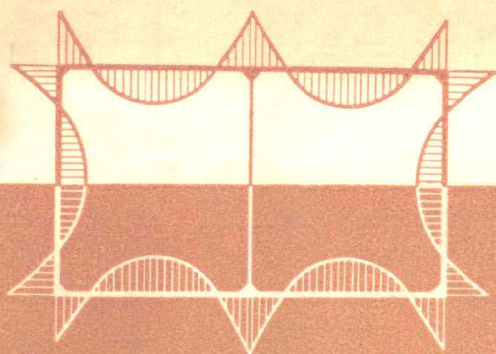




箱形框架 设计实例

中国建筑工程出版社

箱形框架设计实例

渡辺 健 手塚民之祐 合著

张德礼 楚兴华 奚希堪 译

中国建筑工程出版社

本书译自日本一九七一年渡边 健等合著的原名《箱形框架的设计》一书。

全书共分两章，通过实例介绍了箱形框架用于地下通道和地下铁道设计的具体计算方法和程序。每章中对一些基本计算公式、和关键性的设计问题，还作了探讨，其中如对箱形框架地震时的计算，框架角隅部分的分析，承受不对称荷重以及多跨多层的箱形框架的解法等都有比较详尽的说明。

本书可供土建设计技术人员参考。

箱形框架设计实例

张德礼 楚兴华 奚希堪 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：8 1/4 插页：2 字数：215 千字
1975年5月第一版 1975年5月第一次印刷
印数：1—13,475 册 定价：0.60 元
统一书号：15040·3181

译 者 的 话

本书译自日本一九七一年版渡辺 健与手塚民之祐合著的原名《箱形框架的设计》一书。

原书共分两章，通过实例介绍了箱形框架用于地下通道和地下铁道设计的具体计算方法和程序。对一些基本计算公式以及关键性的设计问题，也作了探讨。

目前，箱形框架在我国应用较广，举凡用顶进法施工的公路铁路立交箱涵、地下道、地下铁道、人民防空工程等，多采用箱形框架。为此，我们将该书译出，供我国从事这项工作的有关工程技术人员参考。但应注意，书中算例多处引用了日本土木工程学会《混凝土标准规范》的规定以及其他有关的规定和资料；这些不完全符合我国的实际情况，读者须依照我国有关的设计规范以及科学实验数据，斟酌取舍，吸收其可用的经验。

原书序言以及同本书内容无关的叙述，作了删除。

由于我们水平有限，译文难免有许多错误之处，希望读者批评指正。

本书在校订过程中，有的选用了李克明同志的译稿，于此一并致谢。

一九七四年五月

前 言（摘译）

本书初版原名为《框架（地下）的设计》，一九六二年出版以来，曾经再版。一九六七年日本土木学会《混凝土标准规范》修订的时候，本书也随同修订，并改名为《箱形框架的设计》。

本书在地下箱形框架设计的阐述中，列举了具有代表性的实例——地下通道用箱形框架（第一章）和地下铁道用箱形框架（第二章）的设计，并通过具体的计算实例作了叙述。为了使所叙述的这些内容也能够应用于其他类型的地下箱形框架结构物，所以特别对于框架的基本公式、地震时的计算以及框架角隅部分的分析等作了详细的论述。这样就对箱形框架设计的一些基本内容大体上都作了概略的介绍。

本书第一章中承受列车荷重箱形框架的设计实例，是在一九七〇年修订日本国营铁道建筑物设计标准规程，确定了建筑物设计标准《钢筋混凝土结构物及无筋混凝土结构物》之后，依照新规范规定的内容改写的。

第二章中地下铁道用的箱形框架，系就基本的双线隧道所采用变形钢筋的钢筋混凝土箱形框架的设计方法和步骤，用计算实例逐项加以叙述。所举设计实例，是以日本土木学会《混凝土规范》的各项有关规定为依据的。

著 者

一九七一年九月

目 录

前言 (摘译)

