

道路橋合成床版の床版厚さに関する研究

Minimum thickness of composite deck slabs in Highway Bridge

横山広※、堀川都志雄***

Hiroshi YOKOYAMA, Toshio HORIKAWA

※ショーボンド建設株式会社, 北陸支店技術課(〒920-0362 金沢市古府 1-140)

***工博, 大阪工業大学教授, 都市デザイン工学科(〒535-0002 大阪市旭区大宮 5-16-1)

In this study, thinking that initial cracking in the steel-concrete composite slabs of road bridges may have adverse effects on the integrity of the composite structure and cause the load-carrying capacity of the slabs to decrease, the author performed computations based on a thick plate theory that enables exact calculation of stress at a point of interest. In the computations, flexural tensile stresses in steel-concrete composite slabs were calculated to determine the minimum concrete thickness required for preventing initial cracking, and the relationship between deflection and slab thickness was investigated. The computations revealed that, except in cases where slab spans are short, almost all concrete thickness values specified in the Design Code for Steel Structures Part B: Composite Structures are not large enough to prevent initial cracking. In addition, the computations focusing on deflections revealed that the design code mentioned above overestimates slab stiffness.

Keywords: thick plate theory, composite deck slab, slab thickness, flexural stress, flexural tensile strength

1. はじめに

近年, 少子高齢化にともなう労働力不足が表面化し, 橋りょう建設においても施工の省力化やコスト縮減が要請され, 道路橋床版の分野では鋼板・コンクリートの合成構造が注目されている。合成床版の多くは, 工場での鋼板曲げ加工やスタッド溶植で製作された鋼殻パネルを現地桁上に架設した後に, コンクリートを打設するプレハブ形式が採用されている。また, 新規床版はもちろんのこと, 損傷床版の打替え用としても工場でコンクリートを打設して現場工期の短縮を図るプレキャスト床版も実績をあげている。

合成床版の原形は, ロビンソン型合成床版として1959年にヨーロッパ(フランス, タンカービル吊橋)で実用化されて以来, 国内では1980年に首都高速道路に採用されている¹⁾。一般に, 合成床版におけるコンクリートと鋼板とを一体化させるすべり止めにはスタッドが用いられ, 他にも帯鋼や鉄筋をトラス型に曲げ加工したものを鋼板に溶接固定するもの, 高力ボルトを用いたものも開発されている。合成床版の設計は, 道路橋示方書²⁾および土木学会の鋼構造物設計指針 PART B³⁾(以下, Part Bと略す)に依拠して行われており, 特にPart Bでは独自の床版厚さに関する算定式が提示されている。

本研究では, 筆者らが過去に行ったコンクリート系床

版の最小厚さに関する研究⁴⁾と同様に, 合成床版におけるコンクリートの初期ひび割れの発生が, 自重や輪荷重による曲げ引張応力 σ_{bt} とコンクリートの曲げ引張強度 f_{bk} との大小関係により決定されるとの力学的観点に着目する。具体的には, 厳密な局所応力が解析できる厚板理論⁵⁾を用いて曲げ引張応力を算出し, 曲げ引張強度とを比較する。すなわち, 合成床版では異形鉄筋による鉄筋コンクリート構造のようなひび割れ分散効果が期待できないため, 荷重作用による曲げひび割れの発生が鋼板とコンクリートの合成構造としての一体化に悪影響を及ぼし, 耐荷力低下の引き金になることに着眼点を置き, 力学的に評価を加えるものとする。鉄筋コンクリート床版(以下, RC床版という)に比べて鋼断面積が大きい合成床版は乾燥収縮やクリープの影響によるひび割れが生じ易いと言われているが, 本稿ではこれらを無視して扱っている。

ここで採用する厚板理論は, Kirchhoff-Loveの仮定を用いて誘導される薄板理論とは異なり, 3次元弾性論の変位関数 f_3 (ガラーキンベクトル)と ϕ_3 (ブーシネスクの関数)に基づく理論で, 厳密な応力や変位が算出できる⁶⁾。変位関数 f_3 と ϕ_3 の基礎微分方程式は次のように示される。

$$\Delta \Delta f_3 = 0 \quad , \quad \Delta \phi_3 = 0 \quad (1)$$

ここに、 $\Delta = \partial^2 x + \partial^2 y + \partial^2 z$
 $\partial^2 x = \partial^2 / \partial x^2, \partial^2 y = \partial^2 / \partial y^2, \partial^2 z = \partial^2 / \partial z^2$

