

建築基礎の歩み

2025年12月

**一般社団法人 日本建設業連合会
地盤基礎専門部会
建築基礎の歩み WG**

建築基礎の歩み

目次

1.はじめに	5
1.1 概要・趣旨説明	5
1.2 建築基礎の役割	7
2.建築基礎の歩み	10
2.1 明治初期～明治末期（1868～1900年）	10
2.2 明治末期～大正末期（1900年～1923年）	11
2.3 大正末期～昭和前期（1923～1945年、第2次世界大戦終戦まで）	12
2.4 昭和後期（戦後）（1945～1989年）	16
2.5 平成～令和（1989年～）	18
3.杭基礎に関連した施工技術	21
3.1 技術変遷	21
3.2 各種杭材の施工技術	24
3.2.1 木杭	24
3.2.2 鋼杭	28
3.2.3 既製コンクリート杭	33
3.2.4 場所打ちコンクリート杭	39
3.3 杭に関連したその他の基礎	56
3.3.1 深基礎杭	56
3.3.2 パイルド・ラフト基礎	64
3.4 杭頭接合部	69
3.4.1 杭頭接合部の歴史	69
3.4.2 杭頭接合条件	70
3.4.3 各規基準類での変遷（場所打ちコンクリート杭、既製コンクリート杭） ..	72
3.4.4 各規基準類での変遷（鋼管杭）	75
4.建築基礎の設計に関わる規基準・指針	77
4.1 建築基準法	77
4.2 建築基礎構造設計指針	82
4.3 その他の指針類	86
5.おわりに	92

「建築物基礎の歩み」作成関係委員

(会社名五十音順、敬称略、2025年12月現在)

地盤基礎専門部会（2025年度）

主査	浅香 美治（清水建設）	鈴木 直子（大林組）
副主査	濱田 純次（竹中工務店）	長尾 俊昌（大成建設）
委員	實松 俊明（鹿島建設）	西 正晃（安藤・間）
	飛田 喜則（淺沼組）	小川 敦（熊谷組）
	舟木 秀尊（奥村組）	富田 祐介（五洋建設）
	森清 宣貴（鴻池組）	尻無濱 昭三（鉄建建設）
	井奥 貢（錢高組）	川崎 健二郎（東急建設）
	川幡 栄治（東亜建設工業）	新井 寿昭（西松建設）
	佐野 大作（戸田建設）	立澤 真純（ピーエスコンストラクション）
	中村 光男（長谷工コーポレーション）	野田 和政（前田建設工業）
	土佐内 優介（フジタ）	
	高岡 雄二（三井住友建設）	

地盤基礎専門部会（2024年度）

主査	佐原 守（大林組）	濱田 純次（竹中工務店）
副主査	浅香 美治（清水建設）	長尾 俊昌（大成建設）
委員	武居 幸次郎（鹿島建設）	西 正晃（安藤・間）
	飛田 喜則（淺沼組）	小川 敦（熊谷組）
	舟木 秀尊（奥村組）	富田 祐介（五洋建設）
	森清 宣貴（鴻池組）	尻無濱 昭三（鉄建建設）
	井奥 貢（錢高組）	川崎 健二郎（東急建設）
	川幡 栄治（東亜建設工業）	新井 寿昭（西松建設）
	佐野 大作（戸田建設）	立澤 真純（ピーエスコンストラクション）
	中村 光男（長谷工コーポレーション）	野田 和政（前田建設工業）
	土佐内 優介（フジタ）	
	高岡 雄二（三井住友建設）	

地盤基礎専門部会（2023年度）

主査	佐原 守（大林組）	濱田 純次（竹中工務店）
副主査	浅香 美治（清水建設）	長尾 俊昌（大成建設）
委員	武居 幸次郎（鹿島建設）	西 正晃（安藤・間）
	古東 秀文（淺沼組）	小川 敦（熊谷組）
	舟木 秀尊（奥村組）	富田 祐介（五洋建設）
	森清 宣貴（鴻池組）	尻無濱 昭三（鉄建建設）
	井奥 貢（錢高組）	古垣内 靖（東急建設）
	川幡 栄治（東亜建設工業）	新井 寿昭（西松建設）
	佐野 大作（戸田建設）	立澤 真純（ピーエス三菱）
	中村 光男（長谷工コーポレーション）	野田 和政（前田建設工業）
	土佐内 優介（フジタ）	
	高岡 雄二（三井住友建設）	

地盤基礎専門部会（2022 年度）

主査 佐原 守（大林組）

副主査 浅香 美治（清水建設）

委員 武居 幸次郎（鹿島建設）

古東 秀文（淺沼組）

岸本 剛（奥村組）

森清 宣貴（鴻池組）

井奥 貢（錢高組）

川幡 栄治（東亞建設工業）

佐野 大作（戸田建設）

中村 光男（長谷工コーポレーション）

中川 太郎（フジタ）

宮田 勝利（三井住友建設）

平井 芳雄（竹中工務店）

長尾 俊昌（大成建設）

西 正晃（安藤・間）

森 利弘（熊谷組）

富田 祐介（五洋建設）

尻無濱 昭三（鉄建建設）

古垣内 靖（東急建設）

新井 寿昭（西松建設）

立澤 真純（ピーエス三菱）

野田 和政（前田建設工業）

建築基礎の歩みWG

主査 新井 寿昭（西松建設）

幹事 西山 高士（大林組）

宮田 勝利（三井住友建設）

野田 和政（前田建設工業）

サブWG リーダー

太田 宏（鹿島建設）

小田切 瑞生（清水建設）

中沢 楓太（東急建設）

加藤 雅樹（～2023年3月大成建設）

委員

森 清隆（安藤・間）

目時 龍之介（熊谷組）

大久保 光敏（鉄建建設）

立澤 真純（ピーエスコンストラクション）

土佐内 優介（フジタ）

和田 湧氣（奥村組）

中村 啓佑（錢高組）

森 泰夫（長谷工コーポレーション）

中出 早紀（～2023年7月ピーエス三菱）

1. はじめに

1.1 概要・趣旨説明

我々が普段過ごしている住宅や学校、オフィスなど、さまざまな建物は地盤に支えられている。適切に地盤に支えられていれば自重や積載荷重に対して安定した状態で利用できるし、建物にとって有害な沈下を防止することができる。また、例えば地震などに対して安全な状態を保持することができる。建物と地盤に間にあって、建物の荷重をしっかりと地盤に伝達する役割を担っているのが建築基礎である。

基礎を設計する場合には、構造と地盤の両方の工学的知識が求められる。コンクリートや鋼材などの構造部材と地盤材料の特性は大きく異なり、特に地盤については、地域はもちろん同じ建物敷地内であっても地層構成や各土質の物理・力学的特性が異なる場合がある。さらに日本は地震国であり、地盤と構造物の搖れ方、動的相互作用は複雑である一方、地盤の液状化は社会的にも広く知られた地盤災害であり、動的相互作用現象の解明や災害対策など引き続き推進していく必要がある。また、基礎は地盤を掘削して施工する必要があり、例えば、場所打ちコンクリート杭は地盤中に施工された後、その出来形や品質を直接目視で確認することができないことから、事前の施工計画や施工中の管理、品質確認に加えてトラブルが発生した場合の対応など、机上の検討のみならず経験に基づく工学的判断が必要になると考えられる。このように、基礎は不確定な要素が多い地盤と接していることから、分かりにくいといった印象があり、特に建築関係の技術者からは難しい分野と敬遠されがちであるかもしれない。そのためか、近年では、大学でも建築系の学部で地盤や基礎工学を学ぶ機会が少なくなっていると言われている。また、学生時代から地盤工学を学び、基礎の設計や施工・トラブル対応などを豊富に経験した技術者が著しく減少しているようである。

このような現状から、(一社)日本建設業連合会 地盤基礎専門部会では、2022年4月より「建築基礎の歩みWG」を立ち上げ、WGには幅広い年代の技術者に参画していただき、各時代の建築基礎に関する情報を資料として整理・残すことで技術の伝承を図るとともに、建築基礎の歴史についてわかりやすく紹介する資料を作成するために活動した。様々な文献調査、学識経験者からの講義や杭施工会社・協会との意見交換会などを通じて、建築基礎のうち杭基礎を中心に各杭種の施工技術の変遷や最近の杭基礎に関連する技術開発、建築基礎の設計に係る規基準・指針などの情報を収集し整理した。また、有名な建物を選定し、その基礎形式を調査してリーフレットとしてまとめた。本資料により、若手技術者が建築基礎分

野に興味を持ち、今後さらなる技術の発展に寄与して頂けるものと期待している。

最後に、ご多忙のより、当 WG の活動にご協力頂いた関係各位に心より感謝申し上げるとともに、本資料をまとめて頂いた委員の皆さんにお礼申し上げます。

2025 年 12 月

地盤基礎専門部会 建築基礎の歩み WG

1.2 建築基礎の役割

現代において建築物や橋梁など多種多様な構造物があるなかで、本資料においては建築物における基礎構造を「建築基礎」としている。建築基礎は建築物と地盤の間に介在する重要な構造部材である。建設業は地盤を動かすことからはじまっており、建設業と地盤の関わりは図 1.2.1 に示すように主に「土で支える」、「土で造る」、「土を動かす」、「土を留める」、「土を守る」という 5 つの関係に分けることが出来る¹⁾。建築基礎においては、「土で支える」あるいは「土を留める」という部分を担う必要があり、建築物の条件によっては「土を守る」という部分や「土を動かす」ことによる影響に注意を払う必要が生じる。

「土で支える」こととは、具体的には図 1.2.2 に示すような現象を防ぐことであり、地盤工学の用語を交えると「地盤と基礎の鉛直支持力や地盤の沈下等を検

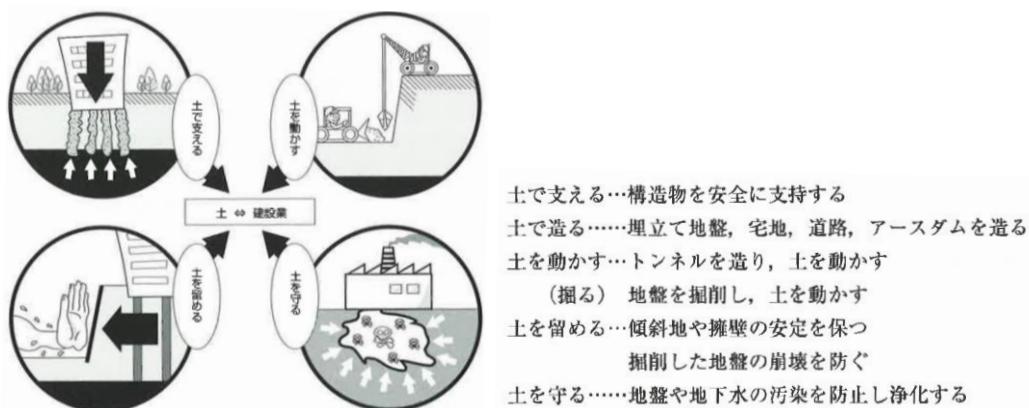


図 1.2.1 土と建設業の関わり¹⁾

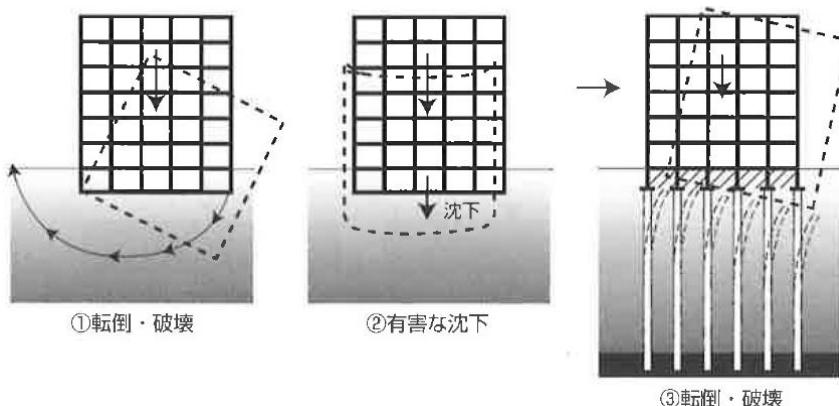


図 1.2.2 地盤に関する建物被害・損傷の例²⁾

討し安全であるかを確認すること」とも言い換えることができる。また、地震力等の外力が別途作用する場合においては、それらの外力や条件を適切に考慮し、地震時における地盤と基礎の鉛直支持力及び水平抵抗等の検討を行い、建物が安全であることを確認していくこととなる。

建物を構成する構造体のうち基礎に含まれる部分・部材は、図 1.2.3 に示されているような基礎スラブやフーチング、杭などが一般的である。ただし、過去の資料を遡ると、技術的な変遷のなかで使用されなくなつていった部材や基礎形式（例えば図 1.2.4）あるいは著者等の解釈によって定義が若干異なることがある（例えば参考文献 5）等、時代や著者等によって「基礎」という言葉の定義に幅があることに注意を要する。本資料における専門用語の定義については各節の冒頭に示すこととしたので適宜参照されたい。

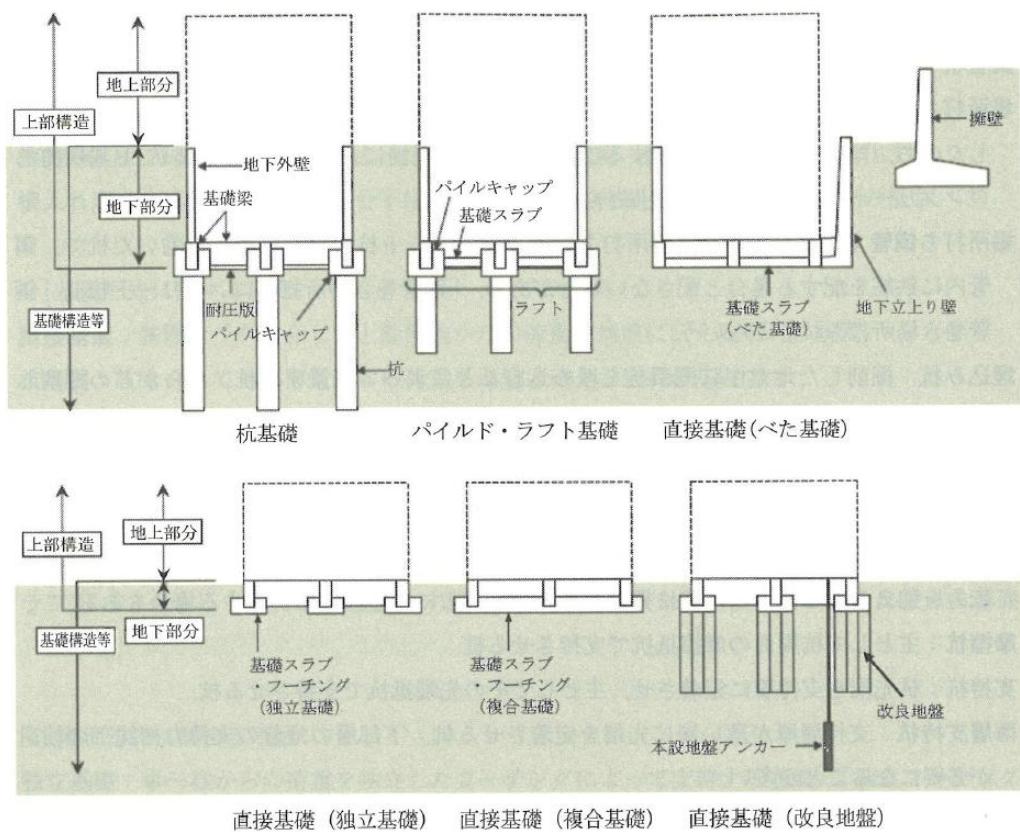
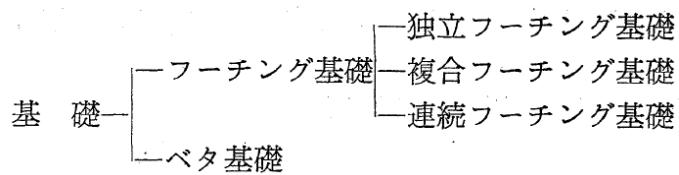
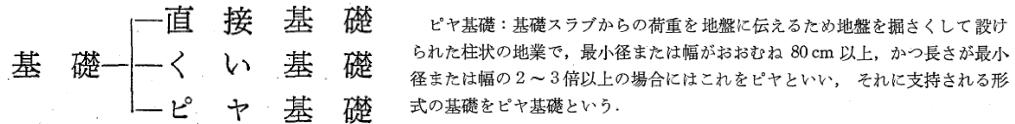


図 1.2.3 建築基礎構造設計指針（2019 年版）における基礎や部材の名称³⁾



a) 基礎スラブの形式による分類



b) 地盤の形式による分類

図 1.2.4 建築基礎構造設計規準（1960年版）⁴⁾における基礎の分類

引用・参考文献

- 1) 藤井衛、真島正人、若命善雄：ザ・ソイル、p. 18、2000. 4
- 2) 藤井衛、真島正人、若命善雄：ザ・ソイル、p. 81、2000. 4
- 3) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、p. 8、2019. 11
- 4) 日本建築学会：建築基礎構造設計規準、p. 36、1960. 11
- 5) 大崎順彦：建築基礎構造、p. 285、1991. 1

2. 建築基礎の歩み

明治維新（1868年）以降、日本は急速な西洋化、近代化の波に乗り、多くの社会的、経済的变化を経験した。この変革の中で、関東大震災（1923年）を始めとする種々の地震被害も経験しながら建築分野は特に顕著な進化を遂げ、建築基礎に関する技術もまたその重要な一端を担ってきた。本章では、日本における建築基礎が明治維新以降にどのような進化をしてきたかを整理することを目的に、各時代（明治・大正・昭和・平成・令和）における社会背景なども含めながら建築基礎に関する変遷について概説している。各時代の背景や技術革新、社会的要因によって建築基礎が技術的に発展してきたとともに、新しい建築基礎および工法が単なる技術的進展に留まらず、建築物の高層化などの要素技術として社会にも影響を与えてきていることが伝われば幸いである。

2.1 明治初期～明治末期（1868～1900年）

日本の開国と明治維新に伴う西洋技術の導入が本格化した黎明期であり、建築基礎技術においても、長らく続いてきた伝統的な手法と、新たに流入してきた西洋の知識・技術が混在する特徴的な時代であった。江戸時代から続く木造建築では、基礎に伝統的な松杭が依然として広く用いられていた。その施工は、人力による打込み工法である「ヨイトマケ」が主流であったが、明治中期には西洋から導入された蒸気式ドロップハンマーが徐々に普及し始め、施工効率の向上が図られ始めた。軟弱地盤への対策としては、筏地業（またはソロバン地業）が、鹿鳴館などの重要な洋風建築で採用された。これは、基礎全体を一体化させ、地盤への荷重を分散することで不同沈下を抑制する西洋の知見であり、新たな地盤対策の意識が芽生えたことを示唆する。

しかし、この時代は二つの大きな災害から決定的な教訓を得ることとなる。まず、明治初期に東京を襲った一連の都市大火は、当時の木造密集都市が抱える脆弱性を露呈させ、火災に強い都市の不燃化と、それに伴う重量建築の必要性を政府に強く認識させた。この課題に応える形で 1872 年には煉瓦造の銀座煉瓦街が建設され、より大規模で重い煉瓦造建築を支えるための強固な基礎のニーズが明確になった。次いで 1891 年に発生した濃尾地震では、導入されたばかりの西洋式煉瓦造建築が甚大な被害を受け、単純な西洋技術の模倣の危険性が示唆されるとともに、地震に対する建築物の脆弱性が浮き彫りとなった。この経験が、1892 年の震災予防調査会の設置に直接繋がり、日本独自の本格的な耐震構造研究の出発

点となったことは、日本の建築技術史における重要な転換点である。このような背景から、1870 年の大阪高麗橋や 1889 年の横浜港大桟橋で、イギリスから導入された鋼製スクリューパイルが採用されるなど、新しい材料と工法への関心と試行が積極的に始まった。この時期の法制度はまだ未整備で、1875 年の行政警察規則が建築規制の萌芽として存在したが、その主眼は防火や公衆衛生にあり、建築物の構造安全に対する体系的な規制は存在しなかった。

2.2 明治末期～大正末期（1900 年～1923 年）

明治末期から関東大震災直前までのこの期間は、日本が近代国家としての基盤を確立し、産業の発展とともに都市化が加速した時代である。これに伴い、鉄筋コンクリート (RC) 造建築が普及し始め、建築物の大規模化・高層化が進展した。基礎技術もまた、これまでの伝統的な手法から、より高度な技術体系への転換期を迎えた。欧米で開発された様々な場所打ちコンクリート杭が盛んに導入され、その適用範囲を広げていった。

法制度面では、1919 年に日本初の体系的な建築法規である「市街地建築物法」が公布され、翌 1920 年の施行規則で、建物の固定荷重や積載荷重に対する許容応力度に基づく構造規定が初めて導入された。これは画期的な進展であり、近代的な建築行政の基礎を築いたと言える。しかし、極めて重要な点として、この時点ではまだ地震力に関する明確な規定は含まれていなかった。したがって、当時の基礎工法の選択は、建物の鉛直荷重をいかに安全かつ経済的に地盤に伝えるかという静力学的な観点が主軸であり、地震に対する水平抵抗力は、法的な要件としては課されていなかった。

この状況下で、フランス発のコンプレッソル杭が 1907 年に日本に導入された。この工法は、重い錘を落下させることで地盤を穿孔すると同時に転圧し、地盤の締固め効果も期待できるものであり、初期の鉄筋コンクリート造建築の基礎に用いられた。また、1914 年頃にはアメリカ発のペデスタル杭（アボット杭）が登場し、杭の先端に球根状の「ペデスタル」を築造することで、支持力を飛躍的に増大させる画期的な工法として注目された。このペデスタル杭は、1921 年着工の帝国議会議事堂をはじめとする多くの重要建築物で大量に採用され、当時の大規模建築の基礎工法として確固たる地位を確立した。

一方で、場所打ち杭が地中での施工であるために生じる品質管理への懸念から、工場で均一な品質で製造される既製コンクリート杭への関心も高まっていた。1910 年には築地海軍造兵廠材料倉庫で日本初の RC 角ぐいが使用されるなど、後の既製杭発展の萌芽が見られた。この時代の技術選択は、「現場での自由な施工性」

と「工場生産による安定した品質」という、現代にも通じる技術者にとってのジレンマを孕んでいたと言える。この時期の建築技術は、西洋の知識と技術を積極的に吸収し、日本の都市環境に適応させようとする段階にあったが、未だ日本独自の発展を決定づけるような大きな外的要因には直面していなかった。

2.3 大正末期～昭和前期（1923～1945年、第2次世界大戦終戦まで）

1923年の関東大震災は、日本の建築技術史、特に基礎工学の発展を決定づける未曾有の大災害であった。東京・横浜を含む首都圏に壊滅的な被害をもたらしたこの震災は、約10万5千人の死者・行方不明者、約29万棟に及ぶ全壊・全焼家屋という甚大な結果を招き、当時の既存建築物と法制度の脆弱性を白日の下に晒した。この経験は、地震に対する建築物の安全性を確保することが国家の最重要課題であるという、耐震化への国民的共通理解を形成するに至った。

この惨禍を受け、政府は迅速に対応した。震災の翌年である1924年（大正13年）には市街地建築物法施行令が緊急改正され、その核心として、建築物の設計において水平震度 $K=0.1$ 以上の地震力を考慮することを義務付けた。これは、構造計算に地震という水平方向の外力を定量的に導入することを法的に定めた、世界初の試みであり、日本の建築史、ひいては世界の建築史においても極めて重要な出来事であった。一方、基礎および杭の設計は依然として鉛直荷重および地耐力の確保に留まっていた。本格的に基礎の耐震設計計算が導入され、義務化されるのは1981年以降のことである。

また、この時期に欧米から導入された場所打ち杭は、日本の特殊な地盤条件や地震国としてのニーズに合わせて徹底的に改良され、「日本化」が加速した。その代表例が、内管先端の開閉式弁でコンクリートを機械的に突き固める機構を導入し、高品質な杭体を造成することに成功した田中式コンクリート杭である。これに対抗して、東洋コンプレッソル社が開発した改良型マルチペデスタル杭も広く普及し、品質と施工性の両面で激しい技術競争が展開された。

さらには、日本独自の独創的な工法も多数誕生した。木田保造が考案した深礎工法は、人力で大口径の豊穴を掘削し、支持層を目視で直接確認してからコンクリートを打設するという、極めて信頼性の高い方法であり、見えない地中環境を「見る」ことで安全を確保するという、日本の技術者精神を象徴する工法として大阪瓦斯ビルディングなどで採用された。既製コンクリート杭の分野では、杭の周面に節を設けて地盤との摩擦抵抗を増大させることを意図した日本独自のRC摩擦杭である武智ぐいが同潤会アパートなどに用いられた。そして、技術革新として特に重要だったのが、1934年頃から製造が始まった遠心力RC杭である。これ

は、型枠を高速回転させ、その遠心力でコンクリートを締め固める技術によって、高強度・高密度で品質の安定した中空円形杭の量産を可能にした。この技術は、戦後の PHC 杭など現代の主力既製杭へと直接つながる、非常に重要な技術的礎となつた。

この時期には他にも、孔底で少量の爆薬を爆発させて杭先端の球根を強制的に築造するという、非常にユニークな白石式基礎杭や、圧搾空気を用いて地下水を完全に排除し、ドライな状態で大規模地下構造物を構築するニューマチックケイソン工法など、多様なアイデアと試行がなされた。これら当時の技術者が直面した複雑な課題に対し、物理法則を直接的に利用しようとした大胆な発想と、それを具現化する技術力が展開されたのである。

しかし、1930 年代後半、1937 年の日中戦争勃発以降は国家総動員体制へと移行し、この技術革新の勢いも鈍化する。鉄やセメントなどの基幹資材が軍事優先となる中で民生建設は極度に制限され、技術開発は停滞を余儀なくされた。資材節約のため、下部を松杭、上部を場所打ちコンクリート杭で構成する「合成ペデスタル杭」のような、苦肉の策も生まれている。そして、1945 年の第二次世界大戦終結まで、建築資材の入手は困難を極め、建設活動は停滞した。終戦は、日本の建築技術史において一つの区切りとなると同時に、戦後の復興期における新たな技術的課題と発展への序章となつた。

