

論文

[2192] 鋼床版上 RC 高欄のひびわれ発生メカニズムに関する研究

鈴木宏信^{*1}・児島孝之^{*2}・幸左賢二^{*3}・松本茂^{*4}

1. はじめに

阪神高速道路湾岸線においては、支間および幅員の長大化、軟弱な地盤に支持層を設けること等から重量軽減化のために鋼床版が多く用いられている。また、鋼床版上の高欄、分離帯の構造は材料面から鋼製高欄、RC高欄（RC壁型剛性防護柵）に大別することができる。阪神高速道路公団においては、鋼製高欄は、車両の衝突を受けた場合、損傷箇所の補修が困難である、現場溶接部において亀裂が発生しやすい等の理由により、昭和46年よりRC高欄を標準とし現在に至っている[1]。

昭和62年頃より、建設中の阪神高速道路湾岸線鋼床版上のRC高欄において、多数の鉛直ひびわれの発生が認められた。このため、これらのひびわれ制御対策として、伸縮目地の設置や膨張材の使用を実施した。しかし、これらの改良法ではひびわれの発生の抑制は可能であるが、完全にひびわれの発生を抑止することは困難な状況にあることが判明した。

本報告は、実橋に発生したひびわれ対策についての基礎資料を得るために、模型供試体を作製し、耐久性的観点からの検討を行った試験結果について述べるものである。

2. 実橋でのひびわれ発生状況調査および対策の経緯

調査対象とした橋梁の概要を表1に示す。

ひびわれ制御対策を施していない新淀川橋梁工区のRC高欄に、コンクリート打設後約2ヶ月の調査でひびわれが、幅0.05～0.08mm、間隔0.3～1.5m程度で発生していることが確認された。その後ひびわれは時間の経過とともに発達し、約2年後に、ひびわれ幅が0.05～0.4mm（平均0.21mm）、ひびわれ間隔が0.5～1.0m（平均0.59m）に増加した。代表例を図1に示す。このひびわれは、従来のRC高欄における乾燥収縮等により発生するひびわれに比べ、方向が鉛直であること、ひびわれ幅が大きいことから特異な原因によることが推定された。また、高欄の内・外側ほぼ同位置に発生しており、ひびわれが貫通していることが懸念された。

このため、コンクリートの収縮に対する配力鉄筋の拘束度、および温度変化による橋梁変形が高欄に与える影響を調べるため、高欄の上部と下部のコンクリートひずみ、配力鉄筋ひずみおよび高欄底部のデッキプレートの軸方向ひずみの実測を行った。また、RC高欄のひびわれの発生原因を推測するため、温度変化および乾燥収縮によってRC高欄に発生する応力解析を行った。さらに、実橋と同一断面で長さ1.5mの模型高欄供試体を作製し、実橋高欄と同一条件で打設し、乾燥収縮以外の影響を受けないように配慮したうえで暴露試験を行った。

これらの現場実測および数値解析結果から、RC高欄のひびわれの発生の主因は、鋼床版の温

*1 (株)中研コンサルタント技術第一部コンクリート技術課、工修（正会員）

*2 立命館大学理工学部土木工学科、工博（正会員）

*3 阪神高速道路公団工務部設計課、Ph.D（正会員）

*4 阪神高速道路公団第三建設部設計課

度変化に伴う鋼桁の変形が高欄コンクリートによって拘束されることによって生じる軸引張力によるもので、乾燥収縮による影響は小さいものと判断した。また、ひびわれは高欄断面を上端から下端へ貫通していることが推定された。

このため、新淀川橋梁工区を除く各工区において、各種目地を10m間隔で設置するとともに、膨張材添加コンクリートを採用することにより、無対策である新淀川橋梁工区と比較して大幅な改善が認められ、目地の設置および材料面からの改善の有効性が確認された[2][3]。

