

報告 約45年供用されたコンクリート道路橋の残存機能に関する調査

真崎 洋三^{*1}・吉田 須直^{*2}・浅利 公博^{*3}・植田 定^{*4}

要旨：道路橋として供用されてきた鉄筋コンクリート橋の解体にともない、この橋梁の材料的性質、構造的状態を把握・整理することを目的として材料試験、実橋載荷試験を実施した。これらの調査を通して、本橋と同年代に施工されたコンクリート橋の材料的特徴と、実橋と設計計算上での主桁鉄筋応力度の違いについて整理を行った。また、本橋はB活荷重対応として増し厚工法による補強が行われていたため、桁を切り出しての載荷試験を実施し、その補強効果についても確認を行った。

キーワード：道路橋, 橋梁調査, 材料試験, 載荷試験

1. はじめに

既設コンクリート橋の維持管理や補修補強設計において、その橋梁の状態を的確に把握することは重要である。しかし、補修補強が必要となるような古い橋梁では、設計図書や補修補強履歴が残っていることが少なく、実際の構造や材料強度、活荷重による部材応力度の発生状況が十分把握できないまま、推定や机上の計算のみで補修補強設計が行われている場合がある。

今回、約45年間道路橋として供用された緑橋(写真-1)が河川改修にともない解体されることとなった。そこで、本橋の材料、部材応力度の状態を把握することを目的として材料調査、載荷試験を実施した。



写真-1 橋梁全景

以上の結果を整理し情報を提供することは、今後、同年代に施工された鉄筋コンクリート橋の維持管理、補修補強設計における有効な情報になるものと考え本報告を行う。

2. 橋梁概要

構造形式：RC単純T桁橋

橋 長：L=52.0m

径 間 割：L=4×13.0m

有効幅員：B=6.75m(車道)+2.0(歩道)

斜 角：76°25'

設計活荷重：T-9(2等橋)

竣 工 年：昭和29年

補 修 履 歴：B活荷重対応下面増し厚
(平成8年施工)

緑橋は、国道202号線が御笠川を横断する位置にあり、河口(博多湾)から約2km程度の上流部となる。本橋は福岡市の中心部である天神方面へアクセスする道路の一部として多大な交通量をささえて来た。橋体は水位面から4~5m程度の位置にあり、通気性は良好で凍害の影響もほとんど無く、環境的には良い条件であったと言える。

*1 (株) 構造技術センター 福岡支社 技術第二部 課長 (正会員)

*2 オリエンタル建設 (株) 福岡支店 メンテナンス部 部長

*3 (株) 計測リサーチコンサルタント 九州支社 技術部 部長

*4 国土交通省 福岡国道工事事務所 管理第二課 係長

なお、本橋はB活荷重対応として床版、主桁に下面増し厚補強（補強鉄筋+ポリマーモルタル）と、コンクリート表面の中性化防止保護ライニング工が平成8年に行われている。

3. 上部工形状

本橋の上部工は、解体時にその主桁断面形状が目視で確認できた。その結果、本橋の主桁形状は竣工当時の橋面形状にあわせた形状となっており、現状の橋面は、幅員の修正が行われていることが判明した。また、主桁の主鉄筋は、G2～G5桁がφ32mm×8本で、歩道部のG1桁のみφ28mm×8本となっていた。

このように、当時の桁は橋面形状に合わせた主桁形状をしている可能性があり、外観のみでは主桁形状の把握ができない。また、主鉄筋も各桁毎に違う可能性があることがうかがえた。

本橋の横断形状を図-1に示す。

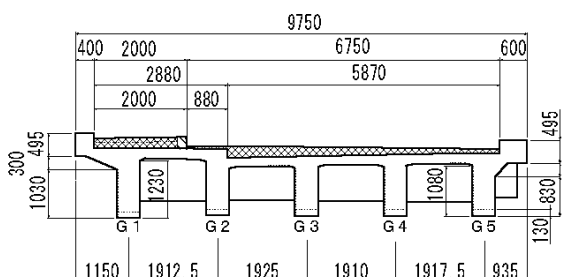


図-1 横断形状

4. 材料調査

4.1 調査項目

今回実施した材料調査は、既設コンクリート部、および主桁下面増し厚部の補強ポリマーモルタル部についてコアを採取し、圧縮強度、引張強度、ヤング係数、超音波伝播速度、中性化深さを測定するとともに、配合推定（既設コンクリート部のみ）を行った。コアは、床版部および主桁部（G1桁）から採取した。主桁からのコア採取位置を図-2に示す。

