

百間川橋梁のゴムシューに関する実験的研究

中 原 繁 則*
 大 石 辰 雄*
 内 田 雅 平**
 広 瀬 晴 次†
 河 上 重 雄††

1. ま え が き

ゴムシューがコンクリート鉄道橋にある程度採用され始めたのは昭和 30 年代中期頃であった。当時のゴムシューは、現在の国鉄における標準的な構造（ゴム板の両面にステンレス板を接着）のゴムシューとその他の構造のゴムシューであった。以来、近年までこの二つの流れは変わらず、適用範囲は小スパン桁、斜角（60° 程度以下）桁等に限られていた。しかし、宮城沖地震の発生によりコンクリート鉄道橋の鑄鉄、鑄鋼シューが被害をうけたことを契機としてコンクリート鉄道橋用シューとしてゴムシューを主体的に採用する方向が生まれた。昭和 53～55 年、国鉄はコンクリート鉄道橋用ゴムシューの実験を集中的に行い、この成果を取り入れた「コンクリート鉄道橋ゴムシューの手引き」を昭和 57 年につくつ

た。

このような背景の中で、百間川橋梁の全支点到にゴムシューを採用することが決定され、大反力ゴムシュー（表-1）が実現したのである。この報告は、百間川橋梁のゴムシュー採用に伴い、大型ゴムシューの圧縮バネ定数の研究紹介を中心とし、この前段にゴムシューの概要を加えたものである。

2. 国鉄のコンクリート鉄道橋用ゴムシューの概要

2.1 ゴムシューの標準的な構造

コンクリート鉄道橋に使用されているゴムシューの標準的な構造は、ゴム板の両面にステンレス板を強固に接着した単層ゴムシュー、および類似構造の重層ゴムシューとがある（図-1）。この構造で、ゴム板は桁のたわみ

表-1 大反力ゴムシュー例

橋 梁 名	断 面 形 式	ス パ ン (m)	1 橋脚の最大反力 (t)	記 事
百 間 川 橋 施	連続下路 PC 桁	42.3+42.3 42.3+43.0+42.3	3 558 (1779)	国鉄山陽本線, 1985完成
笹 目 川 橋 梁	連続箱形 PC 桁	47.2+80.0+47.2	5 958 (1986)	国鉄東北新幹線, 1984完成
ブ ロ ト ヌ ヌ	PC 斜 張 橋	143.5+320+143.5	11 520	フランス, 1977完成

(注) () 内は1支点当りの最大反力

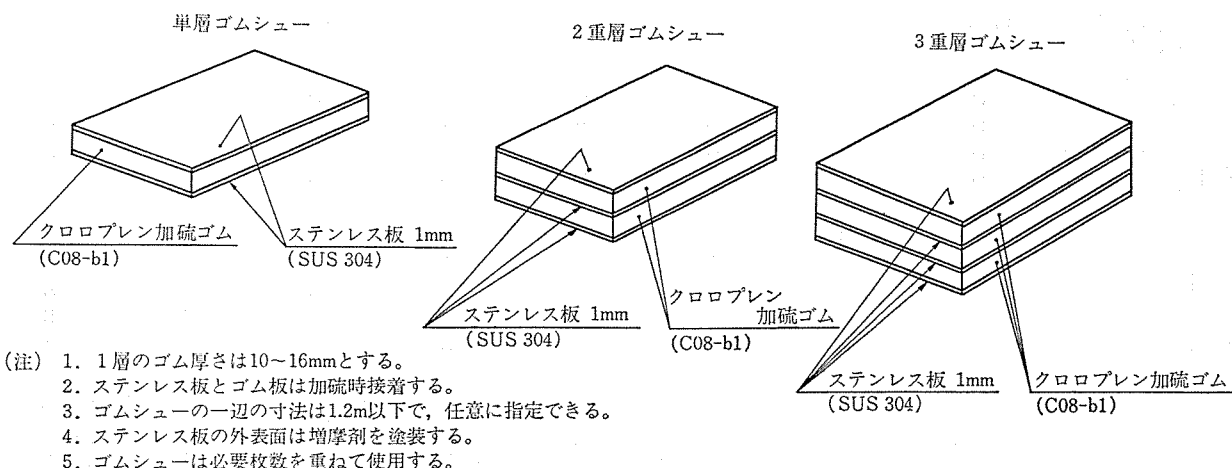


図-1 コンクリート鉄道橋用ゴムシューの標準的な構造

* 国鉄構造物設計事務所 † 極東鋼弦振興(株)次長
 ** 国鉄大阪工務局岡山工事センター †† 東海ゴム工業(株)特品部部长

によって生じる支承面の傾斜に追従すると同時に、上・下部工の相対変位に等しい水平せん断変形を容易に生じる。シューに作用する圧縮応力のため、ゴム板自体はわずかに圧縮ひずみを生じるが、この圧縮ひずみはステンレス板とゴム板との接着効果により抑えられている。ステンレス板はこの働きのほか、ゴムの損傷防護、ならびにゴム板の耐オゾン層として必要である。シューは長期間シュー座から逸脱しないよう、シューの滑り止めとしてステンレス板の外表面に増摩剤が塗着されている。

ゴムシューは、長方形、正方形、平行四辺形等の形状で使用され、一辺の寸法は 1.2m 程度以下であれば任意に定めてよい。積層数については、単層、2重層、3重層品を必要枚数だけ取り混ぜて使用してもよい。

2.2 ゴムの品質

ゴムシューは、長期間桁のたわみ、伸縮、および地震時の支承部の相対変位に機能するとともに、ゴムは有害な亀裂、弾性の喪失等を生じてはならない。以下に、このような条件を満足するためのゴム品質について述べる。

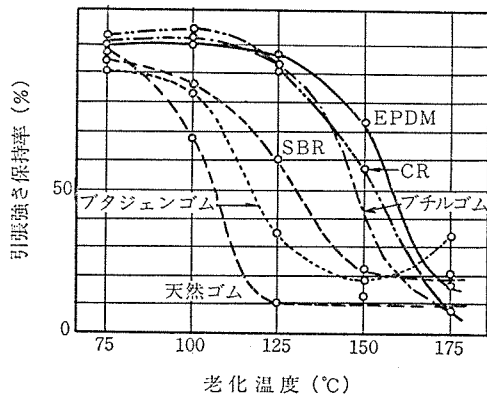
(1) 原料ゴム

原料ゴムの種別は、クロロプレン原料ゴム (1930 年初米国デュポン社開発)*、ゴムの木より採集される天然原料ゴム**、その他多くの人工的に造られた原料ゴム (イソプレン、スチレン、ニトリル、ブタジエン、エチレンプロピレン、ハイパロン、エチレン酢ビ、その他) がある。

