

道路橋鋼合成桁の歴史的調査*

A Historical Study on the Development of Steel Composite Road Bridges

五十畑 弘** 綿引 透*** 榛澤 芳雄****

By Hiroshi ISOHATA, Toru WATABIKI and Yoshio HANZAWA

ABSTRACT

Composite bridge which had been developed in western countries was introduced to Japan after the Second World War. Bridges in composite construction were sharply increased and reached the peak in 1970's.

The first standard specification for composite road bridges was also established in the 1960's. After the beginning of the 1980's onward, composite bridges had lost popularity because of frequent failures of reinforced concrete slabs due to increasing traffic load and now, composite bridge has been a minor solution for bridge construction. In this paper the development of composite road bridges both in western countries and Japan are clarified to examine one of the characteristics of Japanese bridge technologies.

【Keywords: Bridge History, Steel Road Bridge, Composite Bridge, Prestress】

1. はじめに

鋼・コンクリート合成桁は、欧米において今世紀初頭から第2次大戦前までに実用化され、1940年代から戦後にかけてドイツ、スイス、アメリカなどで開発が進み、基準類の整備が行われた。その後、建設実績も増加して、継続的な開発が行われ、中小の橋梁形式として定着をした。欧米では合成桁は、斜張橋の補剛桁などにも採用されるように、ごく一般的な橋梁構造として今日に至っている。

これに対して戦後始まったわが国の合成桁の技術の発展は、欧米とは異なった変遷をたどった。戦後数年の内に、主としてドイツの影響を受けながら導入された合成桁は、溶接構造や格子桁などの採用と伴に、1955年前後より経済性の優れる新工法として急速に普及が始まった。1970年代末には建設件数で

主要鋼橋の40%以上にのぼる、年間300橋を超える程急速に一般的な工法となった(注1)。しかし、盛んに合成桁が建設された期間は、比較的短かった。施工法が煩雑であることや、交通量の増加に伴って床版の破損例ができたことを理由とし(注2)、その後、採用例は急速に減少した。とりわけ連続合成桁の施工は、1980年代以降ほとんど皆無となった。

今日のわが国において合成桁は、工法選択で優先順位のあまり高くない工法として評価されるに至っている。しかし、1990年代半ば以降ごく最近では、欧米での鋼橋構造の合理化の動きや、合成桁の評価の影響から、鋼橋省力化の一環として再び合成構造の見直しの機運も始めている。合成桁は、欧米から導入した技術であるが、欧米とわが国では、その変遷はかなり対照的であり、この違いを通じて欧米とわが国の鋼橋技術の相違をみることができる。

本論文では、欧米における合成桁の発展の過程について述べ、この技術を導入しつつ発展を開始したわが国の合成桁の変遷を明らかにする。この結果をもとに両者を対比、考察することにより、わが国の橋梁技術の特徴の一端を明らかにする。

* Keywords: 橋梁史、鋼道路橋、合成桁、リスト

** 正会員、工博、NKK (〒100, 東京都千代田区丸の内, 1-1-2, TEL 03-3217-2764)

*** 正会員、工修、欧州NKK (London, UK)

**** 正会員、工博、日本大学理工学部教授

なお、本文では、特に断らない限り合成桁とは、鋼・コンクリート合成桁を言う。

2. 欧米における合成桁の発展

2. 1 合成桁の変遷 (表.1参照)

鋼とコンクリートを組み合わせて用いる考えは、19世紀後半にその端緒をみることができる。鉄の梁をコンクリートや煉瓦で被覆して用いたものがその始まりで、コンクリートや煉瓦は構造材ではなく耐火材としてのみ使用された (注3)。その後、1920年代になって、イギリスやカナダでは、コンクリートと鉄の相互作用を確認する実験的研究が行われた

(注4)。これらの研究によって1930年代までには、合成効果、ジベルの必要性、コンクリートが引張力を受ける負曲げを受けた場合の挙動など、合成構造の基本的な事柄が確認された。

合成桁の建設は、これらの研究と平行して、1920年代初めから1940年頃まで、欧米の各地で行われたが、とくに注目すべきことは、オーストラリアのタスマニアで、1930年から40年の間に道路橋合成桁が盛んに施工されたことと、その一連の合成桁の建設に関するKnights の論文が発表されたことである。

タスマニアで施工された合成桁は、スパン18.6mで、高さ60cmと25cmのH型鋼を組み合わせた、桁高85cmの鋼桁と、厚さ8cmの床版コンクリートにより構成されている。ジベルには、フック付きの鉄筋をフランジ面に対して45° 傾斜させて取り付けけた構造であった。

Knights の論文では、ジベルの設計方法、主桁の仮支持による上げ越しでプレストレスを導入する方法、死活荷重合成方法、橋軸直角方向のモーメントの分布と有効幅などが議論されており、これ以後の合成桁の設計に関する基本的な事項がほぼ含まれている (注5)。戦後、基準類の整備が進むと共に、欧州において、合成桁は中小スパンでは経済性のある構造形式との認識が定着した。しかし、その位置づけは、鉄筋コンクリート構造、プレストレストコンクリート構造とのその時々相対的な評価で変化してきた。イギリスを例にとれば、1960年代まで合成桁は、圧倒的に経済性の優れた構造とされてきたが、1970年代に入ると、70年代初頭に連続して起こった鋼箱桁の落橋事故の影響から、鋼橋の対コンクリ

ト橋の劣勢のもとに、合成桁の評価は高くはなかった。しかし、1980年代に入ってコンクリート橋のアルカリ骨材反応、塩害によるコンクリート橋の損傷例の報告が多くなると、立場は逆転しこの影響は今日に続いている。フランスにおいても、この傾向は同様である。1975年には100m以下のスパンでは、合成桁のシェアは件数で、わずか2.5%であったが、1991年には20% 近くに達した (図. 1)。今日では、スパン60m ~80m では、道路橋、鉄道橋を問わず、合成構造が最も競争力のある橋梁構造となっている¹⁾。



図. 1 フランスにおける合成桁建設比率
(1977-1992 の件数比率) (注6)

2. 2 基準類の整備

欧米における合成桁の建設は、基準の制定を待たずに盛んに行われ、示方書の整備は、戦後になってからである。第2次大戦中から合成桁の研究が進められていたドイツでは、戦後になって、死活荷重合成桁であるスパン16.5mのAgger brückeが、1947年に施工された。この後、1950年に、道路橋合成桁設計暫定基準が公表され、さらに3年後の1953年には、道路橋合成桁設計基準DIN 1078²⁾が制定された。

アメリカでは、1949年にAASHTOの道路橋示方書³⁾が制定され、この中でコンクリート床版の主桁作用の有効幅や、応力計算、ジベルの間隔などの合成桁に関する規定が盛り込まれた。イギリスでは、1967年に、BSのCP 117, Part2⁴⁾に、合成桁の基準が制定されて、1976年に、単純合成桁のデザインマニュアルとして、Simply supported composite plate girder highway bridge⁵⁾が発刊された。また、

1978年に、BS 5400 のPart5 へ、合成桁の規定が盛り込まれた。

フランスでは、最近ほとんど標準的な構造となっている2 主桁合成橋梁に関する指針として、Guide de conception des ponts mixtes acier-beton bipoutresが、1985年に制定された。

ヨーロッパ統一の基準の Eurocode における合成構造の扱いは、1983年にCommon unified rules for different types of construction and material が制定され、この中で合成構造の設計法として、限界状態設計法の考えが示された⁶⁾。

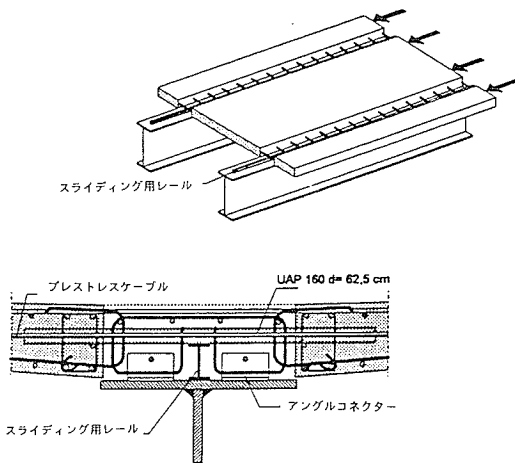


図. 2 連続打設による床版送出し工法 (注7)

