

荷重支持型伸縮装置の荷重作用と 設計手法に関する研究

WHEEL LOADING ON BRIDGE EXPANSION JOINTS AND A NEW DESIGN METHOD

町田文孝* 前田研一** 富澤光一郎*** 松井繁之**** 栗田章光*****

By Fumitaka MACHIDA, Ken-ichi MAEDA, Kouichirou TOMIZAWA, Shigeyuki MATSUI and Akimitsu KURITA

Bridge expansion joints are subject to severe conditions under the direct loading of moving vehicles causing much damage due to the increasing amount and weight of traffic. With the present design method, basic mechanism in the transmission and intensity of traffic load working on expansion joints are not very clear. In order to improve the durability of expansion joints, the present design method needs to be reviewed according to the study of these mechanism and a new design calculation method with the contact pressure of the tire as the loading condition is being suggested.

The authors have carried out the study on loading mechanism and design method of bridge expansion joints. This paper presents the test results on contact pressure and its distribution of actual truck tires, fatigue strength of the new type expansion joint using aluminum alloy and also a new design method of the expansion joint.

1. まえがき

近年の輸送量の増大（鉄道では列車本数の増加、道路では交通量の増加・車両重量の増大）に伴い、橋梁の主部材・2次部材にかかわらず、疲労によると考えられる損傷が発生してきていることはよく知られている。その1つとして、道路橋の伸縮装置は車両荷重を直接、かつ繰り返して受ける部材のため、他の部材に比べ損傷数は非常に多く、数年で交換する伸縮装置中中には存在する。伸縮装置の損傷は車両の走行性の悪化と騒音の発生を引き起こし、漏水を伴い、ひいては、橋梁端部の床版や支承など他の部材の損傷をも誘発する。また、これらの損傷を受けた伸縮装置の取り替え工事では交通規制による渋滞を起こしかねない。このようなことから、伸縮装置の耐久性の向上は道路の維持管理上重要な問題となってきており、その対策として橋梁のノージョイント化、盲ジョイントの適用および伸縮装置の改良・開発が望まれている。

一方、伸縮装置は橋梁にとって重要な部材にもかかわらず、設計上2次部材として取り扱われているのが現状であり¹⁾、また、一般に、道路橋の設計において各部材の設計は、鋼床版など特殊な部材を除いて疲労の照査は行われない。したがって伸縮装置についても車両の走行による繰り返し荷重を直接受けるという厳しい環境におかれた部材にもかかわらず、疲労の照査は行われず、発生応力の把握すら十分に行われてい

* 川田工業(株) 技術本部中央研究室 (〒114 東京都北区西ヶ原3-45-4)

** 工博 川田工業(株) 技術本部中央研究室室長 (〒114 東京都北区西ヶ原3-45-4)

*** (株)総合メンテナンス 技術部技術課 (〒113 東京都文京区本駒込3-29-7)

**** 工博 大阪大学助教授 工学部土木工学科 (〒565 大阪府吹田市山田丘2-1)

***** 工修 大阪工業大学講師 工学部土木工学科 (〒535 大阪府大阪市旭区大宮5-16-1)

い。そのため、荷重支持型の鋼製型式の伸縮装置では実際に、疲労によると思われるフェースプレートの破断やフェースプレートとウェブプレートの溶接部に亀裂が生じている。伸縮装置で設計手法が規定されているのは荷重支持型の鋼製型式の伸縮装置のみであり、例えば、片持ち型式の伸縮装置のフィンガープレートの板厚計算では道路橋示方書のT-20荷重の後輪荷重8tfに衝撃係数1を加算して設計荷重を16tfとしており、この荷重を左右のフィンガーが当分に分担するものとしてウェブ遊間中央に集中荷重として載荷する方法を採用している²⁾。この時、荷重を受け持つ板幅は30cmと仮定している。しかし、実際の輪荷重は路面と面接触し、荷重を伝達していることから、この方法が必ずしも実際の伸縮装置への荷重作用機構を反映しているものではないと思われる。すなわち、実際の輪荷重はタイヤの接地圧として路面や伸縮装置へ伝達されることから、輪荷重をタイヤ接地圧に置き換え、設計を行う方法が、伸縮装置へ作用する輪荷重の作用機構を正しく評価していると考えられる。

このようなことから、厳しい荷重作用状態におかれている伸縮装置の耐久性の向上を図るためには、まず伸縮装置へ作用する車両荷重の実態、その車両荷重の作用機構および荷重作用により伸縮装置に生じる応力状況を把握することが第一である。そして、それに基づいた伸縮装置の設計手法の見直しが必要である。

