

# 我が国における埋込み工法による杭根固め部築造方法

浅井 陽一\*1・藤井 衛\*2・武智 耕太郎\*3

## Fundamental Study On Construction System of Enlarged Base Tip Protection in Bored Pile Method in Japan

by

Yoichi ASAI \*1, Mamoru FUJII \*2, and Kotaro TAKECHI \*3

(Received on Mar.30, 2010 and accepted on July. 7, 2010)

### Abstract

Recently, the pre-boring enlarged base tip protected pile method is the mainstream in pile installation methods. In this study, we investigated construction method and the transition of the enlarged base tip protection in the bored pile method in Japan. The enlarged base tip protection has many types of construction methods. In the case of a pre-boring method, the excavation of enlarged base tip protection is classified as straight excavation and enlarged excavation. The rotatory direction of the excavation of the enlarged base tip protection is classified as normal rotation and reverse rotation according to the mechanism of the excavation head. In the case of the inner excavation method, the enlarged base tip protection is constructed by high pressure jet cement milk. The diameters of enlarged base tip protection have increased over time to increase the end bearing capacity.

**Keywords:** Pile, Enlarged base tip protection, Expansion excavation

### 1. はじめに

高度経済成長時代まで、我が国の既製コンクリート杭の施工方法は、ディーゼルハンマによる打撃工法が主流であった。しかし、市街地における騒音振動が社会問題となってから打撃工法の施工がほとんどできなくなった。その時期に、地盤をあらかじめ掘削し、既製コンクリートを掘削孔に挿入する埋込み工法が急激に発達した。1960年代に杭先端部に根固め部を築造するプレボーリング根固め工法（セメントミルク工法）が開発された。その後、1980年に、杭先端支持力係数（以下 $\alpha$ 値と略記）=250の中掘り拡大根固め工法が（財）日本建築センター（以下BCJ）の評定を取得している。その後、1983年にはプレボーリング拡大根固め工法が $\alpha$ 値=250の評定を取得している。さらに近年では、杭先端支持力を向上させるために根固め部径を杭先端径の1.5倍程度に拡大し、 $\alpha$ 値が250を超えるプレボーリング拡大根固め工法が登場し始めた。しかし、既製コンクリート杭の施工方法は、非常に種類が多く、また、根固め部の形状や掘削ビット、築造方法も異なっている。

本論文では、建築分野における支持杭を対象に、セメントミルク工法、プレボーリングおよび中掘り拡大根固め工法の根固め部の築造方法および時代変遷について調査した結果を報告する。ただし、プレボーリング最終打撃工法や回転工法は、対象外とした。

\*1 総合理工学研究科総合理工学専攻 工修

\*2 工学部建築学科教授 工博

\*3 工学研究科建築学専攻修士課程

### 2. 施工方法の概要

Fig.1に、コンクリートパイル建設技術協会による既製コンクリート杭の施工方法の分類<sup>1)</sup>を示す。なお、( )内に参考文献<sup>1)</sup>に記載されている工法数を加筆した。

施工方法は、打込み工法と埋込み工法に大きく分類される。打込み工法は、打撃工法とプレボーリング併用打撃工法に分類される。一方、埋込み工法は、プレボーリング工法、中掘り工法および回転工法に分類される。さらにプレボーリング工法は、プレボーリング最終打撃工法、プレボーリング根固め工法およびプレボーリング拡大根固め工法に、中掘り工法は中掘り打撃工法、中掘り根固め工法および中掘り拡大根固め工法に分類される。

プレボーリング根固め工法は、ストレートで掘削し、掘削孔底部に根固め液の注入を行い、根固め部を築造する工法である。セメントミルク工法や節杭を使用する摩擦杭工法が該当する。 $\alpha$ 値の範囲は100~200である。

一方、プレボーリング拡大根固め工法は、杭先端部をストレートまたは拡大した根固め部を支持地盤中に築造する工法である。 $\alpha$ 値の範囲は250以上である。

中掘り根固め工法は、杭径程度の根固め部を築造する工法で、中掘り拡大根固め工法は、掘削ビットによる拡大やセメントミルクの高圧噴射により杭径以上の根固め部を築造する工法で、 $\alpha$ 値の範囲は250以上である。

Fig 1中の工法数に注目するとプレボーリング拡大根固め工法数は22工法（ $\alpha$ 値=250は9工法、 $\alpha$ 値>250は13工法）で、中掘り拡大根固め工法の（11工法、 $\alpha$ 値=250