第一章 立交地下道箱形框架设计	1
第一节 概述	1
第二节 设计条件	3
第三节 断面的假定	6
第四节 荷重	8
第五节 地基反力	15
第六节 箱形框架的计算公式	16
第七节 刚比的计算	21
第八节 节点弯矩及轴向力的计算	21
第九节 构件各点的弯矩、轴向力及剪力	40
第十节 承受弯矩和轴向压力的矩形断面	83
第十一节 构件断面的估算及单位应力的验算	85
第十二节 单位剪应力及单位附着应力的验算	101
第十三节 地基的压力强度	108
第十四节 地震的验算	108
第十五节 分布钢筋	128
第十六节 箍筋	129
第十七节 钢箍	129
第十八节 有关配筋的注意事项	129
第十九节 设计图	131
第二章 地下铁道箱形框架设计	132
第一节 概述	132
第二节 设计条件	133
第三节 设计程序	135
第四节 内部空间尺寸的计算	136
第五节 构件断面的假定	141

第六节	荷重的计算	143
第七节	框架的解法	153
第八节	刚度(或刚比)及荷重项的计算	163
第九节	构件角(构件旋转角)	166
第十节	节点弯矩	172
第十一节	节点方程式	174
第十二节	层方程式	174
第十三节	联立方程式的计算	177
第十四节	节点弯矩及剪力的计算	182
第十五节	各构件的弯矩及剪力的计算	185
第十六节	纵梁与柱的应力计算	191
第十七节	弯矩图和剪力图	195
第十八节	构件各断面的单位应力验算	197
第十九节	框架角隅部分的研讨	226
第二十节	设计图	233
附表		238

第一章 立交地下道箱形框架设计

第一节 概 述

框架通道的设计及施工，比简支结构较为复杂，但它具有下列一些优点：

- (1) 比简支结构物经济；
- (2) 可以减少梁的高度；
- (3) 耐震；
- (4) 外表美观。

箱形框架通道是适合于地下水位较高或地基承载力较小，而且需要减轻结构自重时的一种结构形式。

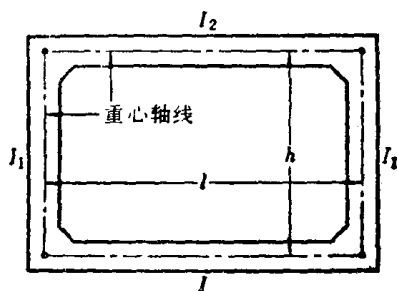
【1】设计箱形框架时，对超静定力计算的一些考虑

(1) 框架的轴线 以构件混凝土断面的重心轴线，作为框架的轴线，一般可不考虑梁腋的影响。

(2) 跨度及高度 对水平构件，取垂直构件重心轴线间的距离为跨度 l ；对垂直构件，则以水平构件重心轴线间的距离作为垂直构件的高度 h （参照第1-1图）。

(3) 断面惯性矩 计算超静定力时，断面惯性矩 I ，一般不考虑钢筋的影响，只就所假定的混凝土全断面求之。

(4) 刚度及刚比 刚度，在水平构件，是以跨度除水平构件的断面惯性矩的所得值，即是，对上部水平构件为 I_2/l ，下部



第 1-1 图

水平构件为 I/l 。在垂直构件，则是以高度除垂直构件的断面惯性矩的所得值，即是 $\frac{I_1}{h}$ 。

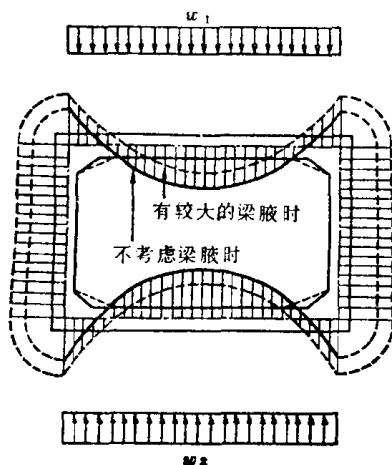
构件的刚度除以另一构件的刚度的所得值，即 $\frac{I_2/l}{I_1/h} = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{h}{l}$ 或 $\frac{I_2/l}{I_1/l} = \frac{I_2}{I_1}$ 则称做刚比。

