

3. 連続合成桁の調査

3. 1 まえがき

最近、現場作業員の高齢化、技能労働者の人員減などへの配慮とあわせて、鋼橋の低価格化を目指して、建設省・日本道路公団・(社)日本橋梁建設協会などの各機関において鋼橋建設に関する合理化・省力化の研究が進められている。

床版の省力化については、高所での現場作業時間の短縮を目標に、各種プレキャスト床版・鉄筋の地組立ておよび移動型枠などが採用されるとともに、将来の一括ヤード施工などを目指した研究などが進められている。

主桁の省力化としては鋼道路橋設計ガイドライン(案)¹⁾に示されるように、腹板を増厚し、水平補剛材と垂直補剛材の数量減少させることによる部材数減・溶接工数減や、断面変化と高力ボルト継手を同じ位置として、従来の断面変化での溶接工数減などの工場製作の合理化が押し進められている。

また、対傾構・横構の省略や少数主桁の採用による全体重量や加工工数の減少を目指した低価格化への取り組みも行われている。

さて、構造形式に着目すると、海外では競争力のある鋼案として合成桁が積極的に採用されている。しかしながら、我が国では、床版損傷時の補修に問題があるなどの指摘もあり、非合成桁と比べて経済的である単純合成桁でさえ採用が少なくなっている。特に、ヨーロッパ諸国にて多用されてきている連続合成桁においては東名・名神高速道路の建設以降、採用が急激に少なくなり、最近では2～3年に一橋程度しか建設されていない。

そこで、“なぜ連続合成桁が用いられなくなったのか”、連続合成構造の問題点を把握し、諸外国で多く採用されている連続合成桁構造が再び日本でも成り立つためにはどのような問題があるのかについて分析を行うこととした。

3. 2 調査目的と内容

3. 1 まえがきで示したように、近年ヨーロッパ諸国にて多用されている連続合成桁は、採用が少なくなっている。そこで、“なぜ連続合成桁が採用されなくなったのか”に着目し、①連続合成桁の建設に携わった方々に連続合成桁の問題点について意見を聴く、②橋梁年鑑²⁾や各種文献調査を行い、橘義雄著「連続合成桁」³⁾の付録にある実績票を参考に表-3.2.1に示す調査票を作成し、連続合成桁についての実績調査を行う。

調査の結果、表-3.2.2に示す105橋のデータが収集できた。我が国の連続合成桁の全てが網羅されていないが、このデータから、完成年度、桁支間、床版支間などの分析図と適用基準などを取りまとめ、連続合成桁の問題点について検討する。

表-3.2.1 橋梁諸元調査票

記入年月日	年 月
会社名	
所属	
氏名	

鋼連続合成桁 橋梁諸元調査表

橋梁名	建設時 ひらがな 橋, 現在 橋			
所在地	県, 市, 国道名, 高速名			
	都道府県	市町村R	高速道路 自動車道, 線	
施主	地建名, 建設局名等		公団, 公社名等	
	建設省	地建, 県, 市,	公団, 公社 建設局, 所	
完成年	S 年, H 年			
施工会社名	JVの場合できれば全社名〔略〕			
橋格	等橋, 歩道有無			
設計活荷重	群集, T-14, TL-20, TT-43			
	(TL-25) A, B活荷重対応に対する検討等の有, 無			
主桁形状等	鉸桁 本桁	箱桁 本桁	縦桁 内, 外, 有, 無	
	一部箱桁 有, 無	開断面, 閉断面, 開閉両断面, 逆台形		
<p>巾員構成等</p>				
橋長	連続合成桁のみを示して下さい m			
支間長	桁長及び遊間も含めての表示で良い。			
鋼重	連続合成桁のみを示して下さい	tf	tf	
		橋体工のみ	付属物含む	
平米鋼重	有効幅員で除して下さい	tf/m ²	tf/m ²	
		tf/m ²	tf/m ²	
プレストレス方法 (2種以上の場合も 示して下さい) 数量等不明の場合 ○×を記入の事	アウトケーブル方式	ケーブル種別	φ × 本	
	中間支点上PCケーブル	"	t/m ケーブル重量 kg	
	支点 UP, DOWN	UP mm	DOWN mm	
	打設時水荷重方式	その他		
文献等	技報 号, 年 月, 橋梁 年 月, 橋梁と基礎 年 月			
	土木施工 年 月 その他			
その他	特徴があれば記入して下さい。			
補強, 補修工事の有無	縦桁増設, 鋼板接着, 床版増厚, 部分打替, その他()			
補強, 補修工事の原因が分かれば記入をして下さい				

3. 3 調査結果

3. 3. 1 連続合成桁建設に携わった方の意見

(1) 大旺建設(株)専務取締役 三瀬 純氏(元日本道路公団)の意見(平成6年2月)

