

# 鋼橋床版の発展経緯に関する調査研究

大田 孝二

正会員 博士 (工学) ヤマト設計(株) 技師長 (〒135-0031 東京都江東区佐賀 1-1-3)

鋼橋の床版にもっとも一般的に使用されている鉄筋コンクリート床版 (RC床版) が、現在の仕様にいたるまでの経緯やそれ以前の種々の床版形式、床版構造の変遷を歴史的にたどった。同時に、床版の支持構造すなわち、鋼橋の床組がRC床版の設計に与えた影響についても調査した。また、RC床版が登場した当時の交通の状況、材料の発展・供給状態を年代的に整理することによって、RC床版の開発から発展にいたる経緯を明らかにした。さらに、最近のRC床版の損傷や少数主桁構造に用いられるPCプレキャスト床版の採用への経緯についてもとりまとめた。

*Key Words: RC slab, history of bridge slab, slab design, slab thickness, flooring of bridge, PC precast slab*

## 1. はじめに

昭和40年代から発生した鋼橋の鉄筋コンクリート床版 (以下RC床版) の損傷は、度重なる示方書の改訂によって損傷が減り、床版の設計に関しては一応の決着が見られたように考えられていた。しかし、鋼桁の合理化・経済化に伴う設計法の見直し<sup>1)</sup> やその具体的な構造として少数主桁構造が脚光を浴び、結果的に、床版の大支間化<sup>2)</sup> とそれに伴う耐久性の確保が課題となり、鋼橋の床版の設計が再び注目を浴びるようになって来ている。

この理由は、床版の大支間化を契機に従来の限られた床版支間、限られた材料で対応してきた床版の設計方法が、その方向を変更せざるを得なくなってきたからと考えられる。すなわち、大支間の床版構造として、プレストレストコンクリート床版 (PC床版) や合成構造の床版など新たな床版構造が出現し、RC床版を対象とした既存の設計法の延長では対処できず、それらの新規床版を含めた設計法を論じる必要が生じてきたためと考えられる。同時に、床版構造の大支間化につれて、床版が主構造とは別に扱える部材としての評価ではなく、橋梁主構造として挙動する事実との整合性も問われている。いわば鋼橋の床版設計法の根本的な見直しに直面しているともいえる。

本報文では、鑄鉄橋から鋼橋に至る歴史のなかで、社会の移り変わりや材料の時代的背景を辿り、RC床版がいかなる経緯・変遷によって普及し、現在の設計方法、床版支間、床版厚となったか、またRC床版の損傷やそ

の後に登場した長支間のPCプレキャスト床版の採用経緯などについても調査した。これらによって、現在の鋼橋床版設計の参考に供することを目的としている。

## 2. 橋梁の床版と時代背景<sup>3)</sup>

### (1) 概要

メタル橋 (鑄鉄、鍛鉄、鋼が部材に応じて使用された橋の意) が普及した19世紀後半から20世紀にかけては、橋梁技術が大きく発展した時期である。橋梁の規模や設計活荷重の増大化は、その基盤となる材料の発展や橋梁の構造や設計、施工方法の変革によってもたらされた部分が多い。このうち、床版はメタルの道路橋の構造に深くかかわる部材であり、床版材料、床版構造もまた、この間、とくに19世紀後半に大きく変革した。

ここではメタル橋の材料の変遷、また交通手段や道路などの時代背景についても調査を行い、メタル橋床版の材料や構造の発展経緯を明らかにする。

なお、ここで言う床版とは、通行荷重を直接あるいは舗装を介して支持し、床組を通じて主構造のしかるべき位置に荷重を伝達する面的な広がりをもつ構造部材、と定義しておく。

### (2) 18世紀の橋と床版

18世紀の後半は産業革命の始まりの時代である。1769年にワットの蒸気機関が完成し、英国では石炭の採掘に

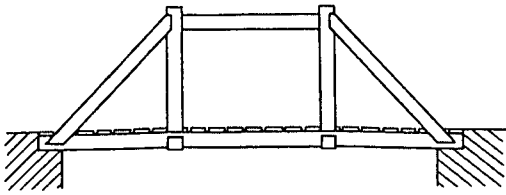


図 - 1 木製橋梁と木製床版の例

利用された。当初の蒸気機関は燃料効率が悪く、燃料である石炭が容易に入手できる採炭現場からその使用が始まったのである。英国の石炭の産地でもあったコールブルックデール地方で製鉄業を営んでいたダービー3世が鑄鉄の橋、アイアンブリッジを完成させたのが1779年である。発明直後の蒸気機関を製鉄業に取り入れたことから、同地方は産業革命の発祥の地と言われ、この橋はその象徴のように扱われている。これによって史上初の金属の橋が誕生したことになる。欧州では鑄鉄の橋梁が1800年前後まで架けられている。

それまでの橋は、石造りのアーチが多く、また、木材を用いたトラスもヨーロッパでは16世紀ごろから建設されていた。石造アーチでは床版の必要はなく、木材の橋梁には木材の板が床版に用いられた。木材の床版（木製床版）の例を図-1に示す<sup>4)</sup>。木材の耐久性を図るために、滞水を防ぎ、床版相互の隙間を開けて敷き並べている。木製床版は、軽く安価で加工し易く、材料の入手が容易な上に、ある程度の耐久性があり、床版には適した材料であった。このため、木製床版はコンクリートに床版の座を奪われるまでその後約100年間橋梁の床版の材料として一般に用いられた。現在でさえ、欧米では木製の床版が道路橋に採用されることもある。アイアンブリッジには木製床版が使用されたと考えられる。

18世紀の末に橋の材料として鑄鉄（パドル鉄ともいう）が登場する。鑄鉄の炭素分を反射炉の熱と人力でかき混ぜる（パドル）ことによって取り除き、軟らかく加工できる鉄（錬鉄）とした。固く、変形しにくく、脆い材料であった鑄鉄を、加工しやすい錬鉄に改良したのである。錬鉄の製造によって、錬鉄製のチェーンを用いた吊橋（馬車の荷重を活荷重とする）が登場<sup>5)</sup>し、19世紀初頭ごろから米国をはじめとしていくつかの吊橋が建設された。吊橋の床版としては、木床版にかわる軽い床版材料はなかったと考えられる。

### (3) 19世紀の材料革命

19世紀には石炭による高炉製鉄法が普及し、鑄鉄（鑄鉄）の大量生産が行われるようになる。鑄鉄は脆く、精錬して錬鉄にして用いることが多い。精錬に用いられるパドル炉は人力に負うところが多く、錬鉄の大量生産の

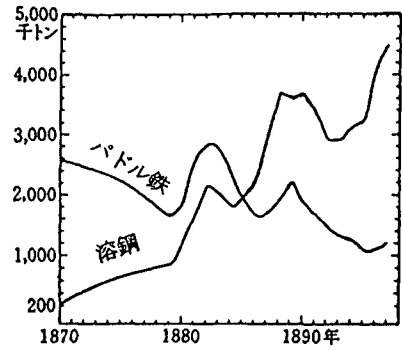


図 - 2 英国のパドル鉄（錬鉄）と鋼の生産推移<sup>6)</sup>

表 - 1 主要国の溶鋼生産高の増加<sup>6)</sup>

(単位: 千トン)

	イギリス	ドイツ	フランス	アメリカ	世界
1880年	1,320	620	390	1,270	4,300
1890	3,640	1,610	580	4,350	12,400
1900	4,900	4,820	1,560	10,690	28,300

ネックとなっていた。また、1820年代に登場した鉄道は、その便利さが評価されて急速に敷設が要求され、錬鉄製レールの量産が望まれることになる。その錬鉄も材料的には軟らかく、錬鉄製レールの摩耗は甚だしかった。より強度の高い金属、加工可能な金属の要求と、その大量生産化の要求は強かったと考えられる。

18世紀の末に脆い鑄鉄から粘りのある錬鉄に変わった鉄の製造法はこのような時代背景を受けて、19世紀の後半になって大きく進展する。鋼の大量生産である。

1856年、英国のベッセマーは転炉法による鋼の製造に成功する。また、同じ大量生産目的でパドル炉を改良したマルチンの平炉法による鋼の製造法（1864年）も開発された。しかし、転炉法、平炉法のいずれの方法でもパドル法では除去できた鋼中の燐が除去できなかった。溶鋼を得るための高温では燐が再び鋼中に溶け出してしまい、割れやすい鋼材となったのである。

