

蓄熱材封入合成型鋼床版の実橋載荷実験

Field loading tests on the bridges having composite steel deck slab built in heat storage devices

松井繁之* 池田良介** 宮本重信*** 堀川都志雄****

Shigeyuki MATSUI, Ryosuke IKEDA, Shigenobu MIYAMOTO and Toshio HORIKAWA

*工博 大阪大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

**工修 株式会社日本構造橋梁研究所 (〒541-0051 大阪市中央区備後町 1-5-2)

***工博 福井県雪対策・建設技術研究所 (〒918-0818 福井市春日 3-303)

****工博 大阪工業大学 工学部土木工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

Phenomena of road freezing at winter season bring about a lot of skidding accidents in Japan. Especially, the phenomena are obvious on bridges constituted of steel deck, because a magnitude of heat capacity of steel deck slab is smaller than that of RC slab. In order to restrain road freezing, the composite steel deck slab was proposed, that is composed of fiber mixed concrete, several rectangular pipes filed with paraffin wax as heat storage materials, and steel deck plate stiffened with ribs. The system is useful in cold districts and was used at some bridges already. In this report, behaviors of 2 bridges with the composite steel deck slab and the contribution of the slab concrete to the stiffness were investigated by field loading tests on the bridges in order to establish a design method of the composite steel deck slab.

Keywords ; composite steel deck slab, a field loading test, anti-road freezing

1. はじめに

橋梁部は土工部に比べて熱容量が小さいため、放射冷却のあった日は橋梁の温度は著しく低下し、路面凍結を起こしやすい。特に RC 床版よりも熱容量の小さい鋼床版構造は、路面凍結による事故の原因となっている。

この点に着目して開発された蓄熱材封入合成型鋼床版は、鋼床版の上面に蓄熱材となるパラフィン（パラフィン）を封入した角形鋼管を橋軸直角方向に並べて固定することによって、熱容量を増加させ、凍結抑制を図った床版である¹⁾。角形鋼管は波形鋼板にて鋼床版デッキプレートに固定し、その上に SFRC を打設して、床版上面を平滑に仕上げる構造である（図-1 参照）。床版厚は鋼床版厚を含めて 100mm 程度となるが、RC 床版より薄くすることが可能であり、寒冷地域で桁高を抑制する必要がある場合に有効な形式である。既に数橋で実用化されている。

本床版は鋼床版上の凹凸上に SFRC を打設する形状より、SFRC を含めた断面が剛性に寄与していることが考えられ、種々の実験が実施されている²⁾が、実橋梁における挙動および剛性への寄与の程度の確認は行われてい

ない。本論文は、実際に本床版を採用した 2 つの橋梁において、載荷実験を実施して、床版自身ならびに橋梁全体の合成挙動について検討したものである。

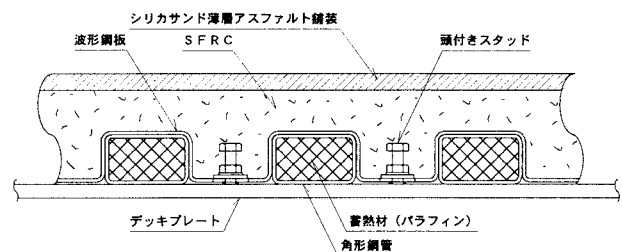


図-1 蓄熱材封入合成型鋼床版

2. 載荷実験緒元

2. 1. 対象橋梁

(1) 勝山橋

本橋は福井県勝山市に位置し、平成 12 年に供用が開始された単純鋼床版 I 桁橋である。交差点の接続部に位置し、橋詰め部に向かって拡幅する形状となっており、また、橋詰め側は 87° の斜角を有する。桁高が 700~1400 mm 程度

に変化する20本の主桁が、1000mm～1500mm程度の間隔で放射状に配置されている(図-2参照)。

鋼床版のデッキプレート厚は12mmで、デッキプレート上は、蓄熱材封入角形鋼管 $\square 75 \times 45 \times 3.2$ (STKR400)のかぶり40mmを確保するSFR C 85mmとシリカサンドアスファルト15mmにより、合計100mmの厚さとなっている。なおこれらの部材は、車道部のみに路面の形状に合わせて設置されている。また歩道部床版は通常の鋼床版構造で、調整コンクリートによりマウンドアップされている。橋梁緒元を以下に示す。