そこで、著者等は、図-1に示すフェースプレートを鋼棒にて床版コンクリートに固定するアルミ合金鋳物製ジョイントを研究の対象として、

- ① タイヤの最大平均接地圧とその分布の確認
- ② 伸縮装置のフェースプレートに生じる応力の確認
- ③ 設計手法の提案

のために、種々の実験・調査を行った。本論文は、これらの結果について報告するものである。

2. 1本のタイヤ接地圧の測定

鋼製型式の伸縮装置の設計では、最大輪荷重に衝撃係数を加算して、それを集中荷重に置き換え載荷荷重としているが、後で述べるように、著者等は実際のタイヤは路面と面で接していることから輪荷重をタイヤ接地圧に置き換え、面荷重を載荷荷重とする設計法の試みを行うこととした。そこで、まず、タイヤ接地圧に関する試験を実施した。タイヤの接地圧に関する研究は貞升³⁾によって1969年に既に行われているが、当時とはタイヤの構造が変化しており、また、フェースプレート上での測定は行われていない。

車両のタイヤの接地圧はタイヤと路面との接地面積によって変化し、この接地面積は、荷重、タイヤの空気圧、路面の凹凸、車両の走行速度およびタイヤの種類によって影響される。そこで、最初に平坦な場所に接地したタイヤに