また、鉄筋については主桁解体後に鉄筋を採取して引張強度を求めた。

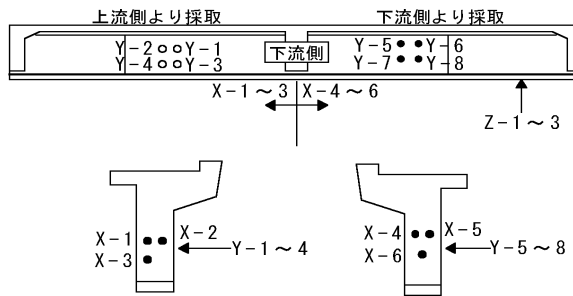


図-2 主桁コア採取位置

4.2 コンクリートの材質

(1) コンクリート強度とヤング係数

採取したコアから測定したコンクリート圧縮強度と、採取部位の関係を図-3に示す。結果、既設コンクリートの平均圧縮強度は主桁部で $f_c=21\text{N/mm}^2$ 、床版部で $f_c=39\text{N/mm}^2$ となり明らかに違う傾向を示した。この違いは建設時の意図的なものであったかどうかは不明であるが、当時のコンクリート橋は部位によって強度が大きく違う可能性があることを示している。

平均引張強度は主桁部 $f_t=1.4\text{N/mm}^2$ 、床版部 $f_t=1.2\text{N/mm}^2$ 、ポリマーモルタル部 $f_t=6.3\text{N/mm}^2$ となった。今回、床版と主桁の圧縮強度と引張強度の関係がアンバランスな結果となったが、これは割裂引張強度試験において採取コアの側面状態が結果に影響したためと考えられる。

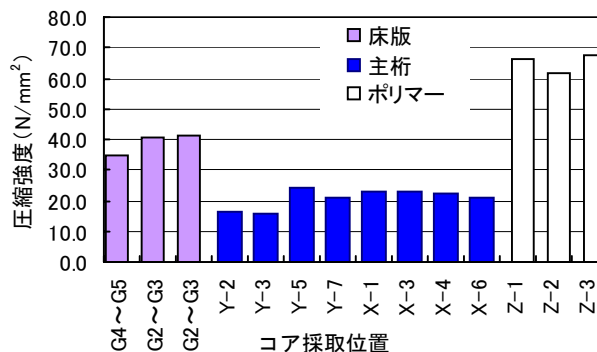


図-3 コア採取位置と圧縮強度

次に圧縮強度とヤング係数の関係を図-4に示す。既設コンクリート部のヤング係数は圧縮強度と高い相関関係を示している（相関係数 $r=0.945$ ）。この回帰直線は、コンクリート標準

示方書設計編に示されている圧縮強度とヤング係数の関係の勾配に近いものではあるが、その値を比較すると約 60～85%程度小さくなっている。これは長年月経たコンクリートのヤング係数が、一般的に設計で用いられている圧縮強度との関係の値より小さくなる可能性があることを示している。