【2】有关设计的一些规定

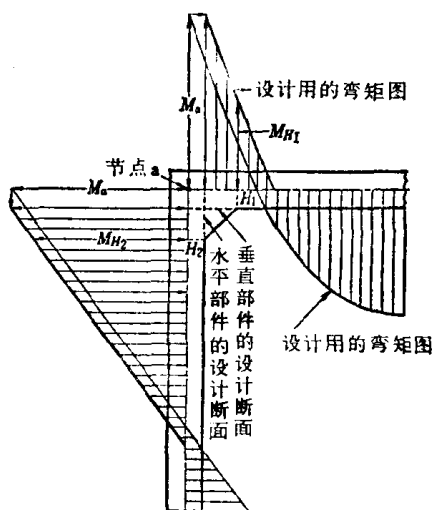
(1) 角隅部分的设计断面 在框架计算中，一般不考虑梁腋对弯矩的影响，但有梁腋时的弯矩要比无梁腋的为大（参照第1-2图），因此，按照不考虑梁腋而求得的弯矩，用来进行角隅部分设计时，是不够安全的。

角隅部分的设计方法虽有多种，但角隅部分的设计断面，如第1-3图所示，对水平构件，取垂直构件的里边；对垂直部件，则取水平部件的下边，用作设计的弯矩，可取节点弯矩 M_0 。在断面不足时，就适当地增添梁腋，梁腋对弯矩来说，其有效斜度规定最大为1:3（参照第1-4图）。

在梁腋的两端 H_1 点及 H_2 点上的设计弯矩，如第1-3图所示，

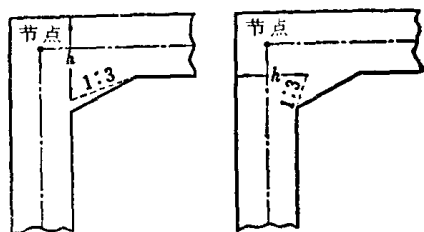


第 1-2 图



第 1-3 图

先将节点弯矩移动到设计断面的点上，再从移动后的节点弯矩，截取设计弯矩。故 H_1 ， H_2 上的设计弯矩则为移动后的弯矩 M_{H_1} ， M_{H_2} 。



第 1-4 图

(2) 上部水平构件的轴向力 在计算承受垂直荷重的

框架上部水平构件的单位应力时，可不考虑上部水平构件的轴向力，因为轴向力的影响很小，故只作承受弯矩来计算。

【3】 上部水平构件的剪力

等值均布荷重时，支点的剪力用满载荷重求之；跨度中央的剪力则用半载荷重求之。剪力图看作是连结支点和跨度中点的直线变化。

【4】 箱形框架设计上的有关注意事项

设计框架结构，必须考虑温度变化及干燥收缩的影响。在考虑此项影响时，一般对容许单位应力可提高1.15倍，这是日本土木学会标准规范第172条(2)所规定。不过，温度的变化，对埋设在地下的结构物或其一部分构件，当受地面上气温影响很小时，则可不考虑温度的影响。

第二节 设计条件

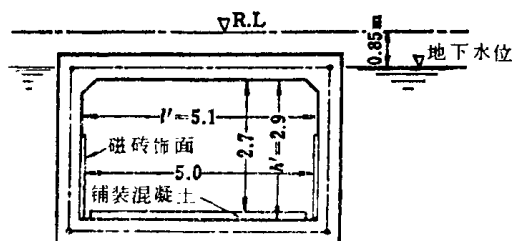
【1】 一般条件

设计铁道下的地下通道的假定条件，采用钢筋混凝土版式箱形框架；铁道线路等级：一级线路，列车荷重：KS-18；内部尺寸：净宽5.0米，净高2.7米；地下水位在轨面下85厘米。

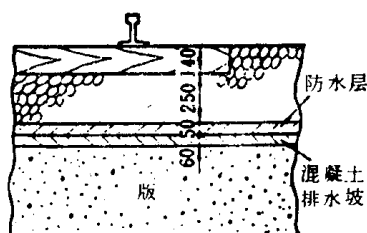
建设地点，在日本关东地区，作为火车站场内旅客用的地下通道；铁轨中心间距为3.8米；没有剧烈的气候影响。

