

不同沈下や偏土圧の影響を受けるアーチカルバートの構造特性

八ツ元 仁* 藤原慎八** 谷口哲憲*** 西田秀明**** 石田雅博*****

1. はじめに

盛土区間の道路において、道路や水路などとの交差部に設置されるカルバートについては、断面が矩形であるボックスカルバートや頂版部がアーチ形状をしたアーチカルバートが存在している。このうちアーチカルバートにおいては、近年、現場で構築する一般的な工法に代わり、施工性・経済性に優れているという理由で、分割されたプレキャストコンクリート部材を現場で組み立てて構築する工法の採用が増えている。

このプレキャスト部材を用いたアーチカルバートの中には、部材間の接合部にヒンジ接合を用いたもの（以降、ヒンジ式アーチ）があるが、この構造は接合部が剛結された従来型のアーチカルバート（以降、従来アーチ）を対象とした設計基準である道路土工カルバート工指針¹⁾の適用範囲外となっている。このため、ヒンジ式アーチにおいては、独自の技術マニュアル^{2),3)}に基づき設計が行われている。この技術マニュアルでは、ヒンジ式アーチがヒンジを有することで従来アーチより変形しやすい構造であると考え、変形時において周辺地盤から反力（地盤拘束力）を受けることを想定している。このため、設計では側壁に地盤バネを接続することで地盤拘束力を考慮しており、その結果ヒンジ式アーチは従来アーチよりも構造部材厚が薄くなるという特徴がある。

このようなヒンジ式アーチは、部材が薄いうえにヒンジを有することで従来アーチに比べて構造的な冗長性が低い構造となるため、設計で想定した外力と異なる外力を受けた場合には不具合が生じやすいと考えられる。

そこで、本稿では、従来の設計法では想定していない不同沈下や偏土圧に起因する外力が作用した場合、従来アーチとヒンジ式アーチの挙動にどのような差が生じるのか明らかにするために、数

値解析による検討を行った結果を報告する。

2. 解析対象と解析条件

ヒンジ式アーチには、天井部と側壁部の間にヒンジ接合を有する構造（2ヒンジ式）や、側壁下端と天井中央にヒンジ接合を有する構造（3ヒンジ式）などがあるが、本検討では施工実績が多い2ヒンジ式アーチ（図-1）を解析対象として選定した。

2ヒンジ式アーチの挙動と従来アーチの挙動に違いが生じる主な原因としては、①ヒンジ接合による影響、と②周辺地盤の拘束力、が挙げられる。本研究では図-2に示すように、常時状態に対する設計により部材諸元を決定した従来アーチを基本ケース（ケースA）とし、これに対してヒンジ接合を考慮する場合をケースB、地盤拘束力を考慮

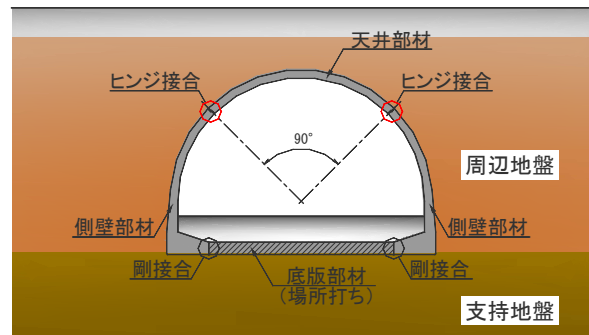


図-1 2ヒンジ式アーチ

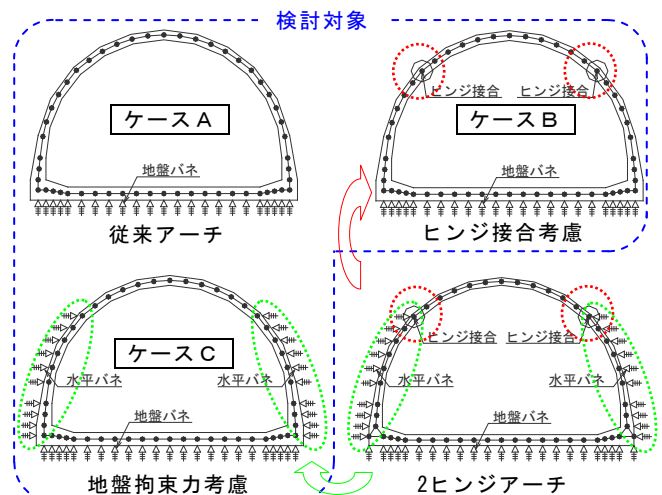


図-2 検討対象のケース

Structural characteristics of arch culverts affected by differential settlement and unsymmetrical earth pressure

