

輪荷重による RC 床版の水平ひび割れの発生可能性の検討

(社)日本橋梁建設協会 正会員○松村 寿男, 正会員 高瀬 和男, 正会員 酒井 武志, 正会員 竹内 大輔
国土交通省東北地方整備局 小山田 桂夫

1. 研究の背景と目的

昭和 54 年に竣工した月山付近の橋梁において, 平成 21 年に道路機能向上を目的に床版取り替えを行ったところ, RC 床版の水平ひび割れを発見した(写真-1)。平成 20 年の床版定期点検においては, 一部で速やかに補修が必要と判定(C 判定)されているが, 床版下面には大きなひび割れは発見できず, 外観目視検査では水平ひび割れの存在を示唆する症状は見られなかった。しかし, 発見された水平ひび割れは床版の二層化による耐荷力の低下の原因となり得るが, 外観目視点検ではその発見が難しく, また, 対応の可否の判定基準も課題であると考えられた。



写真-1 水平ひび割れ

耐荷力の診断にあたり, 水平ひび割れの発生原因究明を行うことが必要であり, 解析的検討を試みた。本 RC 床版を切り出し, 強度試験などを行った結果からは, コンクリート強度がやや低い値であったこと, 細骨材がアルカリ骨材反応を示すことが分かった。また, 水平ひび割れ部は, ハンチ近傍から床版支間にかけてひび割れており, かつ鉄筋に沿って発生していることなどから, 輪荷重によるせん断破壊が疑われた。そこで本報告では, 鉄筋を含めてモデル化した FEM 解析により, 外力によるコンクリート内部のひび割れの発生の可能性を検討した。アルカリ骨材反応の検討は別報¹⁾で述べる。

2. 解析モデル

図-1 に示すように対称性を考慮し, 1/2 断面である 2 主桁分, すなわち, 橋軸直角方向に 5.6m, 橋軸方向に 1m 長さとした解析モデルを構築した。実橋に合わせ床版厚 200mm, ハンチ高 80mm とした。水平ひび割れが観察されたハンチ付近に鉛直方向から幅 500mm×長さ 200mm の輪荷重を載荷し, $F=100\text{kN}\sim 400\text{kN}$ のように徐々に増加させる荷重ケースを想定した。橋軸直角方向断面に Y 方向対称, 橋軸方向断面に X 方向対称条件, 主桁部は固定とした境界条件を採用した。図-2 に示すように, コンクリートと主鉄筋にソリッド要素, 配力鉄筋には梁要素を採用している。なお, 解析コードには FINAL(伊藤忠テクノソリューションズ所有)を用いている。コンクリートの引張側材料構成則は図-3 に示すように, テンションスティフニング特性に出雲式($C=1.0$)を用いている。圧縮側は修正 Ahmad モデルを用いている。竣工時の設計基準強度は $\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$ (210kg/cm^2)であるが, 解析モデルでは, (圧縮)強度の違いを再現するために, 健全な場合を想定した $\sigma_c=30\text{N/mm}^2$ ならびに劣化が進んで強度低下している状態 $\sigma_c=10\text{N/mm}^2$ の 2 ケースを仮定した。コンクリートの引張強度は疲労の影響を考慮し, Cornelissen らの研究²⁾を参考に静的引張強度の 1/2, すなわち, 圧縮強度 $\sigma_c=30\text{N/mm}^2$ で $f_t=0.85\text{N/mm}^2$, $\sigma_c=10\text{N/mm}^2$ で $f_t=0.50\text{N/mm}^2$ を仮定した。引張強度を超えた場合は, 分散ひび割れモデルを用いてひび割れを再現している。

