

# 塑性混凝土弹性模量室内试验研究

王四巍<sup>1,2</sup>, 于怀昌<sup>1</sup>, 高丹盈<sup>2</sup>, 赵利梅<sup>2</sup>

(1. 华北水利水电学院, 郑州 450045; 2. 郑州大学, 郑州 450002)

**摘要:** 通过 4 种变形标距的弹性模量试验, 研究了塑性混凝土弹性模量的合适测试方法。塑性混凝土棱柱体试件设置 300mm、200mm、150mm 和 100mm 共 4 种测试标距, 其中 300mm 标距下的力和位移数据采用计算机自动采集, 其余标距采用人工读数。结果表明, 利用自动采集数据模式测得塑性混凝土弹性模量值最稳定, 且其值远远小于人工读数模式下的值; 一般而言, 测试标距小, 弹性模量值大, 全长标距下弹性模量值最小; 利用自动采集数据模式下得到单轴压缩应力应变曲线具有典型初始压缩弯曲段、较长的下降段, 而人工读数下几乎不能测出初始压缩弯曲段, 而主要表现为较长直线上段。分析了塑性混凝土利用普通混凝土弹性模量计算公式的不足, 提出利用其单轴峰值强度的 0.3 倍、0.7 倍对应的点计算其弹性模量。同时提出室内测试塑性混凝土弹性模量试验时不需预压。

**关键词:** 塑性混凝土; 弹性模量; 标距

中图分类号: TV148

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2011)03-0073-04

塑性混凝土是由粘土、膨润土、水泥、水、石子和砂子等原材料经搅拌、浇筑与凝结形成的一种复合柔性工程材料, 其力学性能介于土与普通混凝土之间。它具有极限变形大、弹性模量小、强度较高和渗透性能小等优点, 同时节省水泥等原材料, 施工中不需振捣, 在防渗工程中应用广泛<sup>[1-7]</sup>。然而, 塑性混凝土的理论研究严重滞后于应用实践, 其弹性模量的室内测试没有现行规范, 试验要求基本参照普通混凝土试验规程, 由于其变形性能的有别于土和普通混凝土, 故完全采用普通混凝土或土的室内弹性模量测试方法存在较多问题。文献[8]~[12]建议塑性混凝土弹性模量的测试采用棱柱体试件的全长标距, 但均仅仅采用 150mm 和 300mm 测试标距, 对试验的预压处理意见不一致。本文针对测试标距对塑性混凝土弹性模量的影响, 系统地开展 4 种测试标距(300mm、200mm、150mm 和 100mm)下的弹性模量试验, 并开展数据测试方式、预压处理等对弹性模量影响的试验研究。

## 1 试验设计及试验原材料

塑性混凝土的弹性模量测试采用棱柱体试件(150mm × 150mm × 300mm), 测试标距分别为

300mm、200mm、150mm 和 100mm, 试验采用 5 组配合比, 记为 P2-1、P3-1、P4-1、P5-1 和 P6-1, 其 28 天立方体单轴抗压强度设计为 2.0MPa、3.0MPa、4.0MPa、5.0MPa 和 6.0MPa。塑性混凝土的 5 组配合比设计及测试标距安排见表 1, 其中 300mm 测试标距试验中力、位移的数据记录采用计算机自动完成, 其余三种标距下的力和位移数据采集利用人工读数。塑性混凝土弹性模量测试中, 每组试件完成 2 种标距测试工作, 即 300mm 标距分别和 200mm、150mm 和 100mm 标距共用一组试件。

塑性混凝土制作时, 采用郑州市龙岗水泥厂生产的强度等级为 42.5 的袋装普通硅酸盐水泥; 粘土由河南省三门峡市窄口水库除险加固料场取材, 经磨细、过筛加工后以干粉形式掺入; 砂子为河砂; 粗骨料为 5~20mm 连续级配的碎石; 膨润土为信阳市广润膨润土有限公司生产的钠基膨润土; 外加剂选用河南建苑混凝土外加剂有限公司生产的建 4 减水剂。每组塑性混凝土配合比分别制作 3 个 150mm × 150mm × 150mm 立方体试件, 18 个棱柱体试件。试验中测试湿容重, 检查与配合设计的容重基本一致。塑性混凝土立方体试块成型后在温度为(20 ± 5)℃的室内静置 24h 后拆模, 然后立即放入标准养护室中养护。养护室采用 FHBS-60 型全自动控温、控湿设备进行温湿控制, 温度为 20℃, 相对湿度为 95%。试块养护 28 天后开始试验。

