

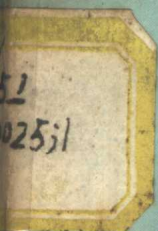
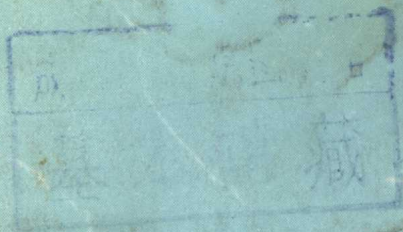
521553

551
7/0025j1

曲线梁桥

[日] 高岛春生 著

张德礼 译



中国建筑工业出版社

曲 线 梁 桥

[日] 高 岛 春 生 著

张 德 礼 译

中 国 建 筑 工 业 出 版 社

本书系统地论述了曲线梁桥的性状、横向分配、理论、试验以及主要的计算方法和实用计算法等，在各章节中并附有若干计算实例。

本书可供城市和公路部门桥梁工程设计技术人员参考。

道路桥の横分配实用计算法

——后编——

高岛春生 著 1966

理工学书 现代社 东京
出版

* * *

曲 线 梁 桥

张 德 礼 译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 850×1168毫米1/32 印张: 5 7/8 字数: 159 千字

1979年1月第一版 1979年1月第一次印刷

印数: 1—12,160册 定价: 0.53元

统一书号: 15040·3532

译 者 的 话

在道路、桥梁设计方面，过去往往是采取“路迁就于桥”的做法。这样，为了使桥与河道正交，而将线路设计成S形或其他形状的曲线，以致给行车带来很多的不便。随着科学技术的发展，国外对斜桥和曲线桥的理论和实验，曾进行了一系列的研究和实验，并发表了许多有参考价值的文献。但至今，还没有见到有关这方面的专著和定型的方法。日本高岛春生氏，在其所著《道路桥的横向分配实用计算法》一书的第7、8两章中，对斜梁桥和曲线梁桥的基本理论和设计方法进行了系统的论述，并提供了各种计算公式和列举一些计算实例，为斜梁桥和曲线梁桥的设计提供了初步做法。译者曾译出《斜梁桥》一章，由中国建筑工业出版社出版，今再将《曲线梁桥》一章继续译出，供有关设计人员参考。

限于译者水平，难免有错译和漏译的地方，希望读者批评指正，以臻完善。

在翻译过程中，承金问鲁、王定英、周进三等同志协助，在此一并致谢。

前 言

近年来随着道路工程的飞跃发展，桥梁架设的位置，作为道路的一部分，已多由线路的形状来决定，从而，曲线桥的建造就日益增多了。因此，曲线桥的理论解析成为急待解决的问题。国内外发表了不少的计算方法，但还未看到比较完善的实用算法，从事这方面工作的工程技术人员，对其应用大多不甚了解。本书系论述有关曲线梁桥荷重横向分配的实用算法，但还不能认为是确定的方法。换句话说，作为曲线桥的横向分配法总结性的文章，在现阶段还有困难。

然而，从目前一般使用的各种算法中，也能以更合适的形式加以整理，成为一种实用算法，其中也还考虑到将来的发展和改善的需要。因此，在本书中以加深对曲线桥的理解为重点详细地论述了关于曲线桥的特性、存在问题、各种计算方法、荷载试验等。而在叙述时，尽量做到简明易懂，以便正确理解书中所使用的实用算法的适用范围和见解。

曲线桥仅仅是因曲率引起的弯曲而生扭转，故荷重横向分配与直线桥正桥时虽有不同，倘若横向分配一经决定，也就可以根据曲线桥的特性，与直线桥正桥同样地进行设计。在本书介绍的实用算法中，对由弯扭引起的影响，不直接考虑并予以忽略，著者认为在实用上无甚影响。

