

活动支座摩擦力对简支梁桥地震反应的影响

王东升 冯启民

(中国哈尔滨 150080 中国地震局工程力学研究所)

摘要 本文介绍在地震作用下活动支座摩擦力对简支梁桥桥墩内力和活动支座处墩、梁相对位移的影响,以及水平地震系数、摩擦系数变化对固定支座水平地震荷载的影响。文中建议了考虑活动支座摩擦力影响的简支梁桥整体分析模型。

主题词 活动支座摩擦力 简支梁桥 地震反应

中国图书分类号: P315.952.2

1 前言

至今,简支梁桥仍是我国铁路桥和公路桥的基本桥型。通常设计在每一孔梁的一端设置铰支座(固定支座),另一端设置活动支座,而相邻的两孔梁之间留有一定的空隙(伸缩缝)。由于活动支座处总是存在一定的摩擦力,它会给简支梁桥的地震反应带来一些影响,主要表现在三个方面:

(1)上部结构所产生的地震力,将通过固定支座和活动支座处的摩擦力传递给相邻的桥墩(台),从而使桥墩(台)的地震反应相互影响。

(2)由于活动支座处摩擦力的存在,它将消耗部分地震能量,从而减小下部结构的地震反应。另一方面,摩擦力只能对主梁的运动提供阻碍作用,而不提供恢复作用,这将使主梁、墩在活动支座处产生累加位移,影响落梁破坏的发生。

(3)一般说来,桥梁的上部结构为一大质量的整体。理论分析表明,上部结构(主梁)在地震反应中接近平动^[1]。因此,活动支座处的摩擦力将会通过主梁的传递对固定支座所承受的地震力产生影响。

以上三个问题,既有对桥梁抗震有利的方面,又有对桥梁抗震不利的方面,且相互影响。对这些问题的研究,可为确定符合实际的简支梁桥地震反应分析模型奠定基础,也可为建立合理的固定支座水平地震荷载计算公式,降低固定支座的地震易损性提供理论依据。

本文着重研究在地震作用条件下,活动支座摩擦力对简支梁桥桥墩内力、固定支座受力和活动支座处墩、梁相对位移的影响,并寻求定量的分析结果。最后根据《公路工程抗震设

收稿日期:1998-02-26 王东升 男 24岁 硕士研究生 中国地震局工程力学研究所 邮编 150080

计规范 >> (JTJ004-89) (以下简称规范) 和研究所得结论, 提出了考虑活动支座摩擦力效应的简化简支梁桥地震反应分析模型。虽然本文的研究是针对简支梁桥的, 对于连续梁桥而言, 同样具有一定的借鉴意义。

2 简支梁桥地震反应分析模型与运动方程的建立

2.1 建立简支梁桥地震反应分析模型

假定如下:

- (1) 桥台为质量很大的刚体。
- (2) 基础与桥墩之间为固接, 不考虑土-结相互作用的影响。
- (3) 主梁简化为刚体。

2.2 采用有限元方法建立结构地震反应的运动方程

(1) 分析中使用的单元

在以上三点假设条件下, 建立了简支梁桥地震反应分析的有限元模型。分析中使用了三类单元: 1) 平面梁单元, 即将桥墩按平面梁单元离散成一个力学分析模型。2) 杆件单元, 将主梁、固定支座、伸缩缝离散为特殊杆件单元。3) 采用弹塑性杆件单元模拟摩擦力的作用, 这里称为摩擦单元。

鉴于平面梁单元和杆件单元已为大家所熟悉, 这里仅对摩擦单元作一简要介绍。

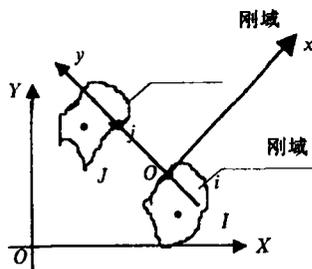


图1 摩擦单元

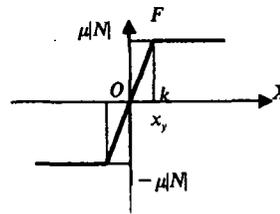


图2 摩擦单元水平力与位移的关系

我们所说的摩擦单元如图1所示, 其中 i, j 分别代表活动支座与主梁、桥墩(更确切地说是盖梁)的连接点, i, j 之间可以发生相对位移。 I, J 分别为主梁、桥墩上节点。在这里, I, J 为主节点, i, j 为从节点, 主、从节点之间以刚域相连。图中 xoy 为单元坐标系, XOY 为整体坐标系。

