

工 程 译 丛

(一)

工 程 系 编 译



长沙铁道学院科技情报室

1981.6

421/50 T-5/1.1

目 录

一、英国1963~1971年对混凝土桥的徐变、收缩和弹性变形的观测总结	张绍麟译	杨煜惠校 (1)
二、北美洲地区纤维配筋混凝土的研究和发展	周士琼译	王 浩校 (37)
三、结构矿渣浮石混凝土的强度和变形	王采玉译	熊 剑校 (44)
四、在多孔混凝土破坏研究中非破损方法的应用	王采玉译	熊剑校 (49)
五、随着蓄水下降滑坡斜面的地下水位变动和残留孔隙水压	杨雅忱译	谢绂忠校 (53)
六、土方工程和基础工程的一种新方法——加筋土	余锡健译	华祖焜校 (61)
七、成组排列的土层锚杆的承载性能	余锡健译	华祖焜校 (68)
八、考虑与桩和地基共同工作的低桩承台计算	曾阳生译	裘伯永校 (74)
九、透视投影 $OOAKA$ 方程应用于轴测图中变形系数和椭圆所在平面倾角的确定	袁秀金译	艾运钧校 (78)
十、相贯线作图中的小漏洞	吴和平译	李丰莪校 (85)
十一、在负荷情况下道碴的形态	刘达仁译	张启人校 (87)

英国1963~1971年对混凝土桥的 徐变、收缩和弹性变形的观测总结

提 要

本文为1963~1971年间对英国混凝土桥所进行的徐变和收缩长期观测的总结。观测对象所采用的混凝土主要是 50N/mm^2 (约 500kg/cm^2) 级的。观测数据表明, 收缩大致为 200×10^{-6} 左右, 徐变特征系数——对予应力混凝土构件, 系指衰减着的予应力长期作用于构件中心线上的徐变对瞬时弹性变形的比值, 大致为2.0。观测表明, 刚浇灌完不久的混凝土之所以发生开裂, 其最可能的原因是由于水泥水化所产生的早期水化热引起的变形所致。观测结果还表明, 徐变和收缩通常是随着时间的对数成直线关系增加的, 并随着循环季节变化而增加, 文章还讨论了季节变化对热变形计算的影响。

前 言

前公路研究试验所, 现在是运输和公路研究试验所。对桥梁结构的收缩和徐变的观测计划开始于1962年。本文是直到1971年为止的观测结果的总结, 其结论推导比其它文献^[1]有更详尽的说明。在那些结构中, 仍然保留着观测工具, 将来还可以得到进一步的资料。

在1962年开始观测的时刻, 工程师们已经知道在膨胀节点上的变形常常比予料的少, 当时推测, 由于收缩和徐变引起的减缩作用所产生于赘余构件上的弯矩也将是很小的; 另一方面, 在大块混凝土构件如桥墩中发生的裂缝也不会是不寻常的, 特别是在刚浇灌完不久的时候。还有一点也是清楚的: 予应力混凝土构件承受活载的能力取决于无拉条件在跨中底层纤维是否占优势地位, 因此, 这个问题又转而取决于予应力的损失情况, 这样, 设计安全度就取决于是否知道收缩和徐变的大小。

此外, 工程师们在早期施加予应力的大跨度悬臂式混凝土结构的实际工作中也已体会到: 要选择一个合适的截面, 决定于对徐变和收缩性能的了解, 特别是在中心铰接设计中, 两个悬臂的铰接 (例如德国 *Bendroff* 桥和约克夏(*yorkshire*) 的 *Aire* 河桥所采用的) 更决定于对位移的准确估计, 因为铰接结构物靠近跨度中心。

当时, 某些与实际结构相同尺寸的观测工作已经在德国和奥地利开展[4、5], 这些工作表明, 徐变和收缩过程仅仅是在夏天的几个月有增加。在冬季期间则减缩停止, 而且通常会有少量的膨胀发生。最大的徐变和收缩值是在冬季浇灌的混凝土所测得的, 因为在冬天, 混凝土不容易充份硬化以施加予应力, 随后, 混凝土又在荷载作用下干燥, 这就引

起更大的徐变和收缩。

瑞典Sando桥^[5]从1942~1960年的观测结果表明：向下的挠度在几年以后并没有完全停止，正如某些权威向来所相信的那样。但是，说它是与时间的对数成正比就更确切些，这是那次研究以后为一般所公认的。

构件的形状和尺寸对于徐变和收缩的大小有影响是众所周知的。这方面的工作，最先由匹克特(Pickett)^[6]、罗斯(Ross)^[7]和R.雷哈密特(L'Hermitte)与玛米兰(Mamillan)^[8]等开路的，并导致后来由亨森(Hansen)和墨托克(Mattock)^[9]在结构断面上进行一系列更广泛的试验，而且建立了体积/表面积之比与徐变和收缩之间的关系。后来，公路研究试验所开展了更进一步的工作，并采用部分防水的试件去模拟整个结构物进行性能试验的方法；这种试验结果表明：蒸发深度对变形的影响是明显的^[10]。

用于计算多项予应力损失的设计规程已经由托普勒(Toppler)和曹德胡力(Chaudhuri)在CEB—FIP（欧洲混凝土委员会——国际予应力混凝土协会）联合委员会建议书^[11]第一版的基础上讨论过。这方法与Medway桥观测报告的作者所采用的徐变迭加原理相似，不同的是Medway桥假定徐变和收缩过程是与时间的对数成线性关系，而建议书则采用非线性的关系。

显然，任何施工规范都想设法使设计工程师在考虑收缩和徐变的大小时，应该尽可能多地考虑到影响徐变和收缩的因素。这些因素已经由尼维尔(Neville)^[12]广泛地总结过。包括了环境条件（如温度、湿度、养护和贮放条件），水泥的品种，对强度有影响的主要因素（如骨料的种类，配合比、水灰比，组成材料的尺寸等），以及测徐变的加荷令期等。很多这些因素已经由莱哈德(Leonhard)纳入德国标准DIN 4227^[13]有关徐变和收缩过程的条款中。后来，CEB-FIP的建议书中也在计算总应度 ϵ_T 的基本方程式中考虑进去了的，该方程式是：

$$\epsilon_T = \frac{\sigma}{E} (1 + \varphi) + S$$

式中 σ 是作用应力， E 是弹性模量， φ 是徐变特征系数，即徐变对弹性变形的比值， S 是收缩。这方程式曾在Medway桥观测报告的初稿^[14]中采用过。

混凝土由于水泥水化热引起的早期变形可以看作是长期收缩和徐变的一部分。可是，结构物的安全状况也许会受到成型后不久发生的开裂所影响。在水化热变形停止以后，当膨胀节点被固定时，该处的缩短和结构物的向下挠曲多数会受到加荷以后（即移走支架和卸除模板以后）所引起的徐变、收缩和弹性变形的影响。在试验计划开始时，只有少数关于全尺寸观测的早期变形的粗略报告。但是，当时在德国还可以看到一些资料^[15]，不过，有不少是作者在1968年专门利用声学应变计测量变形和解释结果时曾经研究过的历史资料^[16]。与此同时，在Taylor木船研究试验所工作的布朗尼(Brownie)曾企图估算原子反应堆的早期变形而进行过平行的研究工作。而在1968年以后，伊万斯(Evans)和胡赫斯(Hughes)提出了在挡墙中的早期变形的报告，并证实了该次研究所得出的全部结论：在英国的气候条件下，由于潮湿的损失对收缩的早期影响可能比热过程的影响小，而且，早期的开裂更是常常由后者所引起的。

