

文章编号:1673-2049(2011)01-0049-04

水下不分散混凝土短柱抗震性能试验

仲伟秋¹, 张志伟², 江明姝¹

(1. 大连理工大学 土木工程学院, 辽宁 大连 116024; 2. 天津水泥工业设计研究院有限公司, 天津 300400)

摘要:为了探究能否用普通混凝土的相关理论对水下不分散混凝土短柱进行抗震设计,通过力-位移混合控制加载试验对比了低周反复荷载下水下不分散混凝土短柱和普通混凝土短柱的受力性能。结果表明:水下不分散混凝土短柱的抗震性能与普通混凝土短柱接近,可以用设计普通混凝土短柱的理论进行水下不分散混凝土短柱的抗震设计。

关键词:水下不分散混凝土;短柱;抗震性能;低周反复荷载;轴压比;延性

中图分类号:TU375.1 **文献标志码:**A

Experiment on Seismic Performance of Non-dispersible Underwater Concrete Short Columns

ZHONG Wei-qiu¹, ZHANG Zhi-wei², GANG Ming-shu¹

(1. School of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, China;

2. Tianjin Cement Industry Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300400, China)

Abstract: In order to discuss whether the related theory of the common concrete could be applied to the seismic design of non-dispersible underwater concrete short columns, the mechanical properties of non-dispersible underwater concrete short columns and the common concrete short columns under low cyclic reversed loading were carried out by load-displacement mixed loading control experiment. The results show that the seismic performance of non-dispersible underwater concrete short columns and the common concrete short columns are similar, so the seismic design of non-dispersible underwater concrete short columns can use the seismic theory of the common concrete short columns.

Key words: non-dispersible underwater concrete; short column; seismic performance; low cyclic reversed loading; axial compression ratio; ductility

0 引言

随着人类社会的进步发展,可开发利用的陆地资源相对越来越少,而占地球面积 70% 的海洋却拥有丰富的矿产资源,海洋资源的开发利用势在必行,所以说 21 世纪是海洋开发的世纪。混凝土水下施工的频率将越来越大,但是水下建筑结构非常复杂,尤其是在海洋深水区的,因此,除了要求混凝土的质

量更高外,还要求施工工艺简单,经济合理,且对环境无污染。水下不分散混凝土的配制技术就是为了适应现代水下混凝土施工要求而开发的。水下不分散混凝土又称水下粘稠混凝土,是德国和日本最早持有专利的新技术,被誉为“理想的、划时代的、全新的”混凝土,国外学者称之为“混凝土施工技术的一场革命”、“开辟混凝土水下施工史的新纪元”等^[1]。其方法是对混凝土材料本身进行改性,即在混凝土

收稿日期:2010-12-09

基金项目:国家自然科学基金项目(50708011)

作者简介:仲伟秋(1974-),男,吉林长春人,讲师,工学博士,博士后,E-mail:zhongweiqiu3000@yahoo.com.cn。

拌和物中掺加一种新型的外加剂——絮凝剂,以便提高拌和物的粘聚性,从根本上解决普通混凝土水下施工中所遇到的分散、离析等难以解决的问题,并能自行流平和硬化,提高水下施工技术水平,达到优质、快速、廉价的要求。

水下不分散混凝土在性质上与普通混凝土有很大区别,必须对其在混凝土结构中的性能进行大量试验研究。对于水下不分散混凝土结构的性能,中国的研究还是空白。国际上,只有几位日本学者进行过水下不分散混凝土配筋梁的抗弯性能试验研究^[2-8]。本文中笔者主要开展目前国际上均未见报道的水下不分散混凝土短柱抗震性能的试验研究,得到了水下不分散混凝土短柱的破坏形态、滞回曲线、骨架曲线等,探讨了延性指标、耗能能力等滞回特性,分析了轴压比对其抗震性能的影响。