2. 3 床版コンクリートの構造

1950年代までは、床版コンクリートは、ほとんどが場所打ち施工であったが、1960年代に入ってプレキャスト床版が、スイス、フランスを始めとしたヨーロッパで使用されるようになった。初期のプレキャスト床版の施工は、鋼フランジの上面にモルタルベッドを敷き、その上に設置する方法で、ジベルの箇所は箱抜きされ、後でモルタルが充填された⁷⁾。ドイツでは、床版にあらかじめスタッドを取り付けたフランジ幅より大きい鋼板を一体にして、プレキャストする方法が試みられた。すべてのプレキャスト版を鋼桁上に敷きつめ、プレストレス導入後、埋め込まれた床版側の鋼板と、主桁上フランジを溶接して一体化された⁸⁾。

1970年代以降今日まで、ドイツおよび、スイス東

部、オーストリアなどでは、プレキャスト床版が余り施工されなくなったのに対し、フランスでは依然としてかなりの施工例があるように、プレキャスト床版に対する評価は分かれている。ドイツなどでのプレキャスト床版の減少は、継手部等のクラックの発生に対する考え方によるものである（注8）。

フランスでは、大断面2主桁などの合成桁の施工の場合、プレキャスト床版に代わる方法として、sliding ribbon (ripage; 仏) という連続打設による、床版の送り出し施工方法も用いられるようになった（図.2）。この場合、ジベルの箇所は、箱抜きされ、全ての床版コンクリートが押し出された後に、スタッドが溶植されてモルタル充填される⁹⁾。

表. 1 欧米における合成桁の変遷

年	主要な出来事
19世紀	コンクリートを耐火材として鉄桁と組み合わせて使用。
1920s	イギリス：NPL(National Physical Laboratory)で、コンクリートと鋼の相互作用に関する研究。 カナダ：合成桁の試験研究（負曲げ対策、振動実験）。
1930s ~1940s	タスマニアでの連続的な合成桁の施工。（スパン：18.6m）
1934	オーストラリア：ナイツの一連の合成桁研究。 "Design and Construction of Composite Slab and Girder Bridges"
1941	ドイツ：ライプニッツの合成桁研究（Bautechnik 19, 1941）
1947	スイス：ロスの合成桁研究（Bericht Nr. 149, Zürich, 1944）
"	ドイツ：死活荷重合成桁, Agger Brücke (l=16.5m)施工。
1948	アメリカ：シーズのジベル実験（ASCE, 1948）
1949	アメリカ：AASHTOの道路橋示方書に合成桁の規定。
"	ドイツ：デシゲルにより桁に鋼棒、鋼線の緊張でプレストレス導入法が開発。（Der Bauingenieur, no.11, 1949）
1950	ドイツ：道路橋合成桁設計暫定基準制定。
"	ドイツ：グラフのジベル実験（B.I., Hert 8, 1950）
1953	ドイツ：道路橋合成桁設計基準DIN1078 および解説を制定。
1960~	スイス、フランスで床版プレキャスト化。
1967	イギリス：BS, CP117, Part2に合成桁の基準を制定。
1970~	（鋼箱桁の落橋事故多発、メリン委員会報告） ドイツ、東スイス、オーストリアでプレキャスト床版減少。
1976	イギリス：単純合成桁マニュアルを策定。,"Simply supported composite plate girder highway bridge", Constrado, 1976)
1978	イギリス：BS5400, Part5 に合成桁の規定
1980~	（コンクリート桁の塩害、アル骨反応の損傷事例増加）
1983	ヨーロッパ統一規格（Eurocode）に合成桁の規定。（"Common unified rules for different types of construction and materials"）
1985	フランス：2主桁合成橋梁指針を策定。（"Guide de conception des ponts mixtes acier-beton bipoutres"）

2. 4 連続桁中間支点部などの負曲げ部の対策

コンクリート床版に引張力が作用する、負曲げモーメントの箇所に対する考え方は、英、米と他の大陸諸国とでは異なっていた。戦後から1970年代頃までは、ドイツ、スイス、フランスなどでは、床版コンクリートには、引張力を発生させないとの考えから、中間支点のジャッキアップ・ダウンによってプレストレスを与える方法が一般的に行われていた。しかし、この方法は、プレストレスが抜けやすいの

で、鋼棒、鋼線のテンドンでプレストレスを導入する方法も用いられたが、経済性は支点のジャッキアップ・ダウンの方が優れるとされていた。

これに対して北米では、1970年代中頃までは、合成桁は出来るだけ単純桁構造として用いられた。連続桁とする場合でも、プレストレスを導入するのは稀で、正曲げモーメントの箇所のみコンクリート床版を期待する、いわゆる部分合成の考え方が一般的であった。

大陸諸国で行われた、プレストレスを導入する方法は、施工の煩雑さから、PC桁などに対して競争力を失う大きな要因となり、1970年代末までに、施工例は減少を辿り、この傾向は今日まで続いている。この間、ジベルを正曲げ部分のみ配置したり、中間支点上に目地を設ける例も試みられたが、一般的とはならなかった。今日では、負曲げ部の考え方として、引張応力の制限をすることや、鉄筋量で抵抗させるという方法よりも、床版施工方法などによって、クラック分布、その発生幅をいかにコントロールするか課題となっている¹⁰⁾。

表. 2 わが国の合成桁建設統計

完工年	鋼道橋橋全体		道 路 橋 鋼 合 成 桁			
	件 数	建設総量	単純合成	連続合成	件 数	建設総量
1951	1	302	0	0	0	0
1952	5	457	0	0	0	0
1953	9	728	2	252	0	252
1954	16	5,244	1	157	0	157
1955	25	8,150	3	281	0	281
1956	24	10,599	3	659	0	659
1957	23	6,450	1	25	0	25
1958	44	12,817	6	523	1	377
1959	45	16,419	4	760	1	139
1960	34	11,981	1	188	2	406
1961	45	14,881	11	2,959	2	266
1962	10	4,910	3	465	0	3
1963	94	36,650	10	2,745	1	271
1964	102	84,324	28	20,163	10	29,348
1965	130	57,372	23	6,076	5	3,045
1966	100	64,061	19	11,309	6	9,329
1967	71	33,906	15	7,045	5	4,457
1968	89	73,046	5	3,581	5	13,561
1969	117	78,742	22	8,758	5	3,334
1970	95	52,107	13	5,489	9	4,122
1971	109	72,876	11	10,523	5	3,252
1972	199	113,938	41	10,514	4	5,035
1973	207	183,546	46	17,944	2	1,777
1974	180	189,746	28	12,660	1	968
1975	158	134,489	33	13,848	1	895
1976	218	179,276	43	22,158	4	1,155
1977	154	83,301	42	19,694	3	1,227
1978	122	335,354	320	93,935	1	377
1979	639	296,104	254	68,505	6	6,125
1980	518	250,172	225	52,371	1	487
1981	510	296,040	205	52,980	1	395
1982	490	298,846	157	38,790	0	0
1983	506	310,587	142	41,064	0	0
1984	482	328,073	132	24,459	0	0
1985	529	320,754	142	43,318	0	0
1986	527	414,663	116	32,669	0	0
1987	576	342,443	128	32,723	0	0
1988	688	458,607	142	27,096	2	225
1989	548	407,210	111	22,430	2	495
1990	548	393,268	87	14,742	0	0

3. わが国における合成桁の変遷

3. 1 合成桁の建設量の推移

わが国における合成桁の歴史は、戦後から始まっ

た。まず、合成桁の変遷をマクロ的に把握するために、建設統計の面からその推移を明らかにする。

合成桁の建設実績を示すデータとしては、鉄骨橋梁年鑑および、橋梁年鑑がある(注9)。これに年代別鋼橋一覧表¹¹⁾をもととして作成したのが表. 2である。図. 3は、このデータをもとに5か年毎の合計建設量を使用鋼重の推移で示したものである。

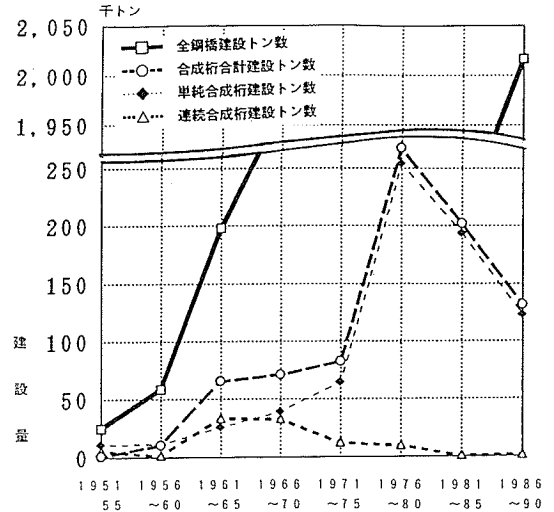


図. 3 わが国の合成桁建設の推移

建設傾向は、合成桁全体では、1964(昭和39)年に急増し、ほぼ横這いのまま推移して、再び1978(昭和53)年に急増している。その後10年間で、鋼橋建設全体は、1.5倍に増加しているのに対し、合成桁の建設は同じ10年間で1/3以下に減少している。

