

水泥混凝土路面结构设计

日本土木研究所 饭岛 尚著

吉林省

1987. 5

水泥混凝土路面结构设计

顾时光 译
林育智 校

1987. 5

目 录

序言	(1)
一、水泥混凝土路面的历史与发展	(1)
二、水泥混凝土路面的种类	(12)
三、普通混凝土路面	(15)
3—1 混凝土板的构成	(15)
3—2 作用于混凝土板的应力	(16)
3—3 混凝土路面的结构模型	(17)
3—4 混凝土板自由边的荷载应力式	(18)
四、荷载应力式的适用性	(20)
五、温度应力	(24)
5—1 温度应力理论	(24)
5—2 混凝土板的温度测定	(25)
六、混凝土路面板的设计	(34)
6—1 设计程序	(34)
6—2 轮荷载的实态	(37)
6—3 车辆的行驶位置	(37)
6—4 混凝土的疲劳与寿命	(40)
6—5 混凝土路面板设计程序	(42)
七、混凝土路面板的计算例	(44)
7—1 日本水泥混凝土路面纲要所采用的方法	(44)
7—2 计算条件	(44)
7—3 计算结果	(45)

7—4	板厚的标准化·····	(50)
八、	混凝土路面的使用性能及板厚·····	(51)
8—1	使用20年以上混凝土路面调查·····	(51)
8—2	混凝土路面板开挖调查·····	(57)
九、	基层的设计·····	(60)
9—1	概述·····	(60)
9—2	1955年版“纲要”对基层的规定·····	(60)
9—3	1964年版“纲要”对基层的规定·····	(62)
9—4	1972年版“纲要”对基层的规定·····	(64)
9—5	基层厚度调查结果·····	(67)
十、	基层·····	(71)
10—1	基层厚度设计的出发点·····	(71)
10—1—1	基层承载力与路面板裂缝·····	(72)
10—1—2	基层承载力系数与基层承重效果·····	(74)
10—1—3	路基的设计CBR与K值·····	(77)
10—1—4	路基的设计 CBR 和基层厚度及混 凝土板的使用性·····	(79)
十一、	基层的设计·····	(81)
11—1	概述·····	(81)
11—2	基层材料与基层面·····	(81)
11—3	基层厚度设计·····	(85)
11—3—1	根据承载力系数设计基层厚度·····	(86)
11—3—2	根据CBR 设计基层厚度·····	(89)
11—3—3	路基是基岩时的基层设计·····	(91)
十二、	接缝的设计·····	(91)
12—1	接缝的种类·····	(91)
12—2	接缝间距的设计·····	(93)

12—3	接缝结构的设计	(94)
12—4	接缝切断的实例	(100)
十三	荷载在接缝中的传递	(102)
13—1	混凝土板的运动和荷载传递	(102)
13—2	滑动传力杆的荷载传递	(103)
13—3	滑动传力杆的荷载分散效果	(108)
13—4	拉杆	(112)
十四	混凝土板的补强	(114)
14—1	钢筋网和边缘补强钢筋	(114)
14—2	钢筋网钢筋用量的确定	(115)
14—3	补强效果	(117)
14—4	与桥台连接部的补强	(119)
14—5	桥头搭板的设计	(124)
14—6	有构造物时的加固	(129)
14—7	交叉口	(137)
14—8	混凝土板宽度有变化时	(139)
14—9	曲线半径小的时候	(141)
14—10	隧道内的混凝土路面设计	(141)
14—11	路肩及路缘带的路面设计	(143)
14—12	人行道、自行车道的路面设计	(144)
14—13	排水工程的设计	(145)
十五	结构设计及其耐用性	(145)
15—1	矢板绕行公路试验路面	(145)
15—2	施工概况	(148)
15—3	观测结果	(153)
15—4	开挖调查	(158)

15—5	抗疲劳值.....	(169)
十六、	采用概率论的结构设计.....	(177)
16—1	概况.....	(177)
16—2	结构设计式的简易式.....	(17)
16—3	轮荷载弯曲应力的频率分布.....	(184)
16—4	简化式.....	(187)
16—5	计算例.....	(190)