1 试验设计

1.1 试件参数

对 2 组水下不分散混凝土和 2 组普通混凝土短柱进行了抗震性能试验。根据试验设备情况,试件截面尺寸选为 200 mm×200 mm,试件高为 1 500 mm,牛腿配筋均为 4Φ14,试件尺寸如图 1 所示,试件参数及混凝土配合比如表 1、2 所示。

1.2 试件制作

水下不分散混凝土短柱的浇筑养护方式为水中自由落差 450 mm,水中养护 28 d;普通混凝土短柱的浇筑养护方式为陆上浇筑自密实,自然养护 28 d。

表 1 试件参数

Tab. 1 Parameters of Specimens

试件编号	立方体抗压强度/MPa	纵筋配筋型号	箍筋间距	轴压比	剪跨比
NC-SZ1	33.60	8Φ14	Φ6.5@140	0.65	2
NC-SZ2	33.60	8Φ14	Φ6.5@140	0.49	2
NDC-SZ1	23.69	8Φ14	Φ6.5@140	0.65	2
NDC-SZ2	23.69	8Φ14	Φ6.5@140	0.49	2

注:NC 为普通混凝土;NDC 为水下不分散混凝土;SZ 为短柱。

1.3 加载方式

试验采用简支梁式,在大连理工大学建设工程

表 2 混凝土配合比

Tab. 2 Mixing Ratios of Concrete $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

配合比 编号	各材料用量						絮凝剂
	水泥	粉煤灰	大石子	小石子	中砂	水	
C1	450	100	450	480	674	248	13
C2	450	100	450	480	674	248	

注:C1 为水下不分散混凝土配合比;C2 为陆上混凝土配合比。
学部结构工程研究所实验室进行,竖向荷载 P 用 5 MN 压力机轴心加载,水平荷载 N 用 2 个 2 MN 千斤顶往复加载,加载示意如图 2 所示。试验加载装置如图 3 所示。

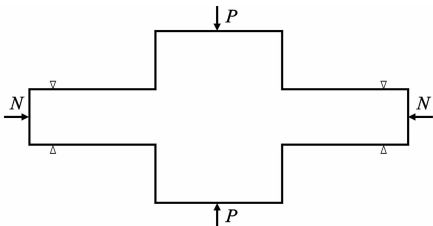


图 2 加载示意
Fig. 2 Loading Sketch

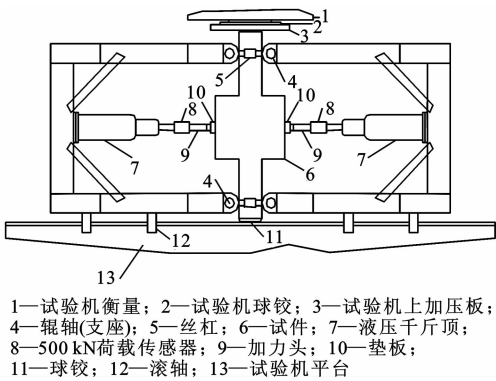


图 3 试验加载装置
Fig. 3 Loading Device of Test

1.4 加载制度

试验加载制度遵循《建筑抗震试验方法规程》(JGJ 101—96),采用力-位移混合控制加载方法:试件屈服前采用荷载控制;试件屈服后采用变形控制,变形值取试件屈服时梁端位移值,并以该位移的倍数为级差进行控制加载;施加低周反复荷载的次数根据试验目的确定,屈服前每级荷载反复 1 次,屈服后每级荷载反复 3 次,如图 4 所示,其中, P_f 为开裂荷载, Δ 为位移。

