

第十届中国国际桩与深基础峰会

上海地区预制桩植桩技术研究与应

吴 江 斌



华东建筑设计研究院有限公司

EAST CHINA ARCHITECTURAL DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO.,LTD

2020.10.13 上海

目 录

1 预制桩植桩技术概述

2 静钻根植桩承载特性现场试验研究

3 水泥土性状及桩土界面特性试验研究

4 静钻根植桩承载变形计算与分析方法

5 工程应用

钻孔灌注桩 特点及存在的问题

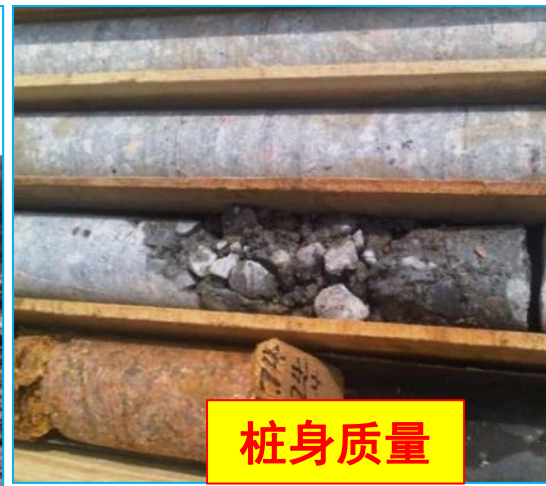
- 适用范围广，承载力取值灵活
- 施工质量控制要求高，存在扩径、缩径、沉渣等问题
- 桩身强度较低，C30~C45
- 泥浆排放量大



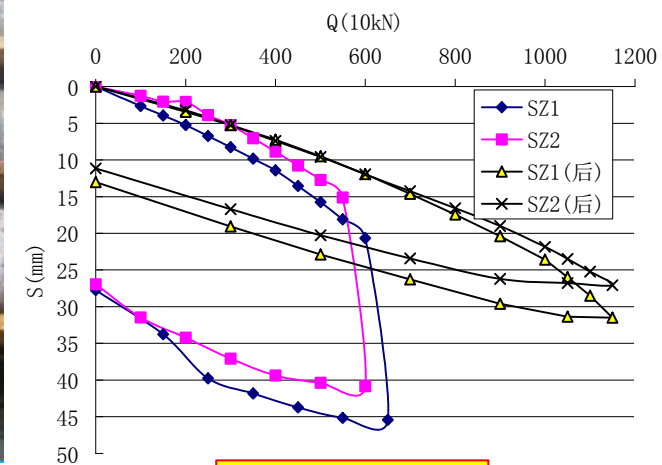
泥浆排放



文明施工



桩身质量



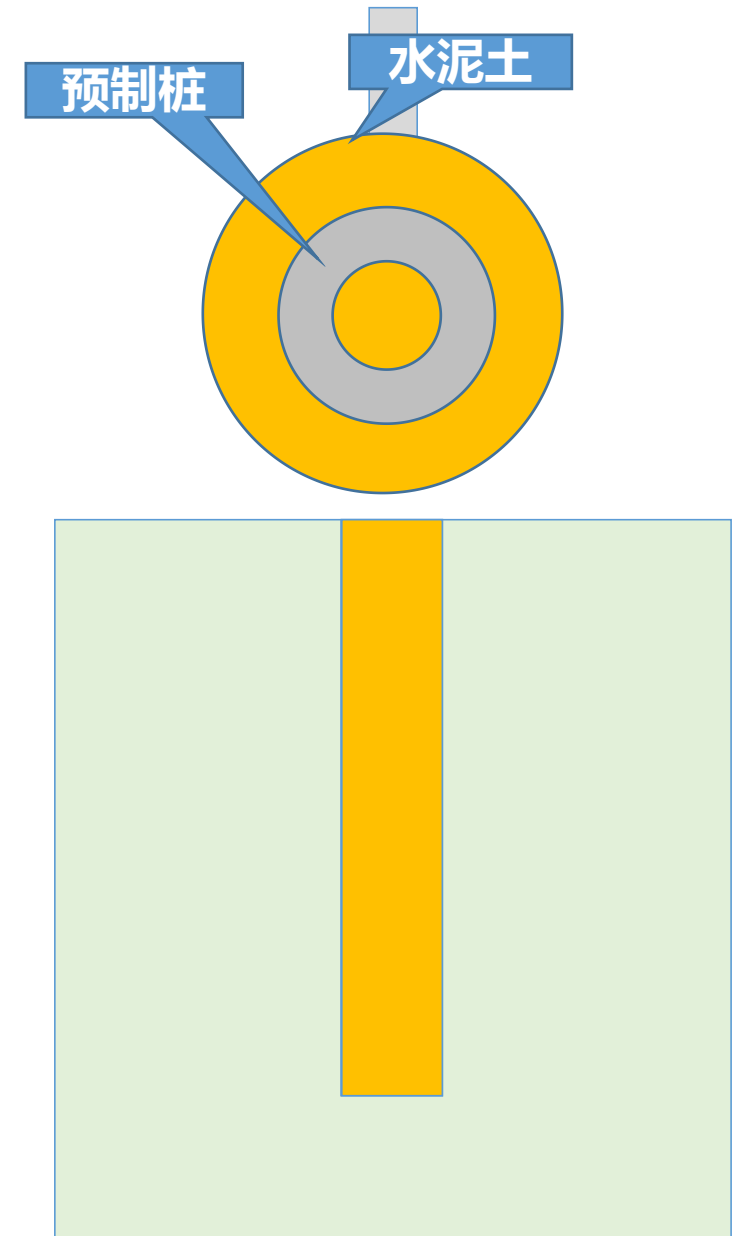
沉渣控制

- 工业化生产、施工机械化程度高
- 符合设计标准化、构件部品化、施工机械化为特征的建筑工业化的发展
- 桩身混凝土强度高达到C80以上，单位承载力造价低
- 当前主要采用锤击或静压工法施工，存在挤土效应，且锤击噪音大，限制了其在砂层较厚地层、中心城区、邻近地铁等敏感环境区域的应用



- 先采用专用钻机进行钻进取土或搅拌注浆
- 静压、锤击或仅靠桩身自重将预制桩植入钻孔内，水泥土固化后形成水泥土包裹刚性桩体的植入桩

- 承载力可靠、环境影响小、节能降耗
- 解决传统预制桩在硬土层、中心城区施工难题
- 解决传统泥浆护壁灌注桩孔壁坍塌、沉渣控制、泥浆排放施工难题



行业 标准

UDC 中华人民共和国行业标准 JGJ P JGJ/T 327-2014 备案号 J1741-2014	UDC 中华人民共和国行业标准 JGJ P JGJ/T 330-2014 备案号 J 1806-2014	UDC 中华人民共和国行业标准 JGJ P JGJ/T 406-2017 备案号 J 2397-2017
劲性复合桩技术规程 Technical specification for strength composite piles	水泥土复合管桩基础技术规程 Technical specification for pile foundation of pipe pile embedded in cement soil	预应力混凝土管桩技术标准 Technical standard for prestressed concrete pipe pile
2014-02-28 发布 2014-10-01 实施 中华人民共和国住房和城乡建设部 发布	2014-04-16 发布 2014-10-01 实施 中华人民共和国住房和城乡建设部 发布	2017-08-23 发布 2018-02-01 实施 中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

地 方 标 准

河北省工程建设标准 DB DB13(J) 50—2005 混凝土芯水泥土组合桩复合地基技术规程 Technical specification for composite foundation of SDM pile 河北 2005-07-18发布 2005-07-18实施 河北省建设厅 发布	山东省工程建设标准 DB DBJ 14-080-2011 J11880-2011 管桩水泥土复合基桩技术规程 Technical specification for composite pile made up of jet-mixing cement and PHC 山东 2011-08-01 发布 2011-10-01 实施 山东省住房和城乡建设厅 发布	备案号: J 13735-2017 浙江省工程建设标准 DB DB 33/T 1134-2017 静钻根植桩基础技术规程 Technical specification for pre-bored precast concrete pile foundation 浙江 2017-01-22 发布 2017-07-01 施行 浙江省住房和城乡建设厅 发布
---	---	--

