

橋梁の長寿命化に対する床版の役割



松井 繁之*

Roles of Deck Slab for Increasing Durability of Highway Bridge

Key Words : Highway Bridge, Slab, Durability, Fatigue, Prestress

1. 橋梁の長寿命化

バブル崩壊後のわが国の経済は長期低迷が続き、今後とも画期的な発展が望めない。また、確実な高齢化社会を迎えるとの展望を加えて、公共事業一般に対する徹底したコスト縮減が求められている。一方で、わが国の平成9年3月現在の高速道路の供用延長は6,114 kmとなっており、今後のわが国の発展のためにはこの倍程度は必要と推算されている。現在、第二東名・名神高速道路の建設が順調に開始されたところである。この新しい高速道路は総延長は500

kmを越えるものであるが、急峻な山岳地帯を通過するため、その総延長の40%程が橋梁とならざるを得ないのである。

また、建設省の調べでは、わが国全体の平成6年4月現在での橋梁保有数とその総延長は図1のようであり、約13万橋のストックがある。

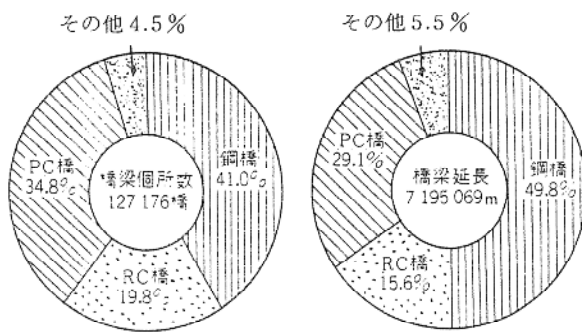


図1 わが国の橋梁の保有数と橋梁延長¹⁾

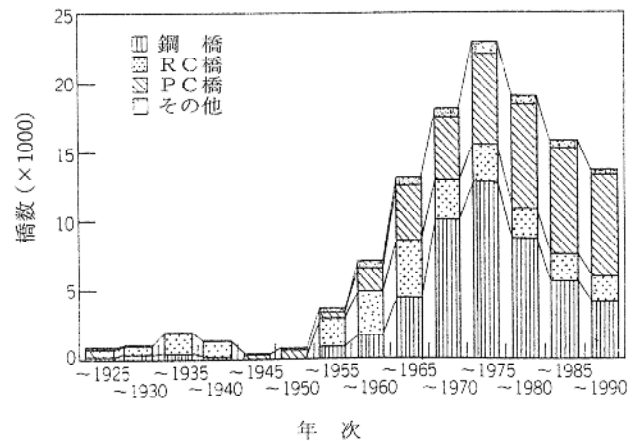


図2 建設年次別橋梁数¹⁾

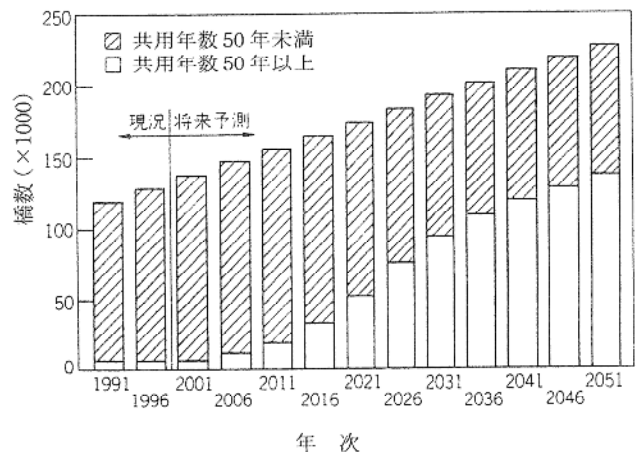


図3 老朽化橋梁の予測(50年以上のもの)¹⁾

* Shigeyuki MATSUI
 1943年1月29日生
 昭和46年大阪大学大学院・工学研究科・構築工学専攻修了
 現在、大阪大学工学部土木工学科、教授、工学博士、橋梁工学・コンクリート工学
 TEL 06-879-7619
 FAX 06-879-7621
 E-Mail s-matsui@civil.eng.osaka-u.ac.jp



しかし、そのほとんどが図2で分かるように昭和40年代からのものであり、老朽化が進んでいるのである。橋の寿命の定義に明確なものはないが、一般的に言われている50年程度とすると、図3に示すように2015年頃から老朽化橋梁は急激に増加することがわかる¹⁾。