は7工法,  $\alpha$  値 > 250 は4工法) の2倍である。

Fig.2 に 1989 年と 2007 年の施工法別の実施<sup>2)</sup>を示す。1989 年では打込み工法が 36%, 埋込み工法が約 50%であったが, 2007 年では, 打込み工法が 7.5%, 埋込み工法が約 90%である。また, 中掘り拡大根固め工法の 2007 年の比率は, 1989 年と比較してあまり変化していないが, プレボーリング拡大根固め工法の比率は 16.5%から 72.3%に急激に増加している。これは,  $\alpha$  値 250 以上のプレボーリング拡大根固め工法が, 1980 年代~2000 年にかけて評価機関の制度が整備されるに従い多く開発され, 急激に普及したためである。

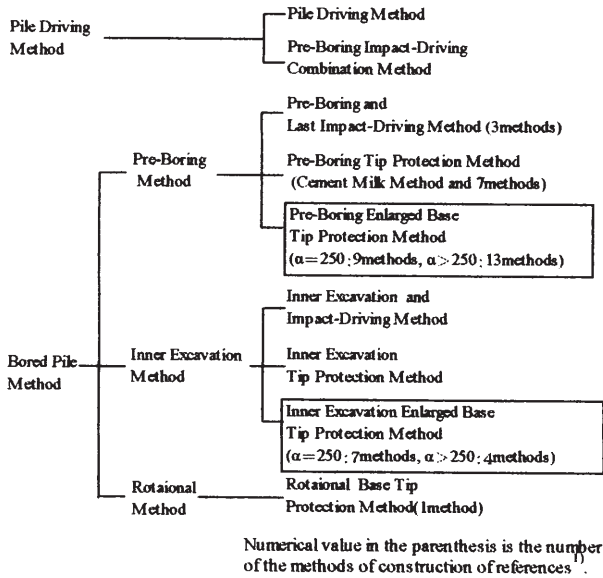


Fig.1 Classification of piling methods<sup>1)</sup>

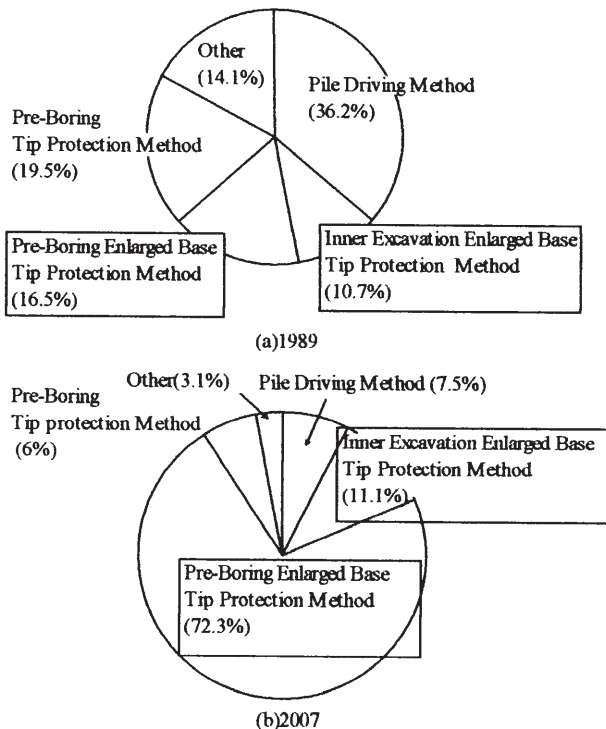


Fig.2 Usage of precast concrete piles<sup>2)</sup>

### 3. 施工方法の開発概要

Table.1 に既製コンクリート杭に関する法令, 杭材の開発概要, 工法開発概要表を示す<sup>3,4,5)</sup>。表中には,  $\alpha$  値および杭径 (D1) に着目し, プレボーリングおよび中掘り拡大根固め工法毎に整理し加筆を行った。

杭打ち工事における騒音や振動などの公害を抑制する施工方法として, 1960 年頃に埋め込み工法が開発された。埋込み工法は, 打込み工法と異なり, 地盤を予め掘削した後に杭を挿入設置する。根固め液を杭先端に充填, 硬化することにより地盤を掘削前の地盤程度に復元する必要がある。1968 年に騒音規制法, 1979 年に振動規制法が制定されたため, 都市部では打込み工法がほとんど施工できな

