

软基加固新技术

——振动水冲法

1983年振冲加固法经验交流学术讨论会论文选编

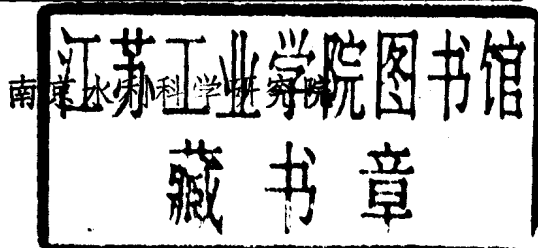
南京水利科学研究院

水利电力出版社



软基加固新技术 ——振动水冲法

1983年振冲加固法经验交流学术讨论会
论文选编



水利电力出版社

软基加固新技术——振动水冲法

1983年振冲加固法经验交流学术讨论会论文选编

南京水利科学研究院

★

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经营

水利电力出版社印刷厂印刷

★

787×1092毫米 32开本 12.125印张 262千字

1986年12月第一版 1986年12月北京第一次印刷

印数0001—5690册 定价2.50元

书号 15143·6158

内 容 提 要

本书由振冲法在砂土中的应用、振冲法在粘性土中的应用、加固机理和计算方法、施工机具和施工工艺和加固效果的检验方法等24篇文章组成，全面总结介绍了各地对各种软基加固方法及其施工工艺。内容通俗、实用性强，专业面广。

本书可供水利水电、交通、土建系统的工程技术人员参考，也可供有关高等院校师生、科研人员学习。

2R05/22

编 者 的 话

由水利电力部科技司、交通部科技局委托南京水利科学研究院、交通部水运规划设计院主办的振冲加固法经验交流学术讨论会，1983年11月17日至22日在无锡召开。出席会议的有来自26个省、市、自治区168个单位、206位代表。会议共收到论文62篇，并按五个组进行讨论，各组的议题为：

第一组：振冲法在砂土中的应用；

第二组：振冲法在粘性土中的应用；

第三组：加固机理和计算方法；

第四组：施工机具和施工工艺；

第五组：加固效果的检验方法。

本论文集是根据这次会议的部分论文选编而成的。本集选取了会议的总报告、水平报告、各分组的讨论总结以及会议期间由各分组推荐的部分论文等共计24篇。由于篇幅所限，还有不少内容较好的论文未能收入本集。为便于读者了解和交流，将会议前收到的全部论文目录也收入本论文集。

本论文集由南京水利科学研究院整理汇编。限于水平，谬误和缺点在所难免，望作者和读者批评指正。

1984年9月

目 录

编者的话

1. 振动水冲加固法总报告..... 盛崇文 (1)
2. 振动水冲加固技术纵论与展望
——水平报告..... 盛崇文 (24)
3. 振冲法在砂土中的应用
——第一组讨论总结..... 施履祥 (44)
4. 振冲法在粘性土中的应用
——第二组讨论总结..... 王铁儒 (67)
5. 加固机理和计算方法
——第三组讨论总结..... 张 定 (83)
6. 施工机具和施工工艺
——第四组讨论总结..... 叶书麟 (100)
7. 加固效果的检验方法
——第五组讨论总结..... 陈 环 (106)
8. 粉砂地基的振冲加固..... 张鲁年、孟广训、郑培成 (114)
9. 防止地基液化的新措施
——振冲砾石排水桩..... 曾昭礼 (130)
10. 振动水冲法加固松散砂壳坝试验研究.....
..... 顾大庭、吴士宁、李明阁 (143)
11. 振冲法加固塘沽软粘土地基.....
..... 方永凯、张鲁年、孟广训、郑培成 (158)
12. 振动水冲法加固天津大港软土地基..... 张志良 (175)

13. 振冲碎石桩加固上海软土地基的载荷试验研究.....	张 定 (186)
14. 淮北朱仙庄矿井振冲法加固地基的试验分析.....	王维凌 (200)
15. 振冲桩复合地基载荷试验的机理分析.....	陈 环 (221)
16. 软土地基用碎石桩加固后承载能力的分析计算.....	张 定 (233)
17. 碎石桩地基的承载力与沉降计算.....	林孔镭 (246)
18. 碎石桩复合地基综合压缩模量及沉降计算的探讨.....	戴文豪 (263)
19. 振冲桩的选用及防护桩的设计.....	钱天石 (273)
20. 振冲器及其完善与发展.....	沙炳春、华国荣、刘允召 (284)
21. 振动水冲法施工技术.....	郑培成 (302)
22. 振冲加固后复合地基载荷试验.....	孟广训 (324)
23. 复合地基不同载荷板试压结果的相关关系.....	孟广训 (350)
24. 振冲碎石桩加固填土地基的试验小结.....	刘 立 (362)
附录 振冲加固法经验交流学术讨论会论文总目录.....	(372)

