



高桩码头桩梁节点静动态力学性能有限元分析

卓 杨, 吴 锋

(中交上海三航科学研究院有限公司, 上海 200032)

摘要: 采用数值模拟方法, 对高桩码头排架在静、动力荷载作用下的荷载传递进行对比分析。研究指出动态荷载作用下其轴力、弯矩的传递在一定时间范围内与静态荷载作用情况相同, 因此可根据动态测试数据对节点连接状态进行分析。研究成果可以为既有高桩码头桩梁节点性能的测试、评估提供依据。

关键词: 高桩码头; 节点性能; 动态响应; 有限元

中图分类号: U 656.1⁺13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)09-0065-06

Finite element analysis of pile-beam joints static and dynamic performance of high-piled wharf

ZHUO Yang, WU Feng

(Shanghai Third Harbor Engineering Science & Technology Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Using numerical simulation method, we analyze the load transfer and distribution of high-piled wharf under the static and dynamic load and know that the transfer of axial force & bending moment under the dynamic load is the same with the static load in a certain time range. So, according to the dynamic test data we can analyze the joints' connection status. Research results can provide reference for the test and evaluation of high-piled wharf joints' performance.

Keywords: high-piled wharf; joints' performance; dynamic response; FEM

高桩码头的水平承载力主要来自于码头桩基提供的水平抗力, 但是桩基水平抗力的发挥, 在很大程度上取决于桩基与横梁之间的连接状态。对于单根桩基, 若桩基与横梁之间的连接状态为铰接, 则其水平承载力特征值将小于桩基与横梁之间的连接状态为固接的情况; 对于群桩基础, 其桩梁节点的连接性能对于结构的水平受力状态也有较大的影响。目前, 对于高桩码头桩梁节点性能对其水平承载力影响的研究较少。在相关研究中, 陶桂兰等^[1]针对全直桩码头的特点, 推导得出了全直桩码头水平力分配的计算公式; 吴海根^[2]利用有限元方法对排架空间结构在水平力作用下的横向位移进行了研究; 杨锡鏊等^[3]提出把

码头面板的弹性模量设成一极小值是忽略高桩梁板式码头面板作用较为简便可行的方法; 王婷婷等^[4]对高桩梁板码头结构设计中的空间计算模型提出了若干建议; 董华钢^[5]对高桩码头设计按空间与平面计算方法进行了比较。

本文采用数值模拟方法, 对高桩码头排架在静、动力荷载作用下的荷载传递进行对比分析, 寻找根据码头桩梁节点附近的内力分布情况分析节点连接状态的方法, 为既有高桩码头桩梁节点性能的测试、评估提供依据。

1 高桩码头排架模型静力学有限元分析

建立有斜桩的梁板式高桩码头排架模型进行

收稿日期: 2015-11-25

作者简介: 卓杨 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程结构、桩基工程、海上风电基础等方面的设计、科研工作。

仿真计算，有限元模型如图 1 所示。参考实际码头结构，排架有 3 根直桩、2 根斜桩，C40 混凝土，假定承受水平荷载 10 kN。本文主要关注码头结构在外载作用下轴力、弯矩的传递，因此采用梁单元建模，桩基底部嵌固。图 2 是各节点的分布。

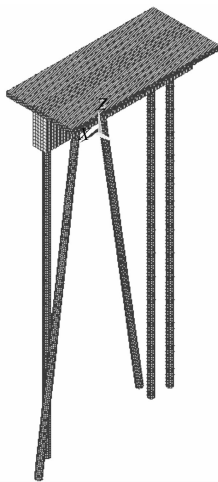


图 1 码头排架有限元模型

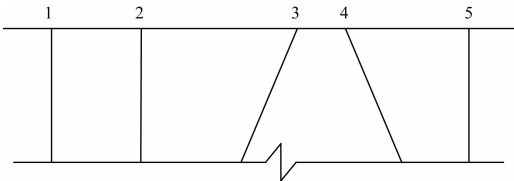


图 2 排架各节点分布

对计算结果数据进行处理，得出排架各节点桩、梁对弯矩、轴力的传递系数（节点后计算结果与节点前相应结果的比值），如表 1 所示。表 1 中按桩基位置，最前排为桩 1（在图 2 中为最左边的桩基），往后为桩 2、桩 3、桩 4、桩 5。