■ 承载力取混凝土管桩与水泥土，以及水泥土与土之间的小值

水泥土-土界面： $Q_{uk} = U \sum q_{sik} L_i + q_{pk} A_L$

管桩-水泥土界面： $Q_{uk} = u_p q_{sk} l$

$$q_{sk} = \eta f_{cu} \xi$$

q_{sik} 可取**泥浆护壁钻孔桩极限侧阻力标准值的1.5倍~1.6倍**；

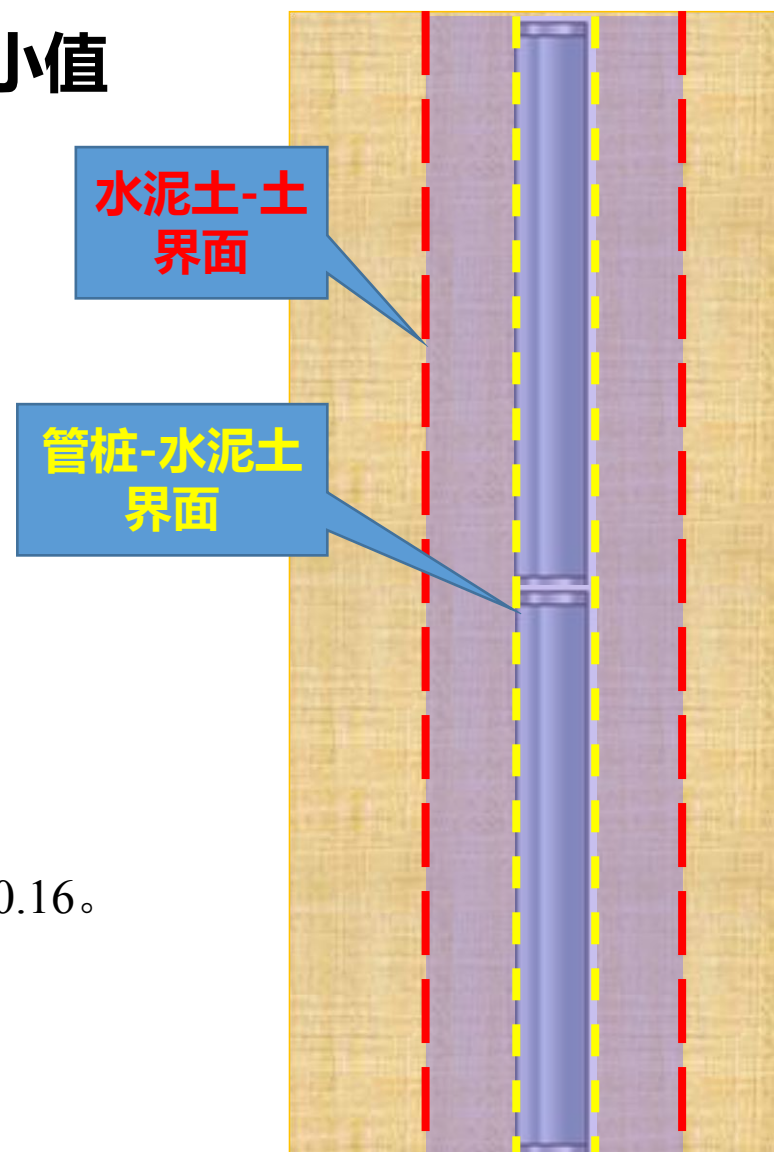
q_{pk} 可取泥浆护壁钻孔桩端阻力标准值；

q_{sk} 管桩—水泥土界面极限侧阻力标准值；

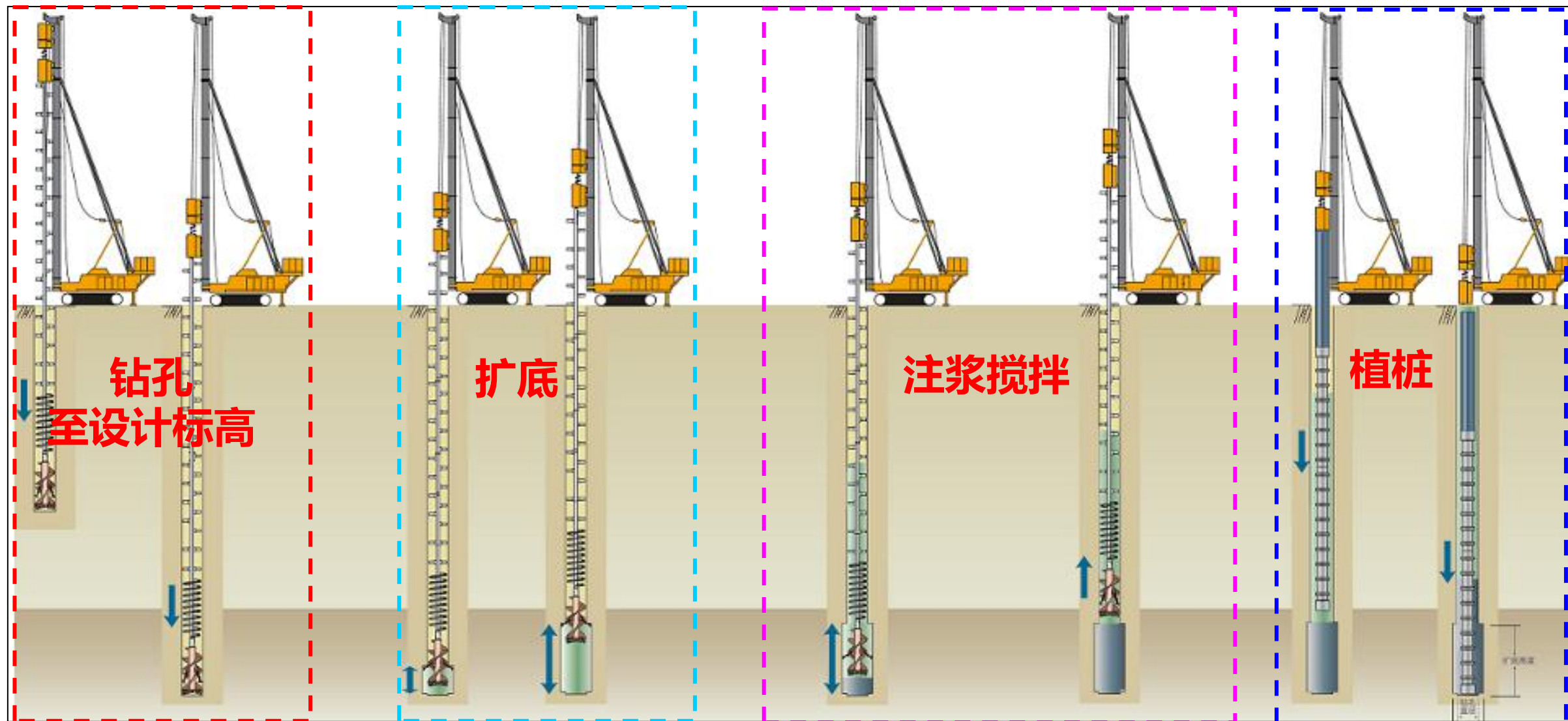
η 桩身水泥土强度折减系数，可取0.33；

f_{cu} 28d龄期的立方体抗压强度平均值；

ξ 极限侧阻力标准值与对应位置水泥土立方体抗压强度平均值之比，可取0.16。

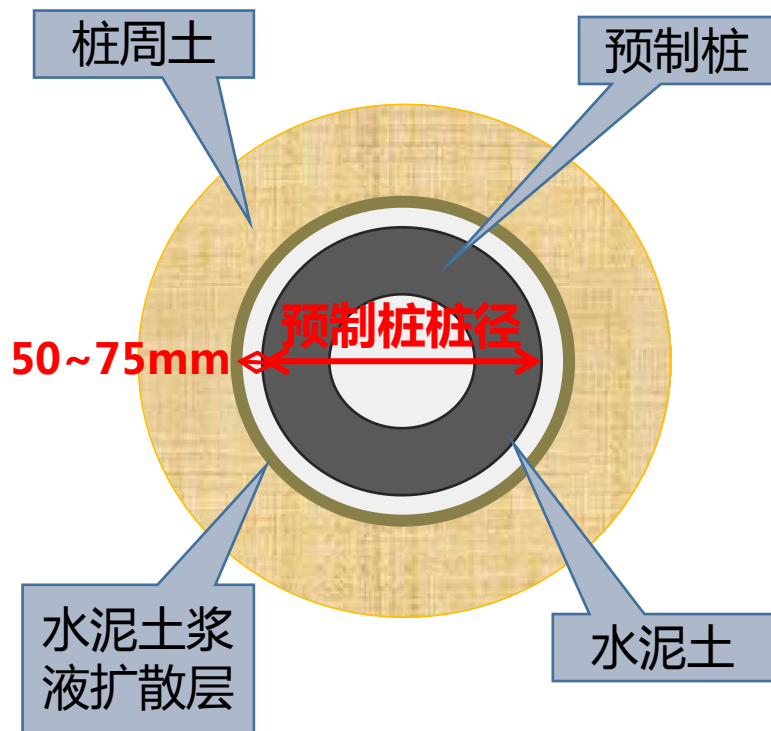


静钻根植桩主要施工流程

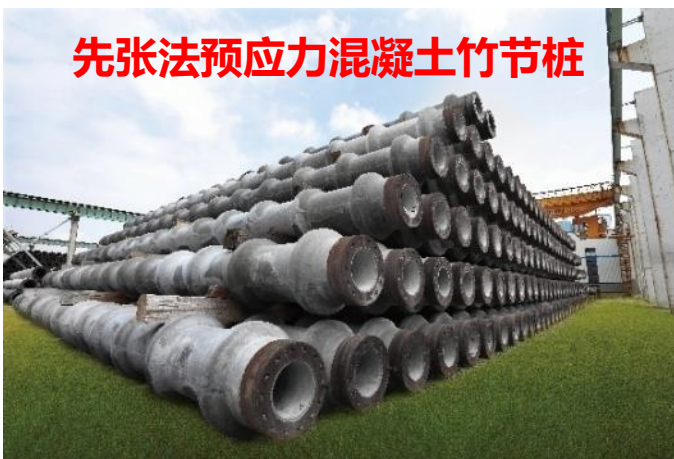
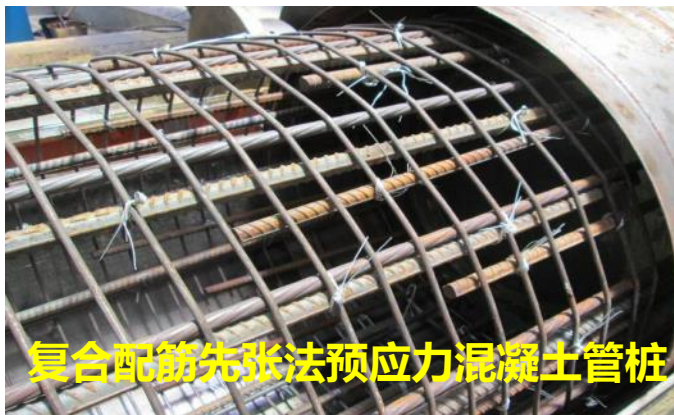


静钻根植桩技术特点

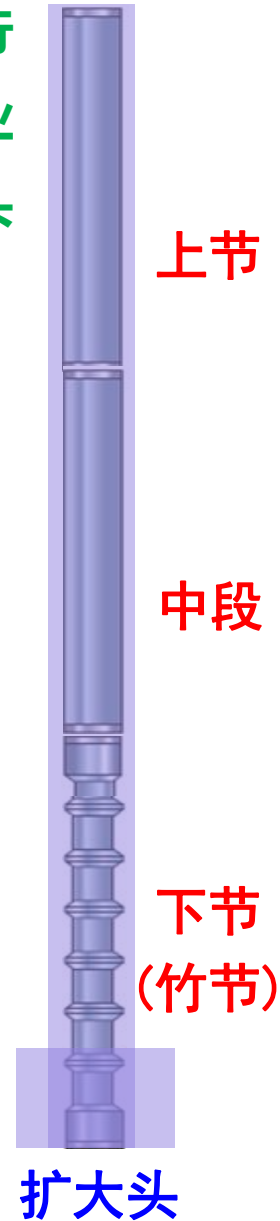
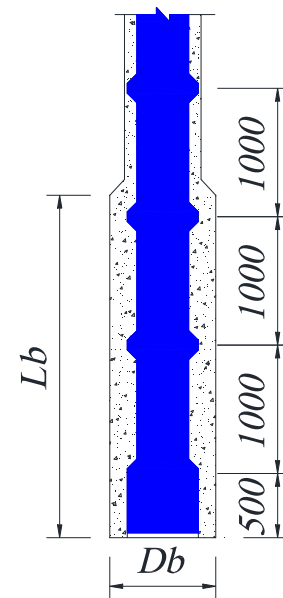
- 水泥土直径与预制桩桩径接近，水泥用量少
- 成桩深度可达80m，成桩过程中挤土效应小，泥浆排放少



- 下节采用竹节桩，提高桩土握裹力，节省材料用量
- 可采用复合配筋管桩，提高桩身水平承载力、延性、抗震性能



- 搅拌钻机可进行扩孔和注浆作业
- 桩端形成扩大头提高承载力



- 已在上海软土地区工程中得到逐步应用
- 采用现场试验、室内试验、数值模拟和理论分析相结合的手段，对上海地区静钻根植桩的承载特性与计算分析方法开展了较系统的研究
 - 极限载荷试验及桩身内力测试：承载变形性状
 - 水泥土现场及室内试验：水泥土性状及接触界面特性
 - 三维数值模拟：细观角度的承载特性，影响承载性能的主要因素
 - 承载变形计算方法及承载力简化计算方法

1 预制桩植桩技术概述

2 **静钻根植桩承载特性现场试验研究**

3 水泥土性状及界面特性试验研究

4 静钻根植桩承载变形计算与分析方法

5 工程应用

■ 以上海地区5个项目为背景工程，开展了近20根静钻根植桩的现场抗压、抗拔试桩承载力荷载试验

- 具有典型的上海地层
- 桩长33~62m，桩径500~800mm
- 预制桩组合形式包含PHC桩、PRHC桩及PHDC桩组合形式
- 现场荷载试验的极限承载力均满足设计要求
- 丰富试桩成果验证了静钻根植桩在上海软土地层的适用性

抗压桩试桩

项目名称	试桩编号	试桩桩长/m	孔径/mm	预制桩径/mm	桩基持力层	最大加载/kN	最大变形/mm	极限荷载/kN	极限变形/mm
虹口区彩虹湾医院	S1-1	55	750	650	⑧ ₂ 砂质粉土和粉质黏土互层	10000	73.50	8800	36.70
	S1-2	55	750	650		9600	81.90	8800	35.70
	S1-3	55	750	650		8000	24.00	>8000	24.00
徐家汇体育中心	YSZ1-1	47	650	550	⑤ ₃ 粉质黏土	3700	25.33	>3700	25.33
	YSZ1-2	47	650	550		3885	22.55	>3885	22.55
	YSZ2-1	33	650	550	⑤ ₃ 粉质黏土	2880	37.35	>2880	30.94
	YSZ2-2	33	650	550		2880	23.98	2790	20.90
	YSZ2-3	33	650	550		2880	19.36	2790	19.36
S26 高架桥	S1	62	900	800	⑦ ₂ 粉砂	11600	45.75	>11600	45.75
	S2	35	750	650	⑦ ₂ 粉砂	6780	120.00	6102	41.93
杨浦区控江中学	36#	31	650	550	⑤ ₃ 粉质黏土	2500	15.19	>2500	15.19
	101#	31	650	550		2500	25.52	>2500	25.52
	125#	31	650	550		2500	10.88	>2500	10.88
中船柴油机生产基地	A-04C-76	53	750	650	⑦ ₂ 粉砂	6500	21.30	>2500	21.30
	B-21C-57	53	750	650		6500	23.49	>2500	23.49
	B-21C-73	53	750	650		6500	18.19	>2500	18.19

抗拔桩试桩

项目名称	试桩编号	试桩桩长/m	孔径/mm	预制桩径/mm	桩端土层	最大加载/kN	最大变形/mm	极限荷载/kN	极限变形/mm
虹口区彩虹湾医院	S2-1	43	650	550	⑦黏质粉土	3060	88.70	2880	59.00
	S2-2	43	650	550		3000	38.20	>3000	38.20
	S2-3	43	650	550		3000	37.30	>3000	37.30
徐家汇体育中心	BSZ2-1	33	650	550	⑤ ₃ 粉质黏土	1688	103.47	1620	16.03
	BSZ2-2	33	650	550		1756	102.87	1350	27.56
	BSZ2-3	33	650	550		1688	100.24	1553	10.52

