

文章编号 :1003 - 651X(2001)01 - 0024 - 04

阪神大地震对桥梁基础的影响

摘 要 :介绍了日本关西地区大地震对高速公路桥梁造成的损坏情况的调查结果。根据外业调查资料 ,对扩大基础、明挖沉箱基础、钻孔桩基础以及打入桩基础结构的整体性进行了分析和评价。

关键词 :地震 ;桥梁基础 ;评价*

1995 年 1 月里氏 7.2 级的大地震袭击了人口稠密的日本关西地区 ,造成了关西高速公路上桥梁的大量毁坏。神户(Kobe)线(即大阪和神户两城市间投入使用的 33 km 长的干道)的毁坏尤其是灾难性的 ,有的大梁掉落地面 ,桥墩倾斜或倒塌。调查发现 ,这条高速公路上 1 106 个桥墩中有 604 个受到不同程度的损坏 ,损坏程度如此之大 ,更令人担忧的是毁坏也许会延伸至桥梁基础。为了评估基础损坏的严重程度 ,调查人员从神户线受影响最大的 28 km 长的路段中选择了 122 座桥梁基础。在获取外业资料的基础上 ,研究人员分析确定了桩基础的损坏程度与其极限强度之间的关系。调查结果说明如下。

1 毁坏情况调查结果

神户线所采用的基础形式及每种类型的数量如表 1 所列。其中 80% 以上的基础为桩基础。在跨河位置一般采用明挖沉箱基础。在地面条件允许的路线西段采用扩大基础。

通过钻芯和用探孔照相机摄像的方法对基础的损坏情况进行了调查。钻芯直径 66 mm 钻入选定桩在地面以下桩长的 1/2 ~ 2/3 深

度 ,把探孔相机插入孔中 ,然后旋转 360° ,探测裂缝。图 1 表示测量裂缝的主体图投影。判读点位于最大倾角处。按照损坏程度定级 ,对桩进行了评估。

表 1 按类型统计的基础数量

基础形式	数量/座	比例/%	调查的基础/座
扩大基础	133	12	12
明挖沉箱	44	4	6
钻孔灌注桩	865	77	122
打入桩	74	7	(48)
合计	1 106	100	140(48)

- A_s 级 :比 A 级损坏更严重 ;
- A 级 :很大的侧向位移及沉降 ;
- B 级 :较大的侧向位移或桩上出现某

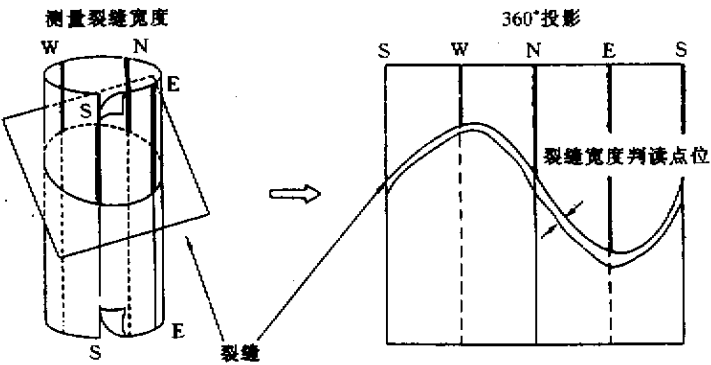


图 1 用探孔照相机测量裂缝宽度

些弯曲裂缝(2 mm 宽的裂缝在 5 条以上) ;

- C 级 桩上出现了少量的弯曲裂缝(2 mm 宽的裂缝有 3~4 条);
- D 级 轻微损坏(2 mm 宽的裂缝不多于 2 条)。

根据对 865 座钻孔灌注桩基础的调查 , 所选定的基础总数为 122 座。作出这种选择是考虑到可能的影响因素的综合作用 , 如桩的位置及排列组合。表 2 给出按损坏等级分组的基础数量。具体损坏情况如下 :

表 2 钻孔灌注桩的损坏程度

损坏等级	损坏桩基数量	比例/%
A _s 级	0	0
A 级	0	0
B 级	0	0
C 级	19	16
D 级	103	84
合计	122	100

- ① 大多数桩基础为 D 级 , 有些为 C 级。没有 A_s 级、A 级和 B 级。
- ② 大多数裂缝集中在桩头周围 , 桩中间部位出现裂缝的情况很少。
- ③ 最大裂缝宽度为 2~3 mm。据分析 , 最大裂缝对桩的强度影响很小。

上述调查结果表明 , 神户线上钻孔灌注桩的损坏程度相对轻微。

采用同样的程序对从沿线 44 座明挖沉箱基础中选定的 6 座基础进行了调查。虽然这类基础也存在着损坏的情况 , 但损坏很轻 (1 mm 裂缝程度)。

由于桩径很小 , 对打入桩基础的破坏情况的调查采用了冲击方法。在神户线上的 74 座打入桩基础中 , 选择了 48 座进行调查。采用在基础顶面锤击的方法 , 将弹性波引入到桩中 , 并用加速度仪测量反射波。测量结果没有发现异常的反射波。工程师们

