

基礎構造の設計に関わる新技術評価に関する研究報告書

平成19年3月

社団法人地盤工学会

基礎構造の設計に関わる新技術評価に関する研究委員会

目 次

1 . はじめに	1
1.1 委員会設置の経緯	1
1.2 委員会設置の趣旨	1
1.3 委員構成	2
1.4 委員会活動の概要	2
2 . 性能評価の体系化に関する研究	4
2.1 はじめに	4
2.2 技術認証制度の実態	4
2.2.1 旧建設系	5
2.2.2 旧運輸系	8
2.2.3 建築系	11
2.2.4 N E T I S	13
2.3 公共工事における新技術活用について	16
2.4 道路橋基礎への新技術導入の促進のための一考察	18
2.5 過去の新技術開発	22
2.5.1 鋼管杭の技術開発	22
2.5.2 低空頭場所打ち杭（ B C H工法 ）	25
2.5.3 杭頭ピン接合工法の開発	29
2.5.4 杭基礎の耐震補強工法の開発	32
2.5.5 パイルド・ラフト基礎	35
2.5.6 鋼矢板併用型直接基礎	37
2.5.7 連結鋼管矢板を用いた井筒基礎の開発	41
2.5.8 スカート・サクシヨン基礎	43
2.5.9 ジャケット基礎	46
2.5.10 軟弱地盤着底式くし形防波堤	49
2.5.11 地盤改良（ S C P , D M ）の開発	50
2.6 新技術の導入と社会制度	51
2.6.1 技術開発成果の認知のプロセス	51
2.6.2 N E T I S に期待すること	53
2.6.3 欧州の動向	54
2.7 学術団体による技術認証制度の可能性	59
2.7.1 各支部での取り組み	59
2.7.2 学術的認証と実務的認証	60
3 . - 基礎構造の新技術開発と適用促進に関する提言 -	62
添付資料： I W D P F 0 7 総括	63

執筆者名簿

木村 亮	2.5.7, 3章
菊池喜昭	2.2.2, 2.5.10, 2.6.1
大谷 順	2.6.2
深田 久	1章, 2.1, 2.5.4, 2.5.11, 2.7.1
井上昭生	2.2.1, 2.5.8
山下 清	2.2.3, 2.5.5
小松正貴	2.2.4
富澤幸一	2.3
白戸真大	2.4
龍田昌毅	2.5.1
田島新一	2.5.2
田蔵 隆	2.5.3, 2.7.2
神田政幸	2.5.6
大川賢紀	2.5.9
堀越研一	2.6.3

1. はじめに

1.1 委員会設置の経緯

「基礎構造の設計に関わる新技術評価に関する研究委員会(以下、当委員会と称する)」は、2002年度に地盤工学会に設立された「基礎の設計法の合理化および次世代の基礎形式に関する調査委員会(以下「調査委員会」と称する)」を受けて設立された。「調査委員会」では、2002年当時の基礎に関する設計の現状として以下の2点を課題として挙げている。

- ・ 高度経済成長が望めない現在、基礎の設計において経済性が安全性と並び重大な課題となっている。基礎の設計の経済性を図るためには、技術者が地盤の挙動を考慮して、より一層合理的な設計を行うことが重要である。しかし、これを受け入れる環境は整ってきているのだろうか。
- ・ 建設事業の国際化に伴い、日本の技術者が海外のプロジェクトに参画していくには経済的にも技術的にも満足される革新的な技術を提案する必要がある。これには、日本独特の枠組みの中で蓄積されてきた技術によるだけでなく、新たなものを柔軟に提案し、それを実現する能力が求められる。しかし、その実現に結びつけるための能力がわれわれにあるのだろうか。

これらの課題を乗り越えるための方策について議論が行われ、今後の方向性について以下に示すような提案がなされている。

- (1) 新しい基礎形式や新しい設計法として提案されているものの収集・整理を行う。
- (2) 新しい基礎形式や新しい設計法と現行の設計基準の枠組みとの関係の整理と必要な研究項目の整理を行う。
- (3) 新しい基礎形式の開発において既にある成果の中から、設計基準にフィードバックできる部分を明らかにする。
- (4) 現行の設計基準を土質力学的な観点から見直す。
- (5) 以上の検討に基づき、新しい基礎形式、新しい設計法の性能評価のために今後開発すべき要素試験技術、数値解析技術、実験技術を示す。
- (6) 新しい基礎形式や基礎の設計の受け入れに関して、設計基準や性能評価機関の現状と課題を整理する。
- (7) 総合的な観点から見てパフォーマンスのよい新しい発想の基礎形式、基礎設計法を広めていく上での技術課題の解決と人為的障壁の解消に向けた研究戦略を構築する。

「調査委員会」では、上記の(1)～(7)の研究を行うことにより、産官学それぞれの研究開発の活性化、基礎の設計法の高度化、および次世代の基礎形式の実現を期待し、当研究委員会の設置を提案したものである。

1.2 委員会設置の趣旨

当委員会は、上記「調査委員会」を受けて2004年度に設立され、2006年度まで活動を実施した。当委員会においては「調査委員会」における提案の内、特に(6)と(7)に着目した。現在、新しい技術を公的に性能評価する方策として「技術審査証明」が実施されているが、その現状と課題を整理すると共に、新しい基礎形式や基礎の新しい設計法の評価のために学会がどうすべきかをより具体的に検討することを考え、委員会の設置趣意を以下のように示した。

「近年、構造物の設計基準や発注に性能照査という概念が導入されつつあり、新しい基礎形式の導入も期待される。現状では、例えば杭など、ある要素技術については新しい工法の技術審査を

行い、技術水準を公的に認証する制度がある。そして、認証された技術は、認証結果に基づきマニュアルなどを作成し、普及活動が行われる。一方、全く新しい基礎形式や基礎の設計法、パッケージとしての技術、地盤応答計算法や現場施工管理手法などのソフト技術については、開発された技術水準の証明を公的にサポートする手だてが確立されていない。

したがって、本研究委員会は会員の行っている新技術の研究開発活動を促進し、現場への導入に結びつけることをサポートするために地盤工学会として行うべき活動について研究する。」

1.3 委員構成

当委員会の委員構成を以下に示す。

委員長	木村 亮	京都大学
WG1 主査	菊池喜昭	港湾空港技術研究所
WG2 主査	大谷 順	熊本大学
委員兼幹事	深田 久	不動テトラ
委員	井上昭生	大林組
委員	大川賢紀	三菱重工業
委員	大島貴充	五洋建設（途中交替）
委員	原 基久	五洋建設（途中交替）
委員	大塚 悟	長岡技術科学大学
委員	神田政幸	鉄道総合技術研究所
委員	後藤洋三	防災科学技術研究所
委員	小松正貴	日本構造橋梁研究所
委員	白戸真大	土木研究所
委員	田島新一	鹿島建設
委員	田蔵 隆	清水建設
委員	龍田昌毅	新日本製鐵
委員	張 鋒	名古屋工業大学
委員	富澤幸一	寒地土木研究所
委員	福井次郎	土木研究所
委員	堀越研一	大成建設
委員	三浦慶宣	九州建設コンサルタント
委員	山下 清	竹中工務店

1.4 委員会活動の概要

当委員会では、以下の2つのWGを作り、討議を実施してきた。WG1においては、学会としての技術審査事業のあり方などを含めた討議を、WG2においては、国外の状況を踏まえた近年の新しい基礎形式工法、および設計法に関する検討を実施した。

(1) 性能評価の体系化に関するWG（WG1）

- ・現在の新技術評価体系に関する現状調査
- ・新しい設計計算法、もしくは、新形式基礎構造の設計法に関する技術審査機関としての活動の可能性
- ・各企業体の独自仕様の汎用化のための技術審査事業の可能性

(2) 新しい基礎形式に関する WG (WG2)

- ・近年の研究成果の分析
- ・新しい基礎形式の開発促進のために今後必要とされる基礎研究のとりまとめ
- ・新しい基礎形式の開発における現行設計基準の問題点の整理

全体委員会では、各委員および外部から人を招いて新技術の紹介等の話題提供を実施した。

委員会	話 題	発表者
第 1 回	ジャケット式基礎の支持特性	大川委員
第 2 回	新杭の実用化に向けて スカートサクシオン基礎の紹介	富澤委員 井上委員
第 3 回	杭基礎の鉛直・水平荷重下における 3次元地盤破壊現象について 群杭基礎の長期安定について	大谷主査 木村委員長
第 4 回	大口径杭の載荷試験結果について 帯状基礎の鉛直支持力特性について	菊池主査 妙中真治氏 (新日本製鐵)
第 5 回	パイルド・ラフトに関する話題提供 矢板を用いた構造物に関する話題提供 鉄道総研における技術開発	山下委員 神田委員 神田委員
第 6 回	靱性杭と新杭頭の開発 新しい鋼管矢板の開発と適用事例	大槻明氏 (清水建設) 木村委員長
第 7 回	設計における新技術の活用事例 矢板と固化改良を併用した杭基礎の補強工法の開発	三浦委員 深田委員
第 8 回	既設構造物基礎地盤の液状化対策工法の開発、浸透固化処理工法 コンサルタント業務における新技術の提案事例	大島委員 小松委員
第 9 回	道路橋示方書の性能規定化に向けた取り組み 杭基礎の非線形解析手法の研究 低空頭・狭隘部における新しい場所打ち工法の開発	白戸委員 白戸委員 田島委員
第 10 回	サイレントパイリング技術について	元山峰夫氏 (技研製作所)

性能評価の体系化に関するWG (WG1) では、技術審査事業の実態について調査するとともに、今までの技術開発の実態や開発した工法の評価について調査し、新技術の導入および学会としての技術認証制度の可能性について検討した。

新しい基礎形式に関するWG (WG2) では、毎回の話題提供を通じて近年の研究成果を概観すると共に、海外の基礎技術の整理として、

"ADVANCES IN DEEP FOUNDATIONS, PROCEEDINGS OF SESSIONS OF THE GEO-FRONTIERS 2005 CONGRESS, ASCE"

中の論文抄録を作成し、技術動向を確認した。この活動の中で日本の新しい基礎技術の海外への情報発信と研究者との交流とを目的として、国際ワークショップを開催することとなった。

関係者の尽力の結果、港湾空港技術研究所と地盤工学会との共催により 2007 年 2 月 1, 2 日の両日に IWDPF07 (International Workshop on Recent Advances of Deep Foundations) を開催した。出席者は海外から招待者を含めて 15 名、国内から 70 名、計 85 名を数え、盛況の内に終了した。この IWDPF07 の総括については、添付資料に示しているので参照されたい。

当報告書は、性能評価の体系化に関するWG1の内容をまとめたものである。

2．性能評価の体系化に関する研究

2．1 はじめに

性能評価の体系化に関するWG（WG1）では、新技術評価体系に関する調査や過去の新技術の開発事例に関する話題提供を通して、現状の課題や学会としての技術審査事業の可能性などについて討議を行ってきた。本章はこれらの活動成果を記述したものである。

2．2では、技術認証制度の実態を事業主体ごとに調査し、その現状と課題を示すと共に、公共工事における新技術情報のデータベースであるNETIS（新技術情報提供システム）の概要を示した。

2．3では、事業者側の立場から、公共工事において新技術を活用しようとする場合の現状と課題を述べ、2．4では道路橋示方書の基準の策定にあたられた立場で、新技術導入のための方向性や学会の役割について考察している。

2．5では、杭基礎、ケーソン基礎および直接基礎などの新技術の開発に携わった経験に基づいて、新しい基礎形式それぞれについて、開発過程、現状および今後の方向性を示している。

2．6では、新技術の導入と社会制度と題して、技術開発の認知のプロセス、NETISのあり方および外国での技術認証の実態を報告している。

また、2．7では学会としての新技術の開発に対する支援について調査すると共に、学会としての技術認証の可能性について考察した。

2．2 技術認証制度の実態

たとえば、土木分野において、道路橋示方書・同解説等で規定されていない工法による杭基礎や柱状体基礎などは、その工法が確立していないと評価され、公共工事においてはその工法の適用が認められることはほとんどない（ただし、仮設構造物や民間建築などではこの限りではない）。

このような背景下で、時の小泉内閣の「今後の経済財政運営及び経済社会の構造改革に関する基本方針」の後押しも受けてか、(財)国土技術研究センターを始めとする旧建設省の14の外郭団体では、民間において研究・開発された技術を建設事業に適正に反映させ、新技術の建設技術水準の向上を計ることを目的とした制度である建設技術審査証明事業を行っている。従来の技術認証制度としては国土交通大臣認定や日本建築センターの認定などがあるが、これらは主として建築分野における制度であった。

ここでは、これらの技術認証制度を、旧建設省系、旧運輸省系、建築系、NETIS という4つの側面からそれぞれの実態を示すこととする。

2.2.1 旧建設省系¹⁾

旧建設省系の外郭団体のうち、14法人は建設技術審査証明協議会を設立して、上述した事業を行っている。事業の要旨は以下の通りである。

<p>名称：建設技術審査証明協議会</p> <p>会員：14法人</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 国土技術研究センター ・ 日本測量協会 ・ 日本建設機械化協会 ・ ダム技術センター ・ 日本建築センター ・ 建築保全センター ・ 先端建設技術センター ・ 土木研究センター ・ 砂防・地すべり技術センター ・ 下水道新技術推進機構 ・ 日本建設情報総合センター ・ 道路保全技術センター ・ 都市緑化技術開発機構 ・ 日本地図センター <p>目的：民間における研究開発の促進及び新技術の建設事業への適性かつ迅速な導入に資するため、会員が実施する建設技術審査証明の透明性、公平性及び客観性の確保並びに審査の社会的信頼性の維持を図り、もって建設技術の向上に寄与すること</p> <p>体制：図 - 2.2.1 参照</p>

協議会に属する外郭団体は、それぞれ審査対象技術、いわゆる守備範囲を表 - 2.2.1 に示すように規定している。

表 - 2.2.1 各団体の対象技術

団体名	対象技術
(財)国土技術研究センター	一般土木工法
(財)土木研究センター	土木系材料・製品・技術
(財)日本建設情報総合センター	建設情報技術
(社)日本測量協会	測量技術
(社)日本建設機械化協会	建設機械化技術
(財)ダム技術センター	ダム建設技術
(財)日本建築センター	建築技術
(財)建築保全センター	建築物等の保全技術
(財)砂防・地すべり技術センター	砂防技術
(財)道路保全技術センター	道路保全技術
(財)下水道新技術推進機構	下水道技術
(財)先端建設技術センター	先端建設技術
(財)都市緑化技術開発機構	都市緑化技術
(財)日本地図センター	地図調製技術

建設技術審査証明協議会の体制
(平成14年2月1日現在)

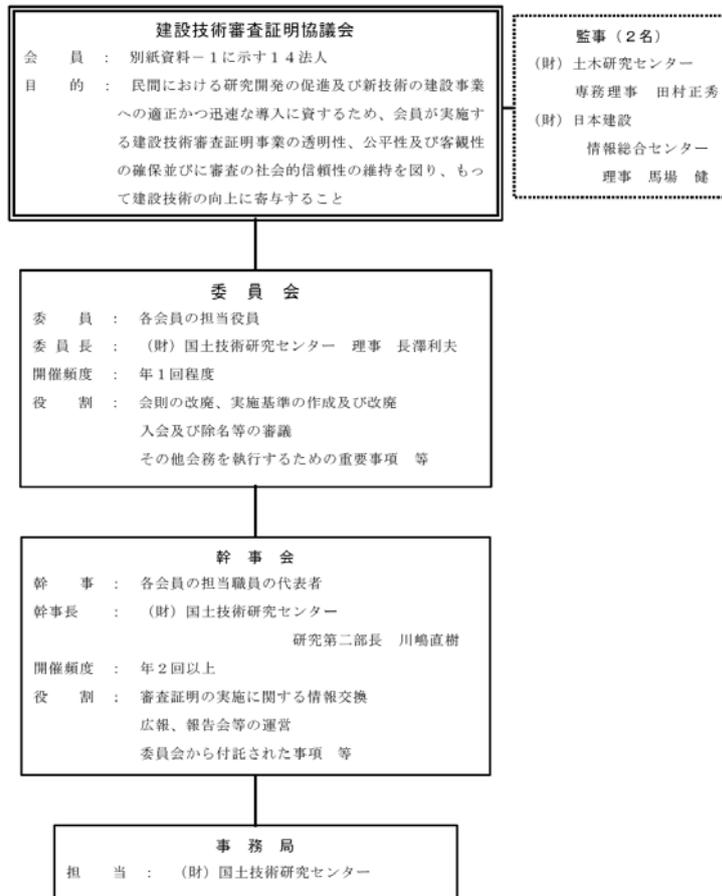


図 - 2.2.1 建設技術審査証明協議会の体制

以上が旧建設省系の技術審査証明認証の概要である。

次に、実際の建設技術審査証明の流れについて述べる。技術審査証明事業の流れを示すと、概ね図 - 2.2.2 に示すようになる。同図は、(財)土木研究センターの WEB サイトに示されている実施フローであるが、他の団体においても若干の差異はあるが、基本的な流れは同様である。受付を行った後、事前審査を行い、学識経験者による審査証明委員会が個別に召集され、この委員会により約6ヶ月の期間において3回程度の委員会が開催されて、審査が行われる。必要なコストは、申し込み金10万円、審査料は300万円及び必要経費である。

審査完了時には、審査証明書が交付される。審査完了後は、認証工法の広報活動の支援が受けられることとなっている。

この審査証明の建前としては上述したとおりであるが、依頼者(申請者)側にとっては以下の課題がある。

- a) 新形式基礎工法の場合、道路橋示方書・同解説が基本となる設計体系が整備されている上で、申請時点で施工実績が必要である。
- b) 審査証明の中心である実審査にはいる前に、「審査に値する技術かどうか」といった要件で、事前審査が必要となる場合が少なくなく、その事前審査期間も短くない。

- c) 審査期間は6ヶ月が基本であるが、実際には実審査だけで1年程度必要である。
- d) 新たに実験工事や実証実験などが、委員会の中で要求される場合がある。
- e) 事務手続き費用は実審査のみで300万円強であるが、1)で示した事前審査でも同程度の費用が必要となる。
- f) 審査後の成果、成果普及活動にも経費がかかる。
- g) 成果普及活動の支援は効果的に行われているとは言えない。

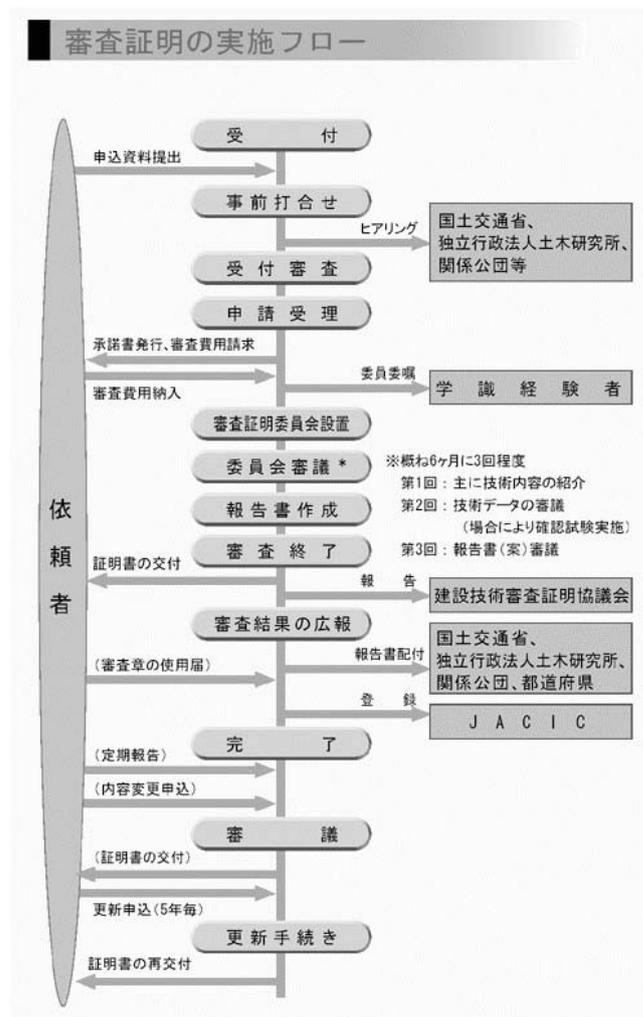


図 - 2.2.2 建設技術審査証明フロー²⁾

すなわち、2年程度の期間と事務手数料だけで700万円(=審査料300万×2+)以上の費用が技術審査証明のハードルを高くしており、ちょっと工夫した工法や、学識経験者の疑義に対して容易に回答できる、十分なデータを蓄積していない工法では技術審査証明を求めることは困難である。

参考文献

- 1) <http://www.jacicnet.jacic.or.jp/sinsa/jugyounaiyou.html>
- 2) <http://www.pwrc.or.jp/shinsa.html>

2.2.2 旧運輸系(港湾)

民間事業者が技術開発した成果の普及のために、表彰制度と技術の確認審査制度を設けている。

前者は、「国土技術開発賞」という制度であり、建設産業における優れた新技術とその開発に貢献した技術開発者を表彰することにより、新技術の普及を推進しようとするものである。この事業は(財)国土技術研究センターと(財)沿岸技術研究センターの共催により実施している。対象となる技術は、住宅・社会資本に関わる、計画・設計手法、施行方法、維持管理手法、材料、機械などの技術で、概ね過去5年以内に技術開発され、かつ過去3年以内に実用に供された技術である。この表彰制度は、国土交通省の共通の土俵における賞である。

一方の、技術の確認審査制度は、「港湾関連民間技術の確認審査・評価事業」と呼ばれるものである。この事業は、必要な技術開発を円滑に進めるためと、開発された技術を構成に評価することを目的としたもので、(財)沿岸技術研究センターが行っている。

この事業は、民間事業者が開発した港湾等の沿岸域の整備、利用、修復、保守、管理に適用できる技術を第三者機関として客観的、中立的な立場から評価しようとするものである。評価は、学識経験者等より構成された港湾関連技術確認審査・表委員会によって行われる。この評価制度の対象技術は具体的には次のものが挙げられている。

すなわち、港湾、航路、海岸等の沿岸域の整備、利用、修復、保守、管理に利用できる技術で、民間企業が開発した下記分野の技術。

- 1)新工法，新構造，新材料など港湾整備関連の基盤的な技術
- 2)環境，リサイクル，景観に関する技術
- 3)港湾関連施設を適切に維持していくための技術
- 4)情報，通信，防災，危機管理等に関する技術

この制度での評価にかかる期間は原則6ヶ月と定められており、3回の評価委員会の開催で評価が決定されることになっている。この様な取り決めは、審査機関が不用意に長くならないための配慮であると思われる。なお、評価証の有効期間は5年間となっており、延長する場合には申請が必要である。

表-2.2.2にこれまでにこの制度で認定された技術の一覧を紹介する。なお、No.1,2の技術については既に有効期間が過ぎているが、このうち、No.2の技術については既に5年間の延長手続きが行われている。

表-2.2.2 沿岸技術研究センターの技術評価制度によって認定を受けた技術

No.	技術の名称	申請者	認定日
1	SCP工法の砂代替材として粒状化した石炭灰を活用するリサイクル技術	中部電力	2001.3.31
2	汚濁拡散防止システム	五洋建設，大新土木	2001.3.31
3	管中混合固化処理工法「トルネードミキシング工法」	りんかい建設	2002.5.28
4	重錘式捨石均し工法(斜面对応型)	大本組	2002.5.28
5	NDR工法(橋脚耐震補強用仮締切工法)	五洋建設	2002.5.28
6	GPSとレーザーレベルによる地域沈下測量システム	五洋建設，日本海洋コンサルタント，ベンタテクノサービス	2002.5.28
7	空気圧送方式による敷砂、覆砂の薄層撤出工法	東洋建設，東翔建設	2002.5.28
8	低振動低騒音式地盤改良工法「KS-EGG工法」	国土総合建設	2002.12.24
9	斜面对応型捨石均し工法(傾斜ロッドタンパー式)	若築建設	2002.12.24

10	CDM - Land4 工法	東洋建設, 三井住友建設, 東亜建設工業 特基工業	2003.7.30
11	高含水泥土造粒固化処理工法	五洋建設	2003.7.30
12	フラッシュソイルシステム (高含水比土を有効利用した環境負荷低減型システム)	不動建設, フドウ技研	2003.7.30
13	変形追随遮水工法 (Clay Guard(クレイガード)工法)	五洋建設	2003.12.24
14	鋼管杭、鋼管矢板の機械式継手 「ラクニカンジョイント」	新日本製鐵, クボタ	2004.4.28
15	鋼管杭・鋼管矢板用鋼管本体の機械式継手 (カシーン)	JFE スチール	2004.11.8
16	END 工法 (環境浚渫工法)	五洋建設	2004.11.8
17	ダイオラップ工法 (ダイオキシン類汚染底泥の処理)	大本組, 宇部興産	2004.11.8
18	ソイルセパレータ工法 (建設発生土の大容量分級処理技術)	東亜建設工業, 信幸建設	2005.5.13
19	真空圧密ドレーン工法 ~キャップ付ドレーンを用いた圧密排水工法~	五洋建設, 錦城護謨	2005.11.30
20	衝撃締固め工法 ~制御発破を用いた液状化対策工法~	佐藤工業	2005.11.30
21	エコガイアストーン 「鉄鋼スラグを原料として固結制御可能なサンドコンパクションパイル工法中詰材料」	新日本製鐵, 不動テトラ	2006.11.2
22	頑丈土 (がんじゅうど) 破砕材 「石灰を有効利用した埋立て材料」	沖縄電力, 日本国土開発	2006.11.2
23	UCIS (Unmanned Caisson Installation System) 「ケーソン無人化掘付システム」	五洋建設	2006.11.2