根据实验结果^[3], 摩擦单元的水平力与位移关系如图2所示。设 N 为活动支座垂直反力, 则当摩擦单元水平力 $|F| < \mu|N|$ 时, 单元保持一定的水平刚度 K , 当水平力 $|F| > \mu|N|$ 时, 水平刚度消失, $K=0$ 。上述 μ 代表活动支座的动摩擦系数(以下简称摩擦系数)。另外, 图2中的 x_c 表示临界滑动位移。

(2) 建立简支梁桥地震反应的运动方程

简支梁桥地震反应的运动方程为:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[M]\{I\}\ddot{u}_g \quad (1)$$

式中, $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ 分别为体系的质量矩阵、阻尼矩阵、刚度矩阵, $\{x\}$ 为相对位移反应列阵, $\{I\}$ 为单位列阵, \ddot{u}_g 为输入地震加速度时程。

$[M]$ 为集中质量矩阵, 阻尼模型取为瑞利阻尼:

$$[C]=a[M]+b[K] \quad (2)$$

式中, $[K]$ 为 t 时刻的切线刚度矩阵。系数 a 、 b 由假定的第一、二振型阻尼比和初始刚度阵计算得到。阻尼矩阵是时变的。

(3) 方程的求解

由于在分析中引入了摩擦单元, 它的力-位移关系是阶跃函数, 所以这是一个非线性问题。在求解时, 应首先将方程(1)变为增量的形式。

$$[M]\{\Delta\dot{x}\}+[C]\{\Delta\dot{x}\}+[K]\{\Delta x\}=-[M]\{I\}\Delta\ddot{u}_g \quad (3)$$

式中, $\{\Delta x\}$ 为相对位移反应增量, $\Delta\ddot{u}_g$ 为输入地震加速度增量。采用 Newmark- β 法对方程(3)进行求解, 其中取参数 $\gamma=0.5$, $\beta=0.25$ 。在求解中, 采用了两种时间步长: 一种为常规步长; 而在发生刚度突变处, 则采用相当于常规步长的 $1/10 \sim 1/20$ 的较小的另一种步长。另外, 还采用静力凝聚技术消去了转动自由度, 从而减小了整个体系总的自由度数目, 提高了计算效率。

3 算例

算例所取的桥梁为3跨墩不等高RC简支公路梁桥。桥全长150m, 各跨布置为 3×50 m, 墩高分别为17.2m和22.2m。分析时, 除桥墩高度各不相同外, 其余采用同样的几何尺寸, 采用目前常用的板式橡胶支座作为固定支座。桥梁主要几何物理参数如表1所示。该结构所参考的实际桥梁为三门峡黄河公路大桥引桥, 为研究方便, 作了适当的修改。关于该桥的详细情况可参考文献[2]。

表1 主要几何物理参数

	主 梁	桥 墩	支 座	伸缩缝
L 或 H(m)	50		0.07	0.07
A(m ²)		3.14		
I (m ⁴)		0.785		
E(kN/m ²)		2.85E+7		
$\rho(10^3$ kg/m)	12.33	7.85		
K(kN/m)	1.0E+10		14438	2.5

结构计算模型如图3所示, 共计21个节点, 18个单元, 其中摩擦单元3个。由于固定支座在设计时可布置在主梁的任意一侧, 因此我们考虑了两种工况: 工况1, 固定支座位于主梁左侧(模型I); 工况2, 固定支座位于主梁右侧(模型II)。

