

種のもが提案されている。これらの共通した特徴としては、現場施工の省力化、床版厚の低減、耐久性の向上、およびコンクリート片の落下防止などが挙げられる。

しかしながら、合成床版の特性を考慮した実用的な設計法は、未だ十分に確立されていない。そこで、土木学会・鋼構造委員会・鋼構造終局強度研究小委員会・合成構造物分科会においては、2年間にわたり、合成床版の実用的な設計法の調査研究を行ってきた。そして、今回、それらの試案を作成した。本文は、この設計指針の概要について報告するものである。

図-1に示したように、合成床版には、多くの種類がある。しかし、本指針では、合成床版の設計の原則を述べるとともに、基本形となる合成床版、すなわちロビンソン型床版、およびこれまで使用実績の多いI形鋼格子床版に限定して、道路橋床版に適用する際の具体的な設計方法を提案している。I形鋼格子床版については、本論文集の別稿にて述べる。ここでは、以下おもにロビンソン型合成床版について述べる。

2. 設計指針の特色と目次（案）

2.1 合成床版の概念

図-2は、ロビンソン型合成床版の概念図を示したものである。コンクリートの硬化まで、鋼板は、型枠の役目をなす。コンクリート硬化後は、スタッドジベルで鋼板とコンクリートとが一体化され、引張側鋼材の役割を持ち合成床版となる。また、支点上では、上面に配置された鉄筋が引張鉄筋として曲げモーメントに抵抗する。これまでのところ、表-1のように、数橋の施工実績^{1) 2) 3) 4) 5)}がある。ところが、ほとんどの床版は、RC床版としての設計法を準用している。

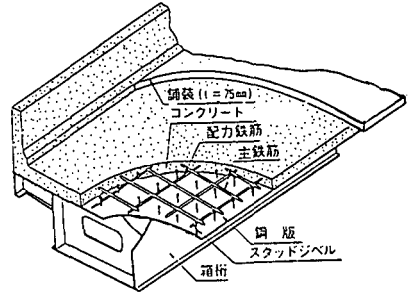


図-2 合成床版の概念図¹⁾

表-1 ロビンソン型合成床版の施工実績（抜粋）

	発注者	床版支間
西長堀出入り路拡幅工事	阪神高速道路公団	1.775m
片町橋	大阪市	2.625m
大阪城新橋	大阪市	1.700m
田中橋	兵庫県朝来町	3.000m
カナリ橋	兵庫県朝来町	3.000m

2.2 設計指針の特徴
本指針では、基本的に全ての合成床版を対象としている。合成床版は、これまで多くのものが提案され、それぞれに研究がなされている。しかし、車輪の走行を考慮した移動載荷による疲労実験まで行われたものは、ロビンソン型合成床版とI形鋼格子床版との2種類程度である。後述のように、道路橋の合成床版の設計は疲労に対して行われるべきであり、また、疲労強度は移動載荷試験によって初めて明らかにすることができる。したがって、現在のところ、この疲労実験が行われた上記の2種類の合成床版について詳述した。その他の合成床版については、各条文の主旨を十分に理解し、同程度の検討もしくは照査を行えば、使用できるものとした。

また、鋼橋製作施工の省力化・合理化を推進する上で床版支間を増大し主けた本数を減少させることは、有効な手段である。そのため、大きな床版支間をとることのできる合成床版は、これに適合する床版形式の1つとして考えられる。したがって、合成床版の適用支間については、8m程度までに拡張した。また、床版支間8mを超える場合でも、この指針の主旨を踏まえて適用してもよい。

2.3 設計指針の目次（案）
本合成床版の指針は、表-2に示すように、7つの章から成り立っている。1章から4章までは、共通項として全ての床版を対象としている。また、5章および6章では、道路橋の自動車荷重を支持するロビンソン型床版、ならびにI形鋼格子床版を対象としている。ただし、建築の床や鉄道橋のスラブは、対象外としている。

3. 設計の基本概念

一般に、限界状態設計法では、使用限界状態、終局限界状態、および疲労限界状態で構造物の安全性を照査することが求められている。

合成床版の使用限界の照査は、活荷重によるたわみを制御し、コンクリートの有害なひびわれの発生をおさえるために行う。しかし、本指針(案)で設計する限り、活荷重たわみが、有害なひびわれを発生させる可能性は少ない。