Table.1 Development outline about piles<sup>3,4,5)</sup>

	Laws/standards	Development of Pile	Pre-Boring Method	Inner Excavation Method
1961		Boring method	Boring method	
1962	JIS establishment of standard practice for execution of spun concrete	PC piles		
1966			Cement Milk method (D1=300-600mm)	
1968	Noise Regulation Law JIS establishment of PC	High strength RC piles		
1970		PHC piles		
1971	Ministry of Construction Notification No.111		Cement Milk method (α=200, D1=300-600mm)	
1972		SC piles		
1976	Vibration Regulation Law Revision of Ministry of Construction Notification No.111	SL piles		
1978		PHC more than PHC type B		
1979	Recommendations for construction Cement of Milk method			
1980				I.E.E.M(α=250, D1≤600mm)
1981	Revision of Building Standards Law			
1982	JIS establishment of a PHC piles	Piles of a diameter of 700-		
1983		PRC and ST piles	P.B.E.M(α=250, D1=300-600mm)	
1984	Guideline On Seismic Design Of Building Foundation And			I.E.E.M(α=250, D1=700,800mm)
1986			P.B.E.M(α=250, D1=700,800mm)	
1987			P.B.E.M(α=250, ST piles 3035-5060, 6070-7080)	
1990				I.E.E.M(α=250, D1= 900,1000mm)
1991			P.B.E.M(α=250, 900,1000mm, ST piles 8090,90100)	
1992		Piles of a diameter of 1100-		
1997			P.B.E.M(α>250)	
1999	Revision of Building Standards Law	CPRC piles		
2000	JIS establishment of Precast prestressed			
2001	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Notification			
2004	Revision of JIS of Precast prestressed concrete products		(Rating examination start of diameter of 1100-1200mm)	(Rating examination start of diameter of 1100-1200mm)
2005			P.B.E.M(α>250, D1≤1300mm)	I.E.E.M(α>250, D1≤1200mm)

[Note] P.B.E.M: Pre-Boring Enlarged Base Tip protection Method  
I.E.E.M: Inner Excavation Enlarged Base Tip Protection Method

くなった。地盤をオーガーで予め掘削し、根固め液や杭周固定液を充填後、杭を挿入するセメントミルク工法（プレボーリング根固め工法）は、1966 年に関西地区を中心に施工が開始され始め、次第に、関東地区に普及した。1978 年の建設省告示 111 号改正時に、セメントミルク工法の  $\alpha$  値(200)が記載され、1979 年に全国基礎工業協同組合連合発行「埋め込み杭施工指針・同解説」<sup>6)</sup>が発行された。

以上のように 1980 年以前は、埋込み工法が登場する幕開けであり、環境、施工管理に十分配慮することが出来なかった。また、「埋め込み杭施工指針」には、十分施工管理に関する記述が記載されていない。これが、今日の  $\alpha$  値が 250 を超えるプレボーリング拡大根固め工法（高支持力杭工法）における施工管理の向上の妨げになっている。

BCJ による中掘り拡大根固め工法の評定は、1980 年が最初である。その工法は、セメントミルクを高圧噴射することにより拡大根固め部を築造する工法である。その後、プレボーリング拡大根固め工法の評定は、1983 年が最初である。この工法は、逆回転することにより拡大翼が拡大する機構を有する拡大掘削ヘッドを用いて、杭径より 200mm 大きく根固め部を拡大掘削する工法である。いずれも、 $\alpha$  値はセメントミルク工法の 200 より大きい 250 であった。また、当時の申請杭径範囲は、600mm 以下であった。その後、1984 年に、特定の埋め込み杭の認定工法による場合に限って  $\phi$  800mm まで認められるようになり、さらに 1990 年に BCJ の基本方針が改定され、評定最大杭径が 1000mm まで拡大した。また、1987 年以降にプレボーリング拡大根固め工法では、ST 杭を用いた工法も開発された。

以上のように、1996 年までは、根固め部の破壊機構があまり注目されていなかったこともあり、プレボーリングおよび中掘り拡大根固め工法ともに  $\alpha$  値は 250 以下にとどまっていた。

