

道路橋床板の設計用曲げモーメントについて

正員 米 沢 博*

1. 緒言

成岡博士および著者は、かつて、鉄筋コンクリート（以下 RC と略称する）単純板、片持板、連続板などに対して、等方性薄板の曲げ理論による計算を行い、鋼道路橋鉄筋コンクリート床板の設計用曲げモーメントの公式を誘導した¹⁾。最近鋼道路橋設計示方書の改正が試みられ²⁾、新しい示方書案（以後新示方書と呼ぶ）がほぼ決定されたが、その中の RC 床板の設計用曲げモーメントの規定には、これらの研究結果がとり入れられ、旧示方書の規定より合理的なものになった。

しかし、新示方書のこれらの公式は、いずれも等方性板理論により、しかも板の支承がたわまないものとして計算した結果から誘導されたものである。それに対して、実際の道路橋床板は直交異方性板に近く、かつ支承がたわむ。したがって、新示方書の公式による計算結果は、載荷試験の結果と相当かけはなれた値を与えることが予想され、一、二の応力測定結果もそのことを示しており³⁾、さらに合理的な公式の必要が痛感される。

ここでは、著者が従来行つてきた、道路橋に対する直交異方性板理論による計算結果⁴⁾に、さらに広範囲にわたる計算を追加し、RC 単純板並びに支承がたわむ場合の連続板の設計用曲げモーメントの公式を誘導した結果を述べる。これらの公式の中には、床板の短スパンのみでなく、支承桁と床板の相関剛比を導入したので、床組のように支承桁の曲げ剛さの小さい場合から、主桁並列形式合成桁橋や箱桁橋のように、支承桁の曲げ剛さが非常に大きい場合まで、床板の設計に一樣にかつ合理的に適用できるものである。さらに、この新公式と、異方性あるいは支承のたわみを考慮しない新示方書の公式を比較検討して、両者の相違を明らかにした。

2. RC 単純板の設計用曲げモーメント

RC 単純板の設計用曲げモーメントとして新示方書に規定してある公式は次のようである。すなわち、主鉄筋が車輻進行方向と直角な場合、 $l \leq 2m$ に対して $0.25 Pl / (0.7l + 1)$ 、 $2m \leq l \leq 4m$ に対して $0.5 P(l-1) / (l+0.4)$ 、主鉄筋と車輻進行方向が平行な場合、 $l \leq 2m$ に対して $0.25 Pl / (0.175l + 1)$ 、 $2m \leq l \leq 4m$ に対して $0.25 Pl / 1.35$ の計算式を与えている。ここで l は床板の短スパン、 P は自動車後輪 1 輪である。これらの公式は、いずれも相対する辺で単純支持された等方性無限板の理論的計算にもとづいて誘導されたものである。しかし実際の RC 床板は、主鉄筋方向とそれに直角な方向において板剛度の異なる板、すなわち直交異方性板に近いもので、等方性板として計算された主鉄筋方向の曲げモーメントは、直交異方性板と考えた場合より小さく、設計上危険側になり、これは好ましくない。

ここでは、支承部をたわまないものと仮定して、RC 床板を、相対する 2 辺で単純支持された直交異方性無限板とみなして計算した結果から、単純板の設計用曲げモーメントの公式を誘導し、新示方書の単純板の公式と比較しよう。主鉄筋方向 (x 軸方向) とそれに直角な方向 (y 軸方向) の板の曲げ剛さの比 D_x/D_y は、種々な値をとり得るが、一応次のような値を採用し、安全側の計算を行うことにする。すなわち、著者はさきに $D_x/D_y = 1.28$ 、 $H/D_y = 1.0273$ として単純板の計算を行つたことがあるので⁵⁾、これに若干の計算を追加して、以下おのおの場合の公式を誘導した。(H. Olsen と F. Reinitzhuber は $D_y/D_x = 0.8$ 、 $H^2 = D_x D_y$ として広範な計算を行つている。ここに採用した数値も上記 2 名の計算に使用した値とほぼ一致している)

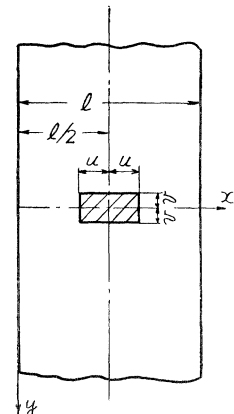
(a) 主鉄筋と車輻進行方向が直角な場合

(i) $0 < l \leq 2m$ (図-1 参照) 床板の短スパン中央に 1 輪だけ載る場合で、荷重直下の曲げモーメント (m_x) の値を、種々の l の値に対して輪荷重のひろがり $2u, 2v$ の値を表-1 のように仮定して求めたものを表-1 に示す。表には比