场地地层条件

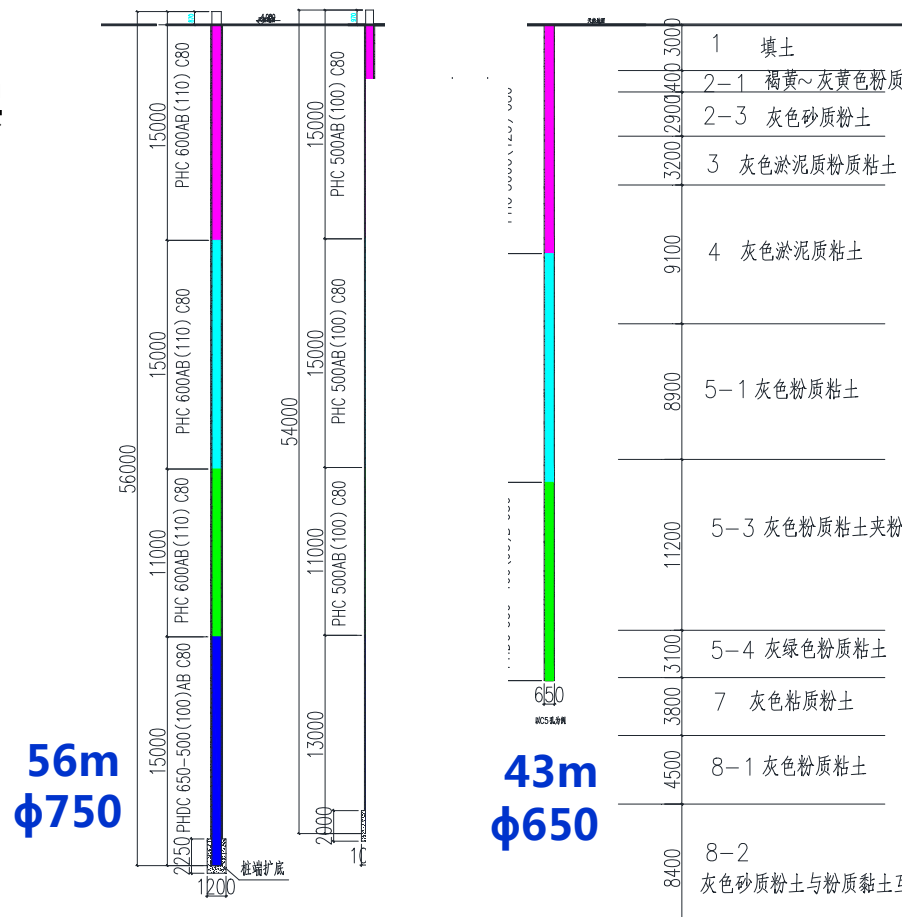
- 场地90m 深度范围内主要为软弱黏性土、粉土及砂土
- 桩基主要持力层为⑦粉土和⑧₂砂质粉土与粉质黏土互层

场地土层参数表

土层名称	γ /kN/m ³	c /kPa	ϕ /°	q_{sik} (q_{pk}) /kPa	P_s /MPa
② ₁ 粉质黏土	18.5	18	19.5	15	0.65
② ₃ 砂质粉土	18.9	5	32.0	15	2.75
③ 淤泥质粉质黏土	17.6	12	17.5	15	0.46
④ 淤泥质黏土	16.7	10	11.5	25	0.61
⑤ ₁ 粉质黏土	18.2	15	19.5	40	1.04
⑤ ₃ 粉质黏土	18.2	16	21.0	55	1.63
⑤ ₄ 粉质黏土	19.7	40	20.0	65	2.13
⑦ 黏质粉土	19.3	6	31.5	65	4.28
⑧ ₁ 粉质黏土	18.4	19	20.5	60	2.01
⑧ ₂ 砂质粉土和粉质黏土互层	18.7	12	26.5	80 (3500)	7.04
⑨ 粉砂	19.0	3	35.0	110 (8500)	15.21

S1 (承压)

S2 (抗拔\非扩底)



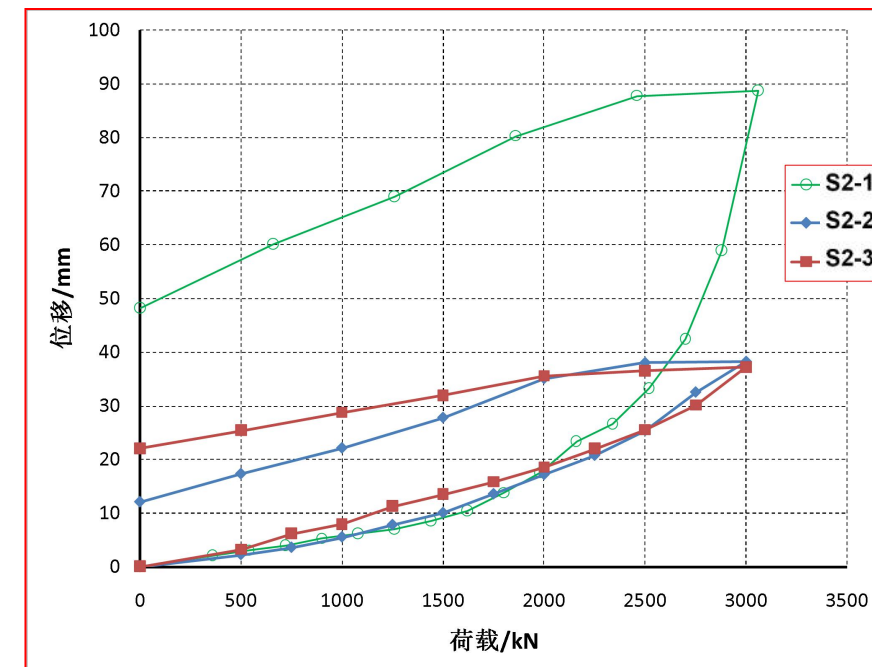
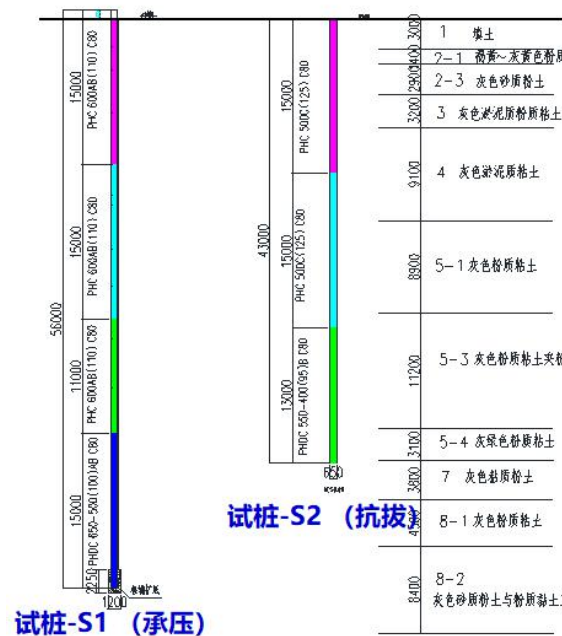
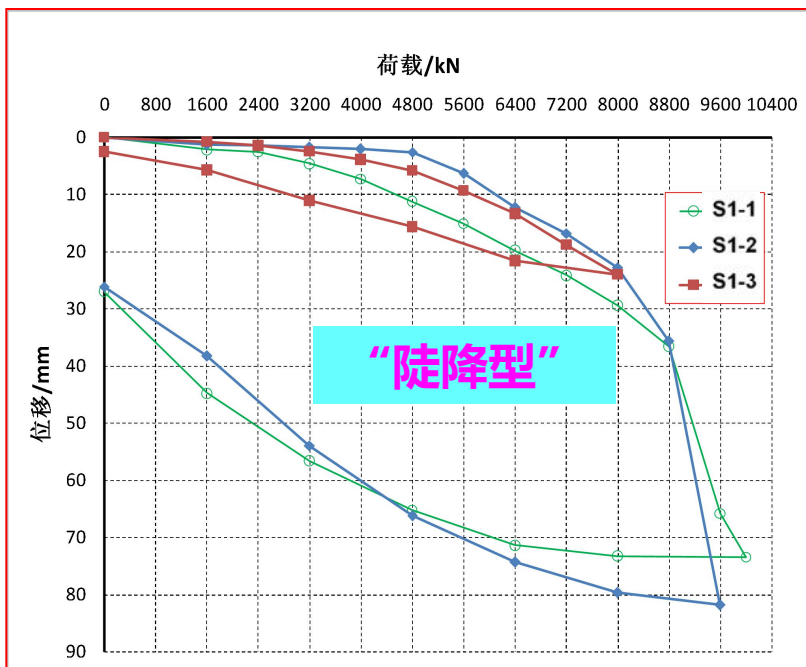
分组	桩数	配桩形式	桩长 /m	最大加载 /kN	备注
试桩S1	3	PHC600 (15、15、11) PHDC650 (15)	56	10000	扩底
试桩S2 (抗拔)	3	PHC500 (15、15) PHDC550 (13)	43	3060	非扩底

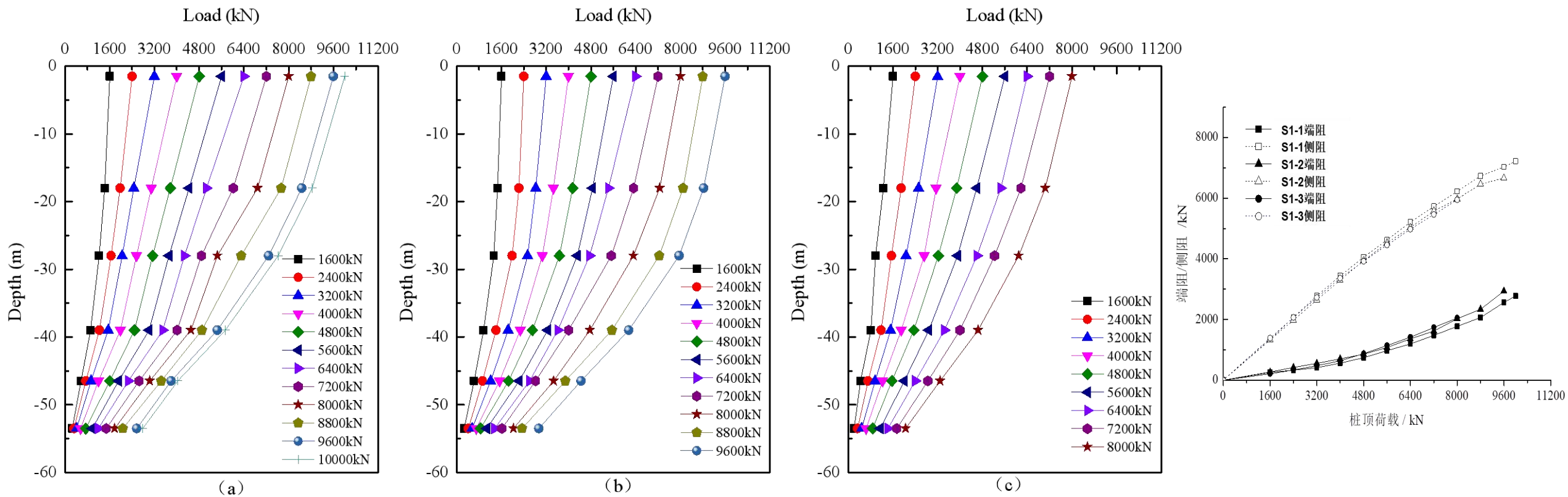
试桩S1

- S1-1、S1-2加载至极限状态，荷载位移曲线出现“陡降”现象。最大加载值9600kN~10000kN
- S1-3加载至8000kN时，桩顶出现偏斜，未继续加载
- 试桩荷载试验取极限承载力8500kN，比计算极限承载力6700kN提高约26.9%

试桩S2

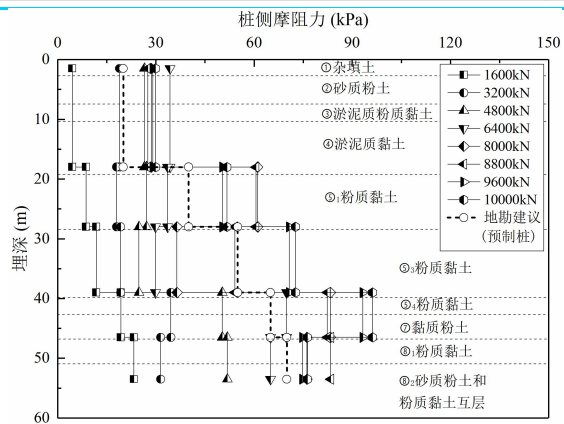
- S2-1在加载至2960kN后，桩顶上拔变形较大。S2-2、S2-3在加载至3060kN后，荷载位移曲线依旧呈缓变型，停止加载
- 试桩荷载试验极限承载力取2960kN，比计算极限承载力2000kN提高约48%