2 试验结果与分析

2.1 破坏形态

水下不分散混凝土短柱的破坏特征与普通混凝土

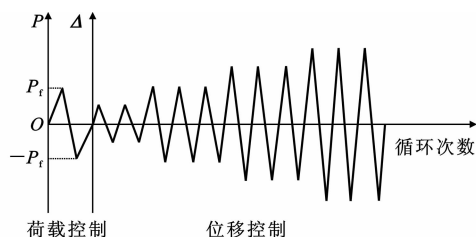


图 4 加载制度

Fig. 4 Loading System

土短柱基本相似:第 1 次循环时,在弯剪作用下,随着荷载的增大,在试件的节点部位首先出现弯曲的水平裂缝;此时试件基本处于弹性阶段,卸载的过程中,可观测到裂缝有闭合现象,卸载后残余变形很小,最初产生的横向裂缝开裂荷载 P_f 较普通混凝土短柱略小,普通混凝土短柱开裂荷载 P_f 约为峰值荷载 P_{max} 的 0.6~0.8 倍,即 $P_f = (0.6 \sim 0.8) P_{max}$;水下不分散混凝土短柱开裂荷载 P_f 约为峰值荷载 P_{max} 的 0.5~0.7 倍,即 $P_f = (0.5 \sim 0.7) P_{max}$ 。在随后的位移控制循环中,此前产生的弯曲裂缝的发展趋势较缓慢,随着水平荷载的增大,出现若干条大致沿试件根部至支点方向的平行微小斜裂缝,反向荷载裂缝情况基本相似,如图 5 所示。随着荷载的增大,在众多的斜裂缝中形成一条扩展较宽、延伸较长的主斜裂缝。主斜裂缝出现后,试件仍能继续加载,与斜裂缝相交的腹筋应力迅速增长,此时荷载由腹筋和剪压区混凝土共同承受。随着反复荷载的增大,与斜裂缝相交的箍筋达到屈服强度,纵筋屈服,主斜裂缝周围的混凝土剥落,在弯矩和剪力的共同作用下混凝土达到极限强度,斜裂缝迅速扩展,发生单向剪切破坏。

2.2 滞回曲线

水下不分散混凝土短柱的实测 $P-\Delta$ 滞回曲线如图 6 所示。分析滞回曲线的特点可得:

(1)轴压比的影响。与普通混凝土短柱相似,相同配箍率条件下,低轴压比水下不分散混凝土短柱的滞回曲线形状较为饱满,呈梭形,承受低周反复荷载的循环次数较多,这表明试件塑性变形和耗能能力较大。

(2)在各种条件相同时,水下不分散混凝土短柱的滞回曲线较普通混凝土短柱滞回曲线饱满、稳定,往复循环次数多,位移相对较大,主要是因为设计强度相同时,水下不分散混凝土实际强度比普通混凝土实际强度低。这充分说明了由于絮凝剂的加入,水下不分散混凝土的质量得到了保证。

(3)刚度退化特性。与普通混凝土短柱相似,水

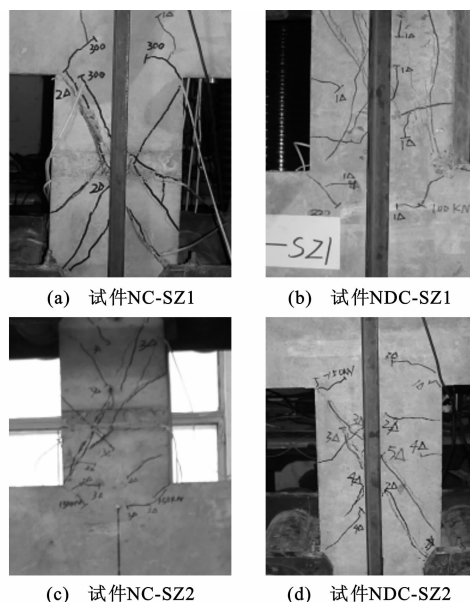


图 5 剪切破坏

Fig. 5 Shear Failure

下不分散混凝土短柱的刚度退化具有以下特性:试件的初始刚度随轴压比的增大而增大,刚度随着循环次数的增加而降低;水平荷载未达到峰值荷载前,每一位移幅值控制下的 3 次循环加、卸载曲线基本重合,表明此时刚度变化不大,即基本没有表现出刚度退化现象;水平荷载超过峰值荷载后,出现明显的刚度退化现象。

