

構造物基礎の設計・施工

えん どう まさ あき
遠 藤 正 明*

1. まえがき

与えられた課題は、杭基礎、特殊基礎（連続壁、ケーン、NF カット杭など）について設計と施工の動向を最近の10年を中心にして進歩した点、残された点を分類、整理して示すようにというものである。能力、紙面の双方共この膨大な内容に不足するので、一側面からの見方に過ぎないもので申し訳ないが、杭基礎を中心にして見解を述べさせて頂くことにする。不足の点は何とぞお許し頂き、補足して把握して頂くようお願いしたい。

この10年をふり返ったとき、まず総合的に指摘されるのは、土質基礎工学の実務への浸透が誠に目ざましいことである。土質工学研究発表会の例を見ても、官公庁、調査・設計会社、建設会社の実務家からの発表編数は常にほぼ50%であり、この10年間に約1 120編が発表され、年ごとに件数も増加の一途をたどっている¹⁾。

この趨勢をもたらした大きな要因の一つに、関係各機関による設計・施工に関する基準、指針、方法又は仕様書など標準類の整備充足があげられる。また図書・雑誌類による情報も非常に充足してきている。各機関のこのような活動の結果、調査、設計、施工の一貫した流れが相当な水準で標準化されてきている。

ここで特筆されるべきことは、1977年に開催された第9回国際土質工学会議において、ダポロニヤ (D'Appolonia) の主催による“基礎の性能に及ぼす設計と施工との関連について”という特別セッションがもたらしたことである。ここでは、所期の性能を正しく保持する基礎を構築するために、発注者、技術者、施工者のそれぞれの責任とその適切な連携のあり方が明確化されること、特に設計者と施工者との情報連絡と、緊密な協力体制の必要なことがテルツァーギ (Terzaghi) の提言を引用して強く主張された²⁾。このアピールは大きな反響を呼び、福岡国際土質基礎工学会長のプロモートによりこの主催は第10回のストックホルム会議のメインテーマに採択され、また国際的なケースヒストリー集の刊行が企画され、現在日本の土質工学会により第10回会議に間に合うように作業が進められている。このように、企画、調査、設計、施工の一貫性が強調されてきたことは、現在の大きなすう勢といえるであろう。換言すれば、科学として分化されて発展してきた土質基礎工学の分野に総合的な見地からの改善が求められてきたものと見られよう。

以下に設計と施工のそれぞれについて各論的に動向を概観する。

*鶴竹中工務店技術研究所 取締役所長

2. 設計の主な歩み

2.1 杭基礎設計の歩み

日本建築学会では1974年に建築基礎構造設計規準を改訂した。これは1960年の規準を改訂したもので、この間の技術の進展を内容の差から見ることができる。杭基礎に関する主な改正点を拾うと次のようである。

- (i) 杭基礎設計の手順が流れ図で明確に示された。
- (ii) 場所打ち杭、埋込み杭の支持力が打込み杭と分離して示された。
- (iii) 開端杭の先端支持力について先端閉そく(塞)効果を考慮すべきことが示された。
- (iv) 地震時の地盤の液状化に対する検討が要求された。
- (v) 杭に作用する負の摩擦力に対する検討法が示された。
- (vi) 杭の水平抵抗の検討法が示された。
- (vii) 沈下を許容した杭基礎の設計の考え方方が示された。
- (viii) 杭材料の許容応力度と杭体の許容応力度の低減について改正が加えられた。