港湾関係では、以上のような技術評価制度を有しているが、いくつかの問題点が指摘されている。ひとつは、港湾技術だけが他の建設技術の評価制度との協調が十分に取れておらず、独立独歩で審査されていることである。つまり、14の審査団体に構成されている建設技術審査証明協議会に参加していないことである。この理由としては、審査する技術の多くが港湾建設という陸上とは異なった環境での技術の開発という事情があるためであると考えられるが、その一方で、海上と陸上とでほぼ同じ技術が適用できる場合もあるにもかかわらず、(財)沿岸技術研究センターで審査をしない場合がある。実際、表-2.2.2のいくつかの技術については、(財)土木研究センターで認証を受けた直後にほぼ同じ技術内容について(財)沿岸技術研究センターで評価を受けた技術がある。今後関係団体間での調整が必要であろう。

もうひとつの問題点は、技術のフォローアップではなからうか。技術評価制度は、名前のとおり、新技術の評価すれば一応の目標は達成できたということが言えるであろうが、技術開発本来の目的からすれば、それだけでは十分ではなく、新しい技術が実際に活用されなければ本来の目的が達成されたとは言いがたい。このためには何らかのフォローアップが必要であると考えられる。それは、単に証書を発行するだけでなく、認証後の実績についての追跡調査、認証のもたらす社会への効果の評価などが重要ではないかと考えられる。

実際上はこの様な表彰、評価制度だけでは民間の技術開発のサポートは不十分であるため、国として、港湾の整備、維持等に必要となる技術を開発しようとする民間事業者に対して、技術開発をサポートする制度を設けている。

民間事業者の技術開発支援のための方策としては、次の5つの観点からの整備が行われている。

- 1)法律，制度
- 2)人材の登用，交流
- 3)研究資源の有効活用
- 4)助成制度
- 5)普及のための支援

このうち、1)は技術基準等の整備により新技術の導入をしやすい土俵を造る、というものである。2)は研究者の流動性を確保するための準備があるというものである。3)は、研究施設の共同利用制度があることと国の研究成果、観測データを公開していることを言っている。

4)の助成制度とは、日本政策投資銀行による研究資金の融資制度や(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構による競争的研究資金、日本財団による助成制度のことをさしており、さらに税額の特別控除があることを指している。このほか、「共同研究制度」や「共同技術開発制度」など、試験研究機関や地方整備局と共同で研究を進めることによって研究の効率化を図ることができる制度もあるとしている。

5)では「実海域実験場提供システム」がある。土木工事に関する技術開発では、現場における実証実験の有効性が高く、現場における実証実験は欠かせないものであるが、この制度では、民間や大学等研究機関が実海域を活用した実証試験を実施できるように支援することができる。

また、「公共工事における技術開発活用システム」は新技術を国の公共事業に活用することによって、新技術の普及を図ろうとするものとなっている。このほか、新技術情報提供システム(NETIS)も新技術を公共事業に活用するシステムとして準備されている。

以上紹介してきたさまざまな制度は図-2.2.3のような形にまとめられる。

なお、国の主導するこのような技術体系は現状では、国が技術開発の主体であるという考え方に重きが置かれているような懸念がある。

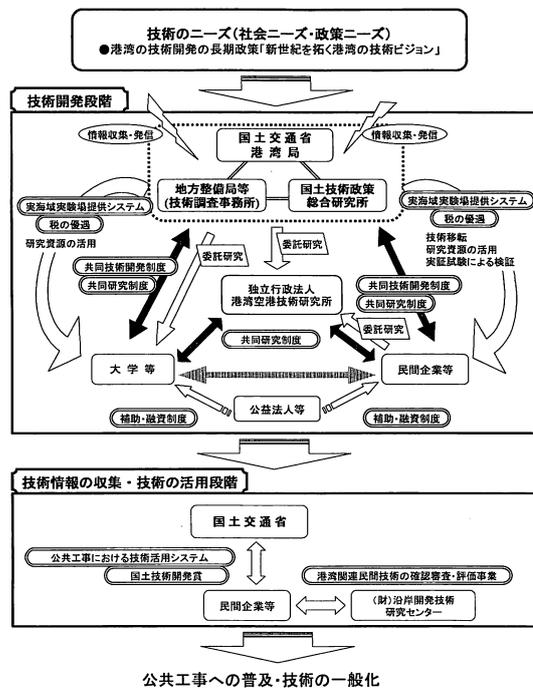


図-2.2.3 港湾関係の技術開発体系

2.2.3 建築系

建築分野で地盤・基礎に関わる主な技術認証としては、次の三つがあげられる¹⁾。

1) 建築基準法に係る性能評価

建築基準法令には、建築物や設備について詳細な基準が定められているが、特殊な構造方法を用いた建築物や新しく開発された材料、設備等については、高度な方法によって性能を検証するルート（性能評価）があり、これを認定（構造方法等の認定）する制度が設けられている。地盤・基礎分野における性能評価対象としては、基礎杭の許容支持力に関わる地盤の性能評価があり、国土交通大臣から指定を受けた性能評価機関（日本建築センターなど）がこの業務を行っている。

2) 評定

日本建築センターなどが自主業務として行っている技術評価であり、建築物や工作物の構法、材料、部品、設備等について、建築基準法令その他の技術基準等に照らして、その性能を評価するもので、場所打ちコンクリート掘削杭、場所打ちコンクリート地中壁や杭頭接合方法などについて評定が行われている。

3) 建設技術審査証明

2.2.1 における建設技術審査証明のうち建築技術を対象としたもので、建築物等の各種の技術（設計、材料、部材、構法、施工、検査、保全、改修、解体等）に関し、民間で開発された様々な新しい技術について、日本建築センターなどが審査・証明を行うものである。事例として深層混合処理工法などがある。

以下では、日本建築センターにおける「建築基準法に係る性能評価」を例にその概要を記す²⁾。

杭の許容鉛直支持力は通常、平成 13 年国土交通省告示第 1113 号第 5 で規定されるが、新たな杭工法を開発した場合は、「建築基準法施工規則第 1 条の 3 第 1 項の認定に係る性能評価業務方法書」（以下、業務方法書）に記述されている評価基準に則り、杭の載荷試験結果に基づいて、独自に支持力を設定できる。この方法に基づいて性能評価を受けた後、国土交通大臣より認定を受けると、国交省告示 1113 号第 6 第 1 号を適用して、建築物の確認を受けるときに必要な杭の支持力式の係数を定める計算書を省略（いわゆる図書省略）できることにより、新たな杭工法の採用が可能となる。

日本建築センターでは、性能評価にあたって業務方法書のほかに「基礎ぐいの支持力の性能評価における基本方針」というガイドラインを作成し、業務方法書の評価基準の基本的な運用方法を規定している。また業務方法書では対象とする杭の工法に応じて、三つの区分を設けている。

- ()基礎杭の支持力評価基準（方針 1）
- ()節杭を用いた埋込み杭工法の評価基準（方針 2）
- ()回転貫入杭工法の評価基準（方針 3）

方針 1 は、まだ一般化されていない新しい技術を導入して、埋込み杭工法・回転貫入杭工法などを開発した場合を想定しており、支持力係数を独自に誘導することを基本としている。方針 2 および 3 は、申請頻度の多い節杭を用いた埋込み杭および回転貫入杭を対象としている。

それぞれの方針の主な技術的内容は以下の 3 点である。

- ・地盤の許容支持力式
- ・支持力係数（ α 、 β 、 γ ）の決め方
- ・載荷試験・施工試験の実施方法

以下に方針 1 における基礎杭の支持力評価の方法について示す。

杭の適用対象

- ・工法の種類：埋め込み杭工法、基礎杭に鉛直方向への加力および軸方向への回転力を与えることにより、基礎杭を所定の支持層まで設置する工法およびこれらに類する工法。

- ・基礎杭の種類：既製コンクリート杭，鋼管杭，H形鋼杭およびこれらに類する杭であり，杭体の許容耐力が明らかなもの。あるいは上記の基礎杭に，主として地盤の許容支持力の増大を目的とした機構を組み込んだ杭，または加工を施した杭。
- ・基礎杭の杭径：杭の特殊部分を除く軸部の杭径が 1,200mm 以下の基礎杭。

杭はコンクリート杭，鋼杭いずれも可能であるが，杭体の許容耐力が明らかなものに限定している。主として支持力の増大を目的として，各種の工夫を杭先端部に施した杭が考えられる。

地盤種別

杭先端地盤種別として，砂質地盤，礫質地盤，粘土質地盤，腐植土地盤の四つに区分する。

地盤の許容支持力

長期許容支持力は，告示 1113 号第 6 第 1 号に規定された(1)式による。

$$R_a = \frac{1}{3} \{ N A_p + (N_s L_s + q_u L_c) \} \dots \dots \dots (1)$$

- ：杭先端支持力係数
- ：砂質地盤における杭周面摩擦力係数
- ：粘土質地盤における杭周面摩擦力係数
- N：基礎杭の先端付近の地盤の平均 N 値
- A_p：杭先端の有効面積
- N_s：杭周囲の砂質地盤の平均 N 値
- L_s：杭周囲の砂質地盤の層厚の合計
- q_u：杭周囲の粘土質地盤の平均一軸圧縮強度
- L_c：杭周囲の粘土質地盤の層厚の合計
- ：杭の周長

短期許容支持力は長期の 2 倍とする。

方針 1 では，(1)式中の支持力係数 ， ， の値を申請者が自ら決める方法を採用している。また杭先端の支持力発現機構によっては最適な N 値の範囲を一概に規定することはできないことから，この範囲についても独自に設定してよいこととしている。

支持力係数の設定に必要な載荷試験の数

杭先端支持力に関して，先端地盤種別ごとに適切な件数の載荷試験を行うよう業務方法書で求めており，その具体的な数を「性能評価における基本方針」で表-2.2.3 のように定めている。申請が新規であるか変更であるかに加えて，条件 A および B の二つの条件を設定している。条件 B は数社が共同して開発・申請を行う場合に対して，申請者すべての施工能力を確認するための条件として設定したものである。

表-2.2.3 先端地盤種別ごとに実施する載荷試験数（方針1）

申請の区分 条件の区分	新規申請	変更申請	
		最大施工 深さの変更	径の追加
条件 A：工法ごとに 必要なデータ数	4 以上	1 以上	1 以上
条件 B：申請者ごとに 必要なデータ数	2 以上	1 以上	1 以上

参考文献

- 1) (財)日本建築センターHP：http://www.bcj.or.jp/c02/c02_1.html
- 2) 桑原文夫：日本建築センターにおける杭の支持力性能評価方法，基礎工，Vol.31, No.9, pp.6-10, 2003.

2.2.4 NETIS の実態

本項では、NETIS の概要と変遷を示し、基礎構造物における NETIS の課題を提言する。

NETIS (New Technology Information System) とは、国土交通省が運用している新技術情報提供システムであり、平成 10 年度より運用を開始し、平成 13 年度より一般にも公開されている。平成 19 年 5 月現在、NETIS には約 3500 件の新技術が掲載されており、発注者、工事請負業者、コンサルタント、技術開発者等が、新技術情報を共有、検索できるデータベースとして、インターネット上で公開され、誰でも容易に情報を入手することが可能である。

次に、現在の「公共工事等における新技術活用システム」の運用に至る経緯を述べる。平成 13 年度から運用された NETIS (以下「従来 NETIS」) は、平成 17 年度に再編・強化され、平成 18 年度に本格運用に至っている。

図-2.2.4 に従来 NETIS から平成 17 年度 NETIS への移行を示す。従来 NETIS は、3 つのシステムから構成されていた。しかし、従来 NETIS では、安全性・耐久性等の不安から実績のない技術は活用が進まないことや、有用な技術の見極めが困難である等の課題が生じた。

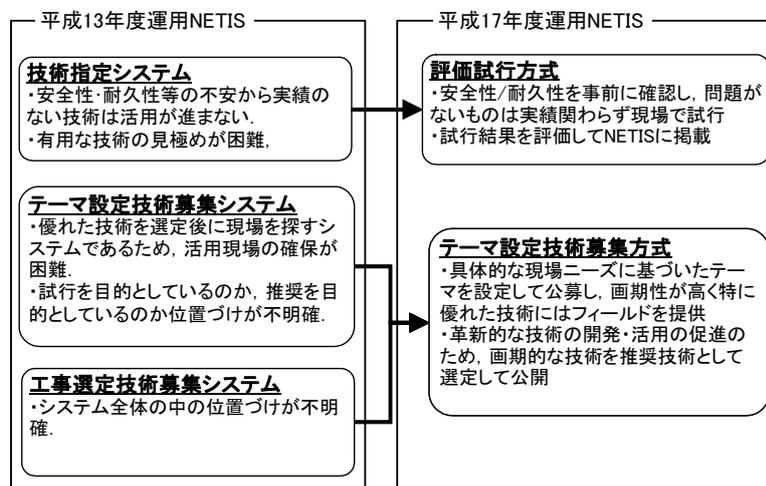


図 - 2.2.4 従来 NETIS から平成 17 年度 NETIS への移行

そこで、平成 17 年 4 月から、技術開発の促進、社会に還元されるスパイラルの確立を目指し、産学官連携による「公共工事等における技術活用システム」が実施されることになった。平成 17 年 NETIS では、従来の技術活用システムを新しい 2 つの方式（評価試行方式、テーマ設定技術募集方式）に再編・強化され、約 1 年間試行運用を実施し、課題の抽出、所要の改良が行われている。

ここで、「評価試行方式」とは新技術を現場で試行・評価する取り組みである。まず、事前評価により新技術の安全性・耐久性を確認し、新技術活用評価委員会が事前審査で問題ないと判断したものは実際の現場で試行される。試行の結果が有用な新技術と判断された場合は NETIS に掲載され、有用であるとの判断材料となる信頼性のある情報が提供される。さらに改善点が申請者に直接通知され、技術の改善が図られる。

「評価試行方式」には「A タイプ」および「B タイプ」といわれる 2 つの申請タイプがある。

「A タイプ」とは直轄の工事などにおいて活用が見込まれる新技術で、申請者が事前評価・試行・事後評価を希望するタイプである。現場での試行実施の可否については新技術活用評価委員会が判断を行う。なお、新技術活用評価委員会とは産業界・大学・行政の有識者からなる委員会であり、事前評価・試行計画の策定・事後評価などを行っている。

「Bタイプ」とは公共工事などでの活用が見込まれる新技術で、申請者が NETIS への技術情報の掲載のみを希望するタイプをいい、平成 17 年 3 月までに登録されたさまざまな新技術は全て「Bタイプ」となる。ただし、Bタイプ登録に必要な申請書類（様式-3、様式-4）の作成作業が遅れているものについては、評価試行方式の活用に影響が出ることを回避するために、「暫定 Bタイプ」が設け、Bタイプと区別されている。

一方、テーマ設定技術募集方式（推奨技術選定）は、産学官の有識者等による新技術活用評価委員会において、社会ニーズ・施策ニーズ等に基づく技術テーマを設定し、技術の公募・評価を行い、画期的な技術を推奨技術として積極的に公表するものである。

以上の流れを経て、平成 18 年度には、事後評価実施の徹底、NETIS（評価情報）を新たに構築、活用方式の拡大・体系化を行い、NETIS 全体を申請情報中心型から評価情報中心型に再構築された。

平成 18 年 7 月には、暫定運用の結果や新技術活用の実情等を踏まえ、有用な新技術の活用促進と技術のスパイラルアップを目的し、試行運用から本格運用が開始された。本格運用にあたり、既に NETIS に登録されている技術、試行等を進めている技術は、図-2.2.5 のように移行措置がとられた。以上が NETIS の変遷である。

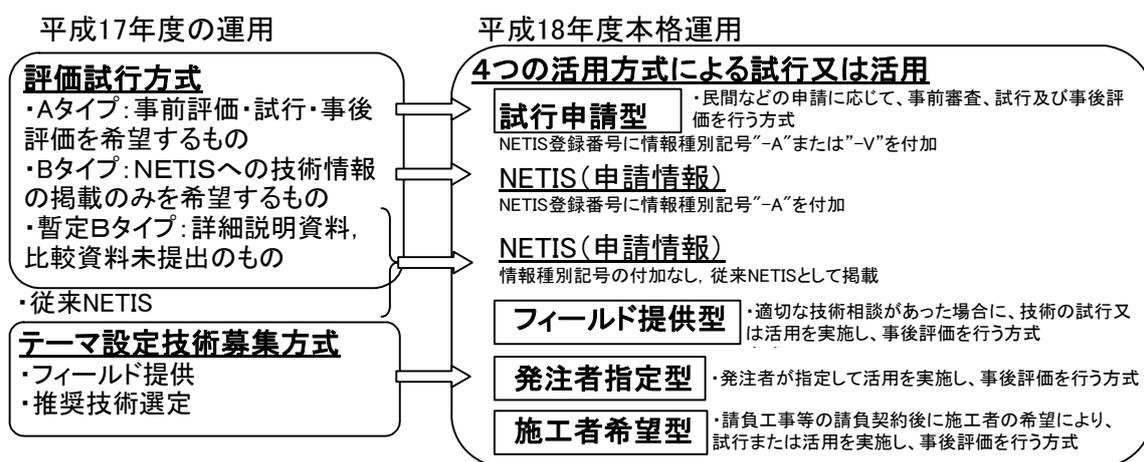


図-2.2.5 平成 17 年度 NETIS から平成 18 年度本格運用への移行

平成 18 年度の「公共工事等における技術活用システム」本格運用から 1 年になろうとするが、基礎工に着目した場合、現時点で、NETIS（評価情報）に登録された新技術 2 件、NETIS（申請情報）に登録された新技術は 92 件であり、多工種に比べ少ない登録数となっている。これは、NETIS に登録、利用にあたり以下の課題があるためと考え、今後、改善して行くことが必要と考える。

- 1)基礎構造物は土中構造物であり、その挙動は地盤条件によって変化するため、実証実験による検証が複雑となること。
- 2)一般に基礎構造物は規模が大きく、新技術の開発には膨大なコストが掛かること。
- 3)従来の技術と比較する場合、特に経済性においては、市場性等を考慮すると優位性を見出すことが困難であること。
- 4)管理者側としては、リスクが発生した時の被害額（損害額）を考慮すると、安全思考となる恐れがあり、新技術の採用に消極的となる恐れがあること。

- 5)申請登録に必要となる様式-3(技術詳細説明資料),様式-4(従来工法との比較表)を作成するためには,多額のコストが必要となり,申請者側が消極的となる恐れがあること。
- 6)NETIS(評価情報)においては,公的機関(基礎部門においては地盤工学会等)から評価が明確にされていないため,管理者側(利用者側)の判断が消極的となること。

参考文献

- 1) <http://www.cbr.mlit.go.jp/chugi/netis/index.htm>.
- 2) http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/13/130325_.html
- 3) http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/13/130705_.html

2.3 公共工事における新技術活用について

(1) コスト構造改革と技術管理システム

国土交通省では、厳しい財政事情のもと限られた財源を有効活用し、効率的な公共事業の執行するためのコスト構造改革を推し進めてきている。平成15年6月に発信された「構造改革に関する基本方針」では、平成15年から19年までの5か年で15%の建設コスト縮減を求めている。

その具体的取り組みとして、以下を掲げている。

事業のスピードアップ

計画・設計から管理までの適正化

調達の最適化

その際の建設コストは従来の工事費のみではなく、規格の見直し、事業便益、ランニングコストの再検討も含まれる。そのための施策として、過度な機能補償施設の回避や提供するサービスの見直しの他、新技術・新工法の積極的な導入が求められている。

その際、建設コスト縮減のみに捕らわれ、品質の低下を招いてはならないことから「公共工事の品質確保の促進に関する法律」(品確法)が定められ、提案された技術の審査や入札・改善体制が整えられてきている。すなわち、入札制度の改変や労務単価の引き下げなどの対応は建設コスト縮減の新たな技術的な解消とはなり得ない。そのため、新技術・新工法の広範な活用が強く望まれるところである。

公共工事における技術活用として、新技術情報システム(NETIS)がある。これは、技術開発者が新技術を登録し、主に発注者が現場ニーズや現場条件などから新工法を選定するものである。NETIS登録の方式には、技術登録のみのBタイプ・事前評価のA'タイプ・事後評価も行うAタイプがある。この区分はNETISの信頼性向上を目的としたものである。ただし、試行段階の部分も多くあり、当該の新技術工法の現場への適否を含めた事後評価の結果がまだ広く利用者に伝達されていない。そのため、今後は利用者のニーズに配慮した新技術情報を展開していくことが重要となる。

(2) 委員会および連絡会と新技術活用

新工法・新技術の採用にあたっては、各機関において多くの場合「新技術活用事業審査委員会および新技術活用推進連絡会」が発足される。そこでは、技術管理担当者(例えば、技術管理課や技術管理官など)が設計者・有識者および施工担当者を招聘し、採用の是非などを審議する。

新工法・新技術の現場活用において、工事や工法が大規模な場合、試験フィールド事業、技術活用パイロット事業および準一般工事として実施される。ただし、小規模なものは発注部署や担当者の裁量で新工法を選定する場合もある。また、最近では工事の入札契約方式が従来の一般競争入札のみでなく、新技術活用のための設計施工一括発注方式・交渉方式・CM方式などが実施されている。近年において、土木構造物の設計施工にあたり、設計コンサルタントや施工業者は、発注者から構造物の品質確保や現場の安全性を条件に、新技術の提案が強く求められている。

すなわち、公共事業において、新工法・新技術活用のための管理体制が徐々に整備されてきているといえる。

(3) 新技術活用の課題と技術者責任

公共工事において建設コスト縮減が強く叫ばれ、新工法・新技術活用のための体制が整いつつあるにも関わらず、一方で、その活用が必ずしも円滑でない実態もある。それは発注者が実績を重視するあまりに、それが新工法・新技術採用が妨げられる場合があるからである。新技術には

実績がない場合が多いことはある種当然であり，そこに技術者のジレンマがある。

その他，新技術活用の妨げとなっている概ねの事由を数点列記してみる。

設計法の確立

新工法が，現行の設計法で照査が可能であるかが整理されていない場合がある。また，新たな設計法を提案する場合にその妥当性が明瞭でない。

施工法の確定

工法の完成形は理解できるが，その施工手段，特に仮設工法が確定していない場合がある。

歩掛の整備

新工法のため歩掛がなく，特許が取得されている場合にそれが採用の妨げとなることもある。

同種工法が多様

新技術には同種の工法が数多くあり，その中からの選定が難しい場合がある。土木工事では，法面植栽や仮設工などにその傾向がある。例えば1例として，岩盤に仮設工を施工する場合に，ガンパイル工法・ノバル工法・ダウンザホール工法・クリア工法などの多様な手法があり，有用性などが共通するためその選定に苦慮する場合もある。

これらは，技術開発者側にも多く責任があると考えられる。そのため，現行のシステムに準拠した，誰もが使いやすく安全な新工法・新技術を提案していくことが重要である。

その一方で工法を採用する発注者側にも，多くの課題があると考えられる。その一つは，新工法・新技術の是非を決める場合の技術的な判断力である。そのためには，その工法を理解・判断するための高度な技術力を日々研鑽し身に付けていく必要がある。

また，他の大きな課題は，各公共機関において活用体制が整備されつつあるが，その工法を採用した責任体制が明瞭でないということである。工法の採用にあっては管理者（発注者）が責任を負うことは言うまでも無いが，例えば，採用した工法に後に不備が生じ場合，道義的な責任のみが一人歩きし，真の責任のあり方が分散してしまう場合もある。ともすれば，現場担当者のみはその責任が押しつけられる可能性がある。このようなことで有用な新工法・新技術の採用が妨げられることがあってはならない。活用する側にも強い責任能力と技術者倫理が必要である。

すなわち，新工法・新技術の採用にあたっては，発注者・設計者・施工者を区分することなく，立場を乗り越えた協同体制を構築していくことが重要である。そのためには，今後は土木技術者が，地盤工学会などの公的機関を介して，それらに積極的に参画していく必要があると考える。

2.4 道路橋基礎への新技術導入の促進のための一考察

(1) はじめに

設計基準の策定に多少なりとも携わった経験を踏まえて、道路橋基礎への新技術導入の促進に関して私見を述べる。

一口に新技術といっても、範囲は広い。構造物の供用後に不具合等があった場合でも簡単に交換できるものと、交換などできないものでは、その新技術を採用するに当たってのハードルの高さは当然異なり、当然、後者のハードルは圧倒的に高くなる。基礎は、一度作ってしまってから何らかの不具合が発覚しても、やり直しができないと考えられる構造物である。公的構造物の管理者は、構造物の完成後、長期にわたってその構造物を管理し、管理者責任を問われる。そして、道路に関して言えば、特に幹線道路ともなれば、交通を止めることは容易には許されない。したがって、新技術の採用には過剰なほどの慎重さ求められてしかるべきであろう。

このような中で新技術導入の促進を図るためには、管理者が、開発者に対して必要としている性能や個別技術に対して憂慮する事項を示すような体制を整える努力をすること、開発者が、設計基準の字句だけでなくその意図に関しても理解する努力をすることにより相互の意思の疎通を図ることが重要である。また、学会などから、技術的な検討を行うために必要な情報が管理者に提供されることが重要である。以下、具体的に考察する。

(2) 基礎の性能、杭の性能

基礎の新技術の開発にあたっては、基礎が支持する構造物の側から要求される性能を理解しておく必要がある。基礎の性能は、上部構造がどのような状態で支持されるのかということにつきる。したがって、道路橋示方書では、基礎天端に荷重が作用したときの挙動に基づき、基礎の性能が照査される。常時、暴風時及びレベル1地震時に橋に要求される性能とそれを担保するために基礎が超えてはいけない状態の関係は、「橋として健全性を損なわない」ことが要求され、「設計期間内に発生する確率が高い荷重に対し、橋全体系として力学特性が弾性域を超えない状態であること」が要求される。したがって、基礎には、十分に安全な状態であり、かつ、基礎の部材やこれを支持する地盤の力学的特性に大きな変化が生じない状態であることが要求される。地盤抵抗については、一般に、供用中に弾性限界に達しなければ、安全性に対して余裕を有しているだけではなく、基礎は地盤の塑性化に伴った顕著な残留変位が生じるような状態には至らず、かつ常に変わらぬ反力特性を期待できる。