しかし、根固め部の破壊機構の検討が進んだこともあり、1997 年に初めて、杭先端 ( $\phi$  300~600mm) のファブリック球根径に対し、 $\alpha$  値が 250 を超える工法 ( $\alpha$  値=270) が出現した。この工法の支持力は、ファブリック球根径が杭径の約 2 倍であるため、この工法以前に評定された杭よりもはるかに大きい。この評定を、契機に  $\alpha$  値が 250 を超える工法が多く開発されてきた。また、2001 年の建築基準法の改定に伴い、BCJ は新たな評価基準に従い 2002 年 4 月以降、性能評価を始めた。同時期に、杭材料および施工

最大杭径（節杭を使用する場合には、軸部径）は  $\phi$  1200mm となった。2005 年には、プレボーリング拡大根固め工法および中掘り根固め工法いずれも  $\alpha$  値が 250 を超え、杭径が 1200mm の工法が開発されている。

1997 年から現在にいたるまで、杭の施工方法は、杭径が大径化し、 $\alpha$  値が 250 を超える高支持力化している。根固め部の破壊機構の検討も進んできているが、その破壊機構上必要な根固め形状を確保するための施工管理技術も重要となってきた。

#### 4. 根固め部築造方法

Fig.3 に根固め部の築造方法の分類を示す。フロー末尾に記載されている記号は、Fig.4,5 の説明用工法名である。「PB」はプレボーリング工法を、「I」は中掘り工法を示している。Fig.4 に代表的なプレボーリングおよび中掘り拡大根固め工法の根固め部の拡大築造過程と根固め部形状を示す<sup>7,8)</sup>。なお、図面順番は、工法の開発順である。また、I-B 工法は施工杭径によって、拡大方式が異なる。施工杭径が 450~600mm の場合は、機械拡大方式で、700~1000mm の場合は、油圧拡大方式である。

プレボーリング工法における根固め部築造方法は、掘削径と同径で根固め部を築造するストレート掘削タイプと掘削径より根固め部を大きく拡大する拡大掘削タイプに分類できる。

ストレート掘削タイプの施工方法(PB-C)は、概ねセメントミルク工法(PB-A)と同じである。しかし、セメントミルク工法では、閉塞杭を使用し、根固め部底面付近に杭を設置する。一方、プレボーリング拡大根固め工法では、開放杭を使用し、杭先端から根固め部底面までの距離が杭径の 1~2 倍程度あることが多い。拡大掘削タイプは、拡大翼を逆回転することによって拡大する機械拡大方式(PB-B 等)と油圧機構が設置されている油圧拡大掘削ヘッドを用いて正回転で拡大する油圧拡大方式 (PB-F,I) に分類される。

中掘り拡大根固め工法の根固め部築造方法は、機械拡大方式(I-D)、油圧拡大方式 (I-B,C)の他に、セメントミルクを高圧噴射することによって根固め部を拡大掘削する工法(I-A)がある。また、高圧噴射を併用する機械式拡大掘削ヘッドを用いる工法(I-E)もある。セメントミルクを高圧噴射して根固め部を拡大掘削する方法は、中掘り拡大根固め工法でのみ見られる。