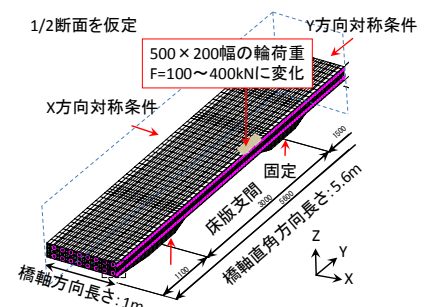


図-1 RC床版の解析モデル

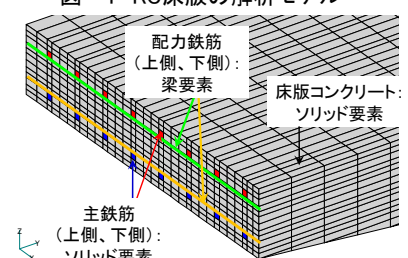


図-2 適用要素

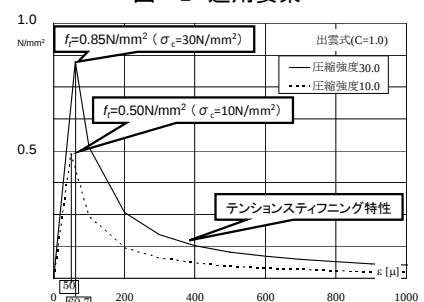


図-3 コンクリート構成則(引張側)

キーワード RC 床版, ひび割れ, FEM 解析, コンクリート非線形構成モデル

連絡先 〒475-0826 愛知県半田市神明町 1-1 瀧上工業(株) 技術開発グループ TEL 0569-89-2103

コンクリートの鉄筋への付着強度は 2.7N/mm^2 ($\sigma_c=30\text{N/mm}^2$), 1.3N/mm^2 ($\sigma_c=10\text{N/mm}^2$) を設定した. 鉄筋には, 降伏点(300N/mm^2)を変化点としたバイリニアモデルの構成則を適用している. コンクリートの弾性係数を $28,000\text{N/mm}^2$ ($\sigma_c=30\text{N/mm}^2$), $20,000\text{N/mm}^2$ ($\sigma_c=10\text{N/mm}^2$), ポアソン比 0.2, ならびに鉄筋の弾性係数を $200,000\text{N/mm}^2$, ポアソン比 0.3 としている.

3. 解析結果

荷重 $F=400\text{kN}$ における輪荷重直下の床版コンクリートのひび割れ図について, 橋軸直角方向分布を図-4に, 橋軸方向分布を図-5に示す. 図から分かるように, 圧縮強度 $\sigma_c=30\text{N/mm}^2$ に比べ, $\sigma_c=10\text{N/mm}^2$ の解析結果のひび割れが増加している. 解析結果($\sigma_c=30\text{N/mm}^2$)におけるひび割れは, 輪荷重載荷面を起点とした約 45° 分布のひび割れ性状を示しているが, 水平ひび割れは生じていない. 一方, 図-6に示すように, 解析結果($\sigma_c=10\text{N/mm}^2$)においてハンチ部上側鉄筋付近に一部水平ひび割れが生じており, 写真-1に示す経年的な劣化によるひび割れの可能性を示唆している.

配力鉄筋の発生せん断応力(横軸)と荷重履歴(縦軸)の関係を図-7に示す. 輪荷重の外側の着目点(⑦断面)の算出結果では, 圧縮強度の高い $\sigma_c=30\text{N/mm}^2$ において輪荷重 $F=250\text{kN}$ から上側鉄筋位置でせん断応力が急増していることが分かる. これに比べ, 圧縮強度の低い $\sigma_c=10\text{N/mm}^2$ では輪荷重 $F=150\text{kN}$ の早い段階において, 上側鉄筋位置でせん断応力が急増していることが分かる.

これより, 当該荷重において床版コンクリートの押し抜きせん断破壊のひび割れで荷重が再配分され, これらの鉄筋に過大な負荷が生じていること示唆している.

4. まとめ

水平ひび割れの発生原因として, コンクリート強度の低下による可能性を示した. すなわち, 健全な状態の床版($\sigma_c=30\text{N/mm}^2$ を仮定)に比べ, 強度低下している状態の床版($\sigma_c=10\text{N/mm}^2$ を仮定)では, ひび割れが増加し, ハンチ上側鉄筋付近で水平ひび割れが生じていることが分かった.