试 验 方 法

研究的对象是选择有代表性的混凝土桥，主要是予应力的，但也包括普通钢筋混凝土的和型钢—混凝土组合的各种类型的桥。进行试验的那些桥列于表1，混凝土的配合比列于表2，大多数混凝土具有 $52N/mm^2$ 左右的28天强度。采用的主要测试工具是埋入式的声学应变计，因为这种应变计的长期稳定性较好；表面有时也采用声学应变计和装配式的千分表——Demec应变计。采用埋入式的声学应变计可以测出早期的变形以及混凝土硬化后的收缩、徐变和弹性变形。

声学应变计作为观测长期应变的可靠性是通过Medway桥的对比试验建立起来的。在Medway桥的混凝土表面采用了千分表(Demec应变计)，将它们的观测结果与埋入混凝土内的声学应变计的观测结果进行了对比。虽然读数不是在箱形梁的相对位置上测得的，但每一块顶板和底板的读数平均值是大致相同的(见图1)。Demec应变计的读数是经过温度修正的。

混凝土的比较试件是在混凝土桥浇灌混凝土时取样制作的，有的试件在徐变加力架上加荷以测定混凝土的弹性模量和徐变特征系数，有的则不加荷以测定收缩值。在研究的后期还保留了相当巨大的混凝土构件作为对比试验之用，一般是深度等于桥梁结构构件厚度的1.5M见方的构件。

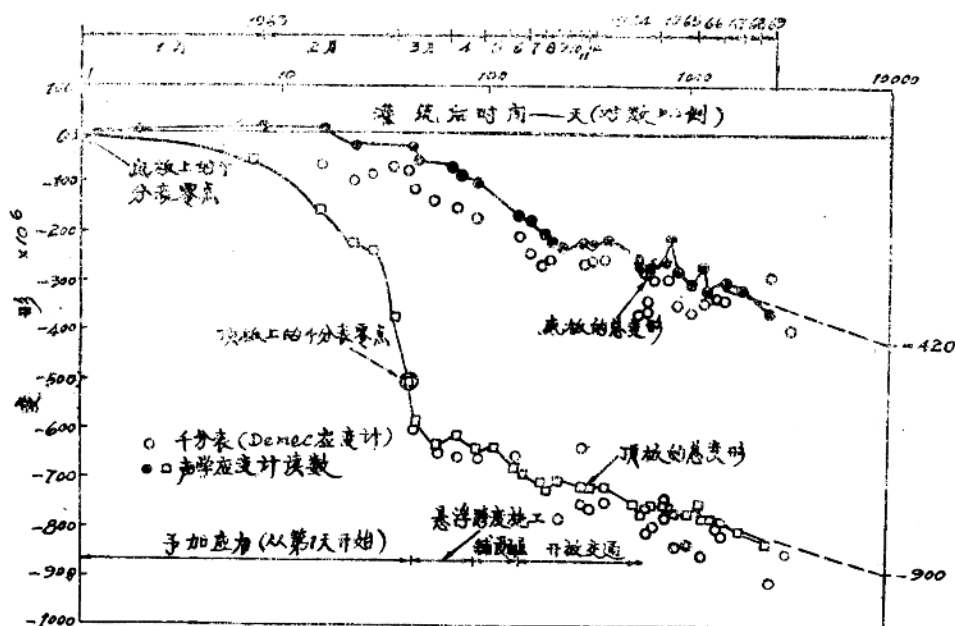


图1 Medway桥用千分表(Demec应变计)和声学应变计读数的比较

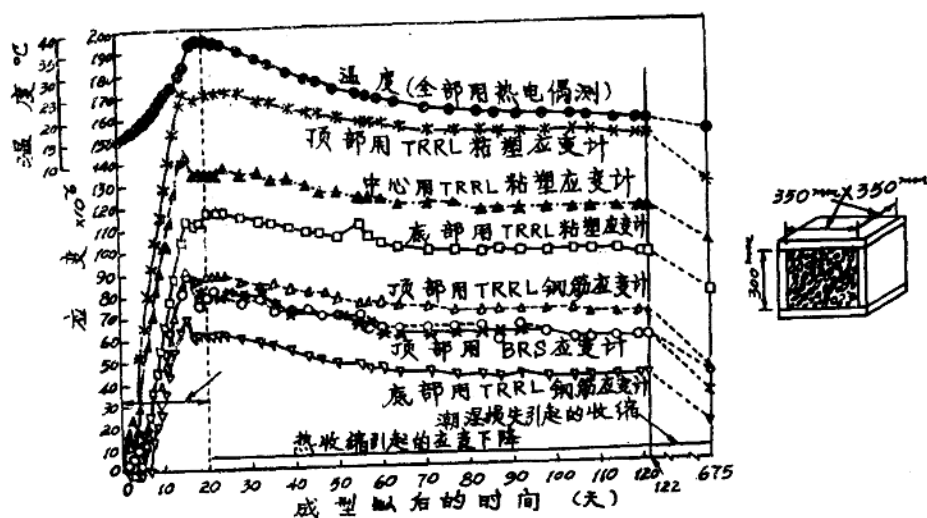


图2 试验室中绝缘混凝土块的温度和变形

表1 本文所讨论的桥梁

结 构 物	日 期	结 构 形 式 (P = 预制, I = 现浇)
Medway 桥 (M2)	1963	预应力多箱梁 (I)
Chiswick 悬臂桥 (M4)	1964	普通钢筋混凝土梁 (I)
Cutton 小桥 (M4)	1964	预应力多箱梁 (P及I)
Glamorgan 布里根的Ogmore河桥	1964~1965	钢梁和混凝土梁组成的“预弯”梁 (P)
Aire 河桥 (AIM)	1965	预应力多箱梁 (I)*
Mancunian 路桥	1965~6	预应力弓形混凝土箱梁 (P)
温梭尔 Elizabeth 桥	1966	带桥面板 (I) 的混凝土梁 (P)
西大街桥 (M40)	1968	带横隔板的墩子 (I) 的弓形多箱梁 (P)
Viaduct 洪水桥 (M40)	1968	混凝土桥板与钢梁组成的 (I)
伦 敦 桥	1968—9	弓形多箱梁 (P)*
Bournemouth 的 Bradley 公路桥	1969	预应力多箱梁 (I)
北umberland 的 Redesdale 桥	1969	在桥面板 (I) 上的预应力“Lytag”梁 (P)

