

【配布版】
25/03/04
九州地区

構造物における基礎の施工法と設計法の変遷

国土交通省 国土技術政策総合研究所
道路構造物研究部 道路構造物管理システム研究官

七澤 利明

1

本日の講演内容

- I. 基礎の役割と特徴
- II. 基礎形式の分類と選定の推移
- III. 基礎全般・直接基礎の設計
- IV. 杭基礎の施工と設計
- V. ケーソン基礎の施工と設計
- VI. 鋼管矢板基礎の施工と設計
- VII. 深礎基礎の施工と設計
- VIII.最後に

国総研資料第1174号
「道路橋における基礎の施工法と設計法の変遷」の概要など



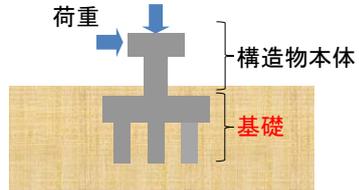
2

- I. 基礎の役割と特徴
- II. 基礎形式の分類と選定の推移
- III. 基礎全般・直接基礎の設計
- IV. 杭基礎の施工と設計
- V. ケーソン基礎の施工と設計
- VI. 鋼管矢板基礎の施工と設計
- VII. 深礎基礎の施工と設計
- VIII.最後に

3

構造物の基礎とは...

構造物本体からの荷重を支え、支持地盤に伝達
⇒所要の**強度、剛性、安定性**が求められる



4

強度の不足

既製コンクリート杭せん断破壊



出典: 国総研資料第814号「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告」, 平成26年12月

安定性の不足

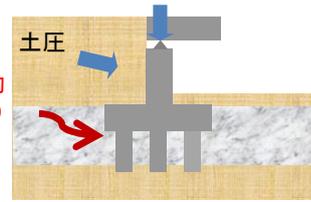
パイラメント橋の倒壊



5

基礎が受ける作用(常時)

死荷重・活荷重



⇒ 最近でも、**軟弱層での側方移動による変状**が散見

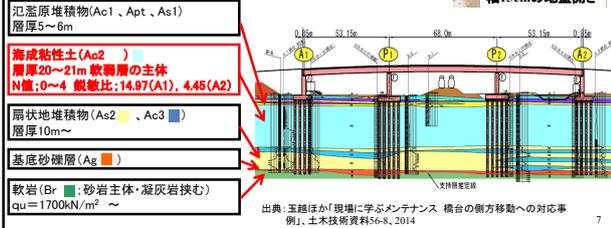
6

(参考) 軟弱地盤で施工中に基礎が損傷した例

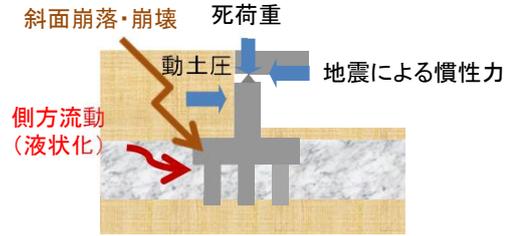
- ・ 鋭敏比の高い海成粘性土が約20m堆積する地盤条件。
- ・ 地盤改良による対策実施後、背面盛土及び橋台の施工中に橋台が側方移動。A1～A2間が約90mm縮まり、基礎杭が損傷。



⇒ 対策として、橋台背面側への延伸、壁基礎の設置を実施。



基礎が受ける作用(地震時)



⇒ 近年の地震でも、液状化・側方流動、斜面崩落・崩壊で被害が発生

(参考) 液状化・流動化に伴う被害の例

- ・ 東日本大震災で橋脚の移動・傾斜が生じ、長期間通行止めに。
- 主な被害: 橋脚・基礎の傾斜、桁の残留変位 等

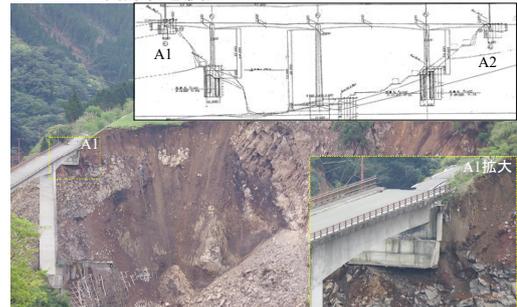
橋の動きと周辺地盤の状況



出典: 国総研資料第814号「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告」

(参考) 地震による斜面崩壊で橋台が沈下した例

- ・ 橋梁北側の地山(阿蘇火砕流堆積物)が大きく崩落。A1橋台は直下の支持層が崩落し約2m下方へ沈下。(2016年熊本地震)



出典: 国総研資料第967号「平成28年(2016年)熊本地震土木施設被害調査報告」

施工品質の問題

- ・ 基礎は地中部にあるため、施工品質が悪くても見えない。
- ⇒ 供用後の性能に悪影響。

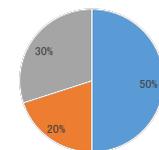
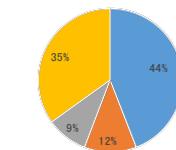


(参考) H23～H29技術相談の内訳(土研)

- ・ 左図より、地盤の変動・喪失による変状(水平移動・傾斜、沈下、洗掘・浸食)が多く発生(一部は災害時も、多くは施工時)。
- ・ 右図より、事前相談も地盤の評価に関するものが最多。基礎工法・対策の相談も、地盤の特殊性(軟弱地盤、巨礫層)が相談事項。
- ⇒ 被害・変状は自然災害だけでなく、施工時に多く発生。
- ⇒ 地盤自身の安定性が健全性に影響。

基礎の施工時・供用後の変状事例の内訳

基礎の設計時等の相談事例の内訳



■ 水平移動・傾斜 ■ 沈下
■ 洗掘・浸食 ■ その他

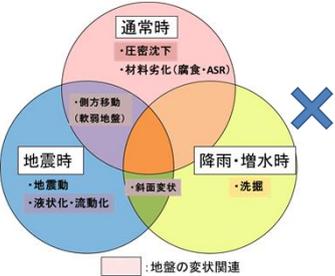
■ 地盤の評価・基礎工法・対策 ■ その他

((国研)土木研究所での相談事例)

基礎の不具合の原因

- 地盤変状などの不具合要因に調査・設計・施工上の問題が絡んで不具合が発生

基礎の不具合の主な要因



調査・設計・施工上の問題

- 液化化設計の未実施**
 - ・基準の未整備(S46指針以前)
 - ・調査の不足(基礎位置での未実施など)
- 支持層への未到達**
 - ・調査の不足(支持層傾斜の把握不足)
 - ・施工管理の不備
 - ・施工能力の不足(古い年代の基礎)
- 構造上のぜい弱性**
 - ・基準の未整備・不足
 - ・設計・施工ミス
- ...

13

基礎の特徴と留意点

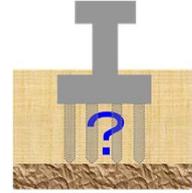
上部構造等と比較して、大きく異なる点として、

1. 自然の一部である地盤とともに機能

- 1-① 地盤の安定が機能に大きく影響(斜面、軟弱層、液化化)
 - ↑設置位置が悪ければ、地盤変状に伴い機能不全に
- 1-② 調査による地盤の性質把握が不可欠
 - ↑調査不足が、性能の不足に直結

2. 地中に存在

- 2-① 施工時の品質管理が困難
 - ↑プロセス管理、記録などによる補完が必要
- 2-② 供用中の状態把握が困難
 - ↑見える部材よりも強くするなどの配慮が必要



14

なぜ、基礎の施工・設計法の変遷を学ぶのか？

- 基礎は「支持層までどのように掘削し、基礎本体を構築するか?」「従来よりも深く掘削・構築できないか?」という**施工技術を根幹**として技術開発が進展。
- また、騒音・振動問題、地震被害、洗掘被害への対応から、**施工技術・設計技術が改善**。
- 既設橋の維持管理に際して、その成り立ち、すなわち**設計法・施工法の変遷を理解しておくことが重要**。
- また、現在の**基準・技術に基づき設計・施工を行う場合にも、技術成立の背景や基準の根拠、不具合の要因等**を理解することにより、より適切な設計・施工が行える。

15

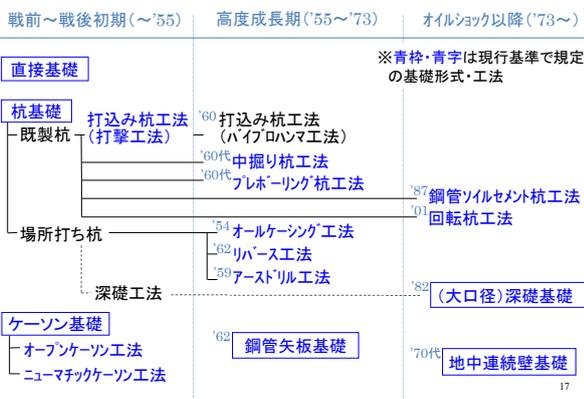
I. 基礎の役割と特徴

II. 基礎形式の分類と選定の推移

- III. 基礎全般・直接基礎の設計
- IV. 杭基礎の施工と設計
- V. ケーソン基礎の施工と設計
- VI. 鋼管矢板基礎の施工と設計
- VII. 深礎基礎の施工と設計
- VIII.最後に

16

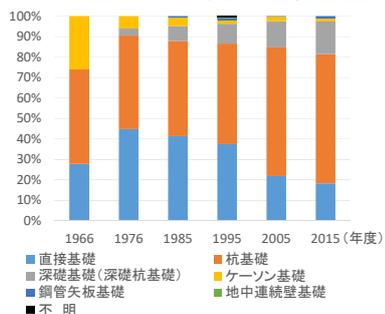
基礎形式・工法の変遷



17

基礎形式選定割合の推移 (基礎形式選定調査より)

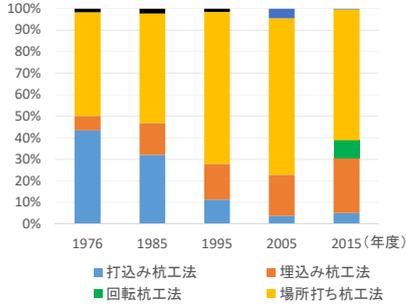
- 杭基礎・深礎基礎は増加、直接基礎・ケーソン基礎は減少傾向。
- 長大化等に伴う設計荷重の増加が直接基礎減少に影響?