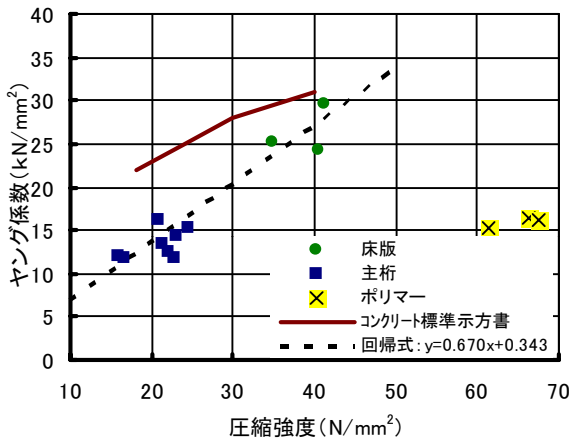


図-4 圧縮強度とヤング係数

(2) 超音波伝播速度

コンクリートの圧縮強度と超音波伝播速度と関係を図-5に示す。

超音波伝播速度もヤング係数と同様に、既設コンクリート部は圧縮強度と高い相関関係を示す(相関係数 $r=0.899$)。また、その平均速度は床版部で $V=4.16\text{km/sec}$ 、主桁部で $V=3.46\text{km/sec}$ となり、床版と主桁の強度(品質)の違いが明確に見られる。

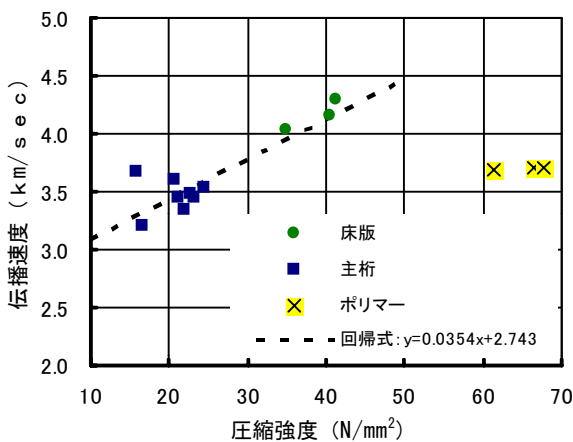


図-5 圧縮強度と超音波伝播速度

(3) 中性化深さ

コンクリートの圧縮強度と中性化深さの関係を図-6に示す。

中性化深さは、床版部で平均 $t=16\text{mm}$ 、主桁部で平均 $t=32\text{mm}$ となっている。中性化深さはヤング係数や超音波伝播速度ほど圧縮強度との高い相関関係は無いが(相関係数 $r=-0.700$)、やはり圧縮強度により差が生じている。

また、この中性化深さはほぼ鉄筋位置まで達しているにもかかわらず、解体時に確認した鉄筋の状態は、部分的な浮き錆が表面に確認される程度であり、大きな腐食は生じていなかった。これは、部材が雨水等の影響を受けにくく乾燥した状態にあったため、鉄筋の腐食が大きく進行しなかったためと推測される。

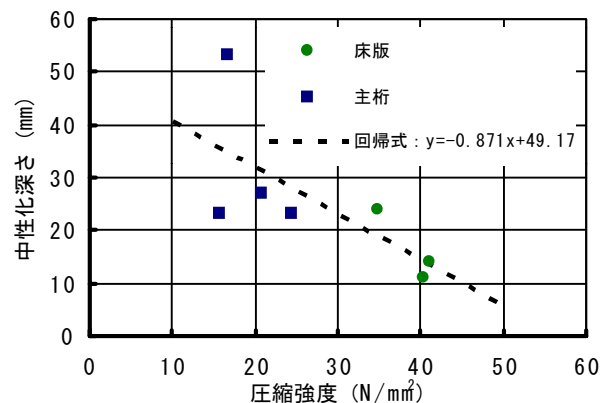


図-6 圧縮強度と中性化深さ

(4) 配合推定

本橋のコンクリートは、床版部と主桁部で圧縮強度に差があることが判明した。そこで、床版部と主桁部でそれぞれ配合推定を行い、配合の確認を行った。

配合推定は、セメント協会コンクリート専門委員会報告 F-18「硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告」に準じて行った。配合推定結果を表-1に示す。この結果からも、床版部と主桁部ではその単位セメント量に 1.6 倍もの差が生じた。

配合推定はその推定材料(採取コア)が構造物全体の代表試料とみなせるか、また、推定に

あたり仮定しなくてはならない要素もあるため、その結果は参考程度の扱いとなるのが現状である。しかし、今回の結果は、床版と主桁において明らかに配合が違っている可能性を示すものとなった。