しかし、高欄のひびわれ対策によって、従来の高欄と比較して、ひびわれ本数およびひびわれ幅ともに減少するが、追跡調査によると幅0.2mm未満のひびわれが1.5m程度の間隔に生じていることが明らかとなり、完全にひびわれの発生を抑止することはできなかった。

表-1 各工区の試験施工内容と調査結果

工区名	施工年月 (高欄コンクリート打設日)	試験施工の内容		平均ひびわれ発生 間隔(m)	平均ひびわれ幅 (mm)
		設計面での改良	施工面での改良		
新淀川橋梁	昭和60年10月	なし	なし	0.59	0.21
正蓮寺川橋梁	平成1年6月下旬	切欠中央にφ25mmの塩ビ管を埋設した改良型収縮目地を10mピッチで設置。	なし	0.62	0.13
			膨張材30kg/m ³ 混入	0.68	0.09
末広第2工区	平成2年11月27日	完全に縁を切った伸縮目地を10mピッチで設置。	膨張材30kg/m ³ 混入	1.18	0.14
中島川橋梁	平成3年5月31日	地覆部は連続化し、高欄部は伸縮目地を10mピッチで設置。	膨張材35kg/m ³ 混入	0.91	0.07
鳴尾浜第1工区	平成4年5月6日	完全に縁を切った伸縮目地を10mピッチで設置。	膨張材35kg/m ³ 混入	1.00	0.07
		従来型のV字カット目地を約10mピッチで設置。	膨張材35kg/m ³ 混入	5.41	0.11

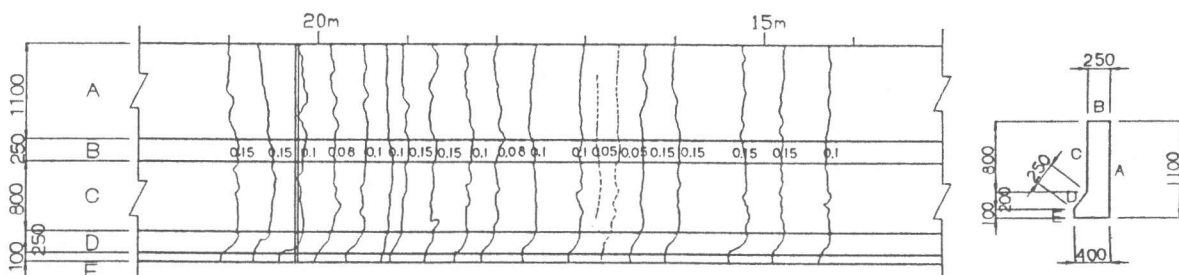


図-1 ひびわれ発生状況図 (新淀川橋梁)

これらの結果を踏まえて、現状の対策では、まだ発生が想定されるひびわれを放置した場合のひびわれ損傷および鉄筋腐食の進展状況およびひびわれ補修効果の確認を行うために模型供試体を作製し、各種試験を実施した。

3. 模型供試体による耐久性検討

3.1 実験概要

実橋において主として軸引張力により発生している貫通ひびわれを再現するために、供試体を作成し、正負交番曲げ荷重により貫通ひびわれを発生させた。ついで、供試体の促進腐食環境下（中性化、塩水噴霧）および自然環境下における経時変化を外観調査、自然電位測定、荷重試験、鉄筋はつり出し試験により評価した。

表-2 試験条件一覧表

供試体No.	目標ひびわれ幅	補修の有無	養生方法
①	0.2mm	なし	中性化(2ヶ月) →大気中暴露(塩水噴霧)
②	0.2mm	樹脂注入+コンクリート表面塗装	中性化(2ヶ月) →大気中暴露(塩水噴霧)
③	0.2mm	なし	大気中暴露
④	0.3mm	なし	中性化(2ヶ月) →大気中暴露(塩水噴霧)
⑤	0.2mm	なし	中性化(2ヶ月) →大気中暴露(塩水噴霧)