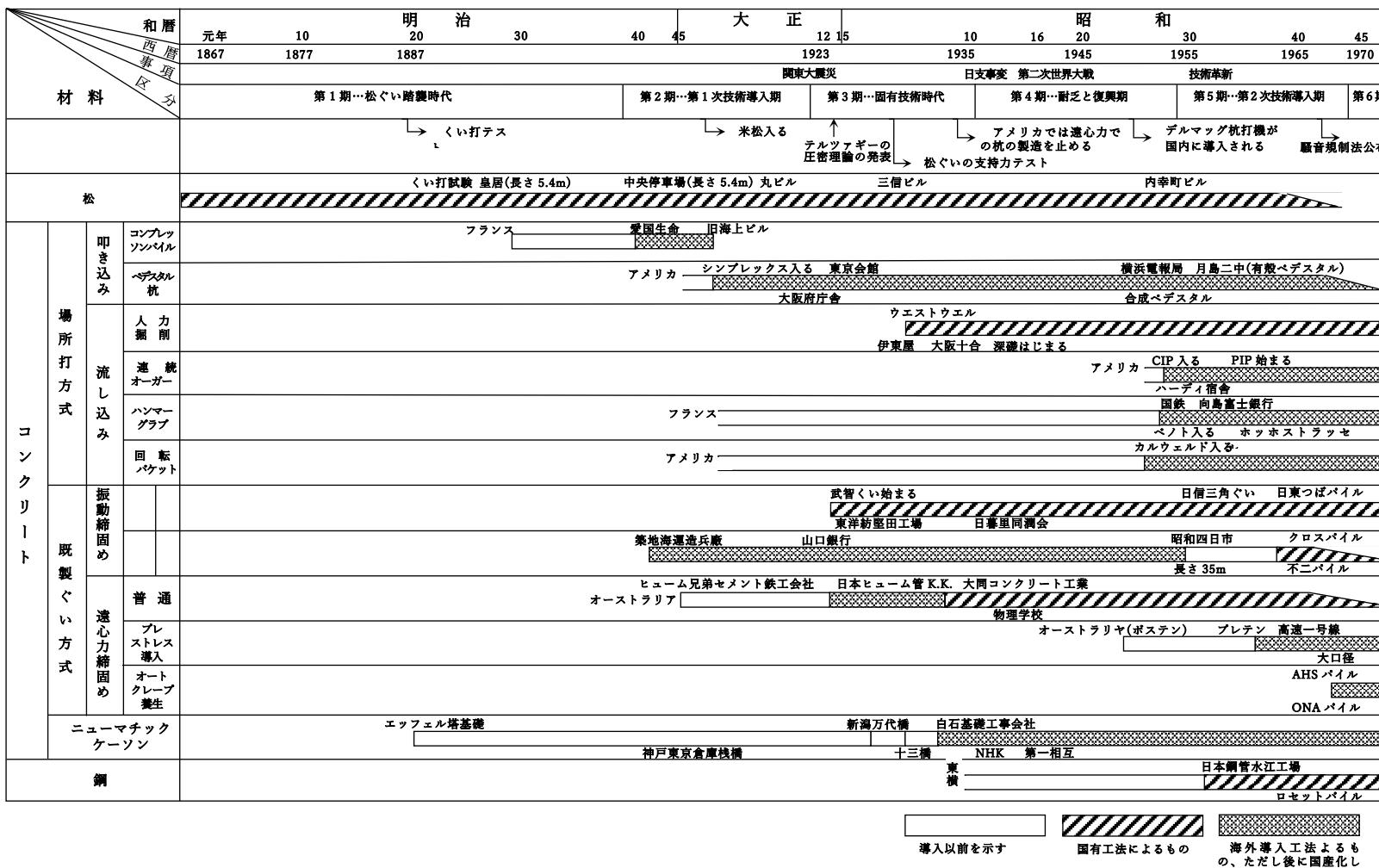


図 2.1.1 材料別に眺めた地業の発達¹⁾

引用・参考文献

- 1) 豊島光夫：絵で見る基礎専科 下 正しい施工のすすめ、建設資材研究会、p. 771、1975

2.4 昭和後期（戦後）（1945～1989年）

1947年に日本国憲法が施行されたが、その前後には1927年の北丹後地震、1943年の鳥取地震、1944年の東南海地震、1945年の三河地震、1946年の南海地震、そして1948年の福井地震と多くの大地震が発生した。これを受け、1950年には建築基準法が制定された。

また、建設業を取り巻く環境は、1950年より始まった朝鮮戦争によって、アメリカ軍からの日本国内の各種企業に対する発注が急増し、日本経済は戦後の不況から脱し、戦争による特需から高度経済成長期に突入した。経済の高度成長は当然、建設業の繁忙をもたらし、1964年の東京オリンピックを控えてのオリンピック景気などは建設需要を大きく盛り上がらせた。民間企業の旺盛な設備投資に加え、公共投資も活発化し、鉄道、道路、ダム、港湾などの産業基盤や住宅、下水道、学校などの生活基盤の充実のため、積極的な投資が続いた。建設工事量の増大と並んで工事の巨大化、土木工事の機械化などの技術革新も進み、海外施工技術も積極的に取り入れられることとなり、建築基礎においては木杭に代わってベノト工法による場所打ちコンクリート杭が普及し次いで打撃工法による鋼杭、RC杭、PC杭などが普及した。

しかしながら高度経済成長期は、水俣病や四日市ぜんそくをはじめとする公害問題が全国各地で顕在化し、環境汚染、自然破壊により大きな社会問題が発生した（写真2.4.1）。このことを背景に1967年に公害対策基本法が制定され、1968年には大気汚染防止法、騒音防止法が制定された。こうした背景から基礎杭の施工においては、騒音・振動や排ガスの対策工法の開発・実用化がなされ、打撃工法は急速に減少し、場所打ちコンクリート杭が台頭、既製コンクリート杭における中堀り工法、埋め込み杭（プレボーリング）工法が開発されてゆく。また、1968年十勝沖地震で耐震設計が施された鉄筋コンクリート造の建築物の被害が多かったことから、1971年に建築基準法の改正が行われた。このときの基準は、震度5程度の地震に対する

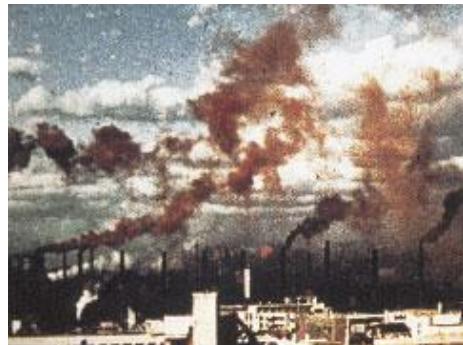


写真2.4.1 1960年代の北九州市



写真2.4.2 現在の北九州市

る基準であり、震度 6 以上の地震に対する基準は設けられていなかった。いわゆる「旧耐震基準」と呼ばれるものである。この改正により、鉄筋コンクリート造建築物のせん断補強基準の強化が図られた。

19 年間続いた高度成長期は、1973 年 10 月に勃発した第 4 次中東戦争を機に終焉を迎えることとなった。OPEC が原油の供給制限と輸出価格の大幅な引き上げを行うと、国際原油価格が高騰し、第一次オイルショックが発生した。多くの資源輸入国で企業がコスト高に見舞われ生産を抑制した。その結果、景気は後退する一方、供給が需要に先んじて減少したため物価は上昇するというスタグフレーションに陥った。結果、建設資材高騰と不況による設備投資の縮小が建設業界にも影響を与えた。こうした中、1978 年宮城県沖地震（写真 2.4.3）が発生し、旧耐震基準の建物の多くが倒壊するなど深刻な被害が発生したことから、1981 年に建築基準法の改正がおこなわれ、「震度 6 強～7 程度の地震で家屋が倒壊・崩壊しないこと」また「震度 5 程度の地震では軽いひび割れ程度の損傷にとどめること」を定めた「新耐震基準」が制定された。また、軟弱な地盤では基礎の強化が求められるようになった。加えて日本建築学会「建築基礎構造設計指針」1988 年版において木杭は、小規模な建築のみに限定された。



写真 2.4.3 宮城県沖地震（1978 年）

（提供・河北新報社）

1986 年以降、株式や不動産を中心とした資産の過度な高騰、経済拡大期間「バブル景気」とよばれる好景気の時代に突入し、年間あるいは年度間の建設投資が 80 兆円を超えた。

引用・参考文献

- 1) 豊島光夫：絵で見る基礎専科 下 正しい施工のすすめ、建設資材研究会、pp. 551–569、1975
- 2) 大林組経営史：<https://www.obayashi.co.jp/chronicle/history/> (参照日 2024. 9. 6)

2.5 平成～令和（1989年～）

バブル崩壊後の不況は1994（平成6）年末に一旦底を打ち、景気は、1996年には明るさを増していたが、1997年4月の消費税率引き上げ、夏のアジア通貨危機などで再び悪化した。1996年度に民間部門において前年比2桁の増加となった建設投資は、1997年度以後、一貫して減少し続け、1997年度からの財政構造改革に伴う公共事業費削減がこれに拍車をかけた。

1995年の阪神・淡路大震災（写真2.5.1）では多数の建物に大きな被害が生じたが、1981年の「新耐震設計法」に準拠して設計された建物の被害は比較的軽微なものが多く、それ以前に設計された建物の被害状況とは大きな差が認められた。このため、阪神・淡路大震災以降は新築建物を対象とした耐震基準に関しては大きな改定はされておらず、耐震性能の低い新耐震以前の建物の耐震化を促進すべく、「耐震改修促進法」が1995年に制定された。

一方、道路や鉄道などのインフラ施設は、甚大な被害を受け、これらの構造物に対する耐震設計の大幅な見直しが行われた。その大きな特徴が2段階設計の導入で、構造物の供用期間中に発生しうる最大の地震動（レベル1）と、発生確率は極めて低い巨大地震動（レベル2）を設定し、特に、レベル2地震動に対しては、構造物の機能か



写真2.5.1 兵庫県南部地震（1995年）

ら損傷限界を設定する性能設計が導入された（限界耐力計算）。2000年にさらに厳しい耐震基準へと改正が行われた。改正内容として、①地盤が建物の重さを支える力に応じて基礎を設計する、②柱の引き抜けに対応するため基礎と柱の接合部に金具を取り付ける、③耐力壁をバランスよく配置することでより頑丈な建物にすること、が義務付けられた。

また、建築基礎においては、2000年頃からより大きな支持力を得られる杭へのニーズが高まり、高支持力杭、高強度鋼管杭など高性能な杭が数多く開発された。

2001年4月、聖域なき改革を掲げる小泉内閣が登場、不良債権処理の進展や輸出拡大などにより景気は回復に転じ、2007年10月まで戦後最長の拡大（69カ月、いざなみ景気）が続くが、成長率は低く、消費も盛り上がりを欠いた。建設投資は1997年度以降減少が続き、2006年度には51.3兆円とピーク時（1992年度84兆円）の61%まで減少した。

2005年11月、一級建築士が行なった構造計算書の偽装を、行政および民間の指定確認検査機関が見抜けず承認した「構造計算書偽造問題（耐震偽装問題）」が発生した。

この事件を受け2007年6月20日に建築基準値を満たしているかどうかの確認手続きを厳格にする建築基準法改正が行われた。また、建築士法についても「設備設計一級建築士制度」と「構造設計一級建築士制度」の創設という法改正がなされた。

建設投資は、2007年度には耐震偽装問題に端を発した建築確認申請手続きの遅延の影響もあって前年度比-7.0%、2009年度にはリーマン・ブラザーズ証券の破綻により世界金融危機が起り-10.2%と大幅に減少した。

2009年8月に誕生した民主党政権においても、公共事業は引き続き見直しの対象であり、「コンクリートから人へ」のキャッチフレーズの下、公共事業は2年弱で4.2兆円削減された。民間建設投資では、社会保障費の増額により、医療・福祉施設の分野が他の産業分野を抑えて最大のシェアを占めるようになった。

2011年3月11日、三陸沖の太平洋を震源とした日本の観測史上最大規模のマグニチュードを記録した東北地方太平洋沖地震（写真2.5.2）が発生した。この地震による災害は総称して「東日本大震災」と呼ばれ、本震とそれに伴う大津波、その後の余震は東北から関東にかけての東日本一帯に甚大な被害をもたらした。

東日本大震災後、復旧・復興需要を背景に東北地方における建設投資が増加した。また、この地震により長周期地震動に対する高層建築物の安全に対する関心が高まり、2017年4月以降超高層建築物等について、性能評価の申請に長周期地震動に基づく安全性の検証が必要となった。

建設投資額は、2010年代にはアベノミクス効果や東京オリンピック・パラリンピック特需などにより、民間建設投資額・政府建設投資額の双方で増額となり、また全体の景気も上向いた。

2015年、横浜市都筑区の分譲マンションで杭の支持層未達問題が発生した。支



写真2.5.2 東北地方太平洋沖地震（2011年）

（MediaFOTO / PIXTA(ピクスタ)）

持層として選定した泥岩に傾斜や不陸、風化の進行が予想される区域であったにもかかわらず、事前の調査が不十分であったことが原因の一つとして挙げられた。また、杭メーカーの工事施工報告書にデータ流用の不正が発覚した。この問題を受け、杭工事における施工管理の厳格化と元請責任の明確化、施工記録の適正化とデータ保存の義務化がルール化された。

アベノミクスで景気も上向いたが、2020年の年明けから新型コロナウイルス感染症の拡大が世界の様相を変えてしまい、オリンピック・パラリンピックは2021年に延期された。

さらに、2022年2月に始まったロシアによるウクライナ侵攻に伴い、「エネルギー高騰」や「木材の高騰」という問題が発生し、建設業界においても納期の遅延や建設コストの高騰がみられた。

引用・参考文献

- 1) 大林組経営史：<https://www.obayashi.co.jp/chronicle/history/> (参照日 2024.9.6)

3. 杭基礎に関連した施工技術

本章では、杭基礎に関連した施工技術について、その変遷を紹介する。3.1 節では杭基礎全体の変遷を示し、3.2 節では各種杭材の施工技術について紹介する。さらに 3.3 節では杭に関する他の基礎として深基礎杭およびパイルド・ラフト基礎について紹介し、3.4 節では建物との応力伝達部となる杭頭接合部に関する技術について紹介する。

3.1 技術変遷

図 3.1.1 に、杭基礎の材料に着目した分類を示す。また、図 3.1.2 に、杭基礎に関連した主な施工技術および杭材料の変遷を示す。同図中には、リーフレットを作成した建物をそれぞれのカテゴリに示した。各建物の基礎に関する情報は、各リーフレットを参照されたい。

杭基礎は、古くからある基礎形式であり、高度経済成長期（1950 年代中頃～1970 年代初期）を迎える頃に大きく変化した。国内で最も古くから利用されていたのは木杭であり、高度経済成長期を迎えるまで主流であった。その後、木材の枯渇化の影響もあり利用されることが少なくなり、代わって鋼杭の利用頻度が増した。

現在主流となっている既製コンクリート杭や場所打ちコンクリート杭が開発・実用化されたのは同時期で、高度経済成長期よりも前のことである。

既製コンクリート杭は、1910 年頃に角型の RC 杭として利用され始め、現在の遠心力成型が行われるようになったのは 1935 年頃である。高度経済成長期の後半から終わり頃にプレストレストを導入した PC 杭や PHC 杭が開発・実用化され利用頻度も増した。

場所打ちコンクリート杭の原型となる現場造成される杭は、現在では利用されていない打撃貫入工法が始まりで 1910 年頃に利用され始めた。高度経済成長期を迎える頃（1950 年代中頃）から、現在主流となっている 3 工法（オールケーシング工法、アースドリル工法およびリバースサーチュレーションドリル工法）に代表される機械掘削工法が開発・実用化された。この頃から場所打ちコンクリート杭に鉄筋を利用するようになった。

杭の施工方法は、高度経済成長期以前は打込み（打撃）工法が主流であったが、騒音や振動に代表される建設公害の問題が顕在化し、法規制が整備されると、振動・騒音が小さい埋込み工法や回転貫入工法、掘削工法に代わっていった。近年

では、いずれの杭工法においても、施工効率の向上（1柱1本杭）を目指した高支持力化・高強度化に着目した技術開発が行われている。

深礎工法の始まりは、木田式の特許工法で1930年頃といわれている。この頃は木杭や鋼杭も打込み工法で施工していたことや場所打ちコンクリート杭も打撃貫入工法であったことを考えると、杭先端を目視でき、先端形状も明確な深礎工法は、非常に信頼性の高い技術であったと思われる。特許が失効すると、次々と類似の工法が実用化され、高度経済成長期真っ只中の1965年頃には、これまでの人力ではなく、機械を利用して掘削する工法が開発・実用化され現在に至る。

パイルド・ラフト基礎は、国内での歴史は比較的浅く、1980年代の初め頃から研究・開発が行われ始めた。2000年以降は超高層建物の基礎としても採用されるようになった。

杭頭部と建物の接合部（パイルキャップ）については、1900年以前の記録によれば、古くは、杭頭部は建物基礎へ積極的に定着させずに杭頭部に建物基礎を載せるだけとしていたことが示されている。1978年の宮城県沖地震では杭頭部の損傷が確認され、指針類が整備され始めて耐震性に関する推奨基準も示された。1995年の兵庫県南部地震では再び杭頭損傷の被害が多数報告された。この当時、杭基礎の耐震設計では杭頭部の境界条件を完全固定として設計することが一般的であったが、これを契機として、杭頭部の応力を低減する目的で、杭頭半剛接合や杭頭ピン接合とする杭頭接合構法の開発が積極的に行われるようになり、その後多数の工法が実用化された。

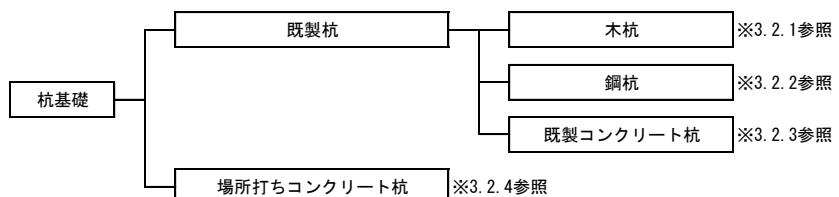


図3.1.1 杭基礎の材料による分類

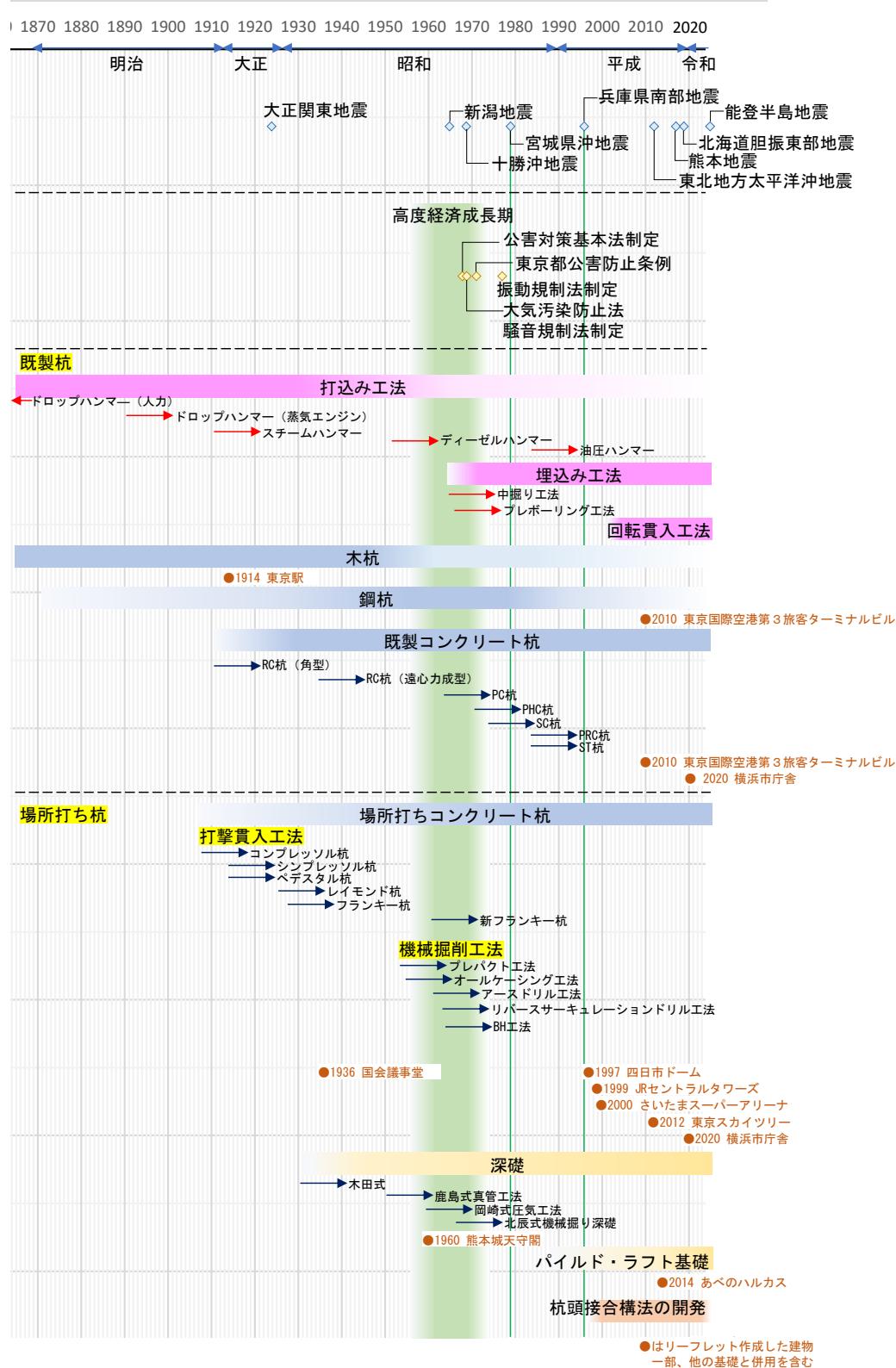


図 3.1.2 杭基礎に関する技術変遷

3.2 各種杭材の施工技術

3.2.1 木杭

図 3.2.1 に、木杭に関する主な出来事および使用事例を示す。天然材料である木杭は、杭基礎の中で最も古くから利用されている杭材料である。その歴史は他と比較してもかなり古く、縄文時代に建設された櫓に用いられる等、建築物や橋梁などで利用されていた。しかし、高度経済成長期を迎えたころ（1950 年代中頃）、木杭の利用頻度が減少し始めた。その背景としては、木材の枯渇や資源保護、木材資源利用合理化方策の閣議決定などがあり、現在では木杭の利用頻度はそれほど高くない。日本建築学会「建築基礎構造設計指針」においては、2001 年版以降指針内で取り扱われていない。その一方で、2011 年には新潟県で基礎木杭設計指針¹⁾が、2014 年には長野県で丸太基礎杭設計マニュアル²⁾が作成されている。

また、文献 3)によれば、国内最初の杭の載荷試験報告は木杭（杭長 18 尺（5.45m）、5 トンの荷重を載荷）であると示されている。1920 年に公布した市街地建築物法施行規則（第 106 条）から杭の支持力を求めるくい打ち公式 $P=WH/(5D+0.1)$ 、P：荷重、W：錘の重量、H：錘の落下高さ、D：杭の最終沈下量が登場した。しかしながら、文献 4) によれば、このくい打ち公式が利用されることはある少なかったようである。

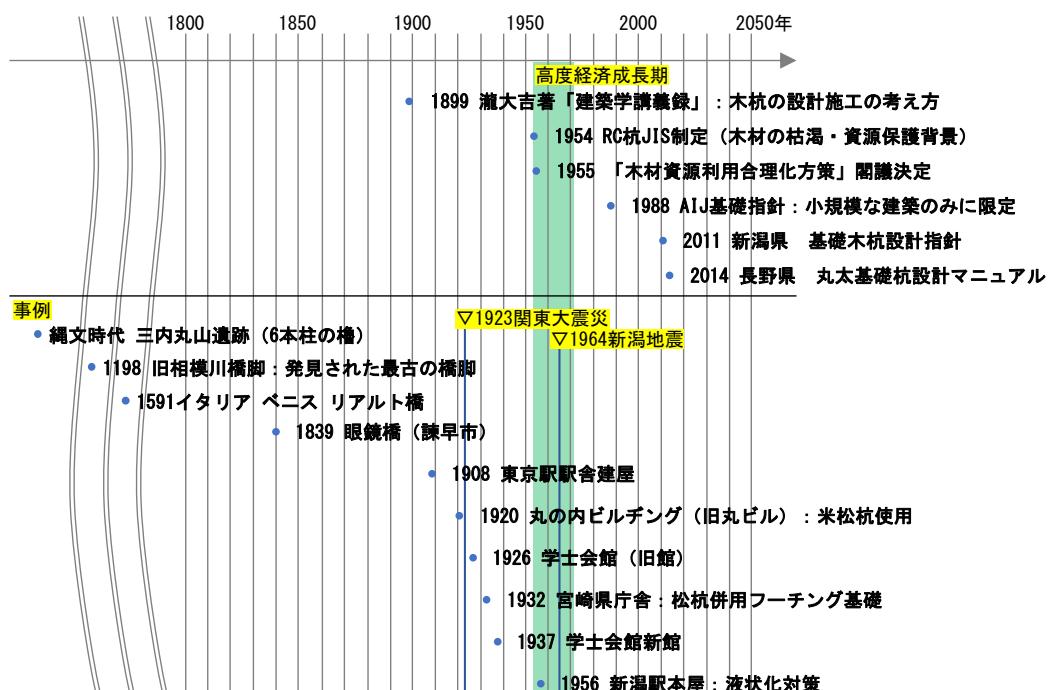


図 3.2.1 木杭に関する主な出来事および使用事例

(1) 国内の使用例

古くに施工された事例を2件(①②)、掘り出して健全性を調査・確認した事例を2件(③④)、液状化対策で使用した事例を1件(⑤)紹介する。

①三内丸山遺跡⁵⁾

約4500年前の縄文時代のもので、直径約1mの栗の木柱の根元部分(写真3.2.1)が確認された。埋設部(約2m)は、腐朽対策として、焼き焦がされ、白い粘土で塗りこめられていた。

②旧相模川橋脚^{7)、8)}(写真3.2.2)

1198年に架けられた橋脚で、直径65cm以上のヒノキが使用されていた。発見された橋脚としては最古のものとして1924年に史跡に指定された。

③東京駅の駅舎建屋:1908年に着工

松杭を密に打込み建物を支持している(図3.2.2)。2007~2011年に松杭を撤去した際の目視確認の結果によると、杭頭部から約500mmの範囲以外の部位については著しい腐朽は見られなかった⁹⁾。



写真3.2.1 三内丸山遺跡櫛埋設部⁶⁾



写真3.2.2 旧相模川橋脚⁸⁾

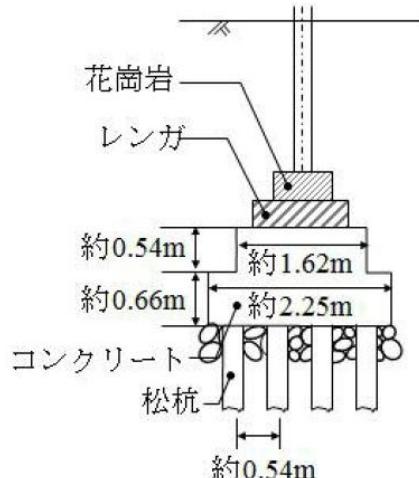
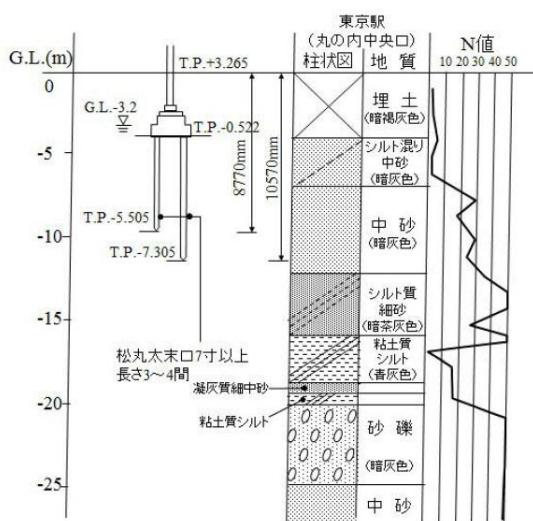


図3.2.2 東京駅駅舎の基礎構造⁹⁾

④丸の内ビルディング（旧丸ビル）：1920年に着工

着工当時はアメリカから松杭（米松杭）を輸入しており、本建物でも米松杭が使用されていた。1999年に取り壊された時点においても松杭は新品同様であった¹⁰⁾。

⑤新潟駅本屋（図3.2.3）：1956年に着工

1958年に開業した新潟駅本屋は、液状化対策として周辺の緩い砂地盤を締め固める効果を期待して松杭が打設された。1964年の新潟地震において新潟駅では液状化現象が確認されたが、本屋は健全でその後も木杭基礎のまま使用された¹¹⁾。木杭が液状化対策の機能を果たした事例といえる。

（2）国外の使用例¹²⁾

イタリアの威尼斯市街地では古くから松杭が使用されていたようで、1591年に架けられた石造アーチのリアルト橋（図3.2.4）は木杭を密集して打込んでいる。現在まで400年以上供用されており、健全であれば木杭が長期的に機能することを示している。

（3）国内の施工法

木杭の施工は古代から打撃による方法が一般的で、櫓を組みハンマーに相当する巨石や木槌で打込む方法（図3.2.5、ヨイトマケ）であったと推測される¹⁰⁾。1600～1800年頃（江戸時代）になると、船打ち（図3.2.6）も行われていたようである¹⁴⁾。