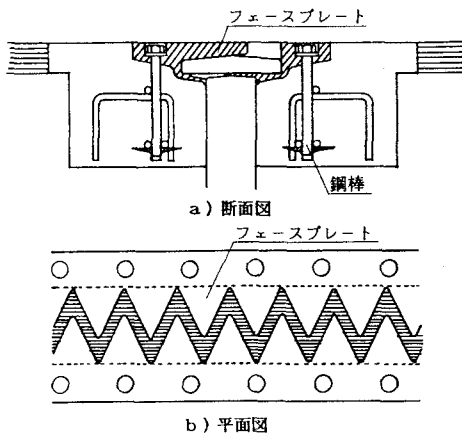


図-1.研究の対象とした金属製ジョイント

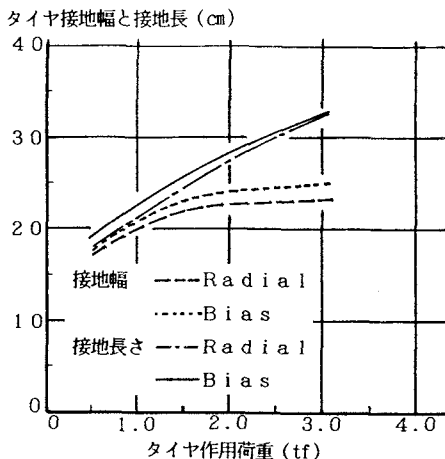


図-2.タイヤ作用荷重と最大接地長の関係

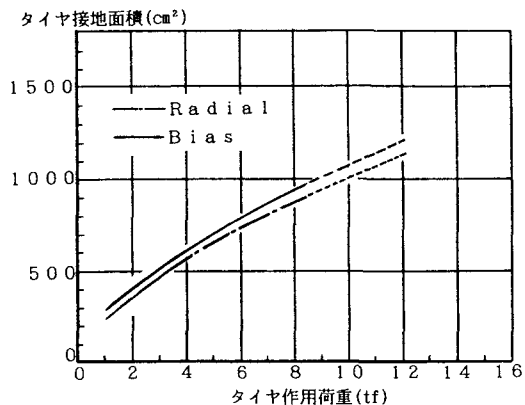


図-3. タイヤ作用荷重と接地面積の関係

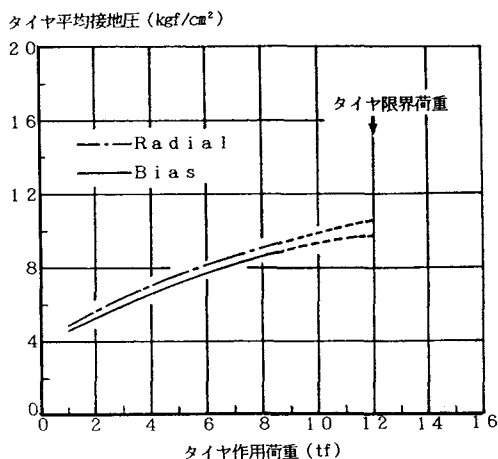


図-4. タイヤ作用荷重と平均接地圧の関係

静的な荷重を作用させた時のタイヤの接地面積および接地圧に関する試験を実施した。試験に使用したタイヤの空気圧は2種類のタイヤとも 7 kgf/cm^2 であった。タイヤ荷重とタイヤ接地面における最大接地幅および最大接地長の関係を図-2に、またタイヤ荷重と接地面積の関係を図-3に示す。図-2に示すようにタイヤの種類によって同じ作用荷重状態でも接地幅や接地長は異なり、Biasタイヤの方がRadialタイヤに比べそれらは大きくなっている。また、BiasタイヤおよびRadialタイヤ共に、タイヤの接地幅は作用荷重が増加してもその変化量はごく僅かであり、そのかわりタイヤの接地長が大きく変化し、その変化の傾向は共に同じである。タイヤに静的に載荷可能な限界値までの荷重を載荷した場合のタイヤ平均接地圧計測結果を図-4に示す。この結果によると、タイヤの平均接地圧は同じ荷重状態では図-3に示したようにBiasタイヤの方が接地面積が大きいため、Radialタイヤの接地圧が大きくなっている。タイヤの最大平均接地圧はRadialタイヤにおいて計測されたタイヤが破裂する限界荷重 12 tf 時の 11 kgf/cm^2 である。また、タイヤ作用荷重 $1 \sim 9 \text{ tf}$ の間では、タイヤの種類によって異なるが図-4のRadialタイヤにおいてタイヤ作用荷重とタイヤ平均接地圧の関係から、式(1)が与えられる。

$$C_p = -0.0639 L_T^2 + 1.277 L_T + 3.065 \quad \text{-----(1)}$$

ここで、 C_p ；タイヤ平均接地圧 (kgf/cm^2)

L_T ；タイヤ作用荷重 (tf)

次に、タイヤの接地圧の分布を調べるため図-5に示すような小型圧力センサーを配置したタイヤ接地圧計測器を用いて総重量約 20 tf の大型車両の前輪（タイヤ荷重； 3 tf 、タイヤの空気圧； 7 kgf/cm^2 ）の静的なタイヤ接地圧の分布を平坦な場所で計測した結果を図-6に示す。図に示すようにタイヤの平坦な場所での接地圧の分布は不均等に分布しており、接地しているタイヤの接地圧の分布のうち、幅方向の分布はタイヤの中心軸においてタイヤの剛性が高いエッジ近傍で接地圧が大きくなる二つの山を持つ分布（C-C）を示している。走行方向について

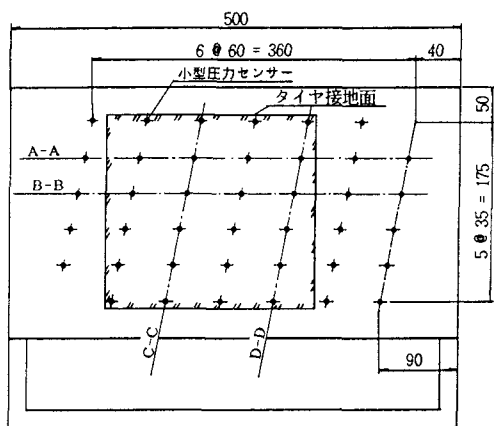


図-5. タイヤ接地圧計測器

はタイヤのエッジ近傍ではタイヤの中心軸で接地圧が大きくなる山型の分布（A-A）を示し、幅方向中央部においてはタイヤが接地している区間でエッジ部より小さい均等な接地圧の分布（B-B）を示している。この時、計測された最大接地圧はタイヤエッジ部での 9.95 kgf/cm^2 であり、平均接地圧は 7.1 kgf/cm^2 であった。

ところで、四季の温度変化により橋桁が伸縮するため、フェースプレートとフェースプレート間の間隔は変動し、それに伴いタイヤ荷重の支持条件が変化する。そのため、タイヤのフェースプレート上における接地圧の分布およびその平均接地圧は平坦な場所での分布と異なることが考えられた。そこで、図-1に見られる著者等が研究の対象とした伸縮装置のうち底辺が 16.67 cm 、高さが 16 cm の三角形の形状をしたフェースプレート上に小型圧力センサーを配置し、荷重車の前輪タイヤを静的に載荷した時の接地圧の分布を計測することとした。前輪タイヤの載荷状態は伸縮装置フェースプレートの遊間量が 105 mm の時（初春の3月）をねらい（標準遊間量は 80 mm ）、図-7に示すような3ケースとし、それぞれについてフェースプレート上でのタイヤの接地圧を計測した。このうち、載荷状態 Case-3 の計測結果のみを図-8に示す。

同図に示すようにフェースプレート上でのタイヤの接地圧の分布は平坦な場所において計測された接地圧の分布計測結果と同様に不均等な分布をしており、接地圧はタイヤの剛性が大きいエッジ部で最大となり、その最大接地圧は平坦な場所での最大接地圧の3割増の 1.3 kgf/cm^2 であった。また、フェースプレート上で計測された全接地圧の平均は 6.9 kgf/cm^2 であり、平