鉄道、道路橋、港湾など土木方面でも同様な傾向が見られるので、これらを中心にして不足なものを足すことにしたい。

(a) 杭基礎設計の手順

杭基礎の設計は、まず与えられた条件（地盤、荷重、所要精度、施工など）を十分に把握し、要求される性能を建物の寿命の期間満足させて、最も経済的に工期内に完成させ得る杭基礎の選定を行い、この杭基礎に対して各種の技術的計算と検討とを行って詳細な設計図書を作成する一連の作業である。技術者にとって最も大切なのは条件の把握と杭基礎の選定であるが、技術的検討も相当に複雑である。この一連の作業をフロー図で示すことが行われてきた^{3), 4), 5)}。このフロー図により技術計算の部分は電算機におきかえることが可能である。要は選定段階までをいかに電算化するかであろう。文献⁴⁾には“杭基礎はいまだに技能の面が大であり、経験に頼る部分が多いが、なんとかして力学的にすっきりした形の杭基礎の設計が行えるように努力したい”というホイテカー (Whitaker) の著書の序文の一節が紹介されているが、これこそこれからの我々の課題であろう。

(b) 杭の鉛直支持力

前述のように、各種基準類が整備され、実務家はそれに基づいて設計に当たっているが、現実には社会のニーズによる新しい施工法の登場、杭の径、長さなどの大規模化、実在地盤の複雑性などにより、基準類では十分に対応し得ないもの、又は暫定的に設定されてはいるものの、実情を明確に解明し得る状態になっていないものが山積しており、これらに対して真剣な研究の努力が払われているのが実情である。

杭の鉛直支持力に関しては、1969年に BCP 委員会が“砂

土質工学 30 年の歩み

層に支持される杭の支持力に関する実験的研究^{6), 7)} を発表し、支持杭の先端支持機構、極限支持力、打込み杭と埋込み杭の荷重と変形などに関して、進行性破壊を含めた極限支持力の考え方の必要性を打ち出したことが特筆される。以来この観点からの研究が土質工学研究発表会にも数多く出され、極限支持力に関する解明がユニークな角度からまとめ直されようとしている。富永は、1976年の研究発表会の一般報告⁸⁾において、"これらの研究がより多くの収穫を上げると共に、杭先端部地盤の応力～ヒズミ関係から杭の支持力を変形との相互作用としてとらえてゆく研究成果として完成し、世界に先駆けて杭の先端支持力論が集大成されるのである、われわれに課せられた研究テーマの興味はつきない"と述べている。杭の周面摩擦に関する研究も非常に活発であり、この二つの流れの研究から杭の鉛直支持力の問題は次々と解明されて行くであろう⁹⁾。

以上の動きは、近時公害防止の関係から打込み杭の使用が制限され、場所打ち杭、埋込み杭が多く使用されることになり、多くの施工法が行われるようになって、実務問題を解決するために急速にニーズが高まったことにもよっている。場所打ち杭、埋込み杭の支持力について数多くの研究と調査が行われてきている^{9), 10), 11), 12)}。

これらの成果は建築基礎構造設計規準と解説¹³⁾に採用され、更に建設省告示第1623号（53年10月20日）において載荷試験によらない場合に次のように示されている。

表一 基礎杭の先端地盤の許容応力度（ \bar{N} は60を限度とする）
(建築基準法施行令による建設省告示第1623号)

基 础 杭 の 種 類	基礎杭先端の地盤の許容応力度
打　込　み　杭	$q_p = \frac{30}{3} \bar{N}$ (tf/m ²)
セメントミルク工法による埋込み杭	$q_p = \frac{20}{3} \bar{N}$
ペノト工法、リバースサークュレーション工法又はアースドリル工法による場所打ち杭	$q_p = \frac{15}{3} \bar{N}$

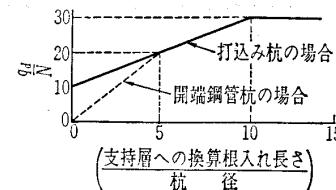
道路橋については、道路橋下部構造設計指針・同解説杭基礎の設計篇には図一1、表一2のように示されている。

表二 場所打ち杭の q_d 推定表(道路橋下部構造設計指針、杭基礎の設計篇)