- ・ 鋼重減は10～15%程度である。最大で約20%。
- ・ 全般に連続合成桁は手間がかかる。
- ・ 設計の煩雑さと現場工事の整合
- ・ 現場工期が長くなる。
- ・ 重交通ではたわみ量が大きくなる。非合成桁の場合、半合成でありたわみが少なくなる。
- ・ 桁高を低くすることができ、縦断が下がるため河川取付部ではメリットがある。
- ・ 今後合成桁を研究するに当たっての意見

コンクリート長期的に引張るのは問題があるのではないか、そのような観点から部分合成を桁的な考え方もあるのではないか。

将来の現場の状況を考えると、出来るだけアバウトな設計が望ましい。

プレキャスト系の場合は大きなせん断力が問題となる。

接合部の完全施工が可能なような設計を考えなくてはならない。

2主桁鋼床版、2主桁プレキャスト床版橋を研究しなければいけない。

(2) 大阪長堀開発(株) 亀井 正博氏(元大阪市建設局)の意見(平成6年2月)

- ・ 大阪市は現在も連続合成桁を2～3年毎に施工中である。
- ・ 連続合成桁の調査を行っているところである。
- ・ 非合成と合成の差による床版の損傷等は把握していない。もし他機関においてそのような調査が有れば示してほしい。
- ・ プレキャスト床版委員会を開催しており、その中に連続合成桁が組み込まれたら良いと考えている。
- ・ 連続合成桁は必ずしも安くない。

3. 3. 2 完成年度

連続合成桁の完成年度別実績数の関係を図-3.3.1に示す。これによると、1958年～1970年にかけてプレストレスする連続合成桁が、また、1970年～1982年にかけてプレストレスしない連続合成桁がまとまって施工されている。

プレストレスする連続合成桁が多く施工された年代は、競争設計による橋梁が多数建設され、最小鋼重を目指した経済的な橋梁が主流であったと思われる。また、設計に電子計算機も導入され複雑な連続桁の計算もできるようになった年代と思われる。

しかしながら、プレストレスする連続合成桁は、現場でのプレストレスの方法が複雑であるため、その後の年代（1970年～1982年）ではプレストレスしない連続合成桁が採用されたものと思われる。

合成桁の床版は床作用とともに、主桁の一部として主桁作用も分担することとなる。このため、床版に対する負荷が増加し、破損した場合には桁系に影響を及ぼすとともに補修時の施工性が悪くなる、また、交通量の増大とともに床版損傷が多く報告されるようになり、それとともに使用の機会が少なくなったものと思われる。

