

那覇港臨港道路の橋梁劣化状況点検結果に関する一考察

Some Considerations of Naha Port Freeway Bridge Inspection Results on Degradation situation

白石秀幸*・白石悟**

SHIRAIISHI Hideyuki and SHIRAIISHI Satoru

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 研究員

** (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 第二調査部長

The bridge on Naha Freeway has been inspected continuously. Because a decline in the main beam was found, more inspections were made locally last year. Material and structural inspection results are also carried out.

Key Words : free lime ,crack, concrete cover, eccentric lord caused by prestressing force

1. はじめに

港湾構造物の維持管理の重要性が叫ばれている昨今、那覇港臨港道路では定期的に橋梁点検（目視調査）が行われている。

沖縄県は亜熱帯環境であり、四方を海で囲まれていることなど海洋構造物は厳しい環境にさらされることとなる。

那覇港臨港道路の橋梁はその大部分が鋼橋およびPC橋で構成されており、平成14年度、施工後10年ほど経過したPC 5径間連続箱桁橋について詳細な点検を実施した。

このPC橋梁は橋長240mの曲線橋であり、桁高変化もあるなど構造上複雑な特徴を持っている（図-1, 2, 表-1参照）。

本稿では、このPC橋の一部に劣化が見られたことから、材料的要因、構造的要因の両面に着目し、その原因究明について記す。

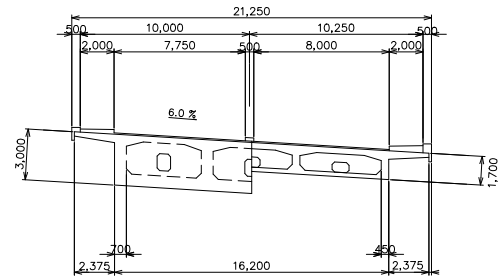


図-1 主桁標準断面図

表-1 橋梁諸元

橋種	プレストレストコンクリート橋
道路規格	第3種 2級
構造形式	PC 5径間連続箱桁橋
橋長	240,000 m
支間	39,000 + 44,000 + 72,000 + 44,000 + 39,000 m
幅員	21,250 m (標準部)
縦断勾配	左 4.600 % 右 4.550 %
横断勾配	片勾配 8.000 % ~ 拌み勾配 2.000 %
平面線形	R = 150 m A = 150 m
活荷重	TL-20, TT-43
設計水平震度	Kh=0.17