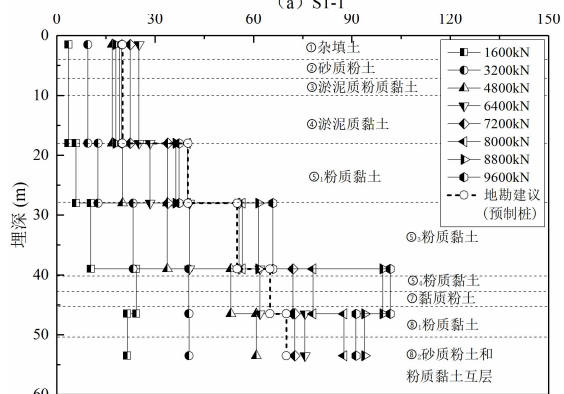


- 试桩S1的3根试桩桩身轴力曲线规律相似，在加载初期，桩身轴力就可以直接传递到桩端
- 极限荷载下，桩端阻力（近似整个扩大头能力）占总荷载约25%（23.5-26.6%）

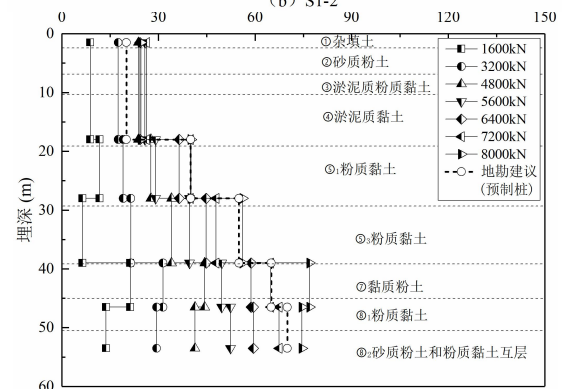
试桩试验 试桩S1侧阻力分析



(a) S1-1



(b) S1-2



(a) S1-3

土层序号	实测桩侧摩阻力极限值/ kPa				勘察报告/kPa		上海地基规范取值 /kPa	
	S2-1	S2-2	S2-3	平均	预制桩	灌注桩	预制桩	灌注桩
②-④	34	25	26	28.3	20	17	15~40	15~30
⑤ ₁	61	40	40	47.0	40	30	45~65	40~55
⑤ ₃	73	66	56	65.0	55	45	50~70	45~60
⑤ ₄	96	102	/	99.0	65	50	70~100	60~80
⑦	96	102	/	99.0	65	55	70~100	55~75
⑧ ₁ -⑧ ₂	83	94	/	88.5	60	50	55~80	50~75

- 中上部土层侧摩阻力与规范**预制桩**侧摩阻力**上限值**较接近
- 下部土层的侧摩阻力较规范**预制桩**侧摩阻力**上限值**提高约**14~28%**
- 扩底附近桩身侧摩阻力发挥值较大

1 预制桩植桩技术概述

2 静钻根植桩承载特性现场试验研究

3 水泥土性状及界面特性试验研究

4 静钻根植桩承载变形计算与分析方法

5 工程应用

试成孔 K 1

- 水泥土龄期**48天**
- 总体桩身水泥土无侧限抗压强度较稳定，约**2.4MPa**
- 水泥土黏聚力**350~700 kPa**，内摩擦角 **37°~45°**

土层	取样深度 /m	无侧限抗压强度 /MPa	剪切强度	
			内聚力/kPa	内摩擦角/°
②3砂质粉土	5	1.72	434	45.5
③淤泥质粉质黏土	9	4.44		
④淤泥质黏土	15	2.43	520	43.1
⑤1粉质黏土	23	2.67		
⑤3粉质黏土夹粉土	34	2.22	731	44.5
⑤4粉质黏土	41	2.22		
⑦黏质粉土	43	2.25		
⑧1粉质黏土	47	2.07	342	37.2
⑧2砂质粉土与粉质黏土互层	54	1.88	571	42.2
平均值		2.43	520	42.5

试桩S1-3(开挖阶段)补充测试

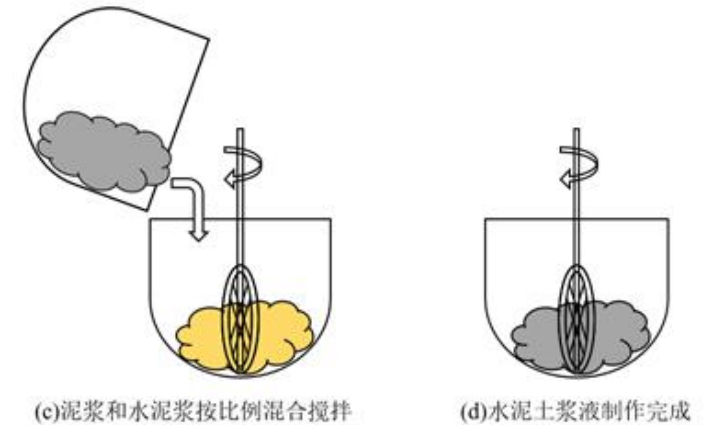
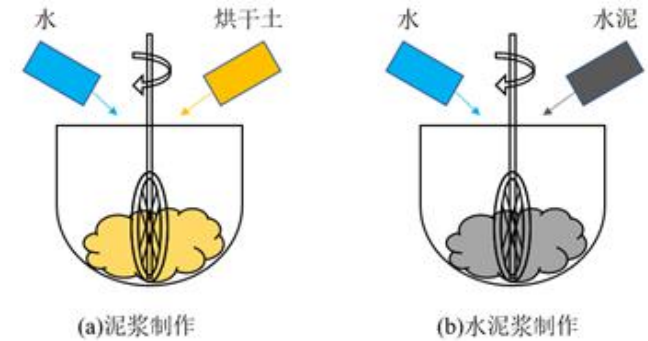
- 水泥土龄期**425天**
- 补充测试水泥土质量较好，约**4MPa**；**考虑龄期影响，与试成孔K1测试结果较一致**
- 在4层淤泥质黏土，**桩周与桩芯水泥土强度相近**

土层	取样深度 /m	无侧限抗压强度		桩芯剪切强度	
		桩芯/MPa	桩周/MPa	内聚力/kPa	内摩擦角 /°
④淤泥质黏土	19	4.39	3.59	429	44.4
⑤1粉质粘土	23	3.93			
	27	3.82		377	46.4

水泥土室内配比试验

- 模拟施工过程，扩大头**高掺入比**水泥土，桩身**低掺入比**水泥土
- 土质：上海典型土层⑤层粉质黏土、⑦层粉砂
- 水泥：P·O42.5普通硅酸盐水泥
- 每个配比制**3个平行样**，测试结果取其**平均值**
- 测试时间：**龄期28d**

类型	试样编组	土样	水泥浆水灰比	泥浆含水率/%	体积比 (水泥浆: 泥浆)	试验
高掺入比水泥土	CS1	粉质黏土	0.6	90.1	1: 1	抗压
	CS2		0.6	90.1	1.5: 1	抗压、劈裂、剪切
	CS3		0.6	90.1	2: 1	抗压
	CS4	粉砂	0.6	88.5	1: 1	抗压
	CS5		0.6	88.5	1.5: 1	抗压、劈裂、剪切
	CS6		0.6	88.5	2: 1	抗压
低掺入比水泥土	CS7	粉质黏土	1.0	90.1	0.15: 1	抗压
	CS8		1.0	90.1	0.3: 1	抗压、劈裂、剪切
	CS9		1.0	90.1	0.6: 1	抗压
	CS10	粉砂	1.0	88.5	0.15: 1	抗压
	CS11		1.0	88.5	0.3: 1	抗压、劈裂、剪切
	CS12		1.0	88.5	0.6: 1	抗压



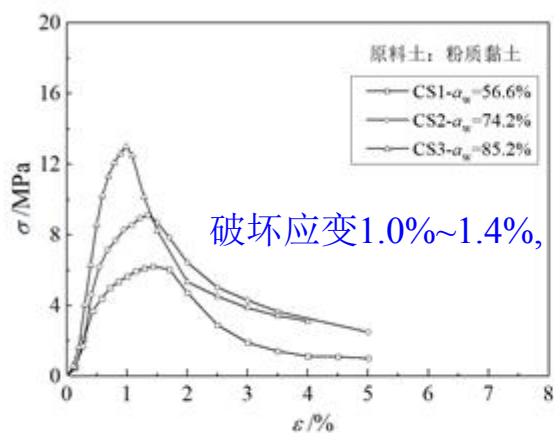
水泥土浆液制备流程示意图



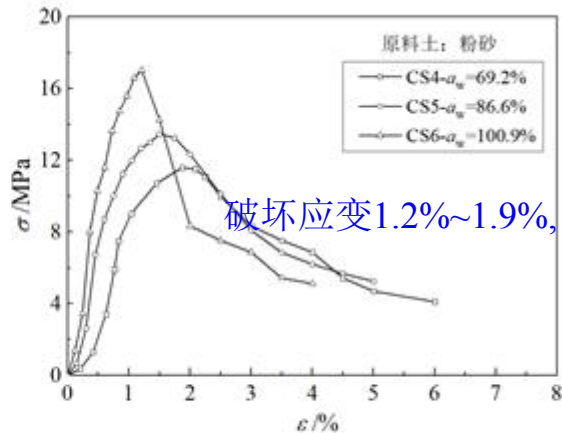
吊带法制样

试样编号	土质	体积比 (水泥浆: 泥浆)	无侧限抗压强度 q_u / MPa	变形模量 E_{50} / MPa	E_{50}/q_u	抗拉强度 σ_t / MPa
CS1	粉质黏土	1: 1	6.22	862	139	/
CS2		1.5: 1	9.12	1149	126	0.71
CS3		2: 1	12.70	1745	137	/
CS4	粉砂	1: 1	11.60	901	78	/
CS5		1.5: 1	13.46	1496	111	1.09
CS6		2: 1	17.02	2206	130	/
CS7	粉质黏土	0.15: 1	0.52	75	144	/
CS8		0.3: 1	1.42	143	101	0.17
CS9		0.6: 1	2.73	235	86	/
CS10	粉砂	0.15: 1	0.93	65	70	/
CS11		0.3: 1	2.18	159	73	0.21
CS12		0.6: 1	4.57	300	66	/

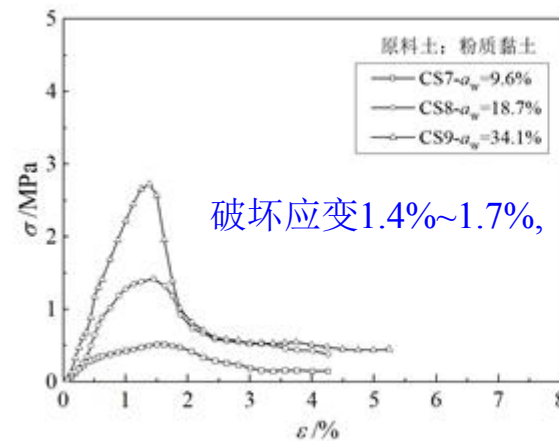
- 水泥土强度指标均随着掺入比的提高而增大；相同掺入比条件下，土质为粉砂的水泥土强度一般高于粉质黏土
- 模拟扩大头施工工艺（水泥浆和泥浆的体积比为1~2），土质为粉质黏土的水泥土 q_u 约为6~12MPa，土质为粉砂的水泥土 q_u 约为12~17MPa
- 模拟桩周水泥土施工工艺（水泥浆和泥浆的体积比为0.15~0.60），土质为粉质黏土的水泥土 q_u 约为0.5~2.7MPa，土质为粉砂的水泥土 q_u 约为0.9~4.6MPa
- 劈裂抗拉强度 $\sigma_t = (8\sim 12\%) q_u$