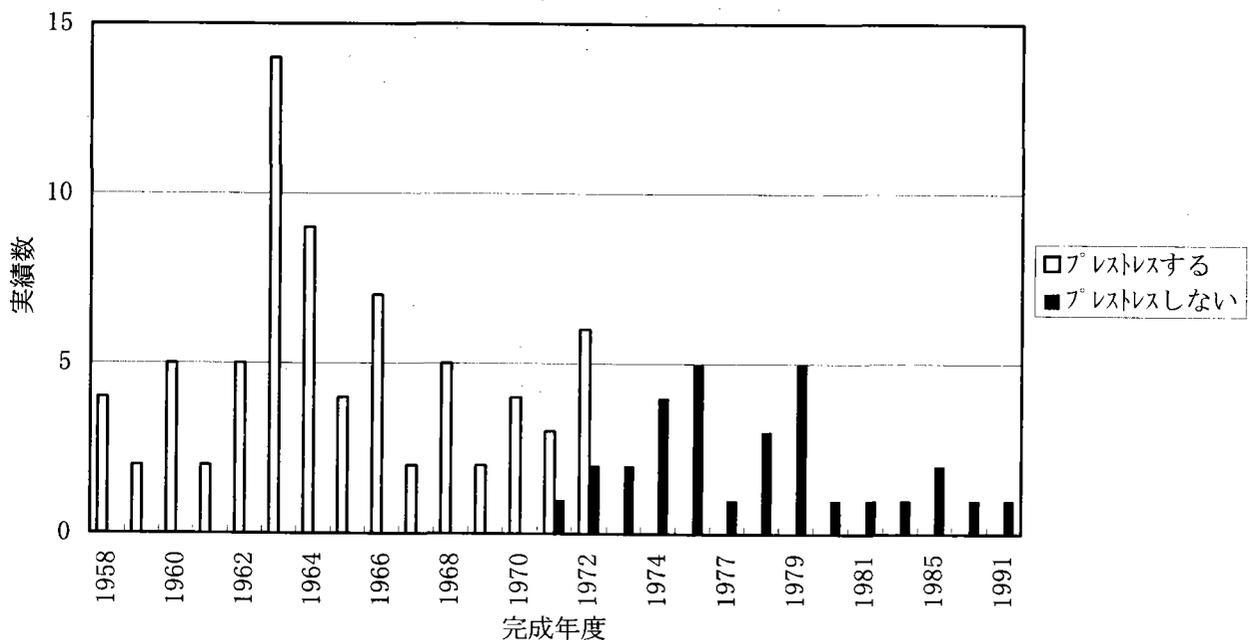


図-3.3.1 完成年度別実績数

3. 3. 3 桁支間

最大支間長毎の連続合成桁全体の実績数を図-3.3.2に示す。連続合成桁（I桁および箱桁）は、最大支間長で30m～70mに多用されている。一般に連続非合成I桁の支間長は30m～60mの範囲で適用されており、連続合成桁の最大支間長が若干長いことがわかる。

図-3.3.3はプレストレスする、しない別の最大支間長の実績数である。これによると、プレストレスする、しないでは実績数が異なるものの、両者で最大支間長に差異は見られない。

図-3.3.4は最大支間長と単位鋼重の実績である。図中のA・B曲線は連続非合成I桁の単位鋼重（デザインデータブック⁴⁾より）である。これにより、連続合成桁の鋼重が小さいことがわかる。

図-3.3.5に最大支間長と桁高の実績を示す。デザインデータブック⁴⁾によると、連続非合成I桁の桁高は、 $L/15 \sim L/20$ （L:最大支間長）の範囲に多く分布しているのに対して、連続合成桁の場合には、 $L/20 \sim L/25$ の範囲に分布しており、連続合成桁の桁高は小さいことがわかる。

