

# 北京夕照寺小区4<sup>#</sup>住宅楼 CFG桩复合地基质量问题分析处理

朱志刚

(北京市勘察设计研究院, 北京 100038)

**摘要:** 对北京夕照寺小区4<sup>#</sup>住宅楼的CFG桩复合地基进行检测,发现部分桩的单桩承载力不满足设计要求。通过验证勘察并经综合分析后认为,造成单桩承载力不足的主要原因是施工时扰动了桩底或(及)桩周砂层。介绍了对该工程质量问题的处理方法,提出了避免类似质量问题的措施,供同类工程在设计、施工时借鉴。

**关键词:** 土力学; CFG桩复合地基; 地基检测; 验证勘察; 质量问题; 问题分析处理

**中图分类号:** TU 47

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6915(2005)01-0165-06

## ANALYSIS AND TREATMENT OF A QUALITY PROBLEM OF COMPOSITE FOUNDATION OF CFG PILES FOR BUILDING 4 IN XIZHAOSI RESIDENTIAL AREA

ZHU Zhi-gang

(Beijing Geotechnical Institute, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Data obtained from composite foundation monitoring showed that the allowable bearing load of some cement flyash gravel(CFG) piles for building No.4 in Xizhaosi residential area did not meet the requirements of engineering design. After re-exploration and careful analysis, it was found that the sand soil under the bottom of the pile and around the pile was disturbed during the construction of CFG piles. This paper aims at reminding engineers and technicians of elaborate design and construction of CFG pile to ensure quality in composite foundation design and construction.

**Key words:** soil mechanics; composite foundation of CFG piles; foundation checking; re-exploration; quality problem; analysis and treatment of quality problem

### 1 引言

水泥粉煤灰碎石桩(cement flyash gravel piles, CFG桩)复合地基技术,因其可较大幅度地提高天然土层的承载能力,减少建筑物的基础沉降,并且具有施工方法简便易行、适用地层广泛、周期短、造价低、污染小等优点,近年来在我国北方地区应

用较为广泛<sup>[1]</sup>。

由于CFG桩复合地基技术是一门年轻的技术,加之目前设计单位和施工队伍水平参差不齐,有时难免会出现一些质量问题。本文对北京夕照寺小区4<sup>#</sup>住宅楼工程采用CFG桩复合地基时所出现的质量问题进行跟踪分析与研究,旨在为今后类似工程的设计与施工提供借鉴。

**收稿日期:** 2003-03-21; **修回日期:** 2003-06-11

**作者简介:** 朱志刚(1970-),男,1996年于中国地质大学(北京)应用地球物理系获硕士学位,现任北京市勘察设计研究院市场经营处副处长,主要从事岩土工程勘察、设计、施工等方面的工作。E-mail: zzg2008@vip.sina.com。

## 2 工程概况及地基条件

### 2.1 工程概况

4# 住宅楼位于北京市崇文区夕照寺，为 18 层剪力墙结构住宅楼，设 2 层地下室，埋深为 ±0.00 下 7.20 m。±0.00 标高为 41.90 m，拟采用筏板基础。

由于天然地基承载力标准值为 180 kPa，不能满足设计要求(300 kPa)，须采用 CFG 桩复合地基。CFG 桩的施工工艺为长螺旋钻机成孔，泵送混凝土中心压灌成桩<sup>[2]</sup>。

### 2.2 场区地基工程条件概述

#### (1) 地层条件

根据勘察单位提供的 4# 住宅楼岩土工程勘察报告，基底以下的土层分布情况列于表 1。

#### (2) 地下水条件

场区的地下水有 2 层，详见表 2。

## 3 CFG 桩设计参数

4# 住宅楼 CFG 桩设计和施工都是由同一公司完成的。根据该公司提交的设计和施工方案，各层土的岩土工程参数如下<sup>[3]</sup>：(1) 有效桩长：6.80 m；(2) 桩径：410 mm；(3) 桩间距：1.50 m × 1.50 m；(4) 布桩形式：方形满堂布桩；(5) 单桩承载力标准值：380 kN(安全系数为 1.70)；(6) 面积置换率： $m = 0.0585$ ；(7) 桩端持力层：细、中砂层。

