場所打ち杭^{ぐい}コンクリート強度の実態調査

谷口 善則^{*1}・渡辺 忠朋^{*2}・村田 修^{*3}

概要 場所打ち杭は、その工法特性により、都市部における杭施工法の大多数を占めている状況である。しかし、そのコンクリート部材としての品質は、他の一般的なコンクリート構造物と比較して劣っているといわれ、杭部材を設計する場合、コンクリート強度の低減を行っている。しかし、実際にどの程度強度が低下するか、また、どのような要因により低下するかは明確にはなっていない。この報告における調査においては、実際に施工された杭の強度の低下を定量的に判断し、評価することを目的に行った。

キーワード：場所打ち杭、圧縮強度、低減率

1. はじめに

場所打ち杭^{ぐい}は、騒音が少なく、杭径、配筋等自由な組合せ、工法自体の施工性のよさ等により、都市部においては杭施工法の大多数を占めている。

しかし、場所打ち杭工法を選定した場合、設計者にとっては、コンクリートの品質が大きな関心事のひとつであるといえる。場所打ち杭工法により施工されたコンクリートは、一般的に気中で通常の施工をされたコンクリートに比べ強度が劣り、とくに杭頭部の比較的浅いところの強度や弾性係数も低下するといわれている。これは、一般的に、①水中コンクリートであること、②掘削残土や泥水、ベントナイト等の安定液等がコンクリートに混入するおそれがあること、③締固めを行わないこと、などが挙げられている。たとえば、鉄道における設計の規準¹⁾では、気中で締固めを行ったコンクリートに比べ、気中で締固めを行わない場合には90%、水中で80%、ベントナイト泥水等を用いた場合には70%にコンクリートの圧縮強度が落ちると考え、圧縮強度の低減を行っている。しかし、場所打ち杭の施工法により実際にどの程度コンクリートの圧縮強度が低下するのか、明確にはなっていない。

そこで、実際に施工された場所打ち杭より供試体を採取し、コンクリートの圧縮強度（以下、単に強度という）試験を行った実態調査結果を整理し、設計に用いる安全係数を定める資料とするため、実際に施工された杭のコンクリート強度について検討を行った。

2. 検討に用いたデータの概要

検討には、「場所打ち杭のコンクリート圧縮試験作業報告書」（国鉄 鉄道技術研究所、昭和59年3月、以下文献①とする）より268ケースと「水中コンクリートの圧縮強度に関する実態調査」（建設省土木研究所、昭和62年1月、以下文献②とする）より544ケースのデータを用いた。採取したデータの養生条件は、以下のとおりである。

文献①より採取したデータの供試体養生条件は、コンクリートを打ち込み、土中で1週間程度養生させたのち、コアボーリングにより切出しを行い、水中養生で28日となるまで養生を行った。

文献②より採取したデータの供試体養生条件は、コンクリート打ち込み後、28～150日程度土中で養生したのち、コアボーリングにより供試体の採取を行った。

採取したデータの詳細については、杭径、採取深度、設計強度、水セメント比、スランプ、材齢、工法、セメントの占有率および採取したコアの直径について図-1～9に示す。

3. 検討方法

採取したデータの検討は、図-10に示すフローにより行った。

上記の検討を行うために、コンクリートの圧縮強度を以下に示す方法により正規化を行った。

① コア採取強度/設計基準強度

② コア採取強度/標準養生供試体強度

以上の2種類の強度を正規化した定数（以下、強度定数）は、以下のような意味合いがあると考えられる。

1) コア採取強度/設計基準強度：コンクリートの設計基準強度に対する、実際の施工による場所打ち杭

*1 たにぐち・よしのり／国鉄総合技術研究所 土質・基礎研究室 研究員

*2 わたなべ・ただとも／同上 橋梁研究室 研究員

*3 むらた・おさむ／同上 土質・基礎研究室 室長

図-1 杭径度数分布図

図-2 採取深度度数分布図

図-3 設計基準強度度数分布図

The Research for the Compressive Strength of Pile of Cast in Place

By Y. Taniguchi, T. Watanabe and O. Murata

Concrete Journal, Vol. 32, No. 4, pp. 22~30, April 1994

Synopsis The methods of pile of cast in place hold the majority all methods in execution of pile, because of the characteristic of that methods. But the quality of concrete of piles of cast in place is worse than the quality of the general structures of concrete. So we reduce the compressive strength of concrete piles, when we design the piles of cast in place. But we don't clearly know how much and why the strength declines. This report have purpose which we estimate the decline of strength of piles.