1878年のトーマス法により、高温にも溶けず、燐を吸着する塩基性の炉壁が開発され、割れの生じない鋼材が製造されるようになった。以後、錬鉄に代わって鋼の大量生産が可能となり、橋梁にも鋼材が大量に使用されるようになっていく。当時の製鉄の新興国、アメリカでは工業化が積極的に進められ、製鉄業も大いに発展していた時代であったが、トーマス法の開発によって鋼の大量生産が急激に推進されることになる。パドル鉄（錬鉄）から鋼への移り変わりと、当時の主要国の溶鋼生産高を図-2、表-1に示す<sup>6)</sup>。1885年頃には鋼の生産量がパドル鉄の生産量を上回ったことがわかる。また、表-1によれば、19世紀末、米国の鋼の生産量の伸びが著しいこ

とが分かる。これにより米国では鉄橋（鍊鉄橋）に代わって鋼橋の建設が進み、また、その床版も鋼を使用した床版構造などへと改良が進むことになるが、その傾向はトーマス法が普及した 1880 年代以降に急激に推進されることになる。

コンクリート材料にも触れておく。ポルトランドセメントは 1824 年、英国人のアスブジンによって発明された<sup>6)</sup>。もちろんセメントという言葉自体がローマ時代からあったとされるほど、セメントやモルタルは古くから利用されていたが、科学的に石灰岩や粘土の焼成温度を調整する近代的なセメントの製造という意味ではこのアスブジンを起源とするようである。その後、セメント自体は強度上の発展を遂げ、1840 年代には欧州で、1870 年代には米国でセメント工場が稼働し<sup>7)</sup>、これらによってコンクリートは橋梁の建設に欠かせない材料となる。

コンクリートの利用法の開発としては、フランス人モニエが有名である。モニエは 1867 年、セメントモルタルに針金を入れた植木鉢を作ったが、これが鉄筋コンクリートの始まりとされ、1887 年ドイツ人ケーネンの鉄筋コンクリートの理論（圧縮はコンクリート、引張りは鉄筋が負担）<sup>8)</sup>の整備にともない、鉄筋コンクリートが普及していく。

19 世紀の末になって、鋼とコンクリートという、橋梁の建設に欠かせない 2 つの材料が出そろったことになり、それらがいずれも大量に製造されるという時代背景にあった。とくに、1890 年完成のフォース鉄道橋（イギリス）が象徴的である。当時まだ新材料であった鋼材に対し、許容応力度や疲労強度、構造解析などの検討を行っている<sup>9)</sup>。これらを受けてその後、鋼材が橋梁に大量に使用されることになる。

19 世紀の末ではコンクリート橋はまだ鉄筋コンクリートの技術レベルで PC（プレストレストコンクリート）の技術は 1930 年頃まで待たざるを得ない。大きな支間に対しての鋼橋の優位は揺るがない時代である。

#### (4) 交通の変革と床版

1825 年にイギリスで開通した鉄道は、馬車に比べてその便利さが評価され、ヨーロッパ、アメリカでは 19 世紀中頃から後半にかけて驚異的な勢いで敷設された。いわゆる鉄道狂時代である。橋梁の技術はそのため鉄道用橋梁が先行した。鉄道は当初開床式のため、床版はない。

19 世紀の道路は未だ馬車による交通が中心である。19 世紀後半の大都市においては、中央に鉄道（現在で言う路面電車）、レールに沿って馬車の通る道路があり、その外側に歩道を設けた都市橋梁（city bridge）が作られるようになった。この形式の橋梁では床版が必要となるが、馬車の輪荷重（軸荷重）が大きくないこともあって、木

材の床版が用いられることが多かった。木床版は腐朽し、10～20 年ごとに床版は取り替えが必要であった。

19 世紀後半では床版の材料は大半が木材であったが、主要な道路、都市橋梁では、鍊鉄や鋼材の生産増加を背景に、永久橋としての位置づけから後述するトラフ床版、バックルプレート床版など（図-6、8参照）鋼材が床版に用いられるようになっていく。

自動車が交通手段として登場するのは、19 世紀の末である。当初は蒸気機関による自動車が開発されたが、これは普及せず、ダイムラー、ベンツの内燃機関による自動車が開発されたのが 1880 年代である<sup>10)</sup>。これを契機に自動車の製造が開始される。とくに 19 世紀末のアメリカでは製鉄業の隆盛を背景に、鋼板を用いた自動車の発達も顕著であった。

1896 年フォードの 1 号車が製造された。その前年、アメリカにおける自動車の保有台数はまだ 3,700 台であったとの報告もあり<sup>11)</sup>、自動車はまだ珍しい存在であったと考えられる。自動車の登場、そしてその後のトラックの登場から、床版に作用する荷重は急に大きくなり、床版の設計の重大さが認識されたはずである。自動車の台数はその後大きく増加し、1903 年のフォード自動車会社の設立、1907 年の T 型フォードの開発と、その大量生産の開始（1913 年）<sup>11)</sup>などによって、自動車用の橋梁は大きく発展することになる。1915 年には年間 25 万台もの自動車がフォード社 1 社で生産されている<sup>10)</sup>。自動車の大量生産に合わせて道路の延長、橋梁の建設は飛躍的に伸び、同時に経済的な床版として RC 床版が普及していくことになる。

橋梁床版の設計荷重は、1920 年の文献<sup>12)</sup>では 20 トン、15 トンなどの重量のトラックを対象にしており、現在の AASHTO の H20、H15 荷重<sup>13)</sup>がすでに示され、現在と同じ輪荷重（16000 ポンドと 12000 ポンド、各々約 7.2 トン、5.4 トン）が設計仕様に用いられている。したがって鉄筋コンクリート床版が出現する 1900 年前後の道路橋は、わずかの期間で馬車の荷重から最大 20 トンのトラックの荷重へ変わったことになる。設計荷重が大きくなり、また、材料そのものも鍊鉄から鋼へと変わる橋梁技術の大変革のタイミングに床版材料として RC 床版が登場したことになる。

また、20 世紀初頭は自動車の普及にともない、道路の整備が図られ、橋梁も大量生産時代を迎える。それまでの永久橋の床版とされたトラフ床版やバックルプレート床版（後述、図-6、8参照）は橋梁に合わせた一品生産の床版であり、床版も大量生産可能な床版へと変わっていく必要があったはずである。配筋の変更のみで異なった支間にも適用可能な RC 床版は、その要求にも応える床版構造であった。

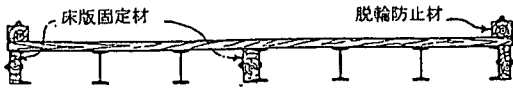


図 - 3 木製床版と床組みの例<sup>15)</sup>

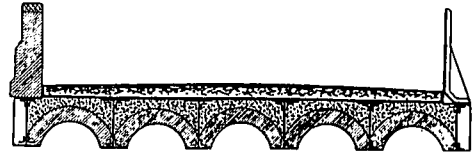


図 - 5 7-弁床版の例<sup>16)</sup>

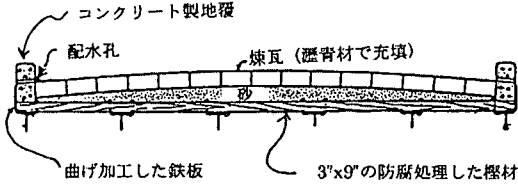


図 - 4 都市橋梁の木製床版と床組みの例<sup>15)</sup>

に固定された。(図中, " はインチの意)

木材のサイズは幅が 8~12 インチ、厚さは 3~5 インチ程度である。2 層で用いられることもあり、板の敷き並べの方向を上下で直角にして用いた。排水を考慮して板の間にはわずかなすきまを設けて使用した。防腐剤に浸して使用するが、耐久性は十分ではなく、10~20 年で腐朽し、取り替えが必要となった。

