

論文・報告

CIPECジョイントの防水対策と設計法に関する実橋試験

Waterproofing and Design Loading Tests of CIPEC Joint

池 辺 輝 義*
Teruyoshi IKEBE

鈴 木 宏 治**
Hiroharu SUZUKI

伊 田 久 慶***
Hisayoshi IDA

富 澤 光一郎***
Koichiro TOMIZAWA

町 田 文 孝****
Fumitaka MACHIDA

柳 澤 則 文****
Norifumi YANAGISAWA

キーワード

伸縮装置
維持・補修
防水装置
荷重体系

1. まえがき

近年、道路橋では交通量の増加や車輛重量の増大などにより、種々の損傷が報告されてきている。特に、伸縮装置は車輛荷重を直接に、しかも繰り返すという激しい環境に置かれた部材であるため、他の部材に比べ数多くの損傷数が報告されている。これは、伸縮装置が激しい荷重作用環境下に置かれているにもかかわらず、一般に設計上2次部材として取り扱われ、疲労の照査もなされていないためである。

また、沓の損傷を早める要因の一つに、伸縮装置を含む床版端部からの漏水が挙げられる。沓の寿命を伸ばすために、伸縮装置の防水性を向上させる必要があり、現在、伸縮装置の改良・開発が盛んに行われてもいる。しかし、近年、床版に防水層を設けるケースが増加する傾向にあり、この場合、防水層から伸縮装置部への水の流入に対して何ら対処できていないのが現状である。

そこで、著者らは、1986年にフランスから導入されたCIPECジョイントを用いて、床版防水層からの水の流入を防ぐドレーンパイプの効果、伸縮装置に作用する荷重の大きさとその作用機構に関する調査・基礎実験、伸縮装置の設計法に関する新たな試み、および実橋載荷試験を実施した。CIPECジョイントは、図-1に示すように、アルミニウム合金製の本体とゴム製の防水材によって構成され、アンカーにプレストレスを導入して定着する独特の方式をとる。

本文は、ドレーンパイプの構造と施工、現状の荷重体系、伸縮装置に作用する衝撃、伸縮装置の設計法に関する一試案、および実橋に設置したCIPECジョイントへの静的載荷試験・走行試験・応力頻度計測結果について報

