

2. 基礎形式の分類と選定の推移

基礎形式の分類を図-2.1 に示す。基礎は、支持層の深度に応じて浅い基礎（直接基礎）と深い基礎に大別され、深い基礎は杭基礎と柱状体基礎に区分される。直接基礎に関しては、掘削深度が浅いため一般に特殊な施工技術を要さない。一方、深い基礎に関しては、3章で詳述するように、深い支持層までどのように地盤を掘削し構造体を構築するかという施工の方法が技術開発の根幹であり、設計法は開発された施工法に付随する形で整備されてきた。ただし、基礎本体の周囲の地盤抵抗により安定を確保するという点は施工法によらず共通であることから、開発当初は工法毎に整備された設計法も基準の改定を経る中で統一化が図られ、最新の基準では直接基礎、杭基礎と柱状体基礎の3系統に設計計算モデルが収斂している¹⁾。一方で、施工の方法によって周囲の地盤のゆるみや乱れの程度等が異なることから、支持力推定式等は工法による違いを考慮して定められている。

杭基礎に関しては、既製杭、すなわち既製コンクリート杭又は鋼管杭を用いた工法と、場所打ち杭工法に分かれる。既製杭を用いた工法には、施工機械が導入される以前から用いられていた杭頭の打撃により地中部に貫入する打込み杭工法（打撃工法）のほか、地盤の掘削と同時あるいは掘削後に杭を沈設する埋込み杭工法や回転杭工法がある。場所打ち杭工法は、地盤の掘削後に原位置で鉄筋コンクリートの杭体を構築する工法である。柱状体基礎には、ケーソンと呼ばれる鉄筋コンクリートの函体（基礎本体）を掘削しながら沈設するケーソン基礎のほか、鋼管杭と同様の工法により鋼管矢板を連結して施工する鋼管矢板基礎、地盤の掘削後に鉄筋コンクリートの壁体を連結して施工する地中連続壁基礎、土留めを用いながら掘削を行った後に鉄筋コンクリートの基礎本体を構築する深礎基礎がある。

道路橋の設計基準である2017年（平成29年）改定の道路橋示方書IV下部構造編では¹⁾、図-2.1中の赤枠の基礎形式毎に設計法が章立てされており、また各章の中で構造・施工法の違いに応じた規定が示されている。施工に関しては、2017年の改定により一つの章にまとめられたものの、各基礎形式の施工法に応じた規定がその中で示されている。

基礎形式の選定割合の推移を図-2.2に、杭基礎における各工法の選定割合の推移を図-2.3に示す²⁾。両図は土木研究所が1966年から概ね10年に1度調査をした結果に基づき作成している。なお、基礎数は調査年により異なっており、最も少ない1966年で約450基、最も多い1995年で約5,000基である。図-2.2より、杭基礎や深礎基礎が増加傾向にある一方、直接基礎やケーソン基礎は減少傾向にあることが分かる。直接基礎の減少は、橋梁の長大化や設計基準の改定に伴い、設計で考慮する荷重が増加していることが影響しているものと考えられる。一方、ケーソン基礎は各種杭工法の大口径化や他の柱状体基礎工法の開発・導入に伴い減少し、深礎基礎は斜面での設計法開発や大口径化などに伴い増加したものと考えられる。図-2.3からは、騒音・振動規制への対応として打込み杭工法（打撃工法）が減少し、場所打ち杭工法や埋込み杭工法といった低騒音・低振動型工法に移行している傾向が確認できる。また、近年では回転杭工法の採用が増加している。

文献3)では、2000年代初頭までとデータは古いものの、戦前からの基礎形式の推移に

関する図が示されている（図-2.4）。戦前では直接基礎のほかは木杭やケーソンが多く用いられていたものの、戦後は木杭の利用は終息し、場所打ち杭などが多く選定されていることが分かる。なお、鋼管杭の適用は1954年以降であり（3.2.1 参照）、それ以前であればH鋼杭となる。また、既製RC杭の製造は1934年が最初であることなどから（3.2.1 参照）、この図の元データには一部不正確な点があるものと推察される。

基礎の設計・施工に影響を及ぼした主なトピックスと基礎工法、道路橋の基準の変遷について表-2.1に示す^{4),5),6),7),8),9),10),11),12)}。3章では、図-2.1に示す各基礎およびその他の基礎に区分し、主として高度成長期以降における各基礎工法の開発・改良と設計法の変遷について示す。