先 端 極 限 支 持 力 度 (q_d)	砂　礫　層	$N \geq 50$	750	(tf/m ²)
		$50 \geq N \geq 40$	525	
	砂　層	$40 \geq N \geq 30$	300	
	硬質粘土層	$N \geq 30$	$3 q_u$	

これらの基準値は、より進んだ研究の成果により逐次改善されて行くであろう。

鉛直支持力に関連して、解明に努力が払われているのが開端杭の先端閉そく効果である。開端杭の先端支持力は開端杭の先端肉厚部の支持力と開端杭の内部に詰まった土に



図一1 打込み杭先端地盤の極限支持力度 (q_d) の算定図
(道路橋下部構造設計指針 杭基礎の設計篇)

よる摩擦力の和として把握されるが、後者の閉そく効果は杭の内径と支持層への根入れ長によって影響される。钢管杭の場合この問題は安全並びに経済上極めて重要であり、定量的に明確に性状が把握されることが求められている。従来の実験的研究から径の小さいものについては分かってきているが、径が 700 mm 以上特に 1 000 mm 以上ともなると評価が困難な実情にある。山肩^{9), 14)}、駒田⁹⁾、岸田^{9), 15)}、富永⁹⁾、内田⁹⁾等が熱心な研究を行っている。この閉そく効果についての検討法も建築基礎構造設計規準の解説には、(24.20)式から(24.24)式、図24.17と図24.18で示しているが、大口径開放杭（径 700 mm 以上）の場合は載荷試験を行って決めるのが望ましいとしている。

(c) 地震時の液状化

1964年6月16日に発生した新潟地震は、M=7.3の中規模の地震であったが、信濃川の河口の砂層上に発達した市街地に液状化の現象を発生し、多くの被害を生じた。転倒した直接基礎のアパートのみならず、杭基礎上の建物において多くの沈下や傾斜の被害を発生した。十勝沖地震のときの現象も反省され、液状化に対する調査研究が数多くもたらされ、液状化発生のメカニズム、対処方法が論じられた^{16), 17), 18), 19), 20), 21), 22)}。これらの成果は建築基礎構造設計規準(1974)²³⁾、港湾の施設の技術上の基準(1979)²⁴⁾に採り上げられている。新潟地震以来国際的にも液状化の研究が行われ、シード(Seed)の一連の研究は高い評価が与えられよう。これら国際的な研究の現況報告は、第9回国際土質基礎工学会議のNo.4主要部会において吉見により行われている²⁵⁾。更に追求すべき問題については、土質工学研究発表会において毎年発表が行われている⁹⁾。

(d) 杭に作用する負の摩擦力

地盤沈下を生ずる地盤に打設された杭に作用する負の摩擦力については、1969年に土質工学会鋼グリ研究委員会の研究報告^{26), 27)}が出されて以来、成功した大規模な実験的研究^{28), 29), 9)}がもたらされ、負の摩擦力に対する現象が解明してきた。更に杭と周辺土との周面摩擦力などの基礎的な研究も数多く行われ⁹⁾、この面の研究はここ10年の間に画期的な進歩を遂げている。研究の傾向は、各種の土に対する周面摩擦力、中立点位置、先端の開閉による差異、群杭による低減効果、繰返し荷重時の現象、負の摩擦力による杭の沈下、など負の摩擦力の推定方法と作用時の変形の研究⁹⁾と共に近頃は、負の摩擦力低減工法に関する研

究^{30), 31), 9)} が熱心に行われるようになってきている。

これらの成果をふまえて、負の摩擦力は建築、鉄道³²⁾、道路橋³³⁾、港湾の基準にとり上げられ、実務家が設計に駆使できるようになってきている。地盤沈下地帯に長大杭が採用され、被害例も検討されてきた今日、この面では大きな成果を上げているといえる。

(e) 杭の水平抵抗

土質工学会鋼グリ研究委員会第4分科会は1966年までの杭の水平抵抗に関する研究と実験とをとりまとめて報告書を作成した^{34), 35)}。これは貴重な貢献であったが、これを引継いで鋼管杭協会の委員会が1975年に更に最近の研究までを集録したレポートを作成している³⁶⁾。杭の水平抵抗の最近の動向について大志万は次のように述べている³⁷⁾。

