

超高耐久床版の疲労耐久性に関する実験的検討

西日本高速道路(株)	正会員	○福田	雅人
西日本高速道路(株)	正会員	芦塚	憲一郎
三井住友建設(株)	正会員	狩野	武
三井住友建設(株)	正会員	三加	崇

キーワード：超高耐久床版，高強度繊維補強コンクリート，アラミドFRPロッド，輪荷重走行試験

1. はじめに

近年，日本では道路橋床版の劣化が深刻な社会問題になっており，高速道路橋の大規模更新事業の床版取替え工事が多く取り組まれている。コンクリート床版の劣化の主要因のひとつは塩害であり，寒冷地や山間部における凍結防止剤散布や海岸線における飛来塩分の影響が大きい。塩害によってコンクリート床版内の鉄筋が腐食し構造的な性能が低下する事例や，鉄筋の腐食膨張によりコンクリート片が剥落し第三者が影響を受ける危険性などが報告されていることから，コンクリート床版には適切な維持管理が必要不可欠である。しかし，日本では今後ますます技術者不足や維持管理費・更新費の増加が深刻になっていくと考えられる。そのため，将来の維持管理の負担をできるだけ小さくしていく必要があり，今後新設されるコンクリート床版はできるだけ耐久性の高い床版構造が望まれる。このような社会的な背景を鑑み，著者らは鉄筋やPC鋼材などの腐食による劣化の原因となる鋼材を一切使用しない超高耐久床版を開発した。

2. 超高耐久床版の概要

この超高耐久床版は，設計基準強度 $80\text{N}/\text{mm}^2$ の高強度繊維補強コンクリートと緊張材として用いるアラミドFRPロッドのみを用い，鉄筋やPC鋼材を一切使用していないリブ付きのプレキャスト床版構造であり，二次製品工場で作製される。また，コンクリート内に混入する短繊維も非鉄製のビニロン繊維としている。構造概要を図-1に示す。

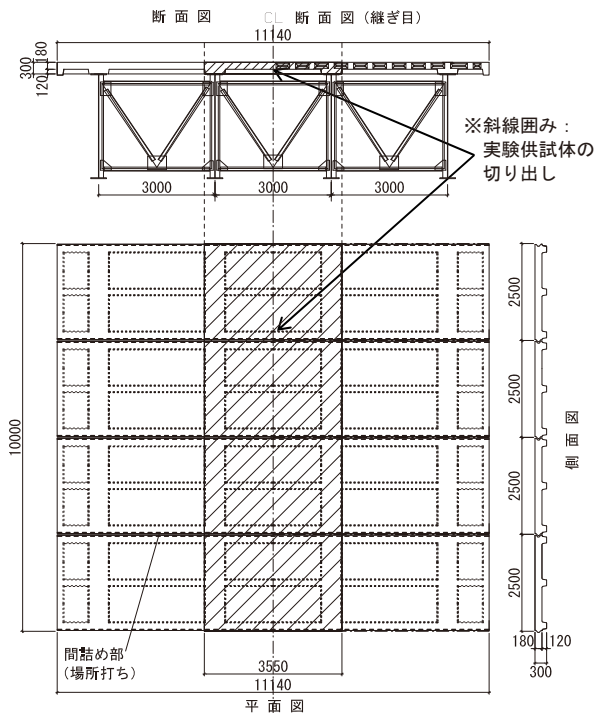


図-1 超高耐久床版の概要図

3. 疲労耐久性の検討

3.1 実験概要

道路橋床版は，重交通による疲労損傷が懸念される。本床版構造は水平リブを設けているが，補強鉄筋やPC鋼材を一切配置せず，ビニロン短繊維とアラミドFRPロッドによるプレストレスのみで補強されている床版のため，床版の疲労に対する抵抗機構が通常のコンクリート床版とは異なる。そこで，床版一般部，水平リブおよび間詰め部に着目した実物大の輪荷重走行試験により，疲労耐久性を検討した。