* 仅由试验室试验的混凝土试样

表 II 混凝土配合比明细表 (比例系按水泥的单位用量列出)

桥梁或结构	现浇 (I) 或 予制 (P)	水 泥 品 种	砂		粗 骨 料			所有 的骨 灰比 a/c	水 灰 比	路天弹性模 量的典型数 值 (KN/mm ²)
			来 源	比 例	品 种 ⁺	比 例 ⁺				
						10~20 ^{mm}	20~40 ^{mm}			
Medway 桥	I	O. P.	山砂	1.00	石英河卵石	0.68	2.32	4.00	0.40	41
Chiswick 悬臂	I	O. P.	山砂	2.20	石英河卵石	3.37		5.57	0.45	41
Bison 梁(18)	P	R. H. P.	山砂	1.01	石英河卵石	0.53	1.97	3.51	0.38	—
洪水高架桥	I	O. P.	山砂	2.00	石英河卵石	3.0		5.00	0.50	—
Sutton 小桥	P, I.	O. P.	山砂		石英河卵石					
予弯梁	P.	R. H. P.	山砂	1.00	石英河卵石	1.08	1.60	3.68	0.37	45
Aire 河桥	I.	O. P.	河砂	1.43	石英岩	0.91	1.46	3.80	0.39	37
Mancunian路	P	O. P.	河砂	0.71	石灰石	0.95	1.89	3.55	0.38	39
Elizabeth 桥	P	R. H. P.	山砂	1.00	石英河卵石	1.08	1.60	3.68	0.37	37
	P	R. H. P.	山砂	1.32	石英河卵石	2.08		3.40	0.33	33
西大街	I	O. P.	山砂	0.93	石英河卵石	§ 0.54	1.78	3.25	0.38	41
伦敦桥	P	O. P.	山砂	0.65	石英岩	0.86	1.96	4.47	0.40	32
Braidley 路桥	I	O. P.	山砂	1.05	石灰石	2.45		3.50	0.35	43
Lyttag 梁	P	R. H. P.	山砂	0.57	Lyttag	1.33**		2.90	0.43	19
Solite 试件	P	R. H. P.	山砂	1.00	Solite	1.12**		2.12	0.39	19
露天板	I	O. P.	山砂	1.00	石英河卵石	0.55	1.25	2.80	0.40	41
* O. P. = 普通波特兰水泥								** 13 ^{mm} ($\frac{1}{2}$ 英寸) 最大粒径		
+ 原来按英国单位 ($\frac{3}{16} \sim \frac{3}{8}$ 英寸和 $\frac{3}{8} \sim \frac{3}{4}$ 英寸)								++ 19 ^{mm} ($\frac{3}{4}$ 英寸) 最大粒径		
+ 石英河卵石 = 石英岩, 石英河卵石 = 石英质河卵石。										

附注: 设计强度为28天51.7N/mm², 除了 Chiswick 悬臂 (31N/mm²), 洪水高架桥 (29N/mm²) 以及 Lyttag 梁 (48.3N/mm²)。

坍落度一般在25~50mm, 所有配合比均用可塑性的, 全部混凝土振动捣实。

除了测量变形之外, 还要注意测量应力, 这主要是因为设计人员对钢绳导管摩擦有疑问。为了测量应力, 曾经试用过格罗兹尔 (Glotzl) 应力盒和光弹应力计, 但是已经发现, 采用间接方法用徐变加力架对比较试件进行加荷却更为可靠。加在试件上的荷载要设法使每一个试件产生的应变与结构上所选定的测点上的应变相同, 因此, 相应的应力也是相同的。尺寸大小的影响是通过试件进行防水处理去消除的, 虽然从试件的体积/表面积比值应该与结构相同, 这个原则的简单应用已发现是不很理想的⁽¹¹⁾, 因为收缩是显著地随着蒸发通路的长度而变的。

当时,有些作者已经指出,在混凝土桥梁中,徐变在不到7年的时间即可趋于稳定,但是,作者以前进行的观测却表明,7年以后,徐变仍在继续,只是速率减慢了。这说明,将应变对应于时间的对数绘图时,是常常可以得到直线关系的。所以,对于这方面的研究,往往选择较长的时间去代表无限长的时间,而且为方便起见,普遍采用10,000天(27年)。本研究的实际时间波动于2年(Bradley公路桥,开始于1969年4月)到8年(Medway桥,开始于1963年1月)的范围内,而为了估计不定期的徐变特征系数,应变已经按直线延伸到10,000天画图。应该承认,这个过程仅仅是推测的,特别是后期的研究数据,但是,为了设计的目的,它仍然给出了所期望的徐变指标。

在徐变特征系数的计算中,10,000天的总徐变 ϵ_T 是图上量出的。初始弹性变形 ϵ_e 是从小试件测得的弹性模量推算出来的。而由于湿度损失产生的10,000天的收缩值 S_{∞} ,则是从从不加荷载的混凝土试件测量值估计出来的。那末,徐变 ϵ_{∞} 就可以由 $\epsilon_T - \epsilon_e - S_{\infty}$ 计算出来,而对于承受予应力松弛力作用的钢筋混凝土,其表观徐变特征系数 φ_0 可以由 $\epsilon_{\infty}/\epsilon_e$ 求得。

为了比较全尺寸构件的徐变与试件在徐变架上承受恒载的徐变,可以考虑用受力钢筋的影响和松弛的予应力去推导纯混凝土在恒载作用下的徐变特征系数 φ 。

早期变形

因为早期变形是成型后立即发生的,所以将首先研究它。1968年取得了用埋在混凝土拌合物中的振动丝应变计测得的观测资料^[18]。这些资料和以后的观测结果表明,混凝土在凝结过程中会发生膨胀,测得的膨胀数值随埋在混凝土中的应变计的不同刚度而有不同^[19]。当采用快硬波特兰水泥时,却有2至3个例子有出入。其性能如图2所示,它是在试验室中采用绝缘的试块测得的结果^[20]。水化温度达到最高点时是在20小时以内,应变计测得的是膨胀,其大小随应变计的类型不同而不同;从20至120小时则为缩减,这主要是由于混凝土的线膨胀系数与应变计电阻丝的线膨胀系数不同所引起的温度降造成的;从120至650小时才是在常温下由于潮湿损失引起的真正收缩。成型观测的结果说明:成型后不久就注意很好养护的混凝土,由于湿度引起的收缩是不大的^{[18][21]}。因此,在这个研究中,收缩是以水化热已散失的瞬间取为零点进行测量的,这样可藉以避免收缩与减缩难以区分的困难,收缩是由于潮湿损失引起的,而减缩是由于温度降引起的。显然,在过去,有许多例子是把温度降引起的早期开裂错误地归咎于“收缩”了。