(1) 土壤的性质 根据实际情况，作如下的规定：

土的单位重 $\gamma = 1.8 \text{ 吨/米}^3$



第 1-5 图



第 1-6 图

列车荷重作用下的填土，土的单位重一般要取最大值。

土在水中的单位重 $\gamma_1 = \frac{\gamma}{2} = 0.9 \text{ 吨/米}^3$

土在水中的重量，规定为土的重量的1/2值[参照 RC 标准① 21 (1) (a)]。

土的内摩擦角 $\phi = 30^\circ$

土的内摩擦角在水中也采用同样数值[参照 RC 标准 20 (1) (a)]。

地基的容许承载力 20 吨/米²

(2) 静重 钢轨重量及材料的单位重，根据 RC11 标准采用以下数值：

钢轨重	450 公斤/米
道床碴石重	1900 公斤/米 ³
混凝土重	2350 公斤/米 ³
钢筋混凝土重	2500 公斤/米 ³

(3) 地震的影响 设计中用作计算的水平震度，根据 RC 标准 21，用以下公式求之，取小数点以下两位，小数点第二位采用二舍三入。

① RC 标准：即日本国有铁道、建筑物设计标准（钢筋混凝土及无筋混凝土结构物）的简称。

设计水平震度 = (地区类别震度) × (地基类别系数)
× (线区系数)

本设计算例, 地区类别震度为0.2。

按一般地基考虑, 其地区类别系数为1.0, 1级线路的线区系数为1.1,

其设计水平震度为

$$k_h = 0.2 \times 1.0 \times 1.1 = 0.22 \rightarrow 0.20$$

【2】单位容许应力

以标准龄期 28 天的混凝土抗压强度作为设计标准强度 σ_{ck} 。

本设计算例 $\sigma_{ck} = 240$ 公斤/厘米², 钢筋采用 JIS G 3112 变形圆钢筋 SD35, 箱形框架在加适当的防水处理时, 其单位容许应力根据 RC 标准32, 可取第1-1表所列数值。

第 1-1 表

材 料		单 位 应 力 的 种 类		单位容许应力 [公斤/厘米 ²]
钢 筋	抗拉应力	经常受反复应力的构件(顶版)		$\sigma_{sa}=1800$
		不承受反复应力的构件(侧墙底板)		$\sigma_{sa}=2000$
混 凝 土	弯 曲 受 压 应 力			$\sigma_{ca}=80$
	抗剪 应力	不计算斜向拉力钢筋时	平 版	$\tau_{a1}=9$
		计算斜向拉力钢筋时	仅有剪力	$\tau_{a2}=20$
	附 着 应 力		变形钢筋	

【3】对组合荷重的单位容许应力

设计框架结构物各构件时, 应将各种荷重进行组合, 以使各构件在分别产生最大应力下进行设计。根据荷重种类的不同, 有的其值很小, 可不需要考虑材料的疲劳强度。引用组合荷重时, 对混凝土及钢筋的单位容许应力, 根据 RC 标准35的标准单位容许应力, 再乘以第1-2表所列系数。

即: 组合荷重的单位容许应力 = 标准单位容许应力 × 系数

第 1-2 表

荷 重 组 合	系 数
(a) 静荷重+列车荷重+冲击力+土压力+水压力	1.0
(b) 静荷重+列车荷重+冲击力+土压力+水压力+制动荷重或起动荷重	1.15
(c) 静荷重+列车荷重+冲击力+土压力+水压力+温度变化影响+干燥收缩影响	
(d) 静荷重+列车荷重+冲击力+土压力+水压力+长钢轨纵荷重	
(e) 静荷重+列车荷重+冲击力+土压力+水压力+制动荷重或起动荷重+长钢轨纵荷重+温度变化影响+干燥收缩影响	1.25
(f) 静荷重+土压力+水压力+地震影响	1.5
(g) 静荷重+土压力+水压力+温度变化影响+干燥收缩影响+地震影响	1.65

第三节 断 面 的 假 定

【1】 上部水平构件（顶版）断面的假定

简支版的厚度与跨度的关系，根据荷重的大小，选取的单位容许应力，版的有效宽度，跨度大小等因素而有所不同。但在列车荷重KS-18， $\sigma_{ca}=80$ 公斤/厘米²， $\sigma_{sa}=1800$ 公斤/厘米²时，可以采用第1-3表所列尺寸。

第 1-3 表

简支版的跨度(米)	版的有效宽度(米)	版 厚 (米)
4.0以上	3.8	跨度的 $\frac{1}{10.5}$
4.0以下	3.8	跨度的 $\frac{1}{10}$