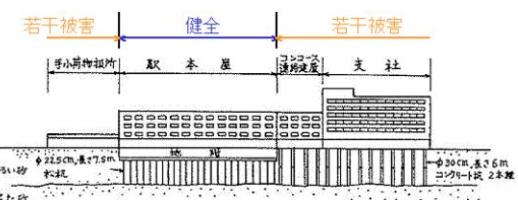


図3.2.3 新潟地震時の新潟駅被害概要¹¹⁾



図3.2.5 ヨイトマケ¹⁰⁾

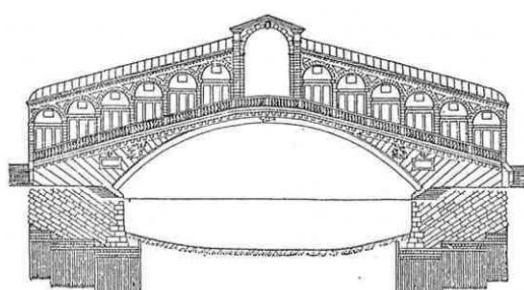


図3.2.4 リアルト橋の基礎¹³⁾

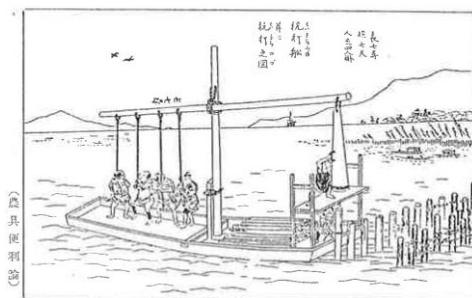


図3.2.6 船打ち¹⁴⁾

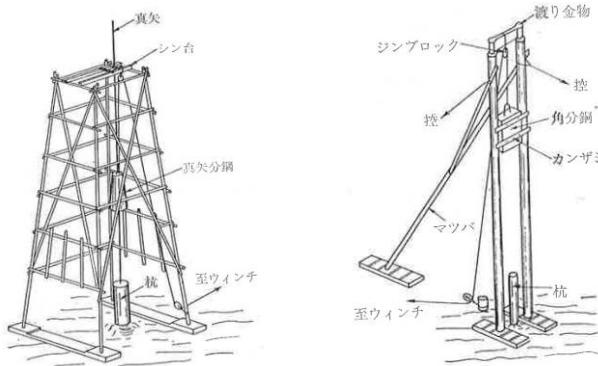


図 3.2.7 真矢方式¹⁵⁾

図 3.2.8 二本構¹⁵⁾

1800～1900年頃（明治時代）になると、真矢方式（図3.2.7）や二本構（図3.2.8）が考案され、昭和30年頃まで小規模な杭打ち工事に使用された¹⁵⁾。

19世紀後半には、アメリカで蒸気ハンマー¹⁶⁾による杭打ち機が開発され、20世紀前半には日本にも導入された。杭頭部にハンマーを設置して、蒸気でハンマーを持ち上げて落とすメカニズムである。

（4）国外の施工法¹⁷⁾

短い木杭が使用されていた頃の杭の施工法は、ほとんどがハンマーを用いて人力で打ち込む方法で、現在でも仮設の短い木杭を打ち込む場合には同様に行われる。16世紀から17世紀には比較的大がかりな杭打ち機が用いられるようになつた。18世紀の中頃には蒸気機関が発明され、人力や馬力に替えて用いられるようになり、20世紀後半までこの方式が杭打ち機の主流になった。

【リーフレット作成建物】

- ・東京駅（1914年）

3.2.2 鋼杭

図3.2.9に、鋼杭に関連した主な出来事および使用事例を示す。鋼杭は、高度経済成長期を迎えたころ（1950年代中頃）、それまで主流であった木杭に変わって普及し始めた。図3.2.10に、鋼管杭の需要量の推移^{18)、19)}を示す。1972年（高度経済成長期が終わるころ）には、鋼管杭の年間出荷量が100万トンを超えた。1982年頃から減少傾向が続いているが、これは高支持力な既製コンクリート杭へのニーズが増してきたためであろう。

利用を開始した頃の鋼杭の施工方法は打込み（打撃）工法であったが、環境問題（施工時の騒音・振動問題）が課題となり、埋込み工法や回転貫入工法へと変わっていた。一方で、より大きな支持力を得られる杭へのニーズが高まり、2000年代から種々の工法が実用化された。

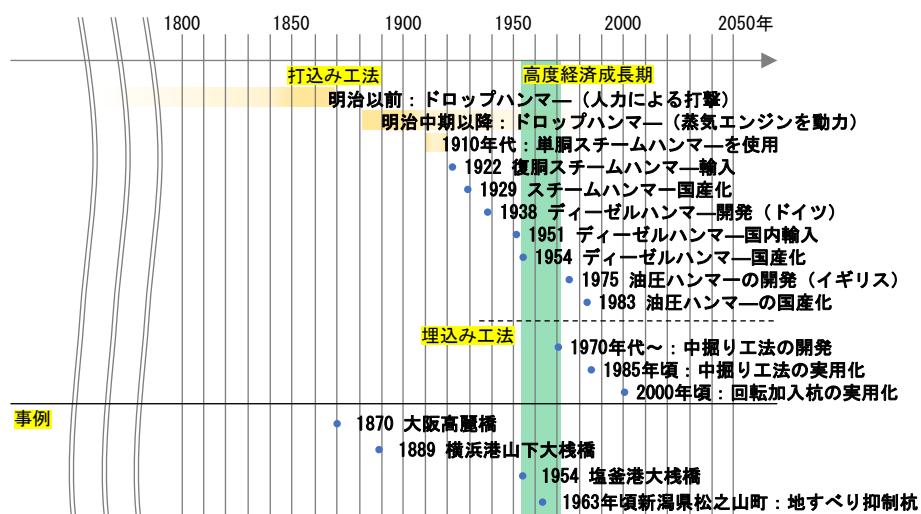


図3.2.9 鋼杭に関連した主な出来事および使用事例

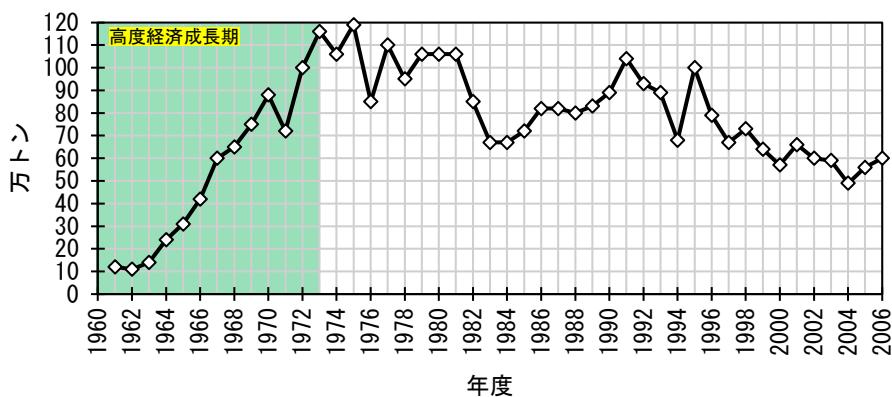


図3.2.10 鋼管杭の需要量の推移^{18)、19)}を結合



(1) 日本丸メモリアルパーク内

(2) 大さん橋ふ頭ビル横

写真 3.2.3 横浜港山下大桟橋のスクリューパイル

(撮影：東急建設 中沢)

(1) 国内の使用例

国内初の鋼杭は、1870 年に完成した大阪高麗橋の橋梁基礎と言われ、イギリスから輸入されたスクリューパイルが使用された。

1889 年から建設された横浜港山下大桟橋にもイギリス製のスクリューパイルが使用された。1894 年～1995 年の 101 年間にわたり使用された。横浜の日本丸メモリアルパーク内（写真 3.2.3 (1)）には、1899 年からの第二期築港工事と 1924 年からの関東大震災の復旧工事で施工されたものが、大さん橋ふ頭ビル横（写真 3.2.3 (2)）には震災復旧工事で施工されたものがそれぞれ展示されている。また、横浜みなと博物館内にも同様のスクリューパイルが展示されており、当時の施工を推定した動画²⁰⁾が公開されている。

戦後の 1954 年に塩釜港桟橋において鋼管杭が使用された。これを契機として、その後港湾構造物、道路橋基礎や建物基礎として鋼管杭は大量に使用された²¹⁾。1980 年に着工した日本海 LNG 新潟受入基地では、防波堤やバースも含めて、約 5630 本 (28,700t) と多くの鋼管杭が利用された。鋼管杭採用の要因としては、郊外で騒音規制法や振動規制法にとらわれずに施工が可能であったことなどが挙げられる²¹⁾。

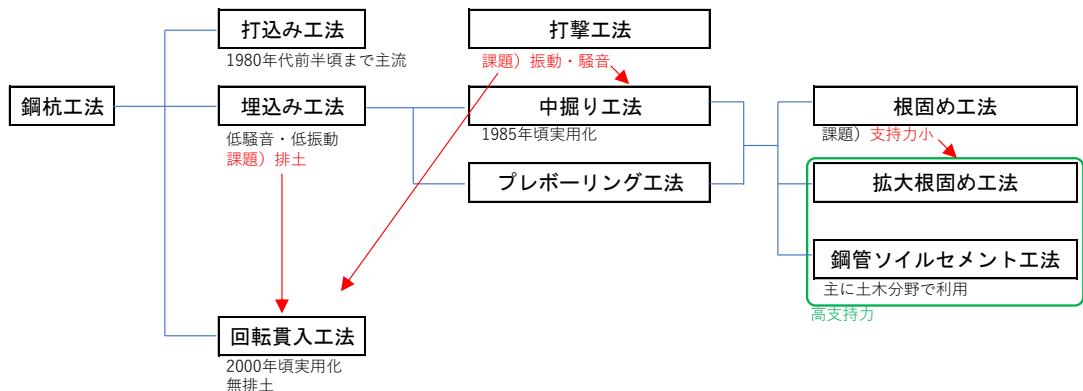


図 3.2.11 鋼管杭の施工方法

(2) 施工方法および施工機械

図 3.2.11 に、ここで紹介する施工方法を整理した。

1) 鋼杭開発後初期の主な施工方法（打込み工法）

鋼管杭の施工方法は木杭と同様に、主に打込み（打撃）工法によるものであった。明治以前はドロップハンマー（モンケン）²²⁾が用いられていた。明治中期以降、蒸気エンジンを動力としたドロップハンマーが導入された。明治末の 1910 年代には単胴式スチームハンマー²³⁾が使用され、1922 年には復胴式スチームハンマーが輸入された。昭和初期の 1929 年からスチームハンマーが国産化された。戦後、更に施工能力が高いディーゼルハンマー²³⁾が開発され、打撃工法の主流となった。ディーゼルハンマーは、1938 年にドイツで開発され、1951 年に輸入された。その後 1954 年に国産化され、1960 年以降国産機が次々と開発された。その頃から建設公害が社会問題化し、1968 年に騒音規制法、1970 年に東京都公害防止条例、1976 年に振動規制法が施工された。

2) 建設公害対策から開発された施工方法

①防音カバー付きディーゼルハンマーエ工法²³⁾

施工時の騒音低減を目的とした防音カバーでディーゼルハンマーを覆う工法である。

②低油煙型ディーゼルハンマーエ工法

油煙の飛散防止を目的に開発された工法である。

③排煙処理装置付ディーゼルハンマーエ工法

②と同様の目的で開発された。ディーゼルハンマー本体に油煙防止装置を取り付けたり、排気されるガスを排煙処理装置に導き油煙処理を行うものである。



写真 3.2.4 油圧ハンマー²⁴⁾

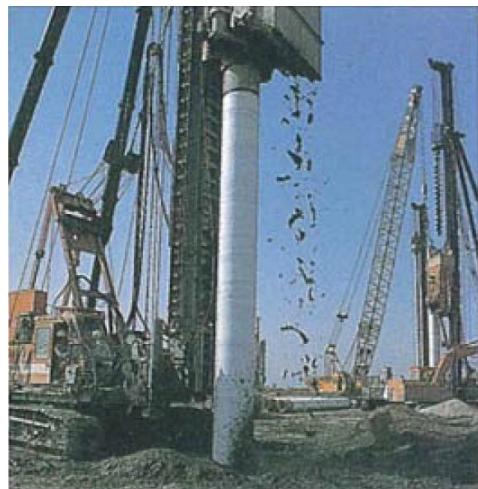


写真 3.2.5 SL杭²⁶⁾

④油圧ハンマー工法（写真 3.2.4）

1975年にイギリスで開発されて、その後日本に輸入され、1983年には国産化された。オペレーターが制御盤によって油圧ハンマーの落下高さを調整できる。ディーゼルハンマーと比較して騒音レベルを15~25dB(A)低減できる²⁵⁾と示されており、①と同様に騒音低減が期待できる。

⑤中掘り工法・プレボーリング工法（本項4）参照）

両工法は施工時の騒音・振動を低減させる工法として開発された。

⑥回転貫入工法（本項6）参照）

回転貫入工法は低騒音・低振動で施工できる工法である。

3) ネガティブフリクション対策

1970年代頃、軟弱地盤や埋立地を貫通して杭を施工する事例が増加した。これらの地域は地盤沈下が生じやすく、杭体には負の摩擦力（ネガティブフリクション、以下、NF）が生じる。このNFによる構造物の被害事例が次第に明らかになり、対策としてSL杭（写真3.2.5）が開発された。SL杭は鋼管杭の表面に滑り層として特殊なアスファルトを塗布した杭である。この滑り層が杭表面と地盤の摩擦力を低減させる。ヨーロッパでは多くの実績があり、国内でも一般的に利用されるようになっていったようである。

4) 埋込み工法

中掘り工法やプレボーリング工法は埋込み工法に分類される。中掘り工法は杭の中空部を利用して杭先端部の地盤を掘削する工法である。1970年代後半に開発が始まり、1985年頃実用化された。これに対してプレボーリング工法は、アースオーガーなどで地盤をあらかじめ掘削する工法である。

5) 高支持力杭の開発・高強度鋼管杭の開発

建設公害問題の一方で、次第により大きな支持力を得られる杭へのニーズが高まった。そこで開発されたのが、拡大根固め工法や鋼管ソイルセメントミルク工法（図 3.2.12）である。拡大根固め工法が実用化されたのは 2000 年代である。鋼管ソイルセメントミルク工法は、主に土木分野で利用されているが、1990 年には建築物基礎として初採用された²⁸⁾。

これによって建物全体に使用される杭本数は削減されたが、杭 1 本が負担する水平力は大きくなつた。より低コストな設計を目指すために高強度鋼管杭が開発された。2007 年～2012 年に各社で大臣認定（材料認定）を取得している²⁹⁾。この鋼管を大きな曲げモーメントが生じる杭頭部などに利用することで、より経済的な設計が可能になつた。

6) 回転貫入工法

回転貫入工法は地盤中に羽根が付いた鋼管杭（回転貫入杭、図 3.2.13）を回転貫入する工法で、羽根形状や先端形状は様々であり、2000 年頃から実用化された。羽根径と杭径の比は 1.4 倍～3 倍程度で、2 倍程度のものが多いようである³¹⁾。低振動・低騒音で無排土であることが特徴である。

（3）継手の方法

従来からの溶接継手に対して、2000 年頃から機械式継手が実用化され始めた。建築分野では、機械式継手は天候や溶接工の技能によらず品質が安定するものの、費用対効果の面で課題があり、溶接継手が採用されることが多い³²⁾。

【リーフレット作成建物】

- ・東京国際空港第 3 旅客ターミナルビル（2010 年）※鋼管杭と既製コンクリート杭の併用

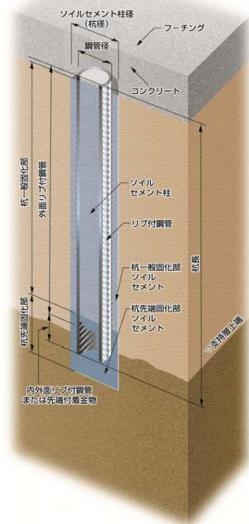


図 3.2.12 鋼管ソイルセメントミルク工法²⁷⁾



図 3.2.13 回転貫入杭³⁰⁾

3.2.3 既製コンクリート杭

(1) 歴史

わが国で最初に使われた既製コンクリート杭は築地海軍造兵廠材料倉庫（1910年）で採用された鉄筋コンクリート杭（以下、RC杭）といわれている。写真3.2.6のように角型断面であった。また、最初の遠心力成型のRC杭は当時の大同コンクリート工業（現ジャパンパイル）が製造したといわれている。写真3.2.7は東京物理学校第一号館（1936年）の基礎杭工事の様子である。二本子式杭打ちの櫓とモンケンがみられる。

RC杭は1950年にJISが制定され、生産量が伸び始める。図3.2.14は既製コンクリート杭の出荷量の推移である。1950年半ばの30万tから1965年は200万t程度まで生産されるようになり、1970年代には800万tを超えるようになる。

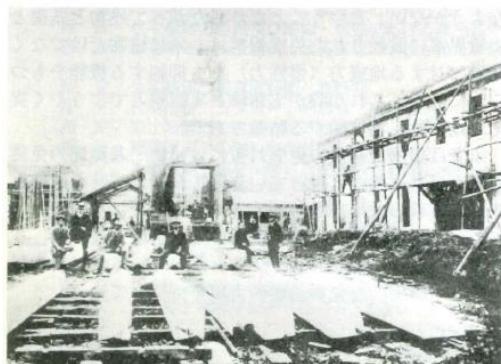


写真 3.2.6 築地海軍造兵廠材料倉庫での杭打ち工事³³⁾



写真 3.2.7 東京物理学校第一号館の基礎杭工事³³⁾

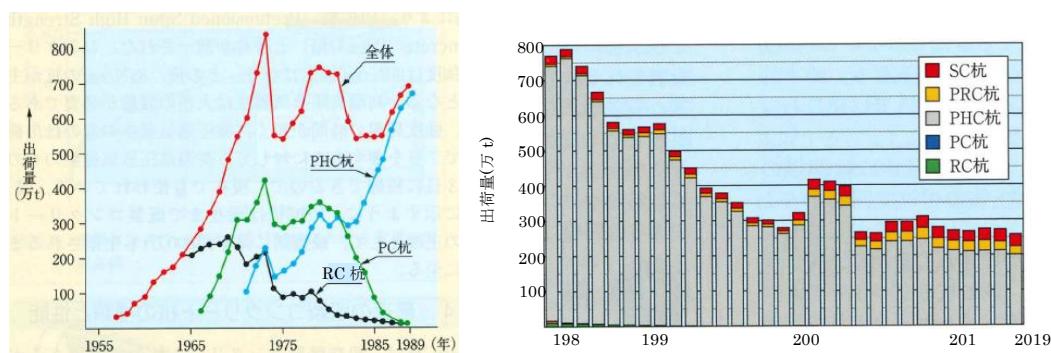


図 3.2.14 既製コンクリート杭の出荷量の推移 (左図 33), 右図 34)

(2) 継手の変遷

RC杭の初期の継手方法は写真3.2.8のような「ほぞ式」であり、軸方向の圧縮力を伝達するだけであった。1955年頃になって写真3.2.9のような充填式継手が考案された。その後、写真3.2.10のような杭の端部に鉄製の金具を製造時に取付けておき現場でそれらをボルトで緊結する方法が開発された。このボルト式継手の後に、溶接継手が採用されると最近まで既製コンクリート杭の継手のほとんどが杭端部の端板同士を溶接する方法となった。最近、再登場した嵌合式継手やボルト式継手は、大径化に伴う溶接時間の増大、溶接技能不足に対して、施工時の環境条件の影響を受けないものとして従来の方法が再評価された継手である。

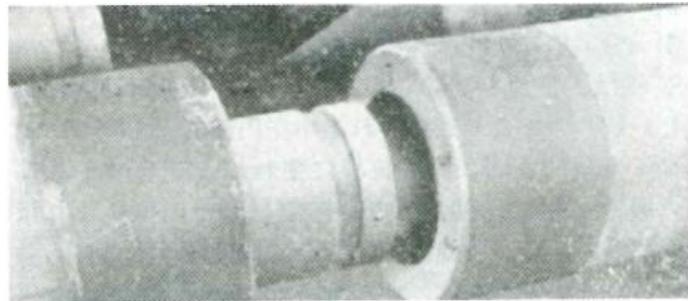


写真 3.2.8 ほぞ式継手³³⁾

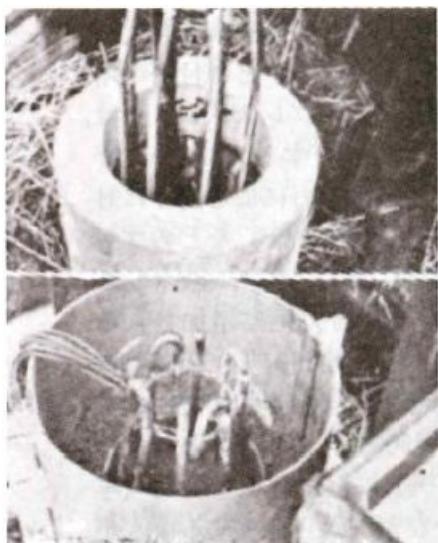


写真 3.2.9 充填式継手³³⁾

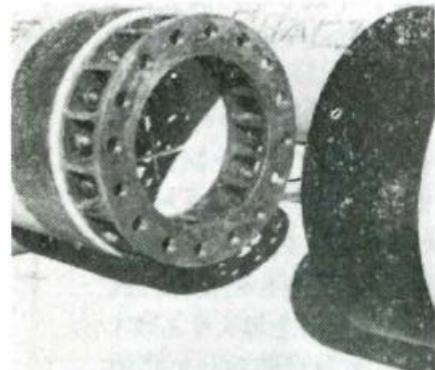


写真 3.2.10 ボルト式継手³³⁾

(3) 既製コンクリート杭の変遷

①RC杭 (1934年開発)

RC杭 (Reinforced Concrete Pile; 鉄筋コンクリート杭) は、前述の築地造兵廠の倉庫の基礎として使用され、当時は現場内で型枠にコンクリートを流し込んで製造された。その後、1934年に遠心力でコンクリートを締め固める方法により中空円筒断面のRC杭として製造されるようになり、1955年にはJIS化された。当時、RC杭は水平抵抗性能が小さいため、打設中だけでなく運搬時でも曲げひび割れを生じるものもあった。また、杭の継手がほぞ式あるいはコンクリート充填式だったので、施工時の継手の損傷が発生し、信頼性は低かった。その後、PC杭が開発されるとRC杭の需要は下がり、現在はほとんど使用されていない。

②PC杭 (1962年開発)

PC杭 (Prestressed Concrete Piles; プレストレスト・コンクリート杭) は、主筋となるPC鋼棒やPC鋼によりコンクリートに圧縮応力を導入したコンクリート杭である。RC杭は曲げひび割れが生じやすく、打ち込み時に発生する引張応力にも対応するためにプレストレス・コンクリート杭(PC杭)が主流となった。1962年に開発され、首都高速道路1号線の東京都東品川地区の海中橋脚で採用されたのが最初である。当初はプレテンション方式とともにポストテンション方式も使用されていたが、その後、大量生産しやすいプレテンション方式が主流となった。PC杭は、高強度コンクリートの開発とともにPHC杭が主流になり、1990年頃にはほとんど使用されなくなり、1993年にJISも廃止された。

③PHC杭 (1970年開発)

PHC杭 (Pre-tensioned Spun High Strength Concrete Piles; プレテンション方式遠心力高強度プレストレスコンクリート杭) は、高温高圧蒸気養生により、設計基準強度 $80N/mm^2$ 以上の高強度コンクリートを遠心締固めによって製造したコンクリート杭で、軸方向鋼材としてPC鋼材(異形PC鋼棒または異形PC鋼線)が使用される。プレストレス量により、A種($4N/mm^2$)、B種($8N/mm^2$)、C種($10N/mm^2$)に区分される。高強度コンクリートで製造されるため、高軸方向耐力を有する。

④SC杭 (1972年開発)

SC杭 (Steel Composite Concrete Piles; 外殻鋼管付きコンクリート杭) は、膨張材を添加したコンクリートを鋼管の中空部に注入し、遠心締固めによって製造した中空円筒断面の鋼管コンクリート杭である。SC杭は引張りに強い鋼管と圧縮に強いコンクリートの長所を併せ持ち、PHC杭や後述のPRC杭よりも曲げ耐力、せん断耐力、韌性が高い特長を有している。大きな曲げ変形を生じてもコンクリ

ートが鋼管の局部座屈を防止し、コンクリートは鋼管により拘束されることで変形性能を発揮する。地震時水平力が作用した時に、大きな曲げやせん断力が作用する上杭に使用することが多い。

⑤PRC 杭 (1983 年開発)

PRC 杭 (Pretensioned & Reinforced Spun High Strength Concrete Piles) は、PHC 杭に鉄筋コンクリート用異形棒鋼または平鋼を配置し、横拘束筋としてせん断補強筋を付与したもので高曲げ耐力、変形能力、せん断耐力を有している。主に上杭として使用される。一般社団法人コンクリートパイプ・ポール協会では、有効プレストレス量 6N/mm^2 程度の PRC 杭を CPRC 杭の名称で標準化している。

⑥ST 杭 (1983 年開発)

ST 杭 (Step Tapered Piles ; 拡径断面を有する PHC 杭) は、PHC 杭の一種で片方の端が拡径されており、拡径部は上下どちらにも使用可能である。拡径部と同径の杭を上に継ぐことで、杭頭部を曲げやせん断の耐力を向上させることができる。また、拡径部を下杭として使用する場合は、先端面積の大きな拡底杭となり、杭先端の支持力を増大させることができる。

⑦節杭 (1991 年工法認定)

節杭は、地盤との摩擦を大きくとることを目的とし、杭軸部に一定間隔に凸状の節部を設けた杭である。主に摩擦杭として用いられてきたが、最近では杭先端の周面抵抗力を向上させた支持杭としても使用される。

⑧SL 杭 (1977 年開発)

SL 杭 (Slip Layer Compound Piles ; 特殊アスファルトによる負の摩擦低減杭) は、杭に作用する負の摩擦力（ネガティブフリクション）を低減するために杭表面に特殊アスファルトである SL コンパウンドを一定厚さ塗布した杭である。

(4) 既製コンクリート杭の施工

図 3.2.15 に既製コンクリート杭の施工法の分類を示す。施工法は大別すると打込み杭工法と埋込み杭工法に分類される。

打込み杭工法は、打撃や振動によって杭を打ち込む工法である。打込みに伴う地盤の圧密効果で大きな支持力が得られ、施工管理が明確であり、残土も発生しない。経済的にも優れた工法であるが、打込み時に騒音・振動が発生するため、適用地域が限定される。一方、埋込み杭工法は、騒音・振動対策として開発された工法で、掘削、沈設の方法によりプレボーリング、中堀り、回転の方法に分けられる。さらに、先端支持力の発現方法により、打撃工法、根固めならびに拡大根固め工法に区別される。

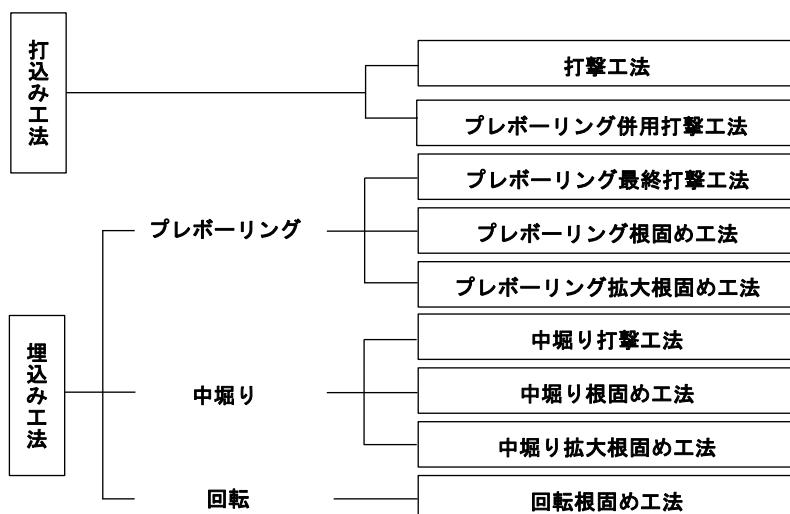


図 3.2.15 既製コンクリート杭の施工法の分類³⁵⁾

(5) 既製コンクリート杭に関する技術

①高支持力杭工法

高支持力杭工法は、写真 3.2.11 に示す掘削ビットにより杭先端部に拡大球根を築造した後、セメントミルクを充填し、土砂と攪拌混合することでソイルセメントを製造することにより、鉛直性能を確保する工法である。杭先端支持力係数を従来の 1.2~3.0 倍に増加させた高支持力杭工法も開発されている。