告するものである^{3)~6)}。

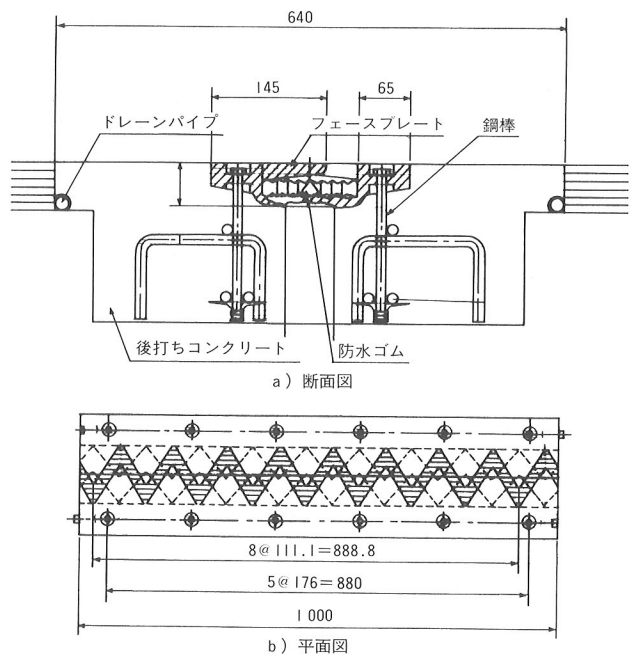


図-1 CIPECジョイント(Wd-80型)一般図

2. 防水対策

CIPECジョイントの防水対策は、防水ゴムとドレーンパイプによってなされている。

(1) 防水ゴム

防水ゴムは、伸縮装置の遊間部からの漏水を防止するために設けるものである。CIPECジョイントの防水ゴムの特徴は、以下のとおりである。

- ① 耐久上弱点となりやすい継目を設けず、幅員の全幅を1本のゴムで通す構造としている。
- ② ジョイントの歯の裏面に防水ゴムを設けることに

* ㈱総合メンテナンス技術部部長 ** ㈱総合メンテナンス技術部技術課課長 *** ㈱総合メンテナンス技術部技術課 **** 川田工業㈱技術本部中央研究室

より、ゴムが直接、荷重を受けず、破損しにくい構造になっている。

- ③ 多室のセル構造であり、施工時にゴムに圧縮力を導入するため、ゴムのポンピング作用によりゴミを自然に排除する構造となっている。

(2) ドレーンパイプ

近年、床版に防水工が施されるようになってきているが、床版端部の伸縮装置には、防水工からの水の流入を防ぐ処置は何も施されていないのが実状である。このため、今後、防水工からの水の流入により床版端部の鉄筋の腐食、伸縮装置定着部コンクリートの損傷が考えられた。そこで、防水工からの水の流入を防ぐため、ドレーンパイプを床版端部の排水施設として、図-2に示すように設置することとした。

ドレーンパイプの特徴は、以下のとおりである。

- ① パイプは水の流入性、耐腐食性を考慮し、ステンレス製スパイラル状のパイプとしている。
- ② 防水工から水の流入を防ぐため、アルミ箔とアスファルト接着材が一体となったシートを設けている。

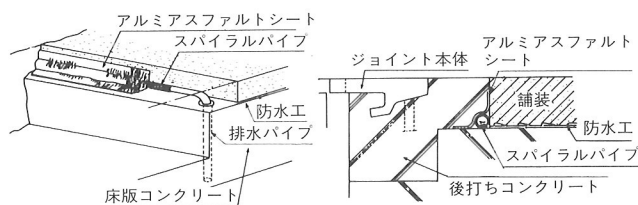


図-2 ドレーンパイプ設置図

(3) 施工および防水性確認試験

ドレーンパイプの設置は次の手順で行う。

- ① スパイラルパイプをアスファルト舗装切り欠き部に沿ってはわす。
- ② アルミアスファルトシートをガスバーナーによって熱しながら、床版コンクリートとアスファルト舗装に接着させる。

施工したドレーンパイプの設置状況を写真-1に示す。

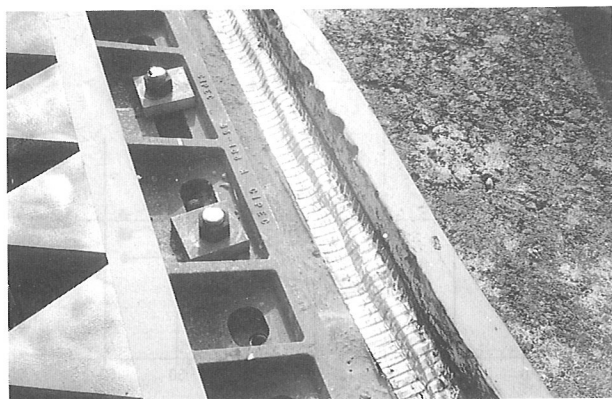


写真-1 ドレーンパイプ設置状況

防水性の確認は、防水ゴムに対し写真-2に示す水張り試験によって行った。水張り試験は新設のCIPECジョイントについて実施したが、漏水は認められなかった。また、ドレーンパイプを設置したジョイントでは、降雨時に排水パイプから水が排出し、ドレーンパイプが機能していることが確認された。

次に、施工後数年経過したジョイントの追跡調査を実施したところ、すべてのジョイントに漏水した形跡は認められなかった。これらのことから、CIPECジョイントに採用した防水対策は、十分に機能していると考えられた。



写真-2 水張り試験

3. CIPECジョイントの設計法

(1) 荷重載荷方法

伸縮装置の設計、施工を行ううえで一般に用いられている「道路橋伸縮装置便覧」(日本道路協会)において、設計方法が規定されている伸縮装置は、輪荷重を直接フェースプレートで支持する鋼製型式の伸縮装置のみである。この設計方法では、最大輪荷重16t(輪荷重8t×(1+i): i=1, iは衝撃係数)を集中荷重に置き換え、最大断面力が発生する位置に載荷する方法をとっている。しかし実際の輪荷重はタイヤの面圧として荷重を伝達していることから、この方法が、実荷重作用状態を反映しているものかは疑問である。

これに対し、CIPECジョイントの設計では、車輛荷重はタイヤの面圧として路面や伸縮装置に作用するという考えから、輪荷重をタイヤの接地圧に置き換え、フェースプレートに分布荷重として載荷する方法を採用している。図-3にタイヤ面圧載荷方法を示す。