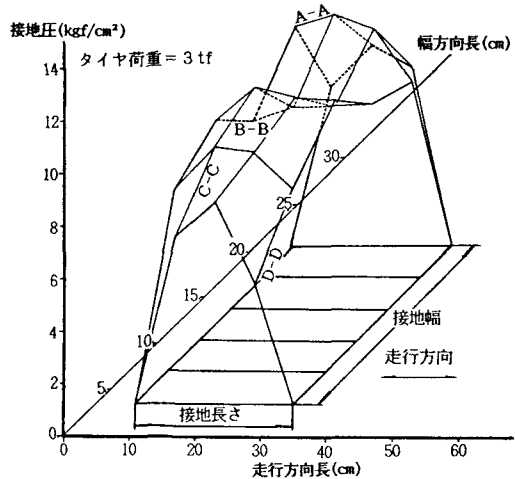
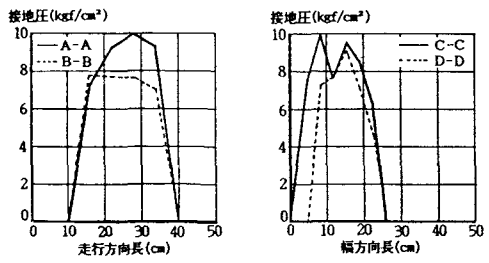


図-6. 平坦な場所でのタイヤの接地圧分布

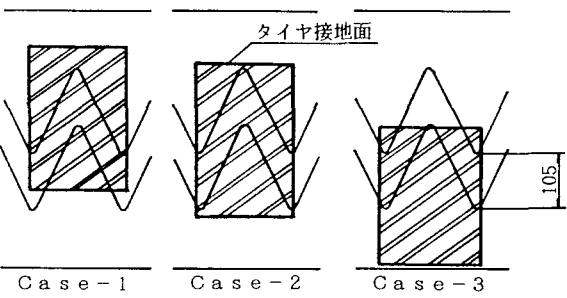


図-7. フェースプレート上接地圧の計測ケース

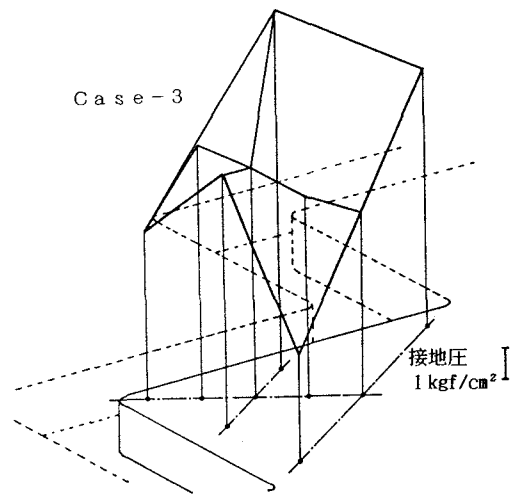


図-8. フェースプレート上での接地圧分布

平坦な場所で計測されたタイヤの平均接地圧とほぼ等しかった。また、他のケースにおいてもタイヤの最大接地圧は平坦な場所でのそれよりも大きい 11 kgf/cm^2 であった。ただし、Case-3 に比べ小さい値となった。しかし、平均接地圧は Case-3 と同様に平坦な場所での平均接地圧とほぼ等しい 7.0 kgf/cm^2 であった。

3. 伸縮装置の発生応力

タイヤ接地圧測定の後、伸縮装置の発生応力の把握を目的として輪荷重がタイヤの接地圧として作用すると仮定した発生応力の計算手法を考え、室内実験および実橋実験を実施し、計算値と測定値とを比較することとした。本章では、これらの結果について述べる。

(1) 計算方法

輪荷重をタイヤの接地圧に置き換えることによるフェースプレート根元部近傍の発生応力の計算手法は、次のようなものである。

①作用荷重

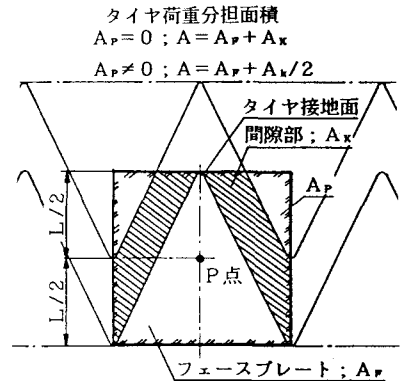
伸縮装置のフェースプレートに作用するタイヤの平均接地圧は平坦な場所にタイヤが接地している状態の平均接地圧とほぼ等しいことが前章にて確認されていることから、伸縮装置へ作用する荷重としてタイヤの平均接地圧を用いることとする。