著 者

目 录

译者的话

前言

第一章 总论	1
第一节 曲线梁桥的性状	1
1-1 曲线桥的形式	1
1-2 曲线桥的特性	1
1-3 曲线桥设计上存在的问题	3
第二节 曲线梁桥的横向分配	4
2-1 横梁的刚度	4
2-2 横向分配的性状	6
2-3 与直线桥正桥的关系	10
第三节 1根曲线梁的力学性能	13
3-1 曲线梁的基本公式	13
3-2 断面内力的计算公式	17
3-3 断面内力图和变位图	23
3-4 对连续梁的应用	25
第四节 曲线梁桥的理论概要	28
4-1 理论的种类	28
4-2 关于几何学解法的文献介绍	29
4-3 关于作为1根曲线梁解法的文献介绍	30
4-4 关于根据格子理论解法的文献介绍	31
4-5 关于根据版理论解法的文献介绍	32
第五节 实际的荷载试验	33
5-1 日本白系桥的实验(文献5、6)	33
5-2 日本鸟居新桥的荷载试验(文献7)	35
5-3 日本下足川桥的荷载试验(文献31)	37

5-4 曲线桥的荷载实验(文献31)	37
5-5 连续曲线梁的模型实验(文献28)	42
第二章 主要的计算方法	47
第一节 戈特费尔特 (Gottfeldt) 氏法的应用	47
1-1 简支曲线梁桥的计算公式	47
1-2 应用实例	50
1-3 近似计算法	54
1-4 应用实例	55
1-5 对连续曲线梁桥的应用	57
第二节 多角形曲线桥理论	62
2-1 主梁的弯矩和扭矩	63
2-2 格点力的计算公式	64
2-3 断面内力及其他	67
2-4 应用实例	68
第三节 曲线格子梁理论	74
3-1 日本渡边氏的方法	74
3-2 日本岛田氏的方法	76
3-3 日本小松氏的方法	79
3-4 日本岛田, 仓西氏的方法	85
第四节 根据版理论制成的图表	91
4-1 钢筋混凝土平板桥的资料	91
4-2 扇形平板桥的资料	91
第三章 实用计算法	94
第一节 实用计算法的应用	94
第二节 对称扇形的曲线格子梁[A 算法]	95
2-1 设想和计算程序	95
2-2 计算公式	96
2-3 q_{ik} 值的算式	97
2-4 应用实例	101
第三节 任意形状的曲线格子梁[B 算法]	105
3-1 设想和计算程序	105
3-2 计算方法	106
3-3 应用实例	108

第四节 版理论的应用法[<i>C</i> 算法]	114
4-1 基本设想	114
4-2 计算方法	115
4-3 应用实例	117
第五节 横梁的计算	119
5-1 计算方法	120
5-2 应用实例	121
第四章 计算实例	124
第一节 简支合成曲线梁桥	124
1-1 第1次计算[<i>A</i> 算法]	124
1-2 第2次计算[<i>B</i> 算法]	127
第二节 3跨连续曲线箱梁桥	130
2-1 分配系数的计算	131
2-2 主梁的弯矩	134
2-3 横梁的计算	137
第三节 钢筋混凝土连续曲线版桥	139
3-1 分配系数的计算	140
3-2 桥轴方向的断面内力	142
附录 I	
附录 II	
附录 III	
附录 IV	
附录 V	
附录 VI	
参考文献	180