(4)卸载曲线特性。与普通混凝土短柱相似,水下不分散混凝土短柱的卸载曲线具有以下特性:在达到屈服荷载前,卸载轨迹接近一条直线,当卸载到 0 时,试件有较小的残余变形;在超过峰值荷载后,卸载轨迹为一条向外的凸曲线,同时残余变形不断加大,卸载时其刚度逐渐下降。

(5)与普通混凝土短柱相似,水下不分散混凝土短柱滞回曲线未发生明显的捏缩现象,这说明水下不分散混凝土与纵筋粘结性较好,钢筋与水下不分散混凝土之间未发生明显的粘结滑移。

2.3 骨架曲线

试件 $P-\Delta$ 骨架曲线的对比如图 7 所示。由图 7 可以看出:水下不分散混凝土短柱与普通混凝土短柱相似,轴压比越小,骨架曲线下降越平缓,变形能力更大,延性更好;在各种条件相同时,水下不分散混凝土柱的骨架曲线较普通混凝土柱更为平缓,变形能力更大,延性更好。

2.4 延性

按照能量方法中的卡氏第二定理,求得试件的位移延性系数如表 3 所示。根据表 1 中的试验轴压

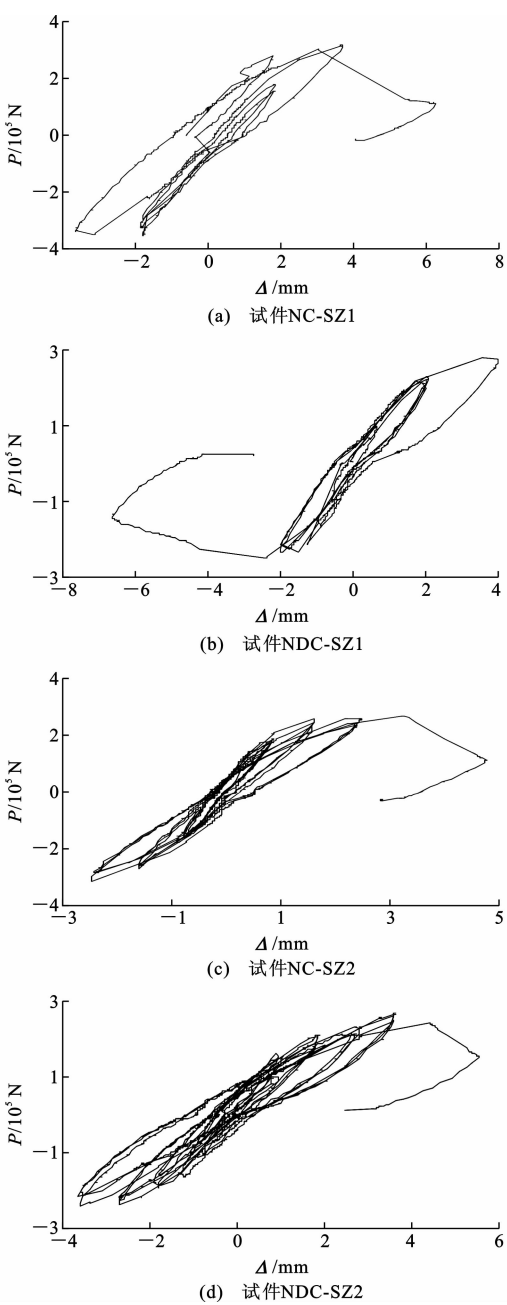


图 6 试件的 $P-\Delta$ 滞回曲线
Fig. 6 $P-\Delta$ Hysteretic Curves of Specimens

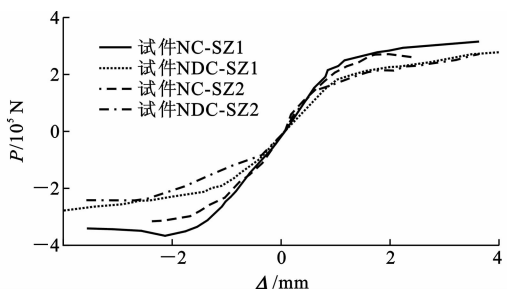


图 7 $P-\Delta$ 骨架曲线的比较
Fig. 7 Comparisons of $P-\Delta$ Skeleton Curves

表 3 位移延性系数
Tab. 3 Displacement Ductility Factors

试件编号	立方体抗压 强度 f_{cu}/MPa	屈服位移 Δ_y/mm	极限位移 Δ_u/mm	位移延性 系数 μ_Δ
