Japan Concrete Institute

[16]　構真台柱用凝結遅延コンクリートの調合に関する考察

正会員　○　山根　　昭　（竹中工務店　東京本店）
大垣　洋一　（竹中工務店　東京本店）
玉木　　稔　（竹中工務店　東京本店）
倉橋　　均　（竹中工務店　東京本店）

1.　まえがき

建築工事において、地下部分の軀体を地上部分と併行して施行する逆打ち工法は、主として工期短縮のために行なわれる。ＳＲＣ造建物の地下の鉄骨柱を、基礎杭施工と同時に杭頭部のコンクリート中に先行して建入れる工法では、この鉄骨柱が後に掘削された時に、地下階のＳＲＣ造本柱の鉄骨（スケルトン）となり、この先行する鉄骨柱を“構真柱”と称し、構真柱とその台となるコンクリート杭とを合わせて“構真台柱”と呼ばれる。

杭頭に凝結遅延コンクリートを使用する理由として；　構真台柱の従来の方法は、杭コンクリートの打設後ただちに鉄骨柱を杭頭に挿入するが、掘削孔に作業員が入って構真柱の位置及び垂直精度を見ながら定位置に固定する作業を行なっていた。しかしこの方法では構真柱の位置の芯決め及び垂直精度は下げ振りの目視の精度にとどまり、また作業員の安全の面でも問題があった。近年地上から２方向の操作による芯決め装置が開発され、これにガイドを加えて柱頭の操作で位置及び垂直精度を高める方法が出現した[1)]。一方この芯決め装置のセット及び操作に１～２時間を要し、この間に打設したコンクリートにこわばりを生じ、構真柱の位置及び精度に問題が生じることがあった。

本工法では杭頭コンクリートに凝結遅延剤を混和し、４～５時間の凝結遅延によって安全かつ高い精度の施工を可能とすると同時に、翌朝１２～１５時間後に構真柱の自立を可能にする初期強度を発現する調合を検討した。

本報告は、小田急本厚木駅ビル建設工事[2)]及び東京楽天地再開発Ｉ期の冬期と、大手センタービル新築工事[3)]の夏期及び中間期に行なった実験と実際施工時の管理試験結果の１部について概要を述べ、これらの結果から年間の各季節に推奨される構真台柱頭部の凝結遅延剤混和コンクリートの調合を提案した。

2.　構真柱断面と凝結遅延コンクリートの使用箇所

構真柱をコンクリート杭頭部（台柱）に建入れた状態の１例を図１に示した。構真柱の鉄骨の断面は、十字型またはＴ字型、及びボックス型である。十字型とＴ字型は大手センター及び東京楽天地で使用し、下部先端にテーパーを付け、下端の断面に沿って幅４０㎜前後の底板を付け、コンクリート中に埋設される箇所にスタッドジベルを取付た。ボックス柱は小田急本厚木と大手センターの一部で使用し、先端はくさび型とし、内部にコンクリートを充てんした。

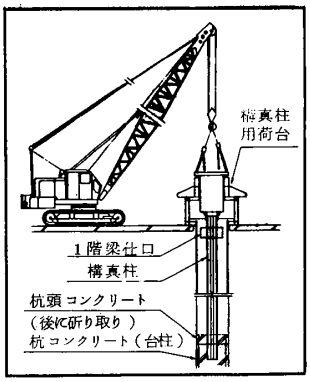


図１　構真台柱建入れの１例

最初の施工の小田急本厚木では杭の全長にわたって凝結遅延剤混和コンクリートを使用したが、２回目の大手センタービルの施工以後では、杭頭部の構真柱の挿入される部分の高さ約2.5ｍのみについて凝結遅延剤混和コンクリートとした（3.1及び６節参照）。

表１　構真台柱用杭頭部コンクリートの設定条件

条件 ＼ 工事名	施工時期	予想される外気温（℃）	荷卸し時コンクリート温度（℃）	コンクリートの流動性保持時間	目標強度と発現時間
小田急本厚木駅ビル	S55年 3月～4月	6～15	12～20	混練後　3時間	10kg/cm² / 12hr
大手センタービル	S56年 6月～10月	15～30	20～35	混練後　3時間	10kg/cm² / 12hr
東京楽天地再開発第Ｉ期	S57年 2月～4月	4～10	10～20	混練後　4時間	8kg/cm² / 15hr

