

外ケーブル式アーチ床版の破壊メカニズムおよび水平力の分散効果

日大生産工(院) ○田村章后 日大生産工 阿部 忠・木田 哲量・水口 和彦
伊澤技術士事務所 伊澤閑

1. はじめに

近年、鋼道路橋ではライフサイクルコストの縮減、施工時の工期短縮を目的とした、施工の合理化・省力化が図られている。その対策の一つとして、鋼道路橋は多数主桁構造から少数主桁構造へと移行されている。これに伴い、床版部材では長支間化に対応でき得る耐荷力性能および耐疲労性に優れた構造形式の研究・開発が各研究機関および企業で実施されている^{1,2)}。このような背景から、筆者らはプレートガーダ形式および鋼箱桁橋の床版等の長支間化(6.0m以上)に対応可能なタイドアーチを用いた外ケーブル式アーチ床版の研究開発を行なっている^{3,4)}。これは、RC床版をアーチ形状にし、外ケーブル式アーチ部材に静荷重・走行荷重実験を行い、耐荷力性能を評価している。その結果、通常の同一支間長のRCはりに比して、外ケーブル式アーチ部材の耐荷力は、アーチクラウン部の厚さをRCはりの1/2としたにも関わらず、同等以上の耐荷力を有している⁴⁾。そこで本研究では、実橋RC床版の1/2モデルとした外ケーブル式アーチ床版供試体を作製して静荷重実験を行い、初期引張力の作用が耐荷力性能に及ぼす影響と破壊メカニズムを検証するとともに、外ケーブルに作用する水平力およびひずみの抑制効果を検証し、実用性を評価した。

2. 外ケーブル式アーチ床版構造の特徴

2.1 タイドアーチ構造 タイドアーチ構造を図-1に示す。タイドアーチ構造はアーチ部に荷重 P が作用すると、アーチ内部には軸圧縮力が働いて抵抗する。この軸圧縮力はアーチ部材を支持する両支点に伝達され、支点部には鉛直方向の反力(V_A , V_B)と支点の間隔を広げようとする水平力(H)が働く。この水平力(H)に対する水平反力(H_R)が確保された場合は、はり部材と比較して安全な構造となる。そこで、水平反力を吸収するためのタイ材にPC鋼棒を用いることによってタイドアーチ構造の特徴を發揮させた床版となり、床版の長支間化に対応することが可能となる。

2.2 外ケーブル式アーチ・スラブ構造の特徴

アーチ構造理論を用いた床版の開発には、(株)東京鐵骨橋梁と大阪大学が考案開発^{5,6)}した「アーチデッキスラブ」があり、その概略を図-2に示す。アーチデッキスラブの特徴は、アーチ底面にアーチ形状の底鋼板と横リブで構成される型枠パネルとコンクリートが一体となった合成構造である。アーチ部には圧縮力が作用することから、鋼板を用いて圧縮力を確保している。また、水平反力は両主桁に取付けた横繫材を適切な間隔で配置し、主桁上フランジ直下で連結する構造となっている。この構造の設計は、主桁と合成床版をスタッドジベルで連結した合成構造として解析することができる。