終局限界は、静的耐荷力から照査することを原則とする。しかし、道路橋の過去の実績から静的耐荷力が設計輪荷重を大幅に上回るので、終局耐荷力照査は、不要と考えられる。

一方、繰返し応力が作用する合成床版では、鋼板とコンクリートを合成するずれ止めや、鉄筋、鋼板(継手を含む)、および形鋼などの鋼材の疲労破壊の恐れがあり、照査を必要とする。

以上から、道路橋に用いるロビンソン型合成床版の設計は、疲労に対して重点的に行うこととした。そして使用限界、および終局限界に対しての照査は、以下の構造細目を満足する場合には行わなくてもよいこととした。

4. ロビンソン型合成床版の設計

4.1 疲労限界における作用モーメント

支間 8m までの活荷重曲げモーメント式を道路橋示方書と同様の考えで有限要素法を用いて誘導した。モデルとしては等方性版を仮定し、2 辺支持の一方無限版とした。床版支間 5m 以上では前輪の影響を考慮した。その結果床版支間 8m までは、図

-3 に示すように、現行の道路橋示方書に定める RC 床版に作用する断面力式を拡張したものと大差のない結果となった。しかし、床版支間の小さい場合の方が、解析で用いた荷重状態を再現する機会が大きいため、また、鋼板とずれ止めの溶接接合部の疲労に配慮する必要があることなどから、床版支間 2m で 20% 程度、支間 8m で 8% の余裕を見込んで、橋軸直角方向および橋軸方向の作用曲げモーメントを与える式を規定した。これらの結果を、表-3 に示す。

表-2 鋼コンクリート合成床版に関する設計指針(案)

1. 一般	1.1 適用の範囲	1.2 合成床版の種類
2. 限界状態	2.1 使用限界状態 2.2 終局限界状態	2.3 疲労限界状態
3. 荷重と荷重係数		
4. 設計	4.1 設計の基本 4.2 設計断面力 4.3 ヤング係数比	4.4 断面の抵抗値 4.5 ずれ止め
5. 道路橋車道部に用いる鋼板・コンクリート合成床版の設計	5.1 設計の基本 5.2 床版の支間 5.3 設計断面力 5.4 コンクリートの最小厚 5.5 最小鋼板厚	5.6 応力照査 5.7 ヤング係数比 5.8 ずれ止めの設計 5.9 部材の連結 5.10 構造細目
6. 道路橋車道部に用いる I 型鋼格子床版の設計	6.1 設計の基本 6.2 床版の支間 6.3 設計断面力 6.4 床版の最小全厚 6.5 応力照査	6.6 ヤング係数比 6.7 I 形鋼の疲労強度 6.8 直交異方性度の確保の照査 6.9 構造細目
7. 施工	7.1 鋼部材の製作 7.2 配筋 7.3 コンクリートの施工管理 7.4 床版厚さの精度	7.5 現場溶接継手 7.6 鋼板の防食 7.7 防水層

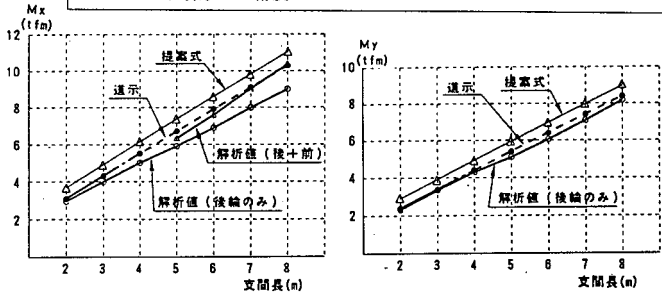


図-3 解析結果と示設計曲げモーメントの比較

表-3 一方向合成床版の道路橋活荷重による

設計曲げモーメント

曲げモーメント			橋軸直角方向	橋軸方向
区分	種類	適用支間		
単純版	支間曲げモーメント	$2 \leq L \leq 8$	$+(0.114L+0.144)P$	$+(0.095L+0.098)P$
	支点曲げモーメント	$2 \leq L \leq 8$	$-(0.114L+0.144)P$	$-(0.095L+0.098)P$
連続版	支間曲げモーメント	$2 \leq L \leq 8$	$+(0.114L+0.144)P$	$+(0.095L+0.098)P$
	支点曲げモーメント	$2 \leq L \leq 8$	$-(0.114L+0.144)P$	$-(0.095L+0.098)P$
片持版	支点	$0 < L \leq 1.5$	$-PL/(1.30L+0.25)$	$-(0.15L+0.13)P$
	先端付近	$0 < L \leq 1.5$	$+(0.15L+0.13)P$	$+(0.15L+0.13)P$

ここに、L: 床版支間 (m)