著者序言

路面有沥青混凝土路面和水泥混凝土路面之分，但水泥混凝土路面数量不多，据最近调查，只占10%左右。然而，由于沥青路面存在着易磨耗以及流动性等问题，因此，两种路面的发展比例有逆转的趋势。

一九八四年二月，日本对《水泥混凝土路面纲要》做了新的修订。因此，今后水泥混凝土路面的设计施工将以此为根据进行。新修订的纲要，依其交通量的大小，将路面板的厚度划分为五种。同时对加固方法及简易施工方法等也作了新的规定。

鉴于上述情况，今后各地必将涌现出许多有关水泥混凝土路面的规划、设计和施工、养护等方面的新经验和新方法。由于以往对这方面资料积累和整理得很少，为便于对水泥混凝土路面进行更好的设计和施工，现以水泥混凝土路面设计与施工为题开展一次讲座。内容以新修订的水泥混凝土路面纲要为主，结合实际设计和施工的例子作以详细论述。其中主要包括水泥混凝土路面的结构设计、材料配比、施工、养护等几个章节。

一、水泥混凝土路面的历史与发展

日本水泥混凝土路面的历史，可根据日本道路协会出版发行的『日本道路史』作如下介绍。

日本水泥混凝土路面始于明治45年(1912年),是在名古屋市中区门前大须观音入口所铺筑的路面。此后,于大正6年(1917年)分别在大阪市北区天神桥菱本筋町、东京市内三菱本馆前铺了两条水泥混凝土路面。当时,即从明治后期到大正中期,铁轮马车在日本处于全盛时期。而人们发现用砾石、水泥和水拌和而成的无砂混凝土对铁轮车具有较高的抗磨性,因此水泥混凝土路面开始时兴起来。在兵庫、茨城、宫城各县以及东京神田小川町、千住新桥等地都进行了小规模 的试验施工。

在日本,正式的水泥混凝土路面施工是在关东大地震以后。当时,作为一项复兴事业,对大部分干线街道的路面进行了铺筑。为选择适宜的路面结构类型,从大正13年到大正15年(1924~1926年),在芝浦、汐留等地反复进行了多次试验路面的施工。从大正14年到昭和6年(1925~1931年)进行了城市主要街道的施工。这些道路的路面,是采用了在1:3:6的水泥混凝土基础(12厘米)上铺筑6厘米厚1:1.7无砂混凝土的施工方法。而大正中期以后铺筑的路面,则广泛采用在15厘米厚水泥混凝土基层上铺筑5~10厘米的沥青面层或15厘米以上厚度的水泥混凝土路面的施工方法。从大正时代到昭和初期,往往是把水泥混凝土作为沥青路面的基层来使用的。但是,从昭和初期开始,一直到二次大战爆发之前,以国道为主的许多道路工程,越来越多地采用了水泥混凝土路面。由于经济方面的原因,路面板厚度采用15厘米。昭和12年(1937年)前后,在东京府研究出了用 $\phi 20$ 的承载板测定路面基层承载力系数的方法。为寻求路面基层承载力系数与路面板厚度之间的关系,进行了路面裂缝与地基承载力之间关系的调查研究。从而确定了以水泥混凝

土路面作基础的高级路面地基承载力的极限值，即承载力系数为7~8公斤/厘米³以上、下沉量1.0毫米以下。

一直到昭和初年前后，由于铁轮车辆很多，所以无砂混凝土路面仍被广泛采用着。该种路面结构如下：在13~15厘米厚的基层水泥混凝土（配合比一般取1:3:6）上铺设4~5厘米厚的胶石，以确保上下两层紧密结合；无砂混凝土配合比：水泥与碎石的比例为1:1.7~2.0（单位水泥用量为850~750公斤），水灰比为30~35%。昭和4年（1929年）末，日本的水泥混凝土路面总面积大约为80万米²，其中的80%均采用上述结构。但是由于无砂混凝土具有路面滑、多发生裂缝等缺点，故后来转而采用普通的水泥混凝土路面。