表 1 各节点桩、梁传递系数

节点	弯矩传递系数		轴力传递系数	
	梁	桩 1	梁	桩 1
1	-9 464. 545	-9 225. 455	0. 932	0. 021
2	梁	桩 2	梁	桩 2
	1. 966	0. 924	0. 928	0. 048
3	梁	桩 3	梁	桩 3
	1. 185	0. 359	0. 518	-2. 130
4	梁	桩 4	梁	桩 4
	0. 617	0. 702	0. 145	3. 851
5	梁	桩 5	梁	桩 5
	0. 000	-0. 993	-0. 008	0. 655

从表 1 中可以看出，在高桩码头排架受到静力荷载作用时，各桩以及梁所承担的弯矩、轴力各不相同，并且弯矩和轴力的传递系数也不一致。

1) 由于承受水平荷载，因此第 1 节点前梁上基本无弯矩作用，而节点处直桩由于受剪而产生弯矩，从而导致该节点后梁也相应产生反向的弯矩，即测点 2、3 处的弯矩数值上基本相等，第 1 节点处的弯矩传递系数也因此很大。

2) 第 5 节点后梁为悬臂梁，不传递弯矩、轴力，因此传递系数基本为 0，相应第 5 节点处桩 5 的弯矩传递系数接近 1. 0。

3) 由于水平荷载主要由斜桩承担，因此在第 3 节点以前，梁的轴力传递系数也基本在 0. 9 以上。

2 高桩码头排架模型动力学有限元分析

采用与上节相同的有限元模型，分析静、动力学计算结果的不同，找出二者的相通点，为动力学检测提供依据。

1) 撞击荷载持续不衰减。

假定撞击荷载 10 kN，并且荷载在撞击后保持不变（图 3）。该工况虽与工程实际不符，但能最大程度地接近静载，便于分析模型静、动态响应的不同。

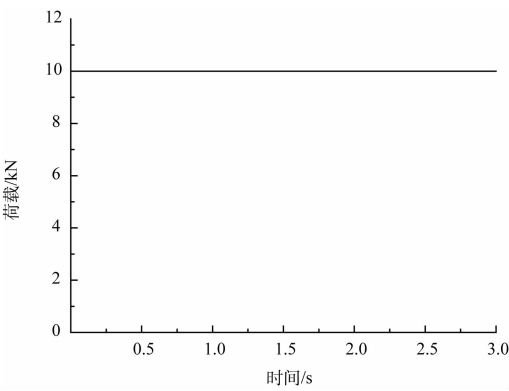
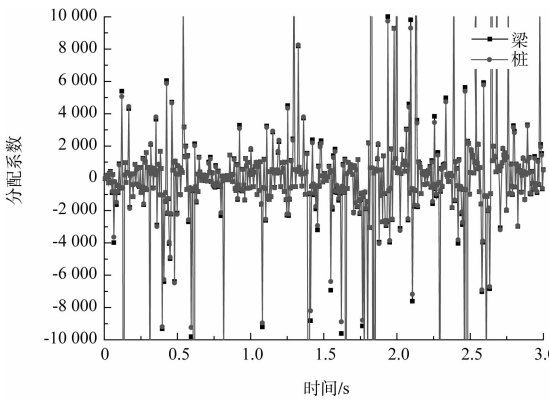
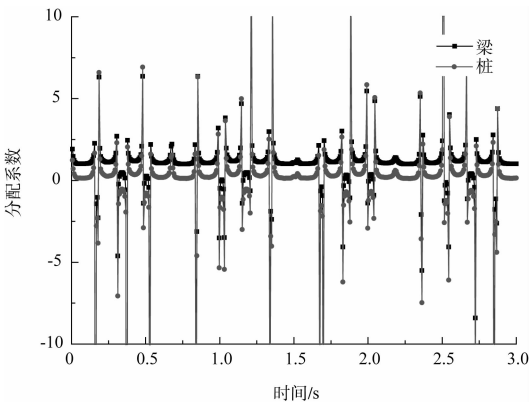