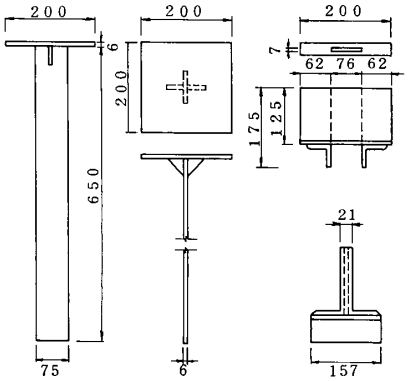
3.　構真台柱杭頭コンクリートの条件設定

3.1　調合の条件

構真台柱の施工上要求される頭部コンクリート

NII-Electronic Library Service

の調合の設定条件は、1) 杭コンクリート打設後、芯決め装置を設置して構真柱を杭頭に挿入し、精度を確認するまでの時間経過を考慮して、3～4時間はコンクリートの流動性が残っていること、及び2) 通常は夜間養生期間を取るが、翌朝すなわち混練後12～15時間で構真柱が自立する杭強度8～10kg/cm²が発現されることである。この2つの条件つまり遅延性と早強性は相反するものであるが、原理的には1)の流動性保持には凝結遅延剤、2)の初期強度発現にはAE減水剤早強形の使用が考えられる。また凝結時間と初期強度の発現のいずれもコンクリートの温度に大きく影響され[4)6)7)]、夏期には凝結が早まり、冬期には初期強度が遅延する傾向があり、調合は施工時期によって異なる。なお、従来のトレミー管による打設の場合のコンクリートの動きは、既往の文献[8)9)]から杭頭では、最後に打設したコンクリートがトレミー管を中心にきのこ型に上部に来ると推定されるので、凝結遅延剤混和コンクリートは杭頭の11m³前後とした(6節参照)。構真台柱杭頭部コンクリートの設定条件を表1(前頁)に示した。



A.押込み機
(自重：4.478kg)

B.ガイド
(単位：mm)

図2 押込み試験機[5)]

3.2 平鋼押込み試験の貫入量目標値の設定

構真柱挿入時のコンクリートの流動性保持状況を確認するために、図2に示す平鋼押込み試験機[5)]を使用した。φ15×H30cmのモールドに静かに詰めたコンクリート中に平鋼を自然落下させ、コンクリート表面からの貫入深さで表わし、表2の値を目標とした。

表2 平鋼押板試験貫入量の目標値(cm)

工事名	1時間	2時間	3時間	4時間
小田急本厚木駅大手センタービル	≥10	≥ 6	≥ 3	—
東京楽天地I期	≥10	≥ 6	≥ 4	≥22

4. 工事現場に対応する実験と現場実測

4.1 小田急本厚木駅ビルでのコンクリートの試験

1) コンクリートの試験； 細骨材率及び単位セメント量を変えた実験を繰返した後、表3に示すAE減水剤ポゾリスNo.5L(やや早強性)と凝結遅延剤リタール併用の調合について、まだ固まらないコンクリートの試験、平鋼押込み試験及び初期15時間強度の試験を行なった。

表3 実験時の調合(小田急本厚木駅ビル)[2)]

調合No.	スランプ(cm)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m³) セメント	水	砂	砂利	混和剤P5L(%)	遅延剤リタール(%)
1	21	54.1	52	370	200	869	824	0.25	0.35
2	21	55.4	55	370	205	912	767	0.25	0.35
3	21	54.3	60	400	217	963	625	0.25	—
4								0.25	0.35

2) 試験結果の考察； 試験結果を表4に示す。練上り温度18～19℃で、調合No.1は平鋼押込み貫入量はやや小さいが、調合No.2と比較するとやや小さめに出たと考え、また別に行なった角材に断面積比に相当する錘りを付けた押込み試験の結果スムースな挿入が得られたことから、実施調合はNo.1とし、ただし外気温に応じて凝結遅延剤を0.2%まで減じものとした。

表4 コンクリート試験、押込み試験結果及び初期強度(同上)[2)]

調合No.	スランプ(cm)	フロー(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)	平鋼押込み貫入量(cm) 1hr	15hr	2hr	2.5hr	15hr強度(kg/cm²)
1	19	—	5.0	18	8.8	13.9	5.3	2.0	13.4
2	20.5	30.5	4.9	18	12.1	12.3	8.2	10.5	12.0
3	21.5	34.0	5.4	19	25.0	24.4	6.7	3.1	21.8
4	20	30.5	5.4	19	22.6	12.6	9.1	11.0	15.3

4.2 大手センタービルでの実験

1) 調合実験； 数回繰返した後の調合及び試験結果を表5に示す。また、現場における施工時の管理試験結果を表6に示す。

2) 実験結果の考察； コンクリートの

表5 実験時の調合及びコンクリート試験結果(大手センタービル)[3)]