これに加え, 輪荷重増加に伴い床版コンクリートの押し抜きせん断破壊のひび割れで荷重が再配分され, 輪荷重の外れた位置においても上側鉄筋のせん断応力が急増していることが分かった.

最後に, 本研究を行うにあたり, 大阪工業大学 松井繁之教授に貴重なご助言を得た. 記して謝意を表す.

参考文献

- 1) 橋ら: アルカリシリカ反応が及ぼす RC 床版のひび割れに関する解析的検討, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集 (I) 平成 24 年 9 月
- 2) H. Reinhardt, H. A. W. Cornelissen and D. A. Hordijk: Tensile Tests and Failure Analysis of Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.112, pp.2462-2477, 1986

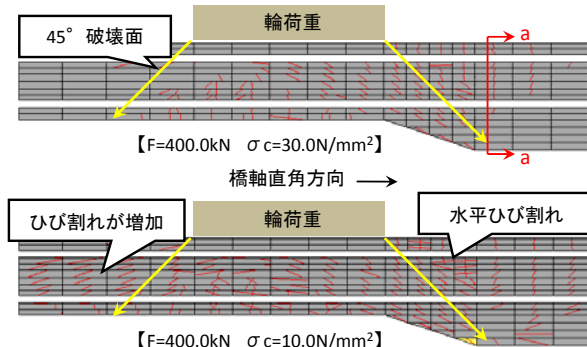


図-4 ひび割れ図(橋軸直角方向)

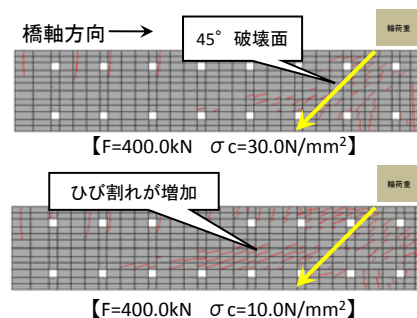


図-5 ひび割れ図(橋軸方向)

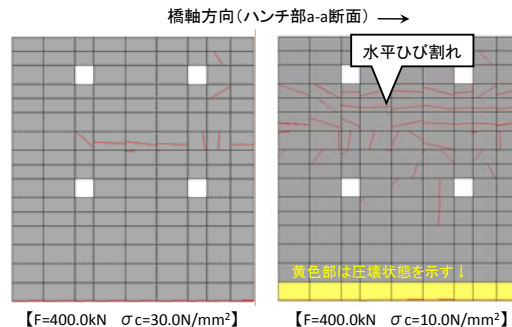


図-6 ひび割れ図(ハンチ付近側面を拡大)

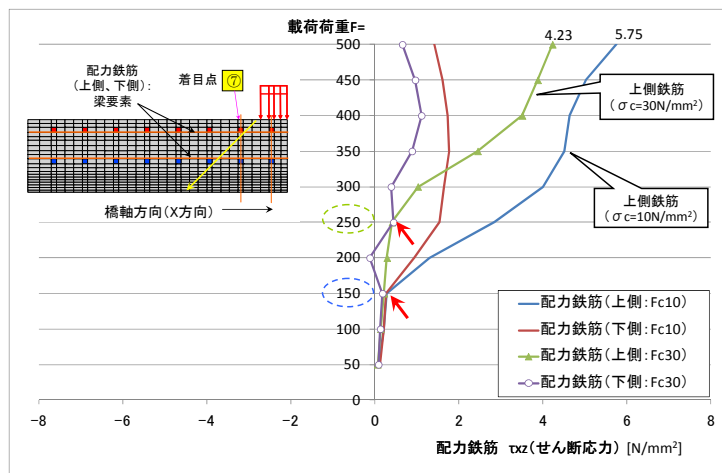


図-7 配力鉄筋せん断応力(輪荷重外)