图 3 外载随时间变化曲线

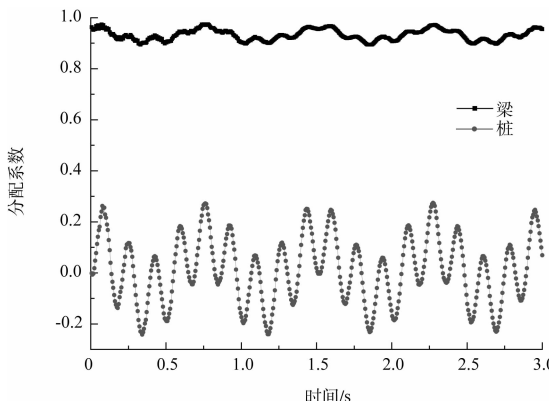
由于初始撞击的影响，各节点弯矩、轴力并非一个定值，而是随时间变化的，相应的传递系数也随之变化，图 4 列举了有限元方法计算得出的各节点传递系数随时间变化的曲线。



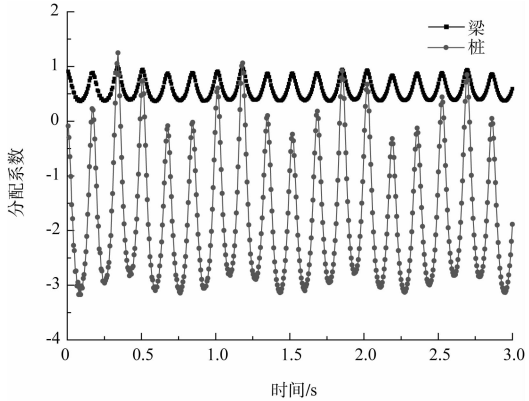
a) 第1节点弯矩传递



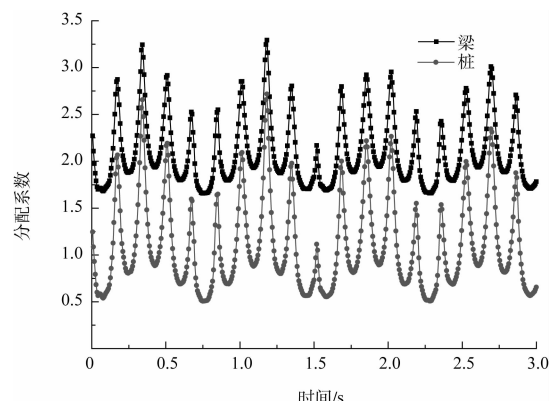
e) 第3节点弯矩传递



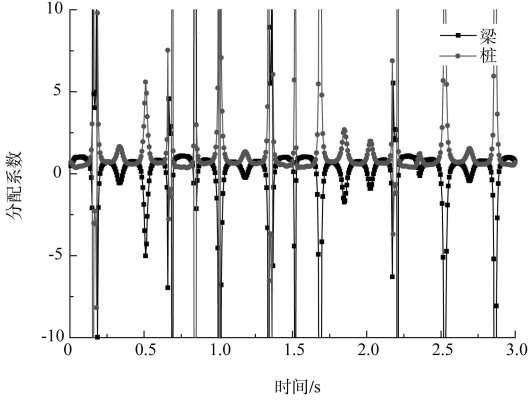
b) 第1节点轴力传递



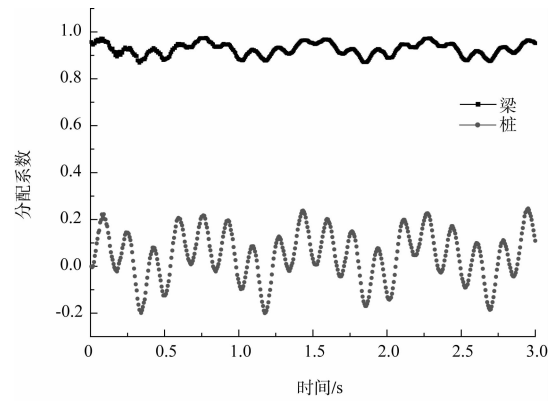
f) 第3节点轴力传递



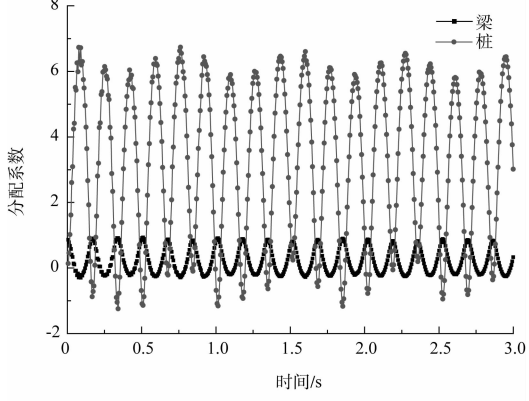
c) 第2节点弯矩传递



g) 第4节点弯矩传递



d) 第2节点轴力传递



h) 第4节点轴力传递

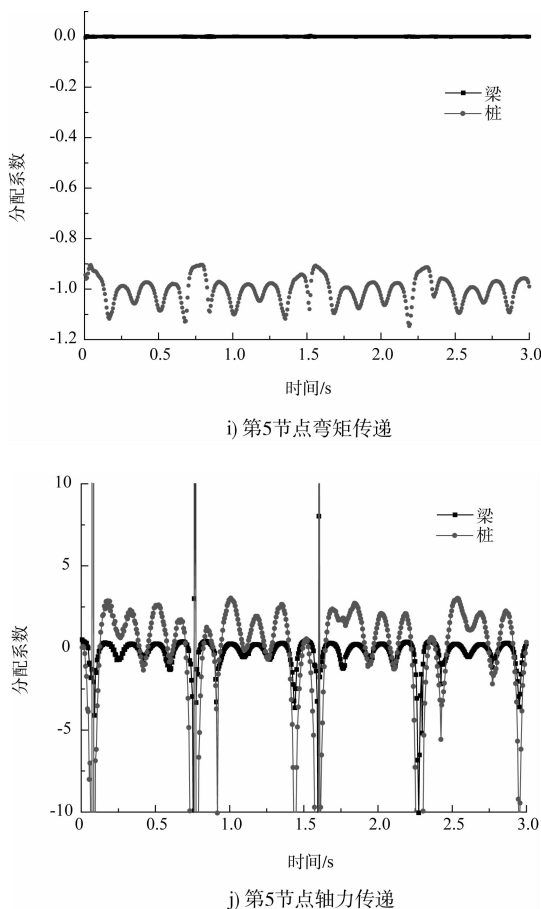


图 4 各节点传递系数随时间变化曲线

从图 4 中可以看出，在受到动力荷载作用时，波的传播使得各节点传递系数发生了较大变化：