連続合成桁については、1964(昭和39)年をピークに、プレストレスしない連続合成桁の規定が示方書に盛られた1973(昭和48)年後も、再び増加することなく、ほぼ建設量はゼロに至る推移を見せている。従って、合成桁の推移は、1975(昭和50)年以降そのまま単純合成桁の推移となっている。

以上より、現在のわが国の合成桁は、建設量(件数、鋼重)の推移からみれば、極めて短期間にピークを迎えて下降に転じて、今日では一般的な工法ではなくなっていることが分かる。

3. 2 合成桁の建設事例(表. 3参照)

わが国で最初の合成桁は、大阪市で1951(昭和26)年に建設された鈴橋である。設計計算上、合成

効果を積極的に期待したものではなかったが、チャンネル断面のジベルが取り付けられ、供用15年後の1966（昭和41）年の架け替えの際に、撤去された桁を用いて破壊実験が実施され、合成効果が確認された¹²⁾。本格的な合成桁としては、1953（昭和28）年に建設された、大阪市の神崎橋および、横浜の鶴見川橋、東京都の塩原橋を挙げることができる。

表. 3 わが国の主な合成桁建設実績

年	主な道路橋合成桁の建設：（特徴）
1951(S. 26)	鈴橋（大阪市）：（初の実質的な合成桁、昭和41年撤去時に破壊実験）
1953(S. 28)	神崎橋（大阪市）：（死活荷重合成）、（最初期の本格的合成桁）
	鶴見川橋（関東地方）：（死活荷重合成）、（最初期の本格的合成桁）
1954(S. 29)	塩原橋（東京）：（死活荷重合成）、（最初期の本格的合成桁）
	米白橋（秋田）：（死活荷重合成）、（田原ら土研にて実験実施）
	関電丸山水力跨線橋：（死活荷重合成）、（計画実験）
1955(S. 30)	岩崎橋、藤原橋（東北地方）：（死活荷重合成）、（初期の溶接桁）
	三池橋（中部地方、掛川）：（ ω ）、（初期の溶接桁）
	下東条橋（大阪府）：（死活荷重合成桁）
	西條大橋（大阪府）：（初の合成箱桁（2箱桁））
	中宿橋（新潟県）：（初の合成トラス）
	白雲橋、八州橋（京都市）：（初期の箱桁断面合成桁）
	古江橋（大阪府）：（初期の箱死活荷重合成桁）
	飯塚橋（東京都）：（初期の格子合成桁、50t鋼使用）
1956(S. 31)	新喜多橋（大阪市）：（全現場溶接合成格子桁、模型実験実施）
	坂越橋（兵庫県）：（初期の活荷重合成格子桁）
1957(S. 32)	友道橋（大阪市）：（2径間連続）、（初期の連続合成、支点移動法）
	太左衛門橋（大阪市）：（3径間連続）、（初期の連続合成、PC鋼使用）
	足取橋（東京）：（Y&H合成）、（支点上床版に多量の鉄筋使用）
	代田橋（熊本県）：（合成格子箱桁）
1958(S. 33)	大連橋（大阪市）：（軌道橋、Y&H合成桁）
	各橋（兵庫県）：（初期のプレストレス合成桁）
1959(S. 34)	新築形橋（宮城）：（鋼橋でプレストレス導入）
	毛馬橋（大阪市）、橋平大橋（兵庫県）：（初期の連続合成桁）
1960(S. 35)	三池川橋（四日市大橋石油）：（初期の連続合成桁）
	猪名川橋（道路公団、兵庫）：（初期の連続合成桁）
1961(S. 36)	豊洲橋（東京）、土橋（東京）、玉洗橋（福岡）：（ ω の使用）
	箱根バイパス終点跨線橋（道路公団）：（曲線合成桁）
	黒瀬橋（沼津市）：（3径間連続）、（水荷重使用）
1962(S. 37)	日本橋（東北地方、福島）：（初の逆梯形合成桁）
1963(S. 38)	折石橋（小樽）：（逆梯形合成桁）、（架設中に落橋事故）
1964(S. 39)	堀之内橋（新潟）：（2, 3径間連続）、（逆梯形桁桁合成）
	名神木曾川（三重）：（3径間連続）、（水荷重使用）
	海老川橋（道路公団）：（3径間連続）、（支点 γ 、 γ 、 γ 工法）
	新夕見橋（大阪市）：（初のプレストレスしない連続桁）
	鶴見大橋（横浜市）：（死活荷重合成）、（60t鋼、Tバー使用）
	鈴橋（中国地方、岩国）：（3径間連続）、（ ω 、 γ 、 γ による γ 、 γ ）
1965(S. 41)	瀬路大橋（徳島）：（断続合成工法による連続合成桁）
1967(S. 42)	旭久保大橋（道路公団）：（断続合成工法による連続合成桁）
	多摩川橋（道路公団）：（3径間連続）、（断面内鋼線プレストレスのみ）
1968(S. 43)	新石狩橋（北海道）：（5径間連続）、（断面内鋼線プレストレスのみ）
	水原川橋（北海道）：（3径間連続）、（断面内鋼線プレストレス工法）
1971(S. 46)	三好橋（東京）：（3, 4径間連続）、（断面内鋼線プレストレス工法）
	鴨北橋（兵庫）：（プレストレスしない連続合成桁、載荷試験実施）
	石狩河川橋（北海道）：（4径間連続）、（プレストレスしない連続桁）
1975(S. 50)	神崎橋（大阪）：（3径間連続）、（プレストレスしない連続桁）

神崎橋は、橋長320.0mのうち、スパン11.5mの20連に対して活荷重合成桁が採用された¹³⁾。設計は、1950年7月に制定された、ドイツの道路橋合成桁設計暫定基準にしたがって実施されたもので、実物大模型実験により、合成の確保、降伏安定度、床版有効幅、鋼／コンクリートヤング係数比の確認の他、ジベルの押し抜き試験が実施された¹⁴⁾。ジベルには、同暫定基準に示されているブロックと、馬蹄形の丸鋼が採用された。

鶴見川橋は、スパン15.48m、7連のわが国で最初の死活荷重合成桁である。主桁構造は、ジベルである支圧板が溶接された上フランジが、完全に床版に

没しており、ドイツの構造とは異なっている。合成効果については、土木研究所において6タイプの模型実験が実施されている¹⁵⁾。架設方法は、ステーキング上に組んだ鋼桁を、床版コンクリート打設後の沈下を見込んで、スパン中央に楔を打ち込んで上げ越しされた¹⁶⁾。

1954（昭和29）年には、米白橋、丸山発電所鉄管路跨線橋、岩崎橋、藤原橋などが建設された。

秋田県の米白橋は、東北地方建設局によって建設された死活荷重合成桁で、スパン21.05m、5連である。

関西電力丸山発電所鉄管路跨線橋（道路橋）は、スパン17mのほぼ1/3点を、ジャッキを設置した方杖で仮支持して架設を行った、死活荷重合成桁である¹⁷⁾。

岩崎橋および、藤原橋はそれぞれスパン、19.5mおよび、30.0mで現場継手を除き、全溶接を用いた初期の合成桁であった¹⁸⁾。

1955（昭和30）年には、溶接構造の合成桁の三池橋¹⁸⁾および、大阪府の下東条橋などが施工された。下東条橋は、スパンの1/3点を仮支持して、両端の本支点の反力を開放し、床版コンクリートまで打設することにより、死荷重合成とした橋である²⁰⁾。

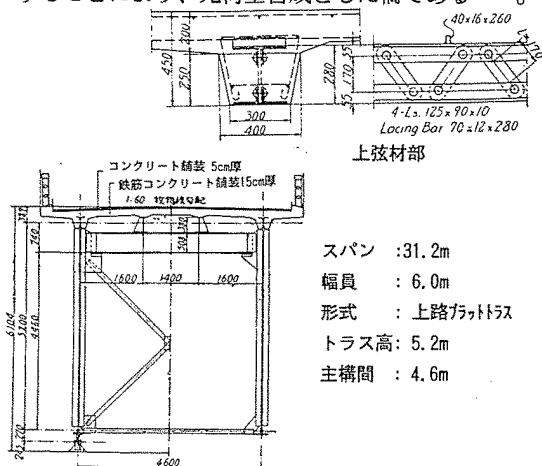


図. 4 合成トラス 中宿橋(1955, 新潟)（注10）

この他、1955（昭和30）年には、わが国で最初の合成箱桁および、合成トラスが施工されている（注11）。大阪府の西條大橋は、桁高1.5mの2箱桁で構成される合成箱桁である。箱桁の応力分布、偏載荷重による振じれの影響、ダイヤフラムの作用などの