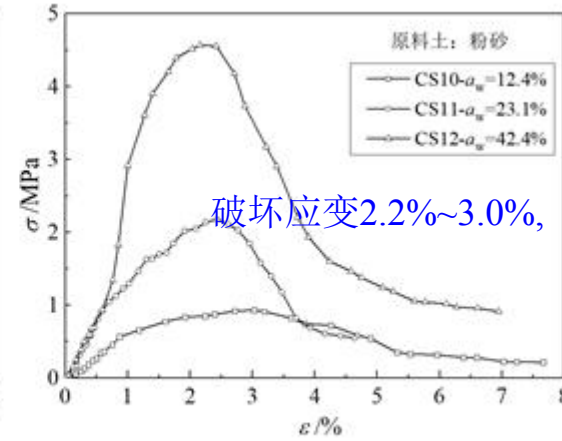
(a) 高掺入比水泥土-粉质黏土



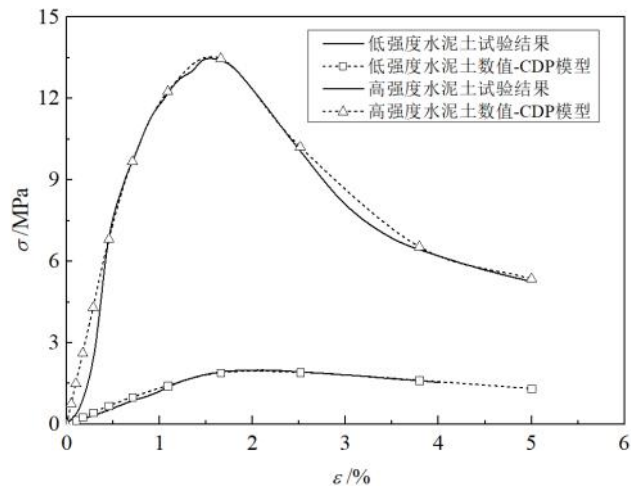
(b) 高掺入比水泥土-粉砂



(c) 低掺入比水泥土-粉质黏土



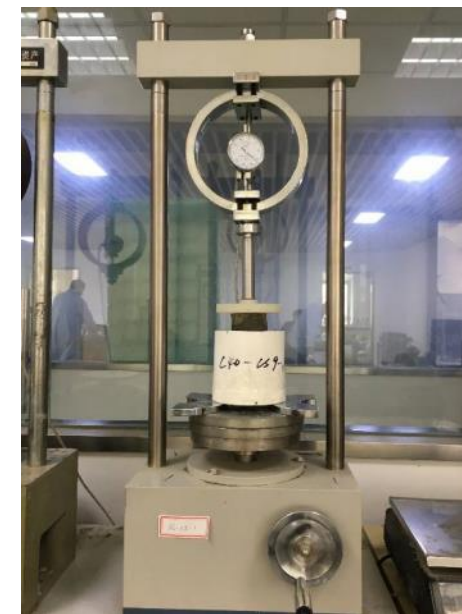
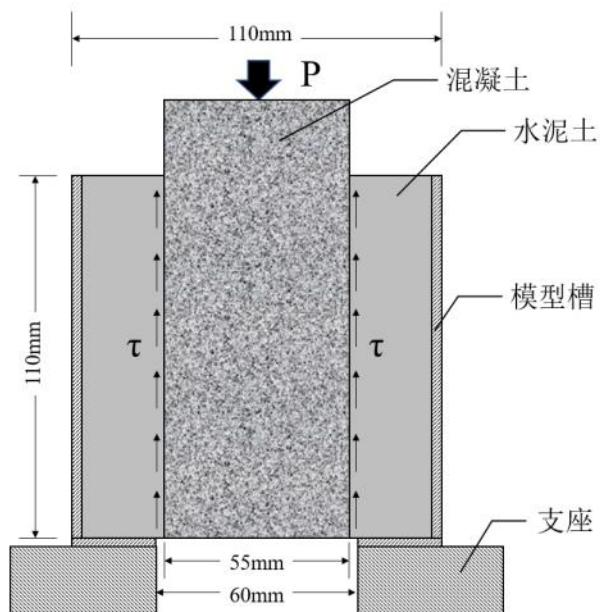
(d) 低掺入比水泥土-粉砂



CDP模型

- 随着水泥掺量的增加，水泥土由塑性向脆性发展，破坏应变 ϵ_u 逐渐减小
- 粉砂水泥土 ϵ_u 约为1.2~3.0%，粉质黏土水泥土 ϵ_u 约为1.0~1.7%，明显高于一般混凝土的破坏应变0.2%，其应力应变性质介于土与混凝土之间。
- 混凝土损伤塑性模型（CDP模型）可以较好地描述水泥土的应力-应变特征

混凝土-水泥土界面模型试验

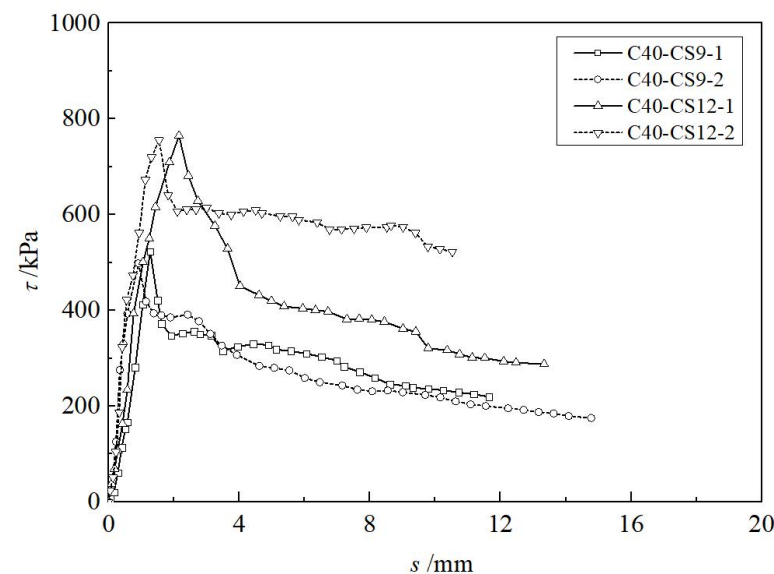
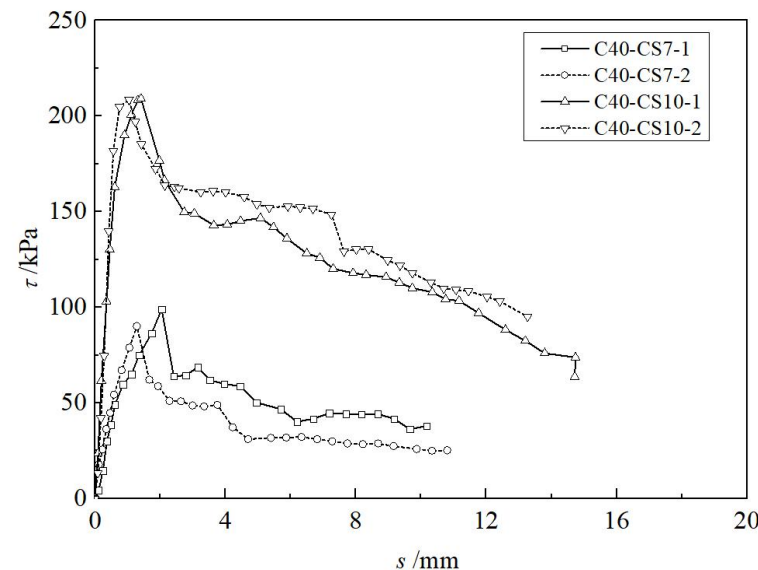


界面编号	土质	水泥土配比 ($V_{\text{水泥浆}} : V_{\text{泥浆}}$)	水泥土外径 /mm	桩外径 /mm	桩高度 /mm	有效试验高度 /mm
C40-CS7-1	粉质黏土	0.15: 1	104	56.0	130	99.4
C40-CS7-2			104	55.8	130	93.9
C40-CS9-1		0.6: 1	104	56.2	130	93.4
C40-CS9-2			104	55.3	130	92.5
C40-CS10-1	粉砂	0.15: 1	104	55.5	130	81.1
C40-CS10-2			104	55.7	130	76.4
C40-CS12-1		0.6: 1	104	55.2	130	76.9
C40-CS12-2			104	55.0	130	75.1

每个配比制2个平行样，取2个样的平均值作为该组试件的代表强度

混凝土-水泥土界面模型试验

- 每组2个平行样的差值均在10%以内，结果可靠
- 当水泥土 q_u 为522~4572kPa，混凝土-水泥土界面剪切强度 τ_u 为**94.5~270kPa**，随着水泥土强度的提高和增大， τ_u/q_u 为**0.167~0.224**，均值**0.193**。
- 在上海地层中，混凝土-水泥土界面获得较高的强度，在目前桩身结构水泥土直径小于1.3倍预制桩直径的条件下，**破坏更可能发生在外部水泥土-桩周土的界面**



土质	水泥土配比 ($V_{\text{水泥浆}} : V_{\text{泥浆}}$)	界面剪切强度 τ_u /kPa	τ_u 均值 /kPa	水泥土强度 q_u /kPa	τ_u/q_u
粉质黏土	0.15: 1	99	94.5	524	0.189
		90			
	0.6: 1	523	510.5		
		498			
粉砂	0.15: 1	209	209.0	933	0.224
		209			
	0.6: 1	765	760.0		
		755			

1 预制桩植桩技术概述

2 静钻根植桩承载特性现场试验研究

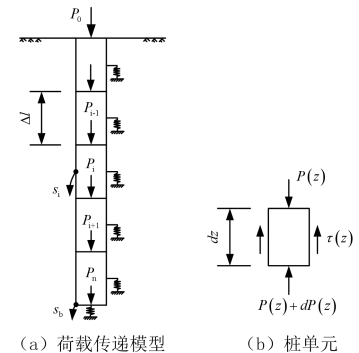
3 水泥土性状及界面特性试验研究

4 静钻根植桩承载变形计算与分析方法

5 工程应用

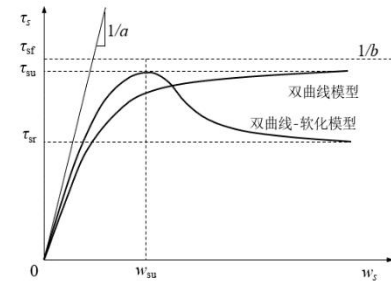
- 静钻根植桩桩身结构复杂
- 在横向上，桩土体系是预制桩、水泥土、桩周土性质渐进弱化的过程
- 在纵向上，预制桩结构形态及刚度上下不一致

采用**变形协调法**求解荷载传递，可以很方便地考虑土体的分层性和非线性以及桩身结构的复杂性



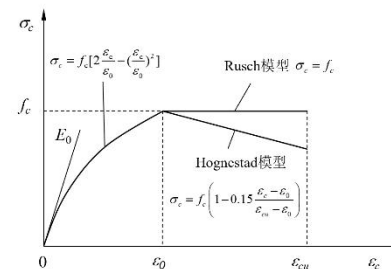
- 现场试验表明，静钻根植桩桩侧摩阻力表现出软化特性

侧阻双曲线-软化模型



- 上海典型地层的限制，桩基持力层位于标准层⑦层粉砂以上时，桩长一般大于40m，承载力高
- 静钻根植桩中预制桩桩身截面积小于同桩径的钻孔灌注桩，在相同的加载条件下，桩身压缩量也将明显高于钻孔灌注桩