第一章 总 论

第一节 曲线梁桥的性状

1-1 曲线桥的形式

曲线桥有版和并列梁、箱梁等型式，但都是用曲线梁桥的表现来处理。

曲线桥的平面形状，虽然有多种多样，但一般则为图 1 所示的形式，计算跨径采用道路中心线的弧长 l ，而宽度则取曲率中心方向的宽度 B 。

图 1 (a) 为扇形，是曲线桥类似于直线桥正桥的形式，也是可用一般理论进行分析的基本形式。

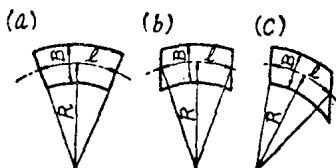


图 1

图 1 (b)、(c) 是曲线桥类似于直线桥斜桥的形式，而一般是难解的形状，可采用基本形图 1 (a) 的解法加以修正的办法来计算。

此外，虽然可以考虑由图 1 (a)、(b)、(c) 组合而成的连续曲线桥的形式，但即使对此种连续曲线梁也多是以扇状形式连续的为基本。

曲线桥的断面形状，仍然可以采用直线桥正桥所用的断面，但从曲线桥的特性来说，横梁刚度变大，主梁断面也可以说以采用箱梁型式的断面为好。

1-2 曲线桥的特性

将曲线桥与直线桥不同之点和其主要特性，分条进行叙述，这对曲线桥的设计计算的理解是有帮助的。

(1) 垂直荷重作用在曲线梁桥上时，由于曲率的关系，同时产生弯矩和扭矩，并彼此互为影响，此为曲线梁桥的显著特

点。因此，在曲线梁桥上的挠曲变形乃为挠与扭两者的迭加，其变形值要比一般直线桥正桥为大。

(2) 通常宽度与曲率半径之比，增长越大，则与有相同诸量的直线桥的断面内力之差，就显得越大。

(3) 对于曲线桥，由于旋转力矩的作用，外梁产生加重，内梁产生拔重，所以内外梁的应力产生差别，决定断面就比较烦琐，而且还构成非常不经济的断面，与直线桥相比，结果造价较贵。

(4) 曲线桥中的横梁不单是起版结构的作用，而且要防止扭转，成为保持全桥稳定的重要构件，因而，一般与直线桥正桥相比，必然需要加大横梁的刚度。

因横梁的刚度大，所以桥梁断面的变形可以忽略，其对由横梁变形引起的主梁荷重分配的影响则较小，且一般横梁的变形在主梁间大多成直线变化。

(5) 对曲线格子梁，一般外梁中作用的应力较大，所以如若加大外梁的刚度，则应力随之也就会更大，而主梁断面则很难适应。对此，采用增大内梁的刚度，以减轻外梁应用的设计法，有时也能减少整个桥梁的钢材用量。

(6) 如在并列梁型式的曲线梁桥中，设置纵向联结系，则纵向联结系与桥版一起构成整体闭合的断面，因之，荷重分配情况起了变化，在内主梁中产生意外大的应力，故必须注意。

(7) 如果在直线桥正桥整个桥面上施加 P ——荷重（均布荷重），若考虑此时的横向分配，则各主梁上产生同样大小的断面内力。但对于曲线桥，则应力分布不均匀，在外梁处受力较多。这也与前述一样，是由于扭转引起的影响所致。所以若加大整个桥梁的抗扭刚度，则可以挽救应力分布不均的缺点。

(8) 对工字型梁并列式的曲线桥，在翼缘处，除了承受通常的弯曲应力（初应力）外，还承受相当大的局部的扭转应力（次应力）。因而，需要作成箱梁型式，或设置通用 (Rautine) 型的纵向联结系，以减少翼缘固定点距离，使翼缘牢固地与混凝

土桥版等联结。或者采用加多横梁的根数，缩短格间长度等办法来解决。

(9) 如前所述，曲线梁桥的反力与直线梁桥相比，有外梁变大，内梁变小的倾向，因此，在内梁中有产生负反力的可能。尤其在曲率半径小，静荷重比较小时，更容易产生负反力。另外，在连续曲线桥时，应比直线桥时尤要注意跨径方向的分配问题。从经济方面来考虑，则采用下部结构或支座的结构，来抵抗负反力的设计方法，比较切合实际。

(10) 在初步设计进行近似计算时，可与直线桥正桥一样，采用跨中的荷重分配系数来求算，并对整个跨径认为分配不变，这样作法颇有实用价值。

(11) 曲线桥支点上荷载的反力影响线，在所考虑的梁上为1，其他全部为0，因此，在邻接支点的格间，需要作为间接荷重来计算。

1-3 曲线桥设计上存在的问题

曲线桥设计上存在的问题，无疑是起因于本节1-2所述的特性。特性即可说是存在的问题。而此处只就有待研究、改善、发展各项，作为问题提出。

(1) 曲线桥实用计算法的研究、发展，目前还很不够，而且已发表的也不尽一致，希望有统一的准确办法。例如将整个断面看成不变的理论方面，就有认为具有实用价值而简单的直线桥正桥变换的变换法，这在对格子理论，在日本渡边 昇氏建议的Z、 Z_T (4式)的发展应用，再由直线桥正桥变换的变换法；对版理论，有由日本芳村仁氏建议的各向异性曲线版的发展理论，且与古杨-马松奈特 (Guyon-Massonnet) 法相比拟的简易法，而再由直线桥正桥变换的变换法等，这些就认为是所期望的实用计算法。

