

凍結抑制型合成鋼床版の輪荷重走行下での疲労特性

On Fatigue Characteristics of Composite Steel Deck Slabs with Performance
to Restrain Road-freezing under Wheel Trucking Machine

奥村 茂*, 宮本 重信**, 堀川 都志雄***, 松垣 豊****, 松井 繁之*****

Shigeo OKUMURA, Shigenobu MIYAMOTO, Toshio HORIKAWA, Yutaka HIGAKI, Shigeyuki MATUI

- *福井鐵工(株) システム企画部 (〒910-0831 福井県福井市若栄町 702)
**福井県雪対策・建設技術研究所 雪対策技術研究グループ (〒910-8108 福井県福井市春日 3-303)
***工博 大阪工業大学 工学部 土木工学科 (〒535-0002 大阪府大阪市旭区大宮 5-16-1)
****大阪工業大学大学院 工学研究科 (〒535-0002 大阪府大阪市旭区大宮 5-16-1)
*****工博 大阪大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

Phenomena of road freezing and compaction of snow at winter season have frequently yielded heavy and hard damages for economic activity and social life in snow and cold districts, because a magnitude of heat capacity in bridge form constituted of steel deck slab is especially smaller than other type's deck slabs. Dr.Miyamoto has presented a method that can restrain road freezing and snow icing. A new composite steel deck slab provided with a function to control freezing are produced by a technique composed of fiber mixed concrete, several rectangular pipes filled in paraffin wax, and steel deck plate stiffened with ribs. In this report, behaviors and fatigue characteristics of five kinds of slab abode mentioned are examined under the wheel running machine. Some relations between strains of concrete, rib and steel deck plate et al. and repetition cycles of wheel load are respectively obtained from experimental results.

*Key word : composite steel deck slab, wheel running test,
road freezing, melting of snow*

1. はじめに

積雪地や寒冷地において、路面の融雪、結露凍結には多大な労力と莫大な費用を費やすだけでなく、毎年のように交通渋滞とスリップ事故の原因となっている。このことは都市圏においても例外ではなく、多くのドライバーを困らせ、その地域における経済活動を停滞させ、社会問題にもなっている。このような事態を経済的に効率よく防止する方法として蓄熱材を内含した鋼合成床版が提案された¹⁾。散水消雪装置や凍結防止剤、電気式ヒーターなどの様々な工夫がなされているが、いずれも環境汚染や鋼部材の劣化を招くおそれがある。

本床版は蓄熱材(パラフィン: $C_{14}H_{30}$)に日中の熱を貯め込み、夜間に放熱させて路面の融雪、結露凍結を防ぐシステムであり、他の融雪装置に比べかなりの経済性と環境保全がもたらされる。しかし、蓄熱材を封入した角パイプを鋼床版上に並べた後にコンクリートを打設する複雑な断面形状を有しているため、構造

上の力学的課題が懸念される。本研究では実際の自動車荷重を想定した大型輪荷重載荷試験を採用し、異なったタイプの床版を4つ直列に設置して走行試験を行った。さらに、橋軸直角方向と平行な3本桁を有する床版すなわち、負の曲げモーメントを受けると予測される場合についても実験を行った。

試験では鋼床版のたわみ、コンクリートのひずみ、デッキプレートのひずみ、リブのひずみ、埋設された角パイプに働く力を求め、かつパイプと鋼板とのずれ量などにも着目し、走行回数に伴うこれらの経時変化を測定する。測定結果と直交異方性板による計算値²⁾との比較から、どのようなタイプの合成鋼床版が疲労特性に対して最良であるのか、また複雑な断面を有するこの床版が実際の輪荷重下で十分な耐久性を有するのかを検討した。

2. 凍結抑制型鋼合成床版の特徴

本床版は床版内部に締結金具を介して鋼床版上面に結合された角パイプが埋設されており、角パイプ内部のパラフィンが昼間の熱を吸収して夜間に放熱し、路面の融雪、結露凍結抑制に効力を発揮する。また、力学的にみれば、橋軸直角方向の曲げによって角パイプに過度の力が作用するかどうか、あるいは床版自体のたわみをも軽減させる働きがあるのかも含めて照査する。図-1に鋼合成床版の断面構造を示す。

