

繰返し移動荷重作用下における鋼コンクリート合成床版頭付きスタッドの損傷分析

法政大学 学生会員 ○星名浩人 正会員 藤山知加子

一般社団法人 日本橋梁建設協会 正会員 松村寿男 正会員 和田均 正会員 熊野拓志

1. 研究の目的

鋼コンクリート合成床版（以下、合成床版と記す）の性能評価項目には、ずれ止めの疲労強度が挙げられる。ロビンソン型合成床版のずれ止め用いられる頭付きスタッド（以下スタッドと記す）は、移動荷重作用下においてせん断力が繰返し作用することで疲労損傷に至ることが報告されている²⁾が、実構造物でその確認を行うことは困難である。そこで、本研究では非線形3次元FEMを用いて実橋スケールのモデルに対して移動荷重を繰返し載荷するシミュレーション解析を行い、合成床版に用いられるスタッドの疲労損傷分析を行った。

2. 解析モデル

2.1 モデル概要

ロビンソン型合成床版を有する非合成2主桁桁橋（床版、壁高欄と主構が対象（舗装はモデル化しない））とし、橋軸直角方向を1/2としたハーフモデル（図-1）を構築した。主桁支間中央前後5mの範囲のスタッドは、床版支間部をソリッド要素で、張出し部は2節点間を結ぶ線要素でモデル化した。上記以外の区間ではスタッドをモデル化せず、鋼とコンクリートとの接触面に配した境界面要素にずれ剛性を与え、また、横リブ間隔および板厚を3倍とすることで曲げ剛性を確保した。境界面要素の配置および特性を図-2、表-1にそれぞれ示す。境界条件は対称断面の全節点を橋軸直角方向に拘束とし、桁端部の下フランジ下面の節点を鉛直方向拘束とした。コンクリートの圧縮強度は30N/mm²、鋼材は主桁をSM490Y、それ以外はSM400もしくはSS400の使用を想定し、降伏強度345N/mm²、245N/mm²、ポアソン比0.3とした。

2.2 荷重条件

橋軸直角方向の移動荷重載荷位置（レーン載荷）を図-3に示す。合成床版は疲労耐久性が高く一般的な設計荷重では破壊に至らないことが知られているため、荷重は過積載車を想定し軸重800kNを2車両分、合計1600kNとし、主桁支間中央の橋軸方向前後5mの範囲で移動荷重（分布荷重）を一方向に繰返し載荷した。移動速度は50km/hとした。

3. 解析結果と分析

3.1 たわみ-走行回数関係

主桁支間中央における床版支間中央の底鋼板下面節点の鉛直変位をたわみ量として抽出した。走行回数によるたわみ量の推移を図-4に示す。なお、1回走行時のたわみ6.8mmが10回走行時には7.8mmへ増加したものの、それ以降、繰返し回数が1億回に至っても顕著なたわみの増加は見られなかった。本解析の諸条件では、合成床版の性能に影響する損傷や破壊は生じないと推定される。

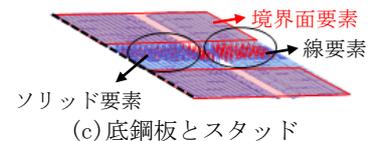
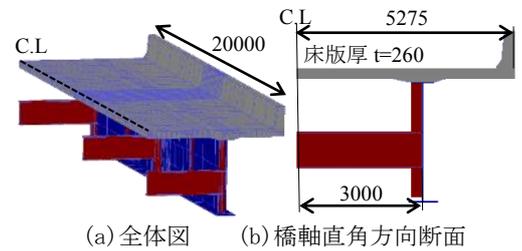


図-1 解析モデル (mm)