次に、本研究で提案する「外ケーブル式ア

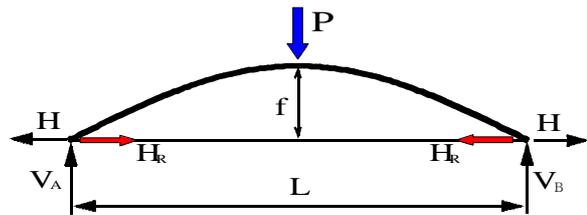


図-1 タイドアーチ構造

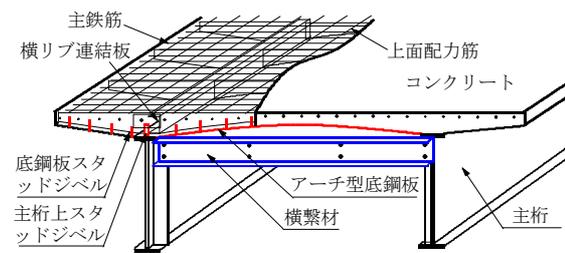


図-2 アーチ型合成床版⁴⁾

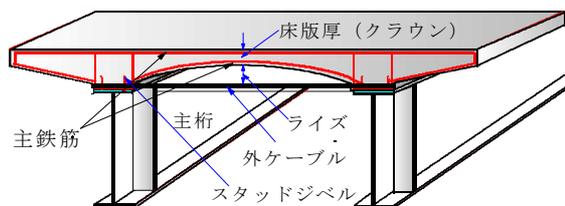


図-3 外ケーブル式アーチ床版

「一チ床版」の概念⁴⁾を図-3に示す。外ケーブル式アーチ床版の特徴は、床版支間内の底面を床版ハンチ程度のライズを有するタイドアーチ構造とした点である。タイドアーチ構造は荷重が作用すると、アーチ部には曲げモーメントと圧縮力が作用し、支点部には水平力が作用する。そこで、水平力には軸直角方向に配置した外ケーブルで抵抗させ、アーチ部の曲げモーメントと圧縮力には RC 部材で抵抗させることで、アーチ支点となる主桁に及ぼす水平力を内部吸収できる構造となる。また、外ケーブル方式とすることで、主桁のスタッドジベルにも大きな水平力が作用しない構造となる。したがって、RC 床版をタイドアーチ構造とすることで、従来の RC 床版と比較して長支間化に適した構造となる。

2.3 使用材料 供試体のコンクリートには、早強ポルトランドセメントと最大寸法20mmの粗骨材を使用した。その圧縮強度は74.6N/mm²である。また、鉄筋にはSD295A、D10を使用した。その降伏強度は379 N/mm²、引張強度は526 N/mm²、弾性係数は200kN/mm²である。外ケーブルには直径15mmのC種1号SBPR 1080/1230のPC鋼棒を使用した。その降伏強度は1194 N/mm²、引張強さは1273N/mm²、ヤング係数は200kN/mm²である。

3. 供試体寸法および鉄筋配置

供試体寸法および鉄筋配置を図-4に示す。供試体は、道路橋示方書・同解説Ⅲ⁷⁾（以下、道示Ⅲ）の規定に基づいて設計し、RC床版寸法の1/2モデルとした。支間1200mm、クラウン部の厚さを100mm、支点部の高さ260mm、ライズ130mmとした。鉄筋は複鉄筋配置とし、外ケーブルに初期引張力を導入することから引張・圧縮側および軸直角・軸方向ともに100mm間隔に配置した。外ケーブルの配置間隔は、床版中央から400mm間隔で3本配置した。外ケーブルの支圧板は、荷重作用時に前後のPC鋼棒に均等な水平力が作用するように、供試体側面に鋼板（1600mm×100mm×15mm）を配置した。本供試体では、初期引張力0kN（ARC-T0）、10kN（ARC-T10）、20kN（ARC-T20）、30kN（ARC-T30）を導入した。

4. 実験方法

外ケーブル式アーチ床版は、外ケーブルに初期引張力を作用させることで耐荷力の向上が図られる。そこで静荷重実験は、最大応力が生じる支間中央に載荷板（250mm×100mm）を静置し、荷重を載荷させる。荷重は10kN ず

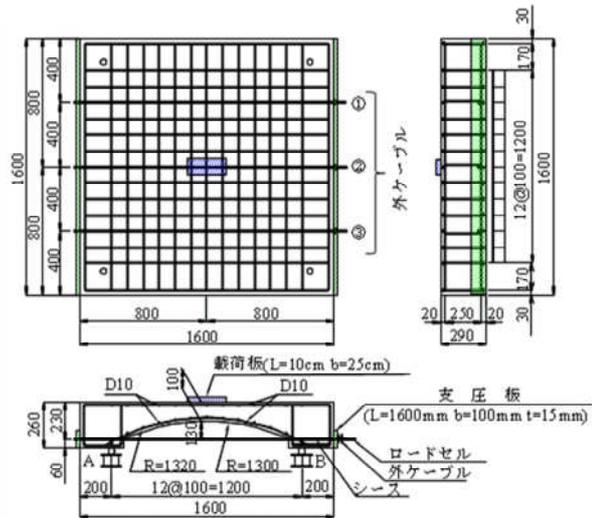


図-4 供試体寸法および鉄筋配置

表-1 耐荷力および耐荷力比

供試体	最大耐荷力 (kN)	耐荷力比
ARC-T0	299.4	1.00
ARC-T10	329.3	1.10 (ARC-T10/ARC-T0)
ARC-T20	367.4	1.23 (ARC-T20/ARC-T0)
ARC-T30	405.0	1.35 (ARC-T30/ARC-T0)