在试验过程中,整个方试块的温度是恒定的。但是,在全尺寸的构件中,正如在Medway桥所观测的结果那样(见图3),点与点之间无论如何会发生较大的温度差。初凝实质上是在不同温度下发生的,而且在冷却时,似乎会发生巨大的变形;例如,设置在大体积混凝土腹梁内的点1与比较冷的桥面板上的点4之间的温度差,在16小时以后约为25°C,其变形差则为25 α ,这里的 α 对于燧石—砾石混凝土为 $\alpha \approx 13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,即在硬化混凝土中,大约有 325×10^{-6} 的变形差需要适应。这数值与予应力混凝土中的弹性变形是同样等级的大小。

水化热对大构件的影响更为明显的例子是Chiswick悬臂梁上越过顶面的截面M4观测所得的数据(见图4)^[22],该截面的尺寸是2.55m深,2.75m宽。由于高温引起的截面中心的膨胀受到较冷的截面外表面的约束,会产生一个明显的减缩,正如靠近中心的第11号应

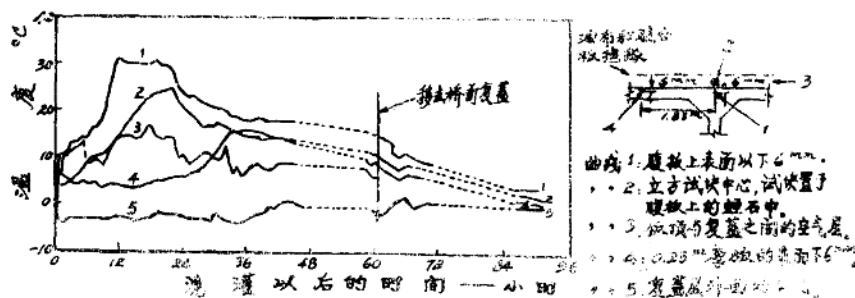


图 3 Medway 桥主悬臂内的温度纪录

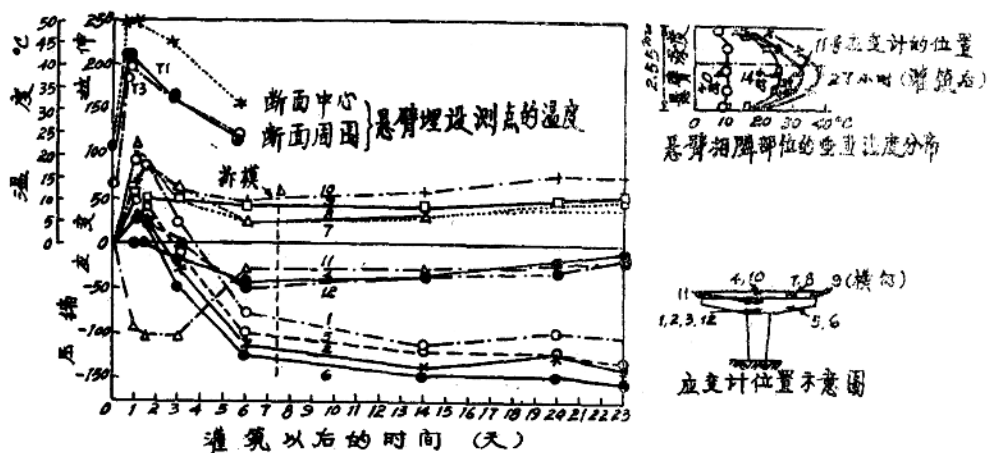


图 4 Chiswick 悬臂桥浇筑以后的温度和应变

变计测得的纪录一样；但是，以后由于冷却又会产生相反的影响。这样，开始的时候，截面的内部是受压的，外部是受拉的；后来，由于冷却，又将产生完全相反的效果。显然，在这样的情况下，裂缝就会产生。

在另一个试验里，采用长引线的办法在一个受热楼板上测量现浇梁的变形，测得的纪录表明：当梁还是牢固地支承在模板上的时候，由于除去梁顶部的复盖所产生的变形以及随后梁顶部的冷却结果，就足以引起上述的开裂现象。

Viduct 洪水桥的应变读数是在深布钢筋的梁上、在混凝土硬化过程中测得的(图 5)，它说明混凝土硬化的影响并不会引起埋设很深的钢筋产生应力，但更确切的说是混凝土已予先开裂了。

在几个跨度都已经完工的底板上继续浇灌新混凝土桥腹梁时，其影响(图 6)见于国外研究试验所的报告。据报告，混凝土的裂缝出现在桥墩顶的腹梁上，从截面的顶部向下延伸到中线轴。通常的解释是，混凝土硬化以后，冷却中的腹梁所产生的缩减会有一种趋势，使桥的整个长度产生向上凹的弯曲。而桥梁结构的自重又使它仍然支承在桥墩上，因而引起开裂。补救的办法是将整个截面一次灌完，此时，整个结构将同时冷却下来。这样做，又可能引起横截面上内外变形差，如 Chiswick 悬臂梁那样的情况，但这无论如何不会象分两层浇灌所引起的后果那样严重。

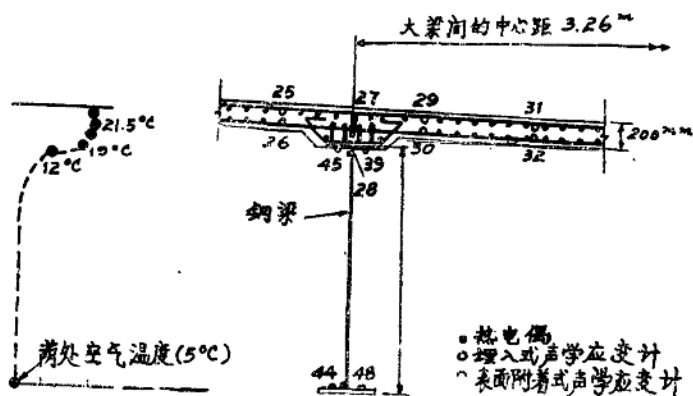


图5 洪水高架桥的混凝土在硬化过程中的温度

相似类型的开裂也见于国外的资料，有一个混凝土连续梁的桥面板，由于太阳的照射而受热，产生了一个从热表面向下降温的温度梯度，因此导致拱起的弯曲。而当桥面板沉降回到桥墩顶上时，则裂缝从下面向上发展。