写真 3.2.11 拡大球根築造用掘削ビットの例³⁶⁾

②杭頭接合部

1995年に発生した兵庫県南部地震以降、杭頭の固定度を下げる、杭頭・パイル・キャップ・基礎梁に発生する応力低減を目的にした「杭頭半剛接工法」の技術開発が盛んになった。杭頭固定に対して杭頭部に発生する応力は低減できるが、杭頭の水平変位量や杭中部の応力は大きくなるので設計時には注意を要する（詳細は3.2節杭頭接合部を参照）。

【リーフレット作成建物】

- ・東京国際空港第3旅客ターミナルビル（2010年）※鋼管杭と既製コンクリート杭の併用
- ・横浜市庁舎（2020年）※直接基礎と杭基礎の併用（場所打ちコンクリート杭と既製コンクリート杭）

3.2.4 場所打ちコンクリート杭

(1) 歴史

場所打ちコンクリート杭は、大口径の杭が施工可能なこと、低騒音・低振動工法であること、支持層の変化に応じて容易に杭長を変更可能などから、現在、土木構造物、建築の基礎杭としての施工実績が多くある。場所打ちコンクリート杭の施工方法は海外から輸入され、国内で工夫・改善して利用され、日本の地盤や環境条件等に適用しにくい工法や新工法の導入によって従来の工法が衰退することが繰り返されている。

(2) 場所打ちコンクリート杭の分類

場所打ちコンクリート杭は杭孔の開削方法によって、図 3.2.16 に示す打撃貫入工法、人力掘削工法、機械掘削工法に分類される。表 3.2.1 に場所打ちコンクリート杭の変遷と性能比較について示す。

打撃貫入式場所打ち杭工法は、地盤に錘を落下させて孔を掘り、その中にコンクリートを投入して上から突き固める工法である。打撃貫入式場所打ちコンクリート杭は、当初建築界では革命的な工法であった。しかしながら、最大の欠点は振動・騒音が激しく、土砂を飛散させるため、近隣への影響が大きいことである。明治時代から改良を重ねてきた打撃貫入式場所打ちコンクリート杭は、時代の流れの中で姿を消していき、1970 年頃には使用されなくなっていった。市街地では無振動・無騒音工法が求められ、機械掘削方式の場所打ちコンクリート杭が導入された。

機械式掘削工法は、オールケーシング工法が 1954 年に最初に導入された。アースドリル工法はアメリカから 1959 年に、リバースサーキュレーションドリル工法（リバース工法）はドイツから 1962 年に導入された。これらの機械式掘削工

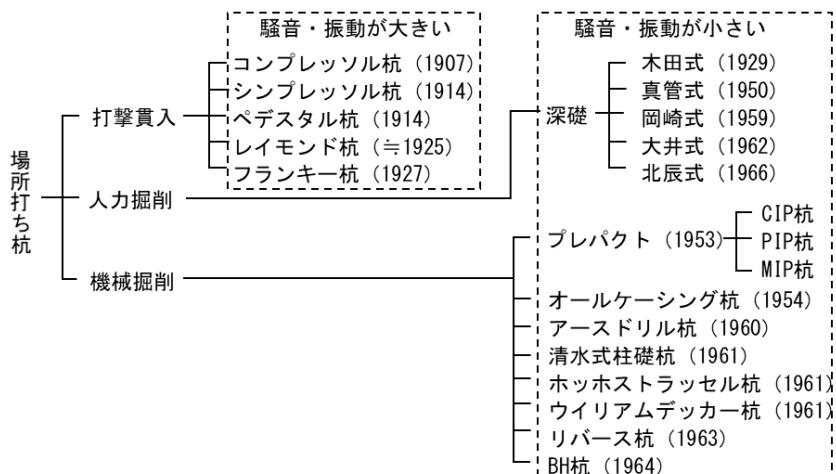


図 3.2.16 場所打ちコンクリート杭の分類³⁷⁾

法は、国産機の開発も進み、場所打ちコンクリート工法の代表的な3つの工法として、戦後復興から経済成長期の大型構造物の基礎を支えた。なお、1970年頃からは、拡底杭工法（リバース拡底工法、アースドリル拡底工法）が競って開発された。

表3.2.1 場所打ちコンクリート杭の変遷と性能比較^{37)~38)、40)~42)}

*導入当初の施工可能な目安

工法の種類	西暦 (元号)	杭名・工法名	地盤条件		杭径*	杭長*	孔壁 保護	騒音・ 振動	狭小 敷地
			硬質 地盤	軟弱 地盤					
打撃貫入工法	1907 (明治40年)	コンプレッソル杭	△	×	1.2m	7.0m	×	×	○
	1914 (大正3年)	シンプレッソル杭	△	△	-	15m	△	×	○
	1914 (大正3年)	ペデスタル杭 (アボット杭)	△	△	0.43m	10m	△	×	○
	1925 (大正14年)	レイモンド杭	○	○	0.5m	12m	○	△	○
	1927 (昭和2年)	フランキー杭	○	○	0.5m	-	○	△	○
	1960 (昭和35年)	新フランキー杭	○	○	0.5m	45m	○	△	○
機械掘削工法	1953 (昭和28年)	ベノト工法	○	○	1.0m	60m	◎	○	×
	1954 (昭和29年)	オールケーシング工法	◎	◎	1~3m	60m	◎	○	×
	1959 (昭和34年)	カルウェルド工法	○	△	-	-	△	○	△
	1959 (昭和34年)	アースドリル工法	○	○	1m	60m	○	○	△
	1960 (昭和35年)	プレパクト工法	○	○	-	-	○	○	○
	1962 (昭和37年)	リバースサーチュレーションドリル工法	○	○	1~3m	60m	○	○	×
	1963 (昭和38年)	BH工法	○	○	-	-	○	○	◎
	1984 (昭和59年)	拡底工法	-	-	-	-	-	-	-
	1984 (昭和59年)	場所打ち鋼管 コンクリート工法	-	-	-	-	-	-	-

◎：最も適している ○：適している △：やや適している ×：不適

(3) 打撃貫入場所打ちコンクリート杭の種類

(3-1) コンプレッソル杭

コンプレッソル杭は、日本における最初の場所打ちコンクリート杭であり、1907年10月に創立された東洋コンプレッソル株式会社によって施工された。

せん孔機の鉄製円錐型の真矢を地中に落下させて、せん孔し、その真矢の円錐面をもって土壤の周囲を圧迫しながら所定の深さまで掘り進める。軟弱地盤の場合には、岩石の破片あるいは割栗石等の材料を投入しながらせん孔する。直径1.2m、長さ6.7m～7mの基礎の孔が2～3時間で出来上がる。ただし、湿潤な地質で孔中へ浸水する場合には、粘土または少量の乾燥したコンクリートを孔壁周囲に固着させて浸水を止める。

せん孔が完了すると孔底に割栗石、コンクリートの順で投入し、真矢で順次突き固める。基礎上面に達したら分銅型の真矢でその頂部を固める。(図3.2.17参照)施工時間は5～6時間であり、コンクリートを順次錘で締固めることから、比較的良好な杭体ができる。しかし、軟弱な地盤では錘を落下させてその勢いでせん孔するため、杭壁が崩壊してビヤ樽状の杭となってしまう懸念がある。

(3-2) シンプレッソル杭

シンプレッソル杭は、1914年頃アメリカから輸入され、日本で2番目の場所打ちコンクリート杭となる。しかし、この杭の施工記録はほとんどない。

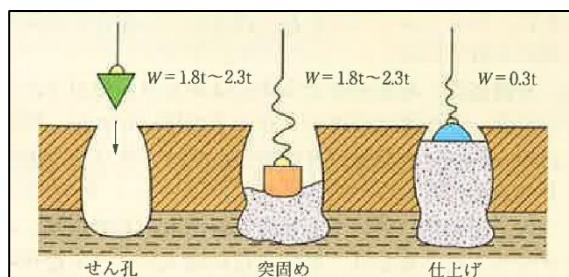


図3.2.17 コンプレッソル杭の施工法³⁷⁾

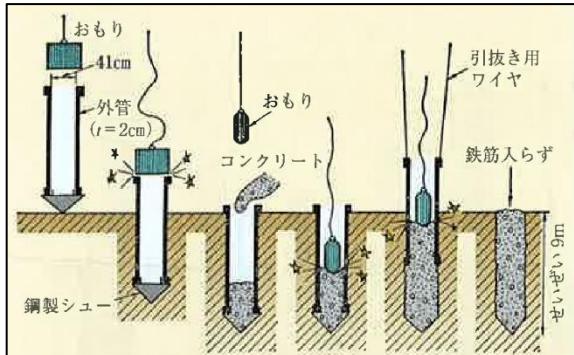


図3.2.18 シンプレッソル杭の施工順序³⁷⁾

先端に鋼製シューを取付けた鉄管を地盤に打込み、所定の深さまで達したらその中にコンクリートを投入し、上から錘を落下させてコンクリートを締固める。最後に鋼製シューを地中に残して鉄管を引抜き、杭が築造される。(図 3.2.18 参照) コンプレッソル杭の孔壁崩壊という欠点を解消するために鋼管を用いているため、杭孔の中への泥土の侵入、地盤の崩壊を防ぐことができる。しかし、コンプレッソル杭と同様、騒音・振動、土砂の飛散の問題は残る。

(3-3) ペデスタル杭

ペデスタルとは「円柱、彫刻および美術品などを載せる台石」と建築用語辞典にある。すなわち、下部の膨らんだ部分がペデスタル(球根と訳す)で、円筒部を幹柱部といい、球根を有する円柱形の杭をペデスタル杭と称する。

(3-3-1) アボット杭(初期のペデスタル杭)

アボット杭は、アメリカ人のハンリーアボットが発明した。1885年に開発がはじまり、日本では1912年2月にコンクリート杭製造法の特許を取得している。

この杭は二重管を用いる。内管は外管より90cm程度長くなっている。内管は外管より深く地盤の中に打込まれることで、杭の中に泥土の侵入を防いでいる。しかし、内管を引抜くときやコンクリートを投入して球根を築造するときに、泥土が侵入しやすい。水分の少ない粘土質地盤に適用が可能であり、軟弱地盤ではコンクリートと土砂が混合してしまうことが多い(図3.2.19参照)。杭の打設にはスチームハンマーが使用され、杭径43cm、杭長10m程度の杭の築造ができた。

アボット杭の欠点である軟弱地盤における杭中への土砂の浸入に対し、場所打ちコンクリート杭施工専門会社の東洋コンプレッソル会社はアボット杭の改良を進めた。この杭の特徴は、二重管の先端に鋼製のシューを取付けて、コンクリートの中に泥土が混入するのを防ぐ工夫をしていることや鋼製シューを円錐形にす

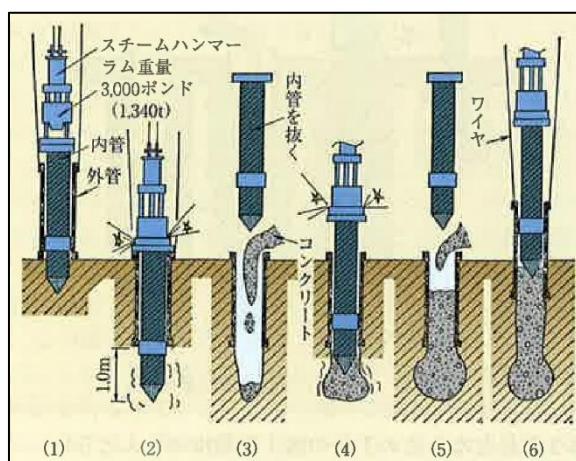


図3.2.19 アボット杭の施工順序³⁷⁾

ることで、打撃によるシューの破損を防止している。施工能力は杭径 43cm、杭長 12m 程度である（図 3.2.20 参照）。

(3-3-2) 流し込み方式のペデスタル杭

この杭は二重管先端の球根を所定の深さの地盤に突き出してコンクリートの球根を作り、内管に流動性のよいコンクリートを一気に流し込み、コンクリートを突き固めないで杭を築造する工法である（図 3.2.21 参照）。

当時、鋼製シューは高価な製品であり、代替としてぶな材や松材の木栓が使用されていたが、戦後にはコンクリート栓（シュー）が使われることで内管が外管より少し短くなり、球根築造後の泥土の侵入防止効果があり、コンクリートと泥土の混合を防止した。

1918 年開通した総武線御茶ノ水駅・両国駅の工事では、白石式杭が 104 本使用された。白石式杭は、外管の打込み完了後、地中先端部に火薬を詰込み爆破することで丸い孔を造り、そこにコンクリートを流し込み球根を形成している。

杭の中の鉄筋に代えて帯鉄と薄鉄板を組み合わせた籠を挿入する内部有殻杭工法、および波鉄板の円筒を鉄筋挿入前に入れてコンクリートを保護する外部有殻杭工法も使用された。杭径は 35cm、43cm、51cm の 3 種類で、杭長は 35m の施工例がある。

(3-3-3) 突き上がり方式のペデスタル杭

この工法（図 3.2.22 参照）は、二重管の内管でコンクリートを突き固める方法である。二重管先端の地盤中に球根を突き出して内管からコンクリートを流し込

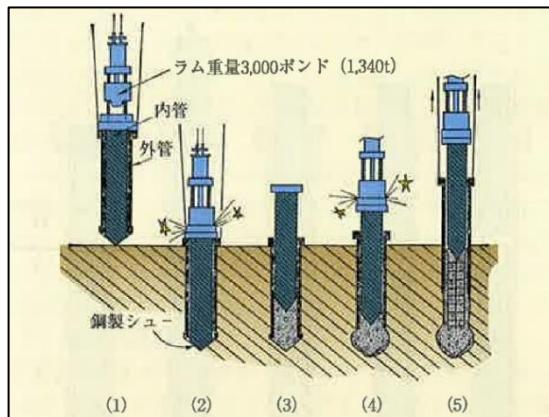


図 3.2.20
改良したアボット杭の施工順序³⁷⁾

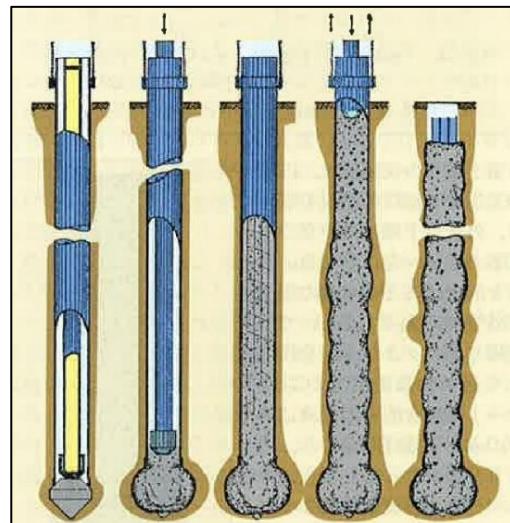


図 3.2.21 流し込み方式の
ペデスタル杭の施工順序³⁷⁾

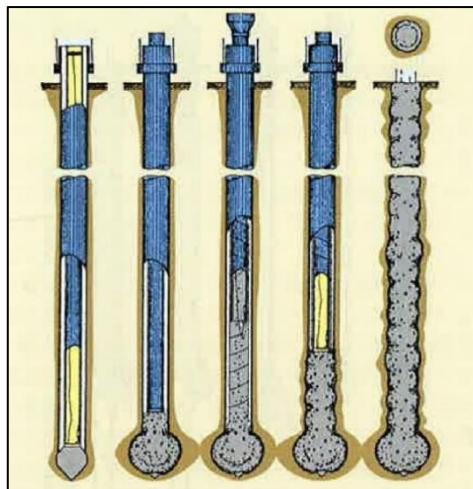


図 3.2.22 突き上がり式のペデスタル杭の施工順序³⁷⁾

み、内管先端の弁を閉じてコンクリートを突き固め、その状態で外管を少し引上げる。これらの作業を繰返すことで凹凸の多い杭体が出来上がり、先端支持力と摩擦力が期待できる。内管先端の弁の開閉方法によって呼び方が異なり、田中式、大洋式、鴻池式、マルチ式、大平式等がある。

(3-3-4) 合成ペデスタル杭

支持地盤が深いところでは、より長い杭が必要とされていた。その状況で、ペデスタル杭の先端に木杭や既製のコンクリート杭を継足した合成ペデスタル杭が開発された（図 3.2.23 参照）。

二重管の内管の中に既製杭を挿入して内管の先端まで杭を打込み、その上にペデスタル杭を築造する。この際、球根を先に造りその中に杭を打込む方法と、杭を先に打込みその上に球根を築造する方法がある。いずれの方法でも既製杭と球根コンクリートの連結に課題がある。

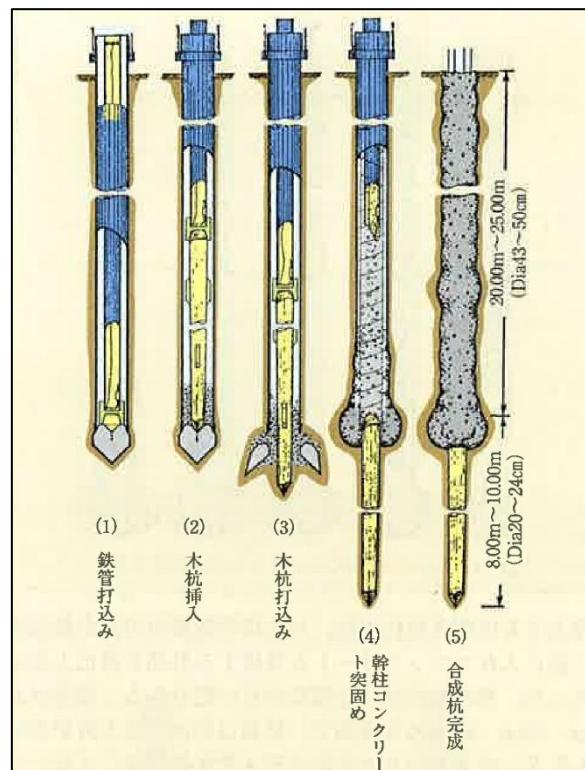


図 3.2.23
合成ペデスタル杭の施工順序³⁷⁾

(3-3-5) 球根のない杭

ペデスタル杭の施工能力が向上してくると、深い支持地盤まで杭の築造が可能となって、摩擦杭から支持杭が多く使われるようになる。多くの載荷試験の結果、杭先端に球根がない場合でも支持力は十分に確保できていることがわかり、球根のないペデスタル杭が作られるようになる。外管のみを打込み、その中に外殻を挿入することで土砂や地下水が杭孔に浸入するのを防止でき、良質なコンクリートの打設ができる（図3.2.24参照）。

(3-4) レイモンド杭

レイモンド杭はアメリカ、シカゴ市のレイモンド・パイリング社が特許を持ち、日本には1925年頃に導入されたが、施工実績は乏しい。

シンプレッソル杭で使用した鉄管に代わって薄い鋼板で作ったテーパー付きのケース（外管）を使用する。そのケースの中に鋼製的心棒をはめ込み、ケースとともに打込んでいく。所定の深さまで打込みが完了すると、ケースの中の心棒を引上げた後、コンクリート打設を行い、杭が完成する（図3.2.25参照）。土砂とコンクリートの境に薄い鉄板（ケース）があることで、コンクリートと土砂が混ざり合うことがなくなる。杭径50cm、杭長

12m程度の施工が可能であった。しかし、木杭がまだ多く使用されていた時代に、当時として高価な鋼板を使用するこの工法は経済的に不利であった。

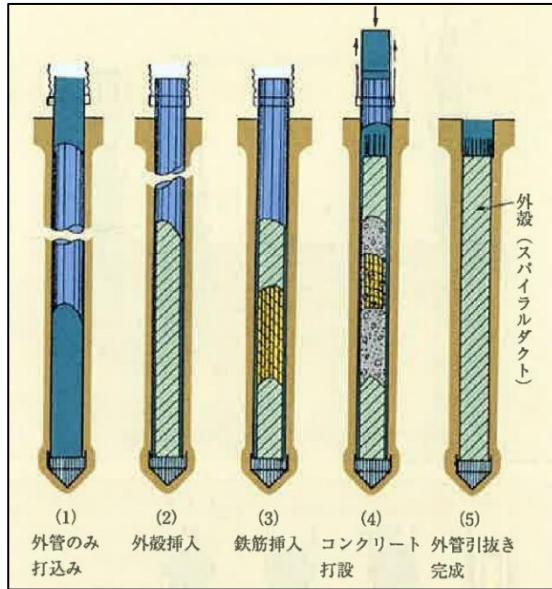


図3.2.24
無球根杭（外殻）の施工順序³⁷⁾

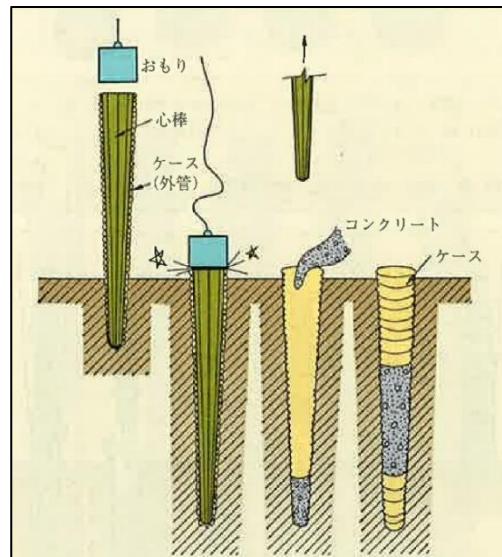


図3.2.25
レイモンド杭の施工順序³⁷⁾

(3-5) フランキー杭

フランキー杭はベルギー人のフランキヨルが開発し、日本には1927年頃東洋コンプレッソル会社によって導入された。

図3.2.26に示すように、外管・内管の二重の鉄管を使用する。内管の先端には泥土の侵入を防ぐための鋼製シューを取付ける。さらに長さ4m~5mの鉄の心棒が付いている鉄栓を挿入する。地盤の掘削は、2t~2.5tのハンマーをワイヤーで吊上げ、落下させることで鉄栓を叩きながら内管を沈める。その際、外管は内管によって引下げられる。所定の深さまで掘削が完了した後に、管の中にコンクリートを流し込み、ハンマーでコンクリートを締固めながら外管と内管を引上げる。この作業を繰返し、杭が完成する。この杭の特徴は、比較的硬質な地盤でも施工が可能であり、钢管を打込む際に钢管内部の鉄栓にハンマーを打撃することにより、樋を低くできることである。またハンマーの打撃する位置が地中であることから、騒音・振動や泥の飛散等が比較的少ない。しかし、軟弱地盤では、鉄栓の取付け位置を内管の頭部にすることもある。施工能力は杭径43cmと51cmで杭長は10m程度である。

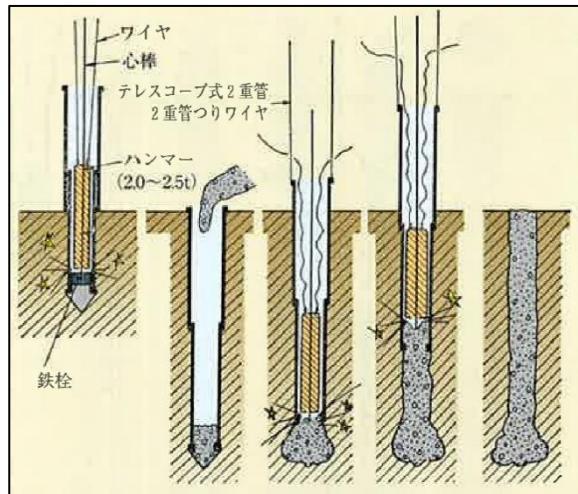


図3.2.26 フランキー杭の施工順序³⁷⁾

1960年、新フランキー杭（図3.2.27参照）が登場する。従来の方法と異なり、一重の鉄管を使用する。この鉄管を建込み、先端に固練りのコンクリートを投入する。次に、このコンクリートを管内のハンマーで叩きながら締固める。この固まったコンクリートが鉄栓の役割を果し、これにハンマーを落下させ地中深く打込ん

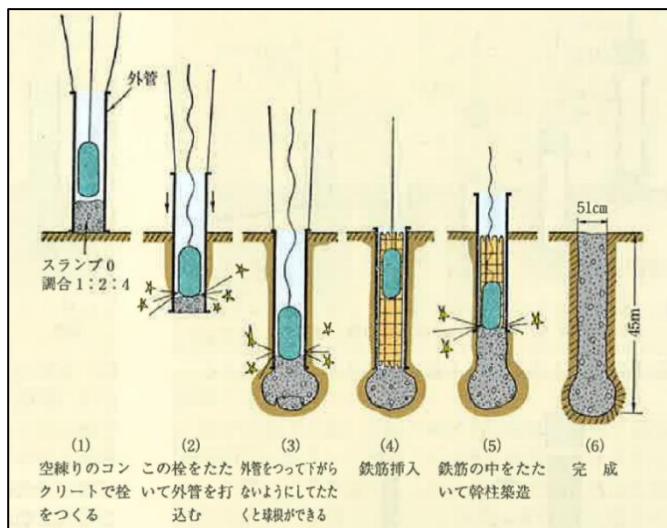


図3.2.27 新フランキー杭の施工順序³⁷⁾

で球根を形成する。杭体には鉄筋も挿入されていることから、杭の耐力は増強される。施工能力は杭径 43cm と 51cm で、杭長 45m 程度まで可能である。この杭の特徴は、当時場所打ちコンクリート杭として多く用いられていたペデスタル杭(3-3 参照)より長い杭の施工が可能であり、またハンマーの打撃位置が地中にあることにより、比較的騒音・振動が少ないことである。

(4) 機械掘削場所打ちコンクリート杭（工法）の種類

(4-1) プレパクト工法

プレパクト工法は CIP 工法、PIP 工法、CFA 工法の 3 種類がある。CIP 工法はアースオーガーで地盤を削孔し、鉄筋とモルタル注入パイプを挿してから粗骨材を投入し、最後にモルタルをパイプから注入して杭を構築する工法である(図 3.2.28 参照)。PIP 工法は、オーガー引抜き時に地盤にモルタルを圧入し、鉄筋を後から挿入する工法である。導入当時は多く施工されたと記録されているが、近年は実績もほとんどなく、日本建築学会・建築工事標準仕様書 JASS4 の 1997 年改訂では「その他の杭工事」から PIP 工法が削除された。

プレパクト工法の長所は、無騒音・無振動な工法であるため近隣環境への影響が小さいこと、狭いスペースでの施工可能であることである。しかし、杭径が一般的な場所打ちコンクリート杭の杭径より小さく、大きな支持力を見込めないという問題もある。

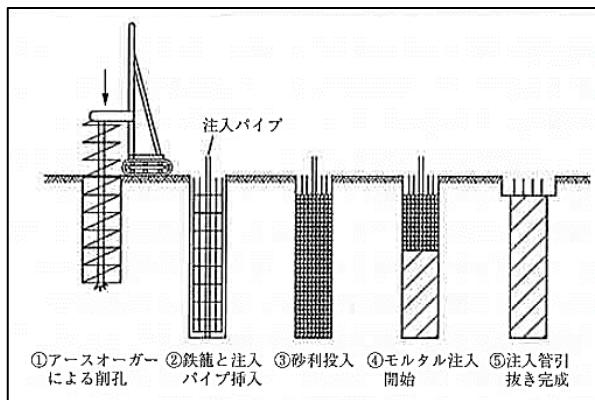


図 3.2.28 プレパクト工法 (CIP 工法) の掘削手順³⁸⁾

(4-2) ベノト工法

ベノト工法はオールケーシング工法の前身となった工法である。1954 年に旧国鉄がベノト杭をフランスから日本に最初に導入した。現在では場所打ち杭の区分としてオールケーシング工法の範疇であり、通常オールケーシング工法と呼ばれる。ベノト杭の国内 1 号機(写真 3.2.12 参照)による施工方法を以下に紹介する。