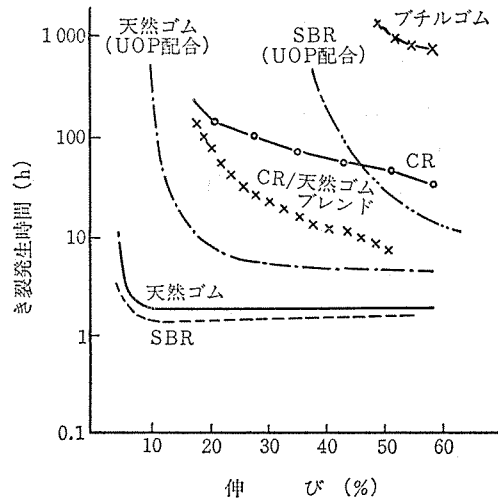
表-2 加硫ゴムの特性 (例) (日本ゴム協会東海支部「ゴム技術の ABC」)

A:優 B:良 C:可 D:不可

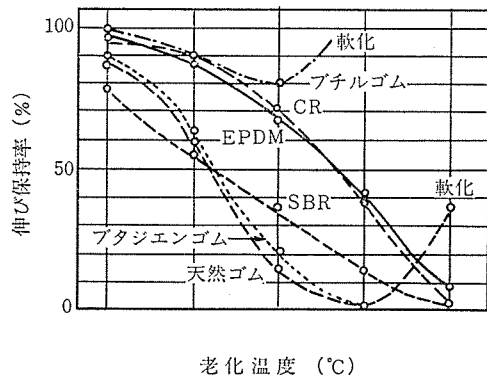
ゴムの種類 (ASTM 略号)	天然ゴム (NR)	スチレンブタジエンゴム (SBR)	ブタジエンゴム (BR)	クロロプレンゴム (CR)	ニトリルゴム (NBR)	ブチルゴム (BR)	エチレン・プロピレンゴム (EPDM)	ハイパロン (CSM)	
化学構造	ポリイソプレン	ブタジエン, スチレン共重合体	ポリブタジエン	ポリクロロプレン	ブタジエン, アクリロニトリル共重合体	イソブチレン, イソプレン共重合体	エチレン, プロピレン三元重合体	クロロスルホン化ポリエチレン	
主な特長	いわゆる最もゴムらしい弾性を持ったもの、機械的性質がよい	天然ゴムより耐摩耗性、耐老化性が良い。価格も安価	天然ゴムよりも弾性が良く耐摩耗性もすぐれている	耐候性耐オゾン性、耐熱性、耐薬品性など平均した性質を持つ	耐油性、耐摩耗性、耐老化性が良い	耐候性、耐オゾン性、耐ガス透過性が良い	耐老化性、耐オゾン性、極性液体に対する抵抗性、電気的性質が良い	耐考化性、耐オゾン性、耐薬品性、耐摩耗性が良い	
純ゴムの比重	0.92	0.93~0.94	0.91~0.92	1.15~1.25	1.00~1.20	0.91~0.93	0.86~0.87	1.11~1.18	
配合ゴムの物理的性質および耐性	かたさ (JIS A)	30~90	40~90	40~90	40~90	35~90	40~90	50~90	
	引張強さ (kg/cm ²)	70~280	50~230	50~230	60~250	50~250	50~150	70~200	
	伸び (%)	100~600	100~500	100~500	100~500	100~500	100~600	100~500	100~500
	反ばつ弾性	A	B	A	A	B	C	B	B
	常用温度	60	90	90	100	100	120	140	130
	限界 (°C)	最高 最低	最高 最低	最高 最低	最高 最低	最高 最低	最高 最低	最高 最低	最高 最低
	耐摩耗性	B	A	A	B	A	C	C	A
	耐屈曲き裂性	A	B	C	B	B	A	B	B
	耐オゾン性	D	D	D	B	D	A	A	A
	耐圧縮永久ひずみ	B	B	B	B	B	C	B	C
配合ゴムの耐性	耐ガス透過性	C	C	C	B	B	A	C	B
	耐炎性	D	D	D	B	D	D	D	B
	電気絶縁性 (Ω・cm)	10 ¹⁰ ~10 ¹⁵	10 ¹⁰ ~10 ¹⁵	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	10 ¹⁰ ~10 ¹²	10 ² ~10 ¹⁰	10 ¹⁶ ~10 ¹⁸	10 ¹² ~10 ¹⁶	10 ¹⁴
	(体積固有抵抗)								
	潤滑油	D	D	D	B	A	D	D	B
	ガソリン	D	D	D	C	B	D	D	C
	脂肪族炭化水素	D	D	D	B	A	D	D	B
	芳香族炭化水素	D	D	D	D	D	D	D	D
	含塩素溶剤	D	D	D	D	D	D	D	D
	アルコール	A	A	A	A	A	A	A	A
ケトン	B	B	B	C	D	B	A	C	
配合ゴムの耐性	水	A	A	A	A	A	A	A	A
	希酸	B	B	B	A	B	A	A	A
	濃酸	D	D	D	C	D	B	B	B
	アルカリ	B	B	B	A	B	A	A	A
主な用途	自動車特に大型自動車タイヤ産業用トラックタイヤ、はき物、ホース、ベルト空気バネなど一般工業用品	自動車タイヤ、はき物、運動用品、ベルトなどの工業用品および一般工業用品	自動車、航空機用タイヤ、はき物、防振ゴム、ロールベルト、ホースなどの工業用品	電線被覆コンベアベルト、窓防振ゴム、窓わくゴム、接着剤、ゴム布および一般工業用品	オイルシール、ガスケット、耐油ホセキ、コンベアゴムベルト、印刷ロール・紡績用トップの耐油製品	自動車用タイヤのインナー、キョウアリング、パッキン、ルーフィング、電線被覆、窓わくゴム、スチームホース、コンベアゴムベルトなど	電線被覆、自走車のウェザーストリップ、スチームホース、コンベアゴムベルトなど	耐候性耐食性塗料、タンクライニング、ゴム引布、耐食性パッキング、耐熱耐食性ロールなど	