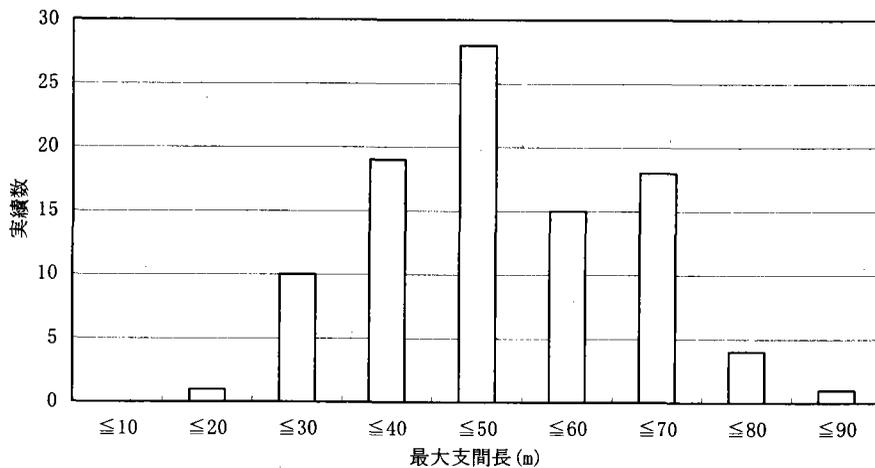


図-3.3.2 最大支間長毎の実績数

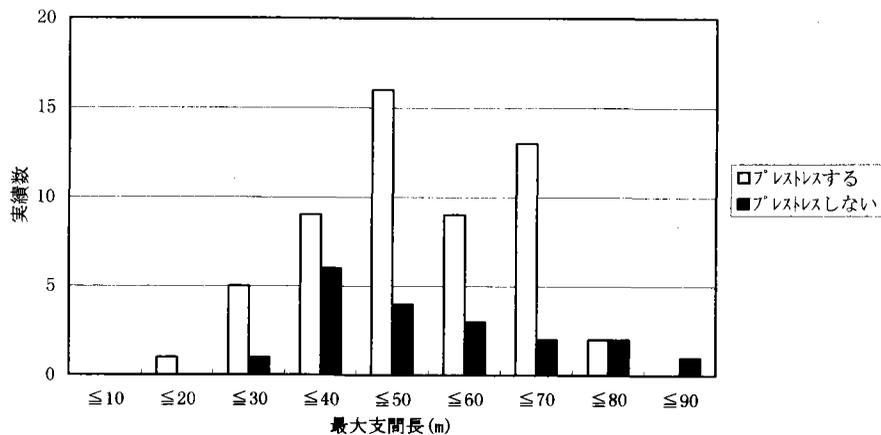


図-3.3.3 最大支間長毎の実績数（プレストレスの有無による区分）

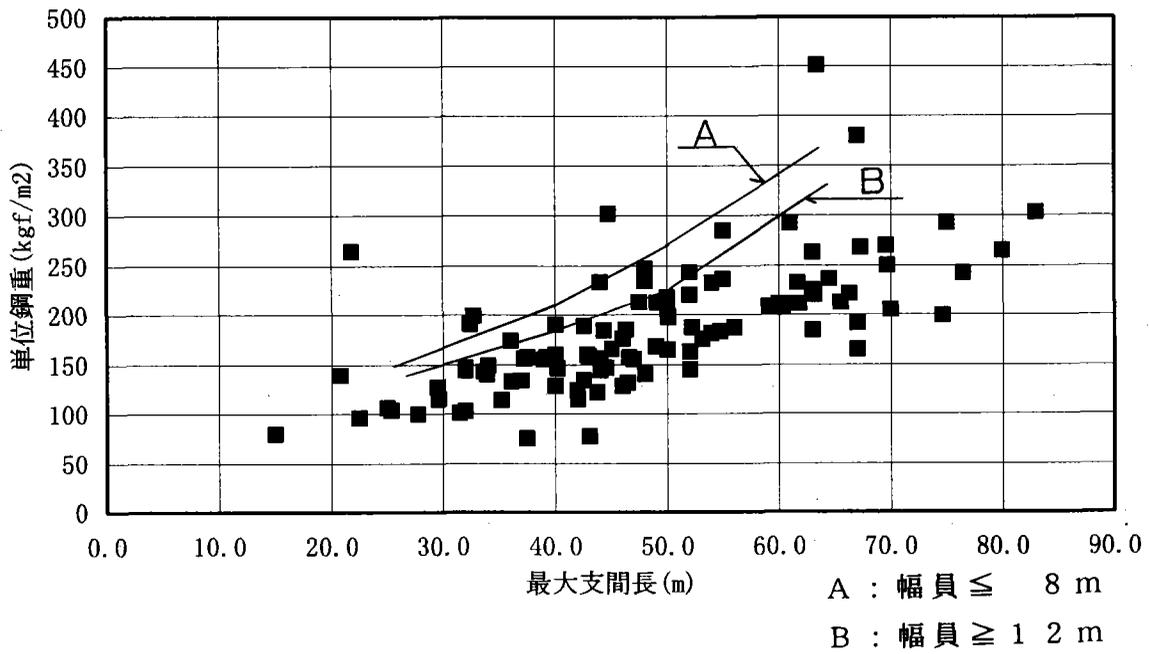


図-3.3.4 最大支間長と単位鋼重

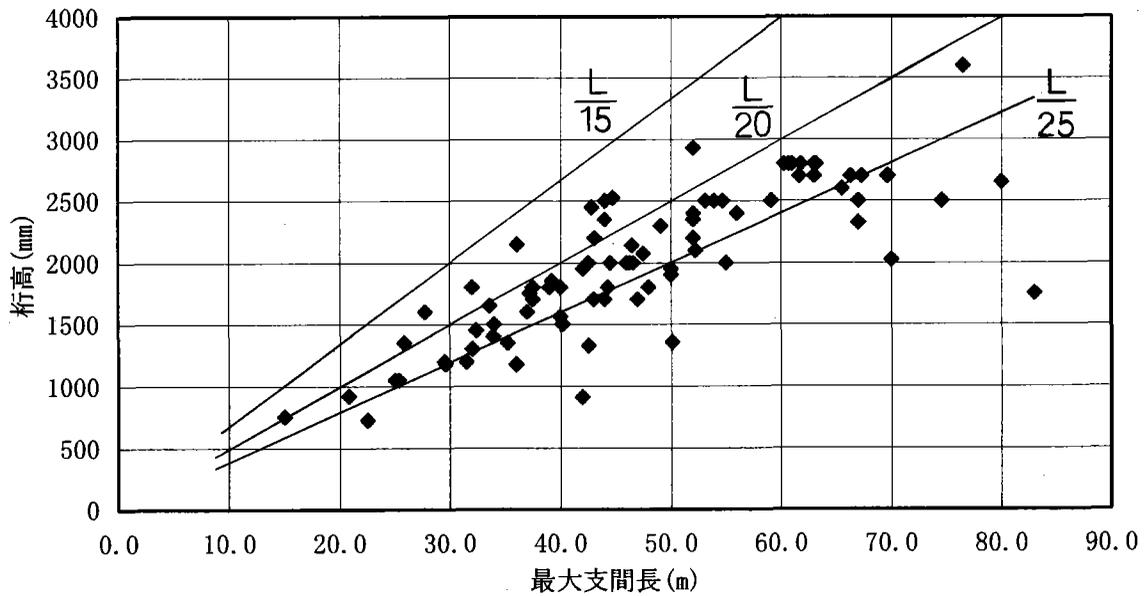


図-3.3.5 最大支間長と桁高

3. 3. 4 床版支間

図-3.3.6に床版支間と床版厚の実績を示す。プレストレスしない連続合成桁は昭和48年以降の道示に準拠しているため、 $3L+11$ (L :床版支間長)を上回る厚さとなっている(ただし、完成年が昭和48年以前の橋梁もあるが、 $3L+11$ の床版厚を満足している)。プレストレスするものは概ねより薄い床版厚となっている。