表—1 配合推定結果

	単位	床版部	主桁部
単位容積質量			
表乾	kg/m ³	2,434	2,378
絶乾	kg/m ³	2,316	2,240
仮定値			
insol/骨材	%	95.4	
CaO/セメント	%	64.1	
CaO/骨材	%	0.3	
ig. loss/セメント	%	0.4	
ig. loss/骨材	%	1.8	
骨材の吸水率	%	1.2	
化学分析結果			
ig. loss	%	5.6	4.5
insol	%	77.4	83.4
CaO	%	9.5	6.1
配合推定結果			
骨材料	kg/m ³	1,879	1,959
セメント量	kg/m ³	335	204
水量	kg/m ³	190	162

4.3 鉄筋引張強度

鉄筋引張試験は G1 主桁の既設コンクリート内にあった主筋φ28（丸鋼）で行った。結果を表—2に示す。これより、本橋の既設鉄筋は現行の JIS に示される SR235 と同等の材質であることが判明した。

昭和 15 年の鉄筋コンクリート標準示方書では、鉄筋の材質を SS41 としている。また本橋が施工された当時の RC 橋の鉄筋の降伏点は、

表—2 鉄筋引張試験結果

		No. 1	No. 2	JIS 参考値	
鉄筋径	mm ²	27.7	27.7	---	
引張試験	降伏点	N/mm ²	274	274	235 以上
	引張強	N/mm ²	412	405	380~520
	伸び	%	36	36	24 以上
備考	部分的に浮き錆あり（表面）				

$\sigma_{sy}=240\text{N/mm}^2$ 以上がほぼ例外なく確保されているという報告¹⁾もあることから、当時の RC 橋の鉄筋は現行 JIS の SR235 同等と判断して良いと考える。

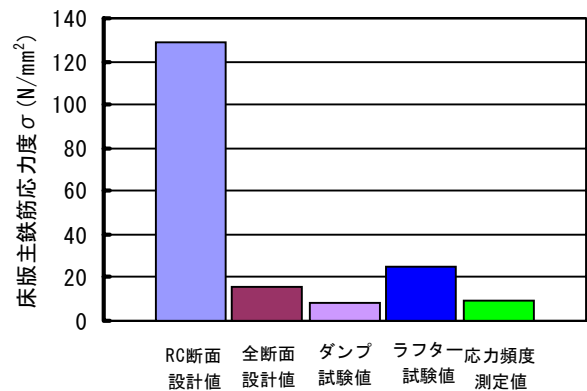
5. 実橋載荷試験

5.1 試験概要

実橋載荷試験として、本橋撤去前に供用荷重下での応力頻度測定、および、ダンプトラック（総重量 20t）とラフタークレーン（総重量 40t）による載荷試験を行った。本橋は B 活荷重対応として下面増し厚補強が行われており、床版部が D6 鉄筋を 75mm メッシュで、主桁部が D32 鉄筋を 4 本×2 段＝8 本で補強されている。測定は、これらの補強鉄筋ひずみを計測した。

5.2 床版

床版の補強主鉄筋応力度について、床版支間中央に輪荷重を静的に載荷した載荷試験値、応力頻度計測値、現行の道路橋示方書に基づく設計計算値を整理して図—7に示す。



図—7 床版鉄筋応力度

この結果、床版の主鉄筋応力度は道路橋示方書で行われる設計計算値（RC 断面）に対して、載荷試験値は 19%～6%、応力頻度測定値で 7% となった。これらの測定値は、むしろ道路橋示方書に基づき算出した曲げモーメントを全断面有効として求めた鉄筋応力度に近似している。

これらから、床版の補修、補強設計においては、応力計算的なものではなく、床版の劣化状

態などの状況的判断が重要であることがうかがえる。

5.3 主桁

実橋載荷試験で得られたG5主桁の補強鉄筋応力度と曲げモーメント（格子解析による）の関係を図-8に示す。

実橋載荷試験で測定された補強鉄筋応力度は、RC断面として求めた値より全断面有効に近い値となっている。また、応力頻度測定値は、設計活荷重であるB活荷重を全断面有効で求めた鉄筋応力度の75%程度であった。