①在动力荷载作用下，第 1 节点弯矩传递系数随着时间变化剧烈，不具有明显的规律（图 4 a）），其值基本在 $-2\,000 \sim 2\,000$ 之间波动，小于静力荷载作用时的计算值；对于轴力的传递，从图 4 b）中可以看出，梁的传递系数基本在 0.93 附近上下波动，同时桩的传递系数也基本在 0.02 附近上下波动。可认为在受到动力荷载作用时，第 1 节点轴力传递系数与静力计算时基本一致。

②对于第 2 节点的传递系数，从图 4 c）、4 d）中可以看出，均呈现出明显的周期性变化；对于弯矩的传递，出现了局部明显的突变，若略去这些突变，则基本在静力荷载作用时所计算出的传递系数数值附近波动；对于轴力的传递，由于水平外载主要由斜桩承担，因此静力计算时第 1、2 节点传递系数接近，动力计算时二者传递系数曲线也基本一致。

③对于第 3、4 节点的传递系数，从图 4 e）、

4 h）中可以看出，均呈现出明显的周期性变化；对于弯矩的传递，略去局部明显的突变后传递系数基本在静力荷载作用时所计算出的传递系数数值附近波动；对于轴力的传递，同样为在静力计算值附近周期性波动的曲线，但桩的传递系数曲线振幅较大。

④对于第 5 节点的传递系数，从图 4 i）、4 j）中可以看出，梁弯矩传递系数基本与静力荷载作用时所计算出的传递系数数值一致，桩弯矩传递系数基本在静力计算值附近波动；对于轴力的传递，同样有类似的规律，但其中桩的传递系数曲线变化幅度较大。