表-1

$l(m)$	$2u/l$	$2v/l$	m_x/P (直交異方性板)	m_x/P (等方性板)
1.00	0.75	0.45	0.133	0.127
1.50	0.50	0.30	0.177	0.162
3.00	0.39	0.24	0.199	0.183

図-1 単純板(主筋と車輻進行方向が直角 $l \leq 2m$)



* 山口大学助教授，工学部土木工学教室勤務

較のため等方性板の値が記入してある。

(ii) $2m \leq l \leq 4m$ の場合(図-2 参照) 床板の短パン中央に1輪と、さらに1m はなれて他の自動車の後輪が1輪載る場合で、このときのスパン中央の m_x の値を、種々の l, u, v の値に対して求めたものを表-2 に示す

表-2

$l(m)$	$2v/l$	$2u/l$	$\frac{m_x l}{P}$ (直交異方性板)	$\frac{m_x l}{P}$ (等方性板)
2.86	0.28	0.18	0.289	0.255
3.33	0.23	0.15	0.326	0.290
4.00	0.20	0.13	0.360	0.334

いま $0 < l \leq 2m$ に対しては $m_x = 0.25 Pl/e$, $2m \leq l \leq 4m$ に対しては $m_x = 0.5 P(l-1)/e$ として、 e を l の函数として求めたものを、図-3 に示す。図-3 には新示方書、等方性板理論、直交異方性板理論などによる値、並びに直交異方性板理論をもとにして、多少安全側にあるように決めた新しい e の公式

$$e = 0.8(l+1) \dots\dots\dots(1)$$

が示してある。

新示方書の公式は等方性板理論にもとづき、それに安全側の余裕を見込んで決めたものであるにかかわらず、直交異方性板理論による結果からは、なお危険側にある場合も生ずるわけで、新公式の方が合理的であると思う。また、理論結果からみて、 l が 2m 以下と以上で e の公式を区別する必要はなく、新公式では共通の式を採用した。

(b) 主鉄筋と車両進行方向が平行な場合

図-4 に示すように、2台の自動車の後輪計4輪によるスパン中央の m_x を、種々の l, u, v の値に対して求めたものを表-3 に示す。 $m_x = 0.25 Pl$ として、 e を l の函数であらわしたものを図-5 に示す。図には直交異方性板理論による計算をもとにして、多少安

表-3

$l(m)$	$2v/l$	$2u/l$	$\frac{m_x l}{P}$ (直交異方性板)	$\frac{m_x l}{P}$ (等方性板)
1.25	0.60	0.38	0.224	0.214
2.50	0.32	0.20	0.432	0.370
4.00	0.20	0.13	0.599	-

図-4 単純板(主鉄筋と車両進行方向が平行)

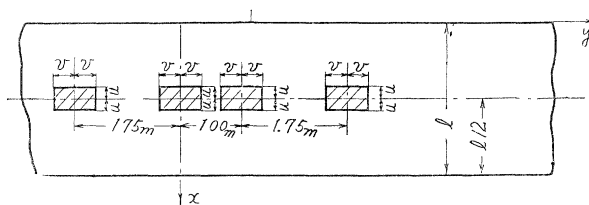


図-3 同上 ($2m \leq l \leq 4m$)