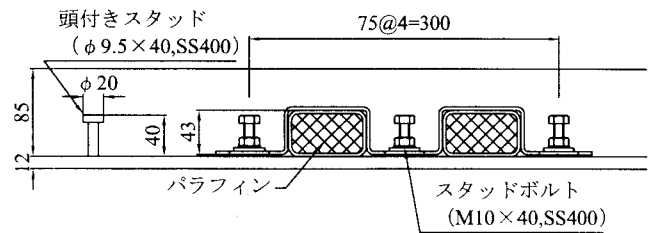


図-1 締結金具とパイプ断面

3. 実験の概要

実橋と同様の荷重状態とするために、実験では実際のトラック荷重が再現できる自走式大型輪荷重装置を使用した。また、B活荷重以上の荷重値ではジャンボタイヤを使用した。輪荷重装置の概略図を図-2に示す。本実験では同時にタイプの異なる床版の実験を行うために床版を直列に配置し、輪荷重は床版支間中央部を橋軸方向に走行させた。そのとき床版を固定させるために一定間隔に配置された山止材で多点支持した。本実験で採用した輪荷重値の荷重プログラムを図-3に示す。なお、ダブルタイヤでは98.1kN~117.7kN(計80000回)、ジャンボタイヤでは117.7kN~166.8kN(計125000回)で走行しており、総走行回数は205000回である。なお、各床版にはそれぞれ鋼床版のたわみや上面のコンクリートひずみ、角パイプのひずみ、およびパイプと鋼板のずれ量、鋼床版下面のひずみ、リブのひずみなどの経時変化を測定した。

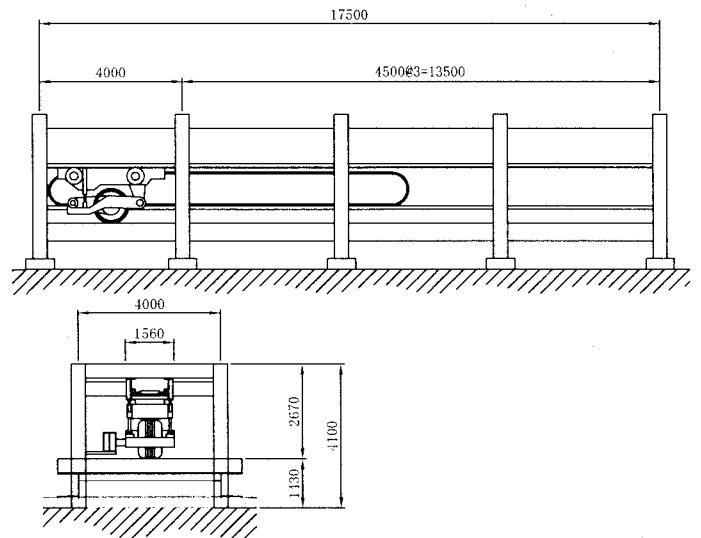


図-2 輪荷重装置の概要

4. 供試体の概要

本実験で採用した床版は5つのタイプであり、それぞれの床版を区別するためにA~Eパネルとした。床版寸法は橋軸直角方向に3.2m、橋軸方向に3.0mである。鋼床版厚は10、または12mmで、コンクリート厚は85mmである。ここで、コンクリートはスチールファイバー入りコンクリートを使用しており、その材料試験の結果を表-1に示す。また、コンクリートと鋼床版とはスタッドジベルを介して互いに接合されている。

床版内に埋設されている角パイプは1床版当たり20本で、締結金具により3点または4点で固定され、橋軸方向または橋軸直角方向に配置されている。鋼床版の下面には橋軸方向と平行に8本のバルブタイプのリブが設置されている。さらに、橋軸方向の両端辺には弾性支持となる横桁が設置されている。本床版の基本タイプであるAパネルの構造図を図-4にまた、Eパネルを図-5に、それぞれの床版の仕様を表-2に示した。なお、EパネルはAタイプでの端部に加えて、さらに中央部に横桁を配置した構造系となっている。