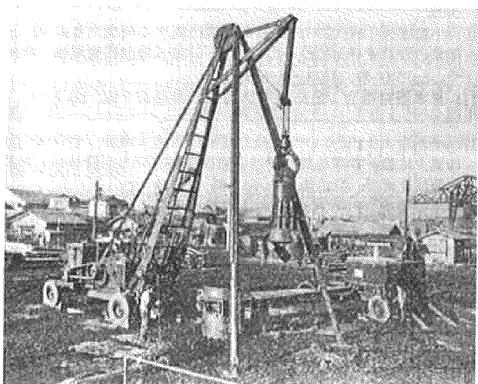


写真3.2.12 ベノト国内1号機による作業状況⁴⁰⁾

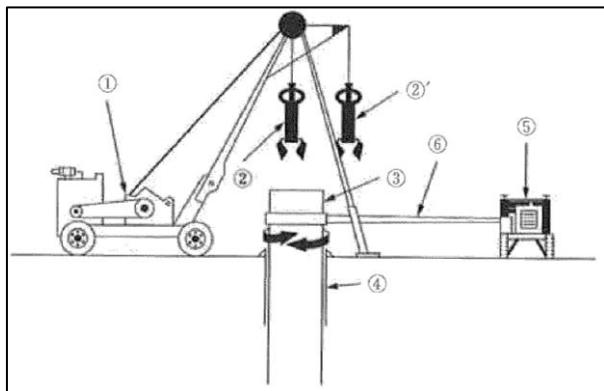


図3.2.29 ベノト国内1号機作業略図⁴⁰⁾

ベノト国内1号機作業略図を示す(図3.2.29)。図中の①は掘削機本体であり、図中の②の「ハンマーグラブ」を上下して豎坑内の土砂を掘削し、かつ残土をくわえ出す。「ハンマーグラブ」を巻き上げると、独特の機構で自動的に図中の②'の位置に移動し、くわえた土を排出する。ワイヤーの操作により、再び図中の②の位置により掘削体勢に入る。これら一連の作業がすべて1つのワイヤーで自動的に円滑に行われることが、この機械の第一の特徴である。前述のペデスタル杭で一般的であった許容支持力は1本あたり100t程度であったが、直径1mのベノト杭では、その3倍程度の支持力が期待できると考えられ、実大杭による載荷試験が行われた。試験結果から東京都は『建築構造設計指針』³⁹⁾において、250tの標準耐力(長期許容支持力)を認めている。

(4-3) カルウェルド工法

カルウェルド工法はアースドリル杭の前身となった工法である。カルウェルド工法は、1947年にアメリカのカルウェルド社により、飲料水用の井戸を掘削するため、あるいは掘削孔にコンクリートを投入して杭にするために開発された工法である。日本では、1959年にアメリカのカルウェルド社から技術導入して製作したT&K(種谷&加藤)10Hカルウェルド・アースドリル機が最初である。

カルウェルド工法はもともと素掘り(無水掘り)の工法であるが、日本の都市部のようにベントナイト安定液を使用して掘削するケースが多い場合には、トラック搭載型のカルウェルド掘削機では、地表面が乱されて操作が困難になることが多い。このため、水平維持をアウトリガーで調整可能なキャタピラ搭載型のT&Kアースドリル機が主に使われるようになる。このようなことから呼び名がカルウェルド工法からアースドリル工法に変化した。

現在のアースドリル工法との違いとして、表層ケーシングの建込みおよび安定

液による孔壁保護、底ざらいバケットによる一次孔底処理、トレミー管による水中コンクリートの打設が無い。そのため現在は、当時と比較して高品質な施工や施工管理が実施されている。

(4-4) オールケーシング工法

オールケーシング工法は、ケーシングチューブを掘削長全長にわたり貫入し、ハンマーグラブにより掘削する工法である（図3.2.30参照）。オールケーシング杭には全周回転式と揺動式があり、揺動式が前述のベノト工法に該当する。全周回転式は揺動式を発展させた方法であり、昨今のオールケーシング工法では全周回転式が採用されている。先端にカッターを備えたケーシングチューブを回転・圧入することで、岩盤、鉄筋コンクリート等の切削ができる。その後、ハンマーグラブによりケーシングチューブ内側の掘削を行う。掘削完了後、孔底処理、鉄筋かごを設置し、トレミー管を使用してコンクリートを打設しながら、ケーシングチューブを引き抜く。

オールケーシング工法は、孔壁の崩壊が起きないため周辺地盤の変形が少なく近接する構造物への影響が小さいこと、ハンマーグラブで掘削するため玉石層の掘削も可能であり掘削中に杭の垂直性を確認出来る等の利点がある。欠点としては、掘削機が大型であるため狭小敷地では施工出来ない場合もある。また砂層等の地盤ではケーシングの引抜きが困難となる等の点が挙げられる。

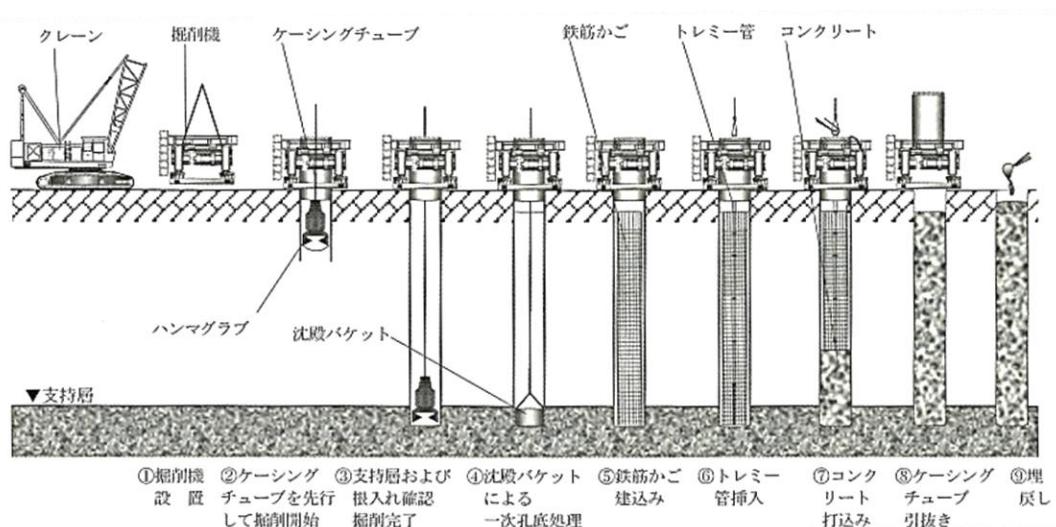


図3.2.30 オールケーシング工法の施工手順⁴¹⁾

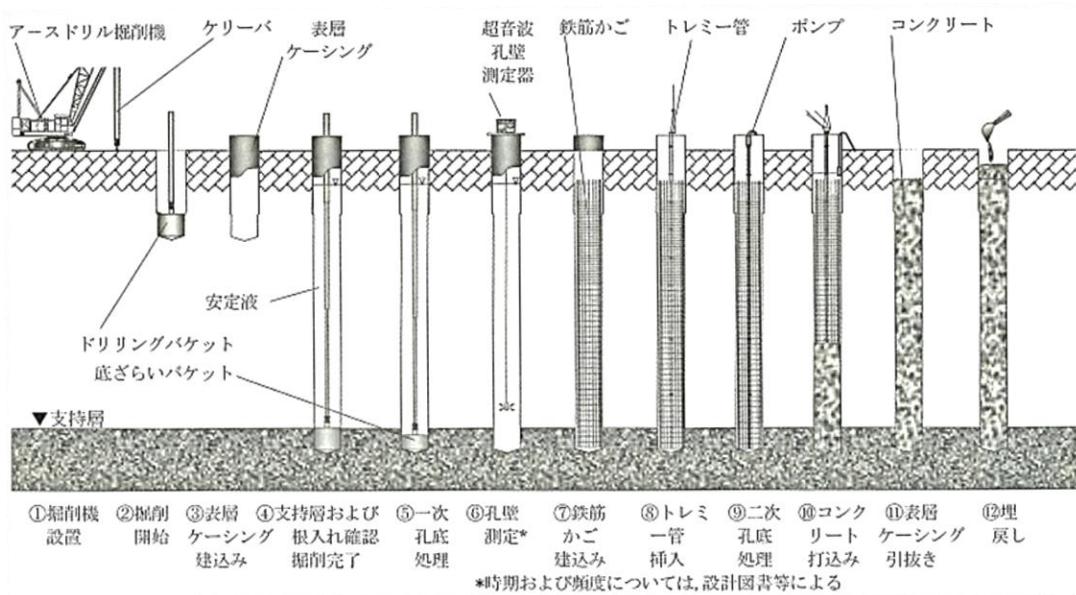


図 3.2.31 アースドリル工法の施工手順⁴¹⁾

(4-5) アースドリル工法

アースドリル工法は、表層ケーシングを使用し、アースドリル掘削機により掘削する工法である（図 3.2.31 参照）。表層ケーシングは、掘削機の載荷重による表層地盤の崩壊や泥土・泥水の地表からの流入防止（孔壁保護）のために設置する。孔壁が崩れないようにするために、安定液を注入しながら掘削を行う。掘削完了後、孔底処理を行い、鉄筋かごを設置し、トレミー管を使用して杭底からコンクリートを打設し、最後に表層ケーシングを引き抜く。アースドリル工法は、大口径の杭や長い杭も施工可能であり、騒音や振動が少ない、狭小敷地でも施工可能といった利点がある。欠点として、玉石層、岩盤層等といった地盤では施工不可となる場合があること、安定液を使用しているが、緩い砂層、砂礫層の場合に孔壁崩壊の可能性がある等の点がある。

(4-6) リバースサーキュレーションドリル工法

リバースサーキュレーションドリル工法は、表層ケーシング（スタンドパイプ）を建込み、ハンマーグラブにより先行して掘削後、掘削ビットにより掘削する工法である（図 3.2.32 参照）。掘削は、掘削ビットを回転させ、掘り起こした土砂は、サクションポンプを通じて、水とともに地上に設置した沈殿槽に送り、土砂を沈殿させた（泥水処理）あと再び泥水を孔内に送る。孔壁の保護は、水頭圧および孔壁に形成されるマッドケーキ（不透水層）により行う。岩盤層の掘削も可能であり、逆循環掘削のため、スライムの沈降・沈殿の問題を解消できる等の利点がある。欠点として、玉石層や木片等の地中障害に弱く、伏流水や逸水等があ

る場合は静水圧の保持が困難である等の点がある。

(4-7) BH 工法

大型のボーリング機械を使用し、ボーリングロッドの先端に取付けた掘削用ビットを回転させて掘削する。掘削土砂は、安定液をグラウトポンプに送りビットの先端より排出して掘削し、その後、掘削土砂を孔口に運び上げ、サンドポンプで排出する。掘削完了後、孔内処理を行ない、鉄筋かごを設置し、コンクリートを打設する（図 3.2.33 参照）。BH 工法は、施工機械が比較的小型であり、狭小敷地でも施工可能である。

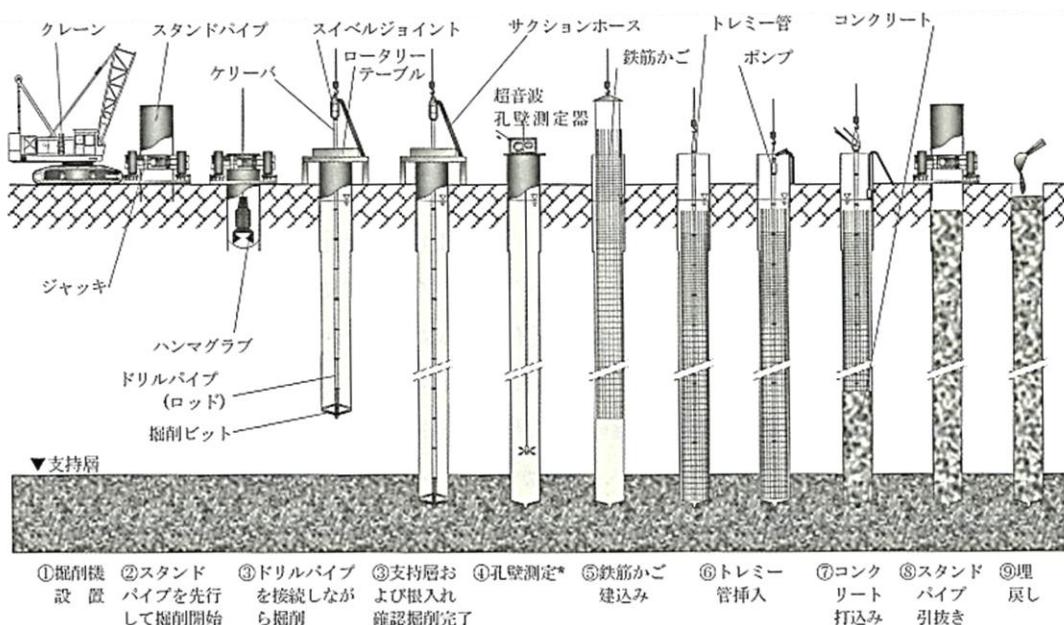


図 3.2.32 リバース工法の掘削手順⁴¹⁾

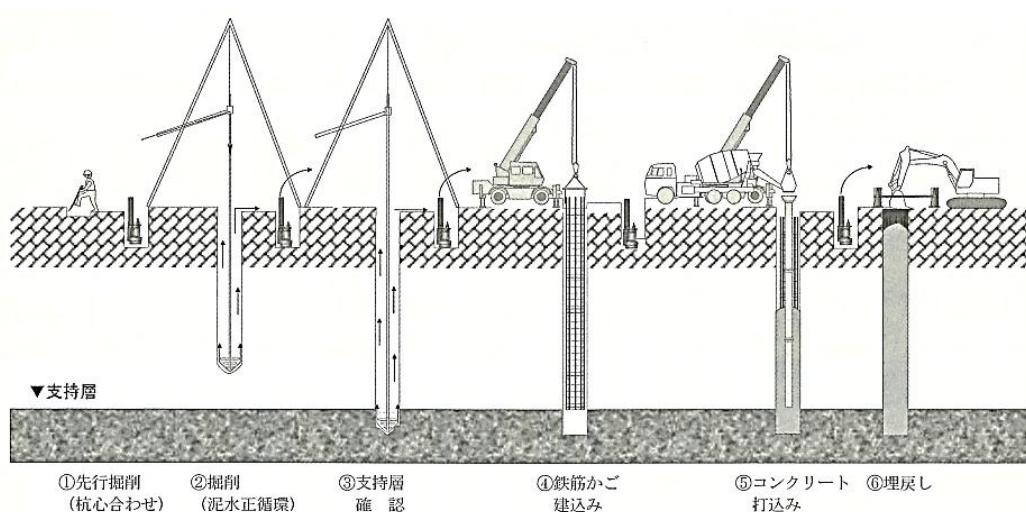


図 3.2.33 BH 工法の掘削手順の例⁴¹⁾

地で施工が可能であり、振動や騒音が小さい。一方、孔内に比重の高い安定液が残りやすく、コンクリートとの置換性が悪くなりやすい欠点がある。

(5) 場所打ちコンクリート杭に関する技術（評定工法）

鋼管コンクリート工法と拡底工法は、前述した場所打ちコンクリート杭の施工法であるアースドリル工法、オールケーシング工法、リバースサーキュレーション工法の発展に貢献した工法であり、評定を受けた工法である。評定工法はより高い施工管理が要求され、指定性能評価機関において評定を受ける。

(5-1) 場所打ち鋼管コンクリート工法

場所打ち鋼管コンクリート工法（図3.2.34参照）は、鋼管で杭頭を補強することで耐震性の向上を図った工法である。曲げモーメントやせん断力に対しては、高い韌性（変形性能）と耐力が得られる。杭径が小さくなることで、残土、廃棄物、コンクリートの減少を図ることから環境への負荷を低減できる。

(5-2) 拡底工法

拡底工法は杭の先端部を拡大することによって先端支持力の増大を図る工法である。拡底径と同径のストレート杭より軸部を細くすることによって、掘削土量、コンクリート量、産廃量等を低減し、経済的な工法である。（図3.2.35参照）日本で最初の拡底工法は、1971年に大林組が開発したOJP工法であり、この工法はリバースサーキ

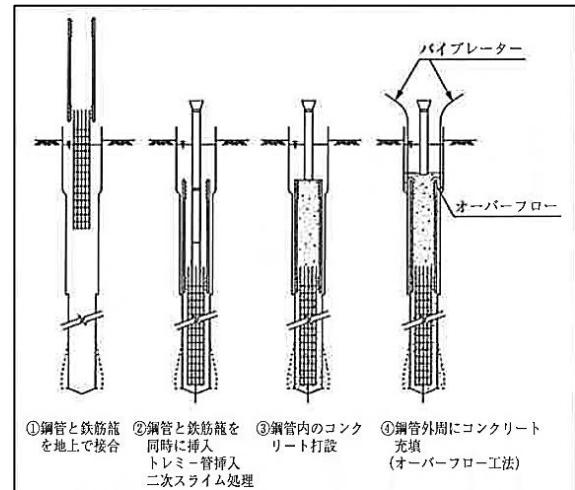


図3.2.34 場所打ち鋼管コンクリート工法の掘削手順³⁸⁾

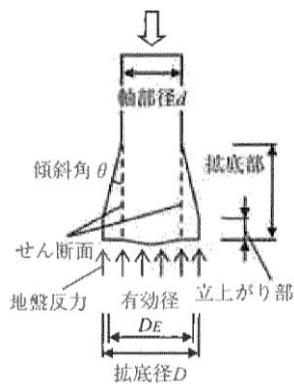


図3.2.35 拡底杭各部の名称⁴²⁾

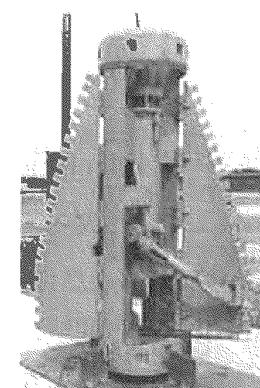


写真3.2.13 拡底バケット⁴²⁾

ュレーション方式による拡底工法である。昨今、主流となっているのはアースドリル工法による拡底工法であり、リバースサーチュレーション方式と比較して、機動性があり、付帯設備もコンパクトであることから施工性に優れている。

【リーフレット作成建物】

- ・国会議事堂（1936年）
- ・JRセントラルタワーズ（1999年）
- ・さいたまスーパーアリーナ（2000年）
- ・東京スカイツリー（2012年）
- ・横浜市庁舎（2020年）※直接基礎と杭基礎の併用（場所打ちコンクリート杭と既製コンクリート杭）

引用・参考文献

- 1) 新潟県農地部：基礎木杭設計指針、2011.5
- 2) 長野県林務部：丸太基礎杭設計マニュアル、2014.3
- 3) 桑原文夫：鉄筋コンクリート構造の技術的変遷 第15回 基礎構造の変遷（杭の施工方法と支持力評価）、ビルディングレター、第656号、p.1、2020.8
- 4) 豊島光夫：基礎専科（上）正しい設計のすすめ、p.188、1975.2
- 5) 塩井幸武・橋詰豊：構造物基礎の教科書、総合土木研究所、p.99、2020.7
- 6) 三内丸山遺跡縄文デジタルアーカイブ Sanmaru Search : https://sannaimaruyama.pref.aomori.jp/sanmaru_search/detail/?c=6564 (参照日 2025.3.14)
- 7) 土木学会木材工学特別委員会：国内の構造物基礎における木材利用事例と設計方法の変遷、木材利用ライブラリー、No.005、pp.3-4、2012.3
- 8) 提供元：茅ヶ崎市教育委員会
- 9) 野澤伸一郎・藤原寅士良：東京駅丸の内駅舎に使用された木杭の耐久性、土木学会論文集C（地盤工学）、Vol.72、No.4、pp.300-305、2016
- 10) 塩井幸武・橋詰豊：構造物基礎の教科書、総合土木研究所、p.100、2020.7
- 11) 土木学会木材工学特別委員会：国内の構造物基礎における木材利用事例と設計方法の変遷、木材利用ライブラリー、No.005、p.10、2012.3
- 12) 塩井幸武・橋詰豊：構造物基礎の教科書、総合土木研究所、p.99、2020.7
- 13) 技術の歴史、筑摩書房、第6巻、第16章、p.373、1963
- 14) 土木学会：明治以前 日本土木史、p.1685、1973.12
- 15) 野平忠・福田乙二・相川新一：建築の基礎、鹿島建設技術研究所出版部、pp.66、1962

- 16) 塩井幸武・橋詰豊：構造物基礎の教科書、総合土木研究所、pp. 101-102、2020. 7
- 17) 土質学会：杭基礎の設計法とその解説、pp. 12-14、1985. 1
- 18) 鋼管杭協会 設計技術委員会：鋼管杭－その設計と施工－、p. 5、1990. 4
- 19) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭－その設計と施工－、p. 4、2009. 4
- 20) みなとの博物館ネットワーク・フォーラム：<https://www.waterfront.or.jp/portmuseum/topics/view/247>（参照日 2025. 3. 14）
- 21) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼杭・鋼矢板技術協会設立 50 周年記念誌 半世紀を振り返って、次の半世紀へ、 pp. 58-59、2021. 12
- 22) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼杭・鋼矢板技術協会設立 50 周年記念誌 半世紀を振り返って、次の半世紀へ、 p. 13、2021. 12
- 23) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼杭・鋼矢板技術協会設立 50 周年記念誌 半世紀を振り返って、次の半世紀へ、 p. 14、2021. 12
- 24) ティー・シージャパン：https://tc-japan.co.jp/data_04/（参照日 2025. 10. 27）
- 25) 鋼管杭協会：明日を築く、No. 49、 p. 14、1985. 10
- 26) コンクリート SL 杭研究会：SL コンパウンドー軟弱地盤対策用 SL 杭－パンフレット、p. 9
- 27) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領、Edition 2. 0、 p. 7、20
21. 3
- 28) 田中宏征、日下裕貴：鋼管杭の技術の変遷と最近の技術開発動向、新日鐵住金技報、第 403 号、
pp. 24-25、2015. 12
- 29) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼杭・鋼矢板技術協会設立 50 周年記念誌 半世紀を振り返って、次の半世紀へ、 pp. 92-93、2021. 12
- 30) 塩井幸武、橋詰豊：構造物基礎の教科書、総合土木研究所、p. 112、2020. 7
- 31) 土屋勉、高坂舞：回転貫入杭の鉛直支持力特性に関する統計的検討、日本建築学会技術報告集、
vol. 21、No. 49、pp. 991-994、2015. 10
- 32) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼杭・鋼矢板技術協会設立 50 周年記念誌 半世紀を振り返って、次の半世紀へ、 p. 93、2021. 12
- 33) 桑原文夫：既製コンクリート杭の歴史・現状および将来の展望、基礎工、Vol. 35、No. 7、pp. 2
-7、2007. 7
- 34) 小寺浩二：杭の高支持力化における既製コンクリート杭の課題と取組み、基礎工、Vol. 49、No. 4、
pp. 7-10、2021. 4
- 35) 津田和義：もっと知りたい PC 技術 PC 杭、プレストレストコンクリート、Vol. 58、No. 3、2016
- 36) 佐原守、小寺満：既製コンクリート杭に関する基準類、基礎工、Vol. 49、No. 4、pp. 34-37、
2021. 4

- 37) 平原勲：打撃工法の変遷（明治期から昭和30年頃まで）、基礎工、Vol. 38、No. 11、pp. 8-15、
2010. 11
- 38) 三反畠勇：掘削工法の変遷：昭和30年頃以降の場所打ち杭、基礎工、Vol. 38、No. 11、pp. 16-
19、2010. 11
- 39) 東京都建築士事務所協会：建築構造設計指針、p. 107、1966
- 40) 福島弘文：ペノト杭、基礎工、Vol. 38、No. 11、pp. 58-60、2010. 11
- 41) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS4 杭および基礎工事、2022. 3
- 42) 茶谷文雄：拡底杭、基礎工、Vol. 38、No. 11、pp. 79-83、2010. 11

3.3 杭に関連したその他の基礎

3.3.1 深礎杭

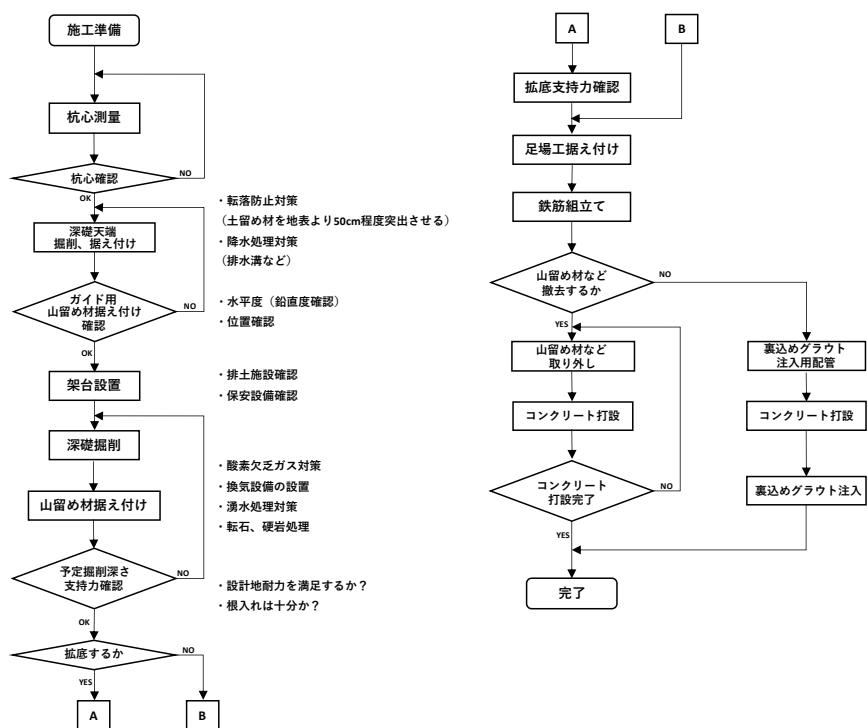
深礎工法は、1930年木田建業の木田保造により特許工法として発案された。山岳地の傾斜地盤に設けられる構造物基礎や、山間地の高速道路、鉄道基礎、河川橋梁の基礎のほか、地滑り対策の抑止杭、集水井戸など、機械が投入できない現場、岩盤、玉石、転石地盤において、その特性を生かし多用されている。

近年では、近接施工・作業時間の制約を受ける鉄道施設の造改築工事、アンダーピニングやレトロフィット免震を設置する際の仮受け杭、不良杭の手直しのための山留めと様々な分野で利用されている。

1935年前後から1960年前後までの戦前～戦後の復興建築物の主たるもの内、都内の主要道路（藏前通り、永代通り、月島通り、八重洲通り、日本橋通り、日比谷通り、桜田門通り）に面した構造物に深礎杭が使われている。

(1) 杭の工法概要

一般的な手掘り深礎杭の施工フローを図3.3.1に、施工手順図を、図-3.3.2に示す。



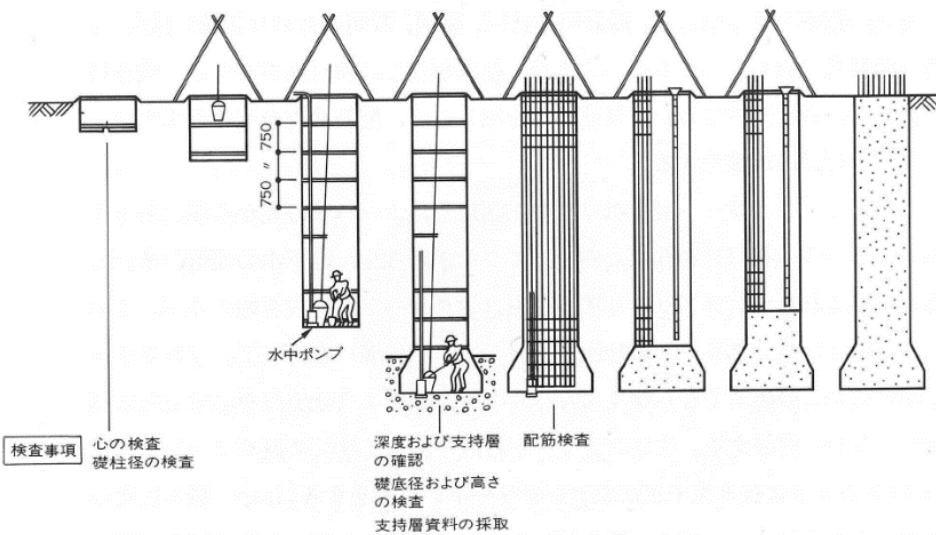
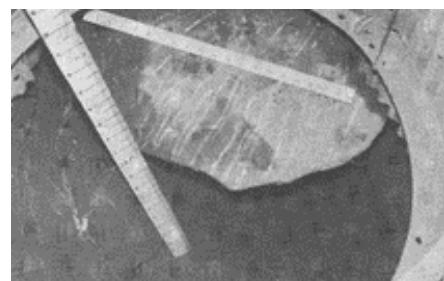