输入的地震加速度时程为El Centro(EW)记录, 并将峰值调整为0.4g, 沿桥纵向输入。

摩擦系数 μ 分别取为0.01, 0.04, 0.08, 0.10, 0.15, 0.20, 基本上可以包括各类支座的摩擦

系数。

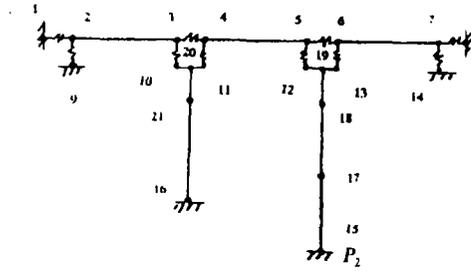


图3 结构计算模型

4 计算结果与分析

为了研究摩擦系数变化对桥墩内力、活动支座处墩、梁相对位移反应和固定支座受力的影响,计算分析了不同支座布置形式、不同摩擦系数情况下的时程反应。下面将计算分析结果分述如下:

4.1 活动支座摩擦力对桥墩内力的影响

表2列出了摩擦系数在0.01~0.20之间变化时各墩底的最大弯矩、剪力。当摩擦系数增加时,桥墩墩底弯矩、剪力明显减小,但随摩擦系数的增大,降低的幅值呈递减趋势。在不

表2 桥墩最大弯矩、剪力

模型	桥墩	内力	摩擦系数					
			0.01	0.04	0.08	0.10	0.15	0.20
I	P_1	弯矩	3.65	3.11	2.61	2.40	2.16	2.16
		剪力	2.14	1.83	1.55	1.43	1.28	1.28
	P_2	弯矩	3.96	2.81	2.36	1.97	1.96	1.86
		剪力	1.89	1.35	1.12	0.95	1.03	0.96
II	P_1	弯矩	3.74	3.15	2.81	2.67	2.32	2.20
		剪力	2.20	1.86	1.66	1.57	1.37	1.31
	P_2	弯矩	3.85	2.77	2.25	2.18	1.86	1.70
		剪力	1.84	1.36	1.13	1.09	0.96	0.84

注: 单位: 弯矩为 $1.0 \times 10^4 \text{ kN}\cdot\text{m}$, 剪力为 $1.0 \times 10^3 \text{ kN}$

同模型之间桥墩内力相差不大。如果比较高墩($H=22.2\text{m}$)、矮墩($H=17.2\text{m}$)墩底内力-摩擦系数曲线的斜率,会发现摩擦力对高墩的影响将大于对低墩的影响(图4(a)、图4(b))。比较摩擦系数 $\mu=0.01$ 与 $\mu=0.04$ 时的情况,桥墩内力差异很大,尤其是较高桥墩 P_2 。若假定一般活动支座的摩擦系数 $\mu < 0.05$,由以上的计算结果看,在简支梁桥地震反应分析中,认为活动支座摩擦力很容易被克服,而忽略它的作用是不合理的。

表3 桥墩、主梁最大相对位移

模型	摩擦系数					
	0.01	0.04	0.08	0.10	0.15	0.20
I	37.8	19.7	10.5	10.6	11.8	12.9
II	39.5	17.8	12.6	13.5	12.4	10.0

注: 单位为cm

图 4(a)、图 4(b) 给出了桥墩底最大弯矩、最大剪力随摩擦系数 μ 的变化趋势。图中的模型 III 是固定支座为刚性支座时的情况。单位见表 2。

4.2 活动支座摩擦力对墩、梁相对位移的影响

为使研究结果更具有代表性，我们仅对中间一跨梁进行讨论。表 3 列出了摩擦系数 μ 在 0.01 ~ 0.20 之间变化时，中间梁与桥墩在活动支座处的最大相对位移反应。随着摩擦系数的增加，墩、梁相对位移明显降低，但当摩擦系数较大时，这种降低效果不明显。同样对我们感兴趣的摩擦系数 $\mu=0.01$ 与 $\mu=0.04$ 情况进行比较： $\mu=0.04$ 时，相对位移反应几乎为 $\mu=0.01$ 时的一半，对梁墩相对位移反应的限制效果非常明显。结合算例结构，桥墩高且柔和柔性固定支座将导致较大的位移反应。可以认为，提高活动支座处的摩擦力(不超过一定限度)能有效地降低该类梁桥的位移反应，防止落梁破坏。

