

[5] 高性能減水剤を用いた高強度場所打ちコンクリート杭の施工

正会員 石橋忠良（国鉄構造物設計事務所）

正会員 ○北後征雄（国鉄構造物設計事務所）

正会員 加藤勝美（国鉄東京第二工事局戸田工事区）

鎌田 康（国鉄東京第二工事局戸田工事区）

はじめに

場所打ち杭に用いるコンクリートの許容応力度に関して、国鉄の「場所打ちコンクリートグイの設計施工指針（案）」および「道路橋示方書下部構造編」では、コンクリートの配合について単位セメント量 370 kg/m^3 以上、水セメント比50%以下、スランブ $13 \sim 18 \text{ cm}$ とし、標準養生の28日圧縮強度は300 ㊦以上でなければならないとしたうえで、許容曲げ圧縮強度を80 ㊦と定めている。この値は $(300 \text{ ㊦} \times 0.8) \times \frac{1}{3}$ として求めたもので、0.8 は水中コンクリートに対する低減係数である。場所打ち杭は、杭本数が少ないため圧縮力の影響を大きく受け、杭径または鉄筋量が圧縮応力によって決定される場合がある。従って、コンクリートの圧縮応力を高めれば、大幅に鉄筋量を減らすことができ、場合によっては、杭径を小さくすることもできる。コンクリートの圧縮強度を高めるために高性能減水剤を用いて水セメント比を小さくすることとし、試験施工をおこなうことによって、得られた高強度コンクリートを場所打ち杭に用いる場合の施工性を確かめるとともに、標準養生の供試体と実際に打ち込まれたコンクリートの圧縮強度の比較をおこなった。

表-1 使用材料

施工者	S 建設	M 建設	T 建設
生コン工場	A 生コン	H コンクリート	U レミコン
セメント	O 社製普通 ポルトランドセメント (比重3.16)	H 社製普通 ポルトランドセメント (比重3.16)	O 社製普通 ポルトランドセメント (比重3.16)
細骨材	産地 利根川混合 2.60	産地 利根川混合 2.60	産地 利根川混合 2.60
粗骨材	産地 栃木県田沼 2.62	産地 鹿沼 2005 2.70	産地 青柳 2.64
AE減水剤(リグン系)	P 社 系70	P 社 系70	P 社 系5 L
高性能減水剤	P 社 NP-20 R	S 社 FBF	D 社 FT-80

1. 試験の方法

1.1 概要

試験施工は東北新幹線戸田地区の高架橋工事で実施したが、施工者の違いが施工性に与える影響を考慮して、3 工区にまたがっておこなった。比較したコンクリートは、現在場所打ち杭に用いられている呼び強度300 ㊦、スランブ $18 \pm 25 \text{ cm}$ のものと、目標強度（品質の変動を考慮しない）500 ㊦、600 ㊦のもの3 種類である。目視により施工性について比較するとともに、施工後エアボーリングにより採取した供試体と標準養生の供試体の28日強度を比較した。

1.2 材料

工区毎に施工者、生コン工場、高性能減水剤のメーカーが異なり、それに伴ってコンクリートの材料も異なっている。表-1 に工区毎の材料を示す。

1.3 対象杭本数とコンクリート強度

試験施工の対象とする杭の本数およびコンクリート強度を表-2 に示す。

1.4 試料の採取

試料の採取位置は杭径 $\phi 1016 \text{ mm}$ および $\phi 1500 \text{ mm}$ の場合は中心1箇所、 $\phi 2000 \text{ mm}$ の場合は中心および軸方向鉄筋の内側の2箇所とした（図-1 参照）。深さ方向については、連続して深さ 5.0 m まで試料の採取をおこなった。但し、余盛部分は除いた。

採取の時期については、現場の工程を優先したため、採取時点でのコンクリートの材令は一定とはなっていない。試料は採取後直ちにコンクリートカッターで切断、標準養生し、材令28日で圧縮強度試験をおこなった。