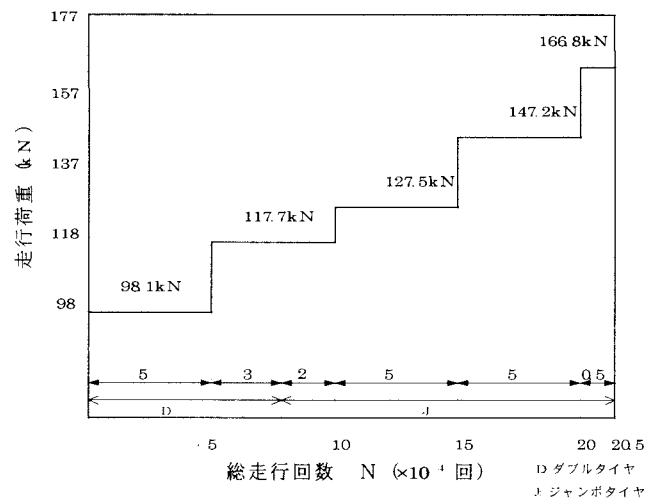


図-3 荷重プログラム

表-1 材料試験の結果

材令 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)	ポアソン比
28	48.3	5.94	28.4	0.19

表-2 床版の仕様

仕様一覧		単位	Aパネル	Bパネル	Cパネル	Dパネル	Gパネル
橋体	橋長	mm	3000	3000	3000	3000	3000
	幅員	mm	3200	3200	3200	3200	3200
	鋼床版厚	mm	12	12	10	12	12
	コンクリート床版厚	mm	85	85	85	85	85
	横桁本数	本	2	2	2	2	3
スタッド	サイズ		φ 20*φ 9.5*40	φ 20*φ 9.5*40	φ 20*φ 9.5*40	φ 20*φ 9.5*40	φ 20*φ 9.5*40
	橋軸方向間隔	mm	150	300	150	150	150
	橋軸直角方向間隔	mm	300	150	300	300	300
封入管	サイズ		□ 75*45*3.2	□ 75*45*3.2	□ 75*45*3.2	□ 75*45*3.2	□ 75*45*3.2
	取付方向		橋軸直角方向	橋軸方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向
	取付間隔	mm	150	150	150	150	150
	固定箇所数	箇所	3個/2本	3個/2本	3個/2本	4個/2本	3個/2本

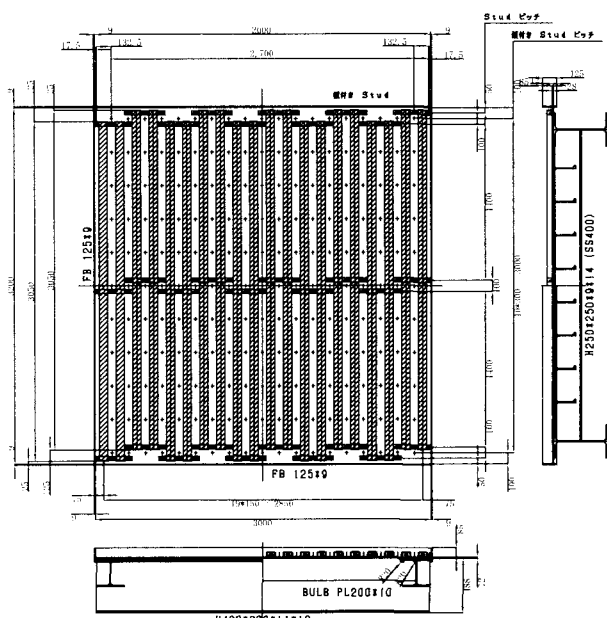


図-4 基本構造図 (Aパネル)

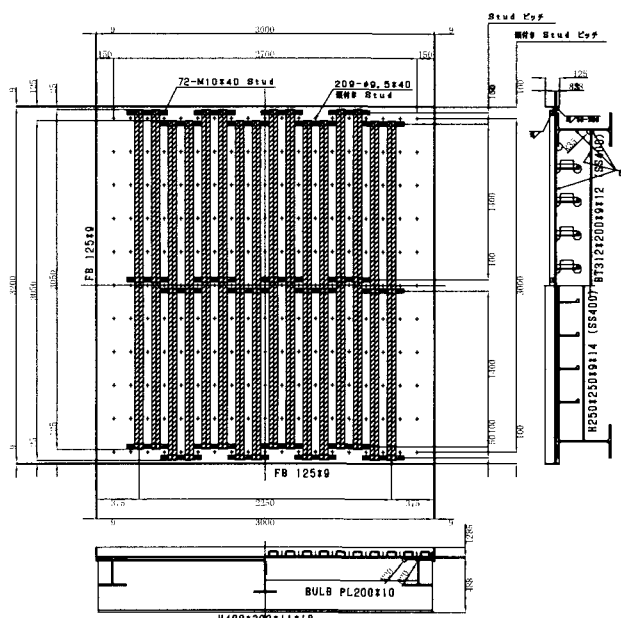


図-5 構造図 (Eパネル)

