

3. 鋼床版の発展と現況

鋼構造委員会鋼構造
進歩調査小委員会 橋床構造の進歩調査分科会

まえがき

土木学会鋼構造委員会鋼構造進歩調査小委員会（委員長・前田幸雄）では、現在、钢管構造進歩調査分科会、土木鋼構造技術の進歩調査分科会、橋床構造の進歩調査分科会の3つの分科会を編成して、調査活動を続けていく。今回、橋床構造の進歩調査分科会における鋼床版に関する調査が一段落したので、ここにその要旨を抜粋して報告する。

なお、本分科会は、鋼床版に続き鉄筋コンクリート床版および各種合成床版について調査活動を行っている。

1. 鋼床版の断面諸元に関する調査

(1) アンケート調査

鋼床版に関するアンケート調査は、過去数例行われているが、今回は、橋床構造の進歩・調査の一環として、わが国の鋼床版の断面諸元についてのアンケート調査を（社）日本橋梁建設協会を通じて実施した。その結果、32社の協力により398橋のデータが入手でき、それにより鋼床版の主要断面諸元を整理し、その特性を調査した。調査項目は、文献1)の調査項目を基本にして、そのほか橋種、橋長、幅員、縦リブ形式、縫手方式、解析

方法などを追加している。現在製作中のものについては完成予想年を完成年として扱い、また、輸出橋梁についても国内橋梁と同様な扱いとしている。

(2) 調査結果

a) 縦リブ形式の変遷

鋼床版に用いられている縦リブは、図-1に示すように、逆T、バルブプレート、山形鋼、平鋼を用いた閉断面リブ、また、逆台形に代表されるUリブ、Yリブ、Vリブを用いた閉断面リブとに大別される。図-1のヒストグラムは、縦リブの形式別にみた鋼床版橋梁の橋面積を完成年別に示したものであり、図中の数字は鋼床版橋梁の合計件数を示し、()内の数字はそのうち閉断面リブ使用の件数を示している。調査結果によると、昭和30年代は閉断面の縦リブのみが使用されていたが、40年代始めに閉断面の縦リブが用いられ始め、閉断面リブ形式として、Uリブ、Yリブ、Vリブと種々検討されて用いられてきたが、最近になって逆台形のUリブに定着しているようである。

わが国に現存する鋼床版橋梁としては中里跨線橋（昭和29年完成）が最も古いものであるが、本格的に建設されたのはアンケート調査によると昭和30年代で、ガス橋（昭和34年）、新宿跨線橋（34年）、城ヶ島大橋（35年）が最初のころであり、いずれも閉断面リブを使用している。閉断面リブを用いた初期の橋梁としては新

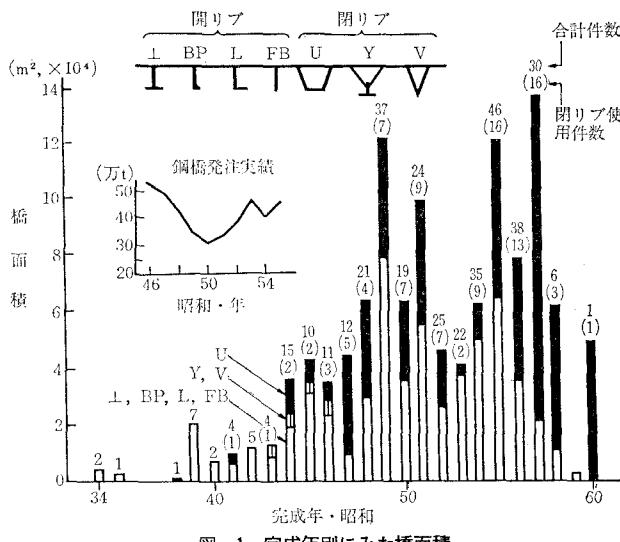
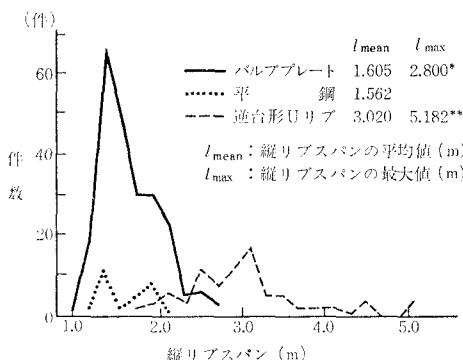


