

令和4年度 構造物(基礎)実務研修

函渠設計一般論

令和4年12月14日(水)
14:40~15:40



1.カルバートの種類

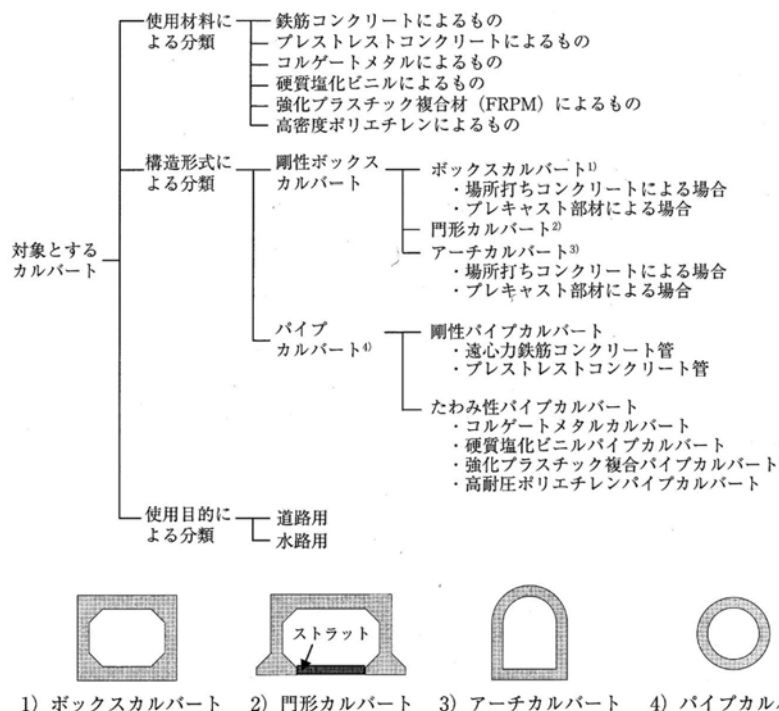


- 従来型カルバートの種類は、その構造形式から剛性ボックスカルバート、剛性パイプカルバート及びたわみ性パイプカルバートに大別される。
- 剛性ボックスカルバートは、矩形(ボックス型)ないし頂部が半円形の内空断面を有する比較的剛性の高い構造のカルバートである。
- パイプカルバートは一般に円形の内空断面を有するもので、鉛直土圧によるたわみ量により剛性、たわみ性に分類される。





1.従来型カルバートの種類



2.カルバートの計画



(1)内空断面の設定

①道路用カルバート

(i) 所要の建築限界以上の空間を確保

舗装及び排水等を施工した後に、その道路の所要の建築限界を満足する空間を確保することが必要である。

- ・将来の拡幅や、オーバーレイ考慮
- ・照明、通信等の添架物や、上下水道の埋設スペースを考慮
- ・残留沈下が予想される場合の余裕高を考慮





2.カルバートの計画

(1)内空断面の設定

①道路用カルバート

(ii)視距の確保

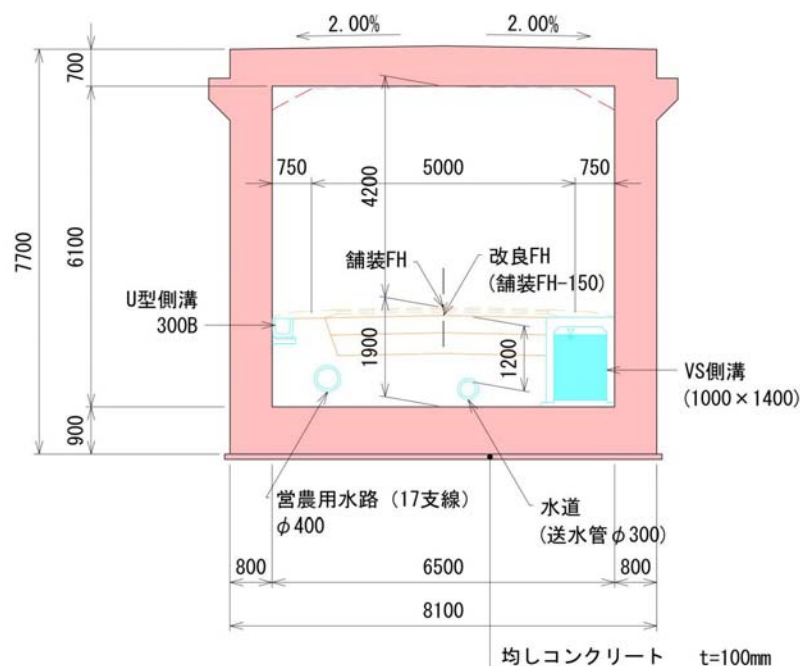
交差点、踏切等が近接する場合は「道路構造令」に準じて必要な視距を確保するために、内空幅の拡幅を必要に応じて行なう。

(iii)路面排水への配慮

都市部におけるアンダーパス等では、地下水位以深に構築され強制排水を必要とすることから、その影響を考慮することが必要である。(ポンプ設備等)



2.カルバートの計画



ー道路カルバート 内空断面の設定例ー





2.カルバートの計画

(1)内空断面の設定

②水路用カルバート

(i)計画流量を安全に通水し得る断面の確保

各種水路の管理基準を満足できる通水幅、水深を確保した内空断面を確保する。



2.カルバートの計画

(1)内空断面の設定

②水路用カルバート

(ii)余裕高を確保

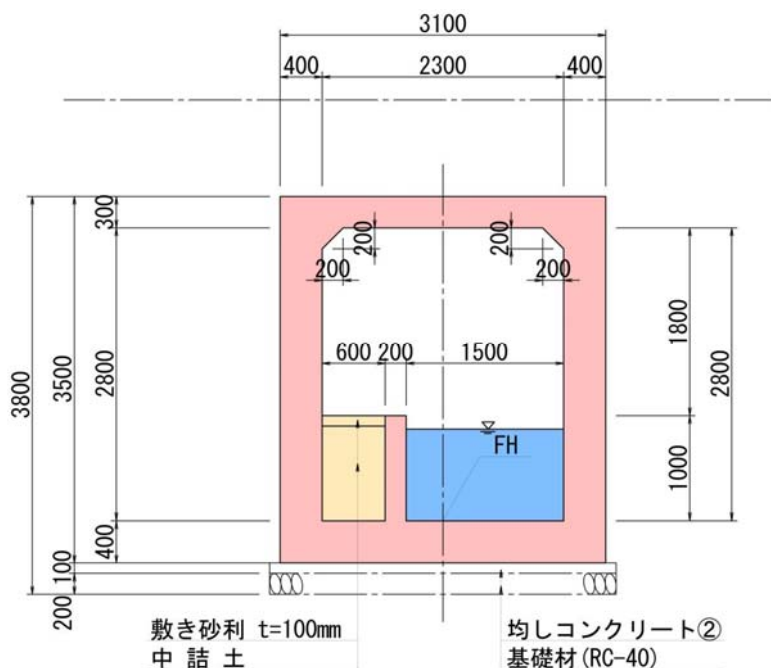
水路管理者の定めた余裕高を確保できる内空断面を確保する。

- ・清掃、点検等の維持管理が必要で、人が入ることが必要な場合は、1.8m以上の内空高を確保することが望ましい。
- ・延長が短く維持管理に人が入る必要がない場合であっても、土砂堆積等による断面減少分を考慮して余裕高0.6m以上の内空高を確保することが望ましい。(管渠)





2.カルバートの計画



ー水路カルバート 内空断面の設定例ー



2.カルバートの計画



(1)内空断面の設定

③軟弱地盤上のカルバート

プレロードによりあらかじめ地盤沈下させ、圧密を図った場合でも、供用開始後も含めた長期に渡り沈下が発生することが少なくない。

このため、機能的に支障が生じてはならないようなカルバートでは、沈下が生じてでも対処できるような内空断面を確保したり、上げ越し施工をするのが望ましい。

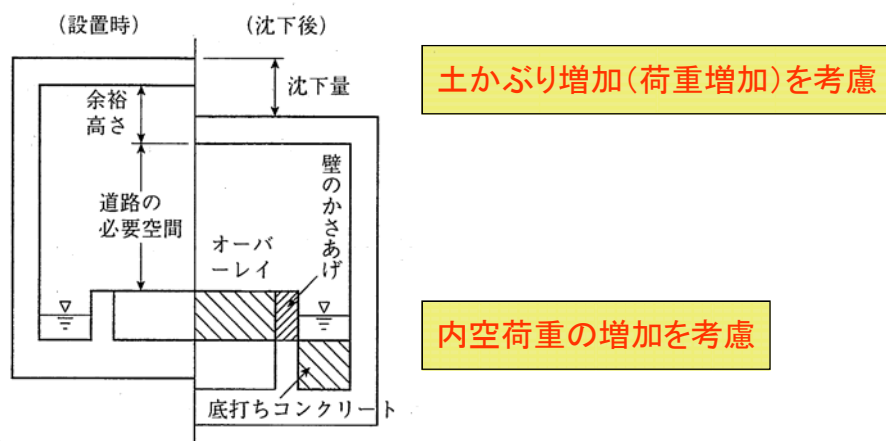




2.カルバートの計画

(1)内空断面の設定

③軟弱地盤上のカルバート



内空断面の余裕確保による沈下対策例



2.カルバートの計画



(2)土かぶりの設定

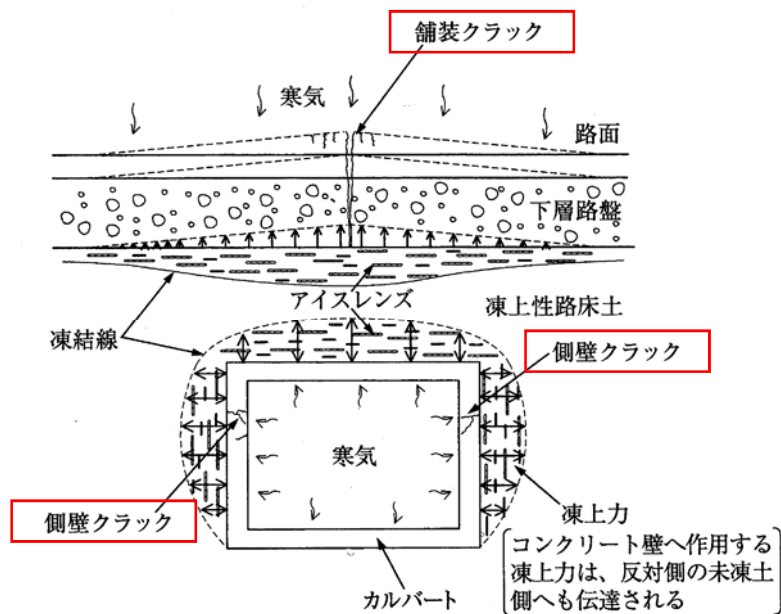
- 土かぶりは、裏込め土の沈下等によるカルバートへの影響や舗装面の不陸を防止するため**50cm以上**を確保することが望ましい。
- 寒冷地において土かぶりが薄いと、凍上による舗装へのクラックや、部材応力への影響が懸念されることから適切な凍上対策が必要である。(非凍上性材料の設置)