(2) 曲线桥挠度大，且大多变形范围受限制，因而，从经济设计的立场出发来考虑，则认为应放宽限度，不过，这要涉及到动力学问题，需要今后加以研究。

(3) 使用并列型式时的横梁, 其高度和连结法, 纵向联结系的必然性和配置, 与版的连结法等, 在制定这些结构标准时, 认为需要与翼缘次应力的计算方法, 主梁和横梁的设计方法相联系。

(4) 曲线桥支座结构如固定支座、轴向可动支座、任意方向可动支座, 以及负反力用的支座等, 有关结构、配置等问题还很多, 尚待深入研究。

(5) 整个曲线桥经济上相互协调的断面, 如何进行必要的研究, 认为应该通过大量的资料来研讨。

(6) 对把横梁看成主要结构的曲线桥, 确定横梁算法很重要, 但尚在研究过程中。

(7) 对弯曲应力和扭转应力同时产生的曲线梁, 其破坏的安全度, 认为比用以屈服点为标准的容许应力的现行设计法要高, 所以容许应力是否要增大等问题, 乃是今后需要研究的。

(8) 曲线桥, 实际上多系图1(b)、(c)所示的形状, 而理论上则大多为图1(a)的扇状形, 则对图1(b)、(c)的应用法, 也要加以研究。

第二节 曲线梁桥的横向分配

曲线梁桥的横向分配, 因曲率半径 R 、计算跨径(弧长) $=l$ 、主梁的刚度(一般外周一侧大)、横梁的刚度而异。而与直线梁的情形相比, 由于曲率的影响和外梁刚度变大, 在外梁就分配的极多, 内梁分配则极小。下面就曲线梁桥的横向分配性状予以研讨, 以便有助于对曲线桥计算法的理解。

2-1 横梁的刚度

如对直线桥时所叙述那样, 假如格子梁的横梁的抗弯刚度大到某一程度以上, 将与 $EI_0=\infty$ (横梁的抗弯刚度)时的分配状态一样(参照原著前编第1章§1[3]7~10页)。

这种情形, 即使对曲线梁桥, 也有同样的倾向。特别是曲线梁桥承受弯曲的影响, 由弯曲引起的挠度和由扭转引起的挠度相

迭加，而使挠度变大，更是如此。所以，横梁不仅是版结构，而且是保持整个桥梁稳定的重要构件，无疑横梁的刚度就要设计得大些。所以在计算上，大多假定 $EI_Q = \infty$ ，并且根据横梁的刚度可以认为其主梁的荷重分配的变化带来的影响很小。

现就文献42中所述的由 I_Q/I 而点的分配系数的变化加以说明。

对夹角 $\Phi=60^\circ$ ，半径 $R=30\text{m}$ ，梁间距 $a=3\text{m}$ 的，3根并列曲线梁，当 $I_a=I_b=I_c=0.02\text{m}^4$ ， $J_a=J_b=J_c=0.01\text{m}^4$ 时，不同横梁的 I_Q 其弯矩分配率 m_{ii} 和扭矩分配率 t_{ii} ，如图2所示。

所谓弯矩分配率 (m_{ii})：

假定在曲线格子梁跨中的弯矩影响面纵距 $=M$ ，一根曲线梁跨中的弯矩影响面纵距 $=M^0$ ，这时， $m=M/M^0=\leq 1$ (1)

例如： $m_{aa}=M_{aa}/M_a^0$ ； $m_{cc}=M_{cc}/M_c^0$

所谓扭矩分配率 (t_{ii})：

假定曲线格子梁支点处的扭矩影响面纵距 $=T$ 一根曲线梁支点处的扭矩影响面纵距 $=T^0$

这时， $t=T/T^0=\leq 1$ (2)