図-1 完成年別にみた橋面積

淀川新橋（逆台形Uリブ使用、昭和41年）、多摩川橋梁（Yリブ使用、43年）などである。図-1から鋼床版橋梁は件数も橋面積も一時期を除き増加傾向にあること、件数よりも橋面積の増加が著しいことがわかると同時にこれより、大型橋梁に鋼床版が使用されるようになってきたことが理解できる。昭和52年前後には、件数、橋面積とも減少しているが、これは図中左上に示す鋼道路橋発注実績（日本橋梁建設協会、昭和56年5月調査による）からもわかるとおり、オイルショックによる発注量の減少の影響が数年後に完成年に影響しているものであろうと思われる。また、閉断面リブの使用状況を見ると、件数の増加傾向よりも橋面積の増加が著しく、特に昭和55年以降においては、件数は50%以下にもかかわらず、橋面積においては70~80%を占めていることがわかり、閉断面リブは、大型の橋梁に用いられていることが推定できる。

Uリブの内容をみると、総数104件のうち逆台形リブ



(*印は扇大橋、**印はオークランドハーバー橋。)

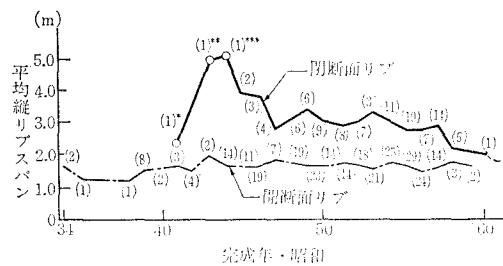
図-2 縦リブスパンと頻度

の94件に対して丸底のリブは10件であり、大部分が逆台形リブである。

b) 縦リブスパン

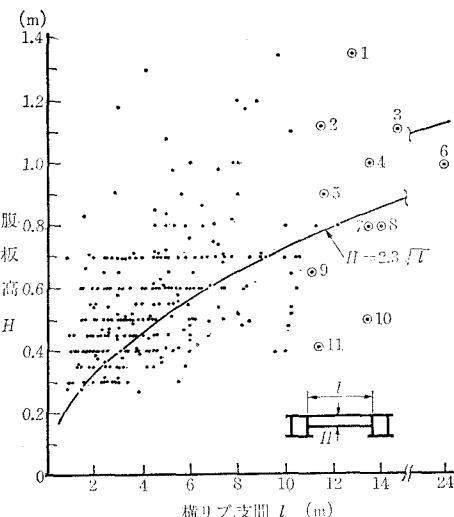
図-2は縦リブスパンとその使用頻度を示したものであるが、開断面リブの代表であるバルブプレートは平均1,600m程度である。閉断面リブの大多数を占めるUリブの平均スパンは3,000m程度であるが、その使用範囲は広範囲に分布している。また、開断面リブの最大スパンは、扇大橋（バルブプレート使用）の2,800mであり、閉断面リブの最大スパンは5,182mのオークランドハーバー橋（逆台形Uリブ使用）である。

次に、縦リブスパンの経年変化をみると、図-3のようになる。開断面リブについてみると、スパンの経年変化はそれほどないが、閉断面リブの場合は平均スパンは次第に短くなっているようである。ただし、昭和43、44年の突出したデ



(① () 内は件数。
② *印は新淀川新橋・ $l=2,400\text{m}$ 、**印は多摩川橋梁・ $l=5,000\text{m}$ 。
***印はオークランドハーバー橋・ $l=5,182\text{m}$ 。)