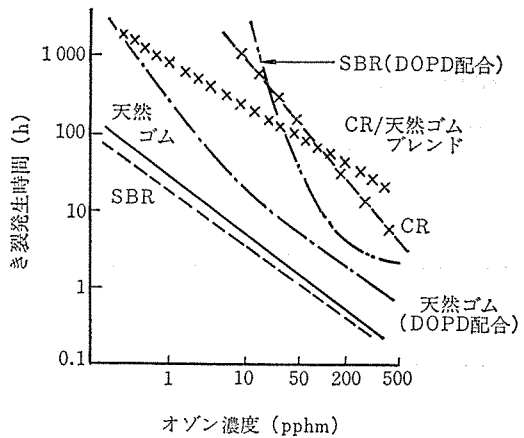
(1) 引張強さ保持率と老化温度 (96時間老化後)



(3) き裂発生時間と伸び (50pphm, 20°C)

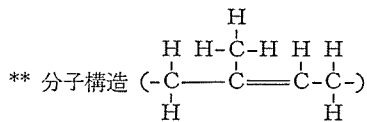
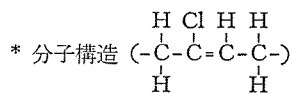


(2) 伸び保持率と老化温度 (96時間老化後)



(4) オゾン濃度と亀裂発生時間

図-2 各種加硫ゴムの性質 (日本ゴム協会東海支部「ゴム技術の ABC」)



今日、ゴムシューとしては、クロロプレンゴムを原料とするゴムシューが、国内・海外で数多く使用されている。

(2) クロロプレン加硫ゴム

ゴム製品は、一般に純度100%の原料ゴムではなく、これに多種、多量の配合剤が含まれている。クロロプレン加硫ゴムは、クロロプレン原料ゴムに配合剤を加え、混練りし、加熱圧縮して作られたゴムをいい、「CR」の記号で表示されている。このCRは、他のゴム材料に比較し、環境に対する耐候性、自然劣化に対する耐老化

表-3 き裂発生時間と温度 (例) 50 ppm, 伸び 20%

温度	天然ゴム	SBR	NR (UOP 配合)	CP	ブチルゴム
20°C	0.5	0.5	4	112	>1000
40°C	1	0.5	22	—	308
50°C	1	0.75	16	160	399

日本ゴム協会東海支部「ゴム技術の ABC」

性、耐酸耐アルカリ性、耐油性等の諸特性に優れている (表-2, 図-2, 表-3)。

以上のような性質を有することから、コンクリート鉄道橋では「合成ゴムを使用する場合はクロロプレン加硫ゴム (JIS K 6386 C 08-b1), またはこれと同等以上の品質を有するもの」と定められている。なお、ゴム製品からの回収ゴムは、これがクロロプレン加硫ゴムであってもゴムシュー用ゴムとしての品質確保が困難なため、これを使用してはならない。

(3) ゴムのせん断弾性率

ゴムシューが圧縮応力をうけるとゴムは圧縮ひずみを生じるが、このひずみ量は圧縮応力度、ゴム厚さ、シューの辺長、および引張弾性率と関連している。シュー設計では引張弾性率を使用せず、せん断弾性率が用いられている。JIS K 6386 によると、静的せん断弾性率 (G_s) は $1.639 \times \sigma_{25}$ で求めるが、 σ_{25} (JIS K 6301) はたんざく状のゴム試験片を 25% だけ引き伸ばすのに要する力から算定する。 G_s はゴムシュー設計で取り扱う最も重要な物理特性であり、これは主として配合剤の配合量によってコントロールされる。国鉄では、コンクリート鉄道橋用ゴムシュー設計において $G_s=8 \text{ kg/cm}^2$ の値を使用しており、JIS K 6386 の品質グレードは $G_s=8 \pm 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ である。

2.3 ゴムシューの変形

ゴムシューは、鉄鋼シューと比較すると軟弾性体であり、作用力に応じて圧縮ひずみ、およびせん断ひずみを生じることを大きな特徴としている。供用中のゴムシューの変形状態は、単純圧縮、偏心圧縮、およびこれらに水平力が作用した場合に生じる 4 形態が一般的である (図-3)。これらの変形はゴムシュー特有の現象であり、異常を生じているのではない。

3. 百間川橋梁のゴムシュー採用に伴う実験的研究

3.1 研究目的

百間川橋梁は、国鉄山陽本線が岡山市内で旭川の放水路と交差する位置に架設中のスパン 42.3+42.3, 42.3+43.0+42.3 m の連続下路式複線 PC 鉄道橋である (写真-1)。この橋梁の最大反力は 1779 t/1シューであり、シューはゴムシュー、および鉄鋼シューについて経済性、耐久性、施工性について検討の結果、全支点にゴムシュー

の採用を決定した。しかし、このような大型ゴムシューの国内採用の実績はなく、このため研究はシュー設計の妥当性と今後の大型ゴムシュー設計の資料を得ることを目的として、鉛直バネ定数の研究、および百間川橋梁ゴムシューの現場挙動の測定を中心に行った。

3.2 ゴムシューの圧縮バネ定数に関する研究

ゴムシューの圧縮バネ定数は、 G_s のほか、1層のゴム厚さ、形状率 (S.F.)、圧縮応力度等によって変化する。現在、ゴムシューの静的圧縮バネ定数 (K_s) は式(1)によって求めている。

$$K_s = \frac{1}{4e} \cdot a \cdot b \cdot f \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $4e = C_t \times \frac{f}{G_s} \times \frac{t_e^3}{a^2}$

しかし、実際の圧縮バネ定数はステンレス板の拘束効果等の影響を修正する必要があるため、今回形状率、および圧縮応力度と K_s の関係について実験した。

3.2 圧縮荷重実験

(1) 供試体

供試体は、ゴムシューの実状より形状率を 4~11 程

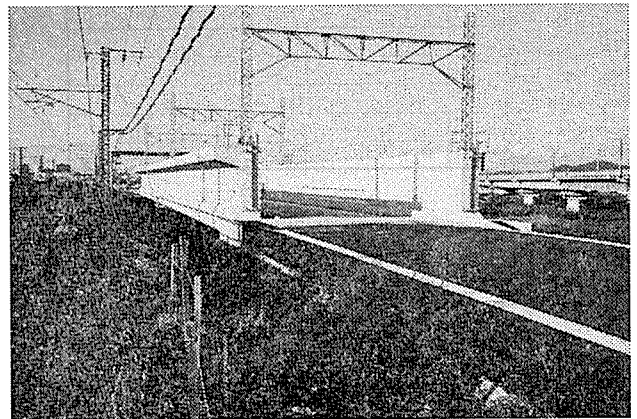


写真-1 百間川橋梁橋体完成 (2径間連続桁のみ)