確認のために完成後、試験が実施された²¹⁾。

京都市では白雲橋および、八樹橋(京都市)が架設された。白雲橋はスパン28.0mの2箱桁合成桁で、八樹橋はスパン36.8mの1箱桁合成桁である²²⁾。

一方、新潟県中宿橋は、スパン31.2mの上路プラットラスで、上弦材を床版に埋め込んで、床版の一部を上弦材の有効断面とした活荷重合成構造である²³⁾(図.4)。なお合成トラスは、ドイツなどでは、今日まで一般的に用いられている。東京都の飯塚橋は50キロ鋼を使用した格子合成桁の初期の例である²⁴⁾。1957(昭和32)年には、わが国で最初の連続合成桁が、大阪市で相次いで施工された。支点移動法によって施工された2径間連続合成桁の友淵橋と、プレストレス工法によって施工された、3径間連続合成桁の太左衛門橋である(注12)。この大阪市の連続合成桁の2例は、いずれも橋善雄らの指導によってドイツ道路橋合成桁設計基準を参考にして施工されたものである。これらの橋は、翌1958(昭和33)年に、大阪市で施工されたプレストレス工法によるゲルバー合成桁の軌道橋、大運橋とともに、合成桁での先駆的な試みであった。大運橋の場合は、吊桁に一時荷重として砂利を載荷した状態で定着桁の床版コンクリートを打設し、硬化後に荷重解放することで、プレストレスが導入された²⁵⁾。

ゲルバー合成桁としては、1957(昭和32)年に、東京で3径間ゲルバー合成桁の是政橋が施工されたが、この場合は中間支点上のカンチレバー桁の負曲げモーメントによるコンクリート床版引張力対策として、プレストレスを導入するのではなく、縦方向鉄筋を多量に用いることで対処した²⁶⁾。

鋼桁に直接プレストレスを導入する方式としては、1958(昭和33)年に兵庫県でわが国初の試みとなった筏橋が施工された^{27) 28)}(図.5)。スパン24.5mの3主桁単純合成桁である。1主桁当たり6本の径24mmの高張力鋼棒を下フランジ付近に取り付け、緊張してプレストレスが導入された(注13)。

連続合成桁は、1957(昭和32)年の大阪市における試験的な施工の後、1959(昭和34)年以後、兵庫県の網干大橋、名神高速道路の猪名川橋、大阪市の毛馬橋²⁹⁾、三重県三滝橋などが施工された。

猪名川橋は、1960(昭和35)年に完成した中央スパン47.2mの3径間連続合成桁で、中間支点のジャ

ッキアップ・ダウンによりプレストレスが導入された³⁰⁾。

毛馬橋は、中央スパン55mで中間支点のジャッキアップ・ダウンと、床版内の高張力鋼棒の緊張の方法を併用した。三滝橋は、四日市石油の構内に架けられた中央スパン37.5mの3径間連続合成桁で、中間支点のジャッキアップ・ダウンでプレストレスが導入された³¹⁾。

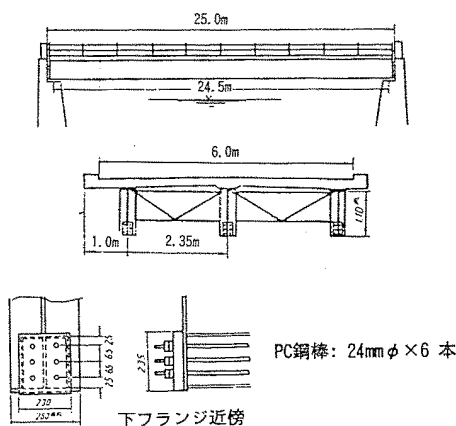


図. 5 筏橋(プレストレス合成)(1958)(注14)

ジベルには、ブロックに馬蹄形の丸鋼をつけたものが多かったが、1961(昭和36)年に東京の豊洲橋、土橋、福岡の玉洗橋で初めてスタッドが使用された以後³²⁾、次第に実施例が増加した。

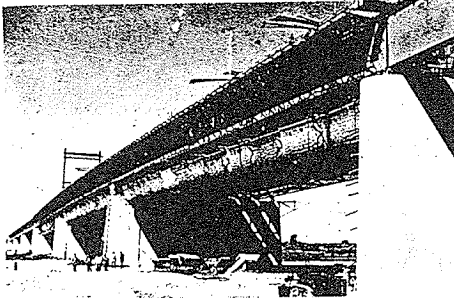
最初に曲線区間へ合成桁を適用したのは、1961(昭和36)年の茨城県小磯橋および、道路公団箱根バイパス終点跨道橋である。

1961(昭和36)年完成の沼津市の連続合成桁、黒瀬橋および、1964(昭和39)年完成の名神木曽川橋のコンクリート打設には、水荷重を使用した工法が試みられた³³⁾(写真.1)。床版死荷重に等しい水荷重を予め載荷しておき、コンクリートの打設とともに水荷重を解放することで桁への荷重の変化による変位の発生を防ぐ方法である。

また、同年に完成した福島県の日本橋は、ドイツのヴッパタール橋を参考に設計された、わが国初の逆梯形箱断面の単純活荷重合成桁である³⁴⁾。

逆梯形箱断面をもつ合成桁では、架設中に落橋事故が発生している。1963(昭和38)年11月17日に、小樽の析石橋は、床版コンクリート打設中に、スパン

ン中央付近の上フランジを始点として、捩じれ座屈が発生し、曲げ破壊によって落橋した。事故後の調査で、逆梯形箱断面をもつ合成桁の架設時における仮ラテラル部材の重要性が指摘された³⁵⁾。



水槽を吊り下げた状態

写真 1 水荷重による床版の施工 (注15)

昭和30年代末頃から、連続桁を含めた合成桁の施工件数が増加して、工法の一般化が進んだ。1964 (昭和39) 年には、新潟堀之内橋、道路公団名神高速道木曽川橋、道路公団京葉道海老川橋、横浜市鶴見大橋、大阪市新汐見橋および、前述の岩国錦橋などの合成桁が完成している。

1966 (昭和41) 年に施工された徳島の瀬詰大橋は、スパン54m の3 径間連続逆台形合成箱桁であるが、中間支点部の床版コンクリートで、許容引張応力を越える部分のみコンクリート断面を無視して非合成と考え、それ以外の部分を合成と考える、部分合成桁として設計された³⁶⁾。

1967 (昭和42) 年の道路公団中央高速道姥久保高架橋は、鋼桁を連続桁として架設し、コンクリート床版の打設、硬化後に支点上で鋼桁を切断するもので、支保工なしに床版コンクリートを施工した死活荷重合成桁である (図. 6)。スパン28.5m の、3 径間連続桁、5 連は、床版コンクリート打設後に、支点上で切断され、15連の単純桁とされた^{37) 38)}。

1967 (昭和42) 年に施工された、東名高速道多摩川橋は、スパン54.7m の3 径間連続合成桁で、施工は支点のジャッキアップ・ダウンと、床版コンクリート内の高張力鋼線の緊張によってプレストレスを与える方法が採用された^{39) 40)}。

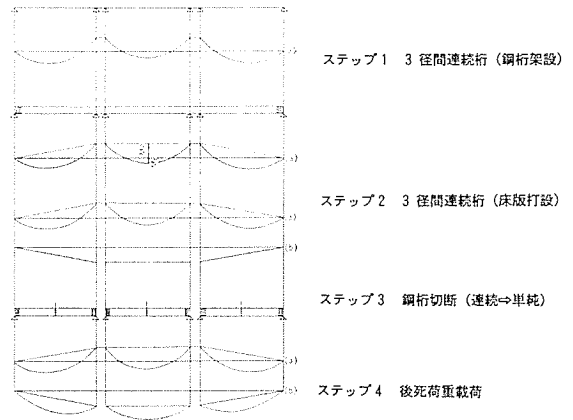


図. 6 切断合成桁の理論 (注16)

1968 (昭和43) 年に施工された、スパン52.7m の北海道の新石狩橋は、床版コンクリート内の高張力鋼線のみで橋長全体にプレストレスが導入された5 径間連続合成桁である⁴¹⁾。1968 (昭和43) 年に北海道で施工された、3 径間連続合成桁永農橋では、床版内の高張力鋼線によるプレストレス工法を採用したが、床版コンクリート内の高張力鋼の緊張力が鋼桁に伝わらないように、ジベルの周囲の床版に孔をあけてジベルと床版を絶縁した床版単独プレストレス工法が採用された⁴²⁾。この工法は、1971 (昭和46) 年の3、4 径間連続桁の青森県三好橋でも採用されている。