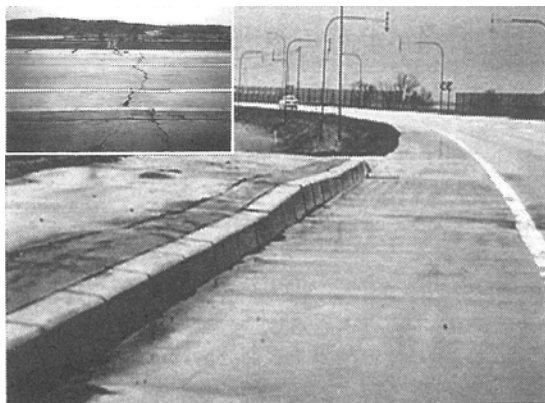
2.カルバートの計画

【カルバートの凍上被害概念図】

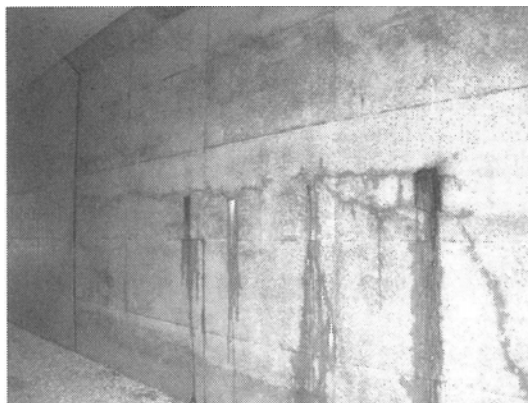


2.カルバートの計画

【カルバートの凍上被害例】



ボックスカルバート上の路面の被災例



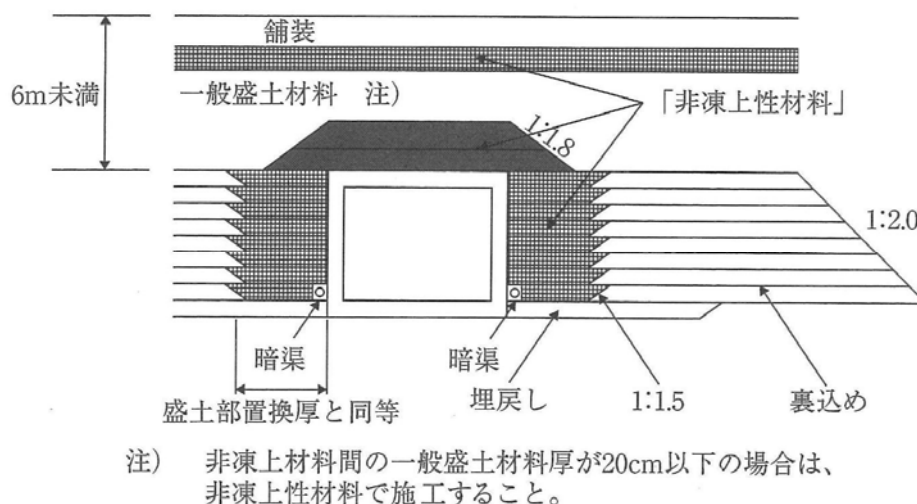
ボックスカルバート側壁に発生した凍上力によるクラック





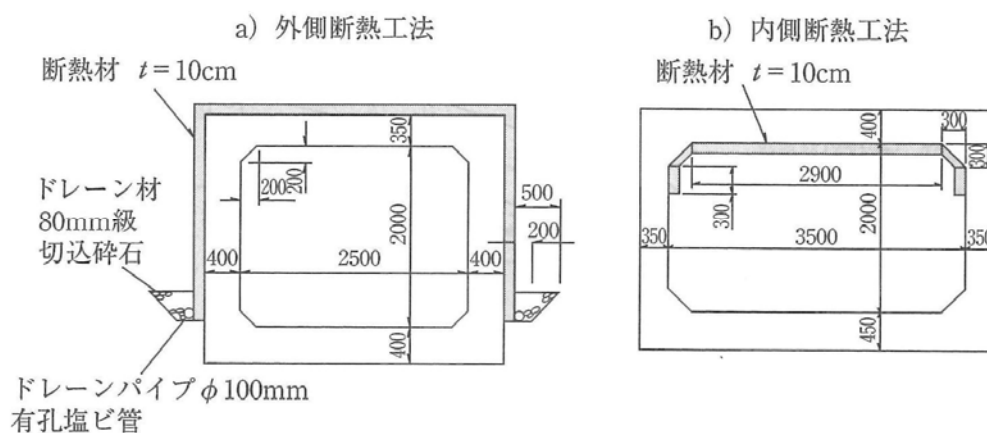
2.カルバートの計画

【置換工法によるカルバートの凍上対策例】



2.カルバートの計画

【断熱工法によるカルバートの凍上対策例】



- ・置換厚が厚くなるような場合には、板状断熱材の採用が有利となる場合もある。
- ・供用前であれば外断熱、置換工法による改修が困難な供用中の場合は内断熱を採用する。内断熱の設置範囲は、側壁への凍上力対策が必要であれば側壁全面に設置する必要がある。





2.カルバートの計画

(3) 平面形状及び縦断勾配

① 平面形状

平面形状は上部道路との平面交差角が大きく(直角に近く)なるように形状及び交差位置を選定する。

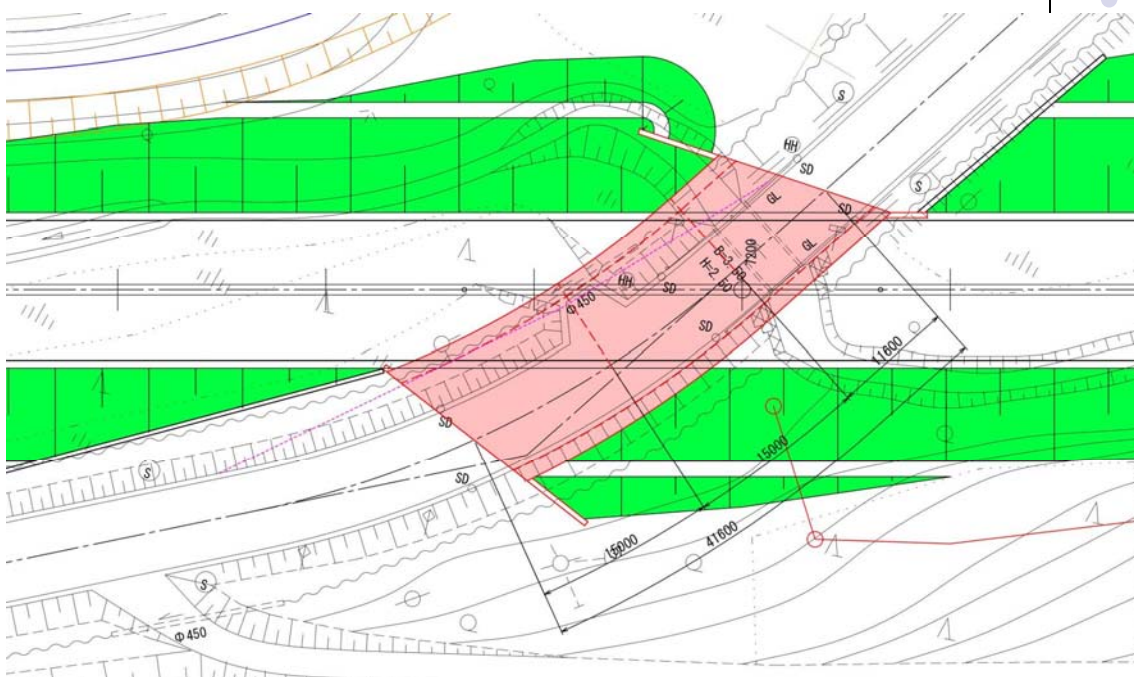
カルバートが上部道路に斜交すると、長さが増大して不経済となるばかりでなく、この部分が盛土構造の弱点になりやすいので、可能な限り上部道路に直角方向とするのが望ましい。