変位 u, v, w と変位関数の関係式は以下のように示される。

$$2\mu u = -\partial x \partial z f_3 + \partial y \phi_3$$

$$2\mu v = -\partial y \partial z f_3 - \partial x \phi_3$$

$$2\mu w = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left[\partial^2 z + \frac{\lambda + 2\mu}{\mu} (\partial^2 x + \partial^2 y) \right] f_3$$

ここに、 λ, μ : Lame の定数

本研究では、はじめに①床版支間長に対する最小床版厚さを検討するために、床版支間長、床版厚さ、鋼板厚さ及びコンクリートの設計基準強度をパラメータとして、厚板理論から導かれた3層版（実橋床版と同様にアスファルト舗装の剛性も考慮している）の計算より、曲げ引張応力と曲げ引張強度の大小関係から決定されるコンクリート部の厚さと、Part B による床版厚さ算定式との関係を明らかにする。次に、②土木学会コンクリート標準示方書⁷⁾が2002年3月に改訂され、曲げ引張強度が削除されたことによって、曲げひび割れ強度を指標とした場合についても検討する。③一般に、曲げ引張強度にのみ着目すれば、コンクリート強度を大きくすることで床版厚さを薄くすることが可能となるが、たわみの増加に起因する車両通行への障害や低周波振動による被害も無視できないと言われている。したがって、たわみに関しても何らかの制限値を設ける必要が生じてくる。そこで、たわみの制限値を $L/2000$ とした場合の床版厚さを計算し、Part B による床版厚さとの関係に再度検討を加える。④鋼板とコンクリートを一体化させて合成作用を高めるためにスタッド等のずれ止めが用いられるが、鋼板とコンクリートの界面に生じるせん断応力の計算から、Part B によるずれ止めの設計式が妥当であるかどうかを比較する。⑤最近になって実用化された合成床版に、床版の上下に鋼板を配置したサンドイッチ床版がある。この構造の特長は剛性が高いことであり、床版厚さも小さく設定できる。よって、サンドイッチ形式におけるコンクリート下縁の曲げ引張応力にも着目して、この種の床版での最適厚さを検討する。

2. 計算モデル

計算モデルは図-1 に示すとおり、橋軸直角方向の床版支間長 L に対して橋軸方向の辺長を4倍とした1方向

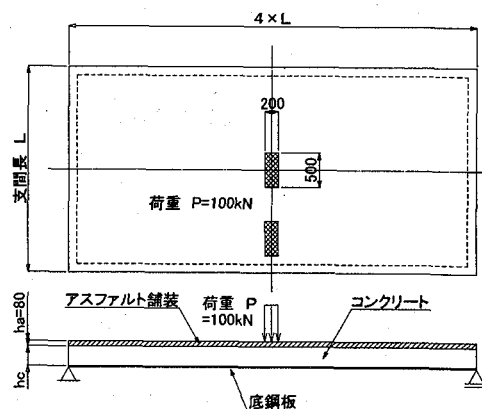


図-1 計算モデル (単位: mm)

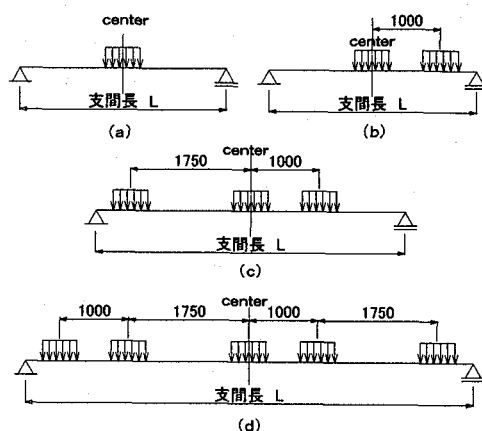


図-2 荷重載荷状態 (単位: mm)

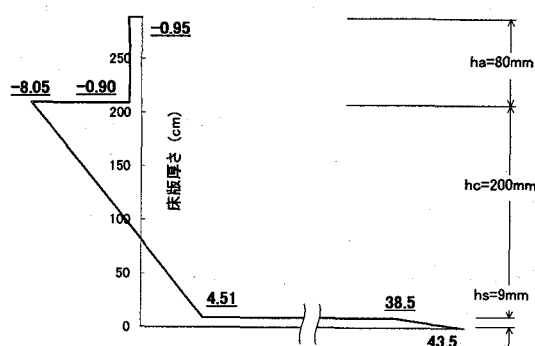


図-3 橋軸直角方向応力の分布 (N/mm²)