“杭の水平抵抗は、杭の寸法と弾性的性質、土の stress-strain の関係、土の有効単位体積重量、深さ、杭の変位量、荷重の大きさ、載荷速度、載荷時間、載荷履歴、土の時間的性質など数多くのパラメーターの関数である。その他、地震時においては地盤の性質の変化、構造物との相互作用などの重要な問題が含まれている。一方、実際問題としては、これらのパラメーターを組入れた関数形はできるだけ簡単なものでなければ工学的に問題を処理することは困難で、各種実験などの集積により統計的に検討したもの、また簡略化した関数形などいろいろの提案がなされ、各種指針、基準にも取り入れられている。

現場を担当する実務技術者にとっての最近の悩みは、

- (1) 杭の大径化、多様化により施工法、杭種、径別の水平耐力の推定と評価
- (2) 矢板式基礎の出現によりたわみ性基礎と剛体基礎の連続性の問題、また矢板式基礎では矢板で囲まれた地盤の評価
- (3) 地層が複雑な多層系地盤の評価
- (4) 側方流動を生ずるか否かの判断、生ずる場合の基礎の設計法あるいは対策工法”

以上の指摘は適切なものであるが、これに群杭の水平抵抗の問題が鋭意とり上げられていること、地震時の杭の設計のあり方が宮城県沖地震によりクローズアップ^{38), 39)}し、緊急に見直しが行われ始めたことを付加すべきであろう。

(f) その他

上記の他杭基礎の設計の動向として、公害防止の観点から、地盤振動の測定、騒音の問題が古くて新しい問題として取り上げられてきている⁴⁰⁾。また、地盤沈下、負の摩擦力などの観点から、沈下を許容した摩擦杭特に長大摩擦杭による設計が見直されてきている⁴¹⁾。

2.2 特殊基礎の歩み

この分野で着目されるのは、橋梁の基礎などに用いられるようになってきた矢板式基礎である。各矢板を連結している継手部の特性をどのように設計にとり入れるかが問題となってきた⁴⁰⁾。また大型の高炉の基礎についても独

特な技術が報告されてきている⁴¹⁾。

3. 施工の主な歩み

この10年来、構造物基礎の施工の分野では数多くの開発、改善の努力が行われてきたが、その要因としては次のものがあげられる。

- (i) 構造物が大規模化し、それに応える工法の要請
- (ii) 軟弱な土が厚く堆積した地盤に対する建設の要請
- (iii) 工事現場における騒音・振動・周辺地盤の沈下・油煙の飛散などの建設公害を防止する工法の要請

(i)に対しては本四連絡架橋など長大橋の基礎、高炉の基礎、超高層建築の基礎などがあり、ケーソン、矢板式基礎、大口径杭などが用いられ、(ii)に対しては長大杭の使用が必要となってきた。 (iii)は時代のすう勢として大きな影響を施工界に与えている。昭和43年12月に騒音規制法が、昭和51年12月に振動規制法がそれぞれ施行され、市街地においては騒音振動低減工法を用いなくてはならなくなってきた。これらについて詳述することは紙面の関係でできないし、また各種の図書が出版されているので、この主なものを見参考文献^{42)~50)}としてあげさせてもらうことにし、ここでは既製杭と場所打ちコンクリート杭について最近の傾向を概観する。

(a) 既製杭

既製杭は本来打込み杭として使用してきたが、(iii)の要因から、現在では市街地では埋込み杭として用いられるようになってきた。埋込み杭にはセメントミルク工法(プレボーリングした孔内に挿入し間隙をセメントミルクで充てんする工法)と中掘り工法(既製杭の中空部を利用してスクリューオーガーで先掘りしながら杭を押込んでいく工法)が代表的であるが、支持力の点に問題があり、確実に先端支持力を保証する方策が今一つ確立される必要がある^{11), 12)}。既製コンクリート杭では、打撃貫入時の杭体の破損への対処、養生期間の短縮(4週間→3日)、品質の安定などの長所から、オートクレーブによる高温高圧蒸気養生などを施した高強度杭が使用されるようになってきた。