P: T 荷重の 1 輪分の荷重 (= 10 t)

4.2 疲労限界の照査

疲労耐力を計算するための疲労限界応力を、コンクリートでは、設計基準強度の 1/3、鋼板および鉄筋では、1400kgf/cm²とした。この値を用いる限り、ずれ止めを除く使用材料（コンクリート、鉄筋、鋼板）の疲労限界も、満足するものとする。合成床版の耐力は、通常の合成構造の考え方で計算してよい。ただし、ずれ止めに関しては、発生せん断応力が、疲労限界応力以下であることを確認するものとした。詳細は 5 章で述べる。

4.3 ヤング係数

合成断面、および耐力の算定には、ヤング係数比を $n=10$ を用いてよいこととした。これは、合成構造に用いられるコンクリートの設計基準強度は、240~400 kgf/cm²程度であり、現在の使用材料では $n=10$ 程度であるという実績に基づいている。

4.4 床版厚

ロビンソン型合成床版については、表-4に示す実験が行われており、設計基準作成のためのデータが得られている。合成床版では、構造特性と合理性から、RC床版より床版厚を薄くするのが一般的である。しかし、無制限に床版厚を薄くすると、たわみ量を増大させるとともに、発生するねじりモーメントによって床版上面のコンクリートに橋軸直角方向の有害ひびわれを発生させることとなる。このため、活荷重による版のねじれやたわみを制御し、コンクリートに有害ひびわれが発生しないようにする必要がある。そこで、これまでの実績から、コンクリートの最小厚（ h_c ）を、以下の規定で制限することとした。ここに、 L は、床版支間である。

$$h_c(\text{cm}) = 2.5 \times L(\text{m}) + 10$$

また、最小厚さは、施工性、最大骨材寸法、および最小ずれ止め高さを考慮して15cmとした。

4.5 デッキプレート厚

デッキプレートは、床版コンクリート打設時の型枠となり、たわみと応力を発生する。さらに、硬化後、コンクリートと合成され活荷重を担うが、図-4(D)に示すように、合成後の発生応力は小さい。しかし、これまでの実験の結果によると、デッキプレート厚が薄すぎれば、鋼板下面に大きな溶接ひずみが見られたり、輪荷重載荷時にスタッドの溶植部において鋼板の疲労破壊が生じる可能性があることが判明した。この弱点を考え、デッ

表-4 ロビンソン型床版の実験の経緯 6)~18)

	実験の種類	主な着目点	床版厚	スタッド間隔
①	床版コンクリート打設試験 (昭和59年3月)	型枠作用、リブの効果	12 cm	10 cm
②	静的載荷試験 (昭和59年3月)	版としての耐力		
③	疲労試験(走行載荷) (昭和60年3月)	スタッド間隔と相対ずれ、リブ交差部の疲労		左 → 10 cm 右 → 20 cm
④	スタッドに作用するせん断力の評価 (昭和61年3月)	作用せん断力の評価方法		10 cm 20 cm
⑤	疲労試験(走行載荷) (昭和62年3月)	スタッド高の影響、水の影響	12 cm 15 cm	10 cm 20 cm
⑥	改良型床版による疲労試験 (昭和63年3月)	床版厚の影響 縦鋼板のメリット		20 cm
⑦	回転せん断力による疲労試験 (平成2年3月)	回転せん断力による ずれ止めの疲労試験	円柱供試体	
⑧	改良型床版による疲労試験 (平成3年3月)	横リブの効果	12 cm 15 cm	10 cm 20 cm
⑨	実橋に対する確認試験 (平成4年3月)	床版厚の影響 スタッドの後の影響	15 cm 18 cm	20 cm 25 cm