例如， $t_{aa}=T_{aa}/T_a^0$ ； $t_{cc}=T_{cc}/T_c^0$

由图2可知，不论哪一根主梁，若将横梁的 I_Q 加大，则荷重分配率变好。不过，如果加大到所需要的以上，也会没有效果，这是明确的。本例在 $I_Q/I=0.1\sim 0.2$ 范围内，可以认为能发挥分配效果。

并列梁直线桥的格子刚度，可用 $Z = \frac{I_Q}{I} \left(\frac{l}{2a} \right)^3$ 来定义。这种格子刚度 Z ，具有如下的力学意义：

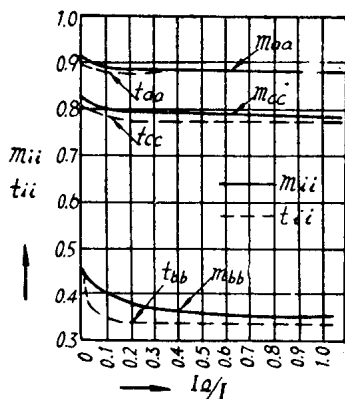


图2

$$Z = \frac{\text{由计算跨径长度 } l \text{ 的主梁中点的集中荷重引起的挠度}}{\text{由计算跨径长度 } 2a \text{ 的横梁中点的集中荷重引起的挠度}} \quad (3)$$

若将(3)式的格子刚度应用于计算曲线格子梁的 Z ，则实际上大多约可达直线梁 Z 的100倍，因此，可以假定 $EI_0 = \infty$ ，且可认为全桥梁断面不变形。

2-2 横向分配的性状

曲线梁桥荷重横向分配的性状颇为复杂，而且难以用定量的方法来表示。现将文献92所述的，由一定条件引起的分配状态加以研究，据此认为可以理解曲线梁桥荷重横向分配的概要。兹作如下说明（诸图表是根据日本渡边 昇氏等理论作成的）：

夹角 $\Phi = 60^\circ$ ，半径 $R_b = 30\text{m}$ ，梁间距 $a = 3\text{m}$ ，3根主梁的曲线格子梁的横梁， $I_0 = 0.01\text{m}^4 = \text{常数}$ ，不考虑抗扭刚度。

主梁为 $I_b = 0.02\text{m}^4$ ， $J_b = 0.01\text{m}^4$ ，研究由 I 、 J 的变化而引起的(1)(2)式的分配率 m 及 t 的变化，并研究由夹角 Φ 的变化而引起的分配率 m 及 t 的变化。

$$(1) \text{ 当 } i = \frac{I_b}{I_a} = \frac{I_c}{I_b} \text{ 时}$$

即主梁的断面惯性矩 I ，自内主梁 a 起顺次地按 b 、 c 以一定的比率变大时，其 m 、 t 的变化，示于图3(a)。当3根主梁的 I 相等时， $i=1$ ，如果 b 的 I 为主梁 a 的 I 的2倍，主梁 c 的 I 为主梁 b 的 I 的2倍时，则 $i=2$ 。