SYMPOSIUM ON VIBROFLO- TATION AND STONE COLUMNS METHOD

WUXI, JIANGSU, CHINA

November 17-22, 1983

Contents

Foreword

1. General Report on Vibroflotation and Stone columns Method.....Sheng Chong-wen (1)
2. State-of-the-Art Report: An Overview and Perspective of Vibroflotation and Stone Columns Method.....Sheng Chong-wen (24)
3. Concluding Remark on Session 1: Application of Vibroflotation Method to Cohesionless Soils.....Shi Lu-xiang (44)
4. Concluding Remark on Session 2: Application of Stone Columns Method to Cohesive Soils.....Wang Tie-ru (67)
5. Concluding Remark on Session 3: Mechanism of Soils Strengthening and Calcula-

- tion Methods.....Zhang Ding (83)
6. Concluding Remark on Session 4: Construction Technique and Machinery Ye Shu-lin (100)
7. Concluding Remark on Session 5: Evaluating Methods of Effectiveness of Soil Ground Strengthening..... Chen Huan (106)
8. Improvement of Silty Sand Subsoils Using Stone Columns.....Zhang Lu-nian, Meng Guang-xun, Zhen Pei-cheng..... (114)
9. New Approach to Prevention of Soil Li-quefaction—Gravel Drains Method..... Zeng Zhao-li (130)
10. Studies of Densifying Loose Sands of a Dam Shell by Vibroflotation..... Gu Da-ting, Wu Shi-ning, Li Ming-ge (143)
11. Improvement of Soft Clayey Subsoils in Tanggu, Tianjin, by Stone Columns..... Fang Yong-kai, Zhang Lu-nian, Meng Guang-xun, Zhen Pei-cheng..... (158)
12. Treatment of Soft Subsoils in Dagang, Tianjin, by Stone Columns..... Zhang Zhi-liang (175)
13. Analysis of Field Loading Test on Shanghai Soft Ground Stabilized with Stone Columns.....Zhang Ding (186)

14. Ground Improvement Test in Zhuxianzh-
uang Shaft, Anhui.....Wang Wei-jun (200)
15. Analysis of Loading Test on Composite
Ground Installed with Stone Columns
.....Chen Huan (221)
16. Computation of Bearing Capacity of Soft
Ground Stabilized by Stone Columns
..... Zhang Ding (233)
17. Calculation of Bearing Capacity and Set-
tlement of Stabilized Ground.....
..... Lin kong-zi (246)
18. Evaluation of Overall Compressive Mo-
dulus of Stone Columns Stabilized Ground
and Settlement Calculation...Dai Wen-hao (263)
19. Choice of Stone Columns and Design of
Protective Columns.....Tie Tian-shi (273)
20. Improving and Progress in Vibroflot.....
.....Hua Guo-rong,
Sha Bing-chun, Liu Yun-zhao..... (284)
21. Construction Technique of Stone Columns
..... Zhen Pei-cheng (302)
22. Loading Tests on Stabilized Ground with
Stone ColumnsMeng Guang-xun (324)
23. Correlation of Different Plate Loading
Test Results on Composite Ground.....
..... Meng Guang-xun (350)
24. Summary of Loading Tests on Stabilized

Backfill Grounds with Stone Columns...

.....Liu Li (362)

A Complete List of Papers Delivered to the

Conference (372)

振动水冲加固法总报告

盛 崇 文

(南京水利科学研究院)

这次会议共收到交流文章62篇, 水平报告1篇。62篇文章的分类如下:

- 1) 振冲法在砂土中的应用 16篇;
- 2) 振冲法在粘性土中的应用 16篇;
- 3) 加固机理和计算方法 12篇;
- 4) 施工机具和施工工艺 8篇;
- 5) 加固效果检验方法 10篇。

有些文章论述范围颇广, 涉及两个甚至两个以上的讨论题, 这里按它们主要的论题分类。

1. 在砂土中的应用

属于本类的文章多数为工程实录, 见表1。这些加固工程绝大多数是在八十年代进行的。加固目的主要是提高砂土的抗液化能力。由表1可见, 加固深度最大为10m, 全部用碎石桩或砂砾桩处理, 桩位布置多数采用三角形, 少数采用正方形, 桩距最小为1.41m, 最大为2m, 多数为1.5~1.8m。检验方法通常采用标准贯入试验和各种尺寸的载荷试验。在龙口电厂工程中已经应用较先进的波速法(王琬瑜等, 1983)。经加固后, 抗液化能力显著提高, 容许承载力成倍增加。在此顺便提一下, 笔者建议今后作者尽可能准确提供表1所示的各项数据。