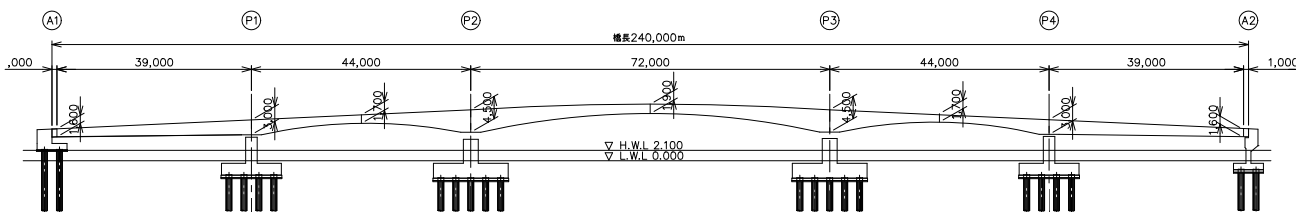


図-2 橋梁側面図

2. 調査内容

2.1 調査概要

この橋梁の点検調査は平成11年から継続的に実施されている（表-2参照）。

既往の調査結果より、この橋梁には以下の劣化状況が確認されている。

- ・桁端部 WEB 部の遊離石灰を伴うひび割れ
- ・中間橋脚部付近主桁 WEB の遊離石灰を伴うひび割れ
- ・中央径間下床版のひび割れ

これらの劣化状況が確認されたことにより、今年度は既往の調査結果を踏まえて、より詳細な調査を実施し、原因究明を行うこととした。

表-2 既往調査結果

NO.	調査時期	調査箇所	内容	調査結果要旨
1	H11.5	桁端部	桁端部のクラック	・全ての桁端部に0.05mm～0.2mmのクラックを確認 ・引張応力に対するスターラップ鉄筋が配置不可能であったため発生したと推定
2	H13.4	桁端部	三次元FEM解析	・定着切り欠き部の内部表面に10.9N/mm ² の引張応力が発生
3	H13.12	全体	劣化調査	・桁端部、P3橋脚付近WEB、P2～P3下床版のクラック幅、深さの調査 ・原因の推定は行わず
4	H14.3	全体	上部工ひび割れ調査	・P3橋脚付近WEB（補修跡あり） ・P2～P3下床版0.06mm～0.4mmのクラック、FEM解析結果、緊張時の腹圧力と推定 ・端部のクラックは進展せず ・WEB部の塩分量測定、問題なし

2.2 調査内容

調査内容は以下の項目である。なお、現地調査は橋上の交通規制を実施し、特殊作業車を使用して吊り足場を設置した後に行った（写真-1、2 参照）。



写真-1 特殊作業車による作業状況



写真-2 吊り足場設置状況

(1) 桁内外面目視調査

目視により構造物表面に発生しているひび割れ、剥離等を調査し、損傷図を作成。

(2) はつり試験及びコア採取

上記(1)において異常が確認された箇所について、鋼材の腐食状況把握のため実施。

(3) 室内試験

損傷箇所付近のコアを採取し、塩化物浸透量、アルカリ骨材反応、その他各種試験を実施。

3. 調査結果

(1) 桁内外外観目視調査結果

今回の調査では既往の調査で確認されている他に、隔壁のひび割れ、中央径間下床版上面のひび割れが桁内面で確認された（写真-3 参照）。



写真-3 隔壁部劣化状況

(2) 現地・室内試験結果

現地はつり試験結果（写真-4 参照）、室内試験結果から鉄筋のかぶり不足やA1橋台桁端部の鉄筋の未配置および鉄筋のあき不足等が確認された。なお、塩害や中性化等による鋼材、コンクリートの劣化は認められなかった。

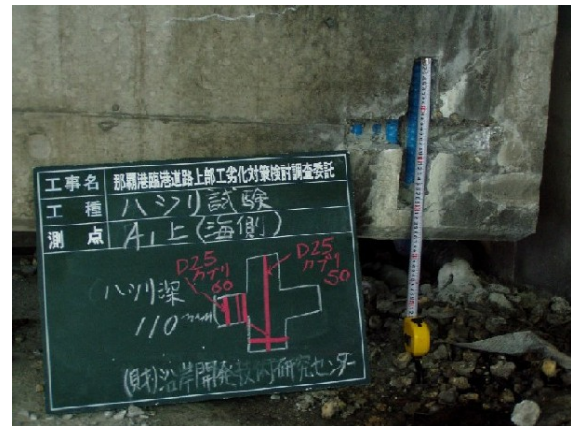


写真-4 はつり試験

4. 劣化原因の考察

沖縄県は当時の道路橋示方書上で塩害対策区分Ⅰと区分されており、一般的な箇所よりも大きなかぶり厚が設定されていた。また、更なる塩害対策として塗装鉄筋も使用していた（平成14年3月の道路橋示方書改訂から、塗装鉄筋の使用または塗装コンクリートの併用が義務づけられた）。

今回の各種室内試験の結果では、材料的要因による劣化は認められなかった。つまり、施工時には適切な材料を使用し、必要かぶりが確保されていたと言える。

今回の調査結果では、構造的要因が主要因であることが判明し、各部位における劣化要因ならびに考察について以下に述べる。

1) A1 桁端部

クラックの発生要因として、PC鋼材定着部の補強鉄筋不足が懸念され、設計上では補強鉄筋を満足していることを照査した。しかしながら、施工上、設計図に示された補強鉄筋の配置が困難で、桁端部のPC鋼材定着部付近補強鉄筋の不足によりプレストレス導入時に初期ひび割れを起こし、温度・乾燥収縮の影響でひび割れが進展したと推測される。なお、コンクリートの混和剤として膨張剤を使用している。よって、無筋状態である桁端部に膨張による応力が作用したこともひび割れを助長した要因に挙げられる。また、A1 端部は橋梁の縦断勾配や伸縮継ぎ手損傷のため、橋面からの漏水が著しく、このことから遊離石灰の発生を助長したことが考えられる(写真-5 参照)。