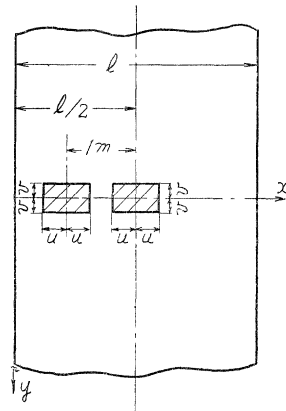


図-3 単純板の新公式

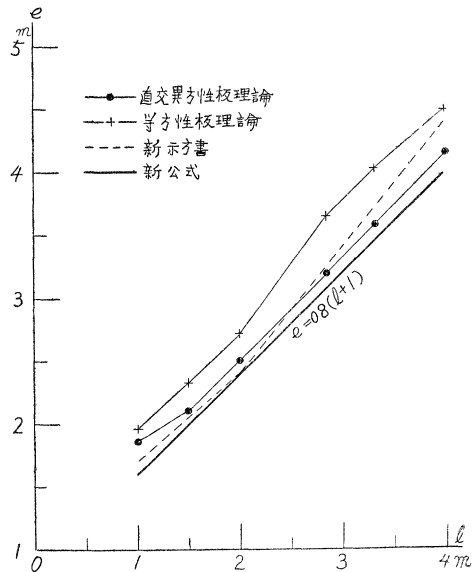
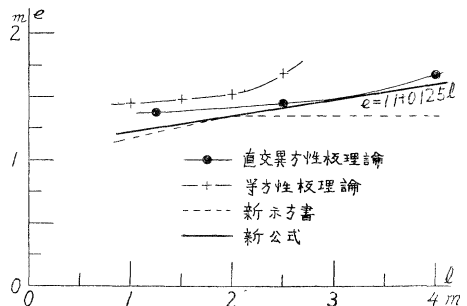


図-5 単純板の新公式



全側になるよう決めた新しい e の公式

$$e = 1.1 + 0.125 l \dots \dots \dots (2)$$

が示してある。

この場合、新示方書の公式は、直交異方性板理論の結果からみても、なお安全側にあり、また $0 < l \leq 2\text{m}$ と $2\text{m} < l \leq 4\text{m}$ に対して別の公式を与えている。ここではこれらの点を考えて、 $0 < l \leq 4\text{m}$ に共通の公式を採用した。

以上のようにして誘導した公式 (1),(2) および新示方書の公式は、いずれも支承がたわまない単純板の場合に限って適用できるもので、実際の道路橋床板に適用する公式としては不相当であると思う。

3. 道路橋連続床板の設計用曲げモーメント

道路橋の床板はすべて連続板として構造され、かつその支承部はたわむ。したがって、単純板の値をそのまま使用できない。そこで、新示方書では連続板の設計用曲げモーメントとして、単純板の曲げモーメントの 80% の値をとつた公式を与えている。しかし、この場合の連続板の値は支承がたわまない場合のもので、たとえ単純板の値の 80% をとつても、一般には支承がたわむ場合の連続板の値とは相当異なるものになるであろう。したがって、支承桁と床板との相関剛比を含む、より合理的な公式の必要が痛感され、このことはすでに成岡博士が述べている⁶⁾。

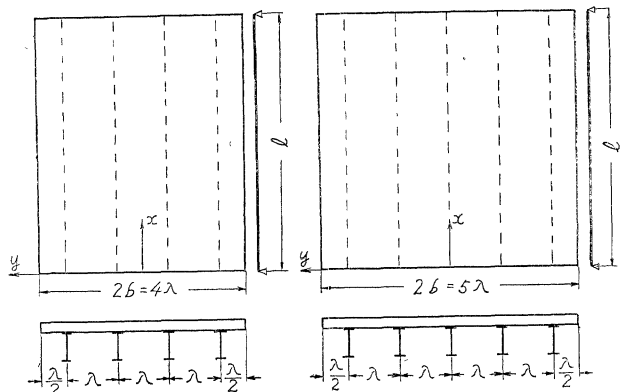
ここでは、床板が縦桁あるいは主桁によって支えられた場合について、直交異方性板理論による広範囲な計算を行い、相関剛比を含む新しい公式の誘導を試みた。計算や計算にあつた仮定については、著者のこれまでの研究を参照されたい⁷⁾。

(a) 主鉄筋方向と車輪進行方向が直角の場合 (縦桁にて支承の場合)

図-6 のように、4 本あるいは 5 本の縦桁で支えられた場合を考える。新示方書の連続板公式と比較する意味で一応 $\lambda/l = 0.2$ とすると、 $2b/l = 0.8$ あるいは $2b/l = 1.0$ となり、実際の床組がすべての場合これと完全に一致するわけではないが、大体においてこれに近いものとなり、また支承がたわむ連続板の公式を考える上には、これで充分であろう。

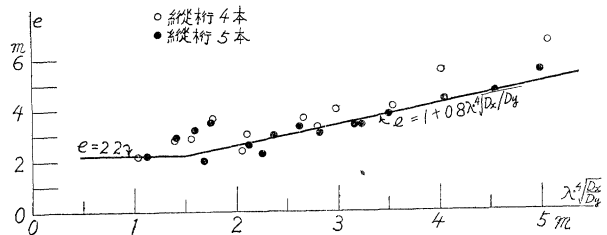
図-6 連続板 (主鉄筋と車両進行方向が直角)