注) 供試体No.⑤は①と同一条件である。中間時点での確認試験に用いるために設定した。

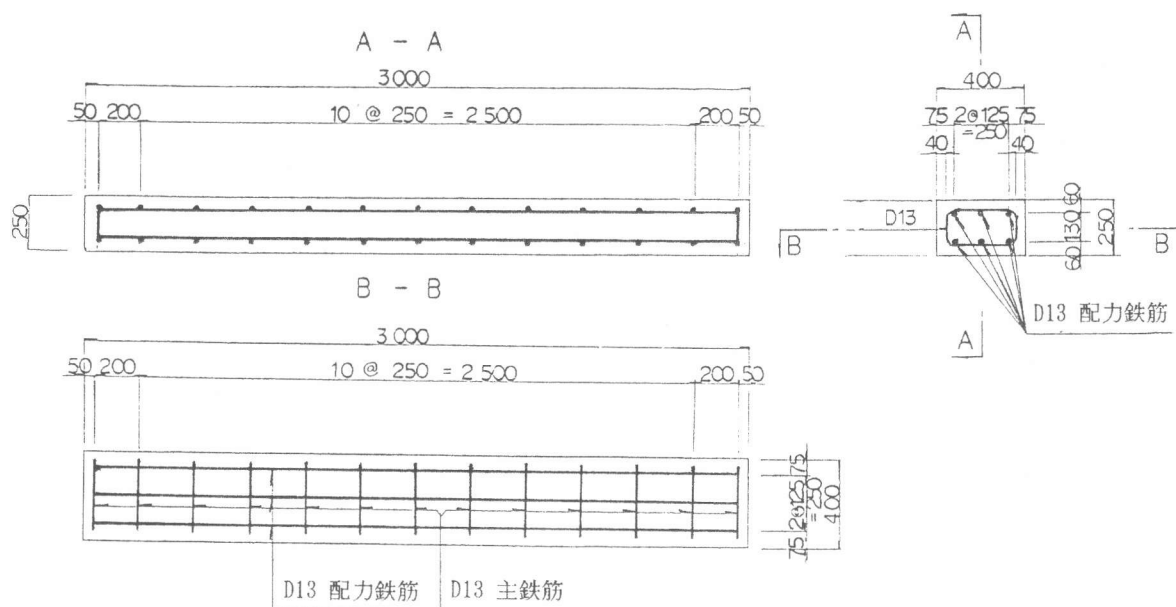


図-2 供試体の寸法および配筋図

3.2 供試体作成

試験条件一覧を表2に、供試体の寸法および配筋状況を図2に示す。

供試体は実橋高欄（幅25cm、高さ110cm、(図1参照)）のコンクリート部分のみを再現し、幅方向については、耐久性評価のため、鉄筋径、鉄筋のかぶり深さ等も実橋と同一形状とした。ただし、高さは荷重装置の容量により40cmとした。

3.3 配合条件

コンクリートの示方配合を表3に示す。各供試体は打設後約70日間大気中にて散水養生した後、貫通ひびわれの導入を行った。コンクリートの圧縮強度は、設計基準強度270kgf/cm²に対し、材

令7日で平均226kgf/cm²、材令28日で平均312kgf/cm²であった。

表-3 コンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					水	セメント	細骨材	粗骨材	膨張材	AE減水剤
20	8±2	4±1	50	44	166	332	776	1015	35	0.830

3.4 ひびわれ導入

供試体への貫通ひびわれの導入は以下に示す要領で行った。(図3参照)

step1 高欄側面(40cm)から1点
 荷重によって荷重直下に曲げ
 ひびわれを導入させた後、実
 橋における最小ひびわれ間隔
 30cmを模して、荷重点を30cm
 間隔で順次移動(図中の①②
 ③の順に行う)させて供試体
 に3本のひびわれを導入する。
step2 供試体を上下反転させ
 て、ひびわれが生じた同一断
 面上に1点荷重し、貫通ひび
 われを生じさせる。