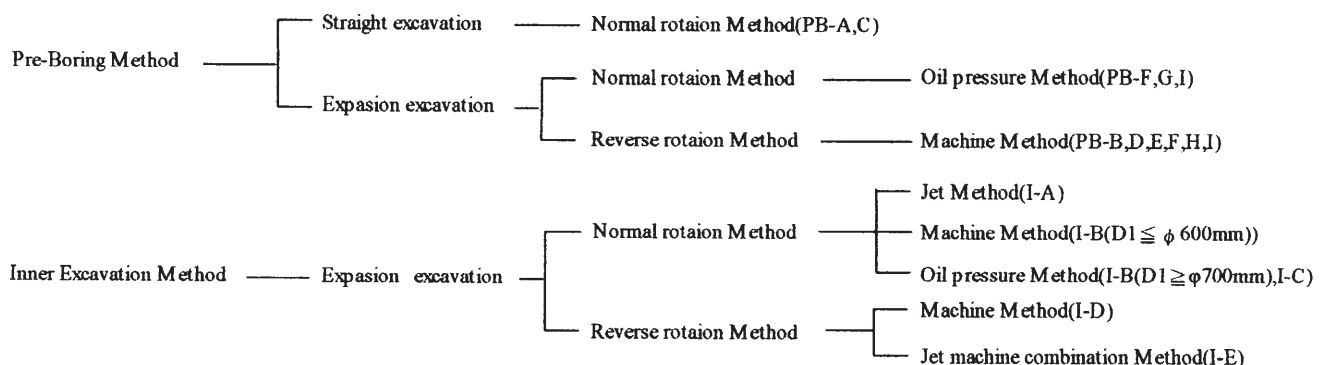
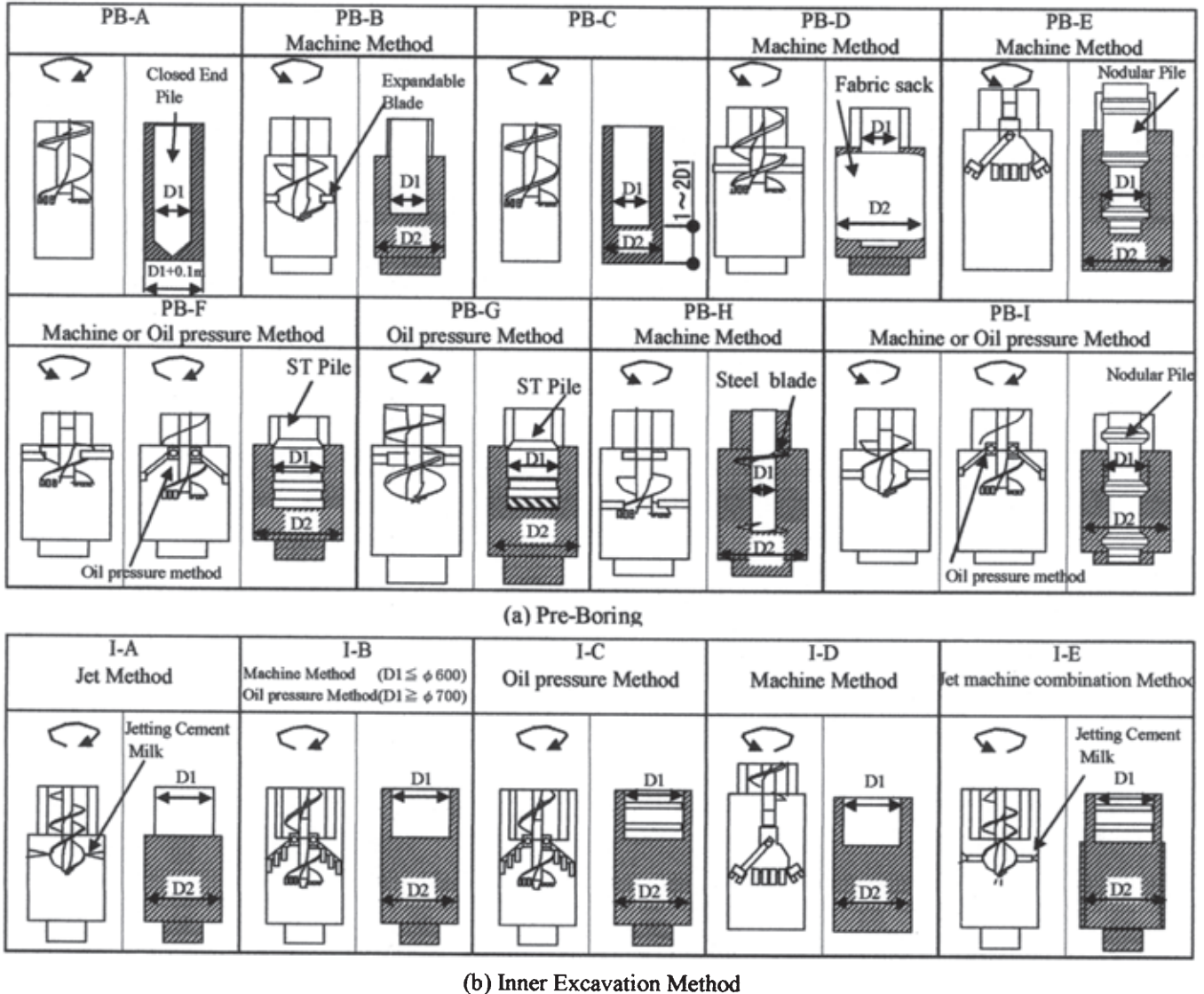


Fig.3 Classification of construction method of enlarged base tip protection

Fig.4 Classification of construction method of enlarged base tip protection<sup>7,8)</sup>