(i) 道路カルバート

道路構造令に準じて必要な視距が確保される平面形状を採用する。



2.カルバートの計画



—道路カルバート 平面形状の設定例(不採用事例)—





2.カルバートの計画

(3) 平面形状及び縦断勾配

(ii) 水路カルバート

水路の流速が大きい場合は、水路の方向の急変を避けねばならない。

水路用カルバートの勾配、底面の高さ及び幅は土砂の堆積や浸食を防止するため、なるべく**既設水路と一致させるのが原則**である

沢部を埋めた盛土を横断する水路カルバートは、既設の水路であった旧沢筋に沿って地下排水工を設置させる必要がある。



2.カルバートの計画

(3) 平面形状及び縦断勾配

②縦断勾配

(i) 道路カルバート

道路構造令に定める勾配以下でかつ排水勾配を有すること。





2.カルバートの計画

(3) 平面形状及び縦断勾配

②縦断勾配

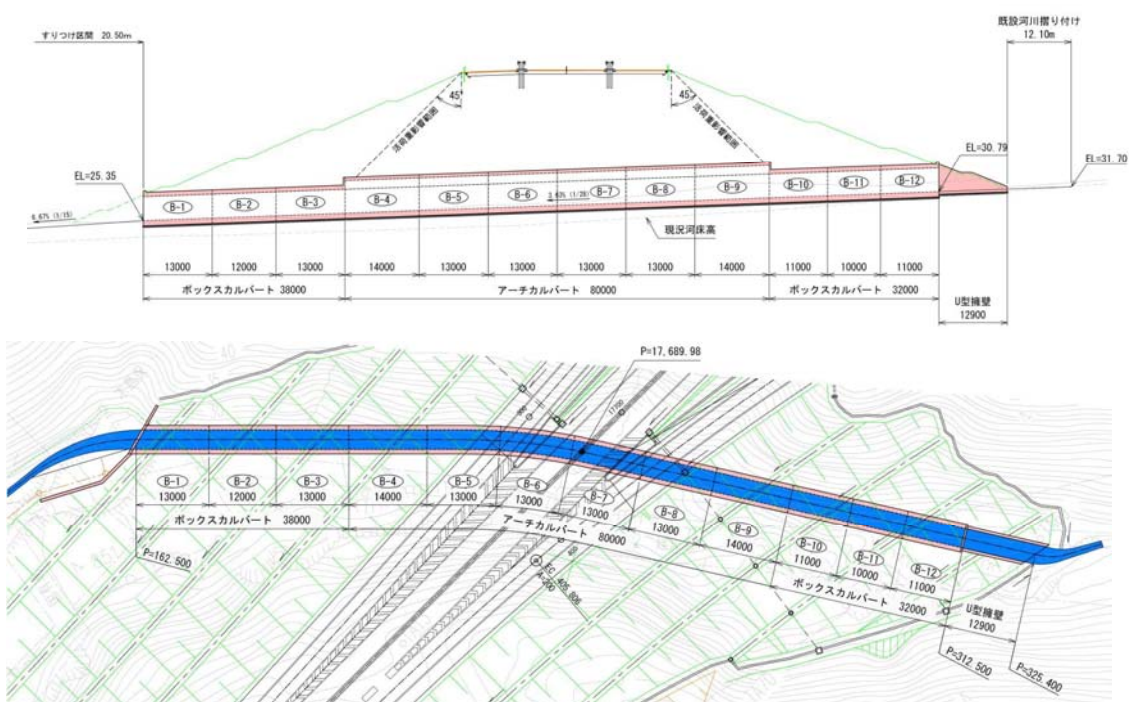
(ii)水路カルバート

カルバートの吞吐口は、なるべく水路底高と同一の高さとし、かつ勾配は入口、出口の勾配に近づけて勾配の急変を避ける。

溪流のような極めて急傾斜にカルバートを設置する場合でも、落差工を設置する等して**勾配を10%程度以内**にするのが望ましい。



2.カルバートの計画



一河川カルバート 計画例一





2.カルバートの計画

(4) 施工計画

カルバートの構造形式、基礎地盤対策の選定に際しては以下の施工条件についても考慮することが必要である。

- ① 既設構造物及び埋設物による制約条件
- ② 水路、道路の切り回し条件
- ③ 施工中の仮排水の条件、方法
- ④ カルバートの施工時期、工程、使用機材
- ⑤ 作業空間、作業足場
- ⑥ 資材の搬入、搬出
- ⑦ 騒音、振動等周辺環境への影響



2.カルバートの計画

(4) 構造形式の選定(剛性ボックスカルバート)

① 場所打ちボックスカルバート

【長所】 任意の断面形状が施工でき、設計荷重や縦断勾配等の現地条件に応じた設計・施工が可能である。なお、内型枠の脱型の施工性から内空断面の大きさは1m程度以上が望ましい。

【短所】 大きさによっては数ヶ月の施工期間が必要である。冬季施工時には防寒仮囲いが必要である。





2.カルバートの計画

(4) 構造形式の選定(剛性ボックスカルバート)

②プレキャストボックスカルバート

【長所】 現場施工期間の短縮が可能であるとともに、工場製品であるため品質が安定している。

【短所】 大断面の場合は標準型枠での製作が困難となり経済性に劣る。

不等沈下が予想される場合は連結部の段ズレ、目地開き対策が必要である。

ウイング設置方法が煩雑で施工性に劣る。



2.カルバートの計画

(4) 構造形式の選定(剛性ボックスカルバート)

③門型カルバート

【長所】 底版設置が困難な施工条件に対して有利である。

【短所】 他のカルバート形式に対して地盤反力が大きくなり、閉合断面でないため全体に剛性が低く変形しやすいので、基礎地盤が良好であることが必要である。

内空規模に関係なく地震時の影響を考慮することが必要である。





2.カルバートの計画

(4) 構造形式の選定(剛性ボックスカルバート)

④アーチカルバート

【長所】 頂版のアーチ形状効果により、大きな上載荷重に対してボックスカルバートよりも経済性において有利となる傾向がある。

【短所】 アーチ部の剛性が小さくなるため、偏土圧を作用させないことが設計条件となる。

アーチ部の型枠及び鉄筋コンクリート施工が難しいため十分な検討が必要である。(鋼製セントルの採用等)



3.カルバート設計・施工の留意点



●『道路土工—カルバート工指針』

改訂：平成22年3月

『道路土工—カルバート工指針(平成21年度版)』

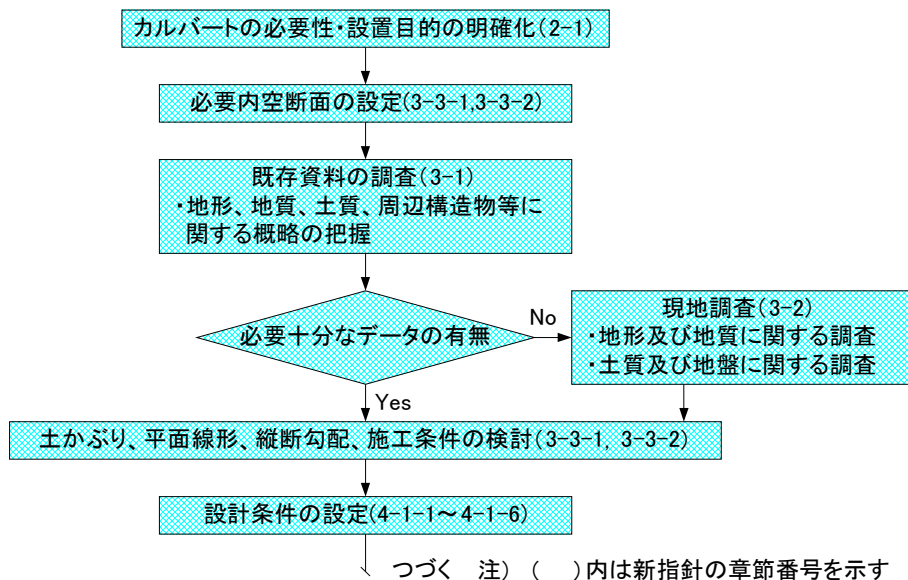
カルバートの設計は、カルバートの一般的特性及びカルバートに生じる変状・破損などを十分に踏まえたうえで、次項のフローにより計画・調査・設計・施工・維持管理を適切に行うものとする。





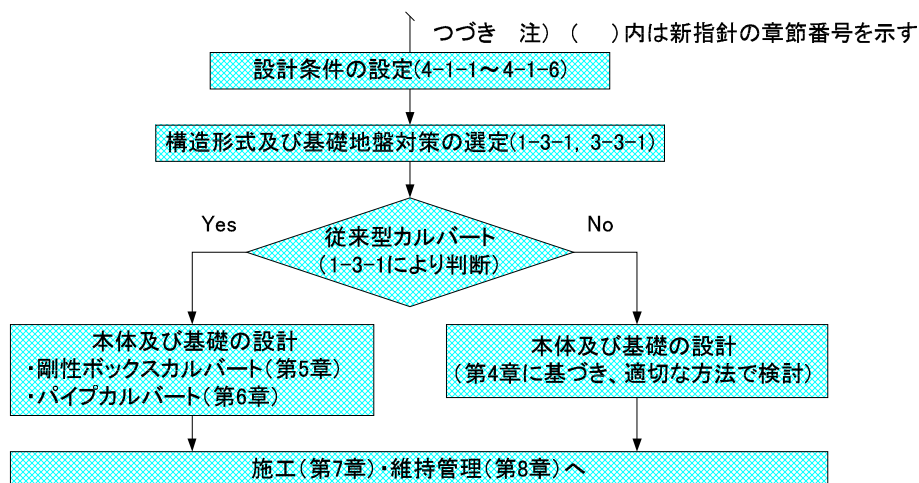
3.カルバート設計・施工の留意点

●カルバート工に関する計画・調査・設計の流れ



3.カルバート設計・施工の留意点

●カルバート工に関する計画・調査・設計の流れ



3.カルバート設計・施工の留意点



ボックスカルバート設計の留意点

項 目	細 目	摘 要
幾何構造の妥当性	内空断面決定根拠は明確か？	建築限界、地下埋設物 構造バランス
	延長決定根拠は明確か？	
	スパン割りは適切か？	荷重区分
	設計土かぶりに問題はないか？	最小、最大土かぶり
構造形式の妥当性	プレキャスト製品の採用根拠は明確か？	工期短縮の優位性
基礎形式の妥当性	道路盛土の破壊、沈下対策は適切か？	
	函渠の沈下を許容できるか？	建築限界、水路勾配の確保
	基礎形式の選定は適切か？	プレロード、改良地盤
	許容支持力の算出は適切か？	支持力公式
	不等沈下の問題は発生しないか？	
	液状化対策に問題はないか？	設計震度の確認
	安定処理の実施に問題はないか？	室内配合試験の実施
	周辺環境への影響はないか？	地下水位への影響



3.カルバート設計・施工の留意点



ボックスカルバート設計の留意点

項 目	細 目	摘 要
構造計算	斜角部の計算は実施しているか？	鉄筋かぶりに注意
	踏掛板設置時の荷重ケースは適切か？	
	輪荷重による側圧は適切か？	
	道路縦断方向に設置される場合	
構造細目	鉄筋かぶりは適切か？	土工指針改訂後に下部工に準拠
	斜角部の配筋は適切か？	構造計算に影響
	伸縮継ぎ手構造は適切か？	
	ひび割れ誘発目地は適切か？	
	踏掛板は適切か？	橋梁と原則違う