18

杭工法選定割合の推移 (基礎形式選定調査より)

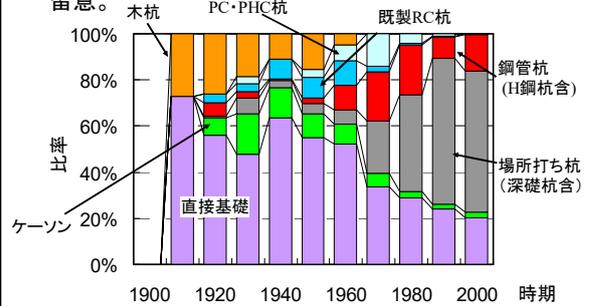
- 騒音・振動規制により打込み杭工法(打撃工法)が減少、場所打ち杭工法・埋込み杭工法が増加。
- 近年では回転杭工法が増加。



19

基礎形式選定割合の推移 (戦前~2000年代初頭)

- 戦前では直接基礎のほか木杭・ケーソンが多い。
- 木杭・H鋼杭・既製RC杭が既設基礎で存在することに留意。



※MICHIデータより作成。一部データに誤りがあることに注意。

20

基礎工法の変遷 [国総研資料 表-2.1]

時期	主要トピックス	特徴	既設基礎・その他の基礎	基準 (適用期)
1946年			23 ユニークラック工法の適用 (注1)	
1950年代	10 基礎設計の標準化 11 基礎設計の標準化 (注2)	24 RC杭の普及 25 鋼管杭の普及 26 鋼管杭の普及 (注3)	24 鋼管杭の普及 (注4)	
1960年代	12 鋼管杭の普及 (注5)	27 PC・PHC杭の普及 28 PC・PHC杭の普及 (注6)	27 PC・PHC杭の普及 (注7)	
1970年代	13 鋼管杭の普及 (注8)	29 鋼管杭の普及 (注9)	29 鋼管杭の普及 (注10)	
1980年代	14 鋼管杭の普及 (注11)	30 鋼管杭の普及 (注12)	30 鋼管杭の普及 (注13)	
1990年代	15 鋼管杭の普及 (注14)	31 鋼管杭の普及 (注15)	31 鋼管杭の普及 (注16)	
2000年代	16 鋼管杭の普及 (注17)	32 鋼管杭の普及 (注18)	32 鋼管杭の普及 (注19)	
2010年代	17 鋼管杭の普及 (注20)	33 鋼管杭の普及 (注21)	33 鋼管杭の普及 (注22)	

21

- I. 基礎の役割と特徴
- II. 基礎形式の分類と選定の推移
- III. 基礎全般・直接基礎の設計
- IV. 杭基礎の施工と設計
- V. ケーソン基礎の施工と設計
- VI. 鋼管矢板基礎の施工と設計
- VII. 深礎基礎の施工と設計
- VIII.最後に

22

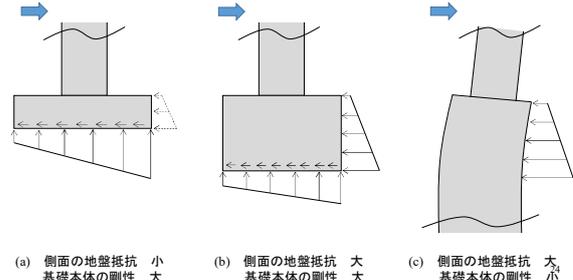
基準変遷の概要

- 1886年(明治19) 内務省訓令第13号「道路築造標準」
 - 我が国における初めての道路構造基準。
 - 設計荷重が規定、許容応力度や構造細目はなし。
- 1926年(大正15) 道路構造に関する細則案(内務省)
 - 関東地震を受けて震度法が導入。
- 1939年(昭和14) 鋼道路橋設計・製作示方書
 - 道路橋単体としての初めての基準。
 - 地震の影響の標準値: 水平加速度0.2g、鉛直加速度0.1g
- 1964年(昭和39) 道路橋下部構造設計指針: くい基礎の設計篇
 - 基礎に関する初めての基準。以降、指針が順次制定。
 - 制定以前は技術者の考えに基づき基礎が設計・施工。
- 1980年(昭和55) 道路橋示方書IV下部構造編
 - 以降は道路橋示方書として基準が改定。

23

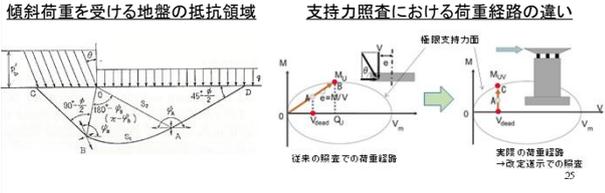
基礎の設計法の区分

- 基礎の安定に影響する地盤抵抗要素とその範囲は、基礎本体の形状と地盤との相対剛性により変化。
- $L_e/B \leq 1/2$ の場合は(a)直接基礎、 $1/2$ を超える場合は柱状体基礎として設計。



安定に関する設計(直接基礎:支持力)

- 1968年指針:荷重の偏心・傾斜を考慮した支持力推定式
↑地震の影響が支配的となるわが国の設計条件に適合
- 2001年道示改定:寸法効果を考慮した補正係数の導入
- 2017年道示改定: $V \cdot H \cdot M$ の連成効果を考慮した照査式の導入
↑実際の荷重経路と整合



安定に関する設計(直接基礎:その他)

- [沈下の抑制]
- 1990年道示改定:常時の過大な沈下を防ぐため、(支持力照査に加えて)地盤反力度の上限値が設定。
 - 2017年道示改定:変位の制限の照査として規定。
- [転倒・滑動照査]
- 1968年指針で定められ、以降最新基準まで同様の照査。
- [フーチング剛体判定]
- 支持力照査式等の適用は、フーチングが剛体とみなせることが前提。
- 1980年道示:剛体とみなせる厚さを有することを原則とし、平均厚さが長辺の1/5程度以上というみなしを提示。
- 1990年道示改定:剛体判定式が提示。

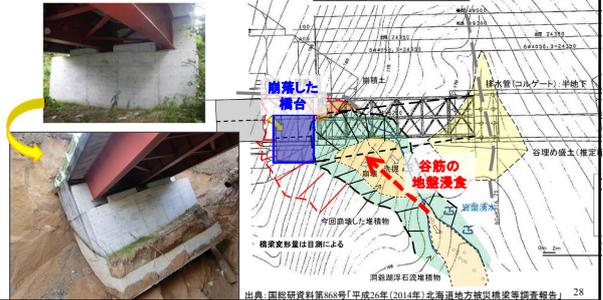
支持層の選定(基礎全般)

- 支持層の選定は、基礎の計画・設計で最も重要な事項。
- 1966年指針:良質な支持層の目安としてN値25~30。
現在の目安(粘性土層でN値20程度以上、砂層・砂れき層で30程度以上)と類似。
- 1990年道示改定:一般に沖積世の新しい表層では支持させないと解説。
- 2017年道示改定:長期的に安定して存在する地層(施工時の乱れ含む)を支持層として選定することが規定。



(参考)地盤の浸食により橋が崩落した例

- 架設から16年後に斜面上の橋台(直接基礎)が突然崩落。
 - 長期にわたる谷筋からの基礎地盤の浸食が原因。
- ⇒点検時には橋本体だけでなく、**下方地盤の浸食・洗掘**に注意。
(特に直接基礎。)



耐震設計(基礎全般)

- 1971年道路橋耐震設計指針が制定(同解説は1972年):
液状化設計法、修正震度法の導入。
 - 1980年道示V編が制定:液状化程度に応じた土質定数の低減手法の提示。
- ↑軟弱地盤上に都市が建設・拡張されたわが国に不可欠。

昭和大桥の被害(1964年新潟地震)