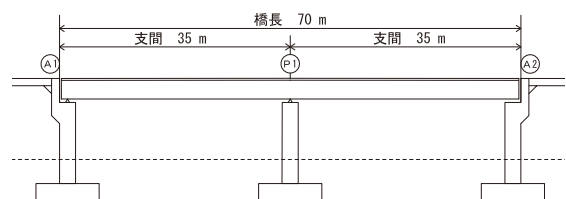


図-2 対象橋梁の概要図

3.2 供試体形状

実験供試体は、図-3に示すように図-1の実橋モデルの斜線囲み部を切り出した形状とした。橋軸直角方向について実橋モデルは3径間連続床版であるのに対し、実験供試体のモデルは単純支持のため、図-4のように立体FEM解析で検証し、実験供試体の発生応力度が実橋モデルより小さくならないように切り出しモデルの形状およびプレストレス量を設定した。リブ間、リブ上および間詰め部に着目するために中央に配置した2枚のプレキャスト床版でモデル化し、その両外側にプレストレス伝達用として、各1枚のプレキャスト床版を設置した。その後、間詰めにはプレキャスト床版と同じ設計基準強度を有する無収縮モルタルを流し込み、硬化後に橋軸方向にアラミドFRPロッドによってプレストレスを導入した。なお、橋軸方向のプレストレス量は、図-2に示す鋼連続非合成鉄桁橋の設計結果より、負曲げモーメントが最も大きい中間支点部に着目し、その位置における設計荷重時の上床版応力度を再現する値とした。

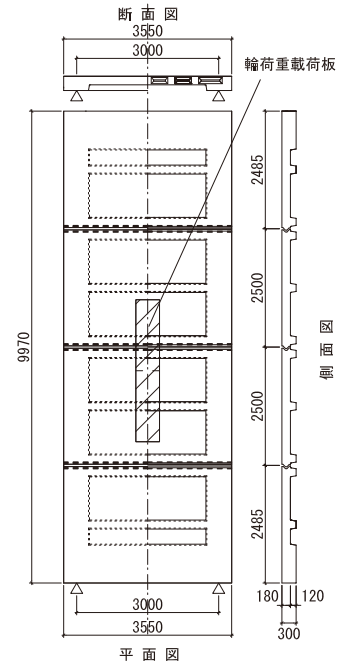


図-3 実験供試体形状

3.3 試験方法

荷重方法は写真-1、図-5のように鉄輪による1軸荷重とし、床版支間中央部を橋軸方向に3.0mの往復走行をさせた。載荷板は中央の間詰め前後以外の水平リブにも荷重が載荷されるように、橋軸方向の中央から500mmずらしている。鉛直荷重は図-6のように段階的に増加させた。なお、道路橋示方書における衝撃荷重を考慮した設計活荷重150kNの1.33倍の200kN×20万回および、設計活荷重150kNの1.67倍の250kN×10万回の累計30万回の繰返し荷重が、日本で最も重交通な高速道路の路線である東名高速道路の交通量調査をもとに算出した供用年数100年以上に相当する。

30万回以降はさらなる疲労耐久性を検証するため、載荷荷重を450kNまで順次増加させ累計54万回を実施して破壊性状を確認することとした。また、図-6のステップで、ステップ1と2では0回、1000回、4万回、以後4万回ごとに、ステップ3~6では0回、4万回で静的荷重を各ステップと同一の載荷荷重で実施した。載荷位置は、図-5に示すA点~D点の4箇所とした。

