

ボックスカルバート基礎設計法の考え方

－基礎形式選定フローについて－

富澤 幸一* 林 宏親**

1. 基礎設計法の基本的考え方

高規格幹線道路などの事業建設促進に伴い、近年盛土内のボックスカルバートの施工が、基礎地盤の性状に関わらずに増加する傾向にある。

しかしながら、基礎形式の選定を含めたボックスカルバートの支持力設計および照査手法は、北海道開発局以外の地方整備局なども含め明確に統一されておらず、設計者により異なる現況にある。そのため、早期に現場に即応した設計法の考え方を整備する必要がある。このように、設計者により設計法が異なる事由は、ボックスカルバートを盛土と一体となった土中構造物として扱うか、あるいは橋梁基礎工と同様に基礎構造物として捉えるかの視点の違いに起因するものと考えられる。

一般的に、ボックスカルバートは、橋梁基礎などのように許容沈下量が極めて小さい構造物とは異なり、カルバートの機能が確保されていれば、一定勾配を常に確保させる必要のある水路式カルバートなどを除き、ある程度の沈下が許容される構造物と考えられる。そのため、ボックスカルバート部と周辺盛土部の不同沈下を抑制する観点から考えると、周辺盛土にある程度追従して沈下することが望ましい場合も多い。

また、ボックスカルバートには内空があるため、基礎地盤に作用する荷重は、通常、盛土よりも軽減される。したがって、仮に軟弱地盤上のボックスカルバートであっても、盛土部の安定性および残留沈下が許容値を満足していれば、従来の施工実績からも大きな問題は生じないものと考えられる。

以上のことから、他機関^{1)・2)}などの設計法との整合も考慮すれば、ボックスカルバートの基礎形式は、特殊な現場条件での杭基礎の採用は除き、直接基礎を原則とすることが望ましいと考える。この際、ボックスカルバートは、周辺地盤と一体となった地中構造物と位置づけることが妥当といえる。

ただし、ボックスカルバートの支持地盤に生じる地盤反力が極限支持力を超えると大きな沈下が生じる要因になることから、沈下安定照査と同時に、設計地盤反力を地盤の極限支持力以下に抑えるために設計施工

上の支持力照査を義務付けるべきと考える。

本資料では、上記の基本的設計の考え方に従い、今後北海道開発局において運用すべき、ボックスカルバート基礎の設計法およびその照査手法、さらに基礎形式選定フローについて提案する。

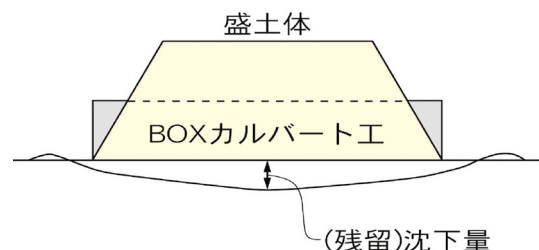
2. 軟弱地盤における沈下・すべり安定照査

軟弱地盤において、直接基礎形式とした場合のボックスカルバートの圧密沈下とすべり安定性に対する考え方を示す。

ボックスカルバートは中空断面となるため、一般に周辺盛土より鉛直荷重は過小となる。しかしながら、ボックスカルバートの安定照査は、周辺地盤と一体化して挙動すると想定されることから安全側を考慮し、従来手法を踏襲して、周辺盛土荷重と同等に扱い圧密沈下計算とすべり破壊に対する安定計算を行うこととする。

この際、泥炭と粘性土では解析手法^{3)・4)}が異なるため注意を要する。両者の設計区分は含水比200%程度が境界となる。標準的な設計法の流れ・解析手法については、泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル⁴⁾に詳しい。

なお、算定された計算沈下量は、現場条件の重要度別に定められた許容沈下量に対して照査される。その結果、必要に応じ、置換工や深層混合処理工などの対策工が講じられる。その際、特に置換工法を実施した場合についても、地盤条件に合わせ照査を行う必要がある。



図一 沈下検討モデル図

また、軟弱地盤上のボックスカルバートでは、施工後の残留沈下量についても設計時に、あらかじめ設定し考慮する必要がある（図－１）。許容される残留沈下量の目安値は、盛土沈下の場合と同様に表－１の一般値⁴⁾によることとする。設計上、残留沈下量を許容内に収めなければ、ボックスカルバート本体にも変状の恐れがあることから留意を要する。

表－１ 残留許容沈下量の目安値⁴⁾

		供用後３年間の 許容沈下量（目安値）
一般盛土 区 間	市街地	10cm 程度
	郊外地	30～50cm程度
高規格盛土区間		10～30cm程度
構造物との接続部		10～30cm程度