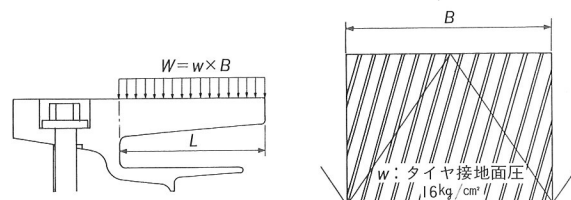


図-3 タイヤ面圧載荷方法

(2) 現在の荷重体系

伸縮装置の設計輪荷重として、一般に図-4に示す「道路橋示方書」のT-20荷重の最大輪荷重8tが使用されている。しかし、近年の車輛の大型化や車輛性能の向上により過積載車輛が増加し、規定積載重量以上の車輛が走行しているのが現状である。

例えば、国内の都市内高速道路にて実施した荷重調査結果⁷⁾を表-1、2に示す。これによると、大型車輛の車種および軸種は、前軸が1軸、後軸がタンデム軸の3軸車が70%を占めている。これは、近年、大型車の性能を向上させるために車輛の改良が行われ、車輛構造が、示方書の定められた当時とは変わってきていることを表している。また、設計荷重の対象となる大型車輛は、調査時の全車輛の14.26%であり、そのうち、積載・過積載車輛は8.3%を占めている。これを台数に換算すると、積載・過積載車輛は1日当たり6063台(調査時全車輛台数73056台/日)である。もし、調査時と同量の交通量が1年を通じてであると仮定した場合、積載・過積載車輛数は年間220万台にのぼる。

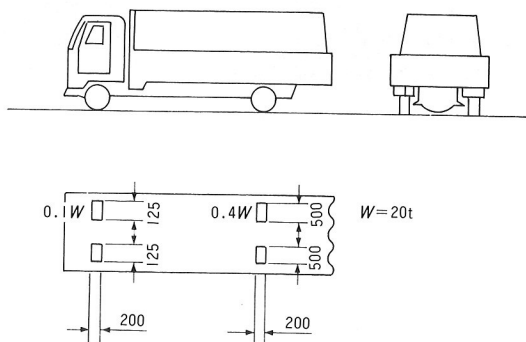


図-4 T-20荷重

表-1 車輛の混入率

車種	軸種	混入率(%)
大型トラック	2軸 前軸 後軸	無積載 1.22
		積載 1.02
		過積載 0.01
	3軸 タンデム軸	無積載 3.72
		積載 6.04
		過積載 0.05
トレーラー	3軸 タンデム軸	無積載 1.02
		積載 1.18
中型トラック	2軸 前軸 後軸	17.88
乗用車	2軸 前軸 後軸	67.86

表-2 過積載車輛の平均および最大軸重

軸種	平均軸重(t)	最大軸重(t)	過去6年間の最大軸重(t)
2軸 前軸 後軸	13.40	18.0	19.7
3軸 前軸 後軸 後軸	24.13	31.2	39.7
トレーラー 前軸 後軸 後軸	19.43	34.5	44.5

表-2の大型車輛の軸重調査結果では、タンデム軸重和として、調査時に最大34.5t、過去6年間では最大44.5tが記録されている。また単軸重として、調査時に最大18.0t、過去6年間では25.4tが記録されている。他の大型車の軸重調査結果では、タンデム軸の前軸重として31.0tが記録されている。この場合、タンデム軸の軸重比を $\gamma=1.7$ と仮定し、タンデム軸重和 W_T を推定すると、 $W_T = W_F \times (1 + \gamma) / \gamma$ より、49.2tのタンデム軸重和となる。

また、軸重調査時の平均タンデム軸重和は、24.13tであり、これは、大型車の平均過積率が一般に200%程度(タンデム軸重和として25.0t)といわれていることを実証している。このとき軸重比を1.7と仮定すると、タンデム軸の片軸重は約16tとなる。

これらのことから、設計上、考慮しなければならない大型車の輪荷重として、終局限界状態照査時には示方書の規定輪荷重8tの2倍にあたる16t、疲労限界状態照査時には平均タンデム軸重和から8tが考えられる。ただし、これらの荷重については、ごくわずかな調査結果を参考にしただけであり、実情に見合う荷重を設計に用いるためには、荷重体系の調査・試験などを数多く実施する必要があると思われる。