表-1 材料の物性値

材 料 名	ヤング係数(kN/mm ²)	ポアソン比
アスファルト舗装	0.5	0.4
コンクリート(30N/mm ²)	28	0.167
(50N/mm ²)	33	0.167
鋼 板	210	0.3

版とした。道路橋床版では、アスファルト舗装が床版上に敷設されるので、計算では舗装と合成床版におけるコンクリート、鋼板の3層を全て考慮し、各層間の接合する面では互いにずれがないものと仮定した。計算に用いた各種材料の物性値は表-1のとおりである。なお、合成床版への荷重分担が大きくなる夏期時を想定しているため、アスファルト舗装のヤング係수에表-1の値を用いた。また、合成床版内に配置されるリブ等の曲げ剛性への寄与を簡略化のために無視している。

床版の自重(死荷重)、および衝撃係数を考慮した荷重を、支間長 L の変化に併せて、図-2(a)~(d)に示すような最も不利になるように載荷するものとした。

図-3は床版支間 $L=4.0\text{m}$ 、コンクリート厚さ $hc=200\text{mm}$ 、鋼板厚さ $t=9\text{mm}$ 、設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ における橋軸直角方向(主鉄筋方向)応力の計算結果で、版厚方向の応力分布を示したものである。本研究で着目しているのは図中のコンクリート部に発生する引張側の応力である。

3. 合成床版の最小版厚

3.1 床版厚さ算出式

合成床版のコンクリート部の厚さは、Part Bに示されており、床版の全厚は式(2)の値に鋼板厚さを加えたものとなる。

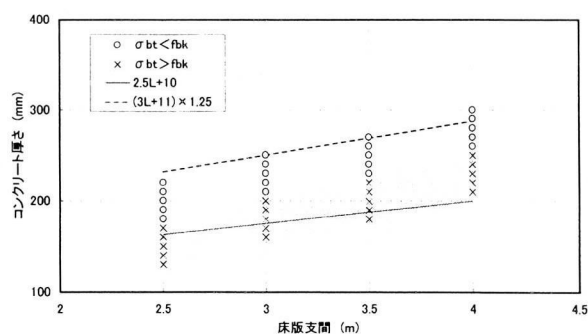
$$hc = 2.5L + 10 \quad (2)$$

ここに、 hc : コンクリート部の最小厚さ(cm)
 L : 床版支間(m)

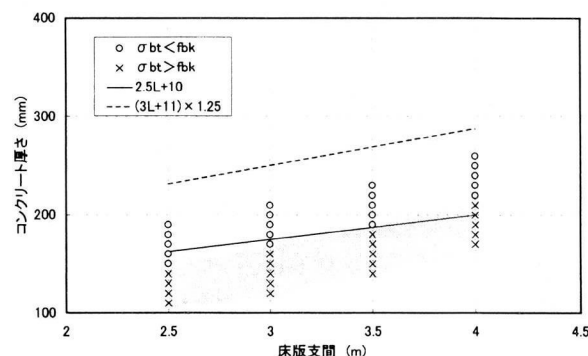
式(2)では、現行の道路橋示方書²⁾によるRC床版の床版厚さより薄く設定されることになる。例えば支間 3m で比較すれば、合成床版では 175mm であるが、RC床版では大型車交通量の割り増しを考慮すれば 250mm となり、合成床版の鋼板厚さを 9mm と仮定しても、RC床版の厚さに対して約75%程度となる。また、床版支間 L に対する係数はPart Bが2.5で、道路橋示方書の連続版の場合には3.0の係数であるから、Part Bの方が小さく床版支間長が大きくなれば最小床版厚さについて両者の差は大きくなる。

3.2 最小版厚と支間長の関係

図-4(a)に鋼板厚さ $t=6\text{mm}$ (以下で採用する鋼板厚さは市販品に限定する)で、設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ のコンクリート厚さと支間長に着目した場合の、主鉄筋方向の曲げ引張応力 σ_{bt} と曲げ引張強度 f_{bk} との関係を示す。図中では曲げ引張応力 σ_{bt} が曲げ引張強度 f_{bk} を上回る場合には、初期ひび割れが発生すると推定されるので $\times$ 印を、また、曲げ引張強度の方が上回る場合には $\circ$ 印

