

プレキャスト PC 床版の輪荷重走行試験に関する再現解析 (2)

法政大学大学院 学生会員 ○楠畑菜津子 正会員 藤山知加子
 (株)高速道路総合技術研究所 正会員 柴崎 晃 後藤 俊吾
 八千代エンジニアリング(株) 正会員 恩田 駿秀

1. 研究目的

本研究の目的は、(株)高速道路総合技術研究所において実施されたプレキャストプレストレストコンクリート床版（以下、PC 床版と記す）の輪荷重走行試験の再現解析を行い、PC 床版の疲労損傷の評価手法を検討することである。

2. 解析モデル概要

輪荷重走行試験の再現解析を行うために、3次元非線形有限要素解析ソフト「COM3D」を用いて試験体の再現モデルを構築した(図1)。主鉄筋と配力筋は、鉄筋の特性値をソリッド要素内に平均化させるRC要素を用いて表現した。PC鋼材は要素接点を結ぶ線要素でモデル化し、線要素に初期ひずみを導入することでプレストレスを表現した。また弾性支持梁は、実験で用いたI型鋼と断面2次モーメントが等価な矩形断面の要素で表現した。実験に使用された床版のコンクリート強度特性を表1に示す。床版のコンクリートは高強度コンクリートであるため、解析ではせん断伝達低減係数を設定した¹⁾²⁾。またコンクリートの引張強度には、乾燥収縮による初期引張応力の低下を仮定し、材料試験値の70%の値を設定した。

3. 再現解析

解析モデルを用いて、実際の輪荷重走行試験を模擬した再現解析を行った。載荷位置を図1に示す。載荷方法はSTEP1：輪荷重250kNを10万回、STEP2：輪荷重400kNを破壊に至るまで行うもの（以下、400kN載荷ケースと記す）、STEP1：輪荷重250kNを10万回、STEP2：輪荷重490kNを破壊に至るまで行うもの（以下、490kN載荷ケースと記す）の2ケース行った。

図2、図3に解析によって得られた走行回数とたわみの関係を示す。400kN載荷ケースにおいて解析値は、走行回数10万回目以降から約1mm程度実験値よりも小さい値であるが、走行回数300万回から破壊に至るような急激なたわみ増加がみられ、概ね実験を再現できた。また490kN載荷ケースでも同様に、実験でのたわみの増加傾向を解析で再現出来た。図4に静的載荷時のせん断ひずみ分布図、図5に厚さ方向のひずみ分布図を示す。また図6に実験での破壊時のひび割れ性状を示す。せん断ひずみでは、それぞれの載荷ケースで水平方向へ進展する傾向がみられた。また厚さ方向のひずみ分布ではPC鋼材高さで水平方向にひび割れ発生相当の200 μ 以上のひずみが発生した。実験でのひび割れ性状でもPC鋼材を繋ぐような水平ひび割れが見られたため、解析での床版内部でのひび割れ挙動が実験と一致していた。

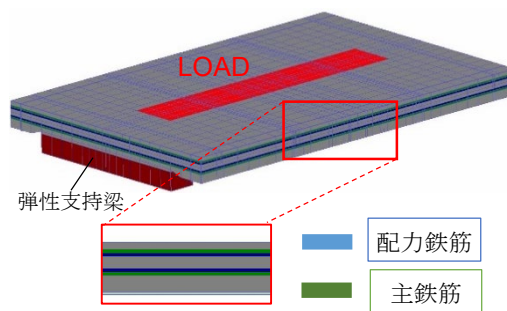


図1 解析モデル概要

表1 試験体のコンクリート強度物性

	単位	400kNケース	490kNケース
ヤング係数	kN/mm ²	43.77	33.99
圧縮強度	N/mm ²	78.4	64.07
引張強度	N/mm ²	4.217	4.700

