

盾构掘进黏土地层泥水劈裂伸展现象研究

袁大军¹, 黄清飞¹, 李兴高¹, 郭璇¹, 小泉淳²

(1. 北京交通大学隧道及地下工程试验研究中心, 北京 100044; 2. 早稻田大学, 日本 东京 169-8555)

摘要: 在泥水盾构隧道施工中, 防止因泥水压力设定不当而导致泥水劈裂地层产生泥水喷发和开挖面坍塌, 是至关重要的。土力学领域中劈裂伸展现象的研究成果甚少。软黏土地层中泥水劈裂有其发生和发展的过程, 由于试样尺寸较小, 这个过程在室内实验中难以完全捕捉到, 而且实际地层中劈裂现象的发生与室内实验的现象有所不同。为准确掌握黏土地层中, 泥水劈裂发生和发展的机理, 使用自主研制的实验仪器, 进行了现场深孔泥水劈裂实验, 研究实际软黏土层中的泥水劈裂问题。现场实验再现了泥水劈裂及伸展过程, 通过实验结果的分析和总结, 得出了泥水盾构泥水劈裂持续压力、劈裂伸展速度计算公式及伸展流量的经验计算公式。

关键词: 泥水盾构; 黏土地层; 劈裂持续压力; 劈裂伸展速度; 劈裂伸展流量

中图分类号: U455.43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2010)05-0712-06

作者简介: 袁大军(1961-), 男, 辽宁本溪人, 教授, 从事隧道及岩土力学研究。E-mail: yuandj603@163.com。

Hydraulic fracture extending during slurry shield tunneling in cohesive soil

YUAN Da-jun¹, HUANG Qing-fei¹, LI Xing-gao¹, GUO Xuan¹, ATSUSHI Koizumi²

(1. Research Center of Tunneling and Underground Works, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Department of Civil Engineering, Waseda University, Tokyo 169-8555, Japan)

Abstract: It is crucially important to prevent improper slurry pressure which results in blowing out of slurry from ground surface due to fracture and collapse of cutting face during slurry shield tunneling in cohesive soil. Slurry fracturing ground has its occurring and developing process and the hydraulic fracture phenomenon is difficult to totally grasp in the laboratory because of small sizes of samples, and the occurrence of slurring fracturing ground in actual ground is different from that in laboratory. To master the occurring and developing mechanism of slurry fracturing ground, in-situ deep hole tests are done by using self-made experimental instruments. The tests exhibit the process of slurry fracturing and extending. Based on the analysis of test results, the formulae to compute the slurry fracture extending pressure and speed are drawn, and the empirical formula of the extending liquid is generalized.

Key words: slurry shield; cohesive soil; fracture extending pressure; fracture extending speed; extending liquid

0 引言

盾构技术已经在我国地铁、公路、铁路、输水、电力管道等基础建设中发挥着巨大的作用^[1-3]。泥水盾构是现代盾构法中的重要分支, 在世界范围内得到了广泛的应用。我国在建或将建的大型跨江海软土隧道几乎都采用了泥水盾构工法^[4]。泥水盾构在软土隧道施工时, 为了保证施工的质量和工程安全, 最重要的问题之一就是如何以泥水压力平衡开挖面土水压力来保证开挖面的稳定^[5]。特别是盾构在江海中段掘进时, 由于覆土厚度一般较小, 水压较大, 开挖面稳定难以控制, 如有不慎, 就有可能发生泥水劈裂地层, 从而产生塌陷和江水倒灌等重大事故。

关于劈裂问题在岩石力学领域从很早就有人开始了研究, 但在土力学及地基基础领域还是一个比较新的课题。泥水盾构掘进泥水劈裂现象, 从物理现象上

讲是水力劈裂问题。对水力劈裂(Hydraulic Fracturing)现象的研究, 在注浆加固研究领域, 应用劈裂注浆技术加固土体, 以达到改良效果, 这方面的研究主要集中于劈裂注浆的加固范围和加固效果^[6-12]。关于黏性土的劈裂现象的研究文献不多, 已有的文献^[13-14], 还没有涉及劈裂伸展等问题的研究。我国也有许多学者从事劈裂现象的研究, 主要集中在岩体水力劈裂等方面^[15-16]。