- ①橋長 : 29.85m
- ②支間長 : 29.15m
- ③有効幅員 : 車道10.00m, 歩道2 \times 6.00m
- ④平面線形 : 直線
- ⑤床版厚 : 12mm(デッキプレート)+85mm(SFR C)
- ⑥縦リブ形状 : バルブリブ

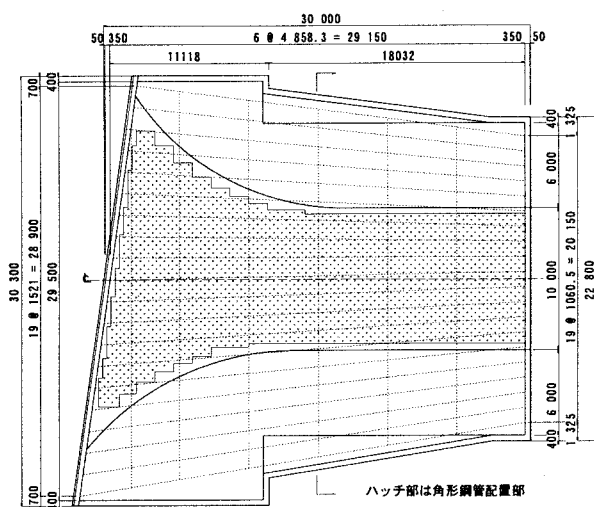


図-2 勝山橋一般図

(2) そのべ陸橋

本橋は福井県高浜町に位置し、国道27号線とJR小浜線を跨ぐ自動車専用橋である。载荷実験当時はSFR C 打設、路面工施工段階であり、平成15年に供用が開始された。橋梁形式は単純鋼床版箱桁橋で、桁高1650mmの2本の箱断面主桁を有する直線橋である(図-3参照)。

鋼床版のデッキプレート厚は10mmで、デッキプレート上はSFR C 85mmとシリカサンドアスファルト15mmにより合計100mmの厚さとなっている。デッキプレート上の蓄熱材封入角形鋼管 $\square 75 \times 45 \times 3.2$ (STKR400)とSFR C は、橋面のほぼ全域に設置されている。橋梁諸元を以下に示す。

- ①橋長 : 54.00m
- ②支間長 : 52.75m
- ③幅員構成 : 車道: 8.50m
- ④平面線形 : 直線
- ⑤床版厚 : 10mm(デッキプレート)+85mm(SFR C)
- ⑥縦リブ形状 : トラフリブ

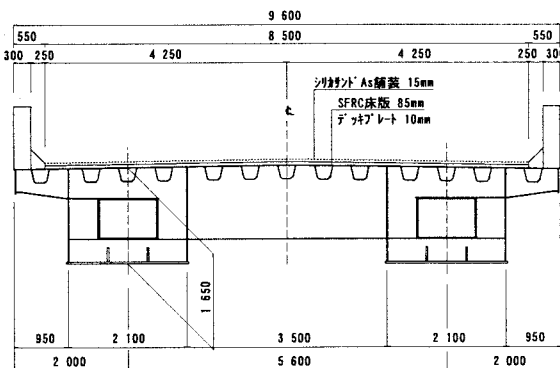
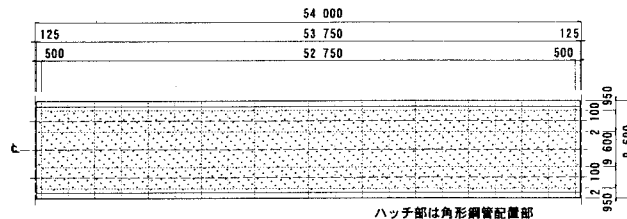