综上所述，撞击荷载持续不衰减的情况下，除去个别突变情况，动力计算的节点传递系数基本在静力计算值附近波动，经数值拟合可以得出其均值与静力计算值偏差在 5% 之内。

2) 撞击荷载不持续。

假定撞击荷载仅持续 1.5 s（图 5），以模拟实际碰撞情况。图 6 是有限元方法计算得出的各节点传递系数随时间变化曲线。

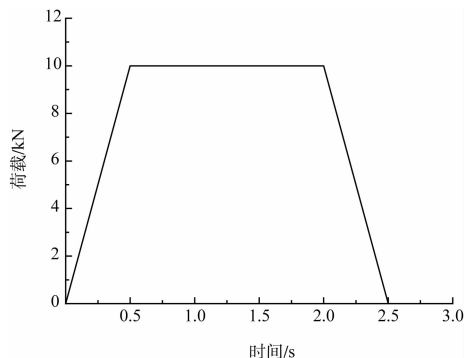
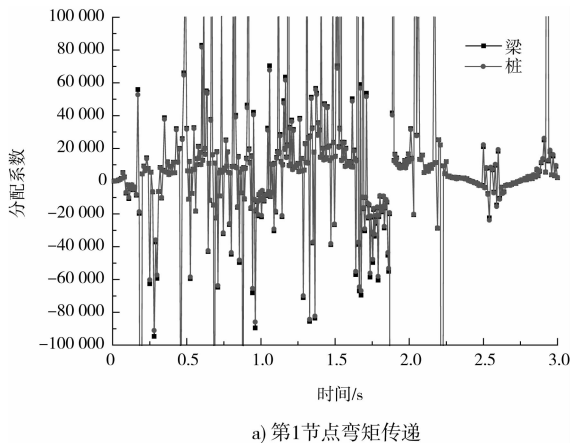
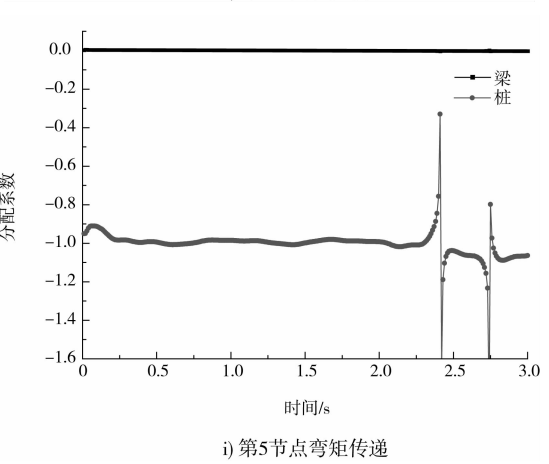