3.カルバート設計・施工の留意点

3-1 幾何構造決定のポイント

幾何構造として、内空断面、延長、勾配があげられる。中でも内空断面については構造形状を決定する重要な要素となるため、決定根拠を明確にする必要がある。

(1) 内空断面決定根拠

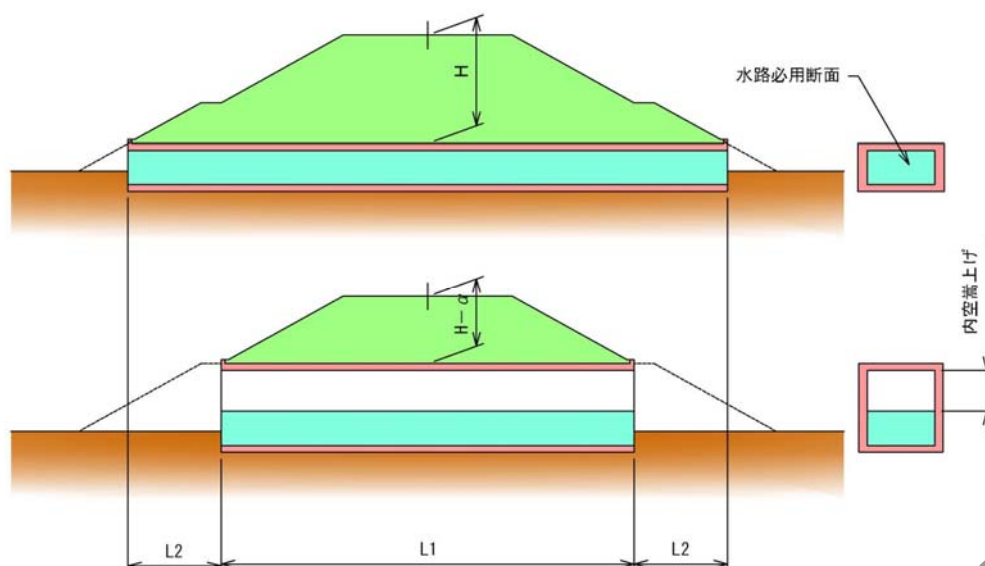
一般に函渠工は道路を横断する、水路、道路の機能補償として設置される。このため内空断面を決定するためには以下の項目について整理する必要がある。

- ① 建築限界(内空高・内空幅)
- ② 水路断面(内空高・内空幅)
- ③ 地下埋設物(底版上面位置)
- ④ 架空電線(頂版下面位置)
- ⑤ 構造バランス



3.カルバート設計・施工の留意点

事例) 構造バランスの改善によりコスト縮減が図られる場合。偏平な水路函渠工の内空高を上げることで、部材厚、延長の短縮、地盤反力の低減が図られコスト縮減が図られる可能性がある。(最小断面≠最適断面)



3.カルバート設計・施工の留意点



事例) 道路ボックスカルバートで内空断面を嵩上げ、上載荷重低減により部材厚縮小(頂・底版-100mm)によるコスト削減を図る。(最小断面≠最適断面)

構造概要図		部材応力計算結果	経済性・評価																																																																	
(B×H=8.5×5.2m) 最小内空断面案		斜角方向部材応力一覧表 <table><tr><th>照査位置</th><th>σ_c (N/mm²)</th><th>σ_s (N/mm²)</th><th>τ (N/mm²)</th><th>使用鉄筋</th></tr><tr><td>頂版</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>左隅角部</td><td>4.56 ≤ 8.00</td><td>127.34 ≤ 160.00</td><td>0.415 ≤ 0.780</td><td>D25#125</td></tr><tr><td>支間部</td><td>4.68 ≤ 8.00</td><td>131.62 ≤ 160.00</td><td>0.332 ≤ 0.390</td><td>D25#125</td></tr><tr><td>右隅角部</td><td>4.66 ≤ 8.00</td><td>130.36 ≤ 160.00</td><td>0.383 ≤ 0.780</td><td>D25#125</td></tr><tr><td>側壁</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>上隅角部</td><td>3.84 ≤ 8.00</td><td>78.02 ≤ 160.00</td><td>0.072 ≤ 0.780</td><td>D25#125</td></tr><tr><td>支間部</td><td>0.00 ≤ 8.00</td><td>0.00 ≤ 160.00</td><td>0.137 ≤ 0.390</td><td>D16#250</td></tr><tr><td>下隅角部</td><td>5.92 ≤ 6.00</td><td>113.09 ≤ 160.00</td><td>0.257 ≤ 0.780</td><td>D29#125</td></tr><tr><td>底版</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>左隅角部</td><td>4.54 ≤ 6.00</td><td>116.96 ≤ 160.00</td><td>0.559 ≤ 0.780</td><td>D29#125</td></tr><tr><td>支間部</td><td>5.40 ≤ 8.00</td><td>143.77 ≤ 160.00</td><td>0.356 ≤ 0.390</td><td>D29#125</td></tr><tr><td>右隅角部</td><td>4.68 ≤ 6.00</td><td>119.39 ≤ 160.00</td><td>0.533 ≤ 0.780</td><td>D29#125</td></tr></table>	照査位置	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	使用鉄筋	頂版					左隅角部	4.56 ≤ 8.00	127.34 ≤ 160.00	0.415 ≤ 0.780	D25#125	支間部	4.68 ≤ 8.00	131.62 ≤ 160.00	0.332 ≤ 0.390	D25#125	右隅角部	4.66 ≤ 8.00	130.36 ≤ 160.00	0.383 ≤ 0.780	D25#125	側壁					上隅角部	3.84 ≤ 8.00	78.02 ≤ 160.00	0.072 ≤ 0.780	D25#125	支間部	0.00 ≤ 8.00	0.00 ≤ 160.00	0.137 ≤ 0.390	D16#250	下隅角部	5.92 ≤ 6.00	113.09 ≤ 160.00	0.257 ≤ 0.780	D29#125	底版					左隅角部	4.54 ≤ 6.00	116.96 ≤ 160.00	0.559 ≤ 0.780	D29#125	支間部	5.40 ≤ 8.00	143.77 ≤ 160.00	0.356 ≤ 0.390	D29#125	右隅角部	4.68 ≤ 6.00	119.39 ≤ 160.00	0.533 ≤ 0.780	D29#125	コンクリート体積 V=29.09m ³ /m (1.000) 嵩上断面に対して材料嵩む 盛土厚増加=閉塞感増加 躯体延長延伸される方向
	照査位置	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	使用鉄筋																																																															
頂版																																																																				
左隅角部	4.56 ≤ 8.00	127.34 ≤ 160.00	0.415 ≤ 0.780	D25#125																																																																
支間部	4.68 ≤ 8.00	131.62 ≤ 160.00	0.332 ≤ 0.390	D25#125																																																																
右隅角部	4.66 ≤ 8.00	130.36 ≤ 160.00	0.383 ≤ 0.780	D25#125																																																																
側壁																																																																				
上隅角部	3.84 ≤ 8.00	78.02 ≤ 160.00	0.072 ≤ 0.780	D25#125																																																																
支間部	0.00 ≤ 8.00	0.00 ≤ 160.00	0.137 ≤ 0.390	D16#250																																																																
下隅角部	5.92 ≤ 6.00	113.09 ≤ 160.00	0.257 ≤ 0.780	D29#125																																																																
底版																																																																				
左隅角部	4.54 ≤ 6.00	116.96 ≤ 160.00	0.559 ≤ 0.780	D29#125																																																																
支間部	5.40 ≤ 8.00	143.77 ≤ 160.00	0.356 ≤ 0.390	D29#125																																																																
右隅角部	4.68 ≤ 6.00	119.39 ≤ 160.00	0.533 ≤ 0.780	D29#125																																																																
		頂版・底版厚はセン断応力度により決定する。	評 価 																																																																	
(B×H=8.5×5.7m) 内空嵩上断面案		斜角方向部材応力一覧表 <table><tr><th>照査位置</th><th>σ_c (N/mm²)</th><th>σ_s (N/mm²)</th><th>τ (N/mm²)</th><th>使用鉄筋</th></tr><tr><td>頂版</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>左隅角部</td><td>5.30 ≤ 8.00</td><td>136.00 ≤ 160.00</td><td>0.394 ≤ 0.780</td><td>D25#125</td></tr><tr><td>支間部</td><td>4.95 ≤ 8.00</td><td>126.90 ≤ 160.00</td><td>0.337 ≤ 0.390</td><td>D25#125</td></tr><tr><td>右隅角部</td><td>5.44 ≤ 8.00</td><td>139.89 ≤ 160.00</td><td>0.369 ≤ 0.780</td><td>D25#125</td></tr><tr><td>側壁</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>上隅角部</td><td>4.59 ≤ 8.00</td><td>122.35 ≤ 160.00</td><td>0.073 ≤ 0.780</td><td>D25#125</td></tr><tr><td>支間部</td><td>0.00 ≤ 8.00</td><td>0.00 ≤ 160.00</td><td>0.142 ≤ 0.390</td><td>D16#250</td></tr><tr><td>下隅角部</td><td>5.68 ≤ 6.00</td><td>111.77 ≤ 160.00</td><td>0.265 ≤ 0.780</td><td>D29#125</td></tr><tr><td>底版</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>左隅角部</td><td>5.12 ≤ 6.00</td><td>124.30 ≤ 160.00</td><td>0.558 ≤ 0.780</td><td>D29#125</td></tr><tr><td>支間部</td><td>5.33 ≤ 8.00</td><td>131.35 ≤ 160.00</td><td>0.373 ≤ 0.390</td><td>D29#125</td></tr><tr><td>右隅角部</td><td>5.34 ≤ 6.00</td><td>129.01 ≤ 160.00</td><td>0.526 ≤ 0.780</td><td>D29#125</td></tr></table>	照査位置	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	使用鉄筋	頂版					左隅角部	5.30 ≤ 8.00	136.00 ≤ 160.00	0.394 ≤ 0.780	D25#125	支間部	4.95 ≤ 8.00	126.90 ≤ 160.00	0.337 ≤ 0.390	D25#125	右隅角部	5.44 ≤ 8.00	139.89 ≤ 160.00	0.369 ≤ 0.780	D25#125	側壁					上隅角部	4.59 ≤ 8.00	122.35 ≤ 160.00	0.073 ≤ 0.780	D25#125	支間部	0.00 ≤ 8.00	0.00 ≤ 160.00	0.142 ≤ 0.390	D16#250	下隅角部	5.68 ≤ 6.00	111.77 ≤ 160.00	0.265 ≤ 0.780	D29#125	底版					左隅角部	5.12 ≤ 6.00	124.30 ≤ 160.00	0.558 ≤ 0.780	D29#125	支間部	5.33 ≤ 8.00	131.35 ≤ 160.00	0.373 ≤ 0.390	D29#125	右隅角部	5.34 ≤ 6.00	129.01 ≤ 160.00	0.526 ≤ 0.780	D29#125	コンクリート体積 V=27.93m ³ /m (0.960) 4%程度のコスト削減 盛土厚縮小=開放感向上 (内空照度・視認性) 躯体延長短縮可能
	照査位置	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	使用鉄筋																																																															
頂版																																																																				
左隅角部	5.30 ≤ 8.00	136.00 ≤ 160.00	0.394 ≤ 0.780	D25#125																																																																
支間部	4.95 ≤ 8.00	126.90 ≤ 160.00	0.337 ≤ 0.390	D25#125																																																																
右隅角部	5.44 ≤ 8.00	139.89 ≤ 160.00	0.369 ≤ 0.780	D25#125																																																																
側壁																																																																				
上隅角部	4.59 ≤ 8.00	122.35 ≤ 160.00	0.073 ≤ 0.780	D25#125																																																																
支間部	0.00 ≤ 8.00	0.00 ≤ 160.00	0.142 ≤ 0.390	D16#250																																																																
下隅角部	5.68 ≤ 6.00	111.77 ≤ 160.00	0.265 ≤ 0.780	D29#125																																																																
底版																																																																				
左隅角部	5.12 ≤ 6.00	124.30 ≤ 160.00	0.558 ≤ 0.780	D29#125																																																																
支間部	5.33 ≤ 8.00	131.35 ≤ 160.00	0.373 ≤ 0.390	D29#125																																																																
右隅角部	5.34 ≤ 6.00	129.01 ≤ 160.00	0.526 ≤ 0.780	D29#125																																																																
		頂版・底版厚はセン断応力度により決定する。	評 価 																																																																	