NC-SZ1	33.60	1.83	1.49	0.81
NDC-SZ1	23.69	2.01	2.35	1.17
NC-SZ2	33.60	0.86	1.33	1.55
NDC-SZ2	23.69	0.94	2.10	2.23

比 n 和表 3 中的位移延性系数 μ_Δ 的关系,图 8 中给出了轴压比和位移延性系数的关系曲线。

由图 8 可见,水下不分散混凝土短柱延性随轴压比的降低而增大,但增幅较普通混凝土短柱略大。

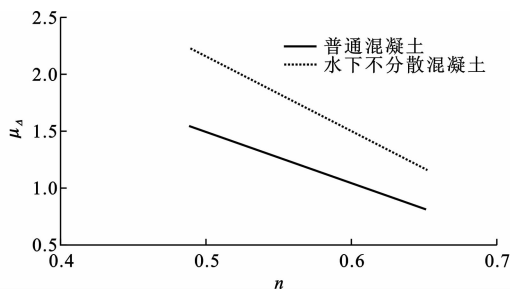


图 8 轴压比对位移延性系数的影响
Fig. 8 Influences of Axial Compression Ratios on Displacement Ductility Factors

3 结 语

- (1)水下不分散混凝土短柱的破坏形态与普通混凝土短柱相似,主要发生剪切破坏,但是节点产生横向裂缝的开裂荷载 P_f 较普通混凝土短柱略小。
- (2)水下不分散混凝土短柱的刚度退化特性、卸载曲线与普通混凝土短柱基本相似。
- (3)水下不分散混凝土与纵筋粘结性较好,钢筋与水下不分散混凝土之间没有发生明显的粘结滑移现象。
- (4)与普通混凝土柱短柱相似,水下不分散混凝土短柱的延性随轴压比的降低而增大,但增幅较普通混凝土短柱略大。
- (5)在各种条件相同时,水下不分散混凝土短柱的延性比普通混凝土短柱的延性略好,主要是因为设计强度相同时,水下不分散混凝土实际强度比普通混凝土实际强度低。这充分说明了由于絮凝剂的加入,水下不分散混凝土的质量得到了保证。
- (6)水下不分散混凝土短柱的抗震性能与普通混凝土短柱接近,可以用设计普通混凝土短柱的理论进行水下不分散混凝土短柱的抗震设计。