調合No.	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m³) セメント	水	砂	砕石	混和剤 ポゾリス(%)	リタール(%)	スランプ(cm)	フロー(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)	貫入量(cm) 2hr	3hr	圧縮強度(kg/cm²) 12hr	24hr
5	51.3	54	390	200	880	785	No.8 0.25	0.15	21.5	40×38	4.8	31.0	13.8	8.0	12.8	60.1
6	51.3	54	390	200	880	785	No.70 0.25	0.35	21.0	38×37	4.7	31.0	8.5	5.8	3.0	54.6
7	52.8	54	390	206	880	785	No.8 0.25	0.15	21.9	35.5×37	4.2	25	—	8.4	14.2	45.4
8	52.8	54	390	206	380	785	No.8	0.05	22.3	39×38	4.2	25	—	6.6	15.8	51.4

NII-Electronic Library Service

荷卸し時の温度が３０℃前後でＡＥ減水剤標準形のポゾリス７０と凝結遅延剤リタールを併用する場合は、３時間程度の流動性には問題ないが、１２～１５時間での初期強度の発現が後れる傾向が見られた。そこでＡＥ減水剤遅延形のポゾリスNo.８と凝結遅延剤リタールの併用により、リタールの混和量を低減して構真柱建入れ時のコンクリートの流動性を保ち、かつ１５時間で初期強度１０kg/cm²を得た。つまり凝結遅延剤の初期強度の後れに対する影響がかなり大きいことがわかり、実施調合ではコンクリート温度２５～３０℃では調合No.８でポゾリスNo.８とリタール0.０２５％、３１～３５℃では調合No.７でリタール0.０５～0.１５％とした。

表６　コンクリート管理試験結果（大手センタービル　６月度）[3)]

杭No.	打設日	調合No.	スランプ（m）	空気量（％）	コンクリート温度（℃）	自立時間（hr）	圧縮強度（kg/cm²）	7日強度（kg/cm²）	28日強度（kg/cm²）
24	6/12	7	21.5	4.6	25.0	17.5	25.0	233	333
16	6/13	8	21.5	5.0	25.0	48.0	99.0	250	359
8	6/15	8	21.0	4.7	25.5	17.5	19.5	238	343
1	6/16	8	22.0	5.0	26.0	18.0	29.3	249	332
2	6/17	8	22.0	4.8	28.4	17.0	27.6	223	342
3	6/18	8	21.0	5.0	27.0	16.7	21.3	223	332
4	6/19	8	21.0	4.8	25.0	17.0	20.8	254	364
5	6/20	8	21.5	4.8	23.0	48.0	96.8	—	320
6	6/22	8	21.0	4.0	21.0	17.5	22.5	—	357
7	6/23	8	21.0	3.6	26.0	17.5	23.0	—	345

表７　コンクリートの調合（東京楽天地）

調合No.	スランプ(cm)	水セメント比(％)	細骨材比(％)	最大粒径(mm)	単位セメント量(kg/m³)	単位水量(kg/m³)	ポゾリスNo.70(％)
1	21	47.6	52	20	420	200	0.25
2	21	45.1	52	20	450	203	0.25
4	20	46.2	50	20	420	194	0.25
5	20	43.6	50	20	450	196	0.25

4.3　東京楽天地再開発第Ｉ期での実験

1)　調合実験；　試験調合を表７に示す。調合No.１と２及び調合No.４と５はそれぞれ同一プラントである。コンクリートの圧縮強度試験結果を表８に、まだ固まらないコンクリートの試験結果、平鋼押込み試験結果及びプロクターニードル貫入抵抗値の試験結果を表９に示す。

表８　コンクリートの圧縮強度試験結果（同上）

調合No.	単位セメント量(kg/m³)	コンクリートの圧縮強度（kg/cm²） 12 hr	15 hr	1 週	4 週
1	420	3.3	10.0	305	410
2	450	2.1	10.9	333	464
4	420	5.5	16.3	346	453
5	450	6.1	16.7	370	498

2)　試験結果の考案；　表８及び９の結果から、a)　スランプが２２cmと大きくなると押込み試験の貫入値は目標値を上廻るが初期強度の発現が遅くなり[4)]、b)スランプ２０cm程度では初期強度は満足するが、押込み試験の貫入値が不足する傾向が見られた。このため実施調合では中間のスランプ２１cmとし、表10（次頁）に示すものとした。

