



水深对抛石强夯影响的模型试验研究

应宗权¹, 刘梅梅¹, 梁邦炎²

(1. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230; 2. 中交第四航务工程局有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 通过模型试验, 探讨水深对重锤夯击抛石后夯沉率及抛石应力的影响, 以及有、无水情况下抛石夯击夯沉率和抛石应力随落距的变化关系。试验研究成果表明: 水面与抛石面齐平的情况与有水的夯击效果相近, 为缩比尺模型试验中消除边界效应及水深影响提供了理论依据。

关键词: 模型试验; 强夯法; 抛石应力; 夯沉率

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)06-0031-04

Model test on effect of water depth on enrockment ground improvement by dynamic compaction

YING Zong-quan¹, LIU Mei-mei¹, LIANG Bang-yan²

(1.CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2.CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: This paper studies the effect of the water depth on the compaction rate and the stress of the enrockment ground with dynamic consolidation by model test, and analyzes the relationship between the compaction rate and the stress of the enrockment ground and the drop height of the pounder under anhydrous and hydrous conditions. The results reveal that the water flushed with the enrockment ground is similar to that under deep water condition. The research results provide a theoretical basis for the scale model test.

Keywords: model test; dynamic compaction; stress of enrockment ground; compacted rate

抛石基床作为重力式码头、防波堤、沉管隧道的基础, 因其具有承载能力大、抗滑、经济实惠等优点而被广泛采用^[1]。随着近岸深水岸线的逐步减少, 以及船舶大型化的发展, 重力式码头、防波堤、沉管隧道工程的建设日益向着施工条件更加恶劣的深水地区发展, 其相应的基床密实工艺也日益成为各方关注的焦点之一。

目前对抛石基床的研究主要采用数值模拟和模型试验方法。早在 1936 年, 格恩库兹涅佐夫就提出了相似模拟方法^[2]。从 20 世纪初, 西欧一些国家就开始进行模型试验, 并逐步建立了相似理论, 开展的绝大部分的试验都是工程地质力学模

型试验。由于受本身几何尺寸的限制, 基床破坏模式和机理与地基不同, 加之基床承载力影响因素与地基有差异, 因而有关地基承载力计算理论不适于抛石基床。20 世纪 90 年代以来主要进行了抛石基床承载力的试验研究, 叶锋等^[3]对重锤夯实抛石基床的有效加固深度进行了试验研究, 采用的抛石应力测试装置采用土压力盒, 其防水效果较差, 且测试结果误差较大。天津大学陈宝珠和刘建起等^[4-6]进行了抛石基床分层厚度加大方面的现场和室内模型试验研究工作, 取得了大量的试验成果, 但刘建起和陈宝珠等主要研究了厚基床承载力情况, 且未考虑强夯, 而是研究压载后

收稿日期: 2015-12-28

作者简介: 应宗权 (1981—), 男, 博士, 高级工程师, 从事结构检测与安全评估的研究。

的承载力,并未考虑水的影响,这与强夯后的密实效果存在一定差距;费香泽则主要研究了加固深度的计算方法,对模型试验中抛石强夯水深影响未做明确说明。目前,强夯试验研究中对水深的影响研究较少。本文将采用缩比尺模型试验研究抛石强夯中水深影响研究。

1 试验内容及布置

本试验以对应2 m厚抛石的1:10缩比尺模型对抛石基床强夯边界及水深影响进行研究,夯击方式为点夯式。

1.1 试验内容

分别测量有水深、无水深(包括水面与抛石面齐平、水面低于抛石面3 cm、每夯次水面低于抛石面0.1倍的夯沉量)4种情况下的夯沉率和抛石应力,对比无水深中3种情况与有水深更为接近的情况,从而为今后模型试验不考虑水深的情况提供理论依据。

1.2 试验布置

整个试验在1 m×1 m×1.5 m(长×宽×高)的水槽内进行(图1),整个槽子采用有机玻璃材质,便于观察重锤夯击抛石整个过程。重锤质量4.9 kg,底面直径0.1 m,为圆柱形。



图1 试验水槽

1.3 试验工况

模型试验工况见表1。

表1 试验工况

序号	试验工况	抛石厚度/ cm	锤型(质量、 底面直径)	落距/ cm	夯击 次数
1-1	水深 32 cm	23	$m=4.9$ kg $\phi=0.1$ m	20	4 8
1-2	水深 47 cm	23	$m=4.9$ kg $\phi=0.1$ m	20	4 8
1-3	水深 61 cm	23	$m=4.9$ kg $\phi=0.1$ m	20	4 8
1-4	水深 61 cm	23	$m=4.9$ kg $\phi=0.1$ m	20	4 8
1-5	水深 78.5 cm	23	$m=4.9$ kg $\phi=0.1$ m	20	4 8
1-6	水深 91 cm	23	$m=4.9$ kg $\phi=0.1$ m	20	4 8
1-7	水深 100 cm	23	$m=4.9$ kg $\phi=0.1$ m	20	4 8
2-1				14	4 8
2-2	水面与抛石 面齐平	23	$m=4.9$ kg $\phi=0.1$ m	16	4 8
2-3				18	4 8
2-4				22	4 8
3-1				14	4 8
3-2	水面低于抛 石面 3 cm	23	$m=4.9$ kg $\phi=0.1$ m	16	4 8
3-3				18	4 8
3-4				22	4 8
4-1				14	4 8
4-2	每夯遍低于 抛石面 10% 的夯沉量	23	$m=4.9$ kg $\phi=0.1$ m	16	4 8
4-3				18	4 8
4-4				22	4 8
5-1				20	4 8
5-2	水深 60 cm	23	$m=4.9$ kg $\phi=0.1$ m	24	4 8
5-3				30	4 8
5-4				40	4 8