泥水式盾构的劈裂研究, 是从日本的东京湾海底公路隧道的研究开始的。栗原(Kurihara)^[17]用盾构模型机对泥水盾构施工中可能产生的泥水劈裂喷发现象进行了研究。其结论是在砂土层, 除了覆盖层过薄

基金项目: 国家自然科学基金面上资助项目(50878015)

收稿日期: 2009-02-02

的特殊条件以外, 几乎没有发生泥水喷发的可能。当在软黏土层中时, 劈裂喷发发生的泥水压力与维持切削面稳定所需要的泥水压力相近。并给出了一个劈裂喷发的经验公式。但因为当时的试验所用的加压液体是水, 即没有考虑黏性的影响。另外, 因为是小型的模型试验没有考虑泥水伸展的影响, 难以评价工程中的劈裂发生及伸展现象。森麟 (A Mori)^[18]对盾尾注浆时的劈裂现象进行了室内实验研究, 并对各种黏性的浆液对劈裂压力的影响进行了研究, 得出了劈裂压力与注浆黏性等的关系。笔者也做过大量的室内三轴泥水劈裂实验, 研究泥水的黏性对劈裂发生压力的影响, 以及通过盾构模型实验研究泥水盾构劈裂发生的位置等问题^[19]。

1 现场泥水加压劈裂实验

由于使用实际的盾构机进行泥水劈裂实验, 既昂贵又危险, 所以采用自己研制的现场劈裂实验用劈裂仪在厚厚堆积的均一黏土层进行了现场劈裂实验。8个劈裂实验孔分两列配置, 孔间距3.0 m。实验孔的构造及实验用仪器如图1所示。泥水加压孔长20.0 cm, 其孔壁是劈裂发生的位置, 故没有做任何处理。地表到泥水加压孔中心的深度分为15.5 m和20.0 m两种; 加压液体为膨润土与水混合的泥水, 其浓度为12%和18%两种。表1为实验所用泥水的黏性和相对密度。表2是该区域的土工试验结果以及围压 s_3 的测试结果。加压液体所选用的泥水, 是考虑到通常泥水盾构所用的泥水。

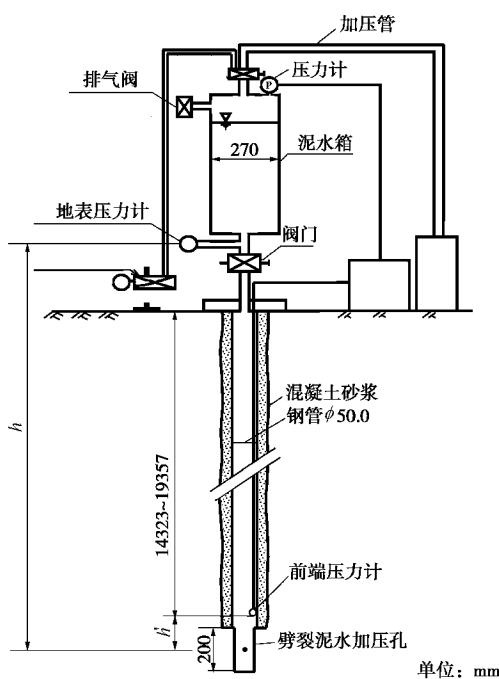


图1 实验孔构造及实验用仪器简图

Fig. 1 Structure of test hole and instrument

表1 泥水物性表

Table 1 Properties of bentonite slurry

泥水种类	相对密度	漏斗黏度
重量比 12%	1.06	24.1~27.0 s
重量比 18%	1.08	39.4~39.8 s

表2 土层条件及试验结果

Table 2 Soil conditions and test results

深度/m	q_u/kPa	$g/(kN \cdot m^{-3})$	s_3/kPa
15	46.0	14.91	247.0
20	66.7	14.72	315.0

为了能进行精确的实验, 必须保证实验孔的质量。成孔时用钢管保护, 钢管和土层之间用混凝土砂浆密实充填。实验孔成孔后, 立即使其中充满加压液体—泥水至地表面。插入前端压力计, 之后在实验孔的最上部安装如图1所示的加压及测定装置, 并持续进行泥水加压。加压时为了尽量不使连接部位残存空气, 充分进行了排气。当泥水箱中的泥水量达到设定高度后, 联结上部的空气加压管, 打开泥水箱下部的阀门开始进行实验。