なお、強度試験に際して載荷上下面に硫黄キャッピングを施した。

表-2 対象杭本数とコンクリート強度

	計	600 ㊦	500 ㊦	原状強度	杭径
S 建設	5 本	2 本	2 本	1 本	$\phi 1016$
M 建設	5	2	3	—	$\phi 1500$
T 建設	5	2	3	—	$\phi 2000$

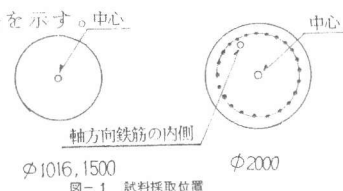


図-1 試料採取位置

2. 施 工

2.1 スランブ増大値

高性能減水剤は3工区ともプラントで添加することにした。従って、ベースコンクリートのスランブ値が仮に0であっても高性能減水剤の添加量を増加させれば施工は可能である。高性能減水剤添加後、すなわち施工時のスランブ値を20cm程度とすると、ベースコンクリートのスランブ値をどの程度にすればよいかについて検討した。流動化コンクリート設計施工指針(案)―土木学会―では、スランブの増大値を8cm以内とするのがよいと定めている。この値は経験的に定められた値であり、一般にスランブ増大値は小さい方が好ましいとされている。

しかしながら、コンクリートの圧縮強度を高めるためには、水セメント比を小さくする必要があり、ベースコンクリートのスランブ値は小さくなる。そこで、表-3に示すような条件で配合設計をおこない、経済性の面から

表-3 条 件

目標強度	ベースコンクリートのスランブ	高性能減水剤添加後のスランブ
500 ㊦	10cm, 5cm, 0cm	20cm
600 ㊦	8cm, 4cm, 0cm	20cm

検討した。配合例を表-4に示すが、セメント、混和剤、高性能減水剤の単価をそれぞれ15円/kg、300円/kg、220円/kgと考え、3者の合計価格はいずれも殆んど変わらない。従って、今回の試験施工ではできるだけスランブ増大値を小さくするように、目標強度500㊦の場合にはスランブ増大値を10cm程度、目標強度600㊦の場合には増大値を12cm程度とすることにした。

表-4 配 合 例

目標強度	スランブ		単位量						kg/m ³		コメント	
	ベス	高性能減水剤添加量	水セメント比 W/C	粗骨材率 %	セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤	高性能減水剤	混和剤高性能減水剤	価格
500 ㊦	10	20	39.5	40	430 (6450)	170	692	1075	1075 (322)	12% 516 (1135)	7907円/m ³	
	5	20	39.5	40	405 (6075)	160	710	1104	1043 (304)	18% 729 (1604)	7983	
	0	20	38.9	40	380 (5700)	148	731	1137	0950 (285)	23% 874 (1923)	7908	
600 ㊦	8	20	35.4	38.5	480 (7200)	170	650	1078	1200 (360)	13% 624 (1373)	8933	
	4	20	35.4	38.5	458 (6870)	162	662	1102	1145	18% 824 (1813)	9027	
	0	20	35.4	38.5	435 (6525)	154	679	1126	1088 (326)	23% 1000 (2200)	9051	

2.2 試験練り

高性能減水剤をプラントで添加する場合の方法に2通りある。その1つは、「ふりかけ添加」と呼ばれるウェットホッパーで高性能減水剤を添加するもので、今回はS建設の施工がそれである。他の1つは「同時添加」

表-5 配合計画一覧表

方式でミキサー内で添加するものである。今回M建設とT建設は「同時添加」方式で施工した。「ふりかけ添加」方式による実際の施工では、添加された高性能減水剤は運搬中のアジテータ車の通常の回転でベースコンクリートに混入される。そのため、試験練りでその状態を再現することが難しいという問題がある。今回の試験練りでは、ベースコンクリート混