図-3 縦リブスパンの変化



1. 六甲大橋、2. 大黒埠頭大橋、3. 大黒埠頭連絡橋、4. 新大橋、5. 131号橋、6. ゴールデンホーン橋、7. 長柄橋、8. マタディ橋、9. 末広大橋、10. 芝田町高架橋、11. 石狩河口橋。

図-4 横リブ支間長と腹板高

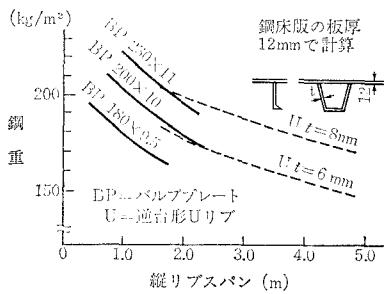


図-5 鋼床版の重量

ータは、それぞれ1橋のみのデータであることに注意を要する。

c) 横リブスパンと腹板高

横リブスパンと腹板高との関係を図示してみると、図-4 のようになる。図中の曲線は、西ドイツの実施例の平均値¹⁾を示したものである。わが国の鋼床版横リブの桁高はドイツの平均値に比べて大きくなっているが、スパンの大きい範囲ではこれに近くなっている。

d) Uリブの高さと側壁勾配

Uリブの高さは 200~300 mm の間で変化しているが、その平均値は 250 mm 程度である。逆台形 U リブの側壁勾配についても調査したが、明確な傾向は見受けられなかった。

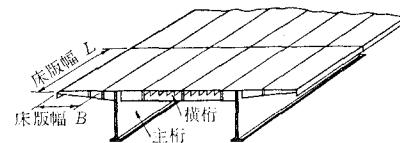
e) 鋼床版重量

デッキプレート厚 12 mm を前提とし、縦リブとして代表的なバルブプレートと逆台形Uリブについて鋼床版重量を比較したのが図-5 である。ここで、鋼床版重量とは、デッキプレート、縦リブ、横リブ各重量を含めたものである。バルブプレートを用いた鋼床版では、平均鋼重は 160~230 kg/m² の範囲にばらついており、平均 200 kg/m² 程度である。逆台形Uリブを用いた鋼床版では、t=6 mm で 150~180 kg/m²、t=8 mm で 175~210 kg/m² になっている。

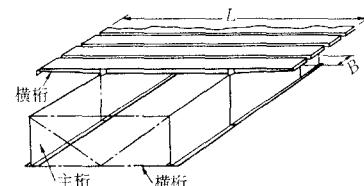
2. 繰 手

(1) 鋼床版のパネル分割

鋼床版のパネル分割法を大別すると図-6 に示す (a), (b) の 2 種類がある。(a) の縦割形式は、縦リブの継手総数が少なくてすむこと、現場溶接による橋軸方向の変形が少ないと、縦リブ 1 本の長さが大であるためデッキプレートとの工場溶接も機械化が効率的に行えることなどから一般的に広く用いられている。これに対して、適用例はそれほど多くはないが、(b) のような横割形式もある。これは、架設に際してパネルの下方からの支持が不要なこと、架設工程のサイクル化が可能したことなど

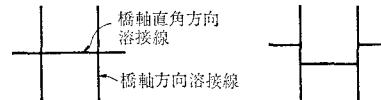


(a) 縦分割の床版



(b) 橫分割の床版

図-6 鋼床版の分割法



(a) 十字交差

(b) T字交差

図-7 デッキプレートの現場溶接

から張出し架設を行う橋梁で、ときとして用いられている。デッキの現場継手を溶接とした場合には、パネルの配置法として図-7 の 2 種類がある。(a) は、溶接の作業能率、工場や現場における開先合わせが容易であるなど一般に作業全体の能率の面で優れている。(b) は、交差部の溶接変形や残留応力、終始端部における溶接割れが少ないとされている。ただ、近年の溶接技術、溶接器材の進歩に伴い、溶接そのものによる問題は少なくなってきた。より作業性に重点を置いた (a) の形式が多く用いられてきている。