以上のような現状から、新設橋梁ではコスト削減を計ると共に、より耐久性のある橋梁を建設しなければならず、既存橋梁に対しても、補修や補強という維持管理が非常に重要な業務となるが、やはり、耐久性のある合理的な方法を採用しなければならないのである。土木工学科で橋梁を研究する講座は第一講座と第五講座であるが、共にこのような観点を重視している。橋梁の耐久性向上に関して多数の意見・方法が考えられるが、今回は筆者の永年の研究課題である、橋梁上で車両の走行面を確保している床版を主体として、橋梁の長寿命化について研究状況²⁾を紹介したい。

2. 床版の役割と重要性

列車を通す鉄道橋では主構造である主桁(橋軸方向に置かれた鋼製の“はり”などを言う)に直接枕木を置き、その上にレールを設置して橋の用を足す。一方、自動車専用の道路橋では、自動車は任意のところを通行するのを許すために、レール・枕木のかわりに平面状の路面を必要とする。橋梁の一般構造は図4のようであり、路面を形成している床版を、複数の主桁で支え、さらに、その主桁の両端を橋脚とか橋台で支えている。この平面状の床版は、多くは鉄筋コンクリート製でできているのは、経済的であること、舗装を痛めないこと、騒音をあま

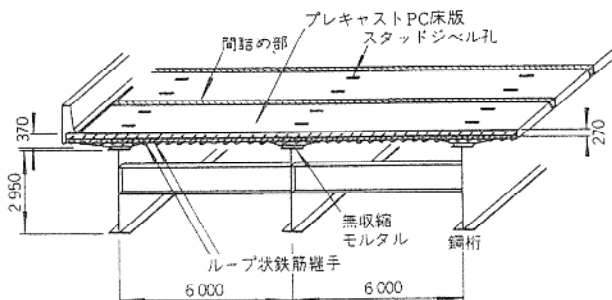


図4 橋梁の概要図

り発生しないこと等の理由によっている。この鉄筋コンクリート床版が昭和40年代初頭から損傷問題を発生するようになったのである。局部的に陥没するという現象が現れたのである。原因について後述するが、この床版が一部陥没しては、橋梁はやはり用を成さないであろう。40～50 km/h以上の速度での交通安全を確保するために、橋梁主部材として重要な機能を担っているのである。

また、橋は外国で一部見られる以外は、一般には屋根を持たず、雨ざらしである。排水装置が重要な役割を果たしているが、床版が鋼の主桁の腐食を防いでいるのである。鉄道橋では多くは床版が無く、主桁が雨ざらしになっている。

このような機能目的、使用環境条件から判断して、材料はどのようなものでも良いのかと問われると、特殊な条件が無ければ、上記の理由でやはり鉄筋コンクリート床版が良いと考えられる。

重量が最も大きな欠陥と言える。昭和37年頃から高強度の異形鉄筋が開発され、これらを用いることによって床版厚の減少が計られ、最適設計であると言われた時があった。しかし、これらの床版、すなわち、昭和39年示方書で設計された床版が、わずか数年経って損傷が現れるようになったのである。

3. 損傷原因の究明と疲労試験方法の開発

昭和40年代に入っすぐの時、関西の高速道路の床版が陥没事故を起こし、新聞に報道されたのが、床版損傷の始まりであり、原因究明の研究・調査活動を誘発したのである。筆者も設計法に問題があるのではないかと疑問から、床版の板解析を行い、コンクリートのひび割れに伴う直交異方性を考慮した曲げモーメント式を用いるべきであるとの提案を行った。

原因究明の委員会が土木学会関西支部で結成され、種々の検討がなされた。当初は、疲労の考えは全く無く、強度の高い材料を用いて床版厚を薄くしたことで、施工欠陥が主因でないかと模索された。この疲労ではないとの認識は、過去の疲労実験から得られていた疲労強度曲線、すなわち、S-N曲線(床版中央での一定点載荷法による疲労実験)を用いて高速道路床版の疲

劣寿命を推定すると、八千年から一万年程度にもなるためであった。

筆者は、この算定と実際寿命との違いは、上記疲労実験による破壊パターンと実橋床版での破壊パターンの違いにあると気づき、実橋での破壊は自動車が走り抜けることが原因しているのではないかと着眼した。それを裏付けるのが床版下面の格子状ひび割れである。複雑な3次