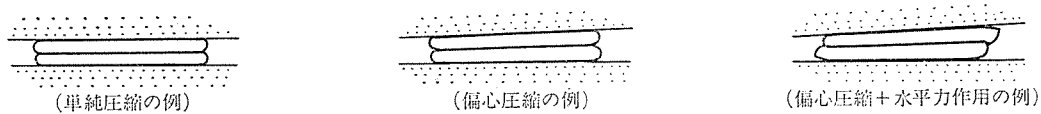


図-3 ゴムシューの変形

表-4 ゴムシューの静的圧縮荷重用供試体一覧

積層数	$t_e=1.0$		$t_e=1.4$					$t_e=1.6$	
	① 20×20	② 40×40	③ 20×20	④ 20×30	⑤ 20×40	⑥ 20×60	⑦ 40×40	⑧ 20×60	⑨ 40×40
単層	○	○	○	○	○	○	○	○	○
単層3枚重ね			○			○	○		
単層5枚重ね			○			○	○		
2重層			○			○	○		
3重層			○			○	○		
形状率	5.0	10.0	3.6	4.3	4.8	5.6	7.1	4.7	6.3

(注) 1. 形状率 (S.F.) = $\frac{A \times B}{2(A+B) \times t_e}$ A, B はゴムシューの辺長, t_e はゴム1層の厚さ
 2. ゴムの品質はクロロプレン加硫ゴム (C08-b1 合格品)

度、圧縮試験機の能力から $A=400\sim 2300\text{ cm}^2$ 、1層のゴム厚さは 1.0, 1.4, 1.6 cm の3種類、積層数は最大5層、ゴムシユーの一辺の寸法は実用上から 20 cm 以上として、表-4 のとおりとした。

実験方法は、写真-2 (この例は単層シユーを3段重ね) に示すように 200 t アムスラー試験機により加圧し、ダイヤルゲージ (1/1000) を4箇設置してゴムシユーの圧縮ひずみを測定した。実験に際してはゴムシユーに偏心荷重が作用しないようにシユー中心はアムスラー中心に一致させて置いた。計測は2回予備圧縮を行い、3回目で圧縮応力とひずみを記録した。載荷速度は10分間程度で $f=0\sim 150\text{ kg/cm}^2$ を最大12段階でひずみ測定を行った。

(2) 単層ゴムシユーの載荷実験結果

供試体の圧縮応力とひずみの測定結果は表-5、図-4 のとおりである。各々の供試体の低応力 ($f \leq 15\text{ kg/cm}^2$) 時のひずみは高応力 ($f=120\text{ kg/cm}^2$) 時のひずみに対して 32~68% を占めた。このように、低応力下のひずみが大きいのは、加圧されたゴム板のひずみ特性ではな