つぎに桁方向および床板短スパン方向を図-6 のように x 軸、 y 軸とし、 D_x には桁と床板の合成作用を考える場合には合成断面を、合成作用を考えない場合は桁のみの断面を、 D_y には床板のみの断面をとつて計算する。



$D_x/D_y = 1.5 \sim 10$ の値に対し、床板の短スパン $\lambda = 1\text{m}, 1.5\text{m}, 2\text{m}, 2.86\text{m}$ とし、輪荷重の分布を考慮して、新示方書の規定通りの載荷方法により m_y を計算したものを図-7 に示す。ただし、図には直接 m_y を示さず、単純板の場合に用いた e を示した。この図をもとにして、床板の短スパン λ と D_x/D_y を含んだ公式を誘導すると次のようになる。

図-7 連続板の新公式



$0 < \lambda \leq 2\text{m}$ では $m_y = 0.25 P \lambda / e$
 $2\text{m} \leq \lambda \leq 4\text{m}$ では $m_y = 0.5 P (\lambda - 1) / e$
 $\lambda \cdot (D_x/D_y)^{1/4} \leq 1.5\text{m}$ に対して

$$e = 2.2 \dots \dots \dots (3)$$

$$\lambda \cdot (D_x/D_y)^{1/4} \geq 1.5\text{m} \text{ に対して } e = 1 + 0.8 \lambda \cdot (D_x/D_y)^{1/4} \dots \dots \dots (4)$$

(b) 主鉄筋方向と車輪進行方向が直角な場合 (主桁で支承の場合)

図-6 のように 4 本あるいは 5 本の主桁で支えられた場合を考える。 $D_x/D_y = 5 \sim 300$ で計算し、主桁並列形式プレートガーダー橋、RC 橋などの床板を対象にした。 $\lambda = 1.5\text{m}, 2\text{m}, 2.5\text{m}, 3\text{m}$ で、主桁スパン $10\text{m} \sim 40\text{m}$ の範囲内のおおの場合について、輪荷重の分布幅を考慮して m_y を計算し、この m_y をもとにして求めた e の値を図-8 に示す。この図から m_y の公式を誘導すると次のようになる。

$0 < l \leq 2m$ では $m_y = 0.25 P \lambda / e$
 $2m \leq l \leq 4m$ では

$$m_y = 0.5 P (\lambda - 1) / e$$

$\lambda \cdot (D_x / D_y)^{1/4} \leq 3m$ に対して

$$e = 2.0 \dots \dots \dots (5)$$

$\lambda \cdot (D_x / D_y)^{1/4} \geq 3m$ に対して

$$e = -1 + \lambda \cdot (D_x / D_y)^{1/4} \dots \dots (6)$$

(c) 主鉄筋方向と車輛進行方向が平行な場合

図-9のように、4本あるいは5本の桁で支えられた連続板に、図のように自動車2輛の後輪が載つた場合を考える。 $D_x / D_y = 1.5 \sim 250$, $2b/l = 0.8$ または 1.0 , $\lambda = 1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m$ として、(a), (b) と同様にして求めた e の値を図-10に示す。この図から誘導した m_y の公式は次のようになる。

$$m_y = 0.25 P \lambda / e$$

$$\lambda \cdot (D_x / D_y)^{1/4} \leq 2m \text{ に対して } e = 1.2 \dots \dots \dots (7)$$

$$\lambda \cdot (D_x / D_y)^{1/4} \geq 2m \text{ に対して } e = 0.2 + 0.5 \lambda \cdot (D_x / D_y)^{1/4} \dots \dots \dots (8)$$

図-9 連続板(主鉄筋と車輛進行方向が平行)