基礎の性能が、上部構造がどのような状態で支持されるのかという観点で記述されているので、それを照査するための点、その点に至るまでの挙動を評価するための数値モデルも、上部構造からの荷重の入力が念頭におかれた杭の載荷試験結果に基づき構築されている。

安定照査にあっては、極限だけではなく、基礎の挙動における弾性限界が照査点になる。平成2年の道路橋示方書の改訂にあたり、杭の鉛直並びに水平方向の挙動が多数の載荷試験結果から統計的に分析され、荷重変位曲線上の弾性限界が検討された。

杭の鉛直方向の挙動は本来その初期の時点から非線形である。しかし、設計計算モデルの設定では、杭頭沈下量が急増する点を降伏点としている。そして、設計計算では、極限に対して余裕を有すると同時に、降伏点の荷重を超えないように杭頭反力を収めることによって、地盤抵抗が弾性挙動とみなせる範囲にあることが照査されている。杭の鉛直載荷試験の結果得られる杭頭における荷重変位関係は Weibull 曲線で近似することが可能であり、その場合、近似により求まる降伏点の荷重は極限支持力の0.63倍になることがこの背景にある。

基礎の性能は上部構造がどのような状態で支持されるのかという観点で記述されるため、極限

支持力も、杭頭位置の杭反力を以て定義されており、杭径の10%の沈下が生じたときの抵抗力としている。杭径を介して基準沈下量を定義しているのは以下の理由によると考えられる。スパンが長くなるほど一つの下部構造が支持する鉛直荷重が大きくなり、より大径の杭が用いられるという比例関係が成立つとする。そして、基礎の沈下が上部構造に与える影響を表す指標が沈下量をスパンで無次元化した値であると考えれば、スパンが長いほど沈下に対して鈍感になる。そこで、極限支持力の定義を杭径に比例する沈下量を用いて行うことで、上部構造がどのような状態で支持されるのかが暗に考慮される。さらに、過去の載荷試験データを統計的に処理した結果によれば、杭頭で杭径の10%の沈下が生じたときの荷重は、Weibull分布曲線によるフィッティングにより得られる最大荷重に対して90%ものレベルに達するため、ほぼ極限であるとみなしても工学的に問題がないと考えられている。

また、載荷試験結果をワイブル分布曲線で一般化することにより、極限支持力を所定の安全率で除したときの沈下レベルもある程度推測できる。それをを用いれば、極限支持力のある安全率で除したときに生じている杭頭での沈下量は、施工法によらず、杭径に対してある一定の割合に収まっていることが分かる。

杭の水平方向の挙動も本来その初期の時点から非線形である。しかし、載荷点の残留変位が急増する限界点を弾性限界と定義すれば、載荷試験結果から、それは一般には平均値で杭径の4%程度の変位に対応する点であると想定された。そこで、この限界点を念頭に、設計上は杭径の1%の変位が許容変位量とされた。これに合わせた基準変位量に対して、地盤反力係数も設定された。そして、設計では、設計地盤面における変位を許容変位量に収めることによって各杭に対する地盤の水平抵抗が弾性とみなせる範囲にあることが照査される。

以上のように、極限支持力に対する安全性を照査しつつ、さらに、各杭が弾性挙動範囲にあること、換言すれば常に変わらぬ反力特性を期待できることを照査している。したがって、新技術の評価するためには、少なくとも、その技術がこれらの事項についてどのように担保しているか説明可能なデータが必要である。

(3) 道路橋示方書になぜ施工の章が存在するのか

たとえば、一定の施工方法と施工管理規定の中で打設された杭については、ある一定の出来型、支持特性が常に発揮されることが保証される。構造設計を行うためには、出来型管理手法が確立されていて初めて、出来型寸法を一定の範囲に収めることができ、設計において寸法を設定したり、安全率や抵抗係数を検討したりすることが可能になる。また、施工管理が確立されていて初めて、支持特性のばらつきがある一定の範囲に収めることができ、また、支持力特性を限られた数の現場載荷試験結果から推定したり、支持力推定式を作ったり、安全率や抵抗係数を検討したりすることが可能である。すなわち、新技術を確立するためには、施工についても必要条件を同時に定めなければならない。たとえば、道路橋示方書では、設計の前提として必要な施工条件を施工の章に定めている。したがって、新技術といえども、また、基礎といえども、構造部材としての出来型管理、施工管理規定の整備が必要とされる。

(4) 道路橋示方書が解説する4つの条件とプラスアルファについて

ここまで、道路橋基礎に用いる杭に必要とされる性能や要件を示してきた。それらを背景に、道路橋示方書や杭基礎設計・施工便覧は、基礎の中で最も技術開発が活発である杭について、以下の4つの条件を満足したものについて設計法を記載していることを明示している。

- (1) 鉛直載荷試験および水平載荷試験の結果から支持力特性が明らかである。ここに、支持力特性とは、鉛直方向には極限支持力および沈下特性であり、また、水平方向には水平力～変位

関係である。

- (2) 杭と地盤の間にゆるみがなく、変位の小さい段階から地盤抵抗を確保できる。
- (3) 杭体の変形性能、曲げ耐力及びせん断耐力の算定方法が載荷試験結果より明らかである。
- (4) 工法の施工管理手法が明らかであり、所定の手法によれば、上記の(1)、(2)及び(3)が確実に発揮できる。

なお、鉛直載荷試験結果の整理についても、杭頭沈下量が杭径の10%に達しても最大荷重点が現れないときには、杭頭沈下量が杭径の10%のときの荷重をもって設計上の極限支持力とすることが示されている。極論すれば、良い工法とは、必ずしも、良いアイデアの工法というわけではなく、これらの条件を満足している工法ということになる。

また、これらの4条件以外にも本質的に前提としているであろう事項があると想像される。たとえば、設計において工法を選定するためには、供給体制が確立された工法である必要がある。そこで、全国各地への供給体制が確実でない工法については、記載の対象外になるだろう。

また、レベル2地震時に耐震性能2を満足するように設計するということは地震後に緊急車両を通すために基礎を使用することを前提として良い。その場合は、地震後の基礎の支持力の照査も本来必要であろう。しかし、現在、この点について示方書には記述が無い。あえて解釈をすれば、経験的に、一般的な工法で打設された杭が普通の土層中であれば地震後にも残留支持力はある程度確保されているだろうと考えているということだろう。

以上のように、道路橋示方書も橋梁の各部材に要求される性能を明示すべく、性能規定型の設計体系へと移行している。そして、性能の大枠については明示されている。しかし、杭を除けば、事細かに各部材の要求性能を記述するには未だ至っていない。今後、杭のように、具体的に性能の検証がなされるべき事項が示されれば、杭以外の部材に関しても新技術の普及促進につなげられると考えている。また、杭についても、さらに具体的な表現を検討していく必要がある。

(5) 建設技術審査証明

構造物の基礎ひとつとて見ても、構造物の管理者が異なれば基礎に対して要求する性能も異なるであろう。道路橋示方書は道路管理者が要求する性能を満たす橋梁を実現するための基準書である。したがって、道路橋基礎へ新技術を導入するに当たっては、道路橋示方書が基礎に対して陽に、また暗に要求している性能を理解し、それを満足するような技術であるかどうか吟味されることになる。したがって、道路橋基礎を適用の範囲とする新技術が建設技術審査証明を受けようとする場合、道路管理者や道路橋示方書の策定に携わった経験のある技術者等が参考意見を述べる機会が設置されている。

最終判断は管理者にあるのだが、そこでの審議を経た技術というのは、審査された事項については、道路管理者が要求する性能を満たしていると判断されたものであり、当該事項については道路橋示方書に紹介される技術に近い品質の技術である。そこで、技術審査証明の取得は、現場における採用の可否の判断において必要とされる慎重さをかなり緩和することになる。また、普及が進み、技術が洗練されることで、各種便覧や道路橋示方書に具体的に設計法や施工管理方法が記述されるような道筋が開かれる。普及が進まないものは、そもそもニーズがある技術であったのかが問われることになるだろう。

(6) 学会に期待されること

上述のように、構造物の管理者が異なれば要求する性能も異なるため、新技術が実用に広く適するかどうかは管理者が自身の要求にしたがって判断されるものである。したがって、学会が新技術に対して学会としての観点から評価を行ったからといって、すぐに実際の現場での採用に結

びつくものではない。

むしろ学会には、性能の検証をどのように行うのか、たとえば試験方法をどのようにするのかという観点から、開発者および新技術の審査機関に必要な情報を提供する活動が期待される。杭を例に挙げれば、載荷試験の数は何個必要であるのか、載荷試験に用いる供試体の寸法は必ず実大規模でなければならないのか、縮小模型を用いるとすればどのくらいのスケールダウンが可能であるのか、規模が大きな基礎構造でそもそも載荷試験ができないようなものの性能の検証をどのように行ったらよいのかなどは、開発者も、それを審査する機関も情報を持ち合わせていない一方で、学会こそがリードして解決すべき課題であろう。

たとえば、杭の鉛直支持力の定義について、学会・杭の開発者と、構造物の管理者の間で意識のずれが生じていることも残念である。少なくとも、構造物の管理者は学術的な意味での極限荷重よりも、構造物を支持するという観点からどの程度の荷重までを一本の杭に分配してよいのかが知りたいわけで、杭頭位置での沈下量と関連付けて設計のための極限支持力を定義している。その判断に必要な載荷試験データも提供されるような載荷試験基準であって欲しい。杭先端で杭先端径の10%沈下したときの杭頭荷重(A)は、杭頭で杭径の10%沈下したときの杭頭荷重(B)よりも大きく、学術的には(A)の方が本当の極限状態に近い。そして、前者(A)により支持力を求める方があたかも大きな支持力を有しているように見えてしまうので、開発者にとっては(A)の定義が魅力的であるかもしれない。しかし、管理者からすれば(B)の定義の情報が必要である。支持力を発揮したときの杭頭での沈下レベルが不明であるということは、構造物がどのような状態で支持されるのかが説明できていない。それを知らずに(A)でのみ定義された極限支持力のデータが示されるのみでは、新技術を評価するに当たって会話が成り立たない。

また、出来型管理、施工管理手法の開発も期待したい。特に、最近では地盤改良を基礎構造の一部として利用するようなアイデアが有望であるが、構造設計に必要な情報を与えるためにふさわしい出来型管理、施工管理手法もあわせて開発されるべきだろう。

最後に、全くの新しい技術について、技術自体の開発をするのではなく、その技術を評価する方法の開発を担うべきであると考え。既存技術の類似工法、改良工法であれば、既存技術との対比により性能を比較評価することができる。しかし、全く新しい技術に対しては、そもそも、支持機構をどのように説明するのか、工法の特徴を学術的な背景を持ってどのように説明するのか、荷重変位関係をどのようにして一般化し、設計に必要な弾性限界点と最大荷重点を得るのか、どのような載荷試験を行うことで管理者が必要とするデータが得られるのかが明らかでない。したがって、その技術の善し悪しを判断するためのツールの開発が学会に期待されるのではないだろうか。

最近では、学の世界も新工法そのものの研究開発に力を入れる傾向が見受けられるが、学会員個人に対してではなく、学会という組織に対しては、学術的な観点から、工法の特徴を「構造物を支持する」という観点から評価可能にするための研究開発こそを期待したい。

(7) おわりに

本研究委員会では、主に技術開発に携わった経験のある委員から、新技術の普及において障害となっている問題点が多数提起された。それに対して、学会自身が技術の開発者になっても仕方が無いし、採用の可否については管理者がそのスペックに見合うものを用い、構造物の管理責任を有するという原則からすると、学会が特定の新技术を推奨することも開発者にとっては良くて管理者にとっては混乱がもたらされるだけということになりかねない。むしろ、学会へは、開発者と管理者の意見を集約し、両者の間を橋渡しするような活動や技術的な問題解決を行うことが期待されているのではないかと考える。

2.5 過去の新技术開発

2.5.1 鋼管杭の技術開発

ここでは、これまで鋼管杭に関して行なわれてきた技術開発のうち工法開発を中心に紹介する。

(1) 打撃工法 - 鋼杭の普及 -

鋼杭が基礎として用いられるようになったのは、20世紀の初め頃からであり、この頃構造物が大きくなり、深い支持層まで杭を打ち込む必要が生じ、強度が高く断面が小さくでき、地盤への貫入性の優れた鋼杭（H形鋼）が使用されるようになった。

わが国で鋼管杭が最初に基礎として用いられたのは1954年（昭和29年）の塩釜港の栈橋であった。その後、高度成長期に大規模な構造物が臨海部に次々と建設されるようになると、長尺の杭が短工期で施工可能な鋼管杭が急速に普及した。

当時、鋼杭の公的な認知を得るための活動として、1960年（昭和35年）に建築学会内に「鋼ぐい小委員会」が設けられ、1963年（昭和38年）に「建築鋼ぐい基礎設計施工規準・同解説」が成果として刊行された。また、1962年（昭和37年）には土質工学会に「鋼杭研究委員会」が発足した。官・学・民、土木・建築の研究者100人以上が参加した研究委員会であり、成果は1969年（昭和44年）に「鋼グイ（土質工学会）」として出版された。その中で、鋼杭の腐食が課題となり、1975年（昭和50年）までの10数年にわたり全国で地中での腐食状況の調査が続けられた。研究成果は1980年（昭和55年）大崎によって「鋼ぐいの腐食」にまとめられ、地中での腐食はあまり大きくないことが明らかになり、その後の鋼管杭の普及に大きく寄与した。

1964年（昭和39年）には「道路橋下部設計指針」（（社）道路協会）が発刊され、橋梁基礎としても鋼管杭が一般的に用いられるようになった。より大口径、長尺の鋼管杭を施工するために、施工機械の開発が進み、打撃力の大きいディーゼルハンマ、油圧ハンマが順次開発された。

しかし、昭和40年代に入ると公害問題がクローズアップされ、大きな騒音・振動が発生するハンマによる施工が規制されるようになり、鋼管杭は停滞を余儀なくされた。

(2) 中掘り杭工法

騒音・振動を抑制するために、昭和40年代半ばより、新たな施工法として開発が進められたのが中掘り杭工法である。中掘り杭工法はオーガにより地盤を掘削しながら、杭を沈設していく工法で、打撃工法のような騒音・振動は発生しないが、打撃工法のように先端閉塞効果による先端支持力が期待出来ない。そこで、先端支持力を発揮させるための開発が行なわれ、セメントミルク噴出攪拌方式が主流となった。1980年（昭和55年）の「道路橋示方書下部構造編」（（社）道路協会）に初めて鋼管中掘り杭工法セメントミルク噴出攪拌方式が記載された。1985年（昭和60年）にはTN工法、TAIP工法^注が建築分野で大臣認定を取得した。その後、実績を積み重ね、1990年（平成2年）発刊の「道路橋示方書下部構造編」（（社）道路協会）では、杭先端の極限支持力の算定方法が見直された。その際、適用する工法は(1)過去の鉛直載荷試験結果10例以上で算定式が確認されており、(2)施工管理手法が確立されている工法（この時点ではTN工法、TAIP工法等3工法）に限定するとの記載された。その後、建設技術審査証明制度が制定され、TBS工法、KNG工法、FB9工法が審査証明を受け、同等の性能が確認された。

(3) 鋼管ソイルセメント杭工法

コスト縮減に寄与する鋼管杭工法として更なる高性能、低コストを目指して、1985年（昭和

60年)頃より開発が進められたのが鋼管ソイルセメント杭工法である。鋼管ソイルセメント杭はオーガにより地盤を掘削しながら、セメントミルクを注入・混合攪拌して築造したソイルセメント柱の内部に外面突起(リブ)付き鋼管杭を沈設して一体化した合成杭である。周面摩擦力が大きく優れた支持力性能を有し、騒音・振動が発生しない上に、地盤を緩めずに施工が可能であり、都市部の近接施工にも適している。HYSC工法^{注)}が1991年(平成3年)、ガンテツパイル工法^{注)}が1995年(平成7年)に技術審査証明を取得し、実績を積み重ね、2002年(平成14年)の「道路橋示方書下部構造編」((社)道路協会)に鋼管ソイルセメント杭として記載された。

(4) 回転杭工法

平成に入るとこれまで以上に環境面への配慮が必要になり、杭施工時の建設発生土の処理が大きな問題となった。低騒音・低振動・無排土を実現した環境にやさしい工法として開発されたのが回転杭工法である。

回転杭工法は、先端に杭径の1.5~2.0倍の羽根を取り付けた鋼管を回転させることにより、地盤中に貫入させる工法である。先端に羽根を介して地盤に荷重を伝達するため、大きな押込み・引抜き支持力性能を発揮する。

回転杭工法は当初建築分野を中心に使われ、その後、大径・土木分野への適用開発が進められた。建築分野では、つばさ杭工法は1998年(平成10年)、NSエコパイル工法^{注)}が2000年(平成12年)に大臣認定を取得した。土木分野では、NSエコパイル工法が2000年(平成12年)、つばさ杭が2001年(平成13年)に建設技術審査証明を取得した。その後、実績を積み重ね、2007年(平成19年)発行の杭基礎設計便覧、施工便覧((社)道路協会)に回転杭工法として記述された。

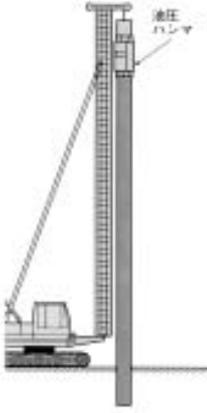
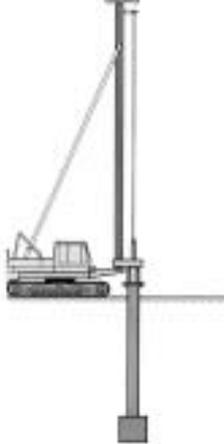
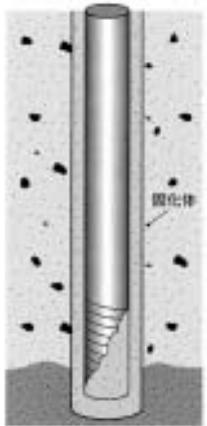
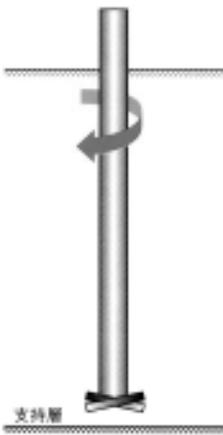
	打撃工法	中掘り杭工法	鋼管ソイルセメント杭工法	回転杭工法
工法名		TAIP工法,TN工法, TBS工法,FB9工法 KING工法	HYSC工法 ガンテツパイル工法	NSエコパイル工法 つばさ杭 ジオング・パイル
概要				

図-2.5.1 鋼管杭各工法

(5) 新しい技術開発

鋼管杭工法では中掘り杭工法を進化させた高支持力中掘り杭工法が建築分野で使われはじめてきている。また、鋼管杭の現場溶接の時間短縮、品質確保のために機械式継手が開発され、2工法が技術審査証明を取得している。

鋼管矢板基礎は仮締め切り方式を中心にわが国で発展してきた工法であるが、近年、経済性向上を目指し、せん断耐力・剛性を高めた新しい継手を用いた工法、2本の鋼管を繋げた連結鋼管矢板工法等の開発が進められている。

港湾分野では、大水深の岸壁に対応したジャケット工法、水中ストラット工法が用いられている。

また、構造的には橋脚への適用および半地下道路の仮締め切り壁を兼用した鋼管矢板本体壁への適用が検討されている。

(6) おわりに

これらの開発を見ると、(1)その時代に則した社会ニーズに的確に対応していること、(2)載荷試験、実績を積み重ね技術的に確立していること、(3)土木・建築分野とも公的な認知・認証を受けること、が開発された技術が普及していく上での大きな要因であると考えられる。

注)「T A I P工法」は㈱ジオトップ、「H Y S C」はJ F Eスチール㈱、「ガンテツパイル」、「NSエコパイル」は新日本製鐵㈱の登録商標である。

参考文献

- 1) 鋼管杭協会：鋼管杭 - 設計と施工 - ，2004.
- 2) 鋼管杭協会：1971-1991そして未来へ - 鋼管杭協会設立20周年記念誌 - ，1991.
- 3) 福井次郎：鋼管杭新時代 - 歴史から最新技術まで - ，土木施工，Vol.47-2，pp. 2-4，2006.
- 4) 大崎順彦：「鋼ぐいの腐食」，(社)鋼材倶楽部，1980.
- 5) (財)国土開発技術センター：建設技術審査証明事業（一般土木工法）報告書「ガンテツパイル」(鋼管ソイルセメント杭工法)，2006.1
- 6) (財)国土開発技術センター：建設技術審査証明事業（一般土木工法）報告書「H Y S C杭」(鋼管ソイルセメント杭工法)，2007.2.
- 7) (財)国土開発技術センター：建設技術審査証明事業（一般土木工法）報告書「NSエコパイル工法」(回転圧入鋼管杭工法)，2004.1
- 8) (財)土木研究センター：建設技術審査証明報告書 先端翼付き回転貫入鋼管杭「つばさ杭」，2006.5
- 9) (財)土木研究センター：建設技術審査証明報告書 先端翼付き回転貫入鋼管杭「ジオウイング・パイル」，2005.9

2.5.2 低空頭場所打ち杭工法（BCH工法）

(1) 概要

近年、都市再生事業の一環として都市土木施設のリニューアル、機能向上が図られているが、それらの一つとして既設鉄道の高架化工事や桁の架け替え工事、耐震補強工事がある。このような工事においては、既設の桁下や既設構造物と隣接する位置など低空頭あるいは狭隘な箇所新たに基礎杭を施工する必要があり、今までより厳しい施工条件下でも対応可能な杭の施工法としてBCH工法が開発された。

(2) 従来の低空頭・狭隘部対応場所打ち杭工法の特徴

低空頭・狭隘な場所での場所打ち杭の施工方法としては正循環工法（BH工法など）や逆循環工法（TBH工法など）がある。それぞれの特徴は以下の通りである。

『正循環工法；BH工法』

- ・掘削機構上、逆循環工法よりも施工機械を小型化することが可能である。
- ・孔内全体に掘削土を浮遊させた高比重の安定液が循環するため、孔壁にマッドケーキが形成されやすく、かつ杭先端にスライムが沈降する傾向が高いため、本設構造物としての支持力性能において品質・信頼性が低い。

『逆循環工法；TBH工法』

- ・常に孔内を低比重の良好な安定液で満たせるため、造成される杭の品質・信頼性は高く、本設構造物としての杭の造成に使用されてきた。
- ・施工機械が大きくなるため、超低空頭・狭隘な場所での適用性に関しては正循環工法よりも不利である。

(3) BCH工法開発が目指したところ

従来工法の特徴を改善し、より低空頭・狭隘な場所での施工を可能とするため、正循環工法であるBH工法を基本としながら安定液の品質を向上させることで、TBH工法と同等の支持特性を有する杭の造成を目指してBCH工法が確立された。開発過程で実施された主な項目は以下の通りである。

従来の正循環方式であるBH工法が抱えていた孔内の安定液の高比重化による支持力性能の低下という課題を改善（安定液の濃度を改善）

造成された杭（BCH杭）の支持力特性を定量的に把握し、鉄道構造物基礎として十分な支持力を有することを杭の押込み試験（地盤工学会基準 JGS1811）を実施して確認

大口径（2.0mまで）の場所打ち杭にも適用できるように機械外寸法の大型化を抑制しつつ、掘削・揚泥能力の向上を図った施工機械を用いた実験にて確認

(4) BCH工法の掘削機構

BH工法とBCH工法の掘削機構を図-2.5.2に示す。BH工法では掘削ビット先端から良質な安定液を噴出させ、それに掘削土砂が混ざった泥水を孔口まで押し上げて孔内から排出する。そのため、安定液を良質な状態に保つことは困難であり、安定液の管理を正しく行わないと所定の杭の支持力を得られないという欠点を有している。そこで、

掘削ビット直上に揚泥管を設置して、掘削土砂が混入した泥水を、孔内を循環させることなく地上に排出

孔口から良質な安定液を供給することで、常に孔内を良質な安定液で置換

を可能にすることによって、小型の機械でより低空頭・狭隘な場所での施工を実現し、かつ本設杭としての十分な支持力性能を有する場所打ち杭を造成する。

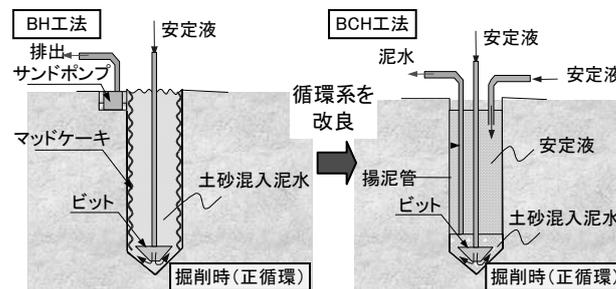


図-2.5.2 B H工法とB C H工法の掘削機構

(5) B C H工法の特徴

B C H工法の概要は図-2.5.3 に示した通りで、主な特徴を以下に示す。

スライムの浮遊を防ぐため、掘削ビットの上方 1.5m 以内に吸引口が位置する揚泥管を新たに配置し、掘削土砂を掘削直後に吸引して孔外へ排出する。また、削孔後に掘削ビットを回転することによって孔底のスライムを除去する。

