鉄道 RC ラーメン高架橋中間スラブ補強工法の性能評価法に関する検討

日本交通技術 正会員 〇綿引 泰治 非会員 加藤 雅史 鉄道総合技術研究所 正会員 仁平 達也 正会員 笠倉 亮太 正会員 岡本 大

1. はじめに

近年,鋼材腐食等による RC ラーメン高架橋の中間スラブ底面の変 状が散見される.そこで,高強度かつ高い耐久性を有する超高強度繊 維補強コンクリート¹⁾(以下,UFC)に着目し,UFCパネルを引張材 として中間スラブ下面に連続的に設置する補強工法を開発した.具体 的には,図1に示すように,既設 RC ラーメン高架橋の中間スラブ底 面に設置したアンカー鉄筋にUFCパネルを吊り下げ,UFCパネルを 鋼材(以下,接続鋼材)で線路方向,線路直角方向共に連結させ,こ れを型枠として既設中間スラブとUFCパネルとの間にモルタルを充 填し(以下,補強部),既設スラブとUFCパネルを一体化させる工法 である²⁾.図1に標準的な断面図を示す.なお,本工法は,補強部の 設置による死荷重の増加を抑えるために,鉄筋の付着が確保できる最 小の断面高さの増加に抑え,永久作用の増加を抑えている.

以下では、本工法に関する、載荷試験結果を踏まえた、曲げモーメントに関する安全性の破壊と疲労破壊に関する照査方法を構築し、これを用いて、鋼材腐食を想定した中間スラブの性能照査を行った.

2. 載荷試験結果を踏まえた安全性に関する項目の検討

既往の実験結果²⁾を以下に示す.試験体は実スラブと同一の部材厚 とし,載荷方法は3点曲げとした.補強部と既設スラブの境界部には, ポリエチレンフィルムを設置し,定着部とアンカー筋で力を伝達する 構造とした.

図2に静的載荷試験結果を示す.目視によるUFCパネルのひび割れ 発生の確認後、軸方向鉄筋が塑性化し曲げ圧縮破壊することが分かっ た.これに関して、既設スラブと補強部を一体とした、RC 断面で検 討した場合、実験値を概ね評価出来ることを確認した.

表1に死荷重と実列車通過時に作用する引張応力度を想定した 200 万回の疲労試験結果を示す.UFCパネル自体のひび割れは確認されず UFCパネルの継目位置のモルタルにひび割れが発生することや、繰返 し載荷による剛性の低下は小さいことを確認した.また、鋼材とUFC パネルを連結するボルトやボルト周辺のUFCパネルにひび割れは確 認されず、接続鋼材 (SS400) はUFCパネル同士を全強していること を確認した.

以上より、想定される最大作用に対する破壊の照査は、補強後の供 用期間中に、既設スラブと補強部を一体化した RC 断面により検討す ること、想定される繰返し作用に対する疲労破壊の照査は、同じく RC 断面とし、補強鉄筋と接続鋼材の疲労強度を検討することが、本工法 の安全性を評価する手法として妥当であると考えられる.

3. 補強した構造物の性能評価に関する検討

3.1 検討に用いた既設中間スラブおよび想定する列車荷重 一般的 な鉄道構造物である,複線,直線スラブ軌道のRCビームスラブ式ラ ーメン高架橋の中間スラブ(線路方向:9250mm,線路直角方向:



表1 疲労試験における曲げ剛性²⁾

載荷回数	剛性	1回目に	
(回)	(kN/mm^2)	対する割合 (%)	
1	192.6	100	
10	172.2	89	
100	166.6	87	
1000	166.1	86	
1万	164.8	86	
10万	180.7	94	
100万	178.2	93	
200万	178.5	93	

4250mm)が鋼材腐食した場合を想定した.最下縁の橋軸直角方向の鉄筋,すなわち軸方向鉄筋の腐食による平均質量減少率は15%と35%とした.図3に、腐食がない時点の橋軸直角方向の照査断面を示す.列車荷重は、破壊に関して EA-17としこれを標準列車とした.疲労破壊に関して旅客列車と貨物列車とし、80本/日、75本/日とした.設計耐用期間は100年、補強開始時点で供用30年とした.すなわち、補強後に想定する耐用期間は70年となる.

キーワード: 補修・補強, RC ラーメン高架橋, 中間スラブ, 超高強度繊維補強コンクリート 連絡先:〒110-0005 東京都台東区上野 7-11-1 Tel: 03-3842-9169



図3 腐食がない時点の橋軸直角方向の照査断面

表2 破壊照査時の作用曲げモーメント(kN・m)				
昭本侍平	補強前		補強後	
照111100	永久作用	変動作用	永久作用	変動作用
支点上側	-16.7	-47.1	-19.0	-49.1
ハンチ始点上側	-7.2	-21.7	-8.2	-22.9
径間中央下側	7.9	40.2	9.0	41.8

表3 疲労破壊照査時の作用曲げモーメント(kN・m)

四木台平	補強前		補強後	
<u> </u>	永久作用	変動作用	永久作用	変動作用
支点上側	-15.1	-37.1	-17.3	-38.7
ハンチ始点上側	-6.5	-17.1	-7.5	-18.0
径間中央下側	7.1	31.7	8.2	32.9