	目標強度 kg/cm ²	スランブ cm	空気量 %	水セメント比 %	粗骨材率 %	セメント kg/m ³	水 kg/m ³	粗骨材 kg/m ³	粗骨材 kg/m ³	AE減水剤(C) kg/m ³	高性能減水剤 kg/m ³	高性能減水剤名
S建設 A生コン	500 ㊦	12→21	3.0	39.5	42.3	450	178	715	983	1.575	3600㊦	P社 NP-20R メジミン系
	600 ㊦	8→21	3.0	35.8	41.7	480	172	702	988	1.680	5760㊦	
M建設 H生コン	500 ㊦	±2.5 10→20	±1.0 3.0	39.5	40.0	430	170	692	1075	1.075	516㊦	S社 FBP ナフチリン系
	600 ㊦	±2.5 8→20	±1.0 3.0	35.4	38.5	480	170	650	1087	1.200	624㊦	
T建設 U生コン	500 ㊦	8→21	±1.0 3.0	39.1	41.0	430	168	713	1038	1.075	43㊦	D社 FT-80 リダコン系
	600 ㊦	8→21	±1.0 3.0	35.0	39.0	480	168	660	1048	1.200	624㊦	

練後高性能減水剤を添加し、その後10分おきに5秒間攪拌し、60分後に供試体の採取をおこなったが、練り返しの影響により圧縮強度がかなり高めとなった。「同時添加」方式の試験練りでは、2バッチを混練し、うち1バッチについては高性能減水剤を添加せず、ベースコンクリートに対する供試体の採取等をおこない、残る1バッチについては高性能減水剤を添加し、添加後のコンクリートについての試験をおこなった。

配合については、材令28日で500㊦、600㊦の圧縮強度を目標に、各工場の水セメント比と圧縮強度の関係をもとに決定した。配合計画の一覧を表-5に、圧縮強度試験の結果を表-6に示す。

表-6 試験結果一覧

	目標強度	スランブ (cm)	水セメント比	σ ₂₈ ㊦
S建設 A生コン	500 ㊦	120	21.0	37.5
	600 ㊦	80	20.0	35.8
M建設 H生コン	500 ㊦	80	21.0	36.6
	600 ㊦	80	20.0	34.4
T建設 U生コン	500 ㊦	90	19.5	39.1
	600 ㊦	75	22.0	35.0

2.3 本杭の施工

試験練りの圧縮試験の結果は、いずれも目標値を上廻る値となった。そこで水セメント比と圧縮強度の関係などから配合の修正をおこない本杭を施工した。表-7に修正した配合を示す。本杭の施工に際してはフレッシュコンクリートの性状を把握するため、表-8に示す項目について

表-8 測定項目

工場での測定	現場での測定
アジテータ車出荷時刻	現場到着時刻
スランプ (cm)	測定時刻
フロー値 (cm)	スランプ (cm)
空気量 (%)	フロー値 (cm)
コンクリート温度 (°C)	空気量 (%)
外気温 (°C)	コンクリート温度 (°C)

表-7 修正配合表

	目標強度 MPa	スランプ cm	空気量 %	水セメント比 %	細骨材 kg/m³	セメント kg/m³	水 kg/m³	細骨材 kg/m³	粗骨材 kg/m³	A/B kg/m³	高性能減水剤 kg/m³
S・A 建設 コン	500	12→21	3.0	41.4	41.5	420	174	718	1,017	14.70	3.3600
	600	8→21	3.0	37.2	40.5	460	171	689	1,019	16.10	5.5200
M・H 建設 クリ	500	±2.5 ±1.5 10→20	3.0 ±1.0	41.0	40.5	415	170	705	1,075	10.38	4.98 Kg
	600	±2.5 ±1.5 8→20	3.0 ±1.0	36.2	39.0	470	170	661	1,075	11.75	6.11 Kg
T・U 建設 レミ	500	8→21	3.0 ±1.0	39.1	41.0	430	168	713	1,038	10.75	4.30 Kg
	600	8→21	3.0 ±1.0	35.0	39.0	480	168	660	1,048	12.00	6.24 Kg