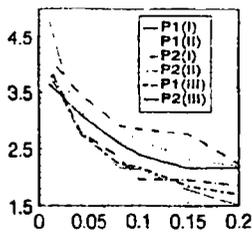


图 4(a) 墩底弯矩与摩擦系数的关系

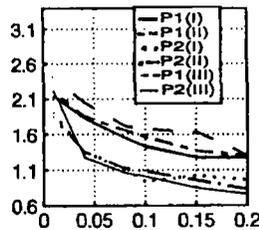


图 4(b) 墩底剪力与摩擦系数的关系

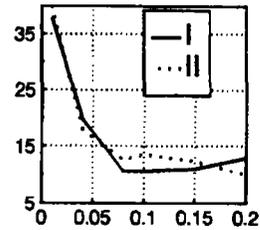


图 5 墩梁相对位移与摩擦系统的关系

图 5 给出了中间跨活动支座处墩、梁最大相对位移反应随摩擦系数 μ 的变化趋势。单位见表 3。

表 4 固定支座最大地震力

模型	摩擦系数					
	0.01	0.04	0.08	0.10	0.15	0.20
I	2.08	1.75	1.59	1.67	1.76	1.80
II	1.58	1.26	1.10	1.10	1.24	1.29

注：单位为 1.0×10^3 kN

4.3 活动支座摩擦力对固定支座受力的影响

表 4 列出了摩擦系数 μ 在 0.01 ~ 0.20 之间变化时，中间一跨梁固定支座所承受的最大水平地震力。可以看出：

(1) 固定支座所承受的最大地震力并非随摩擦系数的增加而单调降低，它与摩擦系数的大小相关。当摩擦系数较小时 ($\mu < 0.05$)，固定支座的最大地震力随摩擦系数的增加明显降低，而摩擦系数较大时 ($\mu > 0.10$)，随着摩擦系数的增加，固定支座的最大地震力反而有所增加。

(2) 固定支座位于矮墩 ($H=17.2\text{m}$) 一侧时(模型 I)，它所承受的最大地震力明显大于固定支座位于高墩 ($H=22.2\text{m}$) 一侧时(模型 II)。文献 [3] 利用简支梁桥复合体系顺桥向振动分析模型^[4] 对该问题进行了研究，结果表明，活动支座摩擦力对固定支座受力的影响视固定支座的位置而定。当固定支座位于高墩一侧时，活动支座摩擦力具有减小固定支座地震力的作用，而当固定支座位于矮墩一侧时，活动支座摩擦力则具有增大固定支座地震力的作用。结

合上述算例结构，笔者考察了固定支座为刚性时(称模型 III)，固定支座分别位于 P_1 (情况 1)和 P_2 (情况 2)时，它所承受的最大地震力之差随摩擦系数的变化(目的是降低系统因素的影响)，如图 7 中“o”标记曲线所示。可以看出，随着摩擦系数的增加($\mu < 0.15$)，固定支座地震力差值也增大，从侧面说明了文献[3]观点的正确。另外，图 6 中， $\mu > 0.15$ 时的下降段，是由于摩擦系数较大时两侧桥台限制了主梁的反应引起的。还有带“▲”标记的曲线考察的是模型 I、II 的固定支座地震力差值随摩擦系数的变化。

图 6 给出了固定支座最大地震力随摩擦系数 μ 的变化趋势。图 6、图 7 的单位见表 4。

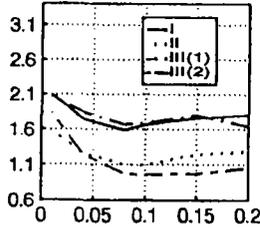


图 6 固定支座地震力与摩擦系数的关系

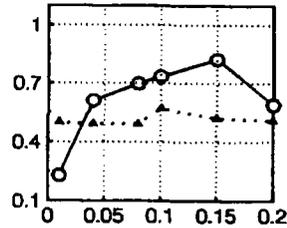


图 7 固定支座地震力之差与摩擦系数的关系

表 5 固定支座最大地震力

水平地震系数	计算方法	摩擦系数		
		0.04	0.10	0.15
0.1	时程	477	558	730
	规范	785	604	453
0.2	时程	834	939	954
	规范	1691	1510	1359
0.4	时程	1850	1700	1800
	规范	3504	3322	3171