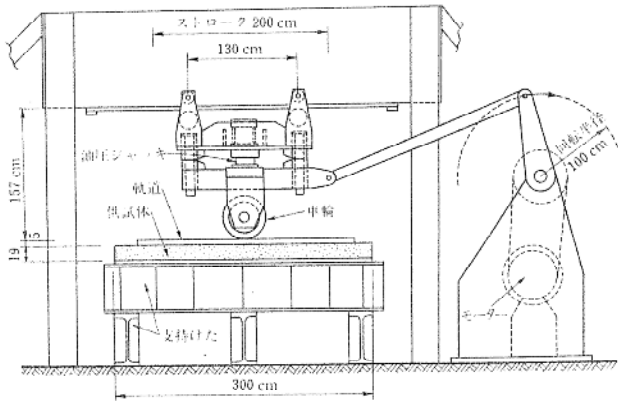
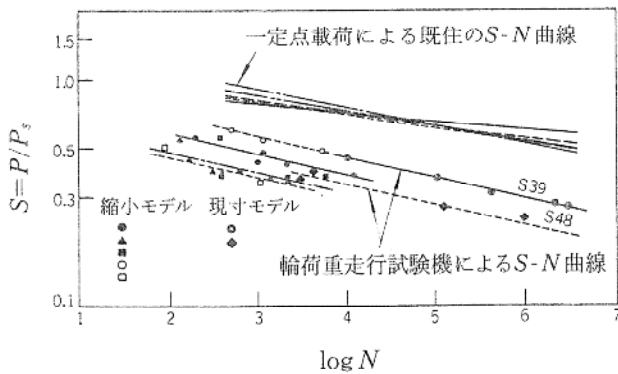
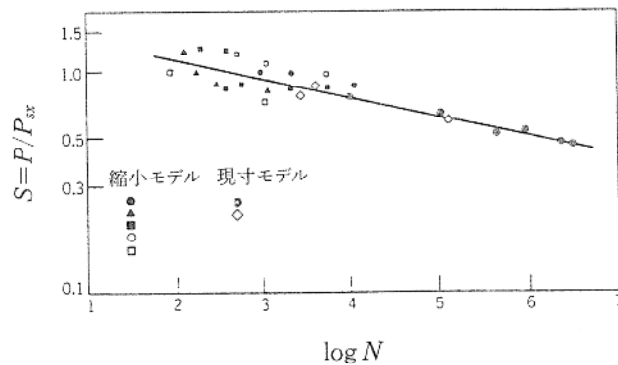


図5 輪荷重走行試験機



(a) P/P_s で表現した S-N 曲線



(b) P/P_{sr} で表現した S-N 曲線

図6 輪荷重走行試験機による床版の S-N 曲線

元解析も行われ、ねじりモーメントと橋軸直角な断面に作用するせん断力が交番することが、荷重を走行させた解析で裏付けさせた。交番することによって、定点載荷下で発生する断面力の2倍以上の振幅となることが最大原因であると判明した。そこで、疲労実験も荷重の走行移動を考慮したものでなければならぬと考え、図5に示すような床版専用の輪荷重走行試験機を開発した。そして、今日まで、この試験機による実験データを多数蓄積し、実橋の損傷機構・疲労強度について明確にするとともに、より耐久性のある床版の構造等について研究してきた。

この試験法によって、床版の破壊形式は実橋のものと同様に、鉄筋の疲労破断ではなく、床版の一部が押し抜かれる型のせん断破壊が再現できた。そして、図6に示すような、縦軸を (P/P_s : 載荷荷重 / 押し抜きせん断耐荷力) で表現したものや、 (P/P_{sr} : 載荷荷重 / ある幅の主鉄筋断面のせん断耐荷力) で表現した S-N 曲線を発表してきた。これらの結果を用いて、上記の高速道路床版の破壊寿命を算定してみると、約80年～100年程度になり、実橋での破壊損床版の寿命に飛躍的に近づき、本実験方法の妥当性が認められた。

しかし、まだ実験による寿命推定結果は実橋寿命の約5倍～10倍程度の違いがあり、材料の影響や、自動車の荷重推定の誤差等に原因しているとの考察で済ませていた。そのうちに、舗装に浸透した雨水が損傷を加速しているのではないかとひらめき、床版上面にプールを作り水を張って輪荷重走行試験を実施した。その結果、乾燥状態下のものの80倍(昭和48年示方書によって設計した床版、配力鉄筋比70%)から300倍(昭和39年示方書によって設計した床版、配力鉄筋比25%)も早く破壊するとの結果を得た。この実験から、床版の疲労寿命として、乾燥状態での結果は最大値であり、水張り実験のものは最小値を与え、実橋ではその中間値となっているとの結論を導いたのである。

一連の実験から、床版の疲労損傷過程は次のようにまとめられる。(1)床版下面における乾燥収縮拘束による橋軸直角方向のひび割れ発生、(2)過積載による自動車輪荷重載荷による2方

