

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)

(株)大林組 正会員 阿山 泰久 佐々木 一成 伊藤 邦彦 上原 康之

1. はじめに

文献4)(その1)に引き続き、同様のアーチカルバートに対し、基礎地盤が固結砂層等の若干弱い地盤(地盤変形係数 $E_0=40\text{MPa}$ 相当)である場合について、パラメトリックスタディを行い、その結果に対して考察を行うものとする。

2. 検討に用いるパラメータ

検討対象としたアーチカルバート断面と主要な荷重を図-1に示す。基礎地盤が軟岩等十分堅固な場合に比べ、本論文で検討対象とした $E_0=40\text{MPa}$ 程度の基礎地盤の場合は、表-1に示すように発生断面力が増大することから必要部材断面も大きくなる。そこで、経済性を勘案した最適設計のための有効な対策を立案・計画するため、埋戻土軽量化、改良埋戻土、部材剛性の増加をパラメータとして検討を行った。

3. パラメトリックスタディ

(1) 埋戻土軽量化による影響

検討対象のアーチカルバートは、高さに比べて幅が大きい形状である。このため、土被り荷重を低減させることは部材断面を経済的にする有効な対策となり得る可能性がある。したがって、埋戻土に軽量盛土(単位体積重量 10kN/m^3)を用いた場合について検討を行った。発生断面力と必要部材断面の関係を表-2に示す。発生曲げモーメントは低減し、部材断面は小さくなるものの必要鉄筋量はほとんど変わらなかった。これは、上載荷重が減ることによりアーチ部材に発生する軸圧縮力が低下すること、断面設計に有利に作用する側方土圧も減少することが理由と考えられる(文献4)参照)。

以上から、その材工に起因するコストを考慮すると埋戻土軽量化は対策工法として有効とは言い切れないと考えられる。

(2) 改良埋戻土による影響

埋戻土にセメント安定処理等を前提とした改良土を適用し、埋戻土の変形係数を向上させる ($E_0=200\text{MPa}$) ことにより、アーチ部分を拘束する地盤抵抗の効果増加を期待して検討を行った。解析結果の内、発生曲げ

モーメントと必要部材断面の関係を表-3に示す。全体的に発生曲げモーメントは激減し、部材断面も小さくなるのがわかり、その効果は大きい。

ただし、埋戻作業という施工上の不確かさを考慮すると、地盤抵抗を適切に評価するのは容易ではないと考えられ、過大な地盤抵抗の適用は断面決定に及ぼす影響が大きく、危険側の設計になる可能性がある。したがって、その適用には試験施工を前提とするなど十分な検討が必要と考えられる。

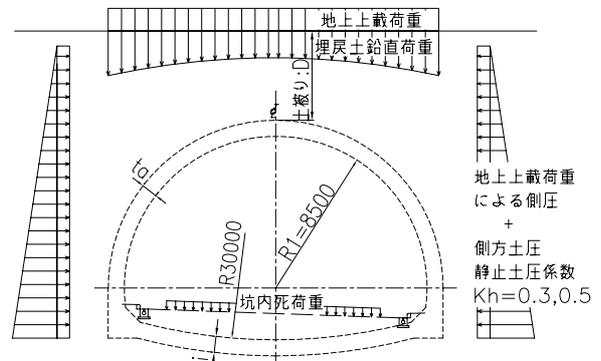


図-1 アーチカルバート断面

表-1 基礎条件による影響

基礎地盤 E_0 (MPa)	発生最大曲げモーメント (kN・m/m)			必要部材厚 (mm)
	クラウン部	側部	底板中央	
40	2,070	-3,818	3,506	1,800
200	743	-1,541	793	900

・躯体内側への曲げモーメントを正とする
・アーチ部の地盤抵抗無視
・土被りD=5m、地表面載荷重 10kN/m^2
・埋戻土単位体積重量 19kN/m^3
・部材厚は全部位一定

表-2 埋戻土軽量化の影響

埋戻土 単位体積重量	クラウン部		側部		底板中央		必要部材厚 (mm)
	M	N	M	N	M	N	
軽量盛土 10.0kN/m^3	1,624	235	-2,904	1,414	2,460	232	1,500
普通土 19.0kN/m^3	2,070	360	-3,818	1,907	3,506	360	1,800

・基礎地盤 $E_0=40\text{MPa}$
・土被りD=5m、地表面載荷重 10kN/m^2
・アーチ部の地盤抵抗無視
・部材厚は全部位一定
・M:最大曲げモーメント(kN・m/m), N:軸力(kN/m)

表-3 改良埋戻土の影響

埋戻土 E_0 (MPa)	発生最大曲げモーメント (kN・m/m)			必要部材厚 (mm)
	クラウン部	側部	底板中央	
(改良土) 200	599	-2,570	1,836	1,200
(普通土) 28	1,940	3,411	-3,745	1,800

・基礎地盤 $E_0=40\text{MPa}$
・土被りD=5m、地表面載荷重 10kN/m^2
・埋戻土単位体積重量 19kN/m^3
・アーチ部の地盤抵抗考慮
・部材厚は全部位一定