3.カルバート設計・施工の留意点



- 指針で適用対象とする構造物の明確化

本指針で対象とするカルバートとは、道路の下を横断する道路や水路などの空間を得るために盛土あるいは地盤内に設けられる構造物であり、橋、高架の道路、非開削で施工される構造物など以外のものとする。

また、後述の「従来カルバート」と同程度の規模を想定しており、これを大きく超える大規模なものは指針の対象としていない。





3.カルバート設計・施工の留意点

- 指針で適用対象とする構造物の明確化

従来型カルバートの適用範囲

カルバートの種類 \ 項 目			適用土かぶり (m)	断面の大きさ (m)
剛性ボックス カルバート	ボックス カルバート	場所打ちコンクリート による場合	0.5～20	内空幅:6.5まで 内空高:5 まで
		プレキャスト部材による 場合	0.5～6	内空幅: 5まで 内空高:2.5まで
	門型カルバート		0.5～10	内空幅:8 まで
	アーチ カルバート	場所打ちコンクリート による場合	10以上	内空幅:8 まで
		プレキャスト部材による 場合	0.5～14	内空幅: 3まで 内空高:3.2まで



1.カルバート工指針改訂のポイント

- 指針で適用対象とする構造物の明確化

従来型カルバートの適用範囲

カルバートの種類 \ 項 目		適用土かぶり (m)	断面の大きさ (m)
剛性パイプ カルバート	鉄筋コンクリートパイプカルバート	0.5～20	3 まで
	プレストレストコンクリートパイプ カルバート	0.5～31	3 まで
たわみ性 パイプ カルバート	コルゲートメタルカルバート	(舗装厚+0.3)または 0.6の大きい方～30	4.5まで
	硬質塩化ビニルパイプカルバート (円形管(VU)の場合)	(舗装厚+0.3)または 0.5の大きい方～7	0.7まで
	強化プラスチック複合パイプカル バート	(舗装厚+0.3)または 0.5の大きい方～10	3 まで
	高耐力ポリエチレンパイプカル バート	(舗装厚+0.3)または 0.5の大きい方～26	2.4まで



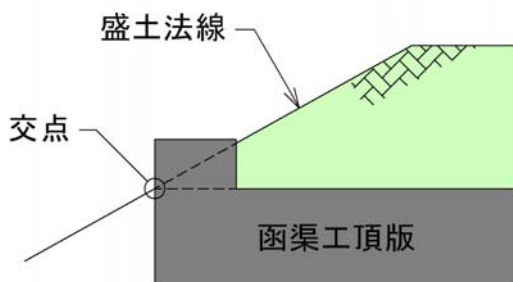


3.カルバート設計・施工の留意点

4-1 幾何構造決定のポイント

(2) 延長決定根拠

ボックスカルバートの延長は覆土形状により決定される。ただし、土かぶりが薄い場合は天端処理も考慮した延長設定が必要である。

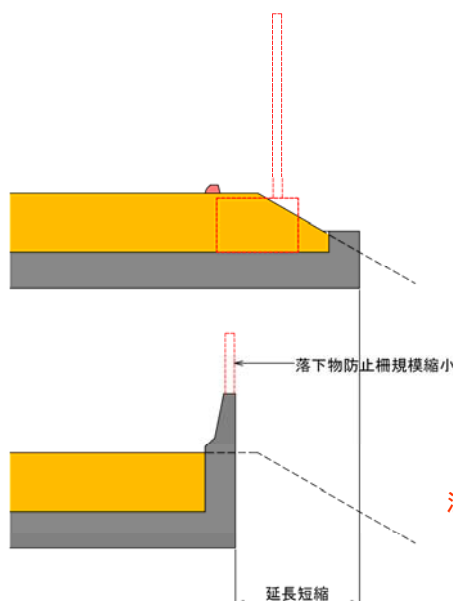


ボックスカルバートの一般的な延長決定位置



3.カルバート設計・施工の留意点

事例) ウィング天端に壁式高欄を採用しコスト縮減を図る。(延長短縮+飛雪防止柵の規模縮小効果の優位性)



注) 壁式高欄を採用する場合は、沈下を許容することが困難であるため留意が必要である。





3.カルバート設計・施工の留意点

3-2 構造形式決定のポイント

カルバート函渠工にプレキャスト製品を採用することは、省労力化、工期短縮に効果があり『土木構造物マニュアル(案)』においても推奨されている。

しかし、場所打函渠工との経済性を比較するとプレキャスト製品が有利となるはごく限られた場合であるのが現状である。プレキャスト製品の採用例として妥当な事例を以下に示す。

- ① 高盛土でプレキャストアーチカルバートの適用が可能な場合。
- ② 用水路等で施工時期に制約があり、場所打構造では工期内に施工することが困難な場合。
- ③ 環境保全水路等で床堀、支保工設置が許されない施工条件で、門型プレキャストカルバートを適用する場合。
- ④ 土かぶりが薄く、場所打構造では設置が困難であり、大断面プレキャストボックスカルバートを適用する場合。



3.カルバート設計・施工の留意点

3-3 基礎形式決定のポイント

カルバートは擁壁工と違い、一方向からの土圧に起因する偏荷重を受けない地中構造物であるため、支持地盤が比較的弱い場合であってもせん断破壊に至ることがあまりない。

これは、盛土が構築できる地盤であれば、内空断面が中空構造で、裏込土領域より軽いカルバートは支持力で問題になることはないという経験的判断に合致する。しかし、これはカルバートは**沈下の許容を前提**としている構造だからである。



3.カルバート設計・施工の留意点



- カルバート工指針における基礎形式選定

ボックスカルバートの基礎地盤対策の選定法を次項のフローのように明確化した。杭基礎は特殊な場合な場合に使う基礎形式とし、地盤改良を新たな選択肢に加えた。

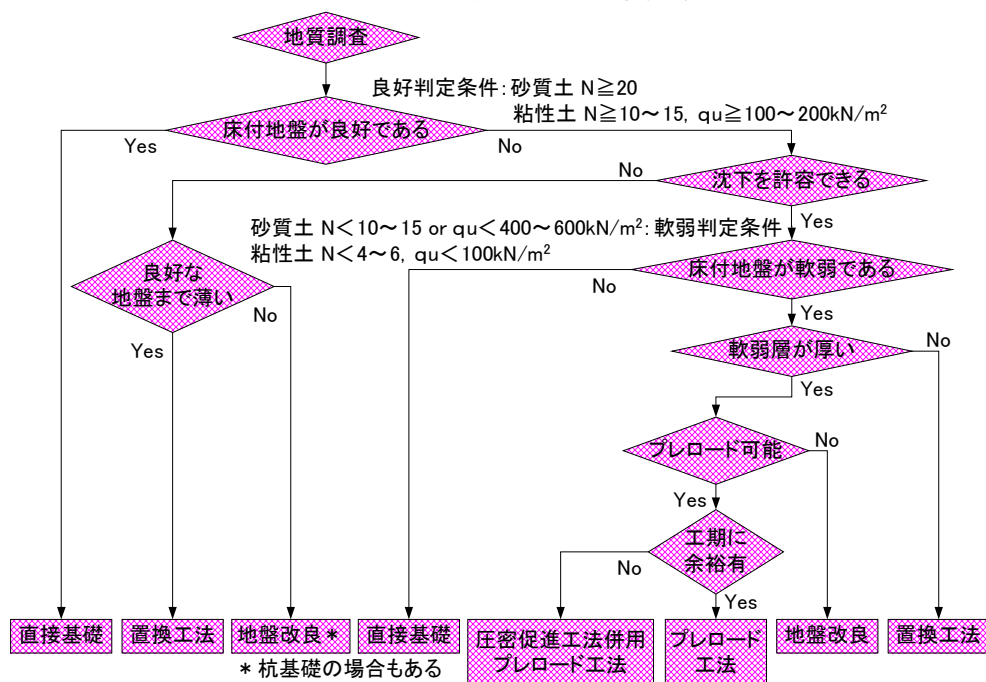
これに伴い、旧指針に掲載されていた杭支持の設計法の記載を削除した。



3.カルバート設計・施工の留意点



ボックスカルバート基礎地盤対策選定フローの例



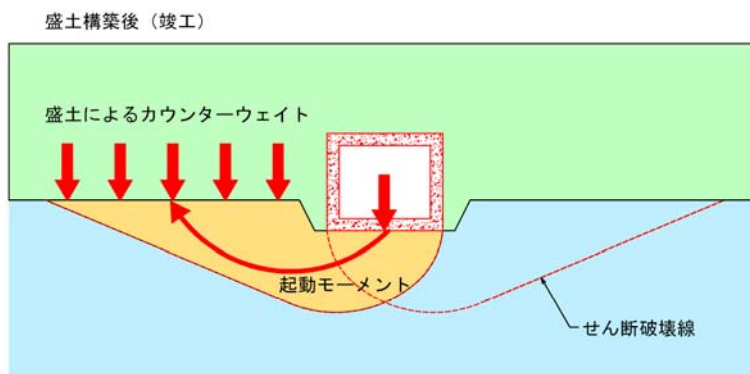


3.カルバート設計・施工の留意点

3-3 基礎形式決定のポイント

(1) 道路盛土の破壊・沈下対策の把握

カルバートの許容支持力は、Terzaghiの支持力公式から求められる極限支持力により推定が可能である。



Terzaghiの支持力公式の概念図



3.カルバート設計・施工の留意点

3-3 基礎形式決定のポイント

(1) 道路盛土の破壊・沈下対策の把握

道路盛土による**残留沈下量**が**大きい場合**は、道路盛土(裏込土)による**引込沈下**が**カルバートに影響**を及ぼすため適切な対策を講じる必要がある。