(2) デッキプレートの継手

デッキプレートの現場継手には、① 溶接接合、② 高力ボルト摩擦接合、③ 橋軸方向と橋軸直角方向に ①、② を使い分ける方法の 3 種類がある。これらの使用状況の経年変化についてのアンケート調査結果を図-8 に示す。これによると、高力ボルト摩擦接合もかなり用いられていることがわかる。その要因としては、現場における工期が短くてすむこと、溶接接合の場合のような収縮がないため橋桁の形状管理がより容易・確実であることなどがあげられる。

溶接接合の場合は、溶接による収縮を桁の製作キャンバーに反映させる必要がある。収縮量は開先形状、溶接方法などにより異なるが、一般に溶接 1 箇所あたり 1.6 ~ 2.0 mm 程度とされることが多い。初期のデッキプレートの溶接は裏当金を使用するのが一般的であったが、

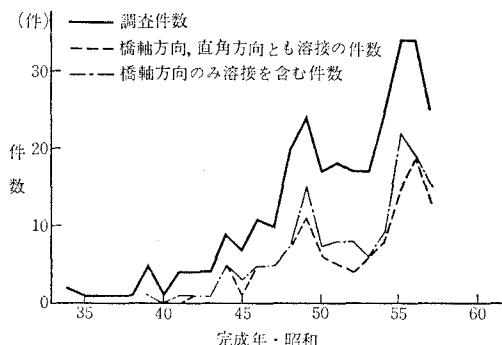


図-8 鋼床版の継手実績

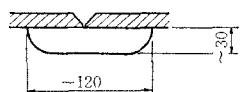


図-9 縦・横リブ腹板の切欠き

現在ではもっぱら裏面に平坦なビードが形成される片面裏溶接が用いられるようになってきた。試験結果²⁾でも、両面溶接継手に比べ疲れ強さは同等であることが報告されている。片面裏溶接が採用されたのは、首都高速道路公團618工区(両国大橋、昭和44年竣工)あたりからである。この橋梁では、裏当材としてソリッドタイプとフレキシブルタイプの2種類のフラックスパッキンが用いられたが、最近では、もっぱらフレキシブルタイプが用いられるようになった。理由としては柔軟性があるため、デッキプレート相互間の目違いに追随しやすい点があげられる。

現場溶接線にあたる縦リブ、横リブには裏当材を通すための切欠きが必要になる。また、溶接施工後は、X線フィルムをとおすための孔も兼ね図-9に示す程度の切欠きが必要である。

(3) 縦リブ

a) デッキプレートとの溶接

閉断面縦リブとデッキプレートとの溶接には、図-10の3種類が用いられている。(a)は通常2パス溶接で施工されており、ほぼ完全に近い溶け込みを期待することができる。(b)の場合は、開先角度が狭いため、溶け込みの深い自動溶接1パスで施工されることが多い。(c)は斜めに仕上げた縦リブ端面をデッキプレートと密着させた状態で、すみ肉溶接するものである。わが国では、(a)または(b)の



図-10 縦リブとデッキプレートとの溶接

溶接が通常行われているが、アメリカ合衆国や西ドイツでは(a), イギリスでは(c)が用いられることが多いようである。これらの溶接継手に対する疲労試験は建設省土木研究所において行われているが、閉リブの面外曲げに対しての強度について(a), (b), (c)の間では明確な差は認められていない。

b) 縦リブの継手

縦リブ相互間の現場継手には、デッキプレートと同様に溶接接合、または高力ボルト摩擦接合が使用されている。バルブプレートまたは平鋼からなる開断面縦リブについては、一般的に高力ボルト摩擦接合が用いられている。開断面縦リブの場合は両者が使用されているが、デッキプレートが溶接接合の場合には縦リブも溶接継手ということが多いようである。図-11の(a), (b)は、わが国でも多く用いられている溶接継手であり、(a)は平鋼を裏当材とし、(b)はダイアフラムを裏当材として用いたものである。両者とも、完全な閉断面に仕上がる所以維持のうえからも有利である。疲れ強さについて建設省土木研究所で実施した試験結果³⁾を図-12に示すが(a)