表 1

工 程 实

序 号	工 程	地 点	年代	加固 目的	土 质	厚 度 (m)	加固前的 N
1	咸阳烤烟复烤厂	陕西咸阳市	1980	ΔL	饱和中细砂	7	4~6
2	金刚里东区 5号楼	山西太原市	1980	ΔL ΔR	饱和中细砂	>13	4.5
3	澄西船厂轮机 车间设备基础	江苏江阴县	1979	ΔR	吹填饱和 和粉细砂	7	5
4	龙口电厂	山东龙口镇	1983	ΔL	中粗砂(A) 砂壤土(B) 粗砂(C)	5~6.0 3	19.5 2.9 18.8
5	兴旺庄土坝	山东沂南县	1980	ΔL	中粗砂	6	2.5~4
6	大武口电厂	宁夏石咀山市	1982	ΔL ΔR	亚粘土 中细粗砂	2.8 >5	9~16
7	石津渠田庄电站	河北石家庄市	1980	ΔL ΔR	细砂 中砂	2 4	13 27
8	铜山水泥厂	江苏铜山县	1983	ΔL ΔR	饱和粉砂	15	6.5

符号说明: ΔL = 提高抗液化能力; ΔR = 提高承载力; SC = 设置碎石桩;
速度测试。

录 (砂土)

加固深度 (m)	桩位布置 与 间 距 (m)	柱数	填料量 (m ³ /m)	造 价 (元/m)	检 验 方法	加 固 效 果	文 献
7.5 (SC)	△2.0	718	0.42	11.36	SPT, LOT	8度烈度时 液化可能性已 消除, N提高 2~3倍	方文金等 (1980)
8.5 (SC)	△1.65	432	0.83	29.7 7.7 (用矿渣)	SPT, CPT	8度烈度时 液化可能性已 消除, N提高 3倍	郑永祥 (1981)
5.6~6 (SC)	□1.41	409		25.0	SPT, LOT	N提高3.8 ~8.6倍	杨 臻 (1979)
7 (SC)	□2.0 1.6	11628	0.6		SPT, N ₁₀ , CPT, LOT, v _s	B层R从14 增至34t/m ² , 液化可能性已 消除	丁晓瑜等 (1983)
6 (SC)	粗砂 △1.8~2 中砂 △1.5	358	0.51		SPT, CPT 探井 检验	D _r >0.7	李明阔 (1983)
8 (SC)	△1.5	8000			LOT	R = 30t/m ² , 液化可能性已 消除	陆加林 (1983) 高怀庆 (1983)
6 (SC)	△ d ₁ =1.8 d ₂ =1.6	522	0.64	43.76	SPT	R = 19t/m ² (大于要求的 18t/m ²), D _r = 0.76	王育人 (1983)
10~15 (SC)	△1.8	10236	0.63		LOT SPT	R已满足25t/ m ² 的设计要 求, 液化可能 性已消除	张鲁年等 (1983)

SPT = 标准贯入试验, CPT = 圆锥贯入试验, LOT = 载荷试验, v_s = 剪切波

对中细砂和粉质砂地基，单用振冲挤密法往往得不到满意的加固效果，这时必须在地基中制桩。实践表明，在粉质砂中采用填料比不用填料 N 值明显增大（郭乐群等，1979）。有人认为砂基中的碎石桩有良好的排水作用，它能使在地震循环荷载作用下产生的附加孔隙水压力边产生边迅速消散，从而制止液化的发生。但直到目前为止，还没有实测资料证实这一论点。

山东省已将振冲法应用于加固松散坝壳，这是一种创新。他们的主要经验是：

1) 振冲时振动加速度、孔隙水压力增长随振源距衰减极快，液化区是垂直向的圆柱体，影响范围很小（有效半径只有1m左右），在加固施工过程中不会出现大面积液化滑坡；

2) 宜用带上喷水口的振冲器，振冲时要分区自坡趾向坡顶进行，浸润线以上部位应泡水使之饱和；

3) 已经摸出一套水下加固的施工方法，诸如采用低振动力、小间距，在孔口预堆0.5~0.6m高的填料以增大覆盖压力、填料用输料管从水上直接送至孔口附近等等。（李明阁，1983；吴士宁，1983），他们还拟定了一个施工操作规程（顾大庭，1983）。