図-3 そのべ陸橋一般図

2. 2. 载荷方法および载荷計測位置

载荷方法、および計測位置は、いずれの橋梁においても橋梁全体的な挙動と、荷重载荷位置近傍における床版の局所的な挙動が把握することを目的として設定した。以下に各橋梁の計測位置と荷重载荷について示す。荷重载荷位置については、後の図-9, 10, 16, 17に示す。

(1) 勝山橋

約200kN重量車1台または2台を車道部の橋面上に静的载荷し、以下の項目を計測した。

- ①主桁たわみ・・・▲
- ②横桁たわみ・・・△
- ③主桁応力度・・・●
- ④横桁応力度・・・○
- ⑤縦リブ応力度・・・◎

载荷方法は、全4ケースを設定した。

(2) そのべ陸橋

約200kNの重量車1台を車道部の橋面上に静的载荷して以下の項目を計測した。ひずみゲージ貼付時はSFR C 打設前であったため、デッキプレートや蓄熱材封入角形鋼管にもひずみゲージ設置することとした。

- ①主桁たわみ・・・▲
- ②横桁たわみ・・・△
- ③主桁応力度・・・●

- ④横桁応力度・・・○
- ⑤縦リブ（トラフリブ外面）応力度・・・◎
- ⑥デッキプレート応力度・・・□
- ⑦角形鋼管応力度・・・◆

載荷方法は、全5ケースを設定した。なお、橋梁全体挙動を把握する載荷ケースでは、重量車を支店部から順次移動して定点載荷を行い、影響線の把握を行うものとした。

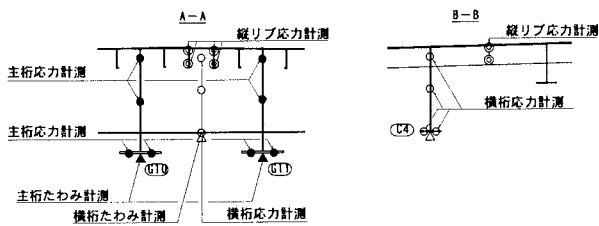
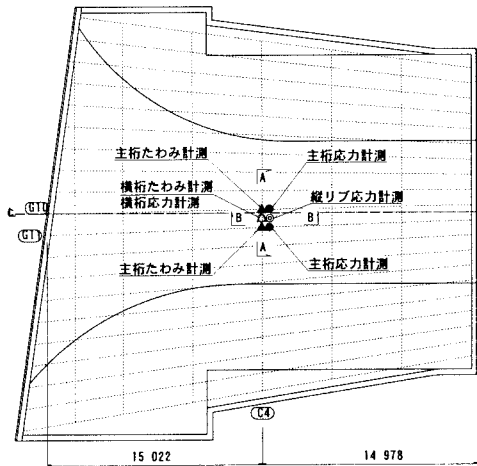


図-5 勝山橋計測位置図

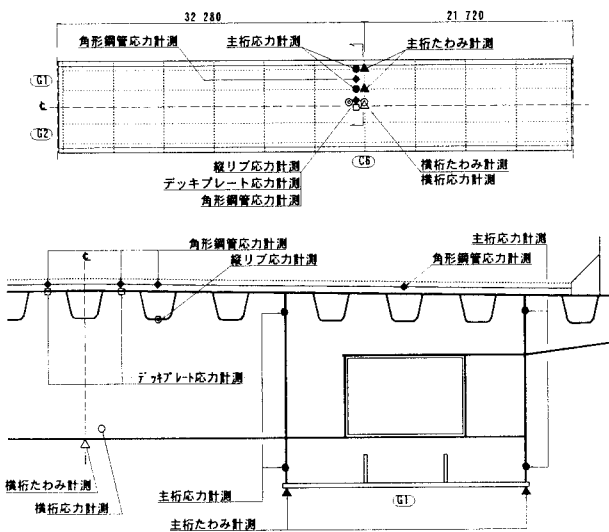


図-6 そのべ陸橋計測位置図

3. 解析

3.1. 解析手法

(1) 橋梁全体挙動の追跡

橋梁全体系の挙動を把握する手法として、通常、設計に使用されるフレーム解析と床版を板要素としてモデル化する板解析を実施した。

①フレーム解析

鋼床版の有効幅を算出し、主桁・横桁等に床版の剛度を加味した骨組みによってモデル化した。なお、床版の有効幅は道示により算出した。

②板解析

床版を板要素にモデル化し、主桁、横桁、縦リブは板要素と完全合成した梁要素としてモデル化した。なお、橋軸直角方向に配置された角形鋼管や、角形鋼管の上側に位置するSFRCの合成程度を把握するため、直交異方性板としてモデル化した。