### 3. 床版の構造とその変遷

#### (1) 概要

木材の床版に代わって新しい床版が登場するのは、19 世紀の後半である。蒸気機関の鉄道が敷設され、交通革命が起こる中で、道路交通も活性化されたと考えられる。ここでは床版を支持する床組に用いられた形鋼(形鉄)の歴史と、RC 床版に至る床版の構造形式を紹介する。

#### (2) 形鋼の発展

橋梁材料としては、19 世紀から登場した形鋼(当初は鋼でなく錬鉄であるので、正確には形鉄、19 世紀末に形鋼)の発達があげられる。パドル炉のロットは小さく、大きな鉄板の製造が難しかった時代であり、大支間の橋梁では広幅の板を使わずに済むトラス構造が、より合理的である。この場合、アングル(山形鋼)やチャンネル(溝形鋼)などの形鋼をリベットやボルトで組み合わせて弦材や斜材とするなど、形鋼の利用は促進されたと考えられる。

形鋼が登場するのは 19 世紀の前半である。1819 年には山形鋼、1820 年には軌条が、1848 年には I 形鋼、溝形鋼が旺盛された<sup>14)</sup>。当初は小さいサイズであったものが、19 世紀末時点では、例えばアメリカでは I 形鋼で桁高 20 インチ(約 500mm)のものも製造されるようになった。床組みの縦桁としての使用が普及することになる。

#### (3) 19 世紀後半の橋梁床版の種類と特徴

##### a) 木製床版

木製床版はヨーロッパでも一般に用いられたが、木材の豊富なアメリカでは多用され、1900 年以前のアメリカの橋で木製床版以外の床版が用いられることは稀であった<sup>15)</sup>。

木製床版の例を図-3、4<sup>15)</sup>に示す。支持材には形鋼を用いた形式が多く、釘や、曲がりボルトで床版は支持桁

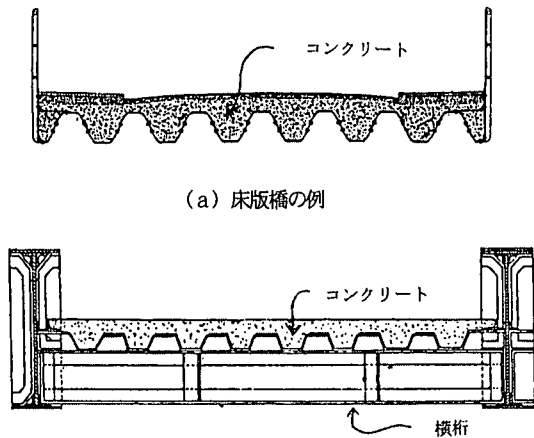
##### b) アーチ(ジャックアーチ)床版

元来アーチ床版は多層建築の耐火床として使用されてきた。建築床版は一階下から見ると天井になるが、アーチ床版というよりもアーチの天井といった方がわかりやすい。主としてヨーロッパの橋梁で用いられた。アーチの材料には煉瓦が用いられた。当時の橋梁の床版は木造であり、蒸気機関の鉄道を跨ぐ橋などでは耐火構造が必要であったと考えられる。アーチ床版の例を図-5に示す<sup>16)</sup>。アーチの軸線は図-5のように橋軸直角方向としたものや、横桁間にアーチを設ける橋軸方向としたものなど、両方が見られ、また、端部のみ橋軸直角にし、支間中央部は橋軸方向としたものなどもある。アーチ反力を取る目的で隣接桁を部材で接続する必要があった。桁の間隔は 3~6 フィートが一般的で、アーチのスパンドレル部分には初期は碎石で、後にはコンクリートで桁との間隙を満たし、その上を碎石舗装している。耐火性のあるアーチ床版はその施工性の悪さにもかかわらず、蒸気機関の通過する跨線橋などに 20 世紀になっても採用された<sup>17)</sup>。

##### c) トラフ床版

1880 年頃から出現した床版と考えられる。当初は錬鉄であったことが想像されるが、鋼が大量生産されるにつれて、鋼材に移行したと思われる。トラフ床版の例を図-6に示す。(a) 図は小規模の橋梁、とくに歩道橋に対して用いられた形式で、(b) 図は横桁でトラフを支えた構造であり、(a) よりは大支間の橋梁である<sup>18)</sup>。トラフ床版は直接主桁か横桁で支えられる構造が多いが、その肉厚などは主桁または横桁の間隔に応じた断面のトラフを選ぶことになる。普及したリンゼートラフでは鋼板の肉厚が 5~19mm<sup>19)</sup>にもなり、高価な床版であったと想像できる。

トラフ床版の特徴は、床版の簡易施工、急速施工であるが、高価な上に、経年につれ路面からの水の侵入によ



(a) 床版橋の例

(b) 横桁で支持される床版の例

図 - 6 トラフ床版の例<sup>18)</sup>

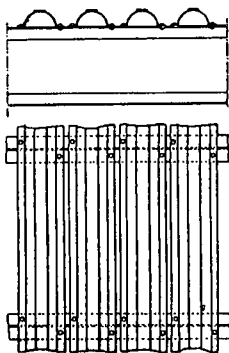


図 - 7 桶形鋼<sup>20)</sup>

る錆の問題があった。コンクリートをトラフ上に打つだけであるため、当時のコンクリート技術ではすぐにトラフ上に水が溜まり、錆の問題が生じた。ドイツでは図-7のような桶形鋼を用い、隙間を開けて排水を図り、錆に対処した床版の例が多く見られる<sup>20)</sup>。

トラフ床版は高価なこと、錆の問題などから、比較的短命で 20 世紀はじめ頃には次第に使われなくなっていく。

#### d) バックルプレート床版

バックルプレート床版は 1860 年頃、イギリスのマレーによって開発された<sup>20)</sup>。当初は建築床材への使用が対象であったが、後 (1870~1880 頃と考えられる) に橋梁への採用が中心となったようである。

製造方法としては、鉄板 (当初は錬鉄) を熱し、型を用いてプレス (バックル加工) を行って罫 (つば) のある皿形状とし、罫部分に穿孔してリベットまたはボルトによって縦桁または横桁に取り付け、その上面にコンクリートを打設して床版とした。アメリカではプレスの皿

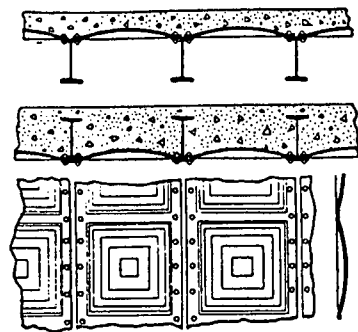


図 - 8 バックルプレートの例<sup>15)</sup>

型は 30 種類以上存在し、正方形または長方形の形で、板厚は 6~11mm、一辺が 3~5 英尺 (0.9~1.5m) 程度のもが多い<sup>21)</sup>。特徴としては軽く、丈夫で、床版厚を薄くできることから都市内の大きな橋梁に採用されることが多かった。RC床版が登場してからは採用されることは少なくなり、重交通で床版死荷重を小さく抑える場合や橋のクリアランスの関係から床版の位置を低くする必要がある場合などの特殊な橋梁に採用されるようになる。

当初はアーチ床版の影響からか、図-8のように上に凸の用い方が多かったが、後には中央に水抜き孔を空け、下に凸の用い方が増えてくる。床版からの水の侵入により支持桁が錆びるため、水を抜く必要があったこと、床版レベルをより低く抑えるための処置と考えられる。

このバックルの大きさは、支持材 (縦桁や横桁) の間隔と密接な関係があり、バックルの大きさに 10~20cm の罫 (つば) の長さを加えるとほぼ縦桁の間隔になる。バックルの最大サイズは 5 英尺 6 インチ (約 1.7m) であるが 4 英尺程度のもが多く<sup>21)</sup>、支持材間隔すなわち床版の支間は 5 英尺 (1.5m) を切るものがほとんどである。英国の文献 22) にはバックルプレートの前身である平板または曲り鋼板を用いた床版の支持材間隔は 3~5 英尺との記述がある。

バックルプレート床版の支持桁間隔の設計は、RC床版の設計に影響を及ぼしていることが考えられる。都市内の大橋梁の床版は、当初 (1880 年代)、バックルプレートで設計されることが多く、後 (1900 年代以降) にそれが RC床版に変わっていったからである。