Keywords : piles of cast in place, compressive strength, a rate of decrease (of concrete compressive strength)

図-4 水セメント比度数分布図

図-5 スランプ度数分布図

図-6 材齢度数分布図

図-7 セメント占有率

のコンクリート強度の低減率を表す指標で、この値が設計に用いる安全係数の参考値となると考えられる（以下、強度定数①）。

- 2) コア採取強度/標準養生供試体強度：標準養生条件下のコンクリート強度に対する場所打ち杭の施工条件による強度低減率を示す指標である。これが、場所打ち杭の施工条件におけるコンクリートの、一般的な気中で施工されたコンクリートに対する強度

図-8 工法占有率

図-9 採取コア直径占有率

図-10 検討フロー

の低下率に相当するものである（以下、強度定数②）。

また、採取したコアの直径に標準的な形状と異なるものが含まれていたため、形状の違いによる強度への影響を極力排除することとした。採取したコアの直径は、 $\phi 10 \times 20$ 、 $\phi 5 \times 10$ の 2 種類で式(1)により補正を行った¹⁾。

$$F_{\phi 10} = 0.84 F_{\phi 5} \quad (1)$$

ここに、 $F_{\phi 10}$ ：供試体 10 cm の圧縮強度 (kgf/cm²)

$F_{\phi 5}$ ：供試体 5 cm の圧縮強度 (kgf/cm²)

4. 検討結果および考察

(1) 文献①のデータによる比較

このデータは前述のとおり、コンクリートを打設後、1 週間程度で地中より取り出し、その後 28 日まで水中養生を行ったものである。したがって、コア採取した供試体と標準養生供試体ではほぼ同一の養生条件および材齢日数であると考えられる。また、採取したコアはすべて普通ポルトランドセメントを用い、リバース工法で施工されたものである。したがって、強度の低下は杭施工法による影響のみと推測される。

1) 強度定数の分布、整理結果

文献①に関する 268 のデータを 3 章に示す方法で正規

化し、整理したものを表-1 および図-11~13 に示す。

図-11, 12 に示すとおり、強度定数①および②の度数分布図には、極端な偏りやばらつきのないことがわかる。

次に、おのおのの強度定数に着目すると、正規化した強度定数①は、その平均値で約 1.03、95 % 信頼値で 0.78 を示している。現行の鉄道の技術基準²⁾ においては、自然泥水中での施工においては設計基準強度を 0.8 倍に低減しているが、今回の結果は 95 % 信頼値で考え

表-1 コンクリート強度定数検討結果（文献①）

	最小値	最大値	平均値	標準偏差	95 % 信頼値
コア強度/設計強度	0.657	1.458	1.028	0.1533	0.775
コア強度/28 日強度	0.502	1.199	0.804	0.1231	0.601

図-13 コンクリート強度定数検討結果（文献①）

図-11 コア強度/設計基準強度度数（文献①）

図-12 コア強度/28 日強度度数分布図（文献①）

ると、この低減係数の数値とほぼ同等の結果が得られた。

強度定数②は、平均値で 0.80、95 % 信頼値で 0.60 となった。このことは、養生条件を除く施工法の影響のみによりコンクリート強度の低下が起き、標準養生供試体の強度に対し平均でも 8 割、95 % 信頼値では約半分程度の強度になる可能性があることを示しており、場所打ち杭を施工することによる強度低下がかなり大きいことがわかる。

2) パラメータによる比較

場所打ち杭を施工した場合、コンクリート強度が低下することは明らかである。しかし、施工のどのような要因により強度が低下するのかは明らかにされていない。

ここでは、場所打ち杭の圧縮強度に影響を及ぼす要因として、施工深度をパラメータとして検討を行った。以下に検討結果を示す。

・深さに対する検討

一般的に場所打ち杭は、他のコンクリート構造物とは異なり、締固めを行わないこと、また、トレミーでコンクリートを打ち込む際、浅い部分ではコンクリートのかぶりが小さく、拘束力が小さいため、杭頭付近においては深い部分より強度が低下するといわれている。一方、杭基礎の場合、その支持形式により地震等の水平力を受けた場合に杭頭付近、または比較的浅い部分に大きな応力が発生する場合が多い。

