

正負交番載荷実験によるアーチカルバートの地震時限界性能に関する検討

(独) 土木研究所 正会員○藤原 慎八 篠原 聖二 西田 秀明 石田 雅博

1. はじめに 地震時における鉄筋コンクリート構造物の安全性を適切に評価するためには、構造物の損傷過程や終局状態を明らかにすることが重要であるが、アーチカルバートについて終局状態に至るまで載荷した実験は実施されておらず、地震時の性能評価手法は確立されていない。そこで本研究では、アーチカルバートの性能評価手法の確立の一環として、模型供試体を用いた正負交番繰返し載荷実験を行った。

2. 実験概要 図-1 に実験供試体配筋図を示す。カルバートの内空幅は、道路土工カルバート工指針¹⁾における従来型カルバートの適用条件である 8.0m を超える約 8.5m の断面を想定し、土かぶり条件は 2.0m とし、この条件での常時設計により供試体緒元を決定した。供試体は 1/2 縮尺とし、図-2 に示すように内空幅 4228mm、内空高 2677 mm、部材厚 250mm (アーチ部) および 350 mm (底版) とし、配筋は実物大で決定した鉄筋量と断面積比と合わせた。コンクリートの物性値を表-1 に、鉄筋の物性値を表-2 に示す。コンクリートの強度および弾性係数、鉄筋の降伏強度は設計値よりも大きく、鉄筋の弾性係数については設計値の 9 割程度と小さかった。

模型供試体は、図-2 に示すように函体軸が鉛直方向になるように横に倒して設置した。実験では周辺地盤からの常時の土圧を模擬するため、鉛直土圧については供試体の水平変位挙動に追従できる軸力載荷装置を用い、水平土圧については 2 台の油圧ジャッキを用いて荷重を載荷した。荷重の載荷位置や大きさについては事前に解析を行い、曲げモーメントの分布形状や側壁基部での曲げモーメント値および軸力値が、実験での集中荷重により模擬できるように決定した。その結果、鉛直荷重は 135kN を頂版アーチ部に 2 点載荷し、水平荷重は 60kN を底版下面より 1800mm の位置に載荷することとした。底版は固定ブロックに PC 鋼棒を用いて固定した。固定ブロックは底版幅よりも幅を小さくすることで、地盤上に設置された条件での隅角部挙動を再現した。この支持条件で水平載荷した場合には、底版内側で早期に大きな損傷が生じ、地盤上に設置した場合での損傷過程と乖離することが懸念されたことから、底版内側の鉄筋量を増加した。正負交番載荷実験に先立ち予備載荷を行い、側壁基部の鉄筋ひずみが 1725 μ (SD345 の降伏強度の規格値を弾性係数で除した値) を超えた時点での層間変形角である 1/400 を基準変位として定め、基準変位の整数倍で図-2 での右方向を正として順次載荷した。層間変形角は図-3 に示すように頂部での変位を軸線高で除して算出した。載荷手順としては、まず、右側のジャッキは一定の荷重を保持し、左側のジャッキを所定の変位まで押し込み正方向の載荷を行った。次に、左右のジャッキが常時の載荷状態となるまで左側のジャッキ荷重を低減したところで、左右のジャッキの制御方法を入れ替え、同様の手順で負方向の載荷を行った。この正負の水平載荷を 1 サイクルとし、各載荷で 3 サイクルずつ繰り返した。

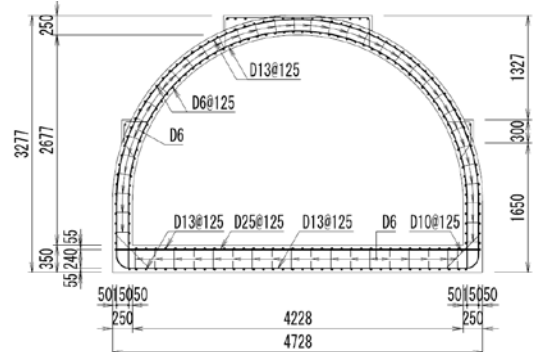


図-1 実験供試体配筋図 (mm)