中选中了 12 座 , 通过开挖和暴露基础的办法进行了调查 , 没有发现损坏。接着 , 利用探孔照相机对某些倾斜的桥墩进行了调查 , 以查看在基础下面是否出现裂缝 , 结果没有发现裂隙或裂缝 , 从而证实神户线扩大基础结构的整体性很好。

2 结构整体性评价

为调查钻孔灌注桩基础的损坏程度与桩的承载力之间的关系 , 研究人员采用了非线性分析法。在日本 , 这种方法是普遍认可的。

分析模型简要说明如下 :

- ① 如图 2 (a) 所示 , 用地面弹性支承的刚架代替桩并假定其为非线性的 , 对桩基础的水平强度及其在严重变形过程中的性能进行分析。
- ② 将竖向阻力视为弹塑性 , 沿桩轴线方向弹性支承常数 K_{VE} 视为初始斜率 , 极限承

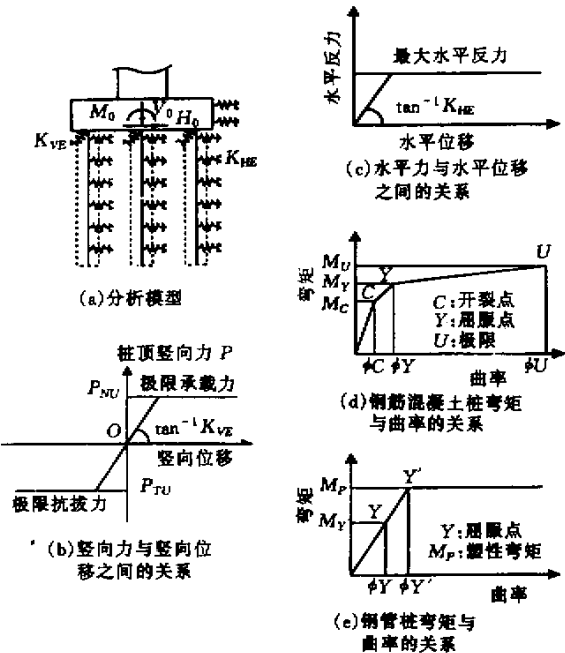


图 2 桩基础分析模型

因此得出结论,打入桩基础很少损坏或没有损坏。

对于扩大基础,从 133 座基础承载力 P_{NU} 和抗拔承载力 P_{TU} 看作上限值。采用静态方法以简化分析[图 2(b)]。

③ 如图 2(c)所示,把桩基础塑造为一种双线性模型来评估地面水平阻力。利用水平加载试验证实了这种分析方法的有效性。

④ 在钢筋混凝土桩的弯矩与曲率关系曲线中三个转折点分别表示开裂状态 C,钢筋屈服状态 Y,以及 U 段的极限状态。分析模型是一个连接上述三点的三线模型,用来确定圆形钢筋混凝土桩截面与桩轴向力 N 以及弯矩 M [图 2(d)]。

⑤ 调查集中在垂直于桥轴线的方向,因桥墩的损坏程度和地震运动在此方向较大。

⑥ 桩基的抗裂强度的定义是所有的桩均达到开裂状态的点值,桩基的抗弯强度的定义是所有的桩均达到屈服状态或桩头反力达到设计抗拉强度时的点值。

在计算桩前被动土压力时,采用基底面和地面之间土体重量作为施加在桩上的荷载。在计算桩身弯矩与曲率关系中,桩群中线的抗拔边各根桩的轴向力为零。

对于受拉侧的桩,按桩的数量及恒载(上部构造反力、墩身重量、基础重量及施加在基础上的土体重量)可求出轴向力。在这些分析中,假定桩的轴向力始终保持初始定值。

3 分析结果

3.1 桥墩强度与损坏程度

图 3 给出损坏程度与抗剪强度(弹性响应加速度)分析结果之间的关系曲线。横坐标轴为桥墩阻力系数。在另一项损坏分析结果中,研究人员发现桥墩的损坏程度与抗剪强度之间有良好的 consistency。

在损坏等级 B 级到 C 级及 D 级间的线性加速度界限值约为 500 cm/s^2 。因此,桥墩的

阻力系数的定义是假定以上述加速度界限值(排序为 A_s 级、A 级和 B 级)为弹性响应加速度,并假定作用外力为 $0.5W$,桥墩的抗剪强度 S_U 除以等值重量 $0.5W$ 的结果。按损坏等级坐标呈下降段。括弧内的数字表示列入某一损坏等级的桥墩数目。