写真-5 A1 桁端部における遊離石灰

桁端部のひび割れは、伸縮装置からの漏水等の環境からPC鋼材定着具やシースの腐食を起こす原因となることから何らかの対策が必要であると考えられる。

2) P2~P3 径間下床版

P2~P3 径間下床版のひび割れの原因は、桁高の変化する曲線形状を有する下床版に配置されたPC鋼材のプレストレスによる腹圧力(図-3 参照)によるものと推定し、腹圧力による応力照査として平面骨組み解析(図-4 参照)と三次元FEM解析(図-5 参照)を実施した。

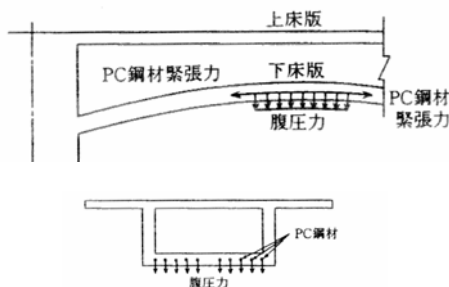


図-3 プレストレスによる腹圧力の模式図

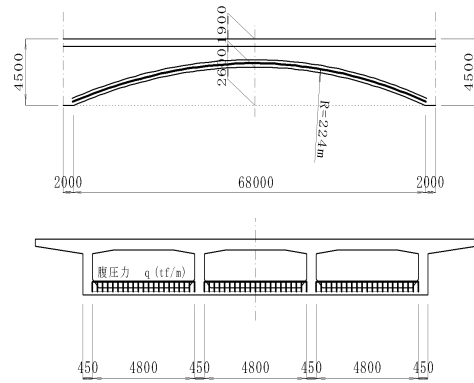


図-4 平面骨組解析におけるモデル

設計上、下床版のPC鋼材は12S12.7-20本が配置されており、プレストレス力は次のとおりである。

$$\text{プレストレス力 } P = 1,275 \text{ kN} \times 20 \text{ 本} = 25,500 \text{ kN}$$

プレストレス力による腹圧力は次式により算定する。

$$\text{腹圧力 } q = \frac{P}{R} \times \frac{1}{B}$$

ここに、

q : 腹圧力(kN/m)

P : プレストレス力(kN)

R : 曲率半径 (m)

B : 下床版幅(m)

$$q = \frac{25,500}{224} \times \frac{1}{4.80} = 23.7 \text{ kN}$$

正の曲げモーメントと負の曲げモーメントの最大値を用いて下床版下側及び上側のひび割れ幅の検討を行う。

- ・正の曲げモーメントの最大値 $M_{\text{max}(+)} = 25.884 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$
- ・負の曲げモーメントの最大値 $M_{\text{max}(-)} = -52.766 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$

ひび割れ幅は次式により算定する。

$$\text{ひび割れ幅 } w = k \{ 4 \times C + 0.7(C_s - \phi) \} \times (\sigma_{se} / E_s + \epsilon_{csd})$$

ここに、

k : 異形鉄筋の附着性状定数 1.0

C : かぶり 70mm

C_s : 鉄筋ピッチ 250mm

ϕ : 鉄筋径 (D16) 15.9mm

ϵ_{csd} : ひび割れ幅に及ぼすコンクリートの収縮とクリープの影響を表す定数 1.50×10^{-4}

σ_{se} : 鉄筋応力度の増加量 正) 211.2N/mm²

負) 354.8N/mm²

E_s : 鉄筋のヤング係数 $2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

$$\therefore w=1 \times \{4 \times 70 + 0.7(250 - 15.9)\} \times (211.2/200000 + 0.00015) = 0.535\text{mm}$$

$$\text{許容ひび割れ幅 } wa = 0.0035 \times C = 0.245\text{mm} < w \quad \text{N.G}$$

(正に対して)

$$\therefore w=1 \times \{4 \times 35 + 0.7(250 - 15.9)\} \times (354.8/200000 + 0.00015) = 0.585\text{mm}$$

$$\text{許容ひび割れ幅 } wa = 0.0035 \times C = 0.245\text{mm} < w \quad \text{N.G}$$

(負に対して)