ARC: アーチ床版 T: 初期引張力

つ増加させる段階荷重で、荷重50kN増加ごとに荷重を0kNまで漸減させる包絡荷重とし、供試体が破壊するまで荷重の漸増と漸減を繰り返した。なお、実験は外ケーブルに初期引張力を供試体ごとに0kN、10kN、20kN、30kN導入した後にいった。

5. 結果および考察

5.1 実験耐荷力 本実験における最大耐荷力を表-1に示す。初期引張力0kN、10kN、20kN、30kNを導入させた供試体ARC-T0、T10、T20、T30の最大耐荷力はそれぞれ、299.4kN、316.2kN、367.4kN、405.0kNとなった。また、初期引張力と耐荷力との関係から、供試体ARC-T0に比して、供試体ARC-T10、T20、T30で、それぞれ1.10倍、1.23倍、1.35倍となり、初期引張力に比例して耐荷力の向上が見られた。

5.2 ひび割れ状況 本実験における破壊状況を図-5に示す。図-5より、供試体の上面のひび割れ形状は、全ての供試体において載荷板（250mm×100mm）の形状で押抜かれており、その他のひび割れは確認できなかった。また、下面のひび割れ状況としては、初期段階では荷重の増加によって載荷板直下付近にひび割れが発生し、その後の荷重増加によって橋軸方向へのひび割れが伸展し、供試体下面の端部間を結ぶひび割れに発展した。さら