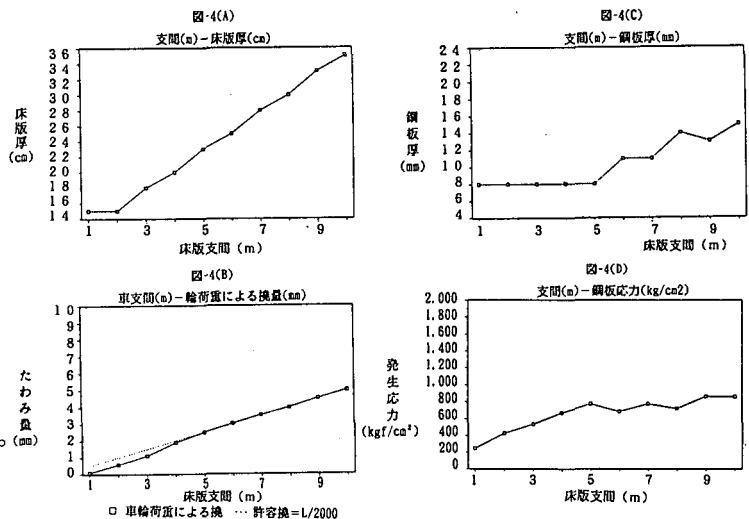


図-4 デッキプレートの厚さと発生応力

にスタッドの溶植部において鋼板の疲労破壊が生じる可能性があることが判明した。この弱点を考え、デッ

キブレート厚は、最小厚を8mmとした。しかし、過去の実績によると、デッキプレート厚が 4.5mm～6mmのものもあり、十分な検討が行われている限り、大きな問題はないと考えられる。

5. ずれ止めの設計

5.1 版に作用する設計せん断力

一般に、ずれ止めは、鋼とコンクリートの間に作用するせん断力に対して設計される。このせん断力は、ずれ止めの剛性によって変化することが知られている。

著者らは、完全合成として一様な版剛性を仮定した板理論によるFEM解析から、ずれ止めの設計用のせん断力を求めるための版のせん断力式を以下のように設定した。この際、疲労限界状態の照査であることから、荷重状態の再現頻度を考慮し、床版支間2mは1輪、3mないし5mに対しては1軸、また、これを超える床版支間に対しては1軸と荷重を半減した1軸を幅員方向に載荷した。

$$S = k(0.011L + 0.747)P$$

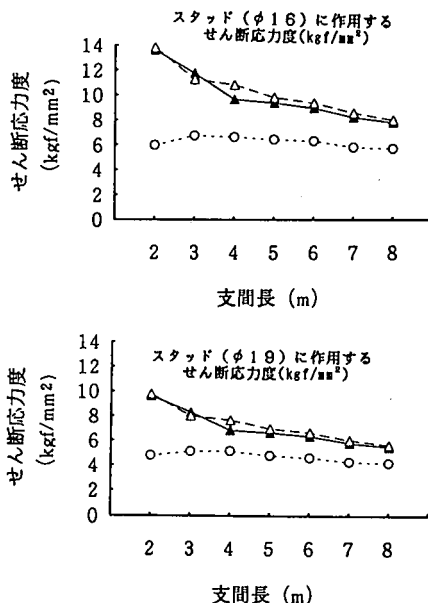
ここに

S：版の作用せん断力 (kgf)

k：ずれ止めの剛性を考慮した低減係数、
 スタッダの場合 k = 0.75
 十分剛なずれ止めの場合 k = 1.0

L：床版支間 (m)

P：T荷重の1輪分の荷重 (= 10tf)



▲：完全合成としてせん断力を算出 (板理論によるFEM解析)
 △：剛スタッドとしてせん断力を算出 (層状化FEM解析)
 ○：柔スタッドとしてせん断力を算出 (層状化FEM解析)

図-5 スタッダに作用するせん断応力

図-5は、スタッドジベルに発生するせん断応力を示している。計算に用いた床版厚、およびデッキプレート厚は、図-4に示している。また、ずれ止め間隔は、全て 250mmとした。完全合成として一様な版剛性を仮定した板理論によるFEMと、剛なずれ止めを想定した層状化FEMとから計算した結果は、比較的よく一致している。また、バネ剛性を考慮した層状化解析では、ずれ止めの発生せん断応力がかなり小さくなっている。この結果から、完全合成の仮定に基づいて算定したせん断力でスタッドを設計すると、過大な結果となることがわかる。よって、実際はスタッドを用いる場合にはkを0.75とすることとした。

5.2 ずれ止めに発生するせん断力

ずれ止めに発生するせん断応力は、次式で与えられる。

$$\tau = \frac{SQ}{I} \times \frac{p}{n \times As}$$

ここに

τ： ずれ止めに発生するせん断応力 (kgf/mm²)
 I： 合成床版の断面2次モーメント (全断面有効)
 Q： “ 鋼板の断面1次モーメント (全断面有効)
 p： ずれ止めの間隔 (cm)
 n： 作用するせん断力直角方向のずれ止め本数
 As： ずれ止めの断面積 (mm²)

5.3 スタッダの許容せん断力

道路橋合成床版のずれ止めは、ずれ止め本体や溶着部の疲労限界状態に対して照査する必要がある。とくに、輪荷重の移動による回転せん断力は、ずれ止めの疲労強度に及ぼす影響は大きい。図-6は、φ16のスタッドに対する疲労強度の特性を示したものである。すなわち通常の押し抜き疲労試験、合成床版の移動載荷