3. 基礎の支持力照査

ボックスカルバートの直接基礎の支持力設計法の考え方を検討する。

ボックスカルバートでは、基礎地盤の沈下照査を行い残留沈下量が許容内であれば、地耐力上も概ね問題はないものと考えられるが、ボックスカルバートの安定性を確保する意味から、設計時において支持力照査を行うことを原則とする。

ボックスカルバートの設計極限支持力 Q は、下記に示した Terzaghi の浅い基礎の支持力式⁵⁾ により算定される。

$$Q = \alpha \kappa c Nc Sc + \kappa q Nq Sq + 0.5 \gamma \beta B Nr Sr$$

 α, β : 形状係数 κ : 根入れ効果係数
 c : 地盤の粘着力 (kN/m²) B : 基礎幅 (m)
 q : 上載荷重 (kN/m²) γ : 地盤単位重量 (kN/m³)
 Nc, Nq, Nr : 支持力係数 Sc, Sq, Sr : 寸法効果係数

また、上記算定式以外に一般基礎構造物に対する地盤支持力の経験的目安値が各指針⁶⁾ で提案されており、道路橋示方書下部構造編⁵⁾ では基礎の過大な沈下を避ける目的から表－２に示した地盤種別の最大地盤反力の上限值が設定されている。

表－２ 最大地盤反力の上限值⁵⁾

地盤の種類	最大地盤反力度 (kN/m ²)
砂れき地盤	700
砂 地 盤	400
粘性土地盤	200

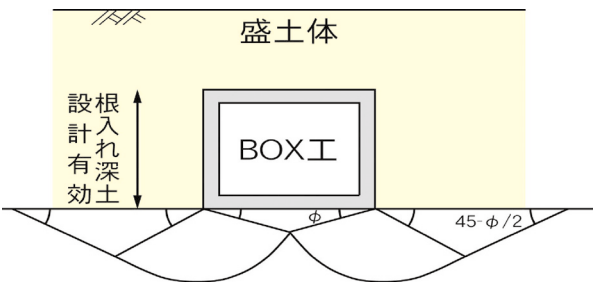
そのため、地盤支持力は、土質試験から算定した地盤定数を用い、支持力式により算出した値と目安値の両方により精査し、設計時に適切に設定することが望ましい。

この際、現行支持力算定式である Terzaghi 支持力式は、基礎地盤の全般せん断破壊を前提として導かれている。ただし、ボックスカルバートでは、橋台・擁壁工などの通常の直接基礎とは異なり、周辺盛土が抑え効果および根入れ効果として大きく作用することや残留沈下の照査により既に一定の地耐力が確保されたことになり、従来の施工実績からも、急激な基礎地盤のせん断破壊の懸念は少ないと判断される（図－２）。

そのため、設計時の支持力照査は、軟弱地盤上で必要以上のプレロードをするなど過大設計となることのないよう、さらに施工時において現場平板載荷試験による支持力検証を義務付けることを前提に、安全率を設けない極限レベルにおいて支持力照査を行うことを基本と定める。この考え方は、ボックスカルバートの沈下が問題とならないほど基礎地盤が良質な場合、置換工を実施した場合においても、設計手法を統一する目的からも必要である。

なお、現場平板載荷試験では、直接的に支持力を算定するのではなく、試験により求められた極限荷重から地盤定数 c 、 ϕ を逆算し、それをさらに Terzaghi 式に導入し、設計時と同様に極限レベルで支持力検証する手順となる。