する場合をケースCとして検討を行った。

数値解析は表-1に示す設計条件のもと、構造部材に軸力変動を考慮したトリリニア型の曲げモーメント～曲率関係からなるモデルを用いた2次元骨組解析により行った。ヒンジ接合部は、図-3に示す実構造の状況を踏まえ、8°まで回転を許容するように解析モデルを設定した。また、検討における荷重条件は、図-4に示すように地盤の不同沈下や周辺盛土の側方移動による偏土圧といった地盤変状に伴う外力を考慮した。

表-1 設計条件

構造	鉄筋コンクリート構造アーチカルバート	
形状	内空幅：10.8m、内空高：6.73m	
材料	コンクリート	設計基準強度：40 N/mm ²
	鉄筋	SD345
地盤	変形係数	$\alpha E_0 = 42,000 \text{ kN/m}^2$
荷重	鉛直方向	埋戻土：19.0 kN/m ² 活荷重：T-25, q = 10 kN/m ²
	水平方向	水平土圧係数：K = 0.3

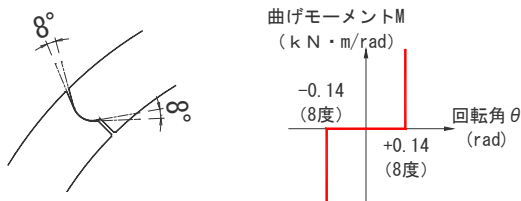


図-3 ヒンジ構造と解析モデル

3. 解析結果

3.1 荷重状態が曲げモーメントに与える影響

図-5、図-6、図-7にケース毎の荷重状態が変化した場合の最大曲げモーメントの変化状況を示す。

図-5に示すように、ケースAにおける不同沈下時においては、死荷重時に対する最大曲げモーメントが天井部で約1.2倍、側壁で約1.4倍、底版で正曲げ・負曲げともに約1.6倍に増加した。また、偏土圧時においては、死荷重時に対して側圧の増加を受ける右側壁基部と底版の右端部のモーメントが大幅に増加し、右側壁では約1.2倍に増加、底版では2.5倍にまで増加が生じた。その他の部位においても0.3倍から1.2倍にわたる曲げモーメントの変化、死荷重時とは逆方向の曲げモーメントの変化、死荷重時とは逆方向の曲げモーメント