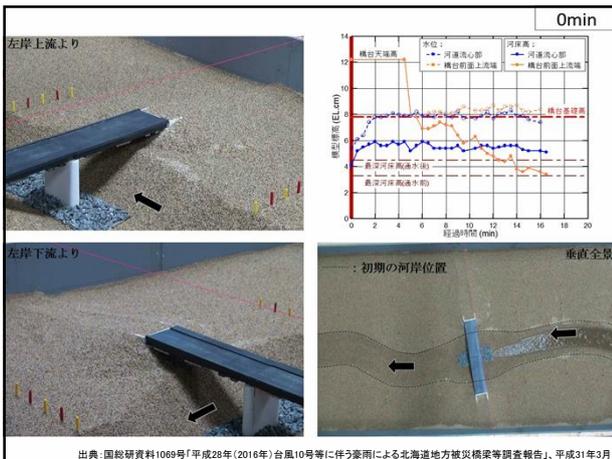


耐震設計(基礎全般)

- 1995年兵庫県南部地震では、基礎の被害は比較的軽微。ただし、液状化・流動化により一部で大きな被害。
- 1996年道示V編改定:基礎に対するL2地震時の照査、地盤の流動化に対する橋脚基礎の照査が導入。(2001年改定で流動化に対する橋台基礎照査が追加。)

杭基礎の被災度(1995年兵庫県南部地震)

路線名	被災度				
	a	b	c	d	計
阪神高速道路3号神戸線	0(0%)	0(0%)	17(16%)	92(84%)	109(100%)
阪神高速道路5号湾岸線	0(0%)	17(11%)	57(37%)	79(52%)	153(100%)
一般国道2号浜手バイパス	0(0%)	0(0%)	10(50%)	10(50%)	20(100%)
名神高速道路中国自動車道	0(0%)	0(0%)	0(0%)	21(100%)	21(100%)



- I. 基礎の役割と特徴
 - II. 基礎形式の分類と選定の推移
 - III. 基礎全般・直接基礎の設計
 - IV. 杭基礎の施工と設計
 - IV-1 杭基礎の施工
 - IV-2 杭基礎の設計
 - V. ケーソン基礎の施工と設計
 - VI. 鋼管矢板基礎の施工と設計
 - VII. 深礎基礎の施工と設計
 - VIII.最後に
- 38

木杭、既製コンクリート杭

[木杭]

- 木杭を用いた打撃工法が、戦前から戦後しばらくの間は主流。しかし、国土保全等の観点から1955年「木材資源利用合理化方策」が閣議決定され、以降は終息。
- ただし、1960年代までは一定程度用いられていた。

[既製コンクリート杭]

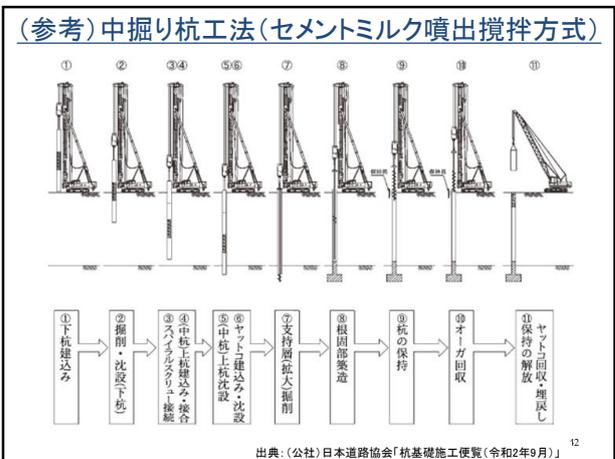
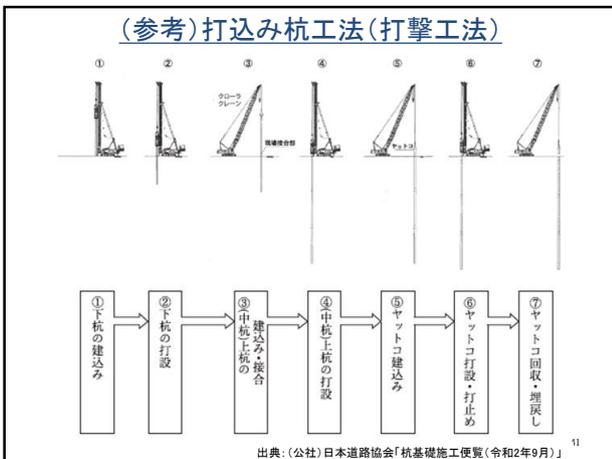
- 木杭に代わり、1934年製造開始のRC杭の利用が拡大。1950年代のディーゼルハンマ導入やJIS規格化も影響。
- RC杭は運搬時等にひび割れるため、プレストレスを導入したPC杭が1962年に開発され、その後利用が拡大。
- ただし、PC杭においてもひび割れが生じたため、高強度コンクリートを用いたPHC杭が1970年に、また外殻に鋼管を用いたSC杭が1972年に開発。
- 現在、PHC杭、SC杭が基準に規定。

39

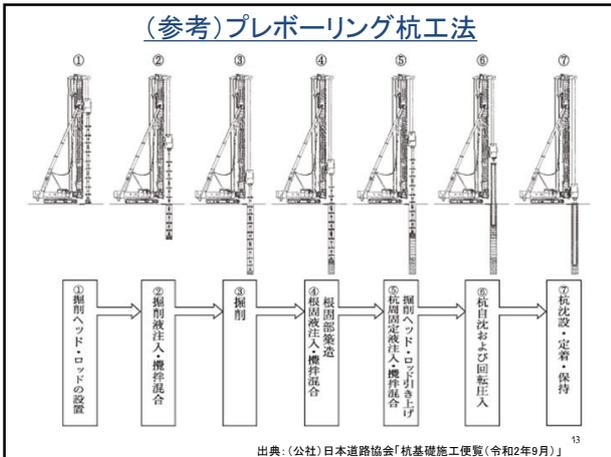
既製コンクリート杭(施工法)

- 既製コンクリート杭は当初打撃工法(ディーゼルハンマ)により施工されていたが、1960年代から公害が次第に社会問題化し、杭の打撃作業についても1968年の騒音規制法制定や1976年の振動規制法制定などに伴い規制。
- このため、ディーゼルハンマと比べて低騒音で油煙の飛散がない油圧ハンマが1980年代に実用化(現在では油圧ハンマが主流)。ただし、騒音・振動による影響は依然として残ることから、都市部での適用は困難に。
- このため、低騒音・低振動で施工できる埋込み杭工法が開発・普及。杭体の内空を利用して掘削・沈設する中掘り杭工法や、掘削孔内に杭体を沈設するプレボーリング杭工法が1960年代以降に開発・適用された。
- 現在、打込み杭打撃工法、中掘り杭工法、プレボーリング杭工法が基準に規定。

40



(参考)プレボーリング杭工法

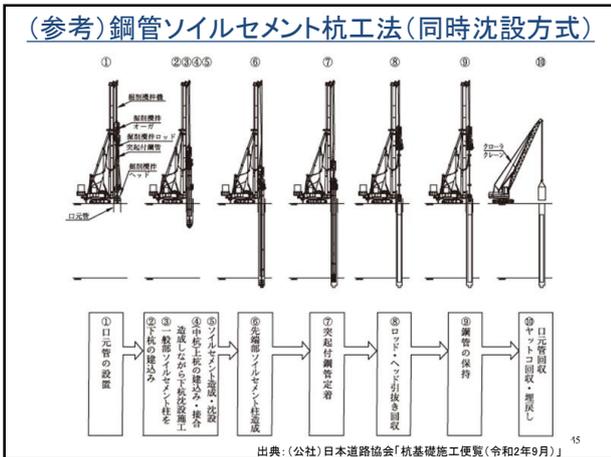


鋼杭

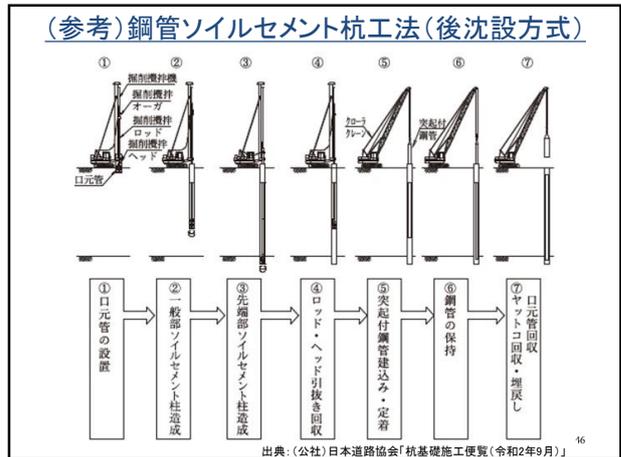
- 古くはH形鋼杭が用いられていたが、断面抵抗の有利性や先端閉塞による支持力効果から、鋼管杭が通常適用。
- 鋼管杭の基礎への適用は1954年が最初であり、当初は打込み杭の打撃工法が主体。
- その後、騒音・振動規制への対応から中掘り杭工法が開発・適用。打込み杭工法の一つであるパイロハンマ工法も、低騒音・低振動型の工法として同時期に実用化。
- 1987年には、高い支持力のほか排土量が削減できる埋込み杭工法として鋼管ソイルセメント杭工法が実用化。
- 2000年代に入ると、低騒音・低振動を実現しつつ排土処分が不要となる回転杭工法が実用化。
- 現在、打込み杭打撃工法、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法が基準に規定。