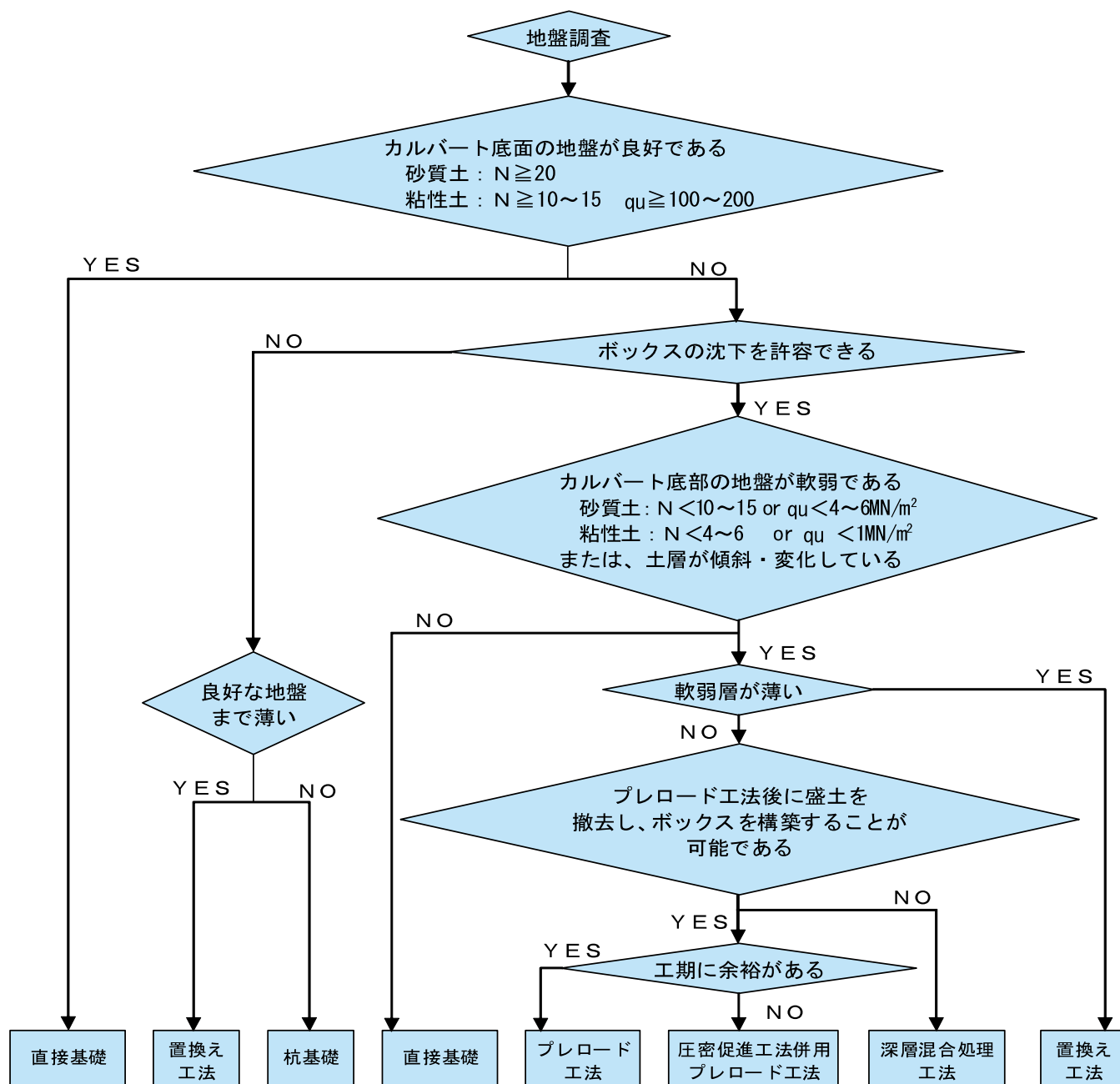
杭基礎の鉛直支持力は、直接基礎とは異なり、平板載荷試験のように簡便で直接的な現場支持力確認が通常困難なことや、土中部の地盤定数・施工精度・杭支持機構の不明瞭さを合わせて極限に対する余裕度として定義される現行設計法安全率の考え方に従い、従来どおり安全率（通常 常時 3、地震時 2）を設定した許容支持力レベルで照査することとする。



図－２ 基礎地盤のせん断破壊図

4. 基礎形式選定フロー

本資料では、現場条件に応じたボックスカルバート基礎形式選定フローを提案する（図－3）。ただし、フローの活用にあたっては、地盤性状や施工性などの現場条件を的確に考慮した総合的判断を必要とする。



図－3 ボックスカルバート基礎形式選定フロー

注釈)

- 1). 直接基礎を原則とするため、プレロード・置換え・深層混合処理工法等によっても当該ボックスの許容沈下量以内に収まらない場合に限って杭基礎を用いること。
- 2). 許容残留沈下量の目安値は、表－1による。
- 3). 「良好な地盤まで薄い」あるいは「軟弱層が薄い」とは、カルバートの規模、掘削方法など現場条件に合わせて判断する必要がある。一般的に、掘削機械の関係から層厚 5 m 以内の置換え工法が適用できる。
- 4). 圧密促進工法には、真空圧密工法やプラスチックドレーン工法等がある。

5. 設計施工上の留意点

フローにより選定されたボックスカルバート基礎形式において、杭基礎以外の直接基礎とした場合の設計・施工上の留意点を、軟弱地盤対策工法別に以下に示す。

5-1. 一般事項

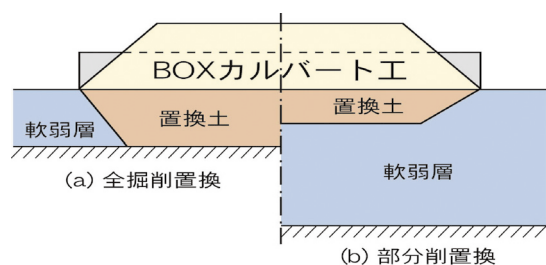
- ①沈下が生じる場合は、内空断面が不足しないよう断面に余裕を持たせたり上げ越しを行う。
- ②ジョイント部には、段落防止用枕を設ける。

