

大規模修繕工事の床版下面補強に関する検討

後藤雄太¹・田村敬介¹・林田慈大¹・野月理絵¹

¹ 名古屋高速道路公社 整備部 工事課（〒453-0804 名古屋市中村区黄金通7-28-1）

名古屋高速道路公社では、古い基準で設計された主要構造物に対して、平成27年度から15年間の計画で大規模修繕工事を実施している。工事の主体であるRC床版の下面補強に関する検討、施工を行った内容を報告する。

キーワード：大規模修繕工事、床版補強、RC床版、耐久性、輪荷重走行試験、維持管理

1. はじめに

名古屋高速道路公社では、古い基準で設計された主要構造物に対して、平成27年7月に「名古屋高速道路の大規模修繕計画」を策定し、計画的に大規模修繕工事を実施することにより、構造物の長寿命化を図ることとしている。

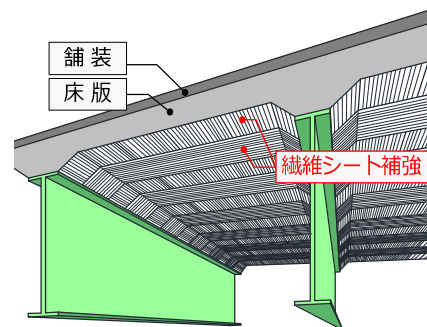
平成27年度より工事に着手し、開通年度の古い区間である高速3号大高線、高速5号万場線、高速1号楠線より順次、大規模修繕工事を進めている。現在、計画の対象路線37.9kmについて計画通り工事を進め、昨年度末までに14.6km（38%）が工事を完了している。（図-1）

大規模修繕工事の具体的な工種として、コンクリート床版上面の高機能防水、コンクリート床版下面の繊維シートによる補強、伸縮装置の改良、桁端部の重防食塗装、コンクリート橋脚の表面保護等を実施している。中でも工事の主体となる鉄筋コンクリート床版（以下、「RC床版」という）の下面補強について、その補強方法および施工に関する検討について報告する。



2. 床版下面補強における検討事項

名古屋高速道路では、最も古い昭和47年道路橋示方書にて設計された床版（以下、「S47床版」という）が、床版厚が薄く、補修、補強が必要な箇所が増加してきているため、大規模修繕工事にて床版下面に連続繊維シート接着工法を選定し補強を行っている。劣化したRC床版の補強方法には、上面増厚工法、鋼板接着工法等が挙げられるが、維持管理性と剥落防止機能の優位性から床版下面への繊維シートによる補強工法を採用することとした。（図-2）



既往の研究¹⁾では、昭和39年道路橋示方書にて設計された床版（以下「S39床版」という。）に対するアラミド繊維補強シートの補強効果は確認されているが、S47床版に対してどの程度の補強効果があるのかについては十分確認されていなかった。大規模修繕工事を実施するにあたり、初期損傷を与えたS47床版を対象に二方向アラミド繊維シートで補強した場合の疲労耐久性について、輪荷重走行試験により確認することとした。（写真-1）

S39床版が平成8年道路橋示方書に基づいて設計された床版（以下、「H8床版」という）と同等以上の疲労耐久性を有するためには、S39床版に対して、二方向アラミド繊維シート二層貼りまたは高強度炭素繊維シート二方向二層貼りが必要となることが既往の研究¹⁾²⁾から明らかとなっているが、S47床版にそのまま適用すると過大な設計になる可能性があった。

そこで、試験実施にあたり、S47床版に対する二方向アラミド繊維シートの適切な補強量を推測するため、標準断面での終局曲げモーメントを試算し比較した。（現地調査結果からRC床版の圧縮強度 $\sigma_c=24\text{N/mm}^2$ で算定。）

その結果、S47床版に対して一層貼りをういた場合、H8床版と同等以上の終局曲げモーメントを有し、かつ、2層貼りほど過剰とされない十分な補強量であったため（表-1）、一層貼りを適正補強量と想定して輪荷重走行試験を実施した。

3. 輪荷重走行試験による補強効果の確認

(1) 試験体概要

床版試験体は、名古屋高速道路のS47床版を模して、床版支間2500mm、橋軸方向3500mm、橋軸直角方向2800mm、



写真-1 輪荷重走行試験実施状況

表-1 各種補強による終局曲げモーメントの比

RC床版の種別	RC床版諸元	終局曲げモーメント (kN・m)
名古屋高速床版	現状断面	314.670 (0.81)
[S47 床版] $\sigma_c=24(\text{N/mm}^2)$	補強断面 二方向アラミド (50×50)	1層 440.712 (1.14)
		2層 512.636 (1.33)
	現状断面	主鉄筋径 D19 386.142 (1.00)