44

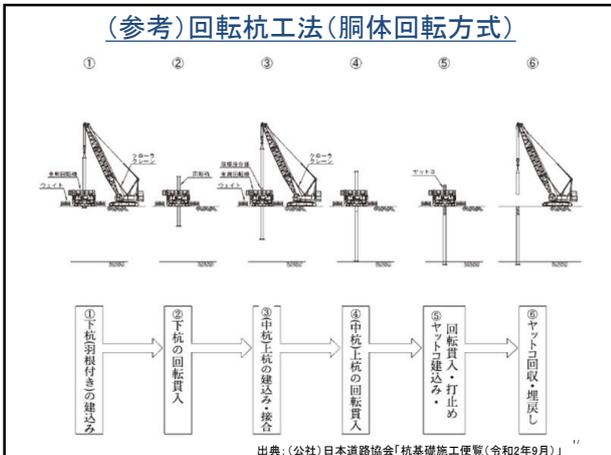
(参考)鋼管ソイルセメント杭工法(同時沈設方式)



(参考)鋼管ソイルセメント杭工法(後沈設方式)



(参考)回転杭工法(胴体回転方式)



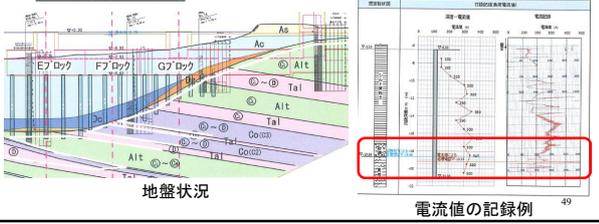
支持層到達管理(既製杭)

- 杭の施工では、支持層への到達管理が最も重要な施工管理項目。
 - ✓ 打撃工法: 打撃時の貫入量やリバウンド量で管理。
 - 現実には貫入量・リバウンド量での管理は困難な面があり、新たな管理方法について協会で検討中。
 - ✓ 中掘り杭工法: 従来行われていた電流値による支持層到達管理では客観的な確認が困難。一部で不具合事例が生じていたことから、積分電流値等による管理方法が開発され標準化。
 - ✓ プレボーリング杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法: 積分電流値等による方法が標準化。

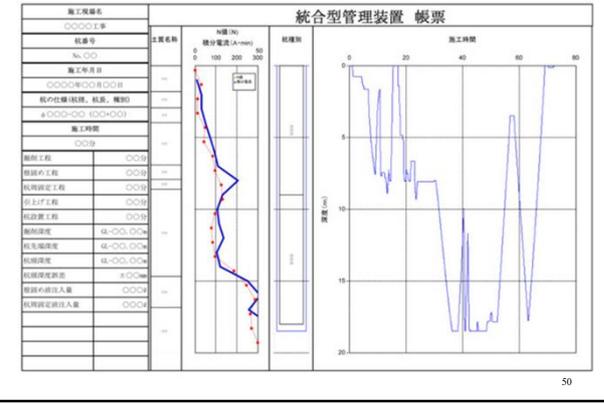
48

(参考) 施工中に杭の沈下が生じた事例

- 先端岩・中掘り杭を用いた河川構造物で、9cm以上の沈下が発生。
- ⇒ **設計上の問題**: 場所打ち杭・良質な砂れきでの支持力を設計で見込んでいたが、**試験ではより小さな値**しか得られず。
- ⇒ **施工上の問題**: 支持層到達は電流値(回転トルク)で管理していたが、適切な指標となっていたか不明。**積分電流値**(回転トルク×時間)で管理すべき。また、支持層到達後の掘削深度の記録がなく、出来形が不明。

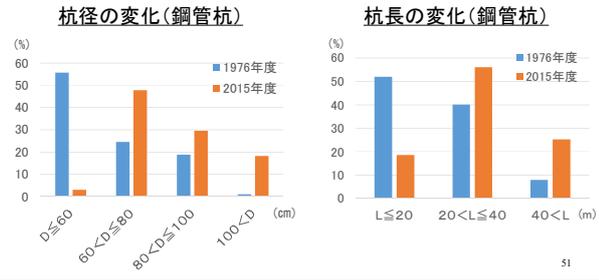


(参考) 支持層到達管理データの例(中掘り杭工法)



杭径、杭本数の変化(既製杭)

- 既製杭工法の開発が進むとともに施工機械の改良による能力向上により、杭の大口径化・長尺化が進展。
- より深い地層への支持が可能となり、また**杭一本当たりの支持力が増加し、施工が合理化**。

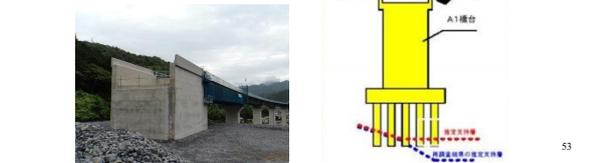


場所打ち杭

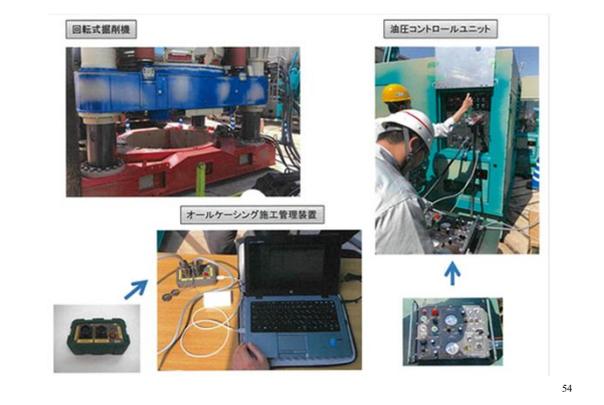
- ペDESTAL工法が戦前から戦後しばらくの間主流。しかし、騒音・振動の問題から利用が困難に。
- このため、低騒音・低振動で施工可能な3つの工法が導入。(孔壁保護の方法が場所打ち杭工法のポイント。)
 - ✓ **オールケーシング工法**: 1954年導入。ケーシングチューブにより孔壁保護。
 - ✓ **アースドリル工法**: 1959年導入。安定液により孔壁保護
 - ✓ **リバーサーキュレーション工法(リバーサー工法)**: 1962年導入。スタンドパイプ・孔内水により孔壁保護。
- オールケーシング工法では、1982年に**回転式の掘削機**が開発。従来の揺動式より施工可能な条件が広がる。
- 現在もこの3工法が基準に規定。道路橋での実績はオールケーシング工法が最多(H26年で97.6%)。

支持層到達管理(場所打ち杭)

- 場所打ち杭工法は掘削土を直接目視で確認できるため、一般的な条件では支持層への到達確認は比較的容易。
- しかし、支持層とその上方にある中間層の土質が類似する場合には、目視での支持層到達確認が困難。一部で不具合が発生。
- このような条件においても確実に支持層に到達させるため、場所打ち杭の**支持層到達管理装置**が近年開発され、導入が進む。



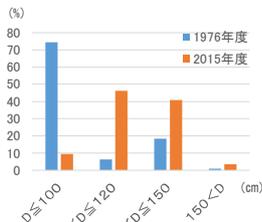
(参考) 場所打ち杭施工管理装置の概要



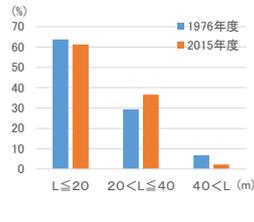
杭径、杭本数の変化(場所打ち杭)

- 場所打ち杭工法においても施工機械の能力向上により大口径化が進展し、杭一本当たりの支持力が増加。
- 一方、杭長は20~40mが増える一方、40m以上のものは減少。(既製杭工法の開発が影響?)