## 4 质量检测及检测结果分析

CFG 桩的质量检测是在成桩 14 d 后进行的，分别进行了低应变动测桩试验和单桩的静载荷试验，以检验桩身的完整性和单桩的承载力是否满足设计

要求<sup>[4-6]</sup>。

表 2 场区地下水分布情况

Table 2 Schedule of groundwater level

层号	性质	埋深/m	标高/m	观测时间/(年-月)
1	层间潜水	9.30 ~ 11.00	30.05 ~ 31.43	2000-04
2	承压水	17.50 ~ 18.80	22.64 ~ 23.51	2000-04

### 4.1 静载荷试验结果分析

根据北京市建设工程质量检测中心第一检测所的检测报告，本工程静载荷试验随机抽取了 5 根桩，其中建筑场地的 4 角及中央各选 1 根，静载荷试验点见图 1。

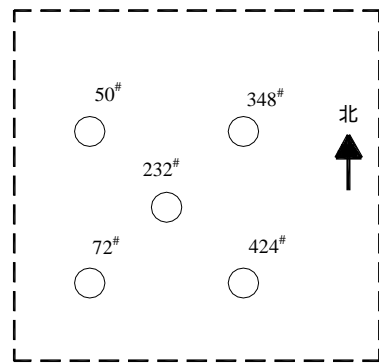


图 1 静载荷试验点位置图

Fig.1 Distribution of CFG piles selected for plate loading test

按照 CFG 桩的设计参数，单桩承载力标准值为 380 kN，安全系数为 1.70，静载荷试验时单桩应加荷至极限值 646 kN。但检测单位从开发单桩承载力潜力的角度出发，实际按 2 倍安全系数加荷<sup>[7]</sup>，即实际加荷至 760 kN。

单桩静载荷试验的 Q-S 曲线如图 2 所示。

表 1 拟建场区地层分布情况

Table 1 Distribution and physical properties of the soil strata under the foundation pit

成因年代	大层号	亚层号	岩性	层顶标高 /m	大层平均厚度/m	e	I <sub>p</sub>	I <sub>L</sub>	E <sub>s100</sub> /MPa	N <sub>63.5</sub>	f <sub>ka</sub> /kPa
第四纪沉积层	3	1	粉质粘土、粘质粉土	34.01 ~ 35.44	2.5	0.69	10.9	0.54	7.5	9	180
			粉质粘土、重粉质粘土			0.67	13.2	0.18	12.4	8	180
	4	1	粉质粘土、重粉质粘土	31.81 ~ 32.54	2.2	0.79	13.4	0.41	10.5	10	200
			砂质粉土、粘质粉土			0.70	6.9	0.16	22.6	15	250
5			细、中砂	29.84 ~ 30.80	7.0	—	—	—	—	49	300