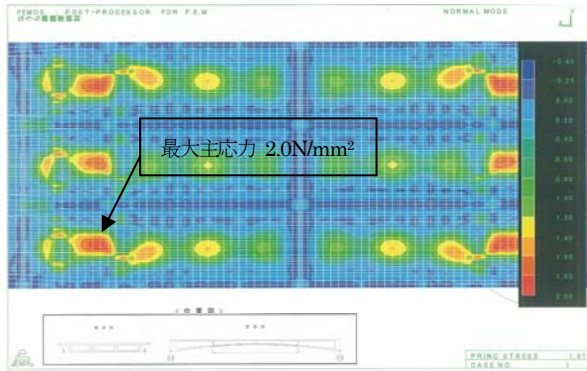


図-5 FEM 解析結果による下床版下縁の最大主応力

解析結果によると現在の下床版鉄筋配置 (D16@250mm) では、下床版支間中央部で 0.5mm 程度、下床版の WEB 付近で 0.6mm 程度のクラックが発生することとなる。

平面骨組み解析結果と FEM 解析結果はほぼ一致し、現地調査において確認したクラックの発生位置と解析結果によるクラックの発生位置もほぼ一致することが判明した。従って、下床版のクラック発生は主要因はプレストレスによる腹圧力によるものと考えられる。また、幅員も大きく下床版コンクリート打設時の型枠の拘束力も副次的要因として挙げられる。なお、腹圧力に関する検討は当時適用されていた示方書類には明記されておらず、今回の道路橋示方書の改訂 (平成 14 年 3 月) において初めて明記されたものである。

3) P3 付近 WEB

P3WEB 付近のひび割れについては、既往の調査結果から既に充填剤を施していることが判明している (写真-6 参照)。よって、この箇所は施工時のクラックであると考えられる。

P3 橋脚付近の主桁 WEB 海側面でのひび割れは、コンクリート打設時が下床版、WEB、上床版の 3 段階施工であることから、下床版の拘束効果による WEB コンクリート打設後の温度変化・乾燥収縮によるところが大きいと推測できる。また、中間支点横桁厚が 4m と厚いため、桁内外の温度による内部拘束の影響も考えられる。

遊離石灰の発生については、桁内部は乾燥しており、変状はない。よって、海側 WEB の遊離石灰の原因は歩車道境界付近の橋面から WEB 内部を浸透した水によるものと推測できる。



写真-6 P3WEB 劣化状況

5. おわりに

今回の調査で各部材の劣化要因については、ほぼ解明できたと考えられる。ただし、P3 橋脚付近主桁の遊離石灰の基となる水の供給源を明らかにすることなど今後の課題もある。

当時の示方書類には本橋梁下床版のような劣化原因となる腹圧力に関する規定は存在しなかった。しかし、昨年の道路橋示方書の改訂では、これらの補強に関する事項が明記されるようになった。本橋梁では、悪条件が重なり劣化に至ったが、幸運にも致命的な劣化までには至っていない。

今回推定された劣化要因に対し、なるべく早期に適切な補修・補強を実施し、今後も構造物を常に健全な状態に保つべく維持管理を行っていく必要があると考えられる。

謝辞

本稿は沖縄総合事務局那覇港湾空港工事事務所より受託した「平成 14 年度那覇港臨港道路上部工劣化対策検討調査委託」に設置した委員会で御指導いただいた内容を取りまとめたものである。ご助言及び御指導いただいた関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書 (I 共通編/III コンクリート橋編)・同解説, H14. 03.
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 (維持管理編), H13. 01.
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書 (構造性能照査編), H14. 03.
- 4) 日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧, H6. 02.