5. 走行実験の結果

(1) 鋼床版の変位

図-6 は A~D パネルの床版中央の載荷時における床版中央点での 98.1kN に換算された弾性たわみの経時変化を表している。図中には、弾性支持条件となる横桁の影響を考慮した直交異方性板の全断面有効時の計算値も掲げている。図-6 については、基本タイプとなる A パネルの弾性成分の計算値との比較を示した。図-6 より橋軸直角方向に角パイプを配置した A, C, D パネルの方がたわみは大きく、橋軸方向に角パイプを配置した B パネルに比べて床版剛性の低下も低いと予測される。また、A, C, D パネルに関して差異は見受けられなかった。A~D パネルでは総走行回数約 80000 回を越える位から計算値よりも値が大きくなっており、ジャンボタイヤ(118kN 以上)を使用してから、床版の劣化が著しくなってきた。

図-7 は E パネルの端部横桁と中央横桁の間に輪荷重を載荷したとき(スパンの 1/4 点)の載荷点の弾性たわみの経時変化を示している。図-7 に関してはほぼ計算

値と一致しており、走行による床版の弾性たわみの増加は見られなかった。また図-7 より E パネルの弾性たわみは約 0.75mm 程であり、同じ載荷条件での A パネルの値(1.08~1.5mm)を比べると、たわみは小さく中央に位置する横桁の効果が発揮されている。

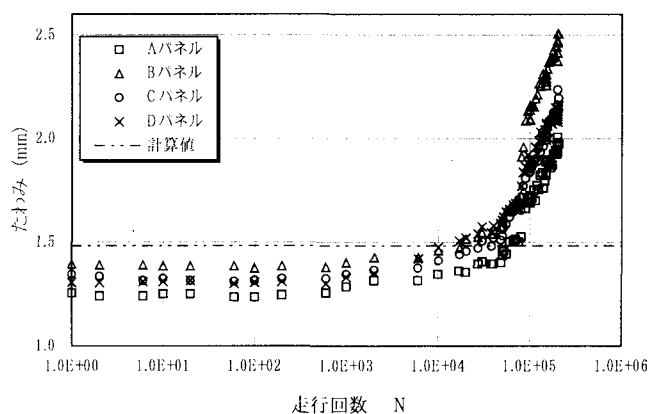


図-6 床版中央部の弾性たわみ

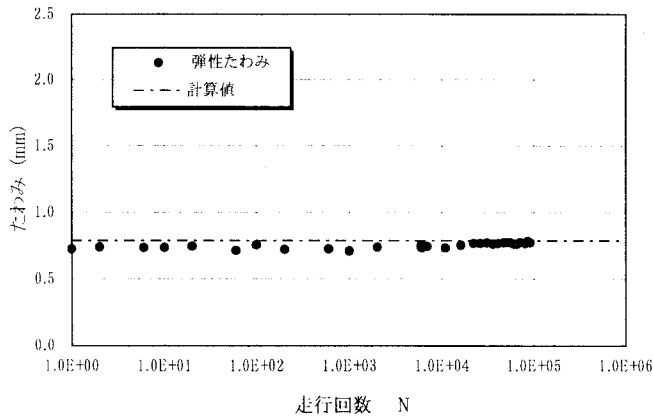


図-7 Eパネルの橋軸方向1/4点の弾性たわみ

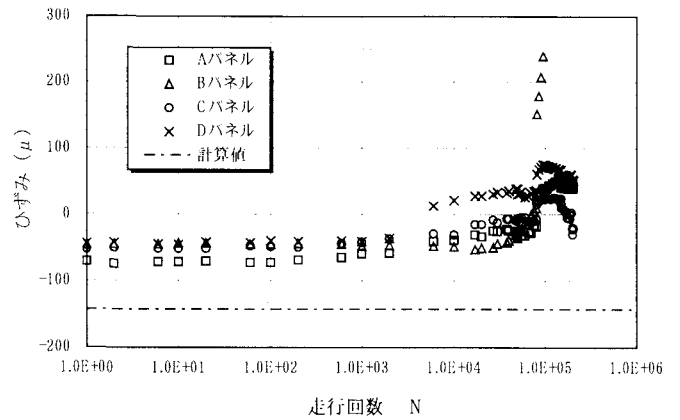


図-8 コンクリートの橋軸直角方向ひずみ

(2) コンクリート上面のひずみ

図-8 と 9 は中央載荷時における A~D パネルでの床版中央付近での橋軸直角方向のひずみと橋軸方向のひずみで、98.1kN 換算での弾性ひずみの経時変化を表している。なお計算値として掲げているのは、基本タイプ (A パネル) での結果である。