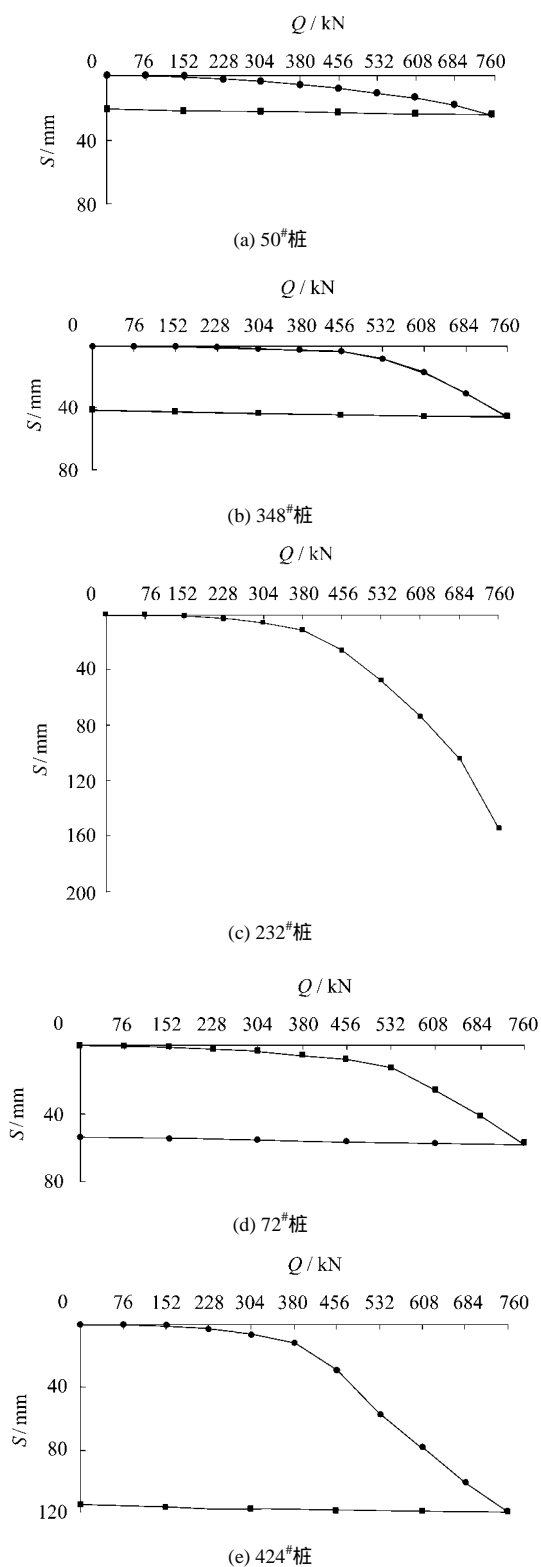


图 2 单桩静载荷试验  $Q-S$  曲线

Fig.2  $Q-S$  curves obtained from the plate loading test

静载荷试验的结果列于表 3。

从桩的静载荷试验结果中可以看出：50#桩、348#桩、72#桩的承载力基本上能满足设计要求；而

232#桩和 424#桩加荷至 456 kN 后， $Q-S$  曲线出现了沉降陡降段，直至加荷至 760 kN 时亦未出现拐点，且沉降量均超过了 10 cm。说明这 2 根桩在加荷至 456 kN 时已至极限值，桩的安全系数只有 1.20，不能满足设计要求。

表 3 单桩静载荷试验结果

Table 3 Results of plate loading tests of single pile

桩号	加荷至 760 kN 时 桩沉降量/mm	实际单桩承载力 极限值/kN	实际单桩承载力 标准值/kN
50#	20.550	760	380
72#	52.595	684	342
232#	> 150.000	456	228
348#	41.165	684	342
424#	114.390	456	228

### 4.2 低应变动测桩试验

本工程随机抽取了总桩数 472 根中的 10%，即 48 根桩进行了低应变动测桩试验，其中做了静载荷试验的 5 根桩的动测试验结果如图 3 所示(图中  $V_p$  为纵波速度， $t$  为波的传播时间)。

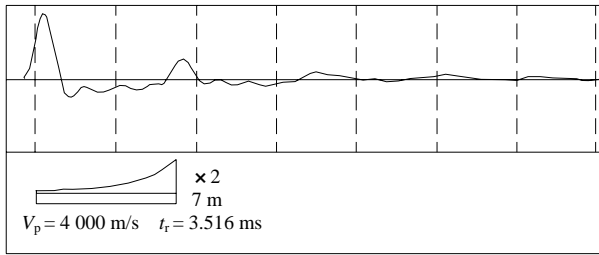
从这几根桩的动测试验结果来看，推测 232#桩在 1.89 m 左右，有轻度缩径，桩身基本完整，不影响使用，定为 II 类桩；其余 4 根桩桩身均很完整，为 I 类桩。但从图中也可看出，232#桩的桩底反射不明显，且反射时间相对较长，推测桩底可能不实；424#桩的桩底反射较为明显，推测桩底较实。

因 232#桩、424#桩的承载力不能满足设计要求，为了弄清楚是偶然性现象还是有区域性特征，业主委托检测单位在 232#桩、424#桩附近又分别各选取了 2 根桩，进行单桩静载荷试验和低应变动测桩试验。静载荷试验结果表明：232#桩附近的 2 根桩单桩承载力能满足设计要求；而 424#桩附近的 2 根桩的极限承载力仍为 456 kN，仍不能满足设计要求。动测桩结果表明，这 4 根桩的桩身完整性均很好，属 I 类桩，且桩底反射明显，说明桩底较实<sup>[8]</sup>。