- WANG Bao-ting, SONG Yu-pu, ZHANG Yan-kun. Simulation of Concrete Microcrack Behavior on RB-SM[J]. Engineering Mechanics, 1999, 16(2): 140-144.
- [18] BUDIANSKY B, OCONNELL R J. Elastic Moduli of a Cracked Solid[J]. International Journal of Solids and Structures, 1976, 12(2): 81-97.
- [19] BOLANDER J E, HONG G S, YOSHITAKE K. Structural Concrete Analysis Using Rigid-body-spring Networks[J]. Computer-aided Civil and Infrastructure Engineering, 2000, 15(2): 120-133.
- [20] BOLANDER J E, LE B D. Modeling Crack Development in Reinforced Concrete Structures Under Service Loading[J]. Construction and Building Materials, 1999, 13(1/2): 23-31.
- [21] 姜福田. 混凝土抗拉强度测定中的几个问题[J]. 水利发电, 1986(9): 25-30.
- JIANG Fu-tian. Serval Problems of Tensile Strength Testing of Concrete[J]. Water Power, 1986(9): 25-30.
- [22] 叶见曙, 张 峰. 预应力混凝土连续箱梁开裂后的刚度退化模型[J]. 中国公路学报, 2007, 20(6): 67-72.
- YE Jian-shu, ZHANG Feng. Stiffness Degeneration Model of Prestressed Concrete Continuous Box Girder After Cracking[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(6): 67-72.
- [23] 任更锋, 徐 岳, 石利强, 等. 基于层次分析法的在役 RC 桥梁耐久性评估[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2008, 28(6): 41-45.
- REN Geng-feng, XU Yue, SHI Li-qiang, et al. Durability Evaluation of Existing Reinforced Concrete Bridges Based on AHP[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(6): 41-45.
- [24] 周志军, 朱宏祥, 张 熠. 土石混合料结构强度的微观分析[J]. 中国公路学报, 2008, 21(3): 30-34.
- ZHOU Zhi-jun, ZHU Hong-xiang, ZHANG Yi. Micro-analysis of Structural Strength of Earth-rock Mixture[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(3): 30-34.
- [25] 范 文, 闫芙蓉, 俞茂宏. 考虑各向异性损伤的统一弹塑性损伤模型[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2009, 41(3): 304-311, 318.
- FAN Wen, YAN Fu-rong, YU Mao-hong. Unified Elastic-plastic Damage Model Considering Anisotropic Damage[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2009, 41(3): 304-311, 318.
- [26] 赵忠伟, 骆 英. 混凝土结构损伤检测中的射线追踪正演方法[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2009, 41(1): 53-56.
- ZHAO Zhong-wei, LUO Ying. Study on Ray Tracing Forward Method in the Blemished Concrete Structure Detection[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2009, 41(1): 53-56.

(上接第 52 页)

参考文献:

References:

- [1] KAMAL H K. Effects of Anti-washout Admixtures on Fresh Concrete Properties[J]. ACI Materials Journal, 1995, 92(2): 164-171.
- [2] HIRONAKA H, TAKIZAWA M. The Development of Special Underwater Concrete (Skcrete) [M]. Tokyo: Sato Kogyo, 1987.
- [3] KOTANI I, OTOMO T, MOTOHASHI K, et al. Development of a New Type of Concrete: Part Two [M]. Tokyo: Kashima Construction Technology Institute, 1982.
- [4] NAKAHARA Y, KOTANI I, OTOMO T, et al. Development and Research of New Type Concrete [M]. Tokyo: Kashima Construction Technology Institute, 1981.
- [5] TAKAHASHI H, MATSUI K, MAEKAWA I, et al. Admixtures on the Application of Special Shape of a New Type of Concrete Research: Part Two [M]. Tokyo: Nishimatsu, 1986.
- [6] OYO K, KEWARE S, OKAMOTO H, et al. Research and Development of New Underwater Concrete [M]. Tokyo: Asuka, 1986.
- [7] 刘红飞. 水下不分散混凝土的性能及应用[J]. 建筑技术, 1996, 23(1): 20-21.
- LIU Hong-fei. Non-dispersible Underwater Concrete Properties and Applications[J]. Architecture Technology, 1996, 23(1): 20-21.
- [8] 刘 军, 方惠琦, 贺鸿珠. 水下不分散混凝土的应用研究[J]. 建筑材料学报, 2000, 3(4): 360-365.
- LIU Jun, FANG Hui-qi, HE Hong-zhu. Applied Study on Nondispersible Underwater Concrete[J]. Journal of Building Materials, 2000, 3(4): 360-365.