(3) 衝撃

橋梁の主部材の設計に際し、衝撃係数は橋梁の構造特性を考慮し、支間長 L を用いて表している。しかし、伸縮装置の設計においては、衝撃係数を慣用的に1.0としているが、この値が実際に伸縮装置に生じる衝撃を反映しているかは定かでない。そこで、設計に使用している衝撃係数1.0の妥当性を確認するため、調査・試験を実施した。

図-5は路面状況と走行速度による動荷重増幅率への影響、図-6は過積率による動荷重増幅率への影響に関する試験結果である。図-5によると、動荷重増幅率は、路面状況が悪くなるにつれ大きくなり、同様に、走行速度が速くなるにつれ大きくなる。しかし、走行速度の場合、

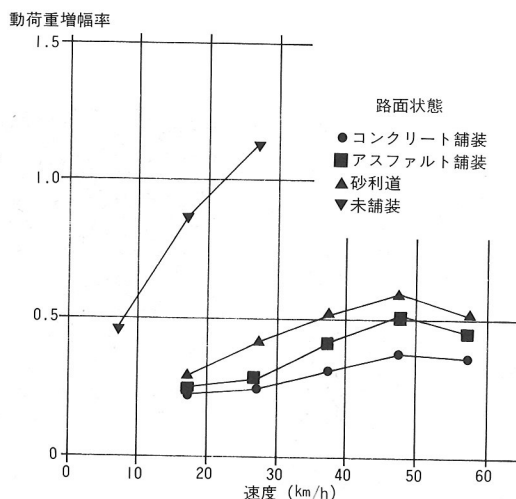


図-5 路面状態と走行速度による動荷重増幅率への影響

速度が50 km/hを超えると動荷重の増幅は小さくなる傾向を示している。

図-6の過積率と動荷重増幅率の関係では、過積率が大きくなるに従い、増幅は小さくなる傾向を示している。ただし、この試験は未舗装の悪路で実施したものであり、実際に伸縮装置に生じるとされる段差量よりも悪条件の試験である。

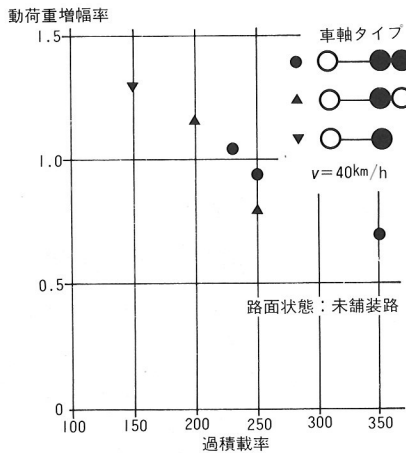


図-6 過積率による動荷重増幅率への影響

次に、総重量20 tのダンプトラックに加速度計を取り付け、供用下の鋼製フィンガージョイント通過時に作用する動荷重を計測した結果を表-3に示す。この結果では、動荷重の増幅は上述のように速度が増すに従い大きくなり、最大0.8の増幅であった。また、タンデム軸の前軸と後軸の動荷重増幅率は、前軸が後軸に比べ大きくなっている。

以上のことから、伸縮装置に作用し得る最大衝撃係数(荷重の増幅が伸縮装置に生じる応力の増分と等しいと仮定)は、異常な過積載車輛の走行や段差の発生を考慮すると、1.0の値が妥当であると考えられる。

表-3 鋼製型式伸縮装置への作用動荷重計測結果

静的荷重(t)		段差 (mm)	走行速度 (km/h)	最大作用荷重(t)		荷重増幅率	
後前軸	後後軸			後前軸	後後軸	後前軸	後後軸
7.502	7.250	4	10	8.93	8.27	0.19	0.14
			20	11.33	10.30	0.51	0.42
			40	12.38	10.59	0.65	0.46
			60	13.50	11.46	0.80	0.58
		2	10	8.78	8.27	0.17	0.14
			20	10.20	9.50	0.37	0.31
			40	10.50	9.21	0.40	0.27
			60	12.15	11.46	0.62	0.58