1.4 试验步骤

- 1) 在玻璃钢槽内抛石, 达到试验指定高度后整平, 并测量抛石初始厚度。
- 2) 采用压半夯的方式对抛石进行锤夯, 4 夯次后, 取多点测量沉降量, 然后取平均数(图 2)。
- 3) 继续进行 8 夯次, 同样方法测量沉降量。
- 4) 每做完一组工况后重新抛石, 步骤同 1)~3), 保证每组工况的抛石体积不变。
- 5) 为保证精确性, 每组工况至少重复 3 次。

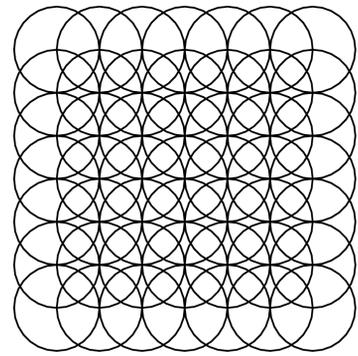


图 2 压半夯示意

2 试验结果分析

2.1 水深对抛石夯击效果的影响

工况 1 主要研究了不同水深对夯沉量及应力的影响试验。表 2 为不同水深夯击结果。

图 3 和图 4 对应不同水深的应力最大值和应力积分值等值线。从图中发现, 应力最大值分布与积分值分布大体相似, 随着水深的变化应力最大值及积分值变化不大。

表 2 水深影响数据

试验工况	水深/cm	抛石初始厚度/cm	4 夯次			8 夯次		
			抛石厚度/cm	夯沉量/cm	夯沉率/%	抛石厚度/cm	夯沉量/cm	夯沉率/%
1-1	32.0	18.35	16.60	1.75	9.54	15.75	2.60	14.17
1-2	47.0	18.13	16.28	1.85	10.21	15.78	2.35	12.97
1-3	61.0	17.10	15.48	1.63	9.50	14.88	2.23	13.01
1-4	61.0	19.08	17.73	1.35	7.08	16.78	2.30	12.06
1-5	78.5	16.50	15.20	1.30	7.88	14.83	1.68	10.15
1-6	91.0	17.80	15.90	1.90	10.67	15.90	1.90	10.67
1-7	100.0	19.95	18.20	1.75	8.77	18.03	1.93	9.65

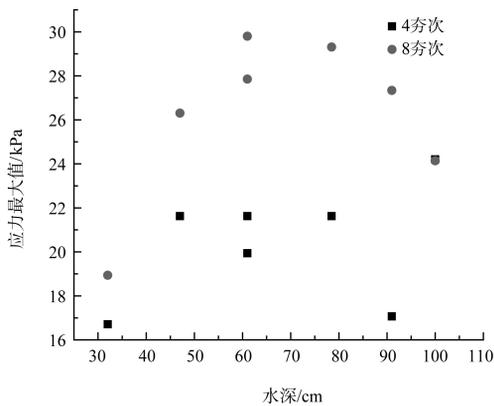


图 3 应力最大值与水深的关系

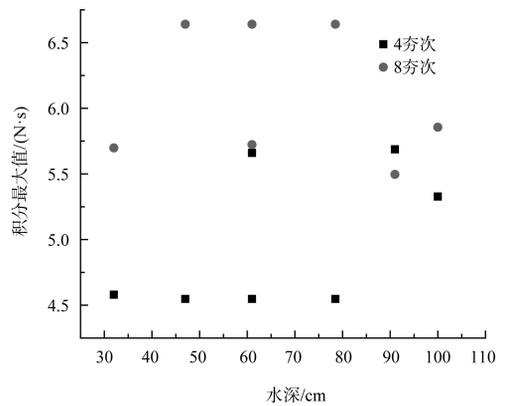


图 4 积分最大值 (F_t) 与水深的关系

2.2 有、无水对抛石夯击效果的影响

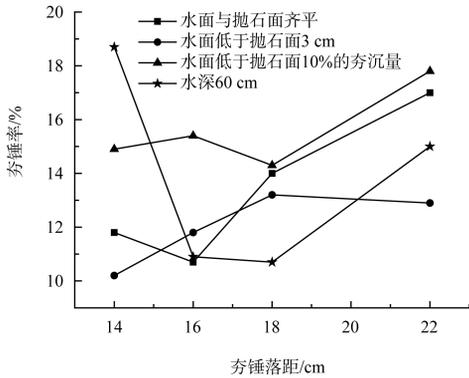
工况 2~5 主要研究抛石无水、有水及重锤在空中下落与在水中下落 4 种情况下, 抛石夯击效果对比(图 5~7), 水面与抛石面齐平与水面低于抛石面 3 cm 情况相比, 前者明显小于后者, 说明夯锤由空气进入水中瞬间, 水阻力很大, 夯锤能