1971 (昭和46) 年に北海道で施工された4 径間連続桁石狩河口橋⁴³⁾、兵庫の3 径間連続桁鴨北橋は、大阪の新汐見橋とともにプレストレスしない連続合成桁として施工された初期の例である (注17)。

3. 3 合成桁の技術開発と基準の変遷 (表. 4)

わが国における合成桁の技術開発は、戦後ドイツを中心とする欧米の文献を研究することから進められた。これらの技術導入の研究成果としては、1953 (昭和28) 年に安宅勝が、オーム社より発行した「合成桁」が挙げられる。これは、わが国で最初のまとまった合成桁の設計手引き書であった⁴⁴⁾。

1954 (昭和29) 年には、橘善雄、田原保二によってその前年の1953年に制定された、DIN1078 の邦訳が公表された^{45) 46)}。

わが国独自の合成桁示方書の制定への動きは、1955 (昭和30) 年頃から始まった (注18)。基準策

定までの暫定的な拠り所として田原保二により合成桁に関する開発研究の情勢が紹介されている⁴⁷⁾。また小西一郎は、すでに1956(昭和31)年に、合成桁橋の研究において、合成桁の連続桁への適用に言及している⁴⁸⁾。

鋼道路橋設計並(ならびに)製作示方書(昭和19年9月制定)の改訂版にあたる戦後最初の示方書として、1956(昭和31)年5月に、鋼道路橋設計示方書および、鋼道路橋製作示方書が、翌1957(昭和32)年に溶接鋼道路橋示方書が制定された。合成桁については、これとは別途に検討が進められ、1959(昭和34)年8月に鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針として制定された。これは単純合成桁を対象としたものであった。翌1960(昭和35)年7月に建設省により、(社)日本道路協会あて、コンクリート橋関係、下部構造関係とともに、鋼橋の技術基準としてリベット接合、溶接および合成桁に関する検討の依頼がなされた。これを受けた同協会では、同10月に橋梁委員会および鋼橋、コンクリート橋、下部構造の各小委員会を設置して、改訂作業に着手した。これによって制定されたのが、1964(昭和39)年7月の鋼道路橋設計示方書、鋼道路橋製作示方書、溶接鋼道路橋示方書および、1965(昭和40)年7月の鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針であった⁴⁹⁾。

鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針では、連続合成桁の実績が増加した状況より、指針の適用範囲を広げ、連続合成桁の施工の応力調整の項目が設けられた。また、スタッドジベルの規定も新たに設けられた。さらに品質の向上により、コンクリート強度が、 $\sigma_{28}/4$ から $\sigma_{28}/3.5$ へ改定された。

連続合成桁については、関西において安宅勝の研究をベースに橘善雄、近藤和夫らによって実践的な研究が盛んに進められた。昭和40年の示方書の制定に先立って、1961(昭和36)年に、関西道路研究会の手で連続合成桁設計資料が策定された。さらに、関西道路研究会では、連続合成桁のプレストレスの扱いについても、1968(昭和43)年6月に、「鋼道路橋のプレストレスしない連続合成桁設計施工要綱(案)」を策定している⁵⁰⁾。

1969(昭和44)年には、鋼道路橋示方書を全面的に改訂するために、道路協会橋梁委員会に、示方書改定分科会が設置された。これによって制定され

たのが、道路橋示方書(共通編・鋼橋編)で、1972(昭和47)年3月に、建設省より「橋、高架の道路などの技術基準」として通達された。これは1973(昭和48)年2月に道路橋示方書・同解説、Ⅰ共通編、Ⅱ鋼橋編として発行された。

表. 4 技術開発と基準整備の変遷

年	技術開発、示方書・基準類の制定
1944(S. 19)	鋼道路橋設計並製作示方書案制定
1952(S. 27)	安宅勝、昭和27年度科研「鋼コンクリート合成桁の研究」
1953(S. 28)	安宅勝「合成桁」(オーム社)発行
1954(S. 29)	橘、田原「トイソ道橋橋合成桁設計基準DINI078」脱出
	成瀬、呉造船所で合成桁の実験的研究実施
S. 28 ~29頃	昭和31年改定示方書の検討に着手
1956(S. 31)	鋼道路橋設計示方書および、鋼道路橋製作示方書制定
	田原保二ら「ジベル」の研究
	小西一郎「連続合成桁」の研究
	汽車製造、森ら「合成桁」の実験
	湛浅ら「合成桁、白雲橋、八洲橋」の設計、製作の論文
1957(S. 32)	溶接鋼道路橋示方書制定
S. 32 頃	昭和34年制定合成ゲタ設計施工指針検討に着手
1958(S. 33)	相良正次「プレストレス補剛合成桁」/橘善雄ら「プレストレス合成桁」/伊藤(三寛)ら「プレストレス鋼桁模型実験」/湛浅ら「合成桁の研究」/橘善雄ら「連続合成桁工法と実験」
1959(S. 34)	鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針制定
1960(S. 35)	建設省道路局より道路協会あて技術基準検討依頼
	道路協会、橋梁委員会、鋼橋・コンクリート橋・下部構造小委員会設置し、鋼橋設計示方書等の橋梁関係の技術基準の改定、追加に着手
	橘善雄「連続合成桁の収縮とクリープ」の研究
1961(S. 36)	連続合成桁設計資料(関西道路研究会)作成
1964(S. 39)	鋼道路橋設計示方書・鋼道路橋製作示方書制定および、溶接鋼道路橋示方書改定
1965(S. 40)	鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針改定(S42解説一部改定)(連続合成桁応力調整、スタッドジベルなどの項目を設けた。)
1966(S. 41)	高力ボルト摩擦接合設計施工指針制定
1968(S. 43)	関西道路研究会「鋼道路橋のプレストレスしない連続合成桁設計施工要綱(案)」を策定。
1972(S. 47)	道路橋示方書(共通編・鋼橋編)制定(建設省通達「橋、高架の道路などの技術基準」)を制定して通達。(昭和48年発行の示方書)
	建設省「活荷重合成プレートガーダー橋標準設計」発行
1973(S. 49)	日本鋼橋協会「スタッドジベルの基準案」策定
1979(S. 55)	道路橋示方書・同解説 Ⅱ鋼橋編改定

この示方書では、合成桁については、国内の実験研究や実績の裏付け、海外ではAASHTOなどの考え方を検討して、プレストレスしない連続合成桁が含まれた。しかし、この他の弾性合成桁、断続合成桁、部分合成桁はまだ研究が十分ではないことと、実例が少ないことから規定から除外された。また、合成トラス、軽量コンクリートを用いた合成桁、プレキャスト版を用いた合成桁も、問題点もあるとして対象外とされた。

この示方書の合成桁の扱いに影響を与えた動きとしては、昭和30年代から40年代における研究開発や、新しい工法の施工例をみる必要がある。

橘善雄は、1960(昭和35)年に連続合成桁の収縮とクリープに関する研究報告をしており、この中で連続合成桁は、活荷重合合成桁とするのが適当であると指摘している⁵¹⁾。

昭和40年代に入ると、連続合成桁の施工例が増加

し、その架設方法として新たな工法が提案された一方、煩雑なプレストレス工法からプレストレスしない合成桁へと、次第に移行する傾向が出てきた。単純桁についても、死活荷重合成桁は、昭和40年代初めには、すでにほとんど施工されなくなっており、極めて短期間のうちに、合成桁といえば単純活荷重合成桁ないしは、連続合成桁となった。

一方、連続合成桁の支点上の床版コンクリートの引張力について、ドイツの影響を受けていた初期は、プレストレスの導入によって許容応力内に抑える方法がとられた。しかし、次第に北米、イギリスで採用されていた、負曲げモーメント領域では、コンクリート断面を無視する方法へ移行していった。橘善雄らは、断続合成、部分合成などが実用上定着した形式とならなかったことを指摘し、プレストレスしない連続合成桁の設計法を、わが国でも取り入れることを提案し、これを「プレストレスしない連続合成桁」と称した⁵²⁾（注19）。