厚み190mm、主筋D19、配力筋D16のハンチ付きRC床版とし、橋軸方向に弾性支持、橋軸直角方向に単純支持とした。コンクリート強度は合成桁の床版設計基準強度 35.0N/mm^2 に対し、実橋S47床版の調査結果では、強度低下が確認されたことから、強度低下を加味したものも含め呼び強度が異なる2体（呼び強度18、24）を作成した（以下、「A1」、「A2」という）。試験体概要を図-3、試験体のコンクリート圧縮強度を表-2に示す。

また、二方向アラミド繊維シートには、保証耐力50tf、目付量 870g/m^2 、引張剛性 28.3kN/mm の製品を使用した。

（表-3）なお、補強範囲は橋軸方向2800mm、橋軸直角方向2250mmとし、二方向アラミド繊維シートを一層全面貼りとした。

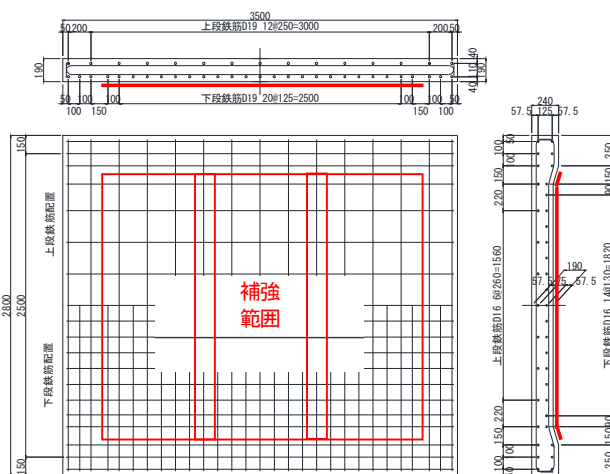


図-3 試験体及び補強範囲

表-2 試験体のコンクリート強度

圧縮強度	A1	A2
試験開始時 ^{※1}	26.8N/mm ²	33.6N/mm ²
試験終了時 ^{※2}	22.1N/mm ²	29.6N/mm ²

※1 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の供試体を試験。

※2 床版試験体から $\phi 80 \times 160\text{mm}$ のコアを採取

表-3 補強に用いた繊維補強シート詳細

AK-50/50		2方向アラミド繊維シート 【耐力:50tf/50tf】	目付量 870(g/m ²) 設計厚 0.24(mm) 弾性係数 $1.18 \times 10^{-5}(\text{N/mm}^2)$
		プライマー	エポキシ樹脂系の接着強化型プライマー
		含浸用樹脂(接着剤)	エポキシ樹脂系の含浸用樹脂
		事前含浸	必要
		仕上げ用塗料	耐候性樹脂

(2) 試験内容

輪荷重走行試験機は自走式（ゴムタイヤ）を用い、試験体2体の同時載荷とした。載荷方法は輪荷重157kNから4万回毎に19.6kNずつ階段状に荷重を増加させ、本試験機の性能上の最大荷重である235kNに達するまでの計20万回とし、床版中央変位、鉄筋のひずみ等を計測した。

初期損傷として既往の研究³⁾⁴⁾を参考に、床版中央変位

が6mmに達し、4方向曲げひび割れが発生する段階になったこと(図-4)を確認して、事前含浸を行った二方向アラミド繊維シートによる下面の補強を実施した。

(3) 試験結果

試験は、最大荷重235kNまで階段載荷し、20万回まで輪荷重を与えた段階で、床版が終局状態に至る前に終了した。A1、A2ともに累計20万回に達しても床版破壊には至らず、147kN換算走行回数であれば約2,300万回以上の耐久性を有していた。両者の残留変位はほぼ同一で、輪荷重による変位には若干の差が確認された。(図-5)

図-6には、147kNに換算した走行回数と、床版中央の総変位(たわみ)を示す。なお、別で実施された無補強(呼び強度18N/mm²)のS47床版の試験結果を比較に示す。

各試験体は、走行回数が増すにつれ徐々に差が現れ、A1では約93,000回(147kN換算)、A2では約292,000回(147kN換算)でたわみが6mmに達して補強を行った。