泥水加压是通过调节器进行, 加压后的泥水损失量是通过泥水箱中泥水液面的下降量来测定的。由此可得加压力和液面下降量之间的关系。加压速度以1~2 kPa/s为基准进行。从泥水箱中泥水液面开始下降时停止加压, 到泥水箱水面没有变化为止保持一定的压力。之后, 再加压并反复进行同样的操作, 当液面降低的速度急剧增加, 持续到泥水箱中的泥水完全排出时, 实验结束。图1中所示的前端压力计, 地表压力计, 空气加压管里用压力计的值分别以1 s为间隔通过数据分析器进行记录。

2 劈裂伸展现象及劈裂持续压力

2.1 劈裂伸展现象

图2是4个实验孔的泥水压力时间t和前端压力计所测泥水压力P, 以及泥水压力时间t和泥水储存罐中泥水液面的水位高度的关系曲线。由于篇幅所限, 另4个实验孔的曲线在此省略。从曲线的特征可以看出, 随着时间的增加, 泥水压力逐渐增大, 在达到最大值后急剧下降, 下降后几乎保持一个一定值。这个泥水压力最大点是劈裂发生点, 压力急剧下降之后基本以一定值推移, 伴随劈裂持续进行, 这部分我们称作劈裂伸展或劈裂持续现象。这个现象在室内小型实验中是无法看到的。