向のひび割れ発生、(3)同時に床版上面にも橋軸直角方向ひび割れの発生、(4)さらなる繰り返し載荷による格子状ひび割れへ発展し、ある間隔で橋軸直角方向のひび割れは貫通ひび割れになる、(5)そして、この橋軸直角方向の貫通ひび割れのひび割れ面の摩耗が進行する、(6)橋軸直角方向貫通ひび割れに囲まれたRCはり疲労限界に到達して、そのはりの主鉄筋断面がせん断疲労破壊して、最終破壊性状である陥没状態となる。(追)上記の各段階の疲労現象に、舗装から浸透した雨水が劣化を著しく加速しているのである。

4. 高耐久性(長寿命)を達成する妙薬？

上で述べたように、筆者は床版の疲労強度・疲労機構について明らかにしたが、これまで鉄筋コンクリート床版それ自身を決して弱く設計・製作してきたのではない。床版が疲労損傷を来したのは、外的要因であり、それは過積載の大型トラックであると証明できる。筆者の研究室や建設省・日本道路公団での荷重調査によると、法定軸重10tに対して、観測される最大軸重は32t程度にもなっている。設計軸重16tあるいは20tの約2倍となる。これらの軸重が一軸通過することによる疲労被害度は設計軸重によるものの2000倍～5000倍にもなることに注目し

なければならない。よって、最も効果的な妙薬は警察による違反車の取り締まり強化であると断言できる。

しかし、警察に期待するのは無理なようであり、橋梁技術者自身が、構造面・力学面からの対策を取らざるを得ないと諦めざるを得ない。しかれば、損傷過程で述べた各過程での弱点を補強すればよいのではないだろうか。

まずは、床版上面に完璧な防水層を設けることが挙げられる。これによって、床版の乾燥状態の疲労寿命が期待できるからである。現行の設計法で設計された床版の乾燥状態下での疲労寿命は200年程度となり、十分な疲労耐久性を持っていると言える。

第二の方法は、橋軸直角方向のひび割れを防止することである。このひび割れ防止によって、橋軸方向への荷重分配作用が確保され、断面力が小さくなり、結果として寿命が延びる。橋軸方向にプレストレス導入によって実現可能である。このプレストレスの方法としては床版内にプレストレス筋を配置する方法と、図7で示したような外ケーブルによる方法が考えられる。これらについての研究が最近のものである。

第三の方法は、橋軸直角方向の断面剛性を大きくして、最終破壊形式であるせん断疲労破壊強度を大きくすることである。橋軸直角方向にプレストレスを導入することによって達成される。

以上のようなことと、現場施工の省力化・トータルコストの縮減を考え合わせると図1で示したようなプレキャスト床版を活用することの優位性が見いだされる。プレキャスト床版は工場製品であり、現場までトラック輸送されるため、サイズに制限があり、橋梁架設現場の橋梁上で一体化される。この一体化する継ぎ目を継手と呼ぶが、その構造にも種々の提案があり、それ自身の耐久性や一体化した床版の耐久性の評価が重要かつ急務の課題となっている。

一昨年までは床版の疲労耐久性を実験する輪荷重走行試験機は筆者のものが唯一であった。昨年、建設省土木研究所に2機、日本道路公団試験所に1機が製作され、研究分担されることを期待していたが、逆に、床版研究がますます盛んになるとともに、競争的になりつつもあり、

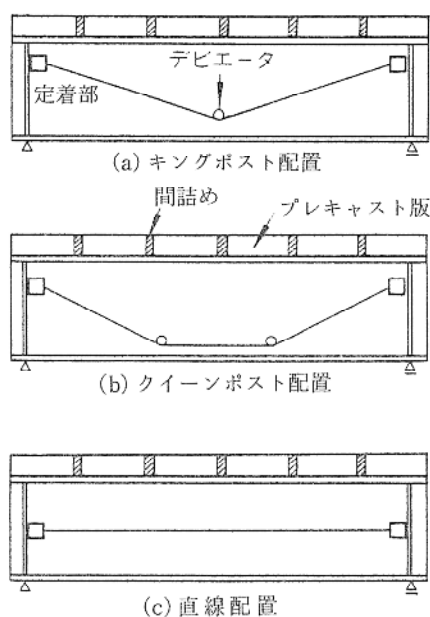


図7 外ケーブルによる補強方法

一向に時間的余裕が生まれず、今後は効率的な研究連携網を造る努力をしなければと考えている。

参 考 文 献

1) 西川和廣：ライフサイクルコストを最小に

するミニマムメンテナンス橋の提案，橋梁と基礎，Vol.31, No.8, 1997, pp.64-72.
2) 例えば，松井繁之：床版の技術開発－耐久性向上，施工合理化－，橋梁と基礎，Vol.31, No.8, 1997, pp.84-94.