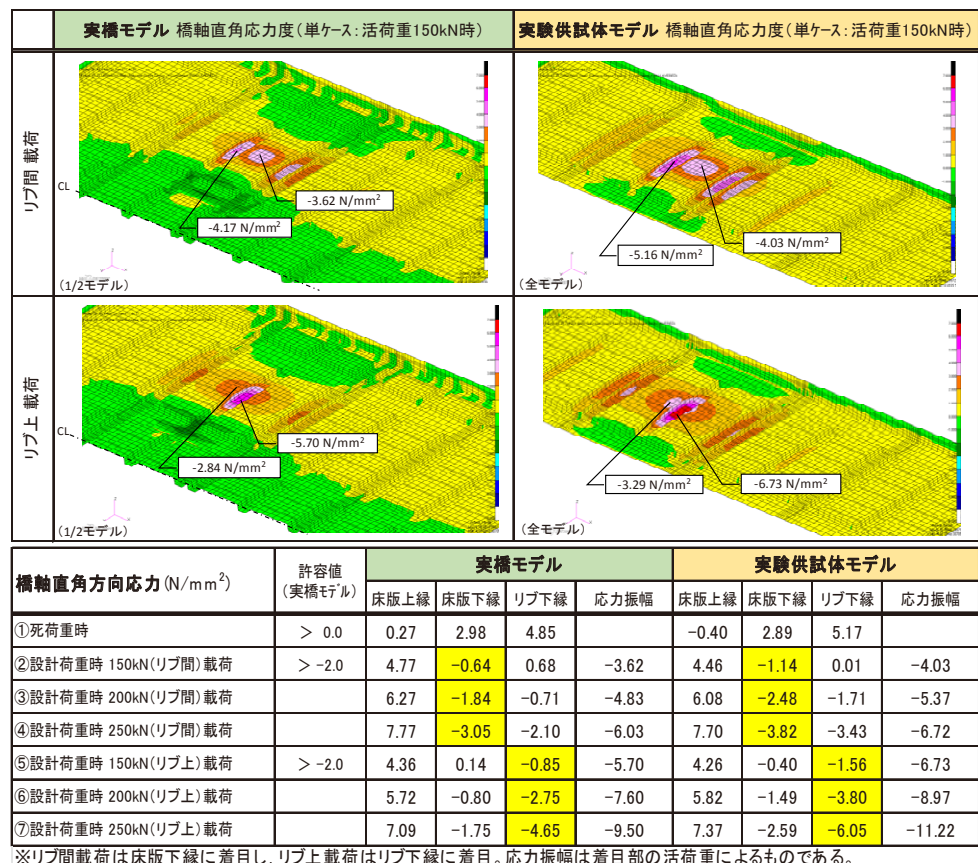


図-4 実橋モデルと実験供試体モデルの応力度比較

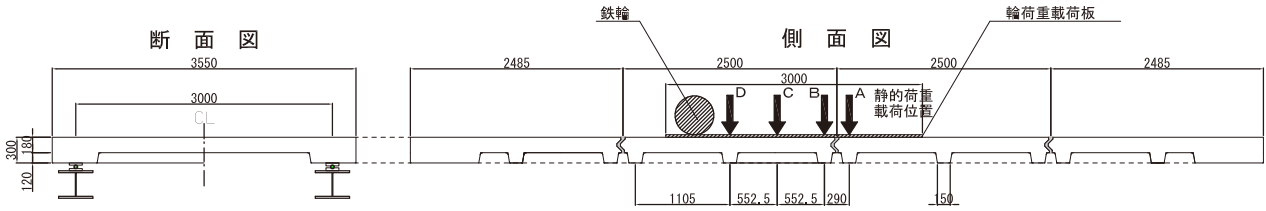


図-5 輪荷重走行試験の概要



写真-1 輪荷重走行試験状況

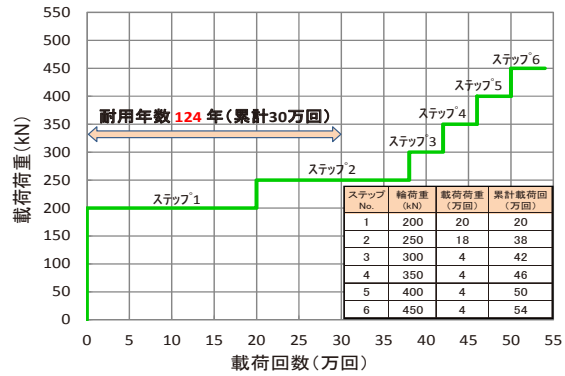


図-6 輪荷重走行試験載荷ステップ

3.4 実験結果

(1) 損傷概要

載荷荷重と床版支間中央部におけるリブ間 (図-5 C点) およびリブ上 (図-5 B点) の鉛直たわみ量との関係を図-7 に示す。載荷荷重の違いによるたわみの違いを取り除くために、載荷荷重を200kNに換算してグラフに示した。載荷荷重ごとでの損傷概要を述べる。