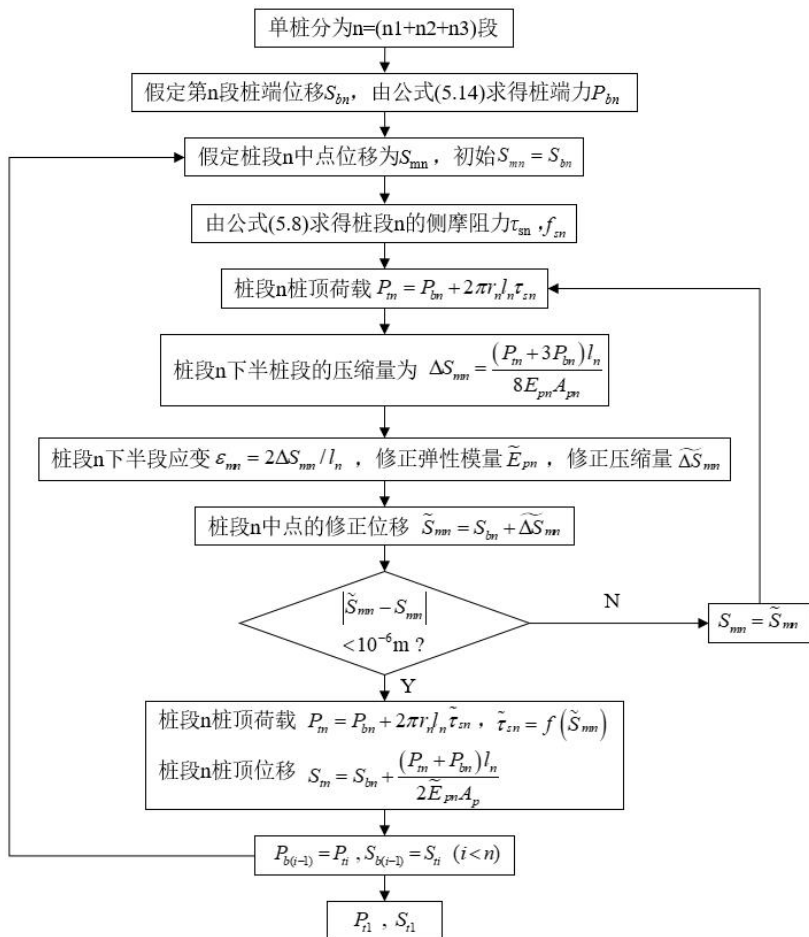
混凝土非线性



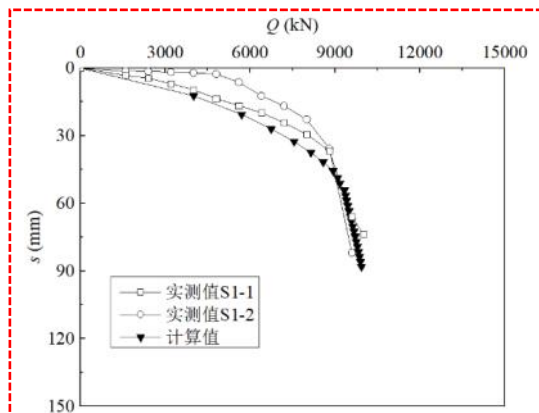
- 桩周水泥土与扩大头水泥土性质差异

桩周双层应力传递
扩大头作为整体受力

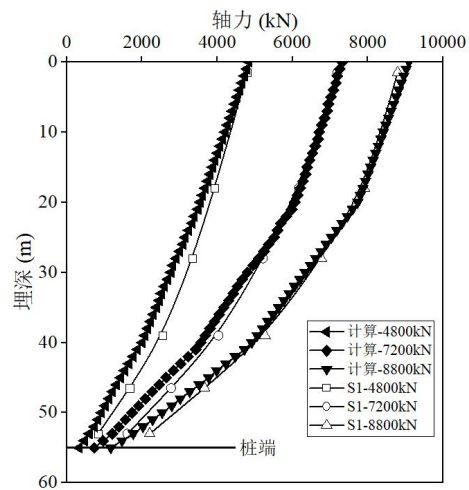
算例验证



计算流程

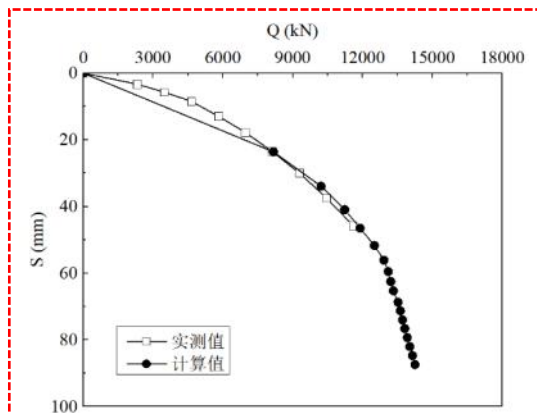


Q-s

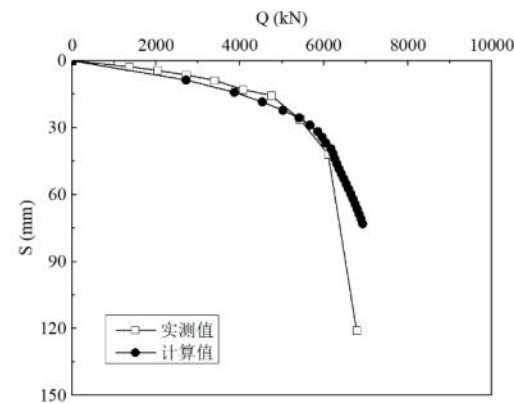


轴力

上海彩虹湾医院试桩

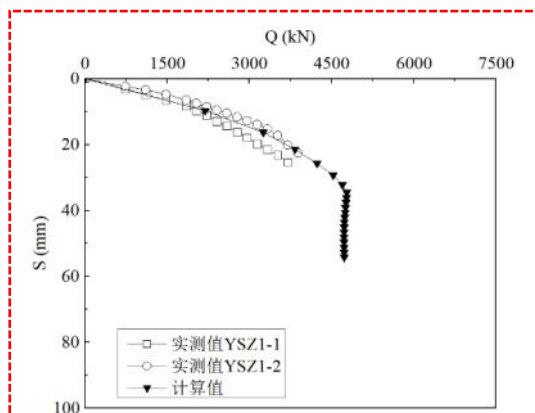


S1-62m

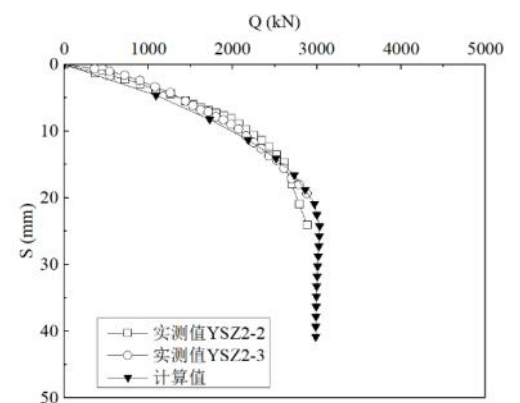


S2-35m

上海S26高架桥项目



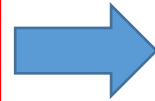
YSZ1-47m



YSZ2-33m

上海徐家汇体育中心项目

- 在日本，植入桩的承载力一般采用原位测试手段进行估算，其侧阻与端阻计算均取预制桩直径，通过大量现场载荷试验数据得到侧阻和端阻经验参数
- 上海地区，单桥静力触探试验几乎成为绝大数工程首选的原位测试手段，具有广泛的工程及应用基础
- 静力触探与压（打）入预制桩的贯入机理相似，在上海地区采用静力触探手段估算预制桩承载力积累了丰富的工程经验，其可靠性较高



借鉴日本植入桩的承载力计算思路，基于上海地区常用的单桥静力触探原位测试，提出实用的静钻根植桩承载力简化计算方法：

$$Q_u = Q_s + Q_p = U_p \sum \eta_i f_{si} l_i + \alpha_b p_{sb} A_p$$

f_{si} 为用静力触探比贯入阻力估算的各土层的极限摩阻力(kPa)

p_{sb} 为桩端附近的静力触探比贯入阻力平均值(kPa)

U_p 为静钻根植桩桩身有效周长

l_i 为桩周第*i*层土的厚度(m)

η_i 为极限侧摩阻力调整系数，与水泥土质量及工程经验有关

A_p 为桩端扩大头截面面积(m²)

α_b 为桩端扩大头阻力系数，指静钻根植桩极限端阻力与桩端附近的静力触探比贯入阻力平均值的比值

静钻根植桩承载力简化计算方法：

$$Q_u = Q_s + Q_p = U_p \sum \eta_i f_{si} l_i + \alpha_b p_{sb} A_p$$

f_{si} 为用静力触探比贯入阻力估算的各土层的极限摩阻力(kPa)

p_{sb} 为桩端附近的静力触探比贯入阻力平均值(kPa)

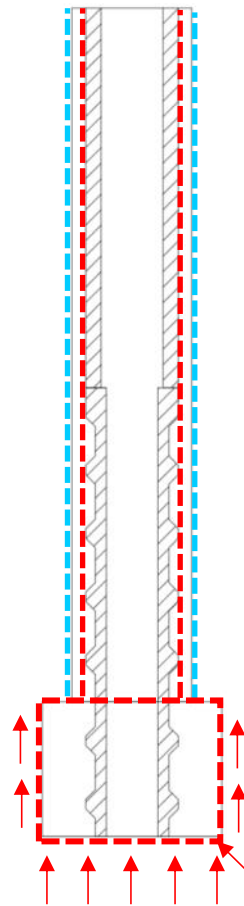
U_p 为静钻根植桩桩身有效周长

l_i 为桩周第*i*层土的厚度(m)

η_i 为极限侧摩阻力调整系数

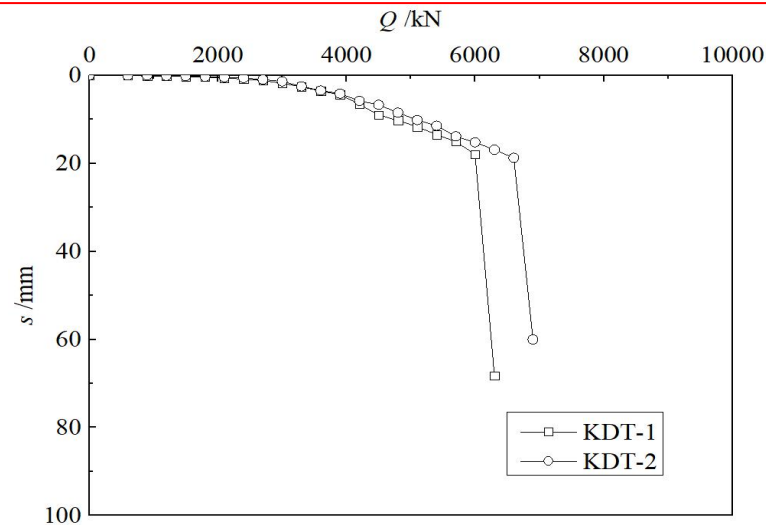
A_p 为桩端扩大头截面面积(m²)

α_b 为桩端扩大头阻力系数



扩大头整体受力

- 将扩大头视为整体受力，扩大头阻力采用**扩大头直径**计算
- 试桩反分析得到扩大头阻力系数 α_b 取值范围**0.36~0.71** (均值**0.47**)，黏性土和粉土层较低，粉砂层较高
- 考虑偏于安全并遵循循序渐进的原则，桩基持力层为**黏性土与粉土**时，扩大头阻力系数 α_b 建议取**0.35~0.45**，当持力层为**砂土**时， α_b 建议取**0.45~0.55**。



扩大头承载力自平衡试验，粉砂 α_b 为0.63、0.71

静钻根植桩承载力简化计算方法：

$$Q_u = Q_s + Q_p = U_p \sum \eta_i f_{si} l_i + \alpha_b p_{sb} A_p$$

f_{si} 为用静力触探比贯入阻力估算的各土层的极限摩阻力(kPa)

p_{sb} 为桩端附近的静力触探比贯入阻力平均值(kPa)

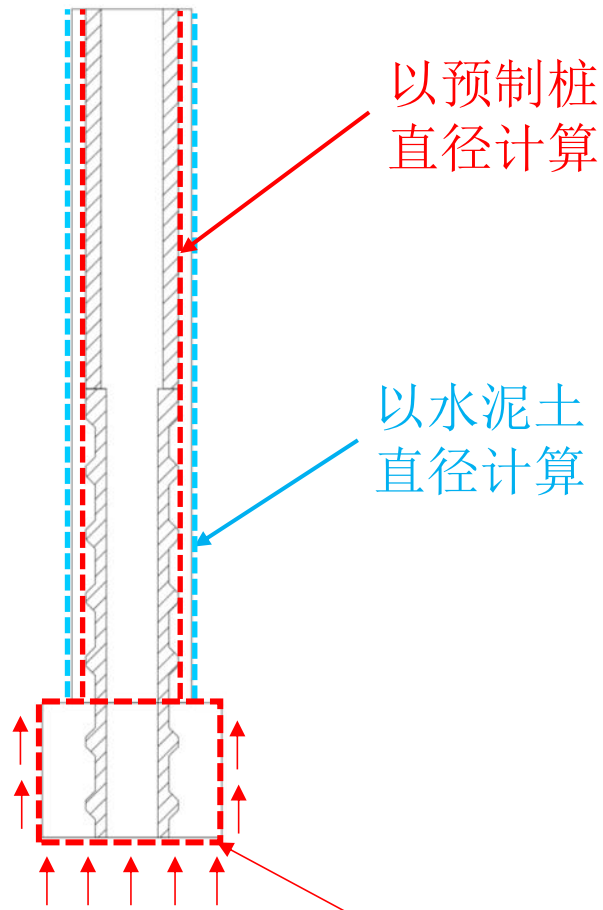
U_p 为静钻根植桩桩身有效周长

l_i 为桩周第*i*层土的厚度(m)