表９　コンクリート試験、押込み試験結果及び貫入抵抗値（同上）

調合No.	実施日	練上りコンクリート スランプ(cm)	フロー(cm)	空気量(％)	温度(℃)	累計時間(hr)	室温(℃)	コンクリート温度(℃)	押込み試験 目標(cm)	平均(cm)	貫入抵抗(psi) 時間	抵抗値
1	12/17	22.5	44 × 42	4.3	12	2.0	16	12	≥6	8.6	7.0	41
						3.0	16	13	≥4	4.8	8.0	140
						4.0	17	15	≥2	2.5	9.0	324
2	12/17	22.5	42 × 41	4.2	12	2.0	16	12	≥6	12.1	7.0	27
						3.0	16	13	≥4	5.9	8.0	64
						4.0	17	15	≥2	2.3	9.0	124
4	12/24	20.5	33 × 34	4.5	15	2.0	16.5	15	≥6	7.9	7.5	320
						3.0	16.5	15	≥4	1.7	8.5	705
						4.0	17.0	15.5	≥2	0.9	9.5	1565
5	12/24	20.5	37 × 35	4.8	15	2.0	16.5	15	≥6	7.1	7.0	302
						3.0	17.0	15	≥4	1.4	8.0	770
						4.0	17.0	17	≥2	0.6	9.0	1640

5.　構真台柱コンクリートの温度測定

大手センター及び東京楽天地の２現場で構真台柱コンクリートの打込み直前から混練後１８時間までの外気温、泥水の温度及び杭コンクリート上端より－１ｍの深さの温度を熱電対で測定し、外気温及びコンクリート温度に対応する調合選択の資料とした。測定結果の１例を図３に示す。

調合選定の方法として、構真台柱コンクリートの打込みが午後となることから、出荷予定のレデーミクストコンクリート工場から午前１０～１１時に一般出荷・荷卸ししたコンクリート温度の報告を受け、当日の外気温及び泥水の温度から、構真台柱コンクリートの温度と打込み

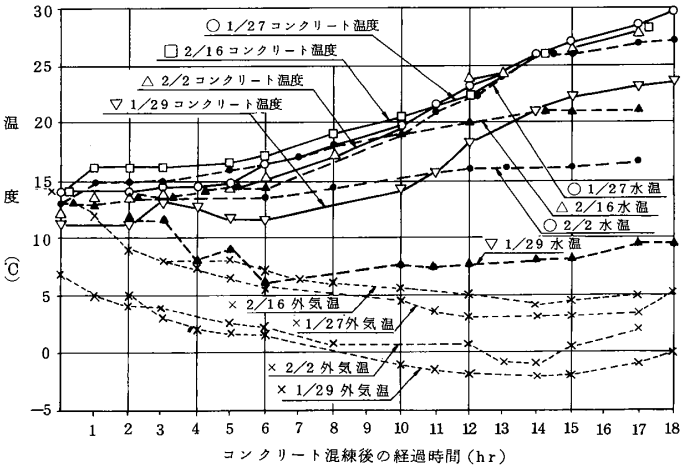


図３　構真台柱杭頭コンクリートの温度測定結果例（東京楽天地）

NII-Electronic Library Service

後の上昇温度を予想し、基本的調合を変えることなく凝結遅延剤の添加量を加減する方法とした。その理由としては、図3にも見られるように、外気温が0℃以下に降下しても構真台柱コンクリートの上面を覆う泥水の温度はおよそ5℃を下廻ることは少い。また抗頭コンクリートの温度は混練後5時間程度からわずかに上昇し、10～15時間でかなり上昇するため、15時間までの平均温度（ないしは等価温度）は打込み時のコンクリート温度が12～15℃の時に約17℃程度、積算温度で208～282T°Tとなり、笠井博士のfc－T°T曲線[6)7)]から図3の15時間強度は、約15kg/cm²前後となる。また4週強度は450kg/cm²程度となり、構真柱の自立及び4週強度ともに十分安全であることがわかる。

表10 実施コンクリートの調合（東京楽天地）

調合No.	スランプ(cm)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m³) セメント	単位量(kg/m³) 水	ポゾリスNo.70(%)	遅延剤リタール(%)
6,8	21	46.9	50	420	197	0.25	－
7,9	21	46.9	50	420	197	0.25	0.1

表11 カラーコンクリートの着色顔料の種類

打込箇所	初回（杭底）	第2段階	第3段階	最終（杭頭）
着色の色	普通コン	青 B	黄 A A	赤
成分の概要(%)	——	硅酸 40.52 アルミナ 25.83 硫黄 12.07 Na 16.38	酸化チタン $TiO_2-Sb_2O_3-NiO$ 減分系	酸化鉄 35 硫酸鉄 15 洋朱 60
コンクリート1m³あたり添加量(kg)	——	1.8	5.5	3.6

