

アーチ型鋼材を用いたラーメン高架橋の梁補強工法

構造物技術研究部 コンクリート構造
研究室長 谷村 幸裕

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下、RC）構造が本格的に鉄道構造物の建設に用いられるようになった大正から昭和初期にかけ、都市部において多くのラーメン高架橋が建設された。これらの高架橋においては、建設からの多くの歳月が経過しているため、耐久性や耐震性の観点から、大規模な改修が必要となる場合がある。

ラーメン高架橋を構成する柱の補強については、平成7年の兵庫県南部地震において、高架橋柱が甚大な被害を受けたことから、精力的に研究開発が行われ、効果的な補強工法が数多く開発された。一方、梁については、スラブと一体となったT形断面であることから、補強材を巻き立てることができないため、施工性に優れた効果的な補強工法がないのが現状である。そこで、本研究では、施工性に優れた高架橋の梁補強工法を開発した^{1)~3)}。

2. 梁補強工法の概要

本研究にて開発した補強工法（以下、本工法）の概要を図1に示す。本工法は、アーチ型鋼材の上側に曲げ補強鉄筋を配置し、アーチ型鋼材とせん断補強鉄筋をボルト接合した状態で、充填コンクリートを打設し、梁を再構築する補強工法である。

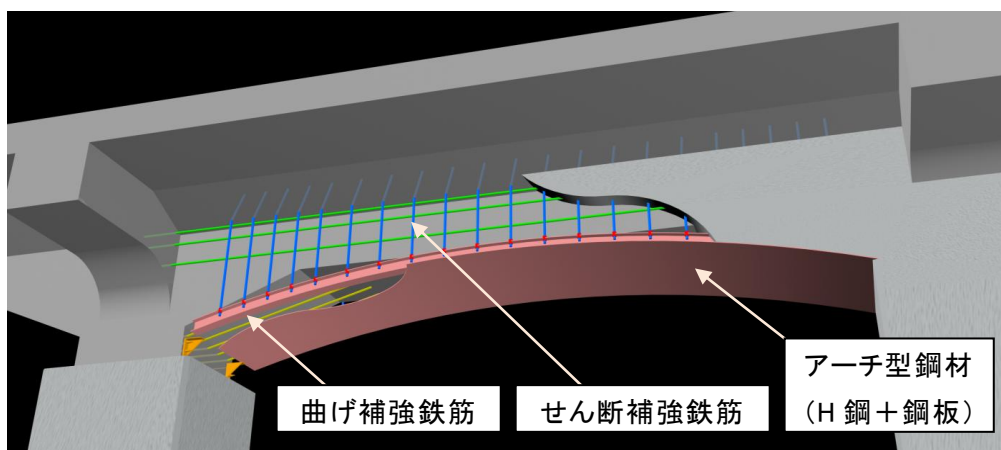


図1 梁補強工法の概要

従来の増厚工法では、既設梁の側面および下面を増厚する際に、底型枠および支保工が必要となり、また、あと施工の補強鉄筋の端部は、フレア溶接による接合が必要となる。一方、本工法では、アーチ型鋼材（図2）を構成する形鋼に設けたボルト孔にせん断補強鉄筋を連結（図3）することによって、アーチ型鋼材が底型枠、せん断補強鉄筋が吊支保工となり、吊型枠、および支保工が不要となる。また、曲げ補強鉄筋は、ずれ止めを設けたアーチ型鋼板に重ね継手として接合するため、フレア溶接が省略できることから、大幅な工期短縮が可能となる。