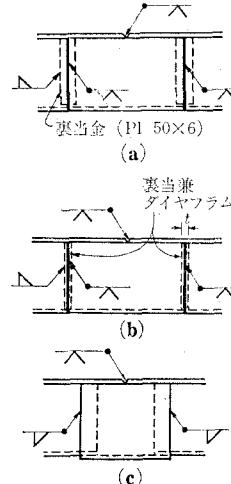


図-11 溶接継手

(b)両者の間に有意差はない十分な強度が得られている。重ね継手方式の(c)は、ときとして外国の設計例にみられるが、前面すみ肉溶接で応力を伝達する形式であり、図-12でもタイプC, タイプDの結果によつて明らかなように、疲れ強さの低下が避けられず、好ましい継手形式とは言えない。

閉リブの高力ボルト摩擦接合は、ハンドホールの位置により図-13(a), (b)

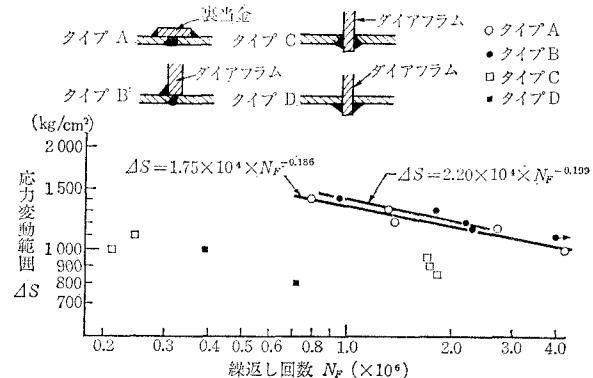


図-12 繰り返し回数 N_F (×10⁶)

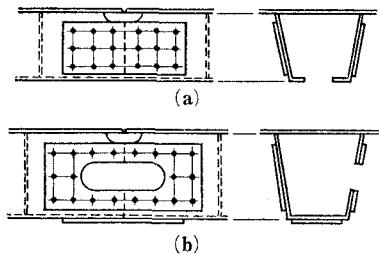


図-13 高力ボルト継手

に大別できる。(b)の形式はリブの側面、下面とも添接されているため応力の伝達には、もっとも問題が少ないが、小型のリブに対しては適用が困難である。一般的にいって、高力ボルト摩擦接合による縦リブ継手は、工期短縮に関して有利とされている。

主桁の腹板などで、下面から剛に支持された鋼床版部分では、支持線に沿って舗装に割れが発生する恐れがある。これに対して、本州四国連絡橋公団では、主桁腹板に隣接した縦リブピッチを一般部より密に配置してデッキプレートの支間を小さくすることを規定している⁴⁾。この場合、腹板に隣接する縦リブについては、溶接作業が困難であるため、少なくともこの縦リブには高力ボルト摩擦接合を用いることになる。

3. 理論解析

(1) 鋼床版解析理論の使用頻度

わが国において架設された鋼床版橋について、鋼床版の解析に使用された理論の使用頻度を、アンケート調査に基づいて分析した結果を表-1に示す。これによれば、Pelikan/Esslinger の理論によるものが圧倒的に多い。これは、一つには『建設省土木研究所報告』(137号の1および補遺)の発行にも負うところが大きいと思われる。また、鋼床版片持部の解析などには、境界条件の制約がない変形法を用いた任意格子桁理論によるものがかなり見受けられる。さらに、数年前から FSM (Finite Strip Method) が実用され始めている。

(2) 鋼床版の主構造との合成

鋼床版は従来桁橋に用いられる例がほとんどであった

表-1 鋼床版解析理論の使用頻度（橋梁数）

解析理論	縦リブ形式	開断面縦リブ	閉断面縦リブ
Pelikan/Esslinger	144	100	
Fischer および Cornelius	7	1	
Homberg の解法	40	1	
変形法格子理論	47	30	
有限帯板法(FSM)	5	4	
有限要素法(FEM)	1	—	