図-7 にそのべ陸橋のフレーム解析および板解析のモデル図を示す。

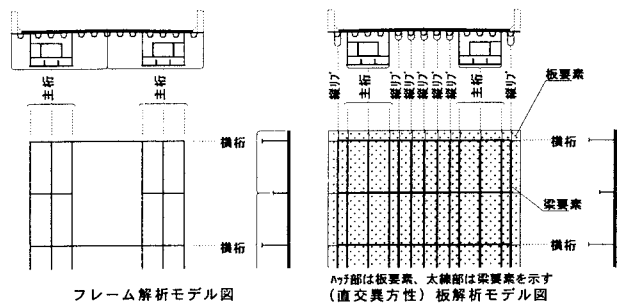


図-7 橋梁全体解析の概念図

(2) 局部挙動の追跡

局部的な挙動を把握する手法として、主桁、横桁、デッキプレート、縦リブ等を全て板要素に、上面SFRCや舗装をソリッド要素としてモデル化した立体FEM解析を実施した。

なお、プログラムの制約上、載荷位置近傍のみを部分的にモデル化し、板解析にて算出した断面力を境界条件として与えることにより応力を求めるものとした。図-8 にそのべ陸橋の解析モデル図を示す。

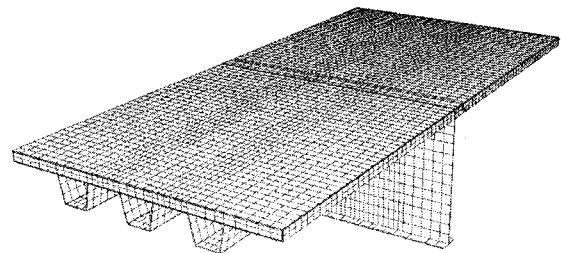


図-8 局部解析モデル図

3.2. 解析パラメータ

上面SFRC、角形鋼管、およびアスファルト舗装とデッキプレートの合成程度を把握するために4タイプの断面を仮定し実験値と比較することとした。各タイプの特徴を表-1に示す。

なお、断面計算において、各部の弾性係数を以下に示すように仮定した。

鋼材、鉄筋	: 2.0×10 ⁵ N/mm ²
SFRC コンクリート	: 2.7×10 ⁵ N/mm ²
シリカサンドアスファルト舗装	: 8.0×10 ³ N/mm ²

表-1 解析上の仮定断面（解析パラメータ）

	橋軸方向	橋軸直角方向
仮定断面-0 鋼床版のみ有効な断面		
仮定断面-1 鋼床版と角形鋼管より上側のSFRCとの合成断面が有効		
仮定断面-2 鋼床版と角形鋼管より上側のSFRC、7x7x7材舗装の合成断面が有効		
仮定断面-3 鋼床版と角形鋼管、SFRC全断面、および7x7x7材舗装の合成断面が有効		