図2 アーチ型鋼材

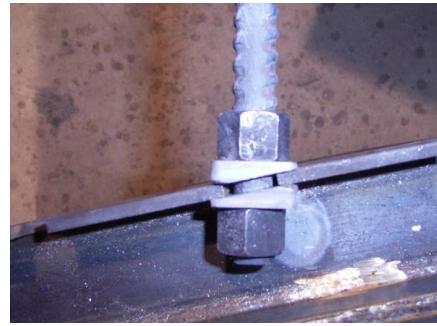


図3 せん断補強鉄筋の接合方法

3. 載荷試験の概要

本工法の補強効果について検討するため、ラーメン高架橋のスラブおよび梁を模擬した試験体を用いた載荷試験を行った。試験体は、ラーメン高架橋梁に作用する地震時の曲げモーメント分布を考慮して、梁スパンの 1/2 をせん断スパンと仮定し片持ち支持に置換した 1/2 縮小試験体とした。試験体の寸法例および断面形状を図4、5に示す。アーチ型鋼材は、アーチ状に曲げ加工した厚さ $t=3.2\text{mm}$ の鋼板とアーチ型に切断した $t=3.0\text{mm}$ の鋼材を溶接により一体化させた。また、鋼板内面には、充填コンクリートとの一体化を図るため、ずれ止め鋼材を配置した。なお、実施工を想定し、試験体は、既設の高架橋梁を模擬した部分を製作後、コンクリート表面の目荒しを行い、補強部を製作した。試験体は、あと施工のせん断補強鉄筋量、せん断スパン比、せん断補強鉄筋の閉合形状、さらに、曲げ補強鉄筋とアーチ型鋼材の継手長や補強鉄筋量をパラメータとした。

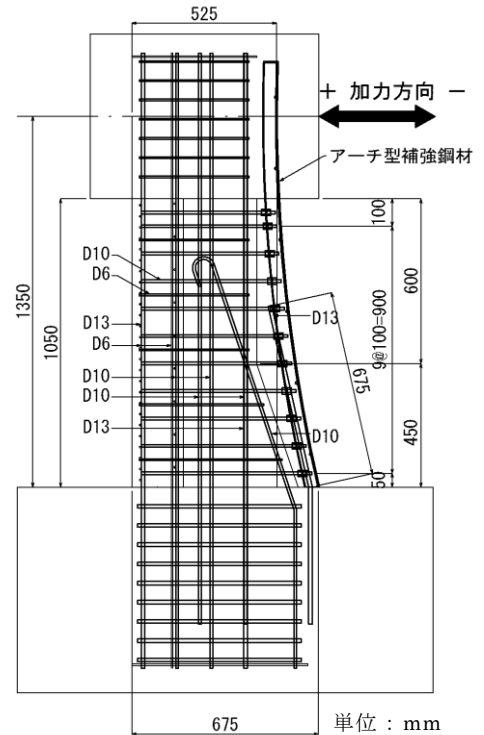


図4 試験体寸法概要

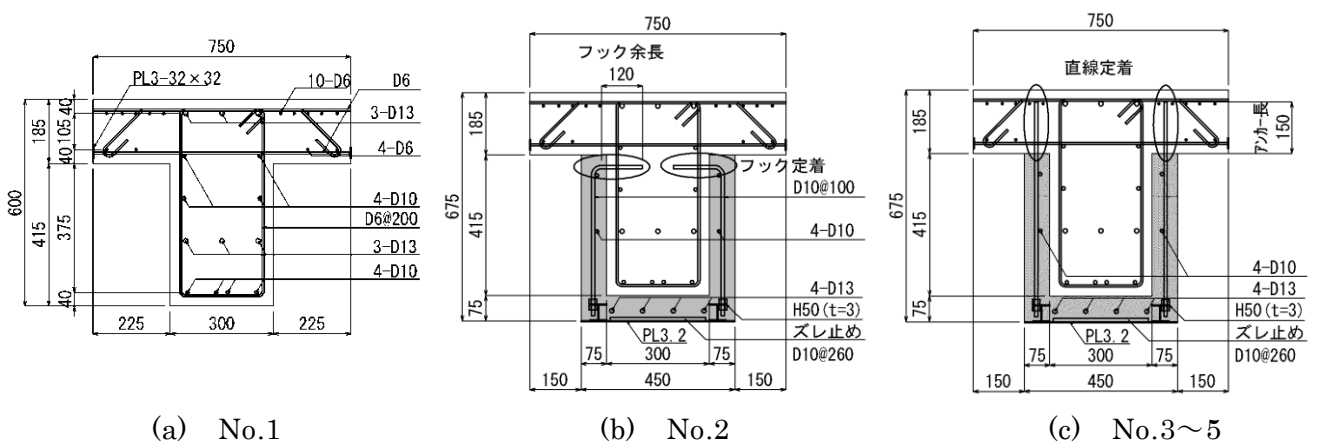


図5 試験体断面図 (単位: mm)

No.1 は、補強前の既設梁を想定した無補強試験体、No.2 以降は、既設梁を本工法にて補強した試験体である。No.2, 3 は標準的と想定した補強量とし、あと施工となるせん断補強鉄筋の施