6. カラーコンクリート実験

トレミー管によって打込まれる泥水中のコンクリートの行先は、場合により多少の変化はあるが、杭頭部ではトレミー管に沿って上昇して落着くと思われる[8)9)]。表11に示す着色顔料を用いて杭下部から上部コンクリートまで約30m³を4分割して着色コンクリートとし、地下掘削時に杭頭コンクリートを斫り出した結果杭頭約1mが赤色の最終打込みコンクリートであることを確認し、2節及び3.1の推定を裏付けるものとした。

7. まとめ

逆打ち工法で構真台柱を地上操作で行なう場合の杭頭部のコンクリートについて、3現場の実験及び施工結果から、杭頭に使用する凝結遅延剤混和コンクリートの年間の各季節に対応する推奨調合を提案し、表12に示した。安全で精度の高い構真台柱の施工の一助となれば幸いである。

表12 推奨される凝結遅延コンクリートの調合

施工月	コンクリート荷卸時温度(℃)	水セメント比(%)	単位セメント量(kg/m³)	細骨材率(%)	目標スランプ(m)	混和剤の種類と量(%)	凝結遅延剤(リタール)(%)	施工実績
12月中旬～3月中旬	10～15	45～48	400～400	48～58	20～21	Pozz70 0.25	——	東京楽天地 再開発工期
3月上旬～4月下旬	15～20	45～48	400～420	48～50	20～21	Pozz70 0.25	R：0.10	
10月下旬～12月中旬		50～55	360～390	50～55		5L 0.25	R：0.20	小田急本厚木
4月下旬～5月下旬	20～25	50～55	360～390	50～55	20～21	5L 0.25	R：0.30	大手センタービル
10月中旬～11月上旬						No.8 0.25	R：0.01	
5月中旬～6月下旬 9月上旬～10月中旬	25～30	50～55	350～390	50～55	20～21	No.8 0.25	R：0.025	
6月上旬～7月中旬 8月下旬～9月上旬	30～32	50～55	350～390	50～55	20～21	No.8 0.25	R：0.05	
7月上旬～8月下旬	32～35	50～55	350～390	50～55	20～21	No.8 0.25	R：0.15	

注；1）Pozz70はポゾリスNo.70，5LはポゾリスNo.5L，No.8はポゾリスNo.8，Rは遅延剤リタール
2）12月中旬～3月中旬で、コンクリートの荷卸し時の温度が10～15℃程度の場合は上の調合の範囲では凝結遅延剤を用いなくてよい。（ただしポゾリスNo.5Lを除く）
3）施工月で各欄で重複している所があるが、使用するコンクリート製造工場で午前10～11時の荷卸し時のコンクリート温度を参考にして選択する。

謝辞

本工法の実施に当って、ご理解・ご指導を賜わりました小田急電鉄株式会社開発部に対して、また㈱阿部事務所鈴木監査役ほかの方がたに謹んで敬意を表します。また、いちいち名を挙げる余白に恵まれないが、実験及び実施のご協力を戴いた厚木小野田レミコン㈱、宇部厚木コンクリート工業㈱、相州産業㈱、相武生コン㈱、晴海小野田レミコン㈱、日立コンクリート㈱、中央東協生コン㈱の各試験室の諸氏、ポゾリス物産㈱並びに日曹中研の方がたに深く謝意を表します。

参考文献

1）日本電信電話公社建築局特殊建築工事事務所；“超高層建築における逆打ち用構真台柱の施工”、施工、12月1972年，2月・3月1973年
2），3）㈱竹中工務店東京本店、社内技術報告
4）日曹マスタービスダーズ、研究所報 第1号，1978
5）日曹マスタービルダーズ㈱、社内資料
6）笠井芳夫；“コンクリートの初期圧縮強度推定方法”、日本建築学会論文報告集、No.141，1967年11月
7）笠井芳夫；“先に提案したコンクリートの初期圧縮強度推定式の適用性”日本建築学会論文報告集、No.163，1969年
8）川崎・幾田ほか；“泥水中に打設されるコンクリートのアクティバブルトレーサーによる挙動追跡”、竹中技術研究報告、No.6，June，1971
9）W.F.研究グループ；“地中壁体コンクリートの施工性”、大林組技術研究所報No.8，1974年
10）金岡伸幸；“電気ビル新館新築工事における逆打ち工法について”、日本建築学会九州支部材料施工委員会資料 昭和58年2月

NII-Electronic Library Service