4. 載荷実験結果

4. 1. 橋梁全体挙動

橋梁全体挙動に着目した各橋の代表的な載荷ケースを図-9,10に示す。

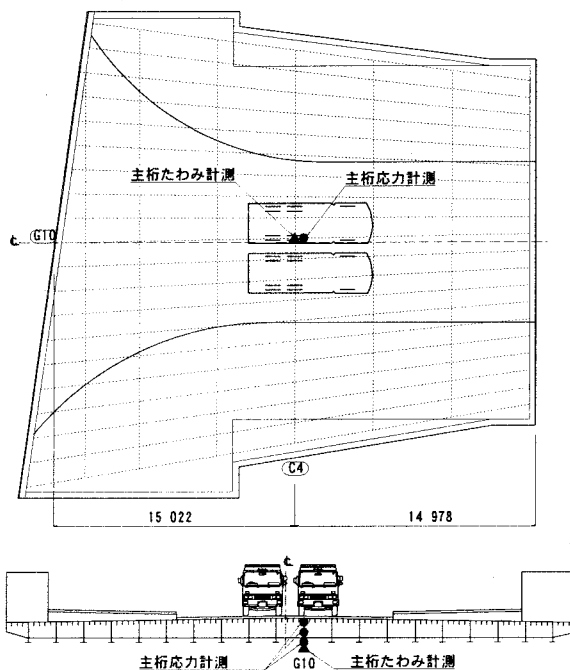


図-9 勝山橋載荷ケース（全体挙動着目）

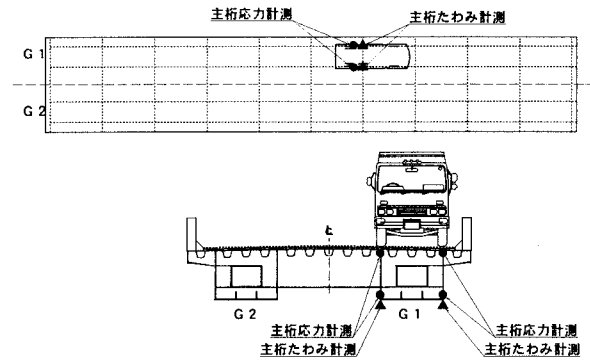


図-10 そのべ陸橋載荷ケース（全体挙動着目）

(1) 主桁変位

① フレーム解析との比較

勝山橋、そのべ陸橋の両橋において、実験値は解析値よりも小さくなった。最も実験値に近似する【仮定断面-3】の場合でも、フレーム解析の60%程度の変位しか発生しない結果となった。

表-2 実験、フレーム解析結果－主桁変位

	勝山橋		そのべ陸橋	
	G10主桁変位	実験値／解析値	G1主桁変位	実験値／解析値
実験値	7.23 mm	---	8.23 mm	---
仮定断面-0	16.48 mm	0.44	18.42 mm	0.45
仮定断面-1	14.52 mm	0.50	14.95 mm	0.55
仮定断面-2	14.05 mm	0.51	14.38 mm	0.57
仮定断面-3	13.05 mm	0.55	12.81 mm	0.64

② 板解析との比較

勝山橋、そのべ陸橋いずれも実験値は【仮定断面-3】の解析値と最も近似する。なお、そのべ陸橋における影響線載荷の比較を図-11に示すが、重量車載荷位置を橋軸方向に移動させた場合も実験値と【仮定断面-3】の解析値がほぼ一致する結果となった。

表-3 実験、板解析結果－主桁変位

	勝山橋		そのべ陸橋	
	G10主桁変位	実験値／解析値	G1主桁変位	実験値／解析値
実験値	7.23 mm	---	8.23 mm	---
仮定断面-0	9.03 mm	0.80	12.47 mm	0.66
仮定断面-1	8.37 mm	0.86	9.97 mm	0.83
仮定断面-2	8.31 mm	0.87	9.72 mm	0.85
仮定断面-3	7.37 mm	0.98	8.18 mm	1.01

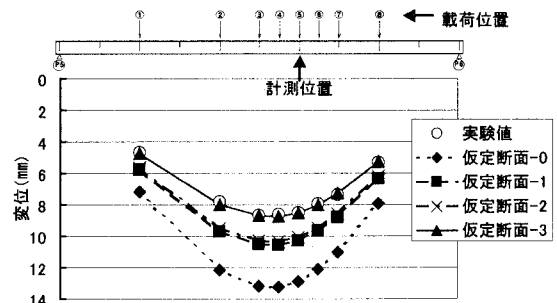


図-11 実験、板解析結果－主桁変位（影響線載荷）

(2) 主桁応力

① フレーム解析との比較

図-12, 13 に主桁橋軸方向応力の比較結果を示す。勝山橋、そのべ陸橋いずれの実験値も、下フランジ側の応力は全ての解析値と近似するが、デッキプレート側の応力は 3N/mm^2 程度しか発生しておらず、解析値より小さくなる結果となった。