橋軸直角方向のひずみに関して、A, B, および C パネルは約 80000 回程度、D パネルは約 6000 回程度で圧縮から引張に転じていることがわかる。橋軸方向に関してはほとんど同じような値を示しているが、鋼床版厚の薄い C パネルのコンクリートひずみの値が大きく、約 140 μ の圧縮ひずみとなっている。さらに、床版の 1/4 点で載荷した時の E パネルの床版中央付近の橋軸直角方向ひずみと橋軸方向ひずみを図-10 と 11 に示す。

中央横桁近傍のコンクリートひずみは正の値となることよりこの部分には負の曲げモーメントが作用しているが、ひび割れを発生させる値には至っていない。

(3) 鋼床版のひずみ

図-12 と 13 は中央載荷における床版中央部の橋軸直角方向と橋軸方向の弾性ひずみを示しており、基本タイプ (A パネル) の計算値も同時に示している。

鋼版厚の薄い C パネルでのひずみが一番大きい値を示している。

橋軸方向に関しては特にリブの寄与が大きく、鋼床版に大きなひずみは生じていない。

(4) リブのひずみ

図-14 はリブ先端でのひずみの経時変化を A~D パネルについて示している。橋軸方向にパイプが配置された B パネルのひずみが大きいことが判る

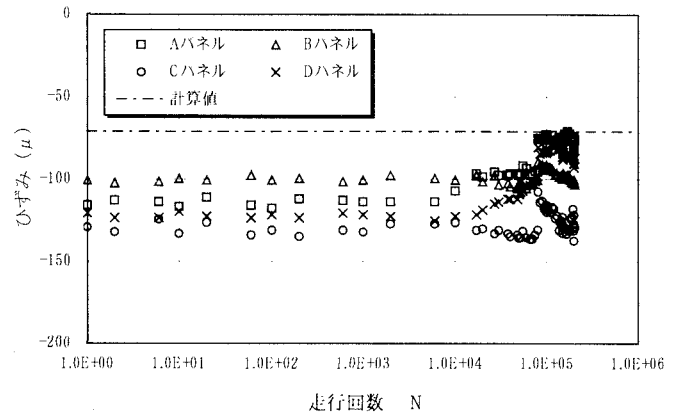


図-9 コンクリートの橋軸方向のひずみ

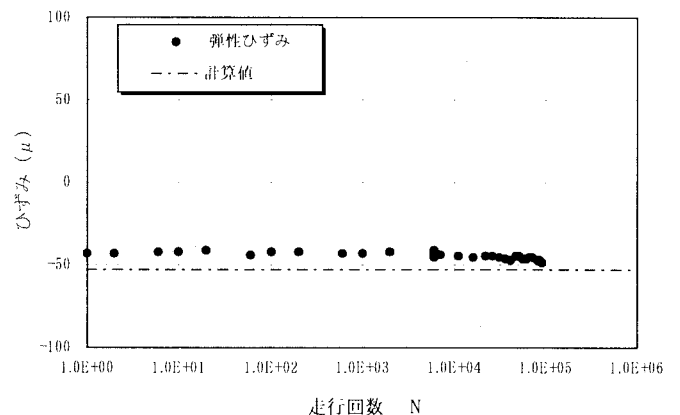


図-10 コンクリートの橋軸直角方向ひずみ (Eパネル)