2.2 劈裂持续压力及劈裂伸展流量

实际泥水盾构工程中, 由于土层有一定的厚度, 劈裂持续压力的大小对实际工程劈裂乃至泥水喷发现

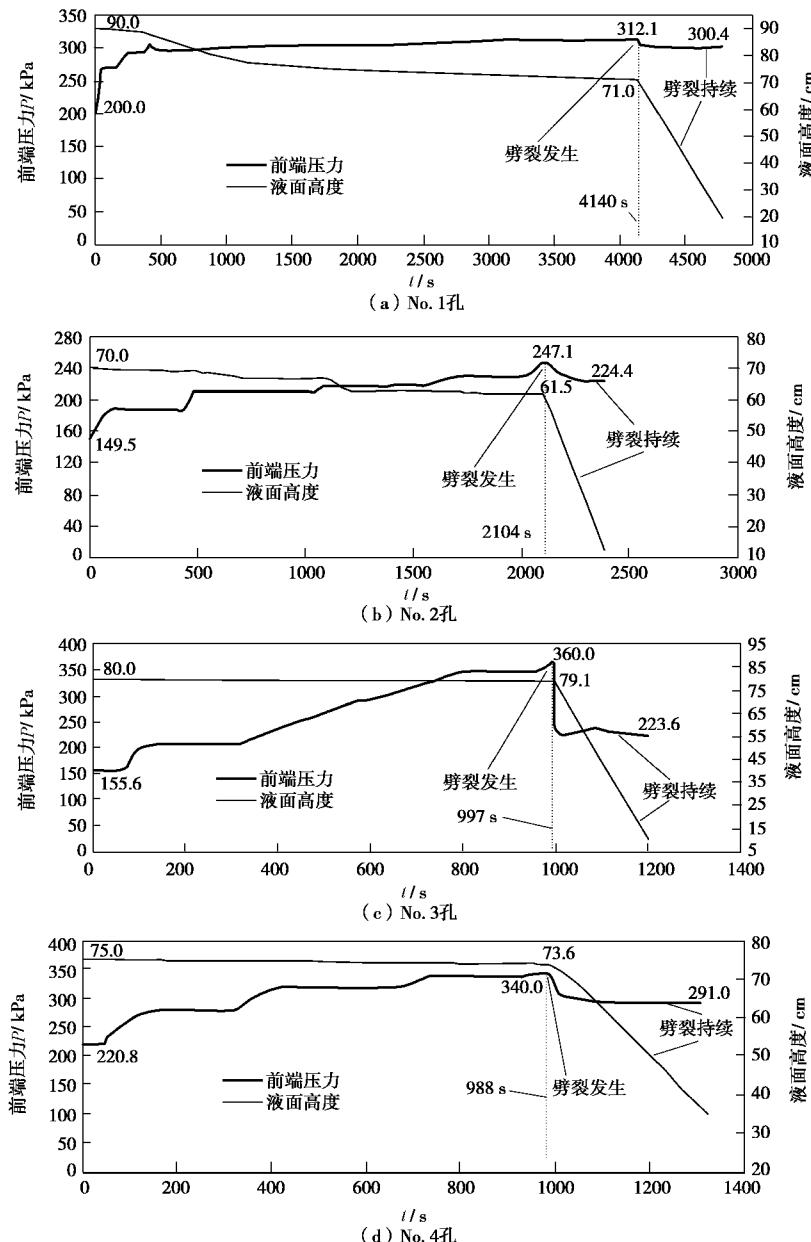


图 2 泥水压力时间和前端压力计所测泥水压力及泥水箱中泥水液面的水位关系

Fig. 2 Relationship among slurry pressure, slurry surface level and pressurizing time

象的预防有重要的意义。在泥水盾构掘进时，控制上切口泥水压力是关键所在。如果控制上切口泥水压力在劈裂发生后的劈裂持续阶段小于劈裂持续压力，劈裂就能够停止持续进行。在本实验中这个劈裂持续伸展中的泥水压力我们称作劈裂持续压力，图 2 中的前端泥水压力与前端压力计位置到泥水加压孔中心的深度 h' 的泥水柱高（压力）的和就是劈裂持续压力 P_c 。另一方面，劈裂伸展过程中的泥水箱中水位下降的速度和劈裂发生之前相比急剧增加，但都大致稳定到一定的下降速度。通过这个水位的下降速度可以求得与劈裂空间增加速度相当的劈裂伸展流量 q_c 。该劈裂伸展流量 q_c 的值因实验孔的不同差异很大。表 3 表示全

表 3 现场实验孔的劈裂持续压力和劈裂伸展流量

Table 3 Results of field tests

实验孔	深度 /m	泥水浓度 /%	劈裂持续压 P_c /kPa	劈裂伸展流量 q_c /($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
No.1		12	308.3	47.56
No.4	20.0	12	299.0	83.78
No.6		12	329.2	160.64
No.2		12	233.5	110.05
No.3		12	236.7	194.51
No.5	15.5	12	247.2	97.29
No.7		18	240.0	8.01
No.8		18	239.1	14.31

部实验孔的劈裂持续压力和水位下降速度以及通过此换算得到的劈裂伸展流量 q_c 的值。从表 2、3 中可以看出，虽然劈裂伸展流量 q_c 的值变化很大，但劈裂持

续压力 P_c 却与不同深度对应的围压 s_3 基本相等。因此, P_c 可用下式进行表示:

$$P_c = s_3 \quad (1)$$

式(1)中表示的劈裂持续压力也可以理解为抵抗劈裂持续伸展的压力, 其值大小为 s_3 。

3 劈裂伸展速度的理论方程

劈裂发生后, 在持续的泥水压力作用下, 劈裂裂缝就会发展。其发展或伸展的速度对于现场实际工程来说是一个重要的问题。特别是在水底盾构隧道施工中, 如果劈裂伸展速度很快, 容易出现加压液体冲破江底发生泥水喷发江水倒灌开挖面坍塌的事故。黏土地层劈裂的伸展不同于玻璃等脆性材料, 流入劈裂裂隙空间的液体的体积与劈裂裂缝体积的增加几乎相等。黏土条件下, 渗透系数极小, 而且劈裂的发展是一个较快的发展过程, 进入劈裂裂隙空间中的泥水几乎不渗透到地层中去, 假定渗透量为零, 劈裂伸展流量 q_c 成为使裂隙空间持续增加的唯一因素。根据劈裂实验后开挖观测结果看, 劈裂裂隙的形状为垂直地表面的半椭圆的板状, 劈裂裂隙的厚度基本相同。假定劈裂裂隙以均匀厚的板状伸展, 该板状裂隙空间的厚度即裂隙厚度为 b , 劈裂伸展流量 q_c , 裂隙前端部分单位时间增加面积 ΔA 即为 q_c/b 。如果知道裂隙的全体形状和裂隙伸展的路径的话, 由劈裂裂隙的伸展时间 t 时刻的裂隙形状可以知道裂隙前端部分的总的延伸量 L_t 。假定劈裂裂隙持续时间 t 时刻的伸展速度 V_f 在裂隙前端相同, 其概算公式如下