②荷重分担

伸縮装置のフェースプレート間隔は四季の温度変化に伴い変化することから、荷重を支持し得ない間隙部へのタイヤ荷重について2通りの方法を採用する。一つは、両側のフェースプレートにタイヤの接地面が掛かる場合 ($A_p \neq 0$)、図-9に示すように各々のフェースプレートが間隙部へのタイヤ荷重を半分ずつ負担するものとし ($A = A_p + A_k/2$)、一方、一つのフェースプレートにしかタイヤの接地面が掛からない場合 ($A_p = 0$) には間隙部へのタイヤ荷重全てを荷重が載荷されているフェースプレートで負担するものとする ($A = A_p + A_k$)。

③荷重載荷方法

フェースプレートへの荷重載荷は、1枚のフェースプレートに②のタイヤ荷重負担面にタイヤの平均接地圧に相当する面荷重が作用していると考え、それを集中荷重に置き換えてフェースプレートのP点に載荷する。



(2) 室内試験

室内試験は写真-1に示す実際の大型車両のタイヤを備え、自走する輪荷重移動載荷試験装置を使用することとし、試験は、以下の項目について前章で用いたものと同じ形状のフェースプレートを備えた伸縮装置を用いて行った。

- i) 伸縮装置フェースプレート間の遊間量を最大(155mm)、標準(80mm)、最小(5mm)の3種類。
- ii) 段差(5mm)の有無。
- iii) 輪荷重8tf、12tfの2種類。
- iv) 静的載荷試験と走行試験の2種類。

遊間量が最大および標準時の静的載荷試験結果を図-10に示す。横軸のタイヤ平均接地圧は載荷前に測定したタイヤ荷重値とその接地面積より算出した値を用いており、フェースプレートの応力はフェースプレート根元部中央にひずみゲージを貼付して測定された値である。また、計算値はタイヤの接地面積から求めた平均接地圧を用いて前節で提案した計算手法にて算出した。この結果によると、静的に荷重が載荷された時にフェースプレートに生じる応力の測定値と計算値とは、最大遊間、標準遊間共によい一致がみられる。

次に、輪荷重が走行した場合についても本計算手法と実測値との対応を確認するため、試験機を走行させフェースプレート根元部中央に生じる応力を測定した。この時の最大遊間および標準遊間時の測定結果をそれぞれ図-11と図-12に示す。試験機の走行速度が4.5 km/hと遅いこともあるが、段差の有無によって生じる応力の差は最大遊間、標準遊間ともにほとんど無かった。また、各試験ケースにおいて最大応力が生じたときに作用した輪荷重を式(1)のタイヤ作用荷重とタイヤ平均接地圧の関係式よりタイヤの平均接地圧に変換し、提案した計算手法によりフェースプレートの根元部中央の応力を算出して測定結果と比較すると計算値と測定値とは、よい一致がみられた。

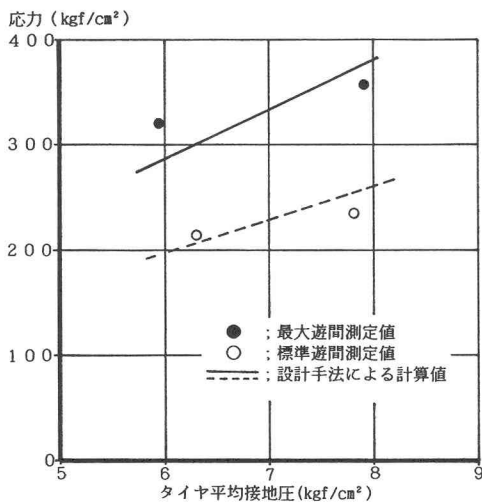


図-10. 輪荷重静的載荷試験結果



写真-1. 輪荷重移動載荷試験装置

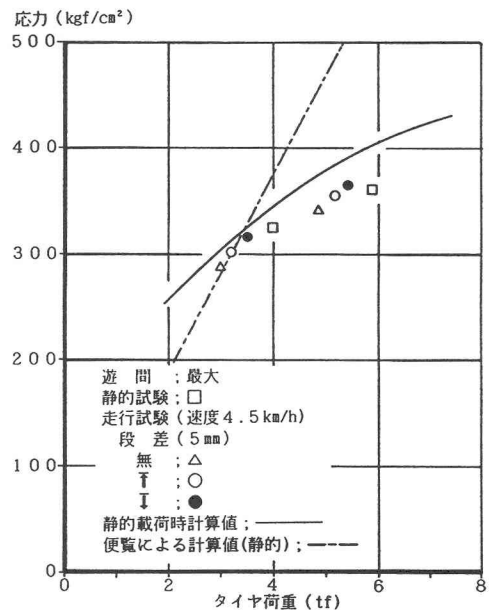


図-11. 輪荷重走行試験結果(最大遊間)