step3,4 荷重点間距離600mmの

等分2点荷重により、配力鉄筋を降伏させることにより、所定ひびわれ幅(0.2、0.3mm)となるまで、荷重、除荷、上下反転を繰り返す。

荷重終了後の導入ひびわれ幅(残留ひびわれ幅)は表4に示すように、目標値に対して10%程度の差異に収まっており、実験条件を満足していると考えられる。

3.5 養生条件

供試体の養生条件は、表2に示すように中性化促進をした後、塩水噴霧を施しながら大気中暴露した促進腐食試験用供試体(供試体No.①, ②, ④, ⑤)と、大気中暴露供試体(中性化促進および塩水噴霧は行わない)(供試体No.③)の2種類とした。

促進腐食試験用供試体は、最初の2ヶ月間中性化促進養生室に収納した。炭酸ガス濃度は実環境下で10年間暴露された状況を2ヶ月の促進条件で再現することとし、60倍の炭酸ガス濃度(120ヶ月(10年)/2ヶ月=60倍)とした。通常の大気中の炭酸ガス濃度が0.03~0.034%であるので、促進養生では2%(0.03~0.034%×60≒2%)とした。次に、供試体の養生を大気中暴露条件下に移して5回/週の割合で塩水噴霧を実施した。塩水の濃度は阪神高速湾岸線における実測値(0.1~1.0mg/dm²/日)を参考に、1.0mg/dm²/日であると仮定し、暴露期間4ヶ月で実環境下10年の塩分濃度となるように30倍(120ヶ月(10年)/4ヶ月=30倍)の塩分濃度とした。なお実際には5回/週で噴霧を行ったため、この分の補正として1.4倍(7日/5日=1.4)を割り増し、1回(1日)の噴霧

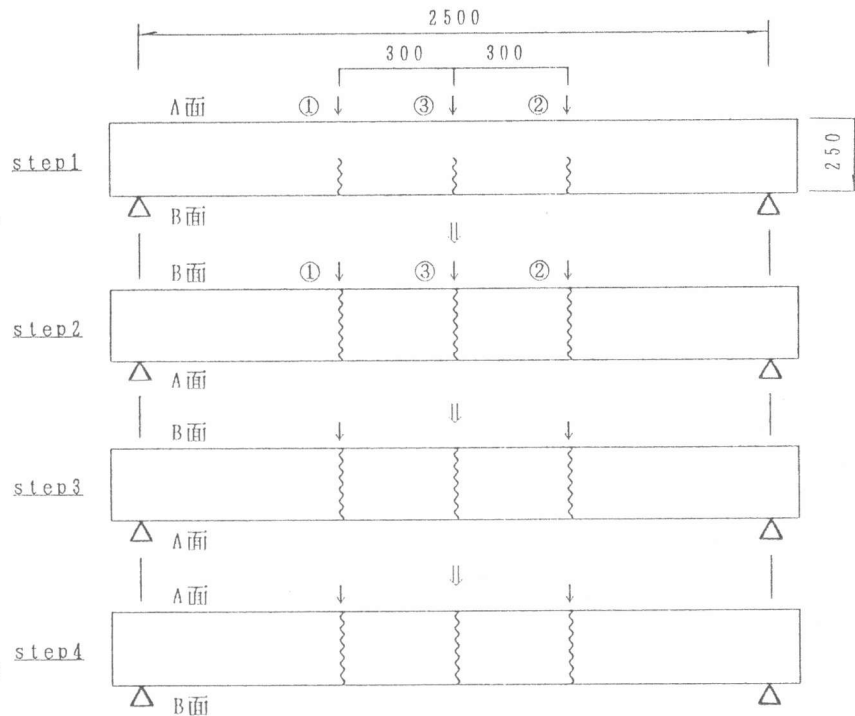


図-3 ひびわれ導入のための荷重要領

する塩分量を $42\text{mg}/\text{dm}^2$ ($1.0\text{mg}/\text{dm}^2 \times 30 \times 1.4 \div 42\text{mg}/\text{dm}^2$)とした。なおNo②の供試体については、中性化促進試験終了後、ひびわれ注入を施すとともに、コンクリート表面に保護材の塗布を行った。また、大気中暴露は阪神高速湾岸線に近接する場所において行った。

