

塩害により劣化した RCT 桁の劣化度調査および載荷試験

金田一男¹⁾・玉城 喜章²⁾・久米仁司³⁾・宮城敏明⁴⁾・下里哲弘⁵⁾
淵脇秀晃⁶⁾・砂川章次⁷⁾・太田清志⁸⁾・長嶺由智⁹⁾

¹⁾技術士会会員 株式会社ホープ設計 技術管理部 (〒902-0064 沖縄県那覇市寄宮 3-3-5)

²⁾技術士会会員 一般社団法人 沖縄しまたて協会 (〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客 4-18-1)

³⁾技術士会会員 株式会社 南伸 (〒901-2132 沖縄県浦添市伊祖 1-21-2)

⁴⁾技術士会会員 株式会社沖縄建設技研 (〒901-2126 沖縄県浦添市宮城 3-7-5-10)

⁵⁾琉球大学工学部 准教授 (〒903-0129 沖縄県中頭郡西原町千原 1 番地)

⁶⁾琉球大学工学部 技術部 (〒903-0129 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地)

⁷⁾株式会社 中央建設コンサルタント (901-2126 沖縄県浦添市宮城 5-12-11)

⁸⁾有限会社 総合設計コンサルタント (〒905-0016 沖縄県名護市大東 2-9-10)

⁹⁾株式会社 金秀鉄工 (〒903-0118 沖縄県中頭郡西原町字小波津 567 番地)

キーワード：橋梁、塩害、劣化、載荷試験、耐荷力

1. はじめに

著者らは、土木学会西部支部沖縄会橋梁長寿命化小委員会（委員長：琉球大学工学部准教授 下里哲弘）の研究活動の一環として、塩害により著しく劣化した橋梁に関する調査・研究を行っている¹⁾。

本論文の対象橋梁は、昭和 31 年に建設され、沖縄県那覇市の西海岸線から約 300m 離れた厳しい塩害環境で約 56 年間供用されたものである。本橋梁の上部工は 5 本の場所打ちコンクリート T 桁（以下：RCT 桁と称する）から構成され、その RCT 桁を切り取って、劣化度調査と耐荷力に関する載荷試験を行い、その結果を報告する。

2. 橋梁及び試験体概要

図-1 に示すように、研究対象橋梁は 2 径間の単純 RCT 桁橋であり、橋長 15.20m、支間長 7.245m、有効幅員 8.18m である。同図より、本橋梁から切り取った中間桁 1 本

(W-4) と耳桁 2 本 (W-3、W-7) を研究対象の試験体とする。また、写真-1 より、本橋の耳桁は壁式コンクリートデザイン高欄と一体化で造られている（平成 22 年度撮影）。