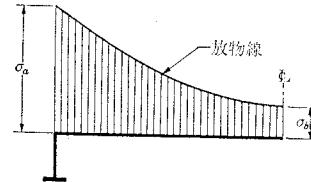


図-14 せん断遅れによる応力の不均等分布

が、近年になって、桁橋以外の場合においても鋼床版合成構造を用いる例が目立ってきており、例えば

① 吊橋：ザール・マタディ橋 (91+520+91 m, 鉄道・道路併用ダブルデッキトラス, 工事中)。

② 斜張橋：六甲大橋 (90+220+90 m, ダブルデッキトラス道路橋, 昭和 51 年完成), 岩黒島橋 (185+420+185 m, 鉄道・道路併用ダブルデッキトラス, 工事中)。

③ アーチ橋：境川大橋 (180 m, 道路橋, 昭和 56 年完成)。

④ トラス橋：門前川橋梁 (61.2+61.2+61.2 m, 連続トラス鉄道橋, 昭和 56 年完成)。

などがその例としてあげられる。鋼床版をトラスと合成して用いる場合には、主構造の一部として作用する鋼床版の有効幅の算定が問題となる。この問題に関する幾つかの研究も行われているが、設計者にとって実用的で、かつ公認された計算法の確立がまだされる。

主構造と床版との協同作用に関して、最近の西ドイツの示方書⁵⁾に、従来とやや変わった計算法がみられる。

図-14 のように、せん断遅れによって変化する応力分布そのものを算定し、これを設計計算に用いる方法である。従来の有効幅による計算法の場合は、図中の σ_a だけが算出されるが、この方法によると、床版支間中央の σ_b に至る各部の応力が得られるので、床版としての応力との加算を、各部についてより詳しく行うことができる。鋼床版の支間が次第に大型化している現状からみてこうした計算法についても、さらに今後の検討が期待される。

4. 舗装

鋼床版上に設けられる舗装は、滑り抵抗性、耐油性、摩擦抵抗性など一般部の舗装に求められる機能のほかに軽量、不透水性、たわみ性、安全性、平坦性などの機能が要求される。

(1) 鋼床版上舗装の現状

文献 6) の調査結果によると、わが国で鋼床版上に施工された舗装は 5 つのタイプに大別できる。舗装のタイプとその採用頻度を図-15 に示すが、これによると、

303 橋中 91% の 277 橋が舗装を 2 層に分けて施工しており、さらに 64% の 194 橋が下層にグースアスファルトを使用している。グースアスファルトの使用は昭和 40 年ころから増加してきているが、継手が溶接継手の場合には上下層に使用されている橋梁が多く、高力ボルト摩擦継手の場合には、下層に使用されている橋梁が多い。

舗装厚については、全体の 84% の 255 橋が 60~80 mm を採用しており、このうち 80 mm を採用しているものが 149 橋と最も多く、また、鋼床版の継手が溶接継手の場合には、高力ボルト摩擦継手の場合よりも平均厚で約 10 mm 程度薄くなっている。

舗装の評価を、路面の状況、修繕履歴から交通に対する供用性で比較すると、下層にグースアスファルト、上層にアスコンを使用している舗装は早期に評価値の低下が始まるが、その低下の割合は小さく、舗装寿命が最も長いという結果が得られている。

舗装の破損状況については、グースアスファルトを使用しているものにわだち掘れが多く、一層舗設のものに網状クラックが多く見られている。また、上層にアスコンを使用している舗装では縦線状クラックと横リブ付近の横線状クラックが発生している。さらに各タイプの舗装とも主桁ウェブ、縦リブ付近に縦線状クラックが発生している。しかし、クラックの程度と主桁間隔およびリブ間隔の間には明確な関係は見られないようである。

以上のはかに、舗装の破損原因と思われるものには、舗装の材料および施工法以外に、橋梁の前後にある交差点、縦横断勾配、床版と舗装の接着状態、伸縮継手との関係などがあげられる。