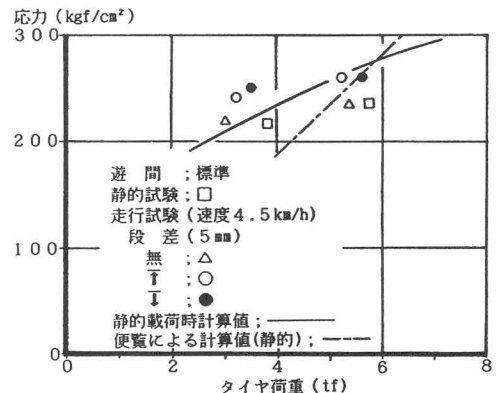


図-12. 輪荷重走行試験結果(標準遊間)

(3) 実橋試験

室内試験と同じ伸縮装置 (Type 1) および底辺が 9.09cm、高さが 6.0cm の三角形の形状をしたフェースプレートに有する伸縮装置 (Type 2) を設置した実橋で、総重量約 20tf の荷重車を用いて静的にフェースプレートに荷重を載荷する載荷試験を実施した。なお、この時、伸縮装置 Type 1 と Type 2 に使用した荷重車は別々であるが、前輪荷重は共に約 3tf であった。伸縮装置 Type 1 と Type 2 のフェースプレート根元部中央に載荷によって生じた応力およびタイヤ荷重から式(1)を用いてタイヤ接地圧に変換し、提案した計算手法により算出した応力を表 1 に示す。測定応力と計算応力とは約 1 割程度の差異があるが、タイヤの空気圧や摩耗状態によってタイヤの接地面積が変化することにより、式(1)のタイヤ作用荷重と平均接地圧の関係は若干変動する可能性があること、また、屋外試験での測定誤差などを考慮すると、ほぼ一致していると考えられる。

表 1. 実橋試験結果

伸縮装置	測定値 (kgf/cm ²)	計算値 (kgf/cm ²)	測定値 計算値
Type 1	173	194	0.89
Type 2	227	202	1.13

4. 設計荷重の提案と耐久性の評価方法

伸縮装置のフェースプレートに実際に生じる応力は、前章の結果から、輪荷重をタイヤの平均接地圧に相当する面荷重に置き換え、それをさらに集中荷重に置き換えて載荷する計算手法により算出された応力とよい一致がみられることから、この方法が輪荷重の伸縮装置への作用状態を正しく評価しているといえる。したがって、タイヤの平均接地圧を面荷重として載荷することによる伸縮装置の設計手法を以下に提案することとし、若干の考察を加えてみた。

(1) 設計荷重

伸縮装置のフェースプレートに作用する最大輪荷重は現行の道路橋示方書の規定に従えば T-20 荷重の後輪荷重の 8tf であり、その接地面の大きさは 500×200mm である。さらに、伸縮装置へ作用する車両走行時の動的の影響を表す衝撃係数として、鋼製ジョイントに対する道路橋伸縮装置便覧の規定値 1 を採れば、フェースプレートに作用する最大平均接地圧は荷重変化によりタイヤの接地面積が変化しないと仮定し、これらの数値を用いて計算すると 16 kgf/cm² となる。

これに対し、図-4 に示したタイヤ作用荷重とその平均接地圧の関係をみると、タイヤの最大平均接地圧はタイヤが破裂する限界荷重状態である作用荷重 12tf 時の 11 kgf/cm² である。この結果、伸縮装置便覧から算出されたタイヤ接地圧 16 kgf/cm² は実際には生じ得ないタイヤの平均接地圧である。従って、図-13 に示すようにタイヤ接地圧 16 kgf/cm² を設計面荷重とし、それを集中荷重として載荷して求められる伸縮装置の設計最大応力を材料の許容応力度以下にすれば、この最大タイヤ平均接地圧は安全性照査の荷重としては厳しい設計荷重と言える。

なお、近年の車両の大型化や車両性能の向上、車両による貨物輸送の増大などにより、過積載車両が急増し、規定値である 8tf 以上の輪荷重が橋梁に作用している。建設省土木研究所や都市内高速道路における実車両の荷重計測結果によると^{4)~6)}