注：单位： $1.0 \times 10^4 \text{kN}$

表 6 活动支座摩擦力与固定支座最大地震力的比值

水平地震系数	工况	摩擦系数					
		0.01	0.04	0.08	0.10	0.15	0.20
0.1	1	0.06	0.25	0.46	0.54	0.62	0.71
	2	0.09	0.38	0.65	0.72	0.80	0.89
0.2	1	0.03	0.14	0.26	0.32	0.47	0.56
	2	0.04	0.22	0.43	0.54	0.67	0.75
0.4	1	0.02	0.07	0.14	0.18	0.25	0.36
	2	0.02	0.10	0.25	0.31	0.46	0.57

(3) 时程分析结果与规范计算结果的对比

表 5 列出了不同水平地震系数、不同摩擦系数条件下，分别采用时程分析和规范方法(公式 4.2.12-1)计算得到的固定支座(刚性)最大水平地震力。在这里，摩擦系数 μ 分别取为 0.04, 0.10, 0.15，重要性修正系数 C_i 取为 1.5，固定支座位于 P_1 墩。

表 6 列出了不同水平地震系数，不同摩擦系数条件下，活动支座摩擦力与由时程分析得到的固定支座地震力的比值(以小数表示)。

分析表 5、表 6, 可得:

- 1) 随水平地震系数的增加，活动支座摩擦力与固定支座所承受的地震力的比值降低。
- 2) 相同水平地震系数条件下，随摩擦系数的增加，活动支座摩擦力与固定支座所承受的地震力的比值增加。

3) 水平地震系数较低(0.1)时，规范公式会给出较小的固定支座水平地震力，偏于危险。

鉴于支座在桥梁抗震设计中的重要性，规范采用静力方法考虑活动支座摩擦力对固定支座水平地震荷载影响时，应作适当修正。对简支梁桥，若规定活动支座摩擦力与固定支座水

平地荷载的比值不超过 0.6(参考表 6 数据), 则活动支座摩擦力不超过固定支座总等效静力荷载(不考虑摩擦)的 0.37 倍, 规范取为 0.65。从本文计算结果看, 此值偏大, 并且此时似乎以不考虑重要性修正系数为好。对连续梁桥, 还应作进一步的研究。

综上所述, 理论分析表明:

1) 活动支座摩擦力对简支梁桥地震反应具有相当的影响, 在地震反应分析中忽略摩擦力的作用是不妥的。

2) 活动支座摩擦力对简支梁桥地震反应的影响与滑动摩擦系数或活动支座摩擦力大小密切相关。

3) 在桥梁抗震分析中, 简单地以静力方法考虑摩擦力对固定支座的影响可能会导致偏于危险的结果。宜对考虑的活动支座摩擦力大小作适当限制, 目前规范限制值 0.65 可能偏大。

4) 对于桥墩高且柔的简支梁桥(算例结构), 活动支座摩擦力可有效地降低桥墩、固定支座的的地震力, 并限制梁墩间的相对位移反应。

5 考虑活动支座摩擦力的简支梁桥地震反应分析简化模型

我国规范关于简支梁桥地震反应分析的规定是以单墩模型为基础的, 这对于活动支座摩擦力很小或者桥墩之间高差不大的情况是适合的, 而对于活动支座摩擦力不算小, 桥墩之间有一定高差的简支梁桥(如本文的算例结构), 上面分析表明, 活动支座摩擦力对它的地震反应有相当的影响。为此, 在本文的最后考察了单墩模型与整体分析模型(图 3)地震反应的差异, 并根据时程分析结果与规范, 建立了简支梁桥考虑活动支座摩擦力影响的简化全桥地震反应分析模型。

5.1 用于比较的模型与对象

整体分析模型如图 3 所示, 考虑了两种固定支座, 一种为柔性的板式橡胶支座, 一种为刚性支座, 分别称为整体模型 I、II。对单墩模型, 分别考察了 $P_1(H=17.2\text{m})$ 、 $P_2(H=22.2\text{m})$ 的反应, 称为单墩模型 I、II。