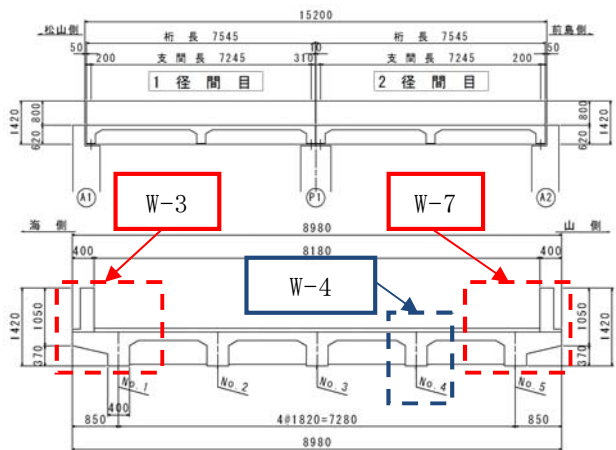


図-1 研究対象橋梁一般図

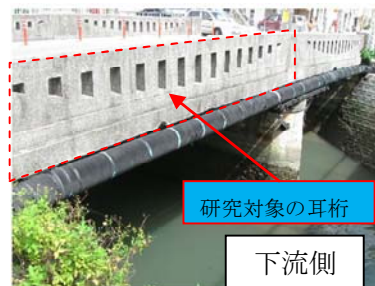


写真-1 研究対象橋梁撤去前の外観状況

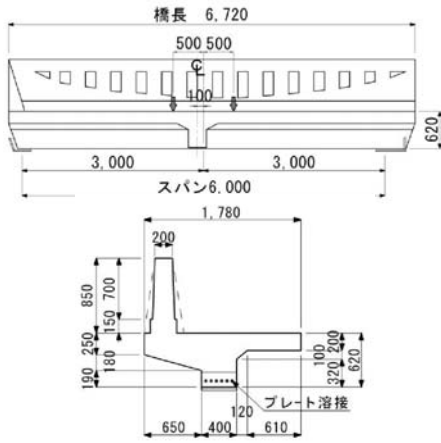


図-2 試験体 W-3 の形状・寸法

試験体 W-7 は、橋梁の陸側にある耳桁であり、試験体 W-3 は海側にある耳桁である。ここでは、試験体 W-3 の正面図及び断面図を例として図-2 に示す。

3. 試験体の劣化状況

各試験体の劣化状況を写真-2～写真-4 にそれぞれ示す。これらの写真より、試験体 W-4 と試験体 W-7 の劣化状況と比較し、試験体 W-3 の劣化が顕著である。試験体 W-3 の損傷図を図-3 に示す。同図から分かるように、試験体 W-3 の下面において、床版を含め、全体面積の約 7 割が損傷している。



写真-2 試験体 W-4 の劣化状況



写真-3 試験体 W-3 の劣化状況



写真-4 試験体 W-7 の劣化状況

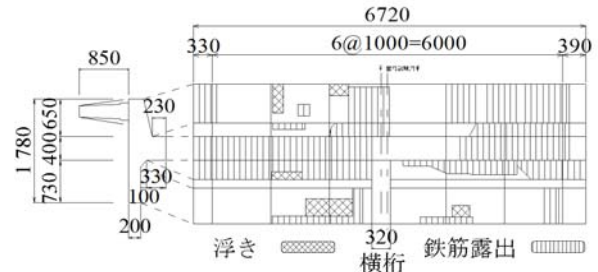


図-3 試験体 W-3 の損傷図

4. 試験体の材料特性

図-4～図-6 は、対象試験体の配筋の復元図を示す。主鉄筋は、スパン中央付近で 2 段配筋、両端部において上の段の鉄筋が 1 箇所 3 本ずつ 2 回に分けて折り曲げられている。各段には 6 本の主鉄筋が配置されているが、異形鉄筋と丸鋼鉄筋が混在している。主鉄筋の下面及び側面のかぶりが共に 50mm、1 段目と 2 段目の主鉄筋の間隔は 45mm である。帯筋は $\phi 10$ の丸鋼鉄筋が使用され、スパン中央の約 3.0m 範囲内では概ね 300mm の間隔、それ以外の支点付近では 200mm の間隔となっている。また、図-5 に示すように、壁高欄の主鉄筋(縦方向)は、内側と外側共に $\phi 10$ の丸鋼が配置され、基本ピッチ(開口部で間隔調整あり)が 250mm である。床版の上面・下面の鉄筋が両方向共に $\phi 10$ の丸鋼が使用されている。壁高欄側には、張出コンクリートにハンチが付いており、コンクリート断面も厚く、 $\phi 10$ の鉄筋が 3 本配置され、これらによって、耳桁の残存耐力向上に寄与する可能性が考えられる。