#### e) RC床版

RC床版は、1900 年時点ではまだ新しい種類の床版であり、鉄筋価格の値下がりやコンクリートの品質の安定によって次第に普及していったものと考えられる。1900 年前後のアメリカの床版について文献 15) に紹介がなされており、ここではそれに沿って以下に RC床版に至るまでの床版の変遷経緯を辿ることにする。

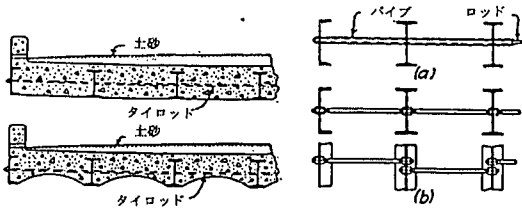


図 - 9 無筋のコンクリート床版<sup>15)</sup>

無筋コンクリートを用いる床版のタイプとしては図-9のような床版がある。コンクリートにI形鋼を埋め込むタイプであり、死荷重は大きく、経済的ではなかったことが考えられる。

バックルプレート床版と比較すると、通常の荷重ではRC床版が経済的であるが、重交通ではRC床版は非常に大きな死荷重になってしまうため、橋梁全体の経済性を考えて都市内の大橋梁にはバックルプレートが採用されたようである。

RC床版は1905年以来、一般に使われるようになった。床版用の樫の木(oak)の価格が1895年以来高騰し、同時にセメントの価格が安価となったため、1911年にはイリノイ州など材料の入手運搬の容易な地方ではRC床版が圧倒的に経済的になった。RC床版の初期の例を図-10~13に示す。図-10~12では設計荷重が図の右側に示されており、施工時のロードローラー荷重であることがわかる。現在ではトラック荷重で決まる床版の設計が、トラックが小さい時はロードローラーで決まっていたことを示している。なお、図中の'はフィート、"はインチを示し、@は配筋の中心間隔である。

配筋の方法をみると当初のRC床版の考え方を推測することができる。図-10,12,13では配筋は主筋方向だけで配筋筋は全くない。床版は一方の梁と考えられていたことがわかる。図-11,12では鉄筋は下側のみで、ハンチはなく、トラフ床版やバックルプレート床版と同様、桁上の負の曲げモーメントに対する配慮はなされていない。ちなみに縦桁で床版を受ける構造では、支持材はいずれもI形鋼でその間隔は3フィート(約90cm)程度、床版厚さは5~6インチ(13~15cm)になっている。

木製の床版の支持に形鋼を使用すると、上フランジ面が平坦であるため、木材を敷き並べる際に、表面が凸凹となるリベット桁に比べてはるかに施工性に優れる。RC床版になってもI形鋼を床組に採用する傾向は持続されたと考えられる。なぜなら、I形鋼を使用した床組では、図-14のようにハンチを設けずに、鉄筋をI形鋼上フランジに置き、型枠を上フランジ下面から当てるだけで、コンクリートを打設できた<sup>22)</sup>。リベットで板重ねをした製作桁では鉄筋の高さ位置が定まらない上に、型枠の取り外しも難しい。RC床版は施工面でも床組にI形

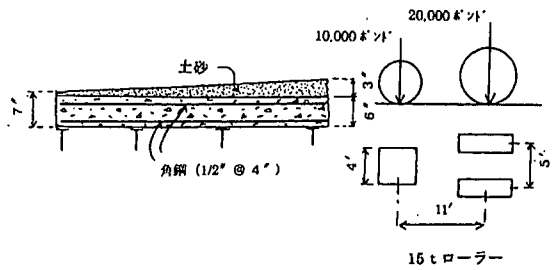


図 - 10 RC床版の例1<sup>15)</sup>

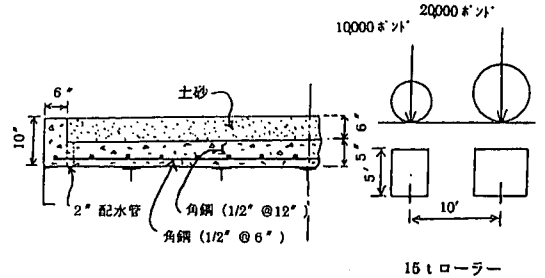


図 - 11 RC床版の例2<sup>15)</sup>

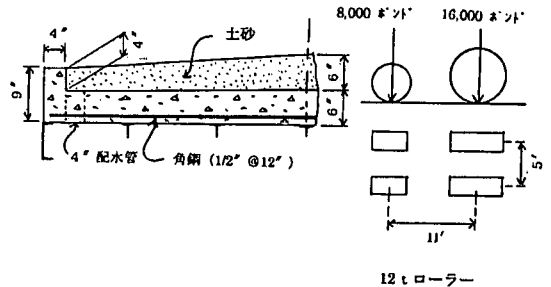


図 - 12 RC床版の例3<sup>15)</sup>

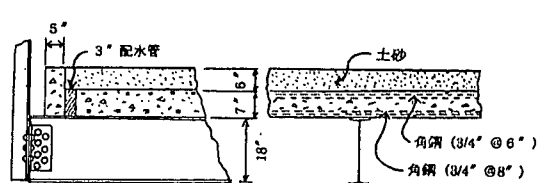


図 - 13 RC床版の例4<sup>15)</sup>

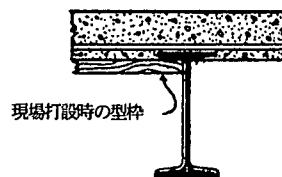


図 - 14 鉄筋の配置と型枠<sup>22)</sup>

鋼を用いることの有利性があり、木床版に I 形鋼を用いたのと同様、RC床版の支持材としても I 形鋼が継続して用いられたと考えられる。

なお、図-10~13では配筋が現在と大きく異なっているが、同年代のドイツの文献<sup>23)</sup>では現在の配筋と同様、2方向とも複筋筋、支点部で一部曲げ上げた配筋がなされており、配筋法については20世紀の初頭のドイツの方がアメリカに比べて、現在の配筋方法に近い。

#### 4. 20世紀以降のRC床版の床版厚と床版支間

##### (1) 概要

日本の道路橋の様子はアメリカに倣っている。たとえば、昭和3年(1928)の復興局街路橋設計仕様書では車両の荷重として15米国頓自動車、15米国頓転圧機、電車荷重の3つが示されており、橋梁の設計の最も基本となる活荷重がアメリカ仕様であることが分かる。衝撃係数なども米国の基準に依っている。この復興局街路橋設計仕様書はその後の日本の仕様に引き継がれており、その意味で日本の仕様はアメリカの仕様の影響が大きいと言える。

ここでは初期のアメリカで用いられたRC床版の曲げモーメントの考え方を紹介し、その後それを日本がどのように受け入れて現在に至ったか、床版厚や支間も含めてRC床版の設計の変遷を辿る。

##### (2) RC床版の設計曲げモーメントの変遷

曲げモーメントは直接床版支間や床版厚を決定する要素ではないが、その大きさによっては仮定した床版厚さに鉄筋が配置できるか否かなど、間接的には深く関連することになる。RC床版の設計曲げモーメントは、20世紀前半までは、木製床版と同じように床版を梁と仮定して計算されていた。床版のように面形状のものを梁と仮定するには梁の幅(有効幅)を定める必要があるが、その算出方法およびその後の規定の変遷を辿ってみる。

###### ①フランス公式<sup>24)</sup>

$$E = L / 3 + e$$

ここで、E；有効幅  
L；床版支間  
e；床版厚さ

この式は、1906年のフランス政府の通達中にあり、広く使われた。

###### ②Ketchumの式<sup>25)</sup>

$$E = 2(L + C) / 3$$

ここで、Cはタイヤの設地幅で例題では20インチ(50cm)が使われている。

この式はコロラド大学のKetchum教授が1920年出版の本<sup>25)</sup>のなかで示している。

###### ③復興局街路橋設計仕様書(1928)<sup>26)</sup>

関東大震災後の日本の仕様ではKetchumの式を少し変更し、有効幅Eとして以下の値が示されている。

$$E = 2(L + b) / 3 + a$$

ここで、Lは床版支間

b；タイヤ接地幅の分布長さ(=  $t_1 + 2h$ )

a；タイヤ接地長さの分布長さ(=  $t_2 + 2h$ )