掘削土砂の効率的な排出を行うため、揚泥管の管径及びポンプ容量を拡大して揚泥能力の増強を行うとともに、安定液の量及び品質を安定させるため、孔口から良質の安定液を供給する。狭隘部での施工性の向上を図るために、揚泥管にスイベル装置を設置して、揚泥管の脱着を容易にする。

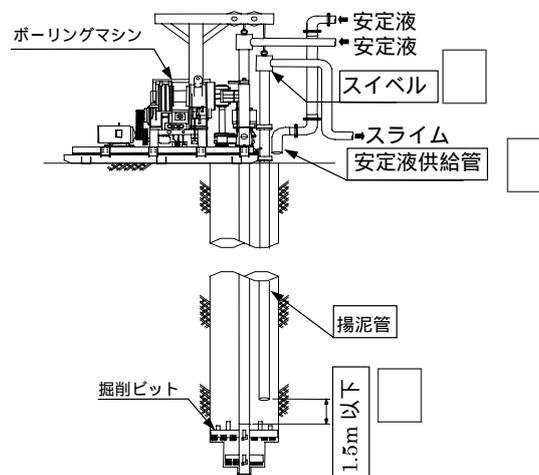


図-2.5.3 B C H工法の概要

(6) 効果の確認

効果の確認として以下に示す確認試験を実施している。

支持力確認試験

まず、800mm の試験杭で多段階載荷方式・多サイクルの静的載荷試験により押し込み試験を実施している。



写真-2.5.1 載荷試験

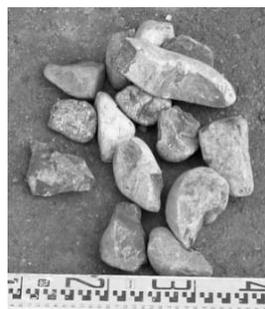


写真-2.5.2 掘削礫

試験杭の安定液のベントナイト濃度は、実際の施工における平均的な値として 5%としているが、設計値を上回る最大周面支持力及び基準先端支持力が得られる可能性があることから、計画最大荷重としてベントナイト濃度を 3%未満として得られる設計鉛直支持力（地震時終局限界状態）に 50%の割増を見込んだ値を設定している。

最大周面支持力度及び基準先端支持力度については、杭径の 10%の変位における値とピーク値の内、大きい値を試験値とし、杭周面のせん断地盤反力係数及び杭先端の鉛直地盤反力係数については、基準変位量 10mm の時の周面支持力度及び先端支持力度の割線勾配としている。

杭の鉛直支持力について試験値と設計値を比較すると、最大周面支持力が設計値の約 1.6 倍、基準先端支持力は設計値の 2.8 倍となり、設計値の約 2 倍の値が得られ、十分な支持力が得られることが確認されている。また、各土層の最大周面支持力度、杭周面のせん断地盤反力係数、基準先端支持力度、鉛直地盤反力係数のいずれも試験値が設計値を十分上回る結果になったことが報告されている。

大口径施工確認試験

次に、鉄道工事での採用が多い 1.3~2.0m クラスの場所打ち杭まで適用範囲を拡大するため、大口径仕様の施工機械を用いて 1.8mの掘削試験工事を実施している。BCH工法では礫掘削に困難を伴う場合が多いことから礫層が主体の地盤にて実施している。大口径削孔に際し、ボーリングマシンの馬力アップに加えて改良された点は以下の通りである。

(1)揚泥管径を標準仕様 5 吋から 6 吋にサイズアップ

(2)サクシオンポンプの容量をアップ

(3)ロッド先端からの送水量を従来の 0.3~0.5m³/分から 0.8~1.0m³/分にアップし掘削速度は、GL-17~20mの礫層に対して 80 分/mで、施工条件（礫径が 50mm~100mm 程度（写真 - 2）で試験の掘削径が 1.8m）をもとに積算基準に準じて掘削速度を算定すると 78 分/mとなり、積算基準と同等であったと報告されている。なお、上記(1)の変更により揚泥管の管内摩擦抵抗が減少し、揚水量が 1.5~2.0m³/分から 3.5~4.0m³/分へと上昇しており、掘削効率の向上が図られたと考えられている。掘削完了後に実施した孔壁測定結果より、全深度において設計杭径を確保し、かつ鉛直精度も良好に掘削できることを確認した。孔底部についてもスライムの影は見られず、孔底処理が効果的に行われていることが確認できている。

以上の結果より、2.0m程度の大口径場所打ち杭に対してもBCH杭による施工は十分可能であり、造成された場所打ち杭は標準仕様と同等以上の支持性能を有するということが、適用範囲が広がっている。

(7) まとめ

BH工法が有していた課題を解消するために改良を加え、超低空頭・狭隘な箇所における本設構造物基礎としての場所打ち杭を正循環方式にて造成することを目指してBCH工法が開発された。その改良の効果は、掘削中に測定された孔内のベントナイト濃度や掘削後の孔壁の超音波測定結果から確認することができる。また、押込み試験を行うことにより、定量的にも試験地点では鉄道構造物基礎として十分な支持力特性を有することが確認された。BCH工法により最小空頭制限は2.7m、近接構造物からの最小離隔40cmという超低空頭、狭隘箇所における場所打ち杭(0.7~2.0m)の施工が可能となった。現在ではBCH工法の実績も増え、主に鉄道工事において標準的な工法として復旧しつつある。今後は、更なる適用と押込み試験の実施によるデータの蓄積を図り、一般的な工法としての展開を目指している。

参考文献

- 1) 村田, 神田, 齋藤他: 低空頭・狭隘対応場所打ち杭BCH (Bottom Circulation Hole) 工法の概要と特徴, 土木学会第59回年次学術講演会, 2004.9, pp.929-930.
- 2) 嶋田, 棚村, 西岡他: 低空頭・狭隘対応場所打ち杭BCH (Bottom Circulation Hole) 杭の支持力特性, 土木学会第59回年次学術講演会, 2004.9, pp.931-932.
- 3) 神田, 日吉, 野川, 吉川, 齋藤, 小滝: BCH (Bottom Circulation Hole) 工法の開発と施工例, 基礎工, 2005. 2月号, pp.36-41.
- 4) 神田, 西岡, 嶋田, 吉川, 齋藤, 小滝: 低空頭・狭隘部における新しい場所打ち杭工法BCH (Bottom Circulation Hole) 工法の概要, 第40回地盤工学研究発表会, 2005.7, pp.1697-1698.
- 5) 神田, 吉川, 齋藤, 小滝: 狭隘箇所対応の場所打ちRC杭工法の開発, 建設機械, 2005年8月号 pp.35-40

2.5.3 杭頭ピン接合工法の開発

構造物の耐震性能の向上と建設コストの低減は、あらゆる構造物の建設において求められている必須の課題である。杭基礎構造物に関して、この課題に対する解決を図ることを目的に実施された杭頭ピン接合工法の技術開発について、その概要を紹介する¹⁾。

(1) はじめに

杭頭をピン接合とした場合、最大の曲げモーメントは地中で発生することになるが、その最大曲げモーメントは杭頭を剛接合とした場合の杭頭での最大曲げモーメントより通常は小さくなる。このことから杭頭をピン接合とすることにより、杭および基礎梁の断面性能が小さくでき、経済的な設計ができると同時に、杭頭での地震被害が回避できると考えられる。

しかし、水平荷重を杭頭に静的に載荷して行う杭基礎の耐震設計法に従うと、杭頭をピン接合した場合、杭頭の水平変位は杭頭を剛接合としたときの2倍大きくなる(地盤が均質一様な場合)。さらに、これまで信頼性のある杭頭ピン接合工法が開発されていないことから、特別な場合を除いては杭頭をピン接合する工法の採用は見送られることが多かった。

ところが、杭基礎・地盤・構造物系の動的相互作用 (Soil-Structure-Interaction: SSI) の研究の進展に伴い、杭の地震応答に及ぼす地盤震動の影響 (Kinematic Interaction) が非常に大きいことが認められるようになり²⁾、杭頭をピン接合した場合と杭頭を剛接合した場合とで、杭の変位には大きな差異が発生しないことが、解析的ならびに実験や実測などから明らかにされるようになった。このことが杭頭ピン接合工法の開発の動機づけとなり、近年いくつかの機関で杭頭を剛接合しない工法の技術開発が行われている³⁾⁴⁾。

(2) 杭頭ピン工法の要求性能とピン接合デバイスの形状

杭頭ピン接合工法において求められる要求性能は、(1) 上部構造物の長期鉛直荷重を杭に完全に伝達し、(2) 杭頭が自由に回転できて、杭頭に曲げモーメントを発生させず、(3) 地震時に上部構造物から作用するせん断力を杭に完全に伝達することである。この三つの異なる要求性能をすべて満足させるように開発した杭頭ピン接合デバイスの形状が、図-2.5.4である。上部構造物の鉛直荷重は球座と上蓋の球面接触によって伝達し、回転は球面での滑りで生じさせ、せん断力は上蓋と球座の水平方向の接触によって伝達させるもので、上蓋が球座の上に乗り上げようとする力がそれに匹敵する。

また、杭に引き抜き力が作用しても杭頭ピン接合デバイスの機能が失われないようにするために、上蓋と球座が締結用ボルト (ハイテンボルト) によって連結されている。締結用ボルトの引張強度が、最大の引き抜き力となる。締結用ボルトは杭頭ピン接合デバイスの回転に影響を及ぼさないように、杭頭ピン接合デバイスの中央に配置され、さらに締結用ボルト径と杭頭ピン接合デバイスの中央の穴径には余裕代が設けられている。またせん断力が作用しても、穴径の余裕代によって、締結用ボルトはそのせん断力には抵抗しない構造となっている。

杭頭ピン接合デバイスに引き抜き力が作用した場合、球座の下面に設置された球面座金 (球面の曲率中心は球座の曲面中心に一致している) が、球座穴の下面 (上蓋と同じ曲率中心を持つ球面形状となっている) と接触し、杭頭ピン接合デバイスに引き抜き力が作用した場合でも、回転性能を保持しつつ、せん断力の伝達 (球座穴の下面と球面座金の接触によって) が行えるような工夫がなされている。

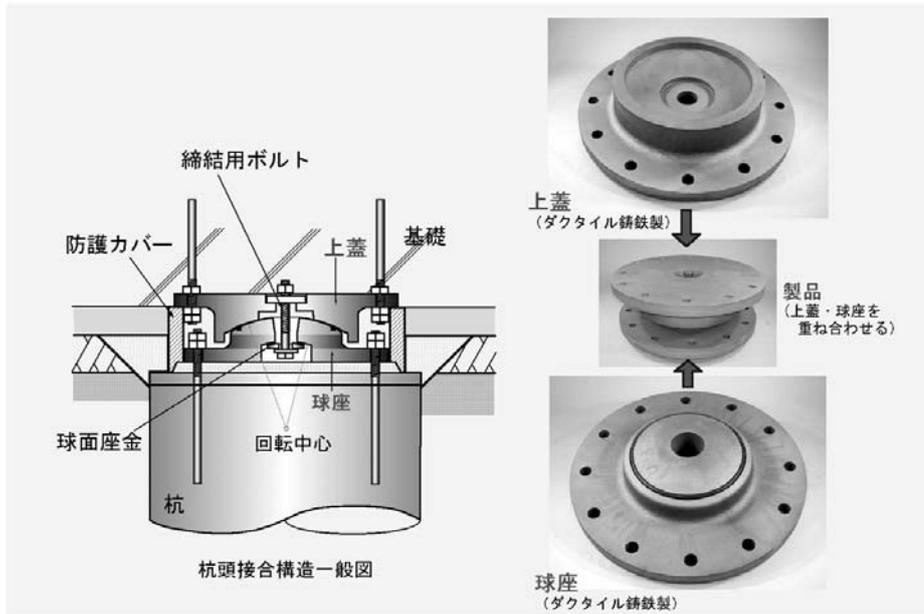


図-2.5.4 杭頭ピン接合デバイス

さらに、想定以上の地震力が作用して杭頭で過大な回転、あるいはせん断力が発生した場合のフェールセーフ機構として、上蓋の外周に突起を設け、過大な回転と水平方向の移動が防止できる機構を備えている。

(3) 杭頭ピン接合デバイスの施工に関して

建設コスト低減のためには、杭頭ピン接合デバイスの価格はもとより、施工法の低廉化が要求される。特殊な施工機械は勿論、特別な施工技術も必要とせず、杭の施工管理も通常の杭の施工管理基準によって行える施工法が望まれ、その技術開発も併せて実施した。ここではその詳細は割愛する¹⁾。

杭頭ピン接合デバイスの施工で検討しておかなければならないもう一つの課題は、据え付け精度の問題である。言い換えれば、杭頭ピン接合デバイスの水平方向の設置位置のずれ、ならびに傾きはどの程度許容できるかである。これに関しても十分な検討を行っており、通常の杭の施工基準に従って施工されれば、杭頭ピン接合デバイスの据え付け精度の問題は生じないことが明らかにされている¹⁾。

(4) 杭頭ピン接合法の特長、技術評定ならびに適用実績

杭頭ピン接合法の特長は、(1)繰り返しの地震外力に対しても機能維持ができる構造であり、(2)引き抜き力にも対応できる、(3)すべての種類の杭にも適用が可能である、(4)特殊な施工技術を必要としない、(5)通常の施工基準で施工が可能である、(6)杭頭ピン接合デバイスが工場製品で品質が保証されている、(7)基礎の建設コストの低減が見込める、(8)設計が簡便である、(9)杭頭部の耐震性能が向上する、などである。

杭頭ピン接合デバイスの上蓋、球座、球面座金はダクタイル鋳鉄製で、長期の耐久性を確認するために、JIS-Z2371 に準拠した塩水噴霧試験を実施している。また地震時挙動特性を把握するための杭基礎・地盤・構造物系の遠心模型振動実験、個別要素法や有限要素法による杭頭ピン接合デバイスの接触問題に解析などを行い、この工法の有効性を確認している。

この工法の技術評価は、財団法人日本建築センターで、平成 14 年 6 月 21 日（場所打ちコンクリート杭に関して）ならびに平成 16 年 6 月 24 日（既製杭に関して）に取得している。また、この工法の採用実績は、オフィスビルや工場などを中心に、これまでで 8 件である。

参考文献

1. 田蔵隆、大槻明、青木孝、真野英之、磯田和彦、岩本利行、荒川範行、石原孝浩、大川雅之、耐震性能の向上と建設コストの低減を目的とした杭基礎工法の研究開発、電機土木、2001 年 7 月、pp.98-103.
2. たとえば、南荘淳、安田扶律、藤井康男、田蔵隆、大槻明、淵本正樹、中平明憲、黒田兆治、道路橋橋脚基礎杭の地震被災解析とその対策法に関する研究、土木学会論文集、No.661/I-53、2000 年 1 月、pp.195-210.
3. 杉村義広監修、これからの建築基礎構造 - 杭基礎を中心に、建築技術、2000 年 9 月、pp.115-209.
4. 杭基礎 - 杭頭を剛結しない、日経アーキテクチャー、2001 年 3 月 5 日号、pp.94-95.

2.5.4 杭基礎の耐震補強工法（In-Cap 工法）の開発

(1) はじめに

一般に基礎の耐力向上・補強工事は、桁下空頭などの制約条件により工費・工期を要するため、他の補強工事と比較してその適用実績はあまり多くない。その一方で、各種インフラ施設の防災対策の見直しとともに、既存ストックの有効利用が叫ばれる中、施工的に効率の良い簡易な基礎の耐震補強工法の開発は今後の社会的ニーズに合致するものであると考える。

これらの事情を背景として、低コスト化および工期の短縮を図ることができると共に、狭い作業現場でも容易に施工することができる、既設構造物基礎の耐力強化・耐震補強工法「In-Cap 工法（以下、本工法という）」が開発された¹⁾。本工法の構造は、図-2.5.5 に示すように既設基礎フーチングを鋼矢板で所要の深さまで取り囲んで内部を固化改良し、増しフーチングで既設基礎と一体化するものである。ここでは、工法の概要と実橋に適用した基礎補強工事事例について述べる。

(2) 補強効果と特徴

本工法では、図-2.5.6 に示されるように周辺地盤の抵抗要素の増加と、固化改良体が杭体を拘束することによる剛性の増大により、基礎の耐力向上を図っている。開発に当り、各種模型実験により定性的に補強効果を確認した。固化改良体の配置形式は、施工上および構造上の要件から図-2.5.7 に示すような外周固化型と杭拘束型 2 パターンを設定している。また、既設杭基礎と固化改良体の挙動を表現するためにバネフレームと平面ひずみ要素を組合せた補強構造モデルを構築し、実験結果に対する解析シミュレーションを実施して再現性を確認した。設計では、補強構造モデルを用いて対象構造物の所要の耐震性能を満足するように、固化改良体の配置と深度を決定する。本工法の施工的な特長は、施工時に外周の鋼矢板を仮土留めと兼用できること、構造体外寸が小さく、施工占用面積が小さいことである。

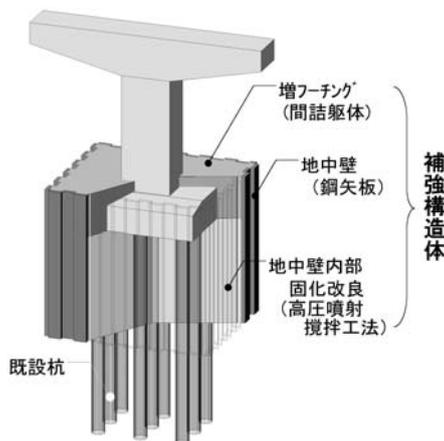


図-2.5.5 既設基礎耐震補強工法

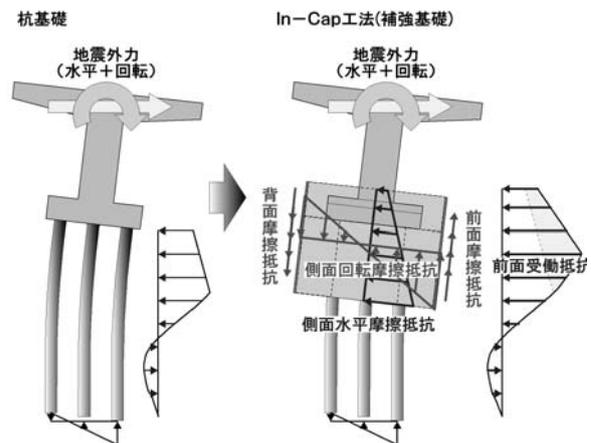


図-2.5.6 In-Cap 工法 耐震補強メカニズム

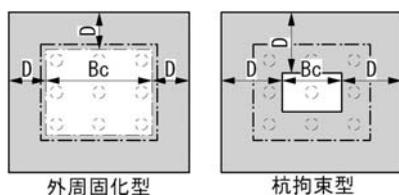


図-2.5.7 固化改良体の配置形式の例

(3) 適用事例

1) 適用工事の概要

適用対象となった橋脚基礎は、橋長約 170m、6 径間単純合成鈹桁橋の 1 層 2 柱式ラーメン橋脚の鋼管杭基礎 5 基である。橋梁は昭和 40 年代に建設されたものであり、橋脚基礎に対して現行の道路橋示方書に準じた耐震性照査が行われた結果、レベル 1 地震時では水平変位が、レベル 2 地震時では基礎の支持力が、所要の性能を満足できない判定となった。そこで、各種補強工法との経済性比較の結果、In-Cap 工法が採用された。

今回の構造の特徴を以下に示す。また、構造図を図-2.5.8 に示す。

支持力を確保するため、増し杭（場所打ち杭 1000mm×14 本）を既設フーチング周囲に配置する。

固化改良範囲は施工性・経済性より、増し杭部分のみに配置（杭拘束型）する。

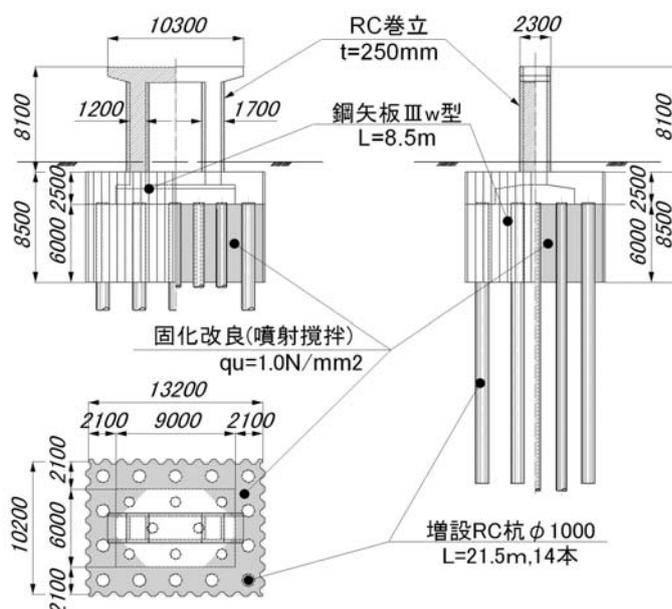


図-2.5.8 補強構造図

2) 設計概要

対象地区には、N 値 0~2 の軟弱粘性土層が地表面から約 20m にわたって存在している。そのため、当初の補強基礎形式の選定では、増し杭形式は変位抑制のために杭本数が著しく多くなることから、鋼管矢板基礎増設型式で設計されていた。これに対し、増し杭を併用した In-Cap 工法による提案を行い経済的に有利となったため採用された。設計における留意点を以下に挙げる。

増し杭は施工環境より TBH(トップドライブ・リバース)工法による場所打ち杭を採用した。

増し杭の配置は施工性より、既設フーチング端部および鋼矢板中心から杭中心までの離隔をとともに 1D とした。増し杭の杭径は、補強後基礎フーチングの直角方向幅が敷地境界を超えない最大径となる 1000mm とした。

鋼矢板と増しフーチングの接合はプレート・ブラケット方式とした。

固化改良体配置形状は、橋軸方向の荷重による改良体への引張応力を抑制するため、図-4 の平面図に示すように隅角部にハンチを設けた。

地盤がごく軟弱な粘性土層であるため、周辺地盤の沈下による改良体下部の空隙発生を考慮し、固化改良体自重を付加鉛直荷重として考慮した。

増しフーチングは、通常のフーチングの設計に加え、既設構造との境界面に対する照査を行

い、既設フーチングへのアンカー定着鉄筋を求めた。

構造計算の結果、レベル1時の支持力確保のために、増し杭の本数は14本が必要となった。また、レベル2時に増し杭に生じる曲げモーメントを低減させるために、固化改良体の造成深さは6.0mとなった。なお、フーチング高さは2.5mである。

3) 施工概要

本工事における施工上の留意点を以下に示す。

橋梁を供用した状態での施工で、既設橋脚に与える変状を最小限とする必要がある。

桁下での空頭制限下における施工であり、工事用地が施工上必要な最小限の幅である。

これより、動態観測(リアルタイム)による計測管理を行った。

鋼矢板工の施工は、静的貫入力による圧入工法を採用した。鋼矢板の仕様はフーチング構築時の掘削土留め兼用であることを考慮しw型としている。圧入長は8.5mで、桁の影響が無い部分は1枚ものとし、桁下部は空頭制限を考慮して、5.0m+3.5m(一部4.0m+4.5m)の2枚継ぎにて施工した。

固化改良工は、対象構造物及び周辺地盤に影響を与えにくい噴射攪拌三重管工法で実施した。固化改良体は、基本的に必要改良範囲は改良率100%となるように円柱状の改良体を配置した。固化改良体の配置例と桁下空間における施工状況を図-2.5.9に示す。

場所打ち杭工は、桁下施工等、狭隘空間での施工に適するTBH工法により行った。当初、固化改良体部分の掘削時の施工性が懸念されたが、特に問題なく完了した。

増しフーチング・橋脚巻立て工については、通常の耐震補強工事と同様である。増しフーチング部分の鋼矢板内側については既設躯体との一体化を図るため、鋼管矢板基礎で用いられているようなプレートブラケット方式のコネクタを設置した。

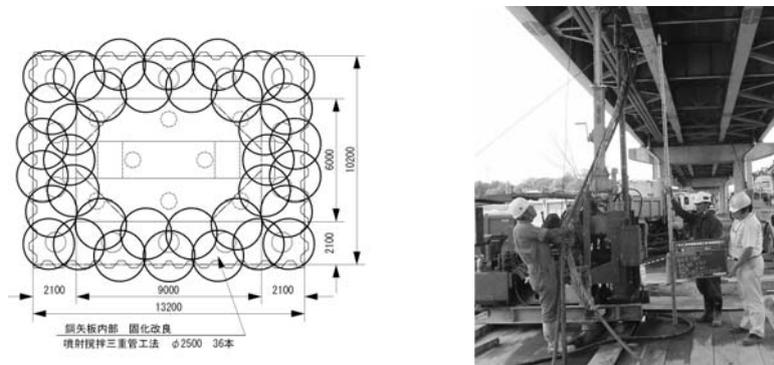


図-2.5.9 固化改良体配置例と桁下における施工状況

(4) おわりに

新しい既設杭基礎構造物の耐震補強工法であるIn-Cap工法の概要と施工事例を述べた。施工では、高架橋の交通を妨げずに施工を行うことに対し、綿密な計測管理を行い無事完了した²⁾。

本工法は(財)国土技術研究センターにおいて審査を受け、平成17年3月に建設技術審査証明書³⁾を取得している。

参考文献

- 1) 深田 久, 加藤 康司, 青柳 守, 大矢 勉, 塩井 幸武: 固化改良を併用した軟弱地盤上の既存橋梁基礎の補強に関する研究, 第50回地盤工学シンポジウム平成17年度論文集, pp.319-326
- 2) 武藤雅俊, 瀬川信弘, 稲川浩一: 杭基礎の耐震設計・補強事例 In-Cap工法, 基礎工, Vol.35, 2007.2, pp.54-56
- 3) 建設技術審査照明事業(一般土木工法)報告書, In-Cap工法, 平成17年3月:(財)国土技術研究センター