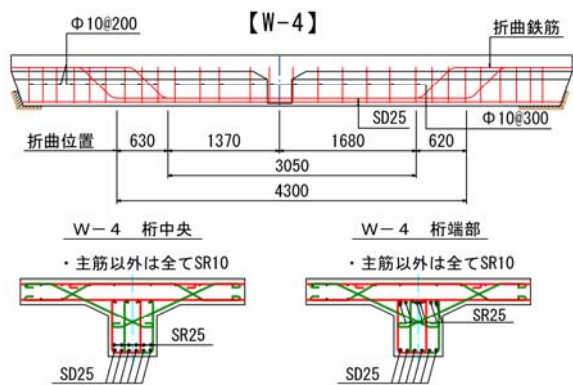


図-4 試験体 W-4 配筋図

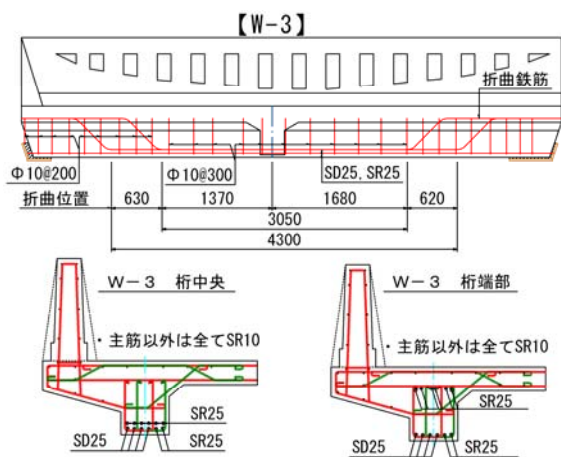


図-5 試験体 W-3 配筋図

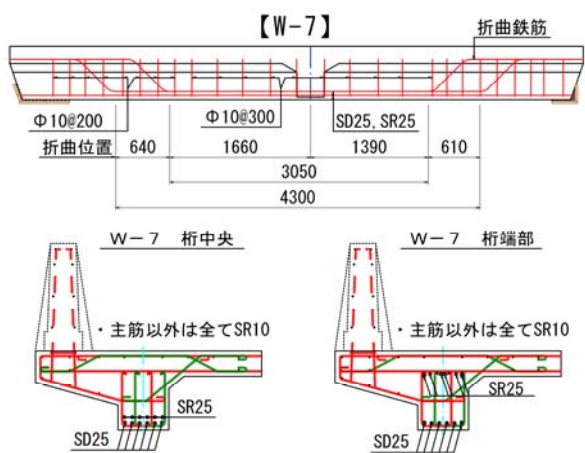


図-6 試験体 W-7 配筋図

表-1 使用された鉄筋の機械的性質

鉄筋 No.	鉄筋径 (mm)	降伏応力 (N/mm ²)	破断応力 (N/mm ²)	伸び率 (%)	弾性係数 ×10 ⁵ (N/mm ²)	
異形鉄筋	SD1	24.1	372.9	529.5	10.0	2.27
	SD2	25.2	351.1	525.2	20.0	1.78
	SD3	25.3	275.6	467.3	10.0	1.80
	平均値	24.9	333.2	507.3	13.3	2.00
丸鋼鉄筋	SR1	22.7	370.8	513.7	20.0	1.99
	SR2	22.9	363.4	488.0	20.0	2.18
	平均値	22.8	367.1	500.85	20	2.10

これらの試験体に使用された主鉄筋（異形鉄筋及び丸鋼鉄筋）が文献 1) と同じであるため、文献 1) に掲載された鉄筋の機械的性質を表-1 に再掲する。同表から分かるように、丸鋼鉄筋の降伏応力が異形鉄筋のものより若干大きい。これは、異形鉄筋の代わりに一部丸鋼鉄筋が使用された理由の一つだと考えられる。

一方、各試験体に対して、載荷前及び載荷後にコンクリートコアを多数採取し、写真-5 に示すように圧縮試験を行った。その結果、最小圧縮強度は約 21N/mm²、最大圧縮強度は約 40N/mm²、平均圧縮強度は約 30N/mm²であったため、推定設計基準強度は 21N/mm²である。コンクリートコアは、表面損傷の少ない箇所を選んで採取したことから、その圧縮強度の低下は見られなかった。

同写真より、コンクリートに使用された粗骨材は、淡白色である本島中南部産の琉球石灰岩である。このような琉球石灰岩は、品質（密度・吸水等）の関係で 1975 年以降は殆ど使用せず、本部半島産の灰色石材へと使用が集約されている²⁾。

しかしながら、コア観察や文献 1) に示す塩化物イオン含有量の調査結果から、50 余年前に建設された橋梁にもかかわらず、当初のコンクリートの細骨材として海砂が使用されていなかった。コンクリート中に含有している塩化物イオンが飛来塩分の浸透によるものと判断している。