以上の点をふまえ、深度方向のコンクリート強度および強度定数の分布、杭頭付近でのコンクリート強度の特性について検討を行った。

図-14 は深度と強度定数①による分布図である。深度が深くなるにしたがい、強度定数が増加する傾向がわずかにみられる。また、図中に示した一点鎖線は、最小二乗法により深度方向に近似した強度定数①の平均値を示している。一般的にいわれているように深度が深くなると、セメントが密実となり、単位体積重量が増し、強度

図-14 コア強度/設計基準強度～採取深度分布図 (文献①)

図-15 コア強度/28 日強度～採取深度分布図 (文献①)

増加するという傾向となっている。また、この直線は浅い部分においても 1.0 以上の数値を示しており、平均値ではほぼ設計基準強度を満たしていることが分かる。

また、図中の破線は 268 ケースのデータの 95 % 信頼値 (深度方向の強度増加は考慮していない) を表している。図より破線は深度に関係なくほぼデータを包含しており、95 % 信頼値は、深度に関係なく設計上の強度低下の参考値となることがわかる。

図-15 は、採取深度と強度定数②の分布図である。この図より深度が深くなることにより、コア圧縮強度は増加する傾向にある。しかし、その増加傾向は微小であり、平均値 (図中の一点鎖線) においても標準養生供試体強度の 0.8 倍程度であった。このことは、施工による強度低下が深度により緩和される傾向にあることがわかるが、その変化量については十分に把握することができなかった。

(2) 文献②のデータによる比較

文献②のデータは前述のように、コンクリート打込み後、土中で養生されたものである。このため文献①のデータとの比較、材齢日数の影響を検討するために 2 種類に分け、以降検討を行う。

1) 文献①のデータと比較を行うため、リバース工法で施工され、普通ポルトランドセメントを使用したケースのコア採取の材齢が 28 日程度 (27~31 日) のものを抽出し (269 ケース)、各強度定数により比較を行い、考察を行ったのち、その他のデータを含めたもの (全 303 ケース) で考察を行った。文献①のデータと文献②のデータとの差異は養生条件 (文献①は土中→水中養生、文献②は土中) のみと考えられる。

2) 養生期間が 40~150 日のコンクリートの強度および強度定数と材齢日数の関係について検討を行う。材齢日数により、強度がどの程度まで増加するかを定量的に把握することを目的とした。

① 28 日前後のデータによる比較

図-16 コア強度/設計基準強度度数分布図 (文献②)

図-17 コア強度/28日強度度数分布図 (文献②)

表-2 コンクリート強度定数検討結果 (文献②)

	最小値	最大値	平均値	標準偏差	95 % 信頼値
コア強度/ 設計強度	0.600	1.460	1.024	0.1521	0.773
コア強度/ 28日強度	0.476	1.193	0.809	0.1253	0.602

・強度定数の分布、整理結果

文献②の510ケースあるうちのコア採取の材齢が28日程度のを303ケース抽出、3章に示す方法により正規化し、整理した結果を表-2および図-16~18に示す。

図-16, 17に示すように、文献①のデータと同様に強度定数①、②には極端な偏りやばらつきのないことが分かる。

次におおのの強度定数に着目すると、強度定数①は、平均値で約1.02、95 % 信頼値で0.77を示している。また、強度定数②においては平均値で0.81、95 % 信頼値で0.60という値となった。しかし、このデータは約1割のデータが文献①のデータになかった施工法、ベノト工法により施工されたデータを含んでいる。したがって、施工法による条件も統一するために、さらに303ケースのうちの文献①のデータと施工方法（リバース工法）およびセメント種類（普通ポルトランドセメン

図-18 コンクリート強度定数検討結果 (文献②全303ケース)

ト)が同一のデータ269ケースを抽出し、同様の検討を行った。その結果を表-3および図-19に示す。

上記の結果より、強度定数①の平均値は1.03、95 % 信頼値は0.77であった。また、強度定数②においては、平均値が0.80、95 % 信頼値が0.60であった。