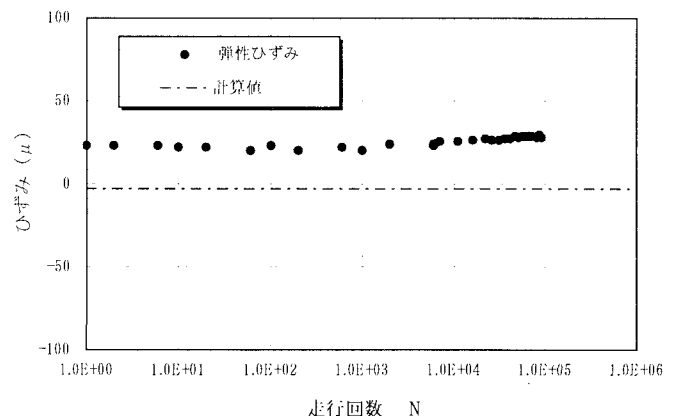


図-11 コンクリートの橋軸方向ひずみ (Eパネル)

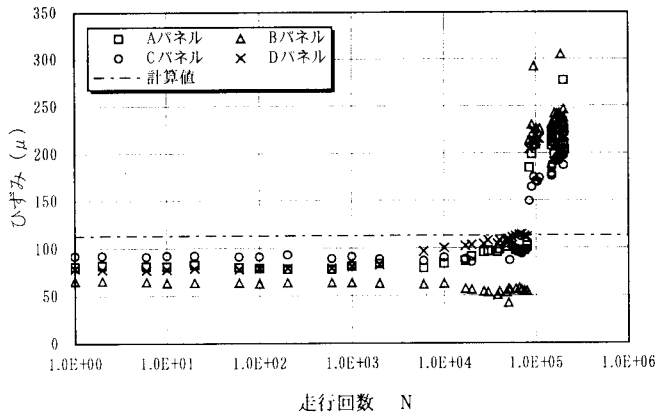


図-12 鋼床版中央部の弾性ひずみ (橋軸直角方向)

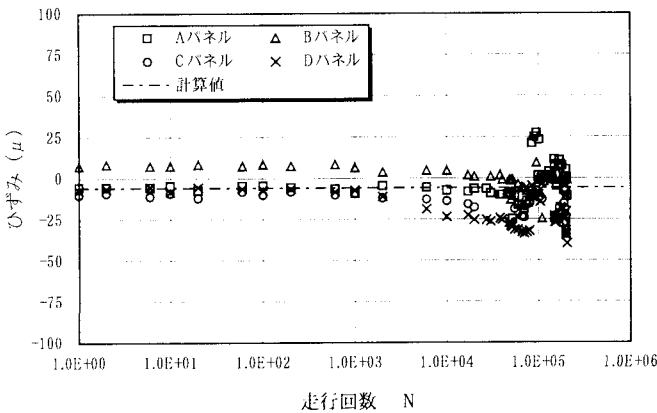


図-13 鋼床版中央部の弾性ひずみ (橋軸方向)

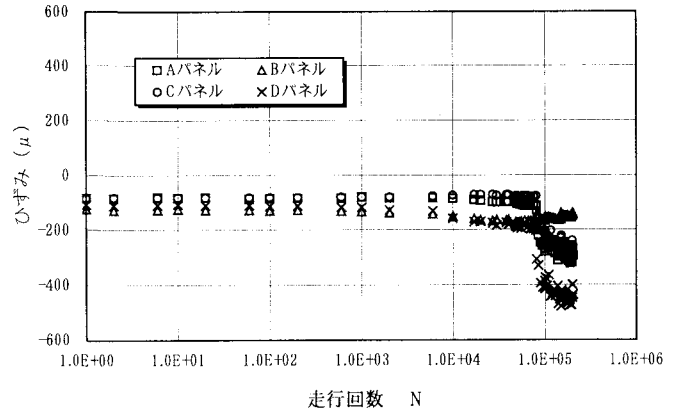


図-15 角パイプ上面の弾性ひずみ (角パイプ方向)

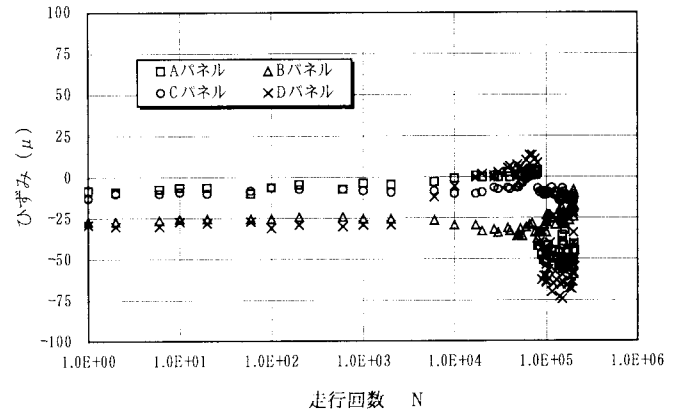


図-16 角パイプ上面の弾性ひずみ (橋軸直角方向)