この方法によって、1971（昭和46）年に施工された兵庫の3 径間連続桁鴨北橋は、完成後に載荷実験と長期にわたる挙動の追跡調査が実施された⁵³⁾。

また、連続合成桁の施工が難しい点を解消する方法として、バネ支点連続合成桁⁵⁴⁾も提案されたが、実橋への適用までには至らなかった。

建設省は、1972（昭和47）年8月に、「橋、高架の道路などの技術基準」に則り、「活荷重プレートガーダー標準設計」を刊行した⁵⁵⁾。これは土木構造物に関する技術の基準化、標準化を意図して、その一環として制定されたものである。スパンは26mから44mまでの15種類、幅員は73種類、さらに斜角、等級の違いも考慮して、4,050種類の組み合わせに使用できるようにされた、膨大なものである。

合成桁構造において、ジベルは大きなテーマの一つである。ドイツでは1950年前後より、ブロックや馬蹄形ジベルなどが主流であった。これに対して、アメリカでは、床版の浮き上がり防止を目的として、付随的に剪断力をとることから出発したため、比較的柔構造である溝型鋼のジベルが多用された。アメリカでは、自動溶接機の発達もあり1950年代後半から、スタッドの研究が開始された（注20）。

わが国では、橘善雄の研究⁵⁶⁾をもととして、1956（昭和31）年に、建設省土木研究所で示方書制

定のための研究を目的として、田原保二らによって、ジベルに関する実験的研究⁵⁷⁾が進められた。

スタッドは、その施工性の簡便であること、溶接歪が少ないことなどから、次第に使用例が増加した。基準化の動きは、昭和44年頃から進められ、1974（昭和49）年に日本鋼構造協会によって、スタッドジベルの基準の成案を得た⁵⁸⁾。1980（昭和55）年2月の道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編では、スタッドジベルの項目が新たにおこされた。

4. 結論

なぜわが国の合成桁の変遷は、欧米のそれと異なったのかを考察することにより、わが国の橋梁技術の特徴の一端を明らかにする。

4. 1 考察（なぜわが国の合成桁は衰退したか）

(1)1960年代から70年代は、自動車の重量化と、交通量の激増によって、鋼橋の鉄筋コンクリート床版の破損事故が多数報告された。交通を阻害することなく、いかに補修するかが、大きな問題となった。このことから合成桁、特に連続合成桁の機能に疑問がもたれ、採用が減少していった。（注21）。

この背景には、床版に対する設計の考え方の相違があると思われる。欧州では、路面を提供する床版が設計の始点となり、それを支える桁構造へと設計の思考の流れがある。これに対して、比較的薄い床版厚をもつわが国では、床版は主桁に対して従属的であり、消耗品的扱いであった。従って、構造寿命の異なる材料を一体として構造物を構成するのは、維持、補修上適当ではないと考えられた。

表. 5 主要国圧延鋼材生産高（単位：10万ト）

国名	日本	米	英	西独	仏	ソ連
1961	219	666	117	257	142	485
1966	390	900	192	273	158	673
倍率	1.78	1.35	1.64	1.06	1.11	1.39

（出典：鋼材知識，鋼材倶楽部編，p. 30, 1968）

(2)わが国では、先行した合成桁をP Cポステン桁が追い上げるという図式があった（注22）。また、昭和30年代から40年代では、製鉄産業の急速な成長によって大型H型鋼の供給が進み、H型鋼桁の普及が進んだ。合成桁が普及した時期である1960年代にお

いて、わが国の圧延鋼材生産の伸び率は、どの先進国よりも高かった（表.5）。

このPCボステン桁、H型鋼桁は、中小スパンの範囲での工法の選択肢を広げ、結果として合成桁の伸びを抑える効果をもたらした（注23）。

(3)鋼材生産の急増（表.5）および、その後の労務費の増加は、鋼重減少の経済性への寄与の相対的な減少をもたらした。合成桁が戦後普及したのは、その構造の合理性もあるが、ドイツでは鋼材などの材料が入手しにくく、極力材料が少なくなるような設計をする必要性もあった。このため補剛材を多用した薄肉補剛構造やプレストレス等が、基準に盛り込まれた。わが国もこの方向に追随した。

これに対して、アメリカでは、なるべく架設での煩雑さを避ける方が、トータルとして経済性をもつと考えられた。鋼材の増産による材料コスト費の相対的な低下から、欧州では構造のシンプル化により、構造を合理化する方向をとった。わが国では、連続合成桁の考え方でドイツ流を中心とした欧州型からアメリカ型へ移行したが、その後合成桁全体では、桁構造の合理化の方向ではなく、採用を控える方向を選択した。

(4)わが国では、合成桁の普及は、示方書や設計図集が整備されるに従って衰退するという皮肉な結果となった。実績のできた工法を後追いで考え方を統一するのが基準化であるが、示方書の範囲から除外されることで新たな発展が萎縮することもあり得る。

この意味から、大量建設の時期を控えた、昭和48年の道路橋示方書における、合成桁の方向付けへの影響は大きい。この示方書では、初めてプレストレスしない連続桁の規定が盛り込まれたが、同時に、昭和30年代から40年代に新たに試みられてきた合成トラス、軽量コンクリート合成桁、弾性合成桁、断続合成桁、部分合成桁などは、範囲に含めないこととされた⁵⁰⁾。これ以降、建設実績や研究開発がほとんどなされなかったことは、昭和55年に改訂された示方書での合成桁の扱い方に現れている。

昭和55年の示方書では、合成桁は、48年の示方書の解説と文章表現まで同一の繰り返しがされているように、ほとんど改訂はされていない⁶⁰⁾。プレストレスしない連続桁を含めるが、それ以外の弾性合成桁、断続合成桁、部分合成桁などは対象外とする

内容である。これは昭和48年以降の7年間では、合成桁に関する新規の発展はほとんど無く、飽和状態となっていることを示している（注24）。

(5)示方書とともに、合成桁の方向づけに与えた影響として、建設省の設計標準図集を挙げるができる。合成桁の標準設計図集は、連続合成桁を含まず単純活荷重合成桁のみを対象とした。この図集は、設計の参考とされることが多く、そのまま実際の工事に使用されるケースは多くはなかったが、一種のガイドラインとして、合成桁は単純活荷重合成桁として採用するのが一般的である、という影響を与えた。

(6)わが国の橋梁工事の契約形態の、欧米との相違の一つは、上下部分離とコンクリートと鋼の分離である。床版については、コンクリートではあるが、コンクリート橋と鋼橋の分離から、鋼上部工の範囲に含まれた。鋼橋主体の契約範囲にあって、構造材としてコンクリートと鋼材を同等に扱い、合成構造を開発する動機づけは、鋼橋、コンクリート橋を包括した契約形態の欧米に比べて低かったといえる。

(7)長大橋への興味のシフトにより、相対的にマイナーな範囲とされた沓、伸縮継手などの付属品とともに、合成桁を含む一般中小橋梁の技術課題が停滞したことが挙げられる。合成桁の衰退時期は、長大橋建設がメインテーマとなった時期と一致しており、吊橋、斜張橋、ニールセン系アーチ橋、鋼床版などと比べ、合成桁はテーマとしての先進性が少なく、開発意欲の減退を招き開発対象から脱落した。

(8)欧州では、わが国と異なって合成桁の継続的な開発がされやすい、以下のような状況があった。

わが国では、昭和30年代の一時期、城ヶ島大橋など競争設計によって入札者が設計をする機会があったが、その後この方法は閉ざされ、生産設計のみに限定された。これに対して欧州では、代替案を認める発注方式での競争原理が生かされ、民間の設計、開発の採り入れが比較的容易であった。これは、コンクリート橋との競争を背景に、1980年代以降、イギリスやフランスの鋼構造協会、製鉄業界などによる積極的なプロモーションに、その実例をみることが出来る。また、欧米では、橋梁プロジェクトの推進や開発で大きな役割を果たせる立場に、コンサルタントが存在したこともわが国との違いとして挙げ

られる。この他、戦後、特に1970年代以降、欧州全体では、(7)で述べたように、わが国の本四架橋プロジェクトに匹敵する大規模橋梁プロジェクトが無かったことも、中小橋梁へ興味が集出した理由として挙げられる。

4. 2 まとめ(わが国橋梁技術の特徴の一端)

合成桁の発展過程の考察をもととして、わが国の橋梁技術の特徴の一端をまとめれば次のようになる。(1)欧米、特に欧州大陸諸国の継続的な開発、対コンクリート構造を意識した開発意欲が、床版のクラックコントロールなどの考え方を創出し、近年の合成桁の隆盛をもたらしている。これに対してわが国の場合、技術の導入から実践まで極めて集中的に行われたが、一旦プレストレス導入法、架設の煩雑さや、床版破損の多発による問題が指摘されると、それを課題とした開発の方向よりも、工法自体の放棄を選択する(他の工法を選ぶ)という覚めやすさがある。このことは、過去の技術の上に新たな開発を積み重ねることよりも、技術をいわば、使い捨てするという傾向があることを否定できない。これは、自らの経験の中から新たな方向を見いだすのではなく、他に新たなものを求めるという導入技術を基本として発展を図る体質である。