図 3.3.2 深基礎杭の施工手順図²⁾



孔底手掘り状況



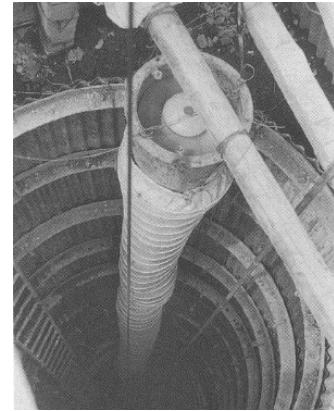
掘削時転石遭遇状況



転石吊り上げ撤去状況



写真 3.3.1 深基礎杭施工状況²⁾



孔内送風換気状況

- 1) 作業員が孔内に入り孔壁を鋼製の山留め材(ライナープレート、生子板など)で支えながら、スコップなどを用い、人力で掘削する。地盤が硬い場合には、ピックまたは、削岩機を用い、転石・硬岩などは発破などにより掘削する。
- 2) 掘削土砂は深礎上にあらかじめ組んだ櫓に取り付けた小型バケットをワインチで巻き取ることにより孔外に搬出する。

この際、酸素濃度を確認し所要の酸素濃度であることを確認する。湧水がある場合には、釜場を設け高揚程ポンプを用い排水しながら掘削する。湧水状況によっては、ディープウェル、ウェルポイントなどの補助工法を用いる。

- 3) 所要の支持層に到達した後、鉄筋かごを建て込み、トレミー管などを用いてコンクリートを打設する。この際、地盤の状況、目的に応じて山留め材を取り外すか、または埋め殺す。なお、先端部の支持面積を確保するため、杭先端部を拡大掘削し「拡底」することも可能である。

(2) 杭工法の特徴

工法の長所としては、以下の6点が挙げられる。

- ① 施工設備が軽量なため、狭隘地・山岳地・傾斜地など、大型施工機械の搬入が困難な場所においても施工が可能である。
- ② 人力掘削のため、掘削の進捗に伴い地層及び支持地盤を肉眼で確認でき、地耐力も測定できる。
- ③ 騒音や振動が比較的小さい。
- ④ 孔内の障害物除去が容易にできる。
- ⑤ 気中であるため、品質の良いコンクリートが打設できる
- ⑥ 杭の拡底及び延長により、支持力を増大できる。

一方、短所としては以下の3点が挙げられる。

- ① 人力掘削のため、湧水量が多い地層や崩壊しやすい地層、有毒ガスの存在する地層では、掘削が困難である。
- ② 機械掘削工法に比べ、施工速度が劣る。
- ③ 竪孔内の作業であるため、掘削土搬出、機材搬入時など孔内作業員に対する危険が伴う。

以上のような欠点があるにも関わらず深礎杭が採用される最大の理由は、工法の長所①によるところが大きい。

(3) 支持力機構

支持力機構は直接基礎扱いとなっており、先端の支持力のみを考慮し、周面摩擦力は考慮しない。

以下に東京都の『建築構造設計指針』(2019)で示された深礎杭の許容支持力を示す。

表 3.3.1 深礎杭の許容支持力(kN/m²)³⁾

支持地盤	長期(注)		短期
	I	II	
東京礫層等	1500	1800	
細砂層	1000	1300	長期の2倍の数値
備考	(注) I欄は、平板載荷試験を実施しない場合の上限値 II欄は、平板載荷試験を実施する場合の上限値 ただし、建築関係団体等において、公正かつ技術的に信頼できる第三者で構成した委員会が載荷試験等の結果に基づき適切と評価した場合で、特定行政庁が認めたものは、当該の数値によることができる。		

(4) 最大径・最小径・施工深さ

人が掘削孔内に入って作業を行うため、 $\phi 1.5\text{m}$ 以上の杭径が必要となる。杭径 $\phi 2.0\text{m}$ 以下では作業員が1人しか入れず、作業性も悪いため、 $\phi 2.5\text{m}$ 径以上とすることが多い。

最大径は山留め材により異なり、ライナープレートなどを用いる場合には、 $\phi 6.0\text{m}$ の事例もあるが、一般的には $\phi 4.5\text{m}$ 程度としている。

径が大きいと、土圧により山留め材が変形するため、安全性に関しては十分な配慮が必要である。

山岳道路の橋脚の基礎として吹き付けコンクリートとロックボルトによる山留め工法(NATM工法)を用いた $\phi 20\text{m}$ の大口径の深礎杭も採用されているが、施工深さは、施工性・安全性の面から、杭径の8~10倍かつ30m程度までとされてきた。写真3.3.2に示したシンガポールの事例においては、直径5m及び6mで深さ100mの機械式深礎杭が施工されており、施工深さの面でも長大化しつつある。

国内外の実施例としては、以下のものがある。

=国内実績=

- ・東京タワー(1958) : $\phi 2.0\text{m}$: 32本
- ・大阪万博(1970)のシンボルタワーの杭軸径 : $\phi 9.0\text{m}$ (拡底部径 : $\phi 13.0\text{m}$)
- ・旧パレスホテル、旧ホテルオークラ(べた基礎との併用)

=海外実績=

- ・シンガポールOUBビル(1986年竣工)
において、直径 $\phi 5.0\text{m}$ と $\phi 6.0\text{m}$ 、深さ100mの機械式深礎杭を採用

敷地面積 : 7,530.10 m²

建築面積 : 4,547.95 m²

延床面積 : 101,784.00 m²

階 数 : 地上 63 階、地下 4 階、塔屋 2 階

高 さ : 280m

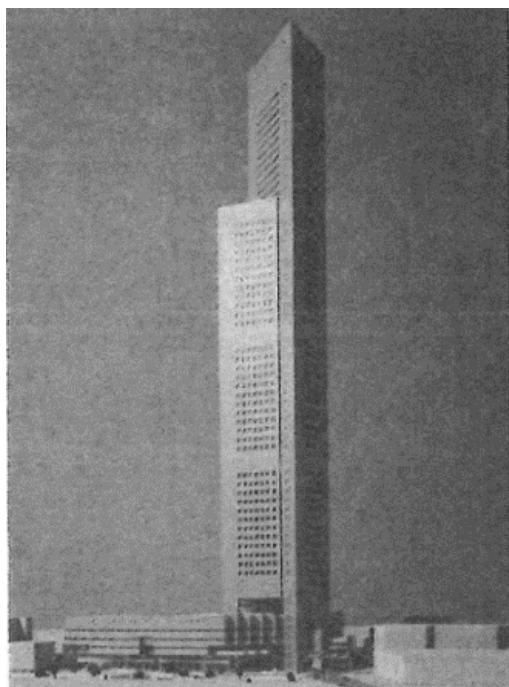


写真 3.3.2 シンガポール OUB センタービル⁴⁾

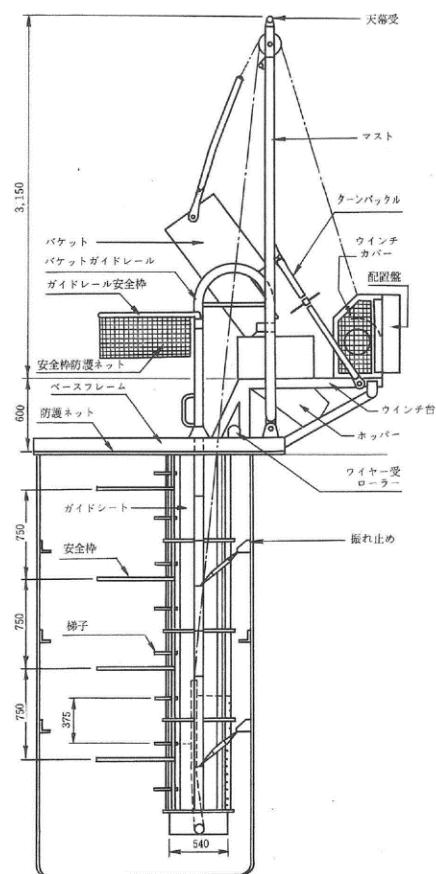


図 3.3.3 土砂搬出リフト⁵⁾

(5) 関連する新しい技術

深基礎工法は、簡単な機械と人力により施工ができる利点はあるものの、安全面で多くの問題点があることから、採用の拡大と共に掘削方法や排土方法などに改良がおこなわれている。

(a) 掘削の機械化

深基礎工法は、狭隘・斜面地など施工ヤードが確保できない場所や、機械の導入が困難な場所で、その特性を生かして採用されることが多い。

一方、機械が搬入できる場所においては、電動式超小型バックホーや油圧式クラムシェルなど、種々の機械化が進んでいる。

(b) 排土の機械化

従来の深基礎工法における掘削土砂は、孔の周囲に足を置いたやぐらから吊るし

たワイヤーロープとウィンチでバケットを吊り上げ、これを孔口上に設けた踊り場にいる作業員が人力で排除する方法によっていた。この搬出方法の機材は簡単で軽量であるが、搬出中の土砂の落下あるいはバケット操作員の転落など非常に危険な作業といえる。

この危険な土砂搬出作業を安全かつ効率的に行うため、関越自動車道橋脚施工時には図3.3.3に示すような土砂搬出用リフトを採用している。バケットはその周囲を覆ったガイドシューの中を昇降し、地上部での土砂搬出まで自動的に行える機構となっている。比較的軽量な装置であり、孔内作業員の安全確保の面からも効果的である。

(c) 改良型ライナープレート

深礎工法では、掘削時に孔壁の崩壊を防止するため、山留め材を用いるのが一般的である。この山留め材は、撤去する場合とそのまま埋殺しにする場合がある。経済性からみると撤去して再利用する方が有利であるが、施工時の安全面から埋殺すことが多い。この場合、孔壁と山留め材の空隙には、杭コンクリート打設後にグラウトを注入するが、以下のような問題点がある。

- ・グラウトが完全に充填されたかどうか確認することが困難。
- ・杭本体のコンクリート打設とグラウト注入の2工程が必要となり、工期が延びる。

これらの問題点を解消するために、杭本体とコンクリート打設と同時に裏込めもできる開口部を有した改良型ライナープレートが1985年頃に考案された。

図3.3.4は孔あきライナープレートと呼ばれており、ライナープレート波板の内側で上向きの傾斜部に開口部を設けたもので、外側からの崩落土砂が侵入せず、打設したコンクリートが、ライナープレートの外側に充填されるように考えられている。

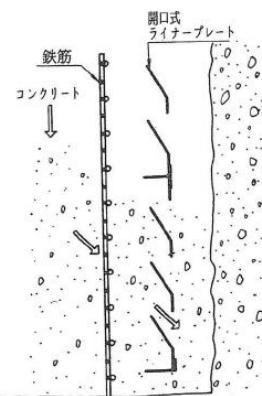


図3.3.4 孔あきライナープレート⁶⁾

利点としては、以下の4項目が挙げられる。

- ①グラウトを用いないため、工程短縮ができる。
- ②グラウトに比較し充填結果を直接目視できる。
- ③孔壁周辺の土質状況がライナープレート設置後でも、観察可能である。
- ④ライナープレート外にもコンクリートが充填されるため、杭が地山と密着する。

孔あきライナープレートは、室内の模型実験、耐土圧強度試験でその性能を確認した上で、関越自動車道橋脚工事において試験的に採用し、良好な結果が得られている。

この他、スクリーンライナープレートと呼ばれる通常の波板部材をメッシュにしたものや、外面上部に外側に開閉自在とした蓋を設けたタイプなども考案されている。

(6) 深礎杭の変遷

木田建業の特許切れと共に、大手建設業・基礎専業者が、何々式という名を冠した深礎工法を発表したが、だいたいが木田式深礎工法と変わることはなかった。

1965年になると、危険な人力掘削に替わり機械掘削工法の開発が進み、北辰式深礎工法、鹿島式真管工法、岡崎式圧気工法、北辰式機械掘り深礎などが誕生する。

(a) 北辰式深礎工法

木田式深礎工法がお椀を伏せたような形状に対し、図-3.3.5、写真-3.3.3のような拡底部に斜め矢板を設置することを考案しこれを地中に打ち込んで、作業時の崩落防止及び大きな拡大部を造成することを可能とした。1970年5月に東京の市ヶ谷駅近くで初施工を行った。

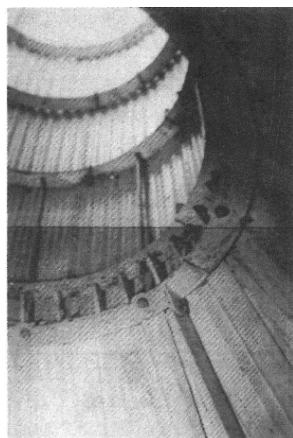
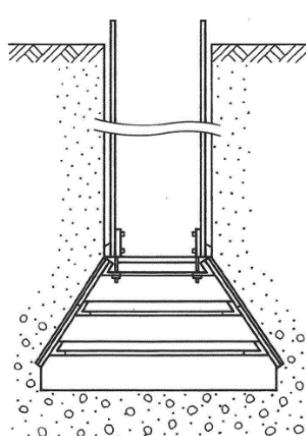


図 3.3.5 北辰式基礎工法概念図²⁾ 写真 3.3.3 施工時状況²⁾

(b) 鹿島式真管工法

木田式深礎工法が山留め材の壁面養生に鉄製の生子板を使用しているのに対し鹿島式真管工法は幅100mm、長さ1mのヒノキまたは杉板を縦に並べて使用し、杭心の曲がりを防止するために真管を先行して建て込み、地中梁などを反力材とする工法である。複雑な設備、工費がかかり、工程もかかるため自然消滅的に1970年頃には姿を消した。

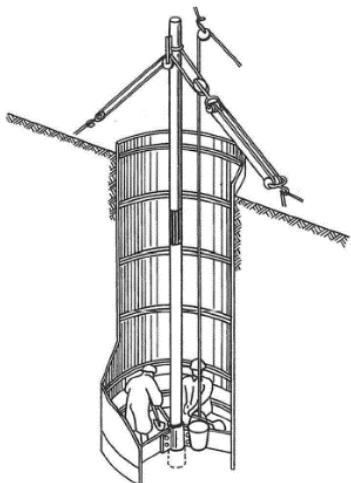


図3.3.6 鹿島式真管工法見取り図²⁾

(c) 北辰式機械掘り深礎

1970年5月北辰工業が開発した工法で、基柱部(シャフト部)をベノトなどのオールケーシング工法で施工し、基底部で深礎工により人力掘削をし、安全で工期を短くでき、安価に深礎杭を構築するものである。

【リーフレット作成建物】

- ・熊本城天守閣（1960年）

3.3.2 パイルド・ラフト基礎

(1) 工法概要・支持力機構

パイルド・ラフト基礎とは、杭基礎（パイル）と直接基礎（ラフト）を併用した基礎形式で、直接基礎の支持能力を生かしつつ、基礎の沈下量を要求性能値内に低減するために、必要最小限の摩擦杭（Pile）を併用し、荷重に対して直接基礎と杭基礎が複合して抵抗するものという。

パイルド・ラフト基礎は、図3.3.8に示すように直接基礎と杭基礎の中間にあたる基礎形式で、その中には直接基礎に近いもの、あるいは杭基礎に近いものも含まれる。

パイルド・ラフト基礎では、ある程度沈下を許容したときに基礎底面における地盤の抵抗力が期待できる場合において、この抵抗力を積極的に利用して基礎の合理化をはかるうとするものである。この基礎形式は、日本建築学会の『建築基礎構造設計指針』ではバーランド（Burland）らが提案したと紹介されているよう、杭を直接基礎の沈下を低減させる部材とみなす考えに基づくもので、直接基礎としての支持力は満足するが、基礎部材の変位・変形が上部構造の限界値を超えるときに杭（沈下低減杭）を利用しようとするものである。

同様な考え方は、1950年代にすでにメキシコシティーにおける超高層建物の基礎設計に取り入れられている。

図3.3.9は直接基礎の荷重度と基礎幅の関係を概念的に示したものである。右上がりの直線は直接基礎が安定性を保持できる限界の支持力度を表し、この直線より下側は支持力的に安定した領域となっている。一方、ある許容沈下に対する荷重度は、弾性沈下の場合、右下がりの曲線になる。この曲線と地盤の支持力度を表す直線の内、荷重度の小さいほうより下側の範囲では、直接基礎での設計が

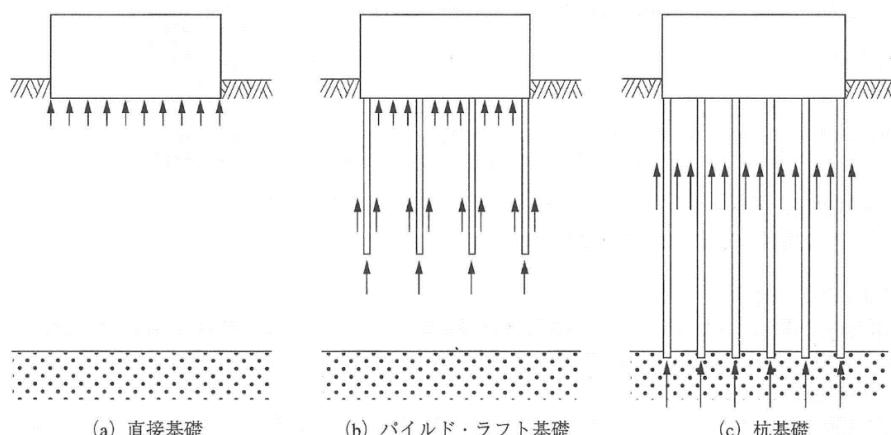


図3.3.8 基礎形式⁷⁾

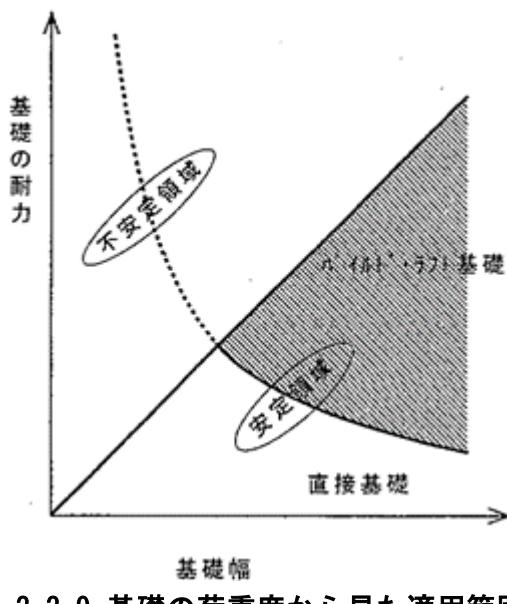


図-3.3.9 基礎の荷重度から見た適用範囲⁸⁾

可能であり、それより上側では杭基礎などを採用することが多い。そこで、支持力的には安定であるものの沈下が過大となる場合である斜線部が、パイルド・ラフト基礎の主な適用対象としている。

この基礎形式が適用可能な条件は、基礎下の地盤の抵抗力が十分に期待でき、かつその抵抗力が建物の供用期間中に安定的に発揮されることにある。すなわち、適用性が高い条件は、直接基礎としての支持力は十分であるが、沈下あるいは不同沈下が過大とならない場合、例えば直接基礎の支持地盤が、比較的硬質の粘土層あるいは比較的密な砂質土の場合である。一方、適用が難しい条件は以下の場合である。

- ・広域の地盤沈下が生じている。
- ・表層地盤の強度が小さく、ラフトから伝達される荷重により、圧密沈下やクリープ沈下が生じるおそれがある。
- ・地震時の地盤の液状化によりラフト下の地盤の抵抗力が喪失するおそれがある。

このような場合には、地盤改良を併用するなどの対策を前提に、採用の可否を検討する必要がある。

パイルド・ラフト基礎に用いる杭は、当初摩擦杭もしくは薄層に支持させる杭が主であったが、近年、より大きい荷重を支持するために杭先端を支持層に到達させる杭も用いられている。この場合には、杭の荷重分担率が大きくなることに留意する。

(2) パイルド・ラフト工法の変遷と日本での位置付け

従来、同じ建物に杭基礎と直接基礎を用いることは「異種の基礎の併用」であって、不同沈下の原因となる恐れがあるので避けるべきだとされていた。2000年の建築基準法の改定において、基礎構造の設計は、従来の仕様規定型から性能規定型への方向性が明確に示された。一方、1980年代の初め頃からパイルド・ラフト基礎の研究・開発が始まり、2000年以降その適用対象が超高層建物にまで広げられるようになり、日本建築学会の『建築基礎構造設計指針』にも取り入れられている。^{8)~12)}

基礎構造設計指針 2001 年版では、第 7 章 併用基礎の中に、異種基礎とパイルド・ラフト基礎が記載されていたが、基礎構造設計指針 2019 年度版では、第 7 章 パイルド・ラフト基礎と単独章として位置付けられている。

異種基礎は一つの建物に異なる基礎形式（直接基礎と杭基礎）を併用した基礎形式であるのに対し、パイルド・ラフト基礎では、平面的に単独の基礎形式に分割することができない点に特徴がある。

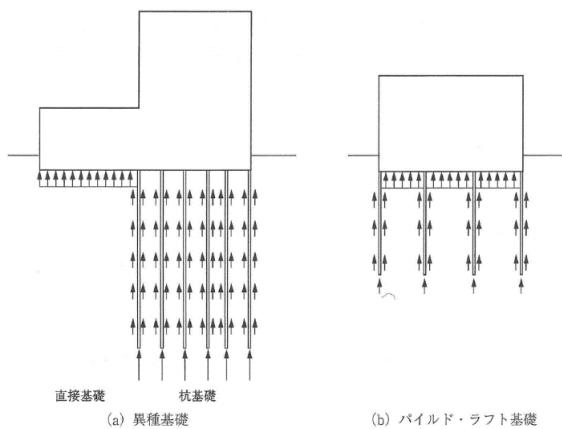


図 3.3.10 異なる基礎形式を併用する基礎の例¹³⁾

(3) パイルド・ラフト基礎のメリット

直接基礎をパイルド・ラフト基礎とすることにより、一般に以下の点が改善される。

- ・基礎の平均沈下量及び不同沈下量の低減
 - ・荷重の偏心や予期しがたい基礎下の土質性状のバラつきによる基礎全体傾斜の低減
 - ・基礎梁、基礎スラブに発生する曲げモーメント、せん断力の低減による基礎のスリム化およびコストダウンと工期短縮を図ることが可能

- ・荷重が大きく異なる部分の境界部における沈下量差の低減
- ・基礎全体としての地盤破壊に対する支持力安全率の増加
- ・杭基礎と比較して、杭長・杭径・杭本数の削減が可能
- ・環境負荷低減が可能

(4) パイルド・ラフト基礎の実績

パイルド・ラフト基礎は、1980 年代初頭より設計法の開発に着手されて以来、

表 3.3.2 国内実績¹⁴⁾

会社	竣工	用途	建設地	構造	階数	延床面積(m ²)
A社	1987	事務所	埼玉	RC	F4,P1	1,365
	1987	駐車場	大阪	RC , S , SRC	B2,F7,P1	35,160
	1993	事務所	埼玉	RC	F5	2,068
	1997	保養所	神奈川	RC	F3	1,026
	2000	店舗	千葉	S	F4,	36,927
	2000	事務所、店舗	大阪	RC , S , SRC	B4 , F23 , P1	54,697
	2000	事務所、集会場、店舗	東京	CFT , RC , SRC , S	B4 , F31 , P2	83,255
	2003	店舗	東京	RC , S	B1 , F4	25,513
	2004	事務所	東京	S	F7 , P1	29,747
	2005	事務所	愛知	S	F11 , P2	36,877
	2005	病院	大阪	RC , SRC	B1 , F13 , P2	23,203
	2005	集合住宅	東京	RC	B2 , F38 , P1	36,430
	2005	事務所、ホテル、店舗	東京	RC , S , SRC	B4 , F37 , P2	190,257
	2006	集合住宅	東京	RC	B3 , F7	15,423
	2006	店舗	千葉	S , RC	B1 , F4 , P1	112,012
	2006	工場	佐賀	S	F2	32,250
	2006	店舗	福岡	SRC , RC , S	B3 , F8 , P1	11,127
	2006	百貨店、映画館	大阪	S , SRC	B2 , F12 , P2	35,909
	2006	集合住宅	鹿児島	RC	F19 , P2	17,483
	2006	駐車場	千葉	S,SRC	F4	37,140
B社	2003	倉庫	ペトナム	S	F1	2,600
	2006	集合住宅	東京	RC	B4 , F28	49,000
	2007(*)	集合住宅	福島	RC	F24	11,600
	2007(*)	商業施設	埼玉	S , RC , SRC	B4 , F10	108,000
	2008(*)	事務所、商業施設	東京	S , SRC	B3 , F39	186,000
C社	2005	倉庫	神奈川	S	F1	990
	2006	事務所	兵庫	S	F2	3,165
D社	2005	事務所	東京	S , SRC	B2 , F31	49,680
	2005	事務所、ホテル	東京	S , SRC	B4 , F39	133,856
	2006	事務所、店舗	東京	S , SRC	B3 , F22	161,676
	2006	ホテル、事務所	東京	RC	B2 , F28	63,972
E社	2001	研究施設	東京	RC	F3	668
	2005	学校	埼玉	S , RC , SRC	B1 , F19 , P2	24,543
F社	1998	病院	茨城	RC	F2	1,042
	2001	工場	新潟	S	F2	3,400
	2001	工場	東京	S	F3	2,400
	2002	ホテル	新潟	S	B1 , F16	12,500
	2004	病院	山形	RC	B1 , F9	29,000
	2004	老健施設	茨城	RC	F3	4,400
	2004	病院	神奈川	RC	B1 , F3	4,800
	2005	駐車場	千葉	S	F6	112,900
	2006	商業施設	東京	RC	F5	170,000
	2006	事務所	千葉	S	F2	200
	2006	工場	愛知	S	F2	1,100
	2007	事務所	東京	S	B3 , F38	119,000
	2007	事務所	東京	S	B3 , F33	134,400
G社	2006	放送会館	徳島	RC , SRC	B1 , F4	6,421
	2007	空港施設	東京	RC , S	F2	244
	2007	病院	北海道	RC	F6	19,713

* : 2007時点の予定

1987年には実建物における計測データを基に基本的な設計法が構築され、国内の建築物に初めて適用された。これまでに、低層建物から超高層建物まで幅広い建物で挙動観測が行われ、設計法の妥当性の検証が実施されており、2007年までの適用実績を表3.3.2に示した。ほか、超高層複合ビルとして「あべのハルカス(2014)」があげられる。

【リーフレット作成建物】

- ・あべのハルカス(2014年)