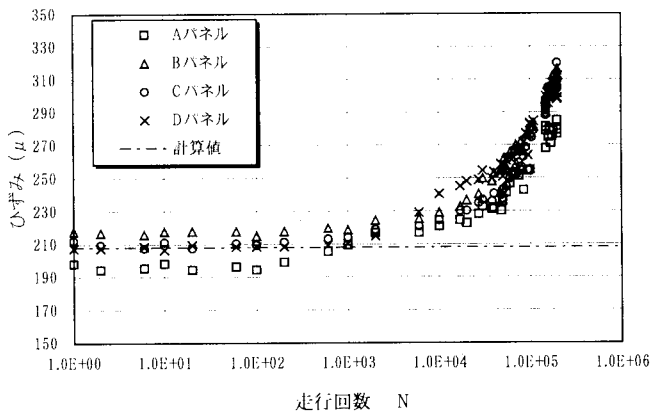


図-14 リブ先端でのひずみ

(5) 角パイプのひずみ、および鋼床版とのずれ量

図-15 と 16 は中央載荷時で床版中央部の角パイプ上面の角パイプ方向でのひずみと角パイプ直角方向のひずみの経時変化を示している。いずれのパネルに対しても、角パイプ方向のひずみはそれと直角に交わる方向のひずみの約4倍以上の値を示している。すなわち、角パイプは主としてパイプの配置された方向の力を受けていることが判る。角パイプのひずみに関してDパネルが大きな値を示している。これは締結金具をほかの床版に比べ4点にしたために、角パイプと床版との合成が高くなり負担が大きくなったことと推測される。

図-17 に角パイプを基準とした軸方向を示す。

A パネルの角パイプ直角方向の角パイプと鋼床版との総および残留ずれ量を図-18、B パネルの角パイプ直角方向のずれ量を図-19 に、A パネルの角パイプ方向のずれ量を図-20 に、C パネルの角パイプ方向のずれ量を図-21 に示す。B パネルでは角パイプ方向が橋軸方向であるので、橋軸方向のずれ量を示している。

図-19 より B パネルの角パイプのずれ量が他のパネルのずれ量と比べ著しく大きい。このことより走行レーン方向に角パイプを配置すれば、角パイプは床版中央線に向かって曲がる方向(橋軸直角方向)にずれを生じ、角パイプを橋軸直角方向に配置する場合に比べて疲労の影響を受けやすくなると推測される。図-18 と 20 より、橋軸直角方向に角パイプを配置されるタイプの床版は、角パイプ方向のずれ量が角パイプ直角方向のずれ量よりも大きい。図-20 と 21 より鋼床版厚の薄いCパネルはAパネルに比べて角パイプ方向のずれ量が約1.2倍程度大きいことが判る。

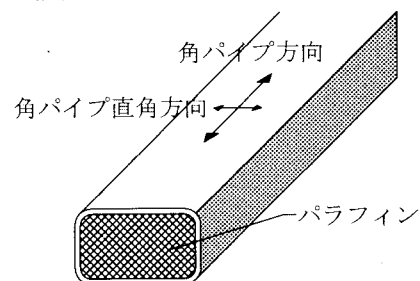


図-17 パイプひずみの方向

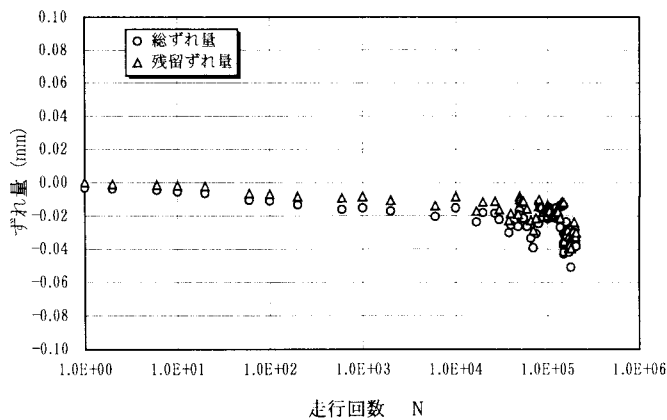


図-18 Aパネルにおける角パイプと鋼床版のずれ量 (角パイプ直角方向)