3. 6 実験結果

(1) 外観観察および自然電位測定結果

塩水噴霧開始より6ヶ月を経過後においても、いずれの供試体も錆汁の滲出、新たなひびわれの発生は認められていない。また、表5に自然電位の測定値の分布を示すが、以下に特徴を列記する。

- ①促進腐食供試体（供試体No①, ④, ⑤）では、塩水噴霧の実施により自然電位測定値がかなり卑な値へとシフトしているが、その後は貴な値へと戻っている。この変化は暴露環境条件の変化により、一時的に活性化された状態となったためと考えられる。
- ②大気中暴露供試体（供試体No③）は、ほぼ定常的な値で推移している。また、ひびわれ部分とひびわれ無しの部分での自然電位差は認められず、特にひびわれ部分が活性的な動きをしているとは考えられない。
- ③ひびわれ幅0.2mmおよび0.3mmの供試体について自然電位の有意差は認められなかった。

今後、さらに塩水噴霧を継続し、長期的に経過を評価する必要があると考えられる。

(2) 载荷試験およびはつり観察結果

供試体No⑤（平均ひびわれ幅0.2mm、促進腐食）について塩水噴霧開始後5ヶ月後に、鉄筋腐食による断面性能の低下の確認をするために载荷試験を実施するとともに、鉄筋をはつり出し、腐食状況を目視により観察した。

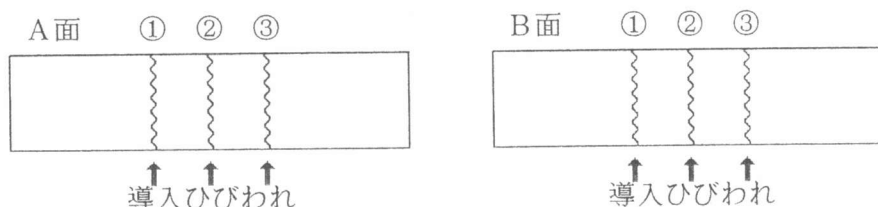
载荷方法は、ひびわれ導入時と同様にスパン2500mm、载荷点間距離600mmの等分2点载荷

とした。その結果、破壊荷重は6.83tfと、コンクリート標準示方書に基づく終局強度計算値6.52tf（現場の材料試験より得られた定数：鉄筋降伏応力 $38.3\text{kgf}/\text{mm}^2$ を用いる。）をほぼ満足した。また、鉄筋の腐食は主筋と配力鉄筋が交差する箇所において軽微な腐食が認められたが断面欠損は生じていなかった。さらに、供試体表面よりひびわれ（表面のひびわれ幅0.2mm）に樹脂注入を行い、コア採取により供試体内部のひびわれを確認したところ、ひびわれは貫通しており、ひびわれ幅は鉄筋位置において0.15mmであった。

表-4 導入ひびわれ幅および試験開始6ヶ月後のひびわれ幅一覧

供試体 No.	導入時ひびわれ幅 (mm)			平均	試験開始6ヶ月後におけるひびわれ幅 (mm)			
	各測定値	各測定値	各測定値		各測定値	各測定値	各測定値	平均
①	0.20 0.15	0.20 0.15	0.30 0.20	0.20	0.25 0.20	0.25 0.20	0.30 0.25	0.24
②	0.20 0.15	0.15 0.15	0.20 0.20	0.18	コンクリート表面塗装実施のため、測定不可能			----
③	0.20 0.10	0.20 0.20	0.20 0.15	0.18	0.25 0.15	0.25 0.25	0.20 0.20	0.22
④	0.25 0.30	0.25 0.30	0.25 0.30	0.28	0.30 0.35	0.25 0.30	0.30 0.35	0.31
⑤	0.25 0.15	0.20 0.20	0.20 0.15	0.19	0.30 0.25	0.25 0.20	0.20 0.25	0.24