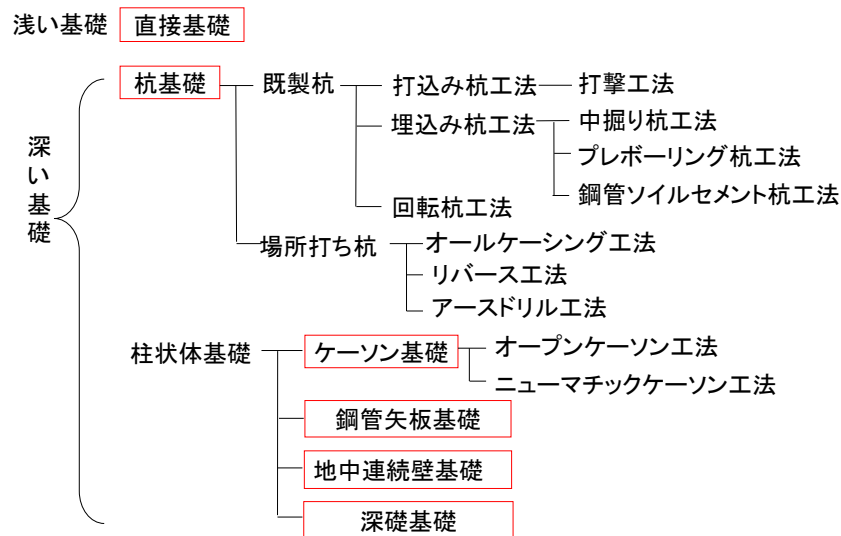


図-2.1 基礎形式の分類

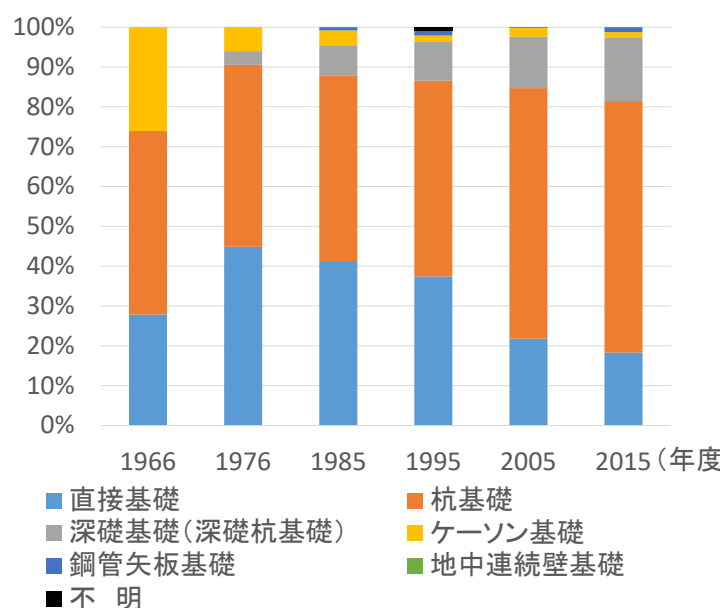


図-2.2 基礎形式選定割合の推移²⁾

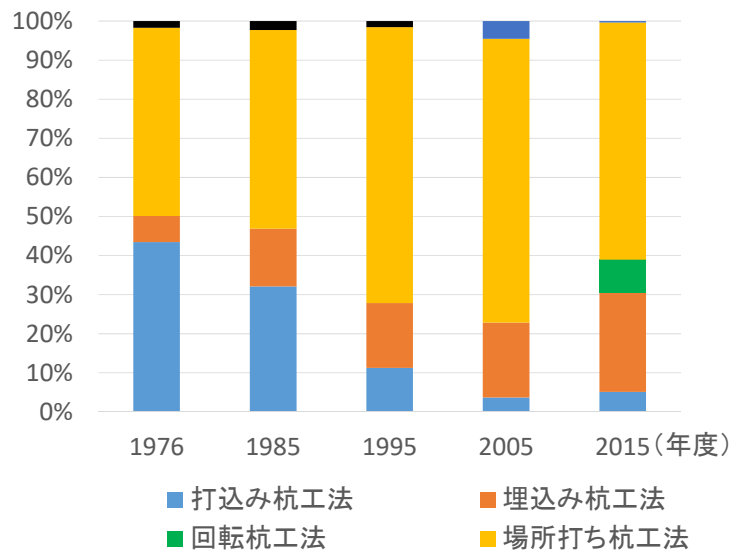


図-2.3 杭工法選定割合の推移²⁾

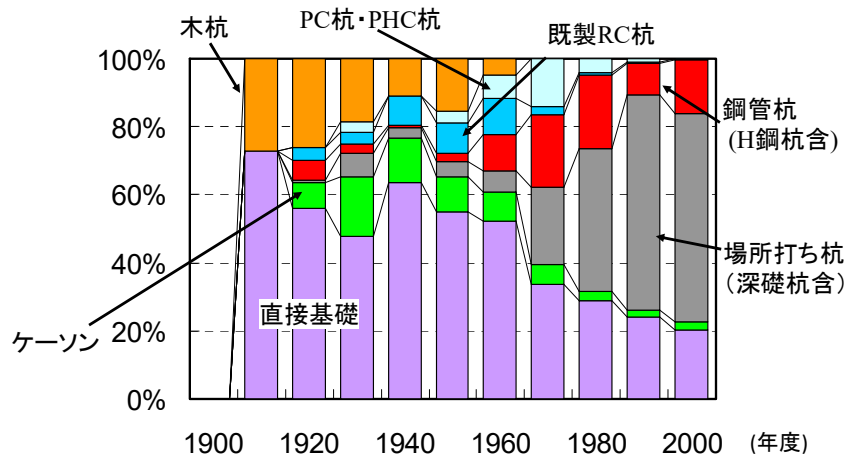


図-2.4 基礎形式選定割合の推移（戦前～2000 年代初頭）³⁾に一部加筆

表-2.1 基礎工法の変遷 4)5)6)7)8)9)10)11)12)