结论是：水泥水化热引起的早期应变是混凝土浇灌后不久即发生开裂的最常见的原因，即令很好养护的混凝土也是如此。

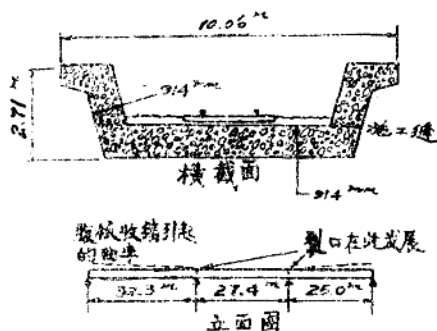


图6 桥梁常在墩顶上开裂

弹性变形

因为现场加荷和施加予应力通常要花几个小时或几天去完成，所以在全尺寸的构件上测得的变形除了弹性变形之外，通常还包括一些徐变。因此，弹性模量一般是在徐变试验的最初阶段下测定的；小试件，一般是 $508 \times 102 \times 102$ mm 的尺寸，是在徐变加力架上加荷的。用这个方法测得的数据与现场实测的结果是相符的，就是说，不受比例尺寸的影响。一般说，用于桥梁工程的高质量混凝土，其接近直线的应力—应变曲线是在立方强度的 $1/3$ 左右以内测得的⁽¹¹⁾。这对轻集料混凝土也适用（图7），虽然轻混凝土的弹性模量甚至还不到普通混凝土的一半。在图7中，Solite 和 Lytay 两家的试件都是蒸汽养护的，Solite 的蒸汽养护温度比 Lytay 高，结果，混凝土比较成熟，而且几乎是直线形的应力—应变曲线。在 Solite 的图上，一直延伸到大约 14 N/mm^2 或 $2/5$ 的立方强度的地方。有代表性的弹性模量值载于表2，其中大多数是在加荷应力一到达 13.1 N/mm^2 以后立即根据应力/应变的比值推算而得。一般，加荷并没有按 BS1881 的要求进行循环加荷，但是就按要求做的那些地方，其结果表明，对于这种等级的混凝土在数值上也没有很大的差别。无论如何，有理由从一次加荷中去量测混凝土的弹性模量，因为在桥梁结构中，予应力也是仅仅一次施加上去的，所以有可能与这些观测值进行直接比较。

普通混凝土测得的28天弹性模量值是从 Braidley 公路桥采用石灰石骨料混凝土的

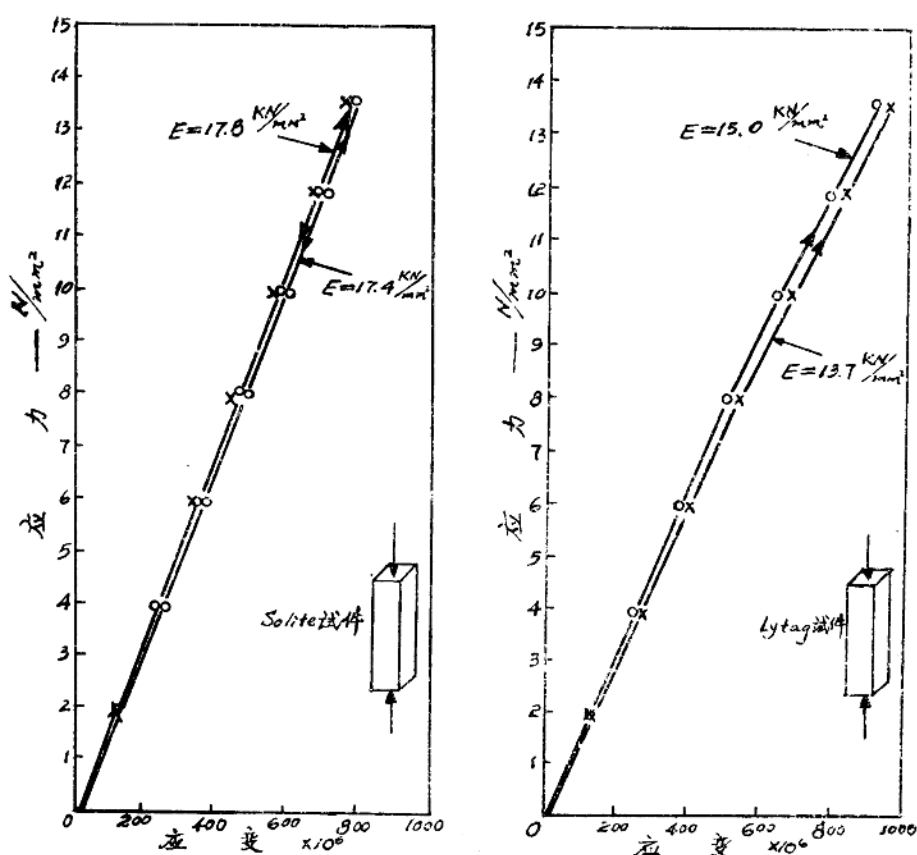


图7 成型以后两天(蒸汽养护)的轻混凝土的弹性模量

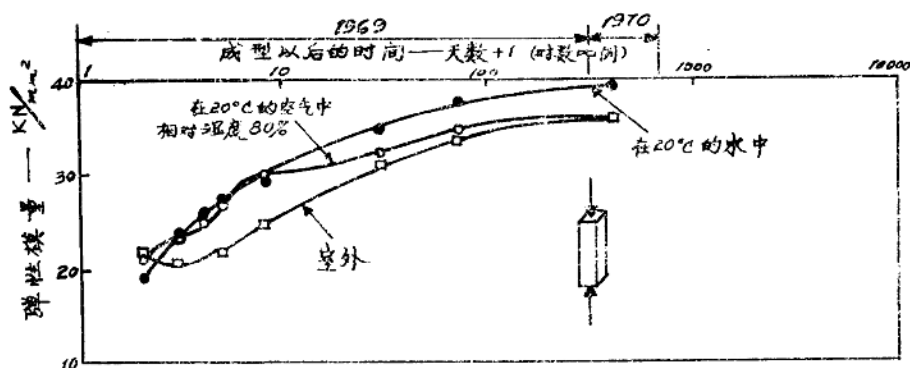


图8 从伦敦桥取样(1963年3月1日成型)的混凝土的弹性模量

43.5 KN/mm^2 至伦敦桥预制构件的 32 KN/mm^2 的范围内。较低的弹性模量值无论如何并不意味着混凝土质量有任何降低,它可能是由于不同类型的骨料引起的。立方强度高的,测得的徐变量也是正常的。

环境条件对于弹性模量值随着时间而增加的影响见于浇灌新伦敦桥制作的试件^[11]。有六个是随同预制构件同时成型的,而且最初24小时是与构件一起放在室外条件养护,然后,将四个试件拿进室内,其中两个放在 20°C 的水中,另外两个放在温度为 20°C、相对湿度为 80% 的空气中;第三对则仍然放在可以防雨的室外。成型以后一年的弹性模量是在便于加荷的徐变加力架上测得,其结果如图 8。

室外的试件,开始是处于 5 ~ 10°C 的温度范围内。其弹性模量比室内的试件显得进展较慢。得到的结论是:为了确定桥梁的弹性模量应该采用室外的试件。

徐 变

概述

对于所研究的各个桥,既观测全尺寸构件的徐变,又观测对比试件在徐变加力架上的徐变,并从总应变与时间对数的关系推算徐变特征系数。徐变量是用总应变减去收缩而得,而收缩值则主要是在浇灌全尺寸结构时成型的混凝土构件上测得的。