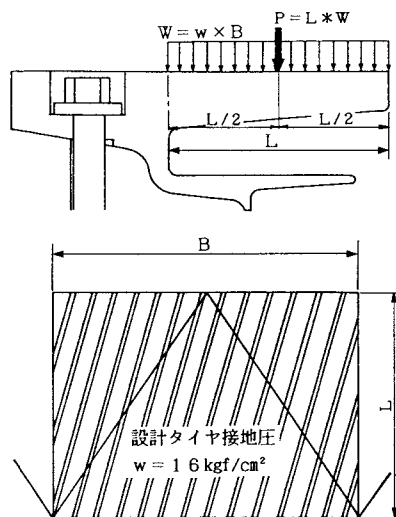


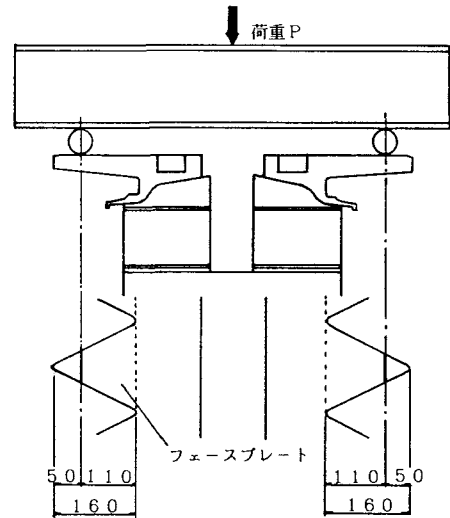
図-13. 設計における接地圧載荷方法

車両制限令の3倍以上の軸重30.4tfが記録されているが、この車両の輪荷重は15tf（タイヤ荷重7.5tf）であり、現行の衝撃係数1をそのまま使用すると伸縮装置への作用輪荷重は30tf（タイヤ荷重15tf）になる。しかし、実際のタイヤは最大12tf（輪荷重として24tf）までしか荷重を支持することができないことから、全ての輪荷重に衝撃係数1を使用すると、実際の荷重と矛盾が生じることになる。このようなことから、現状では上述の設計荷重で安全側にあると思われるが、今後、輪荷重の作用機構をさらに明らかにするためには実際の走行車両の荷重の動的な増幅（車両の積載率と速度の関係や段差量との関係）や車両走行時の伸縮装置上でのタイヤ接地圧の分布などの調査が必要であると思われる。

（２）耐久性の評価方法

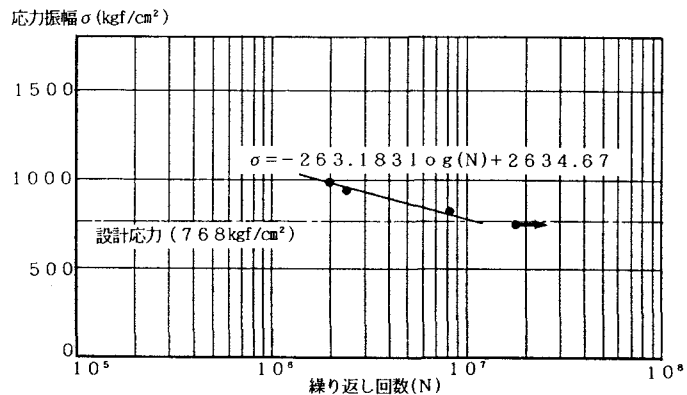
提案した設計接地圧は実際に生じ得るタイヤの接地圧に対して安全側にあることから、この荷重を使用して設計し、構造的な要因（残留応力や応力集中）を踏まえた疲労試験を実施することにより、伸縮装置の設計最大応力が疲労限以下であることを確認すれば設計された伸縮装置は疲労に対して十分な耐久性があるとと言える。

そこで、著者等は図－１に示した伸縮装置を対象として疲労特性を把握するため疲労試験や残留応力の確認試験等を実施した。疲労試験は、フェースプレートに作用する荷重は車両走行時の曲げ荷重が支配的であること、およびフェースプレートの形状による因子、残留応力による因子等の構造的な要因を踏まえた疲労特性を確認することなどから図－１４に示す曲げ疲労試験とした。疲労試験を実施することにより得られたフェースプレート根元中央部での応力と破壊までの繰り返し回数を図－１５に示す。試験により設計最大応力は疲労限以下であることが確認され、また、疲労試験におけるクラックはフェースプレート根元の端部付近で発生し、根元中央部に向かって円弧状に進展した後、破壊に至った。残留応力の確認試験によると、このクラックが発生した位置での残留応力は全てフェースプレートのエッジに沿った方向に600～800kgf/cm²の圧縮応力であった。