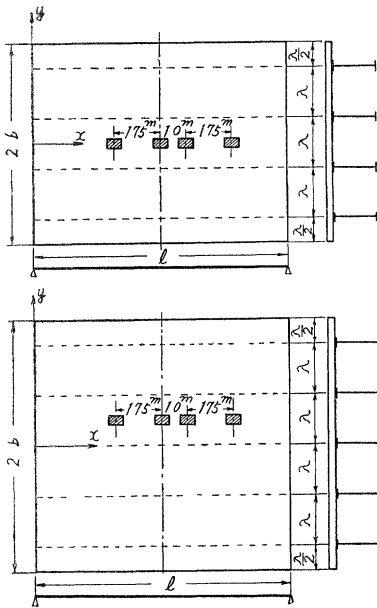


図-11

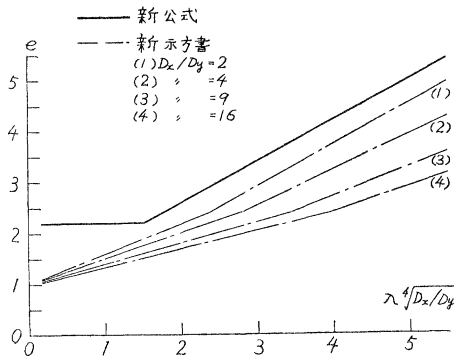
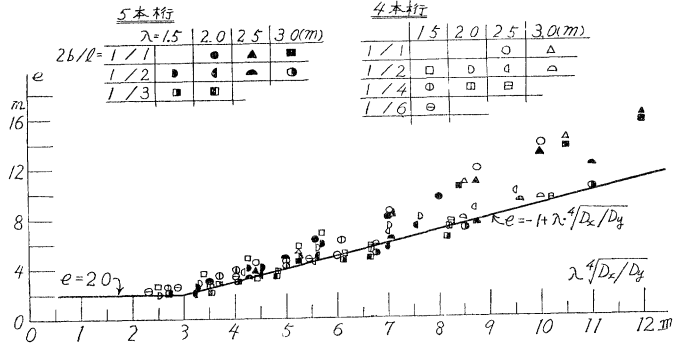


図-8 同上



以上 (a), (b), (c) において誘導した新しい公式 (3)~(8) は、いずれも床板の短スパンと、床板と支承桁の相関剛比を含み、道路橋床板の設計用曲げモーメントとしては実情にあつたと考えられる。また D_x / D_y が大きくなるほど m_y が小さくなることも注意すべきことで、このことは成岡博士が5本の縦桁で支えられた連続板について等方性板理論で計算した結果とも一致する¹⁾。

4. 連続板に対する新公式と新示方書の公式の比較

連続板に対する新公式と新示方書の公式中の e の値を比較し、さらに実際の橋梁に対する数値計算例によつて、各公式から得られる曲げモーメントの値を比較してみる。

主鉄筋の方向が車輛進行方向に直角で、床板が縦桁あるいは主桁で支えられた場合につき比較したものを図-11 および図-12 に、主鉄

図-10 連続板の新公式

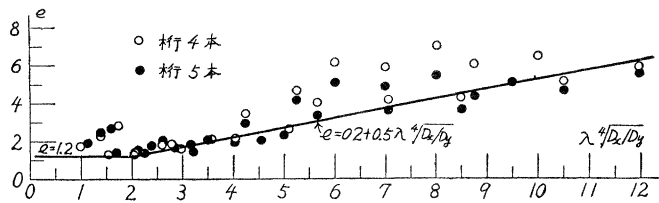
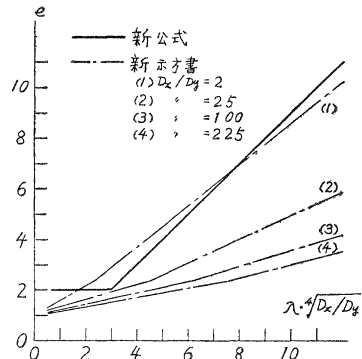


図-12



筋の方向が車輛進行方向に平行な場合につき比較したものを図-13に示す。これらの図からわかるように、 $\lambda \cdot (D_x/D_y)^{1/4}$ が小さい値をとる少数の場合を除いては、新示方書の公式の e は新公式の e より相当小さく、特に $\lambda \cdot D_x/D_y^{1/4}$ が大きくなるほどこの傾向は著しい。安全側にあるから充分と云えばそれまでであるが、やはり実情にあつた合理的な公式を用うべきであろう。

つぎに数値計算例によつて、以下の (a)~(f) の 6 個の場合につき比較してみよう。

(a) 両国橋トラス橋床板 公式 (3),(4) を適用する場合で、4 本縦桁で $l=4\text{ m}$, $2b=4.5\text{ m}$, $\lambda=1.3\text{ m}$, $D_x/D_y=6$ である。

(b) 両国橋合成桁橋床板 公式 (5),(6) を適用する場合で、3 本主桁で $l=18\text{ m}$, $2b=4.5\text{ m}$, $\lambda=1.6\text{ m}$, $D_x/D_y=130$ である。