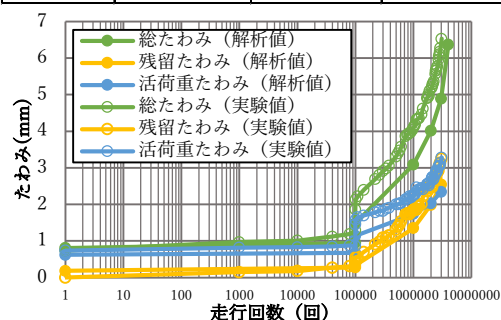


図2 走行回数—たわみ(400kN載荷ケース)

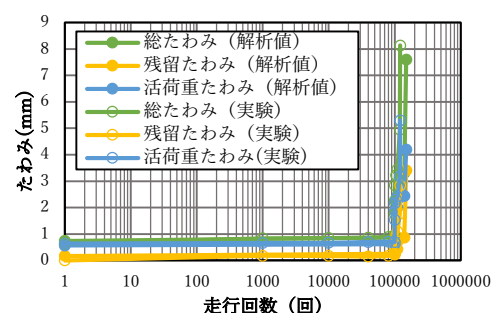


図3 走行回数—たわみ(490kN載荷ケース)

4. ひずみ指標を用いたせん断損傷分析¹⁾

4-1. ひずみ指標について

引張・せん断損傷を評価する指標である偏差ひずみの第二不変量 $\sqrt{J'_2}$ (式 (1)) を用いて、移動荷重後における床版の疲労損傷の評価を行った。また解析によって得られるひずみや応力は使用する要素分割に依存するため、式 (2) を用いて定めた領域で空間平均化する。

$$\sqrt{J'_2} = \sqrt{\frac{2}{3} \left\{ \left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_y - \varepsilon_z}{2} \right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_z - \varepsilon_x}{2} \right)^2 \right\} + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2} \right)^2 + \left(\frac{\gamma_{yz}}{2} \right)^2 + \left(\frac{\gamma_{zx}}{2} \right)^2} \dots (1)$$

$$\bar{D} = \frac{\int_V D \cdot w(s) dV}{\int_V w(s) dV} \dots (2)$$

4-2. PC 床版のせん断損傷分析

図 7 にせん断損傷着目箇所と指定した範囲を示す。空間領域半径は示方書¹⁾に従い $r=150$ (mm) とした。図 8 にたわみ量と偏差ひずみの第二不変量の関係、図 9 に走行回数と偏差ひずみの第二不変量の関係を示す。400kN 荷重ケースでは、400 万回で $\sqrt{J'_2} = 1460$ (たわみ量 6.3mm) であり、490kN 荷重ケースでは、15 万回走行で $\sqrt{J'_2} = 2160$ (μ) (たわみ量 7.6mm) となり、損傷限界値である $\sqrt{J'_2} = 1000$ (μ) を超えた。損傷限界値を超えたときの床版のたわみ量は、実験で破壊に至ったたわみ量と同程度であり、偏差ひずみの第二不変量を用いた損傷評価は妥当であると考えられる。また線形補完により $\sqrt{J'_2} = 1000$ (μ) を超えたときの走行回数を算出すると、400kN 荷重ケースでは約 346 万回、490kN 荷重ケースでは約 14 万回となった。試験時での破壊判定走行回数は、400kN 荷重ケースでは約 338 万回、490kN 荷重ケースでは約 12 万回であったため、せん断損傷に着目した $\sqrt{J'_2}$ を用いた際の破壊回数は概ね実験での破壊回数と一致した。

5. 結論

- 1) PC 鋼材を線要素でモデル化した本研究においても、解析で輪荷重走行試験の再現解析を行った結果、400kN 荷重ケースと490kN 荷重ケース共に走行回数に伴うたわみの推移を解析で概ね再現出来た。床版内部に PC 鋼材位置で連続するように発生する水平ひび割れが見られた。
- 3) 平均化した偏差ひずみの第二不変量を用いて静的荷重時のせん断損傷に着目して評価を行った場合、損傷限界値 $\sqrt{J'_2} = 1000$ (μ) を超えた走行回数は概ね実験値と近い結果となり、PC 床版でもひずみ指標を用いての破壊評価が可能であることを示した。

