

アーチカルバート設計におけるパラメトリックスタディ (その1)

(株) 大林組 正会員 ○佐々木 一成 阿山 泰久 伊藤 邦彦 井上 昭生

1. はじめに

ボックスカルバートの設計方法は、文献 1)、2) のような各種技術基準において詳細な記述がある。しかしながら、アーチカルバートは、ボックスカルバートに比べて施工例が少ないためか、各種技術基準における記載も少なく、明確な設計法が確立しているといえる状況にないと考えられる。

本論文では、3 車線道路トンネルを想定したアーチカルバートを検討対象として、①アーチ部の地盤抵抗、②隅角部の剛域の 2 つのパラメータをもとに試設計を行った結果を総括し、考察を行うものとする。

2. アーチカルバートの特徴

アーチカルバートはアーチに作用する外力を部材軸方向圧縮力として伝達するため、ボックスカルバートに比べて発生曲げモーメントが小さく、部材断面を小さくすることができる。アーチに鉛直荷重が作用すると側部は外側に変形しようとするが、土圧や地盤反力などの水平荷重を作用させてこの変形を抑え、さらに発生曲げモーメントを小さくすることができる。

3. 設計条件

本論文では、図-1 に示すアーチカルバートモデルを基本とし、線形弾性論に基づく二次元骨組構造解析を用いた許容応力度設計による検討を行った。材料、地盤、荷重の各条件は表-1 のとおりである。なお、地下水の影響は考慮せず、地震時の検討も行わない。

鉛直荷重としては、アーチ部に躯体自重、埋戻土の鉛直土圧、上載荷重を、底版部に躯体自重、坑内荷重（舗装・路盤・坑内埋戻土）をそれぞれ分布荷重として作用させる。水平荷重は、アーチ部に埋戻土および上載荷重の水平土圧を作用させる。水平土圧は土圧係数 $K_a=0.3$ および 0.5 の 2 ケースを考え、不利な応力状態で各部材を設計する。

4. パラメトリックスタディ

(1) 土圧と地盤抵抗

アーチ部の周辺地盤の抵抗を地盤バネと評価し、地盤バネの設定方法を変化させた 3 ケースについて解析

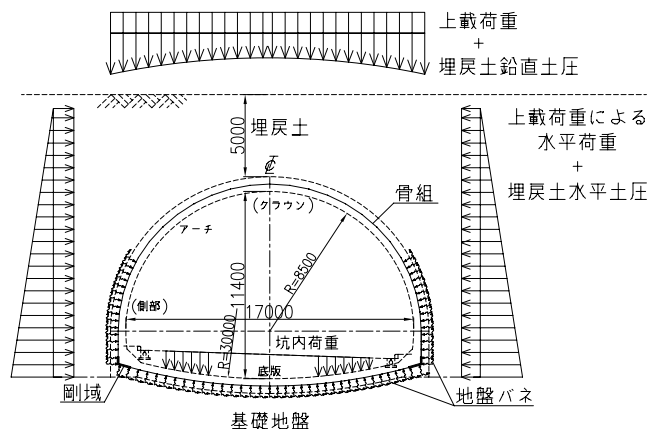


図-1 解析モデル

表-1 設計条件

構造	鉄筋コンクリート構造	
形状	アーチカルバート 内空幅：17.0m、内空高：11.4m、部材厚：0.9m	
材料	コンクリート	設計基準強度：36N/mm ² 許容曲げ圧縮応力度：12N/mm ² 許容せん断応力度：0.27N/mm ²
	鉄筋	SD345 許容引張応力度：180 N/mm ²
地盤	変形係数	埋戻土： $\alpha E_0=28\text{MPa}$ 基礎地盤： $\alpha E_0=200\text{MPa}$
荷重	鉛直方向	躯体自重：24.5kN/m ³ 埋戻土：19.0 kN/m ³ （土被り 5.0m） 上載荷重：20 kN/m ² 坑内荷重：舗装・路盤—6.21 kN/m ² 坑内埋戻土—20 kN/m ³
	水平方向	水平土圧係数： $K_a=0.3, 0.5$

を行い、アーチ、底版各部の発生断面力を比較した（表-2 参照）。地盤反力バネは部材直角方向、せん断地盤バネは部材軸方向の分布バネとし、地盤反力係数は文献 3) に基づいて算出した。地盤バネは、部材直角方向に地盤が圧縮するときのみ抵抗し、引張に対しては地盤反力バネ、せん断地盤バネとも抵抗しないものとした。

解析結果の内、最大曲げモーメントを図-2、表-3 に示す。曲げモーメント図（図-2）の形状はいずれのケースもほぼ同じである。

この結果から、まず水平土圧について検討する。アーチ部においては水平土圧係数 $K_a=0.5$ より $K_a=0.3$ の方が発生曲げモーメントが大きくなることがわかる。この $K_a=0.3$ は、文献 2) によるとボックスカルバートの