先按下列程序确定刚比 k 。

跨度 l 为

$$l = l'(\text{净跨}) + \frac{l'}{10.5}$$

垂直构件（侧墙）的高度 h 为

$$h = h'(\text{净空高度}) + \frac{l'}{10.5}$$

假定侧墙的厚度与顶版的厚度相同。

根据以上假定，设侧墙的断面惯性矩为 I_1 ，顶版的断面惯性矩为 I_2 ，因 $I_1 = I_2$ ，所以刚比为 $k = \frac{I_2}{I_1} \frac{h}{l} = \frac{h}{l}$ 。

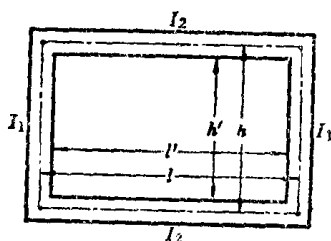
如第1-7图，承受均布荷重的箱形框架，其顶版反曲点间的距离为 a ，如已知刚比 k ，则可由第1-8图中求出。第1-8图系由

$$a = l \sqrt{\frac{1+3k}{3(1+k)}}$$

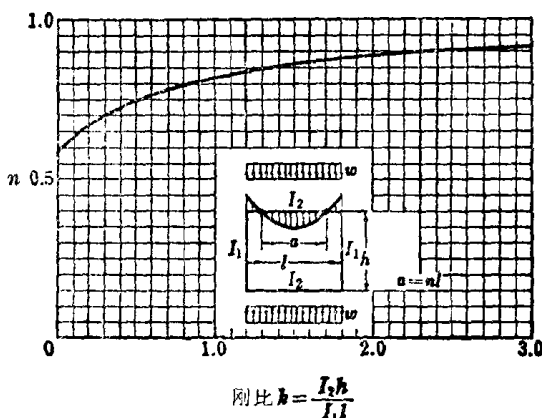
求得的。

反曲点的距离求得后，以反曲点间距作为简支版的跨度，求出由静荷重及活荷重引起的最大弯矩，从而决定版的厚度。

本设计算例中箱形框架的列车荷重为 KS-18，材料的单位容许应力为 $\sigma_{ca} = 80$ 公斤/米²， $\sigma_{sa} = 1800$ 公斤/米²，版的宽度（轨道中心距）为 3.8 米，故可以假定出其概略尺寸（参照第1-5图）。