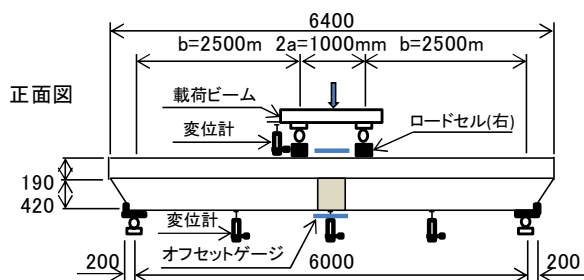
写真-5 コアの圧縮試験状況

5. 荷重及び計測方法

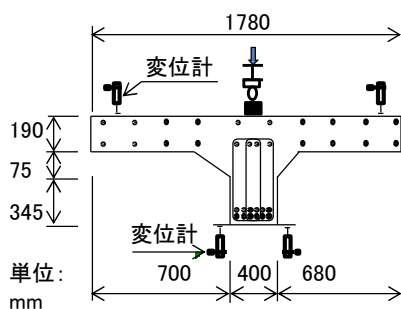
実橋梁から切り立った RCT 桁をスパン長 $L=6.0\text{m}$ の試験体として端部を補強処理し、対称 2 点集中荷重方式で静的曲げ試験を行った。荷重試験は、圧縮試験機 (1000kN 型) を用い、JIS A 5363 に準拠して行った。荷重点距離は中間横桁の影響を少なくなるために $2a=1.0\text{m}$ とし、支点から荷重点までの距離は $b=2.5\text{m}$ とした。試験体の端部、スパン中央部と 1/4 スパン位置に変位計を配置し、桁のたわみを計測した。また、スパン中央の床版の両端部に変位計を配置し、主桁変位と床版の傾きを計測する。

荷重方法は、試験機及び計測機器の作動具合を確認するために、25kN 及び 50kN に 1 回ずつ、75kN に 2 回ずつ、200kN に 1 回荷重後に除荷した。その後の本試験は、25kN ずつ荷重し、200kN に達した後は 50kN ずつ増荷する荷重制御方式で破壊まで行った。

全ての試験体の荷重及び計測状況が共通であり、その詳細を図-7 に示す。



a) 荷重測定状況の側面図



b) 荷重測定状況の断面図

図-7 荷重及び計測模式図

6. 試験結果の考察

6.1 荷重とスパン中央変位との関係

試験体 W-4、W-3 及び W-7 の各荷重ステップにおける荷重荷重と桁スパン中央のたわみ関係を図-8 に示す。同図より、壁高欄のある試験体 W-3 の耐荷力 (954kN) が最も大きく、試験体 W-4 (710kN) 及び試験体 W-7 (722kN) の約 1.3 倍となっている。W-3 の最大荷重時におけるたわみも最も小さく、壁高欄の存在が RCT 桁の曲げ剛性を向上したものと考えられる。