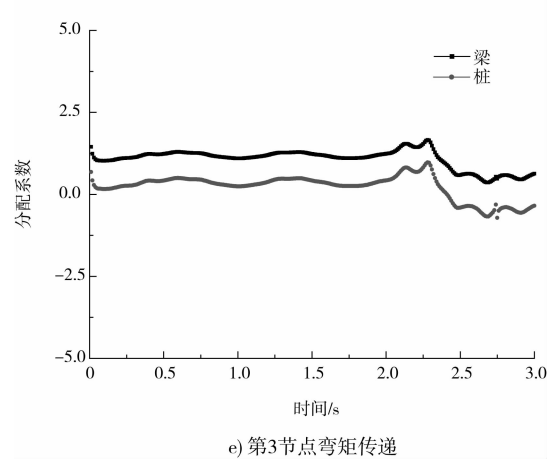
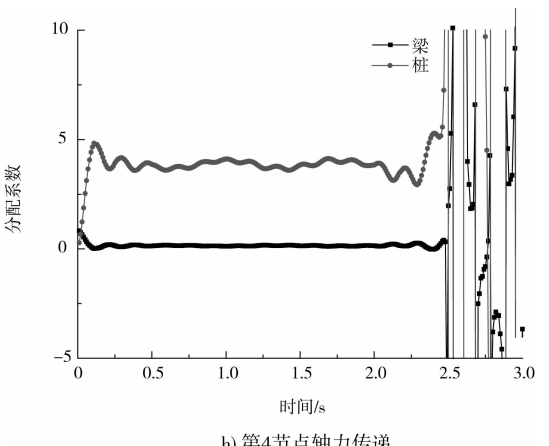
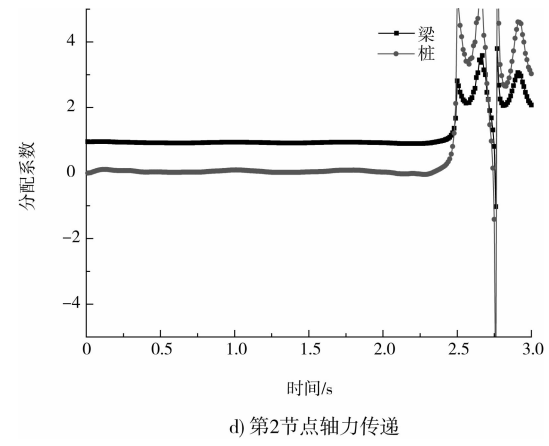
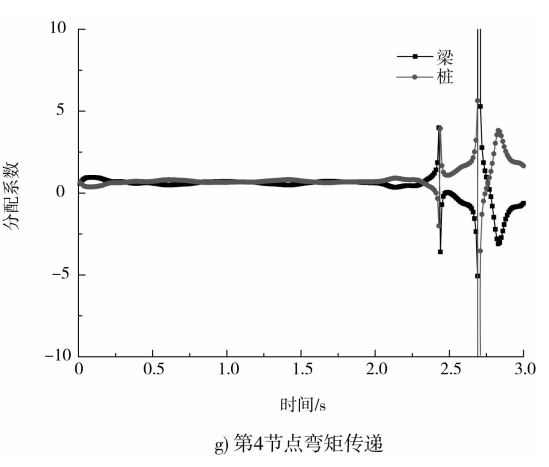
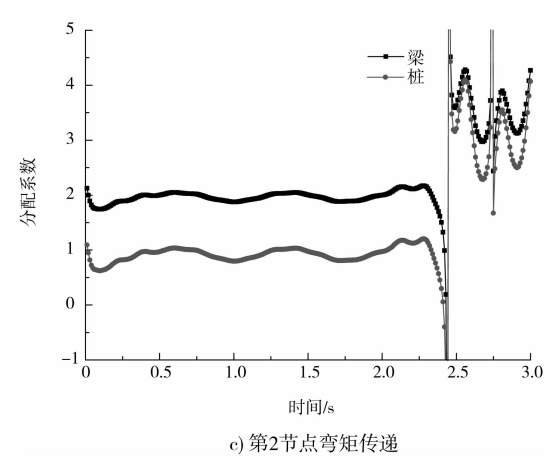
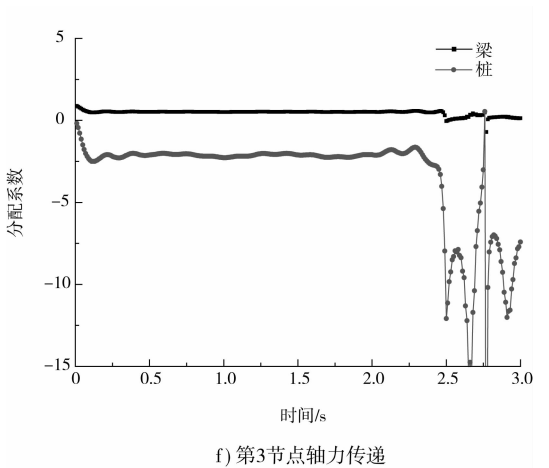
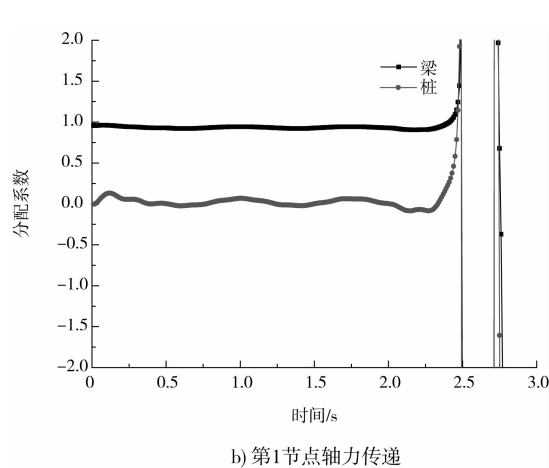