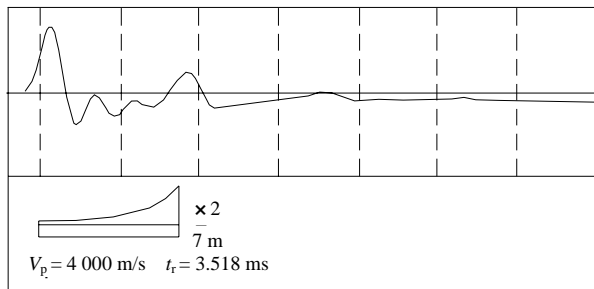
以上试验和分析表明：232#桩承载力不足可能属偶然性原因；而 424#桩所在的场区东南角区域的 CFG 桩质量普遍偏差，复合地基承载力普遍偏弱，推测可能有区域性特征。

### 5 地基土层验证勘察

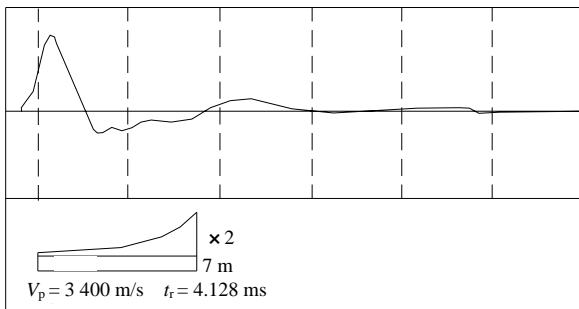
为了进一步分析单桩承载力不足的原因，以及



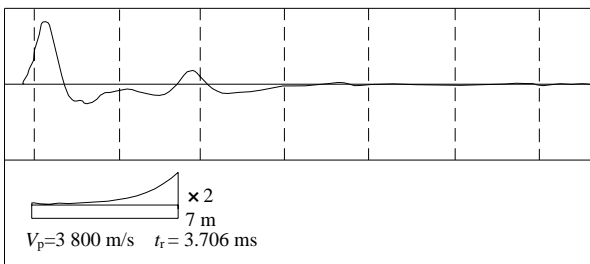
(a) 348#桩(4 m/格)



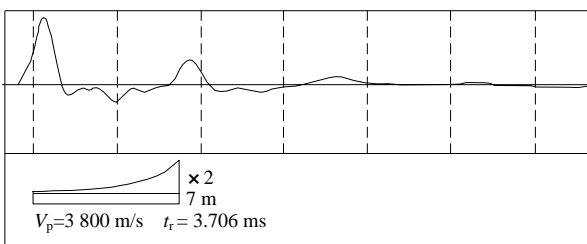
(b) 50#桩(4 m/格)



(c) 232#桩(4 m/格)



(d) 72#桩(4 m/格)



$V_p$ —纵波波速,  $t_r$ —波的传播时间

(e) 424#桩(4 m/格)

图3 动测桩试验速度—幅度曲线图

Fig.3 Curves of velocity vs amplitude

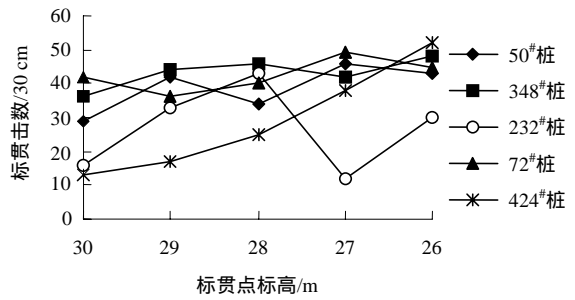


图4 标贯值对比图

Fig.4 Comparison of blow counts of SPT among the five CFG piles

验证是不是由于原勘察单位对 4#住宅楼地基的地层分布规律没有搞清而影响了 CFG 桩设计者的判断, 业主方委托北京市勘察设计研究院对该工程场区的地层重新验证勘察<sup>[9]</sup>。勘察结果表明, 原勘察单位对本工程场区的地层分布规律的描述是准确的, 说明 CFG 桩设计所依据的地层参数是准确的。只是验证勘察期间处于北京市区地下水的丰水期, 地下水水位比原勘察报告中所提的静水位高出 1~2 m。

