄筋が計算上不要となる点の位置を変化させ、当初位置に近づくように調整する（図5-2参照）。

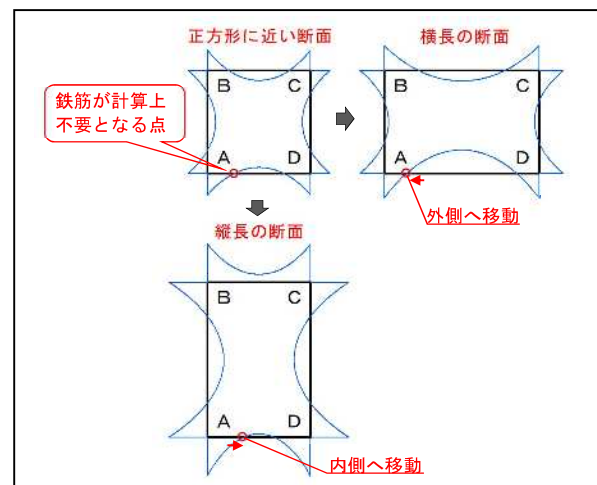


図5-2 縦横比と曲げモーメントの関係

上記の2案について検討した結果、第1案に比べ施

工性及び経済性に優れ、かつ、撤去・再構築案より安価な第2案を採用した(表5-1参照)。当初設計から変更した内空高を下图に示す。

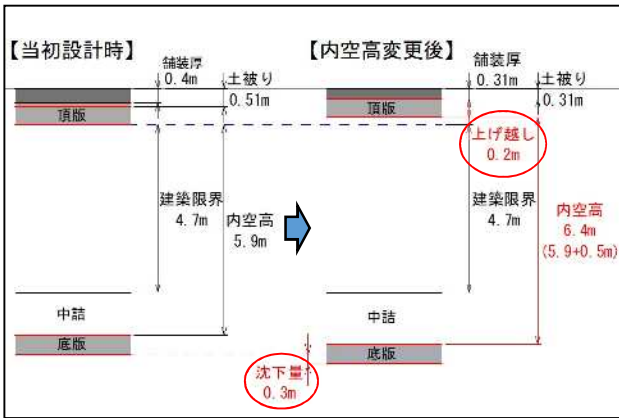


図5-3 内空高の変更

した。また、下地処理の上、打込み式コンクリートアンカーにてFRPグリッドを躯体に取付け(5本/m²)、施工済みの躯体との一体化を図った。FRPグリッド取付け後、高強度ポリマーセメントモルタルを吹付け、部材を増厚する(FRP格子筋補強工法)。

表6-1 各ブロックの施工済み箇所を増厚量

	側壁(t1)	底版(t2)
ブロック①	40mm	40mm
ブロック②	30mm	30mm
ブロック③	30mm	30mm
ブロック④	30mm	30mm
ブロック⑤	30mm	30mm

6. 薄層増厚工法の検討

内空高H=6.4mの必要増厚量は、右表のとおりである(表6-1)。橋梁等において、不足耐力を補うために実施される一般的な増厚工法では、最小厚が50mm程度以上であり、当該箇所には適用できない。そのため、当該箇所でも適用可能な薄層増厚の工法について検討した。

薄層増厚の場合、荷重作用や乾燥収縮等に起因し、コンクリートのひび割れ発生が懸念される。そこで、ひび割れ防止のため、高強度及び高弾性を有するFRPグリッド(高強度炭素繊維)を使用することと

7. まとめ

本設計では、鉄筋定着長の余裕を活用することで、施工済み躯体を用いて内空高を増加させる計画を立案した。

対応策は、施工済みの底版及び側壁を薄層増厚することとし、撤去・再構築した場合に比べ、安価な対策工とした。

また、将来における予想外の沈下に備え、上げ越し0.2mで対応することとし、柔軟な対応を可能とした。

表5-1 構造形式一覧表

	第1案 : 土圧軽減案 【ガラス発砲軽量混合土】	第2案 : 増厚案 【FRP格子筋補強工法】	参考案 : 撤去+再構築案												
断面図															
概要	<ul style="list-style-type: none"> 施工済み底版鉄筋の定着長を満足させるために、側壁土圧を軽減させる案。 土圧を軽減させるため、軽量盛土(ガラス発砲軽量混合土)にて埋戻しを行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工済み底版鉄筋の定着長を満足させるために、部材厚を増厚する案。 施工済みコンクリートとの一体化を図るため、下地処理を行い、ポリマーセメントモルタルで増し厚を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工済みの底版部分を取壊し、新たに構築し直す案。 												
構造的性	<ul style="list-style-type: none"> ガラス発砲軽量材の圧縮強度は130kN/m²程度あり、載荷荷重(112kN/m²)よりも大きく、構造的性に問題はない。 	<ul style="list-style-type: none"> 既設コンクリートとの一体化する構造であり、構造的性に問題はない。 また、特殊ポリマーセメントの圧縮強度はσ_{ck}=30N/mm²以上であり、既設コンクリートと同等の強度を持つ。 	<ul style="list-style-type: none"> 構築済み部分を取壊し、新規に構築する構造であり、構造的な問題はない。 												
施工性	<ul style="list-style-type: none"> 発砲ガラス混合のための施工ヤードが必要であるがヤードは確保可能であり、施工性に問題はない。 	<ul style="list-style-type: none"> プレロード盛土壁(側壁)およびボックス内(底版)における増厚箇所の既設コンクリート表面へのチッピング等が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> プレロード盛土壁の施工済みの鉄筋コンクリートの取壊しが必要である。 												
維持管理性	<ul style="list-style-type: none"> 今回のようなボックス埋戻し時の施工実績の有無は不明であるが、構築等の補強工事として施工実績のある工法であり、維持管理性に問題はない。 	<ul style="list-style-type: none"> 薄層増厚によるひび割れを抑制する工法であり、維持管理性に問題となることはない。 	<ul style="list-style-type: none"> 新規にコンクリート構造物を構築する構造であり、維持管理性に問題はない。 												
概算直接工事費	1.0式当り														
	工種	単位	数量	単価(円)	金額(円)	工種	単位	数量	単価(円)	金額(円)	工種	単位	数量	単価(円)	金額(円)
	ガラス発砲軽量混合土	m ³	1384.0	20,000	27,680,000	コンクリート取壊し	t	193.4	16,490	3,189,000	コンクリート取壊し	t	193.4	16,490	3,189,000
	プラント運搬費	式	1.0	2,000,000	2,000,000	FRPグリッド	m ²	131.0	6,300	826,300	コンクリート処分	t	193.4	3,000	580,000
	プラント設置・撤去費	式	1.0	1,500,000	1,500,000	+ポリマーセメントモルタル	m ²	131.0	50,900	6,667,900	コンクリート設置	t	193.4	7,000	1,354,000
試験費等	式	1.0	350,000	350,000	コンクリート設置	t	3.0	3,000	9,000	コンクリート打設	m ³	77.4	21,610	1,688,000	
					コンクリート設置	t	3.0	7,000	21,000	コンクリート型枠	m ²	60.1	8,880	534,000	
直接工事費				31,530,000	直接工事費				7,523,200	直接工事費				11,950,000	

採用案