图 5 外载随时间变化曲线





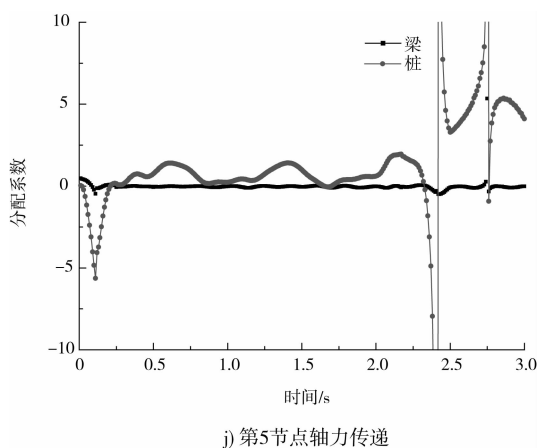


图6 各节点传递系数随时间变化曲线

从图6可以看出,在仅受到1.5 s的撞击荷载作用时,各节点传递系数随时间变化曲线与撞击荷载持续不衰减情况相比也有一定的变化。

① 对于第1节点的弯矩传递,其弯矩传递系数同样随着时间局部变化剧烈,不具有明显的规律;对于轴力的传递,从图6b)中可以看出,在撞击荷载持续时间内,其轴力传递系数变化基本与撞击荷载持续不衰减时一致,即轴力传递系数在静力计算值附近上下波动,但在之后的时间,轴力传递系数发生较大幅度的振荡。

② 对于第2、3、4节点的传递系数,也出现了类似的规律,在撞击荷载持续时间内,传递系数变化基本与撞击荷载持续不衰减时一致,其波动的振幅在有些节点甚至有所减小;但在之后的时间,传递系数发生剧烈的无规则振荡。

③ 对于第5节点的传递系数,虽然在轴力传递系数曲线上也发生了剧烈的振荡,但略去一些突变后在撞击荷载持续时间内也基本与撞击荷载持续不衰减时一致。

以上分析说明,对于作用时间较长的撞击荷载,其荷载维持时间(图5中为0.5~2.0 s)内测得的节点传递系数同样能反映节点在静力荷载作用时的节点传递。

对于既有码头结构,首先可采用动力学检测方法,得到某一动力荷载(比如船舶靠泊力)下桩梁节点附近的应变时程分布,从而获得节点横梁、桩的传递系数时程曲线,拟合出其平稳段的均值,作为该节点的横梁、桩传递系数的代表值,进而可在有限元模型中通过数值模拟调整节点参数使得到的节点传递系数与实测代表值吻合,即确定了桩顶节点的连接状态。在确定了高桩码头各桩梁节点连接状态后,便可选择合适的桩基水平承载力计算方法(m 法、 $P-Y$ 法和 NL 法),采用该有限元模型对码头承载性能进行评估。

3 结论

1) 在动态撞击荷载持续不衰减的情况下,除去个别突变情况,动力计算的节点传递系数基本在静力计算值附近小幅波动,经数值拟合可以得出其均值与静力计算值偏差在5%之内。

2) 对于作用时间较长的动态撞击荷载,其荷载维持时间内测得的节点传递系数也基本在静力计算值附近波动,即此时间范围内节点在动态荷载作用下其轴力、弯矩的传递与静态荷载作用情况相同,因此可根据动态测试数据对节点连接状态进行分析。

参考文献:

- [1] 陶桂兰,董思远.全直桩码头横向水平力分配计算方法探讨[J].工程力学,2014,31(6):245-249.
- [2] 吴海根.排架空间结构在水平力作用下的横向位移分析[J].水运工程,2014(5):143-147.
- [3] 杨锡璠,陈振民.高桩梁板式码头空间结构计算中忽略面板作用的方法[J].水运工程,2012(9):93-99.
- [4] 王婷婷,陈振民,何文钦.高桩梁板码头结构设计中的空间有限元分析[J].水运工程,2009(7):118-123.
- [5] 董华钢.高桩码头设计按空间与平面计算方法的比较[J].水运工程,2001(9):36-37.

(本文编辑 郭雪珍)