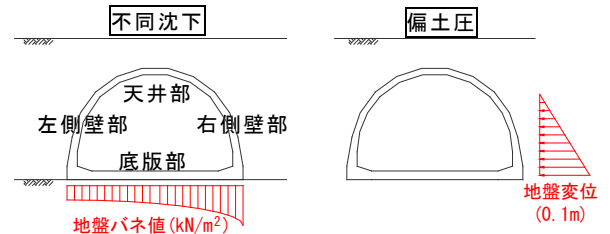


図-4 地盤変状に伴う作用外力

※不同沈下時、側方移動時の[数値]は死荷重時に対する比率を表す

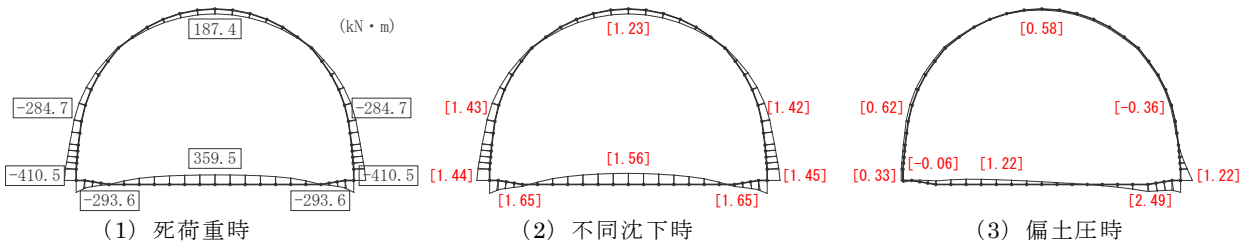


図-5 ケースAの曲げモーメントの変化状況

※不同沈下時、側方移動時の[数値]は死荷重時に対する比率を表す

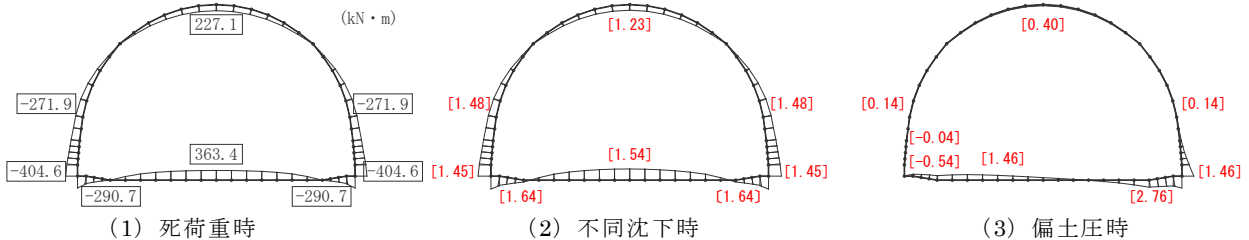


図-6 ケースBの曲げモーメントの変化状況

※不同沈下時、側方移動時の[数値]は死荷重時に対する比率を表す

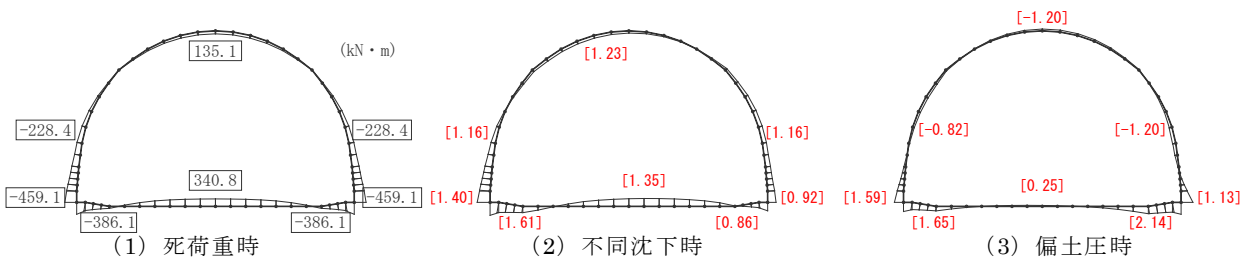


図-7 ケースCの曲げモーメントの変化状況

トの発生、モーメント分布形状の左右非対称化、
 などの変化が生じた。

図-6に示すように、ケースBの死荷重時の曲げ
 モーメントについては、天井部が約1.2倍に増加
 したことを除けばケースAとほぼ同じ曲げモーメ
 ントを示した。不同沈下時には、ケースA
 とほぼ同程度の変化が生じた。一方、偏土圧時
 においては、死荷重時に対して側壁基部では約1.5
 倍、底版では2.8倍と曲げモーメントの増加が生
 じた。左側壁では曲げモーメントがほとんど発生
 しない程減少するが、底版の左端部での曲げモー
 メントは死荷重時に発生していた曲げモーメント
 の半分程度の大きさの逆方向曲げモーメントが発
 生するなど、ケースAに比べて曲げモーメントの
 変化割合が増加した。

図-7に示すように、ケースCの死荷重時の曲げ
 モーメントについては、ケースAに比べ天井部が
 約0.7倍に減少したが、底版の側壁との隅角部で
 約1.3倍に増加、側壁基部で約1.1倍に増加して
 おり、ケースAやケースBと大きく異なるモーメ
 ント分布を示した。不同沈下時には、死荷重
 時に対して右側壁基部および底版右端部での曲げ
 モーメントが約0.9倍に減少したが、その他の部
 位においてはケースA、ケースBとほぼ同じ変化
 割合を示した。また、偏土圧時には、天井