これらから、本橋の鉄筋応力度の状況は全断面有効に近い状況であり、実際に発生していた鉄筋応力度は十分余裕のある状態であったといえる。また、実際に受けていた活荷重状況もB活荷重までは達していなかった事がうかがえた。

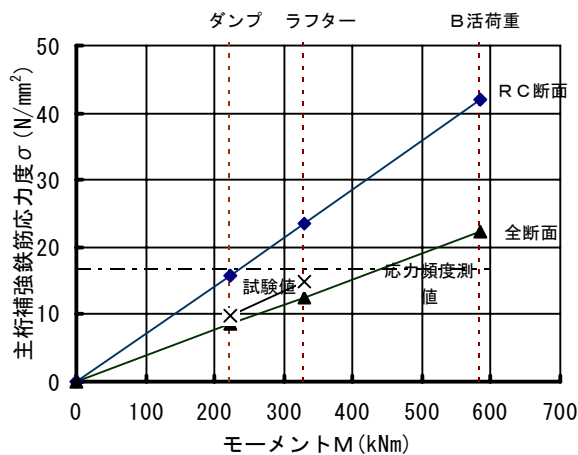


図-8 主桁補強鉄筋応力度

6. 解体桁載荷試験

6.1 試験概要

B活荷重対応として行われていた主桁下面増し厚補強の効果を確認することを目的として、主桁を切り出して載荷試験を行った。

切り出した桁は、中桁のG3、G4桁の2本である。このうち1本は桁下面の増し厚補強部を水平カッターで切断、撤去して補強無の状態とした。桁は約12mの長さで切り出し、主桁の上フランジを1m幅に整形した。また、桁端部の切断面に露出する主鉄筋は、載荷試験時に鉄

筋がスリップしないようにプレートを取り付け定着させた。切り出した桁の断面（補強有）の形状を図-9に示す。

また、載荷試験における桁の支間長は10mとし、200t油圧ジャッキにて支間中央に1点載荷を行った。載荷装置を図-10に示す。

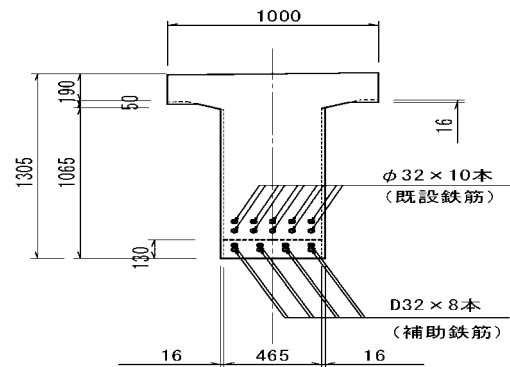


図-9 切り出し桁断面（補強有）

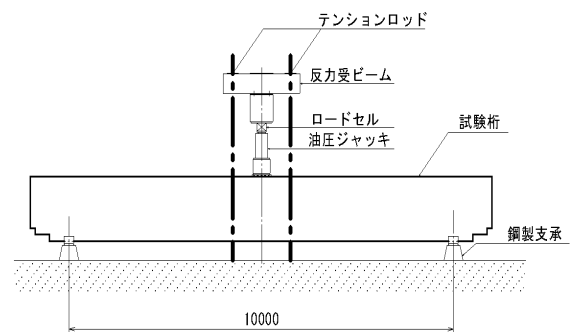
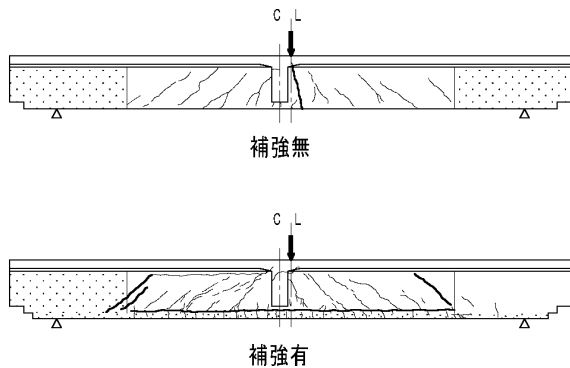