引用・参考文献

- 1) 下村真弘、樋山好幸：深基礎杭、基礎工、Vol. 14、No. 7、pp. 47–56、1986. 7
- 2) 北中克己：指標 場所打ち杭工法 良い杭をつくるために、建築技術、pp. 180–258、1992. 3
- 3) 東京都建築士事務所協会：建築構造設計指針、p. 731、2019
- 4) 高橋敏夫、宇佐美幸作：シンガポールにおける深さ 100m の深基礎杭の施工、基礎工、Vol. 14、No. 6、p. 65、1986. 6
- 5) 山本公夫：場所打ち杭、基礎工、Vol. 14、No. 7、p. 32、1986. 7
- 6) 桶口靖昭：深基礎工法におけるライナープレート、基礎工、Vol. 14、No. 6、p. 78、1986. 6
- 7) 日本建築学会：基礎構造設計指針、p. 340、2001
- 8) 加倉井正昭：パイルド・ラフト基礎の設計と施工、摩擦杭の設計と施工シンポジウム、日本建築学会関東支部、p. 20、1996
- 9) 特集 併用基礎、基礎工、Vol. 37、No. 10、2009. 10
- 10) 加倉井正昭：パイルド・ラフト基礎の発想と開発の経緯、土と基礎、Vol. 54、No. 6、pp25–28、2006. 6
- 11) 加倉井正昭：建築基礎構造の展望-パイルド・ラフト基礎を中心として-、土と基礎、Vol. 56、No. 12、pp. 7–8、2008. 12
- 12) 山下清：パイルド・ラフト基礎の発展-グローバルな視点から-、日本建築学会大会(関東)構造部門(基礎構造)パネルディスカッションパイルド・ラフト基礎設計の現状と課題、2011. 8
- 13) 日本建築学会：基礎構造設計指針、p. 285、2019
- 14) <https://www.ribc.or.jp/research/pdf/report/report09.pdf> (参照日 2025. 5. 1)、財建築コスト管理システム研究所 新技術調査検討会 新技術調査レポート 「パイルド・ラフト基礎」の調査報告 2007 WINTER

3.4 杭頭接合部

【本節の用語】

以下の用語については、同様の部位を指して使われていると考えられるが、時代の変遷に伴い表現が異なることを考慮して、「基礎フーチング」、「パイルキャップ」、「基礎スラブ」は引用文献のまま記載することとした。

3.4.1 杭頭接合部の歴史

杭と基礎フーチングの接合部分を杭頭接合部と呼び、構造物の鉛直荷重を杭基礎から支持地盤に伝達するとともに、地震時には構造物の慣性力を杭(地盤)へ、また地盤から杭が受ける力を構造物に伝える重要な役目を担っており、技術の進化とともに発展してきた歴史がある。参考文献 1)では、明治期に日本で活躍したジョサイヤ・コンドルの造家必携²⁾において、「杭頭に格子状の木材(捨「すて」)の図が示され、杭間を捨まで玉石などで敷き詰めてその上に直接練砂利(コンクリート)を打てば、後年捨が腐食しても詰め物は十分に押し込まれるので杭頭には空隙を生じないこと」を示している(図 3.4.1)。同文献ではさらに「捨は鎧(かすがい)またはボルトで杭に取り付けるとされているが、時とともに腐って無くなるのを前提としており、その上のコンクリートは載せるだけと読み取れるため、杭は基礎スラブと連結することなく、地盤改良の一種のように考えられていたと推察される」としている。

参考文献 1)では、「杭頭の接合方法が研究対象として注目されるようになったのは、1978 年の宮城県沖地震において PHC 杭の杭頭破壊に伴って上部構造が傾斜した事例から」とされている。また同文献では、その後 1984 年に建設省(現国土交通省)住宅局建築指導課長通達として「『地震力に対する建築物の基礎の設計指針』の取り扱いについて」が出され、基礎の耐震性に関する推奨基準が示されたことにも触れられている。1995 年の兵庫県南部地震では、神戸市を中心に再び杭の被害事例が多数見られ、杭頭部の破壊という被害形式は宮城県沖地震の被害と同様であった。当時は、杭基礎の耐震設計において杭頭の境界条件を完全固定とするのが一般的であったが、杭頭を剛接合した杭に多数の被害が発生した結果、杭頭部に応力が集中する杭頭剛接合構法(従来構法)の問題点を基礎構造に携わる技術者に再認識させた。この出来事をきっかけに建築構造物の耐震性能の向上が強く求められるようになり、杭頭接合部に関しても様々な研究開発が活発に進められるようになった。

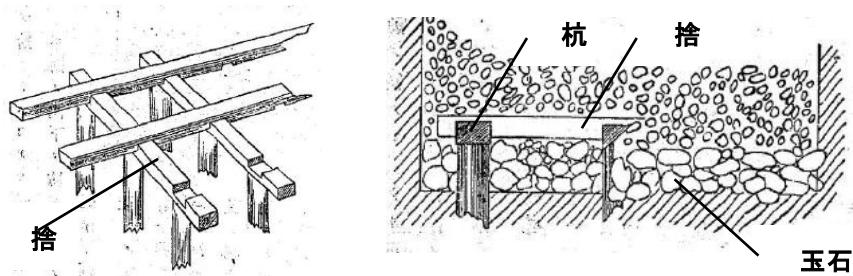


図 3.4.1 造家必携に示される杭頭部²⁾

3.4.2 杭頭接合条件

従来、杭とパイルキャップの接合部は剛接合としたものが主流であり、杭基礎の耐震設計においても杭頭の境界条件を完全固定とするのが一般的であった。しかし、前述の通り 1995 年の兵庫県南部地震において杭頭を剛接合した杭に多数の被害が発生し、これを契機に杭頭半剛接合や杭頭ピン接合などの杭頭モーメントを低減する新しい杭頭接合法の研究開発が精力的に行われるようになった。ここでは、杭頭接合条件ごとの特徴について紹介する。

参考文献 3)によると、一般に杭頭の回転に対する拘束度を α (杭頭固定度と呼ぶ)で表し、完全な剛接合状態が $\alpha=1.0$ 、ピン接合が $\alpha=0.0$ 、杭頭半剛接合が $0.0 < \alpha < 1.0$ となる。図 3.4.2 に杭頭部に水平力が作用した場合の杭頭固定度と杭の曲げモーメント分布の関係を示す。剛接合 ($\alpha=1.0$) では、杭頭部で最大曲げモーメントが発生し、ピン接合 ($\alpha=0.0$) では杭頭部に曲げモーメントが発生しない代わりに地中部で大きな曲げモーメントが生じる。

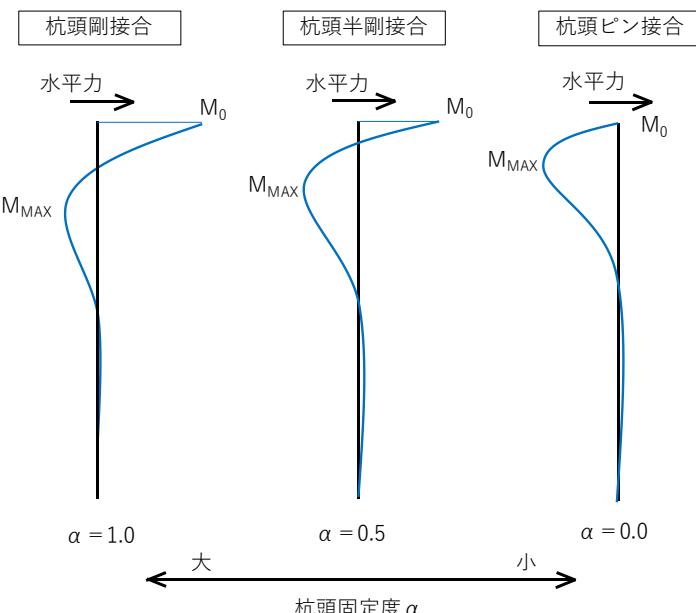


図 3.4.2 杭頭固定度と曲げモーメント分布の関係

(1) 杭頭剛接合

1984年の旧建設省の課長通達と「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」(日本建築センター, 1989)の刊行以後に地震時の水平力を考慮した杭の設計が行われるようになり、杭頭の拘束が不明な現状を考慮して、杭頭応力が大きく算出される杭頭固定(剛接合)の仮定が広く行われていた。

杭頭を固定(剛接合)とすると、慣性力による杭体の最大応力位置は杭頭となるため、杭頭部の必要配筋量が多くなる。そのため、直上に配置される基礎梁主筋との収まりが課題となる場合がある。

(2) 杭頭ピン接合

地震時に生じる杭頭曲げモーメントを大幅に低減し(理想的には曲げモーメントはゼロ)、最大曲げモーメントは地中部で生じることになる。地震時に特に被害を受けやすい杭頭部の損傷を防止するものである。参考文献 1)によると、「既往提案されている杭頭ピン接合は、杭頭をなめらかに回転させることと、接合部におけるせん断力の伝達性能を確保するため、球面がそれよりわずかに大きい球面に接している構造となっているものが多い」とされている。さらに球面には鉄製の接合部材が用いられることが多く、「鉄製の接合部材にかかる費用よりも、杭部材の応力低減やそれに伴う杭の細径化などの利点の方が大きいと判断されるかが採用の鍵となると考えられる」とされている。また、「球面接触による回転性能を確保するため、引張力を負担する部材の配置は難しく、あまり大きな引抜力には対応しにくいという課題がある」としている。

(3) 杭頭半剛接合

杭頭とパイルキャップを回転に対して半剛接合状態に接合する構法であり、杭頭剛接合と杭頭ピン接合の中間に位置する。地震時の杭頭モーメントを低減し、耐震性能を向上させるだけでなく、杭頭モーメントの低減を適切に設計に反映させることで、杭や基礎梁の合理化及び、これに伴う掘削土量の削減などのコストメリットが得られる構法であるが、設計段階における十分な検討が必要となる。

3.4.3 各規基準類での変遷(場所打ちコンクリート杭、既製コンクリート杭)

1960年版の日本建築学会「建築基礎構造設計規準・同解説⁴⁾」では、場所打ちコンクリート杭、既製コンクリート杭の杭頭接合部に関して、杭に引抜力が働くない設計例として、杭を基礎スラブに埋め込まず杭の頭上に基礎スラブを打設している例のほか、杭に引抜力が働く設計例として、杭(コンクリート杭)の鉄筋を基礎スラブにアンカーする例が示されている。(図3.4.3)

1966年出版のコンクリートポールパイ専門会「コンクリートパイルハンドブック⁵⁾」には、杭頭を基礎スラブに固定する場合の例(図3.4.4)が示されている。

1974年版の日本建築学会「建築基礎構造設計規準・同解説⁶⁾」では、場所打ちコンクリート杭、既製コンクリート杭の杭頭接合部に関して、鉄筋または杭頭の処理により十分に基礎スラブコンクリート中に定着するなど、特殊な考慮を払う場合以外は引張力に対しては抵抗しえないと考えるのが妥当であるとされている。計算例では基礎スラブ直下に杭頭がある図(図3.4.5)が示されているが定着筋等は記載されていない。

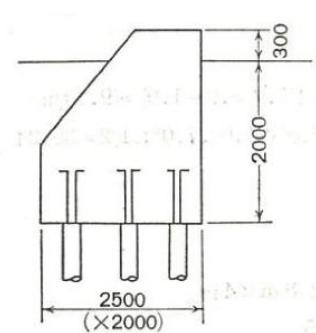


図3.4.3 杭に引抜力が働く場合の設計例⁴⁾

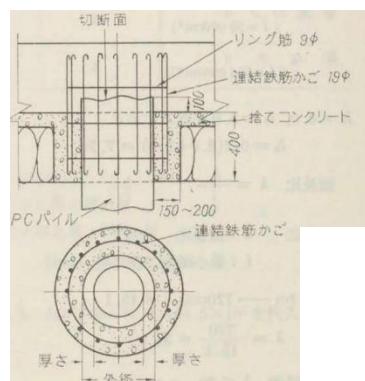


図3.4.4 基礎スラブに杭頭を固定とする例⁵⁾

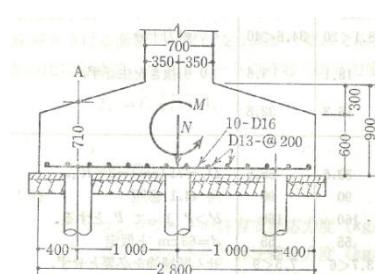


図3.4.5 引張力に対して特殊な配慮をしない場合の例⁶⁾

1988年版「建築基礎構造設計指針⁷⁾」では、場所打ちコンクリート杭の杭頭接合部については、杭頭を基礎スラブに10cm程度埋め込み、杭の主筋を基礎スラブに定着することが一般的接合法として記されており、既製杭の杭頭接合部に関しては以下の3通りの方法などが記載されている。

- (i) 基礎スラブに杭を杭径長さ程度埋込むもの
- (ii) 基礎スラブへの杭の埋込みは10cm程度であるが、杭切断時に残しておいたPC鋼線・鋼棒、または杭頭に溶接して取り付けた接合鉄筋を基礎スラブに定着するもの
- (iii) 上記(ii)の方法に杭中空部に杭径の2倍程度の長さで鉄筋コンクリートを充填する中詰め補強や、杭外側に同程度の長さで鉄筋コンクリートおよび鋼管とコンクリートで補強するもの

この他、杭頭接合部の固定度に関する多くの研究が行われ、種々の接合方法での試験で求められた固定度が紹介されている(例えば、図3.4.6)。

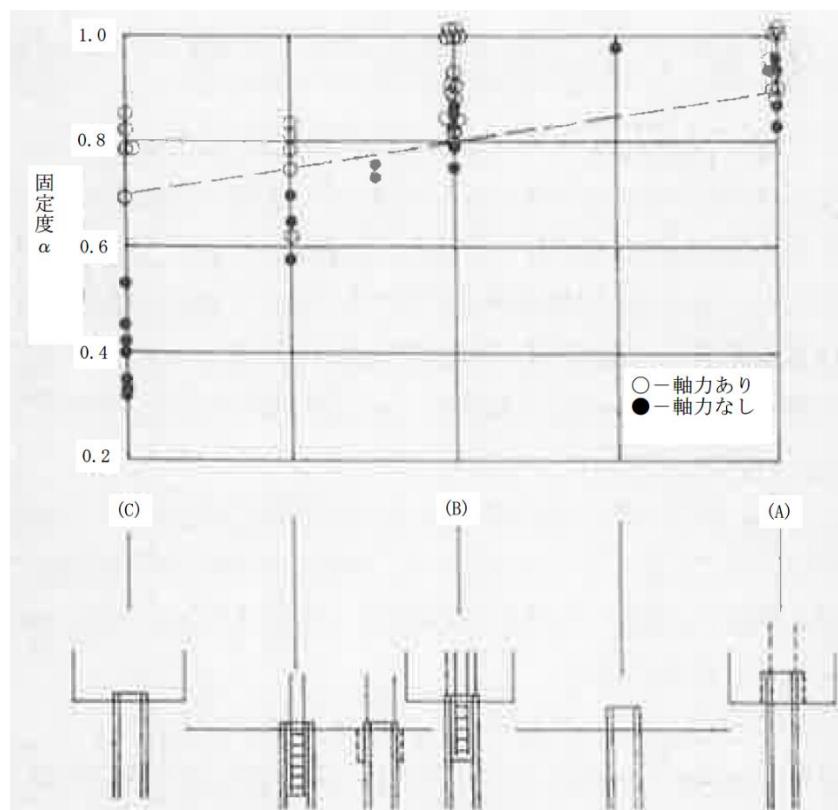


図3.4.6 既製杭の杭頭接合部の例⁸⁾

2001年版「建築基礎構造設計指針⁹⁾」では、代表的な杭頭接合方法として一般的に用いられている接合方法を4つ的方式に整理し、既製コンクリート杭を代表して表現されている(図3.4.7)。

i) 主筋定着方式(図3.4.7(a))

- i-a) 杭体主筋を延長あるいははつり出し、基礎スラブ内に定着
- i-b) 杭端板に鉄筋をスタッド溶接あるいはネジ接合し基礎スラブ内に定着
- i-c) 杭鋼管部に鉄筋をフレア溶接し、基礎スラブ内に定着

ii) 中詰め補強方式(図3.4.7(b))

杭頭部を鉄筋あるいは中詰め鉄筋コンクリートで補強し、鉄筋を基礎スラブ内に定着

iii) 埋込み方式(図3.4.7(c))

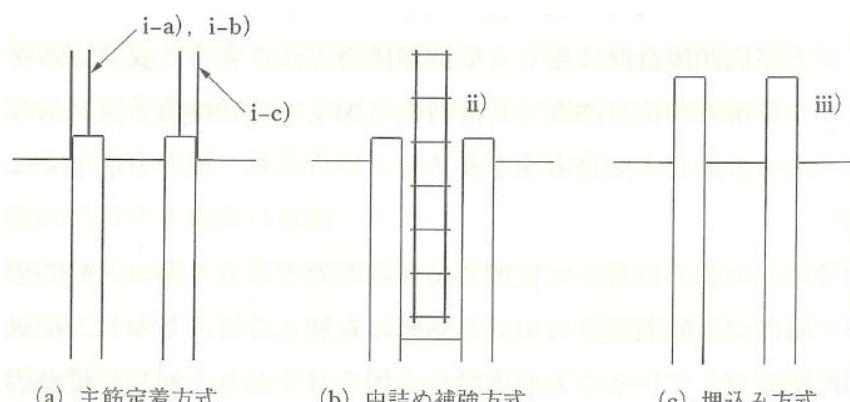
杭本体を基礎スラブ内に杭径程度埋め込む

iv) その他

杭頭部の外周を鉄筋コンクリート、鋼管巻きコンクリート等で補強等

なお、杭頭部を基礎スラブに接合しない方法(ローラー支承、すべり支承)、あるいは杭頭部に免震装置を設置した接合方法等もあるとし、強度等を適切な方法によって評価する必要があるとの記載がある。

2019年版「建築基礎構造設計指針」では、これまでの「基礎スラブおよび杭頭接合部」の節は、「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針(案)・同解説2017年版」と重複することから省略されている。同指針(2017年版)では杭基礎の構造部分として「パイルキャップ」の用語が定義されており、場所打ちコンクリート杭のパイルキャップについては構造規定として、「形状および配筋は、次の



(a) 主筋定着方式

(b) 中詰め補強方式

(c) 埋込み方式

注1) i) および ii) の方式では、通常、杭体を 10 cm 程度埋め込む。

注2) これらの方程式を組み合わせたものも多い。

図3.4.7 代表的な杭頭接合部⁹⁾

(1)から(4)までの規定を満たすものとする」と記載がある。

(1)安全限界状態における応力をパイルキャップ周辺の部材に確実に伝達できる形状および配筋とする。

(2)パイルキャップの高さは、原則として1500mm以上かつ(杭径-200mm)以上とする。

(3)パイルキャップ上面位置は、基礎梁材軸中心位置以上の位置とする。

(4)パイルキャップ内のベース筋及びはかまトップ筋、縦筋、横筋は、両方向に同量の鉄筋を配置する。

既製コンクリート杭のパイルキャップに関しては、構造規定として(1)引張鉄筋量、(2)せん断補強筋量について規定が示されている。

2022年版「基礎部材の強度と変形性能¹⁰⁾」では、場所打ちコンクリート杭については構造規定として上記(1)～(3)は踏襲されており、パイルキャップの望ましい配筋詳細例が示されている。ここでは、パイルキャップ内のベース筋及びはかまトップ筋、はかま縦筋・横筋は、両方向において同量とし、適切な配筋することが示されている。

3.4.4 各規基準類での変遷(钢管杭)

本節は参考文献11)を参考に記載している。

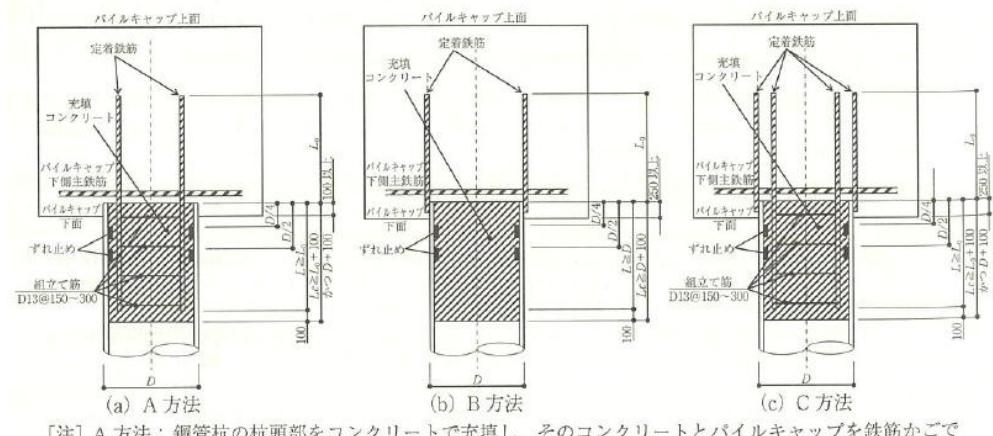
钢管杭の杭頭接合部に関しては、「建築鋼ぐい基礎設計施工規準同解説(1963年)¹²⁾」に設計法が、杭頭を基礎スラブに埋め込む場合、杭頭に平板を付ける場合、上記2つの方法では杭頭の支圧応力に対応できない場合に分けて記述されている。1974年のJASS4および「基礎構造規準」では「建築鋼ぐい基礎設計施工規準同解説」を参照されたいとしており、1974年以降も同規準の方法で設計されていたことがわかる。なお、1969年出版の土質工学会「鋼グイー鋼グイ研究委員会報告ー¹³⁾」では、水平荷重を受ける場合の設計例はほとんど見られないとしており、鋼グイ研究委員会による水平荷重を受ける杭頭接合部に関する研究の成果について記され、これより水平力についてはこの頃から考慮されるようになっていたことがわかる。钢管杭協会「建築用钢管杭施工指針・同解説(1986年)¹⁴⁾」では、鉛直荷重の伝達機構から接合方法を、鋼蓋の支圧によるもの、杭とコンクリートの付着と杭とコンクリートの支圧によるもの、特殊な補強によるものに分け、それらの剛結状態の代表例を示しており、1963年版から改訂されていることがわかる。

2019年版「建築基礎構造設計指針¹⁵⁾」では、定着鉄筋にてパイルキャップに定着する接合方法とすることとし、3通りの方法が構造詳細例として示されている。

A 方法：鋼管杭の杭頭部をコンクリートで充填し、そのコンクリートとパイルキャップを鉄筋かごで結合した構造

B 方法：鋼管杭の杭頭部に溶接した鉄筋をパイルキャップ内へ埋め込んだ構造

C 方法：B 方法と A 方法を組み合わせた構造



[注] A 方法：鋼管杭の杭頭部をコンクリートで充填し、そのコンクリートとパイルキャップを鉄筋かごで結合した構造

B 方法：鋼管杭の杭頭部に溶接した鉄筋をパイルキャップ内へ埋め込んだ構造

C 方法：B 方法と A 方法を組み合わせた構造

図 3.4.8 鋼管杭の杭頭接合部の構造詳細例¹⁵⁾

引用・参考文献

- 1) 特集 杭頭接合部、基礎工、Vol. 40, No. 6, p. 1-2・14-15・17-19、2012. 6
- 2) ジョサイヤ・コンドル口述、松田周次・曾禰達蔵筆記：造家必携、加藤良吉、pp. 27-28、1886. 6
- 3) 建築コスト管理システム研究所：建築コスト研究 2008WINTER、pp. 64～67、2008. 7
- 4) 日本建築学会：建築基礎構造設計規準・同解説、P. 415、1960. 11
- 5) コンクリートポールパイル協会：コンクリートパイルハンドブック、1966. 1
- 6) 日本建築学会：建築基礎構造設計規準・同解説、p. 375、1974. 11
- 7) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、p. 321、1988. 1
- 8) 藤文詩・山本稜威夫・大西靖和：基礎構造における接合技術の現状と将来、建築と社会、p. 31、1985. 10
- 9) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、p. 318、2001. 10
- 10) 日本建築学会：基礎部材の強度と変形性能、p. 325、2022. 3
- 11) 清広歳、宮崎祐助：杭基礎の変遷、大林組技術研究所報、No. 56、p. 156-158、1998. 1
- 12) 日本建築学会：建築鋼ぐい基礎設計施工規準同解説、1963. 6
- 13) 土質工学会：鋼グイー鋼グイ研究委員会報告、1969. 9
- 14) 鋼管杭協会：建築用鋼管杭施工指針・同解説、1986. 9
- 15) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、p. 438、2019. 11

4. 建築基礎の設計に関する規基準・指針

本章では、建築基礎の設計に関する規基準・指針類の変遷を紹介する。

建築基礎の設計法が大きく変わる時期や内容には、当時の時代背景(自然災害、社会状況、技術革新など)が大きく関係しており、各時代の背景については2章で詳しく紹介している。

建築基礎の計画では、一般的に、高層建物、軟弱地盤など基礎に対する設計条件が厳しくなるほど杭を採用するケースが多くなる。杭は、建物の形状や規模、立地条件などに関する社会的要求の変化や、材料や施工に関する技術的進歩に応じて様々な杭が開発されている。各種杭の特徴や変遷については3章で詳しく紹介している。

建築物の各種構造設計は、概ね、強度に加えて変形性能、1次設計に加えて2次設計、仕様規定から性能規定、限界状態や信頼性設計の概念導入などの流れで高度化している。建築基礎の設計においても、人工材料とは異なる地盤特有の複雑な問題への対応に時間はかかるものの、同様の流れで高度化している。

建築基礎の設計に関する規基準・指針類は、法的強制力を持つものと、学協会などによる法的強制力を持たないものに大別される。本章では、両者を代表して、国が定める建築基準法を中心とした関係法令と、日本建築学会の建築基礎構造設計指針について、それぞれの変遷を説明する。また、建築基礎の設計において参考とされることの多い、その他の関連規基準・指針類についても簡単に紹介する。

4.1 建築基準法

本節の内容の多くは「日本近代建築法制の100年」(発行:一般財団法人日本建築センター)から引用したものであることをまずお断りしておく。

日本の建築法制は古く遡れば、大宝令や延喜式等の中には相隣関係や階級による家屋の格式を規定しているものがあり、江戸時代には格式の制限の他に防火を目的とするものも発布されていたという¹⁾。しかし、近代的な法制度となったのは近代国家としての歩みを始めた明治に入ってからといえる。本節では、明治以降の建築法制について構造規定を中心に顧み、最後に基礎杭に関する建築法制について述べることにする。

明治初期には、東京や大阪といった主要都市では、市街地の防火対策や道路空間の確保等のための個別の規則が、府県布達等の形で定められ、明治中期には、体系的な長屋建築規則が各地に普及した。こうした個別・地域別の建築法令群の実践の上に、都市計画上の内容を加えて、市街地建築物法に至ることになる²⁾。

1919（大正 8）年 4 月にまず都市計画法とともに市街地建築物法が公布され、翌 1920（大正 9）年 11 月に公布された市街地建築物法施行規則において構造安全性を確保するための構造規定が初めて規定された。しかし、構造計算で考慮する荷重は鉛直力である固定荷重と積載荷重のみであり、また、仕様規定も水平力に対する安全性を確保する上では不十分なものであった³⁾。1923（大正 12）年 9 月 1 日に関東大震災（死者・行方不明者 約 10 万 5 千人（うち焼死 約 9 割）、全壊・全焼住家 約 29 万棟⁴⁾）が発生し、その被害を踏まえて、市街地建築物法施行令及び施行規則が 1924（大正 13）年 6 月に改正されたのをはじめ、関係法令（勅令・省令）の制定・改正は頻繁に行われた⁵⁾。

1937（昭和 12）年の盧溝橋事件に端を発して日中戦争が始まり、以後、戦時統制化の様相を強めていく⁶⁾。1943（昭和 18）年には戦時行政特例法に基づき、市街地建築物法の一部規定の適用が停止された。適用が停止された構造計算規定に代わり、戦時規格として臨時日本標準規格「建築物の荷重」、「建築物強度計算の基本」が制定される。この中で設計荷重として積雪荷重、風圧力が規定され、また、応力の組み合わせに長期、短期の概念が導入された³⁾。

終戦後の 1947（昭和 22）年には戦時規格に代わり、日本建築規格 建築 3001「建築物の構造計算」が制定された。同年 12 月 31 日には市街地建築物法臨時特例（市街地建築物法及同法施行令戦時特例から題名を改正）が廃止され、（旧）市街地建築物法の規定がほとんど復活すると同時に、この日本建築規格 建築 3001 も計算の特例として同法上に位置付けられた。

構造計算の部分は、応力の組合せと許容応力度の両者に長期・短期の採用、風圧力の速度圧は $q=60\sqrt{h}$ （単位：kgf/m²）（h:地盤面からの高さ（単位：m））（速度圧は風圧力の基本量。なお、現在用いられている風圧力の計算式は高さだけでなく、地域ごとに定められた基準風速や地表面粗度区分（地表面の粗さ）の違いを考慮したものとなっている。）、地震力の水平震度は 0.2 以上等の内容で、これが後の建築基準法の構造計算規定にほぼ踏襲された。