部や両側壁部において不同沈下時に発生していた
 曲げモーメントと同じ程度の大きさの逆方向曲げ
 モーメントが発生したことや、左側壁と底版の隅
 角部近傍での曲げモーメントが約1.6倍に増加し
 たことなど、ケースAやケースBと大きく異なる
 変化を示した。

このように、荷重状態が変化した場合、ケース
 Bであるヒンジ接合を有する構造の曲げモーメン
 トの変化割合は、ケースAである従来アーチの変
 化割合と若干異なるが分布形状はほぼ同じ状態
 で変化することがわかった。一方、ケースCである
 水平バネを考慮する構造については、従来アーチ
 に比べて曲げモーメントの変化割合や分布形状が
 大きく変化することがわかった。

このことを踏まえると、不同沈下や偏土圧が作
 用する場合に対してアーチカルバートの安全性を
 確保するためには、水平バネを考慮するケースと
 考慮しないケースの両方に対して照査を行なうこ
 とが良いと考えられる。

3.2 荷重状態による応力度の変化

図-8、図-9に、発生断面力が大きく変化した代
 表的な部材の曲げモーメントと軸力の相関を示す。
 なお、図中に、引張側の鉄筋が許容引張応力度以
 下、かつ圧縮側のコンクリートが許容圧縮応力度
 以下となるモーメントと軸力の領域を着色して示

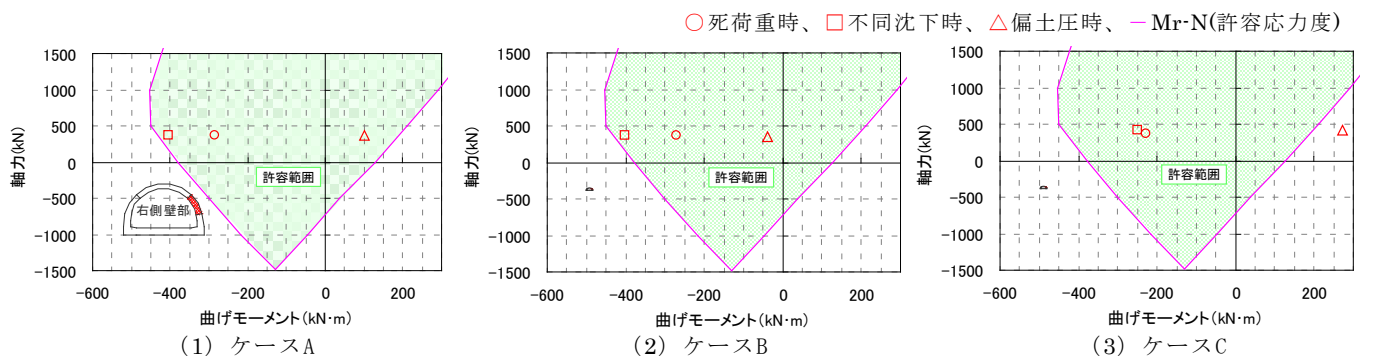


図-8 M-N相関図 (右側壁部)