この数値は、前述の文献①のデータと平均値、95 % 信頼値ともにほぼ一致しており、養生条件（土中→水中養生と土中養生）の違いのみによる強度への影響は、こ

表-3 コンクリート強度定数検討結果 (文献②)
(リバース工法、普通ポルトランドセメント)

	最小値	最大値	平均値	標準偏差	95 % 信頼値
コア強度/ 設計強度	0.600	1.460	1.027	0.1573	0.767
コア強度/ 28日強度	0.476	1.193	0.803	0.1261	0.595

の2つの結果をみるかぎりほとんど認められず、土中の養生条件は比較的良好であると考えられる。

・深さによる検討

図-20には深度と強度定数①、図-21には深度と強度定数②の関係をそれぞれ示す。

各図のデータの分散状況および最小二乗法により求めた深度に対する各平均値、95%信頼値等、文献①での結果とほとんど一致しており、深度による検討の結果においても、養生条件による差は認められなかった。

② 長期材齢データによる比較

・施工法、セメント種別による検討

図-19 コンクリート強度定数検討結果 (文献②)
(施工法:リバース, セメント:普通ポルトランドセメント)

図-20 コア強度/設計基準強度～採取深度分布図 (文献②)

図-21 コア強度/28日強度～採取深度分布図 (文献②)

図-22, 23に材齢日数と強度定数の関係を施工法、セメント種別に下記に示すように分類し検討を行った。

- (a) リバース工法-普通ポルトランドセメント
- (b) リバース工法-B種高炉セメント
- (c) ベノト工法-普通ポルトランドセメント
- (d) ベノト工法-B種高炉セメント

図-22, 23よりデータに偏りはあるが, (a), (c), (d)はほぼ同様の傾向を示しているが, (b)については低下の度合いが大きい結果となった。この理由として(b)におけるデータが材齢100日程度のものしかなく、データに偏りがあったことが影響したものと考えられる。本来、B種高炉セメントは長期材齢時の強度確保に特徴のあるセメントである。したがって(b)においては長期のデータがなく、データに偏りがあるため、定量的な検討を行うことができない。したがって, (b)が(a), (c), (d)に比べて低下の度合いが大きい、施工法、セメント種別にかかわらず、全データに対して安全性を検討す

図-22 材齢日数～コア強度/設計基準強度分布図 (文献②)
(施工法およびセメント種別ごと)

図-23 材齢日数～コア強度/28日強度分布図 (文献②)
(施工法およびセメント種別ごと)

ることとした。

・材齢による検討

材齢日数と強度および各強度定数の比較、長期材齢における強度の期待値の把握を行うために、文献②のデータの材齢日数 40～150 日のデータ 207 ケースを抽出し、検討を行った。

図-24 は、材齢日数と強度定数①との関係を示している。実線は平均値、破線は 95 % 信頼値を示している。材齢日数の経過により平均値は大きく増加しているが、95 % 信頼値はほぼ 0.8 程度に収束する傾向がみられた。この結果は、28 日材齢により比較した文献①および文献②のデータの強度定数①の 95 % 信頼値と同程度の値であり、長期材齢においても、強度のばらつきを考慮するとほぼ 0.8 程度の値をもって低下の参考値となりうる可能性を示したものと考えられる。

図-25 は、材齢日数と強度定数②の関係を示したものである。この図の実線は平均値、破線は 95 % 信頼値を示している。標準養生供試体強度（28 日材齢）に達するまでに、材齢日数がほぼ 70 日程度必要であることがこの図よりわかる。また、全データの 95 % 信頼値によれば、長期材齢においても、標準養生供試体強度の 0.7～0.8 程度の強度しか見込めない結果となった。