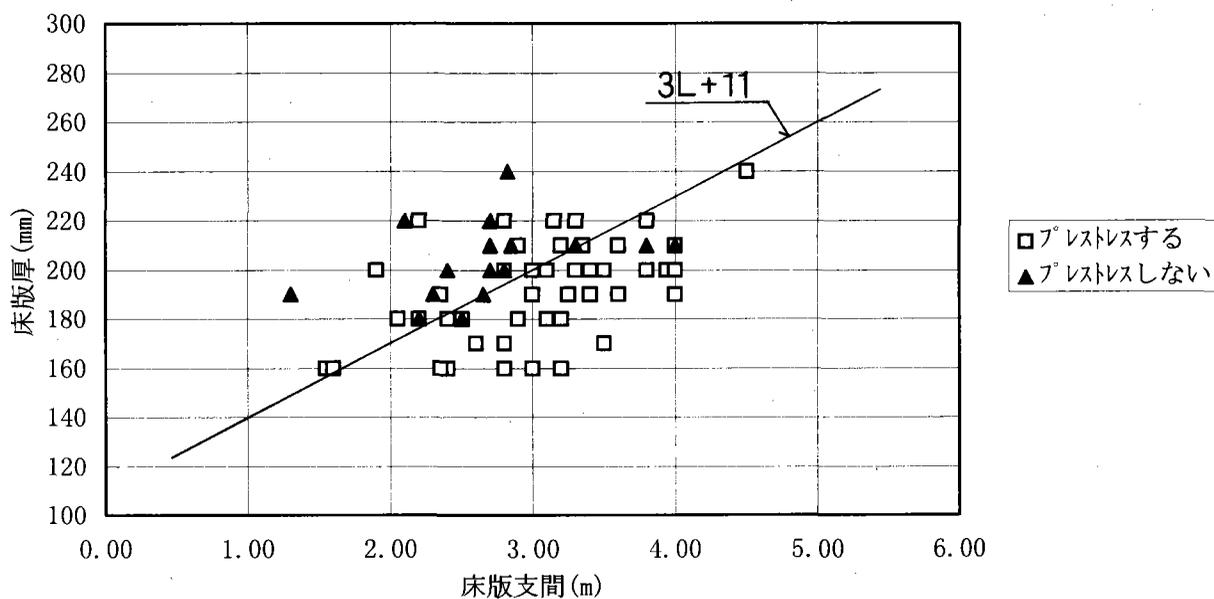


図-3.3.6 床版支間と床版厚

3. 3. 5 適用基準

(1) 設計基準の変遷

合成桁に関する設計基準の変遷について調査した結果を以下に示す。

1) 昭和34年(1959)8月 鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針⁵⁾

単純合成桁を対象とし、連続合成桁に関してはまだ不明の点もあり、架設の経験が浅いことから、適用範囲外としてゐる。

2) 昭和40年(1965)6月 鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針⁶⁾

連続合成桁の施工が増加し、統一的な設計基準の作成の要望が高まったことから、適用の範囲を広げ、単純合成桁およびプレストレスする連続合成桁を対象として制定された。これに伴い応力調整に関する規定が追加された。

3) 昭和48年(1973)2月 道路橋示方書⁷⁾

プレストレスの導入に対して設計計算が複雑でかつ応力調整を伴う現場施工管理が困難であるということから、既往の研究成果をふまえ、単純合成桁、プレストレスする連続合成桁だけでなく、プレストレスしない連続合成桁も適用範囲として制定された。

4) 昭和48年(1973)4月<通達> 特定路線にかかる橋、高架の道路等の技術基準

車両の大型化に対処するためTT-43荷重が追加された。

5) 昭和53年(1978)4月<通達> 道路橋鉄筋コンクリート床版の設計・施工について

重車両の増加に起因して発生する床版の損傷を未然に防止する目的で、床版の設計に際して、重交通の影響および付加曲げの影響などを考慮することが示された。

6) 昭和55年(1980)2月 道路橋示方書⁸⁾

前示方書と同様に単純合成桁、プレストレスする連続合成桁およびプレストレスしない連続合成桁を対象としているが、解説の中で双方の連続合成桁に対しては慎重な設計施工を行う必要があることが示されている。