根固め部の拡大方法として、油圧拡大掘削ヘッドが用いられたのは、中掘り拡大根固め工法(I-B)が最初である。その後、プレボーリング拡大根固め工法(PB-F,G,I)への適用が進んでいる。

油圧拡大方式の利点は、①拡大状況が確認できる、②回転方法が正回転で拡大掘削できるため、掘削土を上方向に押し上げやすいなどが上げられる。

Fig.5は、主なプレボーリングおよび中掘り拡大根固め工法の根固め部拡大径比 ( $D2/D1$ ) と杭先端径( $D1$ )関係図である。図中の記号は、Fig.4の根固め部の形状に類した工法を示している。( )の数値は、各工法の最大 $\alpha$ 値を示している。また、杭は、ストレート杭、ST杭、節杭などがあり、根固め部との付着を増すために、ストレート杭やST杭に溝部や凸部を設けた杭を用いる場合もある。杭先端径( $D1$ )は、節杭を使用する場合には節部径、ST杭を使用する場合には杭先端径を示す。

$\alpha$ 値が250の場合(Fig.5(a)),根固め部径( $D2$ )は、杭径( $D1$ )に100~250mm程度を加えた場合が多い。従って、杭径( $D1$ )が増加するに従い、根固め部拡大径比( $D2/D1$ )は相対的に減少する。しかし $\alpha$ 値が250を超える場合

(Fig.5(b)),根固め部径( $D2$ )は、杭径( $D1$ )に係らず $D1$ の1.4~2.0倍程度に設定することが多い。

参考文献<sup>9)</sup>では「杭の先端支持力は、先端面支持力(根固め部底面の地盤の支持力)と定義するほうが力学的合理性があり実務においても有用である。」と結論付けられている。つまり杭の先端支持力を発揮するためには、根固め部径が重要であることを示している。したがって、杭径に対する根固め部径は、杭先端支持力が発揮できるよう杭径に対し比率が一定となるように設定している。

中掘り拡大根固め工法の根固め部拡大径比( $D2/D1$ )は、プレボーリング拡大根固め工法と同様に $\alpha$ 値が250を超えると、杭径に関わらずほぼ一定値となる。中掘り拡大根固め工法の根固め部拡大径比の最大値(1.5)は、プレボーリング拡大根固め工法の拡大径比(2.3程度)より小さい。中掘り拡大根固め工法の場合、拡大掘削ヘッド径は、杭内径より小さくする必要があるので、根固め部径を杭径の1.5倍に拡大するためには、掘削径に対し約2倍程度拡大する必要がある。中掘り工法の拡大掘削ヘッドは、プレボーリング工法より、機械機構的な制約が大きいため、拡大比が1.5以下に抑えられていると考えられる。

## 5. まとめ

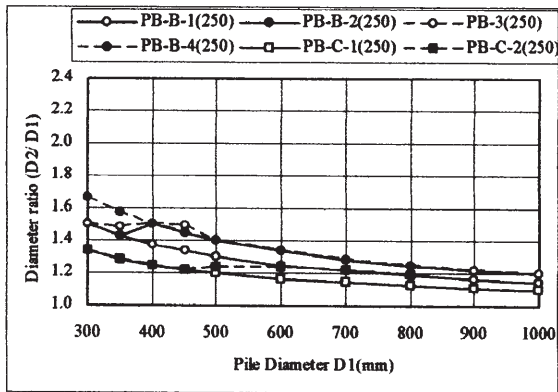
以下にまとめを示す。

- 1) 杭の施工方法は、打込み工法の騒音振動などが社会問題になったため、埋込み工法が主流になった。
- 2) 施工杭径は、600mm 以下が主流であったが、時代とともに大径化し、現在の施工最大杭径は 1200mm である。また、埋込み工法の  $\alpha$  値は、250 が主流であったが、1997 年に 250 を超える工法が出現した。
- 3) 根固め部の拡大方法は、工法毎に多くの種類がある。プレボーリング拡大根固め工法は、ストレート掘削と拡大掘削あり、掘削拡大ヘッドの拡大機構によって、機械拡大方式（逆回転方式）と油圧拡大方式（正回転方式）に分類できる。一方、中掘り拡大根固め工法には、機械拡大方式と油圧拡大方式の他にセメントミルクを高圧噴射する拡大方式がある。なお、BCJ にて初めて評定を取得した工法は、セメントミルクを高圧噴射する中掘り拡大根固め工法である。
- 4) プレボーリング拡大根固め工法の根固め部径は、 $\alpha$  値が 250 以下の場合、杭径 + 100 ~ 200mm 程度が多く、 $\alpha$  値が 250 を超える場合、杭径の 1.4 倍 ~ 2.0 倍程度が多い。