(2)わが国では橋梁技術の変遷、発展に着目した歴史観をもつ必要性は少ない。また、技術の変化に対して、欧米では比較的フレキシブルであるのに対して、わが国では固定的である。この結果、欧米では技術の変化が連続的であるのに対し、わが国では不連続を伴う階段状である。ある時期に、欧米など外部からの導入技術がインパクトとなって一気に変化をすると、その後、同じ状態で暫くの期間留まる。昭和30年代以降、昭和48年の示方書の制定までと、それ以後の合成桁の変遷がこれである。一旦実績が出て、示方書などが制定されると、その枠を出にくく、固定化する傾向をもつ。

(3)しかし、自らの外、すなわち欧米において新たな構造合理化や合成桁構造の建設が新たな実績をもてば、これらに対しては、柔軟性をもって取り入れる傾向がある。最近の桁構造の合理化や、合成構造見直しの機運がこれに当てはまる。

(4)総じていえば、大きく変化をする段階では、過去

の自らの技術経験の批判の上に新たなものを生むという方法よりも、導入技術を前提として新たな展開をするという特徴をもつといえる。

5. おわりに

わが国の橋梁技術の将来の方向を探るためには、その世界的な位置づけが不可欠である。本研究は、わが国の橋梁技術の特徴を歴史的な側面から明らかにするための研究の一部を構成するものである。今後さらに各種の側面から研究を進める予定である。

【注釈】

- 注1)表、2 参照のこと。(社)日本橋梁建設協会発行の橋梁年鑑では、1978年には単純合成桁320 橋、連続合成桁1 橋、合計321 橋が完成している。
- 注2)合成桁採用の減少の説明として最もとりあげられる理由である。これは例えば、国広哲男；道路橋、(橋梁技術10年の歩み)、橋梁と基礎、Vol.11-1, p.9, 1977.1.でも述べられている。
- 注3)P.R.Knowles, "Composite Steel and Concrete Construction, Butterworth & Co., p.4, 1973, によれば、鉄桁にコンクリートや煉瓦を耐火の目的で被覆した架が用いられたことの記述がある。
- 注4)カナダのDominion Bridge Company of Canada で1922年、および、1927年に、コンクリートと鋼との相互作用を確認する実験が行われ、その報告には"composite beam"という表現が用いられている。これらの実験には、2 日間にわたる振動実験、床版に負荷モーメントが作用した場合の実験も含まれていた。イギリスのN P L (National Physical Laboratory)でも、1922年に同じ内容の実験が実施された。(出典:I. M. Viest; "Review of Research on Composite Steel-Concrete Beams", Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, pp.1-21, 1960.)
- 注5)R.P. Johnson, Composite Structures of Steel and Concrete Vol.2, Bridges, 2nd Edition, Blackwell Science Ltd., p.2, 1986, には、タスマニアで施工された合成桁の記録がある。Knights の論文 "The Design and Construction of Composite Slab and Girder Bridges" は1934年に Journal of the Institution of Engineers, Australia, pp.10-22に公表された。
- 注6)文献1)p.9, Fig.3, "Percentage increase of composite bridges in France" より引用した。
- 注7)文献1)p.16, Fig.16, "Detail of the sliding method of prefabricated slab" より引用した。
- 注8)1974年には継手部に問題が多発したため、プレキャスト床版は序々に一般的ではなくなっていると報告されている。(出典:J. Petignat; "Progress in Design and Construction of Composite Bridges of Steel and Concrete in Switzerland", Schweiz, Bauzeitung, 92.5, January 1974, pp.89-94.)
- 注9)橋梁鉄骨年鑑は鉄骨橋梁協会によって昭和38年に創刊され、その後昭和40年からは(社)日本橋梁建設協会の発足によって両協会の共纂として昭和47年の第10巻まで発行された。収録は主要橋梁のみである。橋梁年鑑は廃刊された橋梁鉄骨年鑑を引き継ぐもので昭和54年より(社)日本橋梁建設協会によって刊行され、創刊号では橋梁鉄骨年鑑廃刊以降のデータも収録されている。スパン30m、有効幅員4m 以上の橋梁が収録対象となっている。
- 注10)文献23)p.24 より引用した。
- 注11)箱桁の実際の施工に先立って合成桁の実験が1954(昭和29)年9月に汽車製造所の森らによって実施されている(文献61)。
- 注12)友瀧橋は、スパンは20.8m ×2 径間で、中間支点上で桁を8.8cm 持ち上げて床版コンクリートを打設し、硬化した1ヵ月後に13cm降下させる手順によってコンクリートへの引張応力を許容以下となるように施工したものである(文献62)。太左衛門橋は、12.85m+15.0m +12.85mの3径間連続桁で、床版コンクリートの施工後に中間支点の前後の区間にPC鋼棒でプレストレスを導入してコンクリートの引張応力の発生を制御する方法で施工された(文献63)。
- 注13)同種の構造としては1959(昭和34)年の宮城県新尾形橋、1962(昭和37)年の十三バイパス飯島跨線橋(文献64)、1964(昭和39)年の岩国市の錦橋がある。新尾形橋はスパン34.4m の5 主桁単純合成桁でフランジ付近に主桁1本当たり4 本の高張力鋼線を取付けて緊張している(文献65)。錦橋は、スパン49.1m ×3 の3 径間連続2 主桁合成桁で、径68mmのロックドコイルロープを1主桁あたり2本ずつ合計4本使用した(文献66)。鋼桁に直接プレストレスを導入する方法は、ドイツのDischingerが1943年に解析方法を開発して単純および、連続桁橋や、吊橋、アーチへの応用を提案したのが最初である(文献67)。わが国の鋼桁へのプレストレスの実施例は、ほぼこの方法(デシゲル法)に倣って施工が行われた(文献68)。一方、筏橋を施工した新三菱重工では、同年伊藤社一らによって、模型実験によって鋼桁へのプレストレスの導入方法、定着装置、プレストレスの損失などの検討が行われている(文献69)。デシゲル法以外のプレストレス導入方法として、19

58 (昭和33)年には、方杖部材、トラス部材、アーチ部材で主桁を支持してジャッキアップすることにより負曲げモーメントを導入する方法なども「プレストレス補剛合成桁」として提案された(文献70)。

注14) 文献28), p. 498より引用した。

注15) 名神木曾川橋の例である。文献71), p. 18, 9より引用した。

注16) 文献37), p. 22より引用した。

注17) プレストレスしない合成桁の規定が盛り込まれた昭和47年3月改定の道路橋示方書が初めて適用された施工例は、1973 (昭和48)年大阪市で完成した中央スパン62.9mの3径間連続合成箱桁の神洲橋がある(文献72)。

注18) 1955(昭和30)年当時、示方書の策定のために究明すべき課題として認識されていたものとしては①ジベルの問題、②コンクリートのクリープ、合成桁の収縮、鋼材とコンクリートの温度変化の影響③床版の有効幅、④合成桁へのプレストレスを導入する場合の問題等があげられていた(文献73)。

注19) プレストレスしない連続合成桁に関する一連の研究としては、文献50)の他に、橋善雄らの「プレストレスしない連続合成桁の静的実験」土木学会誌53-1, 昭和43. 10、前田らの「プレストレスしない連続合成ゲタの疲労実験」第23回年次学術講演会要録、土木学会、昭和43年10月がある。

注20) ドイツでは、Grafが1950年にジベルの実験をしており(Graf: B. I., Hert 8, 1950, p. 297参照)、アメリカでは1948年にSiessが実験を行っている(Siess: Proceedings of ASCE, 1948, p. 331 参照)。

注21) 前掲注22)で示したように、1977年当時、国広哲男は床版破損の多発とその補修の困難さを合成桁の減少の理由として挙げている。

注22) わが国のPC桁の導入は、戦後合成桁とはほぼ同時期であったが、ポステン桁の普及については合成桁よりやや遅れた。示方書の制定でもプレストレスコンクリート道路橋示方書が制定されたのは1968 (昭和43)年であり合成桁より後である。

注23) H型鋼桁、PCポステン桁の追い上げにより合成桁が伸び悩んでいることは、村上栄一も1968 (昭和43)年に「上部工その動向と展望」(橋梁と基礎, 1968, p. 2)で指摘している。

