

#### 4. 基礎工法開発の目的と今後の動向

道路橋で適用されてきた基礎形式・工法について、3章に示した内容から開発・改良の目的やねらいをまとめると次のようになる。

##### ①適用範囲の拡大と基礎の性能向上

高度成長期やそれ以降に開発された各種柱状体基礎工法・杭工法のように、平面積あたりの支持力が従来よりも高い工法が開発されてきた。また、従来からの工法であっても、杭打ち機に見られるような施工機械の能力向上や、ニューマチックケーソン工法の無人化施工技術など大深度での施工技術の開発・改良に伴い、施工可能な深度に代表される適用範囲が広がってきた。こうした工法開発・施工能力の向上によって、例えば図-3.20に示したように従来よりも深い支持層への支持が可能となるなど、結果として基礎の性能向上にも寄与してきた。

##### ②施工能率の改善、省力化

施工機械の能力向上により施工能率がアップし、施工時間が短縮される。①に示した施工能力の向上と関連しており、例えば杭打ち機の改良による施工時間の短縮等が挙げられる。また、プレキャスト部材や機械式継手の開発・導入等による現場施工の簡素化も施工能率の改善に寄与しているが、これらに関してはコンクリート工や溶接工など現場の熟練工の減少への対応という目的もある。

##### ③環境負荷の低減

高度成長期以降の公害問題への対応から、騒音・振動に関する環境基準に対応した工法の改良や、埋込み杭工法に代表される低騒音・低振動工法の開発が行われてきた。また、近年では掘削土等の処理が問題となっており、回転杭工法のような無排土の工法が開発・普及してきている。

##### ④災害・不具合への対応

RC杭の施工時のひび割れなど、施工時に生じる不具合への対応として工法・製品等の開発・改良が行われてきた。一方、地震や斜面崩壊等による被害、橋台の側方移動など供用後の被害・損傷に対しては主として設計法の開発・改良による対応が行われてきたが、例えばSC杭の開発など工法・製品側の対応も一部で行われている。

##### ⑤施工上の制約条件への対応

都市部の狭隘地や資材搬入が困難な自然斜面等、施工上の制約条件に対応した工法の開発・改良が行われてきた。回転杭工法や一部の場所打ち杭工法など低空頭で施工可能な杭工法や仮設構台からの施工が可能なダウンザホールハンマ工法、設備を一体化して平面寸法を縮小したニューマチックケーソン工法等が例としてあげられる。また、仮締切兼用方式の鋼管矢板基礎も施工上の制約条件を踏まえて合理化された施工法と言える。

## ⑥作業の安全性の向上

基礎孔内に作業員が入る施工方法の場合、作業員の安全確保が工法改良の重要な観点となる。ニューマチックケーソン工法や深礎基礎においてこうした観点での改善が行われている。

今後も技術開発の目的・ねらいとして①～⑥は残ると考えられる。ただし、①の適用範囲の拡大に関しては、例えば杭基礎であればあまり支持層が深くなっても先端伝達率が小さくなり、周面摩擦力による抵抗や杭体の軸圧縮による影響が支配的となることや、地震時の作用に対する変形能の確保には軸力をある程度押さえておくのが合理的なことなどから、今後は適用範囲の拡大による効果は相対的に小さくなるものと考えられる。

一方で、②の省力化や⑤の制約条件への対応に関しては、今後ますます重視されることが想定される。②に関しては、産業全体における労働力の減少、特に熟練工の減少傾向を踏まえると、今後さらなる省力化を進めていくことは不可欠である。また、3.7に示したように海外では長大橋の海中基礎においてプレキャスト部材の活用による合理化が進んでおり、わが国においても今後の海洋架橋事業等における適用の進展が期待される。

⑤に関しては、首都高速道路の大規模更新事業<sup>89)</sup>に代表される都市部の更新事業が増加しており、厳しい施工条件に対応した技術の開発・改良がますます求められる。ここで、道示IV編に位置づけられていないため3章では示さなかったものの、先行施工した杭頭を足場として施工を行う鋼管の圧入工法は、狭隘な施工空間や水上、斜面上での適用性に優れているため、首都高速道路の大規模更新事業など厳しい制約下にある一部の道路橋基礎で適用されている。載荷試験の実施も進んでおり<sup>90)</sup>、今後基礎としての設計法および対応する施工管理方法を確立して基準に反映していくことが期待される。

また、今後の社会情勢や基準の動向を考慮した場合、上記に加えて次の⑦～⑩が基礎工法開発・改良に際して着目すべき観点としてあげられる。

## ⑦設計の高度化と連動した工法開発

最新の道路橋示方書では性能規定化が深化するとともに信頼性を考慮した部分係数設計法が導入され、特に道示IV編<sup>91)</sup>では、杭基礎の設計法等において地盤調査法・施工法等の違いに応じて異なる部分係数が設定された。このような条件別の信頼性を踏まえた部分係数設計法の導入に伴い、文献91)に示されているように、今後高精度化を目的として技術開発や改良を行うことで、結果として設計の合理化・信頼性の向上につながっていくことが期待される(図-4.1)。

また、設計技術の開発と合わせて施工技術の開発を進めることにより、従来の構造からの合理化が期待できる。3.6に示したように、深礎基礎において施工技術の進展と対応する設計法の開発が行われたことはその一例である。今後の着眼点として、「変位の制御」を軸とした設計法の開発と対応する施工法の開発により、大幅な合理化が期待できると考えられる。3.7に示したリオン・アンティリオン橋やイズミット湾横断橋に適用されたパイルドファウンデーションでは、支持層としての強度等が不十分な浅層を改良してプ