量瞬间降低; 有水的情况比水面低于抛石面 3 cm 的情况偏小, 分析原因: 水面低于抛石面 3 cm 情况, 当重锤夯击抛石面时, 顶部无水的 3 cm 抛石比下部有水的部分更容易密实, 进而导致夯沉量大于有水的情况。

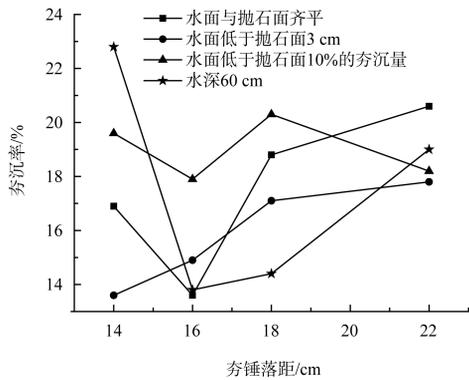
从图 5~7 中夯沉率、抛石底附加应力最大值

和附加动量最大值与落距的关系曲线可以发现,水面与抛石面齐平的情况与有水深的情况夯沉率、抛石底附加应力最大值和附加动量最大值更接近,由于抛石离散型较大,因此某些工况存在一定的差异性。

当落距较小时,有水深的夯沉率比无水深的情况要大,原因是落距小时,重锤在水中运动的能量损耗很小;而无水深的情况,重锤与水面间会有水膜的影响,导致夯锤率较小。

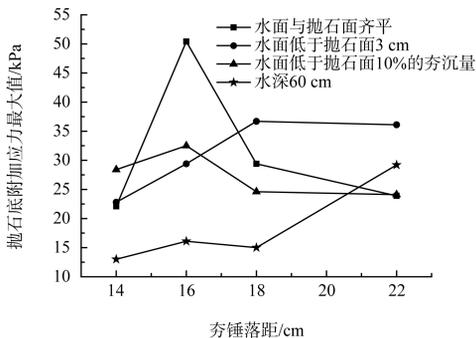


a) 4夯次

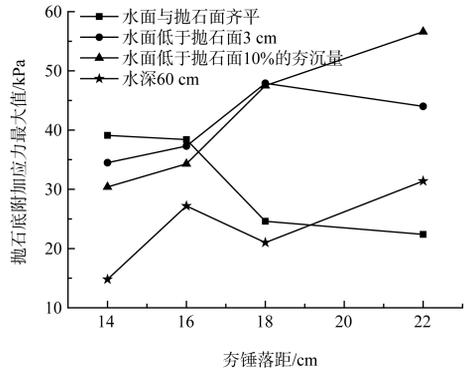


b) 8夯次

图5 夯沉率与落距关系曲线

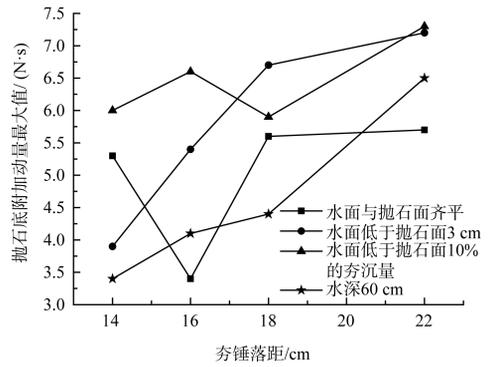


a) 4夯次

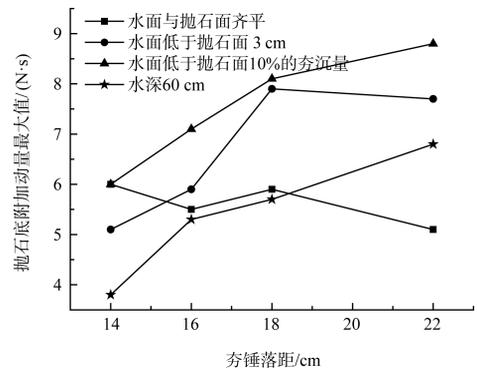


b) 8夯次

图6 抛石底附加应力最大值与落距关系



a) 4夯次



b) 8夯次

图7 抛石底附加动量最大值与落距关系

3 结论

1) 通过对模型试验中抛石强夯边界效应的影响研究,成功解决了在深水条件下模型试验所面临的由于水深带来的模型过大、操作困难等问题。