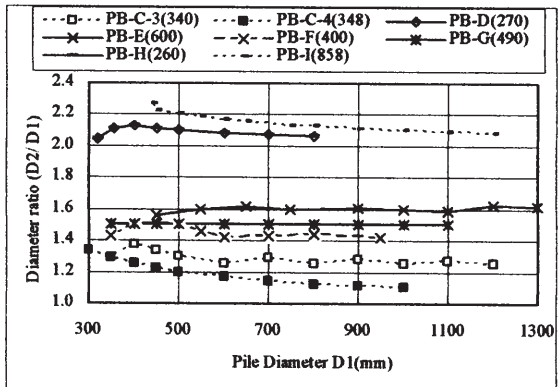
近年開発されている埋込み工法の  $\alpha$  値は、20 年前と比較すると 2 ~ 3 倍程度となっている。根固め部には支持力を発揮するための性能<sup>10)</sup>が求められる。その性能を確保するための施工管理技術の確立もますます重要となってきている。

### 参考文献

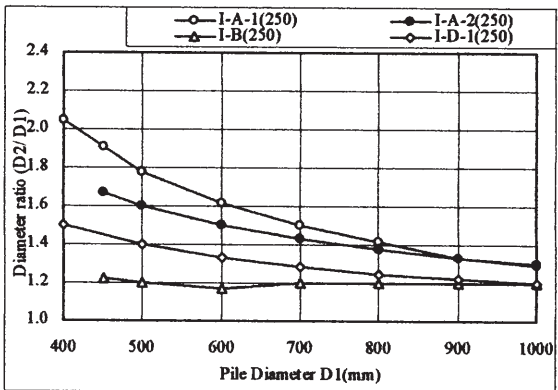
- 1) (社) コンクリートパイル建設技術協会, COPITA, No.42 (2009.4)
- 2) (社) コンクリートパイル建設技術協会, COPITA, 設立 20 周年記念号 (2009.5)
- 3) (社) コンクリートパイル建設技術協会, 既製コンクリート杭, 基礎構造設計マニュアル (2005.10)
- 4) 林, 先崎: 既製コンクリート杭の時代変遷について, 基礎工, Vol.35, No.7, pp.8-11 (2007.7)
- 5) 許斐: 最近の既製コンクリート杭の評定・評価物件, 基礎工, Vol.23, No.5, pp.2-11 (1995.5)
- 6) 全国基礎工業協同組合連合発行「埋め込み杭施工指針・同解説」(1979.12)
- 7) (社) コンクリートパイル建設技術協会, 埋込み工法施工便覧 (2006.4)
- 8) 浅井他: 性能紹介, MRXX 工法他, 基礎工, Vol.36, No.12, pp.33-68 (2008.12)
- 9) 杭の鉛直支持力小委員会, 報告書, 日本建築学会, pp.2-93, 2-99 (2008.8)
- 10) 林: 既製コンクリート杭基礎施工品質の現状とその課題, 基礎工, Vol.35, No.10, pp.16-19 (2007.10)



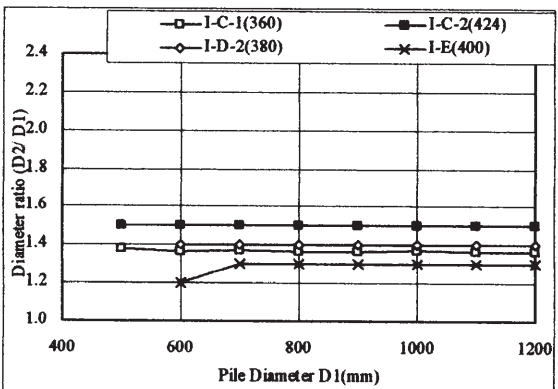
(a) Pre-boring method ( $\alpha$  Value=250)



(b) Pre-boring method ( $\alpha$  Value > 250)



(c) Inner excavation method ( $\alpha$  Value=250)



(d) Inner excavation method ( $\alpha$  Value > 250)

Fig.5 D2/D1 - D1 relationship