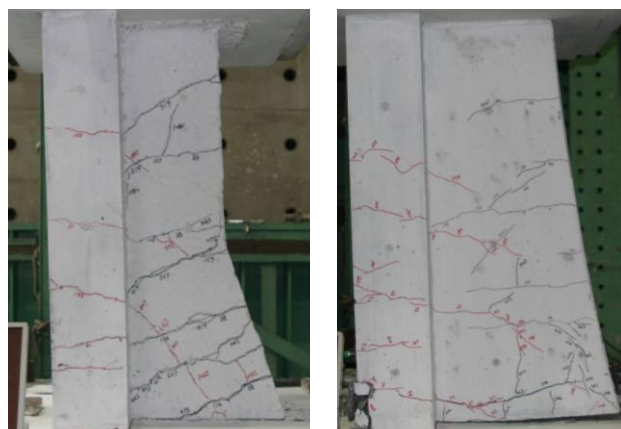
工性を改善する目的で、せん断補強鉄筋の形状を変更している。No.4, 5 は No.3 を基準とし、あと施工のせん断補強鉄筋比を 0.28%から 0.10%に減じた試験体 (No.4)、せん断スパン比を 2 から 3 に変更した試験体 (No.5) である。さらに、本工法では、あと施工の曲げ補強鉄筋とずれ止めを配置したアーチ型鋼材を重ね継手として接合するため、継手部の諸元をパラメータとした試験も実施した。なお、いずれの試験体も曲げ破壊型となるように設計しており、鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物) ⁴⁾ (以下、コンクリート標準) に従って算定した梁下側引張時のせん断耐力と曲げ耐力に達するときのせん断力の比は、1.2~2.0 である。

荷重は、部材角 R により制御した正負交番荷重とし、梁下側が引張となる側を正方向として、 $R=1/1000, 1/500, 1/250, 1/150, 1/100, 1.5/100, 2/100, 3/100, 4/100$ においてそれぞれ 3 回繰返し漸増荷重とした。

4. 補強効果の検討

No.1 および No.3 の破壊状況を図 6 に示す。

無補強の No.1 については、部材角 $R=1/500 \sim 1/250$ の荷重で梁下側およびスラブ側の軸方向鉄筋が降伏し、 $R=4/100$ の荷重で梁下側のハンチ筋が座屈し破断に至った。ただし、梁下側はハンチを有するため、顕著な軸方向鉄筋の座屈はみられなかった。一方、補強試験体は、増厚により部材剛性が増加するため、梁下側の軸方向鉄筋は $R=1/500$ 、スラブ側軸方向鉄筋は $1/500 \sim 1/250$ の繰返しにおいて降伏した。さらに、梁下側の曲げ補強鉄筋に



(a) No.1

(b) No.3

図 6 破壊状況

着目すると、 $R=3/100$ の荷重で座屈したとみられ、アーチ型鋼板のはらみ出しが顕著になった。さらに荷重を繰り返すと、曲げ補強鉄筋が梁端部において破断し、荷重の低下に至った。補強試験体は、梁下側がアーチ型鋼材によって拘束されるため、曲げひび割れが梁端部に局所化する傾向が見られた。ただし、既設梁と補強部の一体性の喪失や、曲げ補強鉄筋とアーチ型鋼材継手部の損傷は観察されなかった。なお、形状の異なるせん断補強鉄筋を用いた No.2, 3 は、実験結果に大きな差は見られなかった。

各試験体の荷重-変位関係を図 7 に示す。図にはコンクリート標準により計算される C 点 (曲げひび割れ発生点)、Y 点 (曲げ降伏点)、M 点 (最大荷重を保持する最大変位点)、N 点 (降伏荷重を下回らない最大変位点) を併記した。

変形性能の算定において、コンクリート標準の方法を適用する場合、横拘束鉄筋としていずれの鋼材を考慮するかが課題となる。梁下側が圧縮となる場合、梁下側の曲げ補強鉄筋は、あと施工のせん断補強鉄筋とアーチ型鋼材により取り囲まれるため、これらの拘束が変形性能に影響すると考えられる。通常、前者の鉄筋量は後者の鋼材量よりも小さいため、計算上は安全側にせん断補強鉄筋のみを横拘束鉄筋とみなすこととした。一方、スラブ側が圧縮となる場合、スラブ側の軸方向鉄筋は、既設梁のせん断補強鉄筋に取り囲まれるため、横拘束鉄筋として既設梁のせん断補強鉄筋のみを考慮して算定することとした。