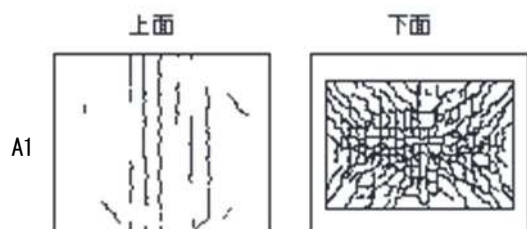


図-4 ひび割れ発生状況 (A1補強前)

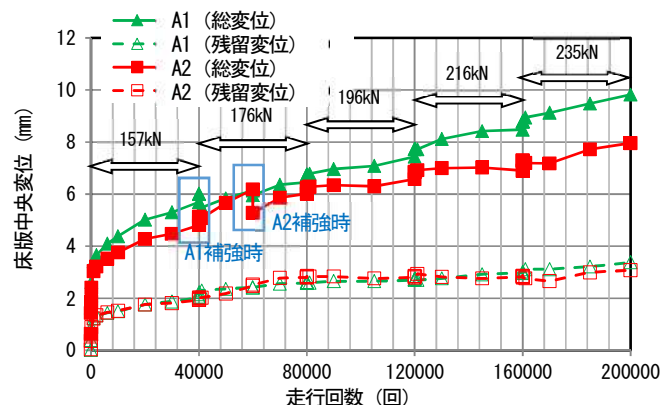


図-5 走行回数と床版中央変位の関係

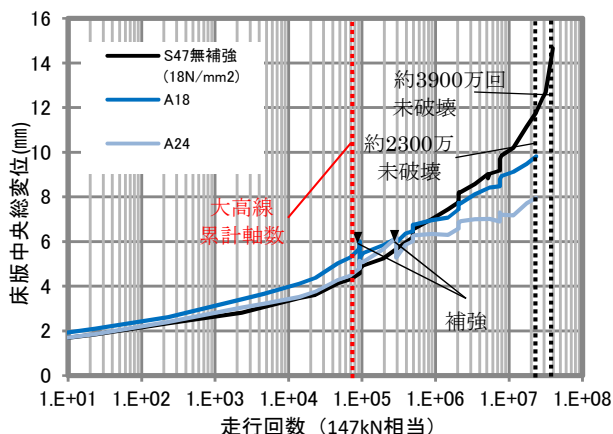


図-6 147kN換算走行回数と床版中央総変位の関係

このことから、圧縮強度が床版のたわみ方や損傷の進行具合に影響を与えることが確認できた。

試験終了時点でのたわみ量は、無補強の試験体で14mmを超えているが、A1やA2では補強によりたわみが抑えられていることが確認できる。既往の研究²⁾では、たわみが14mm程度で押し抜きせん断破壊しており、破壊に近づくにつれたわみが対数関数的に増加する。これに対し、A1は補強後から徐々に無補強と異なる挙動を示し、疲労耐久性が向上していることが確認できる。A2も同様にたわみ量が補強により抑制されたことで、疲労耐久性の向上が確認できた。

加えて、名古屋高速料金所に設置されている軸重計での10t (98kN) を超える超過軸重車輛の走行データから、3号大高線の第一期供用を開始した区間におけるこれまでの累計輪荷重回数が、約74,000回(147kN換算)であることが分かっており、試験における補強タイミング(床版の損傷程度)が、名古屋高速道路のS47実橋床版の補強時期と大きく乖離していなかった。また、今回試験を行った2つの試験体は、補強後2300万回(147kN換算)以上の輪荷重を受けても未破壊であった。

既往の研究²⁾によると、床版の貫通ひび割れから水が進入した場合、疲労寿命が1/300~1/80程度に低下するとされており、仮に300倍の速さで疲労損傷が進行するとしても補強後30年は床版が破壊に至らないことになる。

実際には計画的な集中工事(リフレッシュ工事等)で定期的に防水工を施工するため、極端な水侵入が避けられると考えており、名古屋高速道路のS47床版に対しては、二方向アラミド繊維シートの1層全面貼りにより、十分な疲労耐久性の向上効果が期待できることを確認できた。

この他、床版補強前後における床版下段鉄筋のひずみを比較すると、試験体A2、A1のひずみがそれぞれ38%、30%低減され、補強による床版曲げ剛性が回復したことを確認できた。また、試験終了後に床版を切断して内部の確認を行ったところ、両試験体ともに貫通ひび割れを視認できず、床版は健全な状態を保っていた。

4. アラミド繊維シートの施工に関する検討

(1) 施工後に確認された課題

平成27年度より大規模修繕工事にて施工した繊維シートについては、工事完了後約1年が経過した時点で定期点検を実施したところ、繊維シートの一部にシートの浮きが確認された。(写真-2)なお、この不具合については、工事完了時に出来型検査(近接目視、打音検査)を実施した時点で異常は確認できなかった。