1950（昭和 25）年によく建築基準法が制定され、同法施行令の第 3 章第 1 節から第 7 節までの構造規定は、市街地建築物法施行規則の構造規定をより定量的な規定に見直して引き継いだものであり、第 8 節の構造計算の規定は日本建築規格 建築 3001 の内容を一部修正し盛り込んだものである。

その後、1964（昭和 39）年には新潟地震が、1968（昭和 43）年には 1968 年十勝沖地震が発生し、建築物に大きな被害が発生した。特に、十勝沖地震では鉄筋コンクリート造建築物で柱のせん断破壊等の重大な被害が多数発生し、原因とし

て韌性不足が指摘された。このことを踏まえ、1971（昭和46）年の施行令改正において、鉄筋コンクリート造の柱のせん断強度の強化（帯筋間隔の強化）等が行われた³⁾。

昭和40年代にかけての応答解析技術等の進歩や十勝沖地震等の被害の教訓から、構造計算規定の抜本的な見直しが求められるようになり、1972（昭和47）年から5か年計画で建設省総合技術開発プロジェクト「新耐震設計法の開発」が実施され、その成果が「新耐震設計法（案）」として1977（昭和52）年に発表された。1978（昭和53）年に宮城県沖地震（M7.4）が発生し、ピロティー形式の建築物や偏心の大きい建築物で被害が大きかったことから、この新耐震設計法（案）の構造規定への導入が必要との認識が高まり、1980年の建築基準法施行令改正において構造計算規定等が改正された。この改正は構造計算規定を抜本的に見直す画期的な内容（60mを超える建築物について時刻歴応答解析による安全性確認と建設大臣認定の義務付け／耐震計算について保有水平耐力計算、層間変形角、剛性率・偏心率の制限等の二次設計の導入／地震力について水平震度から層せん断力係数への変更、二次設計の導入に対応した2段階の地震力の設定、地盤種別や固有周期との連動、地域係数の導入等）であった³⁾。

1995（平成7）年の阪神・淡路大震災（死者・行方不明者約5,500人（うち窒息・圧死 約7割）、全壊・全焼住家 約11万棟⁴⁾）では建築物の倒壊による甚大な被害が発生した。しかし、被害調査の結果、倒壊した建築物の大部分は1981（昭和56）年の新耐震基準の施行以前に建築されたもので、新耐震基準の施行以降に建てられた建築物は施工不良、不適切な設計等によるもの以外は倒壊等の大規模な被害を受けたものは少ないことが明らかとなった。このため、耐震基準については不適切な設計を防止するための一部規定の見直し以外、大きな見直しは行われなかった。2005（平成17）年に発覚した構造計算書偽装事件を受け、建築物の構造安全性のチェックを確実なものとするため、2006（平成18）年には、建築基準法等の改正により構造計算適合性判定制度の導入等及び建築士法等の改正により構造設計一級建築士制度の導入等が行われた。2011（平成23）年の東日本大震災（死者・行方不明者 約1万8千人（うち溺死 約9割）、全壊・全焼住家 約12万棟⁴⁾）では津波の被害が甚大であったことから、津波対策として津波に対する建築物の構造設計法等の検討が行われるが、構造計算規定等の耐震基準については大きな見直しは行われなかった。

また、東日本大震災において長周期地震動による超高層建築物の大きな揺れが観測され、長周期地震動に対する建築物の安全性に対する関心が高まった。2016

(平成 28) 年に超高層建築物や免震建築物に係る新たな設計用長周期地震動の作成手法が策定され、2017 (平成 29) 年 4 月以降、性能評価の申請が行われる新築の超高層建築物等について、この新しい長周期地震動に基づく安全性の検証が行われることとなった。³⁾

東日本大震災以後にも震度 7 を記録する地震は、本稿を執筆している 2024 年 1 月下旬時点で計 4 回 (2016 (平成 28) 年熊本地震で 2 回、2018 (平成 30) 年北海道胆振東部地震、2024 (令和 6) 年能登半島地震) 発生し、いずれの地震でも大きな被害が生じた。これらの地震災害についても今後詳しく調査・分析され、将来の建築法制に反映されていくことだろうと思われる。例えば、これらの地方はいずれも地域係数 $Z=0.9$ であったため、元々存在していた地域係数への疑念が広がり、今後見直しが検討される可能性も考えらえるが、熊本地震発災後の 2016(平成 28) 年 10 月 28 日の衆議院質問に対する答弁書においては、「地震地域係数の見直しについて、政府としては、現時点において、具体的な検討は行っていない」こと、「建築基準法に基づく現行の耐震基準についてはその有効性を確認していること等から、耐震基準の全面的な見直しは考えていない」ということが示されている。

7)、8)

ここまで主に地震と関連して建築法制の変遷を辿ってきたが、基礎杭に焦点を当ててみると、建築基礎に関する法令としては 6 項からなる建築基準法施行令第 38 条があるが、基礎杭の支持力の具体的な計算方法については国土交通省告示に委ねられている。2000 (平成 12) 年の建築基準法の改正に伴い、基礎杭の支持力については、2001 (平成 13) 年国土交通省告示第 1113 号第 5 または第 6 の規定に基づくこととなり、特に、第 6 では、載荷試験の結果から α 、 β 及び γ を係数として表される地盤許容支持力を定めることが可能となっているため、新規開発の工法において、独自の支持力式を得ることが出来るようになった。そうした変化はあったものの、新耐震基準の施行により上部構造では 2 次設計が導入されたのとは対照的に、基礎構造については依然として 1 次設計しか示されていない (2024 年時点)。このことが象徴するように、法令上の下部構造の扱いは上部構造ほど大きく変わっていないのが実情である。杭基礎に関する法令の変化はまだほとんど見られない。一方で、日本建築学会等による基礎構造の設計指針や杭メーターによる独自工法は、最新研究による知見や社会ニーズ等を反映させる形で法令に先行して変遷してきている。基礎設計指針の変遷については次節以降の解説に委ねることにする。

引用・参考文献

- 1) 内務省「都市計画要鑑第1巻」
- 2) 「日本近代建築法制の100年」、p. 22（市街地建築物法以前の法制度）
- 3) 「日本近代建築法制の100年」、pp. 325-327（地震と建築行政）
- 4) 「関東大震災100年」特設ページ：<https://www.bousai.go.jp/kantou100/> (参照日 2025.11.8)、
内閣府 防災情報のページ
- 5) 「日本近代建築法制の100年」、p. 116（昭和初期の市街地建築物法）
- 6) 「日本近代建築法制の100年」、p. 123（戦時下の市街地建築物法）
- 7) 第192回国会衆議院質問第71号「耐震基準に関する質問主意書」
- 8) 第192回国会衆議院答弁第71号

4.2 建築基礎構造設計指針

本節では、日本建築学会「建築基礎構造設計指針」（以下、基礎指針と称す）の変遷について記すと共に、日本建築学会から刊行された基礎指針と関連するその他の指針類についても触れることとする。基礎指針においては、各版の序文を基に、以下に変遷を整理している。なお、基礎指針の変遷について、より詳細に整理された資料として、安達ら¹⁾による「建築基礎構造設計指針の変遷」がある。当資料では、液状化判定と杭の水平抵抗の設計に着目し、その変遷について考察が加えられているため、参照されたい。

【1952年版²⁾】基礎指針の前身となる「建築基礎構造設計規準・同解説」が、ビル建築の続出に伴う需要増加を背景として1952年に刊行された。なお、1947年にはすでに「木構造」「鋼構造」「鋼筋コンクリート構造」の3つの設計規準が刊行されていたが、基礎構造においては調査に着手したものの、専門の研究者が少なく未解決の問題が多いため進捗が阻まれたとされている。後の1960年版の序文には、諸外国の規準を基とし、日本の慣習や経験と若干の研究成果を加味した程度に止まらざるを得なかった旨の記述がある。

【1960年版³⁾】土質調査法に基づく土質力学ならびに基礎構造理論の進歩、基礎構造施工の合理化に対する要望を背景として改定が行われた。1960年版では、当時の進んだ基礎構造理論・技術を取り入れたA規準、在来の規準を若干近代化させたB規準、基礎構造・地盤に対する一般的注意を記したC規準の3種類に分類されている。対象として、A規準はある程度の大規模建物・地盤条件の特に悪い場合、B規準は中規模建物・普通の地盤条件の場合、C規準は木造その他の軽微な建物が想定されているが、規準の選択は設計者に委ねる方針となっている。

【1974年版⁴⁾】地盤調査技術の普及、建築敷地の軟弱地盤地域への進出、地盤および根切り工事の大型化、各種の新しい杭基礎工法の出現、新潟地震（1964年）による被害、杭の負の摩擦力による問題等を背景として改定が行われた。新潟地震の液状化による被害の事例を写真4.2.1に示す。1960年版のB規準・C規準の特長も吸収しつつ、A規準のレベルに統一された。1974年版では、「液状化現象」が初掲載された。また、「くいの水平抵抗」の条項が新設され、弾性支承梁理論による方法が示された。

【1988年版⁶⁾】地盤工学・基礎工学分野の学問的・技術的進歩、多くの技術書・資料の出版、基礎構造の設計に関する行政諸基準の整備等を背景として改定が行われた。なお、ここで「建築基礎構造設計指針」へ書名が変更され、「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」と「小規模建築物基礎設計の手引き」と併せ



写真 4.2.1 県営川岸町アパートの被害⁵⁾

た3部作と位置づけられた。書名変更の理由のひとつに、基礎構造・地盤に対する設計には、設計者の哲学・思想に委ねられる要素が多く、総合的、工学的判断のよりどころとなる「指針」が求められていることが挙げられている。

【2001年版⁷⁾】阪神大震災（1995年）における液状化、地盤の側方流動、地震力による杭頭部の破壊、地盤変形による杭体の破壊等により、地盤・基礎に対する大地震時の設計法の必要性が高まったことを背景として改定が行われた。また、構造設計の考え方方が仕様設計から性能設計へと方向を変えつつあったことから、要求性能や限界状態の明確化等、基礎指針にも性能設計の考え方を取り入れられた。2001年版では、「併用基礎（異種基礎含む）」および「施工管理」の章が追加された一方で、地盤調査の詳細、根切り工事に関する章は「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」および「山留め設計施工指針」がすでに刊行されていたこともあり、除外されることとなった。

【2019年版⁸⁾】2001年版での性能設計法についての言及不足、性能グレードを考慮した2次設計を示すべきとの指摘、施工管理不備に起因する基礎の不具合、地震被害による新たな教訓の蓄積、基礎構造と地盤に関する様々な学術・技術の進展等を背景として改定が行われた。ここでは、レベル2荷重時の設計を行うことを基本方針とし、建物の重要度を考慮した基礎構造の性能グレードが設定された。また、常時からレベル2荷重時に対する安全性の検証方法、検証に用いる荷重・設計用限界値についての記述もされた。なお、2001年版の「併用基礎」は「パイルド・ラフト基礎」および「異種基礎」に分割され、また、「杭体の断面設計」および「基礎スラブおよび杭頭接合部」は、「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針(案)・同解説」と重複するため省略された（後に「基礎部材の強度と変形性能」も刊行された）。

基礎指針・関連指針類の刊行と改定、および基礎指針改定の背景と考えられる主な地震を記した年表を表 4.2.1 として以下に示す。

表 4.2.1 基礎指針の変遷 年表

年	規準・指針類の刊行および改定、主な地震
1952	「建築基礎構造設計規準・同解説」刊行
1960	「建築基礎構造設計規準・同解説」改定
1964	新潟地震
1974	「建築基礎構造設計規準・同解説」改定 「山留め設計施工指針」刊行
1982	「山留め設計事例集」刊行
1985	「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」刊行
1988	「建築基礎構造設計指針」刊行 「小規模建築物基礎設計の手引き」刊行 「山留め設計施工指針」改定
1990	「建築基礎構造設計例集」刊行
1995	兵庫県南部地震 「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」改定
2001	「建築基礎構造設計指針」改定
2002	「山留め設計施工指針」改定
2003	「山留め設計事例集」改定
2004	「建築基礎構造設計例集」改訂
2008	「小規模建築物基礎設計指針」刊行
2009	「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」改定
2011	東北地方太平洋沖地震
2016	熊本地震
2017	「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針(案)・同解説」刊行 「山留め設計指針」改定
2019	「建築基礎構造設計指針」改定
2022	「基礎部材の強度と変形性能」刊行
2024	能登半島地震 「建築基礎構造設計例集」改訂
2025	「山留め設計事例集」改定

引用・参考文献

- 1) 安達俊夫, 太田宏 : 建築基礎構造設計指針の変遷, 2016 年度日本建築学会大会 構造部門(基礎構造)パネルディスカッション資料, 2016. 8
- 2) 日本建築学会 : 建築基礎構造設計規準・同解説, 1952. 11
- 3) 日本建築学会 : 建築基礎構造設計規準・同解説, 1960. 11
- 4) 日本建築学会 : 建築基礎構造設計規準・同解説, 1974. 11
- 5) (研) 防災科学技術研究所 1964 年新潟地震オープンデータ特設サイト : <https://ecom-plat.jp/19640616-niigata-eq> (参照日 2025. 4. 1)
- 6) 日本建築学会 : 建築基礎構造設計指針, 1988. 1
- 7) 日本建築学会 : 建築基礎構造設計指針, 2001. 10
- 8) 日本建築学会 : 建築基礎構造設計指針, 2019. 11

4.3 その他の指針類

本節においては、前節で示した建築基準法や日本建築学会「建築基礎構造設計指針」以外で建築基礎の設計等を行う上で参考にされることの多い指針類として「建築物の構造関係技術基準解説書」、「東京都建築構造設計指針・同解説」および「建築工事標準仕様書 JASS 3, JASS 4」を取り上げ、その変遷の概要を示す。なお、本節で扱う建築基礎関連の建築基準法施行令、指針類の主な変遷を表 4.3.1 に示している。各基準類の変遷を理解するための一助となれば幸いである。

(1) 「建築物の構造関係技術基準解説書」の主な変遷

建築物の構造設計やその審査に係わる技術者に活用されている「建築物の構造関係技術基準解説書」(通称、「黄色本」)は、「改正建築基準法施行令新耐震基準に基づく構造計算指針・同解説」(以下、「構造計算・同解説」とする)を基にしている。「構造計算・同解説」は、1981 年に新耐震設計法を基にした建築基準法施行令の耐震に関する構造計算関係規定が改正されたことを契機に耐震構造計算の指針書となるべく発刊され、日本建築センターより発行された書籍の中表紙には初版にも関わらず(1981 年版)と明記されている。その理由として「発刊にあたって」と題された前書きに「今後とも内容について整備・充実を行い版を重ね、指針としての意義を全うする方針」であることが示されており、その方針に沿って、以降の建築基準法の改訂にも合わせながら 1994 年からは「建築物の構造規定」、2001 年からは「建築物の構造関係技術基準解説書」として書名を変えながら適宜改訂されてきている。

1981 年の新耐震設計法の施行に合わせて発行された「構造計算・同解説」における地盤・基礎に関する解説では、令第 88 条第 4 項の「地下部分の地震力」及び令第 93 条の「地盤及び基礎ぐい」に関するものが記載されている。

前者については、新耐震設計法の施行に合わせて新設され、「地下部分の破壊により建築物が崩壊に至った例はほとんどないこと及びこれらの終局的な構造特性等についてはいまだ不明な点があり、一律に論ずることが難しいことの 2 点の理由により、新設計法では、地下部分については 1 次設計のみを課することとした。」としつつ、「これにより、地下部分については想定地震力に対して十分な安全性が確保され得ると判断している。」と当時の背景が記されている。

令第 93 条の「地盤及び基礎ぐい」については、1950 年の建築基準法施行令の制定時においては 1~3 項の構成で、3 項において基礎杭の許容支持力を荷重試験以外の方法で定める場合には「くい打ちの方法」に準じた支持力式で算定される数値以下としなければならないことが定められていた。

その後、1959年の施行令改定時の微修正を経たのち、1970年の施行令改定により2項が削除、3項に関する内容が告示（昭46建告第111号）として記載されることで現在の内容と概ね同様の構成となり、1981年版の「構造計算・同解説」及びそれ以降の解説書においても令第93条の内容が示されている。

（2）「建築構造設計指針」の主な変遷

本書（通称、オレンジ本）は、合理的な構造設計手法の普及と建築確認申請業務の円滑化を目的として1966年に東京都建築士事務所協会より初版が発刊された。以降、1972年に建築基準法施行令の改正（せん断設計の強化）への対応などを経て、1982年には前年に施行された建築基準法施行令（新耐震設計法）への対応として大改定がなされた。その後も約10年ごとに大きな改正が行われてきており、1991年には「構造計算指針・同解説」や日本建築学会「建築基礎構造設計指針」などの各種計算規準の改訂などへの対応がなされている。1997年に阪神淡路大震災での被害を踏まえて小改訂が行われたのち、2002年には民間機関による確認業務および中間検査、SI単位の導入などへの対応に加え、地盤改良の項目の追加などがなされた。2010年の改正では耐震偽装問題による法改正への対応や2019年の改正では天井などの2次部材の設計基準の改正や構造計算適合性判定制度の見直しへの対応がなされている。

（3）「建築工事標準仕様書 JASS3, JASS4」の主な変遷

建築工事標準仕様書は、1923年に建築施工技術の向上を図るために日本建築学会内に委員会を設けて仕様書の標準化に着手されて以降、太平洋戦争が起こる1941年（昭和16年）までの間に、建築主体工事に関する16もの標準仕様書が作成されてきた。その間にも技術の進歩に応じて改正が計画されたものの、国内外の諸事情により改正の断念、委員会も廃止したという過去がある。終戦後は混乱や応急需要により低劣な質の建築生産がなされたものの、進駐軍施設の建築需要が盛んとなり否応なしに海外技術の移入が行われ、結果として日本国内の建築技術の回復に大きな影響を与えた。このような戦後の技術状況を踏まえて、1953年に「JASS1 一般共通事項」、「JASS2 仮設工事」とともに「JASS3 土工事」、「JASS4 地業および基礎工事」の初版が一冊にまとめられた形で発表された。

1965年には第1次改訂案が作成されたものの種々の事情から解説をつけるに至らなかった。1988年版では前回の改訂後の間に公害問題等の環境条件に対応する工法の利用が定着したこともあり、内容の取捨選択が行われた。通算4回目の改訂となる1997年版では、「社会的に強く要請されてきている環境問題と産業廃棄物の処理について多くの時間を割いて検討」され、新たに環境保全の項目を

JASS3, 4 のそれぞれの総則に加えることとなった。また、技術開発面への対応として、「技術進歩の早い既製杭工事」と「建築物の基礎地盤としての地業工事に多用されると予想された地盤改良地業工事」に十分な検討が加えられた。その後、2003 年に建築基準法の改正や SI 単位系への変更に伴う小改訂がなされ、2009 年に 5 回目の本格的な改正がなされた。

2009 年版では JASS4 のタイトルが「地業および基礎スラブ工事」から「杭・地業および基礎工事」に変更され、タイトルに「杭」というキーワードが新たに追加された。環境負荷の低減の観点から、既存杭や既存地下躯体の利用についても新たに項目として加えられ、使用実績が増加した地盤改良工事については仮設と本設に分けて JASS3, 4 のそれぞれで扱われている。現状、最新の 2022 年版では、2015 年に発覚した杭の支持層未到達の疑いおよびデータ偽装問題に関する国土交通省の告示 468 号などを踏まえて建築基礎構造設計指針も改定を予定していたため、改定準備、作業が開始された。JASS4 においては紙面のほとんどが杭および地盤改良工事などの基礎工事であることから、タイトルを「杭および基礎工事」と見直しがされた。また、最新の関連法規・告示・日本建築学会の指針類への対応もなされるとともに、品質や性能に対する確保とそのための保証技術、施工管理方法などの重要性や環境問題についても記載されている。

表 4.3.1 建築基礎関連の建築基準法施行令、指針類の変遷^{1)~28)}

年	その他基準類の主な動向・発刊物	主な改正・改訂・改定の内容*
1923	建築工事仕様書の標準化に着手	—
1950	建築基準法施行令 制定	—
1953	JASS3, 4 初版	—
1959	建築基準法施行令 改正	第 93 条(地盤及び基礎ぐい)改正
1965	JASS3, 4 改定	本文のみの改訂
1966	建築構造設計指針 (オレンジ本) 初版	構造設計と建築確認審査が円滑に行われるこ とを目的に執筆
1970	建築基準法施行令 改正	第 93 条(地盤及び基礎ぐい) 2 項、3 項の削除 (3 項は告示)
1972	建築構造設計指針 (オレンジ本) 改訂	建築基準法施行令改正(せん断設計の強化)へ の対応
1974	JASS3, 4 改定	工法・材料の進歩、建設公害問題への対応
1979	建築構造設計指針 (オレンジ本) 改訂	前改定以降の新たな構法・材料を反映
1981	構造計算指針・同解説 初版	同年に施行された「新耐震設計法」の啓蒙・普 及を目的に改定
1982	建築構造設計指針 (オレンジ本) 改 訂	「新耐震設計法」の施行に伴う全面改訂
1985	建築構造設計指針・同解説 (オレン ジ本) 改訂	「新耐震設計法」による設計上の経験や技術 的進歩に合わせた再改定
1986	構造計算指針・同解説 改訂	1981 年版を実際の構造計算の流れに沿った形 に再編集
1988	JASS3, 4 改定	新旧の工法の取捨選択、関連する諸法規・基準 等への対応
	構造計算指針・同解説 改訂	前年の建築基準法の改正に伴い、木造の耐震 計算の項を新設
1991	構造計算指針・同解説 改訂	鋼材等の製品種類記号の変更等の改訂
	建築構造設計指針 (オレンジ本) 改訂	「構造計算指針・同解説」や日本建築学会「建 築基礎構造設計指針」や各種計算規準の改訂 などへの対応
1994	建築物の構造規定 初版	「構造計算指針・同解説」より書名を改定 建築基準法施行令第 3 章「構造強度」全般の 解説
1997	JASS3, 4 改定	環境問題と産業廃棄物の処理への対応 既製杭工事と地盤改良地業工事の検討
	建築構造設計指針 (オレンジ本) 改訂	兵庫県南部地震での被害による最新の関連規 基準を受けて、適切な構造設計を実施するた めの必要最小限の改訂を早期に実施
	建築物の構造規定 改訂	告示の改正、兵庫県南部地震による建築物の 被害を踏まえた解説等
2001	建築物の構造関係技術基準解説書 (黄色本) 初版	建築基準法の性能規定に関する解説

表 4.3.1 建築基礎関連の建築基準法施行令、指針類の変遷^{1)~28)} (つづき)

年	その他基準類の主な動向・発刊物	主な改正・改訂・改定の内容*
2002	建築構造設計指針（オレンジ本）改訂	1991年以来の全面改訂 1998年以降の建築基準法、告示の改正や SI 単位への移行等への対応 地盤改良の項目が初掲載（発行は 2002.3）
2003	JASS3, 4 改定	建築基準法の改正対応、SI 単位系への変更 比較的小規模な改訂
2007	建築物の構造関係技術基準解説書（黄色本）改訂	耐震偽装問題に関する構造計算に関する新規定の解説
2009	JASS3, 4 改定	JASS4 のタイトルを変更
2010	建築構造設計指針（オレンジ本）改訂	耐震偽装問題による法改正への対応、構造設計上考慮すべき取扱いに関する見直し
2015	建築物の構造関係技術基準解説書（黄色本）改訂	2007年版の解説を充実、最新成果の反映。追補版、質疑をweb公開。
2019	建築構造設計指針（オレンジ本）改訂	建築基準法の改正対応、旧11章、12章を再構築。杭工法の選定表の見直し、液状化対策の原理と工法例の整理。
2020	建築物の構造関係技術基準解説書（黄色本）改訂	2015年版以降の改正・制定された構造関係規定等の内容や新たな技術的知見を反映
2022	JASS3, 4 改定	杭の支持層未到達・データ偽装問題等への対応、JASS4 のタイトルを変更（「地業」を削除）

*改訂と改定について、「構造計算指針・同解説」や「建築構造設計指針」では「改訂」、「JASS3, 4」では「改定」が使用されており、各文献での記載内容に合わせて表記した。

引用・参考文献

- 1) 日本建築センター編：構造計算指針・同解説 1981年版、1981.2
- 2) 日本建築センター編：構造計算指針・同解説 1986年版、1986.5
- 3) 日本建築センター編：構造計算指針・同解説 1988年版、1988.1
- 4) 日本建築センター編：構造計算指針・同解説 1991年版、1991.7
- 5) 日本建築センター編：建築物の構造規定 1994年版、1994.9
- 6) 日本建築センター編：建築物の構造規定 1997年版、1997.12
- 7) 国土交通省住宅局建築指導課・日本建築主事会議・日本建築センター編：2001年版 建築物の構造関係技術基準解説書、2001.3
- 8) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会編：2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書、2007.8
- 9) 建築行政情報センター、日本建築防災協会編：2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書、2015.6
- 10) 建築行政情報センター、日本建築防災協会編：2020年版 建築物の構造関係技術基準解説書、2020.10

- 11) 東京都建築士事務所協会：建築構造設計指針、1966. 2
- 12) 東京都建築士事務所協会：建築構造設計指針、1972. 2
- 13) 東京都建築士事務所協会：建築構造設計指針、1979. 5
- 14) 東京都建築士事務所協会：建築構造設計指針、1982. 3
- 15) 東京都建築士事務所協会：建築構造設計指針、1985. 5
- 16) 東京都建築士事務所協会：建築構造設計指針、1991. 12
- 17) 東京都建築士事務所協会：建築構造設計指針、1997. 10
- 18) 東京都建築士事務所協会：建築構造設計指針、2002. 3
- 19) 東京都建築士事務所協会：建築構造設計指針、2010. 6
- 20) 東京都建築士事務所協会：建築構造設計指針、2019. 4
- 21) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 I JASS1 一般共通事項, JASS2 仮設工事, JASS3 土工事, JASS4 地業および基礎工事、1953. 11
- 22) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 A JASS1 一般共通事項, JASS2 仮設工事, JASS3 土工事, JASS4 地業および基礎工事 8 版、1957. 12
- 23) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS3 土工事および山止め工事, JASS4 地業および基礎スラブ工事、1974. 11
- 24) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS3 土工事および山留め工事, JASS4 地業および基礎スラブ工事、1988. 1
- 25) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS3 土工事および山留め工事, JASS4 地業および基礎スラブ工事、1997. 8
- 26) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS3 土工事および山留め工事, JASS4 地業および基礎スラブ工事、2003. 6
- 27) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS3 土工事および山留め工事・JASS4 杣および基礎工事、2009. 10
- 28) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS3 土工事および山留め工事・JASS4 杣および基礎工事、2022. 3

5. おわりに

明治期以降から現代に至る建築基礎の発展を体系的に学ぶことは現代および未来の建築基礎技術に対する理解と応用力を深めるうえで極めて重要である。以下に5つの観点から、建築基礎の歩みを学ぶ意義を整理する。

1. 技術の進化を理解できる

過去の基礎工法や材料の変遷を知ることで、現代技術がどのような課題を乗り越えてきたのか、その背景や改良の理由を深く理解できる。

2. 失敗事例から学べる

歴史には多くの失敗や課題克服の記録が残されており、それらを学ぶことで同じ過ちを回避し、安全性と信頼性の高い設計・施工につなげることができる。

3. 新技術開発のヒントになる

古い工法やアイデアを現代の技術と融合させることで、革新的な解決策や新たな技術の創出につながる可能性がある。

4. 設計思想の本質を掴める

時代ごとの設計思想や構造原理を理解することは、設計者としての応用力や判断力を養う基盤となりうる。

5. 持続可能な社会に貢献できる

歴史的な知見を活かすことで、環境負荷の低減や資源の有効活用といった持続可能な社会の実現に寄与する基礎技術の発展が期待される。

上記のように、建築基礎の歴史を学ぶことは、単なる知識の蓄積にとどまらず、未来の建築を支えるための確かな礎となるのです。本報告書が今後の業務の一助になれば幸いです。