$$V_f = \frac{\Delta A}{L_t} = \frac{q_c}{b L_t} \quad (2)$$

因此为求解劈裂伸展速度 V_f , q_c , b , L_t 是必要的。

4 有效劈裂伸展压力及劈裂伸展流量

为了向劈裂裂隙空间中流入(押入) q_c , 需要使劈裂裂隙伸展, 并需要施加大于劈裂伸展抵抗 s_3 的泥水压力。使泥水流人劈裂裂隙空间的泥水压力越大, 一般地讲劈裂伸展的速度也就越快, 这个泥水压力叫做劈裂伸展压力。劈裂伸展压力与劈裂伸展流量的关系对我们理解和解释劈裂伸展速度非常重要。劈裂伸展中的泥水箱的空气压加上泥水箱的水面到泥水加压孔中心深度相当的泥水压力为泥水的压入压力 P_p 。由于使用泥水箱的空气压力和深度相当的泥水压力随着泥水箱水面的下降也在变动的原因需要进行繁琐的计算, 比较麻烦。在此, 用图1所示的泥水箱下面地表压力计的裂隙发展的压力 P_s , 加上挖掘孔中心的深度

h 相当的泥水压力 P_h 就是泥水的压入压力 P_p 。因此, 泥水压入压力 P_p 计算式如下:

$$P_p = P_s + P_h \quad (3)$$

另一方面, 压入压力 P_p 与劈裂伸展抵抗 s_3 的差值为泥水有效劈裂伸展压力 P'_p , 即

$$P'_p = P_p - s_3 \quad (4)$$

按式(4)计算得到的8个孔的 P'_p 值和 q_c 的关系如图3所示。其关系是随着 P'_p 增大 q_c 也随之增加。考虑到NO.7和NO.8的两个孔使用了18%的高浓度泥水, 黏性较大, q_c 也很小, 理论上泥水的黏性也和 q_c 存在密切关系, 因此, 图3中的直线没有把其考虑在内, 只是泥水浓度12%、黏性24~27 s的6个点通过原点的直线。可得

$$q_c = 1.572 P'_p \quad (5)$$

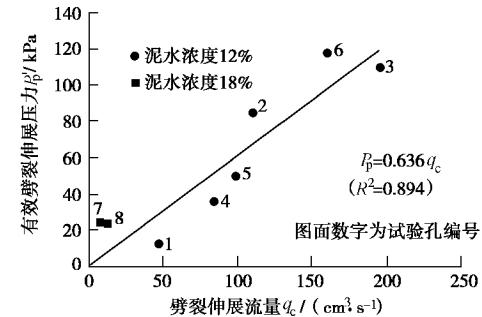


图3 有效劈裂泥水伸展压力与伸展流量的关系

Fig. 3 Relationship between slurry pushing pressure and fracture extending quantity

应该说明的是虽然通常泥水的黏性变大则 q_c 变小是常识性的, 但其定量的关系并不明确。式(5)也只能反应泥水浓度12%且黏性在24~27 s这样条件范围的关系。

另一方面, 劈裂伸展流量 q_c 不仅与 P'_p 相关, 也与泥水流入口的面积(裂隙口的总长和裂隙厚度的乘积)大小成比例。假定流入口面积为 a_0 , 盾构开挖面产生的劈裂裂隙的流入口的面积为 A , 则 q_c 可表示为

$$q_c = 1.572 P'_p \frac{A}{a_0} \quad (6)$$

式中 q_c 为劈裂伸展流量 (cm^3/s); P'_p 为有效压入压力 (kPa); a_0 为现场实验孔的泥水流入口面积 (cm^2); A 为泥水盾构等的泥水流入口面积 (cm^2);

泥水流入口面积多少会有差异, 这是图3中数据点出现离散的原因之一。另外, 图3中表示的 q_c 不大也与该流入口面积 a_0 很小有关系。另外, 式(6)对黏性在24~27 s之外的泥水并不适用。