残留沈下に伴う影響としては以下の項目が考えられる。

- ① 伸縮継手の段ズレ、目地開き、回転変形
→ 止水板、防水スプレー破損＝土砂流出、氷柱発生
- ② 路肩端設置タイプ(ウイング天端＝地覆)の高さ不足
→ 地覆高不足＝防護柵高不足
- ③ 土かぶり厚の増加
→ 上載荷重の増加＝部材応力増加、許容応力度超過

3.カルバート設計・施工の留意点



3-3 基礎形式決定のポイント

(2)カルバートの沈下対策

カルバートの沈下対策は、水路カルバート等で沈下が許されない場合や、軟弱地盤で残留沈下量が大きくプレロードの効果があまり期待できない等の理由で実施される。主な沈下対策としては以下の工法が考えられる。

- ・ 置換基礎(良質材置換・地下水位以下は粒状材置換を推奨)
- ・ 地盤改良(浅層～中層混合処理工法が安価で有利)
- ・ 圧密促進工法併用プレロード工法
- ・ 杭基礎(杭頭空洞化によるカルバート縦断方向変位が問題)



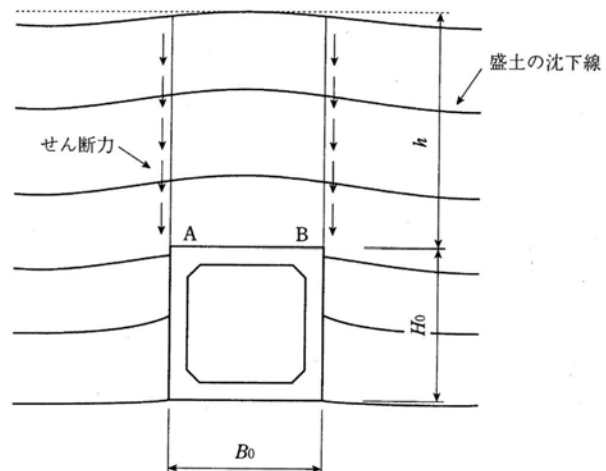
3.カルバート設計・施工の留意点



3-3 基礎形式決定のポイント

(2)カルバートの沈下対策

沈下対策がカルバート直下のみに実施された場合は裏込土の引き込み沈下に伴う鉛直土圧の増加や、道路面の不等沈下について十分な検討が必要である。



鉛直土圧増加の概念図

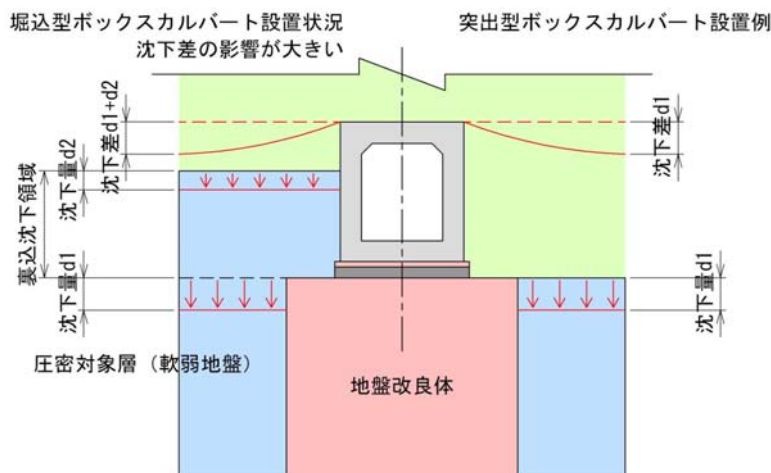


3.カルバート設計・施工の留意点

3-3 基礎形式決定のポイント

(3) 軟弱地盤での地盤改良基礎採用時の留意点

軟弱地盤で地盤改良等の剛性の高い基礎を採用した場合は、沈下差の影響から鉛直土圧係数の割り増しが発生する可能性があるため留意が必要である。(その影響は小断面、高盛土で顕著となる)



3.カルバート設計・施工の留意点

3-3 基礎形式決定のポイント

(2) 土圧

土圧には、カルバート上載土や側方の土の重量による土圧及び活荷重による土圧があり、以下のように考える。

1) 土の重量による土圧

① 鉛直土圧

カルバート上載土の重量により、カルバート上面に作用する鉛直土圧 p_{vd} は、式(解5-1)によって算出される値とする。(解図5-2)

$$p_{vd} = \alpha \cdot \gamma \cdot h \text{ (kN/m}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(解5-1)}$$

ここに α : 鉛直土圧係数

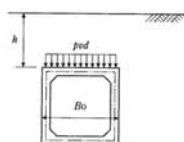
カルバート工の規模、土かぶり、基礎の支持条件に応じて解表5-3に示す値を用いることができる。

γ : カルバート上部の土の単位体積重量 (kN/m³)

土の単位体積重量は解表4-5に示すとおりとする。一般に舗装の部分の単位体積重量も近似的に土と同等とみなしてよいが、舗装のみの場合には、その単位体積重量を用いる。

h : カルバートの土かぶり

(舗装表面よりカルバート上面までの距離) (m)



解図5-2 土の重量による鉛直土圧

解表5-3 鉛直土圧係数

条 件	鉛直土圧係数 α
次の条件のいずれかに該当する場合	$h/B_0 < 1$ 1.0
・ 良好な地盤土 (置換え基礎も含む) に設置する直接基礎のカルバートで、土かぶりが10m以上でかつ内空高が3mを超える場合	$1 \leq h/B_0 < 2$ 1.2
	$2 \leq h/B_0 < 3$ 1.35
	$3 \leq h/B_0 < 4$ 1.5
・ 杭基礎等で盛土の沈下にカルバートが抵抗する場合 ^{注1)}	$4 \leq h/B_0$ 1.6
上記以外の場合 ^{注2)}	1.0

注1) セメント安定処理のような剛性の高い地盤改良をカルバート外周部に行う場合もこれに含む。

注2) 盛土の沈下とともにカルバートが沈下する場合で軟弱地盤上に設置する場合も含む。

【参考5-1】 鉛直土圧係数 α について

カルバートを設置して盛土を行うと、解図5-1に示すようにカルバート上の盛土とカルバート周辺の盛土には相対変位が生じるため、カルバート上部の盛土には下向きのせん断力が作用する。このせん断力を加えたAB上の盛土荷重と相対変位がない場合の盛土荷重 ($\gamma \cdot h \cdot B_0$) との比が鉛直土圧係数 α である。

この相対変位は、カルバートの高さ H_0 に相当するカルバート周辺の盛土の圧縮変形によるものであり、高さ H_0 には比例すると考えられる。カルバートの基礎を杭基礎やカルバート幅のみの地盤改良とする場合には、カルバート周辺の基礎地盤のみが沈下するためさらに大きくなる。





3.カルバート設計・施工の留意点

3-4 構造計算のチェックポイント

カルバートの設計は、ほとんどが自動計算プログラムにより容易に計算できるため入力値にミスがなければ大きなミスは発生しない。しかし、設計が容易なため、その構造的特性や設計的判断を見落とす可能性も大きい。以下にカルバート設計で見落としがちな項目について述べる。

- ・ 斜角部の計算
- ・ 踏掛版設置時の計算
- ・ 輪荷重による側圧の考え方
- ・ 道路縦断方向に設置される場合の計算
- ・ 踏掛板の設計



3.カルバート設計・施工の留意点

3-4 構造計算のチェックポイント

(1) 斜角部の計算

斜角方向の計算において、主鉄筋かぶり(中心位置)が直角方向と同じになっている場合は問題である。これは斜角方向鉄筋が、直角方向主鉄筋と同じ位置に配筋することが不可能なためである。

斜角部の配筋については標準設計でも明確に指定されていないため、設計者の判断で構造的、施工的に配慮する必要がある。



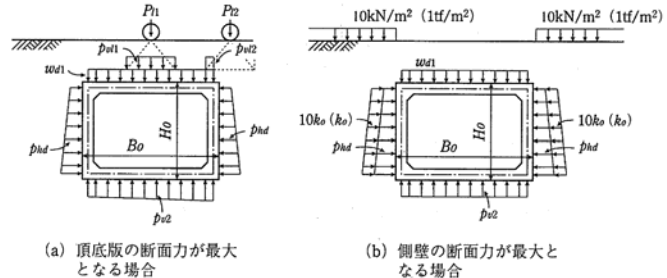
3.カルバート設計・施工の留意点



3-4 構造計算のチェックポイント

(3) 輪荷重による側圧の考え方

頂版からはみ出た輪荷重の側圧を考慮してしまうことがあるが、頂版に対して最も不利となる荷重ケースはこの側圧を無視する必要がある。



ここに w_{d1} : 頂版に作用する死荷重(kN/m²(tf/m²))

$$w_{d1} = p_{vd} + w_{t1}$$

p_{vd} : カルバート上面に作用する鉛直土圧(kN/m²(tf/m²))

w_{t1} : 頂版自重(kN/m²(tf/m²))

p_{v11} , p_{v12} : 頂版に作用する活荷重による鉛直荷重(kN/m²(tf/m²))

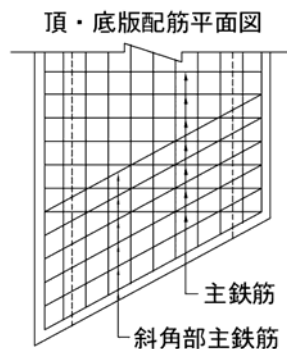
p_{v2} : 底版に作用する反力(kN/m²(tf/m²))

p_{hd} : 水平土圧(kN/m²(tf/m²))