全尺寸构件的徐变

Medway 桥、Mancunian 路、西大街和 Bradley 公路桥等的观测结果是有代表性的(分别载于图 9—12)。这些桥都是箱形大梁,图中所示系分别按顶板与底板沿全宽布置的应变计所测得的应变平均值绘制的。所有曲线显示了三个阶段:第一,予应力阶段,取几天或几个星期;第二,过渡阶段,是桥梁在开放交通之前,刚加上构件如桥面和栏杆的自重;第三,是桥梁开放交通以后,这时只发生徐变和收缩。当在结构物上用载重车辆进行试验时,只产生很小的应变,这可以认为:影响徐变的主要荷载是在结构物上的静荷载,包括予加应力的外力。从总应变曲线的趋向可以看出:它是与时间的对数成直线关系的。此外,还要加上冬天膨胀夏天收缩的季节循环变形,相当于混凝土季节性的受潮和干燥。

在冬天浇灌桥梁和施加予应力的后果是:使徐变和收缩的发展慢下来,然后,主要是到下一个春天到来以后才发生较大的徐变和收缩。因此可以看出,Medway 桥在 1963 年 1 月份和 2 月份在桥底板和顶板发生的变形(图 9),大部分是弹性应变,因为每年在这个时候的徐变和收缩是很小的^[11]。

如图 9 和图 10,桥顶板和底板的应变/时间曲线是平行的,这说明桥上有特殊测试设备的断面并不增加徐变挠曲,而只是发生均匀的缩短。在曲线交会的地方(如图 11 和图 12)意味着在跨度中心上的向下挠曲会有增加。

桥顶板和底板的应变/时间曲线相平行的条件可用作确定跨度上徐变挠度为零的标志。长跨度的桥如专用于活荷载不大的人行桥可能显现出随时间而增加的向下弯曲,这并不说明结构物上有问题,而只是在外形上会使人们的眼睛看来是倾斜的或给过桥车辆上的人们带来下垂的感觉。