① 載荷荷重200kN：繰返し回数20万回までは、リブ間およびリブ上ともに載荷によるたわみ量の変化は小さく、疲労の影響は小さいとされる。また、200kNの累計1000回程度でB点

のリブ下面に、200kNの累計16万回でC点のリブ間床版下面にそれぞれ0.07mm程度のひび割れが発生したが、それらが進展することはなかった。なお、弾性FEM解析による載荷荷重200kNでのたわみ量はリブ間で0.92mm、リブ上で0.91mmであり、実験結果とはほぼ同等であったことから、上記のひび割れは剛性低下を導くようなひび割れではなく実験供試体全体としては弾性的な挙動をしていると考えられる。

② 載荷荷重250kN：載荷荷重200kNで発生したひび割れが進展し、200kNに換算したたわみ量も若干増加したが、それ以外の損傷の進展は見られなかった。

③ 載荷荷重300kN以降：荷重の増加とともに200kNに換算したたわみ量が徐々に大きくなった。また、載荷荷重200kNで発生したリブ間床版下面のひび割れ幅が、0.04mm (200kN) → 0.16mm (250kN) → 0.62mm (450kN) と進展した。なお、このひび割れ幅は、ひび割れ発生後に設置したπ型変位計の計測値であり、クラックスケールを用いた計測値は、0.08mm (250kN) → 0.40mm (450kN) であった。

④ 載荷終了後：載荷荷重450kNの除荷後の残留ひび割れ幅は0.19mm、残留たわみは0.99mmであった。繰返し載荷の最終段階 (450kN) の後でも、立体FEM解析で想定される曲げひび割れ以外の発生はなく、そのひび割れ幅、ひび割れ長さの急激な進展は見られなかった。これらより、今回の繰返し載荷後も所定の残存耐力は保有していると考えられる。図-8 に載荷終了時の床版下面のひび割れ状況を示す。

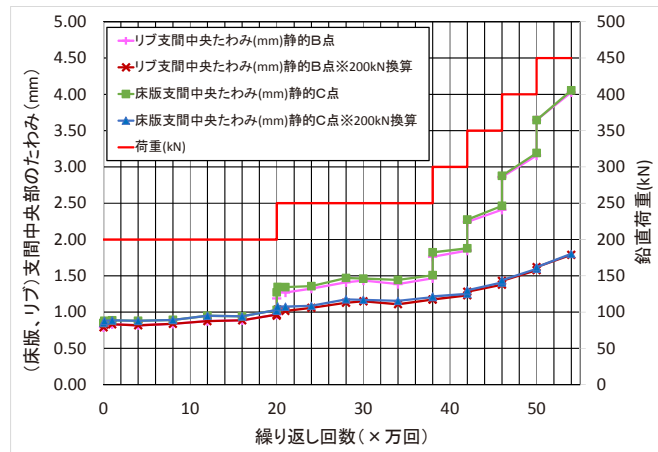


図-7 載荷荷重と床版たわみ

(2) 間詰め部付近の連続性

間詰め付近のB点におけるリブにおいて、橋軸直角方向の床版のたわみ分布を図-9に示す。繰返し載荷の最終段階(450kN)までのたわみ分布は連続性のある分布を示しており、間詰め部付近では局所的な損傷は発生していないと考えられる。また、間詰め目開きについては、450kN載荷時に最大0.10mm(A点載荷)であったが、荷重を除荷するとひび割れ幅はほぼ0mmとなった。また、実験終了後に間詰め部の上面で水張り試験を実施したが、水漏れは確認されなかった。そのため、目開きのひび割れは表面的なものであり、貫通には至っていないと考えられる。