由图3(a)可知，若自内梁向外梁依次加强刚度，则外梁的分配变坏，而内梁的分配变好。此即表示刚度越加强的主梁，其分担的荷重越多。

另外，若只就主梁 b 的分配率来说，3根主梁的 I 大致相等时($i=1$)其分配状态最好。

$$(2) \text{ 当 } j = \frac{J_b}{J_a} = \frac{J_c}{J_b} \text{ 时}$$

即主梁的抗扭惯性矩 J ，自内主梁 a 起顺次地按 b 、 c 以一定的比率增大时，其 m 、 t 的示于图3(b)。当3根主梁的 J 相等

时, 为 $j=1$, 如果主梁 b 的 J 为主梁 a 的 J 的 2 倍, 主梁 c 的 J 为主梁 b 的 J 的 2 倍时, 则 $j=2$ 。

由图 3(b) 可知, 与 I 的变化一样, 对抗扭刚度越加强的主梁, 其分担的荷重越多。

另外, 若只对主梁 b 的分配率来说, 则 3 根主梁的 J 大致相等时 ($j=1$), 其分配状态最好。

(3) Φ 的变化与 J 的关系

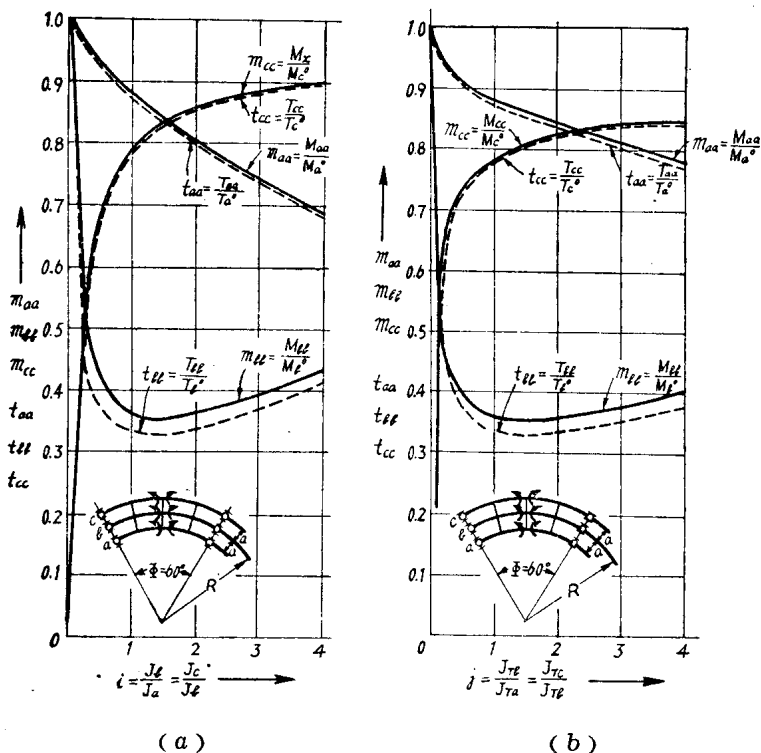


图 3

对与上面同样条件的曲线格子梁, 设 I 为一定 ($i=1$), 并

- 原书为 i , 疑误。——译者
- 原书为 $i = \frac{J_b}{J_a} = \frac{J_c}{J_b}$ 。——译者

使 J 按 $J=0.01m^4$, $0.001m^4$, $0.00001m^4$ 进行变化, 此时由夹角 Φ 引起的 m , t 的变化, 则如图4(a)、(b)所示。