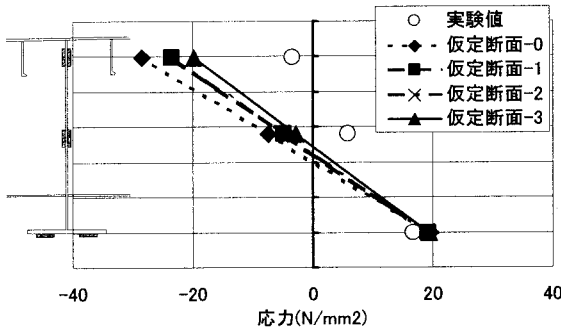


図-12 実験，フレーム解析結果—主桁応力（勝山橋）

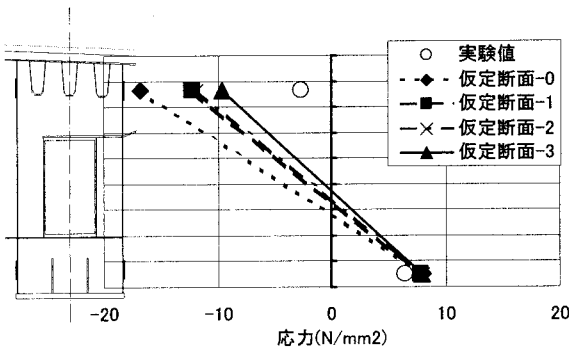


図-13 実験，フレーム解析結果—主桁応力（そのべ陸橋）

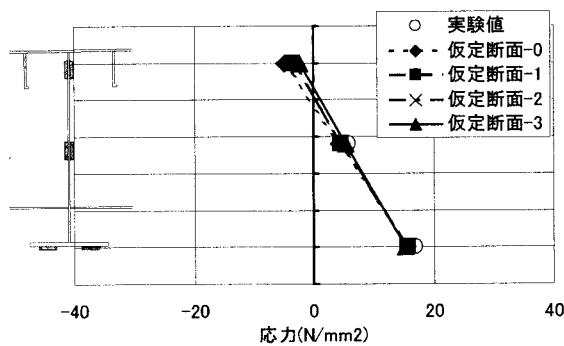


図-14 実験，板解析結果—主桁応力（勝山橋）

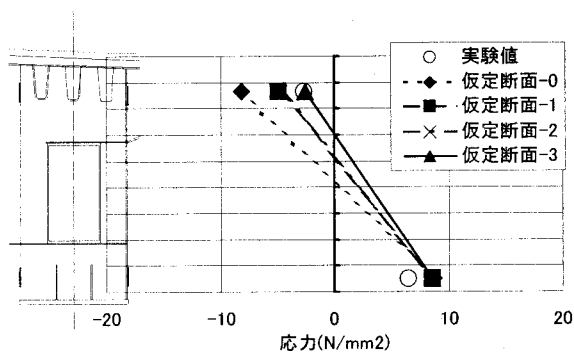


図-15 実験，板解析結果—主桁応力（そのべ陸橋）

② 板解析との比較

図-14, 15 に主桁橋軸方向応力の比較結果を示す。勝山橋においては全ての解析値の差が小さく、実験値はどの解析値と最も近似するか明らかでないが、そのべ陸橋においては、主桁腹版上下側とも【仮定断面-3】の解析値と最も近似する結果となった。

以上の結果より、橋梁全体挙動として次のことが言える。

- 1) フレーム解析ではいずれの解析値も実験値よりも変位、曲げ勾配が大きくなり、通常の設計時に用いる解析値よりも剛な挙動をする。この原因として、フレーム解析では鋼床版の板としてのねじり剛性的確なモデル化ができないためであると考えられる。
- 2) 橋梁全体挙動は、直交異方性板解析により追跡可能であり、これは板のねじり剛性をモデル化でき、さらに橋軸、橋軸直角方向剛性を個別に設定できるためであると考えられる。
- 3) 実験値は【仮定断面-3】の解析値と最も近似しており、実橋梁において上面 S F R C 全厚、角形鋼管等が、鋼床版との合成断面として剛性に寄与していると考えられる。