(4) 設計面圧

CIPECジョイントの設計に用いる面圧荷重は、道路橋示方書のT-20荷重の後軸輪荷重8 t、接地面積200×500 mmおよび衝撃による荷重増分を1.0として、16 kg/cm²と算出している。しかし、(2)で述べたように、実際には最大16 tの輪荷重が作用する可能性がある。そこで、使用する

設計面圧が妥当かを確認するため、静的にタイヤに荷重を載荷したときのタイヤ接地圧を計測することとした。

図-7によると、最大接地圧は、タイヤが破裂する限界タイヤ荷重12 t時に、平均面圧として11 kg/cm²が記録された。この結果、CIPECジョイントの設計面圧は、実際には生じないタイヤの接地圧を用いることになり、設計面圧として安全側の値を使用していることになる。

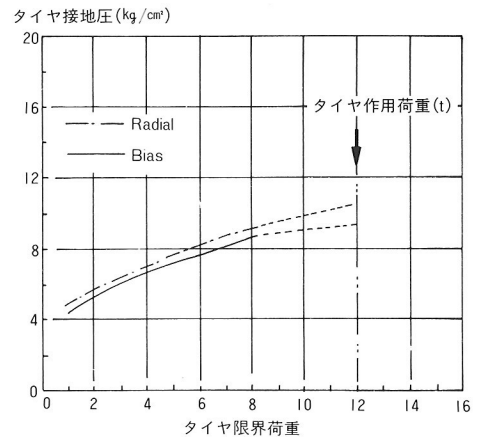


図-7 タイヤ作用荷重と接地圧の関係

(5) 設計応力

上述の設計面圧を用いて設計した主なCIPECジョイントの設計最大応力を表-4に示す。また、「アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針案」(日本軽金属協会)の安全率を引用し、決定した材料の許容応力および使用アルミニウム合金の疲労特性(NF規格:A-S7G06相当)を表-5、図-8に示す。

設計最大応力は、材料の許容応力(曲げ:1 050 kg/cm², せん断:600 kg/cm²)はもちろんのこと、材料自体の疲労限780~860 kg/cm²を下回っている。

表-4 設計最大応力

型 式	分布荷重	曲 モーメント	せん断力	曲げ応力	せん断応力
	$w = \text{kg/cm}$	$M = \text{kg/cm}$	$S = \text{kg}$	$\sigma_b = \text{kg/cm}^2$	$\sigma_s = \text{kg/cm}^2$
Wd-60	145.44	2.618	873	768	64
Wd-80	177.76	5.688	1.422	768	64
Wd-110	177.76	10.754	1.955	645	59
Wd-160	266.56	34.120	4.265	768	64
Wd-230	177.76	47.018	4.088	705	61

表-5 材料の許容応力度

		安 全 率	応力(kg/cm ²)
引張り強さ	σ_t	—	2 700
耐 力	$\sigma_{0.2}$	—	2 600
降伏点強さ	σ_e	—	1 950
許 容 応力度	引張り強度	1.85	1 050
	圧縮強度	1.85	1 050
	曲 げ 強度	1.85	1 050
	せん断強度	$1.85 \times \sqrt{3}$	600

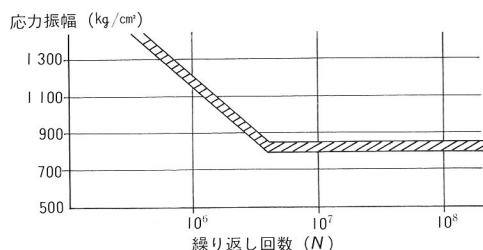


図-8 アルミニウム合金(A-S7G06)のS-N線図

4. 実橋載荷試験

タイヤの接地圧を設計荷重として用いる設計手法を採用しているCIPECジョイントの計算上の安全性は3章にて確認した。そこで、実際にジョイントに発生する応力を確認するため、新設の橋梁に設置したジョイントの載荷試験および応力頻度計測を実施することとした。載荷試験は、Wd-60, Wd-80およびWd-160型ジョイントを対象として静的載荷試験と走行試験を行った。試験状況を写真-3に示す。応力頻度計測についてはWd-80型ジョイントのみ実施した。