注24) 例えば、渡辺昇は文献26), p. 37で「西ドイツも日本も合成桁に関しては技術的にも実地的にも今(1981)が最高の水準に達した」とのピーク宣言をしている。これは、必ずしも全ての意見を代表するものではないが、当時の認識の一端を示している。これ以上の新たな考えが出てくる可能性はないだろうとの認識であり、開発の飽和状態を示している。

【参考文献】

- 1) J. Brozzetti: "Recent development in design of composite bridges", p. 9, Proceedings of 3rd International Symposium on Steel Bridges, Oct. 1996.
- 2) 道路橋合成桁設計暫定基準, 1950; Vorläufige Richtlinien für die Bemessung von Verbundträgern im Strassenbrückenbau. 道路橋合成桁設計基準, 解説, 1953; DIN1078, Verbundträger Strassenbrücken. Richtlinien für die Berechnung und Ausbildung und Erläuterungen zum Entwurf DIN 1078.
- 3) Standard Specification for Highway Bridges, 1949.
- 4) Composite construction in structural steel and concrete. Part2 Beams for bridges, 1967.
- 5) P. R. Knowles et al.: "Simply supported composite plate girder highway bridge", Constrado, 1976.
- 6) R. P. Johnson, Composite Structures of Steel and Concrete Volume 2, Bridges, 2nd Edition, Blackwell Science Ltd., p. 1, 1986.
- 7) 前掲文献 6), p. 11.
- 8) P. R. Knowles, "Composite Steel and Concrete Construction, Butterworth & Co., p. 157, 1973. および、前掲文献 6), p. 11.
- 9) G. Petit, M. Placidi: "Viaduc de Varennes-lès-Macon", Ouvrages d'art, No. 21, juillet 1995.
- 10) 前掲文献 1), pp. 14-16.
- 11) 年代別鋼橋一覧(社)日本橋梁建設協会, 1985.
- 12) 関西の土木 100年, 土木学会関西支部, p. 93, 1968.
- 13) 小西一郎他: 神崎橋の応力、撓み測定試験, 第2回日本道路学会論文集, p. 133, 1954.
- 14) 前掲文献 12), p. 92.
- 15) 坂田中他: 鶴見川橋の施工について, 道路, p. 151, 1954. 6.
- 16) 坂田中他: 鶴見川橋(合成桁)について, 第2回日本道路学会論文集, p. 132, 1954.
- 17) 橋善雄: 死活荷重合成桁現場施工と実験について, 道路, p. 155, 1954. 6.
- 18) 比留間豊他: 合成桁の施工について, 第3回日本道路学会論文集, p. 309, 1956.
- 19) 小林浩二他: ミツ池橋の設計製作について, 第3回日本道路学会論文集, p. 312, 1956.
- 20) 南俊次他: 下東橋(死活合成に方法)架設工事, 土木技術, p. 49, 1955.
- 21) 奥村敏恵他: 西条大橋の応力並びに振動測定について, 土木学会誌, p. 38, 1955. 8.
- 22) 湯浅隆義: 八軒橋ならびに白雲橋の合成箱桁橋, 土木技術, p. 141, 1955. 11.
- 23) 福田武雄: 合成トラスについて(新潟県中宿橋), 土木技術, p. 24, 1956. 4.
- 24) 日本道路史(社)日本道路協会, p. 1027, 1977. 10.
- 25) 橋善雄他: プレストレス合成桁について, 第4回日本道路学会論文集, p. 595, 1958.
- 26) 渡辺昇: 桁橋の歴史, 橋梁と基礎, p. 36, 1981. 8.
- 27) 今井猛他: 笹橋(プレストレス合成桁)の鋼桁仮組時におけるプレストレス導入および: 載荷実験 土木学会誌, p. 9, 1958. 10.
- 28) 岩本幸二他: 笹橋の設計について, 第4回日本道路学会論文集, p. 497, 1958.
- 29) 前掲文献12), p. 91.
- 30) 鉄骨橋梁年鑑, Vol. 1, 鉄骨橋梁協会編, p. 56, 1963. 2.
- 31) 前掲文献30), p. 34.
- 32) 前掲文献26), p. 36.
- 33) 前掲文献30), p. 86.
- 34) 山名英夫: 逆梯形合成箱桁「日本橋」架設工事, 第7回日本道路学会論文集, p. 800, 1964.
- 35) 外崎忍: 折石橋(逆梯形合成箱桁)の架設, 道路, p. 452, 1965. 2.
- 36) 前掲文献26), p. 37.
- 37) 笹戸松二他: 切断合成ゲタ焼久保高梁橋, 橋梁と基礎, Vol. 1-4, p. 22, 1967. 4.
- 38) 笹戸松二他: 切断合成ゲタ焼久保高梁橋(上), 橋梁と基礎, Vol. 1-5, p. 11, 1967. 5.
- 39) 笹戸松二他: 東名高速連続合成桁多摩川橋(上), 橋梁と基礎, Vol. 1-1, p. 4, 1967. 1.
- 40) 笹戸松二他: 東名高速連続合成桁多摩川橋(下), 橋梁と基礎, Vol. 1-2, p. 7, 1967. 2.
- 41) 前掲文献26), p. 37.
- 42) 前掲文献26), p. 37.
- 43) 前掲文献26), p. 37.
- 44) 安宅勝: 合成桁, OHT文庫, オーム社, 1953. 8.
- 45) 橋善雄他: ドイツ道路橋合成桁設計基準DIN1078, 土木技術, pp. 49-61, 1953. 8.
- 46) 橋善雄他: ドイツ道路橋合成桁設計基準DIN1078 解説, 土木技術, pp. 46-53, 1953. 8.
- 47) 田原保二: 合成桁について, 土木学会誌, p. 11, 1957. 6.
- 48) 小西一郎: 合成及び鋼床板箱桁橋の構造と設計々算法について, 第3回日本道路学会論文集, p. 326, 1956.
- 49) 鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針, (社)日本道路協会, 1965. 7.
- 50) 橋善雄他: プレストレスしない連続合成ゲタの設計法および道路橋への適用性: 橋梁と基礎, Vol. 3-1, p. 19, 1969. 1.
- 51) 橋善雄: 連続合成桁の収縮とクリープについて, 土木学会誌, p. 5, 1960. 1.
- 52) 前掲文献50), p. 19.
- 53) 西村昭他: 鶴北橋の載荷試験, 橋梁と基礎, Vol. 7-1, p. 37, 1973. 1.
- 54) 橋浦大三他: 中間支点にバネ支承シューを用いたバネ支点連続合成ゲタの提案, 橋梁と基礎, Vol. 4-3, p. 37, 1970. 3.
- 55) 若松幸雄他: 活荷重合成プレートガーダー橋の標準設計, 橋梁と基礎, Vol. 7-4, p. 1, 1973. 4.
- 56) 橋善雄: 合成桁, P. S. C. 研究発表論文集, 1954. 9.
- 57) 田原保二他: 合成桁のジベルについて, 第3回日本道路学会論文集, p. 302, 1956.
- 58) 前田幸雄: スタッドジベルに基準化, 橋梁と基礎, Vol. 8-11, p. 7, 1974. 11.
- 59) 道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編、Ⅱ鋼橋編), (社)日本道路協会, p. 234, 1973. 2.
- 60) 道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編、Ⅱ鋼橋編), (社)日本道路協会, p. 233, 1980. 2.
- 61) 森正英他: 合成桁ゲタの実験について, 第3回日本道路学会論文集, p. 334, 1956.
- 62) 橋善雄他: 連続合成桁の実例とその模型実験について, 土木学会誌, p. 38, 1958. 12.
- 63) 前掲文献 62), p. 39.
- 64) 前掲文献12), p. 92.
- 65) 前掲文献30), p. 58.
- 66) 鉄骨橋梁年鑑, Vol. 2, 鉄骨橋梁協会編, p. 44, 1964. 5.
- 67) M. S. Troitsky: Prestressed Steel Bridges, Van Nostrand Reinhold, p. 140, 1990.
- 68) 日本材料試験協会誌, 材料試験, PC用高強度鋼棒特集号, Vol. 4, No. 26, 1955.
- 69) 伊藤敏一他: プレストレス鋼桁模型の実験的研究, 第4回日本道路学会論文集, p. 502, 1958.
- 70) 相良正次: フスビ補剛合成桁について, 第4回日本道路学会論文集, p. 488, 1958.
- 71) 長谷川謙一: プレートガーダー, 橋梁と基礎, Vol. 2-10, p. 18, 1968. 10.
- 72) 宮北幸男他: 神洲橋の設計施工, 橋梁と基礎, Vol. 7-1, p. 31, 1973. 1.
- 73) 前掲文献57), p. 302.