西暦	和暦	主なトピックス	杭基礎	柱状体基礎、その他の基礎	基準（道路橋）
～1940年代				'23 ニューマチックケーソン基礎の初施工（永代橋） '34 木田式深礎工法の開発	
1950年代		'55 「木材資源利用合理化方策」閣議決定（木材の利用制限）	'34 RC 杭の製造 '51 ディーゼルハンマの導入 '54 鋼管杭の適用 '54 場所打ち杭オールケーシング工法の導入 '55 RC 杭の JIS 規格化 '59 場所打ち杭アースドリル工法の導入		
1960年代		'64 新潟地震	'60 バイプロハンマ工法の導入 '62 場所打ち杭リバース工法の導入 '62 PC 杭の開発 '68 PC 杭の JIS 規格化 ー 中掘り杭工法の導入 ー セメントミルク工法（プレボーリング杭工法）の導入	'69 鋼管矢板基礎の初施工（石狩河口橋） '71 鋼管矢板基礎 仮締切兼用方式の開発 ー 地中連続壁基礎の初施工（首都高速道路5号線）	'64 道路橋下部構造設計指針：くい基礎の設計篇の制定 ・木杭、RC 杭、鋼杭、場所打ち杭を規定 '66 道路橋下部構造設計指針：調査及び設計一般篇の制定 '68 道路橋下部構造設計指針：直接基礎の設計篇の制定 '68 道路橋下部構造設計指針：杭基礎の施工篇の制定 '70 道路橋下部構造設計指針：ケーソン基礎の設計篇の制定 '71 道路橋耐震設計指針の制定 ・液状化に対する設計法の導入 ・修正震度法の導入 '73 道路橋下部構造設計指針：場所打ちくい基礎の設計施工篇の制定 '76 道路橋下部構造設計指針：くい基礎の設計篇の改定 ・支持力推定式の提示 ・PC 杭を新たに規定 ・木杭の削除 '76 河川管理施設等構造令の制定 '77 道路橋下部構造設計指針：ケーソン基礎の施工篇の制定
1970年代	昭和	'73 第1次オイルショック '76 振動規制法の制定 '78 宮城県沖地震 '79 第2次オイルショック	'72 SC 杭の開発 '75 油圧ハンマの開発（英国）		
1980年代			'81 ニューマチックケーソン工法初の無人化施工（名港西大橋） '82 PHC 杭の JIS 規格化 '83 油圧ハンマの国産化 '87 鋼管ソイルセメント杭工法の導入		'80 道路橋示方書Ⅳ下部構造編の制定 ・既往の指針の統合 ・中掘り杭工法を新たに規定 '80 道路橋示方書Ⅴ耐震設計編の制定 '84 鋼管矢板基礎設計指針の発刊
1990年代				'81 ニューマチックケーソン工法初の無人化施工（名港西大橋） '82 大口径深礎基礎の初施工（双烟橋） '85 多柱式基礎の施工（大鳴門橋） '88 設置ケーソン基礎の施工（南備讃瀬戸大橋）	'90 道路橋示方書の改定 ・鋼管矢板基礎を新たに規定 ・PHC 杭を新たに規定 ・H 鋼杭の削除 '91 地中連続壁設計施工指針の発刊 '96 道路橋示方書の改定 ・地中連続壁基礎を新たに規定 ・基礎の L2 地震照査の導入 ・PC 杭の削除
2000年代	平成		'96 PHC 杭 JIS 強化杭の導入	'96 自動化オーブンケーソン工法の開発・施工	
			'01 回転杭工法の導入 ー 機械式継手（鋼管杭）技術審査証明	ー 鋼管矢板基礎 高耐力継手の開発 ー 小断面ニューマチックケーソン工法の開発	'01 道路橋示方書の改定 ・プレボーリング杭工法、打込み杭工法（バイプロハンマ工法）、鋼管ソイルセメント杭工法を新たに規定 ・SC 杭を新たに規定
2010年代		'11 東北地方太平洋沖地震 '16 熊本地震	'12 COPITA 型プレボーリング杭工法の導入 '17 機械式継手（既製コンクリート杭）技術審査証明		'12 道路橋示方書の改定 ・回転杭工法を新たに規定 ・深礎基礎（柱状体深礎）を新たに規定 '17 道路橋示方書の改定 ・部分係数設計法の導入