试验在 3000kN 数显压力试验机上进行, 加荷速度为 0.05MPa/s。5 组塑性混凝土配合比的 28 天立方体单轴抗压强度见表 1。

收稿日期: 2010-07-15; 修订日期: 2010-08-18

基金项目: 河南省教育厅自然科学研究计划项目资助(2009A570003)。

作者简介: 王四巍(1978-), 男, 讲师, 博士研究生, 主要从事岩土力学教学与科研工作。

E-mail: wsw@ncwu.edu.cn

表 1 弹性模量试验安排  
Table 1 Test of elastic modulus

配合比	标距 (mm)	实测立方体强度 (MPa)	1 m <sup>3</sup> 各材料用量 (kg)						
			水	水泥	膨润土	粘土	砂	石子	减水剂
P2 - 1	100 ,150 , 200 ,300	2. 53	300	120	60	120	770	770	
P3 - 1	100 ,150 , 200 ,300	3. 50	320	150	60	190	690	690	3
P4 - 1	100 ,150 , 200 ,300	4. 85	320	160	80	185	680	680	3. 2
P5 - 1	150 , 200 ,300	5. 83	360	220	110	150	630	630	4. 4
P6 - 1	100 ,150 , 200 ,300	6. 73	360	240	100	175	615	615	4. 8

## 2 试验结果分析

### 2.1 标距对单轴压缩应力应变曲线的影响

5 组配合比塑性混凝土的典型单轴压缩应力应变曲线见图 1。试验结果表明,人工读数和计算机自动采集力、位移数据模式下的应力应变曲线不同。采用计算机自动采集数据的塑性混凝土单轴压缩应力应变曲线具有典型初始加载弯曲段、直线上升段、弯曲上升段、峰值点和下降段;而人工读数下的曲线没有初始加载段、直线上升段较长、弯曲上升段较短、峰值点强度高、下降段较短或没有。

另外,人工采用数据下的测试标距不同,塑性混凝土的单轴压缩应力应变曲线总体形态类似,但峰值强度不同,峰值应变相差不大,在  $1 \times 10^{-3}$  左右。

### 2.2 标距对弹性模量的影响

塑性混凝土弹性模量的计算公式参考《水工混凝土试验规程》(DL/T5150 - 2001)<sup>[12]</sup>,但由于塑性混凝土性能的特殊性,有时会造成较大误差,如配合比 P4 - 1、P5 - 1 和 P6 - 1 的 P1 点取 0.5MPa,此时该点位于应力应变曲线的初始压密弯曲段,并不在曲线的直线上升段上,故弹性模量的计算误差较大。根据已有工作,采用塑性混凝土弹性模量的两种计算公式如下:

$$E_1 = \frac{0.4\sigma - 0.5}{\varepsilon_{0.4\sigma} - \varepsilon_{0.5}} \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{0.7\sigma - 0.3\sigma}{\varepsilon_{0.7\sigma} - \varepsilon_{0.3\sigma}} \quad (2)$$

式中: $E_1$ 、 $E_2$ ——2 种计算模式下的弹性模量,MPa;

$\sigma$ ——峰值强度,MPa;

$\varepsilon_{0.5}$ 、 $\varepsilon_{0.3\sigma}$ 、 $\varepsilon_{0.4\sigma}$ 、 $\varepsilon_{0.7\sigma}$ ——0.5MPa、0.3 倍、0.4 倍和 0.7 倍峰值强度时对应的应变。

5 组塑性混凝土配合比利用式(1)和式(2)得到弹性模量见表 2。试验结果表明,量测标距不同,塑性混凝土的弹性模量不同。一般而言,测试标距减小,塑性混凝土的弹性模量值增大;标距分别为 200mm 和

150mm 所得的弹性模量相差较小,而和标距 100mm 所得的值相差较大,采用两种计算公式所得弹性模量值均表现出同样的规律。利用计算机采集的数据计算弹性模量值稳定性高,且其值远低于利用人工读数方式计算的。如塑性混凝土配合比 P2 - 1 和 P3 - 1 利用公式(1)和公式(2)所得的弹性模量相差分别为 80MPa 和 140MPa;而人工读数下利用公式(1)和公式(2)弹性模量的差值均在 1000MPa 以上。

### 2.3 预压处理

水工混凝土试验规程(DL/T5150 - 2001)规定普通混凝土弹性模量试验要求预压,最大预压应力约为试件破坏强度的 40%,反复预压 3 次,直至相邻两次变形值相差不超过 0.003mm 为止,否则应继续进行预压,直至差值达到要求,但增加预压的次数应在报告中注明<sup>[12]</sup>。塑性混凝土立方体(150mm × 150mm × 150mm)循环加载试验见文献[13],试验结果表明,塑性混凝土立方体试件经过最大循环荷载约为破坏强度的 40% 加卸载试验,其最终破坏强度有所降低,卸载和再加载应力应变曲线不重合,形成滞回环,相邻再加载应力应变曲线也不重合,不能达到相邻两次变形值相差不超过 0.003mm 要求。故塑性混凝土弹性模量室内测试时可不预压。