5-2. プレロード工法

- ①残留沈下量が許容値に収まったことを確認してから盛土を撤去し、ボックスカルバートの施工を行う。
- ②地盤に偏荷重が作用したり、地盤の側方流動が発生すると、ジョイント部が大きく開口する場合があることから縦断方向ならびに横断方向とも十分な載荷幅とする。
- ③現場条件によって、横断方向に十分な載荷幅が確保されない場合、大型土のうなどで盛土のり尻部分にも載荷荷重が作用するように工夫する。
- ④ボックス端部にウイングを設ける場合、ウイングに作用する土圧あるいはウイング自重による横断方向のボックス本体の変形を考慮する必要がある。一般には、地盤に偏荷重が作用する恐れがあるのでウイングを極力小さくすることが望ましい。

5-3. 置換え工法

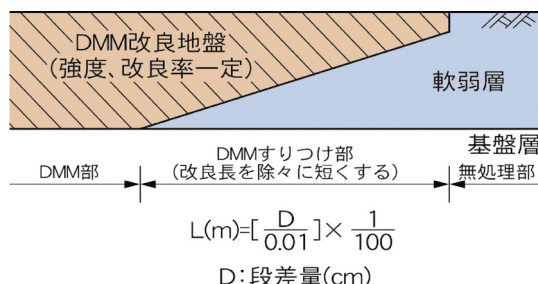
部分置換（軟弱層を置換え材の下に残す方法）は避け、全層置換を原則とする。置換え工の参考法を図一4に示す。



図一4 置換え工法図

5-4. 深層混合処理工法

深層混合処理部と無処理部の残留沈下量に差が発生することが予想される場合、段差防止のため深層混合処理のすり付け区間を設けるのが望ましい。深層混合処理の一般的すり付け方法は、改良長を徐々に短くするもので参考図を図一5に示す。



図一5 深層混合処理工すり付け方法

6. 今後の設計運用

本資料で提案したボックスカルバート基礎の設計法の考え方を以下に整理した。

○ボックスカルバートの基礎形式は、特殊な現場条件の杭基礎を除き、直接基礎を原則とする。

○直接基礎とした場合の設計法では、支持力照査を行うこととする。軟弱地盤の場合、支持力に加え、沈下・すべり安定照査を行う必要がある。

1. 軟弱地盤の沈下・すべり安定照査

- ①. ボックスカルバートの圧密沈下とすべり破壊の安定は、周辺盛土荷重と同等として照査する。
- ②. ボックスカルバートの沈下は現場条件により設定された許容残留沈下量により照査する。

2. 支持力照査

- ①. ボックスカルバートの支持力照査は極限レベルとし、Terzaghi 支持力算定式および地盤種別支持力目安値の両方により精査する。
- ②. ボックスカルバートの施工時には、現場平板載荷試験を実施し設計支持力の検証を行う必要がある。

3. 基礎形式選定フロー

ボックスカルバートの基礎形式は、支持基盤強度・許容沈下量・工期などの現場条件に従い提案フローにより選定して良い。

7. おわりに

本資料で示したボックスカルバート基礎の設計法は、決して新たな設計法を提案してものではなく、設計者により差異が生じている現況を踏まえ、従来までの設計施工実績・他機関との整合性・現行設計手法の考え方を整理したものである。

なお、特殊な現場条件など、これらの規定からはずれた設計法を必要とするものについては、工学的な考察に基づいた設計者の技術的判断に委ねられることになる。

また、本テーマは平成14年度 北海道開発局 改良・舗装・トンネル担当者現地研修会の懸案事項であり、小文の内容は、今後、北海道開発局が運用すべき「道路工事設計施工要領」の記載される予定である。これら検討に当たっては、北海道開発局 建設部 道路建設課の指導並びに関係コンサルタントと協議を行っていることを追記する。本資料を、今後の設計の一端とされたい。

参考文献

- 1) 設計要領 第二集 橋梁・擁壁・カルバート：日本道路公団、平成9年11月
- 2) 道路設計要領[技術編]：北海道建設部道路整備課・建設部都市環境課、平成11年7月
- 3) 道路土工 軟弱地盤対策工指針：日本道路協会、昭和61年11月
- 4) 泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル：北海道開発土木研究所、平成14年3月
- 5) 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編：日本道路協会、平成14年3月
- 6) 道路土工 カルバート工指針：日本道路協会、平成11年3月



富澤 幸一*

北海道開発土木研究所
構造部
土質基礎研究室
研究員



林 宏親**

北海道開発土木研究所
構造部
土質基礎研究室
主任研究員