第 1-7 图



第 1-8 图

框架的跨度为 $l = l' + \frac{l'}{10.5} = 5.1 + \frac{5.1}{10.5} \doteq 5.6$ 米

侧墙的高度为 $h = h' + \frac{l'}{10.5} = 2.9 + \frac{5.1}{10.5} \doteq 3.4$ 米

设 $I_1 = I_2$ 则

$$\text{刚比 } k = \frac{h}{l} = \frac{3.4}{5.6} = 0.61$$

根据第1-8图, 求出反曲点间的距离 a 为

$$a = nl = 0.77 \times 5.6 = 4.3 \text{ 米}$$

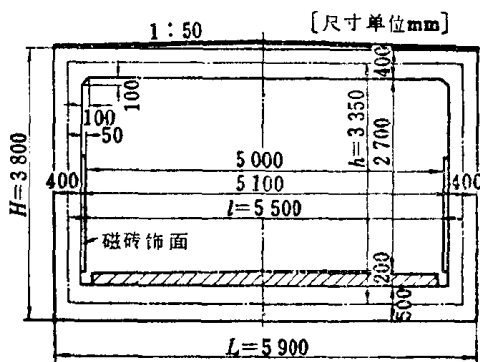
跨度为4.3米的简支版厚度为

$$4.3 \times \frac{1}{10.5} = 0.41 \text{ 米} \doteq 41 \text{ 厘米}$$

顶版的厚度选用整数40厘米作为适合的尺寸。

【2】侧墙断面的假定

侧墙的厚度, 一般采取与顶版相同的厚度。故假定为40厘米。



第 1-9 图 假定断面

【3】下部水平构件 (底版)断面的假定

底版因受整个框架的自重和列车荷重的影响, 一般比顶版要厚些。此处采取比顶版加厚10厘米, 假定为50厘米。

通过以上的计算, 箱形框架各构件的假定断面如第1-9图所示。

第四节 荷 重

荷重计算仅就框架的单位宽度进行。

【1】静荷重

钢轨

$$\frac{0.450}{3.8(\text{有效宽度})} = 0.118 \text{ 吨/米}^2$$

道床碴石	$0.39 \times 1.9 = 0.741 \text{吨/米}^2$
防水及排水坡混凝土	$0.11 \times 2.35 = 0.259 \text{吨/米}^2$
顶版	$0.40 \times 2.5 = 1.100 \text{吨/米}^2$
合计	$w_d = 2.20 \text{吨/米}^2$

【2】 列车荷重

(1) 对列车荷重框架的有效宽度 RC 标准 71 (2) 中规定, 在简支方向, 当版在承受轨道上的轮重, 且轮重的移动方向与版的跨度方向一致时, 版的有效宽度最大为版跨的大小, 但不得超过相邻轨道的中心间距。根据该项规定, 框架的有效宽度将从反曲点间的距离 4.3 米和轨道中心间的距离 3.8 米中取其小者, 即 3.8 米。

(2) 列车荷重 由 RC 标准 154 的表 -47 (a) 中, 求对 KS-18 (每一轨道) $l=5.5$ 米时的等值均布荷重。

求正跨度弯矩时的等值均布荷重为

$$w'_1 = 6.5 \times 2 = 13.0 \text{吨/米}$$

按框架每 1 米宽, 则为

$$w'_1 = \frac{13.0}{3.8(\text{有效宽度})} = 3.42 \text{吨/米}^2$$

求负的支点弯矩时的等值均布荷重为

$$w_1 = 6.15 \times 2 = 12.3 \text{吨/米}$$

按框架每 1 米宽, 则为

$$w_1 = \frac{12.3}{3.8(\text{有效宽度})} = 3.24 \text{吨/米}^2$$

求剪力时的等值均布荷重为

$$w_1 = 7.7 \times 2 = 15.4 \text{吨/米}$$

按框架每 1 米宽, 则为

$$w_1 = \frac{15.4}{3.8(\text{有效宽度})} = 4.05 \text{吨/米}^2$$

【3】 冲击系数 (i)

根据 RC 标准 13 规定, 对 $l=5.5$ 米, 为 $i=0.48$ 。

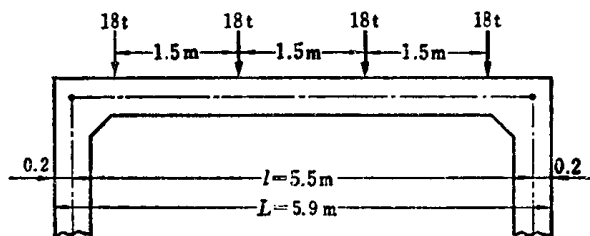
【4】 制动荷重和起动荷重 (T_1)

根据 RC 标准16规定, 制动荷重及起动荷重, 对一条轨道为以下各值。

制动荷重为 KS 荷重的15%。

起动荷重为 KS 荷重传动轮轮重的25%。

$L=5.9$ 米时, 对 KS-18 荷重 (每一条轨道), 如第1-10 图所示, 全部为传动轮轮轴的重量。



第 1-10 图

因此, 制动荷重为 $18 \times 4 \times 0.15 = 10.8$ 吨

起动荷重为 $18 \times 4 \times 0.25 = 18.0$ 吨

在二者之间, 取其较大者;

故 $T_1 = 18$ 吨

如按框架每 1 米宽, 则为

$$T_1 = \frac{18}{3.8(\text{有效宽度})} = 4.74 \text{吨}$$

按 RC 标准154 (b) 规定, 起动荷重 T_1 , 假定作用在顶版的轴线上。

【5】 离心荷重、车辆横向摆动荷重

对纵向长的版式箱形框架, 在结构设计中可不予考虑。

【6】 长轨纵荷重 (T_2)

长轨纵荷重必要时应进行考虑。在有道床的长轨纵荷重, 按 RC标准23规定, 每一轨道为 1 吨/米, 本设计考虑此项纵荷重, 但在考虑地震影响时, 此项荷重则按规定予以省略。