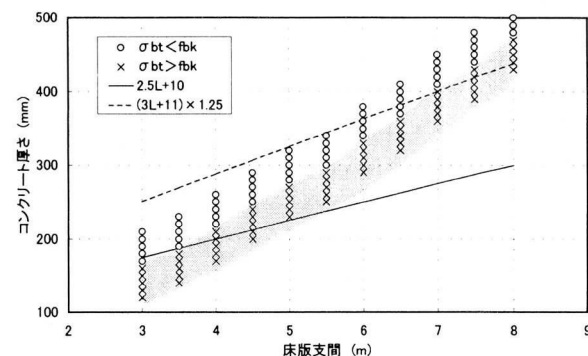


(a) 設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$

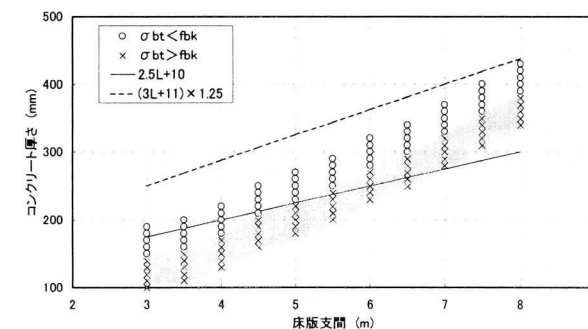


(b) 設計基準強度 $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$

図-4 支間長とコンクリート厚さの関係
(鋼板 $t=6\text{mm}$)



(a) 設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$



(b) 設計基準強度 $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$

図-5 支間長とコンクリート厚さの関係 (鋼板 $t=9\text{mm}$)

で表現している。また、図中には Part B と道路橋示方書（大型車交通量割増し考慮）による RC 床版厚さの値も同時に示している。図によれば床版支間 $L=2.5\text{m}$ でも Part B の値が×印の領域、すなわち曲げ引張応力が曲げ引張強度を上回る状態にあり、初期ひび割れが発生する危険性が懸念される（薄墨の領域）。一方、道路橋示方書の値は曲げ引張強度と曲げ引張応力の大小関係が拮抗する○×印の境界より上側に位置し、初期ひび割れの発生がない安全側になっていることが判る。図-4(b)は設計基準強度 $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$ のもので、設計基準強度が向上するのに伴って曲げ引張強度が大きくなる効果により、曲げ引張強度が上回る領域がコンクリート厚さの小さい方へ拡大している。Part B の値は、支間 3.5m までは曲げ引張強度が曲げ引張応力を上回っており安全側に位置するが、支間が 4m を超えれば危険側であると言える。

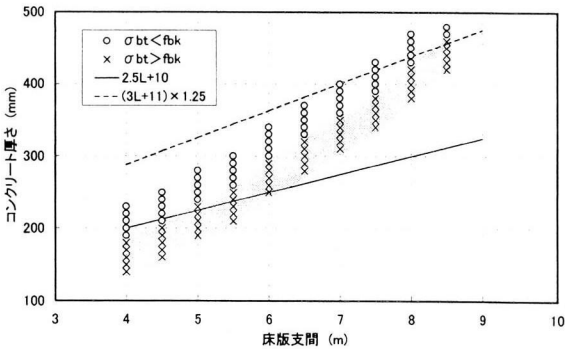
図-5(a)と(b)は鋼板厚さ $t=9\text{mm}$ の場合の結果を示したもので、Part B の値が安全側となるのは設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ で支間 $L=3.5\text{m}$ 以下で、また、設計基準強度 $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$ では支間 $L=5.0\text{m}$ までである。図-6(a)は鋼板厚さ $t=12\text{mm}$ 、設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ での計算結果を示したもので、Part B の値は支間 $L=4.5\text{m}$ までが安全側となる。図-6(b)の設計基準強度 $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$ では Part B の値が安全側となるのは支間 $L=6.5\text{m}$ 以下であり、それより大きい床版支間長を設定する場合、初期ひび割れの発生を防止するためには、Part B より大きなコンクリート厚さが必要になる。ここで、床版支間 $L=4.0\text{m}$ における Part B のコンクリート厚さは $t=200\text{mm}$ であるのに対して、本計算結果では鋼板厚さの影響を受け表-2 に示す通りとなる。

以上の結果によれば、曲げ引張応力に着目した場合には Part B の算定式には、一部でコンクリート厚さが不足していることが指摘される。また、曲げ引張強度と曲げ引張応力の大小関係が接近し、かつ Part B による値と同じ値になるときの支間長と鋼板厚の関係を図-7 に示すが、Part B では鋼板厚に関係なくコンクリート部の厚みを一定にしているのに対し、本計算結果では鋼板厚が影響していることが判る。よって、Part B のコンクリート部の厚さ算定式に鋼板厚による影響を考慮することが望ましい。