η_i 为极限侧摩阻力调整系数

A_p 为桩端扩大头截面面积(m²)

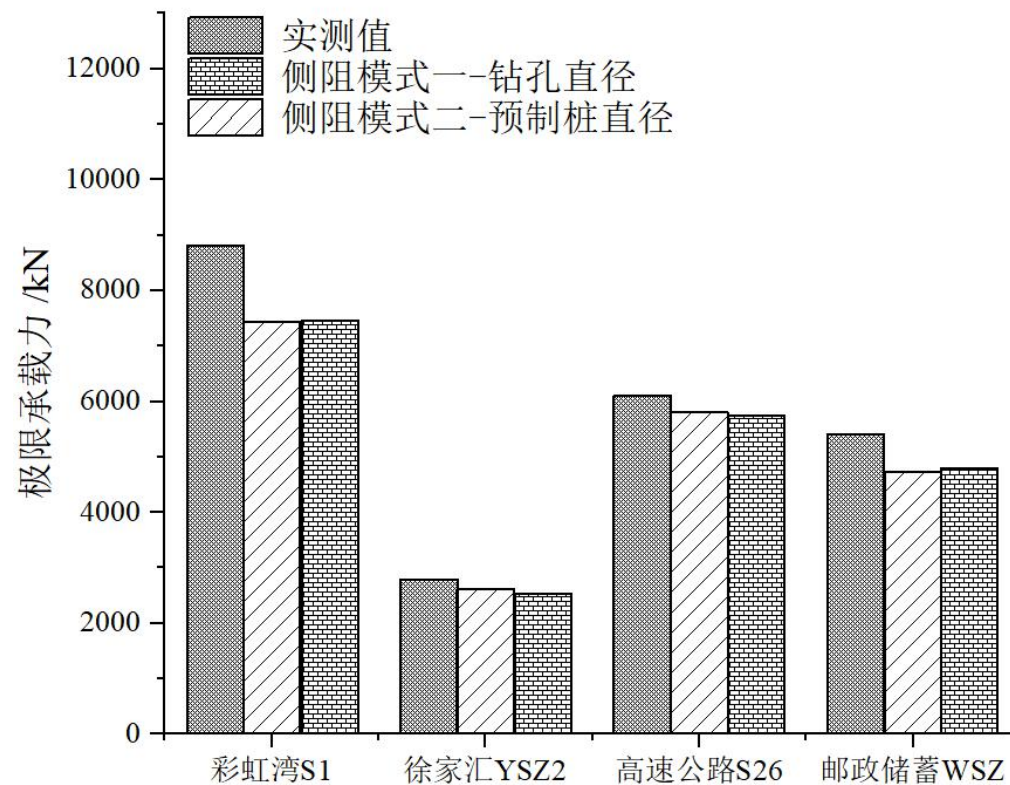
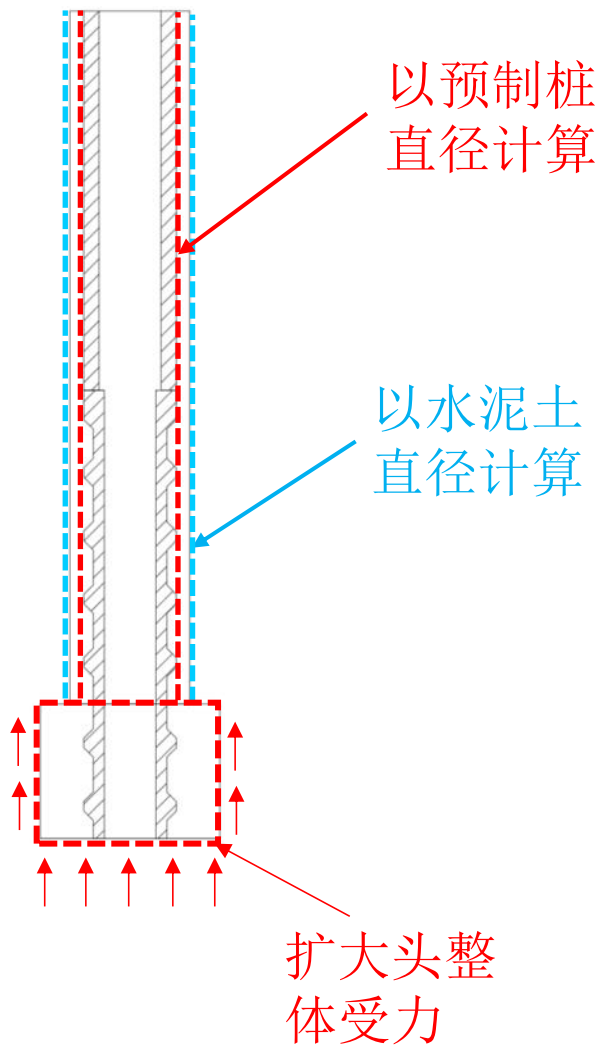
α_b 为桩端扩大头阻力系数



扩大头整体受力

桩周侧阻力计算，有两种计算模式

- 模式一：以混凝土直径计算
 - 预制桩-混凝土界面强度高
 - 混凝土-土界面性质一般优于灌注桩桩土界面，调整系数 η_i 取值0.8~0.9
- 模式二：以预制桩直径计算
 - 有利于工程应用
 - 混凝土薄层的加强作用大体上可以弥补预制桩因消除挤土效应而导致的侧阻降低，调整系数 η_i 取值1.0



- 侧摩阻力采用钻孔直径计算和采用预制桩直径计算的结果基本等效
- 从工程实用角度，为有利于与预制桩参数的衔接，**建议采用等效为预制桩直径的侧阻模式进行计算**

1 预制桩植桩技术概述

2 静钻根植桩承载特性现场试验研究

3 水泥土性状及界面特性试验研究

4 静钻根植桩承载变形计算与分析方法

5 **工程应用**

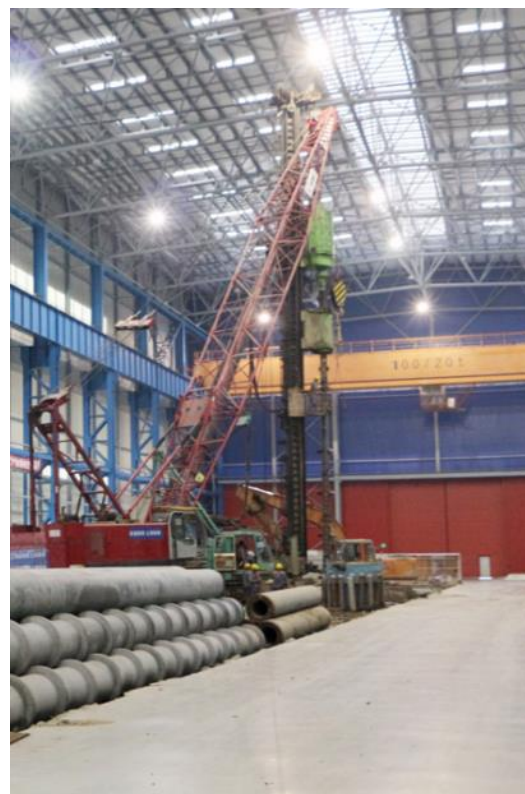
- 已应用于十余个项目
- 最大成孔深度**62m**，进入第7层粉砂层超过**20m**
- 最大桩径**800mm**(成孔**900mm**)
- 最大单桩极限承载力**11600kN**



上海杨浦区控江中学综合楼新建工程



上海S26公路高架桥项目

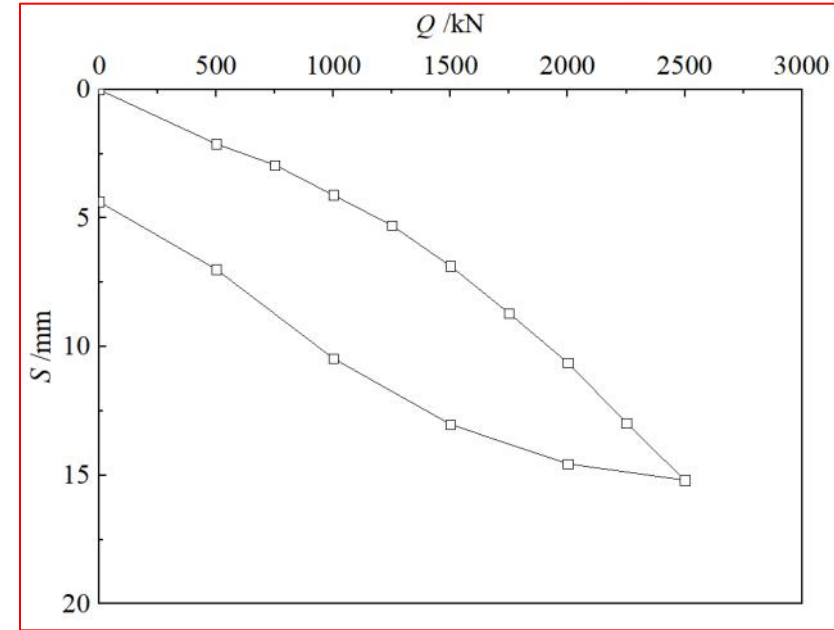
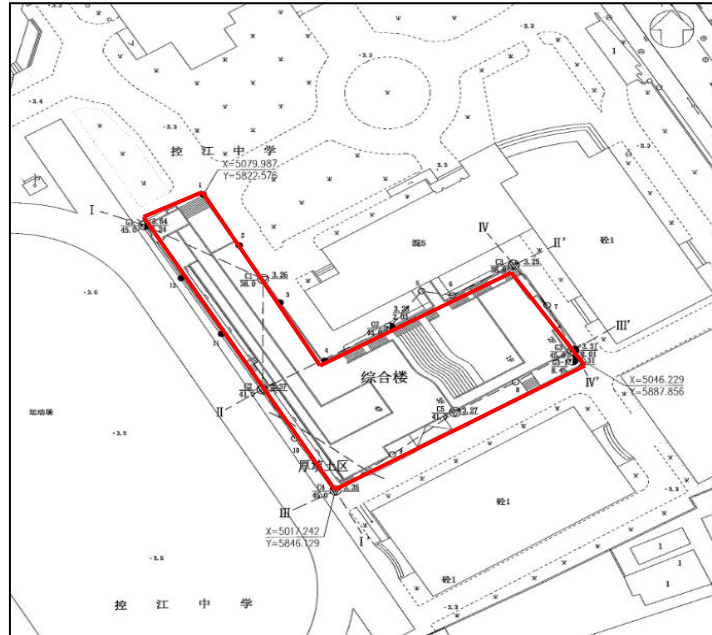