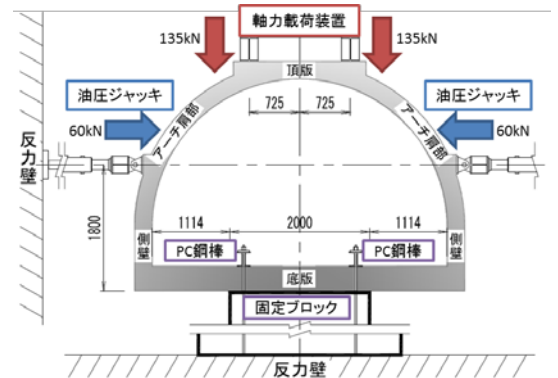


図-2 実験状況図 (mm)

表-1 コンクリートの物性

圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
49.8	35.2

表-2 鉄筋の物性

鉄筋径	降伏強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
D13	386.3	180.1
D25	372.3	192.0

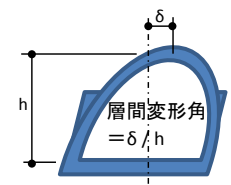


図-3 層間変形角の定義

キーワード 正負交番載荷実験, 終局限界状態, アーチカルバート

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

3. 実験結果 正負交番载荷実験における水平荷重と頂版水平変位の関係を図-4に示す。水平荷重は図-2での右方向を正とした左右のジャッキ荷重の合計値で、常時の土圧载荷時からの増分を示している。実験では、常時の土圧载荷時に頂版内面および側壁基部外面、底版内面で軽微な曲げひび割れを観測した。層間変形角 2/400 の载荷時に左側壁基部の外面側主鉄筋が降伏し、5/400 の载荷で側壁基部外面側のコンクリートが剥落し始め、7/400 の载荷で最大荷重 290.5kN を示した。その後荷重値を徐々に下げながら、層間変形角 9/400 の载荷ではアーチ肩部内面側のコンクリートが剥落し始め、15/400 で図-5に示すようにアーチ肩部でのせん断破壊に至った。

鉄筋降伏箇所とその発生順序を表-3に示す。表中の記号は図-6に示す部材記号と対応している。鉄筋降伏の発生順序は、層間変形角 2/400 で側壁基部外面、3/400 でアーチ肩部内面、5/400 で側壁基部内面、6/400 でアーチ肩部内面と側壁基部の損傷が先行し、アーチ肩部がそれに続いた。その後の損傷状態についても、図-5に示すように、アーチ肩部内面のコンクリートが剥落し始める 9/400 までは側壁基部の損傷が先行して進行し、側壁基部の塑性化の影響で曲げモーメント分布が徐々に変化し、アーチ肩部の曲げモーメントが大きくなったことで損傷が進み、15/400 でのアーチ肩部でのせん断破壊につながったものと考えられる。各载荷後の内空幅および内空高の常時荷重時からの変化を図-7に示す。ここでの内空幅については载荷点位置での内空幅とし、内空高については中央位置での内空幅とした。载荷初期には内空幅は広がり内空高が狭まる変形を示したが、層間変形角 3/400 の载荷以降では内空幅が狭まり内空高は広がる変形となり、载荷が進むにつれてこの変形が大きくなった。これは 3/400 の载荷までに側壁基部およびアーチ肩部で主鉄筋の降伏が生じたことで、側壁が内側に倒れる方向の塑性変形が徐々に残留していったものと考えられる。その後、アーチ肩部での曲げ損傷が進んだ上でせん断破壊が生じた 15/400 の载荷では、側壁が内側に倒れこみ内空幅-62.3mmと大きく狭まる変形を示した。さらに頂版が押し上げられることで内空高は 14mm と広がる変形を示し、鉛直荷重については終局限界状態においても初期荷重を保持し続けた。