5 结 论

通过现场泥水劈裂实验以及分析, 对泥水压力劈

裂软黏土地层现象有了较深入的理解，特别是对泥水盾构的泥水劈裂伸展现象有了初步了解：

(1) 发现并验证了泥水劈裂软黏土地层的发生以及伸展的现象，并且得出了劈裂持续泥水压力是一个较稳定的值。

(2) 劈裂伸展现象中的重要参数伸展流量与有效劈裂伸展压力、泥水流入口面积等相关，在本实验所用的泥水黏性等范围内，给出了其相关方程式。

(3) 实际泥水盾构的劈裂伸展现象也可以通过本次实验得知，劈裂持续压力几乎与所在位置的水平侧向土水应力 s_3 相等。

(4) 实际泥水盾构的劈裂伸展流量可以通过泥水流入口面积的比例关系求得。

(5) 关于劈裂伸展速度，有待于今后配合本次实验结果以及室内盾构模型实验进行深入研究，包括泥水的黏性、劈裂伸展的路径、特别是泥水盾构本身特征等。但最重要的劈裂伸展流量与有效劈裂伸展泥水压力已经明确，为今后的研究工作提供了基本条件。

参考文献：

- [1] 朱合华, 徐前卫, 廖少明, 等. 土压平衡盾构法施工参数的模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(5): 553 - 557. (ZHU He-hua, XU Qian-wei, LIAO Shao-ming, et al. Experimental study on working parameters of EPB shield machine[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(5): 553 - 557. (in Chinese))
- [2] 廖少明, 余炎, 白廷辉, 等. 盾构隧道叠交施工引起的土层位移场分布规律[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(4): 485 - 490. (LIAO Shao-ming, YU Yan, BAI Ting-hui, et al. Distribution of ground displacement field owing to two overlapped shield tunneling interaction[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(4): 485 - 490. (in Chinese))
- [3] 何川, 苏宗贤, 曾东洋. 盾构隧道施工对已建平行隧道变形和附加内力的影响研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(10): 2063 - 2069. (HE Chuan, SU Zong-xian, ZENG Dong-yang. Research on influence of shield tunnel construction on deformation and secondary inner force of constructed parallel tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(10): 2063 - 2069. (in Chinese))
- [4] 孙钧. 海底隧道工程设计施工若干关键技术的商榷[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(8): 1513 - 1521. (SUN Jun.
- Discussion on some key technical issues for design and construction of undersea tunnels[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(8): 1513 - 1521. (in Chinese))
- [5] 周文波. 盾构法隧道施工技术及应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004. (CHOW Bob. Shield tunneling technology[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004. (in Chinese))
- [6] SCOTT P P, BEARDEN W G, HOWARD G C. Rock rupture as affected by fluid property[J]. Petroleum Transaction, AIME, 1953, 198: 111 - 120.
- [7] HARRISON E, KIESHNICK W F, MCGUIRE W J. The mechanics of fracture induction and extension[J]. Petroleum Transaction, AIME, 1954, 201: 252 - 263.
- [8] HUBBERT M K, WILLIS B G. Mechanics of hydraulic fracturing[J]. Trans AIME, 1957, 210: 153 - 166.
- [9] HAIMSON B, FAIRHURST C. In-situ stress determination at great depth by means of hydraulic fracturing[C]// Proceedings of the 11th Symposium on Rock Mechanics. New York: American Institute of Mining Engineering, 1970: 559 - 584.
- [10] 藤沢侃彦, 中村昭, 山口嘉一, 松井孝. 割裂制御グラウチングに関する基礎実験[J]. ダム工学, 1995, 5(3): 13 - 22. (FUJISAWA, NAMURA, YAMAGUTI, et al. Fundamental experiments on controlling of fracture grouting[J]. JSDE, 1995, 5(3): 13 - 22. (in Japanese))
- [11] 村瀬祐司, 大根義男, 成田国朝, 奥村哲夫. 土質コアを有するロックフィルダムの水利破壊現象に関する研究[J]. ダム工学, 1996, 6(3): 16 - 28. (MURASE, ONE, NARITA, et al. Study on phenomenon of hydraulic fracturing in soil core of rock-fill dam[J]. JSDE, 1996, 6(3): 16 - 28. (in Japanese))
- [12] 薬液注入の評価と開発に関する研究報告書[R]. 建設省土木研究所, 1979. (Research report on evaluation and development of drug infusion[R]. Civil Engineering Research Institute of Ministry of Construction, 1979. (in Japanese))
- [13] MORI Akira, TAMURA Masahito. Hydrofracturing pressure of cohesive soils[J]. Soils and Foundations, 1987, 14(2): 14 - 22.
- [14] MORI Akira, TAMURA Masahito, YOSHIHIRO Fukui. Fracturing pressure of soil ground by viscous materials[J]. Soils and Foundations, 1990, 30(3): 129 - 136.