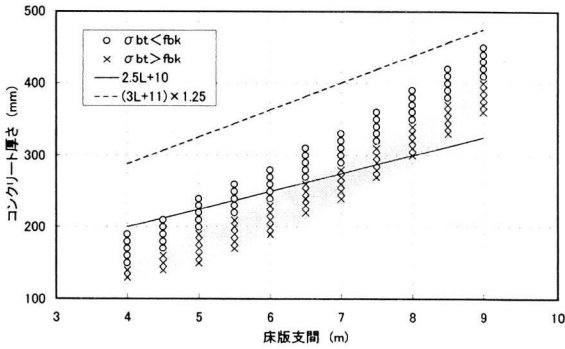
3.3 曲げひび割れ強度を指標とした場合の最小版厚と床版支間の関係

土木学会コンクリート標準示方書が2002年3月に改訂されて曲げ引張強度の算出式の削除に伴って、部材の寸法効果を加味した式(3)の曲げひび割れ強度の算出式が代わりに提案されている。

$$f_{bk} = k_{ob} k_{ib} f_{ik} \quad (3)$$



(a) 設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$



(b) 設計基準強度 $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$

図-6 支間長とコンクリート厚さの関係
(鋼板 $t=12\text{mm}$)

表-2 鋼板厚さに対するコンクリート最小厚さ
(床版支間 $L=4.0\text{m}$, $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$)

鋼板厚さ(mm)	コンクリート最小厚さ(mm)
6	260
9	220
12	190

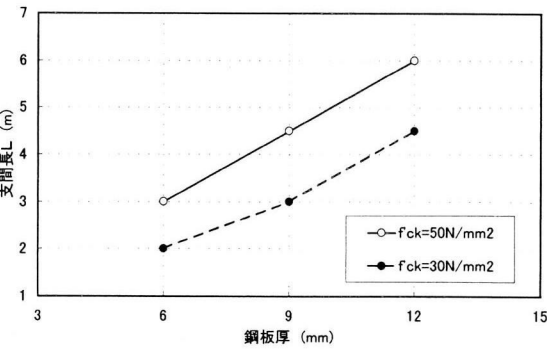


図-7 鋼板厚と支間長の関係

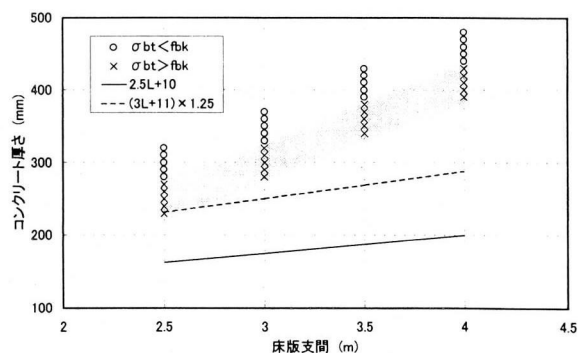
ここに、 k_{ob} : コンクリートの引張軟化特性に起因する引張強度と曲げ強度の関係を表す係数

k_{lb} : 乾燥, 水和熱などその他の原因による
ひび割れ強度の低下を表す係数
 f_{tk} : コンクリートの引張強度

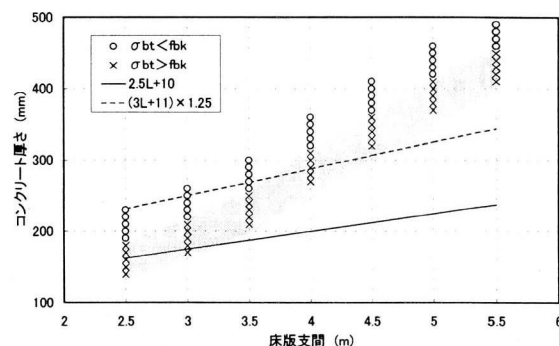
図-8(a)は鋼板厚さ $t=6\text{mm}$ で設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ での, 曲げひび割れ強度に着目した場合のコンクリート厚さと支間長の関係を示したものであり, 図-8(b)は鋼板厚さ $t=9\text{mm}$, 設計基準強度 $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$ の結果を示したものである. 何れの場合も曲げ引張応力が曲げひび割れ強度を上回る床版厚さが Part B よりも大幅に大きくなることが判る. 合成床版において, 曲げ引張応力に着目した合成床版の設計を行う際には, 曲げ引張強度 f_{bk} に着目する方が安全であることが伺える. ただし, 適切な実験等により, 板構造としての曲げひび割れ強度が把握できれば, 妥当な評価が行えることは言うまでもない.