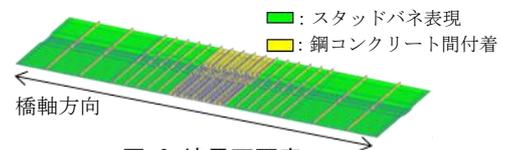


図-2 境界面要素

表-1 境界面要素特性

	付着再現	パネ再現
せん断剛性 (閉口) (N/mm ² /mm)	76923	11666
開閉剛性 (閉口) (N/mm ² /mm)	200000	28000
せん断剛性 (開口) (N/mm ² /mm)	15	15.57
開閉剛性 (開口) (N/mm ² /mm)	15	62.2
初期付着力 (せん断) (N/mm ²)	3	10
初期付着力 (開口) (N/mm ²)	3	1
摩擦係数	0.5	99

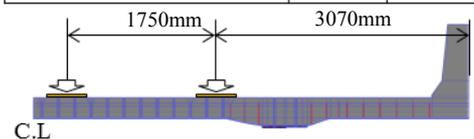


図-3 移動荷重載荷位置

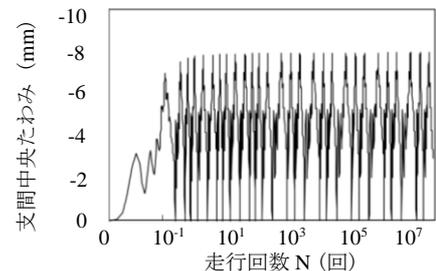


図-4 たわみ-走行回数関係

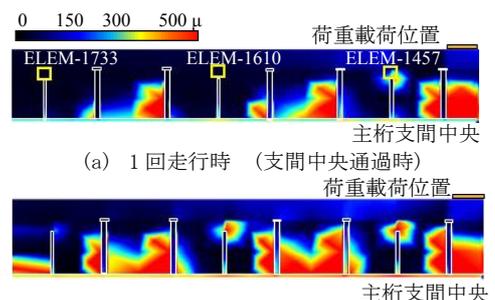


図-5 橋軸方向断面の主ひずみ分布

キーワード 合成床版 頭付きスタッド ずれ止め 疲労破壊
 連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 TEL 03-5228-1406

3.2 コンクリートの主ひずみ分布

1 回走行時と 100 万回走行時の、移動荷重が主桁支間中央に到達した時点の橋軸方向断面におけるコンクリートの主ひずみ分布を図-5 に示す。1 回走行時ではスタッド基部近傍のコンクリートと載荷位置に近いリブ上端のコンクリートに 500 μ 程度のひずみが確認されたことから、ひび割れが発生したと推定される。また、100 万回走行時においては、1 回走行時ではひずみの集中が見られなかった載荷位置から離れたリブの上端でもひずみの集中が確認された。

図-5(a) に示すリブ上端のコンクリート要素 (ELEM-1457,1610,1733) について、走行回数と最大主ひずみの推移を表-2 に示す。いずれの要素においても、走行回数の増加に伴い主ひずみが増加していることから、リブ上端に発生したひび割れが進展し、コンクリートの上下二層化が生じる可能性が示唆された。

3.3 スタッド主応力分布

10 回走行時の移動荷重が、主桁支間中央に到達した時点における主桁支間中央付近のスタッドおよび底鋼板の主応力分布を図-6 に示す。本研究で載荷した過大な荷重下においては、10 回走行時に載荷位置直下から 200mm 程度離れた位置にある A-4,A-5,B-4,B-5 に降伏強度 245MPa を超える応力集中が確認された。一方、載荷直下のスタッド A-1,A-2,B-1,B-2 は、降伏強度に達していなかった。

3.4 スタッド頭部の変位の軌跡

1 回走行時の移動荷重が、主桁支間中央付近を通過する際のスタッド A-1 および A-4 におけるスタッド頭部変位の軌跡を図-7 に示す。両者ともにスタッド頭部はループを描くような挙動をしており、既往の研究²⁾で示唆された回転せん断が、実橋においてもスタッドに作用することが示唆された。

3.5 スタッド主応力推移 (疲労破壊検討)