杭径の変化(場所打ち杭)



杭長の変化(場所打ち杭)



55

- I. 基礎の役割と特徴
- II. 基礎形式の分類と選定の推移
- III. 基礎全般・直接基礎の設計
- IV. 杭基礎の施工と設計
 - IV-1 杭基礎の施工
 - IV-2 杭基礎の設計
- V. ケーソン基礎の施工と設計
- VI. 鋼管矢板基礎の施工と設計
- VII. 深礎基礎の施工と設計
- VIII.最後に

56

基準の変遷(杭工法、杭種)

- 1964年: 指針くい基礎の設計篇の制定
→既製杭(木杭、RC杭、鋼杭)の打込み杭工法に関する内容が中心。
- 1973年: 指針場所打ちくい基礎の設計施工篇の制定
- 1976年: 指針くい基礎の設計篇の改定
→PC杭が新たに規定。木杭が削除。
- 1980年: 道示IV編の制定
→中掘り杭工法が新たに規定。
- 1990年道示IV編の改定
→PHC杭が新たに規定、H鋼杭が削除。
- 1996年道示IV編の改定
→PC杭が削除。

57

基準の変遷(杭工法、杭種) (つづき)

- 2001年: 道示IV編の改定
→プレボーリング杭工法、打込み杭のパイロハンマ工法、鋼管ソイルセメント杭工法が新たに規定。SC杭が規定。
- 2012年: 道示IV編の改定
→回転杭工法が新たに規定。RC杭が削除。
- 2017年: 道示IV編の改定

58

適用範囲、支持形式

- 杭基礎は、ケーソン基礎等と比べて**曲げ剛性が低く設計上弾性体として取り扱えること**が設計法の前提。
- また、**フーチングとの接合により一体に扱えること**が前提。
→1976年改定の指針設計篇では「**くいの頭部を連結することにより一体とし、くい軸直角方向に対しておもに曲げ変形で抵抗する基礎構造**」と定義。

59

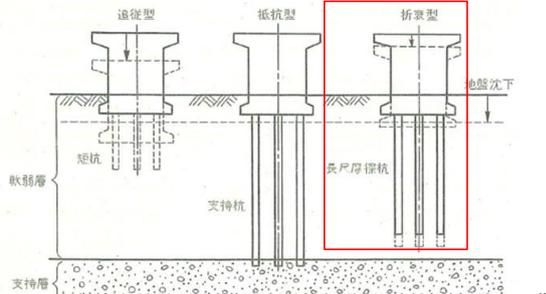
支持形式

- 支持杭を原則としつつ、支持杭が困難な場合に摩擦杭とすることは1964年の指針制定から最新の基準まで同じ。
- 支持層の定義(目安)に関しては、指針の時代から最新の基準まで大きな違いはないものの、液状化に対する設計法が未確立であったことや施工機械の能力の限界から、1960年代以前では中間層で打ち止める杭基礎が存在。

60

(参考)不完全支持杭とは？

- 軟弱層が厚く堆積し、かつ層厚が変化する地盤条件で、沈下が生じない支持構造と沈下が生じる盛土等との間に設置。東海道新幹線等で採用。



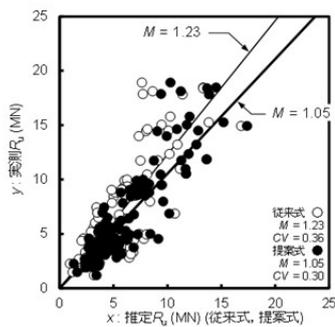
出典：池田俊雄「地盤と構造物 地質・土質と鉄道土木 失敗と成功の軌跡」 51

鉛直支持力

- 1976年指針改定：我が国における数多くの載荷試験結果に基づく実務的な鉛直支持力推定式が提示。
→杭工法・地盤条件の違いにより杭周りの地盤状態や杭との相互作用の度合いが大きく異なり、理論式による推定が困難であることが、**載荷試験に基づく経験的な支持力推定式が提案され標準化された**主な要因。
- 1990年道示IV編改定：載荷試験結果の信頼性解析に基づき同等の安全性レベルとなる支持力推定式が提示。
- 2017年道示IV編改定：従来安全側に設定されていた推定値が平均的な値となるよう支持力推定式を見直し。
→安全余裕度は特性値ではなく部分係数で考慮。

62

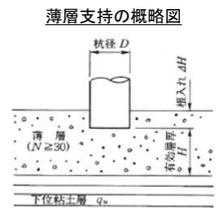
(参考)鉛直載荷試験結果と支持力推定式の比較例 (中掘り杭工法セメントミルク噴出攪拌方式)



63

薄層支持

- 杭基礎の場合、一定の周面摩擦抵抗を期待できることや、基礎の先端位置が平面的に分散していることから、先端地盤に発生する反力度が小さく、支持層厚さに限りがある薄層の条件で支持させることが可能。
- 粘性土層・砂れき層の互層が厚く堆積する条件での設計・施工のため、薄層支持の場合の支持力推定式を開発。
- 現在、場所打ち杭工法、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法(セメントミルク噴出攪拌方式)の推定式が便覧に掲載。



出典：(公社)日本道路協会「杭基礎設計便覧(令和2年9月)」

水平抵抗力

- 従来より**杭頭の水平変位を指標として、水平抵抗が弾性範囲内**にあることを照査。
- 1976年指針改定：基準変位(常時10mm、地震時15mm目安)。
- 1990年道示IV編改定：杭の水平載荷試験データの分析結果から許容水平変位を杭径1%と15mmの大きい値に。
- 2012年道示IV編改定：杭体応力等に余裕のある場合、水平変位の制限値を3.5%まで緩和。
- 2017年道示IV編改定：杭体が降伏しない水平載荷試験データから水平力に対する地盤の降伏点を定め、部分係数を乗じた値を制限値として照査する手法が導入。
→水平力に対する地盤の抵抗と杭体の抵抗を切り分け。

65

側方移動

- 橋台等が軟弱地盤上に設置される場合、背面盛土等の重量により軟弱層が流動して杭基礎に作用し、側方移動が生じて支承の損傷、桁との衝突等が生じる例が。
- 1976年指針改定：円弧すべりの計算に基づく側方移動の判定と対策の考え方が提示。
- 1990年道示IV編改定：事例分析の結果等に基づき、側方移動判定値(I値)の計算式が新たに提示。

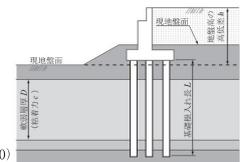
$$I = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \frac{\gamma h}{c}$$

I：側方移動判定値

μ_1 ：軟弱層厚に関する補正係数で、 $\mu_1 = D/L$

μ_2 ：基礎の抵抗幅に関する補正係数で、 $\mu_2 = b/B$

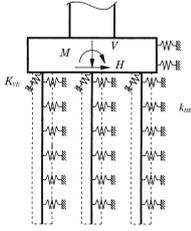
μ_3 ：橋台の長さに関する補正係数で、 $\mu_3 = D/A (\leq 3.0)$



出典：(公社)日本道路協会「道路橋示方書・同解説IV下部構造編」

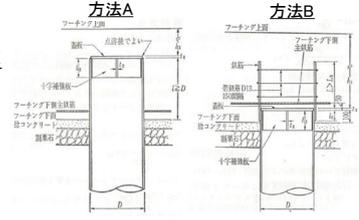
設計計算モデル

- 1976年指針改定: 変位法が原則とされ、以降、変位法が標準に。
↑水平荷重により生じる変位や断面力を精度よく算出でき、地震国であるわが国の条件に対応した設計法。
- フーチングが計算上剛体とみなせることが前提。
- 1996年道示IV編改定: L2地震時にはラーメン構造としてモデル化して設計計算を行うことに。
↑L2時の大変形に対して非線形性を考慮。コンピュータ発達に伴い導入。
- 2017年道示IV編改定: 設計状況(荷重条件)にかかわらずラーメンモデルとすることが標準に。



杭とフーチングの接合部

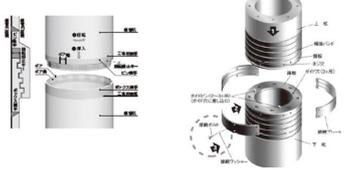
- 指針制定前、木杭基礎では杭とフーチングは結合されておらず、一種の地盤改良材とみなして設計。
- 1972年建設省通達にて、杭頭接合部は剛結が原則となり、方法A・方法Bが提示。
↑経済性、安全性の観点。
- 1990年、1996年道示IV編改定: 接合構造等の改良。
- 2012年道示IV編改定: L2対応に伴うフーチング下面鉄筋の増加により採用が困難となった方法Aが削除。鋼管杭外周の溶接による補強鉄筋の禁止。高強度鉄筋の適用。



杭相互の継手

- 1964年指針: 杭体曲げ耐力(全強)の75%以上の強度を有することが原則。
↑木杭も含めて様々な継手方法が用いられる中で、当時は全強を有する継手構造とすることが困難であった?
- 1990年道示IV編改定: 溶接継手等の導入により継手の強度や品質が向上したことを受け、全強を有することとされた。

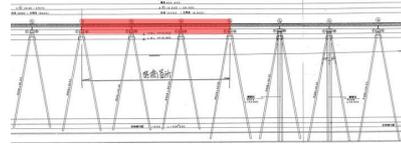
機械式継手の例



出典: (公社)日本道路協会「杭基礎施工便覧(令和2年9月)」

(参考)東北地方太平洋沖地震での被災例

- 1968年竣工パイルベント橋の一部区間が地震時に崩落。



出典: 国総研資料第814号「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告」

レベル2地震動を考慮した設計

- 1995年兵庫県南部地震: 一部の杭基礎で被害。
- 1996年道示IV編改定: L2地震動に対して杭体・地盤抵抗の塑性化を許容する設計法が導入。
 - ✓杭基礎全体系で照査し、原則として降伏以内。
 - ✓液状化等の場合は応答塑性率・変位の制限値以下。
 - ✓PHC杭のスパイラル鉄筋配置の充実(JIS強化杭)、場所打ち杭の帯鉄筋配置の充実。