勘察验证时, 在进行了静载荷试验的 CFG 桩的桩位附近, 对桩侧和桩端的砂层进行了标贯试验, 标贯位置距桩外皮的距离均为 0.40 m。标贯试验统计结果详见图 4。

从图 4 中可以看出: 50#、348# 和 72# 桩的桩侧和桩底砂层的标贯值较为正常, 与原勘察资料结果相符; 而 232# 桩桩侧砂层上部和桩底附近的标贯值较原勘察报告均明显偏低, 说明 232# 桩在施工时扰动了桩侧砂层和桩底砂层, 使桩侧阻力和端阻力降低, 从而影响了单桩承载力; 424# 桩桩侧砂层上部的标贯值偏低, 桩底砂层的标贯值正常, 这说明 424# 桩可能是因为扰动了桩侧砂层而降低了桩侧摩阻力, 进而降低了单桩承载力。

## 6 问题分析

通过验证勘察, 对场区 CFG 桩的质量问题基本上排除了地层勘察不准的因素。通过对静载荷试验结果、低应变动测试验结果和砂层标准贯入试验结果的综合分析可以看出, CFG 桩复合地基工程质量问题的原因主要有 2 方面: 一是设计原因, 二是施工原因。

### 6.1 设计原因

本工程设计桩端持力层为细、中砂层, 由于

该砂层为含层间潜水的地质层,且上覆隔水层底板标高有一定起伏,故地下水有一定的压力。在这种地质条件和地下水条件下,如果设计桩端进入砂层持力层过深,则可能会给施工造成一定的困难,因为含水的砂层在施工时较易被扰动<sup>[10, 11]</sup>。

一般说来,在类似的地层和地下水条件下,设计时应尽可能采用较短桩长,较小桩距,或适当加大桩径等方法,以获取较大置换率,同样可以满足设计要求,以避免桩端进入含水的持力砂层过深,防止施工时造成质量问题。

## 6.2 施工原因

由于目前 CFG 桩施工工艺本身的限制,施工时,在成孔至预定深度后,一般需提钻 10~20 cm,再泵送混凝土到长螺旋钻杆内,靠混凝土的压力冲开活门将混凝土灌入孔底。当钻杆内混凝土充盈一定高度时再提升钻杆,边提钻边泵送混凝土,直至成桩。

该工程施工时,可能是在螺旋钻杆成孔至预定深度后少量提钻时,含有一定压力地下水的砂层产生了涌砂现象,造成了桩底的虚空;也可能是钻至预定深度后未泵送混凝土即开始连续提钻造成桩底虚空,产生了涌砂现象;还可能是由于提钻速度过快,使提钻速度与泵送的混凝土量不匹配,使桩侧砂层产生涌砂现象,造成桩侧砂层不实。以上情况都会影响桩端阻力和桩侧阻力的发挥,从而影响单桩承载力。

另外,本工程场区东南角地下水位相对较高,可能也是施工时较易扰动砂层产生涌砂现象,造成该区域单桩承载力普遍相对较低的原因。

## 7 问题处理

根据静载荷试验检测结果,4<sup>#</sup>住宅楼 CFG 桩的单桩极限承载力只能达到 550 kN。若取安全系数为 1.70,单桩承载力标准值为 324 kN,小于设计值 380 kN。复合地基承载力标准值为 279 kPa,小于设计值 300 kPa,不能满足设计要求,并且在场区东南角单桩承载力标准值只能达到 228 kPa,复合地基承载力标准值仅为 237 kPa,远远小于设计值。后经专家讨论决定,在结构上采取一些措施,避免二次进场补桩造成更多的工期延误和资金浪费。具体做法是:在结构上采取措施降低结构自重,使基底压力

不大于 279 kPa,并且在建筑物东南角适当扩大基础底面积,降低基底压力使其小于 237 kPa,以适应目前的复合地基承载力。

本次 CFG 桩复合地基质量问题分析、处理历时近 1 个月,期间总包误工费、采取结构措施发生的费用、地基检测增加的费用、验证勘察费及其他间接损失费用等总计耗资将近 100 万元。

## 8 结 论

该工程 CFG 桩复合地基质量问题的教训是深刻的,它为广大设计、施工人员敲了警钟,提醒大家在遇到类似的工程时要慎重设计、精心施工,确保地基的安全。具体来说,从本次质量问题中应学到以下几点:

(1) CFG 桩复合地基的设计工作要求设计人员既要有理论基础,又要有必备的实践经验。在进行设计时要充分了解工程场区的地层分布规律和地下水的特性,尤其是在桩端持力层为含水的砂层时,应尽量避免桩端进入砂层太深,以免在施工时扰动砂层,产生涌砂现象,造成质量问题。如受条件限制桩端必须进入砂层较深时,则须强调说明在施工时采取必要的措施,避免扰动砂层。

(2) CFG 桩施工时,在成孔至预定深度后尽量少提钻,且应在混凝土淹没钻头一定高度后再提钻,提钻速度也不宜过快,一定要注意提钻速度和泵送速度的匹配。

(3) CFG 桩施工人员要经过专业培训后才能上岗,要注意培养他们的质量意识和主人翁责任感,施工时要认真负责。

(4) 建议广大工程技术人员多钻研一下 CFG 桩的施工工艺,改进钻头结构,使成孔至预定深度后不提钻即可冲开钻头活门,避免造成桩底虚空。

(5) 工程出现质量问题时,要采用多种可能手段逐一分析,多方查找原因,不要轻易妄下结论。

(6) 工程质量问题解决方案应遵循尽可能节约资金、缩短工期的原则。

## 参考文献(References):

- 1 阎明礼. 复合地基技术[M]. 北京:中国环境科学出版社,1996.(Yan Mingli. Technology of Composite Foundation[M]. Beijing: China Environment Science Press, 1996.(in Chinese))

- 2 阎明礼,张东刚. CFG 桩复合地基技术及工程实践[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.(Yan Mingli, Donggang Zhang. Technology and Engineering Practice of the CFG Pile Composite Foundation[M]. Beijing: China Water Power Press, 2001.(in Chinese))
- 3 中华人民共和国行业标准编写组. 建筑地基处理技术规范(JGJ 79-2002)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.(China Trade Standard. Technical code for ground treatment of buildings(JGJ 79-2002)[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002. (in Chinese))
- 4 中华人民共和国行业标准编写组. 建筑桩基技术规范(JGJ 94-94)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1995.(China Trade Standard Technical code for building pile foundation(JGJ 94-94)[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1995.(in Chinese))
- 5 张建新,赵乃茹,王育德. 复合地基载荷试验中几个问题的探讨[J]. 勘察科学技术,1999,(1):4-6.(Zhang Jianxin, Zhao Nairu, Wang Yude. Discussion of some questions about the loading test of composite foundation[J]. Site Investigation Science and Technology, 1999, (1): 4-6.(in Chinese))
- 6 张延军,陈勇,张长城. CFG 桩复合地基的检测分析应用[J]. 西部探矿工程,2003,15(6):15-16.(Zhang Yanjun, Chen Yong, Zhang Changcheng. Analysis and application of the test about CFG pile composite foundation[J]. West China Exploration Engineering, 2003, 15(6): 15-16.(in Chinese))
- 7 同济大学岩土工程研究所力学研究室. 桩基础的可靠性研究[R]. 上海:同济大学,1992.(Geotechnical Engineering Institute of Tongji University. Reliability study of pile foundation[R]. Shanghai: Tongji University, 1992.(in Chinese))
- 8 张献民,蔡靖,王建华. 桩基缺陷量化低应变动测研究[J]. 岩土工程学报,2003,25(1):47-50.(Zhang Xianmin, Cai Jing, Wang Jianhua. Study of low strain testing of pile defect[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2003, 25(1): 47-50.(in Chinese))
- 9 北京市标准编写组. 北京地区建筑地基基础勘察设计规范(DBJ 01-501-92)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1992.(China Local Standard in Beijing. Code of building foundation design and site investigation in Beijing area(DBJ 01-501-92)[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1992.(in Chinese))
- 10 Poulos H G, Davis E H. The settlement behaviors of single axially-loaded incompressible piles and piers[J]. Geot., 1968, (18): 351-371.
- 11 Yu T M, Shu W Y, Tong Y X. Settlement analysis of pile foundations in Shanghai[A]. In: Proc. of 6<sup>th</sup> ICSMFE[C]. Montreal: [s. l.]: [s. n.], 1965. 232-235.