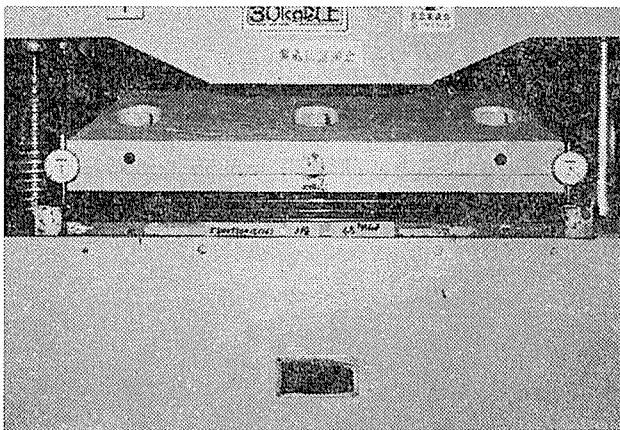


写真-2 ゴムシユーの載荷実験

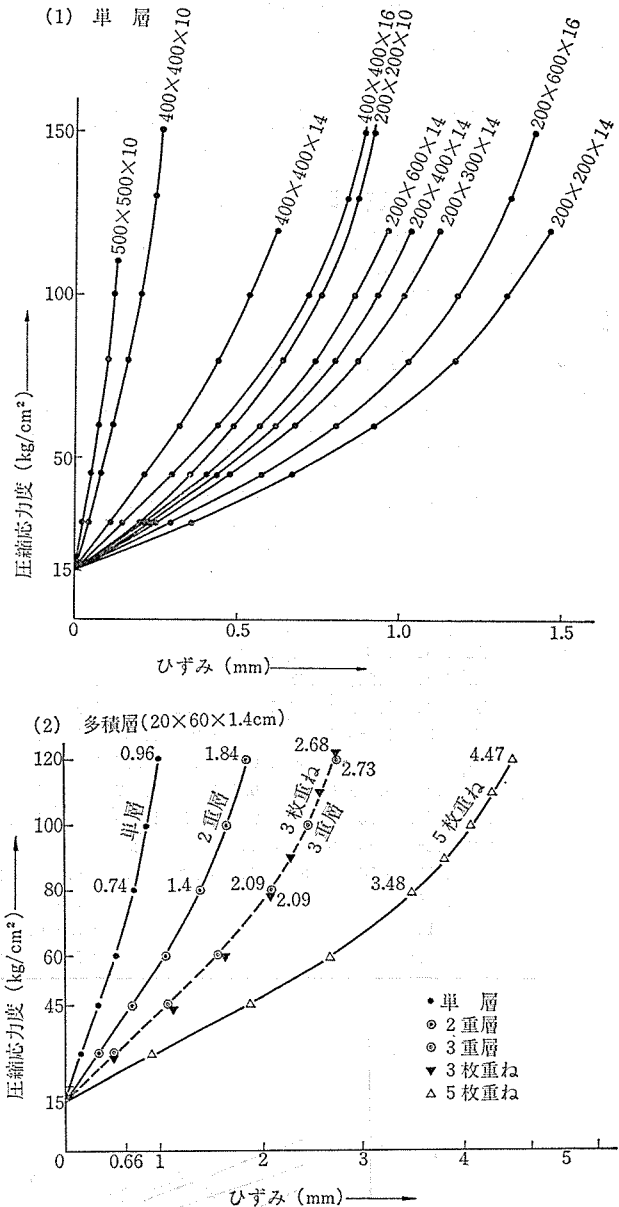


図-4 供試体ゴムシユーの応力・ひずみ曲線

表-5 単層ゴムシユーの測定ひずみ、計算ひずみ

f (kg/cm ²)	測定ひずみ (mm) : d_1									計算ひずみ (mm) : d_0								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0.250	0.040	0.400	0.260	0.260	0.240	0.130	0.300	0.150	0.111	0.028	0.305	0.219	0.187	0.163	0.076	0.243	0.114
30	0.450	0.085	0.760	0.510	0.490	0.450	0.220	0.595	0.295	0.222	0.056	0.610	0.437	0.375	0.325	0.152	0.486	0.228
45	0.582	0.120	1.070	0.740	0.700	0.650	0.330	0.877	0.445	0.333	0.083	0.915	0.656	0.562	0.488	0.229	0.729	0.341
60	0.742	0.155	1.320	0.940	0.880	0.810	0.440	1.105	0.588	0.444	0.111	1.219	0.875	0.749	0.651	0.305	0.972	0.455
80	0.890	0.200	1.570	1.130	1.060	0.980	0.560	1.325	0.783	0.593	0.148	1.626	1.166	0.999	0.868	0.407	1.295	0.607
90	0.932	0.220	1.660	1.210	1.130	1.040	0.620	1.407	0.810	0.667	0.167	1.829	1.312	1.124	0.976	0.457	1.457	0.683
100	1.007	0.240	1.730	1.270	1.190	1.100	0.660	1.475	0.870	0.741	0.185	2.032	1.458	1.249	1.085	0.508	1.619	0.758
110	1.055	0.255	1.800	1.330	1.240	1.150	0.700	1.537	0.915	0.815	0.204	2.235	1.604	1.373	1.193	0.559	1.781	0.834
120	1.085	0.270	1.830	1.380	1.290	1.200	0.740	1.592	0.950	0.889	0.222	2.439	1.749	1.498	1.302	0.610	1.943	0.910
130	1.115	0.285						1.640	0.985	0.963	0.241						2.105	0.986
140	1.145	0.295						1.675	1.020	1.037	0.259						2.267	1.062
150	1.170	0.305						1.715	1.040	1.111	0.278						2.429	1.138

説明: $f=15$ に対する測定ひずみは図-4 から推定した値である。
 $\sigma=15\sim 150$ までの測定ひずみは4つの測定値の平均値である。
 ①~⑨は供試体番号。

$$(\text{計算ひずみ}) = C_t \cdot \frac{f}{G_0} \cdot \frac{t_e^3}{a^2}$$

く、シュー表面に塗装されている増摩剤の介在、およびシューの微小な湾曲等の影響によるものである。したがって、低応力区間の真のひずみはこれらの影響を除去する必要があるため、その方法としては $f=15 \text{ kg/cm}^2$ のときの供試体の今回の実測接線バネ定数直線を $f=0$ まで延長して求めた。表-5 の $f=15 \text{ kg/cm}^2$ に対するひずみはこのように計算したひずみであり、 $f=15\sim 150 \text{ kg/cm}^2$ までの測定値は4個のダイヤルゲージの読取り値の単純平均である。

(3) 圧縮載荷実験結果の考察

実験結果の考察は、この実験目的が圧縮バネ定数の研究であるから、シューの圧縮バネを決定する形状率、

表-6 測定ひずみと計算ひずみの比

f (kg/cm ²)	Δ ₁ /Δ ₀								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2.252	1.429	1.311	1.187	1.390	1.472	1.711	1.235	1.316
30	2.027	1.518	1.246	1.167	1.307	1.385	1.447	1.224	1.294
45	1.748	1.446	1.169	1.128	1.246	1.332	1.441	1.203	1.305
60	1.671	1.396	1.083	1.074	1.175	1.244	1.442	1.137	1.292
80	1.501	1.351	0.966	0.969	1.061	1.129	1.376	1.023	1.290
90	1.397	1.317	0.908	0.922	1.005	1.066	1.357	0.966	1.186
100	1.359	1.297	0.851	0.871	0.953	1.014	1.299	0.911	1.148
110	1.294	1.250	0.805	0.829	0.903	0.964	1.252	0.853	1.097
120	1.220	1.216	0.763	0.789	0.861	0.922	1.213	0.819	1.044
130	1.158	1.183						0.779	0.999
140	1.104	1.139						0.739	0.960
150	1.053	1.098						0.706	0.914

圧縮ひずみ、応力度の相互の関係に着目する。圧縮バネ定数は、ゴムの G_0 とも関係するが、 $G_0=8 \text{ kg/cm}^2$ 品の加硫ゴムは $G_0=8\pm 1.0 \text{ kg/cm}^2$ と規定されているので、この程度のバラツキでは G_0 の修正についての研究は不要と判断し、今回の実験目的の対象としなかった。

計算ひずみ (Δ_0) と実験ひずみ (Δ_1) の関係を知るため、図-5 をつくり、この図から以下のことが明らかとなった。ひずみ比 (Δ_1/Δ_0) は圧縮応力度が大きくなるほど小さくなる。ひずみ比と応力の関係は、多くの供試体が直線を示す(ただし、①は放物線、④,⑧,⑨は一部に放物線を有する)。これらの直線はおおむね平行している。 Δ_1/Δ_0 が1を下廻るときの応力度は形状率により、 $f \geq 73 \text{ kg/cm}^2$ で広く分散している。一定応力度のときの Δ_1/Δ_0 は形状率が大きいほど大きい。