$t_1$ ；舗装上のタイヤの接地幅(トラックでは15インチ約40cm)

$t_2$ ；舗装上のタイヤの接地長さ(例では8インチ, 20cm)

h；床版の上置き層(舗装)の厚さ

タイヤの接地長さを明確に評価したことになる。

###### ④鋼道路橋設計仕様書案解説(1940, 昭和15年)<sup>27)</sup>

本仕様書では、復興局の式を若干変更し、以下の形で規定されている。

$$E = 0.7L + a$$

ここで、E、Lは同上、aは荷重分布幅で現在の道示の荷重分布幅と同じ値20cm + 2d(dは舗装厚と、床版厚さの半分の和)が用いられている。実際的には、復興局の式と大差はない。

###### ⑤鋼道路橋設計示方書(1956, 昭和31年)<sup>28)</sup>

本示方書では、有効幅の考えを用いず、両縁単純支持の無限板に作用する面積荷重(上記のタイヤ接地面積への荷重分布を考慮)の条件から床版の設計曲げモーメントを求めている。この考え方は基本的には継承され、現在に至るまで変わっていない。

###### ⑥鋼道路橋設計示方書(1973, 昭和48年)<sup>29)</sup>

床版の損傷例が多く、輪位置をより正確に与えた計算を行い、曲げモーメントの値と同時に、鉄筋の許容応力を見直した。同時に配筋方向の曲げの値も規定した。

(正確には、この内容は昭和46年の通達<sup>30)</sup>に見られる)

###### ⑦床版の設計施工に関する通達(1978, 昭和53年)<sup>31)</sup>

現在の示方書の床版仕様の基礎になった通達で、最小床版厚さをもとに設計床版厚を具体的に与える方法を明記し、また、鉄筋の許容応力度をさらに引き上げた。

板に輪荷重が作用したときの曲げモーメントを求めるという考え方は1930年、イリノイ大学のWestergaard教授によって床版上に円形分布荷重を行ったときの解析解が得られている<sup>32)</sup>。日本ではこの解析の結果、設計曲げモーメントを規定したが、アメリカでは、算出結果を再び有効幅に換算し、結局、

$$E = 0.6L + 2A$$

を規定している<sup>32)</sup>。ここで、E、Lは同上、Aは載荷面積に等価な円の直径である。別の文献 33)では、Aの値として15インチ(約40cm)を用いている。この式は上記、日本の昭和15年の式とほぼ同じ値を与える。

Ketchumの式と対比すれば、Westergaardの方が有効幅の値として10~20%程度大きく、床版としては小さな曲げモーメントに対して床版を設計することになる。アメリカの現示方書であるAASHTO<sup>12)</sup>では、このWestergaardの式を採用し、現在ではこの式を基本にした設計曲げモーメントの簡易式が掲載されている。また、48年の日本の1等橋の設計曲げモーメントは、ほぼ、AASHTOの値に合致する。

### (3) RC床版の支間の変遷

#### a) 床版の荷重の変遷

19世紀末の床版は木製がほとんどで、ごく一部がバックルプレート床版など、金属とコンクリートを用いた床版であった。すでに述べたように、RC床版が登場する時期は自動車の登場と時期的に重なり、20世紀に入って自動車の発展とともに荷重は次第に大きくなっていく。すなわち、道路の設計荷重は馬車荷重からロードローラーの荷重、トラック荷重(6,10,12,15,20トなど)へと次第に大きくなった。鉄筋のピッチやサイズを選ぶだけで荷重の増大化に対応できる便利さや施工性が評価されて、RC床版が普及していったと考えられる。

#### b) 支持桁のI形鋼のサイズ

床版の材料が木材からRCに変わり、床版の強度が上がっても、床版を支える支持材が大きくならなければ床版支間は大きくできない。ここでは19世紀後半の支持材として用いられたI形鋼のサイズの変遷を調べてみた。

1870年発行の英国の文献34)では、I形鋼(正確にはI形鉄)は錬鉄製で最大サイズは15.75インチ(約400mmサイズ)となっている。その下のサイズは12インチ(300mm)、10インチ(250mm)のものが圧延されており、解説のなかでは、錬鉄板とアングル材をリベットで綴じ合わせてI断面を形成する場合に比べて形鋼を利用する方が大いに経済的であると記されている。

19世紀の末にはアメリカは世界の鉄鋼生産の中心となり(表-1参照)、形鋼製造のための投資が盛んであった頃であるが、例えば、文献35)では1896年に18インチ高さのI形鋼を新規に2種類ロールする旨のニュースが紹介されている。比較的サイズに段差がある15インチと20インチの間を埋めるためとの紹介がある。このあたりのサイズの形鋼は建築の梁材や橋梁の支持材に利用されたものと考えられる。当時の旺盛な鉄鋼需要を示すものである

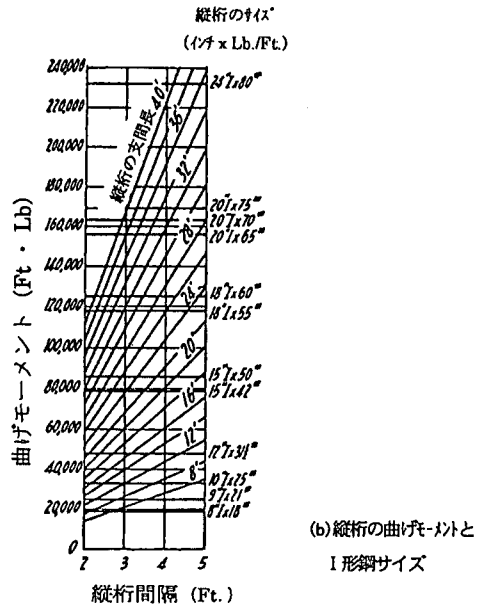
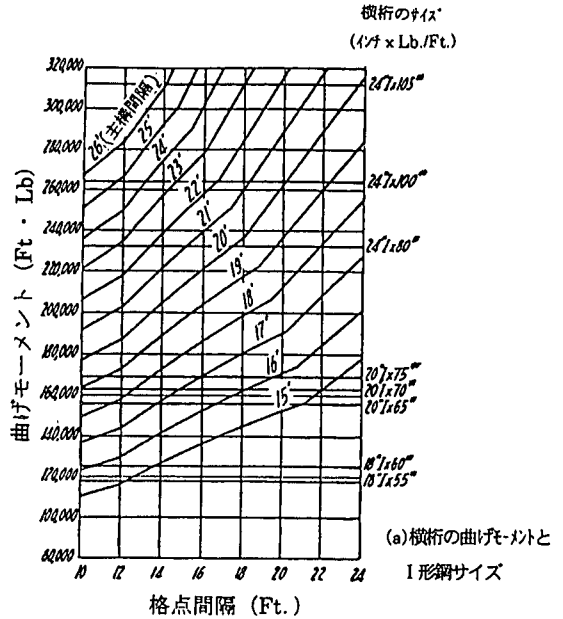


図-15 20tトラック荷重における横桁・縦桁の曲げモーメント<sup>25)</sup>  
(衝撃30%考慮)

が、同時に、橋梁や建築の大量建設への高まりが感じられる。1913年発行のアメリカの文献36)では、I形鋼を用いた桁橋 (beam bridge) の設計例が紹介されており、そのサイズはI形鋼、溝形鋼のいずれも20インチが最大で、以下18,15,12,10インチのI形鋼、溝形鋼が圧延されていることが分かる。

また、1920年のアメリカの文献<sup>25)</sup>では20tのトラック荷重(または125Lb/sq.Ft.) (ただし死荷重は100Lb/sq.Ftと仮定)での試算とその結果が図-15のように示されて



表 - 2 RC床版厚さの試算例<sup>25)</sup>

(単位:インチ)