4. たわみを制限したコンクリート厚さ

曲げ引張強度にのみ着目すれば, 設計基準強度を大きくすることでコンクリート厚さを薄くすることができるが, 床版の剛性低下を招き, 種々の問題点が起こることも予想されるため, たわみ値を制限する必要がある. そこで, たわみの制限値を $L/2000$ とした場合のコンクリート厚さと床版支間との関係を示したものが図-9(a)である. 計算に用いたコンクリートのヤング係数は, 設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ における $E_c=28\text{kN/mm}^2$ と仮定している. 図によれば, 鋼板厚さを $t=6.0, 9.0, 12.0\text{mm}$ に限定したうえで, 合成床版のたわみ値が $L/2000$ となる計算値 Part B に示されるコンクリートの厚さの値とほぼ一致しており, Part B の算定式がたわみを意識したものであることが伺える. ただし, 前述の曲げ引張強度と曲げ引張応力の関係を検討した結果を参照すれば, コンクリートには初期ひび割れが発生していると推量される. さらに, コンクリートの弾性係数を変化させた場合のコンクリート厚さと床版支間の関係を図-9(b)に示す. なお, 計算に用いた鋼板厚さは $t=9\text{mm}$ である. 図によれば, 鋼板とのヤング係数比 $n=10$ とする場合, たわみ値が $L/2000$ となる値を●印で示せば, この値を下回る床版厚さは図-9(a)よりも大きくなる. つまり, Part B の算定式による値では剛性を過大に評価していることが判る. この傾向はヤング係数比 $n=15$ を考慮した $E_c=14\text{kN/mm}^2$ でより顕著となる. 3.2 で得られた結果, すなわち支間長が大きければ必要なコンクリート部の厚さは大きくなる傾向にあることと符合していることが判る. たわみの検討においても Part B のコンクリート厚さの算定式の係数 2.5 は弾性係数の低下を考慮したたわみの $L/2000$ から決定される床版支間長との関係から得られる係数 ($E_c=21\text{kN/mm}^2$ で 3.4) と異なってくる.

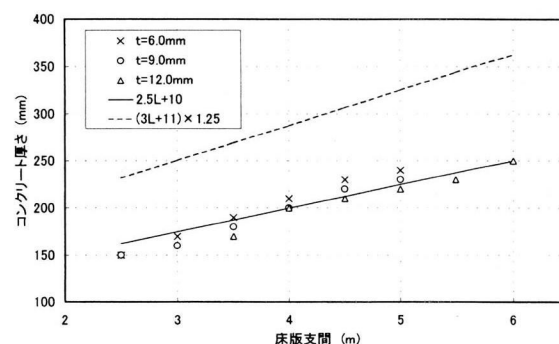


(a) 鋼板厚 $t=6\text{mm}$, $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$

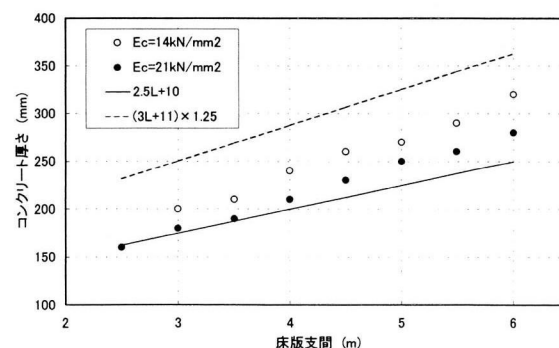


(b) 鋼板厚 $t=9\text{mm}$, $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$

図-8 支間長とコンクリート厚さの関係
(曲げひび割れ強度を指標とした場合)



(a) コンクリート強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ ($E_c=28\text{kN/mm}^2$)



(b) 鋼板厚さ $t=9\text{mm}$, $E_c=14, 21\text{kN/mm}^2$

図-9 支間長とコンクリート厚さの関係
(たわみの制限値を設ける場合)

5. ずれ止めに作用するせん断力

ずれ止めに働くせん断力は輪荷重の移動に伴って、時々刻々と大きさもその方向も変動する。したがって、せん断力は橋軸直角方向および橋軸方向のそれぞれに作用するせん断力の合力でなければならない。以下ではこのせん断力を合せん断力と称する。厚板理論から得られる鋼板とコンクリートの界面のせん断応力のずれ止め間隔分を一つのずれ止めが分担すると仮定して、近似的に算出した合せん断力の値と、Part B に示されるずれ止めの設計せん断力との比較を図-10 に示す。なお、ずれ止めの間隔は $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ としている。計算条件として、鋼板厚さは $t=9\text{mm}$ で、床版厚さは Part B のコンクリート厚さ算定式による値とした。着目した位置は既往の実験⁸⁾を参考にして載荷面の端部近傍である。Part B では、ずれ止めの形式によって分担率を規定しており、十分剛なずれ止めでは $k=1.0$ とし、スタッドをその $1/2$ の $k=0.5$ に設定しているので、図中にはその両方の値を示している。