図－１４．対象とした伸縮装置の疲労試験方法

しかし、伸縮装置の耐久性の評価については応力頻度測定を実施し、その結果と疲労試験結果を用いて疲労寿命予測を行うことが実際の諸条件を満たす方法と考えられるが、常に伸縮装置を設置した道路において応力頻度測定が行われるとは限らず、伸縮装置近傍の路面状態も時間とともに変化する。また、この方法では伸縮装置の設計段階にて疲労寿命予測を行うことは不可能である。このようなことから実際には建設省や各公団に



図－１５．フェースプレートの曲げ疲労試験 S-N 線図

よって重車両が通行する多くの道路で実施した車両荷重調査結果を使用して疲労寿命予測を行うことが必要と考えられる。

そこで、著者等は先に述べたように図-1に示した伸縮装置を対象として疲労試験を実施し、設計最大応力が疲労限以下であることを確認する一方、建設省が実施した実交通下での荷重調査結果を用いて伸縮装置の疲労寿命予測を試みている^{9)・10)}。この疲労寿命予測では、調査結果の輪荷重を(1)式によりタイヤの接地圧に変換し、提案した計算手法により算出したフェースプレートに生じる応力と図-15に示すS-N線を使用して行った。この結果、この伸縮装置は十分な耐久性を有していることが推定された。この寿命予測方法については走行車両の伸縮装置上での荷重増幅やタイヤの走行位置などの仮定条件があることから、実際の荷重作用を完全に評価しているわけではないが、一つの指標を与える上では有効であると思われる。今後は、寿命予測方法の確立が急務であると言える。

5. 結論

本研究では、伸縮装置の耐久性の向上を目的として、伸縮装置への輪荷重の作用機構を検証し、それに基づいた設計法を提案するための調査・実験を行い、以下の事項が確認された。

- 1) タイヤの接地圧はタイヤの種類によって若干の差は生じるが、最大平均接地圧はタイヤが破裂する限界荷重12tf時の11kgf/cm²であった。また、タイヤへの作用荷重と平均接地圧の関係はタイヤの作用荷重1～9tfの間で2次式で表される。
- 2) フェースプレート上でのタイヤの接地圧の分布は、平坦な場所同様に不均等分布をしており、その最大接地圧はタイヤの剛性が大きいエッジ部で生じるが、平均接地圧は平坦な場所での平均接地圧にほぼ等しい。
- 3) 提案したタイヤの平均接地圧を面荷重とし、それを集中荷重に置き換え載荷する方法は、フェースプレートの発生応力の検証から、輪荷重の伸縮装置への作用方法として妥当なものと評価できる。
- 4) 伸縮装置の設計手法として実際の輪荷重の伝達を正しく評価し、道路橋示方書等に則った設計法を提案することができた。

今後、伸縮装置の耐久性の向上を図るため、実際の走行車両の荷重の動的な増幅やその時のタイヤの接地圧の関係を調査・研究を実施していく予定である。また、疲労寿命予測のための手法を確立するため、実橋に接地された伸縮装置の調査を実施していく予定である。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、数々の貴重な助言をいただいた大阪大学・福本啓士教授、大阪工業大学・岡村宏一教授、堀川都志雄助教授はじめ関係各位に深甚なる感謝の意を表する次第であります。

参考文献

- 1) 財団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説、平成2年2月
- 2) 財団法人日本道路協会：道路橋伸縮装置便覧、昭和45年4月
- 3) 貞升文雄：自動車走行時におけるタイヤ接地圧、土木技術資料、11-8,1969
- 4) 建設省土木研究所構造研究室：橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書〔Ⅷ-1985〕、土木研究所資料、No.2258,1985-3
- 5) 建設省土木研究所橋梁研究室：限界状態設計法における設計活荷重に関する検討、土木研究所資料、No.2539,1988-1

- 6) 阪神高速道路公団、阪神高速道路管理技術センター：阪神高速道路の設計荷重体系に関する調査研究、設計荷重（HDL）委員会報告書、1986-12
- 7) K.MAEDA, F.MACHIDA, K.TOMIZAWA, S.MIYAZAKI and T.IKEBE: Durability of Bridge Expansion Joint, IABSE Symposium, Lisbon, 1989-9
- 8) 町田文孝、前田研一、池辺輝義、伊田久慶：道路橋伸縮装置の設計法に関する2, 3の考察（その1）－タイヤ接地圧を荷重とした設計法－、第44回土木学会年次講演会概要集、I-261, 1989
- 9) 町田文孝、松井繁之、前田研一：道路橋伸縮装置への輪荷重作用機構、第45回土木学会年次講演会概要集、I-342, 1990
- 10) 富澤光一郎、栗田章光、池辺輝義、町田文孝：伸縮装置の耐久性に関する2, 3の考察、第45回土木学会年次学術講演会概要集、I-341, 1990

（1990年10月12日受付）