(1) 載荷試験

載荷試験は総重量約20tの荷重車(ダンプトラックまたはトラッククレーン)を使用し、ジョイントの施工完了後すぐに実施した。

静的載荷試験では荷重車をジョイントの遊間中央部に載荷し、ジョイントの歯の根元中央部に発生する応力を計測した。表-6によると測定された最大応力は、各ジョイントとも200 kg/cm²前後であり、衝撃による応力の増幅を考慮した設計最大応力768 kg/cm²の25%、衝撃を考慮しない最大応力384 kg/cm²の50%と非常に小さかった。これは、設計ではジョイント最大遊間時について検討しているのに対し、試験時のジョイントのフィンガー遊間が三つのジョイントとも標準遊間またはそれよりも小さかったためと考えられる。

Wd-80型ジョイントの載荷試験に使用した荷重車のタイヤ荷重は約2.5tであり、試験時に測定したタイヤの接地面積を用いてタイヤ平均面圧を求めると約4.8 kg/cm²であった。これに対し、載荷時の最大発生応力184 kg/cm²からCIPECジョイントの設計手法に基づきタイヤ平均面圧を逆算すると約3.8 kg/cm²であり、実測による平均面圧と1.0 kg/cm²の差が生じた。これは、実際のタイヤ剛度が不均等なことからタイヤの面圧分布が不均等分布をしていることや、タイヤを受けている面の部材剛度が異なるために(試験時のタイヤ荷重はジョイントの歯や床版コンクリートにまたがり支持されている)、部材剛度の大きい面での面圧が大きくなっていることが原因と考えられる。しかしながら、この面圧の比較では、設計荷重として面圧を載荷する方法は、タイヤ荷重のジョイントへの伝達機構を十分に反映しているものと考えられる。

る。

走行試験は、静的載荷試験に用いた荷重車を使用し、走行速度を微速から走行可能最大速度まで変化させ実施した。荷重車の走行によりジョイントの歯の根元中央部に発生した最大応力は、表-6によるとWd-60型ジョイントで267 kg/cm², Wd-80型ジョイントで230 kg/cm², Wd-160型ジョイントで205 kg/cm²であった。静的載荷試験時の最大応力に対する応力の増大は、最大25%と小さいものになったが、これは、新設橋に設置したジョイントのためジョイント付近の平坦性が良好であることによる。



写真-3 走行試験

表-6 載荷試験結果

タイプ		応 力 測 定 結 果						
Wd— 60	走行試験	試験時フィンガー遊間	25mm					
		静的試験最大発生応力	227kg/cm ²					
		走行速度(km/h)	微速	10	20	30	40	60
		最大発生応力(kg/cm ²)	217	252	259	221	267	—
		走行／静的	0.96	1.11	1.14	0.97	1.18	—
Wd— 80	走行試験	試験時フィンガー遊間	40mm					
		静的試験最大発生応力	184kg/cm ²					
		走行速度(km/h)	微速	10	20	30	40	60
		最大発生応力(kg/cm ²)	197	213	214	213	225	230
		走行／静的	1.07	1.16	1.16	1.16	1.22	1.25
Wd—160	走行試験	試験時フィンガー遊間	55mm					
		静的試験最大発生応力	173kg/cm ²					
		走行速度(km/h)	微速	10	20	30	40	60
		最大発生応力(kg/cm ²)	205	168	187	190	196	—
		走行／静的	1.18	0.97	1.08	1.10	1.13	—

(2) 応力頻度計測

載荷試験では、示方書に定められたT-20荷重と同重量の荷重車を用いて発生応力が設計応力に比べかなり小さいことを確認したが、実交通の車輦中には数%の過積載車輦が含まれており、これにより過大な応力がジョイントに生ずることが考えられた。このため、実交通下におけるジョイントの発生応力を確認することを目的とし、

応力頻度計測を実施した。計測は載荷試験を行ったWd-80型ジョイントを対象とし、道路供用10日後、写真-4に示すヒストグラムレコーダを用いて24時間行った。

図-9によると測定された歯の根元部の最大応力は330 kg/cm²であり、静的載荷試験における最大発生応力184 kg/cm²の約1.8倍、走行試験最大発生応力230 kg/cm²の約1.4倍、衝撃を考慮した設計最大応力768 kg/cm²の約45%であった。また、最大応力が発生した回数は、24時間計測中(データ採取総回数4 874回) 1回であり、走行試験時の最大応力を上回った回数は、全データ採取回数の約3%にあたる141回であった。