上海中船临港大功率柴油机生产基地



上海徐家汇体育公园

- 1幢5层综合楼，建筑面积4999m²
- 场地位于校园内，紧邻既有教学楼，要求施工过程中对学校工作开展及学生的学习不造成影响，对挤土以及环保要求高



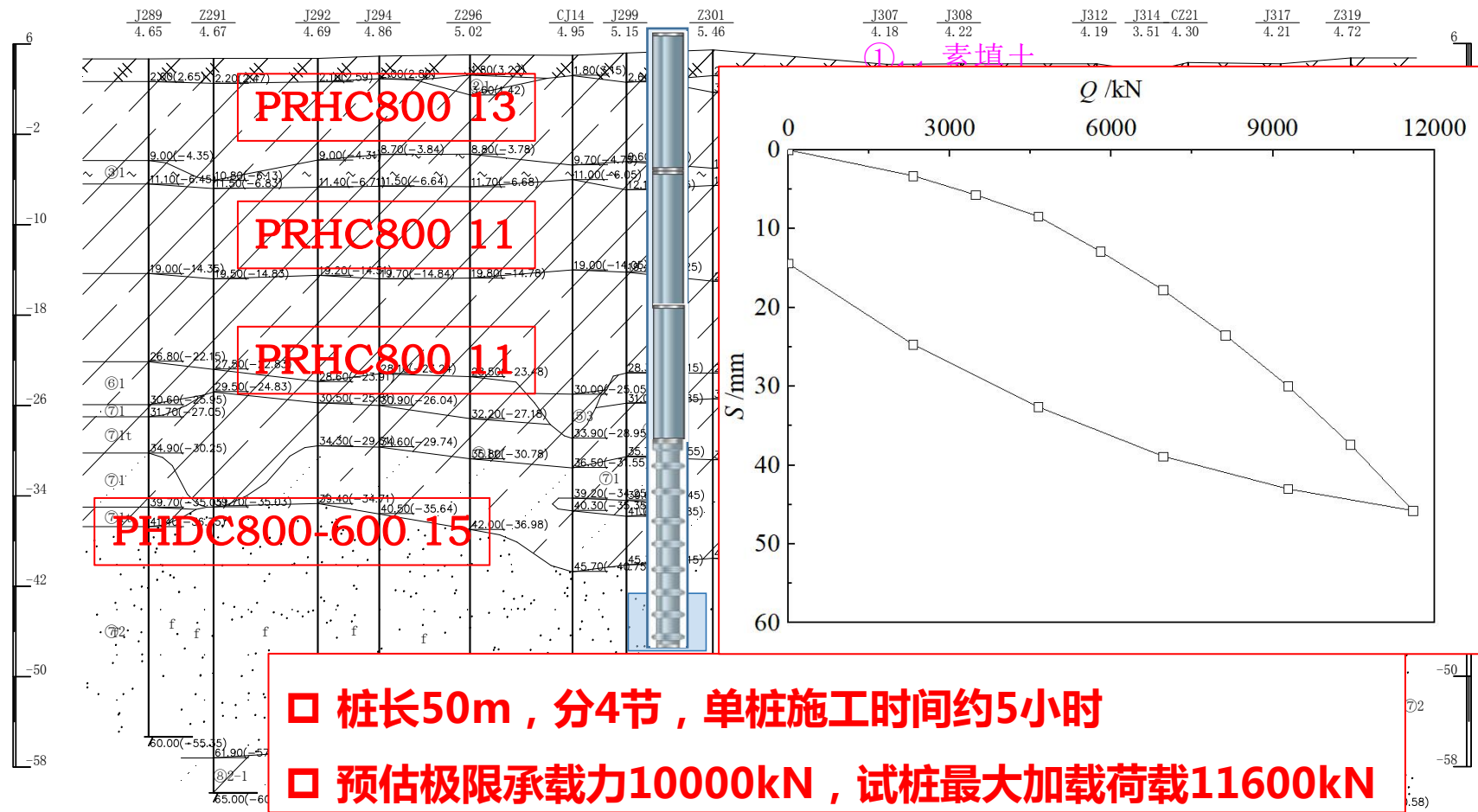
说明：本图埋深以m计，尺寸以mm计。

受力类型	配桩形式	桩长(m)	桩数(根)	承载力特征值(kN)	桩端持力层
抗压	PHDC550-400	31	140	1150	⑤ ₃ 层粉质粘土

- 桩长31米，分3节，送桩1~2m，单桩施工时间约为1.5~2.0小时
- 预估极限承载力2385kN，试桩最大加载荷载2500kN



- 该工程西起G15公路立交、东至嘉闵高架立交，为上海市重点建设公路工程
- 场地沿现有公路，施工期间车辆仍通行，车流量大，场地有限，对文明施工要求高



- 桩长50m，分4节，单桩施工时间约5小时
- 预估极限承载力10000kN，试桩最大加载荷载11600kN

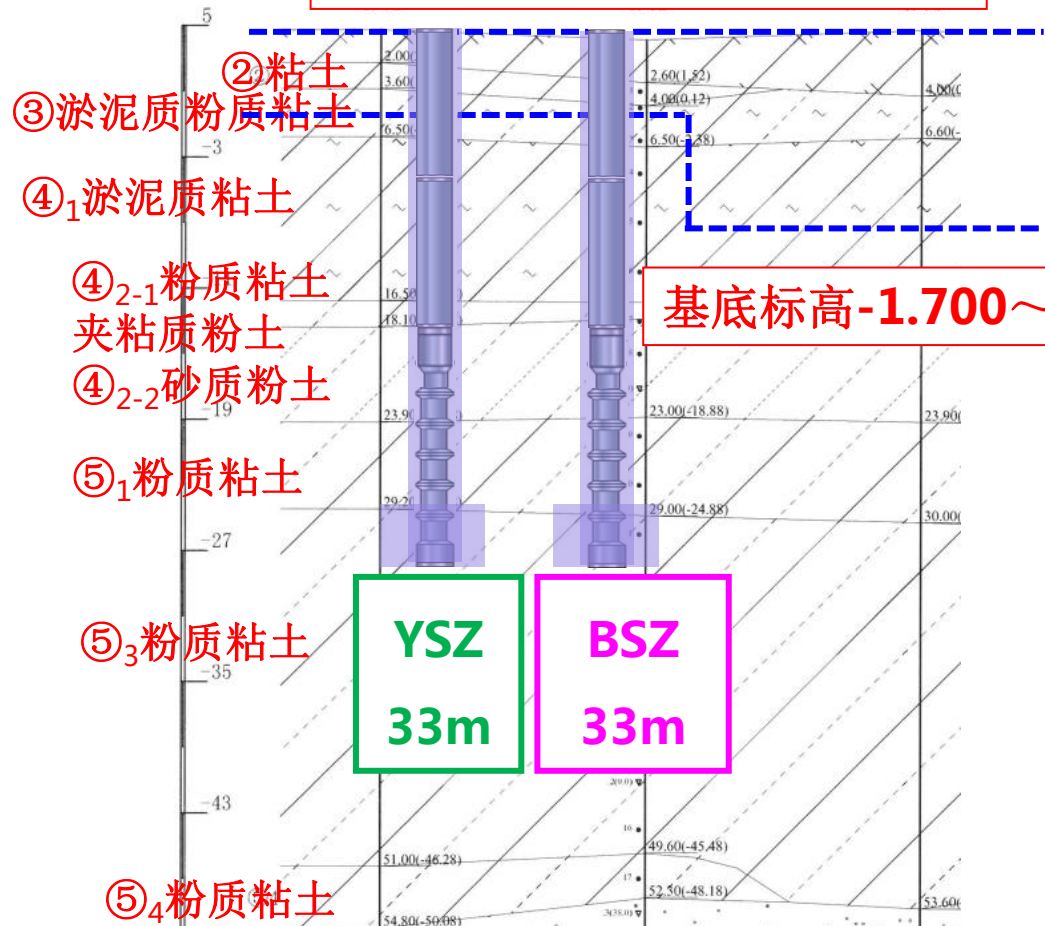
受力类型	配桩形式	桩长(m)	桩数(根)	承载力特征值(kN)	桩端持力层
抗压&水平	PRHC800+ PHDC800-600	50	384	4800	⑦ ₂₋₂ 层粉砂

上海地区工程应用 上海徐家汇体育公园

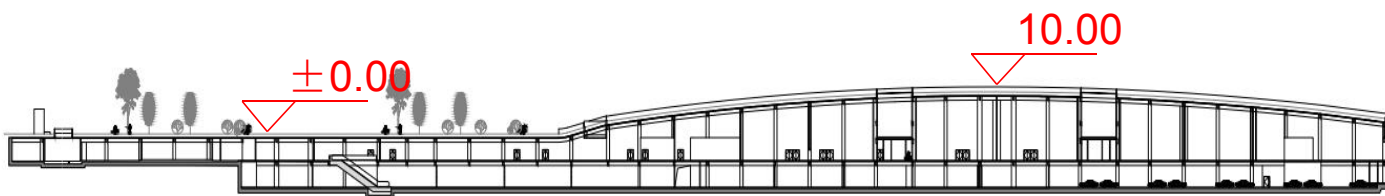
- 原总建筑面积约26万m²，改建后总建筑面积约43万m²
- 设置2层地下室，局部设置1层地下室和下沉广场，基础埋深约5~11m



试桩场地标高4.300

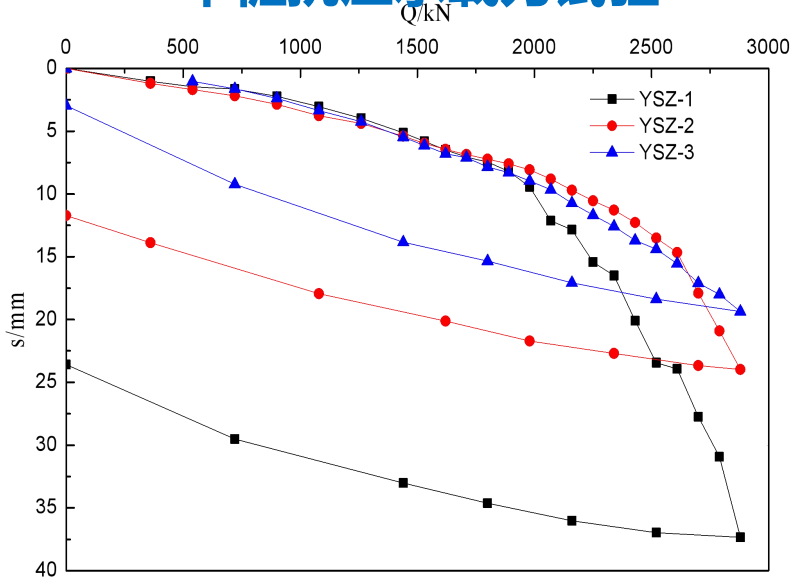


基底标高-1.700~



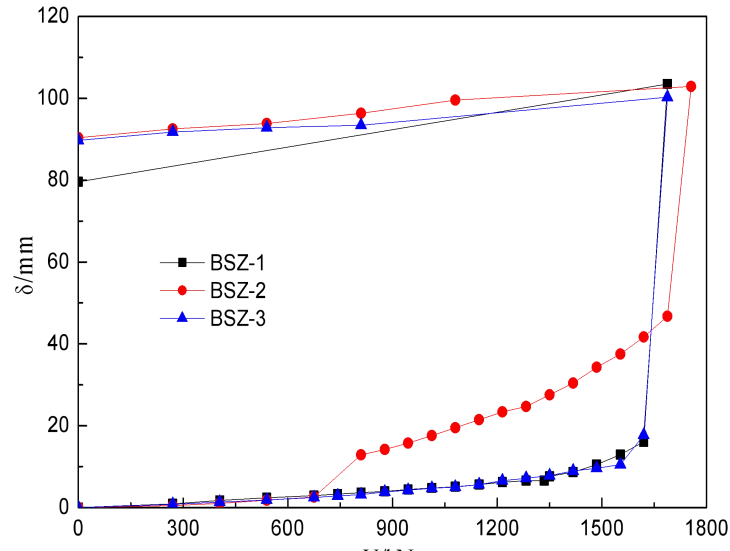
受力类型	配桩形式	桩长(m)	承载力特征值(kN)	桩端持力层
抗压 抗拔	PHC500+ PHDC550-400	27	1800 (抗压) 1350 (抗拔)	⑤3粉质粘土

单桩抗压承载力试验



Q~S曲线汇总

单桩抗拔承载力试验



U~δ曲线汇总

- 承压桩设计要求加载至1800kN，实际最大加载2880kN，**试桩结果比设计预估增加约60%**
- 抗拔桩设计要求加载至1350kN，实际最大加载1688-1756kN，**试桩结果比设计预估增加约15%**

钻孔时间	植桩时间	合计
2h	1h	3h

桩型	试验桩号	桩径 mm	桩长 (有效桩长) m	最大加载值 kN	最大沉降 mm	回弹率%	极限值 kN	沉降/位移 mm
静钻根植桩 (承压)	YSZ-1	500	33 (27)	2880	37.35	36.84	2880	37.35
	YSZ-2			2880	23.98	51.13	2880	23.98
	YSZ-3			2880	19.36	84.66	2880	19.36
静钻根植桩 (抗拔)	BSZ-1	500	33 (27)	1688	103.47	23.10	1620	16.03
	BSZ-2			1756	102.87	12.20	1350	27.56
	BSZ-3			1688	100.24	10.50	1553	10.52

- 工业化生产，桩身强度高，质量稳定可靠，**节材降耗**
- **施工机械化程度高**，沉桩过程对桩身无损伤
- 符合以设计标准化、构件部品化、施工机械化为特征的**建筑工业化**的发展需求
- 具有低振动、低噪音、无挤土、无泥浆的优点，是环境友好型**绿色桩基新技术**
- **工业化、环境低影响、高效节能的绿色施工技术**是深基础工程的发展方向



致 谢

- **上海市优秀技术带头人计划《预制桩植桩新技术研究与应用》**
- **上海市建委课题《新型绿色桩基系列技术研发与应用》**
- **上海市机械施工集团有限公司**
- **宁波中淳高科基础工程有限公司**
- **上海工程机械厂有限公司**