表 2 不同标距下不同计算方法弹性模量(单位:MPa)

配合比	Table 2 Elastic modulus under different calculation methods and standard distance(in MPa)							
	标距 300mm		标距 200mm		标距 150mm		标距 100mm	
	$E_1$	$E_2$	$E_1$	$E_2$	$E_1$	$E_2$	$E_1$	$E_2$
P2 - 1	1 110	1 190	5 710	4 000	8 000	3 640	10 000	4 550
P3 - 1	1 840	1 700	7 500	4 000	7 500	4 000	7 860	4 450
P4 - 2	P <sub>1</sub> 压密段	2 200	7 620	4 950	8 000	4 900	11 000	5 600
P5 - 1	P <sub>1</sub> 压密段	2 450	8 400	5 140	9 550	5 940		
P6 - 1	P <sub>1</sub> 压密段	3 340	10 600	6 600	8 240	7 420	7 110	8 060

## 3 结论

(1) 采用计算机采集全长变形标距下的塑性混凝土棱柱体的轴向应力应变曲线具有初始加载段、直线

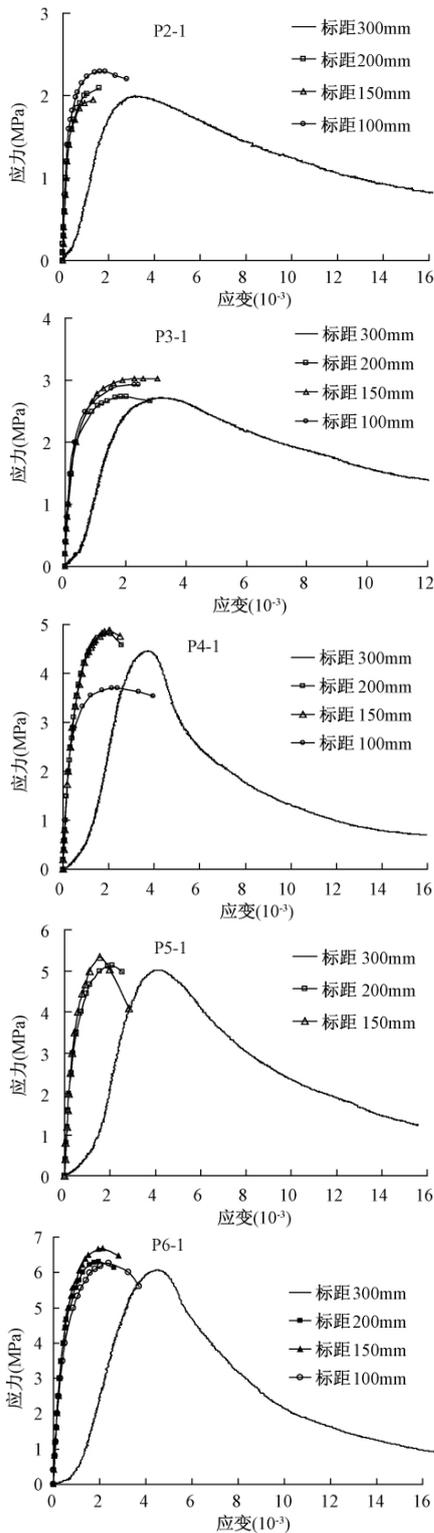


图 1 不同配合比塑性混凝土 4 种或 3 种标距下的应力应变曲线

Fig. 1 Stress strain curve of different mixed ratio in four (or three) standard distance

上升段、曲线上升段和下降段,而人工采集数据下的轴

向应力应变曲线一般不能测到初始加载段和完成的下降段。

(2) 变形量测标距影响塑性混凝土的弹性模量。一般而言,测试标距小,塑性混凝土的弹性模量值较大,同时利用计算机采集的数据计算弹性模量值稳定性高,而利用人工采集的数据计算弹性模量值误差较大。

(3) 塑性混凝土弹性模量室内测试可采用棱柱体试件,采用全长标距,测试时不预压,采用计算机自动记录力和位移数据。塑性混凝土弹性模量的计算公式可采用 0.3 倍、0.7 倍峰值强度对应点计算。

参考文献:

[ 1 ] 李家正,严建军,杨华全. 塑性混凝土在三峡工程中的应用研究[J]. 水力发电学报,2009,28(1): 159 - 164. [ LI J Z, YAN J J, YANG H Q. Application of plastic concrete in TGP[J]. Journal of Droelectric Engineering, 2009, 28(1) : 159 - 164. (in Chinese) ]

[ 2 ] 李青云,张建红,包承纲. 风化花岗岩开挖弃料配制三峡二期围堰防渗墙材料[J]. 水利学报,2004(11):114 - 118. [ LI Q Y, ZHANG J H, BAO C G. Plastic concrete for cutoff wall using weathered granite sand in stage II cofferdam of Three Gorge Project[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004 (11) :114 - 118. (in Chinese) ]

[ 3 ] Grishin V A, Deryugin L M. Experience in the use of bentonite - cement concrete for repairing the core of the earthfill dam of Kureiskaya Hpp [ J]. Power Technology and Engineering, 2006, 40(2) :2 - 8.