(2) 舗装と鋼床版の変形特性

鋼床版は、鉄筋コンクリート床版に比べて剛性が低く

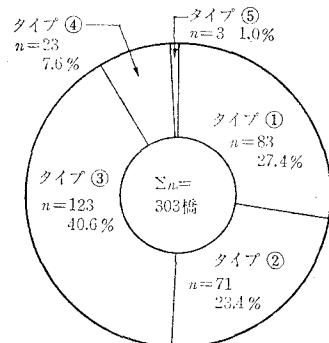
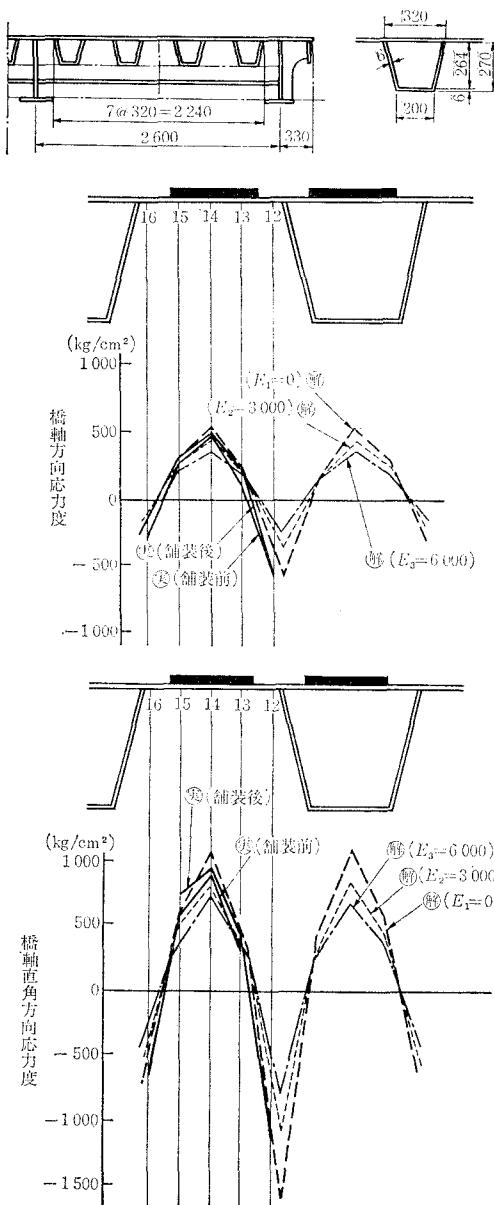


図-15 舗装タイプ別にみた使用状況

局部的に大きな変形を生ずる。また、外気温の影響を受けやすく、温度の変動範囲が広いなどの特徴を有している。したがって、鋼床版構造は、舗装に対して配慮すべき点も多い。

舗装とデッキプレートが合成されているとすると、縦リブや横リブの間隔を狭くすること、および縦リブに閉断面リブを用いることによってデッキプレートの曲率半径が小さくなり、舗装上面の引張応力を軽減することができる⁶⁾。しかし、舗装とデッキプレートの合成効果を



○：実験結果，●：解析結果 E：舗装スチフネス(kg/cm²)

図-16 荷重直下デッキプレート下面の応力
(荷重は T-20 を想定したダンプトラックの輪圧)