支間 (Ft.)	連続版					
	12tトラック		15tトラック		20tトラック	
	舗装死荷重(Lb./sq.Ft.)					
	0	100	0	100	0	100
2	4.5	4.5	4.75	4.75	4.75	4.75
3	5	5	5.25	5.25	5.5	5.5
4	5.25	5.25	5.5	5.75	6	6.25
5	5.5	5.75	5.75	6	6.5	6.5
6	5.75	6	6	6.25	6.75	7

(衝撃30%考慮)

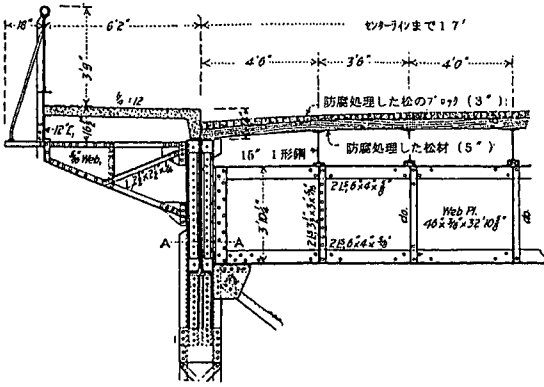


図 - 16 木床版を支持する I 形鋼の例<sup>38)</sup>

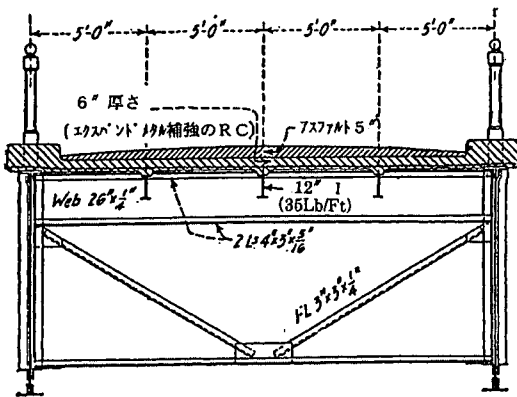


図 - 17 RC床版を支持する I 形鋼の例<sup>38)</sup>

おり、最大 24 インチ (600 サイズ) の I 形鋼がいくつか示されている。他に、I 形鋼サイズとしては、1921 年の Carnegie 製鉄のカタログ<sup>37)</sup> では最大のサイズは 27 インチ (700 サイズ) となっている。

### c) 20 世紀初頭の RC 床版の支間

20 世紀初頭、I 形鋼を床版の支持材に用いることはリベットで鋼板とアングルを綴じ合わせる製作桁に比べてはるかに経済的であった。その I 形鋼のサイズは徐々に大きくなってきており、RC 床版が建設され始めたタイミングである 1900~1910 年頃は、その I 形鋼サイズは最大 20 インチ程度であった。床版の材料が木製から RC に変わり、床版そのものの強度が高まり、I 形鋼のサイズが次第に大きくなったことから、床版の支間は大きくできるはずである。しかし、アメリカの当時の文献に残る床版支間は 5~6 フィートは見られるもののそれ以上は少なく、床組に関しては木製床版時代とさほど変わりがないうちに見受けられる。1920 年の文献<sup>25)</sup> に掲載された 20 トトラック荷重のトラスの床組に関する試設計結果 (図-15) では、その縦桁間隔は 2~5 フィート (0.6~1.5

m) (同図の b 図)、また、横桁間隔は 10~24 フィート (3~7.2m) (同図 a 図) と設定されている。この試算は横桁に I 形鋼を用いることを前提とした試算ではあるが、縦桁間隔が 5 フィートまでしか考慮されていないことは、当時の設計思想として縦桁の間隔、すなわち床版支間をその程度と見ていた証左といえる。

木製床版の例と RC 床版 (エキスパンドメタルを使用) の例を図-16,17<sup>38)</sup> に示す。いずれも比較的小さな I 形鋼を縦桁に使用している。床版支間はそれ以前の木製床版、アーチ床版、バックルプレート床版のいずれにおいてもその支間は 5 フィート程度で設計されてきている。床版の設計荷重が増加するなかで、床版の支持材の間隔に関してはかなり保守的な設計を継続してきたといえる。

したがって、20 世紀初頭の RC 床版の支間の変遷についてまとめると、以下ようになる。

木製の床版では、床版の材質自体の強度が大きいわけではないために、設計荷重が馬車などのさほど大きくない場合で床版支間はせいぜい 5 フィート (約 1.5m) であった。自動車の荷重が登場し、木製の床版は 3 インチ厚さの板を 2 層、向きを変えて敷くなどの補強をしたが、その支間は相変わらず 5 フィート程度とした。荷重が自動車やトラックに変化し、床版にかかる荷重の増加につれて、材料は木材から RC に変わったが、支持材の間隔は変わらず、従来の寸法を引き継いだことになる。結果としてアーチ床版やバックルプレートの支持材間隔などと同じ間隔を守ったことになる。すなわち、荷重の増大化への対応として、床版の支間は変わらず、床版の材料 (木材から RC)、支持材サイズの大型化で対応したといえる。

### (4) 床版厚さ

基本的には床版は主構への負担を少なくするため軽いが望まれており、薄い床版厚、軽い床組み構造が指向された。

床版の設計にあたっては、床版支間と荷重から設計曲げモーメントを求め、次に床版厚を選び配筋を決めるこ

とになる。床版厚さを薄く設定すれば鉄筋を多く入れることになり、厚く設定すれば鉄筋が少なくなる。床版死荷重を軽くするためには薄くすることが望まれるが、新しい材料であるコンクリートの品質に対する不安もあったと考えられる。縦桁で床版を支持する初期のRC床版の例(図-11~13)では、床版厚は5~6インチと示されている。これらは、設計荷重がロードローラーであることから、RCのごく初期の設計例と考えられる。1920年発行の文献<sup>25)</sup>では設計荷重はトラック荷重となっており、その場合のRC床版の厚さを表-2に掲げておく。これによると連続版では床版支間が5~6フィート程度のものに対して6~7インチ程度の床版厚さが採用されることが分かる。

馬車交通の床版であった木製床版は自動車交通では2層の床版(上側は舗装扱い)とすることも多く、その版のサイズは1層3インチ、合計で6インチ(約15cm)のものが多く見受けられる。初期のRC床版の厚さについても6インチが多くなったことについてはこの使い慣れた木製床版の厚さが影響を及ぼした可能性がある。実験などでRC床版の強度を確かめたにちがいないが、現場打設での品質に対する不安感はある程度存在したことが推測できる。現場施工時の品質を考慮しても、木材よりは強い材料という感覚で同じ厚さの鉄筋コンクリートを用いた可能性も考えられる。

### (5) その後のアメリカのRC床版の支間と床版厚さ

1936年の文献<sup>39)</sup>ではRC床版の床版厚さは5インチ以上で支持材の支持間隔7フィートをインチにした厚さが用いられたとある。すなわち、床版厚は床版支間の12分の1ということになる。1957年の文献<sup>27)</sup>では床版支間7.5フィート(2.25m)のRC床版に対し、床版厚7.25インチ(18.4cm、ハンチ付き)の床版が縦桁に支持されるタイプの典型的な床版として紹介されている。RC床版が普及し、その強度や設計施工に安心感が広がり、次第に床版支間も大きくなり、それにつれて床版厚も幾分か大きくなったことが考えられる。

### (6) 日本のRC床版

日本で鋼橋が積極的に建設されたのは関東大震災直後と第二次世界大戦直後であると言われている。この2つの時期におけるRC床版の照査を行ってみる。文献としては昭和3年(1928年)の復興局街路橋設計仕様書<sup>26)</sup>(以下Aと記載)と昭和31年(1956年)の日本道路協会発行の鋼道路橋設計示方書<sup>28)</sup>(以下Bと記載)を参照している。

なお、復興局の仕様書はフィートポンド単位、31年の示方書はメートル法で記載されている。

#### ① 輪荷重

Aは12,000ポンド(約5.45t)

Bは一等橋 8.0t、二等橋 5.6t

#### ② 衝撃係数

Aは  $i=150/(L+300)$  (Lはフィート単位の支間長)

Bは  $i=20/(50+L)$  (Lはメートル単位の支間長)