※永久作用:死荷重(補強前:既設スラブ,補強後:既設スラブ+補強部) ※変動作用:列車+衝撃荷重

表4 破壊に関する照査値 補強前 補強後 照查位置 15%* 35%* Case1 Case2 支点上側 0.68 0.73 ハンチ始点上側 0.71 0.58 径間中央下側 1.05 2.38 0.38 0.47

※平均質量減少率

表5 疲労破壊に関する照査値(径間中央:補強鉄筋)

	Case1	Case2
σ_{min} (N/mm ²)	6.0	6.0
$\sigma_{\rm srd}$ (N/mm ²)	49.0	64.0
f _{sr200} (N/mm ²)	186	186
f _{srd} (N/mm ²)	348	348
照査値	0.16	0.20

※σ_{min}: 永久作用時の応力度, σ_{max}:変動作用時の応力度, f_{s200}: 200 万回引張疲労強度, f_d:設計引張疲労強度

なり 放力成数に広力 公示且但(圧向) て入 うめい啊

	Case2	Case3
σ_{min} (N/mm ²)	6.8	7.0
σ_{max} (N/mm ²)	64.4	80.6
$\Delta \sigma_{fud}$ (N/mm ²)	57.6	73.6
$\Delta \sigma_{cod'}$ (N/mm ²)	115(強度等級 C)	115(強度等級 C)
照査値	0.50(疲労限以下)	0.64(疲労限以下)

※σ_{min}: 永久作用時の応力度, σ_{max}:変動作用時の応力度, Δo_{fad}: 振幅 応力度, 強度等級は円孔を有することを考慮, Δo_{cod}: 疲労限の応力度

3.2 照査方法の概要 最下縁鉄筋の平均質量減少率が 15% (Case1) と 35% (Case2) の 2 ケースで検討し, それぞれ 補強鉄筋 (D13 を 150mm ピッチ) を設置した. 腐食した鉄筋は,鉄道構造物等維持管理標準・同解説 (構造物編) コ ンクリート構造物 ³に準じ,平均質量減少率の補正係数(破壊:2,疲労破壊:3) を考慮した. 文献 1) に準じ UFC パ ネルを引張材とした各照査位置(支点上側,ハンチ始点上側および径間中央下側) での RC 断面計算を行った. 破壊は 力を照査指標とし,曲げ圧縮破壊時の耐力について,疲労破壊は応力度を照査指標とし,補強鉄筋と継目位置の鋼材の 疲労破壊について検討した. なお,接続鋼材の応力度は,UFC パネルに発生するひずみから算出した. 照査方法や各安 全係数等は,鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)⁴,および(鋼・合成構造物)⁵に準じた.

3.3 補強部が作用に及ぼす影響 図2に示すように、既設スラブの部材厚は250mm、補強部の部材厚は62mm(UFC パネル16mm、無収縮モルタル46mm(軸方向にD13,配力方向にD10の鉄筋SD345の配置を想定))である. **表2**と**表3**に、補強前と補強後に作用する曲げモーメントを示す、補強部の設置に伴う作用の増加は最大でも10%以下となる.

3.4 照査結果に関する検討 表4に破壊に関する照査値を示す.ハンチを有する支点は、上側引張かつ端部であり、補 強部設置に伴う断面増加がないため照査値が増加する.ハンチ始点は、同じく上側引張となるが、補強部による断面高 さの増加に起因し照査値が小さくなる.径間中央は、下側引張となり、補強前は照査を満足しないが、補強鉄筋やUFC パネルが引張材として寄与することで照査を満足する.疲労破壊に関する検討において、補強鉄筋に関して、列車荷重 の等価繰返し回数は標準列車に換算した結果、支点上側とハンチ支点上側は1.96万回/年(供用70年:137万回)、径間 中央下側は3.79万回/年(供用70年:265万回)となる.このうち、支点とハンチ始点は、応力振幅が小さく、繰返し 回数が少ないため照査は省略となる.径間中央は表5に示すように、照査値はCaselで0.16、Case2で0.20となりの照 査値を満足する.接続鋼材に関しては、表6に示すように、応力振幅が疲労限以下となり照査を満足する.以上より、 本工法は、曲げモーメントに対する安全性を満足することを確認した.なお、疲労破壊に関して鉄筋の照査値は小さく、 鋼材は疲労限以下となることから、補強後に想定する耐用年数以上となっても要求性能を満足することが推測される.

4. おわりに

UFC パネルを用いて鉄道 RC ラーメン高架橋中間スラブを補強する工法について、載荷試験結果を踏まえた、曲げモーメントに関する安全性の破壊と疲労破壊に関する照査方法を構築した.これを用いて、鋼材腐食を想定した、一般的な形状の中間スラブについて、補強後の性能照査を行い、安全性を満足する照査結果を得ることを確認した. 参考文献: 1)(社) 土木学会: コンクリートライブラリー113 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), 2004.9 2) 仁平達也、笠倉支太、黒岩俊之、前原

登入前、1)(位) 1/(中学生、コンクリードガイワクリード) 13 起前動要線維曲強コンクリードの広前 2 施工時間(保),2004,9 2) ビー学達は、立者元次、並右夜之、前赤 聡、岡本大: 超高強度繊維補強コンクリード板を用いた鉄道 RC ラーメン高架橋中間スラブの補強工法の開発、コンクリード構造物の補修、補強、アップグレード論文報告 集、Vo.14、pp.453-460、2014.10 3)(財)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編) コンクリード構造物、2007.1 4)(財)鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリード構造物、2004.4 5)(公財)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物、2009.7