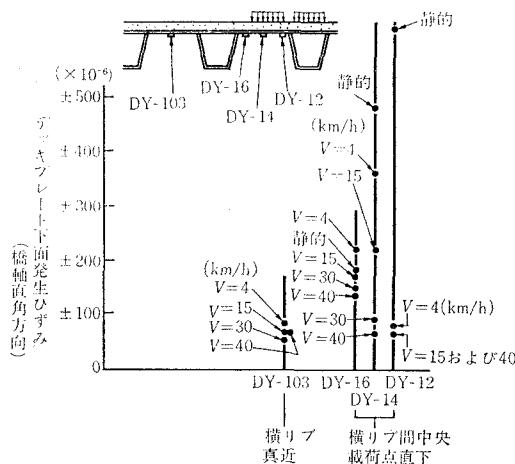


図-17 走行載荷試験による発生ひずみの変化

得るために、その接着面に生ずる 20 kg/cm^2 以上のせん断応力度に耐えうる接着力が必要である⁷⁾。また、鋼床版の変形状態、舗装の有無による挙動の変化、走行載荷時の挙動等を把握する目的で試験橋梁の載荷試験⁸⁾が実施されている。試験結果の一部を図-16, 17 に示す。これによると、鋼床版デッキプレートには 1000 kg/cm^2 程度の応力が得られており、縦リブ間あるいは縦リブ上では大きな変形を生じて、舗装のひびわれ発生の原因となっていることがわかる。

また、注目すべき現象として、車両の走行速度が上昇するに伴い、デッキプレートの発生応力度（橋軸直角方向）が著しく減少していることが認められる。このような走行荷重による鋼床版の応力低下現象は、実交通下での鋼床版の応力測定でも確認されている⁹⁾。応力低下の理由として、走行速度が上昇するに伴い見掛け上の舗装のスチフネスが高くなること、舗装による荷重の分散作用が増加すること、さらに鋼床版や走行車両の振動性状など他の要因による影響があること、などが考えられている。

文献 8) の研究では、ひびわれ発生防止のために、① 鋼床版と舗装との接着を図ること、② 横リブ間隔をできるだけ狭くすること、③ 縦桁とその隣りの縦リブとの間隔を狭くすること、④ 主桁・縦桁上を車輪が走行

しないような床構造とすることなどが有効であるとしている。

あとがき

以上、日本の鋼床版を総覧し、さまざまな面について変遷と現況を記述した。鋼床版は軽量であると同時に耐久性にも富むことから、今後さらに進歩・発展が期待される。

なお、橋床構造の進歩調査分科会の構成は下記のとおりである。

主査 成瀬輝男、副主査 渡辺信夫

委員 富沢三郎 西川和広 新田篤志 長谷川和夫 福田雅次 三浦章三郎 橋田信録

最後に、今回のアンケート調査に関しご協力を頂いた(社)日本橋梁建設協会および関係各位に誌上を借りて厚く謝意を表する。

参考文献

- 渡辺・大島：鋼床版設計実例の全国調査と鋼床版の経済設計、橋梁と基礎、昭和 51 年 9 月。
- 松本：サブマージアーチ片面裏波溶接継手の疲労試験、横河橋梁技報、No. 7、昭和 52 年 7 月。
- 建設省土木研究所：昭和 54 年度道路事業調査費報告、昭和 55 年 5 月。
- 本州四国連絡橋公團：鋼床版設計要領（案）、昭和 53 年 3 月。
- Deutsche Bundesbahn : Vorausgabe (DS 804)-Vorschift für Eisenbahnbrücken und sonstige Ingenieurbauwerke (VEI), Gültig von 1. April 1980.
- 建設省土木研究所：土木研究所資料第 1792 号、昭和 57 年 3 月。
- 喜多・芳村・富田：舗装された鋼床版構造の局部応力について、土木学会第 32 回年次学術講演会概要集、I-40、昭和 52 年 10 月。
- 福井・沢井：鋼床版の変形特性に関する調査—橋面舗装からみた鋼床版構造—、橋梁と基礎、昭和 53 年 6 月。
- 建設省土木研究所：本州四国連絡橋の設計施工に関する研究報告 2-2 実交通下における鋼床版の応力頻度測定、土木研究所資料 1196 号 昭和 52 年 3 月。

1982.6.30・受付／委員長 西村俊夫・Toshio NISHIMURA,
 正会員 工博 群馬大学教授 工学部建設工学科十分科会主査 成瀬
 輝男・Teruo NARUSE, 正会員 工博 石川島播磨重工業（株）橋
 架設計部長