[ 4 ] 林峰,周彩贵,高雄杰. 八一水库大坝防渗处理[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(增2): 2925 - 2928. [ LIN F, ZHOU C G, GAO X J. Study on anti - seepage treatment of bayi reservoir dam [ J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 22(Supp 2) :2925 - 2928. (in Chinese) ]

[ 5 ] Mirghasemi A A, Pakzad M, Shadravan B. The world' s largest cutoff wall at Karkheh dam [ J]. Hydropower & Dams, Issue two 2005: 2 - 7.

[ 6 ] 李晓晖. 塑性混凝土防渗墙在张峰水库大坝基础防渗中的应用研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2007, 2(5) : 39 - 40. [ LI X H. Study on plastic concrete anti - seepage wall in Zhangfeng reservoir [ J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering 2007, 2(5) :39 - 40. (in Chinese) ]

[ 7 ] 徐庆伟,周廷江. 塑性混凝土防渗墙在紫坪铺工程

- 中的应用[J]. 水电站设计, 2005, 4(21): 77-78. [XU Q W, ZHOU T J. Application of plastic concrete cutoff in Zipingpu project[J]. Design of Water Power Plant, 2005, 21(4): 77-78. (in Chinese)]
- [8] 李家正, 王迪友, 杨华全. 塑性混凝土配合比设计及试验方法探讨[J]. 长江科学院院报, 2002, 4(19): 58-61. [LI J Z, WANG D Y, YANG H Q. Inquiry into mix design and test method of soil concrete [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2002, 4(19): 58-61. (in Chinese)]
- [9] 李清富, 张鹏, 张保雷. 塑性混凝土弹性模量的试验研究[J]. 水力发电, 2005, 31(3): 30-32. [LI Q F, ZHANG P, ZHANG B L. Experimental research on the elastic modulus of plastic concrete [J]. Journal of Droelectric Engineering, 2005, 31(3): 30-32. (in Chinese)]
- [10] 薛玉宝, 吕军. 塑性混凝土弹性模量的测试方法[J]. 河南水利与南水北调, 2008(8): 89-90. [XUE Y B, LV J. Method on elastic concrete for plastic concrete [J]. Henan Hydraulic and Sorth Water Transfer North, 2008(8): 89-90. (in Chinese)]
- [11] 雷秀玲, 李艳萍, 叶远胜, 等. 塑性混凝土弹性模量的测试方法及影响因素研究[J]. 东北水利水电, 2009(7): 66-69. [LEI X L, LI Y P, YE Y S, et al. Test method and influence factor of elastic modulus of plastic concrete [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast, 2009(7): 66-69. (in Chinese)]
- [12] DL/T5150-2001 水工混凝土试验规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2002. [DL/T5150-2001 Test Code of Hydraulic Engineering Concrete[S]. Beijing: Chinese Power Publishing Company, 2002. (in Chinese)]
- [13] 王四巍, 高丹盈, 刘汉东. 循环加卸载下塑性混凝土强度及变形特性[J]. 工业建筑, 2009, 39(5): 92-95. [WANG S W, GAO D Y, LIU H D. Study on strength and deformation of plastic concrete under cyclic loading [J]. Industrial Construction, 2009, 39(5): 92-95. (in Chinese)]

## Testing on elastic modulus of plastic concrete

WANG Si-wei<sup>1,2</sup>, YU Huai-chang<sup>1</sup>, GAO Dan-ying<sup>2</sup>, ZHAO Li-mei<sup>2</sup>

(1. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450045, China;

2. Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Elastic modulus of plastic concrete is studied by testing with 4 standard distance of 300mm, 200mm, 150mm and 100mm. The result shows that the method which is measured by computer is best, and the elastic modulus is most steady, and it is much less than that by manual record. The stress-strain curve by computer record has beginning compressive bend period and longer descending period, but that by manual record has no beginning compressive bend period and has longer ascending linear period. It is presented that elastic modulus of plastic concrete can be calculated using with the two points of 0.3 and 0.7 of the maximum uniaxial compressive strength, and prepressing is not necessary before testing.

**Key words:** plastic concrete; elastic modulus; standard distance

责任编辑: 张明霞