注) Bでは曲げモーメントの値が掲載されているが、衝撃の影響を別途考慮する必要がある。

#### ③ 床版設計の前提

Aは一方向板として荷重の分布と有効幅の計算式を与えており、梁として計算している。

Bは一方向板、二方向板の双方に対し、等方性板として曲げモーメントを与えている。

#### ④ 床版厚さ

Aは床版有効高さの規定として、支点の自由なとき(単純版)で支間の1/25、床版の連続している時は1/30、最小値は3インチ(7.5cm)とかなり薄い値が規定されている。例として添付された図では床版厚の記入ははないが、スケールアップでは6~7インチ(15~18cm)。Bは最小有効厚さとして11cmが条文で記載、解説には最小全厚14cmが記載されている。

#### ⑤ 床版支間

Aには規定はないが、例として掲載されている図では8フィートの間隔で配置された大きな桁の間にI-200の小梁が中央にあり、結果として床版支間は4フィート(約1.2m)となる。

Bは曲げモーメントを与える式の中で $L \leq 4m$ が記述されているが、解説に $L > 4m$ は通常の橋では無いとされている。

以上をまとめると、AとBの異なるところは、Aは床版の計算を梁として計算しているのに比べ、Bは板として計算し、設計曲げモーメントを示している。また、床版の最小全厚14cmを示している。床版支間はいずれの仕様にも明確には規定されていないが、設計例などからAでは1.2mが例示されている。Bではアメリカの傾向と同じで、Aに比べてより大きな支間(但し4m以下)の床版支間が想定されていることがわかる。

これらからいえることは、床版設計に関する思想上の変革はなく、解析方法の発展による梁から板への移行、材料の発展による許容応力の増大(Aでは鉄筋の許容引張り応力度は16,000psi、約1125kg/cm<sup>2</sup>、コンクリートの許容圧縮曲げ応力度が600psi、約42kg/cm<sup>2</sup>であるが、Bでは鉄筋の許容引張り応力度は1300kg/cm<sup>2</sup>、コンクリートの許容圧縮応力度が70kg/cm<sup>2</sup>である)などによる仕様変更であるといえる。とくにAでは設計例示で、床版支間は1.2mであるのに、Bでは4mまでに大きくなっている。

要約すれば、日本の床版の設計はアメリカの床版設計を引き継いだ形で、支持桁の本数が多く、薄い床版厚の

床版となっているが、その後、材料の発展などもあり、より合理的、より経済的な床版を指向したことが考えられ、計算上許容値を満足するものを追求した結果、床版厚はより薄く、床版支間はより大きくなってきていることが分かる。

### (7) 日本の床版の損傷とその対応

日本で鋼橋のRC床版の損傷が生じ始めるのは昭和30年代後半から40年代前半に建設された橋梁の床版が多いといわれている。上記31年の示方書の内容と殆ど変わらない昭和39年の鋼道路橋示方書が問題を抱えていたとされている。床版の損傷の原因は、過積載の荷重、大型車台数の増加などの荷重要因、昭和40年頃の経済設計（鋼桁の設計に可能な限り薄い鋼板を使用）によりたわみやすい橋梁が増えたことなどの設計要因のほかに、コンクリート施工法の変化（砕石の使用、ポンプ打設への変更）などが合わさったことが挙げられている<sup>40)</sup>。

すなわち、日本ではRC床版に対し、その材料品質の改善や解析法の進歩を背景に経済性を追求した結果、床版の余裕耐力が減じられ、過積載や施工不良などで損傷が生じたように考えられる。

昭和40年代から、床版の設計はその配筋法、許容応力度、床版厚などの見直しが行われ、以後4半世紀でその設計は大きく変わってきている。具体的に記せば、鋼桁のたわみ制限は昭和15年の示方書で一旦緩和された経緯<sup>41)</sup>があるが、48年の示方書ではこれを再度見直し、桁の支間が小さいRC床版の鋼桁では、たわみの制限を厳しくすることになった。また、何回かの示方書の改訂を通じて、床版厚さはより厚く、床版支間は小さく、鉄筋の許容応力度を低く抑え、配力鉄筋量の割合を大きく増やして、床版の耐久性を高める方向に変更を繰り返してきている。さらに、平成6年の示方書からは、荷重体系が見直され、輪荷重が大きく設定されたこともあり、床版支間が2.5mよりも大きくなったときには、設計曲げモーメントを割り増し規定となっている。結果として床版の耐久性は増したが、床版死荷重は大きくなり、鋼橋の経済性を弱める方向の仕様となっていく。

### (8) 鋼橋の経済化と床版

1990年代になって、日本の公共事業を取り巻く環境が変わり、鋼橋をより経済的なものとする設計法が期待された。円高の影響もあって、日本の公共事業の代表と位置づけられる橋梁が、欧米に比して高価であるとの批判もあり、より経済的な鋼橋が要求されたからである。

ちょうど欧州、とくに、フランスでは海洋構造物の需要が一巡し、鋼構造技術者が道路橋に目を向け始め、あらたな構造を模索した。おりから、ユーロトンネルの工事でも進捗し、ヨーロッパ大陸での新たな高速道路網計画

を推進するタイミングであった。鉄鋼メーカーの新たな戦略であるLPプレート（テーバプレート）等の橋梁用鋼材が流通するようになったのもこの頃であった。結果として、コンクリート構造が中心であったフランスでは新たな鋼構造、新たな鋼とコンクリートの複合構造が提案、実施され、従来のPC橋に対する経済性が注目された。

これらによって、フランスの橋梁分野における鋼の使用実績も80年代から大きく伸び、その使用形態が日本で注目された。注目されたおもな構造を挙げると、折れ板ウェブのPC橋（外ケーブル構造）、トラスウェブのPC橋（同）<sup>42)</sup>、LPプレート使用の2主桁橋などである。日本ではこれらの新構造を対象に、実験や解析を経て構造上の検討を行ったうえで、採用、実施してきている。

これらのうち、2主桁の桁構造に対し、日本の床版仕様書通りに適用することは無理があった。床版支間が大きいこともあって、RC床版の仕様書の規定外であったからである。

現在、床版支間の大きい少数主桁構造の鋼橋に対してPCプレキャスト床版や底板を有する合成床版などが採用されている。その理由は、床版支間が大きいためにRC床版の従来規定の延長では、その床版厚が大きくなりすぎてしまうことや、そのために現場打ち施工が難しいこと、また、RC床版に比較すれば十分に薄く、軽いPC床版や合成床版が、実態を最も忠実に再現できる輪荷重移動載荷試験で十分な耐久性を持つことが判明したからである。

フランスやドイツでは床版としてPC、RCにかかわらず、現場打ちの床版が採用されることが多く、プレキャストの床版を用いることはごく稀である。文献<sup>43)</sup>にはいくつかプレキャストの例が挙げられているが、いずれも日本のPCプレキャスト床版とは大きく異なっている。日本のプレキャスト床版は、パネル間の継ぎ手部分がRC構造となり、その部分から水が入る可能性など不安要因も指摘されているが、既に数度の施工を経て、また、防水層との併用を条件に大支間床版の代表的な床版構造として認知されてきている。また、底鋼板を型枠代わりとする合成床版などについても大支間に対して実験や検討がなされ、その実績が現れてきている。

床版支間が大きい主桁構造が出現し、同時に床版の耐久性が調査できる大型の輪荷重移動載荷試験が可能になったことで、新規床版の開発が盛んである。床版が厚く、大きくなり、桁が少数になれば、相対的に床版のもつ役割が大きくなり、床版は従来のように主桁の上に乗った主構の役割を持たない単なる床版ではなく、主構の一部となり、同時に車両の通行を確保する部材と評価されることになる。床版の桁作用の評価や荷重分配作用の評価などが最近話題となっているが、これらはすでにその作用は認められていながら、床版の損傷が生じるという理

由で深く検討されてこなかったという経緯がある。大支間の床版が十分な耐久性を持ち、桁作用、分配作用などの評価が定まれば、床版の桁作用、合成作用によって日本の鋼橋の経済化もより推進されることが予想される。