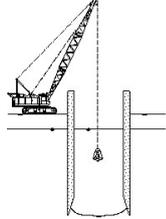
1995年兵庫県南部地震での損傷例 2011年東北地方太平洋沖地震での損傷例



- I. 基礎の役割と特徴
- II. 基礎形式の分類と選定の推移
- III. 基礎全般・直接基礎の設計
- IV. 杭基礎の施工と設計
- V. ケーソン基礎の施工と設計
 - V-1 ケーソン基礎の施工
 - V-2 ケーソン基礎の設計
- VI. 鋼管矢板基礎の施工と設計
- VII. 深礎基礎の施工と設計
- VIII.最後に

オープンケーソン工法

- 円筒状の鉄筋コンクリート函体(基礎本体)を掘削しながら沈設する工法。
- バケットなど比較的簡単な設備で施工できるため、戦前から1960年代頃までは比較的多く採用。
- ただし、バケットではケーソン内空側の地盤のみを掘削するため、一般に深い深度での施工は困難。



73

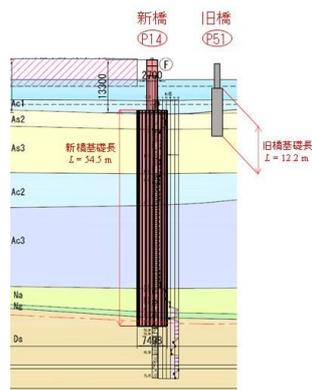
(参考)東北地方太平洋沖地震での被災例

- 1960年完成のオープンケーソン基礎で支持された橋脚が2011年東北地方太平洋沖地震の後に損傷。
- 深度10~15m程度の沖積砂層に支持された基礎が液状化により沈下し損傷したものと推定。



(参考)損傷した橋梁の架替

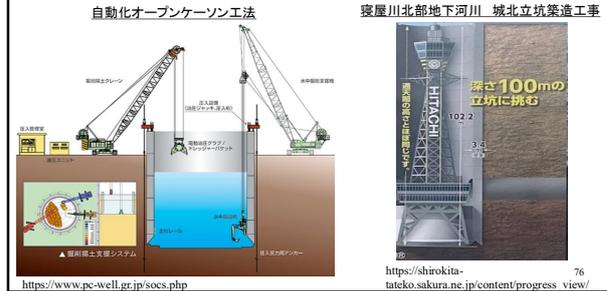
- 架替中の新橋と沈下・損傷が生じた旧橋では基礎の先端深度が大きく変化。
- 下方のDs層に支持された近接橋は地震後も健全。
↑基礎の施工技術が構造物の性能に影響?



※関東地方整備局提供資料より作成

オープンケーソン工法 ~近年の技術開発~

- 刃先を掘削する水中掘削機の適用や圧入の併用等により大深度での施工が可能に。
- 平面寸法が小さく狭隘空間での施工が可能のため、都市部の狭隘な条件で適用。→海老江JCT

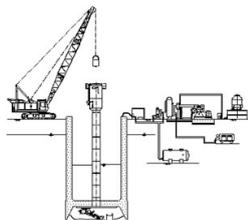


<https://www.pc-well.gr.jp/socs.php>

https://shirokita-tateko.sakura.ne.jp/content/progress_view/

ニューマチックケーソン工法

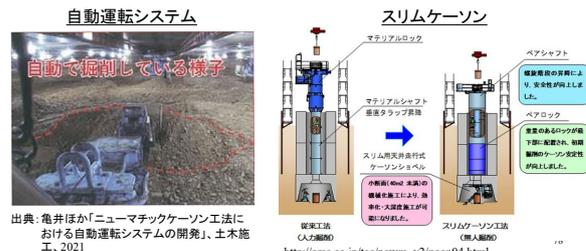
- 基礎本体の下部に作業室を設けて圧縮空気を送り、浸水や土砂流入を防ぎながら掘削・沈設する工法。
- フランスで開発され、国内の道路橋では1923年関東地震の復興事業で整備された永代橋で初めて適用。
- 減圧症等の高気圧障害が課題であったが、安全管理規則の整備、機械化・無人化技術の開発等により対応。



77

ニューマチックケーソン工法 ~近年の技術開発~

- 天井走行型掘削ショベル、遠隔操作システムの開発等による掘削作業の機械化・無人化により、施工の大深度化、施工能率の向上。現在、自動運転システム等が開発中。
- 平面寸法を縮小した設備の開発により、都市部の狭隘な条件での施工も可能に。



出典: 亀井ほか「ニューマチックケーソン工法における自動運転システムの開発」、土木施工、2021

http://orsc.co.jp/tec/newm_v2/ncon04.html

- I. 基礎の役割と特徴
- II. 基礎形式の分類と選定の推移
- III. 基礎全般・直接基礎の設計
- IV. 杭基礎の施工と設計
- V. **ケーソン基礎の施工と設計**
 - V-1 ケーソン基礎の施工
 - V-2 **ケーソン基礎の設計**
- VI. 鋼管矢板基礎の施工と設計
- VII. 深礎基礎の施工と設計
- VIII. 最後に

基準の変遷

- 1970年: 道路橋下部構造設計指針ケーソン基礎の設計篇の制定
↑指針制定以前は個別に設計。安全性に問題のあるものも。
- 1977年: 指針ケーソン基礎の施工篇の制定
- 1980年: 道示IV編の制定
→以降、道示が改定。

(参考) 東北地方太平洋沖地震での被災例

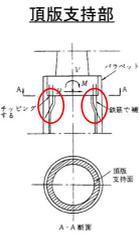
- 1954年完成のケーソン基礎頂版がずれ、橋脚が傾斜。
↑頂版を支持する十分な構造がなかったものと推定。

ケーソン基礎頂版部の損傷による橋脚の傾斜



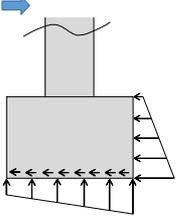
折れ曲がり
橋脚の傾斜
頂版部のズレ

頂版支持部



適用範囲

- ケーソン基礎は、直接基礎と比べて **側面の地盤抵抗が期待**でき、杭基礎と比べて地盤との相対剛性が高い。
→当初は側面抵抗を期待する剛体基礎として設計。
- 1970年指針: $L_e < 1/2 \cdot B$ の場合、直接基礎として設計。また、剛体として扱うため $\beta \cdot L_e \leq 2$ を適用の目安。
- 1996年道示IV編改定: 大深度のケーソンが増えたこと、L2地震動設計の大きな水平力に対して基礎本体の剛性を適切に考慮する必要が生じたことから、設計上全て弾性体として取り扱うこととし、 $\beta \cdot L_e$ の目安も0.5から3.5程度までに見直し。



鉛直支持力

- 1970年指針から最新基準まで、鉛直荷重に対して基礎底面地盤の鉛直地盤反力のみで抵抗させることを原則。
→掘削にあわせて基礎本体を沈設させるため、**施工時に周面地盤を乱す**ことなどから、死荷重など**長期に作用する鉛直荷重に対しては、信頼性の高い基礎底面の地盤反力で抵抗**させることを考慮。
- 2012年道示IV編改定: 岩盤支持層の場合の最大地盤反力度の上限値が深礎基礎と同様に提示。
- 1990年道示IV編改定: 過大な沈下防止のため、常時の地盤反力度の上限値が提示。2017年改定で基礎の変位の制限の照査とされ、耐荷性能の照査とは別扱いに。

鉛直支持力 (つづき)

- 2012年道示IV編改定: 粘性土層の圧密による基礎の沈下を防ぐため、基礎底面からの作用による**圧密降伏の判定式**が提示。

施工時に沈下が生じた橋梁(ケーソン基礎)



水平抵抗力

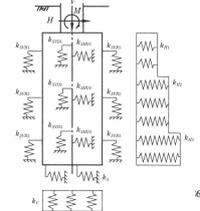
- 1970年指針: ①基礎前面の最大地盤反力度が地盤の許容水平支持力度以下、②基礎底面のせん断地盤反力が基礎底面の許容せん断抵抗力以下、であることを照査。また、ケーソン頂部の変位が許容変位内にあるか検討。
- 1990年道示IV編改定: 下部構造として残留変位を抑制するための許容変位として、基礎幅の1%(最大5.0cm)。
- 1996年道示IV編改定: 基礎前面の許容水平支持力度照査が削除。
- 2017年道示IV編改定: **水平力に対して変位を指標とした照査のみ**を行うことに。

85

設計計算モデル

- 1970年指針: 基礎本体を剛体として扱い、基礎底面の鉛直地盤抵抗・せん断地盤抵抗、基礎前面の水平地盤抵抗を地盤反力係数により考慮する設計計算法が提示。
- 1996年道示IV編改定: 基礎本体を弾性体として扱い、①～⑥の地盤抵抗要素を地盤反力係数により考慮。
- 2017年道示IV編改定: ①を除きバイリニア、L2地震時と同様の地盤抵抗モデルに。

- ①底面の鉛直方向地盤抵抗
- ②底面の水平方向せん断地盤抵抗
- ③前面の水平方向地盤抵抗
- ④側面の水平方向せん断地盤抵抗
- ⑤前面の鉛直方向せん断地盤抵抗
- ⑥側面の鉛直方向せん断地盤抵抗