定期点検で確認された繊維シートの不具合については、高速3号大高線で施工済みの約8,700パネルのうち、141パネル(1.6%)で繊維シートに浮き(一部)が確認された。



写真-2 繊維シート一部浮きの様子

(2) 床版下面の繊維シート不具合の原因

シートに浮きが生じている床版について、繊維シート補強工の施工時期をまとめると、冬期（12月から1月）の施工に不具合が集中していることが分かった。（図-6）

また、施工時の温湿度管理については、施工日毎における外気温が5℃を超えかつ湿度が80%未満を確認して施工を実施しているが、養生期間を含む全工程では管理条件から外れる可能性が確認された。

損傷の現状から原因を推定するため各種試験を実施したところ、接着剤として使用しているエポキシ樹脂の混合不良や含浸接着剤の浸透不足などは見られなかった。

養生期間を含めた全工程の最低気温は、一部で施工の条件である5℃を下回っており、湿度は80%未満での施工が推奨されているが、最高湿度は近い値またはそれ以上の値となっている。このことにより、施工した繊維シートの一部で接着部に何らかの不純物が生成され、接着力の低下がシートの浮きに影響したと推定した。

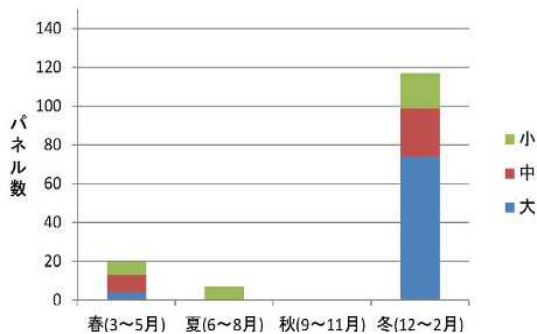


図-6 不具合箇所の施工時期

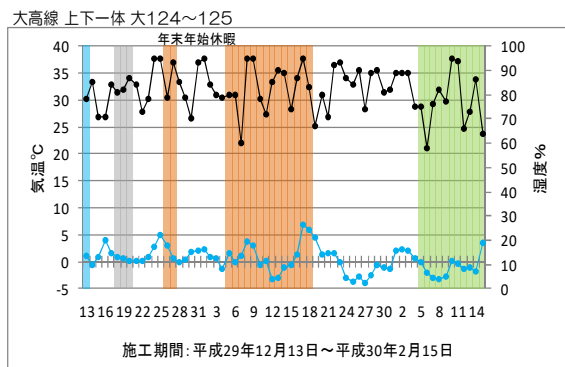


図-7 不具合箇所の各施工日の最低気温及び最高湿度

(3) 現在の対応

現在は、これまでの施工管理項目に以下に示す項目を追加して施工を実施している。

- ・施工日毎（施工時・養生時）の温湿度管理を記録。

(写真-3)

- ・施工日は養生期間を含め24時間温湿度管理を行い、期間中に温度5℃以下、湿度80%以上の時間帯があった場合は、不純物の発生の可能性を考慮し、施工面をサンドペーパーなどで目荒らしして次工程に進む。

- ・施工完了時に繊維シートの付着強度試験を実施し、付着強度を確認する。（写真-4）



写真-3 温湿度管理実施状況



写真-4 温湿度管理実施状況

5. おわりに

今回、大規模修繕工事における床版下面補強に関しての検討、検証を行った結果、名古屋高速道路のS47床版に対して、二方向アラミド繊維シート（保証耐力50tf）を一層全面貼りすることで、十分な疲労耐久性を確保できることが確認できた。本検討により、名古屋高速道路へ適用する最適な床版下面の繊維シートの補強量を決定した。

今後も大規模修繕工事を進める中で、必要な検討を進めるとともに、「安全」「安心」「快適」な高速道路を目指し、修繕工事を確実に推進していく。

参考文献

- 1)土木研究所:道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書(その4),2001,1(共同研究報告書第262号)
- 2)土木研究所:コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書(Ⅲ)-炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針(案)-,1999,12(共同研究報告書第235号)
- 3)土木研究所:コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書(Ⅰ),1999.3
- 4)国総研、大阪大学大学院、大阪工業大学、九州工業大学、(社)日本橋梁建設協会:道路橋床版の疲労耐久性に関する研究,2008.8
- 5)松井繁之:招待論文 輪荷重走行試験機を主体とした床版研究の動向,2009.3(構造工学論文集Vol55A)