7) 昭和55年(1980)8月 鋼道路橋設計便覧⁹⁾

連続合成桁の設計上の特徴としてが次の内容が示されている。

プレストレスする連続合成桁について

- ①設計計算が非常に複雑であり、現場における応力調整作業などの施工管理にも高度の技術が必要である。
- ②床版の部分的なコンクリートの打ち替えなどの補修の際に、主桁の耐荷力が減少するため作業が困難である。
- ③プレストレスの導入方法が簡単で確実にできる場合においてのみ、経済性を期待できる。
- ④PC鋼材を用いる場合には、その定着部付近の床版は弱点となりやすい。

プレストレスしない連続合成桁について

- ①プレストレスの導入がないので、設計計算は比較的簡単である。
- ②応力調整を行わないので、工期が短縮できる。
- ③30～50mの中小スパンの連続桁の場合に経済性が期待できる。

以上のようにプレストレスしない連続合成桁の有利性を示しているものの、「連続合成桁の施工例が現在のところあまり増加が見られない。」とし、その理由として、「複雑な施工を要すること、信頼性が問題となることの多かった床版に多くの負担をかける構造である。」として、連続合成桁の施工に対して否定的な見解が示されている。

8) 昭和59年(1984)2月<通達>道路橋鉄筋コンクリート床版の設計・施工指針
付加曲げの影響を土木研究所成果にもとづき、改訂されている。

9) 平成2年(1990)2月 道路橋示方書¹⁰⁾

連続合成桁関連規定については、通達の内容を取り込んだほかには前示方書と同様の内容となっている。

10) 平成6年(1994)2月 道路橋示方書¹¹⁾

活荷重がTL-25に変更され、これに伴い鉄筋コンクリート床版の設計曲げモーメント・床版厚の算出方法が見直されたが、合成桁に関する規定については前示方書と同様の内容となっている。

(2) 適用基準と施工実績

表-3.3.1に示される適用基準と工事实績を参考に各設計基準(通達、設計便覧を除く)に対する1年あたりの工事件数と鋼重の関係を図-3.3.7、図-3.3.8に示す。これらより、プレストレスしない連続合成桁を道路橋示方書の適用範囲に加えた昭和48年以降、プレストレスする連続合成桁はほとんど施工されていない。また、その工事規模はプレストレスする連続合成桁が盛んに施工されていた頃に比べ、多くても1年あたりの平均鋼重で1/4程度しか施工されていないことがわかる。

図-3.3.9には完成年と鋼重および設計基準の改訂時期の関係を示す。これによると、以下のことがわかる。

昭和34年から40年にかけて、連続合成桁の設計基準がまだ整備されていないのにも関わらず、昭和38(1963)年の14000tfを最高に毎年盛んに施工され、その隆盛は、プレストレスする連続合成桁が道路橋示方書に示された昭和40年以降も同様である。

しかしながら、上記のとおり、プレストレスしない連続合成桁が道路橋示方書に採用された昭和48(1973)年以降は、プレストレスする連続合成桁の施工実績はまったくなく、また、新規に採用されたプレストレスしない連続合成桁の施工実績も昭和48年以前のプレストレスする連続合成桁に比べかなり少ないことがわかる。

また、1980(昭和55)年以降については、連続合成桁はほとんど施工されていない。これは、昭和50年前後からの過積載大型車の増加によると考えられるRC床版の損傷が多発したこととおよび(1)項に示したような昭和55年の鋼道路橋設計便覧などに述べられている連続合成桁に対する否定的な見解の影響によるものと考えられる。

適用基準	適用年数(年)	設計基準適用範囲			工事件数			鋼重			年平均工事件数			年平均鋼重		
		単純桁	連続桁		プレストレス		合計(件)	プレストレス		合計(tf)	プレストレス		合計(件)	プレストレス		合計(tf)
			プレストレスする	プレストレスしない	する(件)	しない(件)		する(tf)	しない(tf)		する(件)	しない(件)				
														する	しない	
基準なし	2	○	○	○	6	0	6	553	0	553	3.0	0.0	3.0	277	0	277
昭和34年	6	○	×	×	39	0	39	24853	0	24853	6.5	0.0	6.5	4142	0	4142
昭和40年	8	○	○	×	30	4	34	32996	1380	34376	3.8	0.5	4.3	4125	173	4297
昭和48年	7	○	○	○	0	19	19	0	6035	6035	0.0	2.7	2.7	0	862	862
昭和55年	10	○	○	○	0	5	5	0	1132	1132	0.0	0.5	0.5	0	113	113
平成2年	4	○	○	○	0	1	1	0	233	233	0.0	0.3	0.3	0	58	58
平成6年	2	○	○	○	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0