- [15] 谢兴华, 速宝玉. 裂隙岩体水力劈裂研究综述[J]. 岩土力学, 2004, 25(2): 330 – 336. (XIE Xing-hua, SU Bao-yu, A review of fracture rock hydraulic fracturing research[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(2): 330 – 336. (in Chinese))
- [16] 唐红侠, 周志芳, 王文远. 水劈裂过程中岩体渗透性规律及机理分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(8): 1320 – 1322. (TANG Hong-xia, ZHOU Zhi-fang, WANG Wen-yuan. Permeability of rock and mechanism analysis during hydraulic fracturing[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(8): 1320 – 1322. (in Chinese))
- [17] 栗原 和夫, 森 麟, 田村 昌仁. 泥水式シールドのブロー現象に関する実験的研究[C]// 土木学会論文集, 1988, 397: 95 – 104. (KURIHARA, MORI, TAMURA. Experiment study on fracturing phenomenon by mud suspension in slurry type shield [C]. JSCE, 1988, 397: 95 – 104. (in Japanese))
- [18] 森 麟, 田村 昌仁. シールド工事における粘性地盤の割裂現象 (その2) 裏込注入圧による割裂現象 [C]// 第24回土質工学発表会. 1990: 1773 – 1774. (MORI, TAMURA. Hydraulic fracturing phenomenon during shield tunneling in cohesive soil (No.2)- Hydraulic fracturing phenomenon by backfill grouting pressure[C]. The 24th Japanese Soil Engineering Presentation. 1990: 1773 – 1774. (in Japanese))
- [19] 袁大军. 泥水シールド掘進による粘性土地盤の割裂状況に関する実験的研究[D]. 东京: 早稻田大学, 2002. (YUAN D J. Experiment study on hydraulic fracturing during slurry type shield tunneling in cohesive soil[D]. Tokyo: Waseda University, 2002. (in Japanese))

第四届中日岩土工程研讨会在日本冲绳顺利召开

由中国土木工程学会土力学及岩土工程分会和日本地盘工学会主办, 日本地盘工学会国际部承办的“第四届中日岩土工程研讨会”于2010年4月12日至14日在拥有亚热带风光、兼有古老文化传统的世界旅游胜地日本冲绳顺利召开。来自中国和日本100多个单位的147名代表参加了会议。其中, 中国代表75人(包括了中国香港、澳大利亚和新加坡的5位华人代表), 日本代表72人。

在会议开幕式上, 大会日方组织委员会主席古関润一教授和中国土木工程学会土力学及岩土工程分会理事长陈祖煜院士分别致开幕词。之后充满激情的冲绳传统舞蹈表演将会议开幕式的气氛带到了高潮。

会议论文集共收录了108篇论文, 内容涉及到地下空间开发、环境岩土工程、桩基工程、风险管理等10个研究方向。陈祖煜院士、Tanaka教授、吴宏伟教授、刘汉龙教授和Tokashiki

教授分别做大会主题报告。会议期间, 近100名与会代表做分会场学术报告, 中日两国的学者进行了广泛的交流和深入的讨论, 在交流中学习对方最新的研究成果, 并探讨岩土力学与岩土工程的发展趋势。会场交流气氛热烈, 学术氛围非常浓厚。

会议期间, 大会承办方组织与会代表参观了冲绳岛海水抽水蓄能电站工程、古宇利岛和天然红树林等自然景观, 冲绳怡人的气候和独特的魅力使与会代表留连忘返。

在会议闭幕式上, 日本地盘工学会会长浅冈教授、中方大会学术委员会主席姚仰平教授、日方大会学术委员会主席小宫一仁教授和中方大会组织委员会主席张建民教授先后致辞, 总结了此次会议取得的丰硕成果, 回顾和展望了中日岩土工程研讨会的历史和未来, 为大会画上了圆满的句号。

经过中日双方的相关负责人协商确定, 第五届中日岩土工程研讨会将于2012年在中国四川成都召开。

(姚仰平 供 稿)