2.5.5 パイルド・ラフト基礎

パイルド・ラフト基礎とは図-2.5.10 に示すようにべた基礎などの直接基礎と杭基礎を併用した基礎形式であり、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をいう¹⁾。杭基礎の設計では基礎スラブ底面の地盤の抵抗力を無視するのが原則であるが、パイルド・ラフト基礎では、ある程度の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ついて、この抵抗力を積極的に利用して基礎の合理化をはかろうとするものである。この基礎形式は1970年代に英国のBurlandらが提案した、杭を直接基礎の沈下を低減させる部材 (settlement reducer) とみなす考え方に基づくものである。

我が国におけるパイルド・ラフト基礎の開発の経緯については、文献2)に詳しく記されている。本文はこのうち、技術の普及に関わる部分を要約し、若干の補足を加えたものである。

パイルド・ラフト基礎を国内で初めて実現したのは、1984年に東京都江東区の旧竹中技術研究所内に完成した実験用構造物である(図-2.5.11)。軟弱な沖積粘性土が厚く堆積しているため、通常なら長さ40m以上の支持杭が10本程度必要となる。一方、直接基礎とすると支持力は満足するが10cm弱の圧密沈下が生じるものと予測された。そこで、実験用構造物であることと、工費の面での要望にも応えるため、直接基礎に杭を併用したパイルド・ラフト基礎の採用に踏み切った。すなわち、圧密層を貫入する摩擦杭とべた基礎を併用することにより、荷重の一部を下部の過圧密層へ伝達させて圧密沈下を減少させることとした。この構造物について、長期間にわたり沈下挙動を観測した結果を図-2.5.12に示す。

沈下量は3-4cm程度で過大な不同沈下を生じることもなく、工費の面でも満足できる結果となった。つぎに、パイルド・ラフト基礎の沈下量および杭とラフトの荷重分担を評価するために、基礎・地盤・杭の相互作用を弾性論に基づいて考慮した解析手法を開発し、上述の構造物の沈下挙動を表現できるように地盤定数の設定法を含めた設計ツールを作成した。

国内で初めて実建物にパイルド・ラフト基礎を適用したのは、埼玉県浦和市におけるRC構造4階建ての事務所ビル(1987年竣工)である(図-2.5.13)。建物の平均接地圧(60kPa)に対し、地盤の許容支持力は120kPaで支持力には余裕があったが、沈下量が5cm程度発生し基礎の傾斜角が過大になることが予測された。そこで沈下量を低減するため、べた基礎に杭長15mの鋼杭16本を併用したパイルド・ラフト基礎を採用した(申請上は杭を無視し直接基礎とした)。この建物についても沈下挙動を観測した結果、最大沈下量は約1cmと満足できるものであった。その後

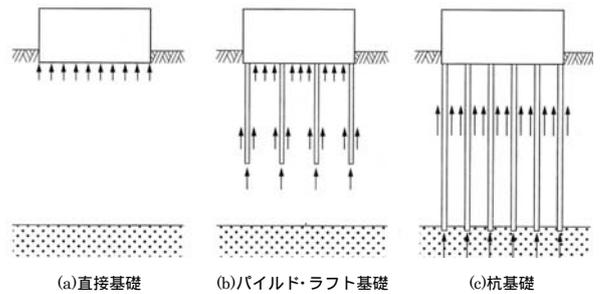


図-2.5.10 パイルド・ラフト基礎¹⁾

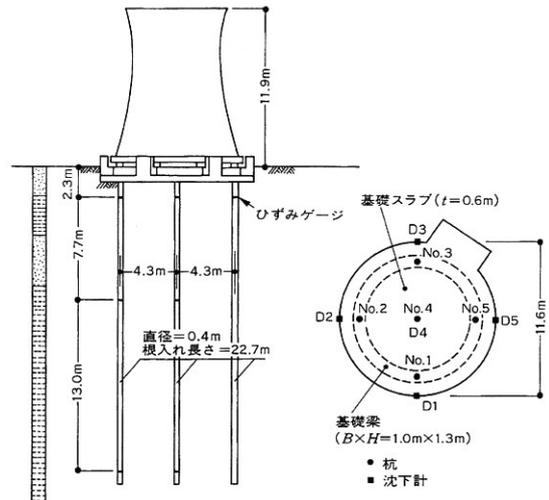


図-2.5.11 実験用構造物の基礎³⁾

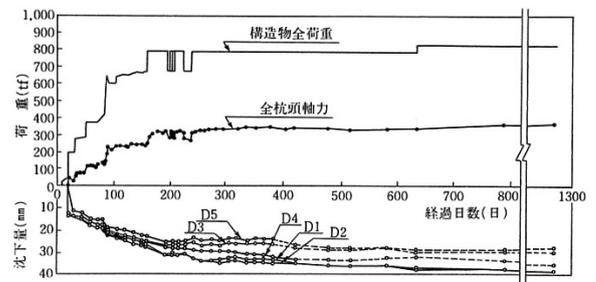


図-2.5.12 実験用構造物における荷重と沈下量の経時変化³⁾

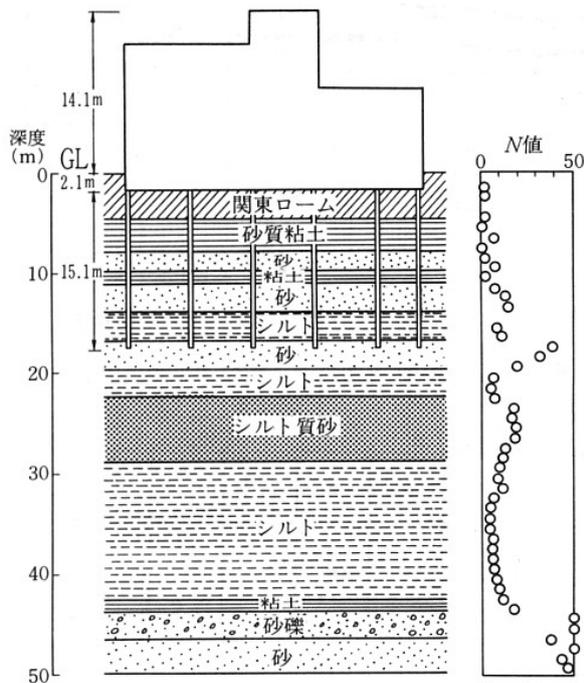


図-2.5.13 初めて建物に用いた
パイルド・ラフト基礎⁴⁾

低層～中層の建物への適用を重ねながら，実測値の蓄積を図るとともに設計ツールのブラッシュアップを継続し，1990年代半ばには設計法がほぼ確立された。

その当時，建築における基礎は直接基礎か杭基礎の二者択一で，部分的に直接基礎を使い，他の部分は杭基礎を使う異種基礎は原則的に禁止であり，直接基礎と杭を混在して使うパイルド・ラフト基礎は思考の範囲外という状況であった。ちょうどその頃，日本建築学会の建築基礎構造設計指針（2001年版）（以下，基礎指針（2001）と記す）の改定作業が始まった。基礎指針（2001）における基礎設計の基本方針は，その第1章に「異種基礎の併用や基礎を良質な地盤に支持させない設計でも十分安全な基礎構造の設計が可能である方法を示す」と記されているように性能設計に根ざすものであり，この方針の下，パイルド・ラフト基礎が併用基礎の一部として基礎指針（2001）に新たに加えられた。この際，上

述のパイルド・ラフト基礎の効果や設計の考え方が大きく反映された。

基礎指針（2001）の発刊を期に，パイルド・ラフト基礎の採用件数が急激に増加し，近年では超高層建物への適用も20件近くになる⁵⁾。このような背景には，パイルド・ラフト基礎のもつ合理性（経済性や環境負荷低減を含む）とともに，その設計法をオーソライズし普及を促進した基礎指針（2001）の役割があげられる。

参考文献

- 1)日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001.
- 2)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，54-6，pp.25-28，2006.
- 3)Kakurai, M., Yamashita, K. and Tomono, M. :Settlement behavior of piled raft foundation on soft ground, 8th ARCSMFE, pp.373～376, 1987.
- 4)Yamashita, K. and Kakurai, M. :Settlement behavior of the raft foundation with friction piles, 4th Int. Conf. on Piling and Deep Foundations, pp.461～466, 1991.
- 5)(財)建築コスト管理システム研究所新技術調査検討会：「パイルド・ラフト基礎」の調査報告，建築コスト研究 56, pp.72-80, 2007.

2.5.6 鋼矢板併用型直接基礎（シートパイル基礎）

(1) 開発の背景

軟弱地盤に鉄道構造物基礎を構築する場合、構造物構築後や地震後の傾斜や不等沈下が懸念されることから、従来、支持杭が用いられてきた。しかしながら、地中深く杭を構築するには膨大な施工コストや多量の掘削汚泥・泥水が生じ、最近では連続立体交差事業など都市内での狭隘な場所や鉄道近接での杭構築など、鉄道構造物基礎に対する要求事項は益々多様、かつ難問となりつつある。一方、内陸部では標準貫入試験 N 値が 10～30 未満と支持層とするには不十分ながらも、中間的な支持力が期待できる地盤（このような地盤を「中間支持地盤」と呼ぶ）が存在する場合も見られる。しかしながら、現状では中間支持地盤であっても表層の支持力を有効に活用することなく、支持杭が多用されている。

したがって、鉄道構造物基礎として十分な耐震性を確保しつつ、都市部の狭隘な場所においても十分な施工性および環境調和性（低騒音、低振動および産業廃棄物の低減）が望め、かつ経済的な基礎形式が求められている¹⁾。

(2) 技術開発要素

上記課題の解決策として鋼矢板併用型直接基礎（シートパイル基礎と呼ぶ）を提案し、種々の載荷実験によりシートパイル基礎の支持性能、水平抵抗性能や耐震性能の優位性を示し、設計モデル・設計法の提案および検証を実施した。さらに「設計・施工マニュアル」を整備し、開発技術の標準化と普及を図った。

以下にシートパイル基礎の特徴と設計法の概要を示す。

シートパイル基礎の特徴^{2)・3)}

施工性が良く経済的な既存基礎形式としては、直接基礎が挙げられるが、浅い位置に良好な支持層（砂質土：N 値 30 以上，粘性土：N 値 20 以上）が現れる場合に限られる（図-2.5.14a）。一方、杭基礎は厚い軟弱層が堆積する地盤条件では適用性の高い基礎形式であるが、一般的に施工機械が大きく、狭隘な場所や鉄道近接工事には不向きである。また杭施工に伴う掘削汚泥・泥水は産業廃棄物となり環境調和性にも問題を残す。

そこで、直接基礎と杭基礎の中間に位置する基礎形式として、シートパイル基礎を提案した（図-2.5.14b）。シートパイル基礎は直接基礎とその仮土留めに用いたシートパイルを組み合わせ、両者を結合した基礎形式であり、フーチング外周部の型枠工や仮土留め工の一

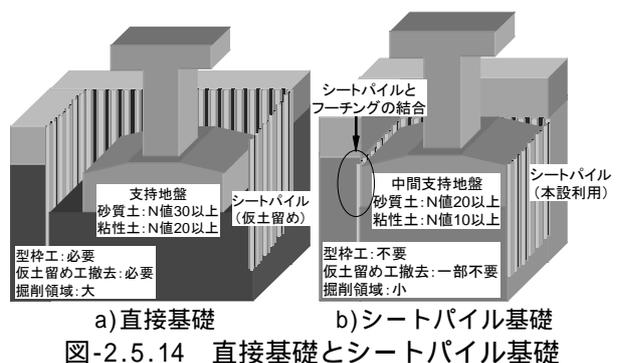


図-2.5.14 直接基礎とシートパイル基礎

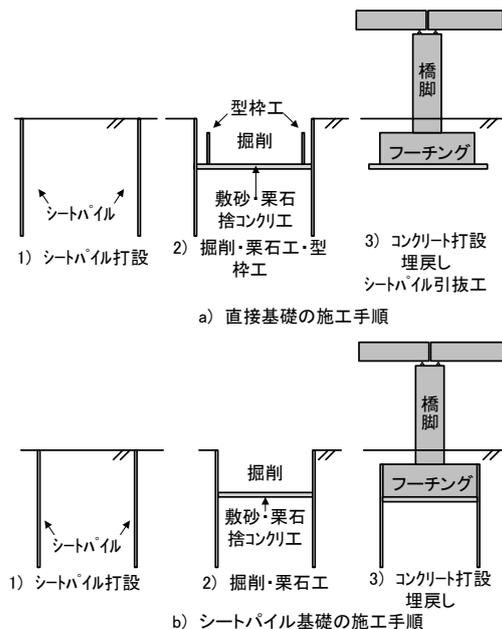


図-2.5.15 直接基礎とシートパイル基礎の施工手順

部の撤去が不要になる他、直接基礎と同様な施工方法でありながら掘削領域の縮小で排土の削減が可能である(図-2.5.15)。もちろん杭施工のような掘削汚泥・泥水は生じない。また、中間支持地盤上の直接基礎では沈下、傾斜が問題となるが、シートパイル基礎ではシートパイルによるフーチング直下地盤の囲込み効果(拘束効果)やシートパイルの周面抵抗による支持性能の向上、シートパイルによる水平抵抗性能の向上が期待できる。シートパイル基礎の特徴を以下にまとめた。

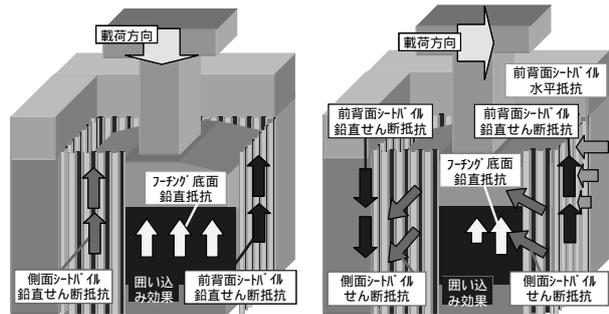


図-2.5.16 鉛直支持性能

図-2.5.17 水平抵抗性能

a) 鉛直支持性能の向上(図-2.5.16)

シートパイルの囲込み効果によるフーチング底面の鉛直抵抗やシートパイルの鉛直せん断抵抗による支持性能の向上が期待できる。

b) 水平抵抗性能・耐震性能の向上(図-2.5.17)

シートパイルの水平抵抗が期待でき、水平抵抗性能や耐震性能の向上に繋がる。シートパイルの水平抵抗とは、載荷方向に対して前面および背面シートパイルの水平抵抗や鉛直せん断抵抗(押し込み・引抜き抵抗)の他、側面シートパイルと地盤との境界部で作用するせん断抵抗からなる。

設計では、これら a), b)の地盤抵抗の特徴を考慮した設計モデルを提案した。

c) 仮設部材の本設利用(図-2.5.18)

シートパイルを施工時には仮設部材・土留め材として用いる他、完成時にこれを本設基礎の構造部材・支持部材として用いた。このような基礎形式は、大幅な経済性の改善、工期短縮に繋がった。

d) シートパイルとフーチングの接合(図-2.5.19)

シートパイルとフーチングの接合構造は簡易でありながら、軸力、せん断力および曲げモーメントをスムーズに伝達可能な構造とする必要がある。そこで、シートパイルに溶接した孔あき鋼板ジベルと鉄筋スタッドを用いた接合構造の他、孔あき鋼板ジベルとU型鉄筋を用いた接合構造を提案した。

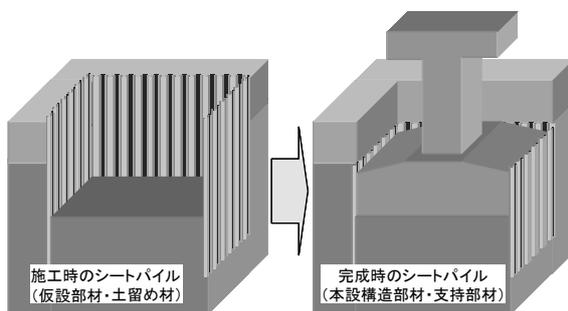


図-2.5.18 施工時と完成時

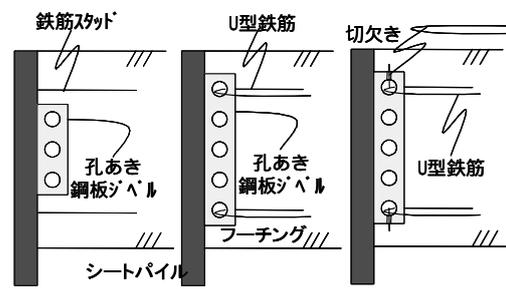


図-2.5.19 シートパイルとフーチングの接合構造

設計モデル・設計法の概要⁶⁾

シートパイル基礎の設計モデルとして、フーチング底面の鉛直地盤反力、フーチング前面水平抵抗、前背面シートパイル水平抵抗、シートパイルせん断抵抗を考慮した(図-2.5.20, 表-2.5.1)。

シートパイルは弾性範囲内となるように、線形部材として扱うが、前背面シートパイルは継ぎ手の影響を考慮して断面係数を低減し、側面シートパイルは各シートパイル側面のせん断力は伝達せず、ずれ変形は許容するものとし1本ずつ分離した。シートパイルの地盤反力特性は、上限値を有するバイリニアばねとし、同一施工法であるH形鋼杭と同等とした。

これまで実施してきた小型模型実験(砂地盤)⁴⁾、実大模型実験(粘性土地盤)⁵⁾の結果と設計モデルの比較検証により両者はほぼ一致したことから、設計モデルの有効性が確認されている。これより砂質土地盤N値20以上、洪積粘性土地盤(N値10以上)をシートパイル基礎の適用地盤とし、フーチング下面からのシートパイル長をフーチング幅程度(0.5~1.0倍)とすることを基本とした。一方、シートパイル基礎の設計では、施工時の仮土留めの検討、常時の検討および地震時の検討を行うこととした(図-2.5.21)。

しかしながら、シートパイル長がフーチング幅以上となる場合、フーチング底面の鉛直地盤抵抗や地震時に背面シートパイルの水平抵抗を十分に期待できないことから、これを無視した設計を別途実施することとした。

(3) 実施工および実基礎の載荷実験
(JR 嵯峨野線輸送改善工事での橋脚基礎⁷⁾)

山陰線京都~園部間の複線化事業のうち、丹波口~二条間は既設単線高架橋直近に高架橋を併設する。当該地盤の一部に軟弱粘土層が介在することから既設高架橋には杭基礎が採用された。

新設高架橋基礎にシートパイル基礎を採用し工期短縮と経済化を図った(写真-2.5.3)。なお、施工後にL2地震相当の水平力を負荷させた静的水平載荷実験を実施し、シートパイル基礎の水平抵抗性能と設計モデルを再検証した(図-2.5.22, 図-2.5.23)。水平荷重-水平変位関係よ

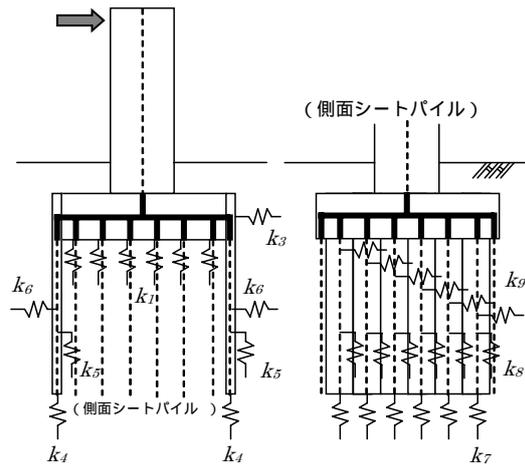


図-2.5.20 シートパイル基礎の地盤抵抗

表-2.5.1 シートパイル基礎の地盤抵抗

k_1	フーチング底面鉛直ばね
k_2	フーチング底面せん断ばね (考慮しない)
k_3	フーチング前面水平ばね
k_4	前背面シートパイル先端鉛直ばね
k_5	前背面シートパイル鉛直せん断ばね
k_6	前背面シートパイル水平ばね
k_7	側面シートパイル先端鉛直ばね
k_8	側面シートパイル鉛直せん断ばね
k_9	側面シートパイル水平せん断ばね

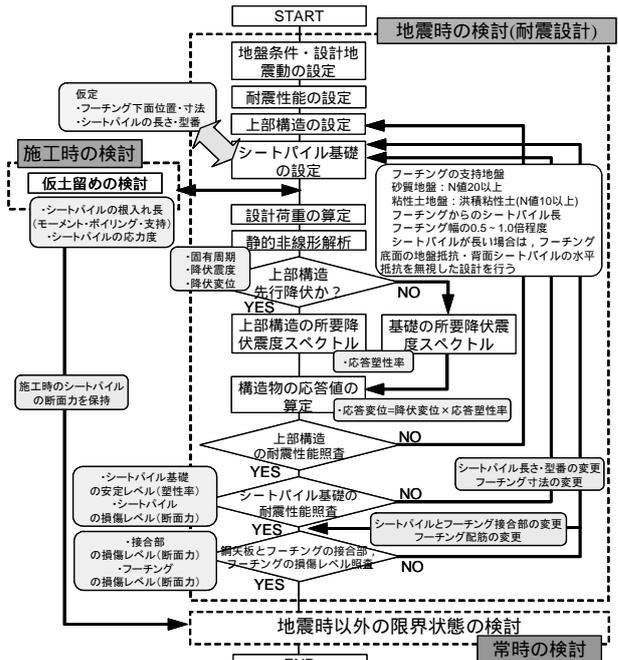


図-2.5.21 シートパイル基礎の設計フロー

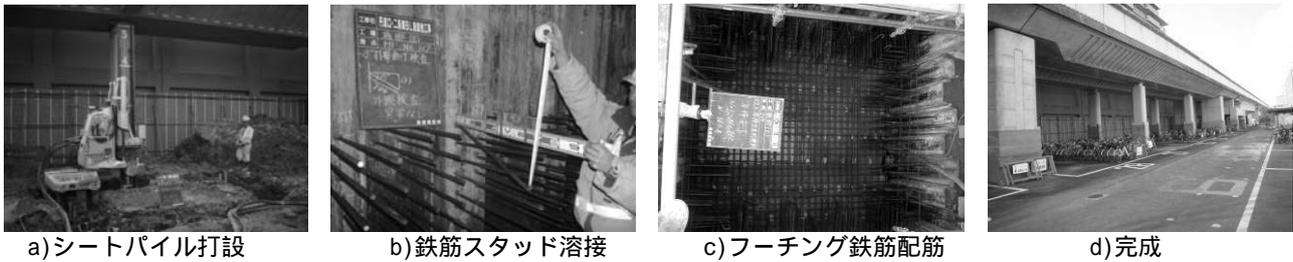


写真-2.5.3 施工および完成写真（JR 嵯峨野線輸送改善工事）

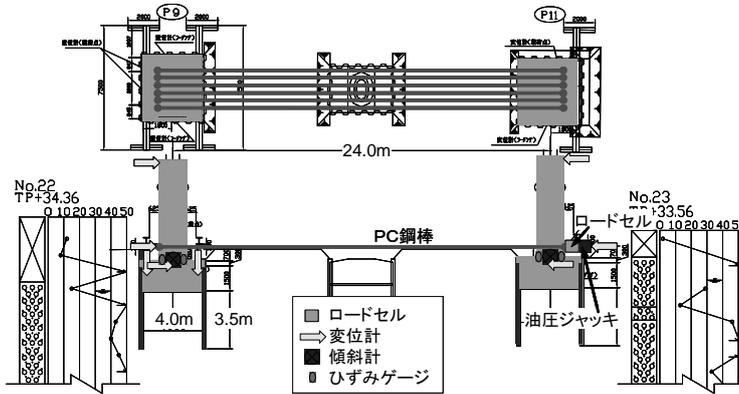


図-2.5.22 実物シートパイル基礎の水平載荷実験

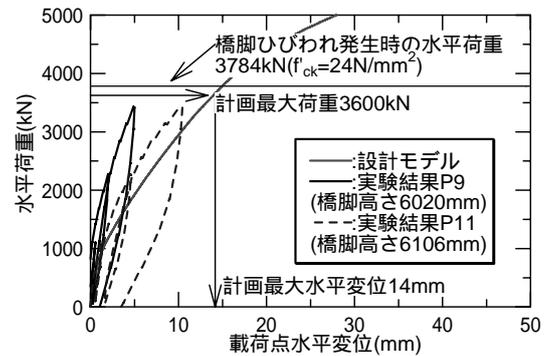


図-2.5.23 水平載荷実験結果

り実験結果は設計値よりも大きく、実物シートパイル基礎の水平抵抗性能と設計モデルの有効性が確認できた。

(4) 実用化実績と今後の展開

シートパイル基礎は十分な耐震性能を確保しつつ、狭隘な場所や鉄道近接においても十分な施工性および環境調和性が望め、経済的かつ工期の短い基礎形式である。これまで鉄道構造物基礎を中心に 20 基以上の採用実績があり、現在、設計・施工マニュアルを公開し、技術普及に努めているところである。さらに、平成 19 年度末に改定となる鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物編）⁹⁾に本基礎を導入する予定であり、鉄道事業者に広く適用されることが期待できる。

参考文献

- 1) 神田政幸, 村田修, 西岡英俊, Pongsakorn Punrattanasin, 日下部治: シートパイルとフーチングを組み合わせたシートパイル基礎の提案, 土と基礎, Vol.51, No.11, Ser.No.550 pp.8-10, 2003.11.
- 2) 西岡英俊, 神田政幸, 館山勝, 村田修, 平尾淳一, 東野光男: シートパイルとフーチングを組み合わせた新しい基礎形式の適用に関する研究, 鉄道総研報告, Vol.18, No.4, pp.35-40 2004.4.
- 3) 喜多直之, 田中浩一, 平尾淳一, 神田政幸, 西岡英俊: シートパイルとフーチングの接合構造に関する実験と設計法, 第60回土木学会年次学術講演会概要集, VI, pp.491-492, 2005.9.
- 4) 西岡英俊, 田中浩一, 神田政幸, 樋口俊一, 村田修, 松田隆: 模型実験によるシートパイル基礎の支持力および耐震性能の検討, 土と基礎, Vol.53, No.4, pp.24-26, 2005.4.
- 5) 辻奈津子, 平尾淳一, 崎本純治, 神田政幸, 西岡英俊, 館山勝: シートパイル基礎の実大水平載荷試験(その1), 第40回地盤工学研究発表会, pp.1435-1436, 2005.7.
- 6) 西岡英俊, 神田政幸, 千葉佳敬, 館山勝, 喜多直之, 平尾淳一, 崎本純治: シートパイル基礎の設計に用いる骨組み解析モデルの検証, 第61回土木学会年次学術講演会, III, pp.809-810, 2005.9.
- 7) 前田友章, 中本陽介, 神田政幸, 出羽利行, 近藤政弘: シートパイル基礎の施工および載荷試験, 第61回土木学会年次学術講演会概要集, III, pp.811-812, 2005.9.
- 8) 濱田吉貞, 近藤政弘, 山本直樹, 中橋寛明: 鉄道構造物におけるシートパイル基礎橋台の設計, 第61回土木学会年次学術講演会概要集, III, pp.813-814, 2006.9.
- 9) 運輸省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物・抗土圧構造物編), 2000.6.