レキャスト基礎を設置するとともに、滑動による免震効果を期待した設計法が導入されており、このような大規模なプロジェクトであれば調査・実験・解析による詳細な検討を行う価値は十分ある。また、小規模な橋梁やカルバートの基礎であれば、ある程度の沈下を許容することも可能である（カルバートの場合は周辺盛土にあわせた沈下を期待した設計も行われている）ため、変位の制御を考慮した設計法の開発による波及効果は大きいものと想定される。

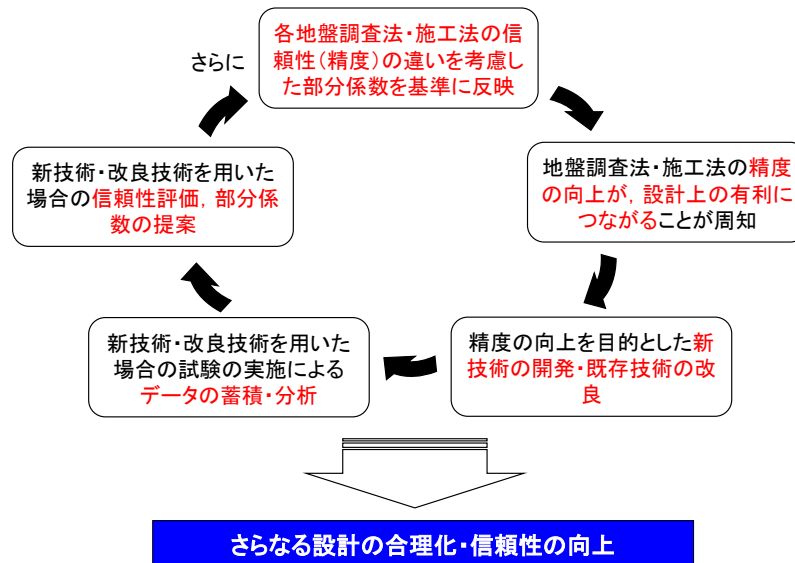


図-4.1 信頼性の違いを考慮した部分係数の設定を軸とする技術開発・精度向上のサイクル<sup>91)</sup>

#### ⑧地質・地盤リスクへの対応

日本列島は火山岩類および堆積岩類がモザイク状に複雑に分布するうえ多くの断層や活火山が存在しており、安定した大陸地塊に位置する欧米と比べて極めて複雑な地質条件にある<sup>92)</sup>。このため地質や地盤に起因するリスクが高く、近年、地質・地盤リスクによる事業の遅延や工費増が問題となっている。文献<sup>93)</sup>によれば、国土交通省の事業再評価に際し、地質・地盤に起因して事業費が約4割増加、道路事業では約5割増加している。これらはトンネル、土工等の工事も含むものであるが、基礎関連でも想定より深い支持層等に起因する不具合が生じている（④とも関連）。また、特に都市部において、記録のない地中埋設物が基礎工事に影響する例もある。

こうしたリスクへの対応として、事前調査を充実させることは勿論であるが、施工時にリスクが残る条件では施工技術により対応していくことが求められる。例えば、掘削土の目視による支持層確認が困難な地盤条件における場所打ち杭の支持層到達管理装置が最近開発されている<sup>45)</sup>。

#### ⑨基礎の維持管理・更新のしやすさ

現在、膨大なインフラストックの合理的な維持管理が社会的に重要な課題となってい

る。既設基礎に関しては地中部にあるため、橋脚・橋台に沈下・傾斜が生じた場合の原因究明や耐震性を事前に評価する場合において、必要な情報が得られず評価が困難となる例が多い。設計図に示す深度と実際の施工深度が異なる場合もある。このような課題に対して、例えば ICT 技術や BIM/CIM データを施工管理のみを目的として活用するのではなく、供用後の維持管理にも引き継ぎ活用していくことが重要となる。ICT 技術に限らず、合理的な維持管理に役立つ技術が基礎工法の分野でも求められる。また、耐震性の確保等を目的とした補強に加えて、都市部を中心に更新事業が今後増加していくことを踏まえると、補強や更新のしやすさなどを視野に入れた技術もニーズが増加していくものと考えられる。

#### ⑩地球環境問題への対応

CO2 排出削減など地球環境問題への対応が最近土木事業に求められている。基礎では木杭の再活用が例としてあげられる。なお、古い年代に用いられた木杭基礎は現在の杭基礎と異なり、木杭とフーチングとが接合されず設計上は木杭を地盤改良材として扱っている<sup>94)</sup>。前述のパイルドファンデーションはある意味では木杭基礎の構造に立ち戻っていると言える。ただし、既設の木杭基礎は L2 レベルの地震動に対する設計は行われておらず大地震時に沈下等が生じるおそれがあるため<sup>95)</sup>、今後このような構造を導入するためには、⑦に示した変位の制御を考慮した設計法の開発が求められる。

最後に、上述した技術開発にあたり、他分野で開発・活用されている技術が参考となる。トンネルの NATM を準用した大口径深礎の土留めのような土木の他分野での技術のほか、最近では ICT・AI といった情報技術の活用が進んでおり、今後も他分野の動向を踏まえて技術開発を進めることは有効な手段である。