更に水平抵抗に対処するために、鋼管の内側に遠心成形によるコンクリートライニングの複合杭が生産されるようになり、杭頭より10m位の曲げモーメント発生区間にこれを用い、下部の通常の杭との合成杭とする工法が出現している。長大な杭におけるネガティブフリクション(NF)に対処するためには、NF軽減の杭が開発されている。これには、二重鋼管杭方式、歴青系材料の塗布方式、杭外周に塗布したグリース様材を薄膜で保護する方式などが実施されてきている。このほか化学工場や酸性地盤に優れた性質をもつレジンコンクリート杭も登場してきている。

(b) 場所打ちコンクリート杭

場所打ちコンクリート杭については、アースドリル工法、ペノト工法、リバースサーチュレーション工法の3種が現

土質工学 30 年の歩み

在用いられている主な工法であるが、これにおいても、打込み杭の場合とは異なり、先端地盤を緩め支持力に大きく影響を与えるので、その扱いについてはいろいろ研究が行われている^{10), 12)}。特に場所打ち杭においては、現場の施工のいかんが、支持力、軸体強度などに大きく響くので施工の管理、監理が更に確立される必要がある⁵¹⁾。この先端支持力を改善するため、あらかじめ杭の設置支持地盤をウレタン系薬液注入により固化し、その上で掘削をして場所打ち杭を作成する先端地盤固結工法も使用されてきている。また軸体強度に比して設置地盤の耐力が低く抑えられている所から、場所打ち杭の先端を拡底して 1 本当たりの支持力を増加させる拡底杭工法も登場してきている。更に場所打ちコンクリート連続壁に杭としての機能をもたせるための技術の確立が行われ、掘削単位の連続壁要素を一、十など適宜の形の杭として用いることも行われ始めている。

これら場所打ち杭のすべてに先端地盤のゆるみ防止に細心の注意を払って努力することと、スライムの除去が技術として求められている。

既製杭その他を含めて最近の工法の動向については、建築センターの基礎評定委員会の動きが参考になる⁵²⁾。

4. 残された問題

以上設計と施工の主な歩みを概述したが、大きく見て残された問題としては次の 2 点をあげられよう。

- (i) 基礎の品質管理と品質保証の確立
- (ii) 地震時の杭基礎の安全性の確保

構造物の基礎、特に深い基礎においてその品質を確保することは生易しいことではない。まえがきにも述べたが、企画、設計、施工、すべての段階の作業が緊密な連繋のもとに見事に行われて始めて基礎の品質が確保されるのである。基準類の整備や技術の進歩によってこの面は相當に進んできているが、公害問題への対処、大規模化への社会ニーズの変化などにより、実績のある安定した技術体系から、未知の新たな分野への発展を余儀なくされている。設計をこのようにしたら基礎の性能はこれだけ変化する、施工をこれだけ変えたら結果はこれだけ性能に響く、といったことが定量的に着実につかまれてこそ品質を管理し、保証することができる。研究し、解明して行かねばならぬことが山積しているように思える。この場合注意すべきことは、有効数字の概念である。一連の解明によって成果が出るとき、その成果はプロセスの中の最も低い有効数字によって精度が決まってしまう。体系的に捉えて、最も弱い所に努力を集中する必要がある。この体系的に捉える視点がもっと強調されて良いように思う。