2.5.7 連結鋼管矢板を用いた井筒基礎の開発

(1) 連結鋼管矢板の開発

連結鋼管矢板（写真-2.5.4 および図-2.5.24 参照）は、継手形状ならびに 1 本 1 本の鋼管を継手で嵌合するという概念を改良することで新たに開発された鋼管矢板部材であり、2 本の鋼管と H 型鋼が工場にて予め溶接されることで一体化した鋼管 - H 型鋼 - 鋼管を地盤内へ打設することができる¹⁾。連結鋼管矢板の特徴としては、剛性（水平・鉛直支持力）の増加、施工期間の短縮ならびに継手適用箇所への減少（止水処理や充填モルタル材の縮減）などが期待できる。なお、連結鋼管矢板の開発では、連結鋼管矢板の両端において異なる 2 つの大きさの既製 H 型鋼で嵌合形成する H-H 継手を施す（図-2.5.24(c)参照）ことも提案している²⁾。H-H 継手は、既製 H 型鋼の効率的な使用による高い剛性、経済性および遮水性が期待できる。

2000 年から開発に着手していた連結鋼管矢板は、2005 年 8 月、橋脚井筒基礎工において国内外を通して初めて適用された³⁾。以降では、橋脚井筒基礎としての現場適用事例から得られた連結鋼管矢板の諸特性を紹介する。

(2) 連結鋼管矢板の現場打設性能

これまで、連結鋼管矢板（図-2.5.24(b)）の現場施工性に関しては、実現場における施工性試験⁴⁾の実施、ならびに橋脚井筒基礎工として現場適用時³⁾において施工性能を確認してきた。

1) 施工性試験⁴⁾ではバイプロハンマー（容量 150 kW）を用いた振動打撃工法によって、連結鋼管矢板を N 値が 10～20 の砂質土層から支持層（ $N > 50$ ）に到達する深度 12 m まで貫入させた。本施工性試験は連結鋼管矢板の初現場打設であり、打設施工に関して経験的なノウハウがなかったにも係わらず、鉛直打設精度が 1/240 以内で打設可能であった。

2) 橋脚井筒基礎工の現場適用事例³⁾では、容量 180 kW のバイプロハンマーを使用し、連結鋼管矢板を N 値が 20 以上の砂質土層から支持層（ $N > 50$ ）に到達する深度 45 m まで貫入させた。その結果、打設完了時において 1/200～1/2130 の鉛直打設精度を確保することができた。

上記のように、連結鋼管矢板の現場打設では、鋼管杭単体における傾斜の管理基準値 1/100 と比較して、2 倍以上の良好な鉛直打設精度を確保することができた。これは、連結鋼管矢板の持つ



写真-2.5.4 連結鋼管矢板

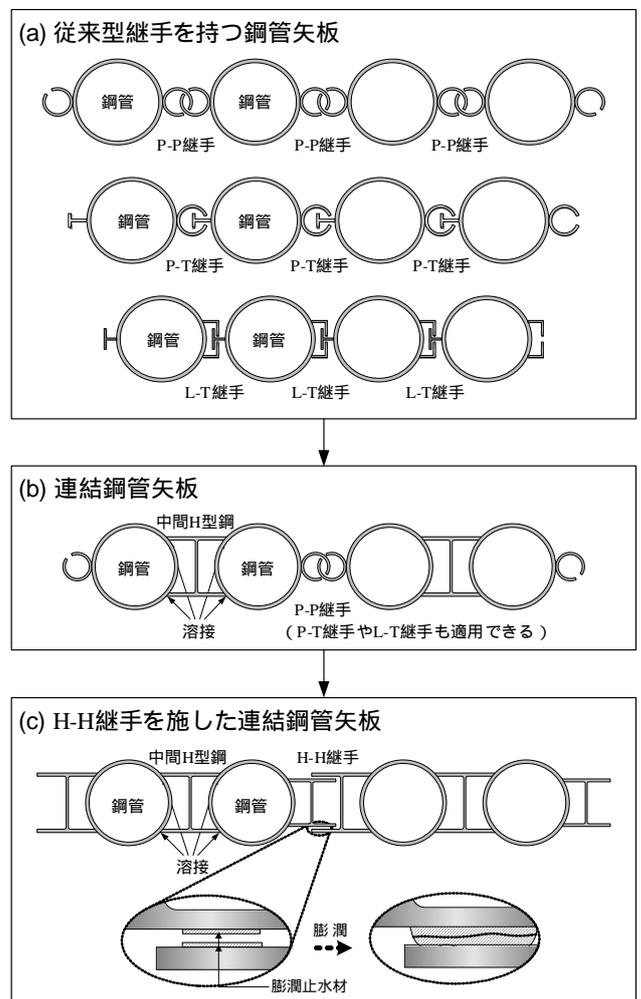


図-2.5.24 連結鋼管矢板および H-H 継手の開発過程

形状的な特徴に起因するところが大きい。通常の鋼管矢板は円形の鋼管を打設するため、打設中に部材が回転する方向に力が作用しやすいという特徴があったが、短辺および長辺方向に形状が異なる連結鋼管矢板は打設中に部材が回転せず、また高剛性と相乗効果で自ら打設中の方向制御が可能であった。

さらに、連結鋼管矢板の現場施工では、いずれもパイロハンマーに特殊加工チャック（写真-2.5.5 参照）³⁾を装着した。開発・使用した特殊加工チャックは、連結鋼管矢板を4点で掴む構造となっている。H型鋼で連結した2本の鋼管矢板を4点で把持して打設することは、鋼管矢板の回転やねじれを防止することに大きな効果を発揮し、上記した高い鉛直打設精度をもたらした。

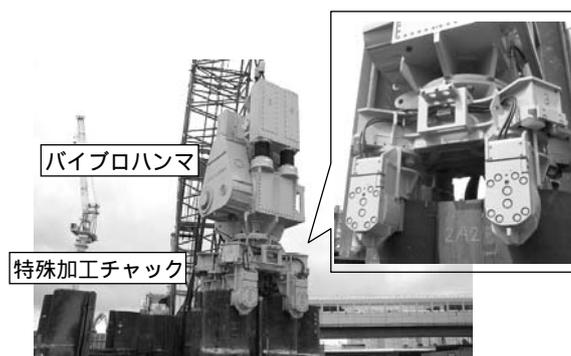


写真-2.5.5 連結鋼管矢板専用の特殊加工チャック

(3) 連結鋼管矢板の井筒基礎としての現場適用

橋脚井筒基礎として連結鋼管矢板の適用では、上述のとおり従来工法の課題であった鋼管の打設中に生じる鋼管の回転や傾斜を大きく低減することができ、高い鉛直打設精度を確保することができた。さらに、連結鋼管矢板の現場適用においては以下に示すような知見（打設性能以外）も得ることができた。

- 1) 橋脚井筒基礎として全く新しい建材である連結鋼管矢板を適用することで井筒径を縮小することができ、用地制約上の課題を克服することができた。さらに、井筒径の縮小に伴って25%の工期短縮および10%のコスト縮減を図ることができた。
- 2) 連結鋼管矢板の適用では、施工機械の揚重能力および貫入能力を十分に検討しつつ機械配置を計画することによって、鋼管矢板2本分を1度に打設できる連結鋼管矢板のメリットを活かして工期短縮を図ることが可能となった。
- 3) 高い鉛直打設精度を確保できる連結鋼管矢板は、打設に伴う継手抵抗が抑制される。その結果、連結鋼管矢板の適用は低騒音・低振動の打設施工を可能とした。

(4) おわりに

北九州市門司区内においてH-H継手を施した連結鋼管矢板（図-2.5.24(c)）に対する現場実務を想定した現場打設・遮水性試験^{5),6)}も実施している。本実証試験では、H-H継手を施した連結鋼管矢板が現場において、高精度に打設可能（鉛直打設精度：1/1110～1/2620）であること、H-H継手の健全な嵌合を保證できること、および 1×10^{-8} cm/s オーダーの現場透水係数を発揮できることを実証している。

参考文献

- 1) 木村：連結鋼管矢板の有効性と適用性，橋梁と基礎，38，107-108，2004。
- 2) 田村ら：連結鋼管矢板の開発と橋脚井筒基礎への適用事例，地盤工学ジャーナル，1/3，113-122，2006。
- 3) 稲積ら：廃棄物埋立護岸におけるH-H継手を施した連結鋼管矢板の開発と適用性評価，土木学会論文集C，62/2，390-403，2006。
- 4) Kimura, M. et al. : Development and application of H-joint steel pipe sheet piles in construction of foundations for structures, Soils and Foundations, 47/2, 237-251, 2007。
- 5) 山村ら：H-H継手を施した連結鋼管矢板の現場打設・遮水性試験（その1），第42回地盤工学研究発表会，1381-1382，2007。
- 6) 菅野ら：H-H継手を施した連結鋼管矢板の現場打設・遮水性試験（その2），第42回地盤工学研究発表会，1383-1384，2007。

2.5.8 スカート・サクシヨン基礎

(1) 概要

スカート・サクシヨン基礎とは、基礎頂版より伸びた円筒形の壁（スカート）を海底地盤中に貫入して安定性を確保する新形式の海洋構造物基礎である。1960年代にこの基礎形式である神戸港第5防波堤の築造²⁾が世界に先駆けて実施された。その後、この基礎形式が国内においては採用されることはなかったが、海外においては海底油田開発用プラットフォームの基礎として多く適用されてきた。この事例を基礎構造の規模で分けると、基礎外径が50m～150mのスカート・サクシヨン基礎は30基、10m～50m未満では約100基建設されている。昨今、環境問題がクローズアップされるにつれ、建設残土、廃棄物の産出が少ない低公害工法であることから、この基礎形式が見直され、1999年に直江津港防波堤（新潟県）³⁾が、2000年に岬町土砂積み出し栈橋防衝工（大阪府）⁴⁾が建造されるに至っている。

(2) 特徴

スカート・サクシヨン基礎は、プレキャスト製であることから、設置位置での作業は据え付けのみであるため、設置位置での作業の工期、コストが従来の基礎形式に比べて大幅に低減される。本基礎の構造は、図-2.5.25に示すように、スカート、頂版、柱脚等により構成されている。スカートは、鉄筋コンクリート、プレストレスコンクリート、鋼製と様々な材料が選定可能であり、その部材厚は最大でも50cm程度（鉄筋コンクリート）である。

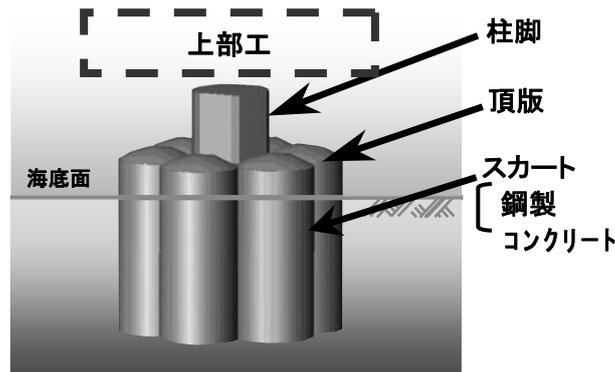


図 - 2.5.25 スカート・サクシヨン基礎の例

本基礎が海底地盤中に貫入されると頂版／スカート／海底地盤で囲まれた閉鎖された空間（以下、スカート内と称する）が生じる。この閉鎖空間は、基礎の貫入に応じて容積が減少するため、外水位との関係から基礎躯体に荷重を作用させないようにするためには排水する必要がある。さらに、スカート内から強制的に排水するとスカート内外において水位差が発生する。この水圧差をサクシヨンと称する。このサクシヨンを施工中に以下の荷重として利用する。

- ① 海底地盤内に貫入するための押し込み力
- ② 所定の位置まで貫入した後のプレロード
- ③ 貫入時に発生した基礎の傾斜を修正するための偏心荷重

①、②については、基礎全体のスカート内の水位を下げる（排水することにより）下向きの荷重が発生することから、基礎の地盤中への貫入や上部工築造前のプレロードが可能となる（図-2.5.26参照）。プレロードは、築造前の段階で供用時に作用する上部工荷重を先取りして載荷することを指し、「現地盤で実構造物において用いて鉛直載荷（試験）」を行ったこととなる。このため、上部工荷重等による基礎の沈下・変形を抑制することが可能であり、本基礎を橋梁基礎に適用する際、大きなメリットとなる。さらに、砂地盤の場合は、サクシヨンを作用させることにより、スカート内に浸透流が発生して有効応力が低減するた

め、スカート先端地盤の貫入抵抗が低下して、硬い地盤でも貫入が可能となる。

③については、スカート内に隔室を設けておき、隔室ごとにサクシオンを変化させて作用させることにより、基礎に偏心荷重を載荷することとなる(図 - 2.5.27 参照)。このことにより、貫入時に地盤の不均一さ等から発生した基礎の傾斜を修正することが可能である。

ただし、本基礎の適用が困難な場合もある。適用が難しい条件例を以下に示す。

- ① 支持層が海底面近くにある場合、また支持地盤が露頭している場合
- ② 水深が浅い場合

(3) 施工方法

本基礎の施工は、図-2.5.28 に示したフローで行われる。基礎自体は、プレキャストであるため、陸上ヤードやドライドックで製作する。基礎完成後、フローティングクレーン船等を利用してドック等から外洋へ横引きして、設置位置へ曳航する。現地に到着後、慎重に位置決めを行い、海底地盤に着底させた後、自重による貫入を行う。地盤の貫入抵抗が大きくなり、自重では貫入が困難となった時点で、水・固体バラストやサクシオンを載荷して、所定の位置まで貫入させる。貫入時に偏心傾斜が発生した場合は、サクシオンによる傾斜修正を行い、必要に応じてプレロードを作用させる。最後に上部工の築造を実施して構造が完成する。プレロードを作用させた場合には、上部工を築造するにつれて、プレロードを除荷していく。

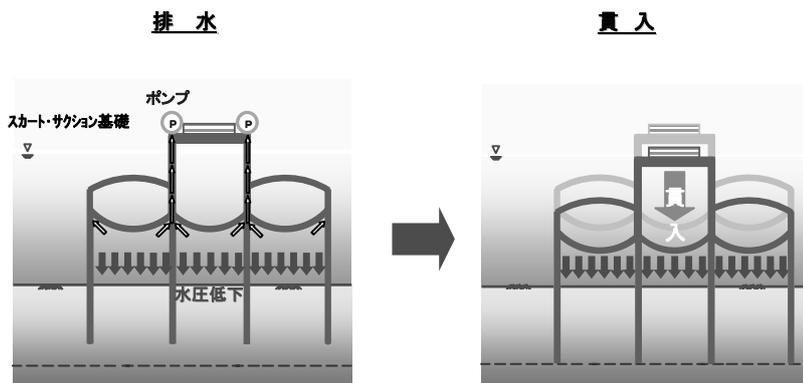


図 - 2.5.26 サクシオンによる貫入

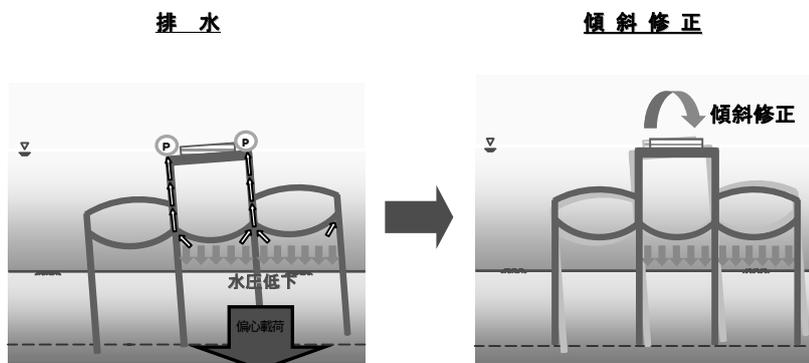


図 - 2.5.27 サクシオンによる傾斜修正

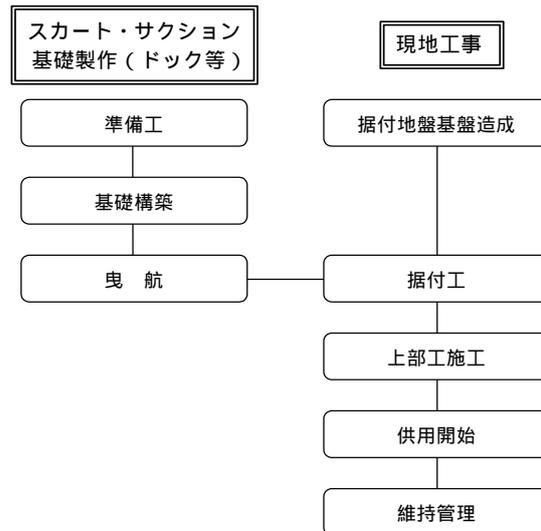


図 - 2.5.28 施工フロー図

(4) スカート・サクシオン基礎の動向と展望

本基礎は、他の基礎形式に比べて、その設計・施工体系が国内では十分確立していないため、各方面でこれらの実験的・解析的研究が進められており、また、設計・施工マニュアル類が整備されつつある。これらの内容においては、時代を背景にして、構造物の特性を考慮して設計者の自由度が多い性能照査型の設計が取り込まれている⁵⁾。最近では、道路橋の下部工・基礎工向けに文献⁶⁾のような資料も発刊されてきている。同資料には設計法が示されるとともに設計例も示されており、基礎専門の設計者を意識した内容となっている。

同基礎の今後の展望としては、本基礎は施工実績も積み重ねられていくものと考えられる。将来的に実現可能な用途としては以下のものが想定される。

- 1) 海上連絡橋・海峡横断橋の基礎
- 2) 軟着底構造物・人工地盤の基礎
- 3) 岸壁及び干潟等の護岸。防波堤の基礎
- 4) 洋上風力発電の基礎
- 5) 海底ガス田用プラットフォーム及び浮体構造物のアンカー

参考文献

- 1) 善 功企：ウォーターフロントにおける基礎構造の新技术展開、2002.4、土と基礎 Vol. 50 No. 4
- 2) 大島 実：真空沈設工法による P.C 管式防波堤神戸港第 5 防波堤の設計と施工、1962、土木施工 No.18
- 3) 高橋、池田、山根、前、北澤、柿沼：サクシオン基礎構造の技術開発 現地実証実験における沈設結果報告、2000.6、土木学会海洋開発委員会 海洋開発論文集、第 16 巻
- 4) 伊藤、増井、米田、秋山：スカート基礎の栈橋先端防衝工への適用、2002.4、土と基礎 Vol. 50 No. 4
- 5) 沿岸開発技術研究センター：サクシオン基礎構造物技術マニュアル、2003.3
- 6) (財)海洋架橋・橋梁調査会：スカート・サクシオン基礎の設計・施工マニュアル、2005.6

2.5.9 ジャケット式基礎

(1) 概要

海洋基礎として、低コスト・短工期を実現し得る新形式基礎の一つであるジャケット式基礎を紹介する。

水深の深いところに適用できる基礎形式としては、従来から実績があるケーソン基礎が有望であるが、基礎の安定性を確保するためには、基礎幅を著しく広げる必要がある。このため、海底面の掘削や整地を広範囲に行わなければならなくなり、それに伴い工期が延びるとともに工費も嵩む。また施工期間が長期間にわたると、船舶の航行に障害がでるなどの問題もある。それらの課題を解決するため、石油掘削プラットフォームなどで実績のある鋼製ジャケット構造を活用したジャケット式基礎¹⁾が提案されている。ジャケット基礎は、図-2.5.29に示すように、鋼管をトラス状に組み立てたものを海底面に鋼管杭で固定したものである。

(2) 特徴

ジャケット式基礎の特徴をまとめると以下のとおりとなる。

橋脚とジャケット構造はフーチングを介さない一体構造とし、構造物の重量を低減することにより、常時の鉛直荷重と地震力に対する基礎の負担を軽減できる。

海洋基礎の特性を活かし、バラスタंकにより浮力調整を行い、鋼管杭の軸力をバランスさせることで杭本数を低減できる。

直杭と斜杭を適切に組み合わせて配置することにより、地震や風などの水平外力に対し支持力を向上できる。

ジャケット構造は工場で一括で組立てられた後、現地まで曳航して沈設するため、現地工期を大幅に短縮できる。

(3) 施工手順

ジャケット式基礎の具体的な施工手順を以下に述べる。

ジャケット本体は、小ブロックに分けて工場内で製作し大組立を行う。大組立時には、防食工のほか艀装工事も行い、その後進水、バラスタंकで喫水調整を行い、現地海域まで曳航する。

ジャケットが現地に到着するまでに、現地では、準備工として船舶航行禁止区域の設定、ジャケット沈設用シンカーの設置、位置を確定するパイロット杭の打設を行う。

ジャケットの現地到着後、あらかじめ打設した数本のパイロット杭の位置で、バラスタंकに海水を注入することにより所定の位置に沈設し、ジャケットレグをガイドにして鋼管杭を順次打設する。

杭の打設終了後、ジャケットレグ内の海水を排水し、ドライエリアを確保した後、ジャケットレグと鋼管杭の接合を行う。

ジャケット基礎が完成した後は、主塔や上部工を順次架設し、架設に応じて、バラスタंकより排水して杭に作用する荷重をコントロールしながら施工を完了する。

(4) 斜杭の活用

一般に、杭は軸方向抵抗力が優れ、曲げ抵抗力が劣るため、斜杭を組み合わせることで、鉛直杭のみの場合より杭の断面を小さくする、あるいは杭本数を低減するなど、経済的に基礎を設計することができる。ジャケット式基礎に斜杭を用いれば、上述のメリットに加え、直杭のみ

の場合よりジャケット構造をスリムにでき、杭への荷重低減が図れるため、より合理的な基礎構造を構築できる。ただし、基礎の設計にあたっては、地盤・下部構造・上部構造の一体系において、必要な基礎の支持性能を明らかにし、杭配置のパターン、斜杭の傾斜角、杭間隔などの検討により、杭基礎の諸元を適切に設定することが重要である。

斜杭を有する群杭基礎（以下、斜杭群杭基礎とよぶ）の静的・動的力学特性については、既に遠心模型実験や数値シミュレーションにより詳細に調査され、海洋基礎の設計における注意点も示されている^{2)~4)}。ここでは、それらの知見をもとに設計された斜杭群杭基礎の地震時の支持性能について、海底面での設置面積が同規模のケーソン基礎と比較した一例⁵⁾を示す。

対象は、深さ 20m まで沖積粘土が堆積した軟弱地盤への建設を想定した海洋基礎とし、5 径間連続鋼床版箱桁橋の最大スパン約 200m の 1 橋脚分について比較検討した。斜杭群杭基礎は、図 - 2.5.30 に示す構造のジャケット式基礎とした。外径 2m、板厚 40mm の斜杭 6 本、外径 1.6m、板厚 40mm の直杭 4 本の計 10 本の鋼管杭の群杭を 1 橋脚あたり 2 組並列に配置し、杭間隔は通常の道路橋より大きい杭径の約 3 倍程度、斜杭の傾斜角は橋軸方向に 20 度とした。

斜杭群杭基礎とケーソン基礎の水平変位の解析結果を図 - 2.5.31 に示す。本結果は、地盤と杭の動的相互作用を 3 次元で考慮する DGPiLE-3D⁶⁾を用いた一体系動的解析によるものである。基礎の水平変位の振幅は、ケーソン基礎よりも斜杭群杭基礎の方が大きいですが、直杭と斜杭を適切に配置した群杭基礎を設計すれば、安定性の面で優れているケーソン基礎と同程度に上部構造の応答を抑えることができることを示している。

以上に述べたように、ジャケット式基礎は、軟弱地盤において、基礎の安定性の面で優れることで施工実績が多いケーソン基礎と同程度の支持性能を発揮できる見通しを得ており、構造、施工の両面から、コスト縮減と工期短縮に寄与できる基礎構造として期待できる。