2. 在粘性土中的应用

有12篇文章提供了11个工程实录，见表2。这些加固工程多数也是在八十年代进行的。加固目的多数为提高地基的承载力，其次为减少地基的沉降量或差异沉降量。由表2可见，桩位布置多数采用三角形，少数采用正方形，间距最小为1.2m，最大为2.1m，多数为1.41~1.5m。桩长除太原市的一幢高层建筑为13m外，其余均不超过10m。桩径0.6~

0.97m; 每m桩长填料量 $0.5\sim 1.0\text{m}^3$ 。检验方法有单桩载荷试验和大型载荷试验(承压板面积 $2\sim 9\text{m}^2$)两种。经加固后,地基承载力显著增加,沉降量减小,差异沉降量和相对倾斜变小。

在软粘土中用振冲法制造碎石桩有一个令人担心的问题是会不会使原土的强度降低。表3为三项工程的实测结果。由表3可见,在制桩后一个短时间内原土的天然强度的确有所削弱,大约降低 $20\sim 30\%$,但经过一段时间休置,不仅强度会恢复至原来值,而且还略有提高(鲁宝洪,1983)。值得注意的是,对上海地区的那层厚3m左右的地表硬壳(具有准超压密特性的褐黄色亚粘土),在振冲后经一年零九个月的休置,十字板抗剪强度仍只有原来值的62%(张定,1983a)。淮北煤炭基地会战指挥部振冲试验小组曾请段光贤、甘德福两位教授对粘土、亚粘土、轻亚粘土在振冲前后的结构变化进行电镜摄片。他们发现振冲前,这些土的集粒或颗粒连接以点-点接触为主;振冲后不稳定的点-点接触遭到破坏,形成点-面和面-面接触,孔隙减少,孔洞明显变小或消失,颗粒变细,级配变佳,新形成的孔隙条有明显的规律性和方向性,从而土的结构趋于致密,稳定性增大。这里从微观方面证实了粘性土的强度在制桩后是会恢复并且会提高。

另一个在国内外有争议的问题是软粘土用碎石桩加固后能否减少地基的沉降量?通过近年来大量的工程实践,发现软基用碎石桩加固后沉降量的确有不同程度的减少,并且沉降稳定时间大大缩短。例如,天津市大港电厂两只大水箱,直径7.62m,高13m,贮水量500t。地面下深度10m范围内均为软弱粘性土,十字板抗剪强度为 $2.6\sim 3.7\text{t/m}^2$ 。用碎

表 2

工 程 实

序号	工 程	地点	年代	加固 目的	土 质	厚度 (m)	天然强度 S_v (t/m ²)	桩位布置 与 间距 (m)
1	临洪东排涝站	江 苏 东海县	1981	ΔR ∇S	淤 泥	3	2.31	Δ $d_1 = 1.25$ $d_2 = 1.08$
2	南京机务段扩 建 工 程	南京市	1980	ΔR	煤矸 2~4 软 土	0.3~ 2.3		按条形基 础 布 置 1.5~2.1
3	天津制革厂凉 皮 车 间	天津市	1982	ΔR	杂 填 土、 亚 粘 土	5.9		$\square 1.5$
4	西北电网总调 度 楼	西安市		ΔR	素填土、饱 和 黄 土 (亚 粘 土)	10		$\Delta 1.8$
5	社会福利院 老 人 住 宅	无锡县		ΔR	淤泥、轻亚 粘 土	>9		$\Delta 1.2 \sim$ 1.35
6	大港电厂大水箱	天津市	1981	ΔR ∇S	软 粘 土	10	3.2	Δ $d_1 = 2$ $d_2 = 1$
7	××高层建筑	太原市	1981	ΔR ΔL ∇S	亚粘土、轻 亚粘土互层	10		$\Delta 1.5$
8	五层住宅楼	武汉市	1981	ΔR	杂 填 土、 淤 泥	5	2.6	$\square 1.5$
9	南京上元门水 厂 滤 池	南京市	1980	∇dS	素填土、淤 泥质亚粘土	>20	3.38	$\Delta 1.5$
10	天生港电厂	江 苏 南通市	1978	ΔR ∇S ∇dS	轻亚粘土、 粉砂夹砾层 亚 粘 土	6.5		Δ $d_1 = 2$ $d_2 = 1$
11	无锡染料厂 六层住宅和冷 作 车 间	江 苏 无锡市	1982	ΔR ∇dS	杂填土、淤 泥质亚粘土	5		$\Delta 1.2$

符号说明： ∇S = 减少沉降量， ∇dS = 减少差异沉降量， A = 载荷试验中