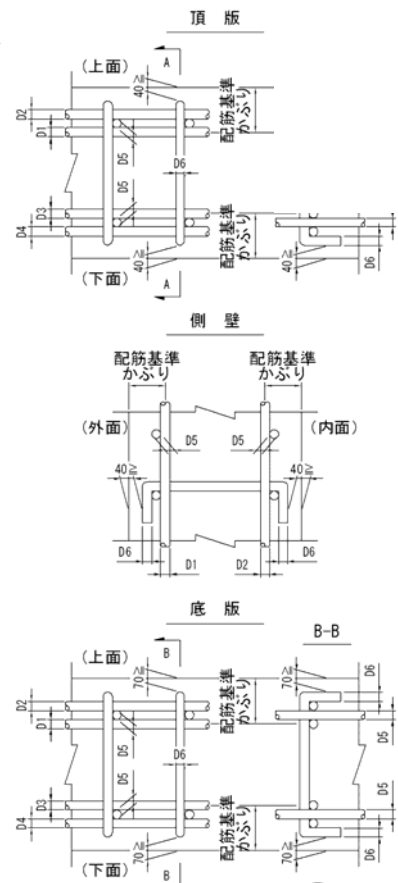
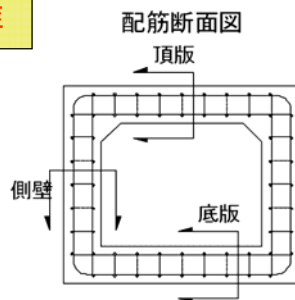
$10k_o (k_o)$: 活荷重による水平荷重(kN/m²(tf/m²))



事例) 斜角部の鉄筋かぶりを考慮した配筋例



斜角部は3段配筋となり複雑



3.カルバート設計・施工の留意点

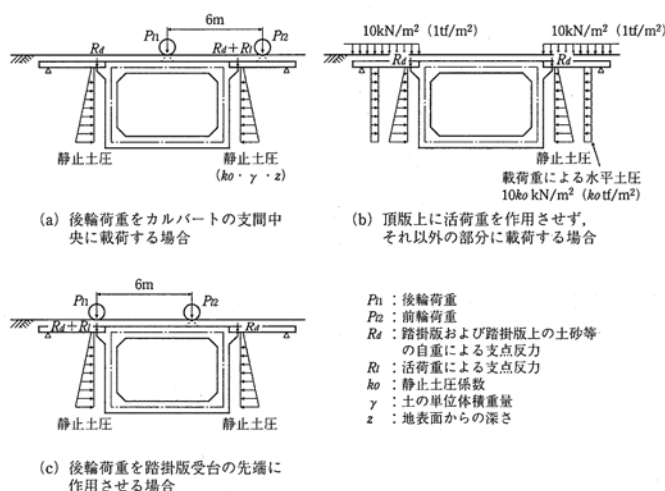


3-4 構造計算のチェックポイント

(2) 踏掛版設置時の計算

踏掛版設置時の荷重モデルとして以下の事項について確認する。

- ① 側壁に作用する側方土圧が踏掛板下面から作用しているか確認する。
- ② 頂版上に活荷重を作用させずに、側方に作用させる場合の踏掛板上の活荷重は反力として考慮しない。
- ③ 踏掛板受台先端に集中荷重で後輪荷重を載荷する



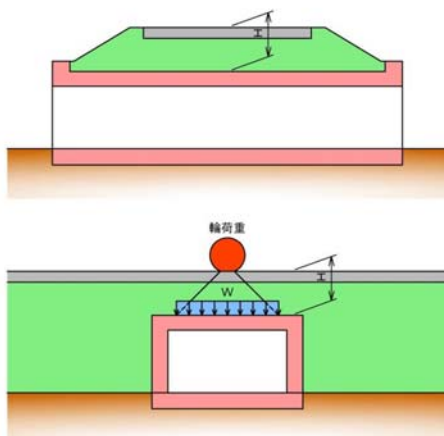
3.カルバート設計・施工の留意点



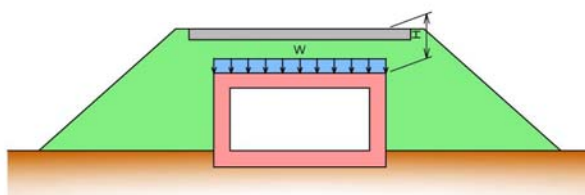
3-4 構造計算のチェックポイント

(4) 道路縦断方向に設置される場合の計算

ほとんどの計算ソフトが、道路縦断方向に設置された函渠工の設計に対応していないといえる。この場合は、横断方向で計算された輪荷重分布荷重を頂版全長に載荷する必要があるため留意が必要である。



道路横断カルバート



道路縦断カルバート





3.カルバート設計・施工の留意点

3-4 構造計算のチェックポイント

(5) 踏掛板の設計

踏掛板の運用は、一般に土かぶりが50cm未満となる場合に設置していることが多いが、開発局では土かぶり2m未満に設置する。

踏掛板は橋梁に比べ上載荷重が大きくなる場合がほとんどであるため、別途構造計算を実施して板厚と鉄筋径を設計する必要がある。



3.カルバート設計・施工の留意点

3-5 施工時の留意点

(1) 裏込土重量の確認

カルバート設計では裏込土ならびに上載土重量が重要な施工管理の対象となる。設計値よりも軽量であれば一般に問題となることは少ないが、土かぶりが薄い場合は裏込土重量が軽くなると頂版に作用する軸力が小さくなることで応力計算に不利となることがあるため留意が必要である。

(2) 平板載荷試験による地耐力確認

カルバートの地耐力照査は極限支持力による照査であるため現地で確認する載荷重量は最大地盤反力×1となる。(従来は最大地盤反力×3)

(3) 頂版の防水スプレー設置時期

頂版に防水スプレーを設置して止水工とする場合は、カルバートの沈下が概ね収束してから実施することが望ましい。カルバート竣工直後に施工した場合は、沈下量が大きい場合は破損することが予想される。





4. ボックス設計計算のチェック

ボックスカルバートの設計計算例を示す。



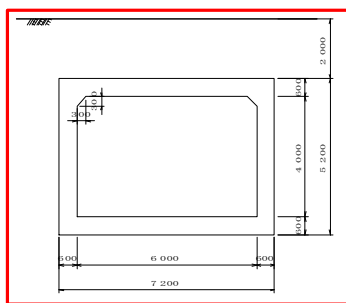
1章 断面方向の計算

1.1 設計条件

(主たる適用基準：土工指針)

1.1.1 一般条件

(1) 構造寸法図



設計土かぶり根拠が明確か?

部材厚が設計図と合致するか?

(2) 基礎形式 地盤反力度 (地盤反力度算出方法：全幅)

1.1.2 材料の単位重量

	単位	γ (kN/m ³)
舗装		22.50
盛土		18.00
鉄筋コンクリート		24.50
水		9.80

盛土の単位体積重量は適切か?

1.1.3 土圧係数

鉛直土圧	α
CASE-1 (左) K_0	0.500
CASE-1 (右) K_0	0.500
CASE-2 (左) K_0	0.000
CASE-2 (右) K_0	0.000

水平土圧係数は0.5が標準

1.1.4 水位

case	外水位 (m)	内水位 (m)
1	0.000	0.000

外水位：底版下面からの高さ
内水位：底版上面からの高さ

1.1.5 路面上載荷重

	(kN/m ²)
常荷重	0.000
歩道荷重	0.000
その他	0.000

1.1.6 温度変化

	温度上昇 (度)	温度下降 (度)	乾燥収縮 (度)
頂版	0.0	0.0	0.0
左側壁	0.0	0.0	0.0
右側壁	0.0	0.0	0.0
底版	0.0	0.0	0.0

温度変化の影響は土かぶり < 50cm で考慮するのが良い。

1.1.7 材料の基準値および許容応力度

設計基準強度	σ_{ck} (N/mm ²)	24.00
一般部	σ_{cs} (N/mm ²)	8.00
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	8.00
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	6.00
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	7.20
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	0.390
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	1.700
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	0.900
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	1.60
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	1.60
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	2.50 × 10 ³
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	SD345
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	180.00
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	180.00
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	200.00
隅角部	σ_{cs} (N/mm ²)	15.0

ハンチ無しの場合は許容値を低減する。

1.1.8 鉄筋かぶり

部位	かぶり (cm)	部位	かぶり (cm)
頂版 上側	10.0	右側壁 外側	10.0
頂版 下側	10.0	右側壁 内側	10.0
左側壁 外側	10.0	底版 上側	11.0
左側壁 内側	10.0	底版 下側	11.0
中 壁	—	ハンチ筋	10.0

土木構造物マニュアル

1.1.9 活荷重

[T 荷重 (2軸) 250 (kN)]

活荷重による地盤反力の低減 = 100.0 (%)

活荷重による水平土圧 無視

活荷重の低減係数 後輪 β = 90.0 (%)

前輪 β = 100.0 (%)



- 1.1.10 断面力計算条件
- (1) 剛 域 なし
- (2) 軸線外に作用する荷重 なし
- (3) 頂版自重 部材厚のみ考慮
- (4) 浮力の考え方 全幅
- (5) 活荷重分布作用位置 頂版天端
- (6) 底版自重 無視する
- 1.1.11 許容支持力度 $Q_a = 300.0$ (kN/m²)

1.2 荷重

1.2.1 荷重の組合せ

(1) 死 荷 重

case	荷 重 名 称	載荷する任意死荷重No
1		

(2) 活 荷 重

case	荷重種別	荷 重 名 称
1	定常1	T荷重(2軸) 250(kN)
2	定常2	側圧

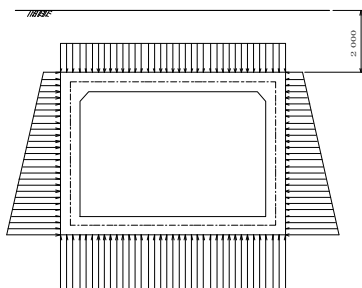
(3) 組 合 せ

case	死荷重No	活荷重No	検討
1	1	1	○
2	1	2	○



1.2.2 死荷重(case=1)

[]



- 躯体自重
- (1) 頂 版
- $w = 0.600 \times 24.50 = 14.70$ (kN/m²)
- (2) 左側壁
- $w = 0.600 \times 24.50 = 14.70$ (kN/m²)
- (3) 右側壁
- $w = 0.600 \times 24.50 = 14.70$ (kN/m²)

- 上載荷重
- (1) 舗装および盛土
- α
- 舗装 = $1.000 \times 0.000 \times 22.50 = 0.00$ (kN/m²)
- 盛土 = $1.000 \times 2.000 \times 18.00 = 36.00$ (kN/m²)
- $\Sigma w_d = 36.00$ (kN/m²)