以上のことから、計算ひずみを実測ひずみに近似させるための修正係数は次式のようになる。

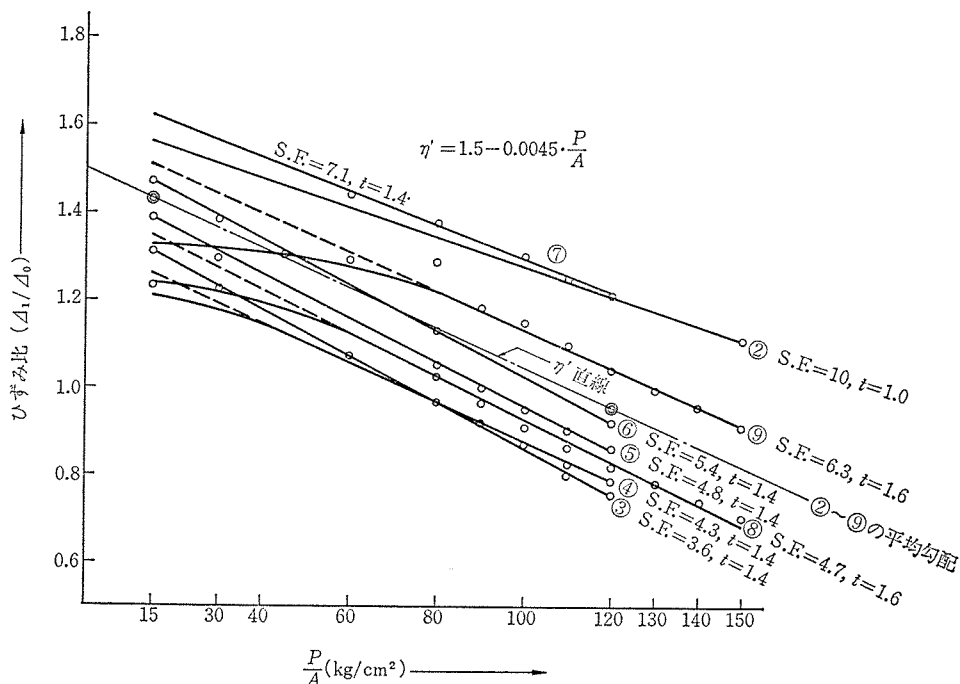
$$\eta = (\eta' - 0.0045 \cdot f)$$

ここに、 η : ゴムシュー圧縮ひずみの修正係数

η' : 定数項

$$f : \frac{P}{A} \quad (P \text{ は実験荷重, } A \text{ は面積})$$

つぎに、形状率とひずみ比の関係を示す図-5 であるが、この図によると、(形状率)=5.55 を境界として、 Δ_1/Δ_0 は (-) 値と (+) 値に分かれており、また、形状



(注) ①は η' の式に含めていない
 Δ_0 は現行計算ひずみ($G_0=8$), Δ_1 は実測ひずみ
 A はゴムシュー面積, P は実験荷重

図-5 圧縮応力に対するひずみ変化の修正グラフ

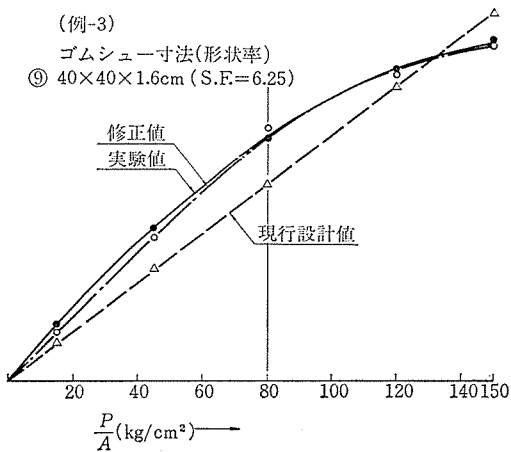
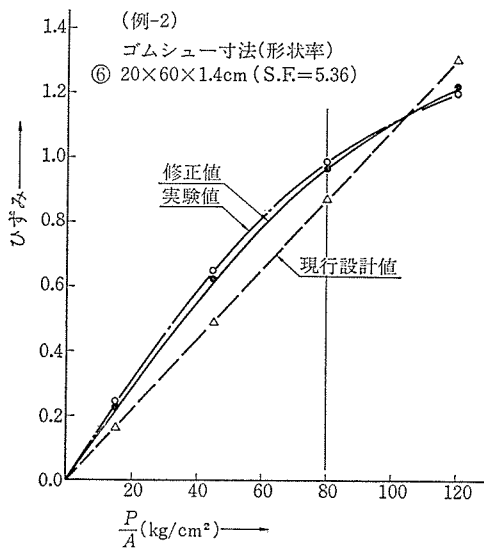
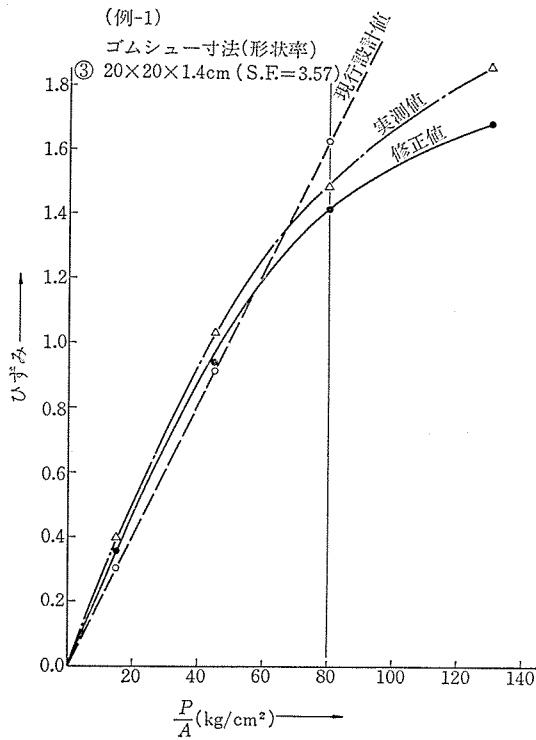


図-6 修正係数を使用した場合の圧縮ひずみ

率と d_1/d_0 との関係グラフは、およそ直線を示している(ただし、②は別)。

以上より、次式がこのグラフの一般式となる。

S.F. ≤ 5.55 のとき

$$\eta' = \{1.5 - 0.137(5.55 - \text{S.F.})\}$$

S.F. > 5.55 のとき

$$\eta' = \{1.5 + 0.137(\text{S.F.} - 5.55)\}$$

以上より、ゴムシューの圧縮ひずみの計算式として式(2)が提案できる。

[今回の提案式]

S.F. < 5.55 の場合

$$d_e = \{1.5 - 0.137(5.55 - \text{S.F.}) - 0.0045 \cdot f\}$$

$$\cdot C_t \cdot \frac{f}{G_0} \cdot \frac{t_e^3}{a^2}$$

S.F. > 5.55 の場合

$$d_e = \{1.5 + 0.137(\text{S.F.} - 5.55) - 0.0045 \cdot f\}$$

$$\cdot C_t \cdot \frac{f}{G_0} \cdot \frac{t_e^3}{a^2}$$

.....(2)