開削トンネル、変形係数、地盤バネ、剛域

(株) 大林組 土木技術本部 設計第一部 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟

実測土圧に基づいて設定している。一般には総作用荷重が大きい方がカルバートにとって安全側の設計と考えがちであるが、アーチカルバートにおいては、水平土圧が小さい方が、特にアーチ断面にとって厳しくなる。また、仮設土留めや埋戻土の改良等によって、さらに水平土圧が作用しにくい状況では文献 2) に示される $K_a=0.3$ を無思慮に適用せず、状況に応じて水平土圧を低減することも必要であると考えられる。

次に、地盤バネの設定方法の影響について検討する。今回の解析結果では、地盤バネの設定方法によって必要鉄筋量が鉄筋径にして1~2ランク異なる結果となった。アーチ部の埋戻土にせん断抵抗を考慮したケース A では、発生曲げモーメントは小さく、逆にせん断抵抗を考慮しないケース B、地盤抵抗を考慮しないケース C ではアーチ部の変位が大きくなり、発生曲げモーメントが大きくなった。アーチ部に地盤抵抗を考慮するとアーチ部材の外側への変形が抑えられる。さらにせん断抵抗を考慮した場合には、カルバート全体の沈下が抑えられ、アーチ部材の下方への変形も抑制される。アーチの変形が抑えられることによりアーチの拘束効果が増大することから発生断面力は小さくなると考えられる。

埋戻土にせん断抵抗を期待することは、危険側の設計になるが、逆に地盤抵抗を全く無視することは経済的でない。地盤バネの設定方法については実際の現場の施工方法や周辺地盤の状況に応じて慎重に判断する必要がある。

(2) 隅角部の剛域

文献 1)、2) に示されるようにボックスカルバートの設計では、実構造の部材厚を考えると隅角部に剛域を考慮することが合理的である。そこで、隅角部の剛域に設定する剛性の大きさが発生断面力に与える影響を検討するため、表-4 に示すように剛域の剛性を一般部材の断面二次モーメントの1倍~ 10^5 倍に設定した3ケースについて解析を行った。検討断面のアーチ・底版の接合部はほぼ直角であることから、ボックスカルバートと同様の方法で文献 1) に基づき剛域を設定した。アーチ周面の地盤抵抗は考慮しない。

解析結果の内、最大曲げモーメントを表-5 に示す。剛域に設定する剛性の大きさにより、各部材に発生する曲げモーメントの大きさが異なる。剛域の設定方法によっては危険側の設計になることもあり、注意が必

表-2 解析ケース

検討ケース		A	B	C
アーチ	部材直角抵抗	○	○	×
	せん断抵抗	○	×	×
底版	部材直角抵抗	○	○	○
	せん断抵抗	○	○	○

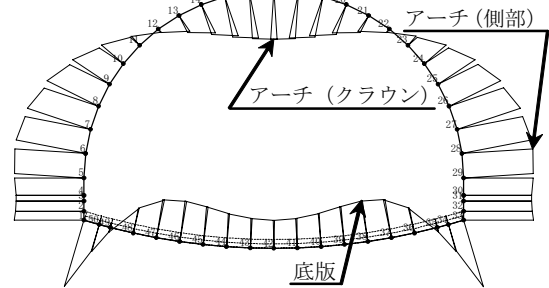


図-2 曲げモーメント図 (ケース C)

表-3 最大曲げモーメント(kN・m/m)

検討ケース	A	B	C
アーチ（クラウン）	1,026	1,104	1,205
アーチ（側部）	1,498	1,684	1,717
底版	868	959	1,027

表-4 解析ケース

検討ケース	D	E	F
断面二次モーメント比	10^5 倍	200 倍	1 倍

表-5 最大曲げモーメント(kN・m/m)

検討ケース	D	E	F
アーチ（クラウン）	1,230	1,205	1,196
アーチ（側部）	1,772	1,717	1,690
底版	1,037	1,027	1,066

要である。

5. まとめ

本論文では、地盤バネの設置方法と剛域の剛性の2つのパラメータをもとに試設計を行い、以下の結果を得た。

- ① アーチ部に地盤抵抗を考慮すると、発生曲げモーメントは小さくなる。
- ② 隅角部の剛性の大きさにより、アーチ部、底版部に発生する曲げモーメントの大きさが異なる。

実際の現場での施工方法や周辺地盤の状況を見極めた上での設計条件の設定がアーチカルバートでは非常に重要となる。

参考文献 1) (社) 日本道路協会:「道路土工 カルバート工指針」,平成 11 年 3 月、2) 東日本・中日本・西日本高速道路(株):「設計要領第二集 カルバート編」,平成 18 年 4 月、3) (社) 日本道路協会:「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」,平成 14 年 3 月、4) 阿山、井上ほか:「アーチカルバート設計におけるパラメトリックスタディ (その 2、3)」,第 62 回土木学会年次学術講演会,平成 19 年 (投稿中)