10 回走行時において降伏強度に至っていない載荷直下のスタッド A-1 では、100 万回走行時における主応力の応力範囲 $\Delta\sigma$ は 117.6MPa であった (図-8)。同様に B-1 の応力範囲は 133.7MPa であった。既往の研究³⁾に示された JSSC の疲労曲線に A-1, B-1 の応力範囲を加えた $\Delta\sigma$ -N 図を図-9 に示す。この結果から、スタッドを溶接した継手のスタッド断面の強度等級を S 等級とすると、本研究で想定したような過大な荷重が作用した場合は、繰返し回数 30 万回~80 万回程度で A-1, B-1 (載荷レーン直下) のスタッドが疲労破壊に至る可能性がある。

4. 結論

- 1) 繰返し走行回数の増加により、リブ上端に位置するコンクリートのひずみが増加し、水平方向に進展する傾向がみられた。これによりリブ上端を境にしたコンクリートの上下二層化が推測される。
- 2) 軸重800kNという過大な荷重における移動載荷では、載荷位置より45度荷重分布線近傍のスタッドが10回走行程度で降伏する可能性があり、載荷直下のスタッドは30万回~80万回程度の走行で疲労破壊に至る可能性がある。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼コンクリート合成床版設計・施工指針 (案)
- 2) 水野浩, 和泉遊以, 中野好祐, 阪上隆英, 松井繁之：赤外線サーモグラフィを用いた鋼・コンクリート合成床版の疲労損傷の検出および評価に関する研究, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.72, No.2, 338-349
- 3) 保坂鐵矢, 平城弘一, 柘田智子：曲げ変形を拘束したスタッド付き鋼板の複合力疲労試験, 土木学会第60回年次学術講演会,2005.9.99-100

表-2 着目要素の主ひずみ推移 (μ)

ELEM	1回	10回	100万回
1457	220.1	789.6	825.5
1610	58.5	603.2	619.9
1733	39.4	199.3	203.4

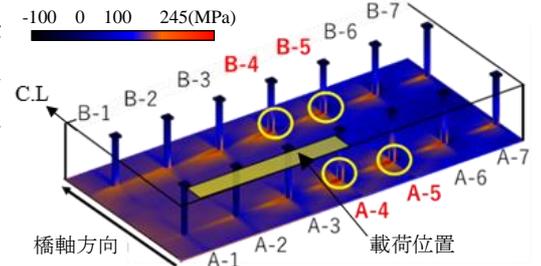


図-6 スタッド主応力分布 (10 回走行時)

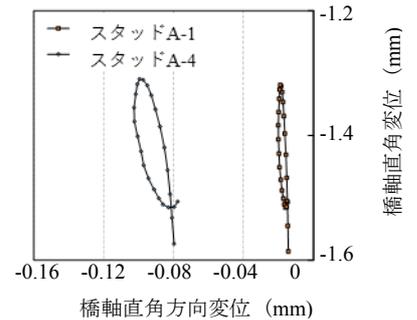


図-7 スタッド頭部の変位軌跡 (1 回走行時)

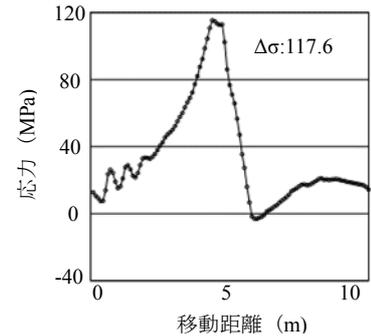


図-8 A-1 主応力変化 (100 万回走行時)

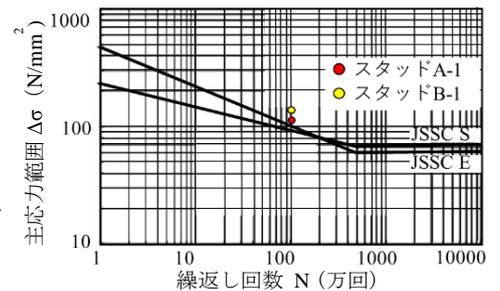


図-9 $\Delta\sigma$ -N 曲線³⁾ (一部加筆)