なお、【仮定断面-1】と【仮定断面-2】の差はほとんどなく、アスファルト舗装の剛性への寄与は小さいと言える。

4. 2. 局部応力挙動

局部応力挙動に着目した各橋の代表的な荷重ケースを図-16, 17 に示す。

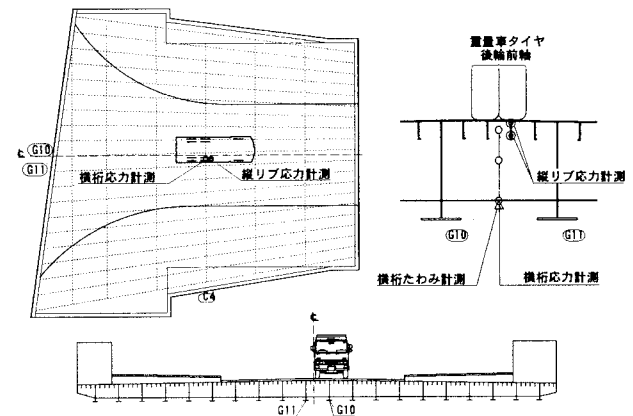


図-16 勝山橋荷重ケース（局部応力着目）

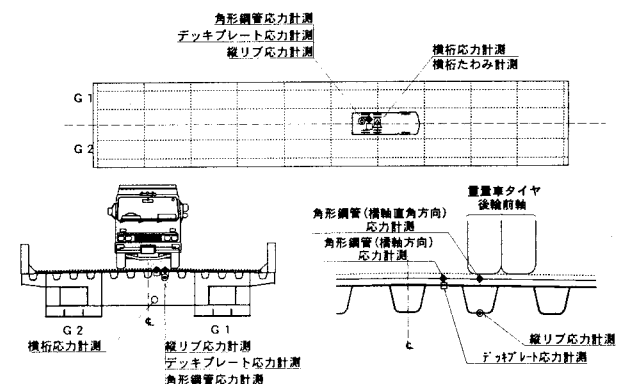


図-17 そのべ陸橋荷重ケース（局部応力着目）

(1) 横桁応力

横桁応力の実験値と立体 FEM 解析値との比較結果を図-18, 19 に示す。勝山橋では、下フランジでやや応力が異なるものの、デッキプレート側で【仮定断面-3】の解析値と近似する結果となった。そのべ陸橋では、実験値はやや小さいが、比較的【仮定断面-3】の解析値と近似する結果となった。