昭和6年（1931年）以后，在失业救济、产业振兴等口号下，大大发展了道路改建事业。水泥混凝土路面在路面工程中所占的比例不断上升，从而增加了水泥混凝土路面的施工面积。在此其间，日本内务省土木局于昭和5年（1930年）最先发行了“水泥混凝土路面规范”，用以指导内务省土木局直属工程的路面施工。该规范规定水泥混凝土路面板采用单层或双层结构。单层结构板厚不小于15厘米，双层结构，上层不小于4厘米，下层不小于12厘米，并按适当间隔设接缝。该规范对坍落度也作了明确规定，人力施工时为5厘米以下，机械施工时在2.5厘米以下。此外，对基层、模板、铺筑等施工作业也作了详细说明。其中规定横缝间距不大于10米，当路面宽度超过6米时，其纵缝应设在路面中心线上。

此后，在昭和12年（1937年）发行的『道路职员必读』中，对上述规范又作了多处修改和补充。其中包括：①单层式板厚为15~20厘米；双层式的下层为12~15厘米，上层为

4~6厘米。②为适应交通荷载和气候的影响，可使用钢筋网或钢筋进行加固。③对细骨料进行有机杂质试验。④粗骨料最大尺寸不得超过50毫米，或为其板厚的三分之一以下。⑤修订了浇筑接缝用氧化沥青的规格。⑥明文规定了水泥用重量和骨料用重量或容积计量的计量方法。⑦横缝间距为8~10米，纵缝以5米宽度为标准，但路面宽度在5~6米时，也可设纵缝。⑧详细规定了接缝的施工方法及养生方法。除上述内容外，还对横缝间距作了如下说明：横缝间距一般为10米左右，但对于不使用钢筋的混凝土面板可根据轮载应力与温度应力的合成应力能否引起路面中心裂缝来确定，其间距也可以在6~7米以下，当不得已采用10米以上间隔时，可使用少量的加强钢筋。另外，以前规定的横缝，都是采用胀缝，或者采取胀缝缩缝相间的办法并无具体规定。此次则明确规定胀缝间距为15~20米，其间设2~3条缩缝。

由于无砂混凝土路面存在着易发生裂缝、抗滑性能差等缺点，因此双层式水泥混凝土路面的施工逐渐增多。与此同时，人们越来越重视路面板裂缝的跟踪调查，并进行了实际观测和路面裂缝破损方面的理论研究和试验路面工作。研究表明，由于混凝土的硬化收缩以及温度、湿度的变化引起混凝土路面板伸缩和翘曲所产生的合成应力，特别是翘曲应力对路面板影响很大。为减少硬化收缩引起的翘曲，减少上层水泥用量，使上下两层配合比基本相同，对降低双层式路面的翘曲应力是有效的。但是，上述作法却极大地影响了表面耐磨和路面板抗弯强度大以及经济性好这些双层式混凝土路面所固有的优点。因此双层式路面在逐渐减少，而单层式混凝土路面越来越多。

以日华战争为转机，烧制水泥用的优质石灰供应紧张，

市售水泥质量越来越低劣。特别是在1941年以后，水泥供应更为不足，所以作为战时修建混凝土路面的一个现实问题，就是必须节约水泥。鉴于这种情况，必须解决以下几个问题：

①改善或稳定处治路基和路面基层，以增加承载能力，减小路面板厚度并采用贫混凝土的配合比设计法。

②施工方法要合理化，尤其要通过采用振动压实法来增加混凝土的强度。

③提高路面板表面的抗磨损性能。

战后的路面工程，几乎都是按照占领军的政策和命令来进行的。水泥由占领军提供，施工按美国陆军的施工规范来进行。美国陆军施工规范有以下几个特征：

a. 路面板厚度，根据路面基层承载力和交通的质和量来设计；

b. 采用机械化施工，使路面基层达到所要求的承载力；

c. 采用集中厂拌方式，制造优质混凝土；

d. 接缝处设置传力钢筋；

e. 用试验手段确保工程质量。

战后经济迅速好转，随着汽车交通量的增加，道路路面工程也呈现出一片盛况。一九五一年，水泥达到战前最盛时期的年产600万吨，而且质量也有所提高。当时，沥青主要靠进口，降雨又使路面基层严重恶化，所以重要交通区间的路面，大多采用了水泥混凝土路面。一九五二年，日本建设省所属的各地方建设局均已配备一套水泥混凝土路面施工机械。其中包括简易间歇式混凝土拌和机、可倾式混凝土拌和机、侧卸式卡车、双轮压路机、碎石压路机、路面修整