実験結果、および回転せん断力载荷装置によるずれ止めの試験結果を、S-N線で表している。この図より明らかなように、せん断力の作用方向が変化する場合には、定位置の繰返し試験に比べて、スタッドの疲労強度は、30～40%程度に低下する。この場合のS-N関係は、図中の式で表すことができる。本指針では、これを踏まえてスタッドに作用するせん断応力度の限界値を、 $\tau_t = 5 \text{ kgf/mm}^2$ （繰返し回数 10^7 に対する疲労強度：一定値）に制限することで疲労照査に代えることとした。ただし、径が大きく異なるスタッドを用いる場合や、疲労特性の異なるずれ止めでは、別途、検討が必要となる。また、最小鋼板厚さの標準値を、8mmと規定している。しかし、これより薄い鋼板を用いた場合には、鋼板の熱影響部付近を起点とする疲労破断などが生じる恐れがあるので、十分に注意する必要があると考えられる。

6. その他

6.1 デッキプレートの継手構造

合成床版のデッキプレートの継手は、運搬・架設の際の施工性と疲労を考慮して定める必要がある。参考として、著者らは、プレファブ化が可能な合成床版の簡便な継手を数案選び、別途、疲労実験を行って、基礎データを収集している。

6.2 防水層

道路橋床版のように、自動車の走行輪荷重を受ける、床版上面にひびわれ発生の可能性があり、その結果、舗装に侵入した水がコンクリートの劣化を招き、ひいては下面の鋼板の腐食の原因ともなる。そのため、本指針では、床版の最小厚を規定した。しかし、さらに安全性を考え、コンクリート上面に適当な防水層を設置することが望まれる。

7. あとがき

本指針では、2種の合成床版の設計法に限定して詳述した。しかし、他の合成床版についても、本指針のような設計法の確立に向け努力を期待したい。

最後に、本指針(案)をまとめるにあたり、多くの有益な助言を頂いた土木学会・鋼構造委員会・鋼構造終局強度研究小委員会・合成構造分科会（主査 中井博教授）の方々をはじめ、関係各位に深く感謝の意を申し上げる次第である。

【参考文献】

- 1) 安田, 吉田, 木代: 拡幅工事(西長堀出入路)における合成鋼床版, 阪神公団技報第12号, 1992
- 2) 加藤, 春本, 日種, 岡崎: 大阪城新橋の設計と施工, 橋梁と基礎, 1984. 7.
- 3) 松井, 秋山, 渡辺, 武田: 合成鋼床版田中橋の設計と施工, 橋梁, 1986. 11.
- 4) 松井, 八田, 武藤: 鋼板・コンクリート合成床版による急速打換え工法, 橋梁と基礎, 1993. 4.
- 5) 武藤, 八田, 竹内: 合成床版による急速打換えの一事例, 土木学会年次学術講演会概要集, 988. 10.
- 6)～12) 松井らの鋼・コンクリート合成鋼床版の実験および研究, 土木学会年講,
- 6) I-137, 1984. 10. 7) I-489, 1985. 9. 8) I-223, 1986. 11. 9) I-164, 1987. 9.
- 10) I-165, 1988. 10. 11) I-257, 1990. 9. 12) I-160, 1988. 10.
- 13) S. MATSUI, T. MOON, Y. FUKUMOTO, H. WATANABE, Y. KAJIKAWA: Fatigue Strength of Steel Plate-Composite Deck, IABSE SYMPOSIUM BRUSSELS, 1990. 9.
- 14)～17) 渡辺らの鋼・コンクリート合成鋼床版の実験および研究, 川田技報
- 14) Vol 4, 1985. 15) Vol 6, 1987. 16) Vol 7, 1988. 17) Vol 10, 1991.
- 18) 川田工業: 『複合構造橋』, 技報堂, 1993. 12.

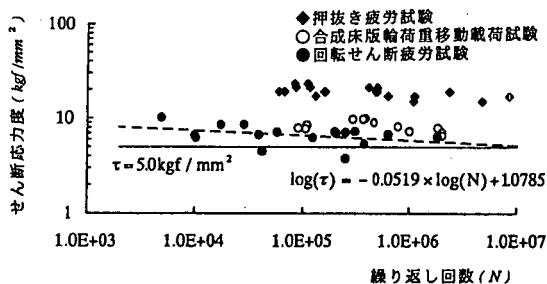


図-6 合成床版に使用するスタッドの疲労特性