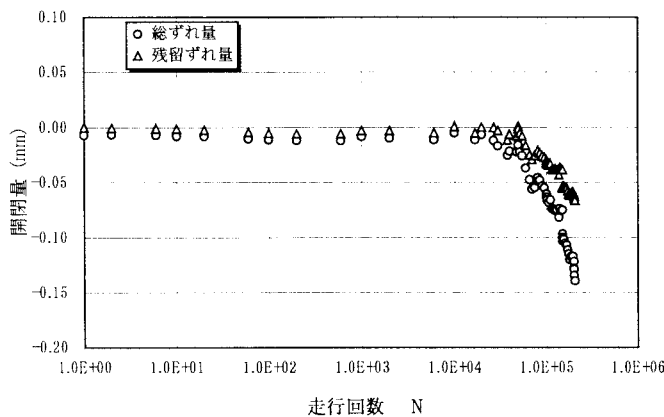


図-19 Bパネルにおける角パイプと鋼床版のずれ量 (角パイプ直角方向)

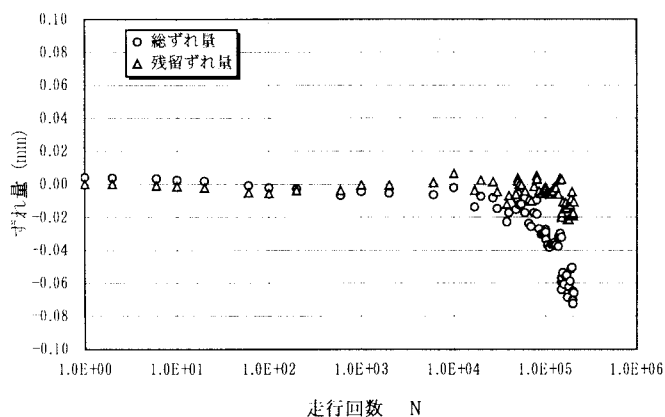


図-20 Aパネルにおける角パイプと鋼床版のずれ量 (角パイプ方向)

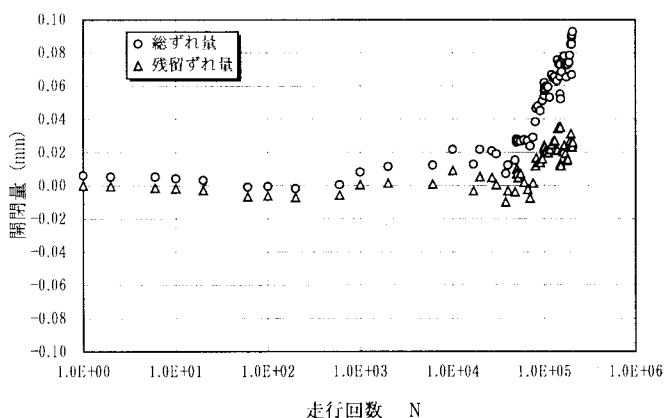


図-21 Cパネルにおける角パイプと鋼床版のずれ量 (角パイプ方向)

6. まとめ

本床版はスチールファイバーコンクリート内に角パイプを埋設し、鋼床版とコンクリート部をスタッドジベルで接合したバルブタイプのリップを持つ複雑な断面を有する合成床版である。走行試験による結果から、いずれのタイプのパネルも鋼床版板厚が 12mm や 10mm であっても十分な耐力と機能を発揮していることが判る。

また、本実験の計算においては角パイプの剛性への寄与は考慮していないが、肉厚のある角パイプ断面を用いれば曲げ抵抗をする部材として貢献するものと推測される。

7. 謝辞

本研究は科学技術振興事業団 独創的研究成果育成事業の援助を受けたもので、ここに感謝いたします。

参考文献

- 1)宮本重信, 室田正雄: 鋼床版橋の路面凍結と蓄熱材封入による抑制, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp. 247-252, 1998. 11.
- 2)千川達也, 松尾和政, 堀川都志雄, 藤田琢也: 主桁と結合された床版の輪荷重点近傍の応力と断面力について, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp. 55-60, 1998. 11.