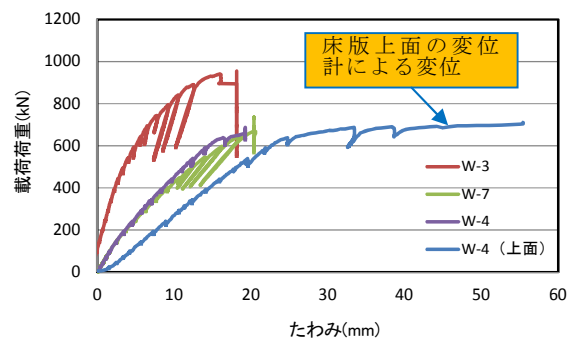


図-8 荷重荷重とスパン中央変位との関係

6.2 各荷重ステップにおけるたわみ分布

対象試験体 W-4、W-3 及び W-7 の各荷重ステップにおける荷重荷重と計測点たわみとの関係をそれぞれ図-9～図-11 に示す。

図-9～図-11 より、いずれの試験体の最大荷重時におけるたわみが 20mm 程度以下

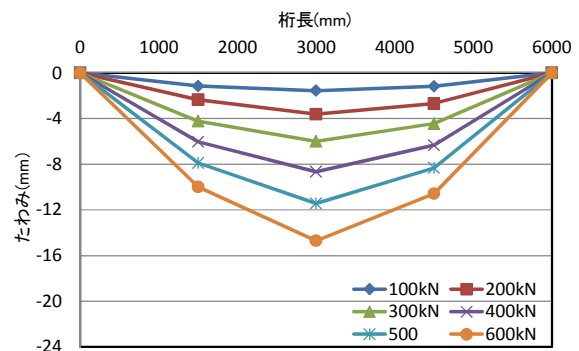


図-9 W-4 試験体桁長さ方向におけるたわみ分布

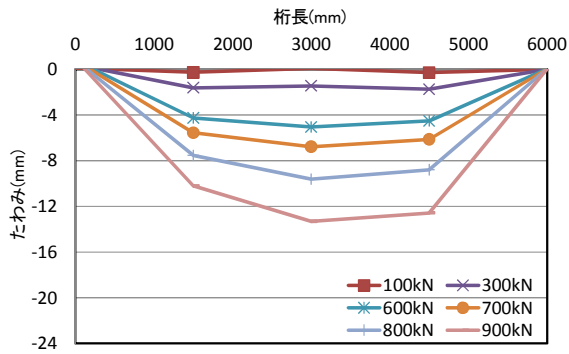


図-10 W-3 試験体桁長さ方向におけるたわみ分布

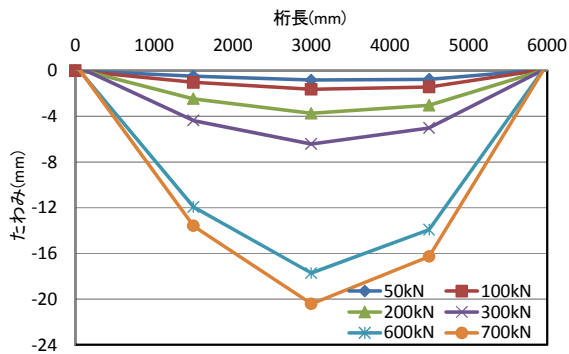


図-11 W-7 試験体桁長さ方向におけるたわみ分布

であり、スパン長の 0.33%以下相当する。また、壁高欄のある試験体 W-3 のたわみが、劣化度合いの小さい試験体 W-4 のたわみよりも小さくなっている。

6.3 壁高欄の載荷荷重時の挙動

試験体 W-3 の壁高欄の載荷荷重時の挙動を確認するために、スパン中央における高欄コンクリート表面の保護層を除去し、橋軸方向において、基部（下ビーム）・中部（縦柱の高さ中央）・頭部（上ビーム）にコンクリート用ひずみゲージを貼り付けた。載荷荷重とこれらのひずみゲージで計測した各部位の圧縮ひずみを図-12 に示す。同図より、壁高欄の頭部・中央部のひずみが非常に小さいが、上ビームに生じた圧縮歪みが大きく、載荷荷重の増大に伴って、圧縮された状態であることが理解できる。

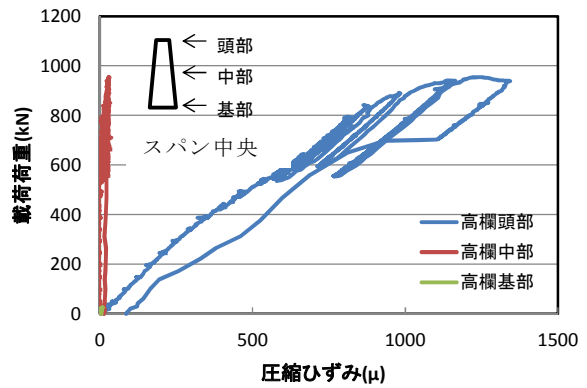


図-12 壁高欄の高さ方向のひずみ分布

6.4 載荷時における主鉄筋の挙動

塩害により著しく劣化した試験体 W-3 の載荷時における主鉄筋のひずみを計測した。スパン中央から約 500mm 離れた位置付近に 1 段目の主鉄筋が全て露出したため、その位置で全本数にひずみゲージを貼り付けた。写真-3 に示す下段主鉄筋 No. 1、No. 3 及び No. 6 のひずみ計測結果を図-13 に示す。同図から分かるように、荷重の増加に伴って、No. 1 鉄筋のひずみが顕著に増加するが、No. 6 主鉄筋のひずみ増加が小さい。No. 6 主鉄筋とその上部にある主鉄筋の間にあるコンクリートが剥落したため、主鉄筋の間に隙間が生じている。そのために、荷重の増加に伴い、No. 6 主鉄筋が上方にシフトした。従って、No. 6 主鉄筋が十分に引張力を負担出来なかったからである。