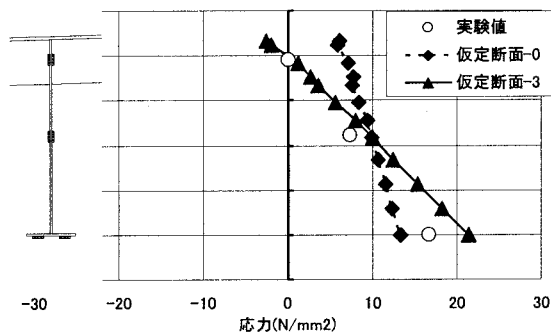


図-18 実験，解析結果－横桁応力（勝山橋）

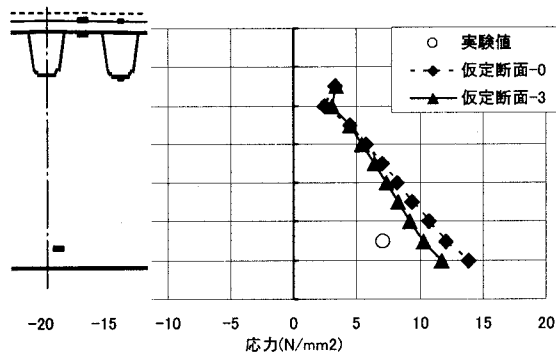


図-19 実験，解析結果－横桁応力（そのべ陸橋）

(2) 縦リブ，デッキプレート，角形鋼管等の応力

縦リブ，デッキプレート，角形鋼管応力の比較結果を図-20, 21, 22 に示す。解析値と比較すると，【仮定断面-3】と比較的近似する結果となった。なお，図-21 の橋軸方向縦リブ応力や，図-22 のデッキプレートの応力など，若干近似しない箇所も見られるが，いずれも実験値の発生応力は小さく，最大でも 4N/mm^2 程度であり，実験値は歪みゲージの計測誤差，鋼床版の溶接部の断面の寄与，および SFR C 厚，床版厚などの各部の寸法等の誤差による影響等が入ったものと考えられる。

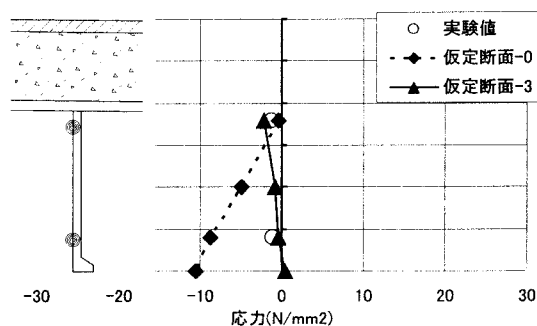


図-20 実験，解析結果－縦リブ 橋軸方向応力（勝山橋）

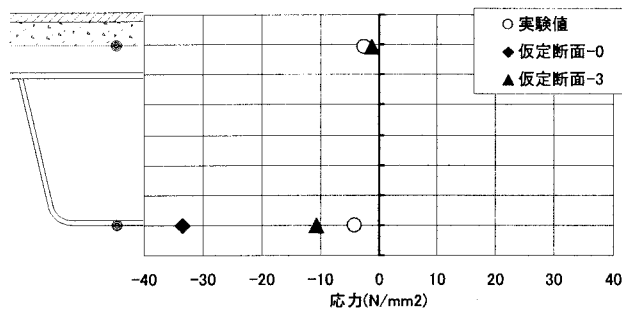


図-21 実験，解析結果－縦リブ，角形鋼管 橋軸方向応力（そのべ陸橋）

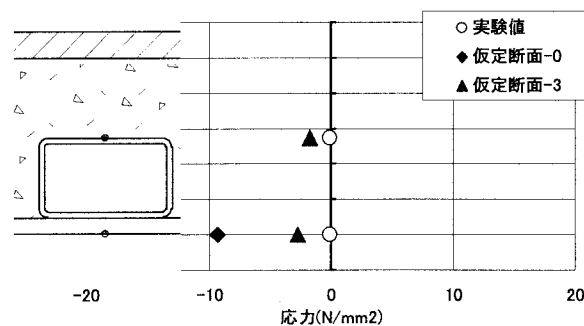


図-22 実験，解析結果－デッキ，角形鋼管 橋軸直角方向応力（そのべ陸橋）

以上より，荷重載荷位置近傍の局所的な応力についても，【仮定断面-3】と近似しており，実橋梁において鋼床版上面の SFR C，角形鋼管，アスファルト舗装等が鋼床版との合成断面として挙動していると考えられる。

5. まとめ

本載荷実験により，実橋梁において蓄熱材封入合成型鋼床版橋は，活荷重に対して上面 SFR C 全断面，角形鋼管等が有効であり，鋼床版との合成断面として挙動していることが確認できた。

設計時においては，上面 SFR C 全断面が鋼床版と完全に合成されているとして設計してよく，ひいては，本床版を用いた橋梁において，床版全体が合成されている主桁・横桁についても，桁高・板厚等を低減した合理的な設計が可能となるものと考えられる。

最後に載荷実験および解析に多大なご協力を頂いた関係者，ならびに大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻の学生諸氏に謝意を表す。

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，第一回床版シンポジウム講演論文集，pp.247-252，1998.11
- 2) 奥村茂，宮本重信，堀川都志雄，桧垣豊，松井繁之：凍結抑制型鋼床版の輪荷重走行下での疲労特性，第二回床版シンポジウム講演論文集，pp.143-148，1999.11