杭の耐震の問題はこの意味で有効数字が低いように思う。

杭の材質、施工精度、地盤の性状の把握可能精度とも合せた耐震品質の保証が求められていると考える。

5. あとがき

与えられた紙面と内容の広さの矛盾に苦慮した。いくらくも書けないので参考文献をあげることで許して頂きたい。更に狭い視点であったことをお詫びする。最後に助けて頂いた川崎孝人君、伴野松次郎君、中崎英彦君に感謝致します。

参考文献

- 1) 土田 肇: 第13回土質工学研究発表会を終って、土と基礎, Vol. 26, No. 10, p. 1, 1978.
- 2) 遠藤正明: Specialty Session No. 3, 土質工学における設計と施工の関係, 基礎工, Vol. 5, No. 11, pp. 40~48.
- 3) 日本建築学会: 建築基礎構造設計規準・同解説, pp. 493~496, 1974.
- 4) 岸田英明: クイ基礎の設計, 土と基礎, Vol. 23, No. 7, pp. 1~5, 1975.
- 5) 大橋勝弘: 鉄道の設計基準, 基礎工, Vol. 6, No. 6, p. 39, 1978.
- 6) BCP 委員会: 砂層に支持されるくいの支持力に関する実験的研究, 1969.
- 7) BCP Committee: Field Tests on Piles in Sand, Soils and Foundations, Vol. 11, No. 2, 1971.
- 8) 富永真生: 一般報告, 土と基礎, Vol. 24, No. 10, pp. 16~17, 1976.
- 9) 土質工学会: 土質工学研究発表会特集号, 土と基礎, Vol. 23~27, No. 10, 1975~79.
- 10) 山肩邦男: 各種施工法によるクイの許容支持力, 土と基礎, Vol. 23, No. 7, pp. 13~20, 1975.
- 11) 岸田・高野: 砂地盤中の埋込み杭先端部の接地圧分布, 日本建築学会論文報告集, 第260号, pp. 21~33, 1977.
- 12) 阪口 理: 場所打ちぐいおよび埋込みぐいの支持力, 建築技術, No. 318, pp. 91~110, 1978. 2.
- 13) 日本建築学会: 建築基礎構造設計規準・同解説, pp. 234~235, 1974.
- 14) 山肩・永井: 開端鋼管ぐいの支持力に関する考察 (その 1 ~ 2), 日本建築学会論文報告集, 第212号, 第213号, 1973.
- 15) 岸田・有原・原: 開端グイの内部に詰った砂の挙動, 第9回土質工学研究発表会梗概集, p. 549, 1974.
- 16) 建設省建築研究所: 新潟地震による建物の被害, 建築研究報告, No. 42, 1965.
- 17) 吉見吉昭: 地盤の液状化に対する検討, PC パイルハンドブック, コンクリートポールパイル協会, pp. 280~287, 1970.
- 18) Koizumi, Y.: Changes in Density of Sand Subsoil Caused by the Niigata Earthquake, Soils and Foundations, Vol. 6, No. 2, pp. 38~44, 1966.
- 19) Ohsaki, Y.: Effects of Sand Compaction on Liquefaction during Tokachi-oki Earthquake, Soils and Foundations, Vol. 10, No. 2, pp. 112~128, 1970.
- 20) 土田 肇: 砂質地盤の流動化の予測と対策, 昭和45年度港湾技術研究所講演会講演概要, pp. (3)1~33, 1970.
- 21) Gibbs, H.J.: Earth Structures and Foundations Subjected to Seismic Loadings, 天然資源の開発利用に関する日米会議, 耐風耐震構造専門部会第1回合同部会会議録, 建設省土木研究所, pp. 232~258, 1970.
- 22) 土田 肇: 振動により流動化した砂層が壁体に及ぼす圧力, 土と基礎, Vol. 16, No. 5, pp. 3~10, 1968.
- 23) 日本建築学会: 建築基礎構造設計規準・同解説, pp. 209~212, 1974.
- 24) 日本港湾協会: 港湾の施工の技術上の基準・同解説, pp. 2~168~171, 1979.
- 25) Yoshimi, Y.: General Report of Forth Main Session, Proc. of 9th I.C.S.M.F.E., Vol. 3, pp. 325~331, 1977.
- 26) 土質工学会鋼グイ研究委員会: クイに作用する負の摩擦力の研究, 鋼グイ研究委員会第2分科会報告書, 土質工学会, 1969.