表-3.3.1 適用基準と工事实績

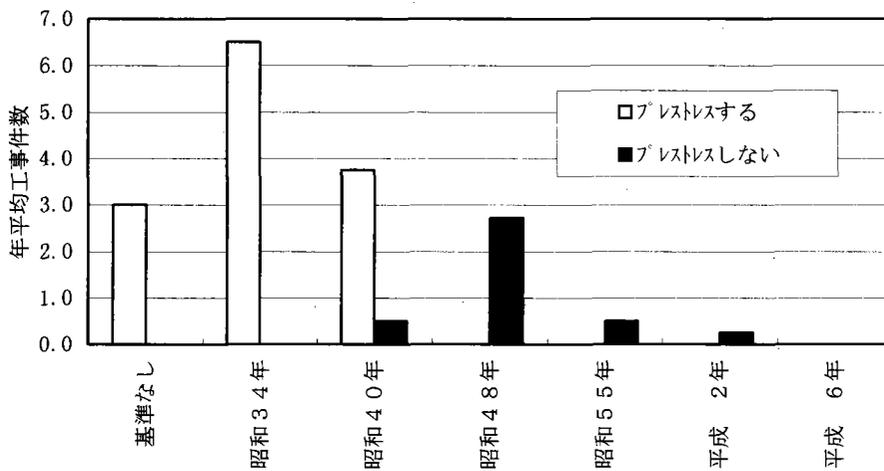


図-3.3.7 適用基準と年平均工事件数

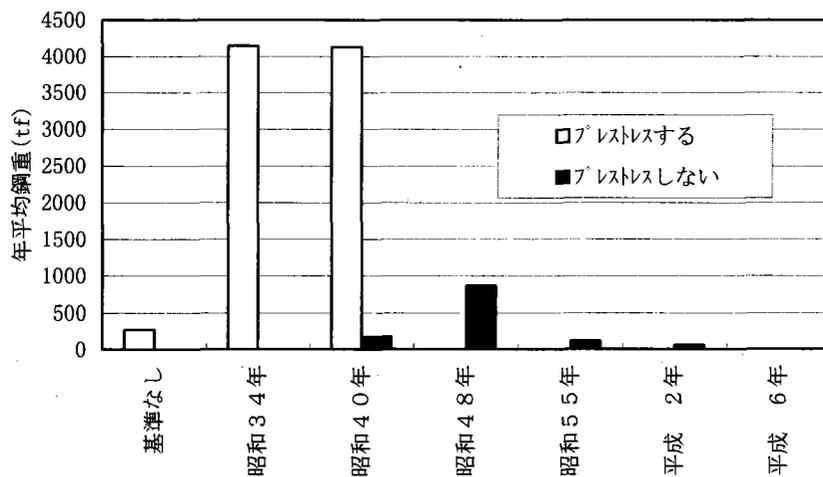


図-3.3.8 適用基準と年平均鋼重

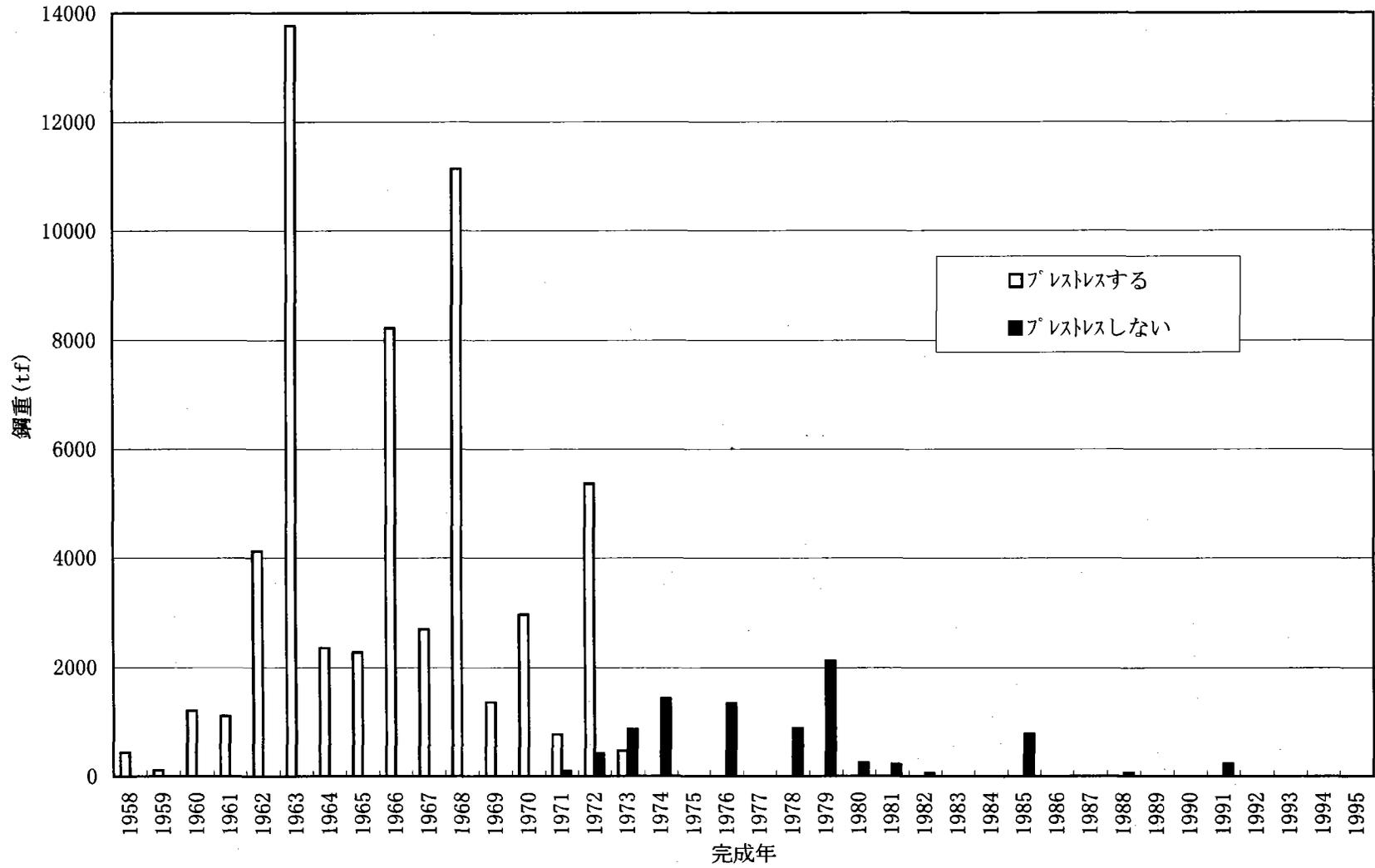


図-3.3.9 完成年と鋼重

3. 4 まとめと今後の課題

ここでは、「経済的であるはずの連続合成桁がなぜなくなってきたか」と「今後どのようにすれば連続合成桁が復活するか」に着目して、連続合成桁に携わった方々からの意見聴取および実績調査により、明らかになった内容とそれに対する考察を以下に示す。

(1) 連続合成桁はなぜ採用されなくなったか。

意見聴取によれば、連続合成桁は設計方法および施工方法が複雑であり、本来、経済的であるはずの形式が現場施工性の問題から高価になっているとの意見もある。また、一般的に設計基準として用いられている鋼道路橋設計便覧(昭和55年)においても同様の内容が示されており、これらによって、連続合成桁は、一般的に設計施工が複雑で管理が困難であるとされ、採用を控える一つの原因となったのではないかと考えられる。

また、昭和50年代には、過積載車両の増大が原因と考えられる床版の破損事故が全国で発生した。床版の破損が耐荷力に大きく影響する合成桁では、破損した場合の補修が困難であることから、床版の破損を危惧し、採用形式として合成桁が敬遠されてきたのではないかと考えられる。

(2) 今後の課題

現在および今後の現場状況を考えると、管理技術者・熟練作業員の不足から複雑な施工管理を必要としない簡素な施工法を基本とすることが必要である。また、合成桁の床版は橋梁全体の耐荷力に大きく寄与することから、鋼桁部分と同様の耐久性を保持する必要がある。単純な定着構造を持つプレキャスト床版を用いるなどの耐久性と施工性に配慮した構造を採用してゆく必要がある。