参考文献

- 1)土木学会：2007 年制定，コンクリート標準示方書【設計編】，2017 年
- 2)土屋智史，三島徹也，前川宏一：高強度構成材料を用いた RC 梁部材のせん断破壊と数値性能評価：土木学会論文集 No.697, V-54, 65-84, 2002.2

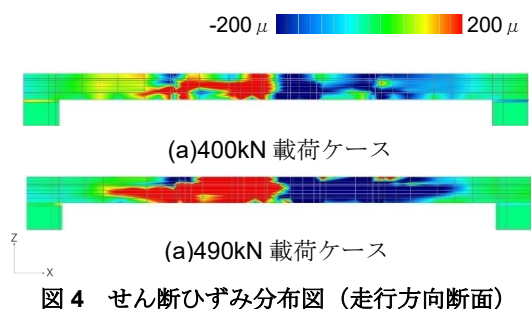


図 4 せん断ひずみ分布図 (走行方向断面)

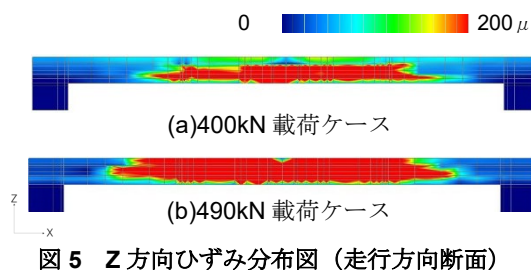


図 5 Z 方向ひずみ分布図 (走行方向断面)

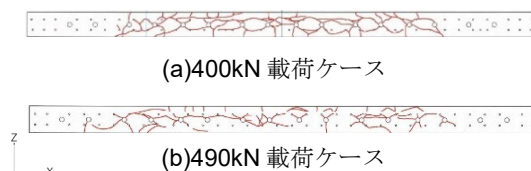


図 6 実験 ひび割れ性状 (走行方向断面)

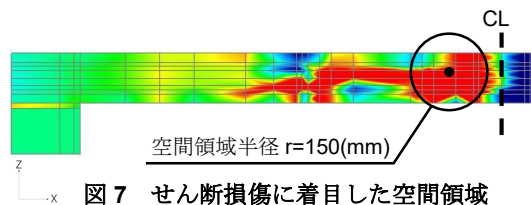
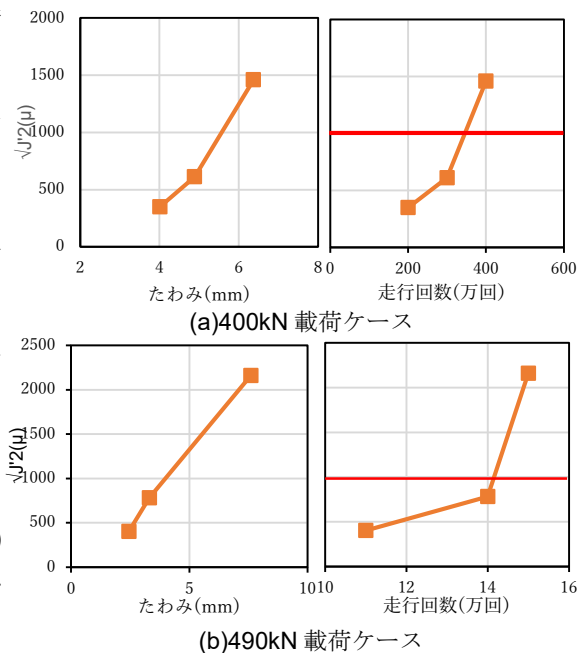


図 7 せん断損傷に着目した空間領域

図 8 たわみ・走行回数と $\sqrt{J'_2}$ の関係