比较的对象为墩底最大弯矩、最大剪力和墩顶的位移时程。

表 7 墩底的最大弯矩与最大剪力

地震动	El Centro				天津			
	P_1		P_2		P_1		P_2	
桥墩	弯矩	剪力	弯矩	剪力	弯矩	剪力	弯矩	剪力
内力								
整体模型 I	1.41	0.84	1.21	0.56	3.68	2.18	3.35	1.50
整体模型 II	1.55	0.93	1.20	0.57	6.61	3.89	4.84	2.14
单墩模型 I	2.72	1.60			8.50	5.04		
单墩模型 II			3.43	1.58			4.81	2.19

注: 单位: 弯矩为 $1.0 \times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$, 剪力为 $1.0 \times 10^3 \text{kN}$

5.2 计算结果与分析

表 7 给出了不同模型、不同地震输入条件下墩底的最大弯矩与最大剪力。可以看出, 单

墩模型会给出偏大的反应。

表 8 简化模型与整体模型桥墩的内力比较

桥墩	内力	模型	摩擦系数					
			0.01	0.04	0.08	0.10	0.15	0.20
P_1	弯矩	整体	3.65	3.11	2.61	2.40	2.16	2.16
		简化	3.64	3.12	2.56	2.40	2.17	2.20
	剪力	整体	2.14	1.83	1.55	1.43	1.28	1.28
		简化	2.11	1.82	1.49	1.40	1.26	1.28
P_2	弯矩	整体	3.96	2.81	2.36	1.97	1.96	1.86
		简化	3.87	2.81	2.43	2.04	2.04	1.94
	剪力	整体	1.89	1.35	1.12	0.95	1.03	0.96
		简化	1.74	1.27	1.09	0.92	0.92	0.87

注: 单位: 弯矩为 $1.0 \times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$, 剪力为 $1.0 \times 10^6 \text{kN}$

图 8~ 图 10 给出典型的墩顶位移时程, 位移单位是 m。图 8、图 9 表明, 单墩的反应基本上是第一振型反应。而对于整体模型 I、II 而言, 桥墩的反应是以第一振型为主的反应, 但存在高振型的影响。观察图 9、图 10, 桥墩 P_1 与 P_2 的墩顶位移时程反应曲线相似, 说明因活动支座摩擦力的作用, P_1 与 P_2 之间的反应是耦合的。

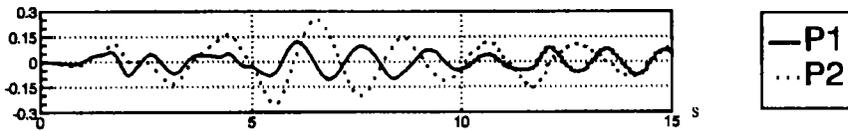


图 8 单墩墩顶位移反应

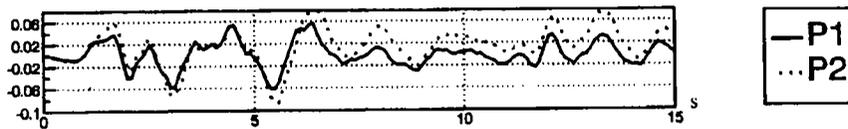


图 9 墩顶位移反应 (整体模型 I)

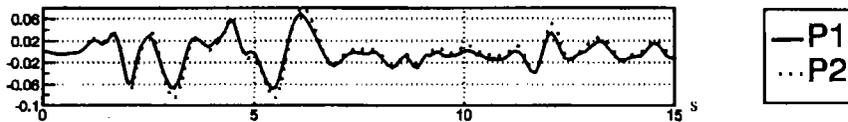


图 10 墩顶位移反应 (整体模型 II)

5.3 结论与建议

(1) 简支梁桥地震时程反应的结果与输入的地震动、结构的计算模型密切相关。一般情况下, 单墩模型给出偏大的反应。

(2) 对墩高相差不大的简支梁桥可用单墩模型分析, 可不考虑活动支座摩擦力的作用。

(3) 鉴于在整体分析模型与单墩模型中, 桥墩的反应均是以第一振型反应为主, 并且一般情况下活动支座摩擦系数 μ 较小(在本文的研究中, μ 为 0.08), 高振型的影响将会降低。因此规范 4.2.6 款建立计算简图的原则对于考虑活动支座摩擦力影响时依然成立。根据上面的研究, 对规范图 4.2.6 稍作修改, 就得到了考虑活动支座摩擦力影响的简支梁桥整体地震反应分析模型(图 11) 该模型固定支座既可以是刚性的, 又可以是柔性的, 无重弹塑性杆可用上文提到的摩擦单元来模拟。笔者认为, 对墩较高且墩高相差较大的简支梁桥, 宜采用此模型进行分析。表 8 比较了简化模型(图 11)与整体模型(图 3)桥墩的内力反应, 最大相对误差基本上未超过 10%, 简化模型的精度是令人满意的。