本計算による合せん断力は、ずれ止めピッチによる面積分で算出され、Part B による十分剛なずれ止めの設計せん断力に相当するが、床版支間 $L=3.5\text{m}$ までは計算値の方が大きく、 $L=4.0\text{m}$ ではほぼ同等の値となり、その後は計算値の方が床版支間の増加に併せて合せん断力が低下する傾向にある。すなわち、ずれ止め間隔が相対的に小さくなって、密な配置のずれ止め構造と同じになることを意味している。

6. サンドイッチ床版における最小版厚

上部工の軽量化によるコスト縮減を目指すものとして、床版の上下に鋼板を配置したサンドイッチ形式の床版が実用化されている。本形式では、図-11 に示すとおり高力ボルトや高ナットで鋼板構造が一体化されており、工場で製作された鋼殻パネルを主桁上に架設後に高流動コンクリートを充填する施工法がとられている。

図-12 に単純板における上下鋼板とコンクリートの3層版とした場合の、コンクリート下縁の曲げ引張応力度と曲げ引張強度に着目した床版厚さと支間の関係を示す。舗装の影響は、夏期時のヤング係数で計算する範囲では、応力低下に寄与する割合が数パーセントと小さいのでここでは無視した。

図-12(a)は設計基準強度が $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ のもので、床版支間 $L=3.5\text{m}$ までは Part B の値が安全側となる。図-12(b)は設計基準強度 $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$ での計算結果で、支間 $L=6.0\text{m}$ まで Part B よりも小さいコンクリート厚さが設定できることが判る。また、Part B に設定されているコンクリート最小厚さ $t=15\text{cm}$ は、床版支間 $L=3.5\text{m}$ まで適用できることになる。よって、本構造形式で床版厚さを薄く設定するためには、高流動コンクリートの特性

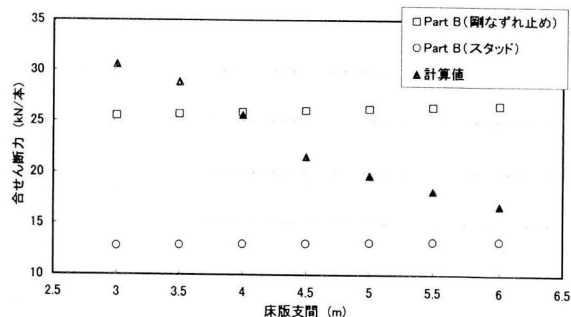


図-10 設計せん断力と床版支間の関係

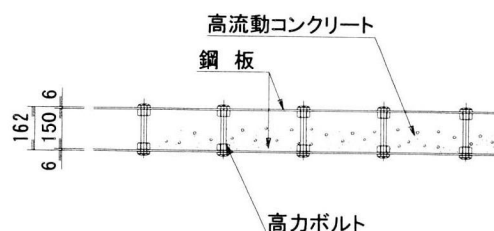
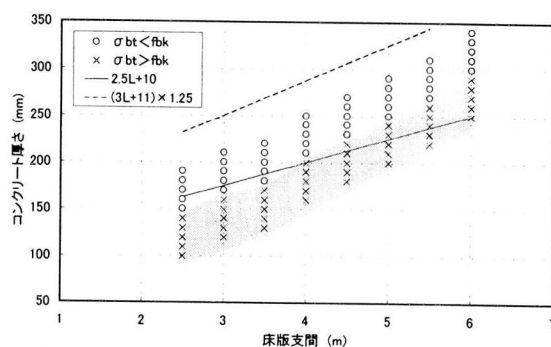
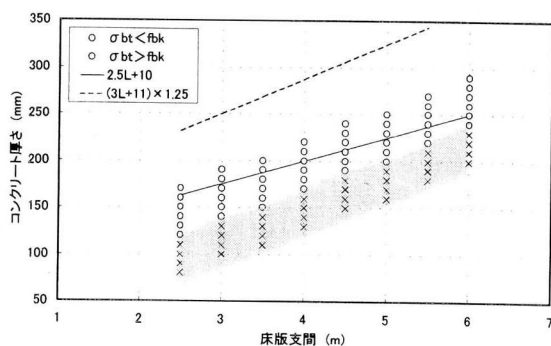