由图4显然若夹角 Φ 为一定, 当加强 J 时, 则弯矩分配率 m 及扭矩分配率 t 变坏。但当夹角 Φ 一变大, 则 J 的影响几乎成为没有。

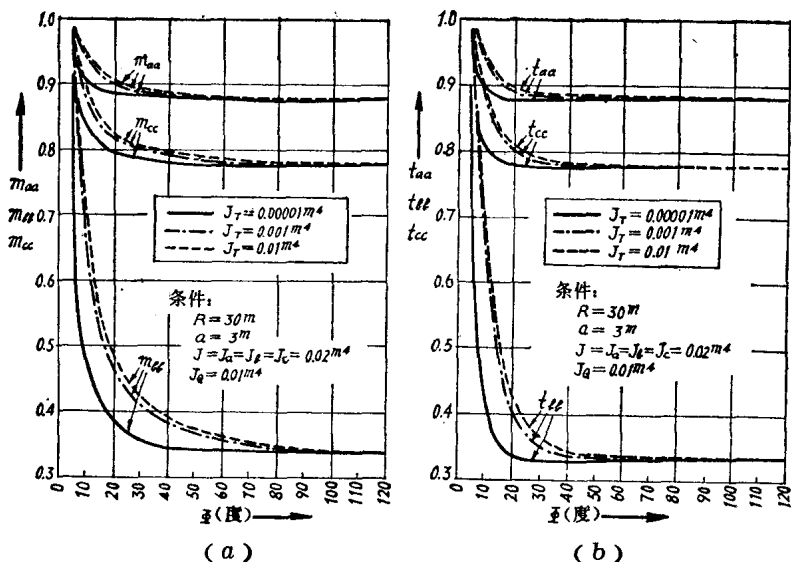


图 4

(4) 曲线格子梁的相似性

将图5(a)所示的曲线格子梁的夹角 Φ 作成一定, 半径 R 进行 n 倍, 同时主梁间距 a 也进行 n 倍, 这样的曲线格子梁乃是完全相似的, 而且分配率 m , t 也都成为同一值。因此, 日本渡边 昇氏在文献 42 中, 建议用与直线桥正桥格子刚度 $Z = \left(\frac{l}{2a}\right)^3 \frac{I_0}{I}$ 式同样的表示法, 对曲线格子梁用下式(4式)的 Z 和 Z_T 来决定 m , t 的分配率, 对 Z 和 Z_T 具有同值的曲线格子梁, 无论怎样, 各自的荷重分配率也都成为相等, 而且认为, 将来也可能包

● 原书图4(a)及图4(b)中, 条件一栏, 所注 $J = J_a = J_b = J_c = 0.02m^4$ 及 $J_0 = 0.01m^4$, 均疑误, 应改正为 $I = I_a = I_b = I_c = 0.02m^4$ 及 $I_0 = 0.01m^4$ 。——译者

含在由直线桥正桥解析法的近似法中。

$$\left. \begin{aligned} \text{抗弯格子刚度 } Z &= \left(\frac{\Phi R}{2a} \right)^3 \frac{I_0}{I} \\ \text{抗扭格子刚度 } Z_T &= \left(\frac{\Phi R}{2a} \right)^3 \frac{EI_0 \textcircled{1}}{GJ_T} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

对(4)式必须注意,如图5(b)所示,若将半径 R 作成一定,夹角 Φ 进行 n 倍,同时将主梁间距也进行 n 倍,则 $\left(\frac{\Phi R}{2a}\right)$ 成为相等, Z 变成相同,但比时的分配率 m , t 与 n 倍前的分配率则不相等。

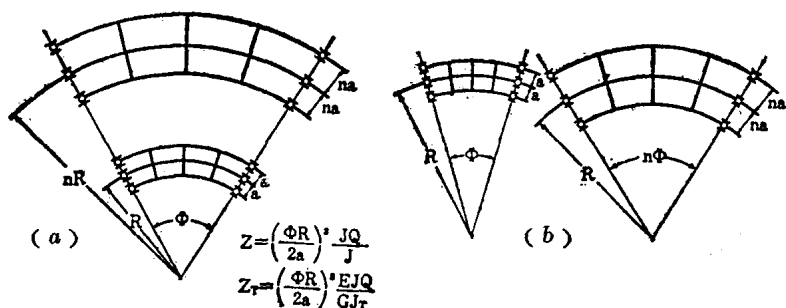


图 5●

即图5(a)有相似性,而图5(b)则并无相似性。

此外,将由(4)式的 $(\Phi R/2a)^3$ 的变化所引起的 m , t 的变化绘制成图,则如图6所示。

图6依据 $\Phi=60^\circ=\text{常数}$, $I=0.02\text{m}^4 \times k$, $J=0.01\text{m}^4 \times k$, $I_0=0.01\text{m}^4 \times k$,并使 R 、 a 、 k 的值为变数时,绘制而成的。用此图表示由 Z 、 Z_T 的变化引起的 m 、 t 各值。

即夹角 Φ 作成一定,将主梁的断面惯性矩 I ,主梁的抗扭惯

● 原书为 $Z_T = \left(\frac{\Phi R}{2a}\right)^3 \frac{EI_0}{GJ}$,疑误。——译者

● 原书图5中,所注公式 $Z = \left(\frac{\Phi R}{2a}\right)^3 \frac{J_0}{J}$ 及 $Z_T = \left(\frac{\Phi R}{2a}\right)^3 \frac{EJ_0}{GJ_T}$,均疑误,应改正为 $Z = \left(\frac{\Phi R}{2a}\right)^3 \frac{I_0}{I}$ 及 $Z_T = \left(\frac{\Phi R}{2a}\right)^3 \frac{EI_0}{GJ_T}$ 。——译者