土質工学 30 年の歩み

27) 遠藤正明：ネガティブフリクション，鋼グイ研究委員会報告，土質基礎工学ライブラリー 6，土質工学会，pp. 257～316，1969.

28) 日本国有鉄道東京第三工事局：武藏野操作場新設・試験くいその他工事，ネガティブフリクション測定ならびに載荷試験工事報告書，1972.

29) 日本国有鉄道東京第三工事局：武藏野操作場新設・二重管杭および群杭のネガティブフリクションに関する測定報告書，1973.

30) 斎藤・石神・亀井・福屋：軟弱地盤における鋼グイの鉛直支持力（ネガティブフリクションを低減したクイの設計），土と基礎，Vol. 23, No. 7, pp. 35～42, 1975.

31) 堤・根井：ネガティブフリクションの測定結果について，土と基礎，Vol. 23, No. 7, pp. 49～56, 1975.

32) 日本国有鉄道：鉄道構造物の基礎に関する設計基準，建造物設計標準，1974.

33) 日本道路協会：道路橋下部構造設計指針・同解説，くい基礎の設計篇，1976.

34) 土質工学会鋼グイ研究委員会：鋼グイの横抵抗に関する研究（その 1），（その 2），鋼グイ研究委員会第 4 分科会報告書，土質工学，1969.

35) 小寺・林・藤田・宮島・横山・吉田：水平支持力，鋼グイ研究委員会報告，土質基礎工学ライブラリー 6，土質工学会，pp. 61～170, 1969.

36) 鋼管杭協会特別技術委員会：杭基礎の水平支持力——文献資料と研究解説，鋼管杭協会，1975.

37) 大志万和也：一般報告，クイの支持力第 2 日午後の部，土と基礎，Vol. 25, No. 10, pp. 61～62, 1977.

38) 久留宮金一：11階建を支える PC 杭が圧壊・設計震度を上回る地震力直撃，日経アーキテクチャ 8-20, 1979, pp. 38～44.

39) 岸田・大和・中井：基礎の根入れを考慮したくいの水平抵抗，建築技術，No. 329, pp. 1～17, 1979.

40) 駒田・岡原：矢板式基礎の構造解析法，第 10 回土質工学研究発表会梗概集，141 (E-4)，土質工学会，1975.

41) Tominaga, Echigo, Hashimoto; Realtime Construction Control Computer Simulation System, 9th I.C.S.M. F.E., Specialty Session No. 12, pp. 248～261, 1977.

42) 総合土木研究所：水中ケーソン工法の現状，基礎工，Vol. 1, No. 3, 1973. 8.

43) " : 矢板式基礎工法，基礎工，Vol. 3, No. 3, 1975. 3.

44) " : 大規模臨海工場の基礎工事，基礎工，Vol. 4, No. 5, 1976. 6.

45) " : 最近の基礎工法，基礎工，1976.

46) 建築技術：特集・最近の基礎工法，建築技術，No. 257, 1973. 1.

47) 無音無振動基礎工法研究会：無音無振動基礎工法，鹿島出版会，1969

48) コンクリートポールパイル協会：遠心力コンクリートぐい無騒音工法，山海堂，1970.

49) 鋼管杭協会：鋼管杭の騒音振動低減工法，山海堂，1979.

50) " : 鋼管ぐい，鋼管杭協会，1977.

51) 日本道路協会：道路橋下部構造設計指針，場所打ちぐいの設計施工篇，1973.

52) 榎並 昭：最近の建築物の基礎構造・評定からみた基礎構造の最近の傾向，ビルディングレター，1976. 12, 日本建築センター，1976.