注) ひびわれ幅は、クラックスケールを用いて、0.05mm単位で測定を行った。
注) 各欄の6個の数字は下図の位置における測定値を右記の順に表示したものである。

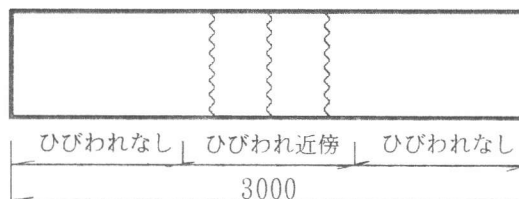


また、中性化深さは平均で5.8mmであり、岸谷式[4]による一般的な値（水セメント比50%、経過年数10年と仮定した場合6.4mm）とほぼ同程度の進行速度であること、およびひびわれは鉄筋位置まで達しているが中性化域については鉄筋までは達していないことが確認された。

表-5 自然電位分布状況 (単位：-mV)

測定 時期	養生条件	供試体No.①		供試体No.③		供試体No.④		供試体No.⑤	
		ひび われ 近傍	ひび われ なし	ひび われ 近傍	ひび われ なし	ひび われ 近傍	ひび われ なし	ひび われ 近傍	ひび われ なし
促進養生開始前		247	251	264	268	237	233	202	201
1ヶ月後	No.①④⑤：中性化促進	265	219	212	214	268	210	249	176
2ヶ月後	No.③：大気中暴露	197	182	200	197	185	175	207	184
3ヶ月後	No.①④⑤：大気中暴露 (塩水噴霧)	530	466	210	199	637	367	788	438
4ヶ月後		294	255	198	164	457	288	449	295
5ヶ月後	No.③：大気中暴露	343	295	108	91	358	219	360	212
6ヶ月後		190	165	110	86	214	129	250	146

注：ひびわれ近傍およびひびわれなしの各測定値は右に示す範囲の測定の測定結果を平均したものである。



4. まとめ

鋼床版上RC高欄に発生している軸引張力によるひびわれ対策のための基礎資料を得るため、実橋を模したコンクリート供試体を用いて中性化および塩水噴霧による促進腐食実験を実施した。

その結果、模型供試体を炭酸ガス濃度10年相当期間の環境下で養生を行った後、塩水濃度10年相当期間の環境下に置いた場合についても、錆汁や新たなひびわれの発生は認められなかった。

また、はつりによる鉄筋の目視観察結果より、中性化深さは5.8mmで鉄筋までは達しておらず、腐食も軽微な状態で、断面欠損は生じていないことが明らかとなった。

今後、残る供試体について、塩水噴霧および自然電位の測定を継続するとともに、はつりによりコンクリート内部および鉄筋の観察を行い、供試体の耐久性およびコンクリート表面保護材の影響等についてさらに検討を加える予定である。

[謝辞]

本研究を遂行するにあたり、阪神高速道路公団技術審議会コンクリート構造分科会（主査：藤井学 京都大学教授）の各位委員の皆様御指導をいただきました。ここに心より感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 南 庄 淳、森 喜仁：鋼床版上RC壁高欄のひびわれ対策、土木学会第45回年次学術講演会、講演概要集 第5部、pp300～301、1990.9
- 2) 橋場 盛、高田佳彦、三矢 寿：鋼床版上のRC高欄のひびわれ対策検討、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14、No.2、pp753～758、1992
- 3) 森 喜仁、高田佳彦：鋼床版上RC高欄のひびわれ対策、阪神高速道路公団技報、第11号、pp105～114、1991
- 4) 岸谷孝一：鉄筋コンクリートの耐久性、鹿島建設技術研究所出版部、1963