86

レベル2地震動を考慮した設計

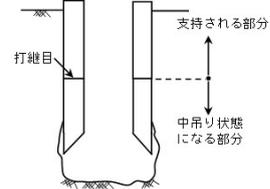
- 1995年兵庫県南部地震では、湾岸部のケーソン基礎においてひび割れが生じる被害が確認。
- 1996年道示IV編改定: L2地震時の照査が導入。
 - ✓ 基礎本体の降伏、地盤抵抗の塑性化又は基礎の浮き上がりから基礎の降伏を定義し、原則として降伏以内。
 - ✓ 液状化等の場合は応答塑性率・変位の制限値以下。
 - ✓ 設計計算モデルでは、基礎本体の曲げ剛性の低下、前面の受働抵抗領域の三次元的な広がり等を考慮。(柱状体基礎共通。)

87

施工時の作用に対する設計

- 1970年指針: 施工中には、基礎底面の地盤抵抗が全面的に得られない状態、基礎本体が中吊りとなる状態など、一時的に完成後よりも本体の応力状態が厳しくなる場合があるため、施工時に不利となる状態に対して部材応力度の照査を行うことが規定。最新の基準まで同様。

施工時の基礎本体中吊り状態



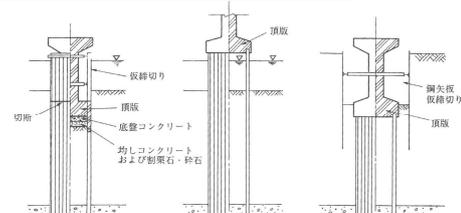
88

- I. 基礎の役割と特徴
- II. 基礎形式の分類と選定の推移
- III. 基礎全般・直接基礎の設計
- IV. 杭基礎の施工と設計
- V. ケーソン基礎の施工と設計
- VI. **鋼管矢板基礎の施工と設計**
- VII. 深礎基礎の施工と設計
- VIII. 最後に

89

施工法の変遷

- 鋼管矢板基礎は、**わが国で開発された基礎工法**。
- 1969年石狩河口橋が橋梁基礎として初。近年ではわが国の輸出技術として海外でも適用(2015年完成のベトナム ニャツタン橋など)。
- 鋼管矢板を継手管で接合して閉鎖形状で設置し、頭部を頂版により剛結。鋼管矢板は打込み工法や中掘り工法で施工。1971年に仮締切兼用方式を開発、水域での適用が有利な工法に。



(a) 仮締切兼用方式 (b) 立上がり方式 (c) 締切方式

90

鋼管矢板の継手、頂版接合部

- 鋼管矢板相互を接合する継手は、標準的にはP-P型継手と呼ばれる継手管を用いて施工時にモルタルを充填。
- 大型基礎の水平変位低減のため2000年代に高耐力継手が開発。
- 矩形の断面形状の場合には隅角部に応力が集中するため、構造上弱部となる継手管部に損傷が生じやすい。
- 頂版と鋼管矢板の接合部は、異形形状のスタッドを鋼管矢板に溶接のちコンクリートを打設するスタッド方式が一般的。

鋼管矢板基礎隅角部継手管部の損傷



91

設計法の変遷

[設計法規定の経緯]

- 1984年：鋼管矢板基礎設計指針が発刊。
- 1990年：道示IV編改定で初めて規定。

[照査項目]

- 支持力推定式は杭基礎に準拠し、施工法に応じて打込み杭工法または中掘り杭工法の式が適用。
- 水平方向の許容変位に関して、1984年指針では4cmを超えないこととしていたが、1990年道示IV編改定で柱状体基礎としての整合からケーソン基礎と同様の値に。

[施工時の作用]

- 仮締切兼用方式では、施工時の水圧による発生応力が基礎完成後も残留。部材設計においてこの残留応力を考慮して設計を行うことが1984年指針から提示。

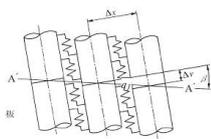
92

設計法の変遷 (つづき)

[設計計算モデル]

- 1984年指針： $\beta \cdot L_e$ が1~3程度であることを踏まえて有限長の弾性体として設計。
- 継手のずれ変形により杭基礎とケーソン基礎の中間的な性状を示すため、指針では条件に応じて設計計算モデルを使い分け(仮想井筒ばりモデルなど)。
- 1996年道示IV編改定：
 - ✓ $L_e/B \leq 1$ または $B > 30m$ 、 $\beta \cdot L_e \leq 1$ の条件で仮想井筒ばりモデル。
 - ✓ L2地震時照査の設計計算モデルは、ケーソン基礎や地中連続壁基礎と同じ6種類の地盤抵抗要素を考慮した柱状体基礎統一モデル(ただし、基礎本体は継手のせん断ずれを考慮した仮想井筒ばりモデル)。
- 2017年道示IV編改定：L2地震時照査の設計計算モデルを設計状況(荷重条件)にかかわらず適用。

仮想井筒のせん断変形に伴う継手間のずれ変位



93

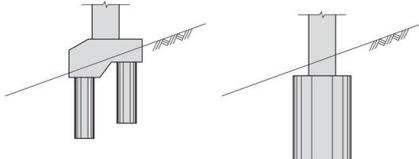
- I. 基礎の役割と特徴
- II. 基礎形式の分類と選定の推移
- III. 基礎全般・直接基礎の設計
- IV. 杭基礎の施工と設計
- V. ケーソン基礎の施工と設計
- VI. 鋼管矢板基礎の施工と設計
- VII. 深礎基礎の施工と設計
- VIII. 最後に

94

施工法の変遷

- 孔内を人力等で掘削した後、コンクリートを打設して構築。
↑坑内作業者の安全対策が重要。
- 近年選定割合が増加(2015年度で16%)。
- 複数の深礎基礎本体をフーチングに剛結する組杭深礎基礎と、一本の深礎基礎本体からなる柱状体深礎基礎の2種類。
- 国内では1934年の木田式深礎工法の開発が最初。
- 孔内に作業員が入るため湧水が少ないことが適用条件。山間部の傾斜地など施工ヤードや搬入路の確保が困難な条件で適用。

組杭深礎基礎 柱状体深礎基礎

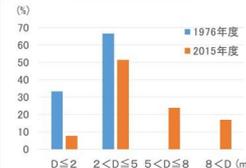


95

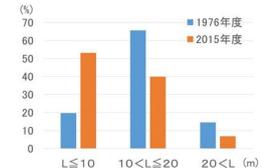
施工法の変遷 (つづき)

- 日本道路公団による設計法の検討と合わせ、施工の機械化、土留構造の開発・改良が順次行われ、大口径化が可能に。
- 1982年双畑橋で初めて大口径(5m超)の柱状体深礎基礎が施工。
- 大口径深礎基礎の土留構造ではNATMの施工技術が準用。
- 掘削に関しても機械工法の適用が進み施工能率が大きく向上。
- 基礎径については約40年の間に大口径化が進み、5m超が約4割。一方、基礎長については短い基礎が増加。

基礎径の変化



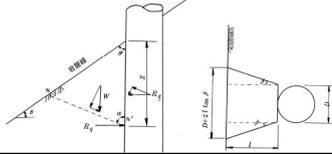
基礎長の変化



設計法の変遷

[設計法規定の経緯]

- 1973年: 下部構造設計指針場所打ちくい基礎の設計施工篇制定
→設計径等が規定。ただし、斜面での設計法や柱状体基礎の設計法は規定されず。(1980年道示IV編等も同様。)
- 1970年代初めからの日本道路公団の研究により、斜面の塑性化を考慮した弾塑性設計法が提案。改良ののち1998年の日本道路公団設計要領改定で設計法が提示。
- 2012年: 道示IV編改定
→斜面上の組杭深礎基礎・柱状体深礎基礎の設計法が規定。



97

設計法の変遷 (つづき)

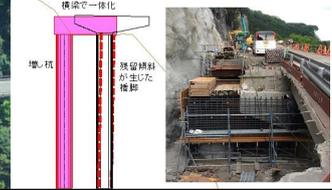
[基礎構造]

- 斜面に下部構造が設置される場合、設置位置や斜面上方からの斜面崩壊、地すべり等の影響により基礎に被害が生じる例あり。
- 2012年道示IV編改定では、斜面の変状の影響が想定される場合には複数列の基礎構造がよいことが提示。
- 2017年道示IV編改定では、斜面崩壊等の影響を受けない位置への下部構造設置を標準とすることが規定。

斜面崩壊による被害(2018年熊本地震)



被災した下部構造の復旧



設計法の変遷 (つづき)

[照査項目]

- 2012年道示IV編改定では、基礎底面の鉛直地盤反力度、基礎底面のせん断地盤反力、水平方向の許容変位について照査。岩盤の場合の底面の最大地盤反力度は亀裂等を考慮した特性値。
- 2017年道示IV編改定では、水平力に対しては変位の照査のみに(ケーソンと同様)。

[その他]