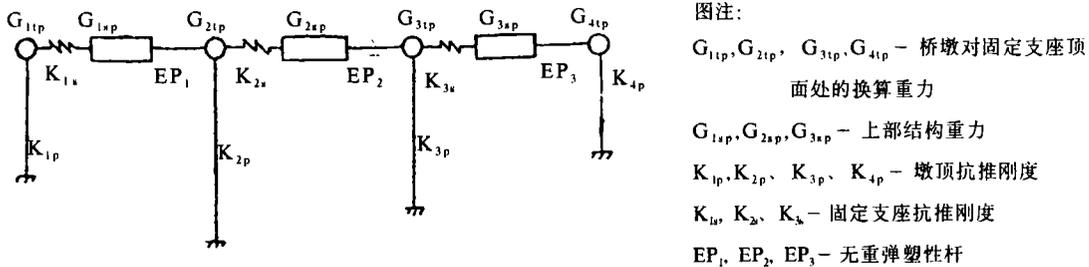


图 11 考虑活动支座摩擦力影响的简支梁桥整体地震反应分析模型

6 结论

本文采用摩擦单元模拟活动支座摩擦力作用, 分析了活动支座摩擦力对简支梁桥地震反应的影响。文中指出, 以静力方法考虑活动支座摩擦力对固定支座水平地震荷载的影响时, 宜对考虑的活动支座摩擦力大小的限制值作适当调整。根据理论研究结果, 建立了考虑活动支座摩擦力的简支梁桥整体分析模型, 可以为实际桥梁的地震反应分析提供参考。

7 致谢

在程序调试过程中, 得到了中国地震局工程力学研究所张令心博士的帮助, 深表谢意。在本文写作过程中, 文献[6]给笔者以极大的启示, 对该文作者也表示感谢。

参 考 文 献

- 1 朱 晞, 陈兴冲. 预应力钢筋混凝土简支梁桥的空间地震反应分析及试验. 第二届全国地震工程学术会议论文集, 第一卷, 武汉, 1987, 11
- 2 三门峡黄河公路大桥专辑. 桥梁建设, 1994, 3
- 3 陈兴冲, 朱 晞. 简支梁桥支座的空问地震反应分析. 土木工程学报, 1994, 2
- 4 西山启伸, 小寺重郎著. 易建国等译. 桥梁抗震计算, 人民交通出版社, 1983, 9

- 5 范立础, 袁万城. 桥梁橡胶支座减隔震性能研究. 同济大学学报, 1989年4期
- 6 李正仁. 在多跨一联的长桥中活动支座摩擦力对结构受力的影响. 桥梁建设, 1989年2期
- 7 公路工程抗震设计规范 (JTJ004-89). 人民交通出版社, 1990年8月

EFFECTS OF FRICTIONAL FORCE AT MOVABLE SUPPORTS ON EARTHQUAKE RESPONSE OF SIMPLY SUPPORTED REINFORCED CONCRETE BRIDGES

Wang Dongsheng Feng Qimin

(Institute of Engineering Mechanics, China Seismological Bureau, Harbin 150080, China)

ABSTRACT

In this paper, the responses of a simply supported reinforced concrete bridge to horizontal earthquake excitation are analysed. Effects of frictional force at movable supports on internal force of bridge piers and relative displacement between bridge piers and girders are presented. Earthquake loads of fixed bearings under conditions of different seismic coefficients and frictional factors are also investigated. An analytic model including effects of frictional force at movable supports is suggested.

Key words: Simply supported reinforced concrete bridge, Frictional force at movable supports, Earthquake response

消息

中国科学技术信息研究所信息分析研究中心获悉, 按1997年1214种中国科技论文统计与分析期刊的学科影响因子排序, 本刊排在第26位, 影响因子为0.322。

(本刊记者)