从图 3 中可以看出,严重损坏的桥墩主要存在于阻力系数很低的桥墩分组中,且桥墩的阻力系数没有一个数大于 0.9。

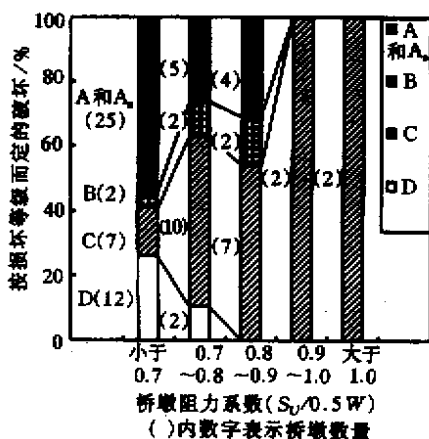


图 3 桥墩阻力系数与损坏等级(以 S_U 为依据)之间的关系

3.2 桩的强度与损坏程度

图 4 和图 5 表示采用探孔相机确定的破坏程度与按非线性分析法确定的桩强度之间的关系。

分别将 P_Y 除以 $0.5W$ 和 P_C 除以 $0.5W$ 即可求得桩的阻力系数。 P_Y 为桩的屈服强度,而 P_C 为桩的抗裂强度,均按非线性分析法求得。 $0.5W$ 为桥墩和上部构造总重的一半,将其假定为作用的外力。

纵坐标代表损坏等级的下降段: C1, C2, D1, D2。引入上述等级顺序的着眼点在于损坏的细部情况,因为所有钻孔灌注桩基础均被列为 C 级或 D 级。在上述损坏等级范围内,1 代表损坏非常严重,2 代表损坏不严重。在仔细检查裂缝的数目及其宽度后,把损坏的桩分组。括弧内数字表示属于该等级范围内的桩的数量。

由图 4 可以看出 ,按损坏相对严重的程度 (C1,C2)来排序的桩与损坏很小或无损坏的桩相比较 ,大部分损坏的桩的阻力系数均很

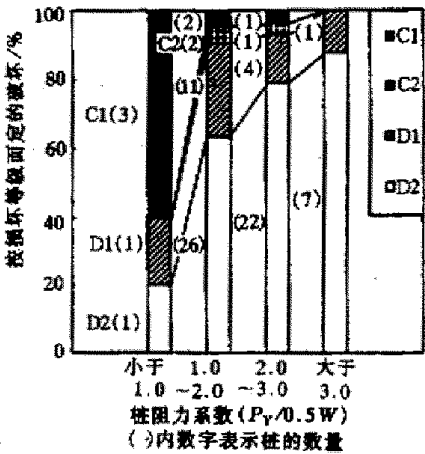


图 4 桩的阻力系数与损坏等级 (以 P_y 为依据) 之间的关系

小。这表明在阻力系数与桩损坏程度之间存在着某种很好的对应关系。例如 ,在阻力系数大于 3.0 (3 倍于钢筋屈服强度)的桩中就未发现损坏较严重的桩。然而 ,据理论分析 ,对应于 3.0 的阻力系数的荷载等级并不会使钢筋屈服。还有 ,因为最大裂缝宽度只有几毫米 ,荷载等级也许与开裂状态对应关系。图5将损坏桩和导致桩出现裂缝而作用

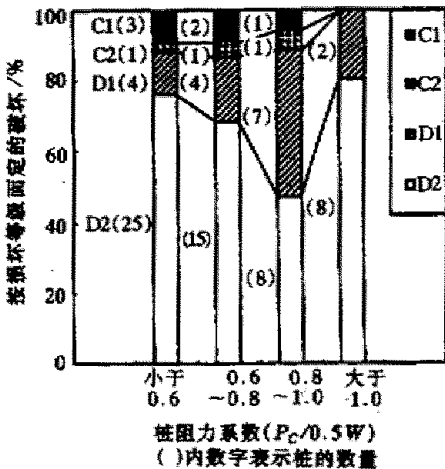


图 5 桩的阻力系数与损坏等级 (以 P_c 为依据) 之间的关系

在桩上的荷载进行了比较。阻力系数大于 1.0 的桩组中未发现严重损坏的桩。然而 ,观察到阻力系数与损坏程度之间没有明显的关系。

对于损坏相对严重的桩基础 ,有一种倾向是那些阻力系数很小的桩基础。屈服强度 P_y 是比抗裂强度 P_c 更好的度量阻力系数的方法 ,因为 P_y 与损坏程度相对应。

综上所述 ,可以得出结论 ,在桩损坏程度和钢筋屈服强度的理论分析值之间存在着对应关系 ,尽管与阻力系数有某种不确定的对应关系。

4 结束语

调查结果揭示出基础的损坏程度是轻微的 ,仅局部出现了若干小裂缝。桩中裂缝主要集中在桩的上部 ,而较深处没有发现存在裂缝的迹象。总之 ,神户线桥梁基础经历了轻微的损坏 ,大多可以继续使用或在翻修损坏的桥墩时稍作修理后使用。尽管关西高速公路神户段被彻底毁坏了 ,但在震后 20 个月的 1996 年 12 月就恢复了运营。除了改善抗震性能外 ,还考虑环境原因而设置了安全防护墙以及噪声控制路面。高速公路输送的交通量约为 187 000 辆/日。

——摘译自《Concrete International》,1999 (1).

译 柴金义(呼和浩特交通学校)

校 :于 浩(长沙交通学院)