机、钢模板等。

由于战后美军重型车很多，日本国产车也日趋大型化，而且交通量也在急剧增长，不用说过去修的旧路，就是战后修筑的新路，路面都出现大面积破坏。为此，重点进行了旨在合理修复这些破坏路面的调查研究。从而明确了路面基层承载力的重要性。以前设计的混凝土路面板，在其厚度、接缝间距和结构等方面都存在着许多缺点，难以适应急剧增长的交通量和交通荷载需要，从而导致路面的破坏，而且认识到了混凝土质量均匀性的重要性。

为确保新建混凝土路面的耐久性，在上述调查研究的基础上，于一九五五年制订了《水泥混凝土路面纲要》。纲要重视了以往的经验，使混凝土路面的设计提高一步，使之更趋于合理。与此同时，强调了混凝土质量管理的重要性，并推荐采用机械化施工。一九五七年二月召开了“第一次建设省路面评议会”，这次会议对促进路面技术的提高起到了很大作用。评议对象是一九五四年的路面工程，不考虑是自己施工还是承包施工，采取各地建设局推荐一个工程，在会上进行评审。按照一九五八年日本道路整备五年计划，道路建设的目标是一级国道路面铺装率要达到63%，二级国道为25%。但实际仅完成二分之一左右。同年，进行了“日本道路构造令”的修订工作，明确了路面是道路不可缺少的重要部分。

路面厚度，无论是水泥混凝土路面还是沥青路面，都是根据20年后估计交通量所确定的路面厚度标准值中选定。当时，用来判定是采用水泥混凝土路面还是沥青路面，是通过工程费和20年中维修费总额的比较，从中选择总费用较少的一种。沥青路面是考虑分期施工，并根据10年后的设计交通

量来进行设计的。由于交通量和交通荷载发展很快，仅仅五年，水泥混凝土路面板的厚度就从20厘米增加到25厘米。

此后，水泥混凝土路面出现了明显的衰退。一九六五年前后，即使在1级国道，水泥混凝土路面的施工比例下降了10%。为此介绍了AASHO道路试验*结果，从而使人们重新认识了水泥混凝土路面的优点。为衡量路面承受交通荷载的能力，将PSI（现有路况功能指数）定为2.5，作为维修的界限。通过对水泥混凝土路面和沥青路面路面结构的比较，确认前者是可取的。

在进行1级国道绕行道路工程施工时，由于混凝土路面在养生中并不影响正常交通，所以混凝土路面的施工比例有所增加。为提高水泥混凝土路面的施工效率和路面平整度，开始广泛使用箱式摊铺机和面层整平机。而且还出现了在面层下铺设沥青垫层的结构型式。与此同时，又开始进行了水泥混凝土试验路面的施工。

一九六五年到一九六八年对国道和高速公路的50个路段进行了轮荷载分布的调查。调查结果表明，有的部位5吨以上轮荷载已达到10%，其中轮荷载10吨以上达1%左右。为此，对路面板厚度作了重新研讨，并认定25厘米厚的路面板已不能保证具有足够的耐久性，从而进入了必须采用30厘米厚路面的新时期。

不仅要增加路面板厚度，还必须考虑基层的强化问题。由于采用机械化施工，所以大大增加了每天的施工长度。因改变了板厚的标准，就必须考虑模板等设备的投资问题。一九六九年从美国引进了不使用模板亦可进行铺筑作业的混凝土路面滑模摊铺机。鉴于这种情况，一九七二年在参照历来

AASHO——美国各州公路工作者协会道路试验。——译者注

调查研究结果的基础上，又重新修订了《水泥混凝土路面纲要》，确定采用25厘米和30厘米这两种板厚标准。

此后的十年，社会形势发生了很大变化。例如第一次和第二次石油危机以及环境保护等问题的尖锐化，围绕道路路面的各种问题也变得极为复杂。

在这种形势下，则有必要更细地进行板厚的划分、重新考虑基层的设计厚度以及采取简易施工方法，以适应各种不同情况下的需要。经过三年时间的研究，于一九八四年二月制定了板厚为15~30厘米的新纲要。表-1示出了日本水泥混凝土路面纲要的修订过程，从中可见一九六四年以后这个纲要的大致情况。