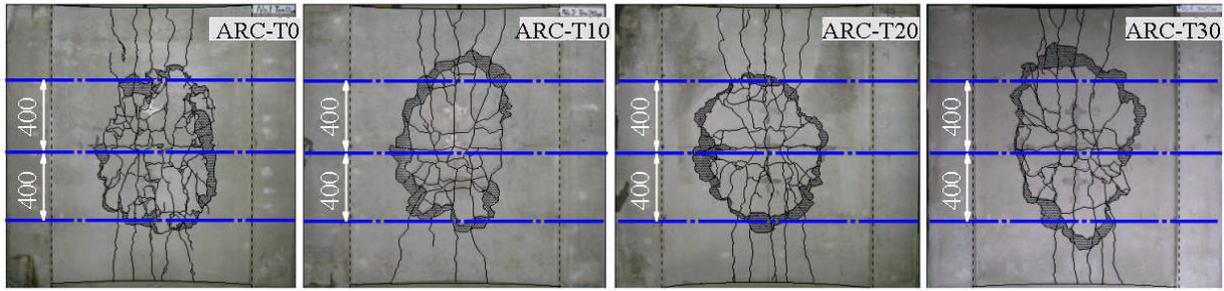


図-5 アーチ床版下面のひび割れ状況

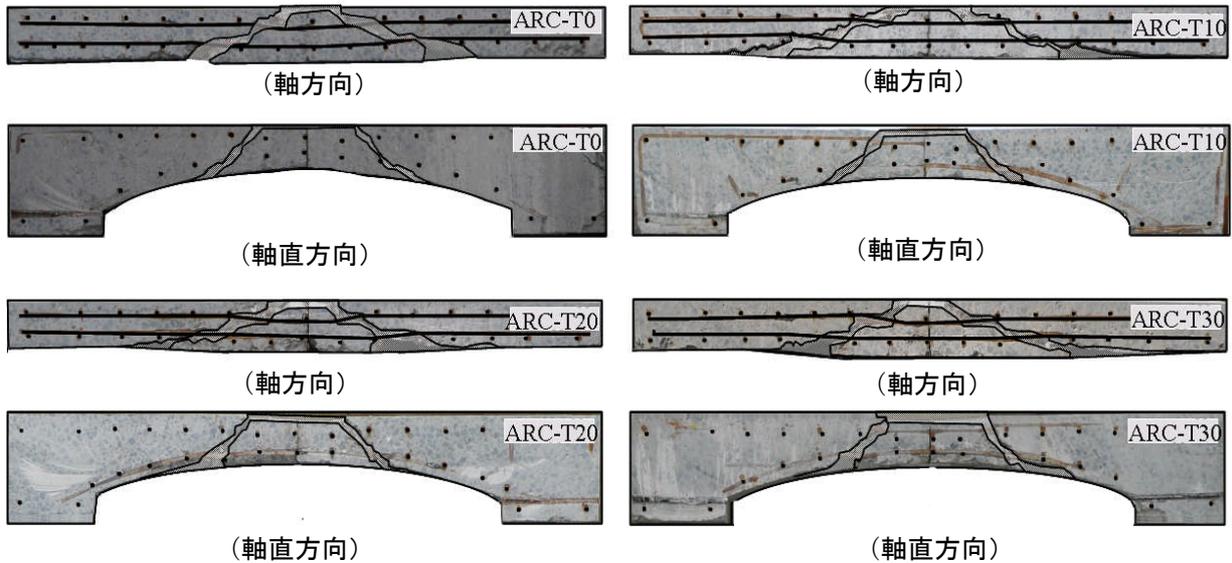


図-6 軸方向・軸直方向ひび割れ状況

に荷重を増加させると、供試体下縁から上縁方向へひび割れが発生し、上縁の圧縮鉄筋付近までひび割れが伸展した。最終的には、荷重増加中に載荷板直下で押抜きせん断破壊を呈した。図-6は軸方向・軸直方向の断面のひび割れ状況を示したものである。同図より全ての供試体で荷重載荷位置から約45度で押抜かれており、引張鉄筋かぶりはダウエル効果の影響によるはく離が確認できた。なお、初期引張力30kN作用させた供試体ARC-T30は、初期引張力20kNを超えた付近から軸方向の上縁および下縁にひび割れが発生したことから、初期引張力の設計が重要であると考えられる。

5.3 荷重と外ケーブルの水平力およびひずみの関係

1) 荷重と外ケーブルに作用する水平力 荷重と水平力の関係を図-6に示す。同図より、供試体ARC-T0では荷重50kN、供試体ARC-T10, T20, T30は荷重100kNまでは直線的な増加を示した。その後の荷重増加では、水平力の増加が大きくなるものの比較的線形的なものとなっている。終局時の最大水平力の平均値は、

供試体ARC-T0, T10, T20, T30でそれぞれ、57.47kN, 68.47kN, 83.70kN, 92.90kNとなり、初期引張力の増加に比例して水平力も増加している。次に、各供試体ごとの荷重と外ケーブルの関係からは、供試体ARC-T0では各ケーブル(①, ②, ③)の最大水平力はそれぞれ、56.07kN, 54.28kN, 62.01kNとなり、ほぼ同様の値を示すことが分かる。これは、外ケーブル間に連続した支圧板を設けて一体構造とさせたことから、各外ケーブルで応力を分担したためであり、分散効果が発揮されていることが分かる。なお、供試体ARC-T10, T20, T30についても供試体ARC-T0と同様な挙動を示した。

2) 荷重と外ケーブルのひずみの関係 荷重と外ケーブルひずみの関係を図-7に示す。同図より、全ての供試体において、外ケーブル(①, ②, ③)のひずみの増加傾向は水平力と同様な傾向を示しており、終局時のひずみの平均値は供試体ARC-T0で 1590×10^{-6} 、供試体ARC-T10で 1740×10^{-6} 、供試体ARC-T20で 2310×10^{-6} 、供試体ARC-T30で 2640×10^{-6} となった。