## 5. 床版の歴史から見た現在の床版の課題

アメリカにおける鋼橋の床版の歴史を振り返ると、床版は自動車が登場する段階で木製からRC床版に変わってきたのであるが、床版支間は木製の支間に合わせた大きさが採用されてきた。縦桁にはその経済性、施工性から形鋼を用いる設計が踏襲された。形鋼のサイズが大きくなり、床版支間を大きくとることができるようになった時代においても、床版支間を大きくする設計を行ってこなかった。

アメリカでは路面の凍結防止剤を原因とする床版損傷が生じており<sup>44)</sup>、また、日本でも上述した床版の損傷が相次いだという事実があり、おそらく、その維持補修の対応から床版の支間を大きくする発想は生じなかったことが考えられる。

したがって、少数主桁構造のように床版支間を大きく、床版を厚くするという発想は、歴史を見る限り、アメリカ、日本では存在しなかったことになる。最近の欧州の動きに影響を受けた床版の大支間化、床版厚の増大化は、その意味で我が国では初めて経験する設計、初めての技術課題ということになる。

今回の調査で分かったことは、橋梁技術は過去も現在も、その時々における材料の品質や技術（設計や解析、施工も含む）のレベル、交通手段、社会の要請などを反映しているという事実である。現在の我々は、過去の多くの経験、現在の優れた材質や優れた技術などを背景に、新たな床版構造、さらにはその床版構造を基にした新たな鋼橋を積極的に検討して行かねばならない。それらを踏まえ、供用時の課題、維持上の問題点などを解決することによって新たな確固たる橋梁技術を築き上げることを期待したい。

## 6. おわりに

RC床版の歴史上の変遷を辿ることによって、床版支間や床版厚がどのように決められてきたかを明らかにした積もりである。また、これらを通じて、過去に問題となったRC床版の損傷や最近話題になっている大支間床版の位置づけがより明確になったのではないかと考える。

すでに得られている経験、また、解析や実験などのあらゆる方法を用いて、床版の役割を検証することによ

て、新しい橋梁技術の確立を願うものである。

なお、本文をまとめるに当たって、東京大学藤野陽三教授には、多くのご指摘、ご意見を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 建設省：鋼道路橋設計ガイドライン（案）、1995。
- 2) 高橋昭一、志村勉、橋吉宏、小西哲二：PC床版2主桁橋ホロナイ橋の設計および解析・試験検討、橋梁と基礎、Vol.30, No.2, pp. 14~18, 1998。
- 3) 大田孝二：学位論文、大支間I形鋼格子床版の疲労特性に関する研究、p.11~38, 1999。
- 4) ベルト ハイニンリッヒ：橋の文化史、鹿島出版会、p.256, 1991。
- 5) 川田忠樹：吊橋の文化史、技報堂出版、pp. 83~100, 1983。
- 6) 中沢慶人：鋼の時代、岩波新書、p.140, 1964。
- 7) 合田良美：土木と文明、鹿島出版会、p.228, 1996。
- 8) 田村浩一、近藤時夫：コンクリートの歴史、山海堂、p.3, 1980。
- 9) ローランド・バックストン編：フォース橋の100年、土木学会、p.49~50, 1992。
- 10) ラルフ・スタイン：大発明の歴史、小学館、pp.153~157, 1980。
- 11) 中山秀太郎：技術史入門、オーム社、pp.159~162, 1979。
- 12) Ketchum, M.S.: *The Design of Highway Bridges of Steel, Timber and Concrete*, Second Ed., McGraw-Hill, Book Company Inc. p.129, 1920。
- 13) American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc.: *Standard Specification for Highway Bridges*, 1992. (15th Ed.)
- 14) 鍵山正則：炭素鋼形鋼、日本鉄鋼全書第4巻、鉄鋼と金属社、p.18, 1965。
- 15) Merriman, M. and Jacoby, H.S.: *A Text Book on Roofs and Bridges, Part III, Bridge Design*, John Wiley & Sons, Inc., pp.312~321, 1920。
- 16) Bird, H.H.: *The Practical Design of Plate Girder Bridges*, Charles Griffin & Co.Ltd., p.20, 1920。
- 17) 成瀬輝男：鋼橋前史、橋床技術小史、カラム、No.100, pp.60~61, 1986。
- 18) Usborn, P.O.G.: *The Design of Simple Steel Bridges*, Constable & Co.Ltd., p.245, 1920。
- 19) S. Anglin, C.E.: *The Design of Structure*, Charles Griffin & Company, p.435, 1891。
- 20) Melan, J.: *Der Brücken*, Franz Deuticke, p.125~130, 1914。
- 21) Carnegie Steel Company: *Pocket Companion*, pp.312~321, 1921。
- 22) Leliavsky, S.: *Arches and Short Span Bridges*, Chapman and Hall Ltd., p.104, 1982。

- 23) Melan, J. : *Der Brücken*, Franz Deuticke, pp.143, 144, 1914.
- 24) Leliavsky, S. : *Arches and Short Span Bridges*, Chapman and Hall Ltd., pp.91~94, 1982.
- 25) Ketchum, M.S. : *The Design of Highway Bridges of Steel, Timber and Concrete*, Second Ed., McGraw-Hill, Book Company Inc., p.153, p.144, 1920.
- 26) 東京市 : 復興局街路橋設計仕様書, pp. 3~13, 1928.
- 27) 日本道路技術協会 : 鋼道路橋設計仕様書案解説編, pp.54~73, 1940.
- 28) 日本道路協会 : 道路橋設計示方書, 鋼道路橋製作示方書解説, pp. 32~44, 1956.
- 29) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説 共通編, 鋼橋編 1973.
- 30) 建設省 : 道路局長通達, 鋼道路橋鉄筋コンクリート床版の設計について, 1971.
- 31) 建設省 : 都市局街路課長・道路局企画課長通達, 道路橋鉄筋コンクリート床版の設計施工について, 1978.
- 32) Westergaard, H.M. : *Computation of Stresses in Bridge Slabs due to Wheel Loads*, Public Roads, Vol.11, No.1, March, pp.1 ~23, 1930.
- 33) Abbett, R.W. : *American Civil Engineering Practice*, Vol.3, John Wiley New York, 1957.
- 34) Humber, W. : *A Complete Treatise on Cast and Wrought Iron Bridge Construction*, Lookwood and Company, p.144, 1870.
- 35) *Engineering News*, Vol.35, No.17, April.23. p.279, 1896.
- 36) Merriman, M., and Jacoby, H.S. : *A Text Book on Roofs and Bridges*, Part III, Bridge Design, John Wiley & Sons, Inc., p.323, 1913.
- 37) Carnegie Steel Company : *Pocket Companion*, pp.152~153, 1921.
- 38) Ketchum, M.S. : *The Design of Highway Bridges of Steel, Timber and Concrete*, Second Ed., McGraw-Hill, Book Company Inc. p.131~132, 1914.
- 39) Grinter, L.E. : *Engineering Science Series, Theory of Modern Steel Structure*, Macmillan, New York, 1936.
- 40) 阪神高速道路公団・阪神高速道路管理技術センター : 路橋 RC床版のひび割れ損傷と耐久性, pp. 5~6, pp. 203~204, 1991.
- 41) 日本道路技術協会 : 鋼道路橋設計仕様書案解説編, pp.96~97, 1940.
- 42) 日本道路公団 技術部 : 橋梁の技術開発, 1998.9.
- 43) Brozzetti, J. : Design development of steel-concrete composite bridges in France, *Staubou* 68, Heft 11, pp.899~907, 1999.
- 44) 大田孝二 : 海外文献報告—米国における鉄筋コンクリート床版の塩害対処法, 橋梁と基礎, Vol.12, No.12, pp.46~47, 1978.

(1999. 8. 16 受付)

## INVESTIGATIONS ON HISTORICAL DEVELOPMENT OF STEEL BRIDGE SLABS

Koji OHTA

Reinforced concrete(RC) slabs which are now widely prevailed as the slabs of steel bridges, are historically investigated how and why they have developed. Namely, the various types of slabs applied for the steel bridges before RC slabs are surveyed to show that they had influences on the design of RC slabs such as the thickness and the span of the slab. And the bridge-flooring structures to support the slabs are also studied how they affected the design of the RC slab. At the same time, the traffic development and the material supplying conditions are also studied to make clear the the background of development of the RC slabs.