野村・梶川著「複合構造橋梁」¹²⁾に示されるとおり、わが国においては鋼構造の研究に重点が置かれ、床版は桁の上に置かれ、破損し補修するものという意識がまだ強いのではないかと考えられる。また、近年の床版の破損事故に対する研究から得られた成果をもとに床版の耐久性向上のための設計基準の改定も進められたが、合成桁の採用は控えられたままであり、床版に対する不信感は拭い切れていないのが実状ではないかと考えられる。

しかしながら、鋼橋の建設に関する合理化・省力化についての研究が今後ますます進められることによって、経済性・施工性・構造的性に優れた合成構造の橋梁形式が生まれるのではないかと考えられる。

3. 5 参考資料

- 1) 建設省：鋼道路橋設計ガイドライン（案）、1995.10
- 2) 日本橋梁建設協会：橋梁年鑑
- 3) 橋：連続合成桁橋、理工図書、1966
- 4) 日本橋梁建設協会：'93デザインデータブック、1993.5
- 5) 日本道路協会：鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針、1959.8
- 6) 日本道路協会：鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針、1965.6
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書、1973.2
- 8) 日本道路協会：道路橋示方書、1980.2
- 9) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧、1980.8
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書、1990.2
- 11) 日本道路協会：道路橋示方書、1994.2
- 12) 川田、野村、梶川：複合構造橋梁、技報堂出版、1994