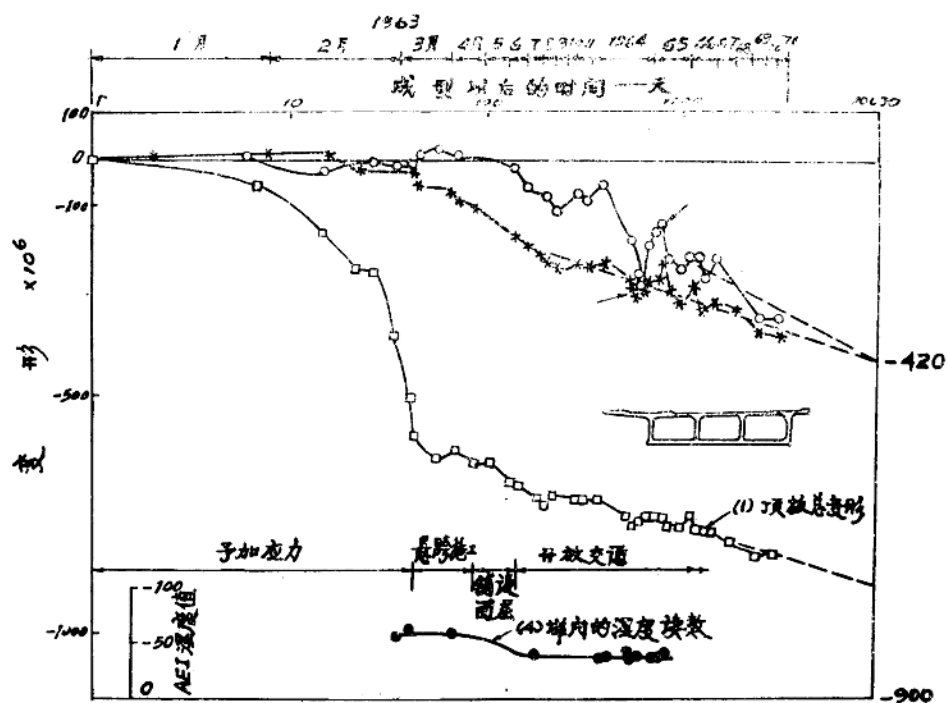


图9 Medway 桥悬臂的变形

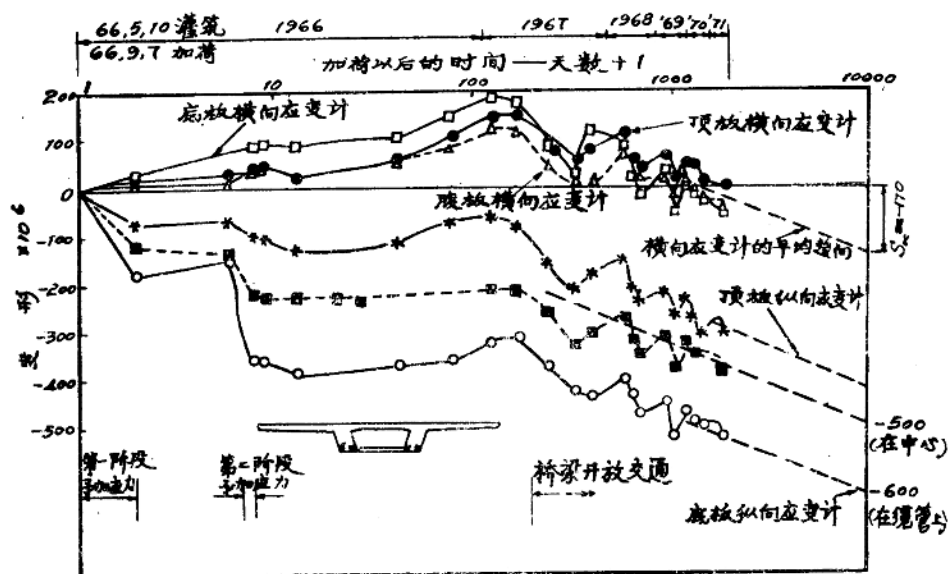


图10 Mancunian 路桥跨度中心的变形

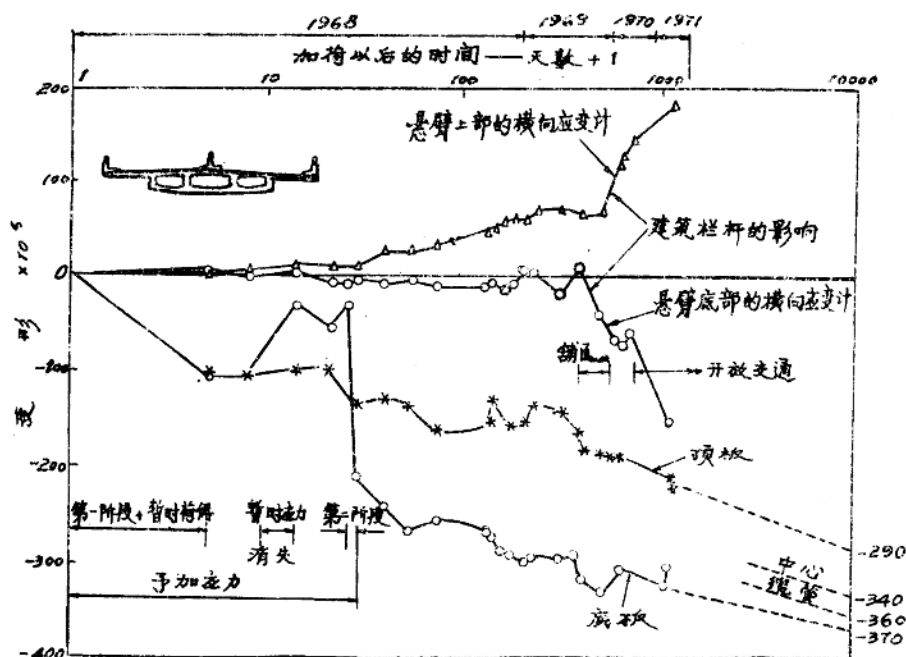


图11 西大街桥跨度中心的变形

用观察结果推算得的徐变特征系数进行初步分析^[1]说明：对于普通混凝土来说，如果自重弯矩大于予应力弯矩的0.85，或者对于所研究的单纯是轻骨料的混凝土来说，自重弯矩大于予应力弯矩的0.7时，挠度即将增加。可是，上述数值是假定只有自重对徐变挠度有影响的基础上推算出来的。巴赞特 (Bazant)^[29]已经指出，在试验室中，将小试件在一个方向上承受很多次的应力循环，徐变量是与最大应力成正比的，这显然说明，活荷载也能助长徐变挠度。尽管如此，从目前的全尺寸构件的观测结果是找不出明显的支持论据的。但是，如果以后的情况变得有利于它了，那么，前面关于自重弯矩的极限值将需要适当地减小。

要注意：在予制的予应力梁上进行现场浇灌桥面板时，就会减小予应力梁的徐变应变的发展率。这种情况见于温索尔 (Windsor) 的 Elizabeth 桥 (图13)，该桥在开放交通以后，应变增加得很少，而 Lytay 轻骨料试验梁可以更清楚地看出来。根据估算，该试验梁在没有桥面板的情况下暴露在室外时，梁中心的应变在10000天令期时将为 1800×10^{-6} (图14)，对照一下已建在桥内的类似的梁，其应变才只有 1100×10^{-6} 左右 (图15)。对于其它保留在试验室内，温度为 20°C 、相对湿度为65%的 Lytay 梁，其10000天的应变则可能大于 2000×10^{-6} (图16)，这说明干燥气候中徐变和收缩的影响。

将大量矩形的予制混凝土块用现浇混凝土连结成的装配式混凝土桥，其徐变/时间对数的关系示于图17。从桥梁开放交通的时候起，腹梁顶面的现浇混凝土应变 (应变计13和16测得的) 速率就比相邻的予制混凝土板的应变 (应变计14和15测得的) 速率要快，这一种影响是其它试验桥所没有观测的。它得出的结论是：虽然该桥在1964年刚施加予应力后，沿宽度分布的应变显得很均匀，但是，开放交通6年以后的结果却引起腹板顶面的应