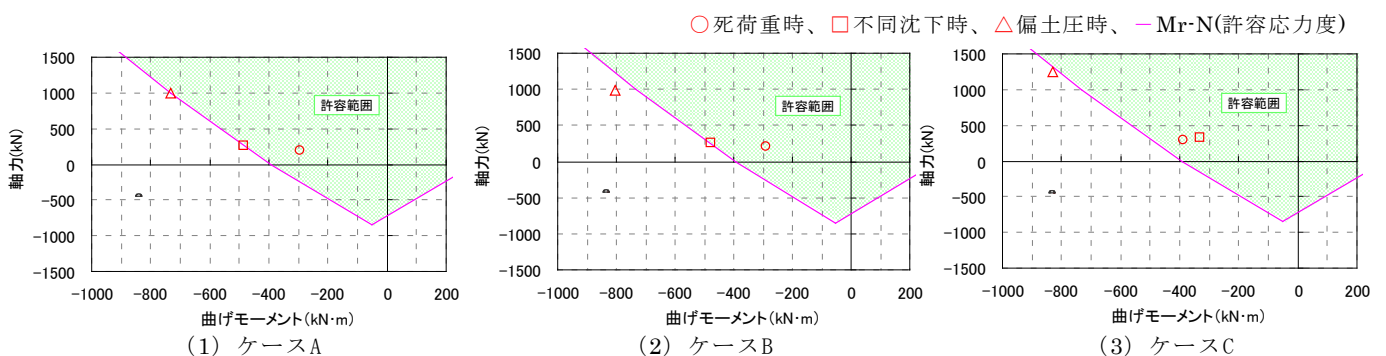


図-9 M-N相関図 (底版右端部)

した。

右側壁では、ケースCにおいて偏土圧時に最大発生応力度が許容応力度を超えたが、不同沈下時では発生応力度が変化しても許容応力度の範囲内となった。また、ケースA、ケースBの発生応力度については、偏土圧時および不同沈下時において許容応力度の範囲内となった。

底版右端部においては、ケースB、ケースCの偏土圧時に発生応力度が許容応力度を超えたが、ケースAにおいては、荷重状態が変化しても発生応力度は許容応力度の範囲内となった。

このように、ヒンジ接合を有する構造（ケースB）や水平バネを考慮する構造（ケースC）については、不同沈下時や偏土圧時に荷重状態によっては発生応力度が許容応力度を超える部位が発生することがわかった。一方、従来アーチ（ケースA）においては、いずれの部材においても荷重状態が変化しても、発生応力度は許容応力度の範囲内に収まることわかった。

このことから、従来アーチについては設計で想定する外力を超える外力に対する安全余裕度がその他のケースより高いことがわかった。

4. まとめ

本検討では、従来アーチとヒンジ接合を有する構造および水平バネを考慮する構造の安全余裕度について、数値解析を用いて検証を行った。今回の検討の範囲では、以下のようなことが明らかとなった。

- ・ 従来アーチにおいては、偏土圧や不同沈下が生じて、断面応力度は変化するものの許容応力度を超える変化が生じる部材は無い。
- ・ 一方、ヒンジ接合を有する構造では、偏土圧時において底版端部において発生応力度が許容応力度を超える。
- ・ 水平バネを考慮する構造では、偏土圧時において両側壁および底版端部の発生断面応力度が許容応力度を超え、不同沈下時においては底版端部で発生断面応力度が許容応力度を超える。
- ・ 従来アーチは、構造物の安全余裕度が高い構造であるが、ヒンジ接合を有する構造や水平バネを考慮した構造は、従来アーチに比べて不同沈下や偏土圧といった設計で想定しない外力に対する影響を受けやすい構造である。

このことから、ヒンジ式アーチの採用にあたっては、沈下が生じるような軟弱な地盤では用いないとともに、偏土圧が作用しないようにカルバート取付け部の施工方法、裏込め土の施工順序や締固めの施工管理に対してより一層の留意が必要であると考えられる。

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21年度版）、2010.3.
- 2) (財)地域地盤環境研究所、モジュラーチ工法協会：Modularch技術マニュアル、2008.7.
- 3) (財)先端建設技術センター：テクスパン工法設計施工マニュアル（案）、1998.12.

八ツ元 仁*



阪神高速道路株式会社
技術部技術開発課
(前 独立行政法人
土木研究所構造メン
テナンス研究セン
ター研究員)
Hitoshi YATSUMOTO

藤原慎八**



独立行政法人土木研
究所構造物メンテナ
ンス研究センター
交流研究員
Shinya FUJIHARA

谷口哲憲***



ジオスター株式会社
土木事業部 (前 独
立行政法人土木研
究所構造物メンテナ
ンス研究センター 交流
研究員)
Tetsunori TANIGUCHI

西田秀明****



独立行政法人土木研
究所構造物メンテナ
ンス研究センター
主任研究員
Hideaki NISHIDA

石田雅博*****



独立行政法人土木研
究所構造物メンテナ
ンス研究センター
上席研究員
Masahiro ISHIDA