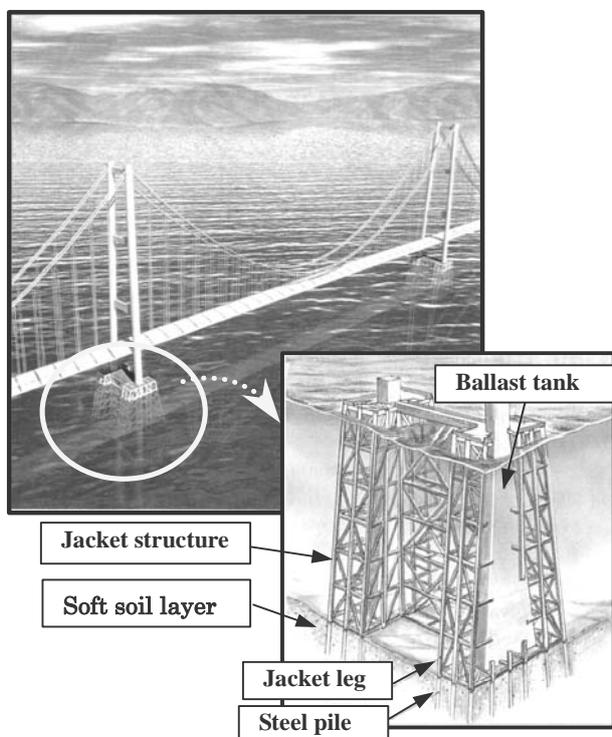


図 - 2.5.29 ジャケット式基礎の海洋基礎への適用

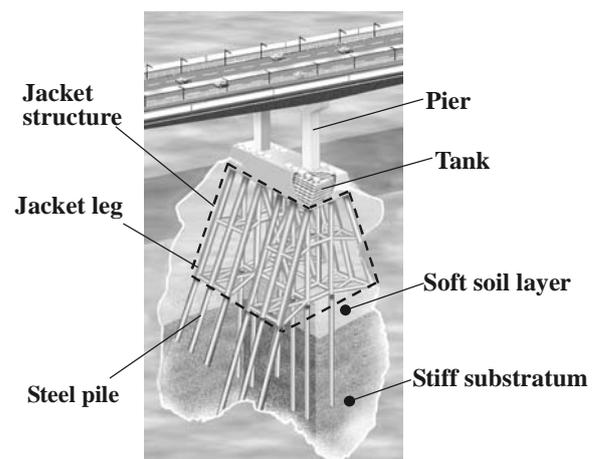


図 - 2.5.30 ジャケット式基礎

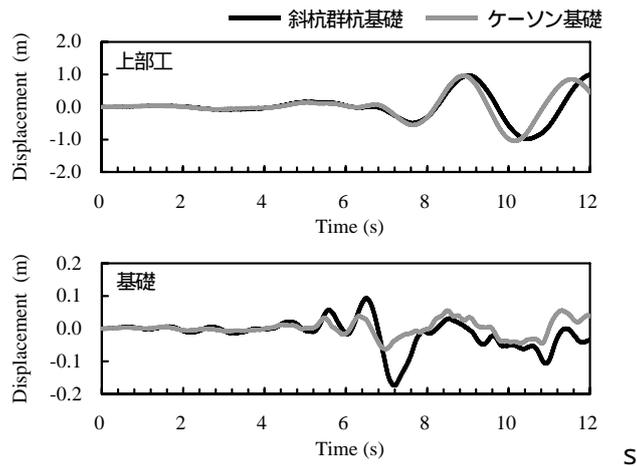


図 - 2.5.31 斜杭群杭基礎とケーソン基礎の水平変位の比較

参考文献

- 1) 岡部俊三：海上橋の明日を拓く - 新しい基礎形式の提案 - ，土木学会誌，Vol.83，pp.16-18，1998
- 2) 木村亮，牧野洋志，大川賢紀，亀井宏之，張鋒：斜杭を有する群杭基礎の静的水平支持力特性，土木学会論文集，No.722 / -61，pp.97-107，2002.
- 3) 大川賢紀，亀井宏之，木村亮，張鋒：斜杭を有する群杭基礎の動的挙動に関する実験的検討，土木学会論文集，No.729 / -62，pp.31-41，2003.
- 4) 大川賢紀，亀井宏之，張鋒，木村亮：一体系動的解析手法による斜杭群杭基礎の動的挙動に関する数値シミュレーション，土木学会論文集，No.771 / -68，pp.33-49，2004.
- 5) 大川賢紀，亀井宏之，張鋒，樋口美紀恵，木村亮：斜杭を有する鋼管杭基礎の地震時の支持性能，土木学会論文集，No.806 / -73，pp.1-12，2005.
- 6) Kimura, M. and Zhang, F. : Seismic evaluations of pile foundations with three different methods based on three-dimensional elasto-plastic finite element analysis, Soils and Foundations, Vol.40, No. 5, pp.113-132, 2000.

2.5.10 軟弱地盤着底式くし形防波堤

軟弱地盤層厚が厚いために開発が見送られてきた熊本市の沖に昭和 50 年代になって熊本港が開発されることになった。

熊本港の海象，地象条件の特徴は，波浪が小さいことと干満の差が大きいこと，軟弱地盤層厚が厚いこと，河川からの土砂の供給が著しいことである。

波浪が小さいといえども船舶の航行の安全の確保のためには，防波堤の建設が必要であり，全長 4km を超える防波堤が計画されている。

一線級の防波堤のほとんどは，自重で波力に耐える構造となっており，このため，一般的には地盤改良を必要とする。熊本港の場合には，防波堤に作用する波力は小さいため，重力式の防波堤を考えると，防波堤の自重を支えるためだけに大規模な地盤改良を要することとなり，きわめて不経済な構造物ができる恐れがあった。そこで，全く新しい考え方に基づく着底式防波堤が提案された(図-2.5.32)。この防波堤は，防波堤底面での構造物と地盤との付着力によって水平力に抵抗しようとするものである。

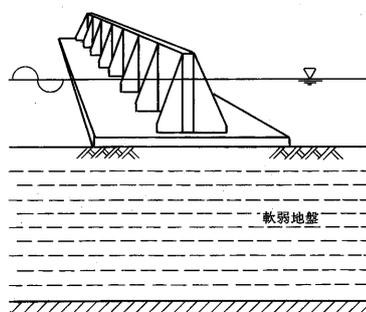


図-2.5.32 軟着底式防波堤の原案

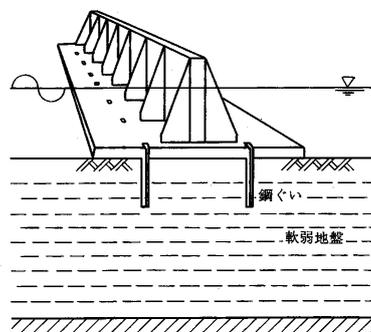


図-2.5.33 軟弱地盤着底式くし形防波堤

しかし，この形式では，水平抵抗力が不足することが懸念されたため，水平抵抗力を増加させるために，底版の抵抗を増加させる方法がいくつか検討された。結果的には，底面の構造を変えるだけでは不十分であったため，底版に短い杭をくし状に設置する構造が提案された。これが，図-2.5.33 に示す軟弱地盤着底式くし形防波堤である。

この構造形式の開発に当たっては，現地実大模型を用いた載荷試験，実大模型の要素を取り出した現地載荷実験，現地における長期安定性試験のほか，室内模型実験，水理実験，数値解析が行われた。これらの実験は，当初提案形式とくし形の両方の模型に対して平行的に行われた。

結果的に，熊本港では，図-2.5.33 のタイプの防波堤が採用され，1700m にわたり建設された。しかし，この構造形式とその設計法が熊本港での利用に特化した極めて限定的なものであったため，他の現場では適用されることはなかった。さらに，熊本港においても設計条件がだんだんと厳しくなり，当初の設計で考えていた方法では，不合理な設計となる状況が生まれてきた。そこで，1998 年から，従来の設計法を大幅に見直す検討が開始され，2003 年に新設計法が提案された¹⁾。この方法は，従来の設計法に比べて合理性が高いものとなっており，熊本港では新しい設計法によって防波堤の設計施工が進められている。

ただし，新しい設計法を提案して既に数年経つが，この構造形式は他の現場では相変わらず利用されておらず，また，専門家の中には，「新設計法は本来のくし形防波堤の設計思想を覆すものであり，不適切である」との意見を持つ方もいて，技術開発のあり方の難しさを物語っている。

参考文献

1) <http://www.gityo.go.jp/report/pdf/manual.pdf> 2007.6.27 確認

2.5.11 地盤改良工法（SCP，DM）

(1) サンドコンパクションパイル工法（SCP）

サンドコンパクションパイル工法は、よく締固まった砂杭を地盤中に造成し、粘性土地盤では砂杭への応力集中と排水効果により地盤の支持力（強度）の増加を図り、ゆるい砂地盤においては密度増加によって地盤の強度増加と液状化抵抗の増加を図ることができ、現在では日本の代表的な地盤改良工法の1つである。SCP工法の開発経緯は既往の文献¹⁾に詳しく述べられている。SCP工法は約50年前に開発され、「開発期（1955 - 1969）」、「普及期（1970 - 1989）」および「転換期（1990 - ）」に分けられている。「開発期」においては、「粘土を乱すというタブーに挑戦」し、多くの研究者と実務者が技術情報を相互交換することで新しい技術が創り出された。その過程で「大勢の大学の研究者に協力いただいた」。また、新技術の具体化に当って、SCP工法は国の研究補助金を「10年間に5回ほど」受けている。このように、SCP工法の開発においては産官学の3者の協同と連携が大きな役割を果たしている。

(2) 深層混合処理工法（DM）

深層混合処理工法は、固化材と軟弱土を原位置で攪拌混合し、強度の大きい改良体を造成する工法である。深層混合処理工法の開発経緯について、既往の文献²⁾より一部抜粋して示す。

「昭和40年代に行われた港湾工事の地盤改良工法としては、軟弱地盤を掘削して良質な砂に置き換えるいわゆる置換工法や、圧密促進の効果を図るサンドドレーン工法、締固め砂杭工法などが用いられてきた。しかし、港湾構造物の大形化あるいは軟弱土層の厚い地域への進出に伴い改良深度が増大し、地盤改良のために除去すべき軟弱土および必要な砂の量は急速に増大しており、一方、環境保全の立場からしゅんせつ時の濁り、排土の処分についての諸規制、良質砂の枯渇など多くの問題が生じていた。

そこで新しい地盤改良工法の開発が望まれ、いくつかの試みがなされてきた。これらのうちの 하나가セメント系深層混合処理工法であり、1975年に開発段階をほぼ終了し海底軟弱地盤への本格的な活用が始まりつつあった。

深層混合処理工法は、生石灰、セメントモルタル、セメントスラリーなどの硬化材と深層の軟弱土を混合処理機を用いて攪拌、混合し、現位置で所定の強度が得られるように地盤改良するものである。生石灰を用いる工法としては1967年以来運輸省港湾技術研究所で研究開発が進められてきたDLM工法(Deep Lime Mixing Method)がある。この工法は国有特許工法であり実施許諾を数社が得ており、陸上の軟弱地盤対策として使用されている例が少しある。

セメントまたはセメントモルタルを用いる工法としては1973年頃より運輸省港湾技術研究所、川崎製鉄、不動産の三者で共同開発されたCMC工法(Clay Mixing Consolidation Method)があり、運輸省港湾技術研究所の国有特許工法である。セメントスラリーを用いる工法としては1975年以来運輸省港湾技術研究所と竹中土木で共同開発されているDCM工法(Deep Chemical Mixing Method)があり、運輸省港湾技術研究所の国有特許である。同じくセメントスラリーを用いる工法としてデコム工法、DeMIC工法、POCOM工法などが1975年から1977年にかけて開発されている現況にあった。

一方、粉体を用いる工法としては、建設省総合技術開発プロジェクト「新地盤改良技術の開発」の一環として1981年に実用化された粉体噴射攪拌工法(DJM工法)があり同じく固結工法に位置づけられる。」

以上のように、深層混合処理工法においても産官学の連携が大きな役割を果たしている。

参考文献

- 1) 坪井英夫, 東祥二, 野津光夫: 締固め砂杭(サンドコンパクションパイル)工法の変遷, 土と基礎, Vol.54-7, pp. 7-9, 2006
- 2) CDM研究会: CDM20年のあゆみ, 1997

2.6 新技術の導入と社会制度について

2.6.1 技術開発成果の認知のプロセス

(1) 新技術の持つジレンマ

「技術基準(設計図書類)にその技術が書かれることによって、その技術が普及するようになる」というのはよく言われることであり、事実であろう。しかし、一般的に、公的な発注機関の準備する設計用の基準書類はきわめて保守的であり、新技術を容易には記載しないものである。その背景には、公的機関には瑕疵があってはならないという重圧があるからであるといわれている。

つまり、その技術が確立されていることが十分に証明されているものは、基準書等に盛り込まれることになり、盛んに利用されるようになる。しかし、実績を持たない技術は、技術が確立していることを証明できないために、基準書等に盛り込まれることは難しく、結果的に利用されることが少ない。

地盤関係の新技術の開発は、いくつかの点で困難が多い。ひとつには、対象となる「地盤」は原則的に自然に与えられたものであるため、その条件は多岐に渡り、一般的に複雑である。また、ボリュームが大きく、一工事あたりの費用が大きくなりやすい。このことから、失敗は許されず、新技術を利用するには保守的にならざるを得ない。さらに、直接目で見たり触ったりできないことが多いため、新技術の効果を直接的に確認することが難しいことが多い。このため、原理、原則に基づいた(自然の摂理に基づいた)本質的な技術開発でないと受け入れられない素地がある。基礎の工事に関する技術開発も程度の差はあれ、事情はほぼ同じであると考えられる。

このようなことから、地盤・基礎の技術開発では実証することが重要であり、実証に伴う費用負担、リスクも大きなものとなりやすく、ひとつの技術開発に相当の時間がかかる場合が少なくない。その結果として、斬新で汎用性のある技術開発をあきらめ、適用範囲を狭めた技術、既存技術とほとんど変わらない技術の開発例が多くなる傾向にあるのではないだろうか。

(2) 技術開発の成功とは

広く技術開発を考えると、技術開発の成功には次の4点くらいが重要ではないだろうか。

1) 社会のニーズにあってること

技術に対する社会のニーズはその時々に変化する。その社会が要求する技術を開発することは、技術者の責任であり、開発された技術が成功することに結びつく。

たとえば、昭和30年代の後半から昭和40年代にかけて、都市内での大規模土木工事が進むにつれて、騒音・振動問題がクローズアップされた。その結果、無騒音、無振動工法の技術開発が進み、実用化された。この種の技術は、今では当たり前のこととなっているが、技術的には更に進歩を続けている。

副産物のリサイクルによる新地盤材料の技術開発は現在の社会のニーズにはあっており、現在盛んに技術開発が行われている。しかし、副産物を再生資源としてみた場合、これを地盤材料として用いるのは、そもそも資源の高度利用になっていない場合が多い。そのように考えると、副産物の地盤材料としての利用技術の中には将来の社会のニーズにあっていないものが多々あると思われる。遠い将来のことではなく、現在生じている問題を解決するという意味からは現在の技術開発の努力を否定するものではないが、寿命があると考えられる。ただし、現在検討している技術内容が別の形で技術開発として花開く可能性があるため、そのような意味からは、将来ニーズに反しているとはいえない。

2) 革命的な技術開発

地盤・基礎に関する技術開発は原理・原則に基づいたものが重要である。それは、地盤の複雑さ、観察の困難さのために、効果の確認が難しいためである。

そのような観点からは、サンドドレーンに代表されるパーチカルドレーン技術などは、地盤の透水・圧密現象を上手に考慮した方法として有用な技術開発であった。

深層混合処理工法のように、土を原位置において固化する工法も、地盤の強度を上げることが地盤の変形を押さえる上で有効であるという観点から優れた技術であろう。技術の適用上は、どのように土と固化材を混合させるか、固化した地盤が劣化しないかなどの問題を含んでいるが、長年の技術者の努力によって大きな問題を生じていない。この技術はさらに、流動化処理土、軽量固化処理土などの技術につながっていると思われる、技術の発展性も非常に大きい技術である。

地盤に関する技術開発は、小手先の技術改良ではだめで、抜本的な手法が期待される。その意味では、技術開発に知恵とお金と時間がかかる。大当たりする技術開発はそんなに簡単には生まれない。

3) 社会的に効果を生み出すこと

開発した技術が用いられないのであれば意味がないのは当然のことである。社会的に効果を生み出すためには、使われなくてはならない。使われるためには、工費が安いこと、社会のニーズに合っており、比較的簡単に用いることができることなどが必要であろう。技術を利用した効果が簡単に計ることができることも必要である。

4) 更なる技術開発につながること

原理に基づいた技術開発であれば、ある技術開発の結果が次の技術開発につながることは当然ありうることである。

しかし、広く捉えれば、開発した技術そのものは仮に用いられなくても、そのアイデアをもとに他の技術開発につながるような技術開発は成功したとってよいのではないか？

実際には、原理に基づいて新しい技術が提案されるばかりではなく、必要に迫られて考えた技術が実は原理に則っていたというケースも多いと考えられる。開発した当初は隙間を生める技術と考えていたものが実は原理的にも正しいというケースである。

(3) 技術認知に必要なこと

新しい技術を広く認知してもらい、効果的に利用してもらうにはいくつかのハードルがある。

既に述べたように、地盤・基礎に関わる新技術については保守的にならざるを得ないところがある。その理由の主たるものは、リスク回避や無知ではないかと思われる。

リスクについては、工費縮減効果に対する疑念が大きいであろう。特に問題なのは、既存技術でもものを作ることができるのに、なぜ新しい技術を使わなくてはならないかと技術者が思うところにあるであろう。「提案者が言うほどに工費縮減効果はあるのか」、「予想外の事態が生じて結果的に手戻りになるのではないか」、「工費は安いですが、長期的にもコスト減となるのか」、「会計検査で指摘されたときに十分説明できるか」などの不安は利用する側の技術者に付きまとうものと思われる。

実のところ、新技術の利用による完璧なリスク回避は不可能である。完全なリスク回避が不可能なことは従来技術でも同様であるが、実績の差による信頼度の違いは歴然である。また、実績は単なる経験の積み重ねではなく、技術の成長をもたらすので、リスクの差がさらに広がることになる。さらに、長期的な確実性が問題となるような場合には新技術は従来技術には太刀打ちできない。このため、新技術は、そのようなリスクをも上回るようなメリットを示すことができるものでなくてはならない。そのようなメリットとは、社会の要請にこたえるものであるといえるであろう。具体的には、経済的妥当性があること、従来技術では対応できないような困難な課題

に適応できることなどであろう。そして、基本的に合理性を持つものでなくてはならない。既存の技術評価制度はこの問題について、一定の責任を果たしていると思われるが、やや公側に偏している嫌いがあり、民間の技術開発者に対して敷居が高い懸念があるので、より中立的な技術評価制度を創設する余地があるものと思われる。

一方、無知については、「技術そのものを知らなかった」、「その技術がこの現場で使えるとは思わなかった」、「その技術と従来技術の違いを理解していなかった」などが考えられる。「無知」と書いたが、これは必ずしも利用する側の技術者だけのせいではなく、開発側のアピール不足も含まれる。開発側が最大限の努力でアピールに努めているであろうことは想像に難くないが、多くの提案がなされる中で、個々の新技术を正当に評価して、適切に用いることは思うほどに簡単ではない。学会を含む各団体が、これだと思う技術開発に対して「技術開発賞」として表彰しているが、それだけでは十分ではないということが考えられる。

技術の周知については、現段階では、開発者側の努力にゆだねられている面が大きい。現在は、とかく情報過多の時代である。情報の膨大な流れに埋もれないようにするには、強力なメディアに繰り返し公表することが要求される。

(4) 学会の役割

前節の議論を踏まえると、学会が技術の認知に対してできることは次の2点であろう。

- 1) リスクの回避 さまざまな形態での技術評価、技術開発サポートをすること。この萌芽は既にいくつかの支部での「新技术・新工法に関する技術相談」、「技術開発補助制度」などの形で行われている。
- 2) 技術の周知 学会誌、ホームページの効果的利用はもっと検討されるべきであろう。特に学会誌については既に門戸は開かれていると考えられる。

2.6.2 NETISの今後に対する期待

NETIS(新技术情報提供システム)については、2.2においてすでに紹介済みであるが、このシステムは平成18年度より、従来の申請情報に加えて、技術を事後評価することで、技術開発者を積極的に支援するシステムとなっている。また、この評価については産官学の有知識者による第三者評価も実施されており、技術に対する国土交通省の積極的な取り組みが伺える。また、本システムでは、事後評価の結果により飛躍的な効果が認められた場合に「推奨技術」または「推奨技術候補」として選定することで技術の普及啓発や活用促進を行っており、技術開発者にとっては希望の持てるシステムであると言えよう。本節では、このシステムがわが国における建設技術の向上やシステム自体の進化を遂げるために、今後どのようなことを考えていくべきかについて、以下に言及する。

- 1) 評価する技術の種類は多岐に渡る。よって、その評価を有効かつ適切に行うために専門家集団としての学会(たとえば地盤工学会)を利用することはできないであろうか。学会こそ、産官学の会員で構成されており、第三者としての位置づけは明確である。
- 2) 技術の評価を受けるためには、ある程度の施工実績、あるいはいわゆる実証実験結果が重要となる。その際問題となるのが、開発業者が負担する開発経費である。NETISがより進化を遂げるためには、だれでも比較的廉価で実証実験が実施可能な共用実験施設の構築等が有効であると考えられる。
- 3) 技術開発において一方で重要なことは、技術が採用された後のリスクに対する対処である。これについては、上記2)と同様で、場合によってはかなりの経費負担が予想され、技術開発

者が消極的になる可能性がある。今後は、建設工事におけるアセットマネジメントのようなトータルコストについての検討も必要であろう。

- 4) 評価において重要なことは、その決定プロセスの透明化である。できるだけ情報を開示し、決定プロセスについて開発者が疑念をもつことのないように注意する必要がある。
- 5) 最後に、本システムで登録された技術については、より積極的に使われる必要がある。そのためには技術開発に対するいろいろな立場の専門的有知識者の後押しが不可欠である。その重責を果たす可能性として第一に考えられる組織が学会であると言える。地盤工学会の研究発表や種々の学術論文が技術評価の積極的な資料になることを期待したい。

2.6.3 欧州における技術認証

(1) はじめに

個々の（新たな）施工技術に関して、海外における技術認証システムを体系的に調査した資料は見当たらない。但し、欧州では EC を中心にした技術認証(Technical Approval)の仕組みが存在し、各 EC メンバーに認証機関(Approval Body)が存在する。これらの詳細については、EOTA (European Organization for Technical Approvals)のウェブサイトに記載されているが、工業製品ではなく、杭基礎などの個々の施工技術にどの程度、この仕組みが適用されているかを示した資料が見当たらない。欧州統合の主旨から判断して、欧州の各国に、その国にしか通用しない個別の技術審査体制が存在する（もし、存在すれば、WTO/TBT 協定に反する）とは思えないので、以下に示す European Technical Approval が欧州における技術認証制度に相当すると判断される。土木学会にて、ドイツにおける Approval Body である DIBt を訪問し、技術認証に関してヒアリングした結果を以下に示す。

(2) 土木学会における欧州調査¹⁾

土木学会 地盤工学委員会のもとで組織された「土構造の性能評価に関する小委員会」は、欧州における性能設計の動向を調査するために、2005年11月 イギリス、フランス、およびドイツに調査団を派遣した。調査の詳細は、参考文献 1)に記載されているが、この調査の主目的は、性能設計に関連した発注形態、設計や施工の責任のとらえ方、設計審査のあり方、保険制度合などについて各国の最新の情報を得ることであったが、ドイツでは、技術認証機関（DIBt）を訪問し、技術の認証の実態に関していくつかのヒアリングを行ったので、参考文献 1)に記載されている内容を以下に抜粋する。

【技術認証機関の名称】 Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)

【訪問日時】 2005年11月25

日（金）10:00 - 12:30

【会議参加者】

Hans Joachim Seyfert,
President EOTA Vice president
of DIBt

Uwe Bender Director
Renate Schmidt-Staudlinger,
Director Public Relations, DIBt

Paul Caluwaerts
Secretary General of EOTA



土木学会：堀越研一、飯塚敦、松井謙二、進藤惣治、長尾毅、荒井幸夫、本城勇介
(土木学会からの各参加者の所属に関しては、調査報告書を参照されたい。)

【DIBt の概要】

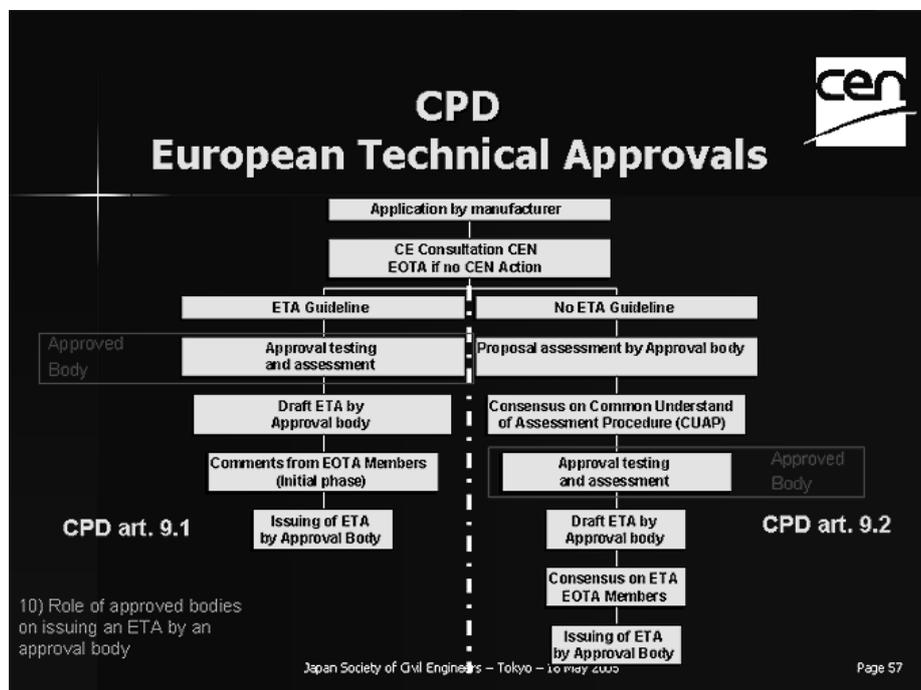
DIBt は 1968 年に設立された、公共分野における種々の技術的問題を解決するため、連邦及び
地方政府により支援された機関であり、以下の機能を有する。