- 設計計算モデルはケーソン基礎モデルを準用。ただし、基礎周囲のせん断地盤抵抗の上限値は、岩盤の特性を考慮。
- L2地震時の照査では、降伏以内に留め塑性化を許容しないことに。
↑岩盤の塑性化後のせん断強度低下や地震時の斜面不安定化など、塑性化後の深礎基礎の挙動に不確実な点が多いため。

99

- I. 基礎の役割と特徴
- II. 基礎形式の分類と選定の推移
- III. 基礎全般・直接基礎の設計
- IV. 杭基礎の施工と設計
- V. ケーソン基礎の施工と設計
- VI. 鋼管矢板基礎の施工と設計
- VII. 深礎基礎の施工と設計

VIII.最後に

100

最後に

- 現場で活躍する技術者のみなさんに伝えたい4つのこと

- (1) 技術基準のとらえ方
- (2) 地質・地盤リスクへの対応
- (3) 隣接する構造との調和
- (4) 技術相談の意義

101

(1) 技術基準のとらえ方

[河川砂防技術基準 設計編]

第1章第7節 堰 7.6.4 基礎

<必須>

基礎は、上部荷重等によって不同沈下を起こさないよう、良質な地盤に安全に荷重を伝達する構造とするものとする。また、水平荷重に対して安定する構造となるよう設計するものとする。

遵守すべき事項

[同 技術資料]

基礎の設計に当たっては、道路橋示方書(IV下部構造編)・同解説(平成24年3月)、杭基礎に当たっては杭基礎設計便覧(平成27年3月)により設計するものとする。…(中略)…その際、堰が河川管理施設であることを踏まえ、堰の安定やゲートの開閉(起伏)に支障が出ないように許容値等を設定する必要がある。

基本的な考え方等

⇒ 大規模・特殊な条件では、基準(枠内)遵守を前提として、**詳細な調査や試験・解析に基づき個別に設計**することも。

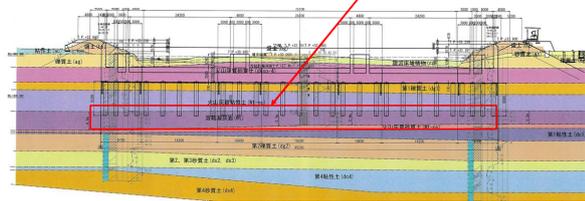
102

(参考)個別に設計を行った例

[当初設計]

- 溶結凝灰岩層への支持杭基礎

(課題)・薄層への根入れ長と支持力評価
・硬岩での杭施工

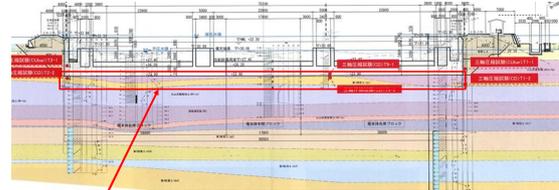


103

(参考)個別に設計を行った例

[調査の追加・解析に基づく設計の見直し]

- 複数の土質試験による力学特性、パラツキの評価
- 下部粘性土層の圧密特性の確認
- FEMによる不同沈下の影響評価
- 施工時の沈下計測方法、段差発生時の対応策の事前整理



⇒ 洪積れき層を支持層とする直接基礎に。
(コスト縮減、施工性向上)

104

(2) 地質・地盤リスクへの対応

■ 計画的・系統的な調査、段階的な対応

[道路橋示方書IV下部構造編・同解説]

2.4 地盤の調査 2.4.1 一般

(1) 地盤の調査は、現地の状況を系統的かつ効率的に知るために、設計の進捗に合わせて計画的に実施しなければならない。

- ✓ ①資料調査、②周辺環境調査、③地盤調査・試験などを、「計画」→「設計」→「施工」(→「維持管理」)と**事業段階の進展に応じて計画的・系統的に実施**。
- ✓ まずは①広域的視点で地形を把握(小地形類・微地形類の配置と工事箇所との位置関係等)、②原地形が有するリスク、工事に伴い誘発されるリスクを予察、③予察に基づき**地盤調査・試験を計画・実施し**、④リスクへの対応方針を決定。
- ✓ **リスクの大きさ・影響度**に応じて、**段階的に対応**を。
(例)活断層、地すべりなどは計画段階で対応方針を決定。⁰⁵

(2) 地質・地盤リスクへの対応

■ 発注者・管理者の役割

- ① 新設
 - ✓ 調査業務を発注し、その成果に基づき判断していくことが基本。
 - ✓ ただし、「事業の各段階、特に**計画段階でどこまで調査するか?**(できるか?)」、「**想定するリスクへの対応をどうするか?**(どの事業段階で判断?リスク回避、低減、保有など対応方針は?)」は、発注者により判断する必要。
 - ✓ 特に大規模な事業や特殊な条件では、**地質・地盤リスクに関する知識を持つことにより、リスクの想定・対応がより適切**に。
- ② 既設
 - ✓ **地質・地盤リスクによる被害を予防するために、管理者が知識を有することは有効**。

106

(参考)新設事業における地質・地盤リスクの例

✓ 凹み(低い部分)はもっと広がりを持つのでは? 「**斉一観**」

✓ (想定より低いと)杭の**支持層未到達、層厚不足**のおそれ。

✓ 工学技術者に求められるもの?
⇒ **地学・地質的情報を工学的視野でリスクに変換!**

(参考)既設構造物における地質・地盤リスクの例



(参考) 土木技術者に必要な素養

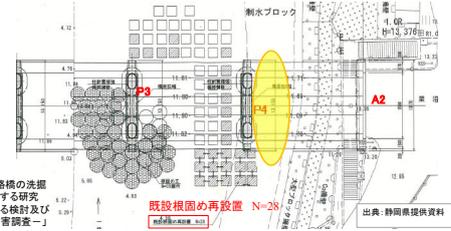
✓ 二杉巖(元国鉄総裁、元土木学会会長)が記した、新幹線整備にかかわる土木技術者に必要な3つの素養

- ① 長期計画
- ② マネジメント
- ③ 地質学

(出典) 二杉巖: 新幹線を知る、土木学会誌、2011.2

(3) 隣接する構造との調和

- 隣接する構造物相互の影響を考慮して調和した計画・設計であるが、性能に大きく影響。



出典: 国鉄研資料第1302号「道路橋の洗掘による被災リスク要因に関する研究—被災事例の統計分析等による検討及び令和3年(2021年)の豪雨災害調査—」

出典: 静岡県提供資料

(参考) 近接する護床工による水流への影響



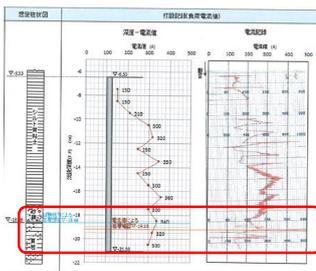
(4) 技術相談の意義

- ✓ 助言による現場が抱える問題の解決
- +
- ✓ 将来起こりうる、同様の問題を防止する意義も!
- 技術の開発・標準化
- 基準類の改定

(参考) 技術開発・標準化や基準類に反映された例

H24.11: 堰の新設工事中に沈下が発生 (杭基礎: 中掘り杭工法)
↑ 杭の施工記録(電流値)からは、支持層への到達状況について事後確認が困難な状況

H25~26: 沈下への対策を検討・実施

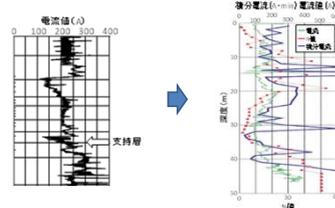


(参考) 技術開発・標準化や基準類に反映された例

H26~: 杭施工関連の民間技術協会との協議
(H27: 横浜市内の分譲マンション傾斜が社会問題に)

H28~29: 民間技術協会の施工管理要領の改訂 (中掘り杭工法)
H29: 道路橋示方書・同解説IV下部構造編の改定

⇒ 支持層到達確認が明確な積分電流値での施工管理を標準化



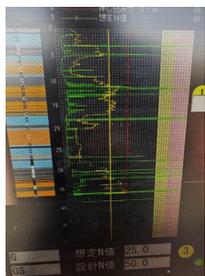
(参考)技術開発・標準化や基準類に反映された例

H29~: 場所打ち杭工法における支持層到達管理装置の開発
(土木研究所、民間技術協会、大学との共同研究)

H30~: 開発した装置の試験施工、実用化

...

R6~: (九州)堰の新設工事での適用



115

参考文献

- ✓ 七澤利明
「道路橋における基礎の施工法と設計法の変遷」、国総研資料 第1174号、2021.10、<https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1174.htm>
- ✓ 国土交通省大臣官房技術調査課ほか
「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」、2020.3、<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001337772.pdf>
- ✓ (一社)全国地質調査業協会連合会
「構造物の安全性・信頼性向上のための調査計画ガイドライン(案) —注意すべき地形・地質に対する調査計画ガイドライン—」、2015.3、<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/zenchi/docs/guideline2015.pdf>
- ✓ 七澤利明ほか
「道路橋の洗掘による被災リスク要因に関する研究 —被災事例の統計分析等による検討及び令和3年(2021年)の豪雨災害調査—」、国総研資料 第1202号、2022.3、<https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1202.htm>

116

ご清聴ありがとうございました。



117