図-10 載荷試験装置図

6.2 試験結果

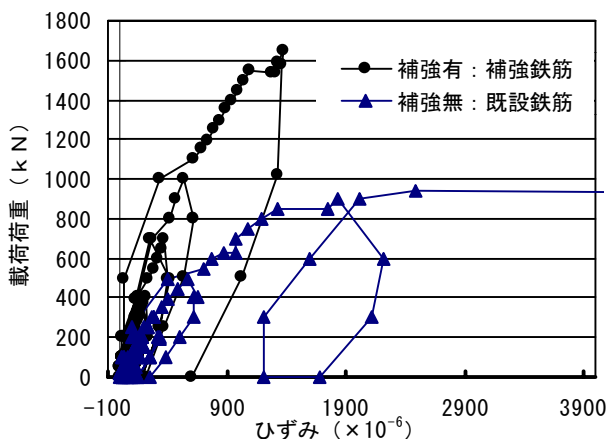
切り出し桁の載荷試験の結果、補強無の桁は曲げひび割れが先行し、約900kNの載荷荷重からジャッキの荷重が増加しなくなり終局に至った。これに対し、補強有の桁はせん断ひび割れが先行し、補強部（ポリマーモルタル部）と既設コンクリート部の境界で剥離ひび割れが生じ、約1600kNの載荷荷重からジャッキの荷重が増加しなくなり終局に至った。これから、本橋における下面増し厚の効果は、終局荷重で約1.8倍程度（補強有／補強無）あったことが確認できた。終局荷重状態における桁のひび割れ状況を図-11に示す。



図—1 1 ひび割れ状況図

B活荷重による主桁の曲げモーメントを、切り出し桁の載荷試験における載荷荷重に換算すると、約235kNに相当する。切り出し桁の試験では、桁の上フランジを1mに調整しているものの、この程度の載荷荷重では、補強無の桁も鉄筋は 200×10^{-6} 程度のひずみのしか発生しておらず、ひび割れもほとんど確認できなかった(最初のひび割れ確認荷重は約200kN)。また、補強有の桁では終局荷重付近まで鉄筋は弾性的な状態であったことが確認できた。

以上より、本橋の桁は実際の供用状態で受ける活荷重程度であれば、ひび割れの発生も小さく、全断面有効に近い状態であったと考えられる。荷重と鉄筋ひずみの関係を図—1 2に示す。



図—1 2 解体桁鉄筋ひずみ

7. まとめ

今回の調査から、本橋と同年代のRC橋は、主桁断面や配筋が各桁で違う可能性があること

や、コンクリートの強度も部位によって違う可能性があることがわかった。

また、鉄筋コンクリート橋の主鉄筋応力度は、実際に供用されている程度の荷重では全断面有効からRC断面に移行する間の状態で評価できるという報告²⁾もある。今回の載荷試験においても実際の供用荷重程度では、鉄筋応力度は全断面有効の状態に近い値を示すことが確認できた。

鉄筋コンクリート橋の維持管理と補修補強設計では、このような実態を的確に把握することが重要であり、それにより適切な維持管理と効果的な補修補強が可能になると考える。したがって、今後、本調査結果にさらなる検討を加えるとともに、他橋でもこのようなデータを蓄積、検討を加えていく予定である。

なお、本報告がコンクリート橋の維持管理や補修補強設計において何らかの参考になれば幸いである。

最後に、本調査は九州橋梁・構造工学研究会の「既設コンクリート道路橋の調査・診断手法に関する研究分科会」の活動の一環として産学官の協力を得て行ったものです。ご協力いただきました委員の方々、また国土交通省福岡国道工事事務所の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐伯彰一，金井道夫：道路橋の供用および補修・補強に関して，橋梁と基礎，Vol.17，No.8，pp.13-16，1983.8
- 2) 牧角龍憲ほか：既設コンクリート橋の新しい応力照査手法，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.1，pp.577-582，2000.6