(c) 縦桁で支えられ、主鉄筋の方向と車輛進行方向が直角な場合 $\lambda=2.5\text{ m}$ $D_x/D_y=4$ として計算する。

(d) 主桁で支えられ、主鉄筋の方向と車輛進行方向が直角な場合 $\lambda=2.5\text{ m}$, $D_x/D_y=100$ として計算する。

(e) 主鉄筋の方向と車輛進行方向が平行な場合 $\lambda=1.3\text{ m}$, $D_x/D_y=6$ として計算する。

(f) 主鉄筋の方向と車輛進行方向が平行な場合 $\lambda=1.6\text{ m}$, $D_x/D_y=130$ として計算する。

この 6 つの場合に対し、 $P=8\text{ t}$ として、新公式並びに新示方書の公式により、 e および曲げモーメントを計算すると表-4 のようになる。これらの計算例をみると、ほとんどの場合に対し、新公式による曲げモーメントが相

図-13

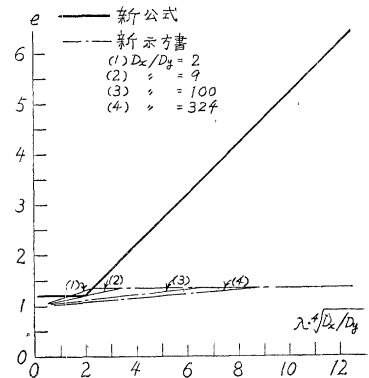


表-4 数値計算例による比較

		主鉄筋と車輛進行方向が直角				主鉄筋と車輛進行方向が平行	
		a	b	c	d	e	f
新公式	$e(\text{m})$	2.63	4.40	3.83	6.90	1.22	2.90
	$m_y(\text{kg})$	989	727	1566	870	2135	1103
新示方書	$e(\text{m})$	1.91	2.12	2.90	2.90	1.23	1.28
	$m_y(\text{kg})$	1360	1510	2070	2070	2120	2500
単純板	$m_y(\text{kg})$	1088	1208	1656	1656	1696	2000

当小さく、かつ D_x/D_y の値によつて曲げモーメントが異なることがわかる。なお (a),(b) の両国橋に対してはさきに載荷試験を行つて床板の応力を測定したが⁹⁾、その結果からも、縦桁または主桁で支えられた両者に対し、新公式による方が実測応力とよく一致することがわかっている。

5. 結 言

直交異方性無限板あるいは矩形板に輪荷重が載つた場合に対する計算をもとにして、RC 単純板並びに支承のタワミを考慮した連続板に対する、設計用曲げモーメントの公式を誘導した。この式は、単純板に対する公式には主鉄筋の影響を加味し、連続板に対する公式には床板と支承桁の相関剛比を理論的に導入したもので、等方性板理論にもとづき、かつ支承桁のタワミを考慮していない新示方書の公式、あるいは従来の慣用計算法に比較して、より合理的であると考えられる。

もちろん、道路橋床板のあらゆる場合を完全に含んだ公式としては、不十分な点も多くあり、またさらに厳密な理論的解析を必要とする点もあるが、普通の道路橋床板を設計する上には、一応実用的に使い得るものと思う。この意味で本文がなんらかの参考となれば幸である。

最後に終始御指導いただいた京都大学小西教授、同成岡教授に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 米沢：土木学会誌第 36 卷 (昭 26), p. 450, 成岡, 米沢：土木学会誌第 36 卷 (昭 26) p. 492, p. 536 第 37 卷 (昭 27), p. 17
- 2) 日本道路協会鋼道路橋設計示方書案解説 (第 3 次原案) (昭 30), 土木学会鋼橋設計示方書案とプレストレスト指針 (昭 30)
- 3) 成岡, 米沢：土木学会誌第 40 卷 (昭 30), p. 214 および 道路 (1955.5) p. 240
- 4) 米沢：土木学会誌第 39 卷 (昭 29) p. 38, p. 509, 成岡, 米沢：土木学会誌第 40 卷 (昭 30), p. 214 ; 米沢：山口大学工学部学報第 6 卷, 第 1 号 (昭 30), p. 34
- 5) 4) 参照 6) 成岡：土木学会誌第 38 卷 (昭 28), p. 519 7) 4) 参照 8) 6) 参照 9) 3) 参照 (昭 30. 10. 31)