図-11 サンドイッチ合成床版の断面 (単位: mm)



(a) 設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$



(b) 設計基準強度 $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$

図-12 支間長とコンクリート厚さの関係

を把握したうえで設計基準強度を設定する必要がある。

7. まとめ

本研究では、初期ひび割れの発生が鋼板とコンクリートの一体性を妨げる等の悪影響を及ぼし、合成床版としての耐荷力低下の引き金になるとの観点から、厳密な応力算定が可能な厚板理論による試算を行った。具体的には、鋼板とコンクリートからなる合成床版の曲げ引張応力を算出し、その値がコンクリートの曲げ引張強度を上回らない、すなわち初期ひび割れが生じないコンクリート部の厚さを調べた。また、床版のたわみに着目した場合での床版厚さをも検討した。さらに、Part Bによるずれ止めのせん断力についても言及した。以下に結果をまとめる。

- (1) 曲げ引張応力と曲げ引張強度の大小関係に着目した結果、Part B に示されているコンクリートの最小厚さの算定式の値は、床版支間が短い範囲を除いては、ほぼ全般的に初期ひび割れの発生が危惧されるためコンクリート厚さが不足していることが判った。
- (2) コンクリート標準示方書による、曲げひび割れ強度を指標とした場合については、曲げ引張応力が曲げひび割れ強度を上回る床版厚さは Part B による値よりも大幅に大きくなる。合成床版の設計に際して、曲げひび割れの発生に着目する場合、曲げ引張強度 f_{bk} に着目する方がより安全側である。
- (3) たわみの制限値を $L/2000$ として制約した場合については、ヤング係数を $E_c=28\text{kN/mm}^2$ のとき Part B によるコンクリート部の厚さの値と良く一致している。しかし、曲げ引張応力と曲げ引張強度との関係を考慮すれば、コンクリートには初期ひび割れが発生すると推量される。弾性係数比を変化させた場合での、必要なコンクリート厚さは Part B よりも大きくなり、Part B での値では床版の剛性を過大に評価していることが判った。
- (4) 元来、ずれ止めはある間隔で配置されているため、鋼板とコンクリートの結合点は離散的に取り扱うことが必要であるが、本論文ではずれ止めに作用する合せん断力を、厚板理論における鋼板とコンクリートの界面に作用するせん断応力のずれ止めピッチ領

域での積分操作によって近似的に求めた。その結果、床版支間が 5m より大きくなれば Part B による設計せん断力は本計算結果よりも大きくなることが判った。

(5) サンドイッチ床版では、その剛性が高いことから Part B よりもコンクリート厚さが小さく設定でき、最小厚さである $t=15\text{cm}$ は $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$ の場合には、床版支間 $L=3.5\text{m}$ まで適用できることが判った。

一般に、合成床版のコンクリート部の最小厚さを算出する場合、Part B による算定式に基づいて設計されているが、本研究での曲げ引張応力と曲げ引張強度との大小関係や、たわみによる制限値の結果から、コンクリート版厚が不足する傾向が認められた。今後は、合成床版における初期ひび割れが疲労による影響を受けて、どのような作用を床版に及ぼすのかを把握することはきわめて重要であり、輪荷重装置下での走行実験が必要であると断言できる。

参考文献

- 1) (社) 土木学会鋼構造委員会鋼橋床版の調査研究小委員会：道路橋床版の新技术と性能照査型設計 第2分科会報告第2編 合成床版編，平成12年10月
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ 鋼橋編，平成14年
- 3) (社) 土木学会鋼構造委員会：鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物，平成9年9月
- 4) 横山広，堀川都志雄：道路橋床版の最小厚さに関する研究，構造工学論文集 vol.48A，pp.1169-1176，2002.3.
- 5) 加藤暢彦，堀川都志雄，園田恵一郎：各種工法で補強された損傷床版の輪荷重点近傍の局所応力の解析，第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，pp.61-66，1999.11.
- 6) 堀川都志雄：直行異方性厚板の弾性理論とその応用に関する研究，大阪市立大学学位請求論文，1984.5.
- 7) (社) 土木学会：コンクリート標準示方書 [2002年制定]，構造性能照査編，2002.3.
- 8) 堀川都志雄，園田恵一郎：道路橋鋼板・コンクリート合成床版のスタッドに働くせん断力の解析と実験，構造工学論文集 vol.33A，pp.299-306，1987.3.

(2002年9月13日受付)