4. まとめ 本研究では、アーチカルバートの損傷過程や終局状態を明らかにするため正負交番载荷実験を行い、以下の知見を得た。(1) 正負交番载荷に伴い側壁基部、アーチ肩部の順に主鉄筋が降伏し、側壁基部の塑性化の進行によって断面力分布が変化し、アーチ肩部の断面力が増大したものと考えられ、これによりアーチ肩部での曲げ損傷が進み、アーチ肩部でのせん断破壊による終局状態となった。(2) 終局状態における変形が、側壁が内側に倒れこみ内空を押し上げる変形となったことで、終局状態に達した後も上載荷重が保持されていた。

参考文献 1) (社) 日本道路協会：道路土工カルバート工指針，2010。

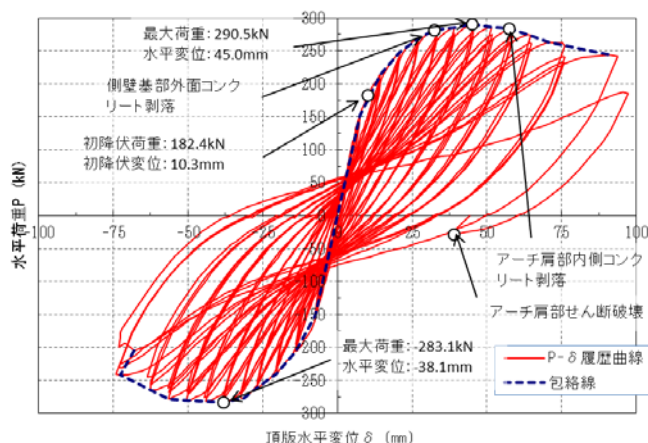


図-4 水平荷重-水平変位履歴曲線

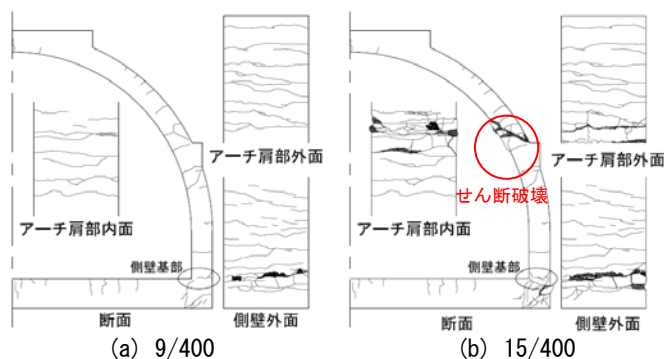


図-5 ひび割れ損傷図

表-3 鉄筋降伏箇所とその発生順序

载荷ステップ	内側	外側
1/400		LW,RW
2/400		
3/400	LA,RA	
4/400		
5/400	LW,RW	
6/400	RB	LA,RA
7/400	LB	
8/400		RB
9/400		
10/400		
12/400		
15/400		LB

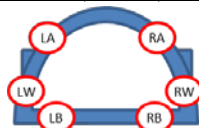


図-6 部材記号

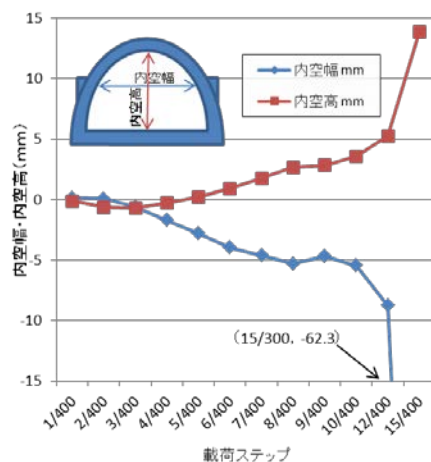


図-7 内空幅・内空高の変化