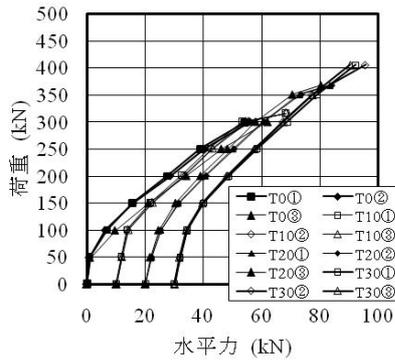


図-6 荷重と水平力の関係

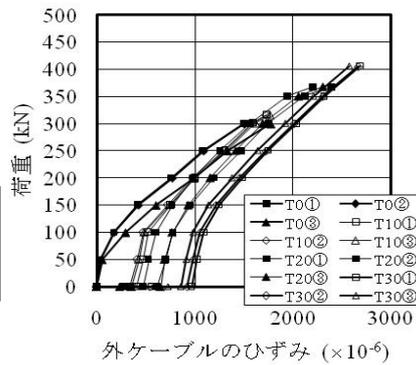


図-7 荷重と外ケーブルのひずみの関係

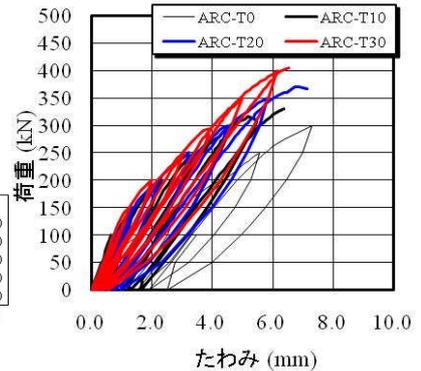


図-8 荷重とたわみの包絡線図

ここで、本外ケーブルに用いたC種1号SBPR1080/1230のPC鋼棒の降伏ひずみを推測すると 5970×10^{-6} である。これを終局時のひずみと比較すると、外ケーブルが降伏する前に破壊に至っていることからアーチ構造としての機能を十分に発揮している。なお、本実験ではC種1号の外ケーブルを400mm間隔で配置したが、配置間隔に関しては今後更に検討する必要があるものとする。

5.4 荷重とたわみ・残留たわみの関係 支間中央における荷重とたわみの包絡線図を図-8に示す。同図より、供試体 ARC-T0 は荷重 50kN からたわみの増加が著しく、最大荷重 299.4kN 時のたわみは 7.29mm である。また、終局時の残留たわみは 2.50mm である。次に、初期引張力を導入させた供試体 ARC-T10, T20, T30 の荷重とたわみの関係は、外ケーブルに導入させる初期引張力に応じてたわみの増加傾向には減少がみられたので、初期引張力を導入することでたわみの増加が抑制されたことになった。終局時のたわみは供試体 ARC-T10, T20, T30 で 6.16mm, 6.26mm, 6.26mm となり、残留たわみは供試体 ARC-T10, T20, T30 で、それぞれ 1.65mm, 0.97mm, 0.54mm であった。

6. まとめ

- ①外ケーブル式アーチ床版の外ケーブルに初期引張力導入させることにより、初期引張力に比例して耐荷力も線形的に増加した。
- ②ひび割れ状況は、初期引張力を導入しない場合は、荷重の増加に伴いひび割れが発生し、押抜きせん断破壊となった。また、外ケーブルに初期引張力を 30kN 導入した供試体はクラウン部の軸方向に初期ひび割れが発生する。破壊モードは押抜きせん断破壊となった。したがって、初期引張力の最大値の決定が重要である。
- ③荷重とたわみの関係は、初期引張力を導入していない供試体は、荷重の増加にともないたわ

みおよび残留たわみの増加が著しい。これに対して初期引張力を導入することによりたわみおよび残留たわみの増加が抑制された。

④荷重と外ケーブルの水平力およびひずみの関係より、各外ケーブル間を連続した支圧板を設けたことから、各外ケーブルに作用する水平力およびひずみには分散効果がみられた。また、すべての供試体で外ケーブルのひずみが降伏する前に破壊に至っており、アーチ支点に及ぼす水平力を外ケーブルで吸収できる構造であることが確認されたことからアーチ構造としての機能を十分に発揮できる構造である。

参考文献

- 1) 八部順一ほか：少数主桁用リブ付きプレキャスト PC 床版の実験的研究，第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，pp. 149-154 (1998).
- 2) 阿部幸夫ほか：各種合成床版の構造と適用例，第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，pp.23-30 (1998).
- 3) 福島慶太ほか：外ケーブル式アーチ型ビームの耐力に関する実験研究，日本大学生産工学部学第 36 回学術講演会，pp.29-32 (2003).
- 4) 木田哲量ほか：少数主桁構造に対応する外ケーブル式アーチ床版に関する実験研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26, No.2, pp.1975-1980 (2003).
- 5) 加々良直樹ほか：アーチ型合成床版の力学特性，土木学会第 56 回年次学術講演会，pp. 410-411 (2001).
- 6) 加々良直樹ほか：アーチ型合成床版の静的および動的荷重下の構造挙動に関する研究，第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp. 91-96 (2003).
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II, III, (2002)