- ・ 基準の無い建設生産物や工法について、国内技術認証を行う。
- ・ 欧州技術認証 (ETA) を、認証する。建設生産物リスト A,B 及び C を準備する。
- ・ 国内及び欧州の、Testing laboratories, Inspection bodies, Certification bodies を認証する。
- ・ 国内や欧州の、技術基準の作成に協力する。種々の事項についての専門家の意見の取りまとめや、建設に関する研究プロジェクトを推進する。連邦及び地域政府のために専門家の意見を取りまとめる。
- ・ 基本的にドイツ連邦全体に及ぶ、建設技術の承認(Approval)を行う、ドイツにおける唯一の機関である。6 つの Essential Requirements の内、エネルギーに関わる部分は、特に DIBt が主導的に責任を持つことが、法律で定められている。その他は、それぞれの地域政府が一義的な責任を持つ。
- ・ 生産物の承認の評価を行うのが、DIBt の仕事である。生産物には個々の生産物と共に、キット (Kits) と呼ばれる一組の生産物の集合も含まれる。全欧州の生産物の共通承認マークである CE マーキングを行うことができるのは、ドイツでは DIBt だけである。

【ヒアリングの内容】

- ・ テールアルメ工法を例に挙げた認証に関する質問に対しては、この工法に使用される個々の工業製品は、欧州 CE マーキングの対象となるが、施工法全体もキットとして、CE マーキングの対象になり得る。但し、どこまでが工業製品で、どこからがキットなのか、その境界は微妙である印象をもった。
- ・ 他の欧州諸国、例えばイギリスとドイツを比較すると、イギリスはより広い生産物や Kits を承認する傾向があるのに対し、ドイツは相対的に少ない数の生産物や Kits を、より詳細に規定し認証するということであった。すなわち、技術認証の方針は、国によって微妙に異なるようである。
- ・ あるプロジェクトでの使用を念頭においた新たなトンネルセグメントといった、個別の建設技術の承認は、各地域政府の責任で行なわれる。もしその技術をドイツ連邦全体で使用する承認を求める場合は、DIBt がそれを行うことができる唯一の機関である。
- ・ DIBt によって承認された建設生産物や Kits のリストは、HP に掲載されている (ドイツ語のみ)。このような技術承認 (Technical Approvals) は通常 5 年間の有効期限で行われる。現在 HP に掲載されているこのような技術認証件数は、約 9 千件ある。一年に 2500-3000 件の新たな技術承認を行っている。一方 ETA の対象となっている技術承認件数は、現在 150 件ほどである。
- ・ このような承認を受けるための窓口は、ドイツ以外からでも可能で、最初はインフォーマルな DIBt への接触に始まり、HP にも掲載されている、公式の書式で申し込むことができる。
- ・ いろいろな技術承認を扱うために、DIBt は 100 名の技術者を抱えている。これに加えて、新しい技術承認を審査する委員会を構成するために、学術・産業界の約 600 名の専門家のリストを保有している。

- ・ FEM コードのようなソフトウェアは，技術承認の対象とならない。
- ・ ET Approval の手続きに関する 2 つの方法について，スライドを交えた議論を行った。
ETA の手続きの 2 つの違いは，その技術が ETA ガイドラインに乗るものであれば，必要な試験とその評価を行い，Approval Body が ETA をドラフトし，メンバーが回覧されたドラフトにコメントし，最終的に Approval Body が ETA を発行するという，手続きである。
一方，ETA ガイドラインの手順に乗らない申請の場合は，上記の手続きの最初に，Approval Body により，認証のための手続きがまず提案され，CUAP(Common Understandings of Assessment Procedures)が，申請者と Approval Body で合意し，その後は上記の手続きと同じ手続きを踏む。
Approved Body は，決まった手続きに従って試験等を行う機関である。
Kits の審査では，それぞれのコンポーネントの記述のみで十分である。また，試験を伴わない ETA もありうるということであった。



上記、議論で使用した Power Point 画面

- ・ 地盤工学が関連する分野では，現在，埋め込み杭についての ETA の審査を実施中，この場合は ETA ガイドラインの無いケースであるが。どの程度審査が進んでいるかについては，説明は無かった。
- ・ DIBt は政府の機関で，Approval Body の立場しかもっていない。一方，BBA (British Board of Agreement) などのように，Approval Body と Approved Body の両方の立場を持っている機関も存在し，国によりそれぞれ多少の違いがある。
- ・ 海外からの生産物の認証要請がある場合は，ドイツでは DIBt が窓口となり，通常の新しい生産物の認証を行うのと同じ手続きで審査する。
- ・ 通常，認証には，3 ヶ月から 1 年程度かかる。場合によっては，これ以上かかることもある。

補足1：CEマーキングについて (http://www.jetro.go.jp/jpn/regulations/import_12/04S-040011)

- 1) CEマーキングとは、欧州連合(EU)地域に販売される指定製品に貼付を義務付けられる安全マークのことで、「EU(EC)指令」の必須安全要求事項(ESRs = Essential Safety Requirements)に適合したことを示します。製品の製造業者(輸入者)または第三者機関が所定の適合性評価を行ったことを表示するために、製品、包装、添付文書に付与し、CEマークのある製品は、EU域内の自由な流通が保証されます。CEマークが貼付されていない製品は原則として、EU向けには輸出・販売できません。
- 2) 製品によっては、公認機関(NB = Notified Body)の認証を受ける場合と、自己認証が認められる場合の2通りがあります。(1)公認機関で認証を受ける場合には、NBに製品等を送付しEC型式審査を受けたり、NBに技術文書を提出し、審査を依頼する場合などがあります。(2)自己認証の場合には、製造者自身が整合規格への準拠、技術文書の整備を確認して、その上で、製造者自身が適合宣言書(Declaration of Conformity)を発行し、「自己宣言」をします。
- 3) 欧州では、経済の活性化を目指して全体を1つの経済単位にする試みが古くからなされており、1957年には、単一市場を目指したローマ条約が結ばれました。また従来、各国ごとに安全規制の範囲やレベルがまちまちだったため、製造者は仕向け国ごとに製品仕様を修正する必要がありました。このため、1985年には、各国の規則を整合化(統一)して、技術的貿易障害の撤廃を目指す「ニューアプローチ」決議が採択されました。この「ニューアプローチ指令」(New Approach Directives)を受けて、具体的な製品や特性ごとに「機械指令」「EMC指令(電子機器の電磁波環境に対する規制)」「低電圧指令」「医療機器指令」「压力容器指令」「玩具指令」などが発効され、各製品ごとにCEマーキングを貼付する制度がスタートしました。これらの指令(現在21種類あり)は、製品が守るべき基準(必須要求事項)を規定するとともに、必須要求事項を具現化する整合規格の作成を定めています。

補足2：欧州公共調達指令における技術認証に関わる記述

http://ec.europa.eu/enterprise/construction/internal/cpd/cpd_en.htm#3

The Construction Products Directive (Council Directive 89/106/EEC)

CHAPTER III: European technical approval

Article 8

European technical approval is a favourable technical approval is a favourable technical assessment of the fitness for use of a product for an intended use, based on fulfillment of the essential requirements for building works for which the product is used.

European technical approval may be granted to.

(a) products for which there is neither a harmonized standard, nor a recognized national standard, nor a mandate for a harmonized standard, and for which the Commission, after consulting the committee referred to in Article 19, considers that a standard could not, or not yet, be elaborated; and

(b) products which differ significantly from harmonized or recognized national standards.

Even in the case where a mandate for a harmonized standard has been issued, the provisions referred to in (a) do not exclude the granting of European technical approval for products for which guidelines for such approval exist. This shall apply until the entry into force of the harmonized standard in the Member States.

In special cases, the Commission may, as a derogation from paragraph 2 (a), authorize the issue of European technical approval, after consulting the committee referred to in Article 19, for products for which there is a mandate for a harmonized standard, or for which the Commission has established that a harmonized standard can be elaborated. The authorization shall be valid for a fixed period.

European technical approval shall in general be issued for a five Year period. This period may be extended.

Article 9

European technical approval for a product shall be based on examinations, tests and an assessment on the basis of the

interpretative documents referred to in Article 3 (3) and of the guidelines referred to in Article 11 for this product or the corresponding family of products.

Where guidelines referred to in Article 11 do not or not yet exist, European technical approval may be issued by reference to the relevant essential requirements and the interpretative documents where the assessment of the product is adopted by the approval bodies acting jointly in the organization referred to in Annex II. If the approval bodies cannot agree, the matter shall be referred to the committee referred to in Article 19.

The European technical approval for a product shall be issued in a Member State in accordance with the procedure laid down in Annex II at the request of the manufacturer or his agent established in the Community.

Article 10

Each Member State shall notify the other Member States and the Commission of the names and addresses of the bodies which it has authorized to issue European technical approvals.

The approval bodies must satisfy the requirements of this Directive and in particular must be able:

- to assess the fitness for use of new products on the basis of scientific and practical knowledge,
- to take impartial decisions in relation to the interests of the manufacturers concerned or their agents, and
- to collate the contributions of all the interested parties in a balanced assessment.

The list of approval bodies which are competent to issue European technical approvals, is well as any amendments to that list, shall be published in the 'C' series of the Official Journal of the European Communities.

Article 11

The Commission shall, after consulting the committee referred to in Article 19, issue mandates for establishing guidelines for European technical approval for a product or family of products to the organization of approval bodies designated by the Member States.

The guidelines for European technical approval for a product or family of products should contain the following, in particular:

- (a) a list of the relevant interpretative documents referred to, in Article 3 (3);
- (b) specific requirements for the products within the meaning of the essential requirements referred to in Article 3 (1);
- (c) the test procedures;
- (d) method of assessing and judging the results of the tests;
- (e) the inspection and conformity procedures which must correspond to Articles 13, 14 and 15;
- (f) the period of validity of the European technical approval.

The guidelines for European technical approval shall, after consultation with the committee referred to in Article 19, be published by the Member States in their official language or languages.

(3) 我が国の技術審査体制に求められるもの

本報告書の別の部分で記載されているように、我が国にはいくつかの技術審査機関が存在しており、これらからの技術認証を取得することが、開発された新たな工法を展開するに際して有利に働くことは事実である。特に公共工事における技術認証取得の効果は大きい。

今後、我が国の技術審査体制に関して、以下に関する項目の検討が進められることを望む所である。

- ・ 我が国の技術審査機関が行う審査は、施工法を中心としたものである。開発された新たな施工法が、当初想定した要求性能を満たすかは、設計法にも大きく依存するものであるが、設計法の審査にも注力されるべきである。
- ・ 我が国で認証された技術が、海外で通用するとは限らない。また、海外の優れた新技術を我が国に適用する際に、やはり国内の実績や技術認証が要求されるのか。海外との相互認証を可能とするようなグローバルな技術認証システムの構築が望まれる。

参考文献

- 1) 土木学会 地盤工学委員会 (2006) 欧州における性能設計を支える制度に関する調査報告書

2.7 学術団体による技術認証制度の可能性

2.7.1 地盤工学会における各支部の取り組み

地盤工学会の各支部において、新技術に関する支援あるいは認証等の評価を実施しているかどうかを調査した。この結果、関東支部および東北支部において新技術に関する支援を行っている事例があるので紹介する。

(1) 関東支部における技術相談

地盤工学会関東支部プロジェクト対応グループでは特別会員を対象とした新技術・新工法の評価と普及方策・開発方針に関する技術相談¹⁾を実施している。関東支部のHPによれば「この技術相談はすでに公開されている新技術・新工法を対象に実施するもので、あくまでもボランティアベースの「相談」です。お墨付きとして使えるような「審査」「評定」ではありません。」との断り書きが示されている。

技術相談の具体的な手順は以下のようなものである。まず、事前に提出された技術の概要・自己評価と普及活動の経緯・論文発表・特許の有無等の資料に加えて、当日に10分程度のプレゼンテーションが実施される。その後評価や普及方策について20分程度自由討論するというものである。相談を受け付けた技術を参考までに示す。

- ・ハイビーウォール工法・ミニアンカー工法，大日本土木株式会社
- ・新杭頭接合法：「杭頭ピン工法」，清水建設株式会社
- ・多重セル型プレッシャーメータによる地盤の原位置動的試験装置，マスダ技建
- ・掘削幅縮小技術「ゼロスペース工法」，東京電力株式会社，株式会社関電工

関東支部HPの断り書きにも示されているように、この技術相談はボランティアベース（会員への無償奉仕）の技術アドバイスという位置付けである。

(2) 東北支部における研究助成

東北支部においては、「東北地方における地盤工学に係る学術研究や技術開発の活性化を図ることを目的」として地盤研究委員会が設置されている。この東北支部地盤研究委員会では、支部所属会員が行う学術研究・技術開発・地盤工学の普及に関する「研究テーマ」に対して助成を実施している²⁾。

研究テーマでは、地域的な問題に対する研究、シーズ型研究についても対象としている。最近5年間の研究テーマと代表者をHPより抜粋して示した。

平成17年度

- ・人工地形改変地に着目した液状化ハザードマップの作成手法に関する研究，森友宏，東北大学
- ・宮城県北部に分布する埋没段丘堆積物の地盤工学的特性について，佐藤浩，(株)三共技術
- ・携帯電話を利用したボーリング調査管理システムの開発，堀内宏信，山形設計(株)

平成16年度

- ・軟岩の不連続面のせん断強度と軟岩切土のり面の安定性評価に関する研究，小松順一，奥山ボーリング(株)
- ・浄水汚泥の盛土材としての利用に関する研究 - 乾燥処理した汚泥の強度特性 - ，荻野俊寛，秋田大学

平成15年度

- ・軟岩切土のり面の安定に影響する不連続面のせん断強度に関する研究，小松順一，奥山ボーリング(株)

・前方撮影用ボアホールカメラの開発，村田暁永，(株)復建技術コンサルタント

平成 14 年度

・圧電アクチュエータを利用した土の動的変形特性の評価，荻野俊寛，秋田大学

・ハイブリッド実験による有機質土の圧密予測，渦岡良介，東北大学

・軟岩切土のり面の安定に影響するせん断面（弱面）に関する研究，小松順一，奥山ホーリング(株)

・岩手県におけるがけ崩れ災害と要因のマクロ解析，八重樫栄，国際航業(株)

平成 13 年度

・三軸試験における間隙水の流量制御手法に関する研究，仙頭紀明，東北大学大学院

・電磁気的手法による奥羽山脈近傍の深部地盤構造探査（その 2），槇野豊，国際航業(株)

・デジタルカメラ測量法による簡易的な地形測量システムの実用化，今井忠男，秋田大学

・有機質土の強度評価におけるせん断応力載荷型試験の有効性に関する研究，荻野俊寛，秋田大学

以上のように，東北支部の研究助成においては，毎年 2~5 件程度の研究テーマが採用されている。傾向としては室内試験・地盤調査関係のテーマに加えて地域的なテーマが多い。この 5 年間の内で，「開発・実用化」と名のついたテーマは 3 件あり，いずれも測量および調査手法に関するものである。

2.7.2 学術団体による技術認証制度の可能性

(1) 学会の技術認証能力

学会は，官学民の様々な組織に属する研究者あるいは技術者が一堂に会する団体であることから，技術認証を行う上で十分に相応しい人材が相当数集まった組織体であると言える。

学会が行っている技術認証に多少関連する業務としては，投稿された研究論文を定められた方法で学術評価し，ある一定のレベル以上にあると判断された論文は，学会の発行する論文集に掲載してそれを社会に公表するといった行為が挙げられる。また各年度で開発された技術や工法に関しても，その学術的（あるいは実務的）評価を行い，優れた技術や工法を表彰するといったようなことも，学会の重要な仕事として実施している。これらはいずれも，学術研究の普及発展を目的に行っているもので，学会の果たすべき重要な使命の一つである。

学会が行っているこれらの行為は，いずれも研究あるいは技術の学術的評価であり，認証という行為ではない。技術を認証するという事は，正当な手続きと方法によって，その有効性を証明することである。したがって学会が行っていることは，あくまでも投稿された研究論文，あるいは推薦された技術や工法の学術的価値の評価に留まるものである。

学会の技術認証能力に関して言えば，論文や技術の技術評価が正当にできるということは，技術認証を行う能力を学会が十分に有していることに他ならない。

学会が技術認証を行う場合のプロセスは，他の機関で行われているものと同様なプロセスが考えられる。つまり，申請された技術に対して，学会内に専門委員会を設置して審議し，審議の結果，その技術の有効性が確認されればそれに対する技術認定証明書を発行する。同時にその審議内容および結果を学会誌等で公表するというプロセスである。

(2) 学会が技術認証することの意義と問題点

開発された新しい技術を認証する最大の目的は，その技術を広く社会に普及させることにある。その目的から考えて，学会が技術認証することに何ら問題はなく，むしろ社会的に求められている行為と言えよう。

学会はあくまでも学術面で振興を図り，社会貢献することを目指した団体であることから，技

術認証を行うにしても、その学術面での技術認証に限られることになろう。

技術の普及は学術的価値の高さだけで果たせるものではなく、その利便性やそれがもたらす経済効果など、様々な要因が関係する。そのため、学会で技術認証を受けても、技術の普及が図れないものが多く出てくるのが懸念され、その結果、学会の技術認証の社会的価値が問われることも予想される。

また、もし認証された技術に問題があった場合、その責任を学会がどのように取るのかに関しては、十分な議論が必要となろう。あくまでも学術面での認証であることが、他の機関の技術認証システムと異なり、問題が生じた場合の責任体制がきわめて曖昧になることも懸念される。

(3) 参考：(社)日本材料学会の技術認証制度³⁾

技術認証制度の創設について

(社)日本材料学会では学会創立 50 周年記念事業の一環として、「技術認証制度」を創設いたしました。本制度は材料学に関する広範な技術について、本学会としての客観的な立場から個別技術を公正かつ厳正に評価し、所定の基準を満足する技術についてはこれを本学会として認証し、当該技術の社会への応用を支援することで材料学の進歩に寄与することを目的としたものです。現在、地盤改良部門委員会を中心に「地盤改良に関わる技術認証制度」を行っていますので趣旨、概要を以下に示します。なお、今後、他の部門委員会関連技術につきましても「技術認証制度」を広げていく予定です。

「地盤改良に関わる技術認証制度」

趣旨

近年、地盤改良の重要性が各所で高まりつつあり、新材料・新工法の開発が鋭意なされています。また、適用範囲も広がり、災害の防止軽減や地盤環境汚染の修復などにも地盤改良技術が多く適用されていることから、新しい技術やその適用についての適正な評価が必要となっております。このような趨勢の中で、本技術認証制度は、「技術、工法について公平かつ適正に評価することで、技術開発の活力の向上をはかり、それらの建設現場への迅速な活用普及をはかりもって技術水準の向上に資する」ことを目的としております。

技術評価の対象

- ・地盤改良技術に関わる新素材、新材料
- ・地盤改良に関わる技術または工法
- ・汚染地盤の診断技術、汚染地盤修復技術
- ・廃棄物の地盤材料としてのリサイクル技術

必要経費

申込料 20 万円、評価証明費用 120 万円。なお、確認試験等が必要となった場合の費用は、依頼者が別途負担するものといたします。

申込方法および評価証明のプロセス

申込みに際しては、必ず下記にお問い合わせ下さい。評価証明の対象となる場合には、申請書類をご送付いたします。申込みを頂いた依頼技術は、技術評価を行うかどうかを受付審査会により 2 週間以内に審査します。受付審査会にて「評価に値する」とされた技術については、その結果を依頼者にご連絡し、その後、学識経験者を中心とした技術評価委員会を設置して具体的な検討と評価を実施いたします。

問合せ先 〒606-8301 京都市左京区吉田泉殿町 1-101 日本材料学会「技術認証制度」係
Tel. 075-761-5321 Fax. 075-761-5325 E-mail. jimuj@jsms.jp

参考文献

- 1) <http://www.jiban.or.jp/kantou/index.html>
- 2) <http://www.soc.nii.ac.jp/tb-jgs/academic/kenkyu/theme.html>
- 3) <http://www.jsms.jp/index-8.html>

3. - 基礎構造の新技术開発と適用促進に関する提言 -

建設事業のコスト縮減を受けて、基礎構造においても新技术・新工法の開発と普及が強く望まれている。また、従来の仕様規定に対して、構造物の設計基準や発注に性能照査という概念が導入されつつあり、新しい基礎形式の導入も期待されている。

当報告書では、技術認証制度（技術審査証明事業や NETIS）の実態、公共工事における新技术の活用に関する課題、構造物を設計・管理する側から見た意見、社会制度から見た新技术の導入の意義など、多岐に渡る視点で課題や方向性が記述されている。

また、ディスカッションセッションにおいては、中立的な新技术の評価委員会のあり方について有用な意見交換が行われた。

これらの報告を受けて、基礎構造の新技术の開発と適用を促進するために、下記の事項を提言する。

- 基礎構造の新技术開発と適用促進に関する提言（案） -

社団法人地盤工学会
基礎構造の設計に関わる新技术評価に関する研究委員会

（1）新しい基礎形式や設計法の評価技術の研究推進

要素試験技術、解析技術、実験技術などの評価技術の研究を促進し、性能設計を踏まえた設計基準の方向に関して講習会を実施するなど、一般化を促進する。公共の実験フィールドの設置などもその中に含まれる。

（2）新技术開発・普及のための支援制度の拡充

新技术相談会などにより、新技术の開発者と構造物の管理者との意見交換を積極的に推進する。また、開発補助制度等によって開発を支援すると共に、技術開発賞などの表彰制度による普及活動を強化する。

（3）学会としての中立的な技術評価委員会の構築

事業主体（構造物の管理者）が新技术を評価する場合には、第3者機関として学識経験者を含む委員会が設置されることが多い。地盤工学会として、この技術評価委員会の役割を担う可能性について検討し、あるべき形態について討議を進めるべきである。

以上

- 添付資料 -

「International Workshop on the Development of Deep Foundations

-IWDPF07-」

(深い基礎の技術開発に関する国際ワークショップ)を開催

独立行政法人港湾空港技術研究所
調査研究部「基礎構造の設計に関わる新技術評価に
関する研究委員会」

2007年2月1～2日に国土交通省国土技術政策総合研究所研修センター(横須賀市)において、International Workshop on the Recent Advances of Deep Foundations -IWDPF07- が独立行政法人港湾空港技術研究所と地盤工学会調査研究部の共催で開催され、外国人15名、国内70名の合計85名の参加者があった。

本ワークショップは、調査研究部の基礎構造の設計にかかわる新技術評価に関する研究委員会の活動の一環として、主として深い基礎に関する国際的な技術の動向を議論するとともに、わが国で活発に行われている技術開発の動向を広く国際的に公表することを目的として開催したものである。

このワークショップでは、8人の世界各地からの研究者と国内から1名の研究者を招聘し、わが国を含む世界各国の基礎工にまつわる技術の動向をキーノートレクチャーの形で紹介していただいた。キーノートレクチャーの講演タイトルと講演者は以下のとおりである。

Recent research into the behaviour of jacked foundation piles

Dr. D. White (Cambridge Univ., UK)

Centrifuge modelling of pile foundation

Prof. C. F. Leung (National Univ. of Singapore, Singapore)

Advanced modeling tools for the analysis of axially loaded piles

Prof. R. Salgado (Purdue Univ., USA)

Trend of research and practice of pile foundations in Japan

Prof. T. Matsumoto (Kanazawa Univ., Japan)

CPT-based design of displacement piles in siliceous sands

Prof. Barry Lehane (Univ. of Western Australia, Australia, Mr Schneiderが代理講演)

Recent advances in designing, monitoring, modeling and testing deep foundations in north America

Prof. C. Vipulanandan (Univ. of Houston, USA)

Current design practice for axially loaded piles and piled rafts in Germany

Prof. C. Vrettos (Technical Univ. of Kaiserslautern, Germany)

Recent advances in the analysis of pile foundation in China

Prof. Huang M. (Tongji Univ., China)

Current status of deep and pile foundations in Korea

Prof. Jeong S. (Yonsei Univ., Korea)

このほか、日本側からは4つのテーマレクチャー(道路、港湾、鉄道の耐震設計の動向と最近の杭基礎の設計法に関わる課題)を行ったほか、30のショートプレゼンテーションとポスターセッションを行った。

WSの最後には、Dr. White (Cambridge Univ.)と当研究委員会の主査の一人の大谷熊本大学教授を座長としたディスカッションセッションを行った。ディスカッションセッションでは、最初にDr. Whiteが今回のすべての講演を踏まえて、深い基礎の技術開発に関する国際動向を総括した後に、大谷教授によってディスカッションのポイントが示され、フロア全体のディスカッションに移った。

ディスカッションでは、国ごとの基礎の設計に関する環境の違いがにじみ出たが、特に、杭の載荷試験結果の利用、地盤調査結果の評価(特にN値の利用に関する議論)などを中心に活発な議論が展開された。

最後に、大谷教授により今後ともこのような会議を開催し続けることが大事であるとの投げかけがあり、3年後くらいを目処に次回を開催することにした。

なお、この会議の論文集(Advances in Deep Foundations)は、Taylor & Francisより8月ごろ出版される。



写真-1 会場の様子



写真-2 会場の入り口に集合した参加者