また、曲げ耐力は、コンクリート標準に従い、スラブ側が圧縮となる場合はスラブを考慮した

T形断面として、梁下側が圧縮となる場合はスラブを無視した長方形断面として算定した。なお、コンクリートの圧縮強度、弾性係数は、計算簡略化のため、比較的強度の低い既設梁の物性値を全断面に適用することとした。なお、アーチ型鋼材は、柱に定着しないため、曲げ耐力の算定においては考慮しないこととした。

曲げ耐力の計算値と実験値を比較すると、スラブ側が圧縮となる場合は概ね両者は一致するが、梁下側が圧縮となる場合は実験値が計算値を上回る結果となった。一方、変形性能に関しては、耐震設計において梁に一般的に要求される損傷レベル2の制限値であるM点変位において、繰り返しによる荷重の低下は見られず、十分な補強効果が得られることが明らかになった。

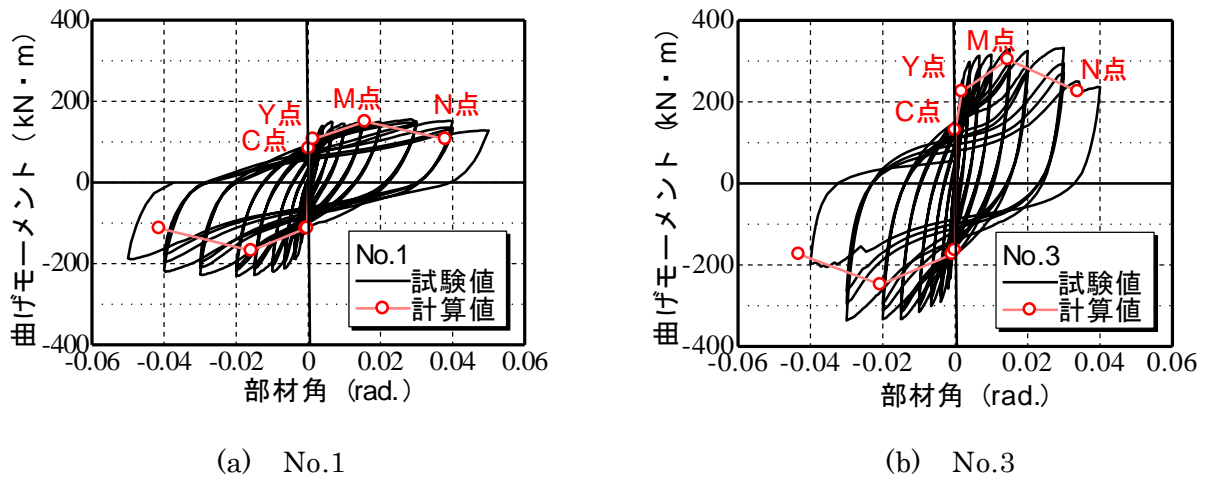


図7 荷重－変位関係

5. まとめ

アーチ型鋼材を用いたラーメン高架橋の梁補強工法の開発に関する本研究の範囲において、以下の知見を得ることができた。

- (1) アーチ型鋼材により補強された梁部材は、既設梁と充填コンクリートが一体となって、曲げ耐力の向上が図れることを確認した。また、補強後の曲げ耐力の算定においては、RC梁と同様に平面保持を仮定することによって、算定できることがわかった。
- (2) あと施工のせん断補強鉄筋を横拘束鉄筋として考慮することによって、補強された梁の変形性能を評価できることがわかった。ただし、スラブが圧縮となる場合においては、軸方向鉄筋を閉合していないため、既設梁のせん断補強鉄筋を考慮する必要がある。

本研究は、東急建設（株）との共同研究の成果の一部をまとめたものである。

文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：既存鉄道コンクリート高架橋梁の耐震補強設計・施工指針（アーチサポート工法編）2010.
- 2) 前田欣昌，黒岩俊之，谷村幸裕，田所敏弥：アーチ型鋼材で補強したT形RC梁の変形性能に及ぼすせん断補強鉄筋の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.2，pp.1087-1092，2010.7.
- 3) 田所敏弥，谷村幸裕，轟俊太郎，前田友章，前田欣昌：アーチ型鋼材を用いたラーメン高架橋梁の補強工法の開発，鉄道総研報告，No.25，Vol.1，2011.1.
- 4) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），2004.