- (2) 路面上載荷重
- 雪 荷 重 = 0.000 (kN/m²)
- 歩道荷重 = 0.000 (kN/m²)
- そ の 他 = 0.000 (kN/m²)
- $\Sigma q_d = 0.000$ (kN/m²)
- (3) 頂版に作用する荷重
- 等分布荷重
- $w = 36.00 + 0.00 = 36.00$ (kN/m²)

- 土圧および水圧
- 土圧・水圧強度
- $p_i = K_o \times (q_d + Y_o \times \gamma_a + Z_o \times \gamma)$
- K_o : 静止土圧係数 左 = 0.500
右 = 0.500
- q_d : 路面上載荷重 = 0.00 (kN/m²)
- Y_o : 舗装厚 = 0.000 (m)
- γ_a : 舗装の単位重量 = 22.50 (kN/m³)
- γ : 土砂の単位重量 = 18.00 (kN/m³)
- Z_o : 着目位置での土砂の深さ (m)

(1) 左側壁

記 号	着目位置	Z_o (m)	p (kN/m ²)
p_s	頂版天端	2.000	18.00
p_s	頂版軸線	2.300	20.70
p_s	底版軸線	6.900	62.10
p_s	底 面	7.200	64.80

(2) 右側壁

記 号	着目位置	Z_o (m)	p (kN/m ²)
p_s	頂版天端	2.000	18.00
p_s	頂版軸線	2.300	20.70
p_s	底版軸線	6.900	62.10
p_s	底 面	7.200	64.80

外力集計

項 目	V (kN/m)	H (kN/m)	X (m)	Y (m)	M (kN・m/m)
躯体自重	頂 版	108.05	3.600		388.96
	左側壁	58.80	0.300		17.64
	右側壁	58.80	6.900		405.72
	上載荷重	250.20	3.600		933.12
土圧	左側壁		215.28	2.110	454.27
	右側壁		-215.28	2.110	-454.27
合計	484.85				1745.44

※外力集計表では、全幅、全高に作用する全ての荷重を集計している。

地盤反力

- (1) 合力の作用位置および偏心距離
- $X = \frac{\Sigma M}{\Sigma V} = 3.600$ (m)
- $e = \frac{B}{2} - X = 0.000$ (m)



(2) 地盤反力度 (算出方法: 全幅)

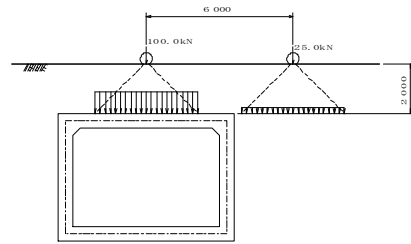
$$\begin{aligned} M_e &= \Sigma V \times e = 0.00 \text{ (kN.m/m)} \\ q_l &= \frac{\Sigma V}{B} + \frac{6 \times M_e}{B^2} = 67.34 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ q_r &= \frac{\Sigma V}{B} - \frac{6 \times M_e}{B^2} = 67.34 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ q_l' &= q_l + \frac{q_r - q_l}{B} \times \frac{T}{2} = 67.34 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ q_r' &= q_r + \frac{q_l - q_r}{B} \times \frac{T}{2} = 67.34 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

ここに、T : 側壁厚

q_l : BOX全幅左端の地盤反力度
q_r : BOX全幅右端の地盤反力度
q_l' : 底板軸線左端の地盤反力度
q_r' : 底板軸線右端の地盤反力度

1.2.3 活荷重(case-1)

[定型1: T荷重 (2軸) 250 (kN)]



輪荷重強度

$$\begin{aligned} P_{l+i} &= \frac{2 \times P \times (1+i)}{2.75} \\ P_{v1} &= \frac{(P_{l+i}) \times \beta}{2 \times D + D_0} \\ P_{l+i} &: \text{BOX縦方向単位長さ当りの活荷重 (kN/m)} \\ P &: \text{輪荷重 (kN)} \\ i &: \text{衝撃係数} \\ P_{v1} &: \text{換算等分布活荷重 (kN/m}^2\text{)} \\ D &: \text{路面から等分布活荷重載荷位置までの厚さ = 2.000 (m)} \\ D_0 &: \text{車輪の接地幅 (m)} \\ \beta &: \text{低減係数} \\ \text{後輪 } P_{l+i} &= \frac{2 \times 100.0 \times (1 + 0.300)}{2.75} = 94.55 \text{ (kN/m)} \\ P_{v1} &= \frac{94.55 \times 0.900}{2 \times 2.000 + 0.20} = 20.26 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ \text{前輪 } P_{l+i} &= \frac{2 \times 25.0 \times (1 + 0.300)}{2.75} = 23.64 \text{ (kN/m)} \\ P_{v1} &= \frac{23.64 \times 1.000}{2 \times 2.000 + 0.20} = 5.63 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

載荷荷重

(1) 頂版に作用する鉛直荷重

	荷重強度 (kN/m ²)	載荷始点 (m)	載荷幅 (m)
後輪	20.26	1.200	4.200
前輪	5.63	0.000	0.000

(2) 左側壁に作用する水平荷重 (活荷重土圧)

$$p = 0.00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(3) 右側壁に作用する水平荷重 (活荷重土圧)

$$p = 0.00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

外力集計

項 目	V (kN/m)	H (kN/m)	x (m)	y (m)	M (kN.m/m)
頂 版	分布1	85.09	3.600		306.33
	分布2	0.00	0.000		0.00
合計	85.09				306.33

※外力集計表では、全幅、全高に作用する全ての荷重を集計している。

地盤反力

(1) 合力の作用位置および偏心距離

$$X = \frac{\Sigma H}{\Sigma V} = 3.600 \text{ (m)}$$

$$e = \frac{B}{2} - X = 0.000 \text{ (m)}$$

(2) 地盤反力度 (算出方法: 全幅)

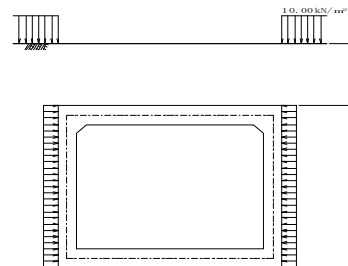
$$\begin{aligned} M_e &= \Sigma V \times e = 0.00 \text{ (kN.m/m)} \\ q_l &= \left(\frac{\Sigma V}{B} + \frac{6 \times M_e}{B^2} \right) \times 1.000 = 11.82 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ q_r &= \left(\frac{\Sigma V}{B} - \frac{6 \times M_e}{B^2} \right) \times 1.000 = 11.82 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ q_l' &= q_l + \frac{q_r - q_l}{B} \times \frac{T}{2} = 11.82 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ q_r' &= q_r + \frac{q_l - q_r}{B} \times \frac{T}{2} = 11.82 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

ここに、T : 側壁厚

q_l : BOX全幅左端の地盤反力度
q_r : BOX全幅右端の地盤反力度
q_l' : 底板軸線左端の地盤反力度
q_r' : 底板軸線右端の地盤反力度

1.2.4 活荷重(case-2)

[定型2: 側圧]



載荷荷重

(1) 左側壁に作用する水平荷重 (活荷重土圧)

$$p = k_0 \times w_l = 0.500 \times 10.00 = 5.00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(2) 右側壁に作用する水平荷重 (活荷重土圧)

$$p = k_0 \times w_l = 0.500 \times 10.00 = 5.00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

外力集計

項 目	H (kN/m)	y (m)	M (kN.m/m)
左側壁	分布	26.00	2.600
	分布	-26.00	-67.60
右側壁	分布	-26.00	-67.60
	分布	26.00	67.60
合計			0.00

※外力集計表では、全幅、全高に作用する全ての荷重を集計している。

地盤反力

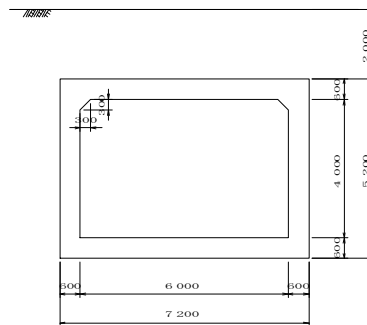
(1) 地盤反力度 (算出方法: 全幅)

$$\begin{aligned} q_l &= \pm \left(\frac{6 \times M_e}{B^2} \right) \times 1.000 = 0.00 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ q_r &= 0.00 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ q_l' &= q_l + \frac{q_r - q_l}{B} \times \frac{T}{2} = 0.00 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ q_r' &= q_r + \frac{q_l - q_r}{B} \times \frac{T}{2} = 0.00 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

ここに、T : 側壁厚

q_l : BOX全幅左端の地盤反力度
q_r : BOX全幅右端の地盤反力度
q_l' : 底板軸線左端の地盤反力度
q_r' : 底板軸線右端の地盤反力度





	単位	頂 版			側 壁		
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
断面力 M N S	kN.m	-168.4	203.4	-168.4	-168.4	0.0	-205.2
	kN	71.4	71.4	71.4	209.9	0.0	268.7
	kN	209.9	-159.2	-209.9	-79.7	71.1	133.7
鉄筋量	mm	D29#250	D29#250	D29#250	D29#250	—	D32#250
かぶり	mm	100.0	100.0	100.0	100.0	—	100.0
応力度 σ_c σ_s τ_m	N/mm ²	4.74	5.72	4.74	4.83	0.00	5.53
	N/mm ²	133.07	163.62	133.07	107.42	0.00	106.32
	N/mm ²	0.420	0.318	0.420	0.159	0.142	0.267
許容値 σ_{ca} σ_{sa} τ_a	N/mm ²	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	6.00
	N/mm ²	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00
	N/mm ²	0.780	0.390	0.780	0.780	0.390	0.780

	単位	底 版					
		(7)	(8)	(9)			
断面力 M N S	kN.m	-205.2	225.9	-205.2			
	kN	119.1	119.1	119.1			
	kN	-261.2	183.6	261.2			
鉄筋量	mm	D32#250	D32#250	D32#250			
かぶり	mm	110.0	110.0	110.0			
応力度 σ_c σ_s τ_m	N/mm ²	5.59	6.14	5.59			
	N/mm ²	130.75	145.78	130.75			
	N/mm ²	0.533	0.375	0.533			
許容値 σ_{ca} σ_{sa} τ_a	N/mm ²	6.00	8.00	6.00			
	N/mm ²	180.00	180.00	180.00			
	N/mm ²	0.780	0.390	0.780			



END

Thank you for your attention !