表一 1

水泥混凝土路面纲要的修订要点

(1)

年 度	1964年	1972年	1980年	1984年
出版宗旨	由七章构成,是参考各国规范50年代版本而制订的,为适应日本实际情况而加以修改。	由十一章构成。根据日本汽车交通的实际情况和施工技术水平而修订的。	重新讨论了72年版本,即修正了78年版的内容。本青路并进行了新的经验订。	以改建后的道路为对象,并考虑能被广泛采用,其中作了修订。为最新技术中反映了最新技术和经验。
承载力系数	K30为15公斤/厘米 ³ 以上	K30以20公斤/厘米 ³ 为标准	(同72年版本)	K30 = 15.20公斤/厘米 ³
厚度设计	根据K值或CBR	(同左)	(同左)	(同左)
施 工	根据K值确定级配材料、砂及混合砾石的设计曲线。	根据K值确定水泥稳定处治和颗粒材料。设计曲线。	(同72年版)	颗粒材料,稳定处治等
基 层				

混凝土路面板		普通混凝土板		普通混凝土板		普通混凝土板		
板厚	交通量 台/日/双车道	普通混凝土板 (厘米)	连续配筋 (厘米)	交通量 台/月/双车道	普通混凝土板 (厘米)	连续配筋 (厘米)	普通混凝土 (厘米)	
	2000以下	20	20	3000以下	25	20	L 15(20) A 20(25)	
	2000~7500	23	20	3000以上	30	25	B 25 C 28	
	7500以上	25	20			25	D 30	
钢筋网	以3公斤/米 ² 为标准(直径为6~8)	(同72年版)						()内数字为抗弯强度为45公斤/厘米 ² 时
纵向边缘加强筋	钢筋间隔为1/2, 增加2根							
纵缝间距	2.75~3.5米	以3公斤/米 ² 为标准(直径为6)	以3公斤/米 ² 为标准(直径为6)	以3公斤/米 ² 为标准(直径为6)	以3公斤/米 ² 为标准(直径为6)	以3公斤/米 ² 为标准(直径为6)	直径13的用3根	
横缝间距	施工时期 温 暖 冷 寒 冷	考虑施工方法, 区分车道的 位置, 一般不超过3.25、 3.5、3.75、5米。	直径13的用3根	直径13的用3根	直径13的用3根	直径13的用3根	2.75以上。一般不 超过3.25、3.5、 3.75、5米。	
接 缝	施工日期 15. 20 25以 上	施工日期 4~11月 12~3月	施工日期 4~11月 12~3月	施工日期 4~11月 12~3月	施工日期 4~11月 12~3月	施工日期 15. 20 25以 上	冬 夏 60~120米 120~240米 120~240米 240~480米	

横向收缩缝间距	6~10米, 不用钢筋网时为5米以下。	以7.5、8或10米为标准。	(同72年版)	8或10米, 没有钢筋网时为5米。
种类	气候条件恶劣时, 用AE混凝土。	原则用AE混凝土	(同72年版)	AE混凝土
稠度	坍落度2.5厘米以下, 下沉度30秒以上。	坍落度2.5厘米, 下沉度30秒。	手工作业时, 坍落度可提到8厘米。	坍落度2.5厘米以下, 下沉度30秒, 手工作业时坍落度为6.5厘米。
含气量	AE混凝土*为4%	受恶劣气候影响, 为4%。	(同72年版)	4%
设计强度	抗弯强度45公斤/厘米 ² 或40公斤/厘米 ²	抗弯强度45公斤/厘米 ²	(同72年版)	抗弯强度45公斤/厘米 ² 或40公斤/厘米 ²
单位水泥量	280~340公斤/米 ³	280~340公斤/米 ³	280~350公斤/米 ³	280~350公斤/米 ³
应力的计算	日本土木研究所公式 (荷载应力和温度应力)	(同左)	(同左)	(同左)
疲劳曲线	日本土木研究所	(同左)	(同左)	(同左)
设计使用年限	约20年	以开放交通后算起可用20年为标准	(同72年版)	约20年

• AE混凝土——加气混凝土。一译者注

混凝土板厚设计法