ここに、 d_e : 静的圧縮ひずみ

t_e : 1層のゴム厚さ

f : (圧縮力/ゴムシュー面積)

G_0 : 静的せん断弾性率

a : ゴムシューの短辺長さ

C_t : 形状率に関する定数

図-6 に示すように、提案式は実験値に対してかなり良い精度を示した。

多積層シューの圧縮ひずみは単層シューのひずみを積層層数倍した値とほぼ等しかった(図-4(2)参照)。

3.4 ゴムシューの静的せん断弾性率の実験

この実験は図-7 に示すように、ゴムシューに $f=80 \text{ kg/cm}^2$ の応力を保持した状態で、コンクリート板を水平ジャッキで押すことにより、ゴムシューが水平方向に変形するような方法で行った。実験の結果、弾性率は(せん断変形率)=10~30%の範囲で 8.5 kg/cm^2 程度で

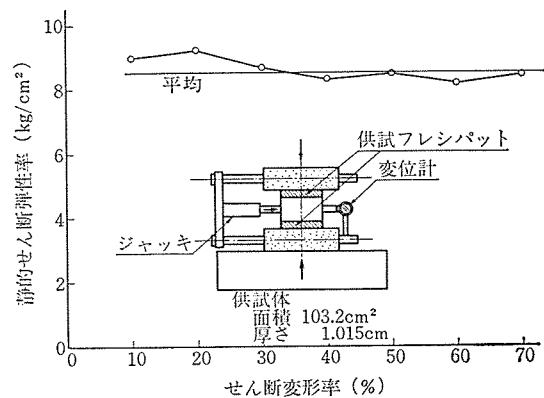


図-7 せん断弾性率とひずみ率の関係

あるが、(せん断変形率)=30~70% では $G_0=8 \text{ kg/cm}^2$ 程度(ゴム品質は C08-b1)の値を示した。

3.5 ゴムシューの摩擦係数の実験

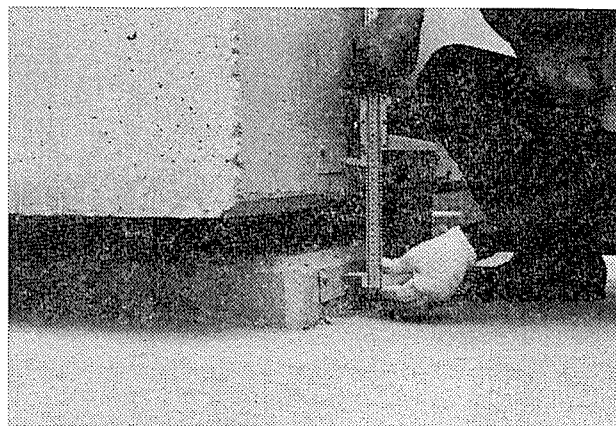
ゴムシューにある程度の摩擦係数が要求されるのは使用中のゴムシューがシュー座から逸脱しないためである。シューの摩擦係数は、シュー表面に塗装されている増摩剤のステンレス板への接着力、シュー座面コンクリートの状態(乾, 湿, 平面性等)に関係する。

実験は写真—3の方法により行った。実験の結果, 初摩擦係数は, コンクリート表面の乾, 湿, 表, 裏に関わりない。ゴムシューを数回滑動させると, このときの静摩擦係数は支圧応力度が大なるほど, 低い値を示した($f=60 \text{ kg/cm}^2$ のとき $\mu=0.2$)。実験結果は図—8に示す。

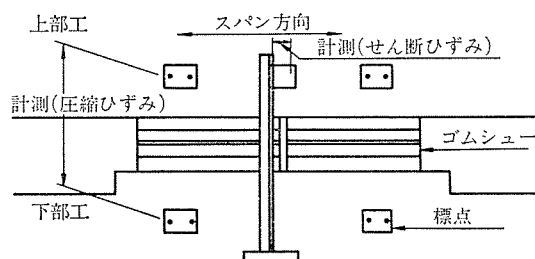
3.6 百間川橋梁ゴムシューの現場測定

ゴムシューの現場測定は圧縮ひずみと橋軸方向のせん断ひずみを図—9, 写真—4に示すように橋体コンクリートにあらかじめ埋設した標点にM型ノギス(精度1/20mm)を当て, 計測距離を直読した。

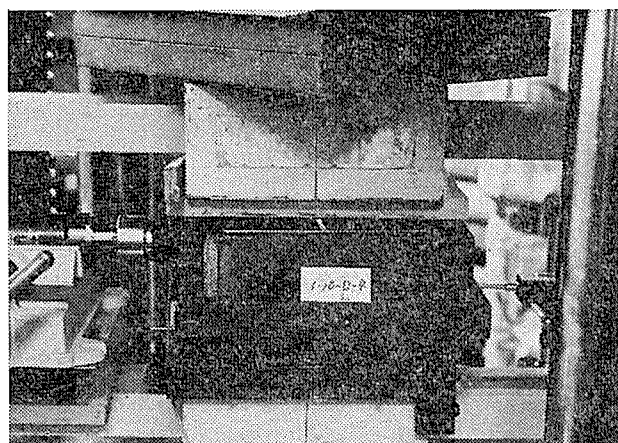
橋体コンクリートは2回施工に分割して打設しており, 主ケーブルも1次と2次に分けて緊張している。ゴ



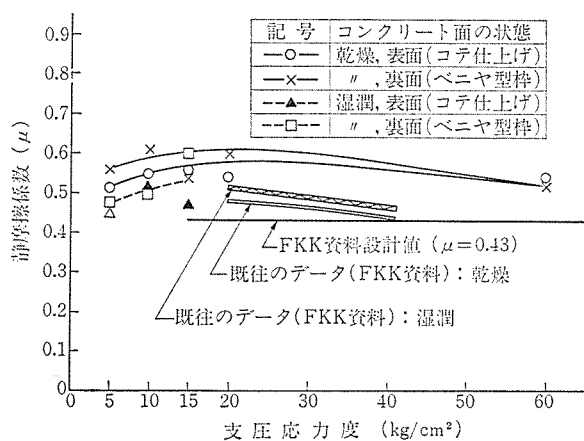
写真—4 百間川橋梁ゴムシューのひずみ測定



図—9 ゴムシューの現場測定



写真—3 ゴムシューの静的摩擦係数実験



図—8 静摩擦係数と支圧応力度

ムシューの測定は1A(可動), 1P(固定), 2P(可動)の合計6支点を2次施工の主ケーブル緊張直前の1回目から1, 2, 3週間後および1, 3, 5, 8か月後の計8回測定した。なお橋体は1回から3回目までは支保工に支持された状態であり, 4回目以降は橋体の反力が完全にゴムシューに移行されている。