図-24 材齢日数～コア強度/設計基準強度分布図（文献②）

図-25 材齢日数～コア強度/28 日強度分布図（文献②）

図-26 コア強度/設計基準強度～採取深度分布図（文献②）

図-27 コア強度/28 日強度～採取深度分布図（文献②）

・深度による検討

図-26 には強度定数①と採取深度、図-27 には強度定数②と採取深度の関係を示す。

これらの図より、材齢日数による強度の増加は考慮されていないものの、深度が深くなるほど強度の増加する傾向がはっきりとみられる。

5. おわりに

現在、杭基礎を施工するうえで都市部の主流を占めている場所打ち杭のコンクリート圧縮強度について調査、検討を行った。今回の調査結果で特徴的な事項としては、場所打ち杭の圧縮強度の低下は、従来の基準に定められている値と比較し若干大きい傾向にあること、また、一般的にいわれている杭頭付近での強度低下というもの、ほとんど認められなかったことが挙げられる。また、今回新たな知見として、杭施工後の養生条件は比較的良好であること、セメント種類がコンクリート圧縮強度に与える影響が存在する可能性があることが確認された。今後は、さらにデータを集め、コンクリートの物性や施工諸条件下での詳細な検討を行っていきたいと考えている。

なお、模型供試体を用いて各種施工条件下（気中、水中、ベントナイト泥水中）での曲げ強度、せん断強度、

繰返し大変位交番載荷試験等を行い、施工条件によるコンクリートの品質が耐力に与える影響の確認を行っている。

参 考 文 献

- 1) 笠井芳夫：供試体寸法とコンクリートの圧縮強度ならびに強度のばらつきの関係，日本建築学会論文報告集，昭 39.7
- 2) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説（基礎構造物・抗土圧構造物），昭 61
- 3) 国鉄東京第二工事局：場所打ち杭の合理的設計施工法の研究報告書，昭 58.3
- 4) 国鉄鉄道技術研究所：場所打ち杭のコンクリート圧縮試験作業報告書，昭 59.3
- 5) 建設省土木研究所：水中コンクリートの圧縮強度に関する実態調査，昭 62.1
- 6) 竹下貞雄：場所打ち杭の杭体コンクリートの強度について，基礎工，昭 60.6

◀図 書 案 内▶

〔コンクリート工学ブックス・6〕

コンクリート工事の施工技術

——良いコンクリート工事をするための施工技術の基本——

毛見・篠木・野尻・青景・笠原
清水・十河・寺井・戸祭・松岡
山下・万木・吉信・渡辺 共著

A 5 判・291 ページ／定価 5 000 円（税込），会員特価 4 500 円（税込）／送料 430 円

良いコンクリート工事とは、品質・施工・経済性の三位一体であり、コンクリート・型わく・鉄筋の一体化でもあります。正しい示方書や仕様書があっても、また良いコンクリートが供給されても、施工が悪ければ、発注者や設計者の意図と異なり、大きな財産を失うことになります。

本書は、コンクリート工事の施工に必要な基礎知識の上に計画・準備・打込み・養生・管理の基本を大きな柱とし、さらに応用として高層ビルやダム工事も対象としたほか、水中コンクリート工事や一部ロボット工法なども今後の施工法として取り上げているため、コンクリート工事の現場技術者ばかりでなく、スタッフ部門の技術者あるいは施工管理の方々の良き手引書となっています。もちろん、生コンメーカ、混和剤メーカ、さらには型わく・圧送技術者のほか、設計やコンサルタント関係の方々にも大いに参考となるものです。とくに施工の学習書として、各種の資格試験のテキストに好適といえます。

〔主 要 目 次〕

序／I. 施工に必要なコンクリートの性質（設計と施工／関連規準と施工／材料と施工／配合と施工／養生と管理）／
II. コンクリート工事の施工計画（土木関連施工計画／建築関連施工計画／施工機械器具／仮設・型枠支保工の計画）／
III. コンクリート工事の準備（生コンの注文／打込みの段取）

／IV. 運搬（運搬の基本／各種運搬方法）／V. 打込み・締固め（打込み・締固めの原則／大型構造物への打込み・締固め／特殊部位への打込み・締固め／地中連続壁への打込み）／VI. 養生（一般／特殊な配慮を有する養生）／VII. 品質管理・検査（品質管理／検査）／索引

●申込先：（社）日本コンクリート工学協会・管理課「書籍販売係」

〒102 千代田区麹町 5-7 TBR ビル 708 号／電話（03）3263-1571（担当：宇野）

<申込方法> 書籍名・送付先を明記のうえ、前金（現金書留）にてお申込み下さい。