以上のことから、CIPECジョイントの設計に用いているタイヤ接地圧を設計荷重とする方法は、過積載車輛の走行に対しても安全側の設計方法であり、また、実交通中には少なくとも数%の過積載車輛が混入していることが確認できた。

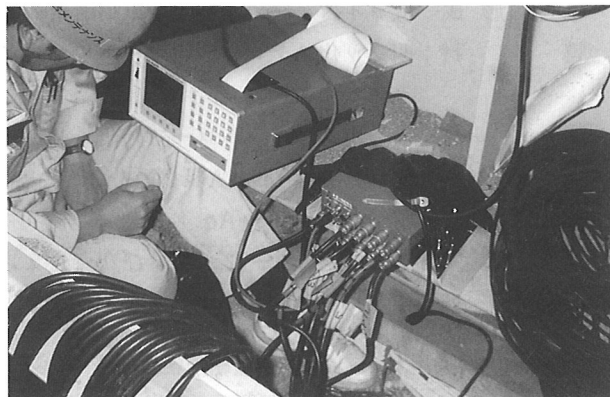


写真-4 ヒストグラムレコーダ

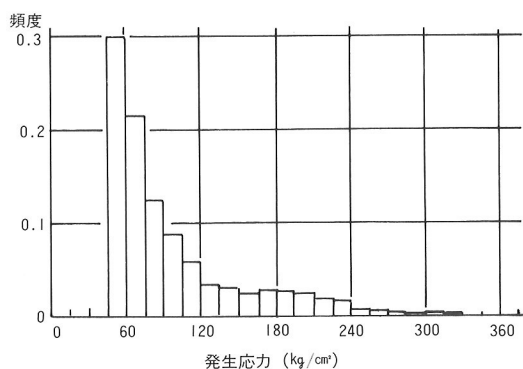


図-9 応力頻度計測結果

5. 結論

CIPECジョイントの設計手法の妥当性の確認のため、荷重体系、衝撃、タイヤ面圧特性についての調査・実験、実橋試験および防水対策の効果確認試験を行い、以下のことが確認できた。

- ① 実交通下では数%の割合で過積載車輛が存在し、

中には示方書規定荷重の2倍の軸重を持つ車輛が存在する。

- ② 伸縮装置に作用する衝撃は示方書規定値の1.0で妥当であった。
- ③ CIPECジョイントの設計手法における設計荷重として面圧を載荷する方法は、伸縮装置に作用する輪荷重の伝達機構を十分に反映している。
- ④ 設計面圧として示方書の輪荷重と輪接地面積から算出される16 kg/cm²を使用することにより、過積載車輛の走行に対しても安全側に設計されている。
- ⑤ 防水ゴムとドレーンパイプの使用により、伸縮装置の防水性として十分な性能を備えている。

6. あとがき

CIPECジョイントの防水対策の有効性および設計手法の妥当性が確かめられたが、今後も既設ジョイントの追跡調査・応力頻度計測などを実施し、耐久性の確認を行っていく予定である。また、実験室内での実物大の疲労試験を実施中であり、これらの結果についても、今後、機会があれば発表する予定である。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説, 1980年2月。
- 2) (社)日本道路協会：道路橋伸縮装置便覧, 1970年4月。
- 3) 伊田・布一・上野：フランス製シーベックジョイントの施工, 第17回道路会議論文集, 1987年。
- 4) 町田・前田・池辺・伊田：道路橋伸縮装置の設計法に関する2,3の考察(その1)ータイヤ接地圧を荷重とした設計法一, 第44回土木学会年次学術講演会概要集(I), 1989年。
- 5) 富沢・鈴木・柳澤・町田：道路橋伸縮装置の設計法に関する2,3の考察(その2)ー載荷試験および防水性調査一, 第44回土木学会年次学術講演会概要集(I), 1989年。
- 6) K.Maeda, F.Machida, K.Tomizawa, S.Miyazaki, T.Ikebe: Durability of Bridge Expansion Joint, IABSE Symposium, Lisbon, 1989.
- 7) 阪神高速道路公団・(財)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, 12, 1986年。
- 8) 建設省土木研究所：橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書(II~IV), 1978~1980年。
- 9) 日本軽金属協会：アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針案, 1977年。
- 10) Richard, Drouzy: Metallurgical Factors and Endurance Limit of Alloys of the Al-Si 7 Mg Type, Fonderie-Fondeur d'Aujourd'hui 14, 1982.