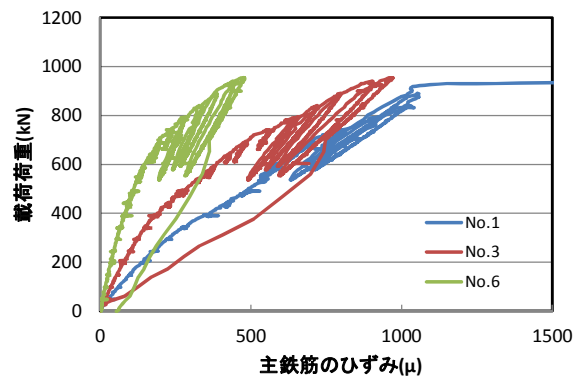


図-13 W-3 試験体の各主鉄筋のひずみ状況

7. まとめ

本研究から得られた結果及び知見を以下にまとめる。

(1) 研究対象試験体の主桁下面・側面、床板、横桁において、うき、剥離・剥落、鉄筋露出などが確認された。試験体 W-4 と W-7 の劣化度合いは比較的軽微である。しかし、試験体 W-3 の劣化度合いが重度であり、下面の劣化した範囲は全面積の約 70%に及んでいる。露出している主鉄筋の一部は断面欠損が発生し、帯筋が破断に至っている。また、主鉄筋の下段鉄筋は、コンクリートとの付着が確保されていない。

(2) 劣化度合いがほぼ同様である中間桁の試験体 W-4 と壁高欄を取り除いた試験体 W-7 の耐荷力がほぼ同じである。従って、耳桁張出部のハンチの影響は無視できる程度と考える。

(3) 壁高欄が付いた試験体 W-3 と壁高欄を取り除いた試験体 W-7 の耐荷力を比較すると、試験体 W-3 の劣化度合いが顕著であるにもかかわらず、その残存耐荷力が約 3 割程度高くなっている。これは壁高欄が RCT 桁の耐力向上に寄与したものと考える。

(4) 試験体 W-3 の壁高欄の表面には砂礫状の材料で約 10mm 程度吹付化粧されたため、目視で確認する限り、塩害による損傷はなかった。従って、上ビームが大きな圧縮力

が負担でき、これが主桁の残存耐力への寄与率が大きかった要因と考えられる。

謝 辞：

本研究は、平成 26 年度、一般社団法人沖縄しまたて協会の技術開発支援課題である「塩害損傷を受けた RC 桁の残存性能評価手法の開発」（担当代表者：淵脇 秀晃、琉球大学工学部技術部）の一部として実施しました。また、沖縄県那覇市より、本研究対象の RCT 桁を提供して頂きました。さらに、金秀鉄工株式会社は工場ヤードを長期間に提供して頂きました。載荷実験に際し、沖縄ピーシー株式会社の試験機を使用させて頂きました。また、琉球大学工学部環境建設工学科の大学院生、学部生の諸君に多大の支援を頂きました。ここに併せて謝意を表します。

参考文献

- 1) 下里哲弘、金田一男、砂川章次、淵脇秀晃、久米仁司、太田清志、玉城喜章、長嶺由智：塩害により著しく劣化した RCT 桁の劣化度と残存耐力、構造工学論文集 Vol. 60A、pp. 761～770、2014.
- 2) 砂川章次、金田一男、久米仁司、太田清志、下里哲弘、玉城喜章、淵脇秀晃、長嶺由智：塩害劣化 RCT 桁橋の主桁耐荷力に対する壁高欄の寄与に関する実験研究、土木学会西部支部沖縄会 第 4 回技術研究、2014. 10.