調査をおこなった。

本杭打設におけるコンクリート練りの方法は、「ふりかけ添加」の場合には、①ベースコンクリート混練 (55秒) → ②ウェットホッパー内に高性能減水剤を添加 (約15秒) → ③アジテータ車へ → ④運搬 → ⑤現場にて高速回転 (約60秒) → ⑥杭打設の順である。「同時添加」の場合には、①ベースコンクリート混練 (30秒) → ②ミキサー内に高性能減水剤を添加 (約5~10秒) → ③混練 (約20~30秒) → ④アジテータ車へ → ⑤運搬 → ⑥杭打設の順である。

3 測定の結果

3.1 フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートに関して次のことがわかった。

①現場とのスランプ値は、配合決定時に想定した値より多少大き目ではあるが安定した値 (20~22.5) であった。

②運搬時間は各工区とも約20分でばらつきは少い。そのためT建設の現場でアジテータ車を強制的に待機させ、スランプの経時変化を調べた。その結果、目標強度500 MPaの場合は60分間で約2 cm、目標強度600 MPaの場合は約4 cmのスランプダウンが認められた (図-2参照)。全体的には目標強度が高いほど、高性能減水剤の添加量が多いほど時間経過に伴うスランプの減少は大きい。

③運搬時間とフローの関係についてもスランプと同様な傾向が認められ、目標強度が高いほどフロー値の減少する割合が大きい。

④運搬時間の経過に伴う空気量の減少は、目標強度500 MPaと600 MPa、原状の呼び強度300 MPaの場合とで有意な差異は認められない。

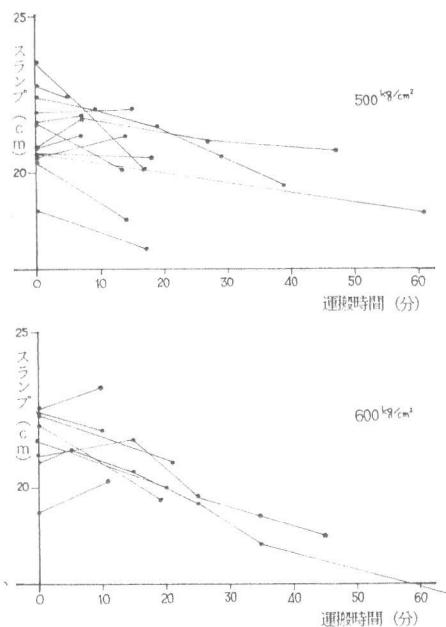


図-2 運搬時間とスランプの関係

3.2 硬化コンクリート

①コアボーリングの実施時期が28日強度に与える影響について図-3に示す。2例を除き、杭打設からコア採取までの期間が少ないほど強度が高くなる傾向がある。これは、コア採取後の養生期間が長いほど高強度が得られることを示している。この傾向に沿わない2例は材令4日と6日に同一の杭の中心部と軸方向鉄筋の内側から採取したものであり、若材令のための強度不足も考えられる。

②コア採取深度と圧縮強度の関係は、一般に採取位置が深くなるにしたがって高い強度を示すと云われている。しかし、今回の試験施工の結果からは一定の傾向は認められない。杭の全長40 mに対してコア採取が上部10%程度に過ぎず、傾向が見られるほどの深度の差異がなかったと考えられる。

③φ2000 mmの杭については杭中心部と軸方向鉄筋内側の2ヶ所から試料の採取をおこなった。強度の平均値は杭中心部の方が軸方向鉄筋内側に比べて若干高い値を示しているが、データのばらつきを考えると有意な差であ

るとは云い難い。軸方向鉄筋の内側のコンクリートはほぼ均一と考え
てよいようである。

④コア採取深度と単位体積重量の関係を図-4に示す。目標強度500
製の杭については深度に関係なくほぼ様なコンクリートが打設され
ている。目標強度600製の杭についてはばらつきが大きく必ずしも均
一なコンクリートが打設されているとは云い難い。

⑤コアボーリングにより求めた供試体強度と標準養生の供試体強度の
比較を表-9に示す。標準養生の供試体の平均圧縮強度は、目標強度
600製に対する一例(P6-1)を除けば、すべて目標強度を上廻っ
ている。また、目標強度500製のものが600製のものに比べてばらつ
きが小さく、安定していることがわかる。