(3) 考察

図-7の載荷荷重を200kNに換算したたわみ量のグラフからわかるように、本構造は載荷荷重200kN, 250kNではたわみ量の増加が大きくないことから、この段階までは明確な疲労の影響は見受けられない。また、載荷荷重300kN以降ではたわみ量は徐々に増加しているが、ひび割れ以外に急激な損傷などは起こっていないため、疲労における加速期までは至っていないと考えられる。さらに、450kNの繰返し載荷終了後も弾性FEM解析で算出した応力に相当するひび割れ程度の損傷しか発生しておらず、疲労に対して十分な余剰耐力を有していると言える。

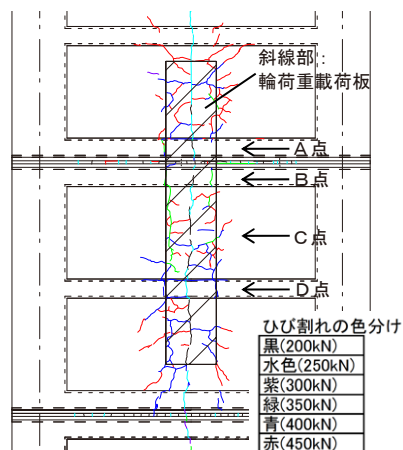


図-8 ひび割れ発生状況 (累計載荷 54 万回時)

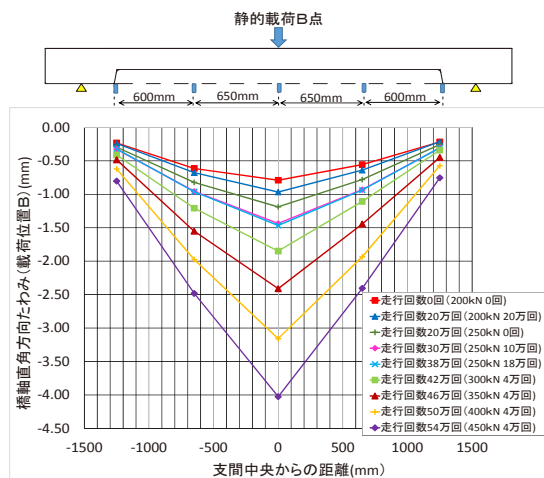


図-9 橋軸直角方向の床版のたわみ分布

4. まとめ

本検討では、コンクリート床版の耐久性向上を目的とし、鉄筋やPC鋼材などの腐食する部材を一切用いない超高耐久床版を開発した。本構造は塩害などの腐食劣化因子に対しては高い抵抗性を有するが、鉄筋などを一切用いていないため交通荷重に対する疲労特性が通常のコンクリート床版と異なることが考えられた。そこで、輪荷重走行試験により疲労特性を検討した。本検討で得られた結果を以下に示す。

[1] ビニロン繊維を用いた設計基準強度 80N/mm²の高強度繊維補強コンクリートとアラミドFRPロッドのみを用いた床版を開発した。

[2] 上記の床版に対して、実物大による輪荷重走行試験の結果、東名高速道路の交通量に対しても100年以上の疲労耐久性を有していることが確認できた。

[3] 輪荷重の載荷荷重を設計荷重の3倍に相当する荷重まで増加した繰返し載荷後も耐力低下につながるような大きな損傷等は発生せず、十分な余剰耐力を有する構造であることが確認できた。

以上の結果より、今回開発した超高耐久床版は実用化に十分な疲労耐久性を有すると考えられる。本成果を高速道路橋へ採用するため飛来塩分や凍結防止剤散布環境の厳しい対象橋梁を選定中である。

参考文献

1) 緒方辰男, 大城壮司, 永元直樹, 片健一: 超高耐久橋梁の開発と実証橋の施工, プレストレストコンクリート, pp73-80, Vol. 58, No. 2, Mar. 2016
 2) 三加崇, 大城壮司, 松井隆行, 永元直樹: 高強度繊維補強コンクリートとAFRP緊張材のPC床版の疲労特性に関する研究, pp395-400, プレストレストコンクリート工学会 第22回シンポジウム論文集 (2013年10月)