開削トンネル、基礎地盤、変形係数

(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

(3) 部材剛性の増加

a. 躯体全体の剛性増加: 基礎地盤の強度・剛性が小さいことに起因する増加断面力に対して、全体的に部材断面を大きくする対策を検討した。しかしながら、本論文で想定した構造及び地盤条件では、表-4 に示す部材断面の増大に伴って、アーチ、特にクラウン部の発生曲げモーメントも増加してしまう結果となり、有効な対策とはならなかった。通常、土被り荷重等鉛直下向きのアーチへの作用荷重に対して、図-2 に示す地盤抵抗力Fによる逆向きの曲げモーメント(クラウン部で $F \times l_2$)が発生曲げモーメントを低減する役割を考えると考えられる。しかし、本検討の場合、全体的に部材断面を大きくしても、自重増加の影響で発生するクラウン部での曲げモーメントが増加することに加え、表-4 に示すように水平方向の変位が小さくなるためアーチの拘束力Fも小さくなる。したがって、結果的に発生曲げモーメントが大きくなり、部材厚の増加が有効にならないと考えられる。

また、使用する躯体コンクリートの強度を増加させることにより全体的な部材剛性増加の影響を確認する検討を行った。しかしながら、表-5 に示すように発生曲げモーメントは、ほとんど変化がない。すなわち、コンクリート強度の増加は構造最適化には寄与しないことがわかった。

b. 底版のみの剛性増加: アーチを支持する底版のみの剛性を上げることによりアーチの拘束効果が向上し、アーチ部の発生断面力が低減されることが考えられる。これにより、アーチ断面縮減の可能性を目的として検討を行った。発生曲げモーメントと必要部材断面の関係を表-6 に示す。底版のみの剛性を上げることでアーチ部の発生曲げモーメントは激減し、部材断面も小さくなることがわかった。底版の発生曲げモーメントは若干増加することになるが、実際の施工性も考えた効果は大きいと考えられる。

4. まとめ

基礎地盤の変形係数が $E_0=40MPa$ 程度の条件におけるアーチカルバートの設計において、**改良埋戻土の適用、底版のみの剛性増加**が有効な対策であることが今回のパラメトリックスタディでわかった。特に、底版のみ剛性を増加する(底版のみを増し厚する)対策は、その適用にあたり基礎地盤改良等の他の補助工法との経済性比較が必要となるが、補助工法が必要な地盤が

深い場合や施工上の制約等で補助工法適用が難しい場合には有効な対策と考えられる。また、改良埋戻土の適用については、アーチ部に作用する地盤抵抗の評価を適切に行う必要があり、その適用には十分注意する必要があると考えられる。

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 下部構造編」,平成 14 年 3 月、4) 佐々木, 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 1、3)」,第 62 回土木学会年次講演会,平成 19 年度(投稿中)

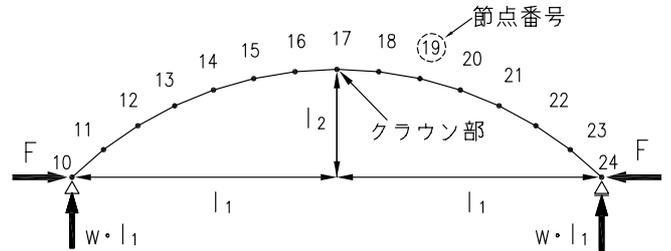


図-2 クラウン部モデル図

表-4 部材厚増加の影響

壁厚 (mm)	発生断面力(格点番号17)		水平変位 (格点番号10・24) x (mm)	地盤抵抗力F
	$M_{17}(kN \cdot m/m)$	$N_{17}(kN/m)$		
800	1,120	400	10.6	
1,000	1,510	270	7.6	
1,200	1,780	210	5.3	
1,400	2,060	130	3.9	
2,400	2,900	-10	1.2	
増		減	減	

・M:最大曲げモーメント、N:軸力(圧縮+とする)
 ・アーチ外側への変位を+とする ・ $F=k_x$ (k: 地盤反力係数)

表-5 コンクリート設計基準強度増加による影響

設計基準強度	コンクリート ヤング係数	発生最大曲げモーメント (kN・m/m)		
		クラウン部	側部	底版中央
30N/mm ²	28,000N/mm ²	1,940	-3,850	3,200
40N/mm ²	31,000N/mm ²	1,950	-3,870	3,250

・部材厚1,200mm(全部位一定) ・基礎地盤 $E_0=40MPa$
 ・土被りD=4m、地表面載荷重20kN/m² ・アーチ部の地盤抵抗無視
 ・埋戻土単位体積重量19kN/m³

表-6 底版増し厚の効果

底版 部材厚(mm)	アーチ 部材厚(mm)	発生最大曲げモーメント (kN・m/m)		
		クラウン部	側部	底版中央
1500	900	1,023	-1,507	4,265
1800	1,800	2,070	-3,818	3,506

・基礎地盤 $E_0=40MPa$ ・アーチ部の地盤抵抗考慮
 ・土被りD=5m、地表面載荷重10kN/m²
 ・埋戻土単位体積重量19kN/m³