4. 結 論

試験施工の結果から概ね次のことが云えよう。

- ①目標強度500製のコンクリートについては、単位体積重量のばらつ
きも少く、比較的安定した強度が得られ、十分実用化
が可能と考えられる。しかし、目標強度600製のコン
クリートについては、十分安定した強度が得られない
こと、単位体積重量のばらつきが大きいことなどから
考えて場所打ち杭への適用は現時点では難しい。
- ②材料、高性能減水剤の添加方式などが異なるが、目
標強度500製、600製を得るための水セメント比は、
40.0~41.4%および36.2~37.2%、セメント量は415~
420製および460~470製とほぼ同程度となった。
- ③施工性については、現在用いられている呼び強度
300製のコンクリートと殆んど変わらない。
- ④目標強度500製のコンクリートの場所
打ち杭への適用を考える場合、標準養生
の供試体の強度に対し、コアボーリング
により採取した試料の強度は95%信頼限
界で考えると2例を除いて、8割を上廻
っている。材令28日以前に採取したコア
は標準養生の供試体強度に比べて強度低
下するという研究もあり、その点を考え
ると殆んど8割を上廻ると考えてよいと
思われる。よって採用されている水中コ
ンクリートに対する低減係数0.8は低減妥
当と思われるが、現行の300製×0.8の上限値は、500製×0.8程度まで上げてよいと考えられる。

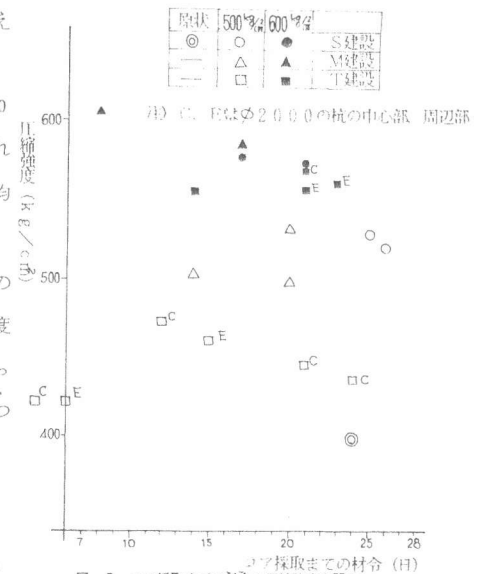


図-3 コア採取までの材令と圧縮強度の関係 (H)