測定の結果は表—7のとおり圧縮ひずみは3.2mm~3.9mm生じており, これは計算値より大きい。この原因は, 橋体が橋軸直角方向にもつ勾配(1/0.0035%)を有し, その影響がゴムシューにひずみを生じさせていることと, ゴムシュー相互のなじみ等が不確定要素として加算されたためである。橋体の全反力が完全にゴムシューに移行した4回目から8回目までの測定で生じた1.2mm~2.0mmのひずみは, 主にコンクリートのクリープによるものと考えられる。橋軸方向のせん断ひずみは, 表—7(2)のとおり, 6.1~7.9mm生じている。これは各過程において計算値よりも少なくない。この過程において2回目から2次緊張終了後の3回目の計測で生じたひずみは, プレストレスによる弾性短縮とコンクリートの乾燥収縮によるものと思われる。また4回目から8回目に生じたひずみはコンクリートのクリープ短縮と温度変化による伸縮と考えられる。特に温度変化による伸縮は各測定回目の温度差からその影響を算出すると, その度合は実測値とよく合致している。このゴムシューのゴム(C08-b1)の物理的性質は表—8のとおりであ

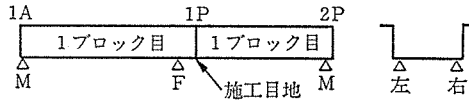
表-7 ゴムシューの現場測定値

(1) 圧縮ひずみ

(mm)

		0日	5日	12日	19日	34日	97日	159日	244日	8回目
		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	4回目
1A	右	0	1.0	1.5	2.2	2.6	2.7	3.3	3.8	1.6
	左	0	0.8	1.8	1.9	2.2	2.0	2.8	3.2	1.3
1P	右	0	0.9	1.8	2.3	2.5	2.5	3.5	3.9	1.6
	左	0	0.8	1.3	1.8	1.9	2.0	2.5	3.2	1.4
2P	右	0	0.8	1.7	1.9	2.7	2.6	3.4	3.9	2.0
	左	0	0.8	1.8	2.3	2.4	2.5	3.2	3.5	1.2

(注) 表の○日は主桁コンクリート材令1.5か月～8日に相当。



(2) せん断ひずみ

(mm)

		0日	5日	12日	19日	34日	97日	159日	244日
		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目
1A	右	0	-2.00	-2.80	-2.15	-2.15	+4.35	+0.50	-6.40
	左	0	-1.95	-2.00	-1.85	-1.50	+3.30	-2.00	-6.10
1P	右	0	0	0	0	-0.50	0	0	-0.50
	左	0	0	0	0	-1.05	-3.35	-2.00	-1.00
2P	右	0	+1.45	+1.50	+1.60	-1.05	-2.25	+2.50	+6.85
	左	0	+0.55	+0.55	+0.50	-2.00	-3.90	-0.50	+7.90

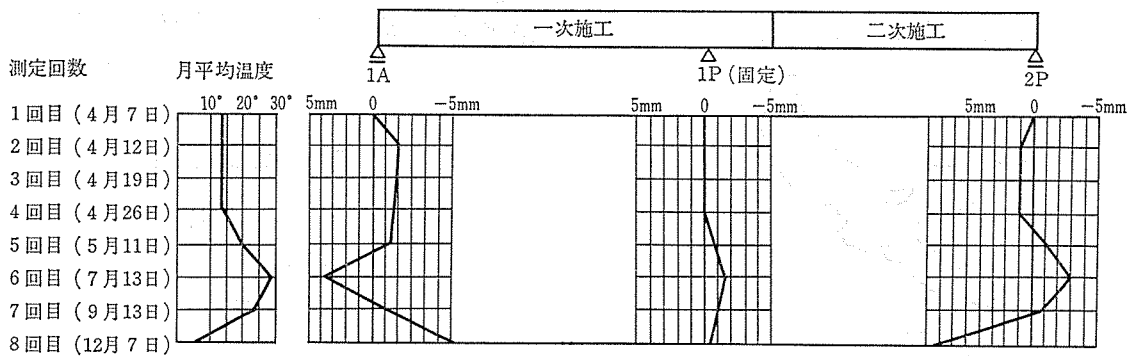


表-8 百間川橋梁ゴムシューの物理的性質

物理特性	単位	規格値	実測値	
(1) 静的せん断弾性率	kg/cm ²	8±1.0	8.4	
(2) ※かたさ		50±5	51	
(3) 伸び	%	400以上	440	
(4) 耐油性(体積変化率)	%	+120以下	—	
(5) 耐老化性	{ 25% 伸長 応力変化率	%	-10~+100	41.2
	{ 伸び変化率	%	-50以上	-9.6
(6) 圧縮永久ひずみ率	%	35以下	13	
(7) 耐オゾン性	—	肉眼観察で、き裂のないこと	なし	
(8) ※耐寒性 (衝撃ぜい化温度)	°C	-40以下	-42	

※印は、JIS K 6386 の C08-b1 に規定されていない特長特性である。

る。

以上のようにゴムシューは、橋体コンクリートが有する動きに敏感に反応することにより、従来の金属シュー

の欠点であったこれらの変形の拘束力で横桁にクラックの発生がみられるような事態が解消された。

4. む す び

今回の圧縮荷重実験結果に基づいて、圧縮ひずみ修正係数の算定式を提案したが、データ不足とアムスラー能力による供試体サイズの制限のため信頼性の高い結果を得るには至らなかった。今後、このような不足の面を補って修正係数の精度を高める必要がある。静的せん断弾性率、および摩擦係数については実用上の参考になるものと思われる。ゴムシューの現場測定はユニークであり、桁挙動をつぶさに知ることができた。これは、ゴムシューの設計の参考になるものと考えられる。

【昭和60年2月21日受付】