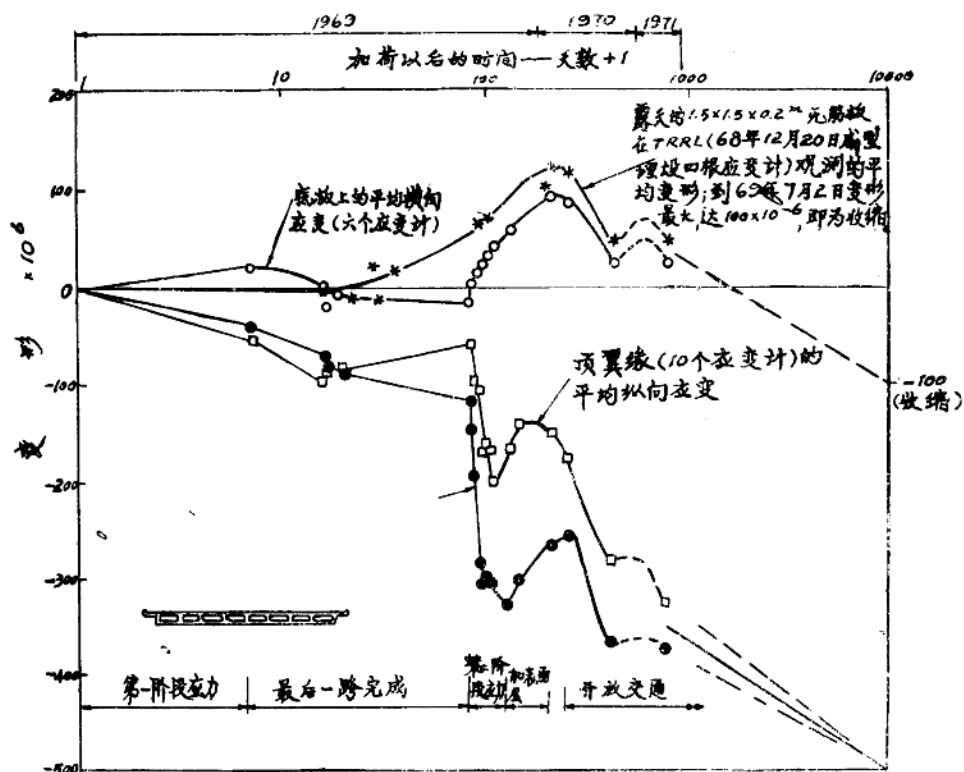


图12 Braidley 路桥 (1969年4月灌筑), 跨中变形

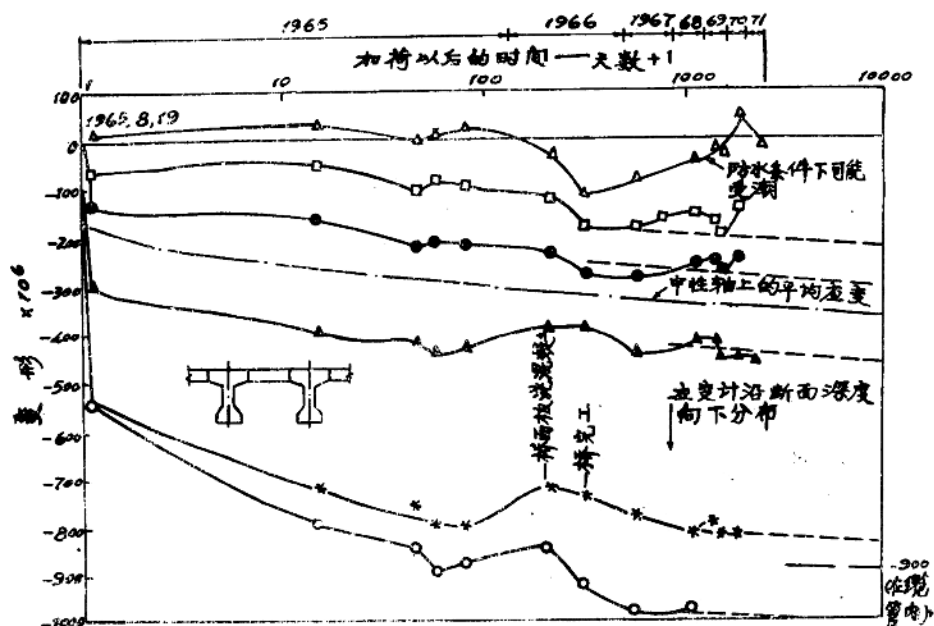


图13 Elizabeth 桥, 梁中心的长期应变

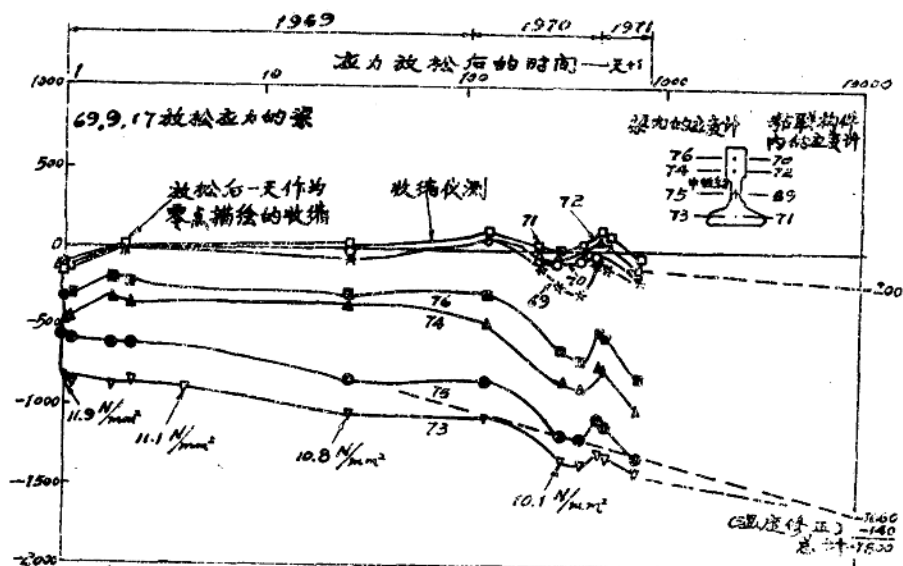


图14 Lytag 梁的变形和暴露于试验室外的构件的收缩

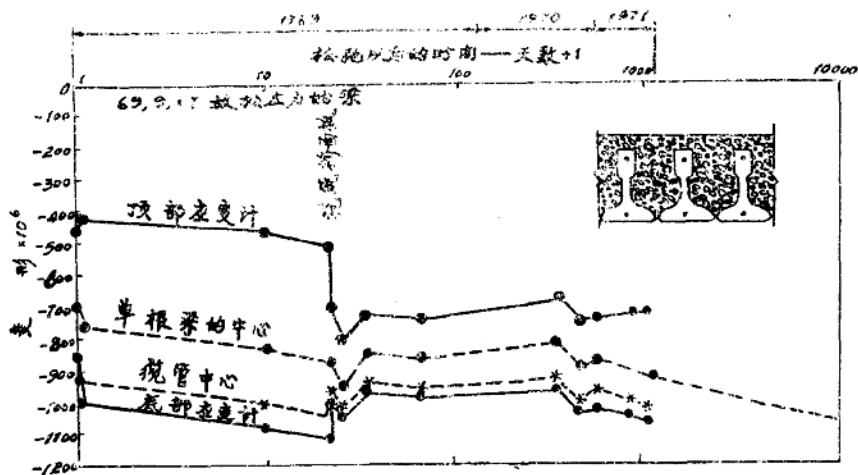


图15 Redesdale 桥上的 Lytag 梁的应变变化

变增加达5.00%，即 $\varphi = 5$ ，而这个截面的其它部分的应变增加却小得多。这说明：在予制板周围的许多接合点上，已经有一个应力松弛。这引起自重应力从桥板转移至腹板上，也就是说，处于长期弯矩作用下的顶板有效宽度已经减小。但结构上的应力仍然不大。这个研究对设计人员来说，无论如何将起到指示作用，要他们注意应力的横向分布。

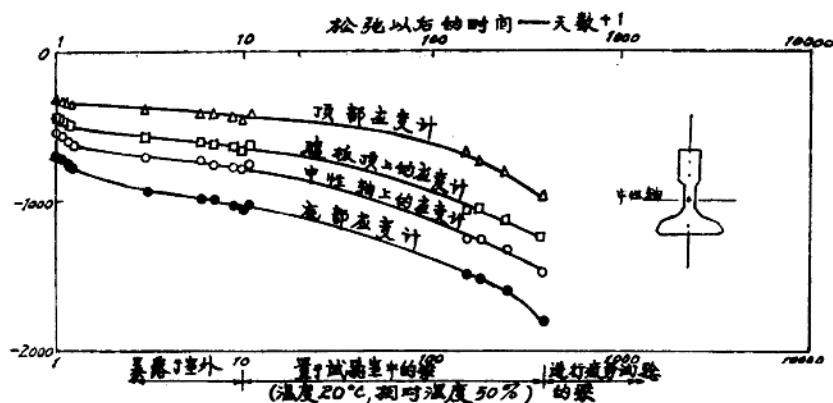


图16 Lytag 梁在结构试验室（温度20°C，相对湿度50%*）中的变形

* 文内说明系65%，可能有误。——译注

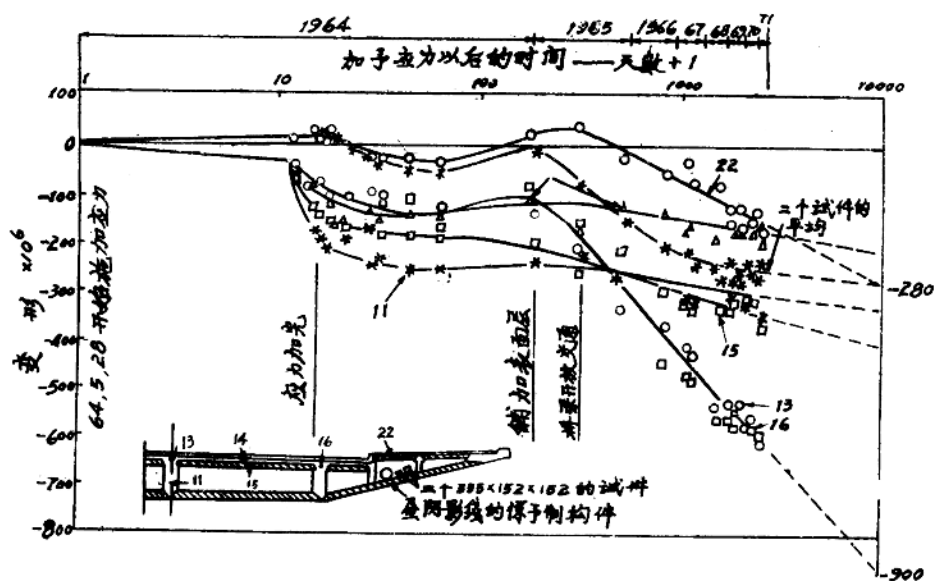


图17 Sutton 单向行车桥跨中心的变形