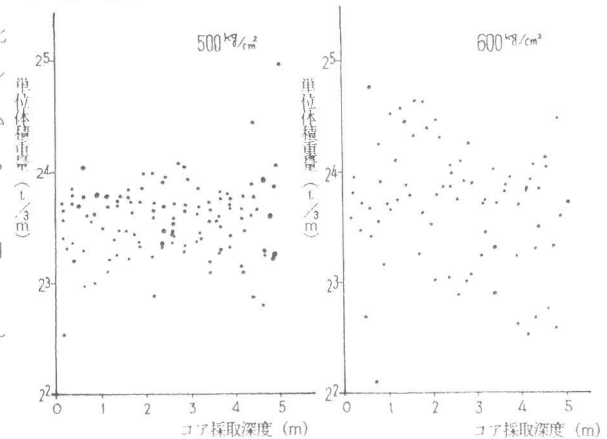


図-4 コア採取深度と単位体積重量の関係

表-9 コアボーリングにより採取した供試体と標準養生の供試体の強度比較

目標強度	試験個数	コアの試験から求めた値										標準養生の供試体から求めた値									
		n	$\bar{x}_c$	σ_c	V_{c1}	V_{c2}	$\bar{x}_{c95}$	$\bar{x}_{c97.5}$	$\bar{x}_{c99}$	$\bar{x}_{c99.5}$	$\bar{x}_{c99.9}$	n	$\bar{x}_s$	σ_s	V_{s1}	V_{s2}	$\bar{x}_{s95}$	$\bar{x}_{s97.5}$	$\bar{x}_{s99}$	$\bar{x}_{s99.5}$	$\bar{x}_{s99.9}$
P6-3	20	529	484	0.091	1.17	1.19	445.5	449.6	456.6	466.6	476.6	9	540	27.6	0.051	1.00	1.10	490.4	494.7	501.5	508.0
P6-6	24	539	380	7.1	1.08	1.14	472.8	476.7	513.5	513.5	513.5	9	581	5.8	1.0	0.88	1.02	569.6	571.5	577.1	583.1
P7-3	15	498	389	7.8	1.11	1.16	429.3	434.2	471.9	471.9	471.9	12	523	9.6	1.8	0.90	1.03	507.8	507.3	516.6	522.0
P7-5	17	504	310	6.2	1.04	1.12	450	453.2	483.2	483.2	483.2	12	521	8.8	1.7	0.90	1.03	505.8	506.6	515.1	522.0
P7-8	24	532	189	3.6	0.92	1.07	497.2	501.0	519.3	519.3	519.3	12	524	7.8	1.5	0.89	1.03	508.7	511.2	518.8	525.0
R ₁ -3	39	442	311	7.0	1.08	1.14	387.7	391.0	421.2	421.2	421.2	12	527	7.8	1.5	0.89	1.03	511.7	514.2	521.8	528.0
R ₁ -4	38	467	306	6.6	1.06	1.13	413.3	416.6	446.5	446.5	446.5	12	520	10.6	2.0	0.90	1.04	500	502.6	512.9	519.8
R ₁ -5	26	421	250	5.9	1.03	1.11	379.3	380.0	404.3	404.3	404.3	12	515	9.8	1.9	0.90	1.03	500	498.9	508.4	515.1
P6-1	12	567	221	0.057	1.03	1.11	510.8	514.4	545.5	545.5	545.5	9	595	28.4	0.043	1.08	1.08	550.9	553.5	578.0	593.3
P6-4	21	570	183	3.2	0.94	1.06	537.7	540.0	557.7	557.7	557.7	9	606	23.7	3.9	0.96	1.07	566.4	567.1	590.1	604.1
P7-2	15	584	469	8.0	1.12	1.16	503.4	507.1	552.6	552.6	552.6	12	620	10.1	1.6	0.89	1.03	601.9	603.4	613.2	624.2
P7-4	17	605	165	2.7	0.92	1.05	576.2	577.9	593.9	593.9	593.9	12	617	7.2	1.2	0.88	1.02	604.9	605.2	617.2	624.2
R ₁ -2	36	555	233	4.2	0.97	1.08	513.9	516.8	539.4	539.4	539.4	12	613	14.3	2.3	0.91	1.04	589.4	589.5	603.4	609.5
R ₁ -3	31	559	449	8.0	1.12	1.16	481.0	485.4	528.0	528.0	528.0	12	612	13.3	2.2	0.91	1.04	588.5	590.2	603.1	609.1
P6-5	21	399	229	0.057	1.03	1.11	359.5	361.4	383.7	383.7	383.7	9	377	10.6	0.028	0.93	1.05	359.0	361.4	383.7	390.0

$$\begin{aligned}
 n &: \text{試験個数} & \bar{x}_{c95}, \bar{x}_{s95} &: 95\% \text{信頼限界} & V_{c1}, V_{s1} &= \frac{0.85}{1-3V_c} \text{ (または } V_s) \\
 \bar{x}_c, \bar{x}_s &: \text{平均値} & \bar{x}_{c97.5}, \bar{x}_{s97.5} &: 75\% \text{信頼限界} & V_{c2}, V_{s2} &= \frac{1}{1-\frac{3V_c}{\sqrt{3}}} \text{ (または } V_s) \\
 \sigma_c, \sigma_s &: \text{偏差}
 \end{aligned}$$

⑤「ふりかけ添加」方式の場合の試験練りの方法については、本施工時の状態が再現できるような方法を検討すべきであると考えられる。

参考文献

- 1) 岩崎朝明「コンクリートの特性」50、12共立出版
- 2) 平賀友見他「ダイヤモンドコアビットの切断性能とコンクリート強度に及ぼす影響」セメント技術年報(852)